

**IX. Bestimmung der Absorption  
einiger Gase in Wasser bei den Temperaturen  
zwischen 0 und 100°;  
von Chr. Bohr und Joh. Bock.**

---

Die Gesetze über die Absorption der Gase in Flüssigkeiten wurden — wie bekannt — am Anfange dieses Jahrhunderts von Henry aufgestellt. Genauere Untersuchungen über diese Frage wurden später von Bunsen ausgeführt, der in einer umfassenden experimentellen Arbeit die Grösse der Absorption verschiedener Gase in Wasser und Alkohol bei 0—20° bestimmte.

Obgleich in dieser grundlegenden Arbeit Bunsen selbst erklärt<sup>1)</sup>, dass seine Versuche der Wiederholung bedürfen, da sie keinen Anspruch auf die Genauigkeit von Normalbestimmungen erheben können, sind sie doch gewöhnlich bisher ohne weiteres benutzt worden. Indess sind in späteren Jahren von verschiedenen Seiten Werthe für die Absorptionscoefficienten des Stickstoffs und Sauerstoffs angegeben worden, die von den Bunsen'schen Zahlen nicht unbedeutend abweichen. Bei der Bestimmung einzelner physiologisch wichtiger Absorptionscoefficienten kamen auch wir zu Resultaten, die nicht völlig mit den Angaben Bunsen's übereinstimmten, und es schien uns deshalb angezeigt, die Frage einer Revision zu unterwerfen, theils durch neue Versuche, deren Ausdehnung auch auf höhere Temperaturen erwünscht schien, theils durch Zusammenstellung der bisher gefundenen Werthe.

Zur Bestimmung der Absorption der Gase in Flüssigkeiten ist theils die absorptiometrische, theils die Auspumpmethode benutzt worden. Die erste dieser Methoden hat Bunsen vorzugsweise zu seinen Bestimmungen angewendet. Um einige Mängel am Bunsen'schen Absorptiometer

---

1) Bunsen, Ann. der Chem. u. Pharm. 93. p. 50. 1858.

zu vermeiden, u. a. das Zusammenschütteln des Quecksilbers mit der Flüssigkeit sind später zu physikalischen und physiologischen Zwecken verschiedene andere Absorptiometer von Lothar Meyer<sup>1)</sup>, Fernet<sup>2)</sup>, Khanikoff und Louguinine<sup>3)</sup>, Mackenzie<sup>4)</sup>, H. F. Müller<sup>5)</sup> und Bohr construirt worden. Letztgenanntes Absorptiometer, welches bei einem Theile der nachfolgenden Bestimmungen benutzt wurde, ist beschrieben in: Experimentelle Untersuchungen über die Sauerstoffaufnahme des Blutfarbstoffes, Kopenhagen 1885 und in einer Abhandlung von Jolin<sup>6)</sup>.

Die zweite Methode, Sättigung einer Flüssigkeit mit Gas und darauf folgende Untersuchung der in einer gewissen Menge Flüssigkeit enthaltenen Gasmenge ist schon in einigen Fällen von Bunsen und nach ihm von mehreren späteren Forschern benutzt worden, die entweder wie Hüfner, Dittmar, Hamberg und Petterson und Sonden das in der Flüssigkeit enthaltene Gas ausgepumpt oder ausgekocht und dann gemessen oder auch dasselbe auf andere Weise bestimmt haben, wie Winkler, der die Sauerstoffmenge in mit Luft gesättigtem Wasser nach Schützenberger titrirte.

Bei den von uns angestellten Versuchen haben wir die genannten zwei Methoden angewendet, sowohl die Absorptimetrie als das Auspumpen, indem jede für sich in verschiedener Richtung besondere Vortheile darbieten und sich gegenseitig controliren. Wir sind indess gezwungen gewesen, die bisher gebrauchten Methoden in einigen Punkten zu ändern, u. a. weil bei höheren Temperaturen dieselben aus folgenden Gründen nur unzuverlässige Resultate ergaben.

Bei absorptiometrischen Versuchen wird die absorbirte Gasmenge als Unterschied zweier Gasmessungen bestimmt.

---

1) L. Meyer, Die Gase des Blutes. Göttingen 1857.

2) Fernet, Ann. des scienc. natur. (4) 8. p. 125.

3) Khanikoff u. Louguinine, Ann. de chim. et de phys. (4) 9. p. 489. 1867.

4) Mackenzie, Wied. Ann. 1. p. 438. 1877.

5) H. F. Müller, Wied. Ann. 37. p. 24. 1889.

6) Jolin, Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1889. p. 262.

Die Absorption der Gase ist aber in der Regel nur gering; zur Vermeidung grosser procentischer Fehler im Endresultate müssen deshalb nothwendig die erwähnten zwei Gasmessungen mit grosser Genauigkeit ausgeführt werden; bei höherer Temperatur aber ist dieses sehr schwierig, denn ein kleiner Fehler in der Bestimmung der Temperatur hat hier bedeutende Fehler in der Bestimmung der Wasserdampftension zur Folge; hierdurch wird dann die Berechnung des Druckes und also der ganzen Gasmenge unrichtig. Um dies zu vermeiden haben wir den im Folgenden unter dem Namen des Differentialabsorptometers beschriebenen Apparat construirt. Die Druckmessung findet hier unter solchen Umständen statt, dass die Wasserdampftension keine Rolle spielt; ein kleiner Fehler bei der absoluten Temperaturbestimmung ist dann ohne Einfluss; für eine constante Temperatur des Apparates ist durch Einsenken desselben in ein Wasserbad und durch möglichste Beschränkung der Dimensionen gesorgt worden. Dieses Absorptometer bietet noch ausserdem den Vortheil dar, dass das Quecksilber mit der Flüssigkeit nicht zusammengeschüttelt wird, dass an demselben Kautschukverbindungen, Schiffe und Hähne vermieden sind; speciell für Sauerstoffbestimmungen ist es von Bedeutung, dass keine oxydirbaren Stoffe im Wasser vorhanden sind.

Bei der Auspumpungsmethode ist die Höhe der Temperatur ganz ohne Bedeutung für die Messung des absorbirten Gasvolumens; indessen tritt, da die Sättigung einer Flüssigkeit mit Gas vor der Auspumpung bei atmosphärischem Drucke vor sich geht, hier der Uebelstand ein, dass bei steigender Temperatur der Partialdruck des zu absorbirenden Gases kleiner und kleiner wird, bis er bei 100° gleich Null ist. Um bei hohen Temperaturen Bestimmungen nach dieser Methode vornehmen zu können, haben wir deshalb einen besonderen Apparat construirt, in welchem die Absorption unter höherem Drucke als dem Atmosphärendruck vor sich geht. Auch dieser Apparat wird im Folgenden näher beschrieben werden.

Beinahe zu sämmtlichen Bestimmungen haben wir reine Gase benutzt; nur in einzelnen Fällen haben wir Gas-mischungen, z. B. atmosphärische Luft, angewendet.

Das Differentialabsorptiometer (Fig. 1 A und 2 A) besteht aus einer 2 cm weiten, in ihrer Mitte zu einer Kugel *a* aufgeblasenen Glasröhre. Diese Röhre hat den Zweck, theils einen Theil des zu absorbirenden Gases, theils die das Absorptiometer während des Versuches nach unten schliessende Quecksilbersäule aufzunehmen. Am oberen Ende ist die Röhre umgebogen und endigt hier in einer kleineren Kugel (*b*) und einer grösseren (*c*), ca.  $\frac{1}{2}$  l fassenden, von denen die letztere die Absorptionsflüssigkeit aufnimmt. — Sowohl oberhalb als unterhalb der Kugel befindet sich eine Marke *m* und *m*<sub>1</sub>. Das Volumen der Kugeln *b* und *c*, sowie der Röhre bis zum Striche *m* und der Kugel *b*, *c* und *a* sammt der Röhre bis zum Striche *m*<sub>1</sub> ist durch Auswägen mit Quecksilber bestimmt worden. Ferner ist das Rohr in der Nähe der zwei Marken *m* und *m*<sub>1</sub> genau calibriert. Man kann auf diese Weise, wenn die den Apparat nach unten schliessende Quecksilbersäule in der Nähe eines der Striche steht, das oberhalb derselben vorhandene Volumen berechnen, sobald man mittelst des Kathetometers den Abstand der Quecksilberoberfläche von der Marke *m* oder *m*<sub>1</sub> bestimmt hat.

Die Füllung des Absorptiometers mit Wasser, sowie mit dem zur Untersuchung bestimmten Gase geschieht folgendermaassen.

Mittelst der Röhre *d* wird durch das in dem Kolben *B* enthaltene destillirte Wasser das für den Versuch bestimmte Gas geleitet, welches darauf den Kolben durch die Röhre *e* verlässt, die ebenso wie *d* in dem mit drei Löchern durchbohrten Kautschukpfropfen *C* angebracht ist. Mittelst des Kautschuk-schlauches *f* steht *e* in Verbindung mit der Glasröhre *g*, welche im grössten Theile ihres Verlaufes vom Kühler *g* umgeben und in ihrem untersten Theile mit der Seitenröhre *h*

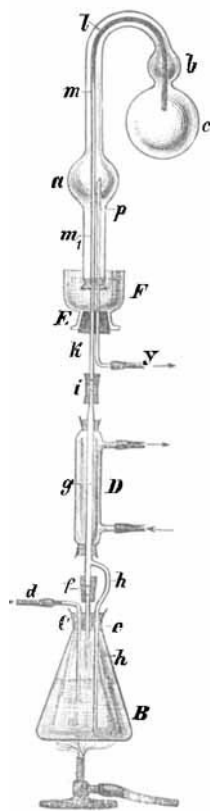


Fig. 1.

versehen ist. Diese letztere ist durch die dritte Bohrung des Pfropfen *C* bis zum Boden von *B* hinabgeführt. Nach oben steht *g* mittelst des Gummischlauchs *i* in Verbindung mit der Röhre *k*. Diese geht durch den Propfen *E* und die Quecksilberschale *F* ins Absorptiometer hinauf, welches in der in der Fig. 1 gezeichneten Weise angebracht ist. Die Röhre *k* ist am oberen Ende mit dem Kautschukschlauch *l* verbunden, welche zur Kugel *c* hinführt. Das Gas kann durch die Röhre *p* und den Schlauch *y* das Absorptiometer verlassen.

Wenn das Gas in der oben angegebenen Weise eine Zeit lang durch das Wasser in *B* gegangen ist, wird dieses ausgekocht. Dieses Auskochen, welches vor sich geht, während der Gasstrom ununterbrochen durch das Wasser geleitet wird, treibt jede Spur von anderen Gasen aus demselben heraus. Das Durchleiten wird mehrere Stunden fortgesetzt und in dieser Zeit werden aus allen Theilen des Apparates andere Gase vollständig ausgetrieben. Hat das Durchleiten hinlänglich lange gedauert, so wird mittelst eines Quetschhahnes der Schlauch geschlossen. Hierdurch wird der Druck auf die Oberfläche des Wassers in den Kolben *B* verstärkt und das Wasser steigt deshalb durch die Röhren *h*, *g* und *k* und den Schlauch *l* in die Kugel *c* hinauf. Sobald eine hinlängliche Wassermenge zu dieser Kugel hinaufgetrieben worden ist, wird der Schlauch *i* mittelst eines Quetschhahnes geschlossen, worauf der Druck im Absorptiometer durch Saugen bei *y* etwas verringert wird, und letztere Röhre wird darauf ebenfalls mittelst eines Quetschhahnes geschlossen. Die unterhalb *i* liegenden Theile des Apparates werden nun entfernt und die Röhren *k* und *p* werden durch den Pfropfen *E* unter die Höhe des im Quecksilber stehenden freien Randes der Absorptiometeröhre herabgezogen. Man kann jetzt, wenn man einen Finger fest gegen diesen Rand anschliesst, das Absorptiometer aus der Quecksilberschale *F* heraus- und in denjenigen Apparat hinüberheben, mit welchem die Versuche vorgenommen werden. Dieser ist in der Fig. 2 gezeichnet, auf welche sich die folgenden Buchstaben beziehen.

*B* ist ein Wasserkasten, der auf dem eisernen Fusse *C*

steht. *B* lässt sich auf- und niederschieben, wodurch er sich, wenn er auf dem Fusse *C* steht, mittelst der in der Figur gezeichneten, mit Quecksilber gefüllten Rinne abschliessen lässt. Die vordere und die hintere Wand des Wasserkastens sind

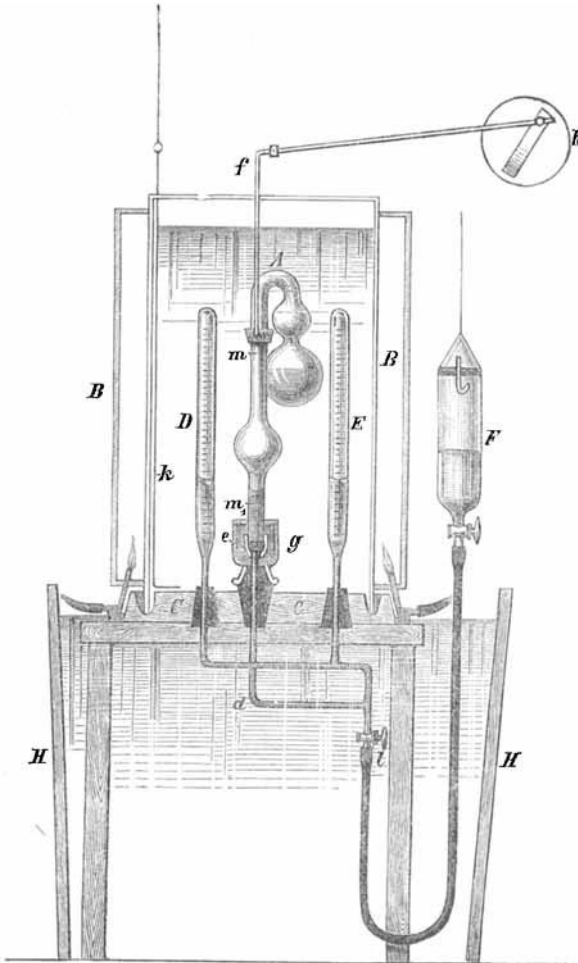


Fig. 2.

aus Glas, die beiden Seitenwände aus Eisen und in einem Abstände von ca. 5 cm von einer Kappe aus Eisenblech umgeben, welche oben und an den Seiten geschlossen ist; es ist auf diese Weise also eine Lufthülle gebildet

worden, die durch eine Reihe von an dem unteren offenen Ende angebrachten Gasflammen erwärmt wird. Regulirt werden die Gasflammen durch einen Regulator, der in dem in *B* enthaltenen Wasser angebracht ist. Es führen durch den Fuss *C* drei Röhren, von denen zwei zu den später zu besprechenden Manometern *D* und *E* führen. Die Aufgabe der dritten Röhre ist es, mit dem Absorptiometer verbunden zu werden. Diese drei Röhren stehen in der in der Fig. 2 dargestellten Weise miteinander, sowie mit dem auf und abbewegbaren Quecksilberbehälter *F* in Verbindung. Der Behälter *F* lässt sich durch den Hahn *l* von den Röhren abschliessen. Oben endigt die Röhre *d* in einem Kautschukschlauche *e*, der von einer Quecksilberschale umgeben ist. Es wird nun das gefüllte Absorptiometer in die Schale hinübergehoben und sodann der Kautschukschlauch *e* unter Quecksilber über das freie Ende der Absorptiometeröhre geschoben, wodurch er in zuverlässiger Weise mit derselben verbunden wird.

Mittelst des Excenters *h* lässt sich dann die Stange *f* und mit dieser das Absorptiometer rasch um die Axe der Absorptionsröhre hin und her drehen, und es ist auf diese Weise möglich, das Wassers in *e* heftig zu schütteln. Das Schütteln wird durch einen kleinen Motor ausgeführt, der die Scheibe *h* dreht und gleichzeitig einen Rührer *k* in dem Wasser bewegt.

Die Manometer *D* und *E* bestehen aus zwei genau calibrierten, oben geschlossenen Röhren, die jede eine durch Quecksilber abgesperrte Luftmenge enthalten. Ueber dem Quecksilber, im Eudiometer, ist eine kleine Menge Wasser angebracht, welche so gross ist, um selbst bei den höchsten der angewandten Temperaturen volle Wasserdampftension hervorzubringen. Diese Manometer stehen mittelst des in der Figur gezeigten Röhrensystems miteinander, sowie mit dem Absorptiometer in Verbindung. Kennt man den Druck in *D* und *E*, so ist es leicht, durch Ablesen mittelst des Kathetometers sowohl der Quecksilberoberfläche in den Manometern, als im Absorptiometer den Druck im Absorptiometer zu finden — wobei vorausgesetzt wird, dass alle Quecksilbersäulen dieselbe Temperatur haben: Dies

wird aber oberhalb des Fusses *C* durch das Wasserbad *B* erreicht und unterhalb desselben durch das grosse Gefäss *H*, welches während des Versuches bis *C* mit Wasser gefüllt wird.

Die Berechnung des Druckes in *D* und *E* geschieht in folgender Weise: Aus dem Mittel verschiedener übereinstimmender Messungen wird, auf 0° und 760 mm zurückgeführt, die in *D* und *E* enthaltene Luftmenge gefunden. Nennt man z. B. für das Eudiometer *D* diesen Werth *V* und nimmt während eines Versuches das Gas bei einer Temperatur = *t* einen Raum von *R* Cubikcentimetern ein, so erhält man, wenn man den Druck des Gases im Eudiometer während des Versuches *x* nennt:

$$x = \frac{V \cdot 760 (1 + \alpha t)}{R}.$$

Da sowohl in den Manometern als im Absorptiometer<sup>1)</sup> der maximale Dampfdruck herrscht, ist es bei einer Berechnung des Druckes möglich, diesen ganz ausser Betracht zu lassen. Im Absorptiometer wurde der Druck durch Bestimmung sowohl im Verhältniss zu *E* als zu *D* abgelesen, und sodann das Mittel der gefundenen Werthe benutzt.

Im Absorptiometer bestimmt man die Wassermenge, indem man am Schlusse des Versuches zuerst das Absorptiometer nebst dem in demselben enthaltenen Wasser wiegt und darauf das Gewicht des Absorptimeters in trockenem Zustande bestimmt.

Mit diesem Apparate lässt sich sowohl auf directem Wege der Absorptionscoëfficient bei bestimmter Temperatur bestimmen, als auch lassen sich die Aenderungen des Absorptionscoëfficienten durch wechselnde Temperaturen finden.

Die erste dieser Bestimmungen wird in folgender Weise ausgeführt. Man stellt die Quecksilberoberfläche im Ab-

---

1) Hierzu war es nothwendig, eine Wasserschicht über der Quecksilberoberfläche anzubringen. Wir haben bei Versuchen, wo dieses nicht der Fall, gefunden, dass trotz der bedeutenden Wasseroberfläche in der Kugel *c* die Absorptiometer bei höheren Temperaturen gleichwohl zu geringe Tension bekommen können, sodass die Resultate infolge dessen durchaus unbrauchbar werden.



sorptiometer in die Nähe von  $m$  und schüttelt, bis diese Oberfläche sich nicht länger verschiebt. Darauf liest man mittelst des Kathetometers den Strich  $m$  der Quecksilberoberfläche, sowie die Temperatur ab, während der Druck im Absorptiometer durch gleichzeitiges Ablesen der Manometer  $D$  und  $E$  bestimmt wird. Es sei dieser Druck  $= P$ , die Menge der Flüssigkeit im Absorptiometer  $V$  ccm. Ist das Volumen des Absorptiometers bis zur Quecksilberoberfläche  $R$  ccm und die Temperatur  $t^0$ , dann erhält man für das im Absorptiometer enthaltene freie (nicht absorbierte) Gasvolumen ( $0^0$ , 760 mm):

$$A = \frac{(R - V) P}{760 (1 + \alpha t)}.$$

Darauf wird der Behälter  $F$  soweit gehoben, dass die Quecksilberoberfläche in der Absorptiometerröhre ungefähr beim Striche  $m$  steht. Hierdurch wird die Luft im Apparate comprimirt und der Druck steigt. Die Temperatur hält sich indessen unverändert bei  $t^0$ . Es wird darauf wieder solange geschüttelt, bis sich die Oberfläche im Absorptiometer nicht verschiebt, und man liest nun in ähnlicher Weise wie vorher ab. Nennt man den Druck im Absorptiometer  $P_1$ , das Volumen desselben bis zur Quecksilberoberfläche  $R_1$ , so findet man als im Absorptiometer enthaltenes freies Gas ( $0^0$ , 760 mm):

$$A_1 = \frac{(R_1 - V) P_1}{760 (1 + \alpha t)}.$$

$A_1$  ist kleiner als  $A$  und die verschwundene Gasmenge  $A - A_1$  ist also vom Wasser durch die Druckveränderung  $P_1 - P$  absorbiert worden.

Infolge dessen findet man als Absorptionscoefficienten ( $a$ ) bei  $t^0$ :

$$a^0 = \frac{(A - A_1) \cdot 760}{(P_1 - P) \cdot V}.$$

Ist nun der Absorptionscoefficient bekannt, so lässt sich nach dem Henry'schen Gesetze die vom Wasser z. B. beim Druck  $P$  absorbierte Gasmenge finden. Nennt man dieselbe  $S$ , so erhält man als die gesammte, sowohl freie, als absorbierte Gasmenge im Apparate:

$$Q = A + S.$$

Ist  $Q$  gefunden, so wird es möglich, mittelst nur einer einzelnen Ablesung den Absorptionscoefficienten für andere Temperaturen zu ermitteln. Findet man darauf durch anderweitige Messung bei der Temperatur  $t_1$  und dem Drucke  $P_{11}$  eine im Apparate vorhandene freie Luftmenge  $B$ , so erhält man nämlich als Absorptionscoefficienten bei  $t_1^0$ :

$$a_{t_1^0} = \frac{(Q - B) \cdot 760}{P_{11} \cdot V}.$$

$V$  bedeutet hier das Volumen des Wassers bei  $t_1^0$ . Es ist aber selbstverständlich, dass nöthige Rücksicht auf den Unterschied des Volumens des Wassers bei verschiedenen Temperaturen genommen worden ist.

Mit diesem Apparate konnten Bestimmungen bis zu einer Temperatur von ca.  $60^\circ$  ausgeführt werden; höhere Temperaturen waren jedoch schwierig zu erreichen, sodass es zur Bestimmung der Absorptionscoefficienten bei  $100^\circ$  nöthig wurde, eine andere Methode, diejenige der Auspumpung des mit dem Gas gesättigten Wassers, anzuwenden. Der hierzu benutzte Apparat ist in der Fig. 3 dargestellt. Das Gas wird hier eingeführt bei  $a$ , und sodann weiter in den Kolben  $A$ , welcher das zum Versuche bestimmte Wasser enthält. Das Gas verlässt den Apparat durch das Manometer  $D$ , welcher gegen die äussere Luft mittelst eines kleinen Quecksilbertropfens abgesperrt ist. Der Quecksilberbehälter ist während des Durchleitens in der Weise in die Höhe gehoben, dass das Quecksilber im Behälter  $C$  bei  $e$  steht. Das Wasser in  $A$  wird während der ersten Zeit des Durchleitens ausgekocht. Sobald dieses hinlänglich lange gedauert hat, wird der Behälter  $B$  noch um einiges höher gehoben, und das Quecksilber läuft dann in das grosse Manometer  $D$  hinüber, dessen längerer Arm ungefähr 1 m lang ist. Ist dann das Manometer hinlänglich gefüllt, so senkt man wieder den Behälter  $B$ , wodurch der Behälter  $C$  mit dem Absorptionsgas gefüllt wird. Sobald dieses geschehen, schliesst man den an der Röhre  $a$  befindlichen Hahn  $a_1$ ; der Kessel  $E$ , welcher, wie die Figur zeigt,  $A$  umgibt, wird nun mit Wasser gefüllt, welches beständig auf dem Siedepunkte erhalten wird. Hierdurch wird der Druck im Apparate steigen und das Manometer  $D$  einen Ueberdruck im Ap-

parate z. B. von  $p$  mm zeigen. Nennt man den Barometerstand während des Versuches  $P$ , so wird sich in dem Kolben  $A$  ein Druck  $P + p$  ergeben. Das Wasser in  $A$  hat diejenige Temperatur, bei welcher Wasser unter dem Barometerdruck  $P$  kocht und die Tension in  $A$  wird deshalb gleich dem Barometerstande  $P$  sein. Da der gesammte Druck in  $A = P + p$  ist, übt die in  $A$  vorhandene Luft einen

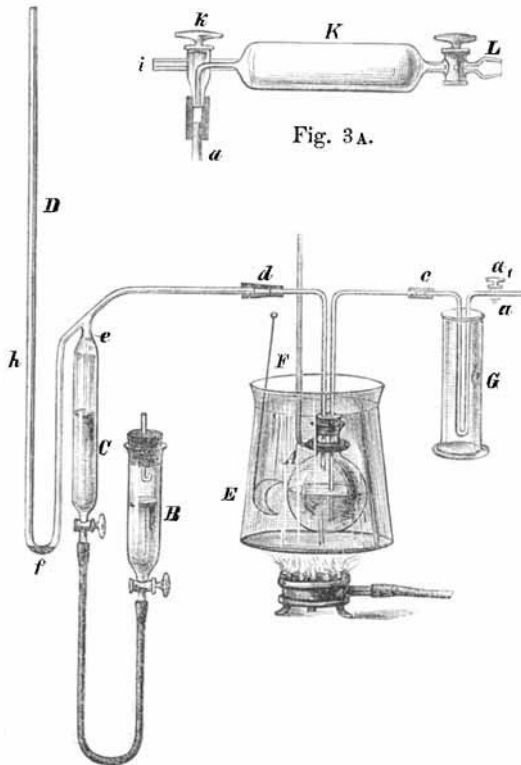


Fig. 5.

Druck  $p$  aus, der sich direct auf dem Manometer ablesen lässt. Bei diesem Drucke absorbirt also das Wasser in  $A$  das im Apparate vorhandene Gas. Damit dies schnell vor sich gehe, sind die aus  $A$  führenden Röhren mit den übrigen Theilen des Apparates durch die Kautschukschläuche  $c$  und  $d$  verbunden, die um dem Drucke widerstehen zu können, mit Band umwickelt sind, sodass sich der Kolben  $A$  mit Hülfe

der in der Figur gezeichneten Klemme mit der Stange  $F$  kräftig schütteln lässt. Wenn der Apparat in dieser Weise hinlänglich lange functionirt hat, wird der Druck  $p$  im Manometer  $D$  abgelesen, und es wird an diesen beim oberen Quecksilberstande ein Strich angebracht. Zur Aufnahme des mit Gas gesättigten Wassers diene (Fig. 3A) der Recipient  $K$ , welcher an einem Ende mit einem Hahn und einem zur Pumpe passenden Schliff, sowie am anderen Ende mit dem Hahne  $k$  versehen ist, dessen Bohrung in der Figur gezeichnet ist. Der Recipient wird leer gepumpt und gewogen, worauf, wie es die Figur zeigt, der Hahn  $k$  mittelst eines Schlauches mit der Röhre  $a$  (Fig. 3 und 3A) verbunden wird. Man öffnet nun den Hahn  $a_1$  und lässt zuerst etwas vom Wasser durch  $i$  (Fig. 3A) strömen; darauf dreht man den Hahn  $k$  und das Wasser von  $A$  dringt in den luftleeren Raum in  $K$ . Während dies vor sich geht, muss  $b$  (Fig. 3) mit Eis umgeben sein; das Wasser muss sehr langsam in den Recipienten hineinströmen, damit es während des Durchganges durch  $b$  hinlänglich abgekühlt wird. Dadurch, dass man den Behälter  $B$  hebt und auf diese Weise mehr Quecksilber nach  $C$  hinübertreten lässt, hält sich, solange das Wasser in den Recipienten hinüberfließt, der Druck in  $A$  constant, wenn man die Oberfläche der Quecksilbersäule in  $D$  stets bei dem am Manometer gezeichneten Striche hält. Sobald der Recipient hinlänglich gefüllt ist, wird er dann abermals gewogen, da erhalten wir das Gewicht des Wassers. Der Recipient wird darauf mit der Luftpumpe verbunden und das im Wasser vorhandene Gas ausgepumpt, aufgesammelt und gemessen; und ausserdem wird der grösseren Sicherheit wegen die Reinheit desselben geprüft. Da der Druck, bei welchem die Absorption vor sich geht, die Temperatur und das Gewicht des Wassers genau bekannt sind, lässt sich der Absorptionscoëfficient berechnen. Es ist nothwendig, bei diesen Versuchen eine besonders gute Pumpe anzuwenden; wir selbst haben immer die Hagen'sche Pumpe benutzt.

Wie man aus dem Vorhergehenden ersehen haben wird, erforderten alle unsere Versuche einen continuirlichen langedauernden Strom der untersuchten Gase. Zur Erzeugung

dieses Stromes benutzten wir für den Sauerstoff und den Wasserstoff die Zersetzung des Wassers mittelst der Electricität, indem wir einen starken electrischen Strom einer Dynamomaschine durch mehrere U-förmige Röhren strömen liessen, die mit Schwefelsäure versetztes Wasser enthielten. Der Sauerstoff, sowie der Wasserstoff wurden wie gewöhnlich jeder für sich in je einem der beiden Zweige des U förmigen Rohres entwickelt, worauf die gleiche Gasarten enthaltenden Zweige miteinander verbunden wurden. Es glückte uns, in dieser Weise einen Wasserstoffstrom von ca. 180 ccm in der Minute und einen Sauerstoffstrom von ca. 90 ccm in der Minute zu erhalten. Das entwickelte Ozon wurde durch hohe Temperatur zerstört.

Der Stickstoff wurde aus atmosphärischer Luft durch Ueberleiten derselben über glühendes Kupfer dargestellt; die Kohlensäure wurde aus Marmor und Salzsäure entwickelt.

Versuche über die Sauerstoffabsorption in Wasser.

Die Versuche mit diesem Gase sind theils mit dem Differentialabsorptiometer, theils mittelst Auspumpung ausgeführt worden.

Die Versuche mit dem Differentialabsorptiometer sind in der Weise angestellt worden, dass man zuerst aus vier Bestimmungen einen Mittelwerth des Absorptionscoëfficienten bei 15° bestimmte. Die Bestimmungen waren folgende:

|   | Temp.  | Druck      | Absorptionscoëfficient | Absorptionscoëff. auf 15° übergeführt | Die Mittelzahl bei 15° |
|---|--------|------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 1 | 15,23° | 571—844 mm | 0,03468                | 0,03484                               | } 0,03497              |
| 2 | 15,16  | 550—893 „  | 0,03492                | 0,03503                               |                        |
| 3 | 15,63  | 551—835 „  | 0,03461                | 0,03505                               |                        |
| 4 | 15,33  | 532—865 „  | 0,03475                | 0,03497                               |                        |

Mit Hülfe dieses Mittelwerthes ist die ganze Gasmenge im Absorptiometer bei den nachfolgenden Versuchen berechnet; bei jedem Versuche ist der Druck, bei welchem die Absorption vor sich ging, angeführt.

|             | Temp.  | Druck    | Absorptions-<br>coefficient |
|-------------|--------|----------|-----------------------------|
| Versuch I   | 42,53° | 611,9 mm | 0,02317                     |
|             | 48,94  | 627,1 "  | 0,02152                     |
|             | 60,06  | 653,7 "  | 0,01801                     |
| Versuch II  | 7,94   | 553,9 "  | 0,04089                     |
|             | 26,61  | 575,8 "  | 0,02842                     |
|             | 34,99  | 595,6 "  | 0,02443                     |
|             | 43,06  | 613,5 "  | 0,02327                     |
|             | 46,61  | 621,5 "  | 0,02185                     |
|             | 56,35  | 644,0 "  | 0,01987                     |
| Versuch III | 7,30   | 514,6 "  | 0,04163                     |
|             | 11,14  | 523,1 "  | 0,03808                     |
|             | 33,55  | 577,1 "  | 0,02465                     |
|             | 48,42  | 606,1 "  | 0,02134                     |
|             | 21,08  | 544,7 "  | 0,03110                     |

Mit Hülfe der Durchleitungsmethode ist gefunden:

| Temp.    | Druck  | Absorptions-<br>coefficient |
|----------|--------|-----------------------------|
| 1) 0,14° | 152 mm | 0,04943                     |
| 38,8     | 699 "  | 0,02306                     |
| 63,6     | 576 "  | 0,01859                     |

Bei 100° wurde der Versuch unter einem Drucke von 580,5 mm ausgeführt. Der gefundene Absorptionscoefficient war:

$$\alpha = 0,01679.$$

Da es uns nicht scheint, als ob die Aufstellung eines angenäherten mathematischen Ausdruckes für diese Werthe von praktischer oder theoretischer<sup>2)</sup> Bedeutung sei, haben wir bei Anwendung der gefundenen Werthe eine Curve construirt, die nur wenig von den bei den Versuchen gefundenen Werthen abweicht.

Mit Hülfe dieser Curve erhält man folgende Tab. I für die Absorptionscoefficienten  $\alpha$  für Sauerstoff in Wasser bei der Temperatur 0° bis 100°.

1) In diesem Falle wurde zur Durchleitung kohlenäurefreie atmosphärische Luft benutzt.

2) Alle bisher von verschiedenen Forschern angeführten Formeln für den Absorptionscoefficienten bei verschiedenen Temperaturen ergeben unzweideutig falsche Resultate, sobald man mit Hülfe derselben den Absorptionscoefficienten für höhere, als die in den angestellten Versuchen benutzten Temperaturen berechnet.

Tabelle I.

Absorption des Sauerstoffs.

| Temp.          | $\alpha$ | Temp.           | $\alpha$ | Temp.           | $\alpha$ |
|----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| 0 <sup>o</sup> | 0,04961  | 23 <sup>o</sup> | 0,03006  | 46 <sup>o</sup> | 0,02163  |
| 1              | 0,04838  | 24              | 0,02954  | 47              | 0,02139  |
| 2              | 0,04720  | 25              | 0,02904  | 48              | 0,02115  |
| 3              | 0,04606  | 26              | 0,02855  | 49              | 0,02092  |
| 4              | 0,04496  | 27              | 0,02808  | 50              | 0,02070  |
| 5              | 0,04389  | 28              | 0,02762  | 51              | 0,02049  |
| 6              | 0,04286  | 29              | 0,02718  | 52              | 0,02029  |
| 7              | 0,04186  | 30              | 0,02676  | 53              | 0,02009  |
| 8              | 0,04089  | 31              | 0,02635  | 54              | 0,01990  |
| 9              | 0,03994  | 32              | 0,02596  | 55              | 0,01972  |
| 10             | 0,03903  | 33              | 0,02558  | 56              | 0,01955  |
| 11             | 0,03816  | 34              | 0,02521  | 57              | 0,01938  |
| 12             | 0,03732  | 35              | 0,02486  | 58              | 0,01922  |
| 13             | 0,03651  | 36              | 0,02452  | 59              | 0,01907  |
| 14             | 0,03573  | 37              | 0,02419  | 60              | 0,01893  |
| 15             | 0,03497  | 38              | 0,02387  | 65              | 0,01832  |
| 16             | 0,03425  | 39              | 0,02356  | 70              | 0,01787  |
| 17             | 0,03357  | 40              | 0,02326  | 75              | 0,01752  |
| 18             | 0,03292  | 41              | 0,02297  | 80              | 0,01726  |
| 19             | 0,03230  | 42              | 0,02269  | 85              | 0,01707  |
| 20             | 0,03171  | 43              | 0,02241  | 90              | 0,01693  |
| 21             | 0,03114  | 44              | 0,02214  | 95              | 0,01684  |
| 22             | 0,03059  | 45              | 0,02188  | 100             | 0,01679  |

Zu untersuchen ist noch, wie die hier gefundenen Werthe für den Absorptionscoefficienten des Sauerstoffs im Wasser mit den vorher von anderen Forschern veröffentlichten übereinstimmen. Wir werden hier diejenigen Forscher anführen, die früher diesen Gegenstand behandelt haben und ihre Methode, sowie die Temperaturen, über welche ihre Versuche sich erstreckten, angeben.

Bunsen.<sup>1)</sup> Methode. Durchsaugen mittelst atmosphärischer Luft. Auskochung 0—20<sup>o</sup>.

Hüfner.<sup>2)</sup> Methode. Schütteln mit atmosphärischer Luft. Abspumpung 20—40<sup>o</sup>.

Dittmar.<sup>3)</sup> Methode. Durchsaugen mittelst atmosphärischer Luft. Abspumpung 0—45<sup>o</sup>.

1) Bunsen, Ann. d. Chem. u. Pharm. **93**. p. 1. 1855.

2) Hüfner, Wied. Ann. **1**. p. 632. 1877 u. Archiv für Anatomie u. Physiologie. physiol. Abth. p. 27. 1890.

3) Dittmar, Challenger Expedition. Physics and Chemistry. **1**. p. 172. 1884.

Bohr.<sup>1)</sup> Absorptiometrische Methode. 20°.

Petterson und Sondén.<sup>2)</sup> Methode. Durchsaugen mit atmosphärischer Luft. Auskochung 0—14°.

Winckler.<sup>3)</sup> Methode. Durchsaugung mit atmosphärischer Luft, Titirung nach Schützenberger 0—30°.

Um die Uebersicht über die Resultate dieser Versuche zu erleichtern, haben wir dieselben in der Tab. II von 5 zu 5 Grad angegeben. Petterson und Sondén's Versuche, welche nur einzelne Temperaturen umfassen, sind unter den sie betreffenden angegeben.

Tabelle II.

| Temp. | Bunsen  | Hüfner  | Dittmar | Sondén u. Petterson | Winckler | Bohr <sup>4)</sup> u. Bock |
|-------|---------|---------|---------|---------------------|----------|----------------------------|
| 0°    | 0,04114 | —       | 0,04903 | 0,4743              | 0,04890  | 0,04961                    |
| 5     | 0,03628 | —       | 0,04303 | —                   | 0,04286  | 0,04389                    |
| 6     | —       | —       | —       | 0,03987             | —        | 0,04286                    |
| 6,32  | —       | —       | —       | 0,04041             | —        | 0,04254                    |
| 9,18  | —       | —       | —       | 0,03813             | —        | 0,03978                    |
| 10    | 0,03250 | —       | 0,03828 | —                   | 0,03802  | 0,03903                    |
| 13,7  | —       | —       | —       | 0,03459             | —        | 0,03596                    |
| 14,1  | —       | —       | —       | 0,03457             | —        | 0,03565                    |
| 15    | 0,02989 | —       | 0,03444 | —                   | 0,03415  | 0,03497                    |
| 20    | 0,02838 | 0,02844 | 0,03125 | —                   | 0,03103  | 0,03171                    |
| 25    | —       | 0,02745 | 0,02857 | —                   | 0,02844  | 0,02904                    |
| 30    | —       | 0,02635 | 0,02629 | —                   | 0,02616  | 0,02676                    |
| 35    | —       | 0,02546 | 0,02432 | —                   | —        | 0,02486                    |
| 40    | —       | 0,02447 | 0,02260 | —                   | —        | 0,02326                    |
| 45    | —       | —       | 0,02109 | —                   | —        | 0,02188                    |

Wie sich aus dieser Tabelle ergibt, sind die Abweichungen zwischen den von Dittmar, Winckler und uns gefundenen Werthen für die einzelnen Temperaturen nur gering, kaum grösser als die Benutzung verschiedener Methoden und Apparate es mit sich führen musste, was man

1) Bohr, Experiment. Untersuchungen u. s. w. Kopenhagen 1885.

2) Petterson u. Sondén, Svensk Kemisk Tidiskrift. p. 17. 1889.

3) Winckler, Ber. d. deutsch. chem. Ges. 22. p. 1764. 1889.

4) Es ist ausdrücklich zu bemerken, dass unsere Werthe (mit Ausnahme eines einzelnen) alle bei vollem Sauerstoffdrucke bestimmt sind, wogegen alle übrigen Forscher bei ihren Versuchen atmosphärische Luft benutzt und den Druck, bei welchem der Sauerstoff absorbirt wurde, nach Dalton's Gesetz berechnet haben.



auch daraus ersieht, dass die drei Werthereihen einander annähernd parallel sind.

Der von Bohr früher gefundene Werth bei  $20^{\circ}$  ( $\alpha = 0,03251$ ) ist ein Mittelwerth mehrerer Versuche, von denen die meisten bei sehr niedrigem Sauerstoffdruck angestellt worden sind. Berücksichtigt man die Schwierigkeiten der Bestimmungen bei sehr niedrigen Drucken, so stimmt dieser Werth mit den obengenannten hinreichend überein.

Die von Petterson und Sonden ausgeführten Bestimmungen bei einzelnen Temperaturen liegen freilich durchgehends etwas niedriger als die oben genannten, sie stehen aber doch diesen näher, als den von Bunsen angegebenen Werthen. Wir können wohl daher mit Sicherheit die in Tab. I angegebenen Werthe der Absorptionscoëfficienten als richtige betrachten.

Die fehlende Uebereinstimmung zwischen den von Hüfner einerseits und von Dittmar, Winckler und uns andererseits gefundenen Werthe ist möglicherweise daraus zu erklären, dass die Werthe Hüfner's vielleicht nur aus seinen Versuchen über die Stickstoffabsorption durch Multiplication mit einem constanten Factor berechnet sind. Das Nähere hierüber findet sich im nächsten Abschnitt.

#### Versuche über die Absorption des Stickstoffs im Wasser.

Bei diesen Versuchen ist theils Bohr's Absorptiometer, theils das Differentialabsorptiometer und theils Auspumpen benutzt worden. Als sich zeigte, wie schwierig es war, wegen seiner geringen Grösse einen genauen Werth des Absorptionscoëfficienten des Stickstoffs bei der Berechnung der ganzen Gasmenge im Apparate mittelst des Differenzabsorptiometers zu bestimmen, wurde ein Werth hierfür durch Versuche mit Bohr's Absorptiometer ermittelt. Diese Versuche, die unten folgen werden, ergaben als Mittelwerth des Absorptionscoëfficienten des Stickstoffs bei  $19^{\circ}$ :

$$\alpha = 0,01667.$$

Diese Grösse ist den Berechnungen der differentialabsorptiometrischen Versuche zu Grunde gelegt worden. Die Versuche über den Stickstoff sind folgende.

| Methode                     |   | Temp.              | Druck               | Absorptionscoëff. |
|-----------------------------|---|--------------------|---------------------|-------------------|
| Bohr's Absorptiometer       | 1 | 18,67 <sup>0</sup> | 210 mm              | 0,01682           |
|                             | 2 | 18,81              | 152 "               | 0,01679           |
|                             | 3 | 19,35              | 278,8 "             | 0,01644           |
| Das Differenzabsorptiometer | 1 | 16,86 <sup>9</sup> | 541,8 "             | 0,01894           |
|                             |   | 41,88              | 607,2 "             | 0,01189           |
|                             |   | 59,43              | 647,5 "             | 0,00969           |
|                             |   | 22,10              | 564, <sup>9</sup> " | 0,01528           |
|                             |   | 29,91              | 581,7 "             | 0,01347           |
|                             | 2 | 12,78              | 550,8 "             | 0,01889           |
|                             |   | 35,14              | 598,4 "             | 0,01313           |
|                             |   | 45,97              | 623,4 "             | 0,01075           |
|                             |   | 59,85              | 654,8 "             | 0,00961           |
|                             |   | 24,06              | 575,3 "             | 0,01527           |
| Durchleitung <sup>1)</sup>  |   | 0,14               | 608,0 "             | 0,02384           |
| Ueberdrucksabsorptiometer   |   | 100 <sup>0</sup>   | 599,6 "             | 0,01046           |

Es zeigt sich, dass der bei 100<sup>0</sup> gefundene Absorptionscoëfficient grösser ist als der bei 60<sup>0</sup> gefundene. Da der Unterschied jedoch nur ein geringer ist und sich möglicherweise aus den Schwierigkeiten der Versuche bei hoher Temperatur erklären lässt, haben wir bei der den Mittelwerthen der Versuche entsprechenden Curve zwischen 60<sup>0</sup> und 100<sup>0</sup> die Curve der Abscissenaxe parallel laufen lassen. Der hierdurch entstehende Fehler wird nur klein sein.

Die mit Hülfe graphischer Interpolation gefundenen Werthe des Absorptionscoëfficienten des Stickstoffs  $\alpha$  bei den Temperaturen von 0 zu 100<sup>0</sup> sind in der Tab. III (p. 336) angegeben.

Der Absorptionscoëfficient für den Stickstoff ist bei verschiedenen Temperaturen schon von mehreren Forschern bestimmt worden. Wir führen dieselben, wie früher beim Sauerstoff, in Verbindung mit den von ihnen angewendeten Methoden, sowie den Temperaturen an, über welche sich ihre Versuche erstreckt haben.

Bunsen.<sup>2)</sup> Absorptiometrische Methode 0—20<sup>0</sup>.

1) Bei diesen Versuchen wurde eine Durchleitung atmosphärischer Luft angewandt.

2) Bunsen, l. c. p. 1. 1855.

Tabelle III.  
Absorption des Stickstoffs.

| Temp. | $\alpha$ | Temp. | $\alpha$ | Temp. | $\alpha$ |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 0°    | 0,02388  | 18°   | 0,01696  | 36°   | 0,01252  |
| 1     | 0,02337  | 19    | 0,01667  | 37    | 0,01233  |
| 2     | 0,02288  | 20    | 0,01639  | 38    | 0,01215  |
| 3     | 0,02241  | 21    | 0,01611  | 39    | 0,01198  |
| 4     | 0,02196  | 22    | 0,01584  | 40    | 0,01182  |
| 5     | 0,02153  | 23    | 0,01557  | 41    | 0,01166  |
| 6     | 0,02111  | 24    | 0,01530  | 42    | 0,01151  |
| 7     | 0,02070  | 25    | 0,01504  | 43    | 0,01137  |
| 8     | 0,02031  | 26    | 0,01478  | 44    | 0,01124  |
| 9     | 0,01993  | 27    | 0,01453  | 45    | 0,01111  |
| 10    | 0,01956  | 28    | 0,01428  | 46    | 0,01099  |
| 11    | 0,01920  | 29    | 0,01404  | 47    | 0,01088  |
| 12    | 0,01885  | 30    | 0,01380  | 48    | 0,01078  |
| 13    | 0,01851  | 31    | 0,01357  | 49    | 0,01069  |
| 14    | 0,01818  | 32    | 0,01334  | 50    | 0,01061  |
| 15    | 0,01786  | 33    | 0,01312  | 60    | 0,01000  |
| 16    | 0,01755  | 34    | 0,01291  | 100   | 0,01000  |
| 17    | 0,01725  | 35    | 0,01271  |       |          |

Hüfner.<sup>1)</sup> Methode: Schütteln mit atmosphärischer Luft, Auspumpen. 20—40°.

Dittmar.<sup>2)</sup> Methode: Durchsaugen mit atmosphärischer Luft, Auspumpen. 0—45°.

Hamberg.<sup>3)</sup> Methode: Durchsaugen mit atmosphärischer Luft. Auspumpen. 0—25°.

Petterson und Sondén.<sup>4)</sup> Methode: Durchsaugen mit atmosphärischer Luft. Auskochen. 0—14°.

In der Tab. IV findet man die Resultate der besprochenen Versuche in Zwischenräumen von je 5 Grad. — Nur die Resultate von Petterson und Sondén finden sich aus dem schon beim Sauerstoff angeführten Grunde bei den entsprechenden einzelnen Temperaturen angegeben.

Man wird aus dieser Tabelle ersehen, dass die von Dittmar, Hamberg und uns gefundenen Reihen, sowie die von Petterson und Sondén bei den einzelnen Tempe-

1) Hüfner, l. c. p. 27. 1890.

2) Dittmar, l. c. p. 172. 1884.

3) Hamberg, Bihang til K. Svenska Vet. Akad. Handlingar. 10. Nr. 13. 1885.

4) Petterson u. Sondén, l. c. p. 17. 1889.

Tabelle IV.

| Temp. | Bunsen  | Hüfner  | Dittmar | Hamberg | Pettersson<br>u. Sondén | Bohr und<br>Bock |
|-------|---------|---------|---------|---------|-------------------------|------------------|
| 0°    | 0,02035 | —       | 0,02440 | 0,02421 | 0,02449                 | 0,02388          |
| 5     | 0,01794 | —       | 0,02162 | 0,02142 | —                       | 0,02153          |
| 6     | —       | —       | —       | —       | 0,02086                 | 0,02111          |
| 6,32  | —       | —       | —       | —       | 0,02120                 | 0,02098          |
| 9,18  | —       | —       | —       | —       | 0,01994                 | 0,01986          |
| 10    | 0,01607 | —       | 0,01943 | 0,01915 | —                       | 0,01985          |
| 13,7  | —       | —       | —       | —       | 0,01819                 | 0,01828          |
| 14,1  | —       | —       | —       | —       | 0,01820                 | 0,01815          |
| 15    | 0,01478 | —       | 0,01765 | 0,01737 | —                       | 0,01786          |
| 20    | 0,01403 | 0,01406 | 0,01619 | 0,01598 | —                       | 0,01639          |
| 25    | —       | 0,01357 | 0,01493 | 0,01494 | —                       | 0,01504          |
| 30    | —       | 0,01308 | 0,01390 | —       | —                       | 0,01380          |
| 35    | —       | 0,01259 | 0,01299 | —       | —                       | 0,01271          |
| 40    | —       | 0,01210 | 0,01220 | —       | —                       | 0,01182          |
| 45    | —       | —       | 0,01150 | —       | —                       | 0,01111          |

raturen angegebenen Bestimmungen einander auffallend nahe liegen. Die Werthe Bunsen's liegen niedriger als die eben genannten. Die Angaben Hüfner's bei 20—40° bilden die unmittelbare Fortsetzung der Werthe Bunsen's bei 0—20°; der von diesem Forscher bei 20° angegebene Werth ist weit niedriger als die von Dittmar, Hamberg und uns gefundenen, seine Werthe nehmen aber bei steigenden Temperaturen langsamer ab, als die der oben genannten Forscher, und es liegt dann der von ihm gefundene Werth bei 40° zwischen den von Dittmar und uns bei derselben Temperatur gefundenen Werthen. Die Bunsen-Hüfner'sche Reihe von Werthen des Absorptionscoëfficienten bei 0—40° weicht sowohl in ihrer Form als in Bezug auf die Werthe bei den einzelnen Temperaturen von denjenigen Resultaten ab, zu welchen alle anderen Forscher gelangt sind. Die grosse Uebereinstimmung der Werthe von Dittmar, Hamberg, Pettersson und Sondén, sowie der unsrigen, welche alle mittelst sehr verschiedener Methoden gefunden sind, scheint mit Sicherheit darauf hinzuweisen, dass die von uns in der Tabelle III angegebenen Werthe für die Absorption des Stickstoffs den bisher allgemein benutzten vorzuziehen sind.

Bunsen hat angegeben, dass bei gleicher Temperatur eine bestimmte Relation zwischen den Absorptionscoëfficienten des Sauerstoffs und des Stickstoffs bestände. Nennt

man den Absorptionscoefficienten für Sauerstoff bei  $t^{\circ}$ :  $\alpha_1$  und für Stickstoff bei gleicher Temperatur  $\alpha_2$ , so müsste sich, mindestens für die Temperaturen 0—23°, bei denen Bunsen die Verhältnisse untersucht hat, ergeben, dass:

$$\alpha_1 = 2,0225 \alpha_2.$$

Dittmar erklärt<sup>1)</sup> in Bezug auf diese Frage, er habe die Angaben von Bunsen hier nicht bestätigt gefunden, das Verhältniss zwischen den beiden Absorptionscoefficienten sei vielmehr variabel. — Zu gleichem Resultate sind auch wir in unseren Versuchen gekommen. In der Tabelle Hüfner's<sup>2)</sup> findet man dagegen überall zwischen 20 und 40° für den Absorptionscoefficienten des Sauerstoffs einen Werth angegeben, der durch Multiplication des entsprechenden Absorptionscoefficienten für Stickstoff mit der Zahl von Bunsen: 2,0225 herauskommt (nur mit Ausnahme der Temperatur 30°, bei der die Tabelle Hüfner's wahrscheinlich durch einen Druckfehler — siehe die Differenzen — 0,02635 statt 0,02645 hat. Diese Tabelle hat der Verfasser aus seinen Versuchen<sup>3)</sup> berechnet. Da das Verhältniss zwischen den Absorptionscoefficienten des Sauerstoffs und des Stickstoffs in der genannten Tabelle überall genau = 2,0225 ist, und da sich in der letztgenannten Arbeit nur bestimmte Werthangaben für die Absorption des Stickstoffs finden, sind die Zahlen Hüfner's für die Sauerstoffabsorption möglicherweise aus den Stickstoffwerthen durch Multiplication mit obengenanntem Factor berechnet worden. Hieraus würden sodann die Abweichungen von den Resultaten der meisten anderen Untersucher verständlich; denn ganz abgesehen davon, dass die Zahl von Bunsen, 2,0225, nicht genau auf alle Temperaturen zwischen 0 und 20° passt, hat man keinen Grund anzunehmen, dass dieselbe auch ausserhalb der von Bunsen untersuchten Temperaturintervalle sich anwenden liesse.

1) Dittmar, l. c.

2) Hüfner, Arch. f. Anat. u. Physiol. p. 27. 1890.

3) Hüfner, Wied. Ann. 1. p. 632. 1877.

Versuche über die Absorption des Wasserstoffs in Wasser.

Die Versuche über den Wasserstoff sind ebenfalls mit verschiedenen Apparaten angestellt worden. Da der Absorptionscoefficient des Wasserstoffs nur klein ist, liess sich mit dem Differentialabsorptiometer schwierig ein sicherer Werth zur Berechnung der gesammten Gasmenge in diesem Apparate finden. Durch Auspumpen von Wasser, das mit Wasserstoff gesättigt war, fanden wir dagegen einen Werth des Absorptionscoefficienten bei 15°. Es wurden drei Bestimmungen ausgeführt und als Mittelzahl dieser einander nahe liegenden Werthe ergab sich für den Wasserstoff der Absorptionscoefficient  $\alpha = 0,0183$ . Dieser Werth ist zur Berechnung der Luftmenge im Differentialabsorptiometer benutzt worden.

Folgende Versuche wurden angestellt.

| Methode                       |       | Temp.   | Druck    | Absorptionscoëff. |
|-------------------------------|-------|---------|----------|-------------------|
| Auspumpung nach der Sättigung | 1     | 15°     | 775,3 mm | 0,0183            |
|                               | 2     | 15      | 653,0 "  | 0,0186            |
|                               | 3     | 15      | 746,3 "  | 0,0180            |
| Differenzabsorptiometer       | 1     | 11,70°  | 552,6 "  | 0,0188            |
|                               | "     | 20,71   | 571,4 "  | 0,0178            |
|                               | "     | 32,22   | 595,2 "  | 0,0168            |
|                               | "     | 41,32   | 616,2 "  | 0,0148            |
|                               | "     | 53,37   | 644,1 "  | 0,0139            |
|                               | "     | 11,39   | 572,2 "  | 0,0190            |
|                               | "     | 25,46   | 603,5 "  | 0,0165            |
|                               | "     | 36,14   | 626,8 "  | 0,0156            |
| "                             | 47,44 | 651,9 " | 0,0147   |                   |
| "                             | 59,26 | 679,7 " | 0,0143   |                   |
| Ueberdrucksabsorptiometer     | 1     | 0,05°   | 854,4 "  | 0,0203            |
|                               | 2     | 56,77   | 892,1 "  | 0,0149            |
|                               | 3     | 100,0   | 461,9 "  | 0,0165            |
|                               | 4     | 100,0   | 641,3 "  | 0,0167            |
| Durchleitung                  | 1     | 56,58°  | 640,7 "  | 0,0152            |

Es zeigt sich, dass die Werthe bei 100° um einiges höher als diejenigen bei 60° liegen. Die zwei Bestimmungen bei 100° liegen einander sehr nahe, und dasselbe gilt betreffs der beiden Auspumpungen bei 56°, deren Werthe bedeutend niedriger liegen. Die auf differentialabsorptiometrischem Wege bei der genannten und naheliegenden Temperaturen gefundenen Werthe variiren etwas, sie liegen

aber alle niedriger, als die durch Auspumpen gefundenen. Infolge dessen scheint also der Absorptionscoefficient des Wasserstoffs bei  $100^{\circ}$  grösser als bei  $60^{\circ}$  zu sein. Dieses auffällige Resultat, infolge dessen der Wasserstoff die Minimalgrösse seiner Löslichkeit bei ca.  $60^{\circ}$  hat, zeigt uns, dass die Löslichkeiten ebenso wenig der Gase wie der Salze — man erinnere sich des schwefelsauren Natrons — sich mit Nothwendigkeit bei gleichgerichteter Temperaturveränderung stets im selben Sinne verändert. Wir haben wie gewöhnlich die Mittelwerthe der Versuche auf graphischem Wege bestimmt. Man erhält dadurch die in der Tab. V angegebenen Werthe für den Absorptionscoefficienten des Wasserstoffs bei verschiedenen Temperaturen.

Tabelle V.  
Absorption des Wasserstoffs.

| Temp. | $\alpha$ | Temp. | $\alpha$ | Temp. | $\alpha$ |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 0°    | 0,0203   | 16°   | 0,0182   | 32°   | 0,0161   |
| 1     | 0,0202   | 17    | 0,0180   | 33    | 0,0160   |
| 2     | 0,0200   | 18    | 0,0179   | 34    | 0,0159   |
| 3     | 0,0199   | 19    | 0,0178   | 35    | 0,0157   |
| 4     | 0,0198   | 20    | 0,0177   | 36    | 0,0156   |
| 5     | 0,0196   | 21    | 0,0175   | 37    | 0,0155   |
| 6     | 0,0195   | 22    | 0,0174   | 38    | 0,0154   |
| 7     | 0,0194   | 23    | 0,0172   | 39    | 0,0153   |
| 8     | 0,0192   | 24    | 0,0171   | 40    | 0,0152   |
| 9     | 0,0191   | 25    | 0,0170   | 45    | 0,0149   |
| 10    | 0,0190   | 26    | 0,0168   | 50    | 0,0146   |
| 11    | 0,0189   | 27    | 0,0167   | 60    | 0,0144   |
| 12    | 0,0187   | 28    | 0,0166   | 70    | 0,0146   |
| 13    | 0,0186   | 29    | 0,0164   | 80    | 0,0149   |
| 14    | 0,0184   | 30    | 0,0163   | 90    | 0,0155   |
| 15    | 0,0183   | 31    | 0,0162   | 100   | 0,0166   |

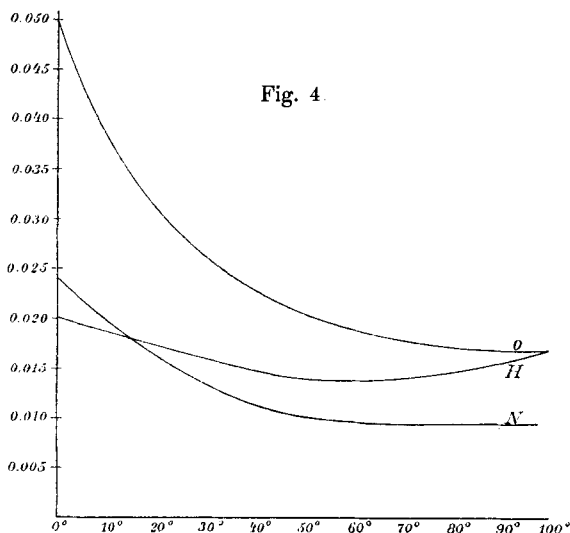
Von den früheren Forschern hat nur Bunsen den Absorptionscoefficienten des Wasserstoffs bestimmt<sup>1)</sup> (absorptiometrische Methode). Er fand für die Temperaturen  $0-20^{\circ}$  als Mittelwerth dieser Grösse 0,0193, indem alle seine Bestimmungen bei den verschiedenen Temperaturen bald höher, bald niedriger als dieser sich zeigten; es sollte also der Absorptionscoefficient des Wasserstoffs bei den Temperaturen  $0-20^{\circ}$  von gleicher Grösse sein. Die Abweichungen in den Versuchen Bunsen's

1) Bunsen, l. c.

vom Mittelwerthe sind übrigens recht bedeutend; der eine Versuch bei  $7^{\circ}$  ergibt den Werth 0,0205, der andere bei  $12,8^{\circ}$  den Werth 0,0186.

Unseren Versuchen zufolge nimmt der Absorptionscoëfficient des Wasserstoffs von 0 bis  $60^{\circ}$  ab. Der Werth bei  $100^{\circ}$  ist grösser als derjenige bei  $60^{\circ}$ .

In der Curve Fig. 4 haben wir die Absorptionscurven des Sauerstoffs, des Stickstoffs und des Wasserstoffs dargestellt, um ihr gegenseitige Verhältniss zu zeigen. Die einzelnen Curven sind mit *O*, *N* und *H* bezeichnet.



#### Versuche über die Absorption von Kohlensäure in Wasser.

Versuche über die Absorption von Kohlensäure in Wasser wurden zuerst von Bunsen <sup>1)</sup> für Temperaturen von  $0-20^{\circ}$  angestellt. Später hat Bohr <sup>2)</sup> bei Drucken von 11 bis 143 mm und einer Temperatur von  $18,52^{\circ}$  den Absorptionscoëfficienten 0,9214 gefunden. Bunsen gibt hier 0,9231 an, es findet also gute Uebereinstimmung zwischen beiden Angaben statt. Wir haben bei dieser Versuchsreihe keine Gelegenheit gehabt, die Versuche Bunsen's mit dieser Gasart

1) Bunsen, l. c.

2) Festschrift. Ludwig gewidmet. 1887. p. 168.



zu wiederholen, haben aber bei einer anderen als der von ihm untersuchten Temperatur zwei Bestimmungen ausgeführt. Die benutzten Temperaturen waren die Körperwärme und  $100^{\circ}$ .

Der Absorptionscoefficient der Kohlensäure bei Körperwärme ist schon früher wegen der physiologischen Bedeutung desselben bestimmt worden. Zuntz<sup>1)</sup> hat gefunden:

$$\text{bei } 39,0^{\circ} \quad \alpha = 0,5283$$

$$\text{„ } 39,2 \quad \alpha = 0,5215.$$

Setschenow<sup>2)</sup> fand den Absorptionscoefficienten bei der Temperatur  $37-37,5^{\circ} = 0,569$ .

Bei einem Durchleitungsversuche beim Kohlensäuredrucke von 707,0 mm und der Temperatur von  $37,29^{\circ}$  fanden wir den Absorptionscoefficienten zu 0,5629, welcher also dem von Setschenow angegebenen sehr nahe liegt. Bei  $100^{\circ}$  fanden wir mit Hülfe des Ueberdruckabsorptionsapparates bei einem Kohlensäuredruck von 643 mm den Absorptionscoefficienten zu 0,2438. Man ersieht daraus, dass der Absorptionscoefficient der Kohlensäure bei steigender Temperatur sehr stark fällt, sodass der Werth bei  $100^{\circ}$  nur  $\frac{1}{7}$  des Werthes bei  $0^{\circ}$  ist (1,7967 Bunsen). Bei keinem der übrigen untersuchten Gase ist der Abfall des Absorptionscoefficienten so gross; am stärksten zeigt er sich beim Sauerstoff, bei welchem der Absorptionscoefficient bei  $100^{\circ}$  ca.  $\frac{1}{3}$  des bei  $0^{\circ}$  gefundenen Werthes ist. Trotz dieses starken Falles ist der Absorptionscoefficient für die Kohlensäure bei  $100^{\circ}$  gleichwohl noch weit grösser als der entsprechende Werth bei gleicher Temperatur für die übrigen Gasarten.

Wir erinnern zuletzt noch daran, dass bis jetzt noch keine Beweise für die Gültigkeit des Henry'schen Gesetzes bei höheren Temperaturen vorliegen. Wir haben keine besonderen Versuche zur Prüfung desselben angestellt, wir begnügen uns, darauf hinzuweisen, dass unsere Versuche in manchen Punkten dieses Gesetz zu bestätigen scheinen.

1) Zuntz, Beiträge zur Physiologie des Blutes. p. 33. Inauguraldiss. Bonn 1868.

2) Setschenow, Mém. de l'acad. imp. de sc. de St. Pétersbourg. 26. 1879.

Es geben bei den Versuchen mit dem Wasserstoff bei 56° die zwei Auspumpungen — von denen die eine bei einem Druck von 640 mm, die andere von ca. 890 mm angestellt worden ist — ziemlich genau dasselbe Resultat; dies ist auch der Fall gewesen bei den beiden Versuchen mit demselben Gas bei 100° — der eine angestellt bei einem Drucke von ca. 460 mm, der zweite von ca. 640 mm. Dass das Henry'sche Gesetz indess, wie auch das Mariotte'sche Gesetz nur innerhalb gewisser Grenzen seine Gültigkeit hat, geht aus Versuchen hervor, die von Khanikoff und Louguine <sup>1)</sup> über die Absorption der Kohlensäure in Wasser bei hohen Drucken bis zu 5 Atmosphären angestellt worden sind; diese Versuche zeigen, dass die Kohlensäure bei hohen Drucken etwas von dem Henry'schen Gesetze abweicht und dass die Grösse dieser Abweichung mit dem Drucke wächst. Sollte es sich indess zeigen, dass das Henry'sche Gesetz mit Bezug auf eine andere der Versuchsgasarten bei Temperaturen oder Drucken benutzt worden war, bei denen dasselbe nicht mit voller Genauigkeit gilt — da bei jedem Versuche der Druck, bei dem er ausgeführt worden ist, angegeben ist —, so wird es leicht sein, aus dem angeführten Absorptionscoëfficienten  $\alpha$  und dem genannten Drucke  $P$  die Anzahl  $x$  der Cubikcentimeter bei 0° und 760 mm des betreffenden Gases zu berechnen, welche 1 ccm Wasser bei genanntem Drucke absorbirt hat, indem:

$$x = \alpha \cdot \frac{P}{760}.$$

Da  $x$  die durch den Versuch unmittelbar gefundene Grösse ist, aus der  $\alpha$  berechnet ist, so behält  $x$  überall seine Bedeutung, als die Zahl von Cubikcentimetern bei 0° und 760 mm, welche 1 ccm Wasser bei gegebener Temperatur und dem gegebenem Drucke  $P$  zu absorbiren vermag, selbst in dem Falle, dass unter diesen Umständen das Henry'sche Gesetz ohne Gültigkeit wäre.

Physiol. Laborat. der Univ. Kopenhagen.

---

1) Khanikoff u. Louguine, Ann. de chim. et de phys. (4) 61. p. 412.