

9. *Einige Versuche mit der Salvionischen Mikrowage; von J. Giesen.*

Die besten Wagen gestatten bei einer Belastung von 1 kg noch 0,1—0,01 mg zu wiegen, d. h. eine Größe bis auf ein Zehnmilliontel ihres Betrages zu bestimmen. Sie sind damit die empfindlichsten Instrumente, die wir überhaupt besitzen. Das Verhältnis ändert sich aber, wenn wir nicht 1 kg, sondern 1 g oder noch kleinere Gewichte zu bestimmen haben; da die erreichbare Grenze von 0,1 mg bestehen bleibt, sinkt die relative Empfindlichkeit mit dem Gewichte, und für die Wägung von 1 mg ist die Wage ein außerordentlich unempfindliches Instrument. Es ist daher offenbar wünschenswert, ein Instrument zu haben, welches auch kleinere Gewichte mit großer Genauigkeit zu ermitteln gestattet.

Im Jahre 1886 haben Warburg und Ihmori eine kleine Wage konstruiert — und Ihmori hat diese später noch verfeinert —, welche mit Spiegelablesung einen Ausschlag von 30 Skalenteilen für 0,1 mg gab. Die Herstellung und Benutzung der Wage ist aber sehr schwierig, und wohl aus diesem Grunde ist sie später nicht weiter verwendet worden. Während sie auf dem gewöhnlichen Prinzip der Wage beruht, hat vor kurzem Salvioni¹⁾ nach einem ganz anderen Prinzip eine Wage gebaut, die äußerst einfach herzustellen und bequem zu gebrauchen ist. Er nennt sie Mikrowage; man kann ihre Empfindlichkeit leicht so weit treiben, daß man 0,001 mg wiegen kann.

Die Wage beruht auf dem Prinzip, daß ein an einem Ende fest eingeklemmter Stab bei einer Belastung des anderen Endes sich verbiegt um eine Strecke — den sogenannten Biegungspfeil —, die dem angehängten Gewichte proportional ist, bei verschiedenen Stäben proportional ist der dritten Po-

1) E. Salvioni, Misura di masse comprese fra $g \cdot 10^{-1}$ e $g \cdot 10^{-6}$, Messina 1901.

tenz der Länge, umgekehrt der vierten Potenz des Radius bei kreisförmigem Querschnitte. Nimmt man als Stab einen dünnen Glasfaden und beobachtet die Senkung mit einem Mikroskop, so erreicht man leicht die angegebene Empfindlichkeit.

Salvioni hat seine Wage schon zu einigen interessanten Beobachtungen angewandt, z. B. nachweisen können, daß riechende Substanzen, wie Moschus, an Gewicht abnehmen.¹⁾

Es schien mir, daß die Salvionische Wage eine wertvolle Bereicherung unseres physikalischen Instrumentariums bilde und daß sie für viele Zwecke mit großem Vorteile benutzt werden könne. Der Zweck der folgenden Zeilen ist, ihre Brauchbarkeit durch einzelne Beispiele nachzuweisen. Diesem Zwecke entsprechend habe ich nirgends versucht, größte Genauigkeit zu erreichen und alle Fehlerquellen gewissenhaft zu berücksichtigen, sondern es handelte sich nur um mehr orientierende Vorversuche. Es sind dabei naturgemäß solche Fälle herausgesucht, bei denen die Vorzüge der Wage sich geltend machen:

1. Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Gase. Hier gewährt die Wage den Vorteil, daß sie einen sehr kleinen Raum beansprucht, daher sich die Temperatur leicht konstant halten läßt und sehr wenig Gas nötig ist.

2. Die Verdichtung von Wasserdampf an festen Körpern. Hier kam die Empfindlichkeit der Wage besonders zur Geltung.

3. Die Adsorption von Gasen. Hier kam einerseits die Empfindlichkeit zur Geltung, andererseits die Schnelligkeit der Anzeigen, die erlaubte, den zeitlichen Verlauf der Adsorption zu verfolgen.

Beschreibung der Mikrowage.

Die von Prof. Salvioni erfundene und benutzte Wage bestand, wie schon in der Einleitung bemerkt, aus einem feinen Glasfaden, den er an einem Ende festklemmte, während auf das andere mittels Siegelack eine dünne Nadelspitze aufgeklebt war. Auf dieser ruhte ein Platinhäkchen, an das die zu bestimmenden Gewichte gehängt wurden. Außerdem war nahe dem freien Ende des Fadens ein zweiter aufgekittet,

1) E. Salvioni, Sulla volatilizzazione del muschio, Messina 1901.

der mehrfach gebogen war und einen Spinnwebfaden trug. Die Anordnung wird am besten durch Fig. 1 klar.

c ist die Ansatzstelle der Nadelspitze, b die des zweiten Fadens, s ist der Spinnwebfaden. Die Verbiegungen waren nirgends derart, daß der Faden aus der Ebene der Zeichnung heraustrat.



Fig. 1.

Wurde nun ein Gewicht an den Platinhaken gehängt, so senkte sich der Spinnwebfaden. Seine Verschiebungen wurden mit einem mit Mikrometerokular versehenen Mikroskop beobachtet und gemessen.

Diese Wage wurde in einen luftdicht verschließbaren Glaskasten gebracht, in dessen eine Wand das Mikroskop eingelassen war. Durch einen komplizierten Mechanismus wurde der Spinnwebfaden von außen in das Gesichtsfeld des Mikroskopes gebracht. Ebenso wurden die Gewichte, die sich in dem Glaskasten befanden, von außen an die Wage gehängt.

Bei meinen Versuchen traf ich einige Vereinfachungen von dieser Anordnung. Statt den Spinnwebfaden vor das Mikroskop, brachte ich das Mikroskop vor den Spinnwebfaden. Während ich also auch die Wage in einen Glaskasten brachte, ließ ich das Mikroskop vollständig außerhalb desselben. Außerdem gab ich dem aufgeklebten Glasfaden, der den Spinnwebfaden trug, bei a (Fig. 1) eine Biegung senkrecht zur Ebene der Zeichnung, daß also auch der Spinnwebfaden senkrecht zur Ebene des belasteten Fadens stand. Infolgedessen befanden sich Wage und Mikroskop in einer Richtung, während sie bei Salvioni senkrecht zueinander standen, wie man an der Hand der Fig. 1 erkennt.

Der Glaskasten, in den ich die Wage brachte, bestand aus einem zylindrischen Gefäß von 14 cm Länge. Der Durchmesser des Querschnittes betrug 10 cm. Vorn und hinten war es offen. Durch planparallele Spiegelglasplatten von 8 mm Dicke, die auf die geschliffenen, eingefetteten Ränder aufgelegt

wurden, konnte er luftdicht verschlossen werden. In die Seitenwand war ein Loch gebohrt, mittels dessen er mit einer Toepler-Hagenschen Quecksilberluftpumpe und sonstigen Apparaten in Verbindung gesetzt werden konnte.

Dieser Kasten wurde so, daß die Mantelfläche horizontal zu liegen kam, mit Schrauben auf einen halbzyllindrisch ausgeschnittenen Holzblock befestigt, der auf einen in die Wand eingelassenen Tisch fest aufgekittet wurde. Dadurch wurden Erschütterungen der Wage vermieden. Auf den Boden des Gefäßes war eine Glasplatte und auf diese eine Messingschiene aufgeklebt. Dieser Schiene entlang glitt ein Schlitten in sogenannter Schwalbenschwanzform. Der Schlitten trug ein rundes Messingsäulchen, an dem ein zweiter Schlitten horizontal drehbar und vertikal verschiebbar angebracht war. An diesen letzteren wurde ein kleines Blech angeschraubt, von dem nebenstehende Fig. 2 eine Skizze giebt.

Bei *a* und *b* waren zwei Ösen in dasselbe gebohrt, durch welche der als Wage dienende Glasfaden gezogen wurde (vgl. auch Fig. 1 bei *d*). Auf den Zwischenraum zwischen *a* und *b* träufelte ich etwas Siegelack, um die Wage zu befestigen. Diese ganze Anordnung ist ähnlich der von Salvioni getroffen. Um eine bei *c* angebrachte Öffnung war das Blech und damit die Wage in einer vertikalen Ebene drehbar.

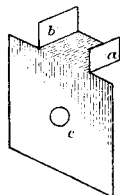


Fig. 2.

Die Länge der benutzten Glasfäden betrug ca. 8 cm. Der Querschnitt war je nach der benötigten Empfindlichkeit verschieden.

Zur Herstellung von Gewichten wurde so verfahren: Von einem Aluminiumdraht von 0,1 mm Durchmesser wurden 20 Stückchen von 4 mm Länge abgeschnitten und zusammen auf einer gewöhnlichen Wage gewogen. Reiterartig gebogen konnten sie an die Salvionische Wage gehängt werden. Ein Zwanzigstel des Gesamtgewichtes wurde als ihr wahres Gewicht betrachtet; für genaue Wägungen hätte natürlich ihr Gewichtsverhältnis mit der Mikrowage ermittelt werden müssen.

Über die bei diesem Instrument in Betracht kommende elastische Nachwirkung hat Salvioni eingehende Versuche

gemacht, auf die hier der Kürze wegen verwiesen sei. Seine Ergebnisse wurden von mir berücksichtigt.

Ich bediente mich eines Hartnackschen Mikroskopes, dessen Mikrometerskala in 100 Teile geteilt war. Die Vergrößerung betrug das 48 fache.

I. Teil.

Spezifisches Gewicht der Gase.

Zuerst untersuchte ich, ob eine solche Wage sich gebrauchen ließ zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Gase. Es sollten dabei nur relative Bestimmungen gemacht werden. Ein Gewichtsatz war also gar nicht nötig, sondern nur Messung des Auftriebes desselben Körper in den verschiedenen Gasen.

Die Messungen geschahen nun in folgender Weise: Aus gewöhnlichem Glase wurde eine allseitig geschlossene Glas-kugel geblasen von möglichst großem Volumen, aber möglichst kleinem Gewichte, da die Tragfähigkeit einer solchen Wage nicht sehr groß ist. Der Durchmesser der Kugel betrug ca. 2 cm, ihr Gewicht 0,2 g. An der abgezogenen Seite trug sie ein kleines Glaswärzchen. Um dieses band ich einen äußerst feinen Platinfaden, mittels dessen die Kugel an den Aluminiumhaken *h* (Fig. 1) gehängt werden konnte.

Die Differenzen der Einstellungen, wenn die Kugel sich im Vakuum befindet, oder wenn sie sich in einem Gase befindet, sind proportional den Gewichten gleicher Gasvolumina. Nach dem Gay-Lussac-Boyleschen Gesetze wurden die Differenzen von Temperatur und Druck korrigiert. Die Versuche wurden zunächst mit trockener Luft, CO_2 , O (käuferliche Gase) und chemischen Stickstoff aus Ammoniumnitrit ausgeführt. Alle Gase waren sorgfältig getrocknet. Sämtliche Resultate sind das Mittel aus einer Reihe von Messungen. Um das spezifische Gewicht, bezogen auf Wasser, zu erhalten, legte ich den von Leduc für Luft angegebenen Wert (1,29316) zu Grunde.

In der folgenden Tabelle enthält die erste Kolumne die von mir gefundenen Werte; die zweite gibt die von Leduc, Ramsay und Rayleigh angegebenen, die dritte die auf Wasser bezogenen, multipliziert mit 1000.

Tabelle I.

Luft	1,000 00	1,000 00	1,293 16
O	1,105 1	1,105 3	1,429 07
CO ₂	1,518 3	1,519 6	1,953 7
N	0,967 55	—	1,251 18

Von besonderem Interesse war nun ein Vergleich des spezifischen Gewichtes des chemisch reinen Stickstoffs mit dem des aus der Luft durch Verbrennen des Sauerstoffs gewonnenen sogenannten Luftstickstoffs.

Nach dem Verfahren von Ramsay und Rayleigh stellte ich Luftstickstoff dar, indem ich getrocknete atmosphärische Luft langsam über Kupferspähne, die in einer Porzellanröhre bis zum Glühen erhitzt wurden, streichen ließ.

In der folgenden Tabelle gebe ich außer den vor mir gefundenen Werten die von Leduc und Rayleigh angegebenen.

Tabelle II.

	Gefunden		Leduc	Rayleigh
	Luft = 1	Wasser = 1		
Chem. Stickstoff	0,967 55	1,251 18	1,250 70	1,250 92
Luftstickstoff	0,972 116	1,257 15	1,257 09	1,257 18

Die Zahlen der drei letzten Kolumnen sind natürlich mit 1000 multipliziert.

II. Teil.

Wasserschichten auf Glas und einigen Metallen.

An zweiter Stelle untersuchte ich die Wasserhaut auf Glas und verschiedenen Metallen. Derartige Versuche sind schon früher von Warburg und Ihmori mit einer von ihnen zu diesem Zwecke konstruierten Wage angestellt worden, die ich schon in der Einleitung erwähnt habe.¹⁾ An den einen Arm der Wage hängten sie eine Glaskugel. Öffneten sie nun einen Hahn, der zu einem Wasserbehälter von einer Temperatur

1) E. Warburg u. T. Ihmori, Wied. Ann. 27. p. 481. 1886.

führte, die um einige Grad unter der Temperatur im Versuchsraum lag, so beschlug sich die Kugel. Aus dem Gewichte des Niederschlages und der Oberfläche der Kugel konnten sie die Dicke der Schicht direkt bestimmen.

Ich verfuhr nun bei meinen Messungen ganz analog. Statt der Glaskugel hing ich ein bedeutend leichteres feines Glashäutchen an die Wage, wie man sie ohne Mühe an der Gebläseflamme herstellen kann. Die Oberfläche desselben konnte ziemlich genau ermittelt werden. Im übrigen war die Versuchsanordnung ganz dieselbe wie bei Warburg und Ihmori. Der Raum, in dem sich die Wage befand, stand durch einen Hahn (ich nenne ihn Hahn 1) mit einer mit Wasser gefüllten Glaskugel in Verbindung. Diese tauchte in einen Wasserbehälter, dessen Temperatur ein oder mehrere Grade niedriger war als die Zimmertemperatur. Schwankungen der Temperatur in diesem Behälter glaubte ich vernachlässigen zu dürfen; denn erstens waren dieselben äußerst gering, manchmal überhaupt nicht vorhanden, und zweitens konnte ich mich um so mehr mit bloß orientierenden Versuchen begnügen, da die Beobachtungen von Warburg und Ihmori die Verhältnisse bei diesen Wasserschichten auf Glas vollständig aufgeklärt haben. Ein zweiter Hahn (ich nenne ihn Hahn 2) führte nach einer zweiten Glaskugel, in der sich Phosphorsäureanhydrid befand.

Beide Kugeln wurden unter möglichster Schonung des Phosphorpentoxydes leer gepumpt, darauf Hahn 1 geschlossen, während Hahn 2 geöffnet blieb, damit das angehängte Glashäutchen vollständig trocken würde. Dann wurde Hahn 2 geschlossen, Hahn 1 geöffnet. Sofort umgab sich das Glashäutchen mit einem Wasserbeleg.

Die belastete Wage besaß eine Empfindlichkeit von 24,15 Skalenteilen auf 0,1 mg.

Was den zeitlichen Verlauf der Beobachtungen anbelangt, so konnte ich dasselbe konstatieren, was Warburg und Ihmori gefunden haben. In den ersten Minuten ist der Niederschlag ein starker, dann wächst er immer schwächer und schwächer, und nach 15 oder 20 Min. ist überhaupt keine Zunahme mehr wahrzunehmen.

Warburg und Ihmori haben aus ihren Beobachtungen den Schluß gezogen, daß der Alkaligehalt des Glases die Ur-

sache der Wasserhaut sei. Macht man nämlich die Oberfläche des Glases alkaliärmer durch Behandlung mit destilliertem siedendem Wasser, so zeigte sich bei ihnen keine merkliche Adsorption mehr. Meine Versuche bestätigten dies. Die Behandlung mit siedendem Wasser hielten die Glashäutchen nicht aus; ich ließ sie daher längere Zeit, etwa 1—2 Stunden, in einem Wasserbade liegen, das eine Temperatur von ca. 90° C. besaß. Alsdann zeigte sich keine Adsorption mehr.

Eine weitere Erscheinung, die ich auch wahrnehmen konnte, haben Warburg und Ihmori näher untersucht. Sie fanden, daß eine neue, allerdings sehr schwache Zunahme des Niederschlages erfolgte, nachdem sich eine Zeit lang keine Adsorption mehr gezeigt hatte. Dies erklären sie folgendermaßen: Die zuerst niedergeschlagene Wasserhaut rühre von leicht gebundenem Alkali an der Glasoberfläche her, sie wirke dann zersetzend auf das Glas ein und mache neues Alkali frei, und dieses sei die Ursache des neuen Beschlages.

Ein Umstand, der sich störend bemerkbar machte, war der, daß die Wage sich selbst mit einem Wasserhäutchen beschlug. Um diesen Fehler zu eliminieren, untersuchte ich bei denselben oder doch nahezu denselben Temperaturen, wie die später angewandten, die Wasseraufnahme der Wage allein und subtrahierte diese jedesmal.

Die folgenden Tabellen geben die von mir gefundenen Werte an. Dabei bedeutet t_1 die Temperatur im Wasserreservoir, t_2 die im Versuchsraume, Δ ihre Differenz. Die mit d überschriebene Kolumne gibt die Dicke der Schicht in Milliontel Zentimetern an.

Tabelle III.

t_1	t_2	Δ	d
14,5° C.	15,5° C.	1,0° C.	3,02
13,8	14,5	0,7	3,50

Die Zahlen zeigen Übereinstimmung mit den von Warburg und Ihmori angegebenen. Außerdem erhellt aus ihnen, daß die Dicke der Schicht zunimmt, wenn t_1 sich t_2 , oder die Temperatur im Versuchsraume sich dem Taupunkte nähert.

Außer Glas untersuchte ich noch einige Metalle auf diese Adsorption hin. Dieselben zeigten die Erscheinung alle in weit geringerem Maße als Glas. Außerdem wird bei denselben die Dicke der Wasserhaut wohl bedeutend von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängen, ob diese rauh oder glatt, rein oder verunreinigt ist.

Das Zeitgesetz war hier ein ganz ähnliches wie bei den Versuchen an Glasflächen: in der ersten Minute starke, dann immer schwächer werdende Zunahme des Beschlages, bis schließlich überhaupt keine mehr wahrzunehmen war. In 10—15 Min. war der ganze Prozeß vollzogen. Ebenso verschwand auch hier die Wasserhaut bald wieder, wenn Hahn 1 geschlossen, dagegen Hahn 2 geöffnet wurde. In der folgenden Tabelle gebe ich unter a) die für Aluminium, unter b) die für unechtes Blattgold, eine Legierung von Zink und Kupfer und unter c) die für unechtes Blattsilber, eine Legierung von Zink und Zinn, gefundenen Werte an.

Tabelle IV.

	t_1	t_2	Δ	d
a) {	12,8° C.	14,9° C.	2,1° C.	0,401
	16,4	17,2	0,8	0,522
b) {	15,1	16,5	1,4	0,109
	15,7	16,5	0,8	0,192
c) {	15,0	16,2	1,2	0,075
	15,5	16,4	0,9	0,143

Auch bei den Metallen nimmt also die Dicke der Schicht zu, wenn t_1 sich t_2 nähert.

III. Teil.

Adsorption der Gase durch Kohle.

An dritter Stelle untersuchte ich die Adsorption der Gase durch Kohle. Diese Erscheinung ist früher schon von Chappuis, Sausure, Joulin und Kayser untersucht worden. Besonders Kohle eignet sich zu Beobachtungen in Betreff der Adsorptions-

erscheinungen, weil sie wegen ihrer Porosität eine verhältnismäßig große Oberfläche besitzt. Diese Oberfläche läßt sich allerdings nicht bestimmen, und daher kann man aus den Beobachtungen die Dicke der absorbierten Gasschicht nicht berechnen. Indessen kam es bei meinen Versuchen in erster Linie darauf an, den zeitlichen Verlauf der Adsorption zu studieren, und hierzu genügten Beobachtungen mit Kohle.

Ob und wann die Adsorption der Gase an festen Oberflächen ein Ende erreicht, haben Kayser und Bunsen in früheren Jahren an der Verdichtung der Kohlensäure an Glasflächen untersucht.¹⁾ Um eine möglichst große adsorbierende Fläche zu erhalten, benutzten beide Bündel von Glasfäden. Diese letzteren brachte Kayser in einen Glasbehälter, der in einem Ölbad stak und mit einer Luftpumpe in Verbindung stand. Durch mehrtägiges Erhitzen und Auspumpen wurde die Glasoberfläche von Luft und Feuchtigkeit befreit. Bunsen dagegen saugte zuerst heiße, trockene Luft, dann kalte, trockene Luft und zuletzt trockene Kohlensäure durch das Gefäß, in dem sich die Glasfäden befanden. Dadurch wurde aber die Oberfläche der Fäden nicht vollständig von Feuchtigkeitsspuren befreit. Bunsen selbst berechnete, daß 1 ccm Wasser, daß als dünne Schicht an der Glasoberfläche zurückbleibt und dort unter riesigem Kapillardrucke steht, tausende von Kubikzentimetern Kohlensäure zu absorbieren vermag, daß man also, um reine Adsorptionserscheinungen zu beobachten, die benutzten Oberflächen von der letzten Spur anhaftenden Wassers befreien müsse. Aus den verschiedenen Versuchsanordnungen erklären sich die verschiedenen Resultate der beiden Experimentatoren, während Bunsen sogar noch nach drei Jahren eine Zunahme der niedergeschlagenen Kohlensäure wahrnahm, fand Kayser seine reinen Adsorptionserscheinungen nach höchstens 4 Tagen beendet; während bei Bunsen Druckänderungen ohne Einfluß waren und die Verdichtung mit steigender Temperatur zunahm, beobachtete Kayser, daß Druckerhöhung eine Vermehrung der Adsorption und Temperatursteigerung eine Loslösung der verdichteten Gase bewirkt.

1) H. Kayser u. R. Bunsen, *Wied. Ann.* **23.** p. 416. 1884;
R. Bunsen, *Wied. Ann.* **24.** p. 321. 1885.

Nur bei Sauerstoff nimmt die Adsorption scheinbar kein Ende, weil dabei chemische Prozesse im Spiele sind; es entwickelt sich nämlich fortwährend Kohlensäure.

Ich habe bei meinen Versuchen Buchsbaumholz benutzt. Kleine Stückchen dieses Holzes wurden quer gegen die Fasern geschnitten und im Sandbade in Kohle verwandelt. Ein Stückchen von der Größe einer kleinen Erbse wurde alsdann mittels eines feinen Platinfadens an die Wage gehängt. Um das Volumen desselben zu ermitteln, wog ich es mit einer gewöhnlichen Wage und nahm sein spezifisches Gewicht zu 0,5 an, dem Werte, den Kayser für das spezifische Gewicht der Buchsbaumkohle bestimmt hat. Aus dem Gewichte und dem spezifischen Gewichte der Kohle konnte alsdann das Volumen des Stückchens ermittelt werden.

Die früheren Resultate haben ergeben, daß atmosphärische Luft weit geringer adsorbiert wird als z. B. Kohlensäure und Ammoniak. Um aber bei allen Gasen ziemlich gleiche Genauigkeit zu erhalten, benutzte ich bei Luft eine empfindlichere Wage. Geringere Empfindlichkeit erreichte ich durch bloßes Verkürzen des Wagefadens.

Will man Kohle von Gasen möglichst befreien, so muß man geringe Drucke und hohe Temperaturen anwenden. Ich ließ das Kohlestückchen mehrere Stunden lang in möglichst luftleerem Raume. Die losgelösten Gase wurden ab und zu durch einige Pumpenzüge entfernt. Um hohe Temperaturen zu erhalten, sammelte ich das Sonnenlicht mit einer Linse, deren Brennpunkt ich etwa eine Stunde lang auf die Kohle dirigierte. Indessen überzeugte ich mich durch einen ohne dieses Verfahren angestellten Versuch, daß dabei nichts gewonnen war. Die Resultate waren bei sonst gleichen Bedingungen vollkommen übereinstimmend. Ich ließ daher die Anwendung der Linse für die Folgezeit bei Seite. Jedenfalls ist es bei einem derart kleinen Kohlenstückchen leichter, anhaftende Gase loszumachen, als bei einem großen. Daher kann ich wohl annehmen, daß der meiste Teil der Gase verschwand. Andererseits stellte sich die Wage nach Auspumpen des Kastens jedesmal wieder auf den ursprünglichen Standpunkt ein, den sie vor dem Einlassen des zu untersuchenden Gases besaß, und ich fand ihn nach stundenlangem Warten

noch unverändert. Um die Kohle noch von Feuchtigkeit zu befreien, stellte ich in den Kasten ein Nöpfchen mit Phosphorsäureanhydrid.

Die Empfindlichkeit der Wage betrug bei den mit Luft angestellten Versuchen 18,81 Skalenteile auf 0,1 mg.

Den zeitlichen Verlauf der Adsorption der Luft gibt folgende Tabelle. Die Zahlen bezeichnen dabei den Ausschlag in Skalenteilen, t die Temperatur und p den Druck in Millimetern.

Tabelle V.

Zeit in Minuten	$t = 18,8^{\circ} \text{ C.}$ $p = 748$	$t = 19,5^{\circ} \text{ C.}$ $p = 748$	$t = 18,8^{\circ} \text{ C.}$ $p = 175$
1	7,0	6,5	3,0
2	7,4	7,0	3,3
3	7,5	—	—
5	—	7,3	3,4
10	7,6	7,3	3,5
30	7,7	7,4	3,7
60	7,8	7,5	4,0
120	8,0	—	4,2
180	8,1	8,3	4,2

Nach drei Stunden war in allen drei Fällen keine Adsorption mehr wahrzunehmen. Wie man sieht, ist in der ersten Minute die Verdichtung am stärksten, um sich alsdann asymptotisch einem Grenzwerte zu nähern. Kolumne 2 und 3 zeigen besonders den Einfluß der Temperatur, da der Druck bei ihnen der gleiche ist.

Noch schöner ließ sich der zeitliche Verlauf auf Adsorption an den Versuchen mit Kohlensäure studieren.

Die Empfindlichkeit der Wage betrug bei diesen Versuchen 10,41 Skalenteile auf 0,1 mg.

Die folgende Tabelle gibt den zeitlichen Verlauf der Adsorption der Kohlensäure wieder. Die Zahlen bezeichnen wieder den Ausschlag der Wage in Skalenteilen, t und p wieder den Druck bez. die Temperatur.

Tabelle VI.

Zeit in Minuten	$t = 18,5^{\circ} \text{ C.}$ $p = 621$	$t = 18,2^{\circ} \text{ C.}$ $p = 496$	$t = 19^{\circ} \text{ C.}$ $p = 398$	$t = 20,2^{\circ} \text{ C.}$ $p = 148$
1	18,8	16,0	14,5	7,5
2	22,3	20,4	18,9	10,1
3	25,2	22,8	20,9	11,3
4	26,4	23,9	21,6	11,8
5	27,3	24,7	22,4	12,6
6	27,6	25,2	22,9	12,9
7	27,7	25,3	23,2	13,1
8	27,8	25,4	23,4	13,3
9	27,9	25,5	23,5	13,5
10	27,9	25,6	23,5	13,7
15	28,3	25,8	23,8	14,2
20	28,7	26,0	24,0	14,5
30	29,3	26,3	24,3	14,8
60	30,4	26,8	24,9	15,1
120	30,8	27,4	25,2	15,3
180	31,1	27,6	25,3	15,6
240	31,2	27,6	25,3	15,6
300	31,2	27,6	25,3	15,6

Ammoniak stellte ich aus Ammoniakwasser dar. Das Trocknen geschah mittels Calciumoxydhydrates, von dem sich auch einige Stückchen statt des Phosphorpentoxydes in dem Glaskasten befanden. Die Wage war dieselbe wie die bei Kohlensäure gebrauchte. Die Bezeichnungen sind die gleichen wie vorhin.

Tabelle VII.

Zeit in Min.	$t = 20^{\circ} \text{ C.}$ $p = 488$	$t = 22^{\circ} \text{ C.}$ $p = 364$	$t = 21^{\circ} \text{ C.}$ $p = 144$	Zeit in Min.	$t = 20^{\circ} \text{ C.}$ $p = 488$	$t = 22^{\circ} \text{ C.}$ $p = 364$	$t = 21^{\circ} \text{ C.}$ $p = 144$
1	28,7	26,5	17,7	10	53,7	48,4	31,9
2	39,7	35,0	22,4	15	54,3	48,5	33,0
3	45,7	40,5	25,6	20	54,5	48,8	33,3
4	48,7	43,5	27,6	30	54,7	48,9	33,4
5	50,7	45,4	29,0	60	55,0	49,0	33,5
6	52,2	46,1	30,2	120	55,1	49,2	33,6
7	52,9	47,5	31,0	180	55,2	49,3	33,6
8	53,3	48,0	31,4	240	55,2	49,3	33,6
9	53,6	48,3	31,7				

Der Übersichtlichkeit wegen stelle ich in den beiden folgenden Figuren den zeitlichen Verlauf graphisch dar. Auf der Abszissenachse trage ich die Zeit in Minuten (die 30 ersten Minuten), auf der Ordinatenachse den Ausschlag in Skalenteilen auf. Fig. 3 bezieht sich auf die vier Versuche mit CO_2 , Fig. 4 auf die drei Versuche mit NH_3 .

Die folgenden Tabellen geben an, das wie vielfache eigene Volumen die Kohle an Gas adsorbiert. Die Gasvolumina (mit v bezeichnet) sind nicht auf 0° und 760 mm Druck reduziert, sondern beziehen sich auf die betreffende Temperatur und den betreffenden Druck.

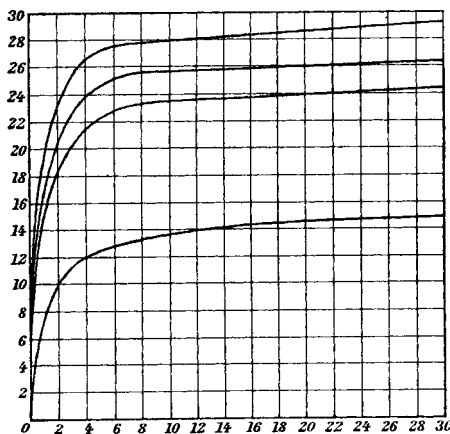


Fig. 3.

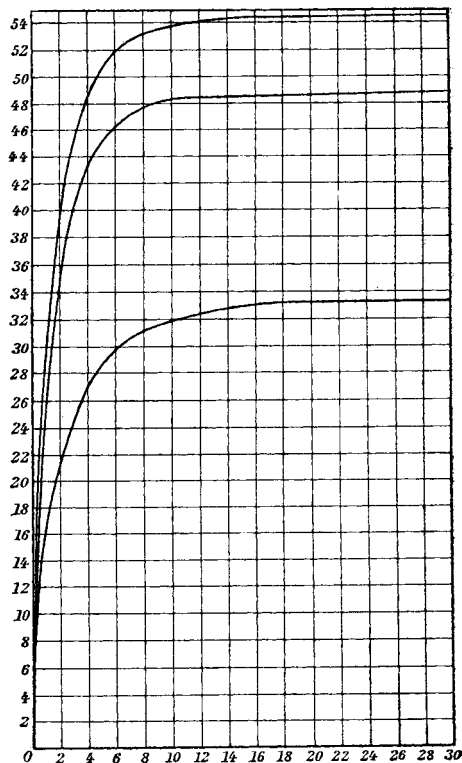


Fig. 4.

Tabelle VIII.

Luft.

$p = 748 \text{ mm}$ $t = 18,8^\circ \text{ C.}$	$p = 748 \text{ mm}$ $t = 19,5^\circ \text{ C.}$	$p = 175 \text{ mm}$ $t = 18,8^\circ \text{ C.}$
$v = 3,47$	$v = 3,41$	$v = 6,71$

Tabelle IX.

Kohlensäure.

$p = 621 \text{ mm}$ $t = 18,5^\circ \text{ C.}$	$p = 496 \text{ mm}$ $t = 18,2^\circ \text{ C.}$	$p = 398 \text{ mm}$ $t = 19^\circ \text{ C.}$	$p = 148 \text{ mm}$ $t = 20,2^\circ \text{ C.}$
$v = 14,14$	$v = 15,70$	$v = 18,41$	$v = 29,99$

Tabelle X.

Ammoniak.

$p = 488 \text{ mm}$ $t = 20^\circ \text{ C.}$	$p = 364 \text{ mm}$ $t = 22^\circ \text{ C.}$	$p = 144 \text{ mm}$ $t = 21^\circ \text{ C.}$
$v = 84,30$	$v = 99,87$	$v = 172,48$

Während also, wie die den zeitlichen Verlauf darstellenden Tabellen zeigen, die Masse des adsorbierten Gases zunimmt, wenn der Druck erhöht wird, erkennt man aus diesen letzten Tabellen, daß alsdann v abnimmt. Temperaturerhöhung vermindert den Wert von v , wie man aus Tab. VIII ersieht.

Zuletzt machte ich noch einige Versuche mit schwefliger Säure, die ich durch langsames Anwärmen von Kupfer in Schwefelsäure gewann. Indessen zeigte hier die Adsorption ein ganz anderes Verhalten, wie bei den übrigen Gasen, besonders, was den zeitlichen Verlauf anbelangt. Der Ausschlag wuchs in den ersten zehn Minuten um ungefähr denselben Betrag. Nach 15 Stunden war die Erscheinung noch nicht beendet. Es wäre möglich, daß hierbei ähnliche chemische Prozesse im Spiele wären wie bei Sauerstoff.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, Hrn. Prof. Kayser meinen herzlichsten Dank auszusprechen für die große Freundlichkeit, mit der er mir das Thema zu dieser Arbeit gegeben und mir bei Ausführung derselben stets mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat.

(Eingegangen 5. Januar 1903.)