

Über die kolloïdale Natur der Stärkekörner und ihr Verhalten gegen Farbstoffe.

Ein Beitrag zur Theorie der Färbung.

Von

Dr. Hugo Fischer,

Privatdozent der Botanik an der Universität Bonn.

Auf die Frage (die eigentlich keine Frage ist) nach der kolloïdalen Natur der Stärkekörner in diesen Zeilen näher einzugehen, war ursprünglich meine Absicht nicht. Doch veranlaßt mich dazu eine Stelle in dem neuesten Werk von Czapek (I), woselbst auf S. 313 folgendes zu lesen steht:

„Wenn auch nicht in Abrede gestellt werden soll, daß kolloïdale Stoffe trotz aller Analogien der Stärkekörner mit Sphärokristallen hervorragenden Anteil an dem Aufbau der Amylumkörner nehmen können —“ (der Nachsatz betrifft meine im Jahre 1898 veröffentlichte Abhandlung, welcher Mangel an Klarheit vorgeworfen wird).

Nun ist es mir niemals eingefallen, zu behaupten, die Stärkekörner setzten sich zu einem Teil aus kristallinischer, zum andern Teil aus kolloïdaler Substanz zusammen; ich behaupte dergleichen auch heute nicht, weil nicht die leiseste Spur eines Beweises für eine solche Anschauung zu meiner Kenntniss gelangt ist.

Czapek befindet sich im völligen Irrtum über die Fragestellung, wenn er meint, es handle sich darum, einen wie großen Anteil kolloïdale Stoffe an der Zusammensetzung der Amylumkörner nehmen; denn von einer Mischung kristallisierter und kolloïdaler Substanzen ist überhaupt nicht die Rede. Auf die geringen Unterschiede, die man an Lösungsprodukten des Stärkekorns beobachtet hat, wie z. B. die α - und β -Amylose von Arthur Meyer (I), gehe ich hier nicht ein, weil dieselben unwesentlich sind für die vorliegende Frage. Wären im Stärkekorn kristallinische und kolloïdale Substanzen gemischt, so müßte es doch leicht gelingen, etwa durch Dialyse, die beiderlei Substanzen voneinander zu trennen.

Zu der unbestrittensten aller Tatsachen, die wir bezüglich des Stärkekornes kennen, gehört die, daß es beim Erwärmen mit Wasser voll und ganz, quantitativ, zu Kleister wird. Ich sollte meinen, damit wäre die Frage, ob Kristall oder Kolloïd, ein für allemal entschieden. Wenn ich in meiner zitierten Arbeit auf diese allbekannte Tatsache nicht ausdrücklich hingewiesen habe, so war der Grund dafür der, daß ich es für überflüssig hielt. Was in ein Lehrbuch für Anfänger paßt, gehört nicht immer in eine wissenschaftliche Abhandlung. Was vielleicht noch fraglich sein könnte, liegt auf anderem Gebiet.

Die beiden Körperklassen der Kristallide¹⁾ und Kolloïde sind; so gut sie in ihren typischen Vertretern charakterisiert sind, doch andererseits durch Übergänge verbunden. Ein solches Übergangsglied sind z. B. die natürlichen und die künstlichen Eiweißkristalle oder besser -kristalloïde; denn wenn wir schon einen Gegensatz von Kolloïden und Kristalliden nicht leugnen können, so ist zweifellos die Quellbarkeit ein sehr wichtiges, wenn nicht das allerwichtigste Merkmal der ersteren Körperklasse, und trotz ihrer Kristallform und der (für ihre Größe relativ geringen, schon bei der gewöhnlichen Quellung in Wasser verschwindenden) Doppelbrechung sind darum die Eiweißkristalloïde doch deutlich verschieden von echten Kristallen, wie die des Kupfervitriols oder des Feldspates. Ihre Kolloïdnatur äußert sich, außer in der Volumzunahme und in jener eigentümlichen Zustandsänderung, welche wir als Quellung bezeichnen, in der beträchtlichen Größe ihrer Molekel, in den Eigenschaften ihrer Lösung, insbesondere in der äußerst langsamen Diffundierbarkeit und der minimalen osmotischen Wirksamkeit.

Freilich ist auch der Begriff des Kristalles nicht leicht zu umgrenzen. Wenn Nernst (IIb, S. 76) den Kristall definiert als einen homogenen Körper, in welchem sich verschiedene, von einem seiner Punkte auslaufende Richtungen physikalisch verschieden verhalten — so ist diese Fassung des Begriffes doch wohl etwas zu weit. Physikalische Verschiedenheit in verschiedenen Richtungen findet ihren sichtbarsten Ausdruck in der Doppelbrechung; diese Erscheinung können aber, wenn gewisse Bedingungen erfüllt sind, auch solche Körper zeigen, die zweifellos kolloïdaler bzw. amorpher Natur sind.

Ich übergehe die Fälle, in welchen durch Druck oder Zug eine vorübergehende Doppelbrechung erzeugt wird, und be-

¹⁾ Ich möchte hierdurch anregen, die übliche Schreibweise Kristalloïde in Kristallide umzuändern; nach dem sonst üblichen Sinn der Endung -oïd müßte Kristalloïd ein Ding bezeichnen, der wohl aussieht wie ein Kristall, aber kein richtiger Kristall in des Wortes eigentlicher Bedeutung ist (*Limnanthemum nymphaeoïdes* hat wohl Ähnlichkeit mit einer *Nymphaea*, ist aber keine *Nymphaea*). In diesem Sinne können wir aber die Bezeichnung Kristalloïde sehr wohl beibehalten für die kolloïdalen Eiweiß-Kristalle; vgl. den Text.

schränke mich auf solche Dinge, bei denen die Doppelbrechung zur dauernden Eigenschaft werden kann.

Wenn man eine geschmolzene Masse, wie Glas, Kanadabalsam oder dergl., in Fäden auszieht und auf diese noch im letzten Augenblick des Erstarrens einen nicht zu schwachen Zug ausübt, so bleiben sie doppelbrechend, obwohl man nicht gut behaupten kann, sie wären durch die Zugkraft aus amorphen Körpern zu kristallinen geworden; auch der Einwand, Glas, Kanadabalsam usw. beständen aus doppelbrechenden Kristallen, die gewöhnlich unregelmäßig durcheinander lägen und durch die Zugkraft parallel gerichtet würden, ist wohl ernstlich nicht diskutierbar.

Ein Tropfen von Gelatinelösung (etwa 5—10 g in 100 ccm Wasser), den man an der Luft eintrocknen läßt, zeigt danach die Doppelbrechung so schön wie nur ein kristallinischer Körper. Davon zeigt sich freilich nur sehr wenig in der Aufsicht; bringt man den Tropfen aber auf ein Scheibchen von Kork, Holundermark oder dergl., so kann man ihn, nachdem er trocken geworden, mit dem Rasiermesser senkrecht zur Erstarrungsfläche in dünne Schnitte zerlegen, und diese zeigen, von der Seite gesehen, im Polarisationsmikroskop genannte Erscheinung ganz ausgezeichnet. Einlegen der Schnitte in Wasser und die dadurch bewirkte Quellung ändern an der Doppelbrechung zunächst wenig. Nach Nernsts Definition (vgl. o.) müßte dieses im übrigen homogene Gelatinescheibchen ein Kristall sein!

Die Doppelbrechung kann also kein ausschlaggebendes Merkmal der Kristallnatur sein; zum ferneren Beweise dessen erinnere ich nochmals an die Schleimklumpen in Orchideen-Knollen, welche (aus Alkohol-Material) die Eigenschaft der Doppelbrechung in ausgezeichneter Weise besitzen (vgl. Hugo Fischer I, S. 74), aber sicherlich ebenfalls nicht kristallinischer Natur sind. — Die genannten Beispiele sind nur einige unter vielen.

Wenn wir nunmehr zu den Stärkekörnern zurückkehren, so scheint es mir nicht im mindesten fraglich, daß dieselben ganz aus kolloïdalen Substanzen bestehen; fraglich ist nur, ob diese Substanzen neben ihren unleugbar kolloïdalen Eigenschaften auch Merkmale der Kristallide besitzen. Die Quellung, den allmählichen Übergang aus einem glasig-spröden in einen gallertig-weichen Körper, die Kleisterbildung, das hohe Molekulargewicht, die unmeßbar geringe osmotische Druckwirkung und die äußerst langsame Diffusion durch geschlossene Häute darf ich mir wohl gestatten zu den Merkmalen kolloïdaler Körper zu zählen; mit dieser Anschauung befinde ich mich in der vortrefflichen Gesellschaft der hervorragendsten Autoritäten auf physikochemischem Gebiet.

Hinsichtlich der Doppelbrechung läßt sich nun freilich darüber streiten, ob sie gerade im Fall der natürlichen Amylumkörner, denen sie regelmäßig und unter allen Bedingungen zukommt (die kleinen Körner innerhalb der Chloroplasten der Mesophyllzellen zeigen sie allerdings meistens nicht, wohl aber

alle einigermaßen größeren Körner im Parenchym von Stengeln, Knollen und Samen, in den Stärkescheiden usw.), nicht vielleicht auf Kristallnatur hindeute. Daß die Doppelbrechung keine andere Ursache hat, als eine (an den in fast allen Beziehungen so sehr ähnlichen Inulinsphäriten direkt zu beobachtende) Selbstzusammenziehung in Richtung der Tangente, ist mir mehr als wahrscheinlich. Ein sachlicher Einwand gegen diese schon 1898 von mir vertretene Anschauung ist mir bisher nicht zu Gesicht gekommen, und eine bessere Erklärung der Erscheinung habe ich inzwischen weder bei anderen, noch auch meinerseits finden können.

Zu sagen: Die Amylumkörner sind doppelbrechend, weil sie aus doppelbrechenden Kristallen bestehen — das ist eine Art der Erklärung, die doch nur sehr bescheidenen Ansprüchen genügen kann.

Kein echter Kristall verrät überdies eine Abschwächung seiner Polarisationserscheinungen infolge von Wasserzutritt, wie diese bei den Stärkekörnern zu beobachten ist.

Es ist schließlich ein Streit um Auffassungen und dehnbare Begriffe, ob man in jener Differenzierung, die zu einer anfangs nicht vorhandenen Anisotropie führt, noch einen Kristallisationsvorgang sehen will oder nicht: bei weiter Fassung kann man letzteren Begriff vielleicht noch auf obige Erscheinung ausdehnen, und damit genug hiervon!

Die Amylumsubstanz (wie auch das Inulin) hat noch eine zweite Eigenschaft, durch deren Besitz sie sich den Kristalliden nähert, das ist die Fähigkeit, sich unter gewissen (bei weitem nicht unter allen) Bedingungen überhaupt in begrenzten Körpern aus Lösungen niederschlagen zu können, und nicht, wie Gelatine bei Eindunsten des Lösungsmittels, als homogene Decke zu erstarren. Beide, Amylum wie Inulin, bilden aber ihre „Sphärokristalle“ doch nur bedingungsweise, und können gegebenen Falles auch jene amorphen Krusten bilden. Erstere sind aber, was nicht übersehen werden darf, besten Falles schon eine sehr reduzierte Art der Kristallisation.

Meine, an direkte Beobachtungen anknüpfenden Betrachtungen zusammenfassend, komme ich zu dem Ergebnis:

Die das Amylumkorn aufbauenden Substanzen haben mit der Klasse der Kolloïde gemein:

1. Die Volumvergrößerung durch Wasserzutritt bzw. Verkleinerung bei Wasserabgabe.
2. die Zustandsänderung von glasig-spröde in weichgallertig,
3. die Kleisterbildung,
4. das hohe Molekulargewicht,
5. die sehr schwache osmotische Fähigkeit ihrer Lösungen,
6. die äußerst geringe Diffusionsgeschwindigkeit.

Dieselben haben mit kristallinen Stoffen gemein:

1. Die Fähigkeit, in begrenzten Körpern von mehr oder weniger bestimmter Form aufzutreten,
2. die an solchen Körpern zu beobachtenden Polarisationserscheinungen.

Wenn wir nun diese beiden Gruppen von Merkmalen gegeneinander abwägen und dabei nicht vergessen, was oben auseinander gesetzt wurde: daß in beiden letztgenannten Eigenschaften die Amylumsubstanzen nicht auf der Höhe eines normalen Kristalles i. eng. S. stehen, sondern beide Eigenschaften nur in reduziertem Maße und bedingungsweise besitzen, so kommen wir doch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu dem Schlusse, daß die das Stärkekorn aufbauenden Stoffe ihrem Wesen nach Kolloïde sind, trotz gewisser Anklänge an kristallisierte Körper.

Beiläufig bemerke ich, daß das sonst ähnliche Inulin die Kleisterbildung vermissen läßt, daß es etwas rascher diffundiert als die Stärke, und daß die alsbald zu besprechende Fähigkeit der Farbstoffspeicherung ihm nicht zukommt. Das Inulin steht also, trotz kolloïdaler Eigenschaften, den Kristalliden um etwas näher als die Stärke. Leider ist das natürliche Inulin, das ein ganz anderer Körper ist als das dargestellte Inulin, wegen seiner raschen Veränderung bisher noch keiner Untersuchung zugänglich gewesen. Es bildet noch flüssige Lösungen mit Wasser etwa im Verhältnis 1:1, setzt sich aber sehr bald nach dem Auspressen des Saftes in die bekannte Modifikation um, von welcher beim Abkühlen der heiß bereiteten Lösung nur 1 Teil in 100 Teilen Wasser gelöst bleibt. — Dem Inulin in vielen Beziehungen ähnlich ist das Amylodextrin.

Meine im Jahre 1898 entwickelte Anschauung vom Zustandekommen der Schichtung der Amylumkörner bedarf einer kleinen Ergänzung; ich nahm damals an, die „wasserreicheren“ Schichten entstünden durch radial gestellte, zonenförmig angeordnete, wassererfüllte Sprünge innerhalb der Stärkesubstanz, analog dem direkt zu beobachtenden Bau gewisser Inulinsphärite. Nun lehrt jedoch eine (nicht von mir herrührende, zweifellos ältere) Beobachtung, daß das Innere des Stärkekorns schon in kaltem Wasser beträchtlich stärker aufquillt, als die äußerste Schicht, so daß zerriebene Amylumkörner schon mit kaltem Wasser eine Art von Kleister ergeben. Besonders schön läßt sich das beobachten, wenn man unter dem Mikroskop durch einen Druck auf das Deckgläschen in Wasser liegende Körner zersprengt; dann quillt eine halbflüssige Masse aus dem Innern heraus, an der von Schichtung oder Doppelbrechung nichts mehr zu sehen ist, während eine dichtere äußere Schicht von meßbarer Dicke wenigstens die äußere Form des unverletzten Kornes und die Doppelbrechung noch beibehält. Die innere Masse des Stärkekorns ist also so quellbar, daß man nicht wohl annehmen kann, es bestände eine wasserärmere Substanz und reines Wasser (letzteres die Spalten erfüllend) nebeneinander. Man wird also

zu der Vermutung gedrängt, daß in diesen anzunehmenden radialen Spalten nicht einfach Wasser, sondern ein relativ dünner Stärkekleister sich befinde. — Diese starke Verquellung des Korninneren ist wohl die Ursache davon, daß Mikrotomschnitte durch Stärkekörner, mit denen ich es verschiedentlich versucht habe, mir noch niemals ein auch nur einigermaßen deutliches Bild vom inneren Bau der Objekte gegeben haben.

Das Verhalten der Stärkekörner zu Farbstoffen.

Den oben genannten sechs Eigenschaften, welche den Substanzen des Amylumkornes ihre naturgemäße Stellung unter den Kolloiden anweisen, haben wir noch eine siebente anzureihen, das ist die Fähigkeit der Farbstoffspeicherung, die, wie wir sehen werden, und wie ich darum nicht im voraus ausführlicher begründen will, in dieser Weise bisher nur an kolloidalen Körpern oder an Flüssigkeiten beobachtet worden ist, nicht an echten Kristallen.

Das Zustandekommen der künstlichen Färbungen, die ja bekanntermaßen eine überaus wesentliche Rolle in der Mikroskopie spielen, und durch welche unsere Kenntnis von dem innersten Bau und Getriebe der Organismen so manche schätzbare Bereicherung und Vertiefung erfahren hat, ist öfters auch der Anlaß zu theoretischen Betrachtungen gewesen, und das um so mehr, als die Farbstoffaufnahme durch die verschiedenen Zellbestandteile keine zufällige Eigenschaft ist, sondern sehr wichtige Schlüsse auf das Wesen der organischen Substanz gestattet.

Hier möchte ich ein paar Worte einschalten über den Sinn, den ich mit der Bezeichnung „organische Substanz“ verbinde: ich brauche das Wort natürlich in anderem Sinne, als die Chemie, und begreife darunter das, was man gewöhnlich nach Nägeli's Vorgang „organisierte Substanz“ nennt. Es ist mir schlechterdings unmöglich, Stärkekörner, Gelatine, Gummi und dergl. als „organisiert“ anzuerkennen, und es sollte endlich einmal mit dem Mißbrauch dieses Wortes aufgeräumt werden; „organische Substanz“ bezeichnet aber weit charakteristischer die Stoffe, welche die Pflanzen- und Tierzelle aufbauen, als allerhand chemische Verbindungen, wie Jodaethyl oder Bleiacetat. Spricht man doch auch schon ziemlich allgemein lieber von der „Chemie der Kohlenstoff-Verbindungen“ als von der „Organischen Chemie“, und wendet den letzteren Ausdruck nur der Kürze und Bequemlichkeit wegen an.

Über das Wesen des Färbeprozesses bestehen drei sich bekämpfende Anschauungen:

Die „physikalische“ Theorie sieht in der Farbstoffaufnahme eine Erscheinung der Adhäsion; sie setzt im Innern der zu färbenden Körper Oberflächen voraus, denen sich die Farbstoff-Molekel auflagern sollen.

Die „chemische“ Theorie erklärt den Vorgang für analog einer Verbindung, wie zwischen Säure und Basis.

Die „chemisch-physikalische“ oder „Lösungs“-Theorie geht von der Tatsache aus, daß es kolloïdale Körper sind, die wir färben, Körper, die sehr wesentliche Eigenschaften mit den Flüssigkeiten gemeinsam haben, so auch die Eigenschaft, andere Substanzen in Lösung aufzunehmen; sie faßt also den Vorgang der Färbung als Lösung auf.

Ich gehe alsbald zur Darlegung der an Stärkekörnern zu beobachtenden färberischen Tatsachen über, und bemerke, daß ich durchweg mit käuflicher, roher Kartoffelstärke gearbeitet habe, welche nach mikroskopischer Prüfung sich als ein fast völlig reines Präparat erwies.

Die Farbstoffaufnahme durch Stärkekörner ist keineswegs eine neue Beobachtung: auch ich selbst habe im Jahre 1898 einige Untersuchungen darüber veröffentlicht, denen sich dann spätere angeschlossen haben. Meine Methode unterschied sich insofern von den in der Mikroskopie meist üblichen färbetechnischen Verfahren, als diese gewöhnlich mit gesättigten Farblösungen arbeiten und die überfärbten Präparate auswaschen, während ich die Aufnahme aus sehr verdünnten oder höchstens mäßig starken Lösungen, ohne Auswaschung, zum Gegenstand meiner Studien machte.

Zunächst ergibt sich, daß die von mir benutzten Farbstoffe sich bezüglich ihres Verhaltens zu den Stärkekörnern in drei Kategorien gruppieren lassen, die allerdings wohl nicht durch scharfe Grenzen geschieden werden können.

Die einen dringen in Stärkekörner überhaupt nicht ein, oder doch erst nach wochenlanger Einwirkung; es sind dies: Carmin, Hessisch-Purpur, Diamin-Echtrot, Kongorot, Anilinblau, Cyanin, Benzoschwarzblau, wasserlösliches Nigrosin. Aus Lösungen dieser Farbstoffe fallen die Stärkekörner als weißes Pulver nieder, unter dem Mikroskop erscheinen sie völlig farblos¹⁾; ließ ich das Lösungsmittel (Wasser, beim Cyanin Alkohol von 50 Proz.) verdunsten, so bildete der Farbstoff eine Kruste auf den Stärkekörnern, die sich hierbei wie homogene feste Körper, etwa Quarzkörner oder dergl., verhielten. Jedoch konnte ich für das Kongorot nach mindestens vierwöchigem Aufenthalt in der Lösung feststellen, daß manche Stärkekörner einen blaßrötlichen Ton angenommen hatten: auf die Bedeutung dieser Erscheinung komme ich später zurück.

Die Farbstoffe der zweiten Gruppe werden von den Stärkekörnern zwar merklich aufgenommen, aber langsam und nicht sehr intensiv; selbst nach mehreren Stunden oder Tagen ist die Färbung der Körner schwächer oder nur wenig stärker als die der umgebenden Flüssigkeit. Hierher gehören: Fuchsin S. Corallin, Eosin, Croceïn, Tropaeolin 00 und 000, Pikrinsäure.

¹⁾ Keineswegs so, als ob Interstitien zwischen ungefärbten Substanzteilchen mit der Farblösung erfüllt sein könnten!

Methylblau, Methylenblau, Indigcarmin, Haematoxylin, Bismarckbraun.

Wiederum andere Farbstoffe werden in kurzer Zeit, meist in weniger als einer Minute, von den Stärkekörnern eingesogen, aber nicht nur in gleicher Menge, wie sie in der Farblösung enthalten sind, sondern in viel höherer Konzentration; es ist ein höchst einfacher, aber interessanter Versuch, Stärke (etwa 1 ccm) im Reagenzglas mit verdünnter wäßriger Fuchsinlösung (1:10000 bis 1:100000) zu schütteln und absetzen zu lassen; alsbald sieht man schon mit bloßem Auge die intensiv gefärbten Körner zu Boden sinken und als tieferer Niederschlag sich anhäufen, während die überstehende Flüssigkeit sehr viel ärmer an Farbstoff zurückbleibt. Ähnlich dem Fuchsin verhalten sich Neutralrot, Saffranin, Chrysoïdin, Malachitgrün, Methylgrün, Jodgrün, Brillantgrün, Nilblau, Gentianaviolett, Methylviolett, Thionin und spritlösliches Indulin. Letzteres ist unter den wenigen Farbstoffen, die ich untersucht, der einzige wasserunlösliche, der von Stärkekörnern intensiv gespeichert wird; ich verwendete es in Alkohol von 50 Proz. gelöst.

Betrachten wir diese Resultate unter dem Gesichtspunkt der chemischen Färbungstheorie, so muß es auffallen, daß sich unsere drei Kategorien mit irgend welchen chemischen Beziehungen nicht in völligen Einklang bringen lassen; zwar besteht die Tatsache, daß basische Farbstoffe besonders stark gespeichert werden, aber das ausgesprochen basische Methylenblau gehört zu den am schwächsten und am langsamsten aufgenommenen, schwächer und langsamer als das saure Eosin und die Pikrinsäure.

Die Stärkekörner verhalten sich hier wesentlich anders als Klümpchen von Kieselsäuregallerte, die ich zum Vergleich heranzog; hier wird Methylenblau besonders intensiv gespeichert, das ebenfalls basische Fuchsin etwas weniger, Säurefuchsin aber nur schwach aufgenommen. Gerade hier ist aber der saure Charakter des speichernden Kolloïds unzweifelhaft.

Auch wird der oben beschriebene Versuch mit der Fuchsinlösung dadurch nicht wesentlich in seinem Erfolg geändert, daß man der Farblösung soviel Ammoniak oder Salzsäure zufügt, bis soeben eine deutliche Änderung des Farbtones eintritt; auch dann findet eine sehr starke Anreicherung des Farbstoffes in der Stärke und eine weitgehende Entfärbung der Flüssigkeit statt. Da die Lösung weit weniger als 1 mg Fuchsin enthielt, und nur etwa 0,1 g Stärke zur Verwendung kam, so kann von einer Neutralisation der reichlich zugefügten Säure oder Base nicht entfernt die Rede sein.

Um den Vorgang der Farbstoffaufnahme auch von Seiten der Adhäsionstheorie zu beleuchten, ist eine andere Beobachtung von besonderer Wichtigkeit: Wenn man Stärkekörner in einem Wassertropfen unter Deckglas auf den Tisch des Mikroskopes bringt, letzteres auf das Objekt einstellt, und dann vom Rande her einen Tropfen wäßriger Fuchsinlösung 1:10000 bis 1:100000 hinzutreten läßt, so kann man direkt sehen, wie die Färbung in

den Körnern von außen nach innen vordringt; mit der Uhr in der Hand habe ich festgestellt, daß rund 15 Sekunden (!) vergehen, bis die Durchfärbung eines größeren Stärkekornes vollendet ist.

Stellen wir uns nun nach Nägeli's Micellar-Hypothese das Stärkekorn als ein Aggregat von freischwebenden, durch eine besondere Art der Kohäsion zusammengehaltenen, wasserumspülten Kristallen vor, oder nach anderen, über das Wesen der Kolloide geäußerten Anschauungen als eine Art von Schwammgerüst¹⁾, das von Wasser führenden Kanälen durchzogen ist, so müßte zweifellos ein immer wiederholter Austausch der Flüssigkeit in den „Interstitien“ mit der umgebenden Farblösung stattfinden. Um eine bestimmte Berechnung aufstellen zu können, will ich einmal annehmen, daß diejenige Menge der Farblösung, welcher ein Stärkekorn den Farbstoff entzieht, hundertmal so groß wäre als die Menge des Imbibitionswassers; diese Annahme wird ungefähr den Versuchsbedingungen entsprechen, es macht jedoch für unsern Zweck wenig aus, wenn wir auch das Verhältnis halb oder doppelt so groß ansetzen.

Es tritt also 1 vol. Imbibitionswasser aus den Interstitien aus und 1 vol. Farblösung dafür ein; der Farbstoff wird auf den Micellen oder an den Gangwänden niedergeschlagen. in den Interstitien ist jetzt wieder reines Wasser enthalten, der Austausch beginnt dann von neuem. darauf folgt wieder eine Ausfüllung. u. s. f. Infolge der wiederholten „Adsorption“ des Farbstoffes muß nun eine fortgesetzte Verdünnung der umgebenden Lösung stattfinden; diese Verdünnung geht natürlich nicht in arithmetischer, sondern in geometrischer Progression weiter, da das zweite, dritte usw. Volumen der Farblösung immer je ein Hundertstel weniger von dem Farbstoff enthält, als das vorhergehende. Berechnen wir nun aus der geometrischen Reihe die fortschreitende Verdünnung (auf die genaue Wiedergabe der Rechnung darf ich wohl verzichten), so ergibt sich, daß nach 100 maligem Austausch 63,35 %, nach 200 maligem 86,56 %, nach 300 maligem 95,07 % des Farbstoffes in das Stärkekorn übergewandert ist, der jeweilige Rest von 36,65 — 13,44 — 4,93 % entspricht der fortschreitenden Verdünnung der umgebenden Farblösung. Da die eintretende Entfärbung ungefähr zwischen dem zweiten und dritten Wert liegen dürfte, dem letzteren aber jedenfalls näher, so wären wir zu der Annahme gedrängt, daß in 15 Sekunden mindestens 250 mal ein völliger Austausch des Imbibitionswassers stattfinden müßte! Und was wären die Ursachen dieser erstaunlich rapiden Bewegung? Einmal die jedenfalls nicht sehr starke (vgl. u.) Anziehung der hypothetischen Oberflächen auf die Fuchsin-Molekel, sodann der

1) Der allbekannte Badeschwamm hat dadurch, daß er porös ist und außerdem aus einer quellbaren Substanz besteht, hinsichtlich der Erklärung der Quellungserscheinungen viel Verwirrung angerichtet. Manchem ist es eben nicht gelungen, die beiden Eigenschaften auseinander zu halten.

osmotische Druck einer Flüssigkeit, die noch nicht einmal 0,00003 mol. im Liter gelöst enthält!

Die Farbstoffspeicherung in Stärkekörnern gibt uns noch weitere Gesichtspunkte für die Theorie der Quellung, insofern sie jene Ansichten widerlegt, die im allgemeinen wohl als überwunden gelten können, denen man aber doch noch hier und da begegnet. Nach diesen Meinungen soll auch die Quellung selbst eine Art der Oberflächenwirkung sein. Nun ist berechnet, daß der Quellungsdruck der Stärke über 2000 Atmosphären beträgt; wenn jetzt das Stärkekorn mit der aus obigen Beobachtungen zu erschließenden Heftigkeit die an den Oberflächen seiner Teilchen haftenden Wassermolekel durch Fuchsinmolekel zu ersetzen bestrebt ist, so muß natürlich die „Affinität“ zwischen beiden noch weit größer sein, als die zwischen den inneren Oberflächen und dem Adhäsionswasser. Das kann aber aus einem anderen Grunde nicht sein:

Es gibt nämlich eine Kraft, die wiederum weit stärker ist, als die Anziehung der Stärke zum Fuchsin. Stellt man Färbungsversuche im Reagenzglas, in der oben beschriebenen Art an, nur mit dem Unterschied, daß man zur Farblösung nicht Wasser, sondern Alkohol von 50 % oder Essigsäure von 50 % anwendet, so bleibt die Stärkefärbung aus, die Körner fallen nach dem Umschütteln fast farblos nieder, als gehörte das Fuchsin zu den Farbstoffen der ersten oder höchstens der zweiten Kategorie (vgl. o., S. 415). Demzufolge müßten also Alkohol und Essigsäure eine Verwandtschaft zum Fuchsin besitzen, die über die Verwandtschaft wasserfreier Amylose zu Wasser (= mehr als 2000 Atmosphären! noch sehr, sehr weit hinausginge! Jener Verwandtschaft müßte dann auch eine ganz ungeheure Lösungswärme des Fuchsins in Alkohol entsprechen, die aber in Wirklichkeit nicht vorhanden ist.

Und noch ein weiteres Wort zur Oberflächen-Theorie des Färbungs- wie des Quellungs Vorganges: Läßt man ein bis zur Sättigung mit Fuchsin (oder anderen Farbstoffen der dritten Gruppe) getränktes Stärkekorn eintrocknen, und befeuchtet es sodann, so quillt es, bevor es seine Entfärbung beginnt, und läßt bezüglich der Quellung keinen Unterschied gegen ein ungefärbtes Korn erkennen. Wären die Oberflächen, welche die Quellung bedingen sollen, mit Fuchsintheilchen überzogen, so müßte das ganze wie ein Stückchen Fuchsin, nicht wie ein Stärkekorn sich verhalten, von Quellung könnte keine Rede sein, denn die Adhäsion der Fuchsintheilchen soll ja größer sein als die des Wassers, und Fuchsin quillt nicht. Die Oberflächen der Micelle können aber als Oberflächen nicht wirken, wenn sie mit Fuchsinmolekeln überdeckt sind.

Gegen eine eigentliche chemische Bindung zwischen Stärkesubstanz und Fuchsin sprechen aber ebenfalls gewichtige Bedenken, außer dem schon auf S. 416 geäußerten. Die im vorletzten Absatz berichteten Tatsachen fordern gebieterisch die Deutung, daß die Verwandtschaft zwischen Alkohol bzw. Essigsäure und

Fuchsin größer ist als die des Fuchsins zur Amylose. Im ersteren Fall haben wir zweifellos einen Vorgang der Lösung zu sehen, und wenngleich die physikalische Chemie eine scharfe Grenze zwischen Verbindung und Lösung nicht zu ziehen vermag¹⁾, so klingt es doch absurd, daß einer Verbindung (Stärke—Fuchsin) eine so sehr viel schwächere Affinität entsprechen sollte, als einer Lösung (Alkohol—Fuchsin).

Durch verdünnten Alkohol werden Stärkekörner, wie die meisten andern Objekte der mikroskopischen Färbetechnik, sehr rasch entfärbt, d. h. der Farbstoff in die umgebende Flüssigkeit aufgenommen. Das gelingt aber nicht am trockenen Objekt mit wasserfreiem Alkohol. So wenig, als wasserfreie Stärkekörner aus absolut-alkoholischer Farblösung Farbstoff aufnehmen, selbst an ihrer Oberfläche nicht, so wenig werden die gefärbten durch absoluten Alkohol entfärbt (wobei allerdings äußerlich anhaftender Farbstoff durch den Alkohol hinweg gelöst wird). Das gleiche gilt aber auch von anderen Präparaten, wie ich an Hefen- und Bakterienkulturen, die ich auf Glas angetrocknet, beobachten konnte: im ersteren Fall keine Farbstoffaufnahme, im letzteren keine Auswaschung²⁾. Rein chemisch ist dies Verhalten kaum zu verstehen. Auch ist nicht einzusehen, warum der Alkohol nicht sämtlichen Farbstoff herauslösen sollte, wenn dieser als Ausfüllung der Micellarinterstitien im gefärbten Korn vorhanden wäre; das Fuchsin müßte doch zwischen den Micellen herausgelöst werden, wie der Mörtel zwischen Mauersteinen. Das geschieht jedoch nicht, auch nicht nach Tagen und Wochen, und auch nicht an Hefen- und Bakterienzellen. Ganz genau ebenso verhalten sich aber auch angeschnittene oder durchgeschnittene Amylumkörner, so daß auch der Einwand einer dichteren, die Diffusion verhindernden Außenschicht wegfällt.

• Wie zu Anilinfarben, so verhalten sich die Stärkekörner auch zu allerhand anderen löslichen Stoffen. Hier erscheint mir ein Versuch besonders beachtenswert: ich befeuchtete Stärkekörner mit verdünnter Essigsäure, ließ dieselben trocken werden und behandelte sie wiederholt mit starkem Alkohol, bis dieser keine saure Reaktion mehr zeigte; darauf wurde die Stärke noch einige Tage in absolutem Alkohol belassen, in welchen keine nachweisbare Spur von Säure überging. Brachte ich nun eine kleine Probe der Körner auf blaues Lackmus-Papier und setzte einen Tropfen Wasser oder 50prozentigen Alkohol hinzu, so färbte sich das Papier sofort lebhaft rot. Wäre die Essigsäure zwischen feste Teilchen des Kornes „intermicellar“ eingelagert, so wäre nicht einzusehen, warum der Alkohol sie daselbst nicht heraus-

1) Vgl. W. Nernst (Ib) S. 32: „Die Unterschiede zwischen physikalischen Gemischen und chemischen Verbindungen sind doch nur graduelle und zwischen beiden finden wir in der Natur alle Abstufungen.“

2) Damit stimmt gut die wiederholt bestätigte Erfahrung überein, daß trockene Bakterien von starkem Alkohol wenig bis garnicht geschädigt werden, während verdünnter Alkohol ein ziemlich kräftiges Bakterien-gift ist.

holen sollte. — Der gleiche Versuch mit Ammoniaklösung gelang nicht; obwohl analog der Speicherung der basischen Anilinfarben gerade eine Aufnahme des Ammoniak in die Stärkekörner erwartet werden konnte, fiel das mehrmals wiederholte Experiment stets negativ aus: was wiederum ein Licht, aber kein günstiges, auf die chemische Theorie der Färbung wirft.

Die Erklärung für das verschiedene Verhalten der wasserhaltigen und der wasserfreien Substanz ist nun zweifellos die, daß sich erstere wie eine Flüssigkeit, letztere wie ein fester Körper verhält. Der Satz: „Corpora non agunt nisi fluida“ ist keineswegs der „alte Ladenhüter“, als welchen Heidenhain (I. S. 199) ihn hinstellen möchte; richtig aufgefaßt¹⁾ stellt er eine Regel dar, die weniger Ausnahmen zeigt, als manche andere. Wenn wir dem gequollenen Kolloïd den Flüssigkeitscharakter, den es nun einmal besitzt, zuerkennen, so wird die Zahl der Fälle, in denen der „Ladenhüter“ nicht gilt, ganz bedeutend herabgesetzt. Gerade meine zuletzt besprochenen Beobachtungen zeugen von der Richtigkeit des obigen Satzes: die Stärkekörner reagieren in dem einen Fall positiv, als Flüssigkeit, im andern reagieren sie nicht, als feste Körper.

Beiläufig sei bemerkt, daß die Aluminium-, Wismut- u. a. Verbindungen, mit welchen Heidenhain als mit festen Körpern experimentierte, zweifellos kolloïdalen Charakters sind, wenn auch nicht im gleichen Maße wie Stärkekörner. Die Färbung, welche Bolus mit Methylenblau eingeht, erscheint unter dem Mikroskop sehr eigenartig. Die im übrigen farblosen Kügelchen sind an ihrer Oberfläche mit vereinzelt, winzigen blauen Flecken betupft. Ich möchte die Erscheinung so deuten, daß die Boluskügelchen an gewissen Stellen ihrer Oberfläche etwas Wasser aufnehmen, damit eine Art von kolloïdaler Lösung bilden (eine meßbare Volumenänderung, wie bei Stärke, Inulinsphäriten, Holzzellen, Eiweißkristalloïden etc. findet nicht statt), und daß diese Partikelchen kolloïdaler Lösung den Farbstoff aufzunehmen befähigt sind. Auch die anderen Versuchsobjekte Heidenhain's: Zinkoxyd, Magnesia usta und basisches Wismutnitrat sind sicherlich mehr kolloïdaler als kristallinischer Natur.

Vom Standpunkt derjenigen chemischen Färbungstheorie, die in dem Färbungsvorgang eine Analogie mit der Salzbildung erblickt, sind die zuletzt berichteten Ergebnisse bez. der Stärkekörner kaum verständlich. Aber schon die obige Gruppierung der Farbstoffe in die drei Kategorien führt rein chemisch betrachtet zu keiner brauchbaren Erklärung. Wir können doch kaum annehmen, daß die Stärkemolekel für die eine Reihe von Farbstoffen gar keine oder eine bis wenige Affinitäten, für

¹⁾ Nach dem heutigen Standpunkte der Chemie könnten wir vielleicht besser sagen: „Corpora nimis lente agunt nisi fluida“. Dann hätten wir, wie das nur naturgemäß ist, wasserhaltige Kolloïde zu den Flüssigkeiten zu rechnen, und hätten in gewissen Fällen das „nimis lente“ mit „unendlich langsam“ zu übersetzen. Das Wasser aber würde katalytisch, die Reaktion beschleunigend wirken.

andere eine etwas größere, für wieder andere eine besonders große Zahl von Affinitäten frei habe; da der Grad der Färbbarkeit sehr mannigfaltig abgestuft ist, müßte auch eine sehr wechselnde Zahl von Affinitäten gefordert werden. Die Pikrinsäure gehört zu denjenigen Stoffen innerhalb der zweiten Gruppe, die schon verhältnismäßig rasch und intensiv aufgenommen werden; nach ihrem Verhalten zu basischen Farbstoffen müßte die Stärke Säurecharakter haben, dann kann sie aber kein Pikrat bilden. Dagegen besteht eine unverkennbare Übereinstimmung gegenüber den Erscheinungen der Lösung; es sind eben, wie in anderen Lösungsmitteln, so auch in den Stärkekörnern, die einen Körper stark, die andern wenig bis gar nicht löslich; eine durchgehende Beziehung zu dem sauren oder basischen Charakter der Farbstoffe besteht nicht.

Anfügen möchte ich hier, daß Stärkekörner auch ein Lösungsmittel für andere Substanzen, als gerade für Farbstoffe, sind, oder, wie man es gewöhnlich ausdrückt, daß sie für solche „permeabel“ sind: als solche Stoffe sind mir bekannt: Chlornatrium, Chlorkalium, Chlorcalcium, Jodkalium, Quecksilberchlorid, Jodkalium-Quecksilberjodid, Silbernitrat, Eisenchlorid, Kobaltchlorür, Kaliumbichromat, die kaustischen Alkalien einschl. des Ammoniak, Chromsäure, Schwefel-, Salpeter- und Salzsäure, von Kohlenstoffverbindungen außer der erwähnten Essigsäure (und wohl einer größeren Zahl ähnlicher Säuren) noch Glycerin, Chloralhydrat und Tannin. Soll denn z. B. das Chlornatrium mit Stärke eine chemische Verbindung eingehen, wenn es in ein Amylumkorn eindringt?

Eine elektive Färbung, eine Auswahl der Farbstoffe nach ihren basischen oder sauren Eigenschaften kommt also den Stärkekörnern nicht zu (womit nicht gesagt sein soll, daß hinter den Erscheinungen nicht doch eine noch verborgene, aber natürliche und im Charakter der fraglichen Stoffe enthaltene Ursächlichkeit stehe), meines Wissens auch nicht der Cellulose oder der verholzten Zellwand; warum z. B. die reineren Modifikationen der Cellulose eine Vorliebe gerade für Kongorot haben und andere Farbstoffe wenig bis gar nicht aufnehmen, das ist z. Z. noch eine offene Frage; mit Säure und Basis hat die Erscheinung schwerlich etwas zu tun. Cellulose wie Stärke werden als sehr schwache Säuren angesehen; aus diesem gemeinsamen Charakter heraus ist es kaum verständlich, warum sich beide gegen Kongorot so durchaus gegensätzlich verhalten, denn wir sahen oben, daß dasselbe von Amylumkörnern so gut wie gar nicht angenommen wird.

Sichtlich ist die Beziehung zwischen den Nukleïnverbindungen und den spezifischen Kernfarbstoffen, schon undeutlicher wird dieselbe aber bezüglich der übrigen Eiweißkörper. Die Meinung Heidenhains, daß letztere, als sowohl basische wie saure Gruppen enthaltend, sowohl mit sauren als mit basischen Farbstoffen sich verbinden könnten, und daß sie durch ihre hohe chemische Aktivität dazu besonders befähigt seien, ist zweifellos

berechtigt. Aber eines bleibt doch unerklärt: Warum speichern die Eiweißkörper der Zelle nicht auch Farbstoffe zur Zeit ihrer lebhaftesten Aktivität, d. h. im lebenden Zustand? Gerade dieser Punkt weist uns wieder auf das Lösungsproblem. Nach den bekannten Versuchen Pfeffer's besteht eine gewisse Lösungsfähigkeit (oder Permeabilität) des lebenden Protoplasmaschlauches für bestimmte Anilinfarben: dieselbe ist aber so gering, daß es zu einer sichtbaren Ansammlung von Farbstoff im Protoplasma¹⁾ nicht kommt. Erst im Augenblick des Todes wird seine Lösungsfähigkeit für Farbstoffe sowohl wie für lösliche Salze erheblich gesteigert: die Wirkung davon sehen wir einerseits darin, daß das tote Eiweiß sich mit Farbstoff anreichert, andererseits in der Tatsache, daß die abgestorbene Zelle nicht mehr plasmolysierbar ist.

An dieser Stelle sei mir ein kurzer Ausblick in ein weiteres Gebiet gestattet, das mit meiner Überschrift in keinem engeren Zusammenhang steht, wohl aber mit den soeben berührten Tatsachen. Der hier betonte Unterschied zwischen totem und lebendem Protoplasma ist sowohl bezüglich der Farbstoffspeicherung als bezüglich der Plasmolysierbarkeit sicherlich die auffallendste Veränderung, die an der Zelle durch den Tod herbeigeführt wird. Wenn uns auch der tiefere Einblick noch fehlt, so ist es zweifellos eine chemisch-physikalische Zustandsänderung, die mit dem lebenden Zellinhalt vorgeht, grundverschieden und in nichts vergleichbar mit der Veränderung, der die bekannte „im Mörser zerstampfte Taschenuhr“ unterliegt. Der Vergleich zwischen Uhrwerk und Protoplasma ist aber die wichtigste Stütze des Neovitalismus!

Auf eine weitere Ausführung dieses Themas verzichte ich an dieser Stelle; auch auf die Natur der angedeuteten Zustandsänderung will ich hier nicht näher eingehen, und kehre zur Färbungsfrage zurück. Meine Meinung von der chemischen Färbungstheorie ist kurz die, daß sie bezüglich der Eiweißkörper teilweise, vielleicht zum größten Teil berechtigt ist, daß aber doch noch Schwierigkeiten zu überwinden sind, und daß es Tatsachen gibt, die weit stärker zugunsten der Lösungstheorie sprechen: zumal für Stärkekörner, Zellhäute u. dgl. scheint mir die letztere die weitaus wahrscheinlichste zu sein.

Ganz anders stehe ich der Adhäsionstheorie gegenüber: abgesehen von einzelnen Fällen der praktischen Färberei, die mir aus eigener Anschauung nicht bekannt sind, und die vielleicht auf Adhäsion beruhen, kann ich derselben keine Berechtigung zusprechen. Es mag Färbungen geben, die als Niederschlag sich der Faser anheften: sofern die Faser aber für die Komponenten des Farbniederschlages permeabel ist (wie zahlreiche Substanzen für Gerbstoff und Eisensalz), kann auch ein Niederschlag

¹⁾ Ich möchte dem Vorwurf begegnen, als ob ich Protoplasma und Eiweiß bedingungslos identifizieren wollte: ich bin mir des Unterschiedes wohl bewußt, halte ihn aber für obige Betrachtungen für belanglos.

in der Substanz der Faser entstehen, so gut wie ein solcher sich bildet, wenn man z. B. in ein zum Teil mit erstarrter Gelatine-lösung gefülltes U-Rohr von der einen Seite Kupfervitriol-, von der andern Blutlaugensalz-Lösung einbringt. Es brauchen also nicht alle Färbungen, die als Niederschlag entstehen, Adhäsions-Färbungen zu sein. Bezüglich aller mir bekannt gewordenen mikrotechnischen Färbungen kommt aber die Adhäsions-Theorie überhaupt nicht in Betracht. Der erste und Hauptgrund dafür ist der, daß dieselbe von einer unhaltbaren Voraussetzung ausgeht: von der Micellar- oder Schwammstruktur der organischen Substanz.

Die Lehre von den Micellen gehört nicht zu jenen wissenschaftlichen Theorien, die sich mit unwiderstehlicher Gewalt einem jeden aufdrängen müssen, der ein bestimmtes Wissensgebiet zusammenfassend überschaut. Sie ist geistreich ausgedacht, ausgedacht zu dem Zwecke, die wenigen damals bekannten Erscheinungen bezüglich einiger kolloidaler Substanzen zu erklären; diesem Zwecke mag sie auch zu ihrer Zeit vollauf genügt haben, heut genügt sie nicht mehr, da die Zahl der untersuchten Kolloide und der an ihnen gemachten Beobachtungen eine so sehr viel größere ist, als damals. In keiner Schrift eines neueren Physiko-Chemikers bin ich in irgend einem Zusammenhang dem Namen Nägeli oder dem Wort Micell begegnet; also man sieht, es geht auch ohne das.

Sehr bequem ist ja die Micellar-Hypothese insofern, als noch niemals irgend jemand ein Micell gesehen hat, man also diesen vortrefflichen kleinen Dingerchen so viele und so merkwürdige Eigenschaften andichten kann, als man irgend will. Hierfür ein Beispiel:

Ein gequollenes Kolloid tritt in Wechselwirkung mit einer wäßrigen (Salz-, Farbstoff- etc.) Lösung; der Erfolg ist, daß in dem einen Fall innerhalb des Kolloides eine höhere, im andern Fall eine geringere Konzentration der gelösten Substanz zutage tritt, als in dem Lösungsmittel verbleibt. Das erklärt sich nun ungeheuer einfach. Nägeli selbst hat es gesagt, daß ein Teil des aufgenommenen Wassers dichter an die Micelle selbst gebunden wird, ein anderer Teil frei bleibt und nur kapillar angesogen wird. Das erstere Wasser hat seine Lösungsfähigkeit eingebüßt, nur das letztere hat dieselbe bewahrt, es muß also der betreffende Stoff in der Kolloidsubstanz in geringerer Konzentration vorhanden sein als in der umgebenden Flüssigkeit. Und ist das Umgekehrte der Fall, dann werden eben ganz einfach die Molekel der gelösten Substanz von den Micellen durch eine Art von Adhäsion angezogen und festgehalten, wie z. B. viele Farbstoff-Molekel. Ist aber die Verteilung der gelösten Substanz zwischen Kolloid und Wasser gleich oder annähernd gleich, dann wirken wohl beide Faktoren so zusammen, daß sie sich gegenseitig die Wage halten. Das geht alles ganz vortrefflich, man muß nur an dieses System von übereinander gebauten

Hypothesen glauben, und vor den Widersprüchen die Augen zudrücken können¹⁾.

Die Micellar-Hypothese war zu ihrer Zeit bestimmt, erstens die Doppelbrechung zu erklären; von dieser war bereits oben die Rede (S. 413, Z. 10), ich brauche nicht noch einmal darauf zurückzukommen. Zweitens sollte die Hypothese über die Schwierigkeit hinweghelfen, die darin lag, daß eine Substanz von der Molekularformel $C_6 H_{10} O_5$ nicht die Quellungs- und andere Eigenschaften der Stärke haben könnte. Das war ein durchaus richtiger Gedanke, daß die letzten Einheiten der Amylumsubstanz (Nägeli's „Stärkeatome“) viele Male größer sein müßten, als obiger Formel entspricht. Es ist längst allgemein anerkannt, daß wir dieselbe mit einer nicht zu kleinen Unbekannten zu multiplizieren haben, um zu der richtigen Molekularformel des Amylum zu gelangen. Dazu bedarf es aber keiner kristallinischen Micelle mit Adhäsions- und Imbibitionswasser.

Auf dem Luftschloß der Micellar-Hypothese ist nun aber die weitere Hypothese erst aufgebaut, nach welcher die Oberflächen der kristallinischen Micelle den Farbstoff „adsorbieren“ sollen. Die Adsorption ist aber selbst noch ein wenig geklärter Begriff; zuerst hat man damit die Verdichtung von Gasen auf der Oberfläche poröser oder fein verteilter Körper bezeichnet, wie z. B. die Verdichtung von Kohlensäuregas mittels Holzkohle. Die Analogie mit dem Färbvorgang ist eine recht künstliche, ja in einem sehr wichtigen Punkt besteht völlige Gegensätzlichkeit:

Feuchte Holzkohle adsorbiert (zit. nach Nernst, IIa, S. 171) beträchtlich weniger Kohlensäuregas, als trockene; Wasserbedeckung der Oberflächen hindert die Adsorption. Von der Farbstoffaufnahme der Stärkekörner, Bakterien- und Hefenzellen (einschließlich deren Inhaltkörper) und vermutlich dementsprechend von der Mehrzahl aller Zellen und Zellinhalte gilt, wie wir oben (S. 419) gesehen haben, das vollkommene Gegenteil, die Färbung kommt ohne Wasser gar nicht zustande! Schon aus diesem Grunde scheint es doch sehr gewagt, beide Vorgänge in den gleichen Begriff einzuordnen.

Die Adsorption im ursprünglichen Sinne ist eine Verdichtung; der Begriff würde demnach von unseren drei Farbstoffgruppen (s. S. 415) höchstens auf die dritte passen, nicht auf diejenigen Stoffe, die in geringerer Konzentration aufgenommen werden, als sie in der umgebenden Flüssigkeit dargeboten sind. Aus diesem und dem vorher angeführten Grunde kann es nur, zu

¹⁾ Hier ist vielleicht ein Zitat aus Nernst (I, S. 139) angebracht, der es für das Grundprinzip der Naturwissenschaft erklärt; „niemals mit einem größeren Aufwand von Hypothesen zu operieren, als unbedingt für den vorliegenden Zweck erforderlich“. Ich habe schon früher (II, S. 226—233) dargelegt, wie viele Hilshypothesen die Micellarhypothese notwendig macht.

Begriffsverwirrung führen, wenn man die Farbstoffspeicherung als Adsorption bezeichnet.

Nach der Adsorptions-Hypothese sollen es die Flächen der kristallinen Micelle sein, welche die Farbstoffmolekel an sich reißen. Hierzu fehlt es aber wiederum an jeglicher Analogie, denn Kristallflächen speichern Farbstoffe nicht. Echte Kristalle sollen ja aber die Micelle sein. Man hat wohl auch einige echte Kristalle zu färben vermocht, dann war es aber stets eine Färbung in der Substanz, keine Anfärbung der Flächen (vgl. u. S. 429).

Darum ist es ein Notbehelf, wenn man auf die Farbstoffniederschläge an den Wandungen von Glasgefäßen als Analogon hinweist. Das Glas ist im Gegensatz zu den Micellen eine amorphe Substanz, nach der neueren Auffassung der physikalischen Chemie sogar eigentlich nicht einmal ein fester Körper (zufolge Tammann, zit. nach Nernst, II 6, S. 100), sondern eine Flüssigkeit mit so starker innerer Reibung, daß das Bild eines festen Körpers vorgetäuscht wird. Das Glas ist aber spurenweise in Wasser löslich, seiner ganzen Natur nach kann es nur eine kolloïdale Lösung bilden¹⁾, und diese wird auf Farbstoffe nach den Gesetzen der Lösungsverteilung einwirken. Adhäsionskräfte müßten doch wohl momentan sich äußern, die Anfärbung der Glasflächen geschieht aber nur sehr allmählich, weit langsamer, als unter Anrechnung der Diffusion, die ja natürlich innerhalb der Farblösung stattfinden muß, nötig wäre. Daß gerade aus verdünnten Farblösungen sich die Glasgefäße weit stärker anfärben als aus konzentrierteren, erklärt sich weder aus der Adsorption noch aus der Lösungsverteilung; beide folgen (wenigstens annähernd) der gleichen Gesetzmäßigkeit, gegen welche die genannte Beobachtung einen scheinbaren Widerspruch enthält, der noch der Lösung harret.

Die Anfärbung von Glaswänden bzw. Glaspulver fügt sich aber keinesfalls der chemischen Färbetheorie, denn in der Glassubstanz überwiegt zweifellos die Alkalität der metallischen Bestandteile die schwache Acidität der Kieselsäure ganz bedeutend, und trotzdem werden gerade die basischen Farbstoffe, besonders das Fuchsin, am ausgiebigsten gespeichert.

Die Adsorptions-Hypothese hat in Alfred Fischer (I) einen sehr warmen Verteidiger gefunden; irgend welchen überzeugenden Beweis dafür sucht man aber in seinem (in vielen Hinsichten vortrefflichen) Buche vergebens. Von den anderen möglichen Erklärungen des Färbungsvorganges beschäftigt sich Fischer fast nur mit der chemischen Theorie, gegen welche allerdings schwerwiegende Gründe vorgebracht werden; da ich in diesen Punkten mit ihm größtenteils (aber auch hier nicht in allen Punkten) einverstanden bin, will ich hier kurz darüber

¹⁾ Nur aus der Erinnerung kann ich leider eine Notiz wiedergeben, wonach bei hohem Druck und hoher Temperatur Glas und Wasser miteinander eine gummiartige, tropfbare Flüssigkeit bilden.

hinweggehen. Nicht billigen kann ich aber die kurze Art, mit welcher Fischer über die Lösungstheorie hinweggeht.

Bezüglich dieser und der Adsorption ist sein Hauptgewährsmann von Georgiewics, ein Herr, der doch wohl wissenschaftlich nicht ganz ernst genommen werden kann. Man lese folgendes: „Das Zustandekommen und Verhalten der Färbungen ist verschieden von dem der Lösungen. Die meisten Färbungen gehen nur bei Kochhitze gut von statten. . . .“ Da jeder Anfänger in der Chemie weiß, daß auch viele Lösungen nur bei Kochhitze gut von statten gehen, so dürfen wir diesen Einwand wohl als erledigt betrachten. Seine quantitativ-vergleichenden Untersuchungen hat Georgiewics nur kolorimetrisch angestellt. eine Methode, über deren Exaktheit die Meinungen sehr geteilt sind; vgl. z. B. Binz und Schroeter, II, S. 3013. Und wenn der Verteilungsfaktor nicht mit dem Gesetz von der Verteilung zwischen zwei Lösungsmitteln übereinstimmt, so stehen doch die Berechnungen auch nicht in Einklang mit dem Henryschen Gesetz von der Adsorption; vgl. G. C. Schmidt, I. S. 60; v. G. hätte also zugleich mit der, die er bekämpft, die eigene Anschauung widerlegt. Ich halte es zur Zeit noch für untunlich, aus quantitativen Zahlangaben eine endgiltige Entscheidung herleiten zu wollen; erst müßten wir alle Modalitäten kennen, unter welchen sich das Verteilungsgesetz äußern kann. Gerade bezüglich der Lösungsverteilung zwischen einem Kolloid und einer Wassermenge wissen wir jedoch noch herzlich wenig.

Hier ist eine recht große Zahl von Untersuchungen, die in möglichst weitgehender Weise abzuändern, unter recht verschiedenartigen Bedingungen anzustellen wären, dringend erwünscht, namentlich wegen der hochinteressanten Beziehung zu allerhand physiologischen Vorgängen des Stoffaustausches. Die Verhältnisse in der lebenden Zelle sind ganz besonders komplizierter Art, die Grundlage ist aber stets die, daß teils zähflüssige Kolloide, teils wässrige Lösungen, aber auch Öltropfen und Ähnliches miteinander in Wechselwirkung stehen, und zwar als Flüssigkeiten, nicht als Aggregate von Kristallen.

Ich berühre diese Frage nur im Vorübergehen und kehre noch einmal zu den a. a. O. von Alfred Fischer vertretenen Anschauungen zurück. Daß die Fixierung, wie sie in der Mikrotechnik ausgeübt wird, eine Ausfällung ist, wird wohl kaum jemand bestreiten. Aber ein Übergehen in den festen Zustand bewirkt sie nicht; die fixierten Zellbestandteile sind nach wie vor dem Fixierungsverfahren kolloidale Körper, nur innerhalb und unbeschadet dieser Eigenschaft haben sie eine gewisse Veränderung erlitten. Sie sind weniger löslich, weniger zur Quellung und zur Schrumpfung befähigt als vorher, aber kolloidale Natur haben sie immer noch, und wirken gegenüber den Farbstoffen als Kolloide.

Wenn aber Fischer weiter behauptet, eine vorhergegangene Fixierung sei unumgänglich notwendig für den Färbeprozess, so ist das objektiv unrichtig. Schon deswegen, weil Objekte wie

Stärkekörner, Zellwände, besonders die verholzten, ferner Fetttröpfchen und viele andere Objekte ohne jede Vorbehandlung sich intensiv färben: der Fixierung sind die genannten Objekte überhaupt nicht zugänglich. Um mir auch hinsichtlich des lebenden Zellinhaltes ein Urteil zu bilden, habe ich frische Fäden von *Cladophora* langsam an der Luft, ohne künstliche Erwärmung, auf Glas antrocknen lassen, wobei sie (ich bemerke das, weil es für den Färbvorgang von Wichtigkeit ist) abstarben, wie zu erwarten war. Mit einer Fixierung nach den Regeln der Kunst hatte dieses Verfahren nicht die mindeste Ähnlichkeit. Als ich nun aber meine Objekte in verdünnte Farblösungen brachte, trat eine sehr starke Farbstoffspeicherung im geschrumpften Protoplasma ein — ein handgreiflicher Beweis, daß die Fixage nicht allein die Fähigkeit zur Tinktion hervorruft. Tatsache ist, daß erst das tote Protoplasma sich färbt, und daß gewisse Feinheiten der Färbung und gewisse Tinktions-Methoden eine kunstgerechte Fixierung, zuweilen nach ganz bestimmter Vorschrift zur Voraussetzung haben. Da aber jede Fixierung eine Tötung ist, so wird allerdings ein vorher lebendes und darum nicht färbbares Protoplasma sich nach der Fixierung mit Farbstoff anreichern.

Ist nun aber die Fixierung wirklich ein Vorgang, der die Färbung begünstigt, und bewirkt sie andererseits eine Ausfällung, so kommen wir wieder einmal zu einem jener zahllosen Widersprüche der Tatsachen gegen die Lehre von den Micellen. Unter Ausfällung könnten wir, unter dem Bann dieser Lehre, doch nichts anderes verstehen, als Vereinigung vieler kleiner Micelle zu wenigen großen. Da lehrt uns denn die Mathematik, daß ein solcher Vorgang zu einer bedeutenden Verringerung der freien Oberflächen führen müßte. Wäre die Farbstoffspeicherung eine Oberflächenwirkung, so müßte die Fixierung also das strikte Gegenteil von dem bewirken, was sie bewirken soll: nicht eine Steigerung, sondern eine Herabsetzung der Tinktionsfähigkeit.

Die Anschauungen, die Fischer a. a. O., S. 158 n. ff., bezüglich der „Verstopfung der Micellar-Interstitien“ durch die nicht ausgewaschenen Fixierungsmittel entwickelt, sind doch etwas zu grob-mechanisch, und, weil ganz auf dem Kartenhaus der Micellar-Hypothese fußend, wenig plausibel: dazu gibt aber Fischer selbst den Gegenbeweis, wenn er S. 160 schreibt: „Fast indifferent ist auch die Pikrinsäure, obgleich die Granula deutlich gelb aussahen“. Dann war also doch Pikrinsäure „adsorbiert“, die Micelle auf ihren Oberflächen mit Pikrinsäure-Molekeln gerade so gut überzogen, die Micellar-Interstitien gerade so gut mit Pikrinsäure „vollgestopft“, wie in andern Fällen mit Sublimat, Tannin o. a. Darin liegt doch ein Hinweis darauf, daß die Ursache anderswo zu suchen ist, als in mechanischer Verstopfung.

Fast alle die Tatsachen, die gegen die Micellar-Hypothese sprechen, widerlegen auch die Ansicht, die in einem schwammig-porösen Aufbau der Kolloïde die Ursache des besonderen Ver-

haltens dieser Körperklasse sieht. Dazu kommt, daß ein poröser und glasig-spröder Körper unmöglich durch bloße Erfüllung seiner Poren mit Wasser zu einer weichgallertigen Masse werden kann: eine Zustandsänderung durch direkte Einwirkung des Wassers auf die Kolloidsubstanz ist unumgänglich — diese Zustandsänderung ist aber eben die Quellung, und zu solcher bedarf es keiner Porosität. Geradezu vernichtend für alle die Annahmen, welche „Interstitien“ voraussetzen, ist aber die Beobachtung, wonach gewisse Farbstoffe gar nicht oder erst nach Wochen oder Monaten merklich in Amylumkörner eindringen. Da diese dem Volumen nach zu weit mehr als der Hälfte aus Wasser bestehen, da ferner die Stärkemolekel, also erst recht die Micelle oder dergl., vielmal größer sein müssen bzw. müßten, als die Farbstoffmolekel, und da schließlich auch die wassererfüllten Kanälchen doch eine dementsprechende Weite haben müßten, so ist die mit Augen zu sehende völlige Fernhaltung jener Farbstoffe mit den erwähnten „Struktur“-Hypothesen absolut unvereinbar.

Das Wesen der kolloidalen Substanzen und ihrer Farbstoffaufnahme dürfte mit Wahrscheinlichkeit auf folgendem beruhen: Die Kolloide sind im wasserfreien Zustande den festen Körpern ähnlich, ihre Verschiedenheit von diesen tritt erst deutlich zutage bei Wasserzutritt. Das Wasser wirkt je nach der Art des Kolloids graduell verschieden ein; in dem einen Extrem. etwa bei einer verholzten Zellwand, ist die Veränderung verhältnismäßig gering; andere Kolloide gehen, namentlich bei Erwärmung, rasch in den Zustand der Lösung über, wie Gummi, Gelatine usw. Diese Extreme sind durch allerhand Übergänge miteinander verbunden, wie auch die Kolloide von den Kristalliden nicht durch eine scharfe Grenze geschieden sind; dieser Übergang wird vermittelt durch Körper, wie z. B. das Inulin (vgl. o. S. 413) und den Rohrzucker, der in sehr konzentrierten Lösungen bereits Anklänge an das kolloidale Verhalten zeigt.

Die Quellung, die Wasseraufnahme in die Substanz der Kolloide, wird jetzt ganz allgemein für einen der Lösung analogen Vorgang angesehen. So wenig die Molekel eines in Auflösung begriffenen Salzkristalles in vorgebildete Micellar-Interstitien des Lösungsmittels eindringen oder an Oberflächen von Wasserteilchen adhäreren — ebensowenig ist bei der Quellung von Adhäsionswirkung oder von Eindringen in vorhandene Hohlräume die Rede.

Da wir gesehen haben, daß man heutzutage selbst das Glas zu den Flüssigkeiten zählt, so würde es nicht die geringste Schwierigkeit machen, auch die wasserfreien, starren Kolloide dazu zu rechnen. Dem sei, wie ihm wolle, jedenfalls hat das wasserhaltige Kolloid, mit welchem wir in Fragen der Färbung es ausschließlich zu tun haben, schon sehr viel mehr Eigenschaften mit den Flüssigkeiten gemeinsam. Es wird sich ja vielleicht mancher daran stoßen, eine Holzfaser, eine Steinzelle des vegetabilischen Elfenbeins oder des Pfirsich-Endokarps für

flüssig ansehen zu sollen. Vielleicht wird diese Vorstellung etwas erleichtert durch den Hinweis auf die erstaunliche Kohäsionskraft von Wasserfäden, die für den Pflanzenphysiologen ja ein hervorragendes Interesse hat wegen ihrer Anwendung auf das Problem der Wasserleitung in hohen Bäumen, wiewohl es bisher auch auf diesem Wege nicht geglückt ist, das Problem zu lösen.

Das mit Wasser gesättigte Kolloïd hat also, und zwar mit allen abgestuften Übergängen, Eigenschaften einer Flüssigkeit; einer Flüssigkeit, deren innere Reibung von Fall zu Fall und je nach Begleitumständen (Temperatur, Menge des aufgenommenen Wassers, chemische Einwirkung, wie z. B. von Alkali auf Stärkekörner) in sehr weiten Grenzen variieren kann. Wie verhalten sich nun die Kolloïde zu Farblösungen?

Man kennt zwar auch Beispiele vom Eindringen gefärbter löslicher Stoffe in echte Kristalle, wie z. B. von Joddämpfen in festes Jodkali. Die Kristallnatur der Jodkali-Würfel ist über allen Zweifel erhaben; eine Adsorption an innere Oberflächen, nach Art der hypothetischen Micellar-Oberflächen, kann hier nicht vorliegen, sonst hätte ja das Jodkalium denjenigen Bau, welcher angeblich das Wesen der Kolloïde ausmachen, und der die Ursache ihrer Quellbarkeit sein soll; folglich müßte das Jodkali ein echtes Kolloïd sein, während es in Wirklichkeit ein echtes Kristallid ist. Es bleibt also nur übrig, daß unter Umständen auch Kristalle für gewisse Stoffe diffundierbar sein können. Die Diffusion (sc. immer ein Lösungsvorgang) geht aber, und darin liegt ein wichtiger, wenngleich nur relativer Unterschied zwischen festen und flüssigen Körpern, in den ersteren vielmals langsamer vor sich als in den letzteren. Die Erscheinung der „festen Lösung“ ist somit nur dem Grade nach verschieden von der flüssigen Lösung, keine von beiden ist aber eine Oberflächenwirkung, eine Adsorption.

Das Vordringen von Farblösungen in Kolloïdmassen, wie besonders im Stärkekorn, geht nun so verhältnismäßig geschwind vor (wir sahen oben, S. 417, daß große Stärkekörner in etwa 15 Sekunden durchgefärbt sind, während gleichzeitig aus den daselbst dargelegten Gründen ein Durchströmen von Kanälchen ausgeschlossen ist), daß der Vorgang ganz entschieden näher zu den flüssigen als zu den festen Lösungen zu stellen ist. Vor allem zeigt aber die sehr rasch eintretende, völlig gleichmäßige Verteilung des Farbstoffes durch die ganze Masse des Kornes (eine Gleichmäßigkeit, die auch dann stets eintritt, wenn man mit so verdünnten Lösungen arbeitet, daß die Färbung eben noch deutlich wahrgenommen werden kann), daß das Wesen des Vorganges nicht in einer Absättigung chemischer Affinitäten bestehen kann; wäre das der Fall, dann müßte der Farbstoff schon von den äußersten Stärkemolekeln bis zur Sättigung gebunden werden, und für die innere Masse des Kornes könnte nichts mehr übrig bleiben. Der gleiche Einwand ergibt sich natürlich gegen die Adsorptions-Theorie.

Ist das Kolloïd eine Flüssigkeit, so leitet sich schon daraus mit Notwendigkeit ab, daß es auch Lösungsmittel sein kann: und ist es das, so wird es auch für allerhand lösliche Stoffe seine besonderen Lösungs-Koeffizienten haben dürfen, die, mit denen des Wassers verglichen, größer, gleich groß oder kleiner sein können. Das Kolloïd wird unter Umständen auch Substanzen lösen können, die in Wasser unlöslich sind; ich erinnere an die oben erwähnte Tatsache, daß das spritlösliche Indulin von Stärkekörnern gespeichert wird (vergl. S. 416).

Handelt es sich bei dem Zustandekommen der Färbungen um einen Lösungsvorgang, so ist zu erwarten, daß (sofern nicht etwa die Molekulargewichte in den beiden Lösungsmitteln verschieden groß sind, was aber für unsere Betrachtungen nicht Geltung hat) eine Verteilung nach konstantem Faktor stattfinden müßte: Gesetz der Verteilung zwischen zwei Lösungsmitteln. Dies ist nach den bisher vorliegenden Untersuchungen allerdings meist nicht der Fall, und dieser Umstand wird gegen die Lösungstheorie ins Feld geführt, so u. a. von G. C. Schmidt (I), der sich zur Adsorption bekennt, aber gerade den Beweis erbringt, daß die für die Adsorption ermittelten Verteilungszahlen auch nicht auf Vorgänge der Färbung passen. Beiläufig möchte ich bemerken, daß, nach den vorher von mir entwickelten Anschauungen, die von Schmidt in die Untersuchung hereingezogene wässrige Kieselsäure als echtes Kolloïd doch eher lösend als adsorbierend wirken muß; für die Adsorption wäre ein einigermaßen fester Aggregatzustand und eine poröse Struktur der Kieselsäure erforderlich: diese ist aber erstens halbflüssig-gallertig, zweitens nur in der Hypothese porös. Tatsächlich entsprechen die von Schmidt für kolloïdale Kieselsäure angegebenen Resultate auch recht gut dem Gesetz von der Lösungsverteilung.

Wenn nun für die Färbungsvorgänge die Adsorptionstheorie überhaupt nicht zur Erklärung herangezogen werden kann, weil sie zu Voraussetzungen zwingt, welche von vornherein mehr als unwahrscheinlich sind, wenn andererseits, wie oben für eine Anzahl von einzelnen Punkten gezeigt wurde, die chemische Theorie nicht überall ausreicht und auch die Lösungstheorie zu Widersprüchen führt, so können wir vielleicht auf den richtigen Weg zur Deutung der Tatsachen gelangen, wenn wir die letzteren beiden Anschauungen zu vereinigen suchen.

Jedem Lösungsvorgang liegen sicherlich chemische Beziehungen zwischen Lösungsmittel und gelöster Substanz zugrunde. Wenn wir auch von der vollen Erkenntnis hier noch weit entfernt sind, so darf man doch so viel mit Gewißheit sagen: ein gesetzmäßiger ursächlicher Zusammenhang ist da, „Zufälligkeiten“ sind die tausenderlei Löslichkeitsverhältnisse nicht, vielmehr in der Natur der jeweils beteiligten Substanzen unabänderlich gegeben.

Nun ist die Zahl der bekannten Farbstoffe ungeheuer groß, und auch innerhalb der zur Farbstoffaufnahme befähigten Substanzen herrscht eine nicht geringe Mannigfaltigkeit: die zahl-

losen verschiedenen Eiweißkörper mit ihren Derivaten, unter denen die Substanzen der Wolle und der Seide aus praktischen Gründen besonders interessieren; die verschiedensten Modifikationen der Cellulose; Stärkekörner und andere Bestandteile des Zellinhaltes¹⁾; anorganische Kolloide — fast möchte man es ein Wunder nennen, wenn sich alle diese Beziehungen nur aus einem Gesichtspunkte heraus erklären sollten. Es wird also recht wohl möglich sein, einen Teil der Färbungsvorgänge mehr als Lösung, einen andern Teil mehr als Verbindung aufzufassen; ja, wir haben wohl überall zunächst einen Lösungsvorgang vor uns, der in einer Reihe von Fällen durch chemische Verwandtschaft zu einer sehr intensiven Speicherung gesteigert werden kann. Durch solche Annahme einer Mitwirkung chemischer Anziehungskräfte könnte es sehr wohl verständlich werden, daß der Verteilungsfaktor nach vorliegenden Beobachtungen häufig nicht konstant ist, sondern bei schwächeren Konzentrationen verhältnismäßig zu groß erscheint. Ein gewisses Streben nach chemischer Sättigung müßte eben die Verteilung des Farbstoffes zwischen Wasser und Kolloid zu gunsten des letzteren verschieben, und zwar um so mehr, je weniger Farbstoff zur Verfügung steht, d. h. je verdünnter die Farblösung ist.

Die chemische Anziehung kann aber auch selbst wiederum ihrem Grade und ihrer Art nach verschieden sein, worauf in neuerer Zeit Binz und Schroeter (I, II) hingewiesen haben. Ihre Untersuchungen machen wahrscheinlich, daß in manchen Fällen zwischen Wolle bzw. Seide und Farbstoff tatsächlich eine Bindung wie zwischen Säure und Basis eintritt (wie auch Heidenhain a. a. O. aus seinen Reagenzglasversuchen mit Eiweißkörpern und Anilinfarben schließt); andere von Binz und Schroeter untersuchte Färbungen haben aber diesen Charakter nicht und ähneln mehr der Bildung eines Kondensationsproduktes zwischen der Substanz der Faser und dem Farbkörper, also mehr der Ester- als der Salzbildung.

Ist also für eine Reihe von Fällen die chemische Auffassung gerechtfertigt, so tritt doch wieder in einer Anzahl von Tatsachen das Prinzip der Lösungsverteilung mehr in den Vordergrund; so namentlich darin, daß selbst bei intensiver Anreicherung aus sehr verdünnter Lösung doch immer ein recht merklicher Teil des Farbstoffes in Wasser gelöst bleibt. Die allmählich abgestufte Fähigkeit der verschiedenen Farbstoffe, die Stärkekörner zu tingieren, spricht ebenfalls mehr für Lösungserscheinungen als für eine chemische Bindung. Auch möchte ich in diesem Zusammenhänge nochmals an die Beobachtungen erinnern, nach welchen die Amylumkörner, trotz ihrer Vorliebe für basische Farbstoffe, doch Pikrinsäure und Eosin rascher aufnehmen als das basische Methylenblau.

¹⁾ Eine Lösungsfärbung ist ohne Frage die mikrochemische Färbung von Öltropfen mit Sudan oder anderen Fettfarbstoffen, die makroskopisch in fetten Ölen löslich sind.

Um es noch einmal kurz zusammenzufassen: Verfehlt ist vor allem die Adsorptionstheorie, und zwar von Grund aus. Verfehlt wäre es aber auch, alle die verschiedenartigen Färbungserscheinungen nur aus einem Gesichtspunkt erklären zu wollen, sie alle als Lösungsvorgänge oder alle als chemische Reaktionen zu bezeichnen. Vielmehr bilden sie alle Übergänge von dem einen zu dem andern; der Farbstoff wird von dem zu färbenden Kolloïd in Lösung aufgenommen oder nicht; je nach der chemischen Natur beider kann in den Fällen der ersteren Art dann auch eine chemische Vereinigung eintreten. Zumal der Umstand, daß auch Neutralsalze in Stärkekörner eindringen, lehrt uns, daß Stoffe irgend welcher Art, also auch Farbstoffe nicht notwendig chemisch gebunden sein müssen, um in die Substanz der Amylumkörner Aufnahme zu finden; auch die sehr geringe chemische Aktivität der Stärkesubstanz gibt zu denken. Zum Schluß sei nochmals auf die färberischen Beobachtungen von Alfred Fischer hingewiesen, die für die untersuchten Fälle eine rein chemische Erklärung wenigstens teilweise ausschließen und auf eine mehr physikalische Auffassung — aber Lösung, nicht Adsorption! — hinweisen.

Die bekannte „Reaktion“ der Stärke auf Jod wird jetzt wohl allgemein als Lösung aufgefaßt; sie ist vom Verhalten der Amylumkörner zu Anilinfarben höchstens dem Grade nach verschieden.

Literatur.

- Binz, A. und Schroeter, G.: I. Über den Prozeß des Färbens. (Berichte der Deutsch. Chem. Gesellsch. **35**. 1902. S. 4225.)
 — —: II. (ebenda. **36**. 1903. S. 3008).
 Czapek, F.: Biochemie der Pflanzen. 1. Jena 1904.
 Fischer, Alfred: I. Fixierung, Färbung und Bau des Protoplasmas. Jena 1899.
 Fischer, Hugo: I. Über Inulin, sein Verhalten außerhalb und innerhalb der Pflanze, nebst Bemerkungen über den Bau der geschichteten Stärkekörner. (Ferd. Cohns Beitr. z. Biolog. d. Pfl. Breslau **8**. 1898. Heft. 1.)
 — —: II. Über Stärke und Inulin. (Beihefte z. Botan. Zentralbl. Jena **12**. 1902. Heft. 2.)
 Georgiewics, G. von: Über das Wesen des Färbungsprozesses. (Sitzungsber. d. Math.-phys. Klasse d. Akad. d. Wiss. zu Wien. **103**. Abt. II b. 1894. S. 589.)
 Heidenhain, M.: I. Über chemische Umsetzungen zwischen Eiweißkörpern und Anilinfarben. (Pflüg. Archiv f. d. ges. Physiol. **90**. 1902. S. 115.)
 Meyer, Arthur: I. Untersuchungen über die Stärkekörner. Jena 1895.
 Nernst, W.: I. Verteilung eines Stoffes zwischen zwei Lösungsmitteln und zwischen Lösungsmittel und Dampfraum. (Zeitschr. f. physik. Chem. **8**. 1891. S. 110.)
 — —: II. Theoretische Chemie. a. 2. Aufl. Stuttgart 1898. b. 4. Aufl. 1903.
 Schmidt, G. C.: I. Über Adsorption. (Z. f. physik. Chem. **15**. 1894. S. 56.)
 Tammann, G.: I. Schmelzen und Kristallisieren. Leipzig 1903.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Centralblatt](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [BH_18_1](#)

Autor(en)/Author(s): Fischer Hugo

Artikel/Article: [Über die kolloidale Natur der Stärkekörner und ihr Verhalten gegen Farbstoffe. Ein Beitrag zur Theorie der Färbung. 409-432](#)