

### III. Über Eigenschaften der Kollodiummembran.

Von H. Rebenstorff.

---

Gießt man die Lösung von Nitrozellulose\*) in einem Gemisch von Alkohol und Äther auf eine glatte, nicht poröse Fläche, so bleibt nach dem Verdunsten des Lösungsmittels ein Häutchen zurück, das man vielfach unversehrt von der Fläche ablösen kann. Die so hergestellte Membran diente einigen Forschern zu osmotischen Untersuchungen. Schuhmacher (Pogg. Ann. Bd. 110, 1860, S. 337) stellte das bemerkenswerte Verhalten der Kollodiumhäutchen fest, daß sie Alkohol schneller als Wasser diffundieren lassen, sich also diesem Körper gegenüber entgegengesetzt verhalten wie Tiermembranen. Gleiche Eigenschaften zeigten indessen auch Häutchen von Bohnenhülsen und von *Caulerpa prolifera*. Bei diesen Untersuchungen trat die große Langsamkeit der Diffusion durch Kollodium hervor. Damit hängt natürlich der hohe elektrische Widerstand der in einer Zersetzungszelle zwischen den Elektroden angebrachten Kollodiummembran zusammen, worauf Hittorf (Zeitschr. für phys. Chemie Bd. 43, 1903, S. 247) hinweist und als Folge des Umstandes bezeichnet, daß diese Membran eine Lösung kaum einsaugt und trocken bleibt.

Zweck der vorliegenden Arbeit ist eine weitere Untersuchung der Eigenschaften der Kollodiumhaut im Anschluß an neuere Erfahrungen bei der Zubereitung möglichst dichter Ballons aus dem eigenartigen Material. Ich gelangte dazu, nachdem ich im vorigen Jahre eine von dem sonst empfohlenen Verfahren etwas abweichende Herstellungsart dieser Ballons beschrieben hatte (Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unt. XVI, S. 31), die einen bequemen Ersatz der zu Luftballon- und anderen Unterrichtsversuchen dienenden Hüllen ermöglichen sollte. Während es für diese Zwecke keineswegs auf äußerste Dichtheit ankommt, ist diese Eigenschaft eine Bedingung für die Benutzung der Membran zu zahlreichen andern, zum Teil schon in dieser Arbeit angedeuteten Anwendungen. Deshalb sei zunächst das mancherlei Rücksichten erfordernde Verfahren der Herstellung dichter Ballons beschrieben.

---

\*) Als Entdecker des Kollodiums wurde lange Zeit der „junge Amerikaner Maynard“ an erster Stelle genannt. Georg W. A. Kahlbäum wies indessen vor kurzem nach, daß dem Entdecker der Schießbaumwolle Christian Schönbein unstreitig die Priorität gebührt (Mitteil. zur Gesch. d. Medizin u. d. Naturw. 1902, S. 20). Dieser hat sich bereits 1846 über die Löslichkeit nitrierter Zellulose ausgesprochen und spätestens zu Ende dieses Jahres die Verwendbarkeit der Lösung in der Wundpflege erkannt. Maynard trat damit erst hervor, als Bigelow 1848 als erster in Amerika die medizinische Benutzung empfohlen hatte. Der Name Kollodium stammt von Augustus A. Gould. (Nach dem Referat in der Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unt. XV, S. 370.)

## I. Zubereitung dichter Kollodiumballons.

Die vorhandenen Schwierigkeiten gliedern sich in solche, die das Herausholen eines nicht eingerissenen Ballons aus einem Rundkolben als Rest eines eingetrockneten Wandbelags von Kollodiumlösung betreffen, und solche, die die Vermeidung feiner Undichtheiten an scheinbar unversehrten Hüllen hat.

1. **Die Glaswand.** Geeignet sind Rundkolben von 6—10 cm Durchmesser (für die zunächst in Betracht kommenden Zwecke) mit kurzen, nicht zu engem Halse. Erforderlichen Falles ist letzterer abzuschneiden und der neue Halsrand in der Flamme umzulegen. Gießt man in einen beliebigen Kolben Kollodiumlösung, verteilt sie durch Drehen auf die Kolbenwände und schüttet den Überschufs zurück, so ist nach teilweisem oder völligem Verdunsten des Lösungsmittels die zurückbleibende Haut nur selten gleich das erste Mal ohne Rifs herauszubekommen. Sie haftet an gewissen Stellen der Glaswand fest, die nicht völlig rein und nicht immer durch Ausspülen allein zu reinigen sind. Bisweilen gelingt es, durch Umschütteln mit Sand, Filtrierpapierresten und Wasser, reichlichem Nachspülen und Trocknen mit Alkohol und Äther es so weit zu bringen, daß schon beim ersten oder einem der folgenden Versuche die Kollodiumhaut sich gleichmäÙig ablöst. Manche Glaswände behalten aber an gewissen Stellen auch nach den erwähnten Mafsnahmen gröÙere Adhäsion zum Kollodium bei. In solchen Fällen füllt man den Kolben mit Kaliumbichromat-Schwefelsäurelösung und läÙt ihn damit kalt tagelang oder in der Hitze (Wasserbad, um Überkochen zu verhüten) einige Stunden stehen. Darauf wird wie vorhin mit Wasser gespült und getrocknet.

Während eine solche Vorbereitung bei keinem Versuche, einen Ballon zu machen, auÙer acht bleiben sollte, auch wenn man ihn nur als Luftballon steigen lassen will, muÙ man zur Vermeidung des Auftretens sehr kleiner Löcher weiter darauf achten, daß die Innenwand des Rundkolbens möglichst frei ist von eingeschmolzenen Luftbläschen, die nach innen konvex vorspringen. An solchen Stellen entsteht oft regelmäÙig ein feines Loch, zunächst freilich wohl nur eine äufsert dünne Wandung, die aber beim ersten Einblasen von Luft aufplatzt.

Ist ein Kolben während längerer Zeit zur Ballonbereitung nicht benutzt worden, so verschlechtern sich wieder die Adhäsionsverhältnisse der Wandung; nach einigen vergeblichen Versuchen, durch die man sich nicht abschrecken lassen darf, erhält man aber wieder Ballons von der früheren Beschaffenheit. Es ist wahrscheinlich und wird gegenwärtig erprobt, daß Kolben ihre geeignete Wandbeschaffenheit lange bewahren, wenn man sie mit etwas Äther wohl verschlossen aufbewahrt.

2. **Die Kollodiumlösung.** Stellt man Ballons nach den älteren Vorschriften her, indem man die auf der inneren Kolbenwand verbliebene Lösung durch mehrtägiges Stehen fast oder ganz eindunsten läÙt und die zum Teil von selbst losgegangene Haut mit äußerster Vorsicht herauszieht, so erhält man gewöhnlich Ballons von verzierter Kugelform, deren Durchmesser erheblich kleiner als der des Kolbens ist. Da infolgedessen die Dicke der Kollodiumschicht nicht zu gering ausfällt, kann man von dem gewöhnlichen Kollodium (zu 4<sup>0</sup>/<sub>10</sub>) der Apotheken Gebrauch machen. Bereitet man indessen die Ballons nach der weiter unten mitgeteilten Anweisung, so werden die Ballons durch das Aufblähen der noch weichen Kollodiumhaut dünnwandiger, und es empfiehlt sich, das besonders zu

bestellende Kollodium triplex (zu 6%) zu benutzen. Man erleichtert sich die Arbeit sehr, wenn man auch diese Lösung noch dadurch etwas konzentriert, daß man sie bei recht trockener Luft im Freien zwischen zwei Gefäßen in langem dünnem Strahle mehrmals hin- und hergießt. Gehaltsbestimmungen macht man sehr einfach durch Abwägen von etwas Lösung vor und nach dem Abdunsten zwischen gut schließenden, leer gewogenen Uhrgläschen. Für die Gewinnung genau kugelförmiger Ballons von größter Dichtheit ist es wichtig, daß die benutzte Lösung durch Herumwälzen und längeres Stehenlassen der verschlossenen Flasche — dies auch zum Aufsteigen der Luftblasen, eine möglichst gleichmäßige Beschaffenheit erhält. Besonders durch das Zurückfließen des Kollodiumüberschusses aus den Kolben wird die Lösung von ungleicher Konzentration, so daß die damit hergestellten Ballons aus mehreren verwachsenen Kugeln zu bestehen scheinen. Zweckmäßig erscheint es mir, nach schnellem Zurückgießen des größten Teils vom Kollodiumüberschuß einen Gummistopfen auf seine Mündung zu setzen, durch dessen Durchbohrung, die ein sehr kurzes Glasröhrchen enthält, der Überschuss in die Kollodium-Vorratsflasche abfließt. Hierbei steht natürlich der Kolben verkehrt und senkrecht direkt über der offenen Flasche. Nach etwa 2 Minuten beschließt man den stockenden Abfluß durch Auflegen der warmen Hand auf den Kolben, hebt den Stopfen ab und klemmt den Kolben in der zuletzt eingenommenen Stellung an einem Stative fest. Es ist von Bedeutung, daß auch jetzt noch etwas Lösung abrinnt, damit der Ballonhals ein wenig dickwandiger wird. Den Gummistopfen reinige man sofort, am besten mit glattem Seidenpapier unter Benutzung eines Glasstäbchens für die Durchbohrung; Leinen fasert und verschlechtert beim nächsten Gebrauche des Stopfens die abrinnde Lösung, da an feinen Fäserchen in der Membran Luftkanäle entstehen können, wie die Beobachtung zeigte.

Zum eventuellen Färben des Kollodiums setzt man die ätherische Lösung des Anilinfarbstoffes hinzu und mischt durch Schütteln, Umwälzen der Flasche und langes Stehenlassen. Feuchtigkeit, die sich aus der Luft beim Eindunsten der Lösung infolge der Abkühlung niederschlägt, macht die Membranen opak und wahrscheinlich weniger fest und dicht. Die Ballonbereitung nehme man daher in recht trockener, warmer Luft vor.

**3. Das Herausziehen des Ballons aus dem Kolben.** Den auf der Innenwand mit der Lösung gleichmäßig benetzten Kolben läßt man wenigstens eine Stunde in der Stativklemme. Zum Herausziehen des Ballons lege man sich außer einem Glasrohr von etwa 25 cm Länge und der Dicke eines starken Bleistiftes Stücke weichen Bindfadens (baumwollenes Stopf- oder Wiebelgarn), sowie kurze Glasstöpselchen aus zugeschmolzenen Röhrchen bereit, mit denen man ein auf das Glasrohr gesetztes kurzes Schlauchstück verschließen kann. Die Enden des Glasrohres müssen gut rund geschmolzen sein.

Nachdem man mit einem Messer die Kollodiumhaut an der Kolbenmündung ringsherum gelöst und sie durch geringes Unterschieben der Klinge etwa 1 cm weit vom Glase abgehoben hat, versieht man das Glasrohr mit dem kurzen Schlauchstück und senkt es mit dem andern Ende durch den Kolbenhals 1—3 cm tief in den Bauteil des Kolbens ein. Nun drückt man mit dem Zeigefinger ein Randstück des losgemachten Ballonhalses gegen das Glasrohr und dreht den Kolben mit der andern Hand um das Glasrohr als Achse. Die Ballonwand löst sich hierbei vom

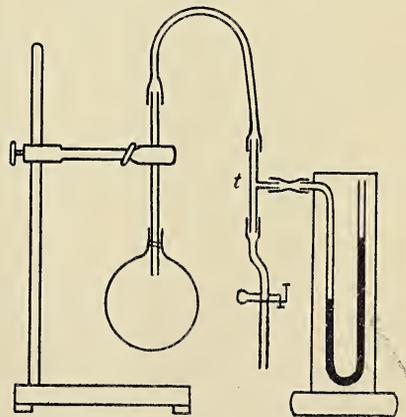
Kolbenhalse ab und legt sich in lockeren Schraubenwindungen um das Glasrohr. Letzteres halte man recht leicht in der Hand, so daß man dem schwachen Zuge nach dem Kolbenbauche folgt, der beim Aufwinden des Ballons auf das Glasrohr ausgeübt wird. Nach einigen Umdrehungen kann man den seitlichen Druck des Zeigefingers auf Ballonhals und Glasrohr aufheben, da genügend fester Sitz beim drehenden Aufwinden entsteht. Hat man einmal zu früh mit diesem Drucke aufgehört oder ist durch stundenlanges Stehen des Kolbens vor dem Hervorziehen des Ballons dessen Halswandung schon fast erstarrt und daher glatter geworden, so nimmt man zum längeren Andrücken des Ballonhalses an das Glasrohr ein kurzes Holz- oder Glasstäbchen zu Hilfe. Ist durch fortgesetztes Drehen des Kolbens (oder des Glasrohres in entgegengesetztem Sinne) ein größerer Teil des Kolbenbauches von der Membran frei geworden, so denke man beim weiteren Drehen daran, daß das Glasrohr nicht dem Kolbenboden zu nahe kommt. Man halte es also etwas zurück und lasse die letzten Windungen des Ballons sich in der Verlängerung des Glasrohres ausbilden. Man zieht alsdann unter Drehungen im gleichen Sinne, Glasrohr und Ballon aus dem Kolben und bläst sofort nicht zu schnell zur Kugel auf. Auch der Ballonhals wird hierbei von dem Glasrohr frei, so daß man meistens letzteres leicht in den Ballonhals zurückziehen kann, was für manche Anwendungen der Ballons erwünscht ist. Während man hierbei den Ballonhals nur ganz lose hält, um den senkrecht nach unten hängenden Ballon vor dem Herabfallen zu bewahren, drückt man nunmehr die Wand des Ballonhalses unter Drehungen des Glasrohres so an dieses an, wie wenn man ein loses Zigarrendeckblatt wieder anlegen will. Es kommt nämlich unterhalb der Befestigungsstelle des Ballons leicht zur Bildung feiner Öffnungen, wenn daselbst die Ballonhaut gar zu unregelmäßig zerknittert ist. Nach oder während des Andrückens bläst man den Ballon wieder schwach auf und schließt das Schlauchstück am Glasrohr mit einem Stöpselchen ab. Zweckloses Einblasen von feuchter Atemluft ist durchaus zu vermeiden. Man spannt nun das Glasrohr recht fest senkrecht in eine Stativklemme ein und bindet den Ballonhals durch nicht zu straffe Umschnürungen mit dem weichen Garn auf dem Glasrohr fest. Dann löst man vorübergehend das Glasstöpselchen und bläst den Ballon langsam je nach dem Zwecke, dem er dienen soll, mehr oder weniger auf, was bis zu einem etwa um die Hälfte größeren Durchmesser meistens leicht möglich ist. Nach dem Abschließen des Glasrohres läßt man den Ballon völlig erstarren.

**4. Das Erhärten der Kollodiummembran.** Hat der Ballon völlige Dichtigkeit, so behält er beim Verdunsten der Reste des Lösungsmittels, das in zwei Stunden bis auf Spuren entfernt ist, seinen Durchmesser fast unvermindert bei. Die Membran zieht sich nämlich beim Erstarren erheblich zusammen, aber der hierdurch entstehende größere Innendruck weitet den noch etwas weichen Ballon wieder aus. Eine gewisse Volumabnahme wird aber dadurch bedingt, daß der Dampf des Lösungsmittels schneller nach außen diffundiert, als Luft nach innen (s. die unten beschriebenen Diffusionen von Gasen, die in der die Membran durchtränkenden Flüssigkeit löslich sind). Hatte der Ballon indessen eine undichte Stelle, die wie schon erwähnt, über einer kleinen, nach innen konvexen Wölbung der Glaswand, sowie bei einem Fäserchen im Kollodium entstehen kann, so geht der Ballon schneller oder langsamer an Größe zurück und wird

schlimmsten Falles so unansehnlich, daß man ihn auch dort nicht gebrauchen wird, wo er nicht völlig dicht zu sein braucht. Da es nicht leicht ist, Kolben mit nur ganz wenigen Luftbläschen zu erhalten und daher die Ballons sehr oft ein ganz feines Löchlein besitzen werden, so sei erwähnt, daß letztere um so seltener entstehen, je konzentrierter die Lösung gemacht war (z. B.  $7\frac{1}{2}$ prozentig), daß man ferner die feine Öffnung nachträglich schliessen kann. Hierzu muß sie freilich erst gefunden sein. Man verbinde das Glasrohr des Ballons mit einem längeren Gummischlauch und drehe den Ballon, während man ihn mit dem Munde aufbläst (Druck gleich etwa 20 cm Wassersäule) nahe dem Auge so, daß dieses alle Wandstellen abprüfen kann. Auch ein äußerst feiner Gasstrom ruft am Auge Kältegefühl hervor und meistens gelingt es nun, die kreisrunde Öffnung zu sehen. Eine Uhrmacherlupe vor dem andern Auge oder eine in hohem Stativ befestigte gewöhnliche Lupe erleichtert die Auffindung des oft an der Grenze der Sichtbarkeit befindlichen Löchleins. Es ist bemerkenswert, daß zahlreiche, erheblich kleinere Öffnungen in den Ballons höchstens an Fäserchen vorkommen. Wären sehr feine konvexe Blasenerrhöhungen in der Glaswand, so würden sie von dem flüssigen Kollodium wohl genügend stark überdeckt werden. Zum Schliessen einer entdeckten feinen Öffnung genügt ein kleiner Tropfen Kollodium von  $6\%$ , den man mit einem mit dem äußersten Ende in die Lösung getauchten dünnen Glasstäbchen recht schnell aus der Flasche auf die Öffnung bringt. Der Innendruck ist dabei vorher fast aufzuheben, und durch etwa eine halbe Minute fortgesetztes Blasen gegen das Tröpfchen mit angenähertem Munde oder aus einem Lötrohr das Festwerden zu beschleunigen. War der Ballon erst einige Minuten zuvor aus dem Kolben genommen, so gelingt das feine Risterchen so gut, daß man es nur schwierig später wiederfindet. Einen Ballon, an dem man erst nach einer Viertelstunde des Andieflutbringens noch dichten will, bestimme man lieber nicht zu Anwendungen, bei denen es auf besondere Dichtigkeit ankommt. Versucht man das Schliessen einer Öffnung an einem fast erhärteten Ballon, so entstehen ungleichmäßige Faltungen, die eine Quelle neuer viel größerer Löcher werden. Solange der Bezug blasenfreier Kolben für Kollodiumballons, den ich zu erreichen hoffe, nicht möglich, wäre ein Dichtungsmittel anderer Art, als das die erstarrte Wand wieder lösende Kollodium erwünscht. In vielen Fällen liefert aber die Befolgung der gegebenen Fingerzeige Ballons von schönster Form und Dichtigkeit.

Schließt man an das Ballonglasrohr ein Quecksilbermanometer, so zeigt dies den inneren Überdruck an, der in etwa 15 Minuten seinen größten Betrag von 60 mm und darüber überschreitet. Um nach dem Anschluß an das Manometer wieder aufblähen zu können, schalte man ein T-rohr in die Schlauchverbindung ein, an dessen drittem Schenkel ein Schlauch mit Quetschhahn zum Einblasen sitzt (wie bei Fig. 1). Der

Fig. 1.



\*\*

beim Erstarren der Ballonwand sich ausbildende Überdruck zersprengt bisweilen unter Knall die Hülle. Die Ballons halten den Druck aber fast stets aus, wenn sie nicht gerade nahe einer Wärmequelle oder im direkten Sonnenlicht sich befinden. Man kann indessen zur Vorsicht statt des kurzen geschlossenen Schlauchstückes an das Glasrohr einen dichten längeren Schlauch anschließen, der in ein Glasrohr ausläuft, das bis auf den Boden eines 8 cm hoch mit Quecksilber gefüllten Standzylinders eingesenkt ist. Natürlich muß man vor dem Abschließen eines Rohres durch das Quecksilber den Ballon aufblasen und den Schlauch bis nach dem Einsenken zudrücken.

## II. Eigenschaften der Ballonmembran.

5. **Wanddicke des Ballons.** Aus der Flächengröße, dem absoluten und spezifischen Gewicht von Stücken der Ballonwand findet man leicht die Wandstärke. Für einen ganzen Ballon fällt die so gefundene Zahl etwas zu groß aus, da die Hülle nach dem Halse zu sehr an Dicke zunimmt. Aus solchen Bestimmungen erhält man, das spez. Gew. der Nitrozellulose = 1,53 angenommen\*), Werte von  $\frac{1}{200}$  bis  $\frac{1}{100}$  mm.

Die Festigkeit der Ballonwand ergibt sich in roher Annäherung aus der zu  $0,675 \cdot 10^{-3}$  cm gefundenen Dicke der Reste eines durch 9 cm Quecksilberdruck zersprengten Ballons von etwa 8 cm Durchmesser zu 1,8 kg pro mm<sup>2</sup>. Für Holzfaser findet man in Kohlrauschs Handbuch die Festigkeit gleich 1,5—5 kg angegeben. Natürlich ist die Tragfähigkeit größer als berechnet, da der Rifs von der dünnsten Stelle ausgeht.

An besonders weit aufgeblähten Ballons sind Farben dünner Blättchen höherer Ordnung nichts Seltenes, freilich nicht an den mittleren, sondern an den Randpartien der Kollodiumkugel, wo der Lichteinfall schräger ist. Die niemals gleichmäßige Verteilung der Wanddicke kann man sehr deutlich nach den moiréartigen, etwa 8 mm von einander verlaufenden Interferenzstreifen beurteilen, die man im Lichte einer kräftigen Natriumflamme sieht (Teclubrenner mit durchlochter Asbestplatte mit Bromnatrium). Da man die Streifen im durchfallenden Lichte im Abstände von mehreren Metern gut sehen kann, so liefert die Erscheinung einen brauchbaren optischen Schulversuch. Nach dem Halse zu schließen die Kurven gleicher Dicke darstellenden Interferenzlinien immer näher aneinander auf, was nur in nächster Nähe zu sehen ist.

Bei der geringen Dicke der Ballonwände sind dieselben sehr beweglich. Beim langsamen Aufblasen oder Zusammensaugen eines Ballons schwankt ein seitlich angeschlossenes Wassermanometer kaum um 1—2 mm. Für einige Anwendungen zu Unterrichtsversuchen ist diese Eigenschaft von Bedeutung. Selbst der elektrische Wind von einer mit der Influenzmaschine verbundenen isolierten Spitze bläst einen Ballon auf.

6. **Die Dichtigkeit.** Zur Prüfung, ob ein Ballon ziemlich dicht ist, braucht man ihn nur mit dem Munde aufzublasen, den am Glasrohr

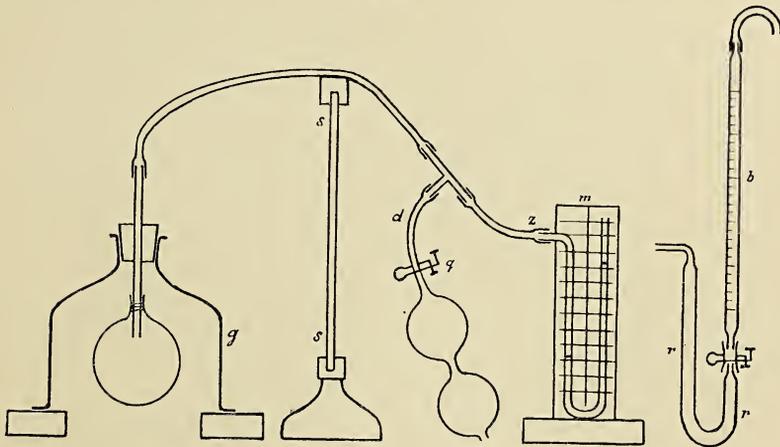
\*) Die Dichte der Nitrozellulose hängt vom Nitrierungsgrade ab. Es sind in der Literatur wenig Angaben darüber vorhanden. Herrn Professor Dr. von Walther danke ich die Kenntnis der Angabe des spez. Gewichts der Schießwolle gleich 1,634 bei Guttman: Schiefs- und Sprengmittel, S. 104. Mir ergab die Dichtebestimmung an dem Verdunstungsrückstande der Kollodiumlösung durch Wägung in Luft und in Wasser den Wert 1,535; durch Versuche des Schwebens von Ballonfittern in fast gesättigter Jodkaliumlösung nach der Methode von Dufour erhielt ich die Dichte gleich 1,56.

sitzenden Schlauch zuzudrücken und zu warten, bis sich vielleicht schon nach wenigen Sekunden ein schwaches Knistern als Zeichen des Verschwindens eines inneren Überdruckes einstellt. Für Luftballon- und manche andere Unterrichtszwecke sind vom Glasrohr gelöste oder noch daran befestigte Ballons verwendbar, auch wenn sie bei der Probe schnell ihre geringe Dichtigkeit zeigen, da sie nach dem Aufblähen ihre Form bewahren und einen Gasinhalt wegen der sehr kleinen Druckdifferenz oben und unten aus kleinen Öffnungen nur langsam verlieren. Dies geht übrigens auch aus der Verwendbarkeit der käuflichen Kollodiumballons hervor.

Zum Absuchen nach undichten Stellen kann man außer dem oben erwähnten Verfahren folgendes Mittel gebrauchen. Während man durch Einblasen in einen längeren, an das Ballonglasrohr angeschlossenen Gummischlauch, den Ballon aufgeblasen hält, läßt man ihn langsam auf einer größeren Wasseroberfläche rotieren. Ein Strom feiner Bläschen zeigt die Öffnung an. Nicht selten dringen Bläschen dort hervor, wo der Ballon auf dem Glasrohr festgebunden ist. In solchen Fällen kann man den Ballon öfters dadurch ganz dicht machen, daß man weiter unten einen zweiten Faden umlegt. Um bei dieser Probe den Ballon ganz unterzutauchen, muß man natürlich den Druck mit dem Glasrohr dadurch unterstützen, daß man mit der flachen Hand gegen den Kugelteil des Ballons drückt.

Eine genauere Angabe des Dichtheitsgrades erhält man durch Anschluß des Ballons an ein Wassermanometer und Beobachtung der Zeit der Druckabnahme nach Herstellung eines bestimmten Druckes. Um nicht durch die Nähe des Körpers unbrauchbare Resultate zu erhalten,

Fig. 2.



beobachtet man das Manometer (m, s. Fig. 2) mit dem Fernrohr, wobei eine scharfe Erkennung der Zeitpunkte für die einzelnen Manometerstände möglich wird. Der Ballon wird mit seinem Glasrohr von einer Stativklemme festgehalten oder durch einen Kork gesteckt, der den Tubus einer mehr breiten, als hohen Glasglocke g schließt. Die Glocke wird auf untergeschobenen Holzklötzchen so aufgestellt, daß Luftwechsel besteht. Der Druck wird etwa mit einem Gummigebläse erhöht, wobei

man zur Vorsicht den Schlauch nur wenig öffnen darf (zudrücken bei d mit den Fingern nach schwachem Öffnen des Schraubenquetschhahns q), um nicht das Wasser des Manometers ganz hinauszuerwerfen. Zwischen dem Ballon und dem Gebläse, dem man sich ja zu nähern hat, stellt man zweckmäßig einen Schirm s aus Fensterglas auf.

Nachdem man den Druck auf etwa 20 cm Wassersäule gebracht hat, schließt man den Quetschhahn und beobachtet das Manometer durch das Fernrohr. Sobald der Wassermeniskus einen bestimmten Teilstrich berührt, löst man ein Chronoskop aus und hält es wieder an, sobald der nächste Teilstrich erreicht wird. Die so erhaltene Zahl ist ein genaues Maß der Dichtigkeit des Ballons, vorausgesetzt, daß nicht inzwischen Druck und Temperatur sich erheblich geändert haben und nicht der Ballon kurz vorher in einer Umgebung von anderem Feuchtigkeitsgehalt gewelt hatte. Die bekannten Variometerschwankungen\*) lassen sich stets an einem mit dem Wassermanometer verbundenen Ballon beobachten, sobald ein innerer Überdruck im Ballon besteht, während sie bei schlaffen Ballonwänden sich an diesen auszugleichen scheinen. Strahlung wirkt sehr schnell auf den Druck im Ballon; das Manometer hat in 5—10 Sekunden fast ganz den Einstellungswechsel beendet, den eine in der Ferne angezündete oder ausgelöschte Flamme hervorruft. Der Einfluß geänderter Luftfeuchtigkeit geht aus dem weiter unten Mitgetheilten hervor.

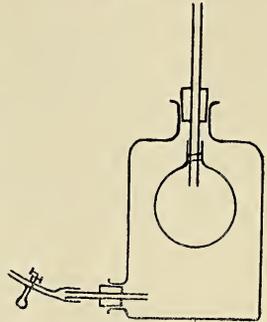
Ballons können schon als sehr dicht angesehen werden, bei denen die Druckabnahme z. B. von 17 bis auf 15 cm Wassersäule mehr als eine Minute in Anspruch nimmt. Durch Verbindung des Schlauches z mit dem U-rohr r, an das die Bürette b mit Wasser gesetzt war, wurde festgestellt, daß nach dem Herauslassen des Überdruckes aus dem Ballon, für eine Druckerhöhung um je 2 cm Wassersäule stets nahezu gleichviel Wasser aus der Bürette in das U-rohr übertreten mußte. Nur die erste Druckzunahme von 0—2 cm brauchte wegen kleiner Falten auf der Ballonwand etwas reichlicheres Eindringen von Luft, die durch das Wasser der Bürette verdrängt wurde. Das für 2 cm Druckzunahme nötige Luftvolumen schwankte je nach der Größe des Ballons um 1,2 ccm. Das gleiche Luftvolumen trat natürlich aus, wenn der Druck durch Entweichen von Luft durch die Wände um 2 cm abnahm. Berechnet man sich nach den Gesetzen über das Ausströmen der Gase die Größe einer Öffnung, durch die bei einem der Ballons, der den Druck von 17 auf 15 cm in  $3\frac{1}{2}$  Minuten sinken ließ, in dieser Zeit 1,2 ccm Luft bei einem mittleren Drucke von 16 cm Wassersäule ausfließen könnten, so findet man den Querschnitt von  $1,12 \cdot 10^{-4}$  mm<sup>2</sup>. Eine solche Öffnung könnte nun freilich in der Ballonwand vorhanden sein oder mehrere noch kleinere, die sich in den berechneten Lochquerschnitt teilen.

Da aber die Kollodiumballons ein gutes Mittel abgeben zum Trennen gewöhnlicher staubhaltiger Luft von solcher, die keine Nebelkerne enthält, so muß man sie für frei von Öffnungen halten, durch die jene winzigen Gebilde, deren Querschnitt von sehr viel kleinerer Größenordnung ist als der oben gefundene Querschnitt, hindurchdringen können, wenn gar kein oder nur kurze Zeit ein kleiner Überdruck besteht. Anders liegt die Sache, wenn der Druck dauernd einwirkt. Bisher habe ich hierüber nur folgenden Versuch gemacht.

\*) M. Toepler, Wied. Ann. Bd. 57, 1896, S. 472, und Ann. d. Phys. Bd. 12, 1903, S. 787.

In eine Flasche mit Bodentubus (Fig. 3), der durch einen Kork mit Glasrohr verschlossen war, wurde etwas Wasser, sowie ein Kollodiumballon eingebracht, dessen Glasrohr in einem Gummistopfen steckte, mit dem die Flasche oben verschlossen wurde. An das Glasrohr des Bodentubus war ein Schlauch mit Quetschhahn angeschlossen. Durch wiederholtes Verdichten der Luft durch Einblasen in den mit einem Schlauch verbundenen Ballon, einiges Warten nach Zudrücken dieses Schlauches und Öffnen desselben bildet man Nebel in der Luft um den Ballon herum, der sich zunächst langsam, nach einigen Wiederholungen schneller senkt und die Nebelkerne schliesslich vollständig zu Boden fallen lässt. Gelangen nur einzelne Stäubchen oder andere Nebelkerne in die Flaschenluft, so werden sie durch eine Entspannung bei Intensivbeleuchtung mit einem Lichtkegel aufs deutlichste sichtbar. Es wurde nun nach Öffnen des Quetschhahnes der Ballon ganz aufgeblasen und dessen Glasrohr mit einem Aspirator aus zwei Flaschen mit Bodentubus verbunden, aus dem Zimmerluft in den Ballon einströmen konnte. Um die Menge der so die Ballonwände durchsetzenden Luft zu bestimmen, führte der von dem Bodentubus der Ballonflasche kommende Schlauch in eine pneumatische Wanne, wo sich in  $3\frac{2}{3}$  Stunden 50 ccm Luft in einem Cylinder ansammelten. Der wirkende Druck betrug nur 8 cm Wassersäule; der Ballon war besonders dünnwandig und eigentlich einer derjenigen, die viel schneller Luft durchliessen als andere. Nachdem durch Saugen am Ballonrohr unter Eindringen von Wasser durch den Bodentubus der Ballon genügend verkleinert war, wurde eine Verdichtung und Entspannung der Flaschenluft vorgenommen. Es zeigten sich nur einzelne Nebeltröpfchen, die auch wohl durch die beim Einsaugen des Wassers nicht ganz vermeidbare Tropfenbildung desselben und die hierbei reichlich entstehenden Kerne veranlasst sein konnten. Jedenfalls wirkte der dünnwandige Ballon auf die 50 ccm Luft, die Millionen von Kernen enthielten, als Filter.

Fig. 3.

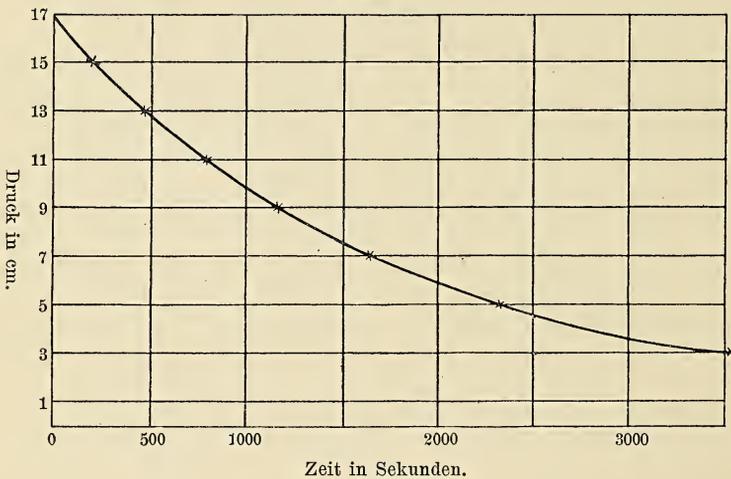


Über den Luftdurchtritt können auch folgende Messungen etwas aussagen. Während der Ballon von Zimmerluft umgeben war, wurden die Zeiten notiert, die zum stufenweisen Sinken eines Überdruckes von 17 cm um je 2 cm nötig waren. Von zahlreichen Messungen seien nur die folgenden angeführt, die angestellt wurden, nachdem der Einfluss eines Feuchtigkeitswechsels der Luft gefunden und außer Wirkung gesetzt war. Die für die allmählichen Druckabnahmen um 2 cm gefundenen Zeiten, also die Differenzen der für die Augenblicke des Manometerdurchganges durch die um die gleiche Grösse getrennten Werte notierten Zeiten sind in Sekunden: 215, 477, 793, 1180, 1685, 2358, 3550.

Der fünfte dieser Werte entspricht dem Sinken des Druckes von 9 auf 7 cm, also dem Ausströmen der Luft beim mittleren Drucke von 8 cm, der Hälfte des mittleren Druckes für das Ausströmen, auf das sich die erste Ziffer der Reihe bezieht. Nach dem Torricellischen Gesetz sind nun die Ausströmungs-Geschwindigkeiten den Quadratwurzeln aus den Druckhöhen direkt proportional. Da sich nun die ersteren Grössen umgekehrt verhalten wie die zum Ausfluss gleicher Volumina erforderlichen Zeiten, so sind die letzteren den Quadratwurzeln aus den Druckhöhen umgekehrt proportional.

Man sieht nun sofort, daß die Zahlen der obigen Reihe viel schneller zunehmen, als es beim Ausströmen durch unverändert bleibende Öffnungen sein müßte. Beim Durchfließen kapillarer Röhren sind die Zeiten für die Bewegung gleicher Volumina den Druckhöhen annähernd umgekehrt proportional; obige Zahlen nehmen aber besonders im Anfange viel schneller zu. Von der vierten Zahl an könnte man allenfalls den Ausfluß als durch Kapillaren erfolgend ansehen. Es macht die schnelle Abnahme der Zeiten bei Zunahme des Druckes den Eindruck, als wenn die Bahnen für die Luft erst durch den Druck geschaffen oder wenigstens stark erweitert würden. Inwiefern die Lösung des Gases im Stoffe der Membran mitwirkt, wird später zu untersuchen sein. Fig. 4 stellt das Sinken des Druckes mit der Zeit in wohl ohne weiteres verständlicher Weise dar.

Fig. 4.



Bringt man den Ballon in feuchtere Luft, so tritt zunächst eine Vergrößerung der Ballonfläche ein, nach deren Beendigung man erst wieder in der geschilderten Weise Messungen über die Dichtigkeit der Membran machen kann. Es zeigt sich, daß die Zeiten für die Druckabnahme sehr zugenommen haben. Auch nachdem die Manometerbewegung von 17 bis 15 cm fünfmal so langsam geworden, nimmt bisweilen infolge direkter Bedeckung des dann undurchsichtig werdenden Kollodiums mit Wassertröpfchen in gesättigt feuchter Luft die Dichtigkeit der Membran noch weiter zu. Zahlenwerte für die Druckabnahmen unter diesen Umständen seien nicht angegeben, da sie infolge der wechselnden Wasserbedeckung zu veränderlich waren.

**7. Wasseraufnahme der Kollodiumhaut.** Wenn auch ein Aufquellen dieser Membran in feuchter Luft und in Wasser durchaus nicht stattfindet und sie darin vielmehr gewissermaßen trocken bleibt, so ist doch die Ausdehnung auffallend groß, die durch Wasseraufnahme herbeigeführt wird. Ein Ballon, der nach längerem Aufenthalt in Zimmerluft gewogen war, verliert unter dem Exsikkator 1—2% an Gewicht, sein Volumen nimmt dabei um mehrere Kubikzentimeter ab. Unter die Glocke, in deren Tubus ein Kork mit einem dichten Ballon sich befand (vgl. Fig. 2), wurde stunden-

und tagelang entweder ein Schälchen mit Schwefelsäure oder mit Wasser aufgestellt und die Änderungen des Ballonvolumens dadurch bestimmt, daß durch Bewegung des Wassers der Bürette b so viel Luft aus dem Ballon gesaugt oder hineingetrieben wurde, bis der Druck wieder um 1 cm Wassersäule größer als der äußere Luftdruck war. Änderungen von Luftdruck und Temperatur in der Zwischenzeit wurden berücksichtigt. In etwa einer Stunde war die Hälfte der Volumänderung des Ballons infolge Wechsels der Luftfeuchtigkeit erreicht, hierauf schritt die weitere Volumänderung sehr langsam vor. In einem Tage nahm das Volumen eines Ballons von 248 ccm Größe in Zimmerluft um 15,4 ccm zu, wenn an Stelle der Schwefelsäure Wasser unter die Glocke gebracht war. Die bei noch längerer Einwirkung von feuchter Luft erfolgende Volumzunahme ist etwas größer. Direkt mißt man mit dem Apparat eine geringere Volumänderung, da beim Anfeuchten der Luft der Umgebung sich auch das Innere des Ballons mit einigen Kubikzentimeter Wasserdampf erfüllt, die beim Trocknen der umgebenden Luft wieder durch die Membran gehen. Für die obige Volumzunahme wurde das Dampfvolumen berechnet und der gemessenen geringeren Zahl hinzugefügt.

Aus der Volumzunahme ergibt sich eine Vergrößerung des fast 8 cm betragenden Durchmessers des Ballons um 0,162 cm, d. h. um etwa  $\frac{1}{48}$ . Dieser linearen Dilatation entspricht die erheblich erscheinende dreimal so große Volumzunahme des Kollodiums beim Durchfeuchten. An Gewicht nahm ein nach Aufenthalt im Exsikkator 0,1493 gr schwerer Ballon unter einer feuchten Glasglocke um 0,0097 gr zu, was annähernd mit der angegebenen Volumzunahme des Kollodiums übereinstimmt; wegen der Ausscheidung von feinen Tröpfchen auf der Oberfläche der unter einer feuchten Glocke befindlichen Gegenstände kann man auf die Gewichtszunahme keinen besonderen Wert legen.

**8. Wanderung von Wasser durch Kollodiumhaut.** Füllt man einen Ballon mittels eines Trichterrohres mit Wasser und hängt ihn an einem Faden frei in der Luft auf, so läuft seine glänzende Oberfläche erst beim Behauchen an. Der Hauch verschwindet aber wieder in einiger Zeit, jedoch etwas langsamer als auf der Oberfläche eines in der Nähe aufgestellten, behauchten Glaskolbens. Senkt man ein Thermometer durch das Glasrohr des Ballons bis in das Wasser ein oder drückt man dessen Gefäß von außen gegen die Kollodiumwände, so ersieht man aus dem tieferen Stande die beständige Verdunstung von Wasser durch die Membran. Diese verhält sich wie die menschliche Körperhaut bei mittlerer oder geringer Luftfeuchtigkeit. Die Mengen des durchtretenden Wassers sind nicht ganz klein. Ein 470 gr Wasser enthaltender Ballon verlor je nach Temperatur und Feuchtigkeit der Zimmerluft zwischen 22,7 und 33,9 g pro Tag an Gewicht, eine Menge, deren Volumen der Größenordnung nach mit dem durch den gleichen geringen Überdruck durch die Wände eines dichten Ballons getriebenen Luftvolumen übereinstimmt.

Mit der Verdunstung durch die Kollodiumhaut wurde diejenige von der Oberfläche zweier mit Wasser gefüllter Tierblasen verglichen. Da diese nicht überall dicht waren, so mußten sie auf einen frei in der Luft stehenden Teller gelegt werden. Die täglichen Wägungen zeigten, daß gleiche Flächen der Blasen, trotzdem diese überall feucht waren, weniger Wasser verdunsteten ließen, als die äußerlich völlig trocknen Kollodiumballons. Die Ursache hierfür hat man wohl in hygroskopischen, aus der

Tiermembran gelösten Stoffen zu suchen, die sich an der feuchten Oberfläche der Blase konzentrieren.

Bringt man den mit Wasser gefüllten Ballon in einen abgeschlossenen Raum, z. B. in die auf eine abgeschliffene Glasplatte gesetzte Glocke der Fig. 2, so sättigt sich natürlich bald die umgebende Luft mit Feuchtigkeit. Es erscheint allmählich ein Wasserhauch auf den Ballonwänden; zum Abtropfen kommt es bei dichten Ballons nicht.

Auch die Wasseraufnahme durch Kollodiumhaut hindurch konnte konstatiert werden. Ein mit etwa 100 gr starker Chlorkalziumlösung versehener Ballon nahm, frei in der Zimmerluft hängend, beständig an Gewicht zu. Anfangs betrug die Wasseraufnahme pro Stunde etwa 0,19 g, nach einigen Stunden nur noch 0,11 g. Schon Schuhmacher bemerkte (a. a. O.), daß Kollodiummembran bei längerer Einwirkung von Kalziumlösungen sich veränderte. Genauere Vergleiche der Verdichtung von Wasser aus der Luft in den Ballons mit derjenigen an der Oberfläche von Lösungen in Uhrgläschen könnten der verschiedenen Aufstellung der hygroskopischen Flächen wegen nicht berechtigt erscheinen. Eine ungefähre Übereinstimmung erhält man indessen, wenn man die anfänglich beobachteten Gewichtszunahmen der Ballons in Betracht zieht.

**9. Durchgang wasserlöslicher Gase durch die Membran.** Die Diffusion durch dichte Kollodiumhaut findet nicht nach den Gesetzen der freien Diffusion und derjenigen durch poröse Wände statt. Wenigstens diffundiert Kohlensäure auch durch wasserarmes Kollodium schneller als die Bestandteile der Atmosphäre. Durch diese Membran dringt in feuchten Gasen dasjenige überraschend schnell hindurch, welches in Wasser eine größere Löslichkeit besitzt. Ähnlich verhalten sich wohl alle Membranen, die Wasser in ihre molekularen Zwischenräume aufnehmen können; es fehlte aber bisher an hinreichend dünnen und doch lochfreien Membranen dieser Art, um den Durchgang wasserlöslicher Gase zu untersuchen. Diese Gaswanderung verdient umso mehr Beachtung, als sie in gleicher Weise bei der Atmung durch die von Wasser durchtränkten dünnen Wände der Lungenbläschen und der sie umspinnenden Blutkapillaren stattfindet.

Das Auffallende der Erscheinung wird durch folgenden Versuch bemerkbar. Leitet man mittels einer engen Glasröhre, die durch das in einer Stativklemme mit senkrecht herabhängendem Ballon befestigte Glasrohr bis in den Ballon selbst hinabführt, Kohlensäure ein, schließt nach Entfernen des Zuleitungsrohres den Ballon durch ein sehr kurzes Schlauchstück und Glasstöpselchen ab\*) und läßt den Ballon in ein Gefäß mit feuchten Wänden hineinragen, so wird der Ballon durch den Durchtritt der Kohlensäure in einigen Stunden völlig zusammengeknüllt. Nach 7 Stunden war der Ballon in einem Falle durch den Luftdruck nahe dem Glasrohr zerdrückt. Läßt man den Ballon statt in gesättigt feuchter Luft in Zimmerluft verweilen, so geht die Kohlensäure langsamer durch die Membran, aber immerhin schneller als atmosphärische Luft nach innen diffundiert. Nach 14 Stunden enthielt ein mit Kohlensäure beschickter Ballon in Zimmerluft noch 85 ccm

---

\*) Die nicht ganz geringe Menge Kohlensäure, die auch ein Schlauchstück von nur 1 cm Länge absorbiert (etwa 0,4 ccm pro Stunde) verkleinert man bei diesen Versuchen bedeutend, wenn man das Glasstöpselchen mit reichlich anhängendem dickflüssigen Glycerin so weit in das kurze Schlauchstück schiebt, daß es das Glasrohrende berührt. Versuche mit Ballons, deren Glasrohre nach der Füllung mit Kohlensäure zugeschmolzen wurden, hatten kein anderes Ergebnis.

Gas; 148 ccm waren entwichen. In dem noch vorhandenen Gase waren 51 ccm Kohlensäure; die übrigen 34 ccm enthielten 9 ccm Sauerstoff. Ragt ein mit Kohlensäure gefüllter Ballon in ein Gefäß hinein, dessen Luft durch Schwefelsäure trocken gehalten wird, so gehen die Ballonwände nur langsam etwas zusammen.

Führt man einen mit Sauerstoff gefüllten Ballon in die feuchte Luft eines Gefäßes mit nassen Wänden ein, so verkleinert sich ebenfalls mit der Zeit das Luftvolumen. Der Sauerstoff entweicht wegen seiner geringeren Löslichkeit in Wasser aber erheblich langsamer als Kohlensäure. Ein Ballon von 240 ccm enthielt nach 15 Stunden 32 ccm Gas weniger. In diesem befanden sich 77% Sauerstoff; es waren 80 ccm Sauerstoff entwichen, 48 ccm Stickstoff eingedrungen. In einem andern Falle traten in 77 Stunden 112 ccm Stickstoff an die Stelle von 183 ccm Sauerstoff.

Über die zahlreichen Anwendungen der Kollodiumballons teils zu Unterrichtsvorversuchen, teils zu Versuchen über Nebelbildung soll in anderen Arbeiten berichtet werden.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden](#)

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: [1904](#)

Autor(en)/Author(s): Rebenstorff Hermann Alb.

Artikel/Article: [III. Über Eigenschaften der Kollodummembran 1015-1027](#)