

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

II

L. inw.

4606

ang Behm  
chemie





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000339987

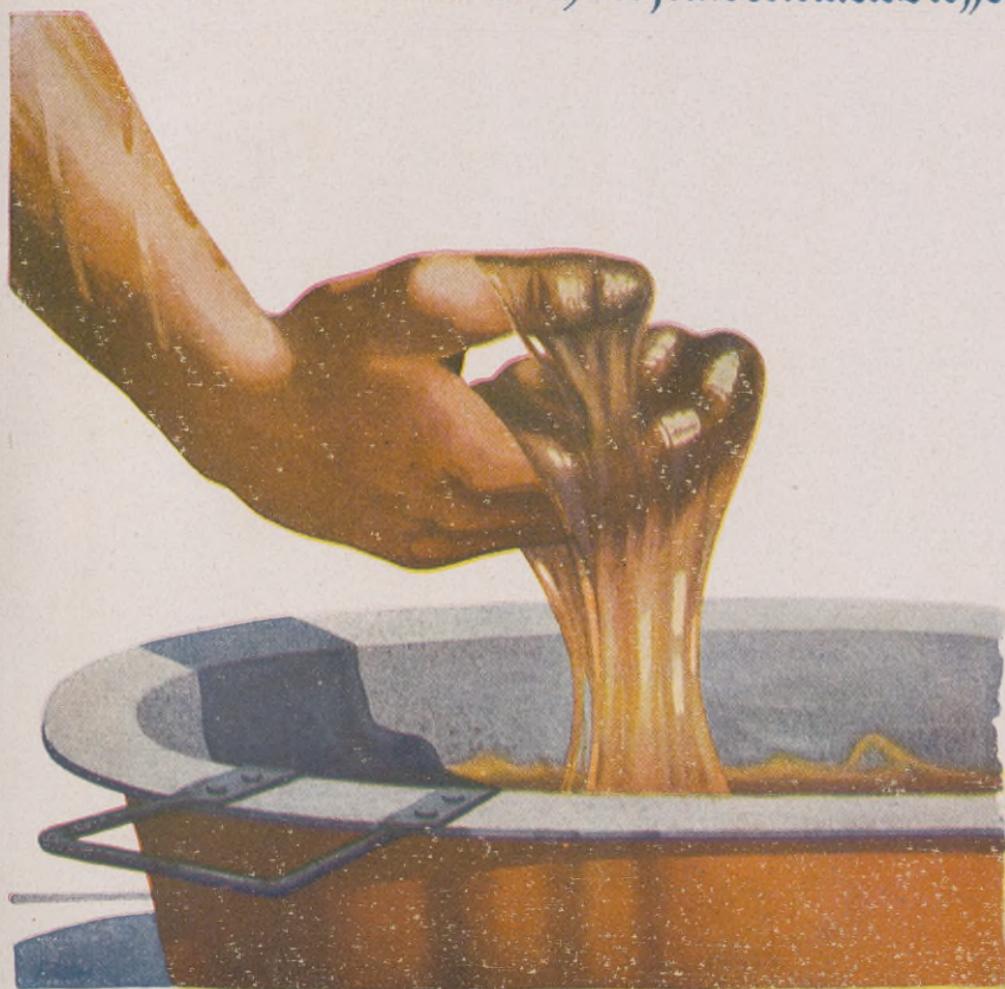




Hans Wolfgang Behm

# Kolloidchemie

Allgemeinverständliche Einführung  
in das Reich der feinverteilten Stoffe



Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde  
Franckh'sche Verlagshandlung · Stuttgart





## Kolloidchemie

**D**ie Gesellschaft Kosmos bezweckt, die Kenntnis der Naturwissenschaften und damit die Freude an der Natur und das Verständnis ihrer Erscheinungen in den weitesten Kreisen unseres Volkes zu verbreiten. — Dieses Ziel sucht die Gesellschaft durch Verbreitung guter naturwissenschaftlicher Literatur zu erreichen im

## **Kosmos, Handweiser für Naturfreunde**

Jährlich 12 Hefte mit 4 Buchbeilagen

Diese Buchbeilagen sind, von ersten Verfassern geschrieben, im guten Sinne gemeinverständliche Werke naturwissenschaftlichen Inhalts. Vorläufig sind für das Vereinsjahr 1925 festgelegt (Reihenfolge und Änderungen auch im Text vorbehalten):

**Dr. Rudolf Lämmel, Sozialphysik**

**Dr. K. Floericke, Wundertiere des Meeres**

**R. Henseling, Mars. Seine Rätsel u. seine Geschichte**

**H. W. Behm, Kolloidchemie**

Jedes Bändchen reich illustriert.

Diese Veröffentlichungen sind durch alle Buchhandlungen zu beziehen; daselbst werden Beitritts erklärungen zum **Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde**, entgegengenommen. Auch die früher erschienenen Jahrgänge sind noch erhältlich.

# Kolloidchemie

Allgemeinverständliche Einführung  
in das Reich der feinverteilten Stoffe

Von

Hans Wolfgang Behm

Mit 37 Abbildungen zumeist nach  
Originalentwürfen des Verfassers  
gezeichnet von Martin Böhm  
und einem farbigen Umschlagbild



Stuttgart

Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde  
Geschäftsstelle: Franckh'sche Verlagshandlung

Alle Rechte, besonders das Übersetzungsrecht, vorbehalten

Gesetzliche Formel für den Rechtsschutz  
in den Vereinigten Staaten von Amerika:

Copyright 1925  
by Franckh'sche Verlagshandlung,  
Stuttgart  
Printed in Germany



II 4606

## Geleitwort

In das erhabenste Sammelgebiet neuzeitlicher Naturforschung soll der Leser eingeführt werden. Kolloidchemie muß heute jedermann aufhorchen lassen. Eine Revolution bedeutsamer Kulturwertungen lauert allenthalben dahinter. Ebenso unübersehbar wie wundertief in kommender Auswirkung. Das Lebendige läßt den Pulsschlag seines Wesens begreifen. Technisches Vermögen richtet allorten die Grundmauern zu Neubauten auf. Und die wir alle nach Formung eines praktischen Weltbildes streben, dürfen einen fast verrosteten Anker lichten. Was vorgetragen wird, ist auch beim Wesentlichsten in notwendig erzwungene Kürze gedrängt. Nur das voraussetzungslos Einfachste konnte schlechterdings durchgehend in den Vordergrund treten. Mit dieserweise dargebotenen elementaren Grundlagen dürfte dem weitaus größeren Teil aller Leser vornehmlich gedient sein und dürfte dieser oder jener mit dem Stoffe schon etwas vertrautere Leser entschuldbares Verständnis für solche Darstellung aufbringen. Was Wenige wissen, soll der größere Teil erst nachdenklich erlernen. Dann möchte der Leser das Gedankliche zum schlichten Erlebnis gestalten. So wie es uns selbst in jenen Anfängen erging, da wir durch besondere Filter erstmals die reizvollsten Trennungswunder einer scheinbar echten Lösung prüften. Schließlich denken wir, daß auch bescheidenste Anregung genügt, den Willen zum Weitertasten ernstlich reifen zu lassen.

Im Spätherbst 1925

Hans Wolfgang Behm

Auf wenigen Blättern in das Wunderreich der Kolloide überschauend einzuführen? Der ahnungslose Leser steht den Zweifeln und inneren Hemmungen fern, die uns bewegten, um die Ausführung eines solchen Versuches gedeihen und nachträglich gerechtfertigt erscheinen zu lassen.

Berichtet doch der treffliche Kolloidforscher Wolfgang Ostwald einmal über jene häufige Erscheinung, daß Redeschlachten über kolloidchemische Dinge deshalb kein Ende fänden, weil jeder Redner eine andere Vorstellung von dem hat, was eigentlich ein Kolloid ist. Wenig ermutigend mag das klingen. Doch es verbirgt sich weniger das grundsätzlich Wesentliche hinter diesem Ausspruch, mag auch im Kampf der Lehrmeinungen manches unwillkürlich unklar und verdunkelt erscheinen. Sehr wohl bleibt der größeren Allgemeinheit heute schon genug zu sagen offen.

Durch ständig neue Grenzsetzungen und Wertepprägungen versuchen wir Menschen den Ablauf eines bestimmten Geschehens etappenweise zu gliedern. Nur so vermag sich die an Zahl ständig wachsende Menschheit in sich zu behaupten und für menschliche Begriffe zu immer lichterem Höhen emporzuranken. Gerade die Welt der Kolloide zeigt es sonderlich deutlich auf. Durch ihre Entdeckung wurde unser jüngeres naturforschendes Zeitalter ungeheuerlich bereichert. Auch keinem Zweig der Naturforschung und der Medizin, der Industrie und Technik können kolloidchemische Erkenntnisse mehr vorenthalten bleiben. Millionen wissen es heute noch nicht. Dennoch tragen all diese Millionen das größte kolloide Wunder in sich selbst. Wäre dem nicht so, sie würden auch keine Stunde ihr Eigendasein stofflich und folglich auch geistig bestreiten können. Und was wir auch essen und trinken mögen, womit wir uns bekleiden und worauf wir uns betten, ob wir braten, kochen, färben, waschen oder gerben, ob wir unser Bildnis vom Photographen freudebringend nach Hause tragen, ob wir in das wohlige Blau des Himmels, die dunkle Nacht des Bodens spähen oder die Glühbirne des Schreibtisches zur Lichtflut schalten —, allüberall lauert dahinter das kolloide Wunder,

das seiner Entschleierung harrt. Und haben wir es erst im Maße gegenwärtig gegebener Erkenntnisse entschleiert, der entferntere Leser würde wiederum nicht Kunde davon erhalten, sobald die Briefmarke, der Briefumschlag, der Druck und das Druckpapier, die großen Vermittler des Gedankenaustausches, nicht selbst etwas mit dem kolloiden Zustand der Stoffe zu tun hätten.

Da scheint es überhaupt nichts mehr zu geben, was nicht irgendwie mit Kolloiden zusammenhinge? Ist es wirklich so, daß wir bis in die jüngste Neuzeit hinein den Wald vor lauter Bäumen nicht sahen? Allerdings, kann die Bestätigung nur lauten. Eine große Entdeckung besagt ja auch nichts weiter als uranfänglich Gegebenes in menschliche, wissenschaftlich umschriebene Begriffswertungen aufzulösen und allenfalls praktisch auszunützen. Längst haben Industrie und Technik mit Kolloiden gearbeitet, ohne daß sie es nur wußten. Ist doch beispielsweise jeder Papierfabrikant ein Kolloidverbraucher und Kolloidherzeuger größten Stils, denn seine Rohstoffe und seine Fertigwaren sind Kolloide oder stehen zum mindesten solchen erheblich nahe. Oder wenn die alten Ägypter zum Erhalt eines gleichmäßig feinen Tons ihrer Ziegel der Tonmasse tanninhaltige Flüssigkeiten einverleibten, so waren sie unbewußt schon ebensolche Kolloidchemiker wie jene Fabrikanten, die heute Ziegel brennen oder Papier erzeugen, ohne auch gerade mit kolloidchemischen Kenntnissen vertraut zu sein. Wer sich indessen solcher Erkenntnisse bemächtigt, wird wiederum jenen den Rang ablaufen, die allzu säumig bleiben oder es schon geblieben sind.

Wir sprachen soeben vom kolloiden Zustand der Stoffe. Wohlverstanden gipfelt gerade darin das Eigentümliche der Kolloidchemie. Und wenn wir ein alters her geübtes Mittel zur Erzielung eines möglichst fein verteilten Stoffgemenges erwähnten, so wurzelt hauptsächlich in jenem bestimmten Zerteilungsgrad der kolloide Zustand selbst.

Denken wir die verschiedensten Stoffe vor uns ausgebreitet, so kann jeder dieser Stoffe, ohne eine Änderung seiner chemischen Beschaffenheit hierbei zu erleiden, in den verschiedensten Zerteilungsgraden in Erscheinung treten.

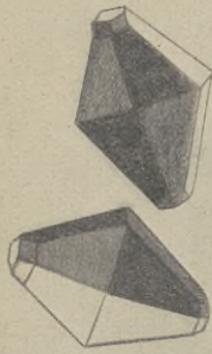
Jedermann kennt, um ein Beispiel aufzuführen, den Schwefel. Wo solcher Schwefel in der Nähe erloschener oder tätiger Vulkane vorherrschend natürlich rein auftritt, erweist er sich aus verhältnismäßig groben und großen Kristallen von Zentimeterlänge zusammengesetzt. Beim technisch gewonnenen Stangenschwefel tritt eine schon

weiter fortgeschrittene Zerteilung der einzelnen Kristalle zutage. Beim gelbpulvrigen Niederschlag von Schwefeldämpfen, den Schwefelblumen, sind die Teilchen schon so klein, daß sie das Auge des Menschen nur noch durch das Mikroskop oder den Kleinseher erfassen kann. Bei Schwefel in Wasser oder Paraffinöl als Lösungsmittel sind die Einzelteilchen schon nicht mehr mikroskopisch sichtbar. Man spricht von kolloidem Schwefel oder, besser gesagt, vom kolloiden Zustand des Schwefels. Wählen wir Benzol als Lösungsmittel, so haben die Teilchen eine abermalige Größenabnahme erfahren, oder, was dasselbe besagt, die Zerteilung hat zugenommen. Bei verfeinerter optischer Versuchsanstellung, worüber wir noch näheres erfahren werden, lassen die winzigen Einzelteilchen zum mindesten ihr Vorhandensein noch nachweisen. Bringen wir schließlich Schwefel in Schwefelkohlenstoff, die bekannte farblose Flüssigkeit, so ist der kolloide Zustand des Schwefels bereits überschritten. Auch mit keinem optischen Mittel lassen sich Schwefelteilchen mehr nachweisen (vgl. Abb. 1 auf S. 9). (Für diese und weitere Abbildungen sei bemerkt, daß zum Verständnis der sich abwickelnden Vorgänge auch alle die mikroskopische Sichtbarkeitsgrenze überschreitenden Teilchen zeichnerisch dargestellt sind). Wir sagen jetzt, die Flüssigkeit ist optisch leer und rein, ein Lichtstrahl tritt unzerstreut hindurch, der Schwefel sei vollkommen gelöst, Lösungsmittel und gelöste Teilchen bilden ein unauflösbar Ganzes. Wir sprechen von einer in sich gleichartigen oder homogenen Lösung, deren Gleichartigkeit bei guter Durchmischung jedoch nur wegen der Kleinheit der Moleküle (den kleinsten mechanisch unteilbaren Teilchen eines Körpers, von *molecula* = kleinste Masse) und der Grobheit unserer Beobachtungsmittel besteht. Denn chemisch-physikalische Überlegungen zwingen uns, die Teilbarkeit der Einzelteilchen, die Teilbarkeit des Stoffes oder der Materie überhaupt in Wirklichkeit geradezu unbegrenzt anzunehmen. Wäre dem nicht so, wir würden nicht den Duft der Rose, die berauschte Süße der Lindenblüte empfinden können, die uns durch die Fliehkraft von Billionen feinsten Teilchen zugeführt werden, oder es würde uns unverständlich bleiben, daß im Verlaufe von Jahrtausenden der fallende Tropfen den harten Fels aushöhlt.

Schon unser Schwefelbeispiel allein führt zu einer außerordentlich wichtigen Erkenntnis, daß nämlich der kolloide Zustand ein allgemein möglicher Zustand der Materie oder des Stoffes ist.

Auch dieser Zustand ist wie alles wandelbar. Wohl wird dieser

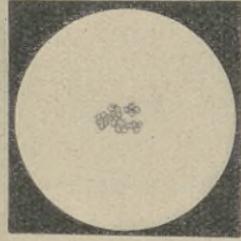
# Verteilungsgrade des Schwefels (S.)



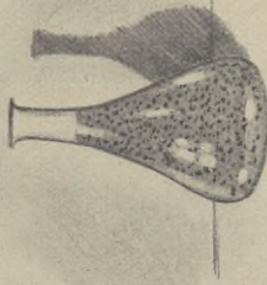
Natürliche S-Kristalle  
Grobe Stücke



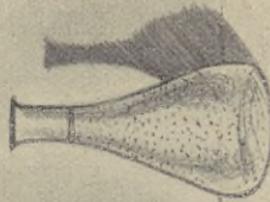
Stängenschwefel.  
Einzelleichen knapp sichtbar.



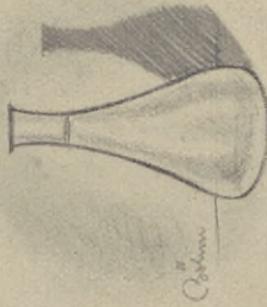
S-Blumen.  
Pulverleichen mikrosk. sichtbar.



Koll-S. i. wässr. Lösungsmittel.  
Milchig-trübe mikrosk. unsichtbar



Koll-S. in Benzol.  
gelblich fast klar



S. in S-Kohlensäure  
Echte Lösung

Zustand wesentlich bestimmt durch die Größe der Teilchen, die einem andern Stoff, dem Zerteilungsmittel, eingelagert sind. Aber dieser Zustand richtet sich wiederum jeweils nach der Natur der Teilchen oder der des Lösungsmittels. Das sahen wir ganz deutlich beim Schwefel, sobald wir Wasser oder Benzol als Zerteilungsmittel wählten und der kolloide Zerteilungsgrad sich in sich verschieden gestaltete, Schwefelkohlenstoff wiederum den kolloiden Zustand ganz beseitigte. Tannin z. B. oder Seifen würden wohl im Wasser, nicht aber im Alkohol als Zerteilungsmittel kolloide Eigenschaften annehmen. Umgekehrt lösen sich Erdalkalisalze in Wasser in normaler Weise und können in Methylnalkohol unter entsprechenden Verhältnissen kolloid gelöst werden. Es scheint, wie Weimarn einmal sagte, daß bei passender Wahl des Lösungsmittels unter geeigneten Bedingungen jeder Stoff in kolloide Lösung gebracht werden kann. So können Kohlenstoff und Phosphor, Kalium oder Natrium, Quecksilber, Gold oder Platin, Kobalt- oder Kupfersulfid, Phosphor- oder Kieselsäure, bestimmte Salze, Karamel oder Indigo und tausend weitere Stoffe mehr, bald in kolloidem, bald in einem Zustand feinerer Zerteilung auftreten.

Für andere Stoffe wieder erscheint der kolloide Zustand unter natürlichen Verhältnissen das Gegebenste zu sein. Wir denken hierbei an bestimmte Hydroxyde (durch Sauerstoff „verbrannte“ oder oxydierte und durch Wasser angereicherte Metalle), vor allem an die Kolloidzustände der lebendigen Substanz, der Eiweißkörper oder des wunderreichen Bildungstoffes Protoplasma, neben Gelatine, Kautschuk, Leim oder Harzen. Insbesondere die Kolloide der lebendigen Substanz, bezeichnend Bio- oder Lebenskolloide benannt, zeichnen sich durch innigere Beziehungen zum Lösungsmittel aus und noch bewegt sich die Forschung hier recht eigentlich erst in den Anfängen ihres Erkennens. Bekannt ist von solchen Stoffen wiederum ihr ungemein verwickelter chemischer Aufbau, der die Wissenschaft laufend in Atem hält, um in die letzten menschenmöglich erkennenden Geheimnisse ihres Werdens und Wesens einzudringen. Offenbar darf solch verwickelte chemische Zusammensetzung eines Stoffes seine Kolloidnatur von vornherein als wahrscheinlich erscheinen lassen; und umgekehrt würde bei einem erkanntermaßen den kolloiden Zustand bevorzugenden Stoff auf einen chemisch vielseitigen Aufbau zu schließen sein. Schon aber ein verhältnismäßig einfacher Laboratoriumsversuch, das Eingießen von Wasser in flüssige Luft, das den kolloiden Zustand des Wassers — eine denkbar einfache chemische

Verbindung — zur Folge hat, belehrt uns, das soeben Gesagte nicht willkürlich zu verallgemeinern.

Verschiedene Fragen drängen sich jetzt auf. Woher der Name „Kolloid“, nachdem der kolloide Zustand durch einen bestimmten Zerteilungsgrad von Teilchen in einem Zerteilungs- oder Lösungsmittel gedeutet worden ist? Da die Kolloidchemie vorwiegend an flüssigen Zerteilungsmitteln oder, allgemeiner gesagt, an bestimmten Lösungsverhältnissen ihre hauptsächlichsten Erkenntnisse zeitigte, so bleibt es statthaft, statt Verteilungsmittel von Fall zu Fall auch Lösungsmittel zu sagen.

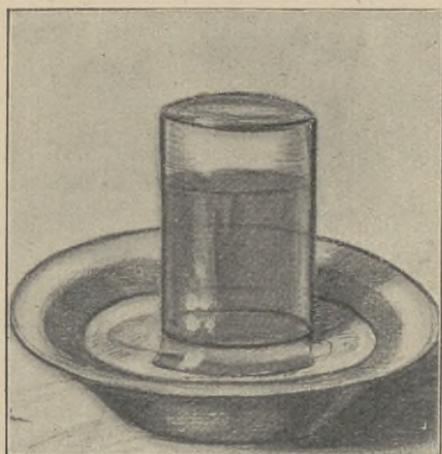
Eine weitere Frage: Wieso die Möglichkeit, Teilchen nachzuweisen, die selbst mikroskopisch nicht mehr wahrnehmbar sind? Liegen dieser bestimmten Größenauszeichnung der Teilchen besondere Verhältnisse zugrunde?

Wir erinnern uns zunächst eines Vorganges, der sich abspielt, sobald wir einen festen Stoff in einer geeigneten Flüssigkeit sich verteilen lassen. Lösen wir ein Stück Zucker in einem Glase Wasser auf, so verschwindet der Zucker allmählich. Das Wasser reißt gewissermaßen von der Oberfläche des Zuckers so lange kleinste Teilchen los und zieht dieselben so weit in das Innere der Flüssigkeit hinein, bis ein Gleichgewichtszustand eintritt, der von der Natur des Lösungsmittels und des gelösten Stoffes abhängig ist. Die Teilchen stehen in der Lösung insgesamt gleichweit voneinander ab, bzw. ihre Sammlung oder Konzentration ist an allen Stellen der Flüssigkeit gleich geworden. Die Teilchen zeigten also den Trieb, sich ganz gleichmäßig in dem zur Verfügung stehenden Flüssigkeitsraume auszubreiten oder zu diffundieren. Billionen Zuckermoleküle schweben gleichmäßig verteilt im Wasser. Wir haben einen molekular gelösten Stoff in einem Lösungsmittel vor uns; eine molekulare Lösung, wobei die Zerteilung bis zu den Molekülen fortgeschritten ist. Das gleiche war beim Schwefel im Schwefelkohlenstoff der Fall. Auch hier war das Endergebnis eine in sich gleichartige (homogene) wie gleichwohl molekulare Lösung.

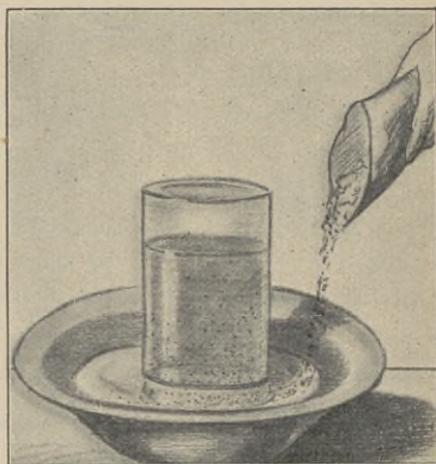
Fügen wir statt des Zuckers dem Wasser eine wäßrige blaue Lösung von Kurfervitriol zu, so tritt auch hier allmählich ein ähnlicher Konzentrationsausgleich ein. Wasser und Kupfervitriollösung sind beide in der Gesamtflüssigkeit gleichmäßig verteilt, ähnlich wie zwei Gase im selben Raume sich schließlich vollständig gleichmäßig ineinander mischen. Bringt man nun die Zuckertlösung zum verdampfen, so schlägt sich der Zucker zu Kristallen nieder, jenen bekannten

Naturprodukten, die von ebenen, sich unter bestimmten Winkeln schneidenden Flächen begrenzt sind. Man sagt deshalb, der Zucker sei ein Kristalloid im Gegensatz zum Leim etwa, der als Kolloid durch mangelndes Kristallisationsvermögen ausgezeichnet ist.

Wir experimentieren noch ein wenig weiter. Im Hinblick auf unsere Versuchsgegenstände und unsere Versuchsanstellung sind wir recht bescheiden. Wir wählen das, was jeder Haushalt zur Verfügung hat. Zwei Schüsseln, gefüllt mit reinem Wasser, zwei Einnmachgläser, etwas Kleister, etwas Salz und zwei Stückchen Pergamentpapier. Das erste Einnmachglas füllen wir etwa drei Viertel mit einer Lösung von Kochsalz in Wasser. Das zweite Einnmachglas



a



b

Abb. 2.

a Aus der Salzlösung des Einnmachglases streben Salzteilchen durch das Pergament hindurch in das Wasser der Schüssel. Das Wasser schmeckt salzig.

b Aus der Kleisterlösung des Einnmachglases tritt nichts durch das Pergament hindurch in das Wasser der Schüssel. Salzen wir jedoch das Wasser, so tritt Salz in die Kleisterlösung ein.

ebenfalls drei Viertel mit einer Kleisterlösung. Beide Gläser verschließen wir gut dichtend mit Pergamentpapier. Beide Gläser stülpen wir dann umgekehrt in die Schüsseln, so daß der Pergamentverschluß vollkommen in das Wasser taucht. Bald schmeckt das Wasser jener Schüssel, in der die Salzlösung abgedichtet taucht, ebenfalls salzig. Umgekehrt ist im Wasser jener Schüssel, darin die Kleisterlösung taucht, keine Spur von Kleister nachzuweisen. Salzen wir jedoch das Wasser dieser Schüssel, so schmeckt nach einiger Zeit unsere Kleisterlösung salzig (Abb. 2).

Ergebnis der Versuche in jedem Falle: Salzteilchen vermögen das Pergamentpapier zu durchwandern, Kleisterteilchen nicht.

Wie das Salz verhielten sich auch Zucker oder Soda. Und Salz und Soda würden ebenso wie der oben beschriebene Zucker kristallisieren. Salz, Zucker und Soda sind insgesamt bezeichnende Beispiele für Kristalloide. Ihre gelösten Teilchen sind offenbar so klein, daß sie die Poren des Pergamentpapiers glatt durchlaufen können. Pergamentpapier ist wie Schweinsblase, Wursthaut, Fischblase oder Kollodiumhaut eine für Kristalloide voll durchlässige (permeable) Membran. Umgekehrt wie beim Salz sind offenbar beim Kleister die Teilchen zu groß, um die Poren einer voll durchlässigen Membran durchwandern zu können. Ähnlich dem Kleister verhalten sich auch Leim, Gelatine, Gummi, Harz usw. Und gleich dem Leim fehlt auch dem Gummi oder der Gelatine das Kristallisationsvermögen. Es sind ihrerseits wieder bezeichnende Beispiele für Kolloide.

Das Hindurchgehen oder die Diffusion fein zerteilter Körperchen bzw. von gelösten Stoffen durch entsprechende Häute oder Membranen bezeichnet man als Dialyse. Die Membran selbst würde etwa einer dünnen Gallertschicht gleichzusetzen sein. Das bestätigt folgender Versuch: Wir füllen zwei Reagenzgläschen zu unterst mit einer verdünnten Gelatinegallerte an. Gießen wir über die Gelatinegallerte des ersten Gläschens eine fertige Lösung von Kongorot, so dringt nichts in die Gallerte ein. Die durchsichtige Kongorotlösung, deren Verhalten man ohne weiteres nicht voraussagen konnte, erweist sich als kolloide Lösung, deren Teilchen nicht dialysieren, da sie scharf an der Gelatine haltmachen. Gießen wir dagegen über die Gelatinegallerte des zweiten Gläschens eine blauklare Lösung von Kupfersulfat, so ist nach einer Weile ein ansehnlicher Teil in die Gallerte eingedrungen. Die Teilchen der Kupfersulfatlösung vermögen zu dialysieren. Sie sind außerordentlich klein, sind Moleküle. Die Kupfersulfatlösung ist deshalb eine ausgesprochene molekulare Lösung (vgl. Abb. 3).

Ein bezeichnendes Beispiel für Stoffe, die diffundieren und solche, die es nicht vermögen, liefert ein wei-

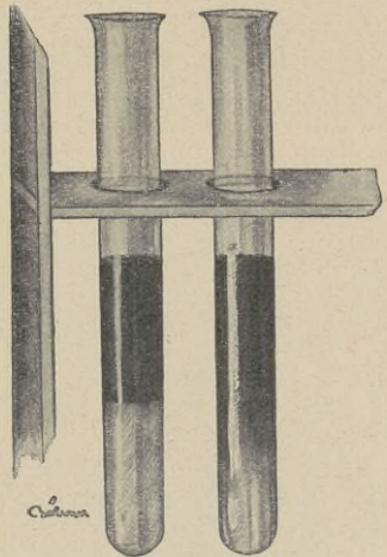


Abb. 3. Die Kongorotlösung bleibt vor der Gelatinegrenze stehen (links). Die Kupfersulfatlösung dringt in die Gelatine ein (rechts).

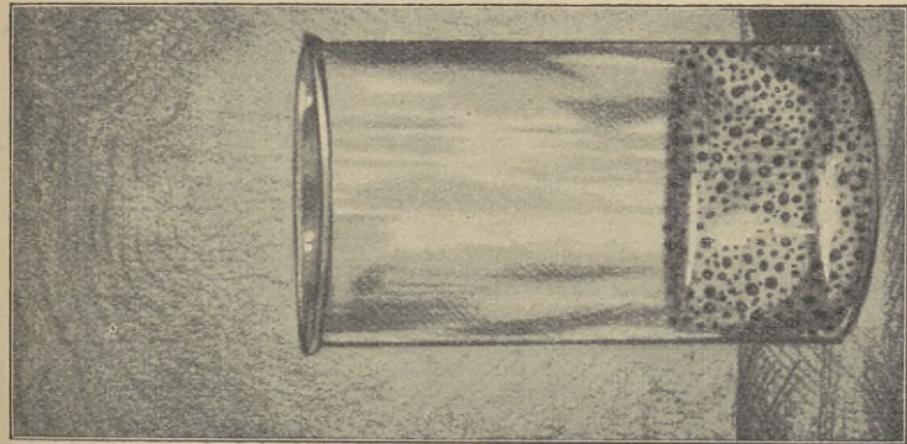
terer Versuch. In einem beliebigen Glase sind gelöste Kolloid- und Kristalloidsubstanzen untereinander vermischt verteilt, also einesteils etwa Zucker und Salz, andernteils Gelatine, Kleister oder Leim. Wir lassen nun vorsichtig Wasser über das Gemenge strömen. Wir vermögen dann bald festzustellen, daß die Kristalloide (Zucker, Salz) sich bis in die obersten Wasserschichten ausgebreitet haben, während die Kolloide merklich zurückgeblieben sind. Eine Probe Wasser aus der obersten Schicht schmeckt salzig oder süß (vgl. Abb. 4 a, b, c).



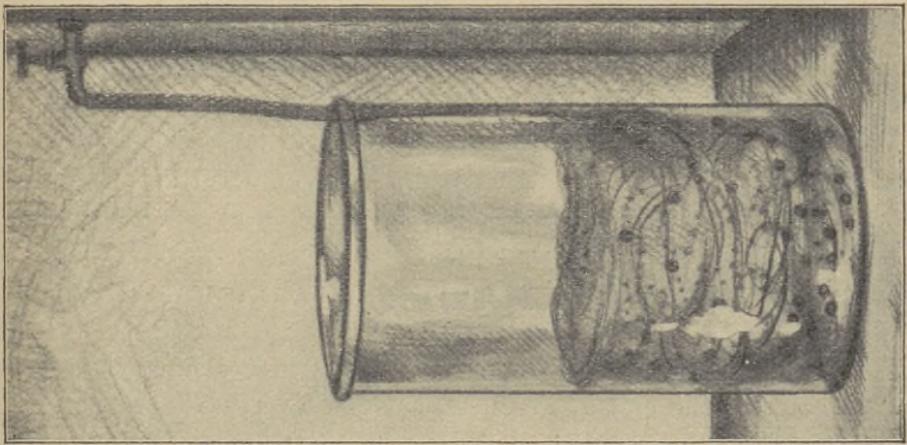
Beobachtungen über verminderte Kristallisationsfähigkeit von bestimmten vordem gelösten Stoffen und besondere Eigentümlichkeiten bei Diffusionsversuchen kennzeichnen den Beginn einer wissenschaftlichen Kolloidchemie überhaupt, der bis etwa in die Mitte des letzten Jahrhunderts zurückreicht.

Bereits damals war es dem Italiener Francesco Selmi klar geworden, daß es Stoffe gibt, die weder groben Aufschwemmungen noch echten Lösungen zuzuteilen sind. Scheinlösungen benannte er das Zwischenreich recht treffend, das in Wirklichkeit unser Reich der Kolloide ist. Er erkannte auch, daß salzartige Verbindungen imstande sind, den scheinbar gelösten Körper unlöslich niederzuschlagen, daß ein schein gelöster Körper während seiner Ausfällung eine bestimmte Menge des Fällungsmittels zu Boden reißt, daß es gelingt, durch Auswaschen einen Niederschlag zu reinigen und von neuem eine Scheinlösung daraus entstehen zu lassen.

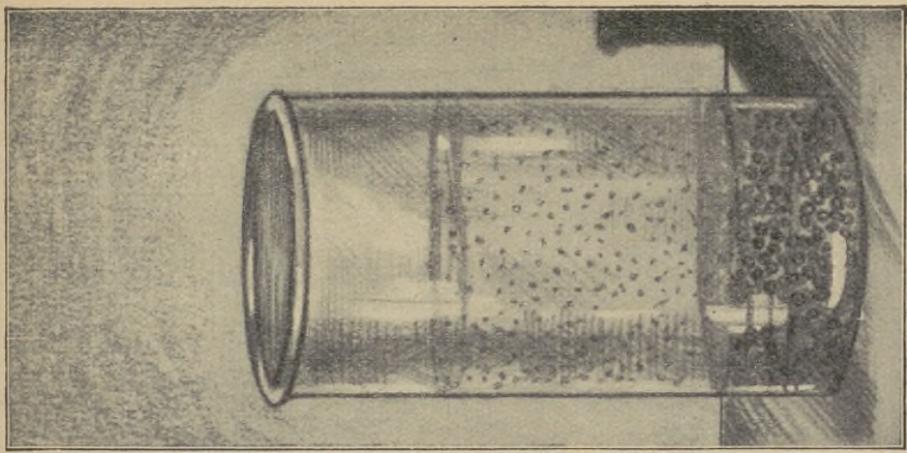
Zweifelsohne war Selmi ein geschickter Beobachter und Experimentator zugleich. Er spricht vom Kartoffelmehl, der Weizenstärke, von albuminhaltigen Substanzen, die man nicht wie Salze im Wasser gelöst betrachten dürfe. Sie befänden sich in einem Zustand höchster Aufquellung, da ihre Zellen oder Kügelchen aufgeweitet und von der Flüssigkeit durchdrungen seien. Sie glichen in gewisser Beziehung grob aufgeschwemmten Körpern und unterschieden sich von diesen hauptsächlich dadurch, daß sie der Flüssigkeit die Transparenz nicht rauben, also dem Auge völlig klar erscheinen. Selmi selbst hatte noch nicht entdeckt, daß auch kolloide Lösungen eine allenthalben feine Trübung zeigen. Wir werden bald erfahren, wie gerade der Nachweis einer solchen Trübung zur weiteren Entdeckung einer optischen Apparatur allerersten Ranges führte, die geradezu entscheidend für die neuere Kolloidchemie werden sollte.



a



b



c

Abb. 4. a Ein Gemisch von gelösten Kolloid- und Kolloidsubstanzen wird b mit Wasser überschichtet, dann werden c die Kristalloide (Zucker, Salz) sich gleichmäßig ausbreiten (diffundieren), während die Kolloide (Gelatine, Leim) zurückbleiben.

Neben Selmi und auch Faradan, der kolloides Gold eingehend untersucht hatte, ragt Thomas Graham bedeutsam hervor. Da er im Leim ein Paradebeispiel eines diffusions- und kristallisationslosen Stoffes erblickte, bezeichnete er im Gegensatz zur Kristalloiden (wie Zucker oder Salz) solche Stoffe, die dem Leim (griech. kollá) ähnliche Eigenschaften zeigten, als Kolloide.

Die schon mehrfach erwähnte Scheidung zwischen Kristalloiden und Kolloiden ist jedoch keinesfalls scharf begrenzt. Scheiden sich auch Kolloidteilchen im allgemeinen aus ihren Lösungen in ungeformten Mäßen aus, so sind doch einige durch Kolloidnatur ausgezeichnete Stoffe bekannt geworden, die Kristallisationsvermögen zeigen. Es sind aber wiederum gerade solche Kolloide, wie z. B. der Rinderblutfarbstoff, die bereits einen äußerst hohen, den Kristalloiden genäherten Zerteilungsgrad aufweisen. Immerhin sind solche Teilchen (etwa als Riesenmoleküle) noch zu groß, um Pergamentmembranen zu durchlaufen. Es wird uns aber hier schon eine Erscheinung klar, der wir in mancherlei Hinsicht in der Folge immer wieder begegnen und die nur von neuem die Willkürlichkeit aller menschlichen Grenzsetzungen bestätigt: Im Kleinen wie im Großen der Natur ist ein ewiger Kreis alles Geschehens geschlossen. Wir begreifen die Unendlichkeit als die Summe aller Endlichkeiten und können alle Naturerscheinungen nur übergangsmäßig in sich verkettet in ihrer Wirkksamkeit verstehen.

Doch wir wollten den sinnigen Graham in ehrender Erinnerung behalten, denn er war der erste, der eine Übersicht über wesentliche Unterschiede gewann, die zwei verschiedene, wenn auch durch Übergänge verbundene, Klassen von Lösungen zeigen. Damals, als er Diffusionsvorgänge bei Alkalien, Säuren, Salzen, Alkohol, Eiweiß, Gummi, Dextrin, Leim usw. studierte und den ersten Apparat (Dialysator) schuf, der, wie wir uns jetzt schon ohne weiteres denken können, gestattet, Kristalloide aus einer Lösung zu entfernen und kolloid gelöste Substanzen zurückzubehalten. Ein mit Haut oder Pergament überspannter Einsatz enthält das Lösungsgemisch, d. h. die zu dialysierende Lösung. Beim Gebrauch schwimmt dieser Einsatz in einem Gefäß, das Wasser, in besonderen Fällen auch Alkohol, Benzol und andere Flüssigkeiten enthalten kann (vgl. Abb. 5). Es braucht wohl kaum mehr gesagt zu werden, daß dann eine Wanderung (Diffusion) von Kristalloiden durch die Membran hindurch in die untere Flüssigkeit erfolgt.

Haben wir keinen derartigen Dialysator zur Stelle, genügt auch

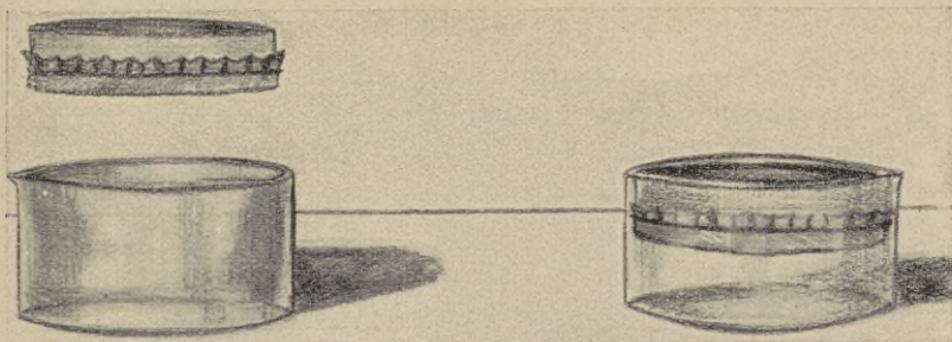


Abb. 5. Dialysator nach Th. Graham.

ein höchst einfacher Behelf. Wir bedecken einen beliebigen Wasserbehälter mit Pergamentpapier. Wir drücken mit der Hand das Pergament auf die Wasseroberfläche. In die hierdurch gebildete Vertiefung schütten wir die zu dialysierende Lösung (vgl. Abb. 6). Selbstverständlich sind heutzutage verschiedene Dialysatoren bei entsprechend verbesserten Verfahren in Gebrauch.



Abb. 6. Einfachstes Verfahren einer Dialyse.

So z. B. bei Verwendung fließenden Wassers im Außengefäß, wodurch sich eine beschleunigte Arbeit erzielen läßt (Abb. 7) oder bei dem Gebrauch eines mit Falten versehenen Pergamentbeutels, der eine besonders große Dialysierfläche gewährt.

Die Tragweite seiner bedeutenden Entdeckungen konnte Graham selbst noch nicht voraussehen. Vor allem fehlten ihm noch die notwendigen Hilfsmittel, um zu solch hervorragenden Folgerungen zu gelangen, wie das heute die Kolloidchemie vermag. In der Folge nahm dann die sich äußerst fruchtbar entwickelnde Kohlenstoffchemie alle Kräfte Jahrzehnte hindurch für sich in Anspruch, und für einen

weiteren Ausbau der Forschungen im Sinne Grahams blieb wenig Zeit. Man versprach sich auch nicht viel Erfolg davon. So bleibt es Tatsache, daß erst in der Morgenröte unseres Jahrhunderts durch Behm, Kolloidchemie.

zwei besonders wichtige Entdeckungen, Ultramikroskopie und Ultrafiltration benannt, der brachliegenden Kolloidchemie wieder zu ihrem Rechte verholfen wurde. Vordem ungeahnte Erkenntnisse und Ausblicke knüpfen sich an diese beiden technisch-wissenschaftlichen Errungenschaften. Neuland war geboten, das zu bestellen

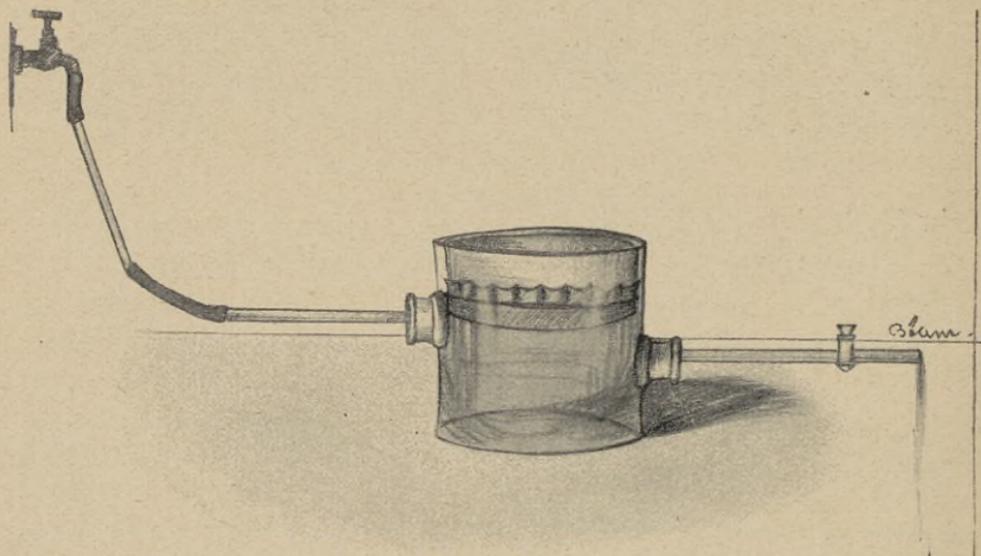


Abb. 7. Dialysator mit fließendem Wasser.

außerordentlich lockte. Und gleich dem Siedler, der nur unter größter Mühewaltung die schlechteste Scholle zur Fruchtbarkeit wandelt, hatte auch der eigentlich erst werdende Kolloidforscher mühsam genug sein Neuland auszuwerten.



Als Einlagerung von Teilchen bestimmter Größe in einem Zerlegungsmittel würde der kolloide Zustand zunächst roh zu umschreiben sein.

Der Wunsch wird immer brennender, nun etwas Genaueres über die tatsächlichen oder absoluten Größen solcher Teilchen zu erfahren. Nichts leichter als das, wird mancher denken. Das Mikroskop, das gestattet, dem bloßen Auge unsichtbar bleibende Teilchen dem Auge sichtbar zuzuführen und die wirkliche Größe solcher Teilchen genauer errechnen zu lassen, ist ja schon längst erfunden. Eine Welt des Entzückens ob tausend seltsamster Eigenheiten einer Kleinwelt bot sich in ständig neuen Überraschungen dem Auge dar, und

wer noch niemals durch ein Mikroskop geschaut, ist um ein gut Teil der erhabensten Wunder dieser Welt betrogen.

Wohl ist es der optischen Technik gelungen, mit bestausgeklügeltsten Mitteln die Leistungsfähigkeit des Mikroskops hervorragend zu steigern. Es gibt jedoch eine natürliche Grenze dieser Leistungsfähigkeit, die einfach nicht mehr zu überschreiten ist. Aus dem, was über die Natur des Lichts, insbesondere seine Wellenlänge, ermittelt werden konnte, ergibt sich der Schluß, daß Teilchen, die kleiner als die halbe Wellenlänge des für unser Auge wirksamen Lichtes sind, der Wahrnehmbarkeit entzogen sind. Eine zu kleine Lichtwellenlänge versperrt uns das Eindringen in die Welt besonders kleiner Teilchen, deren Ausdehnung unter die Grenze von etwa  $0,2 \mu$  geht ( $1 \mu$  oder Mikron =  $\frac{1}{1000}$  mm;  $1 \mu\mu$  oder Doppelmikron =  $\frac{1}{1000000}$  mm). Bei mikro- oder kleinphotographischer Versuchsanwendung lassen sich allenfalls noch Teilchen von etwa  $0,1 \mu$  sichtbar machen, da das Bromsilber der photographischen Platte für kürzerwelliges, ultraviolettes Licht (ultra = jenseits, darüber hinaus) noch empfindlich ist. Man präge sich diesen Grenzwert von  $0,1 \mu$  oder  $\frac{1}{10000}$  mm einstweilen ein.

Betrachten wir nun eine kolloide Lösung auch durch das schärfste aller gewöhnlichen Mikroskope, so ist keine Spur von irgendwelchen Teilchen zu entdecken. Die Lösung erscheint uns völlig gleichartig oder homogen. Sind Teilchen vorhanden, so sind sie mutmaßlich derart klein, daß sie der auflösenden Wirkung selbst des Mikroskops entzogen sind. Also könnte die kolloide Lösung einer molekularen oder echten Lösung (einer molekularen Zerteilung eines Stoffes in einem anderen) wesensverwandt sein. Ferner laufen kolloide Lösungen gleich den echten Lösungen durch gewöhnliche Papierfilter ohne Rückstand im Filter glatt hindurch und wiederum erscheinen kolloide Lösungen gleich den echten bei mitunter prächtigen Farbtönen dem Auge völlig klar. Könnte deshalb ein Unterschied zwischen kolloiden und echten Lösungen vielleicht in der verschiedenartigen Natur der Moleküle begründet sein?

Schon seit langem ist bekannt, daß ein Grundstoff, z. B. Phosphor in jeweils allotroper oder andersgestaltiger Abänderung bei entsprechender Beeinflussung erscheinen kann. Setzt man gewöhnlichen, gelblichweiß und wachsähnlich erscheinenden Phosphor längere Zeit dem Sonnenlichte aus, so entsteht roter Phosphor, der sich wiederum durch anhaltendes Erhitzen auf 360 Grad im zugeschmolzenen Röhrchen zu schwarzem, auch metallisch benannten, Phosphor wandeln läßt. Man verbindet damit die Vorstellung, daß sich die Anzahl der

Atome (Urteilchen eines chemisch zerlegten Moleküls) in den Phosphormolekülen von Fall zu Fall geändert hat. In ähnlich allotrop-physikalischen Erscheinungen könnte schließlich das ganze Geheimnis einer bald im kolloiden, bald im kristalloiden Zustand sich äußern-der Zerteilung stecken. Der älteren Kolloidforschung lag dieser Gedanke greifbar nahe.

Mikroskop, Papierfilter, Klarheit der Lösung, alles scheint dafür zu sprechen, daß kolloide und echte Lösungen nah verwandt sind. Immerhin erfuhren wir aber auch, daß Kolloidteilchen im Gegensatz zu Kristalloidteilchen durch Häute nicht hindurchzuwandern vermögen. Der Dialysator betrügt uns nicht. Man saß auch aus noch mancherlei Gründen mehr in einer wahrhaft unangenehmen Klemme und fast schien der fröhliche Kampf gelehrsamere Meinungen in einem Spiel mit Worten zu versacken. Doch eine gangbare Wegspur wurde dennoch gefunden, die einen solchen Zwiespalt zunächst wohl stärken, dann aber um so gründlicher beseitigen sollte.

Blieb eine kolloide Lösung auch unter dem gewöhnlichen Mikroskop betrachtet augenscheinlich klar, so ließ sich doch bei bestimmter Versuchsanstellung (Betrachtung gegen schwarzen Hintergrund) eine Trübung der Lösung merklich feststellen. Eine Trübung, wie sie naturgemäß bei allen groben Zerteilungen infolge der Größe der Teilchen ohne weiteres auffallend deutlich zutage tritt, sei es eine Tröpfchenaufschwemmung oder Emulsion (z. B. Fetttröpfchen in der Milch) oder eine Körnchenaufschwemmung oder Suspension (z. B. Tierkohlepartikelchen in Wasser). Trübungsercheinungen bei kolloiden Lösungen würden also diese wieder mehr in die Nachbarschaft solcher grober Zerteilungen rücken. Um des Rätsels Lösung näher zu kommen, erinnern wir uns einleitend eines schon duzendmal geschauten alltäglichen Wunders. Geht ein schmales Bündel von Sonnenstrahlen durch ein verhältnismäßig dunkles Zimmer, so leuchten ungezählte Staubteilchen in der scheinbar reinen Luft auf, die infolge ihrer Kleinheit vordem unsichtbar geblieben waren. Wir folgern, daß das Sonnenlicht an den Körperchen eine Beugung erfährt, und daß die scheinbare Größe der Körperchen durch die entstehenden Beugungsscheiben wesentlich vergrößert wird. Starke einseitige Beleuchtung läßt uns somit Teilchen erkennen, die bei allgemein ausgedehnter, zerstreuter oder diffuser Beleuchtung nicht wahrnehmbar sind (Abb. 8).

Anschließend an solche Beobachtungen hatte schon Faraday vor rund siebenzig Jahren Versuche angestellt, die bei Goldlösungen

den Zustand einer gleichartig echten Lösung in Zweifel stellten. Er spricht u. a. von amethystfarbenen, rubinroten und anscheinend klaren Goldlösungen. Noch heute können solche Lösungen aus dem Nachlaß Faradays im Museum der Royal-Society in London besichtigt werden. Ostwald, der vor kurzem erst dort weilte, besagt uns, daß sich unter mehreren Originalzubereitungen eine sonderlich violettrosa gefärbte Lösung befindet, die dem Auge völlig klar er-



Abb. 8. Sonnenstäubchen, treten in Erscheinung infolge Beugung des Sonnenlichtes an winzigen Körperchen.

scheint, keinen merklichen Niederschlag enthält, trotz des verstrichenen Zeitraums von mehreren Jahrzehnten und der anscheinend sehr unvollkommenen Beschaffenheit des Glases der zur Aufbewahrung dienenden Flaschen.

Schon Faraday selbst bestätigt uns den scheinbar echten Lösungscharakter seiner Zubereitungen, indem er aber gleichwohl folgendes hierzu bemerkt: „Indessen sind sie (gemeint sind Lösungen schlechthin) doch niemals solche, indem sie tatsächlich nicht gelöstes, sondern nur zerteiltes Gold enthalten. Die Partikelchen können leicht nachgewiesen werden dadurch, daß man die Strahlen der Sonne oder einer Lampe mit einer Linse zu einem Kegel sammelt und den dem Fokus (Brennpunkt) zunächst gelegenen Teil in die Flüssigkeit schickt;

der Kegel wird sichtbar, und obschon die erleuchteten Teilchen wegen ihrer Kleinheit nicht unterschieden werden können, so hat doch das von ihnen reflektierte Licht einen goldenen Farbcharakter und man kann erkennen, wie überaus zahlreich sie sind in Anbetracht der kleinen Menge Gold, die vorhanden ist. In manchen Lösungen, die so verdünnt sind, daß sie weder durch ihre Farbe noch sonst durch ihr Aussehen die Gegenwart von Gold anzeigen, kann das Vorhandensein der zerteilten festen Partikelchen durch die Sonne auf dem angegebenen Weg dargetan werden.“ In jedem Falle zeigt sich also bei einseitiger starker Beleuchtung ein Aufleuchten von Teilchen, wobei es sich aber bei dem gewöhnlichen, dem Auge sichtbaren Lichtkegel zunächst nicht um ein Aufleuchten einzelner scharf begrenzter Teilchen, sondern um ein nicht näher unterscheidbares Aufleuchten des ganzen

von dem Lichtstrahl getroffenen Anteils des zerteilten Gebildes handelt. Dem Forscher Tyndall zu Ehren, der solche Erscheinungen in der Folge näher studierte, spricht man heute bezeichnenderweise vom Tyndallkegel.

Schon bei gewöhnlichem destilliertem Wasser, das ja niemals ganz rein ist, läßt sich solch ein Kegel schwachleuchtend erzeugen. Er wird aber bei gleichbleibender Lichtquelle viel deutlicher, flammt gewissermaßen grünlichweiß auf, sobald wir beispielsweise eine Silberlösung, die uns als kolloide Lösung gekennzeichnet wurde, dem Wasser zugießen (Abb. 9). Lassen wir Sonnenlicht durch ein kleineres Loch der Dunkelkammer gehen und halten abwechselnd

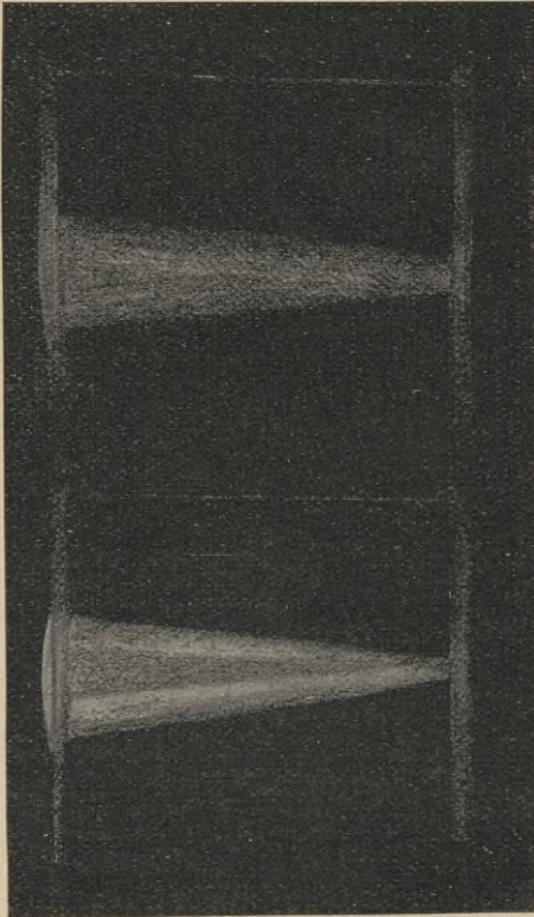


Abb. 9. Tyndallkegel, oben im dest. Wasser, unten in einer kolloiden Silberlösung.

Reagenzgläschen mit verschiedenen Flüssigkeiten hinein, so gelingt in der Regel schon dieser einfache Versuch, um sich von dem Schauspiel der Tyndallerscheinung zu überzeugen. Können wir eine Trübung kurz umrissen als eine seitliche Brechung, Spiegelung und Abbeugung eines Lichtstrahls bezeichnen, der infolge eines verschiedenen Brechungswertes des getrennten Anteils und des Lösungsmittels eine Lösung nicht ungehindert durchlaufen kann, so ist auch ein Tyndallkegel nichts anderes als das „bei scharf einseitiger Beleuchtung besonders deutlich auftretende Phänomen der diffusen Beugungstrübung“. Diffus, d. h. ausgedehnt, weitschweifig oder durchdrungen deshalb, weil uns der gewöhnliche Tyndallkegel wie gesagt in einer Lösung feineren Zerteilungsgrades die durch Beugungsscheibchen vergrößerten Körperchen ja noch nicht getrennt aufzeigt.



Es müßte also ein Apparat zu bauen sein, der gestattet, einen aufgelösten Tyndallkegel aufzuzeigen.

Bei entsprechender Vergrößerung könnten dem Auge die Beugungsscheibchen getrennt erscheinen. Diese Voraussetzung leuchtet ohne weiteres ein. Im gewöhnlichen Mikroskop würden wir aber die Beugungsscheibchen nicht gewahr werden, da wir dort einen Gegenstand im durchfallenden Licht betrachten und die Strahlen der Beleuchtung geradeswegs ins Auge dringen. Irgendwie vorhandene Beugungsscheibchen müssen in der Lichtflut untergehen, zudem das Auge bei allzu starker Lichtquelle geblendet würde. Direktes Licht muß dem Auge des Beschauers ferngehalten werden. Das Gesichtsfeld muß dunkel bleiben und allenfalls könnten dann die Beugungsscheibchen als leuchtende Sternchen sichtbar werden. Eine starke Lichtquelle muß also einen zu untersuchenden Gegenstand senkrecht zur Beobachtungsrichtung beleuchten, so daß kein Strahl der Beleuchtung geradeswegs das Auge trifft.

Sigmondh war vor knapp zwanzig Jahren der erste, der einen entsprechenden mikroskopischen Tyndallkegel schuf. Von der Decke des Zimmers einfallende Sonnenstrahlen ließ er durch einen Spiegel wagrecht reflektieren und durch eine Linse sammeln, auf deren Brennpunkt das Mikroskop bei schwacher Vergrößerung eingestellt war. Das Glas mit der zu untersuchenden Flüssigkeit stand

auf dem Objektisch des Mikroskops, so daß der Brennpunkt der Linse mitten in der Flüssigkeit lag (Abb. 10). Und es gelang Zsigmondy in der Tat, in bestimmten Lösungen bei solcher Versuchsanwendung Teilchen in Gestalt ihrer Beugungsscheibchen nachzuweisen. In Lösungen, die wohlverstanden alle uns bislang bekannt gewordenen merkwürdigen Eigenschaften zeigten, die bald für molekulare, bald für grobe Zerteilung sprachen. Kolloide Lösungen, um deren Hauptgeheimnis man sich Jahrzehnte vergeblich gestritten. Leuchtende Gebilde, unsere Beugungsscheibchen, hoben sich vom dunklen

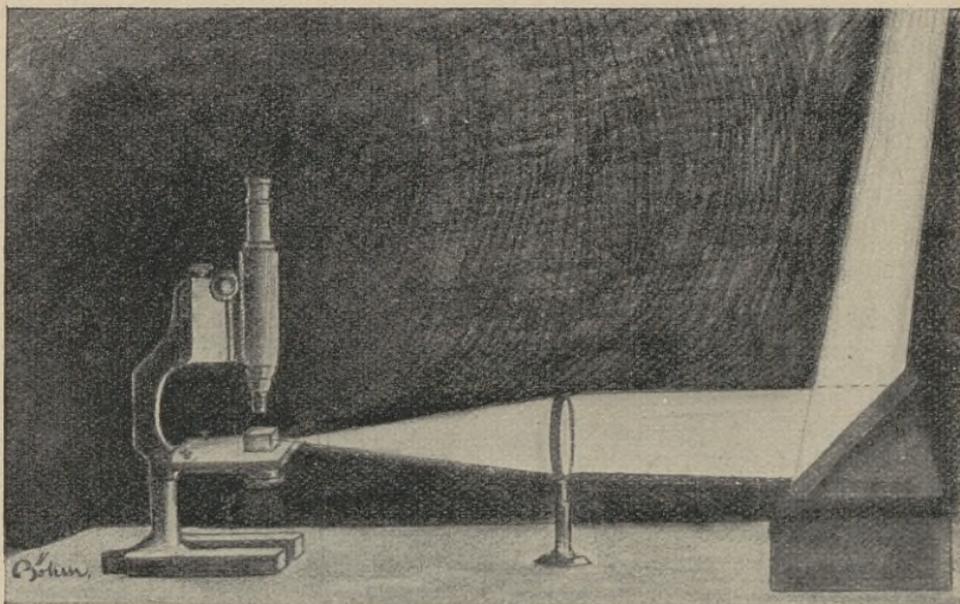


Abb. 10. Der Weg zum aufgelösten Tyndallkegel, dem Ultramikroskop.

Hintergrunde zu Tausenden deutlich ab und mußten dementsprechend weit genug voneinander entfernt sein. Das alles in einer Goldlösung, die dem bloßen Auge völlig klar erschien und die keine Spur von Stäubchen auch bei schärfster Vergrößerung unter dem gewöhnlichen Mikroskop erkennen ließ. Eine Überschlagsrechnung aus den Teilchenabständen und der vorhandenen Goldmenge ergab, daß diese Teilchen wesentlich kleiner sein mußten als solche von dem oben erwähnten Grenzwert  $0,1 \mu$ .

Das ist in knappsten Zügen die Entdeckungsgeschichte des ursprünglichsten Ultramikroskops, durch Hervorkehrung der Dunkelfeldbeleuchtung Teilchen hell auf dunklem Grunde in Erscheinung treten zu lassen (Abb. 11).

Insbesondere durch Siedentopf wurde das Verfahren der Ultramikroskopie außerordentlich gefördert, wurden die verschiedensten Systeme geschaffen, wobei es im wesentlichen immer darauf ankommt, direktes Licht dem Auge des Beschauers fernzuhalten. Formen des Ultramikroskops sind heute erreicht worden, die an Lichtstärke eine Reihe von Vorgängern übertreffen, so daß in ihnen noch Teilchen sichtbar gemacht werden können, die im ursprünglichen Ultramikroskop überhaupt unsichtbar blieben. Gedanklich bleibt eine weitere Steigerung ultramikroskopischer Leistungsfähigkeit unbegrenzt, da die Sichtbarkeit von der abgebeugten Lichtmenge abhängig ist. Das setzt schließlich eine Lichtquelle voraus, die noch eine höhere eigentümliche Stärke als die der Sonne hat.

Unsere Abbildung 12 gibt in zehntausendfacher linearer Vergrößerung einen anschaulichen Vergleich von Größenverhältnissen verschiedener Teilchen. Während das rote Blutkörperchen des Menschen, der Kugelspaltpilz und der Milchbrandbazillus mikroskopisch zu erfassen sind, kann da-

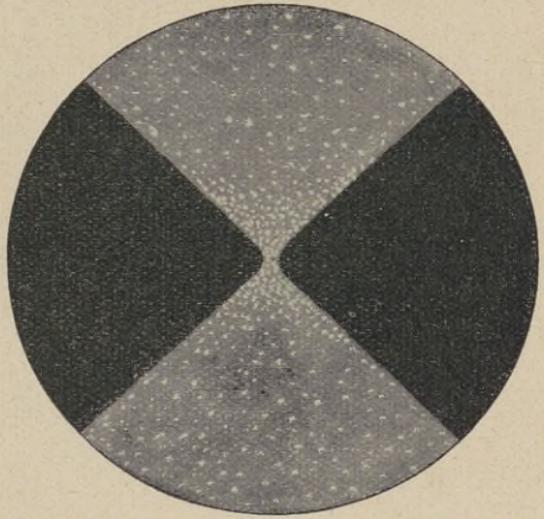


Abb. 11. Hell auf dunklerem Grunde sichtbar werdende Gebilde im Ultramikroskop.

gegen das winzige kolloide Goldteilchen nur durch das Ultramikroskop noch nachgewiesen werden. Rund um ein Zehnfaches hat es den mikroskopischen Grenzwert bereits überschritten, und fragen wir uns, wie weit die Auflösungskraft des Ultramikroskops schlechterdings reicht, so ergibt sich hier wiederum ein grober Grenzwert von etwa  $3 \mu\mu$ , der bei Berücksichtigung optisch verfeinerter kolloidchemischer Verfahren dem Werte von nur  $1 \mu\mu$  ziemlich genähert erscheint. Man bedenke, daß dieser Grenzwert bereits das Hundertfache des mikroskopischen Grenzwertes im äußersten Falle beträgt.

Nach bestimmten Verfahren, die uns hier nicht näher beschäftigen können, hat man Kolloidteilchen vom Durchmesser bis zu  $2-3 \mu\mu$  auch tatsächlich errechnen und gleichwohl deren Gewicht bestimmen können.

Sobald es sich um künstlich geschaffene, z. B. Gold- oder Silberkolloidlösungen handelt, woselbst alle gelösten Teilchen ultramikroskopisch sichtbar werden, läßt sich das durchschnittliche Gewicht jedes Teilchen beispielsweise durch Auszählung bestimmen. Enthält ein Liter Wasser als Lösungsmittel 1 g des zerteilten Stoffes, so enthält ein Kubikmillimeter  $\frac{1}{1000}$  Milligramm davon. Ist durch Zählung unter dem Ultramikroskop ermittelt worden, daß jeder Kubikmillimeter 1000 Teilchen enthält, so muß folglich jedes Teilchen 1 Millionstel Milligramm wiegen. Durch Einsetzen des eigentümlichen (spezifischen) Gewichtes und unter der Voraussetzung, daß jedes Teilchen eine Kugel bildet, können wir dann leicht auch seinen Durchmesser berechnen. Wir können aber auch mit relativen oder beziehentlichen Größen werten, indem wir das Molekulargewicht eines kolloid gelösten Teilchens ermitteln, das Gewicht, das angibt, wieviel mal schwerer ein Teilchen als ein Wasserstoffmolekül (= 2) ist.

Auf reizvoll verschlungenen Wegen und auf verschiedene Weise an ein und demselben Gegenstand ausgeprobt, hat sich die Forschung dieser Aufgabe schon mühsam genug gewidmet. Obwohl sich Werte um ein mitunter vieltausendfaches des zugrundeliegenden Molekulargewichts des Wasserstoffs ergaben, schien es angezeigt zu sein, in manchen Kolloidteilchen ein Molekül selbst, zum wenigsten ein Riesenmolekül, vor sich zu haben. Wir deuteten das schon beim kolloiden Rinderblutfarbstoff an. Doch ist beim heutigen Stand der Wissenschaft die Frage noch umstritten und neigt bei Berücksichtigung aller hier in Betracht kommenden Begleiterscheinungen dahin, Kolloidteilchen als Molekülgruppen, als Molekülhaufen allgemein zu deuten und eine Zerteilung bis zum Molekül den echten Lösungen vorzubehalten. Vergessen wir aber auch wiederum nicht, daß alle unsere Grenzsetzungen durch den jeweilig erreichten Stand unserer Forschungshilfsmittel bedingt sind, und daß heute noch klaffende Lücken, die eine Abgrenzung gewissermaßen erst ermöglichen, vielleicht morgen schon überbrückt sein können. Den ewigen Fluß der Dinge etappenweise zu erkennen, ist Aufgabe jeglicher Wissenschaft überhaupt und sie wird es bleiben, solange eine Menschheit auf diesem Planeten ihr Dasein in diesem Sinne aufsteigend vervollkommnet.

Was jetzt erzählt wird, rechtfertigt wohl am erhabensten diese Worte. Es soll uns kurz beschäftigen, bevor wir jenen ersten großen durch die Ultramikroskopie erzielten Gewinn verzeichnen, der den sattsam aufgezeigten Zwiespalt, ob kolloide Lösungen wesensverwandter den groben Aufschwemmungen oder den echten Lösungen

sind, grundlegend beseitigt. Und was hier wieder dunkel bleibt, soll uns die Ultrafiltration noch weiter klären helfen.

Jede Trübung ist stets dadurch bedingt, daß Teilchen auftref-

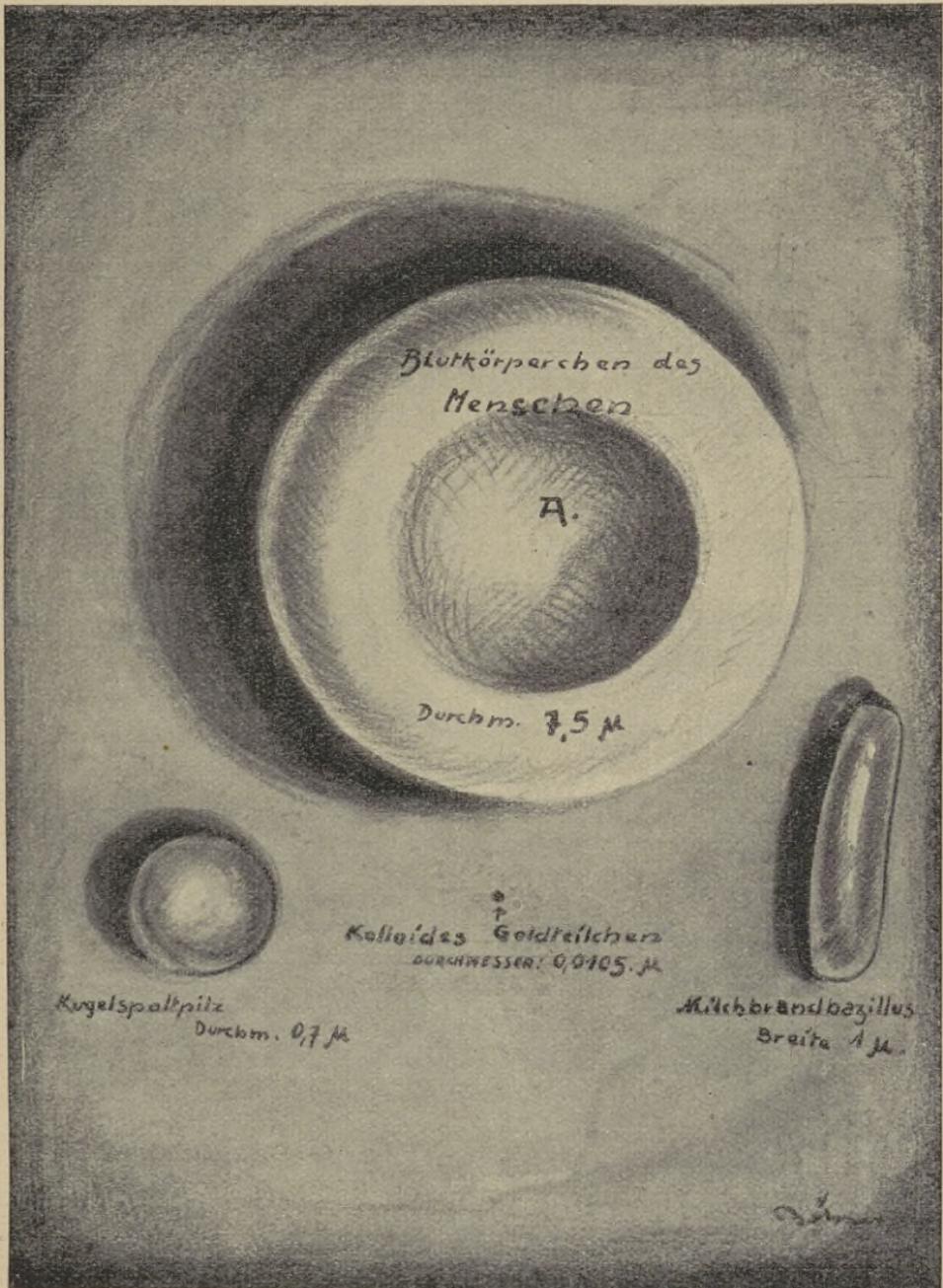
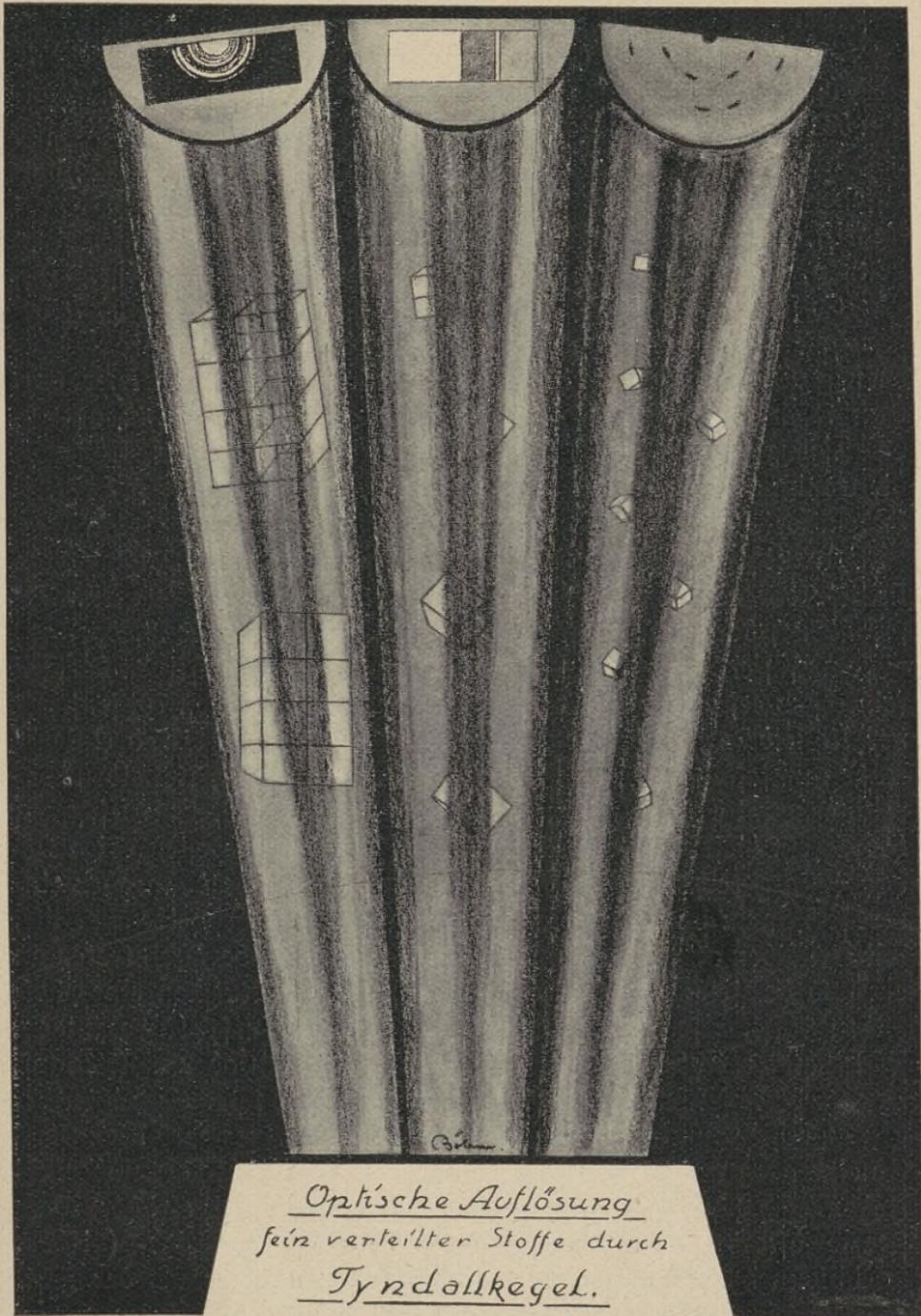


Abb. 12.

Größenverhältnisse nur durch optische Hilfsmittel wahrnehmbarer Teilchen.

fenden Lichtwellen ein Hindernis bereiten. Je kleiner das Teilchen ist, um so weniger stört es die größeren, um so mehr dagegen behindert es die kleineren Lichtwellen. Kolloide Teilchen beugen deshalb schon die kurzwelligen blauen und violetten Strahlen des gewöhnlich sichtbaren oder gemischten Lichtes ab. Der gewöhnliche Tyndallkegel (Abb. 13 auf S. 29 links) zeigt das Schauspiel dieser Beugungsstrübung auf. Hier ist das Einzelteilchen, wie erwähnt, ein Molekülhaufe (Abb. 13; links, dem Kegel eingezeichnet), der im mikroskopisch aufgelösten Tyndallkegel, dem Ultramikroskop, als Beugungs Scheibchen sichtbar wird (Abb. 13; links oben). Schreiten wir weiter zu den noch kurzwelligeren ultravioletten Strahlen, so werden diesen selbst schon Moleküle ein Hindernis bereiten. Es tritt vermutlich auch bei molekularen oder echten Lösungen, woselbst die Zerteilung zum mindesten bis zu den Molekülen (Abb. 13; Mitte, dem Kegel eingezeichnet) fortgeschritten ist, eine Molekulartrübung, hervorgerufen durch abgelenkte ultraviolette Strahlen, auf. Der ultraviolette Tyndallkegel (Abb. 13; Mitte) wäre nachzuweisen. Da führt z. B. die Aufnahme destillierten Wassers (Abb. 13; Mitte, oben links, weißes Rechteck) zu einem kräftigen photographischen Bild (Abb. 13; Mitte oben, stark dunkel getöntes Rechteck). Durch Einschaltung einer dicken Glasplatte wird das Bild viel schwächer (Abb. 13; Mitte, oben rechts, heller getöntes Rechteck), da bekanntlich solch eine Glasplatte gerade ultraviolette Strahlen stark verschluckt. So etwa würde uns auf photographischem Wege eine Molekulartrübung als ermittelt erscheinen.

Aber die Forschung ist unduldsam und geht noch einen Schritt weiter. Die Vermutung, daß Kristalle aus Atomen aufgebaut sind, daß diese Atome angesichts der äußeren Regelmäßigkeit der Kristalle im Kristall in regelmäßigen Abständen angeordnet sind (ein denkbar feinstes Gitter bilden), ist vor wenigen Jahren erst bestätigt worden. Beim Hindurchtritt von Röntgenstrahlen durch einen als Gitter wirkenden Kristall werden dieselben abgelenkt, ihre Wellennatur ist einwandfrei nachgewiesen und auch ihre Wellenlänge kann genauer, den 25millionsten Teil eines Millimeters betragend, berechnet werden. Bei entsprechender Versuchsanstellung zeigt uns die photographische Platte in Form regelmäßig herumliegender Fleckchen solche Beugungsbilder (Abb. 13; rechts oben). Was liegt näher als hier anzunehmen, daß wir eine ausgesprochene Atomtrübung vor uns haben, daß Atome (Abb. 13; rechts, dem Kegel eingezeichnet) die fabelhaft kurzen Wellenlängen der Röntgenstrahlen gestört haben,



Optische Auflösung  
fein verteilter Stoffe durch  
Tyndallkegel.

Abb. 13. (Erklärung nebenstehend.)

wobei jedes der Fleckchen auf der photographischen Platte einem verdichteten Kegel von Röntgenstrahlen, gewissermaßen einem Röntgen-Thndallkegel (Abb. 13; rechts) entsprechen würde, der je nach der Lage der Atome im Kristall in den verschiedenen Richtungen des Raumes verschiedene Stärke zeigt. Dem Kundigen breitet sich eine Welt ausgedehnter Forschungswege vor diesem äußerst roh umrissenen Beispiel aus. Es muß dem Leser genügen, wenigstens einen Begriff davon gewonnen zu haben, um dann sonderlich einsehen zu können, daß alles lückenlos im Gestaltwandel der Dinge ist.

Es soll erwähnt sein, daß geeignete Apparate gestatten, die bei zunehmendem Zerteilungsgrad abnehmende Stärke einer Trübung zu messen. Eine der Trübung nicht gleichartige, aber verwandte Erscheinung ist die auf Lichtbeugungsverhältnisse beruhende Opaleszenz (benannt nach dem schillernden Farbenspiel des Opals), die weniger bei groben und molekularen, um so mehr aber bei kolloiden Zerteilungen ausgeprägt ist.

Allenthalben ist der kolloide Zustand der Stoffe zugleich ein Mittler der erhabensten und prächtigsten Farbwirkungen. Im „Handbuch der Kolloidwissenschaft in Einzeldarstellungen“, das, auf viele umfassende Bände berechnet, gegenwärtig zu erscheinen beginnt (ein erstes erschöpfendes Orientierungswerk der jungen Wissenschaft der Kolloidchemie überhaupt), legt Wolfgang Ostwald einigermaßen umfassend dar, was über „Licht und Farbe in Kolloiden“ bereits erkannt ist oder noch umstritten vermutet wird. Ein Beschauen der Tafeln dieses Buches würde dem Leser zum mindesten obige Behauptung gerechtfertigt erscheinen lassen. Er müßte dann aber einmal selbst zum Praktiker werden, der, wenn auch bescheidenen Stils, mit Kolloiden arbeitet. Wie mit einem Zauberstab berührt, treten an ein und demselben Stoffe, wohlweislich noch im Rahmen eines kolloiden Systems selbst, die herrlichsten Farbenumschläge zutage. Es leuchtet rot oder orange, gelb oder grün, blau oder violett auf. Der Farbwechsel kann aber nicht planlos bedingt sein. Es zeigte sich, daß auch hier zum mindesten die Teilchengröße eines zerteilten Stoffes eine ganz wesentliche Rolle spielt. Durchaus nicht verwunderlich! Bekanntlich schwingen kurzwellige Lichtstrahlen bei gleicher Wegstrecke öfters (hohe Schwingungszahl) als langwellige (niedere Schwingungszahl), und eine Farbe ist nichts anderes als der sichtbare Ausdruck einer bestimmten Schwingungszahl. Unser Tageslicht ist gemischtes Licht, das erst beim Durchschreiten eines gläsernen Dreikants eine Entmischung (die bekannten Regen-

bogenfarben) erfährt, z. B. blaviolett (kurzwellig und hohe Schwingungszahl) oder orangerot (langwellig und niedere Schwingungszahl). Je feiner nun Teilchen sind, die ein Lichtstrahl trifft, um so mehr tritt infolge ihres behindernden Einflusses eine Verschluckung oder Absorption des kurzwelligen, um so weniger dagegen eine solche des langwelligen Anteils ein. Kolloides Gold in besonders feinem Zerteilungsgrad wird deshalb nach rot, solches von größerem Zerteilungsgrad nach blau hinneigen. Man spricht deshalb allgemein von einer „Farbe-Zerteilungsgradregel“. Diese besagt, daß bei wachsendem Zerteilungsgrad (Abnahme der Teilchengröße) in einer kolloiden Lösung sich der Hauptverschluckungsanteil (Absorptionsmaximum) nach der kürzeren Wellenlänge hin verschiebt. Selbstredend liegen auch hier die Dinge viel verwickelter, als es in ein paar Sätzen zum Ausdruck gebracht werden kann. Doch zur Krönung des Ganzen sei bemerkt, daß auch hier die Anschlußvermittlung nach links und nach rechts, nach grob und molekular zerteilt, nicht fehlt.



Überhaupt ist die Zahl jener Eigenschaften beträchtlich groß, die insgesamt solchen beiderseitigen Anschluß aufzeigen und ein bestimmtes chemisch-physikalisches Verhalten eines Stoffgemenges vom Zerteilungsgrad abhängig machen.

Das würde beispielsweise auch die elektrische Wanderung kolloider Teilchen (fremdwörtlich Kataphorese benannt) aufzeigen. Im allgemeinen ist die Wanderungsgeschwindigkeit kolloider Teilchen hierbei weniger beschleunigt als eine solche der Moleküle in einer echten Lösung. Der im Lösungsmittel zerteilte Stoff kann entweder positiv oder negativ elektrisch geladen sein. Dieser Ladungssinn eines zerteilten Stoffes kann je nach der Flüssigkeit, die wir als Lösungsmittel (z. B. Wasser oder Terpentinöl) wählen, verschieden sein. Durch geeigneten Zusatz zum Lösungsmittel kann endlich der zerteilte Stoff (z. B. Eiweiß) umgeladen werden. Ansäuerung des wäßrigen Lösungsmittels ladet hier positiv, Alkalizusatz zum Lösungsmittel negativ.

Noch von der Schule her weiß jedermann, was Elektroden sind. Durch zwei Drähte, die am Ende mit Platinplättchen (Elektroden) versehen sind und in eine leitend gemachte Flüssigkeit tauchen, schicken wir elektrischen Strom. Das positive Platinplättchen heißt Anode, das negative Kathode. Streben folglich bei Stromschluß Kol-

loidteilchen (z. B. Kieselsäure oder der Farbstoff Methylenblau) der negativen Kathode zu, so ist ihr Ladungssinn selbst positiv, streben sie (z. B. Gummigutt oder Indigo) dagegen der positiven Anode zu, so ist ihr Ladungssinn negativ. Leiten wir demzufolge durch einen unter dem Mikroskop befindlichen Tropfen kolloider Lösung, wie dies Abb. 14/1 zeigt, den elektrischen Strom und wandern dann die Kolloidteilchen der Anode zu, so ist ihr Ladungssinn negativ. Waren es in diesem Falle kolloide Harzteilchen, so wird diese Wanderungserscheinung lediglich dadurch offenbar, daß die Flüssigkeit der

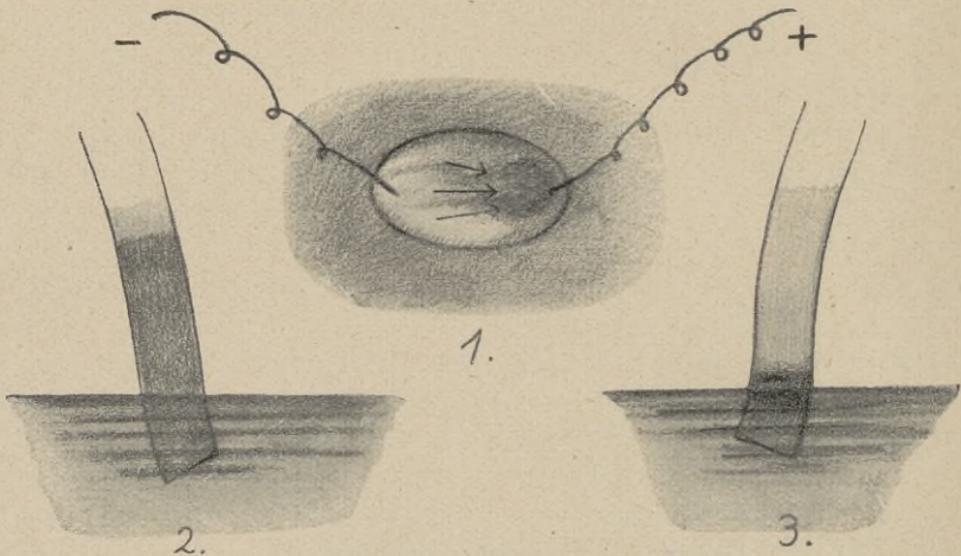


Abb. 14. Elektrische Wanderung von Kolloidteilchen.

Anode zu weißlich getrübt erscheint, während sie im Gebiet der Kathode völlig farblos wird. Tauchen wir je einen Streifen Filtrierpapier in zwei verschieden wirkende blaue Farbstofflösungen, so sind zwei Fälle möglich. Im ersten Fall (Abb. 14/2) wandern Kolloidteilchen nebst dem Lösungsmittel am Streifen empor (siehe die dunkle Tönung), das Lösungsmittel ist nur ganz wenig vorausgeilft. Im zweiten Falle (Abb. 14/3) wandert das Lösungsmittel allein am Streifen herauf und der zerteilte Stoff bleibt verdichtet etwas oberhalb der Lösungsoberfläche zurück. Unter der Voraussetzung, daß das Filtrierpapier in beiden Fällen offenbar selbst eine negativ elektrische Ladung angenommen hat, vermögen Kolloidteilchen gleichen Ladungssinnes ohne weiteres heraufzufließen, während Kolloidteilchen positiven Ladungssinnes vom Filterstreifen festgehalten werden.

Damit sei unser reizvoller Ausflug ins Reich der Übergangserrscheinungen und der damit verbundenen sonstigen Erkenntnisse beendet. Wir wenden unsere Aufmerksamkeit nochmals den durch das Ultramikroskop erhellten Dingen zusammenfassend zu.



Jede Lösung ist ein zerteiltes oder disperses (vom Lateinischen *dispergere* = zersplittern, verteilen) System oder kurzweg Dispersoid. Da der Zerteilungsgrad eine überaus wichtige Rolle spielt, wird die Kolloidchemie mancherseits auch als Dispersoidchemie bezeichnet. Der Zerteilungs-(Dispersitäts-)grad richtet sich nach der jeweiligen Größe der im Zerteilungs-(Dispersions-)mittel befindlichen Stoffteilchen (= disperse Phase).

Sind diese Stoffteilchen größer ( $>$ ) als  $0,1 \mu$  (die Grenzwerte sind uns ja bereits bekannt), so bezeichnet man sie als Mikronen, d. h. Teilchen, die mikroskopisch wahrnehmbar sind. Solche Mikronen sind immer grobdispersen Systemen zu eigen und sie sind entweder Tröpfchen oder feste Teilchen. Man spricht daher von Tröpfchenaufschwemmungen oder Emulsionen und von Körnchenaufschwemmungen oder Suspensionen. Bei einer sich selbst überlassenen Aufschwemmung sinkt der aufgeschwemmte Stoff allmählich zu Boden, er sedimentiert, d. h. er bildet einen Bodensatz oder Sediment. Man erinnere sich eines frisch angelegten Aquariums, darin das Wasser zunächst recht trübe erscheint, sich allmählich aber klärt, da alle Sandteilchen nach unten gesunken sind. Man denke auch an das großartige Beispiel der Meeresbodensätze, zu deren Bildung Billionen und aber Billionen von Kiesel skeletten oder Kalkschälchen von Einzellern zu Boden sinken mußten. Mikronen werden infolge ihrer Größe von den Poren eines Papierfilters zurückgehalten.

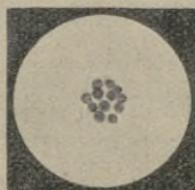
Schwankt die Größe der Stoffteilchen zwischen  $0,1 \mu$  und  $1 \mu\mu$ , so benennt man sie Ultramikronen oder Teilchen, die das Ultramikroskop in Form von Beugungsscheibchen, also nicht in ihrer wirklichen Gestalt, noch nachweist. Solche Ultramikronen beherrschen die kolloiddispersen Systeme und werden uns bald als Tröpfchenkolloide (Emulsoide) oder als Körnchenkolloide (Suspensioide) kund. Schon Ultramikronen wandern infolge ihrer Kleinheit durch Papierfilter hindurch. Ultramikronen diffundieren und dialysieren, wie wir schon hinlänglich erfahren, nicht oder kaum merklich nur.

Ist der Durchmesser der Stoffteilchen kleiner als  $1 \mu\mu$ , so heißen

## Grobe Zerteilung.



$> 0,1 \mu$



Suspension  
FEST IN FLÜSSIG



Mikronen · hält Papierfilter · mikroskopisch · Emulsion ·  
· zurück · wahrnehmbar · flüssig-in-flüssig

## Kolloide



$0,1 \mu - 1 \mu \mu$



Ultramikronen · <sup>nur</sup> Laufen durch ultramikroskopisch · Papierfilter · wahrnehmbar · Keine Diffusion  
und Dialyse

## Molekulare Zerteilung.



$< 1 \mu \mu$



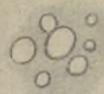
Amikronen · Laufen durch · optisch · Diffusion und  
· Papierfilter · unsichtbar · Dialyse

Die Milch als Polydispersoid.  
 (d.h. VERSCHIEDENE STOFFE VERSCHIEDENEN ZERTEILUNGSGRADES  
 IN GLEICHEN LÖSUNGSMITTEL :)



im Wasser (Lösungsmittel) der Milch sind:

Felltröpfchen.    Eiweißstoffe    Zucker    Salze



in grober Zerteilung (EMULSION ODER TROPFENAUFSCHEMMUNG)    in Koll.-Zerteilung (EMULSOID ODER TROPFENKOLLOID)    in molekularen u. feinerer Zerteilung (ECHTE LÖSUNG)



Mikronen.    Ultramikronen.    Amikronen.

→ ZUNEHMENDER ZERTEILUNGSGRAD.

sie Amikronen, die optisch geradeswegs nicht mehr wahrnehmbar sind. Amikronen sind die Teilchen einer echten Lösung, die infolge ihrer winzigen Beschaffenheit diffundieren und dialysieren.

Das alles gibt zusammenfassend anschaulich unsere Abb. 15 auf S. 34 wieder. Wir stellen also einen zunehmenden Zerteilungsgrad von den groben Aufschwemmungen bis zu den echten über die kolloiden Lösungen fest. Und wir mögen uns ergänzend dessen erinnern, was wir über Trübungen in diesem Zusammenhang bereits gesagt haben. Das schönste Beispiel eines solch zunehmenden Zerteilungsgrades zeigt uns die Milch auf, jenes stärkende Wundergetränk, das uns von der Wiege bis zum Grabe geleitet. In ein und demselben wäßrigen Lösungsmittel sind alle Zustandsarten trefflich illustriert, wie dies unsere Abb. 16 auf S. 35 ohne weitere Erklärung aufzeigt. Die Milch ist ein bezeichnendes Polndispersoid, d. h. sie enthält eine Vielheit zerteilter Stoffe im gleichen Lösungsmittel.

Die Vorstellung, daß im Zerteilungsmittel sämtliche Masseteilchen in innigster Berührung stehen, während der zerteilte Stoff selbst aus getrennten Teilchen besteht, läßt uns das Wesen eines zerteilten Systems am anschaulichsten begreifen. Das System heißt isokolloid (griechisch isos, gleich), sobald die chemische Zusammensetzung vom Zerteilungsmittel und zerteilten Stoff (z. B. Wasser = Eis) eine gleiche ist.

Die drei großen Klassen, in die wir zerteilte Systeme abzugrenzen geneigt sind, rechtfertigen sich mehr aus praktischen, denn aus natürlich bedingten Gründen. Wie alle drei Klassen übergangsmäßig verkettet sind, so kann, wie bereits aufgezeigt wurde, auch der kolloide Zustand wechselnd sein, sich bald zur gröberen oder bald zur feineren Zerteilung wandeln. Es fällt uns hier das treffende Beispiel von Stoffen ein, die man als Halb- oder Semikolloide bezeichnet (von lat. semi = halb). Solche Stoffe können z. B. Abbauprodukte echter Kolloide sein und erfahren demgemäß eine feinere Zerteilung. Man denke an das Dextrin als Zerteilungsanteil der kolloiden Stärke oder an Peptone als Produkte der Magenverdauung von kolloiden Eiweißstoffen. Zumal bei Eiweißlösungen, aber auch solchen der Gelatine und anderen Stoffen, blieb trotz der Ultramikroskopie noch mancher Zweifel offen, ob es nicht einfach echte Lösungen sein könnten. Das Ultramikroskop ließ ja wohl Teilchen erkennen, aber bei weitem nicht in der vermutbaren Anzahl. Vieles schien dem Auge verborgen zu bleiben. Jedenfalls blieb

die Grenze, ob kolloid, halbkolloid oder echt gelöst, recht verwischt. Wiewohl das dem natürlichsten Verhalten am ehesten entspricht, griff der Mensch auch hier praktisch ordnend und grenzsetzend ein und machte sich dabei jene Erscheinung zunutze, die auf das Filtrieren hinausläuft.

Die Mikronen der groben Aufschwemmungen sind groß und werden deshalb schon von gewöhnlichen Papierfiltern zurückgehalten. Sie sind größer als die Poren solcher Filter, die in der Regel einige  $\mu$ , bei feinstem gehärteten Filtrierpapier immerhin noch rund 1  $\mu$  betragen. Bei ganz besonders feinen Filtern, sogen. Kerzenfiltern, geht die Porenweite dann auf etwa 0,2  $\mu$  zurück. Größere Kolloidteilchen, die durch die großen Poren der gewöhnlichen Filter glatt hindurchgehen, können allenfalls von solch feinporigen Filtern noch zurückgehalten werden. Doch wir sprachen ja eingangs schon von Membranen, die einer dünnen Gallertschicht gleichzusetzen sind und wir erinnern uns des Versuchs, den unsere Abb. 3 wiedergibt. Solche Membranen halten Kolloide auf, lassen dagegen Kristalloide hindurchwandern (Dialyse). Folglich müssen die Poren solcher Membranen schon äußerst klein sein. Wir könnten uns also Gallertfilter bereiten, die gestatten, Kolloidteilchen von ihrem Lösungsmittel zu trennen. Bei der Dialyse befreien wir kolloide Lösungen lediglich von beigemengten Kristalloiden. Bringen wir dagegen die kolloide Lösung in ein Gallertfilter, so würde unter entsprechendem Druck das Lösungsmittel samt den kristalloid gelösten Teilchen durch das Filter tropfen und die kolloidzerteilten Stoffe würden allein zurückbleiben. Hierauf beruht die von Bechhold vor knapp 20 Jahren erfundene und von ihm und anderen inzwischen hervorragend ausgebaute (Ultrafiltrationsapparate) Versuchsanstellung der Ultrafiltration. In ihrem Wesen eine Dialyse unter Druck, die im weiteren erlaubt, durch wechselnde Veränderungen der Porengröße der zu verwendenden Membranen selbst bruchteilige (fraktionierte) Trennungen je nach der Größe der verschiedenen kolloiden Einzelteilchen innerhalb eines kolloiden Systems vorzunehmen.

Wir gewinnen auch hier wieder bei einfachster Versuchsanstellung am überzeugendsten ein Bild solcher Ultrafiltration.

Wir stellen uns ein Ultrafilter her, das schon ohne weitere Versucherschwörungen mit dem natürlichen Druck seines Inhalts filtriert.

Wir legen (nach Ostwalds Vorschlag) ein gewöhnliches glattes Papierfilter einem sauberen Trichter glatt an, feuchten mit heißem

Wasser ausgiebig an und entfernen durch Ausschwenken das tropfbar vorhandene Wasser. Von einer gewöhnlichen vierprozentigen, in der Apotheke erhältlichen, Kollodiumlösung, die ebenfalls vorsichtig erwärmt wird, werden 20—30 ccm in das nasse Filter gegossen. Durch möglichst schnelles Drehen des Trichters wird eine erste Kollodiumschicht, die sogen. Schwammsschicht, auf dem Papier hergestellt. Man beachte, daß das Kollodium nur einmal über die Filterfläche läuft, da sonst überflüssig dicke, insofgedessen langsam filtrierende, Schichten entstehen. Das überflüssige Kollodium wird sorgfältig ausgegossen; es darf in der Spitze des Filters kein Tropfen zurückbleiben. Man läßt 5—10 Minuten an der Luft trocknen, wobei man das steifgewordene Filter vorübergehend aus dem Trichter heraussnimmt. Mit der gleichen angewärmten Kollodiumlösung wird sodann ein zweites Mal das Filter ausgeschwenkt (zweite Schicht). Abermals ist sorgfältiges Auslaufenlassen des überschüssigen Kollodiums zu beachten. Nach 5—10 Minuten Trocknen an der Luft wird das Filter in destilliertes Wasser untergetaucht und nach 20—30 Minuten ist es gebrauchsfertig. Gießen wir nun eine kolloide Lösung, etwa verdünnte schwarze Tusche oder eine blaue Goldlösung durch ein gewöhnliches Papierfilter, so läuft die gesamte Lösung farbig und für Trübungsnachweise geeignet hindurch. Bringen wir dagegen die Lösung in das eigens hergestellte Ultrafilter, so tropft eine farblos klare Flüssigkeit ab. Das Filter hat die Kolloidteilchen zurückbehalten (vgl. Abb. 17).

Es leuchtet ein, daß in all den schwierigen Fällen, wo über die Kristalloid- oder Kolloidnatur Zweifel herrschen, Ultrafiltrationsverfahren sehr zur Klärung beitragen. Überhaupt lassen sich durch Ultrafiltration reichlich Verschiedenheiten an ein und demselben Stoffgemenge bei jeweils abgeänderter Behandlung feststellen. Gießen wir z. B. abgekochte Milch in das Ultrafilter, so bleibt der durch das Kochen reichlich an die Milchkolloide gebundene Kalk auf dem Filter zurück, während rohe Milch ein entsprechend kalkreiches Filtrat ergibt. Der Leser wird empfinden, was es von Fall zu Fall in praktischer Hinsicht bedeutet, solche Unterschiede einwandfrei nachweisen zu können.

Stellen wir uns die Poren einer Membran erheblich feiner vor als die der Ultrafilter, so dürften auch größere Moleküle nicht mehr zu durchwandern vermögen. Es wird mit andern Worten auch Kristalloiden eine Membrandiffusion verwehrt. Die Wand würde aus einer Substanz bestehen, die wohl für kleine Wassermoleküle, bei-

spielsweise aber nicht für größere Zuckermoleküle durchlässig ist. Solche halbdurchlässigen (semipermeablen) Membranen lassen sich durch geeignete Mischung von Leim mit Gerbsäure oder von Kupfervitriol mit Eisenzyankalium unschwer herstellen. Um ihnen die notwendige Festigkeit zu verleihen, müssen sie einer leichtdurchlässigen und grobporigen Wand von gebranntem Ton aufgelegt werden.

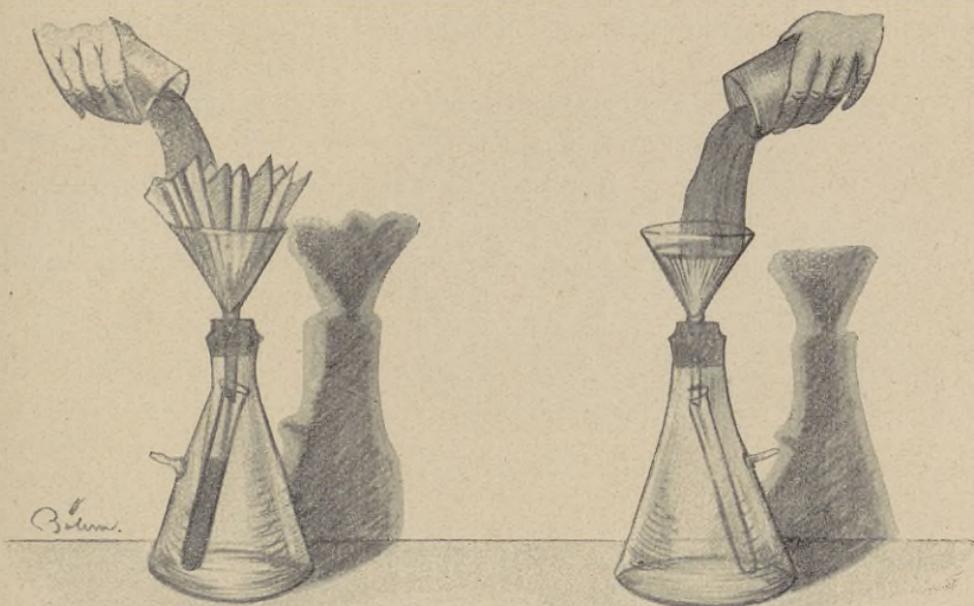


Abb. 17. Ultrafiltration.

Das berühmte Schulbeispiel der Tonzelle mit der inwendig aufgelegten Schicht von Ferrozyankupfer taucht vor uns auf. Füllt man die so vorbereitete Zelle mit einer Zuckerlösung, verschließt sie und taucht sie in Wasser ein, so können wohl die kleinen Wassermoleküle nach innen, nicht aber die größeren Zuckermoleküle nach außen wandern. Infolge dieser einseitigen Diffusion tritt ein Druck im Zellinnern auf, den man als osmotischen Druck zu bezeichnen pflegt (Abb. 18). Dieser Druck ist leicht meßbar und nachzuweisen durch ein entsprechendes Ansteigen von Quecksilber im äußeren Schenkel einer mit der Tonzelle verbundenen U-Röhre. Das Wasser wird naturgemäß so lange in das Zellinnere, in die Zuckerlösung wandern, bis ein Druckausgleich erzielt ist. Wir können auch sagen, die

Tonzelle hat nach der Füllung mit Zuckerlösung ein großes Saugvermögen, dessen Kraft in dem Maße abnimmt, als mit dem Eindringen von Wasser sich der Innendruck steigert. Ist dieser voll eingetreten, so ist die Saugkraft aufgehoben.

Wir schauen auf das sonnenumwobene Pflanzenwerk vor unserem Fenster und wissen, daß jedem Blättchen ungezählte Zellen zu eigen sind. Jede Zelle mit Zellwand und mit dem bedeutsamen Protoplasma im Innern ausgezeichnet. Arbeitet nun auch solch ein Zellchen ähnlich saugpumpenmäßig? Dann wäre ihre Wand der grob-

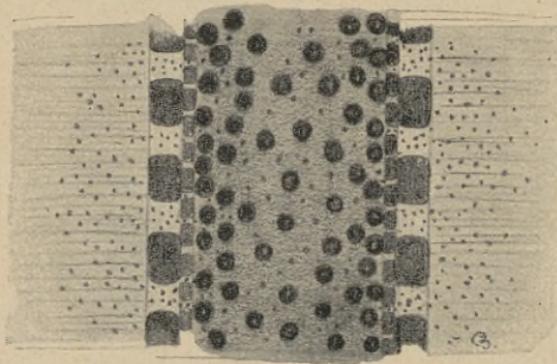


Abb. 18. Osrose am halbdurchlässigen Wandbelag einer Tonzelle.

porigen Wand der Tonzelle vergleichbar, das lebende Protoplasma dem halbdurchlässigen Ferrozyankaliumbeschlag. Es fällt uns aber gleichzeitig jener auf Abb. 2 geschilderte Versuch ein. Die Zellwand entspräche etwa unserer Pergamentmembran, das Protoplasma als Kolloid dem Kleister, der durch die Membran

hindurch gelöste Nährstoffe aufzunehmen vermag. Der Leser wird entscheiden können, wie schwierig hier zu werten ist.

Ringende Großwelten der Forschung dämmern dahinter, die hier nicht aufzuzeigen sind und die auch dann erst angenähert zu verstehen wären, sobald wir Näheres über Änderungen im Rahmen des kolloiden Zustands selbst erfahren haben. Unser Gewinn soll auch hier vielmehr die Erkenntnis jener stetig gleitenden Teilbarkeit des Stoffes sein. Billionen Körperchen verschiedenster Größenordnungen formen den Gestaltwandel alles Seins. Je nachdem aber die durch Größenunterschiede bedingten Wirkungen sich geltend machen sollen oder nicht, bleiben den Körperchen Wegstrecken eröffnet oder gesperrt.

Woselbst Mikronen abgedämmt werden, vermögen Ultramikronen Papierfilter (Abb. 19/1) zu durchlaufen; wo Ultramikronen zurückgehalten werden, ist Amikronen ein Durchzug gestattet (Ultrafilter, Abb. 19/2); wo schließlich auch größere Amikronen nicht weiter finden, bleibt bestimmten Molekülanteilen der Durchzug frei (Überultrafilter, Abb. 19/3). Nichts ist jedoch in Wirklichkeit scharf be-

grenzt. Anschluß zum Großkörper nach links und Anschluß zum Kleinkörper nach rechts ist, die kolloide Teilchengröße als Mitte gedacht, nach unauszählbaren Größenordnungen gegeben. Aber im Großen steckt nur wieder trillionenfach das Kleine. Und das Kleinste spricht in weitgehendster Auflösung zu uns beim aufgelockerten Atomsystem. Bei jenem zerfallenen Radiumatom etwa, das mehr denn tausend Jahre hindurch sekundlich Millionen von Uratomen oder Elektronen (Träger kleinster elektrischer Kraftmengen) von sich schleudert, dem Auge des Menschen beim Aufprall auf einen Zink-

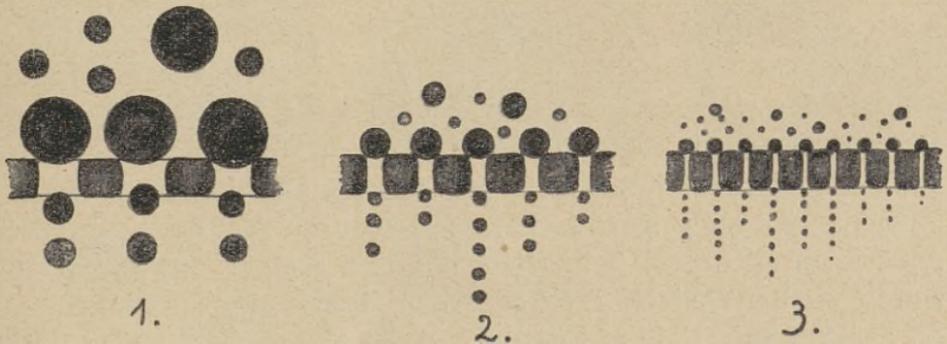


Abb. 19. Vom Papierfilter zum Überultrafilter (Erklärung im Text).

sulfidschirm funkensprühend sichtbar. Soweit wir hier aus der Vielzahl von Teilchengrößen kolloidchemisch werten, übertrifft die Teilchengröße bei Kolloiden eine solche bei Kristalloiden.



Unausdenkbare Trillionen von Teilchen enthält die Luftmasse, die wir in einem Atemzuge zu uns nehmen. Die Formart der Luft ist gasförmig.

Trillionen Teilchen schwingen im Glase Wasser vor uns. Die Formart des Wassers ist flüssig.

Trillionen Teilchen fügen den Bau des Dachziegels. Die Formart des Ziegels ist fest.

Auch der gleiche Stoff kann gasförmig, fest oder flüssig sein, kann seine Formart wechseln. Eine Flüssigkeit kann verdampfen, fließen oder erstarren. Alle drei Formarten sind durch den Grad der Beweglichkeit der Moleküle bestimmt. Ein Körper erscheint uns gasförmig, sobald seine Moleküle fliehend auseinanderstürmen, um

jeden denkbar gebotenen Raum einzunehmen. Der Körper erscheint uns flüssig, sobald diese Fliehkraft gehemmt ist. Ein Molekül kann wohl seinen Wirkungsbereich mit dem eines anderen vertauschen, doch ändern sich die Abstände der Moleküle voneinander nicht. Der Körper erscheint uns fest, sobald die Moleküle ebenfalls in bestimmten Entfernungen verharren, jeweils aber festgelegt sind und nur um sich selbst schwingen können.

Gasförmig, flüssig oder fest werden folglich auch Kolloidteilchen sein können, da sich jedes Teilchen als eine Molekülanhäufung erweist. Bei weiterhin zunehmenden Zerteilungsgraden büßen diese drei Formarten ihre Bedeutung insofern ein, als schließlich bei einem Molekül selbst praktisch nicht mehr von fest, flüssig oder gasförmig gesprochen werden kann. Bei einem molekularzerteilten Stoff in einer echten Lösung läßt sich nicht entscheiden, ob der zerteilte Stoff vordem gasförmig, flüssig oder fest gewesen ist. Übergangserscheinungen sind auch hier vorhanden, wiewohl schließlich zerteilte Systeme in allen drei Formarten auftreten können und innerhalb eines zerteilten Systems selbst wieder verschiedene Zusammenstellungen möglich sind. Nicht nur der zerteilte Stoff, sondern auch das Zerteilungsmittel ist den drei Formarten unterworfen, und es ist durchaus nicht gleichgültig, ob beispielsweise feste Stoffe in Flüssigkeiten oder Flüssigkeiten in festen Stoffen kolloid zerteilt sind. Es können in einem jeweils festen Zerteilungsmittel bald feste, bald flüssige, bald gasförmige Kolloidteilchen verteilt sein. Auch in einem jeweils flüssigen Zerteilungsmittel können Kolloidteilchen der drei Formarten verteilt sein. Das wären schon sechs mögliche Fälle. Das Zerteilungsmittel kann aber auch gasförmig sein, und es können sich bald feste, bald flüssige Kolloidteilchen zugesellen.

Ein überaus treffendes Beispiel zum Verständnis des Gesagten liefern uns die kolloiden Zerteilungssysteme des Wassers. Zugleich Systeme, bei denen Zerteilungsmittel und zerteilter Stoff eine gleiche chemische Zusammensetzung, eben die des Wassers, haben. In allen acht aufzuführenden Fällen bewegen sich die Durchmesser der Teilchen in dem für Kolloide zutreffenden Rahmen. Die Systeme sind deshalb als kolloid zu bezeichnen.

Folgen wir dem Schema unserer Abb. 20 (Ziffer 1—8), darin eine schwarze Fläche stets die feste, eine gestrichelte Fläche stets die flüssige und eine weiße Fläche stets die gasförmige Formart bedeutet. Dem Zerteilungsmittel als Quadraten sind die Kolloidteilchen als Kreisflächen eingezeichnet. Eis sonderlich niederer Temperatur

wäre durch 1 gekennzeichnet. Der allgemeinen Strukturform des festen Eises dürfte 2 zugrunde liegen. Das milchgetrübte Eis der Kältemaschine würde durch 3 zu rechtfertigen sein. Der Zustand bei 4 ist noch wenig geklärt, würde aber an eine gröbere Zerteilung von Schnee in Wasser erinnern. Mischen wir Wasser mit flüssiger

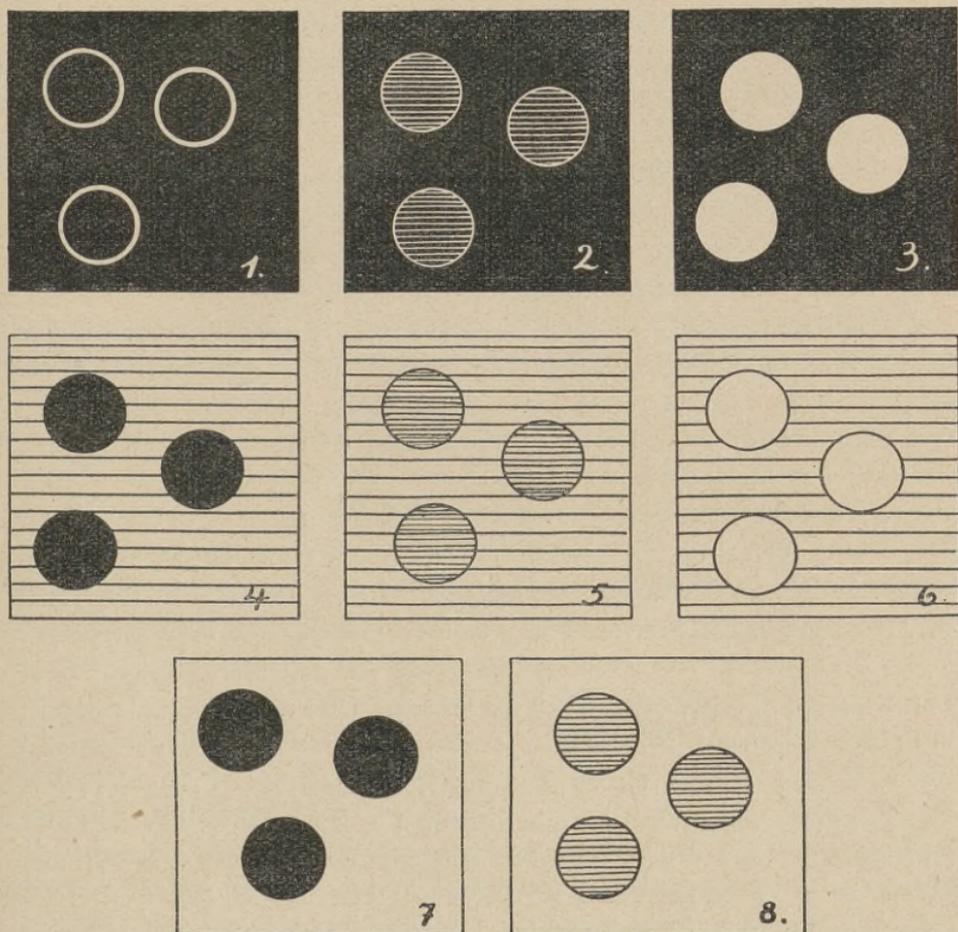


Abb. 20. Die kolloiden Zerteilungssysteme des Wassers.

Luft, kühlen das Wasser also plötzlich ab, so wäre der Zustand bei 5 gegeben. In Nähe der kritischen Verdampfungstemperatur des Wassers dürfte der bei 6 gekennzeichnete Zustand eingetreten sein. Äußerst feiner Schnee entsteht, sobald Wasserdampf rasch unter den Gefrierpunkt des Wasser gebracht werden. In diesem Falle würden z. B. kolloide Eisteilchen in fester Form (7) der Luft als gasförmigem Zerteilungsmittel eingelagert sein. Eine Erscheinung, die

uns nach einer Forschungsdeutung in der Hofbildung des Mondes, einem Tyndallschauspiel, in Winternächten augenscheinlich wird. Und wer schließlich auf frohgemuten Wanderpfaden durch Nebel schreitet, wird auch hier ein kolloides Wunder um sich ausgebreitet sehen. Nebel ist sich verflüssigender Wasserdampf. Billionen Tröpfchen kolloider Zerteilung (8) zittern im Zerteilungsmittel der Luft. Und bei Wolkenbildungen treten ähnliche Verhältnisse ein.



Tausend und mehr Untersuchungen haben erwiesen, daß solche kolloide Zerteilungssysteme fast ausnahmslos jenen Stoffen zu eigen sind, die dem Wirken lebendigen Daseins entsprungen, aber auch sonst in der Natur reich verbreitet sind.

Jetzt staunt wohl niemand mehr über die Kolloidnatur all der Stoffe unseres täglichen Bedarfs. Zum mindesten schlummert in all diesen Stoffen oft friedlich geeint mit einem gröberen oder feineren System auch das kolloide. Wir betrachten deshalb noch einmal beschaulich das vielfache Zerteilungssystem der Milch (Abb. auf S. 35). Ergriffen stehen wir vor dem zauberhaft rosenroten Opal im Grünen Gewölbe zu Dresden. Bestünde dieser Opal nicht aus kolloider Kieselsäure, der Zauber verschwände augenblicklich. Kolloide Goldteilchen in einer Glasmaße lassen diese rubinrot leuchten. Wir entziehen durch Milchglas unser Zimmer dem Auge der Allzuneugierigen. Das mit Flußspat hergestellte Glas ist milchig, weil es Fluorkalzium in kolloider Lösung enthält. Eine Panik, nicht auszudenken, bemächtigte sich unseres zarten Geschlechts, so der Spiegel plötzlich fehlte. Der sich aber nur bilden konnte, indem sich Silber unter bestimmten Bedingungen aus einer kolloiden Metalllösung auf einer Glasfläche niederschlug. Wir erfreuen uns der Vorteile der heutigen Metallfadenlampen gegenüber den alten Kohlefaden-Glühbirnen. Doch nur deshalb, weil der Hersteller solcher Wolfram- oder Tantallampen die Metalle zunächst pulvrig fein, d. h. kolloid zerteilt, unter Zusetzung eines bestimmten wasserbindenden Kolloids zur Paste verreibt und diese zur Fadenbildung durch feine Düsen spritzt.

Eine herrliche Keramik ziert so manchen Haushalt. Um sie in dieser vollendeten Schönheit herstellen zu können, mußte die dazu verwendete Porzellanerde plastisch bildsam genug sein. Man ließ die durch Mahlen und Schlämmen mechanisch vorbereitete Masse deshalb monatelang lagern. Hierbei entwickelte die Porzellanmasse

allerhand Gase, die von zersetzter Substanz herrühren, die teils durch die Rohstoffe, teils durch das Wasser hineingelangt ist. Man sagt, die Masse fault, und der Erfolg des Faulens besteht offenbar darin, daß sich ein unter dem Einfluß vorhandenen Alkalis verfeinerndes Kolloid bildet. Saure Gärung der sich zersetzenden Substanzen führt zur Bindung des Alkali und zum Gerinnen der kolloiden Lösung. Tagtäglich schreiten wir über zementene Pflaster. Wo gebaut wird, ist Zement. Das ganze Häusermeer der Großstadt ist Zementvermittlung. Alle Eigentümlichkeiten des Zements sind durch kolloide Zustände und Wechsel innerhalb derselben bedingt. Ein vor dem elastisches Kolloid wird beim Austrocknen steinhart. Der kolloide Kitt bindet trefflich und schützt im Eisenbeton als dichte Schutzschicht das Eisen vor dem Rosten.

Genug der Beispiele. Fast unerschöpflich ließe sich darüber plaudern. Sparen wir uns noch dieses oder jenes Beispiel für den Augenblick auf, da wir weiteres über die Kolloidnatur erfahren haben.



Entscheidend für diese Kolloidnatur ist jedenfalls immer die bestimmte Größe der zerteilten Stoffteilchen.

Will man deshalb kolloide Lösungen herstellen, so ist es erforderlich, den zerteilten Stoffteilchen diese bestimmte Größe zu verleihen. Zwei Wege sind hier ohne weiteres ersichtlich.

Man geht aus von einer molekularen Zerteilung und bewirkt eine Niederschlagsbildung der infolge Verdichtung oder Kondensation zu größeren Teilchen zusammengetretenen Moleküle. Sobald diese größeren Teilchen sich innerhalb der Grenzwerte des kolloiden Durchmessers bewegen, ist die Niederschlagsbildung aufzuhalten. Man kann aber auch eine grobe Zerteilung zugrunde legen und durch fortschreitendes Zerteilen oder Dispergieren grobe Stoffteilchen zur Größe von Kolloidteilchen herabmindern. Zur Herbeiführung des kolloiden Zustandes sind außerordentlich zahlreiche Verfahren ausgeklügelt worden, um bald auf chemischem oder elektrischem, bald auf optischem oder mechanischem Wege dieses Ziel zu erreichen. Wir beschränken uns auf zwei Verfahren, die eine Zerkleinerung von festen Stoffen in Flüssigkeiten bewirken.

Als etwa um die Jahrhundertwende G. Bredig einige Versuche über die zersetzende Wirkung des elektrischen Lichtbogens auf verschiedene Flüssigkeiten anstellte, bemerkte er, daß Metalle zer-

stäuben und die Flüssigkeit wolkig trüben, sobald zwischen den Drähten dieser Metalle unter reinem Wasser ein Lichtbogen hergestellt wird.

Zur Ausführung des Versuchs nimmt man ein Becherglas, das Wasser enthält und in Eis steht (Abb. 21). Im Wasser des Becherglases stehen sich die Spizen (Elektroden) von zwei Silberdrähten in einer Entfernung von etwa zwei bis drei Millimeter gegenüber. Aus unserem Bilde ist ersichtlich, daß die Entfernung zwischen den zwei Drahtspitzen beliebig vergrößert oder verkleinert werden kann und die Drähte selbst dem elektrischen Strom unterworfen werden können. Nach Einschaltung geeigneten Stromes und richtig gewähltem Abstand der Silberdrahtspitzen wird ein grün leuchtender Lichtbogen sichtbar, wobei von den Drahtspitzen aus gleichzeitig braun-olivengrüne Wolken zerteilten Silbers abstäuben. Unter diesen Zerstäubungsteilchen befinden sich auch zahlreich Kolloidteilchen, wie durch entsprechende Größenuntersuchungen einwandfrei nachgewiesen werden kann. Durch Zusatz weniger Tropfen verdünnter Sodaauflösung zum Wasser erfolgt die Kolloidbildung um so leichter und ergiebiger. Hauptsächlich die Kathode (man erinnere sich des zur Abbildung 14 Gesagten) nimmt an der Zerstäubung teil. Das zeigt sich besonders deutlich beim Gold, das man neben Platin und anderen Metallen statt des Silbers wählen kann. Unter ruhigem Zischen des Lichtbogens schießt Gold in blauen oder purpurroten Wolken aus der Kathode hervor.

Unbekümmert ob praktischer Verwertung arbeitet zunächst immer die reine Wissenschaft. Doch der einfachste Laboratoriumsversuch wird oft entscheidend für den Praktiker. Er ist der Handelsmann der Wissenschaft, der den Wert der Entdeckungen nach dem Steigen der damit verbundenen Aktien schätzt. Wem die Geduld nicht ausgeht, wird es fertig bringen, verschiedenste Stoffe durch Zerreiben im Achatmörser kolloid zerteilt zu gewinnen, um bei nachträglicher Mischung mit Wasser kolloide Lösungen (z. B. Wolframsäure) zu erhalten.

Sollte sich eine ähnliche mechanische Zerteilung fester Stoffe nicht in großtechnisch brauchbarer Weise herbeiführen lassen? Der Vorgang der Zerkleinerung auch im Mörser ist wesentlich ein Mahlen. Wie heute noch so manches Naturvolk sein Getreide zwischen zwei Steinen zerreibt oder mörserartig auf einem Stein mit der Keule zerstampft, so war es noch in Vortagen der Menschheit. Lange Zeit hat es gebraucht, ehe ein Stein auf dem anderen gedreht worden

ist und statt des Menschen tierische Kräfte an einem Querbaum am drehenden Stein gespannt worden sind. Wasser und Wind, Dampfkraft und Elektrizität beherrschen nacheinander sich steigend auch hier das Feld. Im Zeichen unserer Kunst- und Walzenmühlen ragen unsere allbekannten Wind- und Wassermühlen nur noch wie mitleidig geduldete Wesen in das Landschaftsbild hinein.

Nun gestatten selbst die besten der heute üblichen Mahlvorrichtungen kein Ausmahlen bis zur Kleinheit von Kolloidteilchen. Die Teilchengröße feinst zermahlener Stoffe beträgt noch gut ein Fünftzigfaches der Teilchengröße der gröberen Kolloidteilchen. Man kennt auch besondere Schlagmühlen, in denen durch Schläger eines Schlagrades die Grobteilchen getroffen werden. Indem Plauson eine der Schlagmühle ähnliche Vorrichtung mit hoher Tourenzahl gestaltete und gleichwohl den zu zerteilenden Stoffen reichlich Flüssigkeit beigab, wurde er zum Schöpfer der eine Zerkleinerung hervorragend bewirkenden Mühle, der Kolloidmühle schlechthin.

Ein Rekord der Gesamtentwicklung der Mahlkunst sicherlich, der vielleicht im nächsten Jahrhundert durch eine Molekularmühle großen Stils noch überboten wird!

Im Gehäuse dieser Kolloidmühle sind in der Mitte und unten feste Schlagwiderstände angebracht, zwischen denen sich das Schlagrad bewegt. Durch exzentrische Anordnung dieses mit mehreren Schlägern versehenen Rades wird bewirkt, daß der Schlagmühleneinhalt beständig innerhalb der Mühle umläuft, und daß immer wieder neue Teilchen in der Flüssigkeit schwebend an die Stelle der höchsten Schlagwirkung (zwischen Schläger und Schlagwiderstände) gelangen. Ist das Schlagrad mit acht Schlägern ausgestattet, so werden bei zwölftausend Touren sechsundneunzigtausend Schläge in der Minute durch die Schläger auf die in der Flüssigkeit aufgeschwemmten Grobteilchen ausgeübt. Sie werden mit unheimlicher Wucht von den rasend schnell umlaufenden Schlägern getroffen und werden, am sofortigen Ausweichen verhindert, zertrümmert. Diese Zertrümmerung kann so weit gehen, daß die daraufhin untersuchten

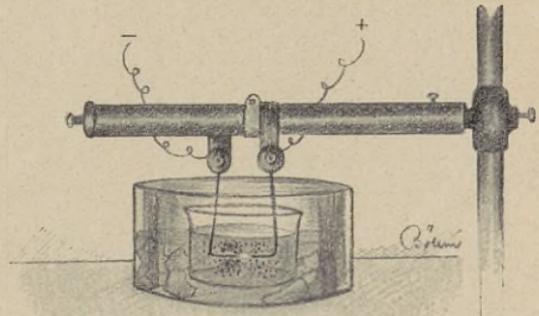


Abb. 21. Elektrische Zerstäubung fester Stoffe.

Teilchen erst unter dem Ultramikroskop sichtbar werden und folglich kolloid zerteilt sind. Sowohl die Wahl eines bestimmten Zerteilungsmittels wie auch ein bestimmter Stoffzusatz, der die Zerteilung beschleunigt, sind wesentlich für die Leistungsfähigkeit dieser Kolloidmühle.

In praktisch vielfacher Hinsicht scheint diese Mühle recht erfolgversprechend zu werden. Öle, die sich nur durch längeres Kochen mit Alkali verseifen lassen, kann man durch Behandlung in der Kolloidmühle in kürzester Zeit verseifen. Fette lassen sich verhältnismäßig rasch und vollkommen aus Stoffgemischen herausholen, indem unter Zusatz von fettlösenden Flüssigkeiten und Wasser in der Kolloidmühle weitgehend aufgeschlämmt und fein zerteilt wird. Beim Stehen trennt sich eine wäßrige Leimlösung von der Fettlösung. Die Deckkraft der meisten Erdfarben kann durch kolloide Mahlung erheblich verbessert werden. Schwerlösliche Harze lassen sich in billigen Zerteilungsmitteln zerteilen. Beim Aufschluß von Rohphosphaten zu Düngemitteln lassen sich diese in eine für die Aufnahmefähigkeit der Pflanze geeignete Zerteilung bringen, und die sonst zur Aufschließung benötigte Schwefelsäure wird gespart. Kohle läßt sich unmittelbar in Öl zerteilen, der erzeugte Brennstoff besitzt besonders hohen Heizwert. Soviel zur Kolloidmüllerei.

Nach diesem Ausflug in das Reich der Technik und der Fernsicht auf unbegrenzte Möglichkeiten wenden wir uns jetzt weiteren der Kolloidnatur eigentümlichen Dingen zu.



Vor rund hundert Jahren schon war dem damaligen englischen Pflanzenforscher R. Brown eine Erscheinung aufgefallen, von der sich jeder Besitzer eines einigermaßen guten Kleinsehers ohne weiteres überzeugen kann.

Man wählt solche Stoffe, die sich zu dieser Beobachtung sonderlich gut eignen, sei es in Wasser zerriebene Tusche, sei es grob aufgeschwemmtes Ultramarin, Zinnober oder Karmin, sei es eine grobe Aufschwemmung von Gummigutt in Wasser, wobei diese mit sehr verdünnter Alkohollösung zu vermischen ist, oder sei es der Milchsaft der Wolfsmilch. Man wird dann bei entsprechender Vergrößerung, etwas Geduld und einer Versuchsanordnung derart, daß das Sonnenlicht etwas geneigt zur Oberfläche des Objektträgers einfällt, die einzelnen Teilchen des Tropfens in lebhaft zitternder

Bewegung und in prächtigem Farbenspiel flimmernd sehen. Da bestimmte Teilchen gelegentlich verschwinden, auf- und untertauchen, so wird verständlich, daß die Bewegung der Teilchen nicht nur in einer Ebene, sondern nach allen Richtungen des Raumes hin erfolgt.

Bei Dunkelfeldbeleuchtung, also im Ultramikroskop, läßt sich dieser Teilchentanz, wie es nicht anders zu vermuten ist, noch erheblich besser beobachten. Schreibt doch Sigmund vor Jahren schon darüber: „Wer einen Schwarm tanzender Mücken sieht im

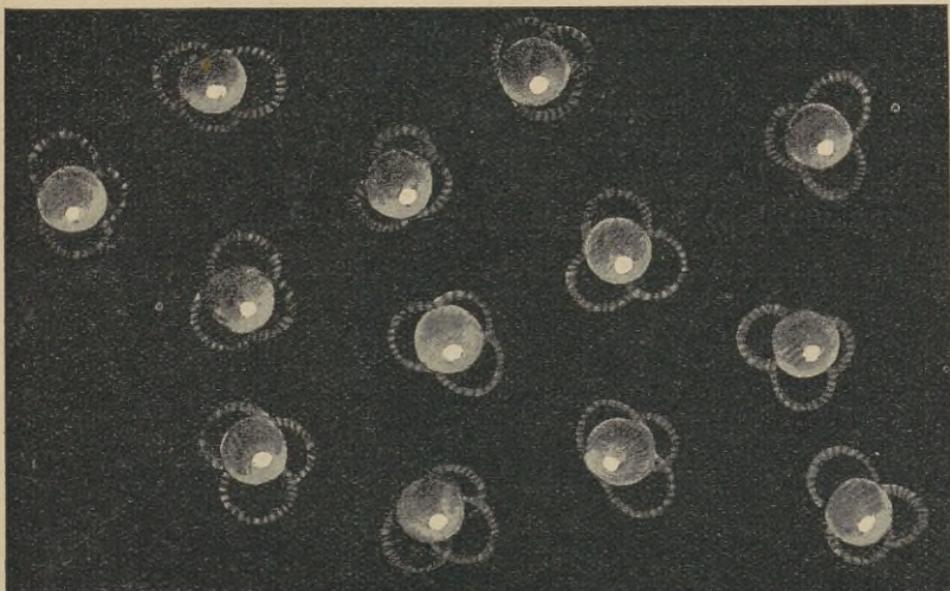


Abb. 22. Milchkügelchen in Brownscher Bewegung unter dem Ultramikroskop.

Sonnenschein, der kann sich eine Vorstellung machen von den Bewegungen der Goldteilchen in einer kolloiden Goldlösung. Das ist ein Hüpfen, Tanzen, Springen, ein Zusammenprallen und Doneinanderfliehen, daß man Mühe hat, sich in dem Gewirr zurechtzufinden. Diese Bewegung gibt Zeugnis von einem fortwährenden Durchmischen der Flüssigkeit, und sie dauert an stunden-, wochen-, monate- und, wenn die Flüssigkeit haltbar ist, selbst jahrelang. Träge und langsam ist dagegen die der Brownschen analoge Bewegung der größeren Goldteilchen in Flüssigkeiten, die den Übergang zum gewöhnlichen absetzenden Golde bilden.“ Wer glücklicher Besitzer eines Ultramikroskopes ist, wird bei kleinen Milchfettkügelchen, deren Durchmesser wenige  $\mu$  beträgt, das Schauspiel unserer Abbildung 22 bewundern können, woselbst die dünn umrandeten



Richtungen des Raumes bewegen, sofern sie nicht auf eine Begrenzungswand des Raumes, in dem sie eingeschlossen sind, treffen oder mit einem anderen Molekül zusammenstoßen. Solcher Zusammenstoß ändert aber die Wegrichtung des Moleküls. Nach den Gesetzen über den Stoß elastischer Körper schlägt es eine andere Bahn ein. Es werden sich also ungezählte Gasmoleküle in Zickzackbahnen mit ständig wechselnder Geschwindigkeit bewegen. Unter gleichbleibenden Bedingungen wird die mittlere Geschwindigkeit der Moleküle und auch die mittlere Bewegungskraft (kinetische Energie) einen ganz bestimmten Wert in allen Teilen einer eingeschlossenen Gasmasse haben. Die Summe der Bewegungskraft aus allen Molekülen stellt jedoch den Wärmeinhalt der Gasmenge vor.

Wir sagten soeben, daß die Geschwindigkeit der Brownschen Bewegung entsprechend der wachsenden Verkleinerung der Teilchen zunimmt, und wir erinnern uns, daß von groben Aufschwemmungen und kolloiden Lösungen die Reihe lückenlos zu echten Lösungen führt, da der gelöste Stoff offenbar in Moleküle zerteilt ist. Folglich wird auch hier, dem optisch best ausgerüsteten Auge verborgen bleibend, die Brownsche Bewegung um so lebhafter vor sich gehen. Woselbst wir sie aber mit unseren optischen Mitteln noch erkennen, zeigt sie uns gewissermaßen ein gröberes Bild jener Wärmebewegung der Moleküle, deren Folge sie ist. Denn wo wir Kolloid- oder allenfalls noch gröbere Teilchen in einem Lösungsmittel vor uns haben, werden zumal schon diese Teilchen einem wahren Bombardement von Molekülen des Lösungsmittels ausgesetzt sein. Die treibende Kraft der Brownschen Bewegung ankerte somit in Molekülstößen des Lösungsmittels. Auch hier die Erkenntnis, daß nur Willkür des Menschen den Ring des Daseins grenzsetzend zerstückelt. Jedenfalls gibt uns die Brownsche Bewegung mancherlei Fingerzeige je nach dem Grad ihrer Stärke auf bestimmte Zustandsverhältnisse innerhalb zerteilter Systeme schließen zu können.



Nachdem wir hinlänglich erkannt haben, was eine kolloide Lösung ist, wollen wir die in dem beschwingten Zustand einer Flüssigkeit beharrende Lösung als Sol (von solutio = Lösung) bezeichnen. Wir erwähnten auch schon, daß das Lösungsmittel nicht ausnahmslos Wasser zu sein braucht. Das Lösungsmittel kann aus Wasser, Alkohol, Benzol, Öl, Glycerin und verschiedenen anderen Stoffen mehr

bestehen. Man spricht deshalb auch von Wasser- oder Hydrosolen, von Alkosolen, Benzosolen, Oleosolen oder Glycerosolen. Sol ist ein in flüssiger Form verweilendes kolloid zerteiltes System. Flüssig, wie etwa der Bach, der über Felsen schäumt, wobei der Fels uns fest und die Luft ringsherum uns gasförmig erscheint.

Alles ganz selbstverständliche Dinge, wird der Leser denken. Gewiß, so dachte auch der große Naturforscher Karl Ernst von Baer, als er dereinst (es ist schon reichlich lange her) als vielgeplagter Prüfling im Staatsexamen die Frage zu beantworten hatte, wieviel mögliche Formarten oder Aggregatzustände es denn gäbe. Fest, flüssig und gasförmig, lautete prompt die Antwort. Doch der Prüfende (dem Kolloidforscher als solchen noch weit entrückt) übte Kritik und erinnerte an jenen festweichen Zustand, den insbesondere die organische Welt aufzeige. Also ein Zustand zwischen fest und flüssig etwa. Der Prüfende hatte zum mindesten nicht unrecht. Wir alle haben diesen Zustand schon duzendmal geschaut.

Wir lernten schon als Kind die Geheimnisse des Flammeri oder kalten Puddings kennen. Da hatte die Mutter die dickflüssige Flammerimasse soeben fertig zubereitet in die Schüssel gegossen. Die Masse wird fest beim Erkalten, und die Mutter stellt die Schüssel deshalb vor das Fenster hinaus, um sie der warmen Küche zu entziehen. Die Masse erstarrt mehr und mehr. Bevor sie jedoch zu fest geworden war, hatten wir heimlich den Finger hineingesteckt und einen Leckerbissen davon herausgeholt. Wir wußten bereits, daß die Masse allmählich wieder zusammenfließt und das Loch unsichtbar verstopft. War dann der Flammeri genügend abgekühlt und fest geworden, so ließ er sich bequem aus der Schüssel stülpen, fiel nicht auseinander, sondern behielt in seiner äußeren Umgrenzung genau die Form der Schüssel bei, stellte gewissermaßen den Rauminhalt der Schüssel, befreit von der porzellanenen oder blechernen Begrenzungswand, dar. Und groß war die Freude des Kindes, je nachdem die Puddingform einem Fisch, einer Taube, einem Huhn oder sonst einem bekannteren Tiere glich. Ein Stein als fester Körper in der Schüssel wäre, seiner eigenen Form treu bleibend, wieder unverändert herausgefallen, Wasser wäre beim Umstülpen davongeflossen. Gleich dem Wasser in der Schüssel füllt die Flammerimasse den dargebotenen Raum aus, fließt jedoch nach dem Umstürzen nicht davon. Der Flammeri ließ sich auch in Stücke schneiden, und die Stücke sind biegsam und weich. Ähnliche Eigenschaften wie der Flammeri zeigen auch dick eingekochte Fruchtgelees, aller-

hand Süßzen und Mehlspeisen. Und so wir uns des festweichen Bonbonpüppchens des Jahrmarkts erinnern, wissen wir, daß es nach dem Gestrecktwerden wieder das Bestreben zeigt, sich zusammenzuziehen. Zumal das Gewerbe des Konditors wäre in Frage gestellt, könnte er mit solch festweichen Stoffen nicht dauernd binden, formen und verzieren.

Fragen wir uns, worauf diese festweiche Eigentümlichkeit eines Stoffes beruht, so lautet die Antwort: Kolloide Lösungen als Sole vermögen unter bestimmten Bedingungen und Verhältnissen in den festeren Zustand einer Gallerte oder eines Gels (von lat. gelu = Erstarrung) überzugehen.

Gele sind somit aus Solen gebildete, mehr oder minder flüssigkeitsreiche Erstarrungsprodukte, und den Vorgang, der sich bei dieser Umwandlung eines Sols zum Gel abspielt, bezeichnet man als Gerinnung, Flockung oder Koagulation (von lat. coagulare = gerinnen). Man benennt zweckmäßig diese Flockungsgele Koagele und die durch Gelatinierung oder durch Quellung entstandenen Gebilde als eigentliche Gele.

Unser aufgeführtes Flammeribeispiel hat uns ja schon allershand Merkwürdigkeiten eines gallertartigen Stoffes aufgezeigt. Es bleibt jetzt unsere Aufgabe zu zeigen, wie weit sich durch Ausflockung, durch Quellung oder durch noch andere Faktoren der Zerteilungsgrad eines kolloiden Systems herabmindert oder erhöht, wie weit auch sonst noch eigentümliche Zustandsänderungen innerhalb eines kolloiden Systems wechselweise eintreten können. Es wird vor allen Dingen auch, soweit das heute möglich ist, zu beantworten sein, auf welche Gründe all diese Erscheinungen zurückzuführen sind.

Wir haben drei Stoffe vor uns. Wasser, eine verdünnte Stärkelösung und Eiweiß aus einem frisch aufgeschlagenen Hühnerei. Wir schütten jeden dieser Stoffe auf eine Tischplatte aus und bemerken, daß das Wasser rasch, die Stärkelösung langsamer, das Eiweiß noch langsamer über die Tischplatte fließt. Das Wasser ist minder schwerbeweglich als die anderen beiden Stoffe. Stärke und Eiweiß sind Tröpfchenkolloide, die selbst im flüssigen Zustand schon eine außerordentlich hohe Schwerbeweglichkeit aufweisen. Statt Schwerbeweglichkeit kann man auch innere Reibung, Zähigkeit oder fremdwörtlich Diskosität sagen. Will man feststellen, um wieviel mal schwerbeweglicher eine Flüssigkeit im Verhältnis zum Wasser ist, so kann man das durch eine bestimmte Zeitdauer zahlenwertig zum Ausdruck bringen. Man kann ermitteln, wieviel mal länger eine

Flüssigkeit als die gleiche Menge Wasser braucht, um ein bestimmtes Röhrchen etwa zu durchlaufen.

Stehen große Flüssigkeitsmengen zur Verfügung, so bedient man sich eines in diesem Sinne ausgeführten Zähigkeitsmessers oder Diskosimeters.

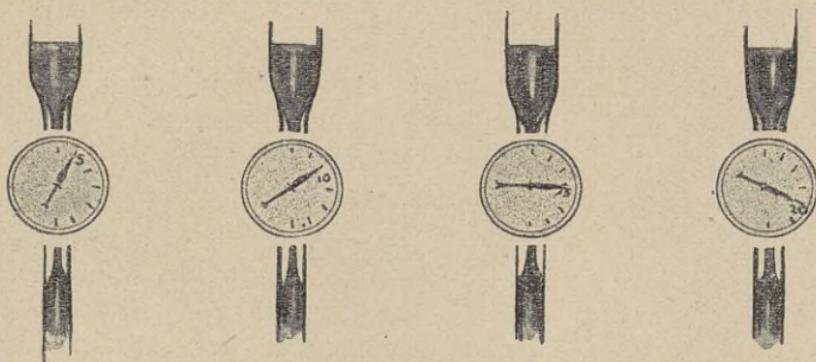
Bei kleineren Flüssigkeitsmengen und insbesondere auch für feinere Bestimmungen macht man sich eine längst bekannte Erscheinung zunutze. Taucht man ein enges, reines Glasrohr in Wasser ein, so steigt das Wasser in dem Rohr, der Schwere entgegen, um ein beträchtliches Stück in die Höhe. Besonders enge Rohre heißen Kapillarrohre (von lat. capillus = Haar), und die Erscheinung führt daher den Namen Kapillarität. Eine Flüssigkeit, die die Wandung eines Kapillarrohrs benetzt, erfährt eine kapillare Erhebung. Diese ist um so größer, je enger das Haarröhrchen ist. Man stelle sich nun ein U-Rohr vor, dessen einer Schenkel weit und dessen anderer Schenkel durch ein Kapillarröhrchen unterbrochen ist, wie letzteres unsere Abbildung 25 zeigt. Man braucht dann nur eine bestimmte Menge Flüssigkeit in das Rohr zu füllen, sie am kapillaren Schenkel hochsaugen zu lassen und mit der Stoppuhr die Zeit zu bestimmen, die zum Durchlauf des kapillarabgesperrten Raumes nötig ist. Man wird dann ohne weiteres bemerken, daß verschiedene Flüssigkeiten verschieden lange Zeit hierzu gebrauchen, wie das auf unserer Abbildung durch die Sekundenzeiger schematisch angedeutet ist.

Wir erkennen, daß Kolloidteilchen die Zähigkeit eines wäßrigen Zerteilungsmittels und somit die des zerteilten Systems schlechthin mehr oder minder stark bestimmen können. Es leuchtet ein, daß bei zunehmender Steigerung der Konzentration, d. h. je nach der Menge des zerteilten Stoffes, den das Lösungsmittel birgt, die Schwerbeweglichkeit oder Zähigkeit zunimmt. Diese Schwerbeweglichkeitszunahme ist aber nicht bei allen kolloiden Lösungen die gleiche.

Unsere Körnchenkolloide oder Suspensioide zeigen auch bei verhältnismäßig hoher Konzentration nur eine geringe Schwerbeweglichkeit. Befinden sich die Kolloidteilchen im wäßrigen Lösungsmittel, so ist im allgemeinen die Schwerbeweglichkeit der des Wassers annähernd gleich, ist also gewissermaßen, sofern Wasser Ausgangspunkt der Messung ist, nicht vorhanden.

Bei Tröpfchenkolloiden oder Emulsoiden verhält sich das in der Regel anders. Hier lassen sich bei verhältnismäßig niederer Konzentration schon erheblich hohe Zahlwerte für die Zähigkeit er-

mitteln. Kolloide Lösungen dieser Art besitzen besonders hohe innere Reibung. Diese steigt oft außergewöhnlich rasch bei schon geringer Konzentrationserhöhung, sie fällt aber auch ebenso ungewöhnlich rasch bei Temperaturerhöhung. Setzen wir beispielsweise eine Gelatinelösung verschiedenen Temperaturen aus, so nimmt die Schwebefähigkeit schon bei Temperaturerhöhungen von zehn zu zehn Graden etwa jeweils merklich ab, und durch entsprechende Kurvenzeichnung wird man sich leicht von dem steilen Abfall der inneren Reibung bei steigender Temperatur überzeugen können. Zu diesem Zwecke stellt man den Zähigkeitsmesser zuerst in Eiswasser und



→ *Zunahme der Zähflüssigkeit.*

Abb. 25. Messung der Zähigkeit oder Viskosität.

dann in verschieden stark erwärmtes Wasser. Zur Ausführung derartiger Versuche bedarf es nur einer geeigneten Gelatinelösung, die höchst einfach zurechtzubrauen ist. 2 g Gelatineblatt oder Gelatineschnitzel, wie solche für photographische Zwecke Verwendung finden, werden ausgewogen und in destilliertes kaltes Wasser geworfen. Dann bringt man etwa 150 ccm Wasser in einem vordem abgewogenen Becherglas zum Sieden, wirft die angequollene Gelatine hinein und rührt mit einem Glasstab stetig um. Nach dem Auflösen und Abkühlen stellt man das Becherglas wieder auf die Trierewage und füllt auf 200 g + Bechergewicht auf.

Geringe Zusätze von Salzen der Schwefel-, Phosphor- oder Kohlenensäure erhöhen die Zähigkeit, Zusätze von Bromiden, Jodiden und ähnlichen Stoffen (Verbindungen bestimmter Grundstoffe mit Chlor) erniedrigen sie. Noch reichlich viel ließe sich über Zähigkeitsercheinungen sagen. Doch Beschränkung auf das Allerwesentlichste nur ist geboten.

Die Ursache der normalerweise hohen inneren Reibung bei Tröpfchenkolloiden, als deren Vertreter unter vielen anderen Eiweiß, Stärke, Gummiarabikum, Kasein, Kautschuk genannt seien, beruht sehr wahrscheinlich auf der starken Wasserbindung (Hydratation) der Kolloidteilchen. Die Teilchen des zerteilten Stoffes sind vom Lösungsmittel nicht scharf getrennt, halten das Lösungsmittel gewissermaßen hüllenartig um sich gebunden (vgl. Abb. 26), sie lieben geradezu das Lösungsmittel und heißen deshalb recht bezeichnend auch Lösungsliebend oder inophil und sobald Wasser das Lösungsmittel ist, entsprechend hydrophil. Man stelle sich, um einen groben Vergleich zu geben, etwa folgendes vor. Das Wasser eines Baches fließt klar vorüber. Wir werfen hundert faustgroße glatte

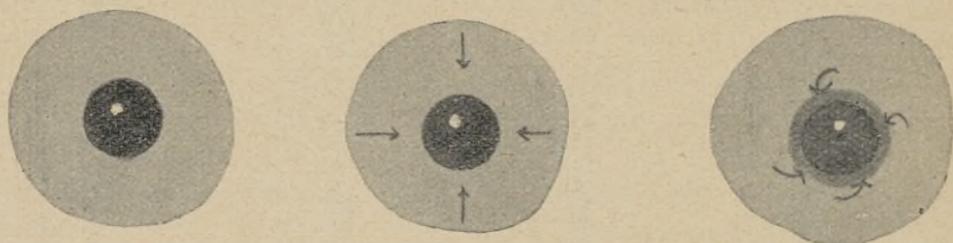


Abb. 26. Lösungsliebendes Kolloidteilchen.

Kugeln hinein, die sich allenthalben eine Zeitlang schwebend im Wasser halten. Die Kugelwände sind für das Wasser undurchdringlich. Wir werfen auch hundert Badeschwämme in das Wasser hinein. Die Badeschwämme saugen sich mit Wasser voll. Es entsteht eine die Breite des Baches ausfüllende Masse, die schwer beweglich ist, während die glatten Kugeln rascher von dem Wasser fortgeführt werden.

Es wird verständlich, warum wir auch bei Lösungen der stark lösungsliebenden Tröpfchenkolloide weniger deutlich die uns bereits vertrauten Trübungsercheinungen ausgeprägt sehen, die ja zumal wieder durch bestimmte Brechungsverhältnisse zwischen Lösungsmittel und zerteiltem Stoff ausgelöst werden. Wo demnach Lösungsmittel und zerteilter Stoff weniger scharf gegeneinander abgegrenzt sind, werden folglich solche Brechungsvorgänge weniger wirksam sein. Auch das Ultramikroskop läßt bei Tröpfchenkolloiden die Teilchen mitunter nur sehr schwer erkennen, und die Brownsche Bewegung erscheint ebenfalls herabgesetzt. Diese Bewegung verringert sich überhaupt mit zunehmendem Zähigkeitsgrad.

Da wir soeben hörten, daß sich durch bestimmte Zusätze die Fähigkeit einer kolloiden Lösung erheblich steigern läßt, und da wir diese Fähigkeit besonders stark bei Tröpfchenkolloiden ausgeprägt sehen, so läßt sich auch hier ein ununterbrochener Weg verfolgen, der, von einer echten Lösung ausgehend, über Tröpfchenkolloiden bei zunehmender Fähigkeit schließlich zu jener festweichen oder halbflüssigen Form einer Gallerte führt.

Wir sagten schon, daß Gallerten durch Flockung (Koagulation), Gelatinierung oder Quellung entstehen können. Gelatinierungs- und Quellungsvermögen ist hauptsächlich den Tröpfchenkolloiden eigentümlich. Sie vermögen aber auch bei Zugabe stärkerer Salzportionen zu koagulieren. Werden sonderlich zähflüssige Lösungen von Tröpfchenkolloiden abgekühlt, so tritt Gelatinierung ein. Dieser Gelatinierungsvorgang braucht wie jede kolloide Zustandsänderung ein bestimmtes Maß Zeit. Solche Gelatinierungsvorgänge sind auch mehrfach ultramikroskopisch untersucht worden. Unsere Abbildung 27 zeigt einen charakteristischen Abschnitt einer erstarrenden Kaliumstearatlösung, die in eine sogen. Scheingallerte übergeht. Dem Zustand unseres Bildes war das Auftreten kleiner, in lebhaft flimmernder Brownscher Bewegung befindlicher, Ultramikronen vorausgegangen. Aus diesen waren kleine isolierte Flöckchen entstanden, die ihrerseits zu kleinen gekrümmten Fädchen auswuchsen. Diese Fädchen wuchsen weiter und legten sich zusammen, indem sie allmählich ein immer deutlicheres Maschen- oder Netzwerk bildeten. Die Netzmaschen verstärkten sich offenbar, indem sich (siehe das Bild) viele Fädchen aneinanderlegen. Hier etwa hat das System den Zustand erreicht, in dem seine Gallerteigenschaften am ausgeprägtesten sind. Bei langsamer Abkühlung brauchen wir die Temperatur nicht so weit herabzusetzen als bei rascher Abkühlung, um eine gelatinierende Lösung zur Erstarrung zu bringen. Bei entsprechender Erwärmung kann die so gebildete Gallerte wieder verflüssigt werden. Halten wir eine Gelatinegallerte vor uns, so sagt man infolgedessen, sie sei ein elastisches reversibles Gel. Reversibel oder umkehrbar deshalb, weil die Gallerte nach Erwärmung wieder in eine kolloide Lösung überzugehen vermag.



Abb. 27. Gelatinierung unter dem Ultramikroskop.

Es erscheint zweckmäßig, sogleich etwas Näheres hierzu zu sagen.

Reversible Stoffe sind in der Regel solche, die, mit Flüssigkeiten in Berührung gebracht, sich von selbst und ausnahmslos nur kolloid zerteilen. Der beim Eintrocknen der Lösung zurückbleibende Trockenrückstand besitzt die Fähigkeit, sich abermals kolloid zu zerteilen, sobald ihm das entsprechende Lösungsmittel wieder zugesetzt wird. Es gibt auch Stoffe, die, obwohl sie einmal kolloid gelöst aufgetreten sind, nach der Eintrocknung trotz Zugabe eines entsprechenden Lösungsmittels die Eigenschaft einer abermaligen kolloiden Zerteilung, eine Reversibilität einfach verloren haben. Sie heißen deshalb irreversibel oder nicht mehr umkehrbar. Das auf elektrischem Wege durch Metallzerstäubung (vgl. Abb. 21) gewonnene kolloide Gold ist beispielsweise irreversibel.

Hier knüpft aber wiederum eine Erscheinung an, die wir als Schutz gegen solche Nichtumkehrbarkeit zu bezeichnen pflegen. Auch Kolloide haben ihre Polizeiorgane, und woselbst ein bestimmter Zustand, wie der irreversibile, nicht eintreten soll, da wehren diese sorglich das Verhängnis ab. Ein praktisch einfacher Versuch soll uns auch hierüber kurzerhand belehren.

Wir haben zwei Kolben mit wässriger farbloser Bleichloridlösung angefüllt. Dem ersten Kolben leiten wir ein paar Blasen Schwefelwasserstoff ein. Es entsteht ein schmutzigbrauner, alsbald zu Boden sinkender Niederschlag von Bleisulfid. Dem zweiten Kolben gießen wir vor der Schwefelwasserstoffzufuhr einige ccm einer frisch-bereiteten, womöglich noch warmen Gelatinelösung zu. Erfolgt jetzt die Zugabe von Schwefelwasserstoff, so entsteht eine dunkelbraune, vollkommen klare Lösung, ein Bleisulfid-Wassersol. Die Gelatine hat demnach durch ihre Anwesenheit erst die Entstehung einer kolloiden Lösung ermöglicht. Selbst ein Kolloid, hat sie für das Metall-Wassersol als Schutzkolloid gewirkt. Tröpfchenkolloide sind es, die in vielen Fällen nicht mehr umkehrbare Zustandsänderungen, zumal der Körnchenkolloide, beseitigen oder Flockungsvorgänge verhindern. Gelatine, Hausenblase, Eieralbumin, Kasein, Blutfarbstoff, Tragant, gewisse Spaltprodukte von Eiweiß, Tannin sind einige solcher Schutzkolloide, deren Schutzvermögen unter sich wieder höchst verschieden ist. Gelatine schützt besser als Hausenblase, diese wieder besser als Kasein und Kasein wieder besser als Eieralbumin.

Auch die Zeit, abgesehen vom Salzzusatz, kann ungeschützte kolloide Lösungen allmählich zur Flockung treiben, sofern sie monatelang aufbewahrt werden. Es treten dann bestimmte Farb-

umschläge ein. Ein vordem tiefrot leuchtendes Goldsol wird violett und, zur Flockung führend, schließlich blau.

Ein vergleichbares Maß der Schutzwirkung ist durch die sogenannte Goldzahl gegeben. Man prüft, wieviel Milligramm Schutzkolloid nötig ist, um bei 10 cem Goldsol den Farbumschlag von Rot in Violett nach Zusatz von 1 cem zehnprozentiger Kochsalzlösung gerade zu verhindern. Die gefundene Anzahl Milligramm ist die Goldzahl eines betreffenden Schutzkolloids, und die Goldzahlen sind

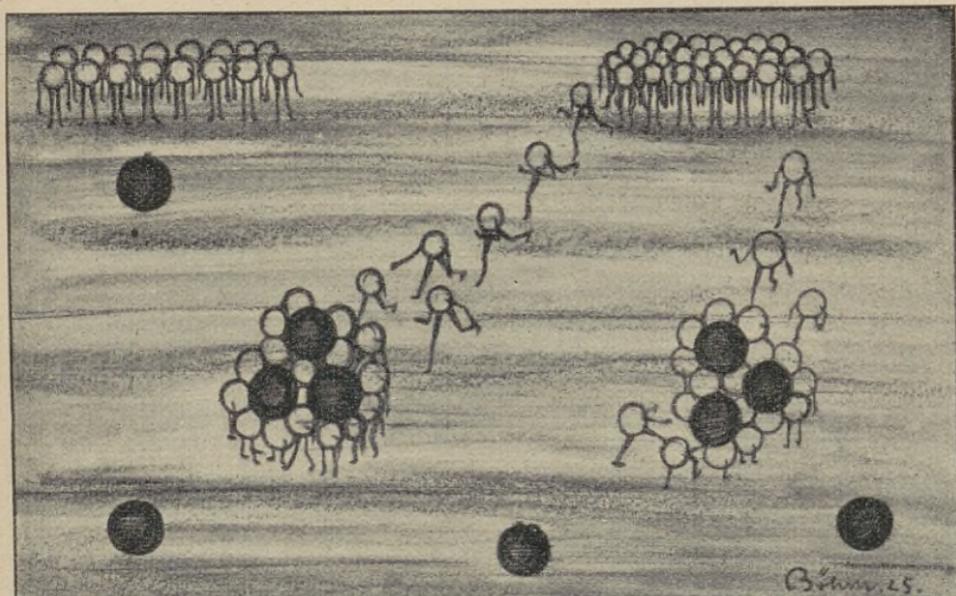


Abb. 28. Schutzkolloide suchen eine Annäherung von Körnchenkolloiden zu verhindern.

geeignet, einen ungefähren Überblick über die Schutzwirkung verschiedener Tröpfchenkolloide zu geben. Je kleiner die Goldzahl, um so größer die Schutzwirkung. Sie beträgt bei Gelatine im Mittel 0,008, bei Kasein 0,01, bei Tragant 2.

Noch läßt sich nicht sicher sagen, auf welche Vorgänge diese Schutzwirkung zurückzuführen ist. Es läßt sich denken, daß in vielen Fällen irgendeine Vereinigung von Körnchen- und Tröpfchenkolloiden stattfindet und dadurch reversible Verhältnisse von Schutzkolloiden auf die Gesamtheit übertragen werden. Vielleicht und wahrscheinlicher spielen aber Erscheinungen ähnlich den noch zu besprechenden der Ansaugung oder Adsorption eine Rolle, indem Schutzteilchen Körnchenteilchen umhüllen und deren gegenseitige Annäherung erschweren. Das würde etwa unsere Abbildung 28 schematisch

darstellen, woselbst Schutzpartikelchen eine Massenansammlung verhindern. Die möglichen Fälle der Umkehrbarkeit, der Nichtumkehrbarkeit und schließlich deren Verhinderung durch Schutzkolloideinwirkung sind aus Abbildung 29 zusammenfassend ersichtlich, und zwar so eindeutig klar, daß im Hinblick auf das bereits Gesagte nichts mehr hinzuzufügen ist.

Nach dieser notwendig gewordenen Einschaltung wenden wir uns jetzt wieder unserer Gallerte zu. Wir sagten, Tröpfchenkolloide sind lösungsliebend, gehen starke Bindungen mit dem Lösungsmittel ein. Ist das Lösungsmittel Wasser, vermögen sie sehr viel Wasser festzuhalten. Eine Gallerte hält in der Regel außerordentlich viel Wasser gebunden. Ist verhältnismäßig viel des zerteilten Stoffes vorhanden, treten die Kolloidteilchen reichlich auf, so saugen sie mit vereinten Kräften naturgemäß noch mehr Wasser an, das zerteilte System vergrößert seinen Raum ganz beträchtlich. Es quillt. Und diese Quellbarkeit ist eine weitere wichtige Eigenschaft gerade der Tröpfchenkolloide. Flüssigkeiten werden in großer Menge aufgesogen.

Mit Leichtigkeit lassen sich hundertfach Beispiele aus dem täglichen Leben hierfür anführen. Eine trockene Leimscheibe, mit Wasser in Berührung gebracht, quillt. Ein angehauchtes Gelatineplättchen quillt. Durch das Anhauchen wird Wasser zugeführt. Die angehauchte Seite quillt, vergrößert ihre Oberfläche und das Blatt rollt sich zusammen. Uns allen ist die fabelhafte Schnelligkeit hierbei bekannt, und als Kind hatten wir unsere spaßige Freude daran. Nach dem Ausgleich des Quellungsunterschiedes glättet sich das Blatt von selbst. Mit Wasser begossene Erbsen, in einer verschlossenen Bierflasche über Nacht aufbewahrt, quellen. Am Morgen ist die Flasche gesprengt. Der Quellungsdruck hat diese Sprengung hervorgerufen. Bohnen quellen und platzen. Quellende Bäume sprengen Felsen auseinander. Mißt man den Quellungsdruck mit geeigneten Apparaten, so erhält man beträchtlich hohe Werte. Umgekehrt kann eine Flüssigkeit auch wieder Wasser abgeben. Man spricht dann von Entquellung.

Die Quellung selbst ist anfänglich am stärksten und nimmt zeitlich ab. Sie ist auch nicht unbegrenzt, denn sobald ein Körper mit der aufzunehmenden Flüssigkeit voll gesättigt ist, hört die Quellung auf. Trockene Gelatine bildet im kalten Wasser stark gequollene Gallerte, in heißem Wasser löst sie sich sofort kolloid auf. Demgemäß spielt bei Quellung auch die Temperatur eine Rolle. Manchmal kann auch

bei niederen Temperaturen ein kleiner Teil des quellenden Körpers in Lösung übergehen. Es bestehen weiterhin bestimmte Beziehungen zwischen dem zu quellenden Körper und dem Quellungsmittel. Kautschuk quillt in Chloroform, aber nicht in Wasser. Gelatine quillt in Wasser, aber nicht in Chloroform. Und schließlich beschleunigen bestimmte Zusätze die Quellbarkeit oder mindern sie umgekehrt herab. Salze, die, wie wir erfuhren, die Zähigkeit erhöhen, werden

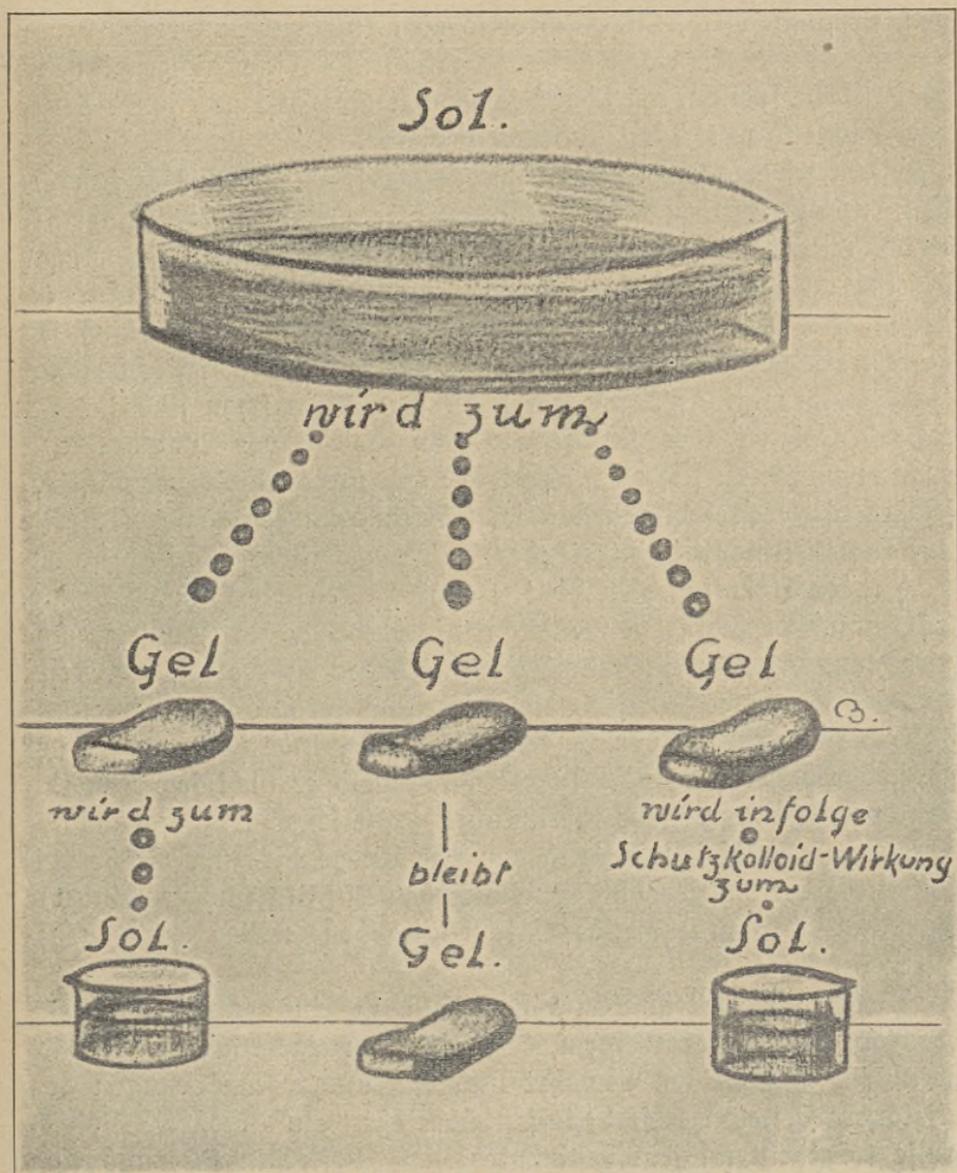


Abb. 29. Mögliche Fälle von Zustandsänderungen.

entsprechend eine Quellung hemmen, werden zur Entquellung führen, denn der Verflüssigung der Kolloide, wie wir die Quellung auch bezeichnen können, wird entgegengearbeitet. Umgekehrt werden Salze, die die Fähigkeit erniedrigen, entsprechend eine Quellung fördern, da die Verflüssigung der Kolloide dadurch eine Beschleunigung erfährt. Quellungshemmende Salze sind u. a. wieder folglich solche der Schwefel- oder Phosphorsäure (Sulfate und Phosphate); quellungsfördernde Salze u. a. wieder bestimmte Chlorverbindungen, Lithiumchlorid, Lithiumbromid oder Rhodankalium.

Gerade dort, wo Quellungsverhältnisse eine außerordentlich große Rolle spielen, am Leben selbst, hat die Forschung solche Dinge hervorragend untersucht und nachgewiesen.

Protoplasma, dieser Grundbildungsstoff, ist der Träger des Lebens, und Protoplasma als Zellinhalt ist ein vielfältig wundersames Kolloid. Und wenn Billionen Zellen, soweit sie mit lebendigem Plasma ausgerüstet sind, unseren Körper zusammensetzen, so verstehen wir, daß das ganze Problem des Lebens, um das sich seit ältesten Tagen der Kultur die Menschheit streitet, schlechterdings ein kolloides ist. Quellungserscheinungen allein schon sind hervorragend geeignet, dies einzusehen. Noch ehe wir das Licht der Welt erblickten, hatten sich reichlich in der gesegneten Tiefe des Mutter Schoßes die wechselvollsten kolloiden Zustandsänderungen bei Eireise und Befruchtung, bei eintretender Furchungsteilung und dem heranwachsenden Keimling abgespielt. Dann tranken wir erstmals Sonne, spähten mit dunkel fragenden Augen in das Blau des Himmels, ohne zu ahnen, daß hier ein kolloides Wunder das andere ergänzt. Denn wie hier die Farbe des Himmels auf bestimmter kolloider Zerteilung im Zerteilungsmittel der Luft beruht, so bestünde auch der Körper nicht, der dieses fragende Auge trägt, sobald er nicht selbst im Zustand von Billionen mehr oder minder gequollener Tröpfchenkolloide verharrte und diesen Zustand von der Wiege bis zum Grabe beibehält, derart, daß erhöhte Quellung den Aufstieg und verminderte Quellung oder zunehmende Entquellung den Abstieg der Lebenskurve bedeutet.

Jedes Plasmatröpfchen einer Zelle ist ein gequollenes, reich verwickeltes kolloides System, daß seine ihm eigentümliche Kolloidnatur im allgemeinen bewahrt und Quellungsveränderungen den nicht verarbeiteten Reservestoffen überläßt. Ein Muskel beispielsweise trägt einmal sein bestimmtes Maß Wasser in sich, und zum anderen das locker gebundene Quellungswasser der Reservestoffe,

das je nach der Muskelarbeit schwankt. Und wo sich z. B. infolge gestörter Verbrennungsvorgänge bestimmte quellungsfördernde Salze bilden, sammelt sich in einem Gewebe oder in einer Gewebsspalte reichlich Flüssigkeit (als Ödem benannt) an. Manche Forscher führen die Ödembildung auf solche Erscheinungen zurück und suchen der Erkrankung durch Zusatz quellungshemmender Salze abhelfend beizukommen. Es macht der Feder wahrlich Mühe, hier, wie so oft schon beim Niederschreiben dieser Blätter, einzuhalten.

Insbefondere die Quellungserscheinungen warnen vor einer Überschätzung jener bereits erwähnten Verhältnisse der Osmose und ihres Druckes, die bislang den Pulsschlag des Lebens wesentlich erklären sollten. Zum mindesten darf die gewaltige Quellungskraft der wasserreichen Kolloide nicht mißachtet werden als Quelle jener treibenden Kraft, die unaufhörlich im lebenden Körper wirkt und schafft. Es läßt sich dann sehr wohl begreifen, wie infolge der Quellungskraft das Wasser bis zu den höchsten Spitzen der Bäume gehoben werden kann. Gallerten, gequollene Gele sind befähigt, bei genügender Formbeständigkeit dem für die Lebenserhaltung so notwendigen Wasser und den in ihm gelösten Salzen und anderen Stoffen genügend leichten Durchtritt zu gestatten, es festzuhalten und gegebenenfalls auch wieder abzugeben. Salzlösungen hemmen, fördern oder heben die Quellbarkeit auf. Wir verglichen schon die Zellohant mit der Dialysiermembran und erfuhren, daß diese Membran selbst eine dünne Gallertschicht darstellt. Quellungshemmende oder fällend wirkende Stoffe werden folglich die Struktur solcher Zellmembranen stark verdichten. Die Zelle benötigt solche Stoffe zumeist nicht, und im Augenblick, da sie das Zellinnere erreichen wollen, versperren sie sich selbst den Weg. Umgekehrt werden die der Zelle und somit der Lebenstätigkeit außerordentlich zweckdienlichen quellungsfördernden Substanzen, insbesondere die Chloride — sich selbst den Weg durch Lockerung der Struktur der Zellmembran bereitend —, in das Zellinnere gelangen können.



Wir versuchen jetzt eine ungefähre (etwa einen Gedankengang W. Ostwalds streifende) Vorstellung von den bei der Gelatinierung und der Quellung sich abwickelnden Vorgängen zu gewinnen.

Sicherlich hat dieser oder jener unserer Leser schon bemerkt, daß Gallerten, die altern, d. h. die längere Zeit aufbewahrt

und sich selbst überlassen bleiben, Flüssigkeitsmengen gewissermaßen ausschwitzen oder auspressen. Im Maße, wie der Gallertklumpen hierbei zusammenschrumpft, wächst um ihn herum die sich mehr und mehr ansammelnde Flüssigkeit. Nach Monaten oder selbst nach Jahren kann diese ausgeschwitzte Flüssigkeit recht beträchtlich sein (Abbild. 30). Die vordem einheitlich erscheinende Gallerte hat sich entmischt, und der Vorgang selbst heißt deshalb auch Entmischung (fremdwörtlich Synaerese).

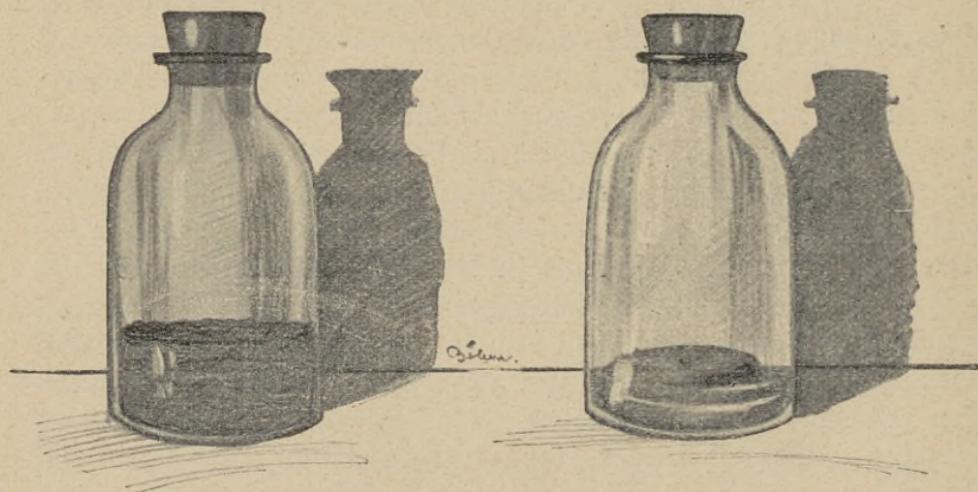


Abb. 30. Gallertentmischung oder Synaerese.

Prüft man die ausgepreßte Flüssigkeit auf ihre Zusammensetzung hin, so zeigt sich, daß sie nicht etwa Wasser ist, sondern alle Bestandteile der Gallerte in allenthalben verdünnter Form enthält. Ja, auch die festere Gallerte selbst kam wahrscheinlich nur durch einen Entmischungsvorgang (das eigentliche Wesen der Gelatinierung) erst zustande. Man sagt, eine vordem kolloide Lösung entmischte sich. Es hatten sich ein verdichteter Kolloidanteil mit verhältnismäßig wenig gebundenem Wasser gebildet und weiterhin ein stark verdünnter wäsriger Anteil mit verhältnismäßig wenig Kolloidteilchen. Beim Altern der Gallerte liegen auch diese beiden Anteile in der ausgepreßten Flüssigkeit gewissermaßen weiterhin aufgelockert vor. Die abgeschiedene Flüssigkeit stellt eine zweite verdünnte Kolloidlösung dar, die sich aus der verdichteten Lösung der Gallerte in zusammenhängender Form auschied.

Diese Deutung des Gelatinierungsvorganges geht auf Versuche mit bestimmten Flüssigkeitsgemischen zurück. Mischen wir Wasser

und Phenol im Mengenverhältnis von etwa 3:1, so stellt dieses Gemisch zunächst eine grobe Aufschwemmung dar, worüber schon die weißliche Trübung des Gemisches beim Schütteln belehrt. Bei stärkerem Erwärmen geht diese grobe Aufschwemmung allmählich in echte farblose Lösung über. Eine einheitliche Mischung ist erreicht. Zwischen grober Zerteilung und echter Lösung liegt aber das uns sehr wohl vertraute Gebiet der kolloiden Zerteilung. Man kann nun in der Tat auch diesen kolloiden Zustand des Flüssigkeitsgemisches feststellen, sobald das Flüssigkeitsgemisch wieder im Abkühlen begriffen ist. Dann zeigt das Flüssigkeitsgemisch vorübergehend ausgesprochene Kolloidnatur. Der kolloide Zerteilungsgrad ist erreicht. Doch schließlich entmischt sich das in kolloider Zerteilung beharrende Flüssigkeitsgemisch. Es bilden sich innerhalb des gesamten Gemisches zwei Anteile verschiedenen Gehaltes; einmal Wasser und wenig Phenol, zum anderen Phenol und wenig Wasser. Und dieses Entmischen kann schließlich bis zur völligen Trennung von Phenol und Wasser führen.

Das Ergebnis dieser etwas verwickelt erscheinenden Ausführungen gipfelt in dem Satz: Gelatinierung ist die Bildung einer Gallerte auf dem Wege einer stetig fortschreitenden Entmischung einer kolloidflüssigen Lösung. Hierbei ist der Zerteilungsgrad einer Gallerte niedriger als derjenige der ursprünglich flüssigen Lösung. Umgekehrt ist bei einer durch Quellung entstandenen Gallerte der Zerteilungsgrad höher als der des festen Körpers, aus dem die Gallerte hervorgegangen ist. Eine Vorbedingung für die Quellbarkeit eines Körpers scheint zum mindesten eine bestimmte gröbere, etwa wabige oder schaumige Struktur dieses Körpers zu sein. Quillt ein solcher Körper, dann dürfte seine gröbere Struktur eine feinere Zerteilung erfahren. Vordem zu Verbänden geeinte Teilchen trennen sich und treten auseinander. Man konnte wiederholt bemerken, daß ultramikroskopisch wahrnehmbare Teilchen einer Gallerte beim Quellen kleiner bzw. lichtschwächer wurden.

Gequollene Gallerten sind in der Regel stark elastisch und formbeständig. Nur dadurch wird die vielfache Verwendung der Gelatine in der Kochkunst möglich. Gleichsam nekartig schließt die Gelatine die mit ihr verbundenen Fremdkörper ein. Beim Hineinwandern (diffundieren) von zwei stofflich verschiedenen echten Lösungen in Gallerten führt der Zusammentritt solcher Lösungen innerhalb der Gallerte nicht zu dem üblichen, einheitlich zusammenhängenden Niederschlag, sondern es bilden sich aufeinanderfolgende Schichtungs-

reihen, vergleichbar etwa den Jahresringen eines Baumstammes. Eintrocknete Gallerten zeigen oft die merkwürdigsten Sprungfiguren. Man braucht nur frisches Hühnereiß auf eine flache Glasschale zu schütten, das Eiweiß an der Luft eintrocknen zu lassen, um sich davon zu überzeugen. Dann erscheint der Trockenrückstand in lauter sprümgig gesonderte Felder zerteilt, und die Felder selbst weisen mehr oder minder kreisähnliche Figuren auf. Stellt man eine Glasplatte, die man vordem mit einer dünnen Gelatineschicht überzogen hatte, im Winter vor das Fenster, so gefriert bei entsprechenden Kältegraden die Gelatineschicht. Das in ihr enthaltene Wasser führt zur Bildung der wohlbekanntenen Eisblumen. Nach dem Auftauen behält die Gelatine den negativen Abdruck solcher Eisblumen bei.



Wir gönnen uns jetzt eine kurze Atempause und heben jeweils besondere Eigenschaften von Tröpfchenkolloiden und Körnchenkolloiden zusammenfassend hervor.

**Tröpfchenkolloide** (Emulsioide) sind lösungsliebend, besitzen Schaumbildungs-, Quellungsvermögen und ausgesprochenen Zähigkeitswechsel. Eine tröpfchenkolloide Lösung ist meist farblos, jedoch opaleszent. Tröpfchenkolloide zeichnen sich durch kaum merkliche elektrische Eigenladung und durch geringe Empfindlichkeit gegen nicht zu starke Salzzugaben aus. Sie wirken vorteilhaft als Schutzkolloide, da ihnen selbst vorherrschend die erwähnte Umkehrbarkeit, die Rückverwandlung eines Gels oder eines Trockenrückstands in eine abermalige kolloide Lösung zu eigen ist. Sie zeigen allenthalben eine gewisse Verwandtschaft mit echten Lösungen. Sie bestimmen in erster Linie das Reich des Lebendigen. Im schwingenden Rhythmus von Tröpfchenkolloiden ankert der Urgrund des Lebens. **Körnchenkolloide** dagegen sind Lösungsscheuend oder Inophob. Die Kolloidteilchen nehmen nichts vom Lösungsmittel auf, so daß zerteilter Stoff und Lösungsmittel in der Regel scharf gegeneinander abgegrenzt sind. Im Zusammenhang damit kann bei Körnchenkolloiden auch nicht von Schaum- oder Quellungsfähigkeit und auch nicht von einer nennenswerten Zähigkeit gesprochen werden. Es überrascht auch nicht zu hören, daß ihre Kolloidteilchen besonders deutlich und sattfam leuchtend unter dem Ultramikroskop wahrnehmbar sind und die Brownsche Bewegung lebhaft vor sich geht. Körnchenkolloide zeigen weiterhin eine stark elektrische Eigenladung, und ihre Empfindlichkeit gegen Salzzugaben ist bedeutsam. Eine

körnchenkolloide Lösung ist meist klar und farbig. Ihr Trockenrückstand ist meist nicht mehr kolloid auflösbar. Körnchenkolloide bestreiten eben vorwiegend das Reich der irreversiblen Kolloide. In mancher Hinsicht scheinen Körnchenkolloide einer groben Ausschwemmung nahe zu stehen.

Es sei erwähnt, daß der tröpfchenkolloide Zustand in den körnchenkolloiden Zustand übergehen oder auch der umgekehrte Fall eintreten kann. Beim Kochen des Fleisches oder des Hühnereiweißes z. B. gerinnt das tröpfchenkolloide Eiweiß und wird zum körnchenkolloiden Eiweiß mit Eigenschaften der Körnchenkolloide. Das Hühnereiweiß läßt sich dann bekanntlich zerschneiden und verändert sich, abgesehen von einer geringen Wasseraufnahme, kaum mehr. Es erweist sich nur als begrenzt quellbar und kann nicht mehr, wie allgemein die Körnchenkolloide, in eine kolloidflüssige Lösung zurückverwandelt werden (irreversibel). Ganz anders verhält sich dagegen das der gewöhnlichen Verdunstung preisgegebene Hühnereiweiß, dessen dadurch gebildetes Gel sich bei Wasserzufuhr wieder in eine kolloide Lösung rückverwandeln kann (reversibel). Derart beeinflusstes Eiweiß ist demzufolge unbegrenzt quellbar. Wir ziehen die Lehre aus beiden Erscheinungen und sagen: Begrenzte Quellbarkeit bedeutet Formerkalt, unbegrenzte Quellbarkeit dagegen Formverlust. Auch dadurch wird uns die Bedeutung der Quellbarkeitsgrade für die an die Form geknüpften Lebensvorgänge verständlich.



Entsprechend den Wegen, die zur Herstellung kolloider Lösungen führen, gibt es auch verschiedene Wege, um den kolloiden Zustand aufzuheben und meist für dauernd zu vernichten.

Auch hier wird uns der künstliche Versuch zum Vorbild dessen, was sich in der Natur ähnlicherweise ohne Beeinflussung des Menschen vollziehen kann. Wir deuteten schon die Möglichkeit einer durch Ausflockung oder Koagulation hervorgerufenen Gallertbildung (Koagele) an und fügen jetzt hinzu, daß es sich hierbei um eine ganz wesentliche Herabminderung einer vordem feinen kolloiden Zerteilung handelt. Körnchenkolloiden ist nun eine besonders starke elektrische Ladung zu eigen. Diese elektrische Ladung ist der Grund, daß schon bei Zusatz von geringen Mengen von bestimmten Säuren, Basen oder Salzen in körnchenkolloiden Lösungen die Kolloidteilchen zusammengeflockt oder koaguliert werden (Abb. 31). Denn wohlverstanden besitzen solche Zusatzstoffe ebenfalls eine elektrische

Ladung. Sie sind mit wandernden Elektrizitätstransporteurs (Ionen) beladen. Je nachdem der Ladungssinn dieser Ionen nun positiv oder negativ ist, spricht man von Kationen und Anionen. Gegenwärtliche Elektrizitäten wirken aber irgendwie aufeinander ein. Da wird es leicht verständlich, daß bestimmte negativ geladene Körnchenkolloide von positiv geladenen Ionen (Kationen) beeinflusst werden und umgekehrt positiv geladene Körnchenkolloide von negativ geladenen Ionen (Anionen). Infolge solcher Beeinflussung schließen sich Kolloidteilchen zu größeren Gebilden zusammen, flocken ineinander und sinken, falls sie schwerer als das Lösungsmittel sind, zu Boden. Durch mehrwertige Ionen, d. h. solchen, die mehrere Ladungen in sich vereinigen, wird naturgemäß der Ausflockungs- oder Koagulationsvorgang noch gesteigert und beschleunigt.

Wir dürfen also bei Körnchenkolloiden vorwiegend von einer elektrisch ausgelösten Koagulation sprechen, während das bei Tröpfchenkolloiden weit weniger der Fall ist. Elektrische Erscheinungen spielen hier eine nur untergeordnete Rolle, was wieder übereinstimmend ist mit der geringen elektrischen Eigenladung der Tröpfchenkolloide. Reichlich beigefügte Zusatzstoffe dürften hier in erster Linie bewirken, daß das den Kolloidteilchen stark angereicherte Lösungsmittel diesen entzogen wird und somit erst nach diesem Lösungsmittelentzug eine Koagulation bewirkt werden kann.

In der Regel ist eine Ausflockung von wechselnden Farbumschlägen begleitet, und ein bestimmter Farbumschlag kann mitunter als erstes Kennzeichen einer Flockung angesehen werden. Eine rote kolloide Goldlösung wird beispielsweise blauviolett bis blau, und ebenso schlägt eine kolloide Kongorubinlösung nach blauviolett um.

Koagulation kann auch durch strahlende Kraft, z. B. Radiumbestrahlung, durch bestimmte Belichtung, durch Schleudern oder Zentrifugieren, durch Schütteln der in Benzol oder anderen Stoffen verbrachten Kolloide erreicht werden.

Der ausgeflockte kolloide Stoff kann mitunter eine kolloide Wiederauflösung erfahren, was häufig bei Tröpfchenkolloiden und seltener bei Körnchenkolloiden der Fall ist. Diese der Ausflockung entgegengesetzt verlaufende Erscheinung ruft wieder eine feinere Zerteilung hervor und führt zu einer angenähert räumlich gleichmäßigen Verteilung des zerteilten Stoffes im Zerteilungsmittel. Anlehnend an einen ähnlichen Vorgang bei der Magenverdauung von tierischem Eiweiß, wobei ein vordem zusammengesetzter Eiweißkörper in einfachere Körper oder Peptone zerpalten wird, bezeichnet

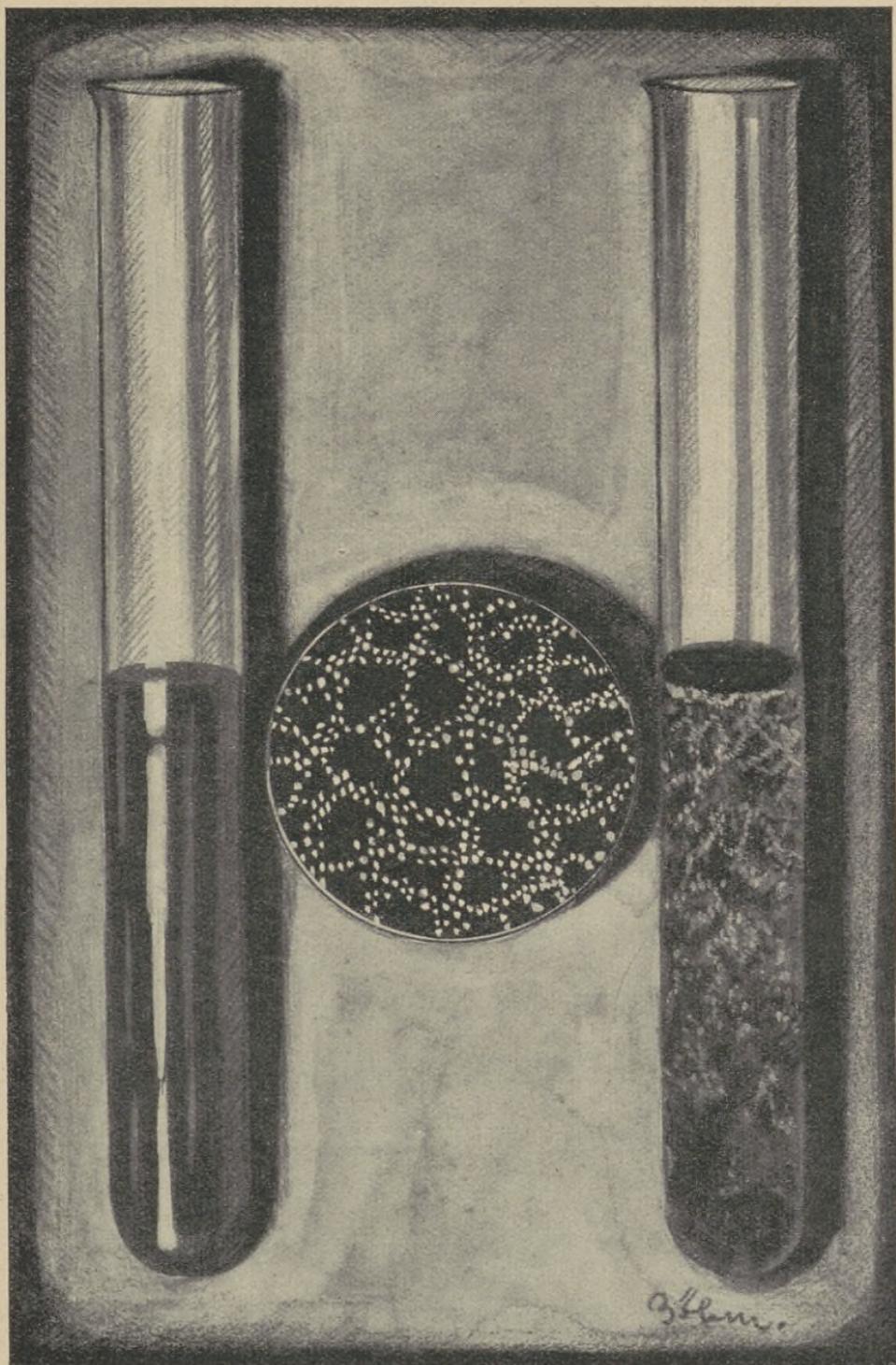


Abb. 31. Links und rechts: Lösung von Lampenschwarz (rechts ausgeflockt). In der Mitte: Vorstufe der Ausflockung bei konzentrierten Goldsolen.

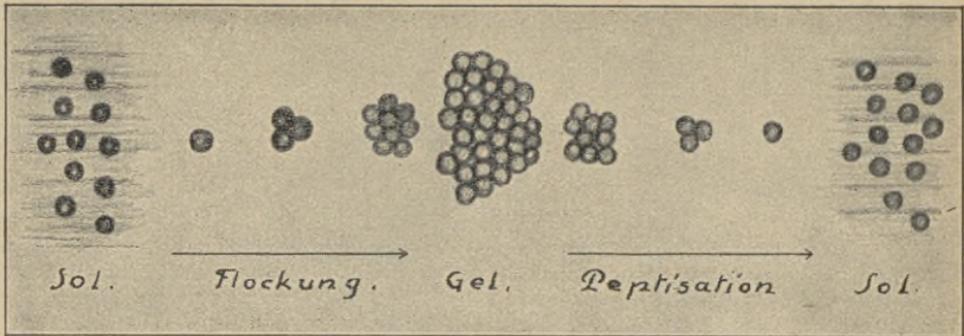


Abb. 32. (Erklärung im Text.)

man diese Ausflockungsumkehr als Peptisation. Und wie die Peptonbildung im Magen durch bestimmte kolloide Umwandler oder Fermente des Magensaftes veranlaßt wird, spielen sich bei allen Peptisationsvorgängen durch entsprechend umformende Stoffe oder Peptisatoren ähnliche Vorgänge ab. Die zusammengeflockten Kolloidteilchen werden aufgelockert, streben auseinander und verteilen sich als schwebende kolloide Einzelteilchen im Zerteilungsmittel. Unsere Abbildung 32 zeigt den Vorgang der Ausflockung und der Umkehrung durch Peptisation schematisch auf.



Unsere gedrängte Übersicht verlangt, beschließend eine ungefähre Anschauung darüber zu gewinnen, welche Rolle Adsorptions- oder Ansaugungsverhältnisse und die damit verbundenen Oberflächenerscheinungen bei Kolloiden spielen.

Bezeichnet man doch Kolloidchemie bisweilen geradezu als Oberflächenchemie oder Stratochemie (vom lat. stratum = Decke) oder anschließend an die älteste grundlegende Erscheinung der Haarröhrchen- oder Kapillarwirkung an Grenzflächen als Grenzflächen- oder Kapillarchemie.

Es ist ohne weiteres klar, daß Stoffe, die sich nicht innig miteinander mischen, irgendwie gegeneinander abgegrenzt sind und daß an der Grenzfläche solcher Stoffe bestimmte Oberflächenerscheinungen wirksam werden. So verhält sich beispielsweise die Grenzfläche von Wasser gegen Luft wie eine elastische Haut. Ein hängender Wassertropfen fällt erst dann, sobald sein Eigengewicht die den Tropfen umspannende Oberflächenhaut durchreißt. Die Kraft, welche die Spannung der Oberfläche bedingt, heißt Oberflächenspannung.

Die erreichte Größe des Wassertropfens läßt auf eine bestimmte Spannung oder Festigkeit der Oberflächenhaut schließen. Beim Alkohol z. B. ist diese Festigkeit weit geringer, denn aus der gleich weiten Röhre abtropfende Alkoholtropfen sind bedeutend kleiner (Abb. 33). Die Oberflächenspannung an den Grenzflächen zweier Stoffe kann demnach recht verschieden sein, und es kann auch flüssig gegen flüssig und flüssig gegen fest abgegrenzt erscheinen. Bringen wir wenig Öl in eine geeignete Mischung von Wasser und Alkohol, so schwebt das Öl als Kugel darin. Erhöhen wir aber das eigentümliche Gewicht des Wassers durch Alkoholentzug, so steigt das Öl auf und breitet sich an der Oberfläche des Wassers aus (Abb. 34). Es müssen demgemäß innerhalb der Flüssigkeit andere Verhältnisse herrschen als an der Oberfläche. Nun ist die Oberfläche des in einer kolloiden Lösung beharrenden zerteilten Stoffes verhältnismäßig groß.

Der außerordentlich fein zerteilte Stoff berührt unter gewaltiger Oberflächenentwicklung das Zerteilungsmittel. Das sieht jedermann sofort ein, sobald er sich einmal der Mühe unterzieht, einen rechnerisch recht ein-

fachen Versuch auszuführen. Ein Würfel von der Seitenlänge 1 cm besitzt einen Rauminhalt von 1 ccm und eine Oberfläche von 6 qcm. Man kann jetzt diesen Würfel in beliebig viel kleinere Würfel zerteilen, und je kleiner solche Würfelchen werden, um so mehr müssen es sein, um in ihrer Gesamtheit den gleichen Rauminhalt von 1 ccm zu bestreiten. Je weiter die Zerteilung fortschreitet, d. h. je mehr Würfelchen aus dem Ausgangswürfel gebildet werden, um so erheblicher wächst die Oberfläche aller Würfelchen zusammen. Tausend Würfelchen besitzen schon eine zehnfache Gesamtoberfläche wie der ursprüngliche Würfel. (Abb. 35). Eine Million Würfelchen, das sind solche von 0,1 mm Seitenlänge, haben eine Gesamtoberfläche von 600 qcm. Eine Billion Würfelchen von je 1  $\mu$  (=  $\frac{1}{1000}$  mm) Seitenlänge bedecken oberflächlich ausgebreitet eine Fläche von 6 qm. Eine Trillion Würfelchen von je 0,01  $\mu$  Seitenlänge könnten schon ein ansehnliches Wiesenstück von 600 qm

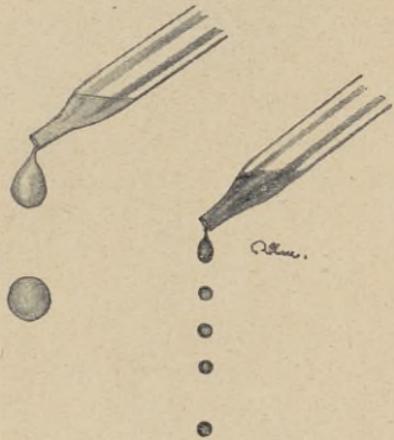


Abb. 33. Wassertropfen, die aus der gleichen Röhre wie Alkoholtropfen fallen, sind größer.

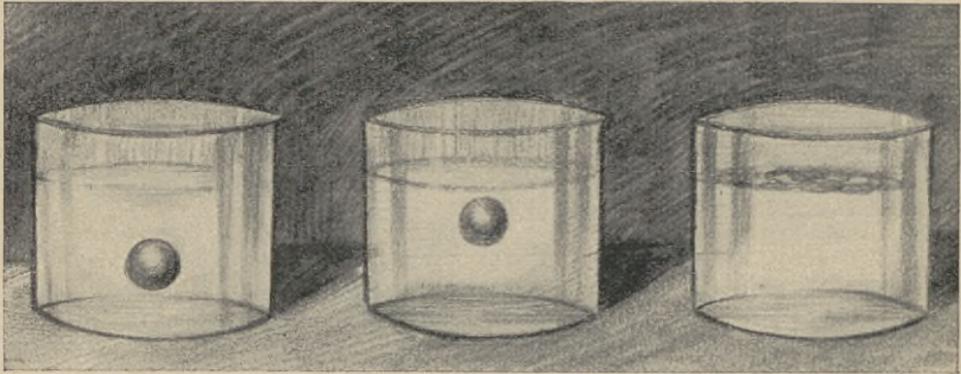


Abb. 34. Ein Ötropfen in verschiedenem Wasser-Alkoholgemisch. (Erklärung im Text.)

oberflächlich bedecken. Und schreiten wir dann weiter bis zu tausend Trillionen Würfelchen, so ist diesen eine Gesamtoberfläche von 6000 Quadratmeter zu eigen, eine Fläche, die ausreichen würde, eine stattliche Villa mit großem Garten, Gemüse- und Obstbaumland darauf zu errichten. Solche Würfelchen hätten dann eine Seitenlänge von je 1  $\mu\mu$ , und jedes Würfelchen würde seiner Größe nach etwa einem Kolloidteilchen in kleinstem Ausmaß entsprechen, das gerade noch an der Grenze zwischen kolloider und echter Lösung sich bewegt. Stellen wir uns nun vor, wir haben in 100 ccm Wasser 1 ccm kleinster Kolloidteilchen gelöst, so grenzen sich diese mit einer Oberfläche von mehreren tausend Quadratmetern gegen das Wasser als Zerteilungsmittel ab. In gleichbleibendem Verhältnis würde demnach ein Liter Wasser Kolloidteilchen von mehreren zehntausend Quadratmetern Oberfläche bergen. Das entspräche etwa einem Akerstreifen von einem Kilometer Länge und etwa 50—60 Meter Breite. Es wird zumal auch verständlich, daß je nach der Menge des zerteilten Stoffes in einer bestimmten Menge des Zerteilungsmittels die Grenzflächengröße in ihrer Gesamtheit verschieden ist.

Diese gewaltige

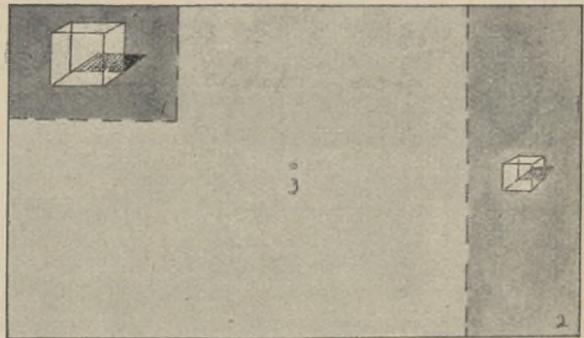


Abb. 35. Wachstum der Oberfläche eines Würfels bei zunehmender Zerteilung.

1.	Anzahl der Würfel	1	Seitenlänge	1 cm,	Oberfläche	6 qcm
2.	"	"	8	"	$\frac{1}{2}$ "	12 "
3.	"	"	1000	"	1 mm	60 "

Oberflächenentwicklung ist geradezu ausschlaggebend für die Chemie der Kolloide und alle Kolloidererscheinungen sind mit ihr aufs innigste verknüpft.

Schon an Oberflächen gewöhnlicher Ausdehnungen treten viele bezeichnenden Gegenwirkungen chemischer, physikalischer und elek-

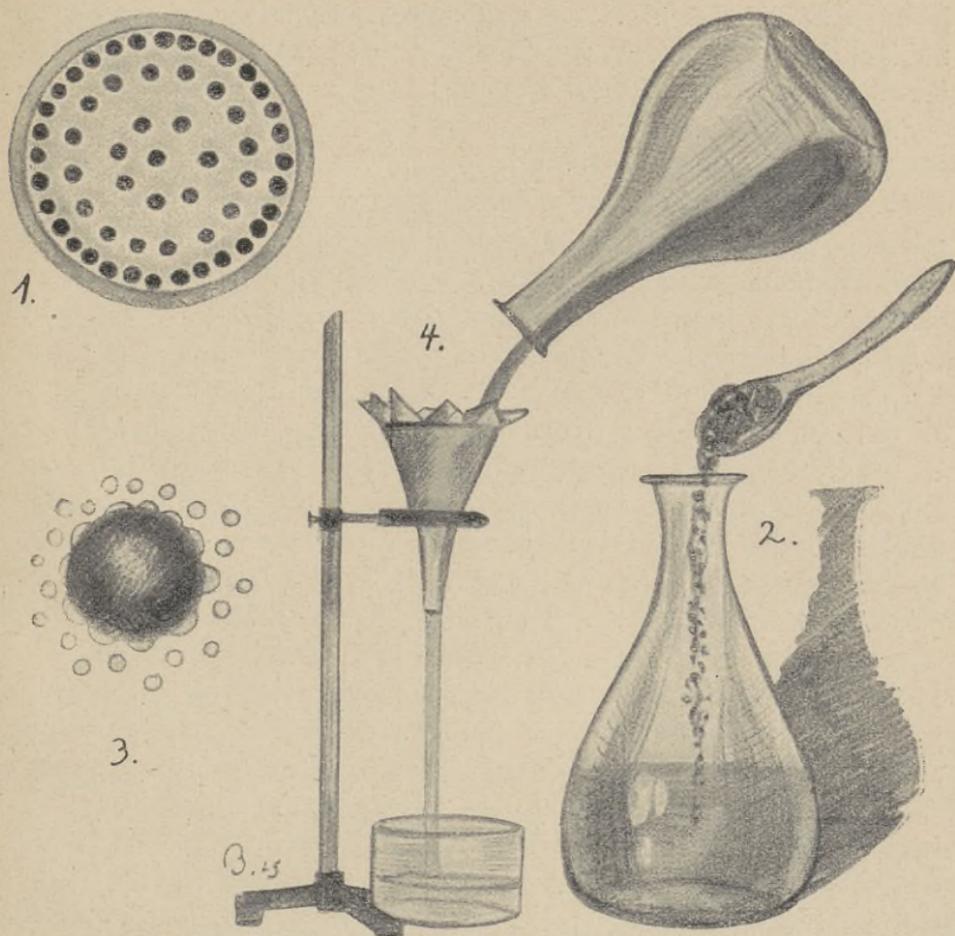


Abb. 36. Adsorptionsercheinungen. (Näheres im Text.)

trischer Natur auf, und alle diese Wirkungen verstärken sich ungemain bei entsprechender Oberflächenentfaltung. Allgemein neigen Stoffe mit großer Oberfläche dahin, andere Stoffe lose zu binden, anzusaugen oder zu adsorbieren. Und es bleibt nicht verwunderlich, daß Kolloide dieses Adsorptionsvermögen in hohem Grade besitzen. So vermögen kolloide Eiweißteilchen Methylenblau-moleküle festzuhalten, wie eine solche Anreicherung von Farbteil-

chen auch für die kolloiden Tier- und Pflanzenfasern bezeichnend ist. Insbesondere auch Gallerten zeigen hohe Adsorptionsfähigkeit, woselbst infolge ihrer vermutlich wabigen Struktur eine gesteigerte Oberflächenentfaltung gegeben ist. Kieselsäuregallerte bindet beispielsweise Fuchsinfarbstoffe außerordentlich fest, so daß selbst durch stärkstes und wiederholtes Auswaschen der Farbstoff aus der Gallerte nicht entfernt werden kann. Das Adsorptionsvermögen wächst mit der Größe der Oberfläche und hängt sowohl von der Natur der aufzunehmenden als auch von der Natur der aufnehmenden Stoffe ab.

Auch Kolloide unter sich zeigen Adsorption. Umgekehrt können Kolloide wieder selbst von anderen Stoffen gebunden werden, die ein ausgeprägt hohes Bindungsvermögen besitzen, wie dies durch einen Versuch bestätigt wird, der in den Figuren 2, 3, 4 unserer Abbildung 36 dargestellt ist. Das Glaskölbchen bei 2 enthält eine deutlich gefärbte kolloide Kongorotlösung. Wir schütten nun zwei kleine Löffel pulvriger Knochenkohle hinzu. Wir schütteln mehrfach und gießen den Inhalt des Glaskölbchens in ein gewöhnliches Filter. Das Filtrat in dem darunterstehenden Gefäß (4) ist praktisch farblos. Die Kohleteilchen, die infolge ihrer Größe das Filter nicht durchlaufen können, haben die kolloiden Farbteilchen, die der Filter sonst durchgelassen hätte, an sich gerissen. Dieser Vorgang ist für ein einzelnes Kohleteilchen bei 3 schematisch angedeutet. Entsprechende Gegenversuche würden beweisen, daß es sich hier tatsächlich um eine Adsorption handelt und die Entfärbung nicht etwa auf einer chemischen Zersetzung durch die Kohle beruht, was unter Umständen auch möglich ist.

Ungemein groß ist z. B. die Adsorptionsfähigkeit von Holzkohlepulver. Es gelang, aus dem Wasser der Adria, das im Kubikmeter vier Milligramm Gold enthält, das Gold größtenteils zu gewinnen, indem man einer bestimmten Menge Meerwasser Holzkohlepulver zusetzte, stundenlang rührte und aus dem Restbestand schließlich die Kohle verbrannte. Man rechne sich aus, wieviele Kubikmeter Wasser unsere Meere enthalten, und man wird ein Bild von dem riesigen Goldschatz allein dieser Meere gewinnen. Noch sind solche Verfahren viel zu kostspielig, um diesen Goldschatz auszubeuten, mögen sie auch phantasiereichen Köpfen bereits den Stoff für mehr oder minder geistreiche Romane geliefert haben.

Woselbst ein zerteiltes System, sagen wir eine kolloide Lösung, gegen eine andere Fläche, z. B. die Gefäßwand, abgegrenzt ist, treten die Kolloidteilchen in den weitaus meisten Fällen wieder ver-

dichteter auf als etwa im Innern der Lösung. Wir blicken auf unsere schematische Abbildung 36 (1). Ein Glasgefäß enthält als Flüssigkeit ein zerteiltes System, bestehend aus zerteiltem Stoff und dem Lösungsmittel. Wir denken uns das Glasgefäß quer durchschnitten. Wir blicken von oben darauf und sehen, daß die Stoffteilchen des zerteilten Stoffes nicht gleichmäßig in dem Lösungsmittel verteilt sind, sondern der Glaswand zu dichter gedrängt auftreten. Es besteht mit anderen Worten eine Grenzschicht von größerer Dichte oder Konzentration als im restlichen Rauminhalt der Flüssigkeit. Es bestehen offenbar an solchen Grenzflächen irgendwelche Kraftunterschiede, die nach Ausgleich drängen, sei es eine entgegengesetzte elektrische Ladung zwischen Kolloidteilchen und Abgrenzungswand, sei es ein Oberflächenspannungsunterschied, der nach Entspannung strebt, seien es Kräfte chemischer Natur, die einen aufzunehmenden Stoff (Adsorbend) zum Aufnahmestoff (Adsorbens) treiben. Adsorptionsercheinungen sind die verwickeltesten der gesamten Kolloidchemie, und bei allen Vorgängen der Koagulation, der Quellung und anderen mehr sind sie in wechselvoll tätiger Weise beteiligt. Dies auch nur in knappsten Zügen aufzuzeigen würde ein weiteres Buch beanspruchen.



Das Reich des kolloiden Zustandes in seinen Tiefen zu erfassen, erfordert ebensolch große Hingabe und setzt allenthalben ein Vertrautsein mit grundlegenden Dingen der physikalischen Chemie überhaupt voraus. Mehr als ein Fingerzeig ist dem Leser hier nicht geboten. Der Rest dessen, was zu sagen übrig bliebe, ist unermeslich groß. Es wäre die Kolloidchemie des Lebens, die uns eingehender beschäftigen müßte und die uns verstehen läßt, daß ohne Wasser kein Leben denkbar ist, aber dieses Wasser nur in innigster Verkettung mit dem kolloiden Zustand das Leben als solches sichert. Wir sind ein Gefäß voll wäßriger Lösung, darin Hunderte, jeweils verschiedene zerteilte Stoffe im wäßrigen Lösungsmittel wirken und weben, so daß sortiert, gespeichert und umgewandelt werden kann. Und letzten Endes ist es stets wieder die kolloide Form, die ein Körper aufs äußerste bewahrt. Mögen auch die verspeisten Nahrungskolloide auf dem Wege zum Darm und im Darm zu Kristalloiden zerpalten, Stärken zu Zuckern gewandelt sein, so doch nur deshalb, damit die Stoffe wandern können. Was die Leber dann speichert,

wird wieder kolloid, und was von ihr aus wiederum kristalloid gewandelt einen Muskel erreicht, wird als kolloider Brennstoff geschichtet und bei Bedarf, bei Arbeitsleistung erst wieder kristalloid gelöst (Abb. 37). Und ist ein lebendiger Körper krank, so ist etwas in seinem kolloiden Gesamtzustand nicht in Ordnung. Das wäre die klinische Seite der Kolloidchemie, die heute schon bedeutsame Erfolge aufzuweisen hat und wieder die Arzneikunde berührt.

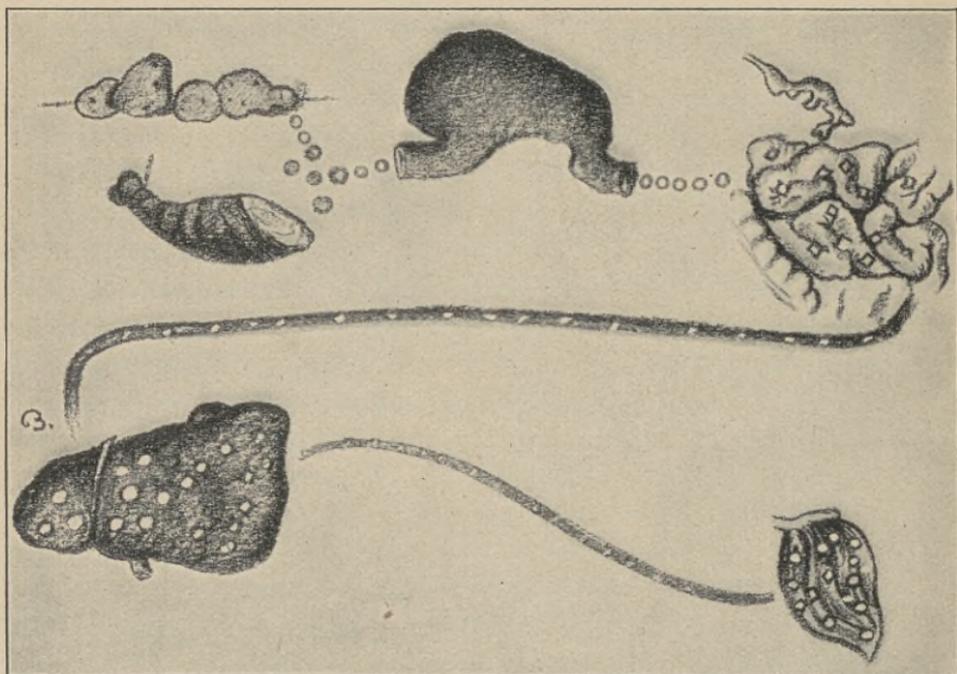


Abb. 37. Kristalloide (zackig) und Kolloide (kugelförmig) im Körper. (Näheres im Text.)

Wir säen und wollen ernten, und wird eine gute Ernte erwartet, ist Sorge zu tragen, daß Pflanze und Boden sich richtig ergänzen. Die Fruchtbarkeit des Bodens ist aber abhängig von seinen Kolloiden. Das Studium der Bodenkolloide setzt die Kolloidchemie somit in Beziehung zur Landwirtschaft. In gewisser Verwandtschaft damit schlägt auch die Gesteinskunde allmählich Gewinn aus kolloidchemischen Überlegungen und Beobachtungen. Manch wettertümliches Rätsel wird dem Vertreter des Wetterfachs erst durch kolloide Zusammenhänge verständlich.

Und im Maße, wie die Kolloidchemie alle Gebiete der Naturforschung befruchtend durchdringt, erreicht sie ihre besondere Stärke im angewandten Sinne fast unübersehbar in Industrie und Technik,

Den kolloiden Getreidehalm, der im Verhältnis zur Dicke mehrmals höher als der höchste Wolkenkragler ist und doch so festgefügt und unzerbrechlich auf dem Felde steht, unwittert die Hoffnung einer späteren Verwirklichung nie geschauter Wunderwerke der Technik. Nahrungsmittelchemie und Lebensmittelindustrie allein sind restlos kolloidchemischen Erwägungen unterworfen, und wo auch immer die Industrieschote rauchen, steht wie ein unsichtbarer Geist dahinter die Welt der Kolloide.

Es ist schon so: Die Kolloidchemie hat uns wieder einmal um ein gewaltiges Heinzelmännchengeheimnis betrogen. Sie hat dem vordem Unsichtbaren die Tarnkappe entrissen, uns gleichwohl aber neuen Höhen beglückenden Forschens und sinnigen Erkennens entgegengeführt.



Text und Abbildungen des Bändchens sind zu einem packenden

### **Sichtbildervortrag**

verarbeitet worden, der den Kosmosmitgliedern leihweise oder käuflich zur Verfügung steht. Bedingungen durch die Geschäftsstelle des „Kosmos“.



### **Literaturauswahl.**

- Arndt, K., „Die Bedeutung der Kolloide für die Technik“ (3. Aufl., 1920).  
Bechhold, H., „Die Kolloide in Biologie und Medizin“ (4. Aufl., 1922).  
Bernauer, S., „Die Kolloidchemie als Hilfswissenschaft der Mineralogie und Lagerstättenlehre“ (Berlin 1924).  
Cassuto, L., „Der kolloide Zustand der Materie“ (Dresden und Leipzig 1913).  
Ehrenberg, P., „Die Bodenkolloide“ (3. Aufl., Dresden und Leipzig 1922).  
Freundlich, H., „Kapillarchemie“ (3. Aufl., Leipzig 1923).  
Freundlich, H., „Grundzüge der Kolloidlehre“ (Leipzig 1924).  
Handovsky, H., „Leitfaden der Kolloidchemie für Biologen und Mediziner“.  
Joel, E., „Klinische Kolloidchemie“ (Dresden und Leipzig 1923).  
Liesegang, R. E., „Beiträge zu einer Kolloidchemie des Lebens“ (3. Aufl.).  
Liesegang, R. E., „Kolloide in der Technik“ (Dresden und Leipzig 1923).  
Lüppo-Cramer, „Kolloidchemie und Photographie“ (2. Aufl., 1923).  
Oppenheimer, C., „Biochemie“ (4. Aufl., Leipzig 1922).  
Ostwald, W., „Grundriß der Kolloidchemie“ (7. Aufl., 1923).  
Ostwald, W., „Kleines Praktikum der Kolloidchemie“ (5. Aufl., 1923).  
Ostwald, W., „Licht und Farbe in Kolloiden“ (Dresden und Leipzig 1924).  
Pöschl, V., „Einführung in die Kolloidchemie“ (6. Aufl., 1923).

Svedberg, The., „Methoden zur Herstellung kolloider Lösungen anorg. Stoffe“.  
Weimarn, P. P. v., „Grundzüge der Dispersoidchemie“ (Dresden 1911).  
Zsigmondy, R., „Kolloidchemie“, Lehrbuch (5. Aufl., Leipzig 1925).  
Kolloid-Zeitschrift, Zentralorgan der gesamten Kolloidwissenschaft, herausgegeben von Wolfgang Ostwald. Jährlich sechs Hefte zu einem Band. Gegenwärtig Band 34. (Dresden und Leipzig).  
Kolloidchemische Beihefte, Monographien zur reinen und angewandten Kolloidchemie, als Ergänzung zur Kolloid-Zeitschrift (Dresden und Leipzig).  
Kolloidgesellschaft, diese wurde im September 1922 in Leipzig gegründet.



## Sachregister.

Adsorptionsmaximum 31  
Adsorption 70, 73, 74  
Alkohol 52  
Allotropie 19  
Altern von Gallerten 64  
Amikronen 36, 40  
Anionen 68  
Anode 32  
Ansaugung 70  
Atom-Beugungsbild 28  
Atomtrübung 28  
Aufschwemmung 26, 37  
Befeuchtung, diffuse 20  
Benzosol 52  
Beugungsscheibchen 20, 23, 24  
28  
Beugungstrübung 28  
Bindungsvermögen 74  
Biokolloide 10  
Bodenkolloide 76  
Brownische Bewegung 49, 50  
Chem. Aufbau und Kolloid-  
natur 10  
Dialysator 16  
Dialyse 13  
Dialyserfläche 17  
Diffusion 11  
Dispergieren 45  
Dispersionsphale 33  
Disperse Systeme 33  
Dispersionsmittel 33  
Dispersitätsgrad 33  
Dispersoid 33  
Dispersoidchemie 33  
Druckausgleich, osmotischer 39  
Dunkelfeldbeleuchtung 24  
Durchmesser v. Kolloiden 26  
Elektrische Wanderung 31  
Elektroden 31  
Elektronen 41  
Emulsion 20, 33  
Emuloide 33, 54, 66  
Entmischung 64, 65  
Entquellung 60  
Ertarrung 53  
Farbumschläge 30, 59, 68  
Farbe Verteilungsgradregel 31  
Farbwirkung 30

Festweicher Zustand 52  
Flammeri 52  
Flokkung 53, 57, 67  
Formarten 41, 42  
Formerhalt b. Quellung 67  
Formverlust b. Quellung 67  
Gallerten 53, 57, 60, 64  
Gulterfilter 37  
Gel 53  
Gelatinerung 53, 57, 64, 65  
Geschwindigkeit der Brown-  
schen Bewegung 51  
Gewichtsbestimmung, kolloide  
26  
Glycerosol 52  
Goldteilchen, kolloide 44, 46  
Goldzahl 59  
Grenzflächen 71  
Gründschicht 75  
Größenverhältnisse kleiner  
Teilchen 25  
Halbkolloide 36  
Holzkohlepulver 74  
Hydratation 56  
Hydrophile Kolloide 56  
Hydrosol 25  
Ionen 63  
Irreversible Stoffe 58  
Isokolloide 36  
Kapillarität 54  
Kataphorese 31  
Kathode 31  
Kationen 68  
Kerzenfilter 37  
Kleisterlösung 12  
Koagale 53, 67  
Koagulation 53, 57, 68  
Kolloide, Name 16  
Kolloidmühle 47, 48  
Kolloide Technik 77  
Kondensation 45  
Kongorotlösung 13  
Körnenausschwemmung 20, 33  
Körnchenkolloide 33  
Kristallaufbau 28  
Kristallisation 11  
Kristalloide 12, 13  
Kupferjulfatlösung 11, 13

Ladungssinn 31  
Eichadsorption 31  
Lösung, homogene 8, 11, 19  
Lösung, kolloide 19  
Lösung, scheinbare 21  
Lösungsliebende Kolloide 56  
Lösungsmittel 11, 51  
Lösungsscheuende Kolloide 66  
Lyophile Kolloide 56  
Lyophobe Kolloide 66  
Materie, Teilbarkeit 8  
Meeresbodensätze 33  
Membran als Gallertschicht 13  
Membran, halbdurchlässige 39  
Membran, volldurchlässige 13  
Metallfadenlampe 44  
Metallzerstäubung 45, 46  
Milchglas 44  
Mikronen 33, 37, 40  
Mikroskop, Leistungsfähigkeit  
19  
Molekulargewicht 26  
Molekulare Lösung 11, 19  
Molekularrührung 28  
Molekülgruppen 26  
Natürliche Kolloide 10  
Natürliche Kolloidsysteme 41  
Oberflächenentwicklung 71, 73  
Oberflächenanung 70  
Ödembildung 63  
Oleosol 52  
Opaleszenz 30  
Osmotischer Druck 39  
Papierfilter 40  
Peptisation 70  
Polydispersoid 36  
Protoplasma 62  
Quellbarkeit 60  
Quellung 53, 57, 65  
Quellungsdruck 60  
Quellungsförderung 62  
Quellungshemmung 62  
Quilungskraft 63  
Quellungskurve 62  
Quellungsmittel 61  
Reibung, innere 53  
Reversibilität 57, 58

- |                                |                                 |                                |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Riesenmolekül 16, 26           | Stoffwechsel, kolloider 76      | Diskosität 53                  |
| Rinderblutfarbstoff 16         | Suspension 20, 33               | Wahl des Lösungsmittels 10     |
| Röntgen-nit. ahlen 28          | Suspensoid 33, 54, 66           | Wanderungsbeschwindigkeit      |
| Röntgen-Tyndallkegel 30        | Synaerese 64                    | koll. Teilchen 31              |
| Salzlösung 12                  | Tonzelle 39                     | Wasserbindung 56               |
| Scheinlösung 14                | Trennung, fraktionierte 37      | Wechsel im koll. Zustand 36    |
| Schichtungsreihen 65           | Tröpfchenau. schwemmung 20, 33  | Wolfram-Säure 46               |
| Schutzkolloide 58              | Tröpfchenkolloide 33, 54, 66    | Zähigkeitserhöhung 55          |
| Schutzvermögen 58              | Trübung 14, 20, 23, 27          | Zähigkeitserniedrigung 55      |
| Schwärzung, Ursache 59         | Trübmasstärke 30                | Zähigkeitsmesser 54            |
| Schwefel, kolloider 8          | Tyndallkegel, gcw. 22, 23, 28   | Zelle 43                       |
| Schwerbeweglichkeit 53, 54     | Tyndallkegel, mikroisk. 23, 28  | Zellwand 40                    |
| Sedimentation 33               | Tyndallkegel, ultravioletter 28 | Zement, Kolloidnatur 45        |
| Semikolloide 36                | Überultrafilter 40              | Zerteilen, fortschreitendes 45 |
| Semipermeable Membran 39       | Ultrafilter 37, 38, 40          | Zerteilungsgrad 7              |
| Sol 51                         | Ultrafiltration 18, 37, 38      | Zerteilungsmittel 8            |
| Spi gel, Entstehung 44         | Ultramikronen 33, 40            | Zerteilungssysteme, kolloide   |
| Sprunffiguren 66               | U ramioskopie 18, 24            | 42, 43                         |
| Srotchemie 70                  | Verdichtung 45                  | Zuckerlösung 11                |
| Stetigkeit d. kolloid. Form 75 | Diskosimeter 54                 | Zustand, kolloider 7           |

## Naturgeschichtliche Werke von Hans Wolfgang Behm

### Entwicklungsgeschichte des Weltalls, des Lebens und des Menschen

Dem gegenwärtigen Stand des naturwissenschaftlichen Gesamtforschens  
entsprechend kurz zusammengefaßt und allgemeinverständlich dargestellt

Mit 4 farbigen Tafeln, 1 erd- und entwicklungsgeschichtlichen Tabelle und insgesamt  
520 Abbildungen auf Vollbildern und im Text. Volksausgabe Preis gebunden **GM 7.50**

### Vor der Sintflut

Ein Bilderatlas naturwissenschaftlicher Anschauung und Belehrung

Mit 8 farbigen und 64 schwarzen Tafeln nebst erläuterndem Text  
Steif geheftet **GM 3.50**      In Halbleinen gebunden **GM 4.80**

### Der vorgeschichtliche Mensch

Ein Bilderatlas naturwissenschaftlicher Anschauung und Belehrung

Mit 8 farbigen und 64 schwarzen Tafeln nebst erläuterndem Text  
Steif geheftet **GM 3.50**      In Halbleinen gebunden **GM 4.80**

### Von Kleidung und Geweben

Von der Entwicklung und den Rohstoffen der menschlichen Bekleidung

Mit 34 Abbildungen und einem farbigen Umschlagbild  
Geheftet **GM 1.20**      Gebunden **GM 2.—**

### Von der Faser zum Gewand

Blick in die Verarbeitung der Textilrohstoffe

Mit 37 Abbildungen und einem farbigen Umschlagbild  
Geheftet **GM 1.20**      Gebunden **GM 2.—**

Frankh'sche Verlags-handlung, Stuttgart

## Solgende seit Bestehen des Kosmos erschienene Buchbeilagen

erhalten Mitglieder, solange vorrätig, zu Ausnahmepreisen:

### 1. Gruppe 1904—1908. Broschiert M 24.—, gebunden M 36.50

- 1904 Bölsche, W., Abstammung des Menschen. — Meyer, Dr. M. W., Weltuntergang. — Zell, Ist das Tier unvernünftig? (Dopp.-Bd.). — Meyer, Dr. M. W., Welterschöpfung.
- 1905 Bölsche, Stammbaum d. Tiere. — Francé, Sinnesleben d. Pflanzen. — Zell, Tierfabeln. — Teichmann, Dr. E., Leben u. Tod. — Meyer, Dr. M. W., Sonne u. Sterne.
- 1906 Francé, Liebesleben d. Pflanzen. — Meyer, Rätsel d. Erdpole. — Zell, Streifzüge d. d. Tierwelt. — Bölsche, Im Steinkohlenwald. — Ament, Seele d. Kindes.
- 1907 Francé, Streifzüge im Wassertropfen. — Zell, Dr. Th., Straußenpolitik. — Meyer, Dr. M. W., Kometen und Meteore. — Teichmann, Sortpflanzung und Zeugung. — Floerické, Dr. K., Die Vögel des deutschen Waldes.
- 1908 Meyer, Dr. M. W., Erdbeben und Vulkane. — Teichmann, Dr. E., Die Vererbung. — Sajó, Krieg und Frieden im Ameisenstaat. — Dekker, Naturgeschichte des Kindes. — Floerické, Dr. K., Säugetiere des deutschen Waldes.

### 2. Gruppe 1909—1913. Broschiert M 24.—, gebunden M 36.50

- 1909 Francé, Bilder aus dem Leben des Waldes. — Meyer, Dr. M. W., Der Mond. — Sajó, Prof. K., Die Honigbiene. — Floerické, Kriechtiere und Lurche Deutschlands. — Bölsche, W., Der Mensch in der Tertiärzeit.
- 1910 Koelsch, Pflanzen zw. Dorf u. Trift. — Dekker, Fühlen u. Hören. — Meyer, Welt d. Planeten. — Floerické, Säugetiere fremd. Länder. — Weule, Kultur d. Kulturlosen.
- 1911 Koelsch, Durch Heide und Moor. — Dekker, Sehen, Riechen und Schmecken. — Bölsche, Der Mensch der Pfahlbauzeit. — Floerické, Vögel fremder Länder. — Weule, Kulturelemente der Menschheit.
- 1912 Gibson-Günther, Was ist Elektrizität? — Dannemann, Wie unser Weltbild entstand. — Floerické, Fremde Kriechtiere und Lurche. — Weule, Die Urgesellschaft und ihre Lebensfürsorge. — Koelsch, Würger im Pflanzenreich.
- 1913 Bölsche, Festländer u. Meere. — Floerické, Einheimische Fische. — Koelsch, Der blühende See. — Sartz, Bausteine des Weltalls. — Dekker, Vom siegh. Zellenstaat.

### 3. Gruppe 1914—1918. Broschiert M 22.—, gebunden M 33.50

- 1914 Bölsche, W., Tierwanderungen in der Urwelt. — Floerické, Dr. Kurt, Meeresfische. — Lipschütz, Dr. A., Warum wir sterben. — Kahn, Dr. Fritz, Die Milchstraße. — Nagel, Dr. Osk., Romantik der Chemie.
- 1915 Bölsche, W., Der Mensch der Zukunft. — Floerické, Dr. K., Gepanzerte Ritter. — Weule, Prof. Dr. K., Vom Kerbstock zum Alphabet. — Müller, A. L., Gedächtnis und seine Pflege. — Besser, H., Raubwild und Dickhäuter.
- 1916 Bölsche, Stammbaum der Insekten. — Sieberg, Wetterbüchlein — Zell, Pferd als Steppentier. — Weule, Krieg in den Tiefen der Menschheit (Dopp.-Bd.).
- 1917 Besser, Natur- u. Jagdstud. i. Deutsch-Ostafrika. — Floerické, Dr., Plagegeister.
- 1918 Hasterlik, Dr., Speise u. Trank. — Bölsche, Schutz- u. Trugbündnisse i. d. Natur.
- 1918 Bölsche, Sieg des Lebens. — Fischer-Defon, Schlafen und Träumen. — Kurth, Zwischen Keller u. Dach. — Hasterlik, Dr., Von Reiz- u. Rauschmitteln.

### 4. Gruppe 1919—1924. Broschiert M 22.—, gebunden M 33.50

- 1919 Bölsche, Eiszeit und Klimawechsel. — Zell, Neue Tierbeobachtungen. — Floerické, Spinnen und Spinnenleben. — Kahn, Die Zelle.
- 1920 Fischer-Defon, Lebensgefahr in Haus u. Hof. — Francé, Die Pflanze als Erfinder. — Floerické, Schnecken und Muscheln. — Lämmel, Wege zur Relativitätstheorie.
- 1921 Weule, Naturbeherrschung I. — Floerické, Gewürm. — Günther, Radiotechnik. — Sanders, Hypnose und Suggestion.
- 1922 Weule, Naturbeherrschung II. — Francé, Leben im Ackerboden. — Floerické, Heuschrecken und Libellen. — Lohe, Jahreszahlen der Erdgeschichte.
- 1923 Flaig, Kampf um Typhomolungma. — Floerické, Falterleben. — Francé, Entdeckung der Heimat. — Behm, Kleidung und Gewebe.
- 1924 Floerické, Käfervolk. — Henseling, Astrologie. — Bölsche, Tierseele und Menschenseele. — Behm, Von der Faser zum Gewand.

### Alle 4 Gruppen auf einmal bezogen: brosch. M 83.—, geb. M 126.—

Einzel bezogen jeder Band brosch. M 1.20, geb. M 1.80 (für Nichtmitgl. je M 1.50 bzw. 2.40)  
Die Jahrgänge 1904—1916 (je 5 Bde.) kosten für Mitglieber brosch. je M 5.40, geb. je M 8.—  
Die Jahrgänge 1917—1924 (je 4 Bde.) kosten für Mitglieder brosch. je M 4.30, geb. je M 6.40

Auf Wunsch können größere Beträge nach vorhergehender Vereinbarung auch in **Teilzahlungen** entrichtet werden.









Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000339987