universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Die chemische Technologie der Brennstoffe

Chemischer Theil

Fischer, Ferdinand

1897

Untersuchung der athmosphärischen Luft

urn:nbn:at:at-ubi:2-3644

Unterſuchung der atmoſphäriſchen Luft.

Bekanntlich beſteht die atmoſphäriſche Luft aus etwa vier Theilen Stickſtoff und einem Theil Sauerſtoff, gemiſcht mit wechſelnden Mengen Waſſerdunſt und Kohlenſäure, oft auch mit Induſtriegaſen, Fäulnißſtoffen u. dgl. Von dieſen regelmäßigen Beſtandtheilen der Atmoſphäre iſt wohl am häufigſten der Feuchtigkeitsgehalt feſtgeſtellt, oft auch die Kohlenſäure beſtimmt, ſeltener der Sauerſtoff, während man den verſchiedenen Verunreinigungen erſt in neuerer Zeit mehr Aufmerkſamkeit zuwendet.

Beſtimmung der Feuchtigkeit. Die zur Feſtſtellung der Menge des in der atmoſphäriſchen Luft als unſichtbares Gas vorhandenen Waſſers bis jetzt bekannten Verfahren gründen ſich im Weſentlichen: 1) auf die Anwendung Waſſer anziehender oder abgebender Stoffe, indem man die Veränderungen der Farbe, des Volums, der Temperatur oder des Gewichtes der Körper ſelbſt, oder aber die Volumveränderung der atmoſphäriſchen Luft beſtimmt; 2) auf die Beſtimmung des Thaupunktes.

Das Aufſtellen mit Kobaltlöſung getränkter künſtlicher Blumen (ſogen. Barometerblumen u. dergl.), um aus deren Farbenveränderung auf den Feuchtigkeitsgehalt der Atmoſphäre zu ſchließen, iſt lediglich Spielerei —.

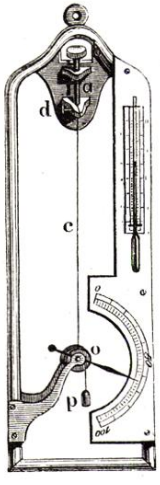
Die Erfahrung, daß ſich eine ganze Reihe von Körpern in feuchter Luft ausdehnen und in trockener Luft zuſammenziehen, iſt ſo alt, als man Thüren, Schubladen u. dergl. aus Holz herſtellt, oder Darmſaiten, Stricke und Papier kennt. Die älteſten Einrichtungen dieſer Art haben Leupold[1]) und Wolf beſchrieben. An dem einen Ende einer um eine Rolle gelegten Hanfſchnur oder Darmſaite hing ein kleines Gewicht mit einem Zeiger, welcher ſich vor einer entſprechenden Gradeintheilung auf und ab bewegte, während Molyneux (1685) den bekannten Mann mit Regenſchirm, Frau mit Sonnenſchirm an einer Darmſaite aufhing. Minder gut war das Hygrometer von Sturm[2]), beſſer das von Lambert[3]),

[1]) Theatrum aerostaticum, p. 288. — [2]) Collegium curiosum (Nürnberg 1676). — [3]) Hygrometrie (Augsburg 1874).

welche ebenfalls Beide Darmsaiten verwendeten. Delancé[1]) hing einen Papierstreifen zwischen zwei Säulen auf, der in der Mitte ein kleines Gewicht mit Zeiger trug. Smeaton[2]) befestigte eine mit Salzwasser gekochte meterlange Hanfschnur an einen mit 250 g Gegengewicht beschwerten, 30 cm langen Zeiger, welcher sich vor einem in 100° getheilten Bogen bewegte. Als Nullpunkt bezeichnet er die Zeigerstellung an einem trocknen Tage in der Nähe eines mäßigen Feuers, während der Sättigungspunkt durch Befeuchten der Schnur mit Wasser gefunden wurde. Chiminello[3]), welcher im Jahre 1783 die diesbezügliche Preisfrage der kurpfälzischen Akademie der Wissenschaften zu Mannheim löste und als Hygrometer einen mit Quecksilber gefüllten Federkiel verwendete, glaubt den Nullpunkt noch bei mittlerer Trockenheit der Atmosphäre und 31° Wärme, den Sättigungspunkt aber durch Eintauchen in Wasser zu finden. J. Baptiste, der einen Zeiger durch einen Streifen Goldschlägerhäutchen in Bewegung setzt, verwendet zur Bestimmung des Nullpunktes in derselben Weise 62° warme Luft.

Maignan benutzte schon im vorigen Jahrhundert die Ausdehnung und Zusammenziehung einer Granne vom Wildhafer; während Simmon[4]) die Ausdehnung eines Holzstabes beobachtet, de Lüc[5]) die eines Stäbchens aus Elfenbein, oder später aus Fischbein; er bestimmt den Nullpunkt zuerst in der mittelst gebrannten Kalkes getrockneten Luft. Benoit[6]) klebt einen Papierstreifen auf eine Metallfeder, Delacombe[7]) einen Holzstreifen, um das verschiedene Verhalten der Pflanzenfaser und des Metalles gegen Feuchtigkeit zu benutzen, natürlich ohne irgendwie brauchbare Angaben erzielen zu können. Wolpert[8]) läßt das freie Ende eines Strohhalmausschnittes sich vor einer Scala bewegen, welche direct die procentische Feuchtigkeit angiebt. Der kleine Apparat scheint weniger gut zu sein als die besseren Haarhygrometer (S. 170).

Fig. 151.



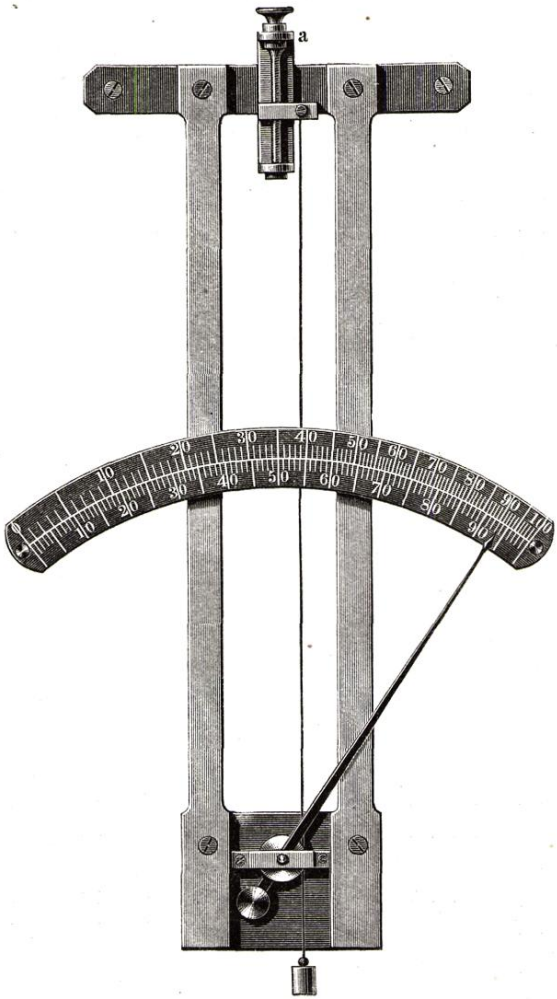
Saussure[9]) verwendete zuerst ein gereinigtes, blondes Menschenhaar, welches einen Zeiger mit kleinem Gegengewichte in Bewegung setzte (Fig. 151). Er bestimmte den Nullpunkt in einer durch Potasche getrockneten Luft, den Sättigungspunkt unter einer mit Wasser befeuchteten Glasglocke. Das oben durch die Stellschrauben *a* und *d* befestigte Haar *c* geht unten über die kleine Rolle *o*, in deren zweiter Rinne eine Schnur mit Gegengewicht *p* läuft, welches das Haar gespannt erhält. Der mit der Axe der Rolle verbundene Zeiger bewegt sich so vor einem

---

[1]) Traité des baromètres, thermomètres et hygromètres (Amsterdam 1688). — [2]) Philosophical Transactions, 1771, Bd. 61, S. 24. — [3]) J. C. Fischer: Physikalisches Wörterbuch (Göttingen 1799), Bd. 2, S. 983. — [4]) Dingl. 1848, **107**, *338. — [5]) Philosophical Transactions, 1773, 63, 38; 1791, 81, 1; Gren's Journal der Physik, 5, 279; 8, 171. — [6]) Dingl. 1830, **35**, *252. — [7]) Dingl. 1831, **41**, 104. — [8]) A. Wolpert: Ventilation und Heizung (Braunschweig 1880), S. *149; Dingl. 1877, **226**, 236, 636. — [9]) Versuch über die Hygrometrie, übersetzt von Titius (Leipzig 1784). Rozier's Journal de physique, Januar 1788.

Gradbogen, daß er in einem mit Feuchtigkeit gesättigten Raume auf 100, in trockner Luft auf 0 steht.

Fig. 152.



Unwesentlich ist die von Babinet[1]) angegebene Verbesserung, während Hermann und Pfister[2]) diesem Apparat die durch Fig. 152 versinnlichte Form geben. Die obere Scala giebt hier direct die relative Feuchtigkeit in Procenten,

[1]) Dingl. 1824, **14**, *293; **15**, 378. — [2]) Carl's Repertor. 1870, S. 117; Dingl. 1870, **196**, *504.

die unteren aber die Sauſſure'ſchen Grade (vergl. S. 172). Der von Meyn[1]) conſtruirte Apparat giebt ebenfalls die relative Feuchtigkeit in Procenten an.

Koppe[2]) hält das in einem Rahmen von etwa 20 cm Länge eingezogene Haar durch eine kleine Spiralfeder aus Neuſilber geſpannt, deren Kraft dem Gewichte von 0,5 g entſpricht. Das Hygrometer iſt in ein Blechkäſtchen geſtellt, welches vorn durch eine Glasſcheibe, hinten durch einen Schieber geſchloſſen werden kann. Vor letzterem iſt ein mit dünnem Zeug beſpannter Rahmen eingeſchoben, welcher mit Waſſer getränkt wird. Man ſtellt nun den Zeiger erforderlichen Falles mittelſt eines beigegebenen Schlüſſels genau auf 100° ein, entfernt dann Schieber, Gewebe und Glas, worauf man nach einigen Minuten die procentiſche Feuchtigkeit ableſen kann.

Folgende Tabelle zeigt eine Reihe zu verſchiedenen Zeiten in meinem Garten ausgeführter vergleichender Beobachtungen. Die beiden erſten Hygrometer von Klinkerfues hatte ich von Lambrecht in Göttingen direct bezogen, das dritte aus einem hieſigen Laden entnommen, das Koppe'ſche von Goldſchmid in Zürich erhalten, das Wolpert'ſche von meinem Bruder (Sammlung der techn. Hochſchule). Die Apparate 1, 2, 3 und 5 wurden vorher ſorgfältig eingeſtellt, beim vierten fehlte hierzu die Vorrichtung. Zur gewichtsanalytiſchen Beſtimmung wurde die Luft durch ein U-Rohr angeſaugt, welches mit Schwefelſäure benetzte Glasperlen enthielt. Des bequemeren Vergleichs wegen ſind die Angaben ſämmtlich auf Procente der relativen Feuchtigkeit berechnet.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
1. Koppe	49	45	50	78	82	81
2. Klinkerfues 1	52	49	53	77	80	83
3. „ 2	53	51	53	74	83	86
4. „ 3	42	34	39	52	64	69
5. Wolpert	40	59	59	58	76	68
6. Fiſcher (S. 178)	50	48	49	—	—	82
7. Regnault	—	49	—	76	—	—
8. Gewichtsanalytiſch . . .	51	—	—	79	86	—
9. Auguſt	52	53	55	59	70	—
Temperatur	18,2°	17,1°	9,3°	— 1,8°	+ 1°	— 1°

Darnach ſind die mit einem ſorgfältig ausgeführten Koppe'ſchen Hygrometer erhaltenen Angaben hinreichend genau.

H. Rietſchel[3]) verwendet das Haarhygrometer zur ſelbſtthätigen Regulirung ſeines Luftbefeuchtungsapparates; die Figuren 153 u. 154 zeigen dieſen

[1]) Dingl. 1878, **227**, *364. — [2]) Dingl. 1877, **226**, *297. — [3]) Dingl. 1880, **235**, *113.

„hygroſkopiſchen Schlüſſel“ in Schnitt und Anſicht. Zwei Haare i und i_1 ſind mit beiden Enden an den Bolzen p und p_1, die in Hebeln h und h_1 ſtecken, befeſtigt. Die Gewichte der Hebel ſind ſo vertheilt, daß die in Bezug auf Fig. 154 rechts liegende Seite des Hebels h nach oben, die gleichliegende Seite des Hebels h_1 dagegen nach unten ſich zu drehen beſtrebt iſt. In den Schleifen der Haare i und i_1 ruhen die an gemeinſchaftlicher Stange befeſtigten Rollen g, g_1. Sie werden unter Vermittelung dieſer Stange durch Arme k, welche an der Rückwand des Apparates gelagert ſind, geführt, ſo daß ſie durch die Spannung der Haare gehoben werden können, ohne dabei in Schwankungen zu gerathen. Die Stange gg_1 ruht auf einer unrunden Scheibe d. Sobald nun die Haare i und i_1 durch Austrocknen ſich verkürzen, ſo wird zunächſt, da die Rollen g und g_1 etwas ſchwerer ſind als die auf die Bolzen p und p_1 bezogenen Belaſtungen der Hebel h und h_1, eine Drehung der Hebel erfolgen, bis die Enden derſelben, die Punkte t und t_1, ſich berühren, wodurch, da ſie mit den Polen einer Batterie verbunden ſind, der Batterieſtrom geſchloſſen wird. Verkürzen ſich die Haare i und i_1 noch mehr, ſo werden die Rollen g und g_1 ohne Schwierigkeit gehoben; es kann alſo eine Ueberſpannung der Haare nicht eintreten. Durch Drehen der unrunden Scheibe d, alſo durch Erhöhen oder Senken des Stützpunktes der Rollen g und g_1 vermag man die Berührung der Punkte t und t_1 früher oder ſpäter herbeizuführen; ein mit d verbundener Zeiger n vermittelt das Erkennen der Lage der unrunden Scheibe d an dem Gradbogen s. Man vermag hiernach den hygroſkopiſchen Schlüſſel auf den gewünſchten Feuchtigkeitszuſtand einzuſtellen.

Fig. 153.

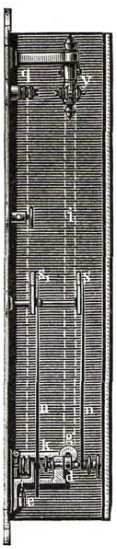
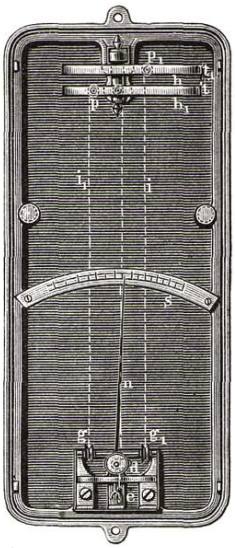


Fig. 154.



Zur Prüfung der Thätigkeit dieſes hygroſkopiſchen Schlüſſels iſt ein gewöhnliches Sauſſure'ſches Hygrometer mit ihm verbunden. Daſſelbe beſteht aus dem Haar, welches an der Schraube q und unten an einer Rolle befeſtigt iſt; mit der Axe dieſer Rolle dreht ſich ein Zeiger n über dem Gradbogen s_1. Das kleine Gegengewicht e hängt an einem Faden, welcher auf eine neben der Rolle des Haares befeſtigte Rolle gewickelt iſt und dem Haar eine gleichmäßige Spannung giebt.

Gay-Luſſac hat für eine mittlere Temperatur beſtimmt, welcher relativen Feuchtigkeit der Luft die Grade des Sauſſure'ſchen Hygrometers (S. 168) entſprechen; er giebt folgende Tabelle:

0^0	=	0,00	relative Feuchtigkeit
10	=	4,57	„ „
20	=	9,45	„ „
30	=	14,78	„ „
40	=	20,78	„ „
50	=	27,79	„ „
60	=	36,28	„ „
70	=	47,19	„ „
80	=	61,22	„ „
90	=	79,09	„ „
100	=	100,00	„ „

Da die Zahl der Grade des Sauſſure'ſchen Haarhygrometers der Verlängerung proportional iſt, welche das Haar durch Feuchtigkeit erlitten hat, ſo ſieht man, wie der betreffende Ausdehnungscoëfficient ſich mit dem Procentſatz relativer Feuchtigkeit ändert, und kann man nach W. Klinkerfues in Göttingen (D. R. P. Nr. 3366) aus obigen Zahlen eine wichtige Eigenſchaft jenes Coëfficienten ableiten. Die der Ausdehnung proportionale Anzahl der Grade, welche mit y bezeichnet werden mag, läßt ſich nämlich durch folgende Formel als Function des Feuchtigkeitsproceſſes p darſtellen:

$$y = 126{,}91 - 47{,}901\ cotg\ (0{,}400^0\, p + 20{,}68^0),$$

woraus ſich dann ergiebt, daß der Ausdehnungscoëfficient dem Quadrate des Ausdruckes $sin\ (0{,}400^0\, p + 20{,}68^0)$ umgekehrt proportional iſt. Es ſcheint ſich die Vorausſetzung zu bewahrheiten, daß dieſe Eigenſchaft immer für eine ganze Art von Haaren giltig bleibt, nur daß die Zahlencoëfficienten von Art zu Art wechſeln. Daß der Ausdehnungscoëfficient durch Feuchtigkeit ſehr nahe gerade in der angegebenen Weiſe veränderlich iſt, hat für das neue Hygrometer dieſelbe Bedeutung, welche die ebenfalls nur ſehr angenähert ſtattfindende Unveränderlichkeit des Ausdehnungscoëfficienten der meiſten Körper durch Wärme für die Thermometer beſitzt. Die obige Formel läßt höchſtens einen Fehler übrig, welcher an einer wenig gebrauchten Stelle der Scala 1,61 Procent der Feuchtigkeit erreicht und der ſelbſt für die meiſten wiſſenſchaftlichen Unterſuchungen nicht ſehr in Betracht kommt.

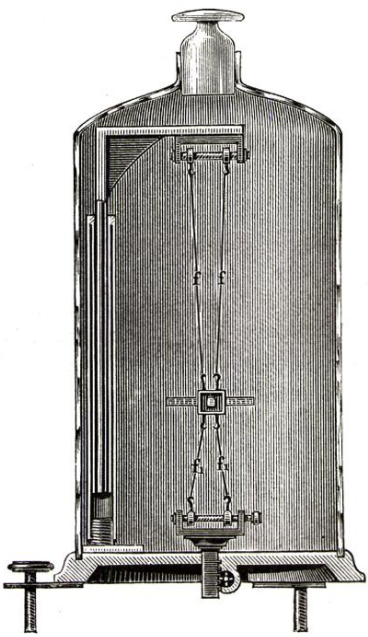
Man denke nun nach Fig. 155 ein Stäbchen ss an zwei hygroſkopiſchen Fäden f bifilar aufgehängt, gleichzeitig aber durch zwei andere ſolcher Fäden f_1 verhindert, ganz der Torſion der erſten Fäden nachzugeben. Die Ruhelagen, nach welchen die ſich entgegenwirkenden Torſionen ſtreben, ſollen ſenkrecht zu einander ſein, daß alſo, wenn z der Torſionswinkel der unteren Torſion iſt, der der oberen durch $90^0 - z$ ausgedrückt wird. Die von letzterer ausgeübte Directionskraft läßt ſich demnach ausdrücken durch $c_1 \sin z$, die der erſteren durch $c \cos z$, wenn c_1 und c die Maximalwerthe dieſer Kräfte bezeichnen. Soll ſich das Stäbchen unter dem Einfluſſe beider Kräfte im Gleichgewichte befinden, ſo muß $c_1 \sin z - c \cos z = 0$, d. h. es muß $cotg\, z = \frac{c_1}{c}$ erfüllt ſein[1]). Erleidet

[1]) Bezüglich der Theorie dieſes Apparates vergl. auch Dingl. 1877, 226, 100.

nun die Größe $\frac{c_1}{c}$ aus irgend welcher Urſache, z. B. durch die Einwirkung von Feuchtigkeit auf die hygroſkopiſchen Fäden eine kleine Variation $\delta \frac{c_1}{c}$, geht alſo in $\frac{c_1}{c} + \delta \frac{c_1}{c}$ über, ſo geht auch entſprechend der Torſionswinkel z in $z + \delta z$ über und man hat $cotg\ (z + \delta z) = \frac{c_1}{c} + \delta \frac{c_1}{c}$ oder mit Rückſicht auf die Kleinheit von δz, die ihre höheren Potenzen zu vernachläſſigen erlaubt, $\delta z = -\ sin\, z_2\, \delta \frac{c_1}{c}$. Die Größen c_1 und c hängen u. a. nach den Torſionsgeſetzen von der Länge und von dem Abſtande von je zwei Fäden eines Paares ab. Die Va-

Fig. 155.

Fig. 156.



riation oder das Increment $\delta \frac{c_1}{c}$ iſt alſo hier als eine Function der Ausdehnungen anzuſehen, welche die Fäden durch Feuchtigkeit erleiden, und zwar mit Rückſicht auf die Kleinheit dieſer Größen als eine linäre Function. Man kann daher nach Obigem ſetzen:

$$\delta \frac{c_1}{c} = \frac{\gamma\, \delta p}{sin\ (0{,}400^0\, p + 20{,}68^0)^2},$$

wobei γ eine Constante, δp das Increment der relativen Feuchtigkeit bedeutet, durch welches die Störung des Gleichgewichtes der beiden Torsionen veranlaßt wird. Substituirt man den oben gefundenen Ausdruck von $\delta \frac{c_1}{c}$ in der Gleichung für δz, so wird:

$$\delta z = \sqrt{\frac{\sin z^2 \gamma \delta p}{\sin (0{,}400^0 p + 20{,}68^0)^2}} \quad \ldots\ldots (1)$$

wobei sich die Coëfficienten auf Menschenhaare beziehen. Durch Abänderungen in der Spannung, in der Länge oder in der Weite der Fädenpaare läßt sich für die Constante γ der Werth $-0{,}400$ herstellen. Gesetzt, dies sei geschehen, außerdem aber noch für irgend eine Stellung in der Gleichgewichtslage, welcher der Torsionswinkel z_0 und die relative Feuchtigkeit p_0 entspricht, durch Aenderungen im Verhältniß beider Torsionen erreicht, daß:

$$z_0 = 0{,}400^0 p + 20{,}68^0 \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

ist, so wird überall, d. h. die ganze Scala der relativen Feuchtigkeit hindurch, $z = 0{,}400^0 p + 20{,}68^0$; denn es wird zufolge der Gleichung (1) für $p = p_0$ die Größe $\delta z = 0{,}400\, \delta p$, folglich ist die Bedingung (2) auch für die Nachbarwerthe von z_0 und p_0, nämlich für $z_0 + \delta z$ und $p_0 + \delta p$ erfüllt und deshalb der gemachte Schluß durch die ganze Scala zu wiederholen. Umgekehrt ist auch die Erfüllung der Bedingung (2) für zwei z. B. für die äußeren Punkte der Feuchtigkeitsscala $p = 0$ und $p = 100$ ein Zeichen, daß $\gamma = 0{,}400$ gemacht worden ist. Hieraus folgt, daß man eine gleichwerthige Scala haben wird, wenn man dafür sorgt, daß in getrockneter Luft $z = 20{,}68^0$, in gesättigter gleich $60{,}68^0$ wird, und daß unmittelbar der Procentsatz relativer Feuchtigkeit angegeben wird, wenn man das Stäbchen auf einem in 100 gleiche Theile getheilten Gradbogen von 40^0 spielen läßt, dessen Nullpunkt $z = 20{,}68^0$ entspricht, oder, wenn man das Stäbchen senkrecht zu der erst angegebenen Lage durch das Schiffchen mit den Aufhängepunkten steckt: $z = 45{,}00^0 - 20{,}68^0 = 20{,}00^0 + 4{,}32^0$. Die Möglichkeit der eben angegebenen Regulirung erhellt theoretisch aus der Betrachtung, daß die Bedingung des Zusammenhaltens von $p = 0$ mit $z = 20{,}68^0$ dadurch zu erfüllen ist, daß man das Verhältniß beider Torsionen ändert, die anderen aber des Zusammenfallens von $p = 100$ mit $z = 60{,}68^0$, wenn die Empfindlichkeit, d. h. die Summe bezieh. die Differenz beider Torsionen, geändert wird, und zwar durch solche gleichzeitige Correction beider Torsionen, daß das Verhältniß für die andere Stellung $p = 0$ dasselbe bleibt.

Die Empfindlichkeit des in den Figuren 155 bis 158 dargestellten Apparates überhaupt und die Größe der Torsion wird am bequemsten dadurch geändert, daß man die Fäden an ihrem einen Ende einander nähert, oder von einander entfernt. Die bifilare Torsion ist, wenn die Fäden nicht parallel sind, sondern mit der Aufhänge- oder Befestigungsbasis ein Trapez bilden, dem Product aus den beiden parallelen Seiten des Trapezes proportional. Wird die Verstellung durch Schrauben ausgeführt, so ist die Aenderung des Werthes der Torsionscoëfficienten der Drehung der Schraube proportional.

Bei dem Juſtiren des Inſtrumentes iſt es auch nöthig, die Spannung der Fäden ganz allmälig mittelſt einer Schraube, welche das Befeſtigungsſtück der

Fig. 157.

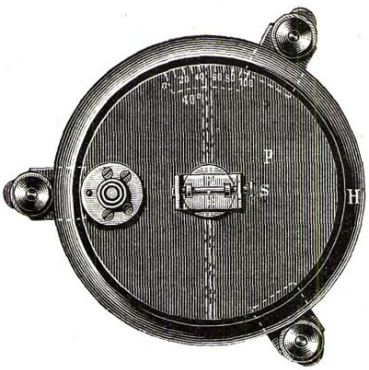
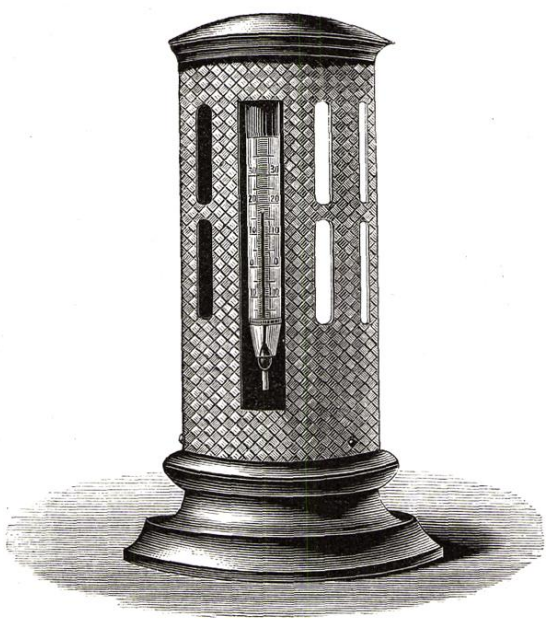


Fig. 158.

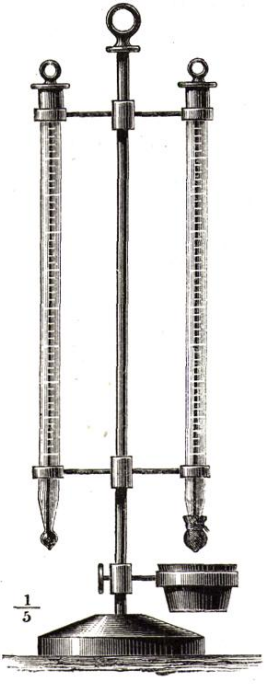
oberen Fäden bequemer nach der unteren in verticaler Richtung verſchiebt, verändern zu können. Mittelſt derſelben Schraube können die Fäden auch ganz außer Spannung geſetzt werden, um das Stäbchen zu arretiren. In dieſem Zuſtande kann das Inſtrument verſendet werden. Um es wieder zu juſtiren, braucht man nur auf der Platte *p* des Inſtrumentes, welche mittelſt dreier Fußſchrauben horizontal geſtellt worden, ein Tellerchen mit Chlorcalcium zu bringen, dann mit der Glasglocke *H* zu bedecken und mittelſt der Schraube *S* die Spannung der Fäden ſo weit zu vergrößern, daß mit dem allmäligen Austrocknen der Luft in der Glocke der Zeiger des Stäbchens *ss* auf den Nullpunkt der Theilung geführt wird. Mit derſelben Schärfe aber kann man dieſelbe Spannung wieder herſtellen, wenn man die Schwingungsdauer des Stäb-

Fig. 159.



chens beobachtet, was selbst mit einer gewöhnlichen Secunden zeigenden Uhr leicht auszuführen ist. Zu diesem Zwecke bemerkt der Mechaniker, wie viel Schwingungen in einer oder mehreren Minuten in vollkommen ausgetrockneter Luft gemacht werden müssen. Bei dem Aufstellen des Apparates an einem anderen Orte wird Chlorcalcium auf die Platte p gebracht, eine Glocke H übergestülpt und mittelst der Schraube S die Spannung der Fäden so lange berichtigt, bis nach vollständiger Austrocknung der Luft in der Glocke der Zeiger auf Null oder noch besser das Stäbchen die diesem Punkte entsprechende Schwingungszahl zeigt. Fig. 159 zeigt die im Handel gebräuchliche Form des Apparates. Derselben wird eine Reductionsscheibe beigegeben zur Ueberführung der Feuchtigkeitsprocente im Thaupunkte. Gut ausgeführte Klinkerfues'sche Hygrometer sind zwar nicht so empfindlich, wie das Koppe'sche, die damit erzielten Angaben sind aber für mittlere Temperaturen hinreichend genau. Die im Handel vorkommenden Apparate sind sehr oft unzuverlässig (S. 170). Für höhere Temperaturen (60 bis 70°) sind Haarhygrometer nach Versuchen von Langer[1]) überhaupt unzuverlässig.

Fig. 160.



Bemerkenswerth ist noch, daß im Observatorium zu Montsouris die Ausdehnung eines freihängenden, durch Gewicht gespannten Haares mit einem Mikroskop erfolgt, ein Verfahren, welches nur für wissenschaftliche Untersuchungen zu empfehlen ist —.

August[2]) berechnet zuerst den Feuchtigkeitsgehalt der Luft aus der Abkühlung einer mit Wasser befeuchteten Thermometerkugel, und zwar geschieht dieses durch zeitweiliges Eintauchen in ein kleines Wassergefäß (Fig. 160) oder ununterbrochen mittelst eines Dochtes u. dergl. Peltier[3]) bestimmt diese Verdunstungskälte mittelst Thermomultiplicators.

Bezeichnet man mit t die von dem trocknen Thermometer angegebene Lufttemperatur, mit t' die des feuchten Thermometers, mit e' die der Temperatur t' entsprechende Spannkraft (S. 190), mit B den Barometerstand, so ist die wirkliche Dampfspannung:

$$e = e' - 0{,}00074\,B\,(t - t').$$

Daraus ergiebt sich der Wassergehalt von 1 cbm Luft in Grammen:

---

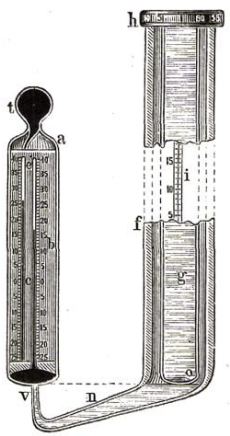
[1]) Wagner's Jahresber. 1880, S. 646. — [2]) Poggend. Ann. (1825), **5**, 69, 335; **14**, 137; August: Psychrometertafeln (Berlin 1848). — [3]) Mem. encyclop. 1837; Dingl. 1837, **66**, 234.

$$f = 1{,}06 \cdot \frac{c}{1 + 0{,}003665 \cdot t}.$$

Gewöhnlich genügt die Annäherungsformel $f = f' - 0{,}6\ (t - t')$, indem man für f' den aus der Tabelle S. 183 zu t' entnommenen Werth setzt [1]). Wenn z. B. die beiden Thermometer 20 und 14° zeigen, so erhält 1 cbm Luft 8,4 g Wasser.

Nach Regnault ist der für mäßig bewegte Luft berechnete Factor 0,00074 für ruhige Luft bis auf 0,0012 zu erhöhen, da in letzterer die das nasse Thermometer umgebende feuchte Luft weit langsamer ersetzt wird. Wolf [2]) fand selbst bei freihängenden Thermometern Fehler bis zu 30 Proc., ich selbst habe Fehler bis zu 20 Proc. beobachtet (S. 170); das Verfahren ist daher zu ungenau, wenn auch die Angaben bei mittleren Temperaturen zuweilen befriedigend stimmen.

Fig. 161.



Lambrecht in Göttingen (D. R. P. 12951) glaubt diese Ungenauigkeit durch Abplattung der Thermometerkugel (Fig. 161) vermeiden zu können. Zu diesem Zweck ist in einem, mit Lufthermometer t versehenen Glascylinder a eine mit Thermometergradeintheilung versehene Platte b angebracht und von unten das Verdunstungsthermometer c so eingeschmolzen, daß nur die untere Fläche seines Quecksilberbehälters mit der Luft in Verbindung steht, während der obere Theil des Behälters vom Cylinder a umschlossen ist. Zur Zuführung der Flüssigkeit behufs Anfeuchtung des Saugpapiers unter dem Quecksilbergefäß dient der doppelwandige Cylinder fg mit unten conisch zulaufendem schrägem Ansatz n, dessen Ende v wieder nach oben gebogen ist und in eine kleine Düse ausläuft, welche von unten die Mitte des Saugpapieres berührt [3]).

Whitehouse [4]) schlägt den umgekehrten Weg ein, indem er die Thermometerkugel mit concentrirter Schwefelsäure befeuchtet und die in Folge der Wasseraufnahme aus der Atmosphäre erfolgte Temperatursteigerung beobachtet. — Das Verfahren ist unbrauchbar.

Die Bestimmung der Luftfeuchtigkeit durch die Wage ist ebenfalls längst bekannt. So bestimmten die Mitglieder der Florentiner Akademie im Jahre 1731 den Feuchtigkeitsgehalt durch Aufstellen eines mit Schnee oder Eis gefüllten, trichterartigen Glasgefäßes und Wägen des verdichteten abtropfenden Wassers. Der Abt Fontana [5]) nahm statt dessen eine abgekühlte polirte Glasplatte und bestimmte deren Gewichtszunahme. Andere [6]) brachten mit Salmiak getränkte Schwämme an einer Wage ins Gleichgewicht und bestimmten die Gewichtsveränderung durch die Grade des Ausschlages oder durch Gegengewichte.

---

[1]) F. Kohlrausch: Praktische Physik, S. 37. — [2]) Dingl. 1877, **226**, 301. — [3]) Dingl. 1881, **241**, *297. — [4]) Dingl. 1872, **204**, 188. — [5]) Saggio del real gabinetto di Firenze, S. 19. — [6]) J. C. Fischer: Physikalisches Wörterbuch (1799), Bd. 2, S. 976.

Joh. Livingstone[1]) versuchte in ähnlicher Weise verdünnte Schwefelsäure, Baumhauer[2]) und Snellen[3]) nahmen mit concentrirter Schwefelsäure getränkte Bimssteinstückchen, Andere Potasche[4]), T. Lowitz[5]) im Jahre 1772 einen bei Astrachan gefundenen Schiefer. — Diese Verfahren sind offenbar unbrauchbar; sicher ist dagegen die Bestimmung, wenn man eine genau abzumessende Luftmenge durch ein Rohr mit Chlorcalcium oder Schwefelsäure ansaugt[6]), dessen Gewichtszunahme direct den Wassergehalt angiebt (S. 170). Das Verfahren ist genau, aber etwas umständlich, da es längere Zeit und genaue Wägungen erfordert; es wird daher meist nur da angewendet, wo, z. B. in Trockenräumen, Malzdarren u. s. w., die bequemeren Verfahren nicht verwendbar sind. —

Bei den im Auftrage des Magistrates der Stadt Berlin ausgeführten Schulluftuntersuchungen verwandte die betreffende Commission[7]) ein kleines, im Wasser schwimmendes Glasaräometer, dessen Spindel eine aus Glimmer gefertigte Scheibe trug. Auf diese Scheibe wurde ein mit Wasser befeuchtetes Stück Fließpapier gelegt. Hat nun das Papier eine Oberfläche von 9 qcm und sinkt das Instrument beim Auftropfen von m mg Wasser um g Grade, steigt dann während einer Beobachtungszeit von t Minuten um r Grade, so beträgt die Verdunstung für Stunde und Quadratcentimeterfläche $\frac{mr}{9\,g} \cdot \frac{60}{t}$ mg Wasser. — Da auf die Schnelligkeit der Verdunstung nicht nur, wie beim August'schen Psychrometer (S. 177), die Luftbewegung, sondern auch die mehr oder minder große Nähe der Wasserfläche einwirkt, so sind die mit diesem Apparate erhaltenen Angaben offenbar werthlos. —

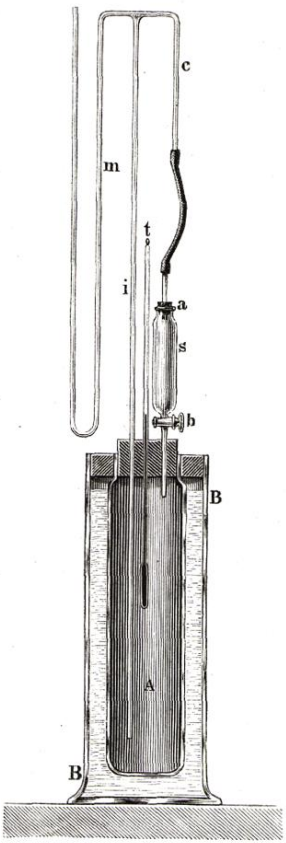
Zuverlässig läßt sich der Feuchtigkeitsgehalt der Luft auch aus der Volumabnahme derselben beim Trocknen durch Chlorcalcium oder Schwefelsäure berechnen. Diese Volumverminderung kann entweder in der von Bunsen angegebenen Weise im Eudiometer über Quecksilber direct gemessen (S. 189) oder aber aus der Abnahme des Druckes berechnet werden[8]).

Zu letzterem Zweck habe ich mir den in Fig. 162 in $^1/_4$ natürlicher Größe abgebildeten Apparat anfertigen lassen[9]). Das cylindrische 1 Liter fassende Glasgefäß A (verkürzt gezeichnet) ist mittelst Gummistopfen in den weiteren, mit Wasser gefüllten Glascylinder B eingesetzt, um jede rasche Temperaturveränderung zu vermeiden. Der eine Schenkel des T-Rohres i trägt das kleine Manometer m, der andere c kann durch einen engen Gummischlauch mit der kleinen Bürette s verbunden werden. Soll nun eine Bestimmung gemacht werden, so verbindet man den Rohransatz c mit dem Raume, welcher die zu untersuchende Luft enthält, und saugt mit einem Aspirator bei geöffnetem Hahn b so lange aus der Oeffnung a an, bis der Cylinder A sicher mit der zu untersuchenden Luft gefüllt ist. Nun wird der Hahn b geschlossen, das kleine Gefäß s mit concentrirter Schwefelsäure

[1]) Dingl. 1821, **4**, 484. — [2]) Pogg. Ann. **93**, 343. — [3]) Zeitschr. f. Meteorol. 1874, 350. — [4]) Dingl. **36**, *131. — [5]) Göttingisches Magazin der Wissenschaften, Reihe 4, **3**, 491. — [6]) Vergl. Pogg. Ann. **20**, 274. — [7]) Rohrleger 1880, *63. — [8]) R. Bunsen, Gasometrische Methoden, 2. Aufl., 45. M. Th. Edelmann, Neuere Apparate für naturwissenschaftliche Schule und Forschung (1879), 14. — [9]) Dingl. 1879, **234**, *49.

gefüllt und die Mündung *a* mit einem Gummistopfen verschlossen, in dessen Durchbohrung ein zur Spitze ausgezogenes Glasrohr steckt, welches schließlich mittelst Gummischlauch mit dem Rohr *c* verbunden wird, so daß damit der Apparat völlig abgeschlossen ist. Man läßt nun durch Oeffnen des Hahnes *b* die Schwefelsäure eintropfen; innerhalb 2 bis 3 Minuten ist die Absorption beendet, ohne daß eine Temperaturänderung stattfindet, wie man sich durch das Thermometer *t* überzeugt. Man liest nun genau die Druckabnahme im Manometer *m* ab, welche mit Hülfe der Tabelle S. 183 den Wassergehalt giebt.

Fig. 162.



Aehnlich, wenn auch der vielen Glashähne wegen weniger einfach, ist der Apparat von Voller[1]), wenig zu empfehlen der von Haffelt[2]) und von Tschaplowitz[3]).

F. Rüdorff[4]) setzt in die drei Hälse der etwa 1 Liter fassenden Flasche *F* (Fig. 163 a. f. S.) eingeschliffene durchbohrte Stöpsel; der mittlere (*r*) trägt die in 0,1 ccm getheilte Hahnbürette *P*, der rechte (*s*) ein bis fast zum Boden der Flasche reichendes Glasrohr, der linke (*t*) das Manometer *M*. Der Zweiweghahn *t* verbindet in der einen Stellung das Gefäß mit dem Manometer, in der anderen das Gefäß mit der äußeren Luft. Das Manometer ist mit verdünnter Schwefelsäure von 1,30 specif. Gewicht gefüllt, welche bei gewöhnlicher Temperatur und Feuchtigkeit weder Wasser anziehen noch abgeben soll. Zur Anstellung eines Versuches werden die Stöpsel aus den Hälsen entfernt, mit einem kleinen Blasebalg wird die Luft aus dem Gefäß ausgetrieben und die Stöpsel wieder bei geöffneten Hähnen eingesetzt. Nachdem die Hähne geschlossen sind, wird die Bürette mit Schwefelsäure gefüllt und der Hahn *t* so gestellt, daß die Verbindung des Manometers mit dem Gefäß hergestellt ist. Der gleichhohe Stand der Flüssigkeit im Manometer zeigt, daß die Luft im Gefäß

[1]) Dingl. 1881, **240**, *448. — [2]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1880, 67; Dingl. 1880, **236**, *66. — [3]) Landwirthsch. Versuchsst. 1881, *65. — [4]) Berichte deutsch. chem. Ges. 1880, 149.

unter dem Druck der Atmosphäre steht. Läßt man nun durch Drehung des Hahnes *r* vorsichtig etwas Schwefelsäure in das Gefäß fließen, so wird der Wasserdampf absorbirt und das Gleichgewicht im Stande des Manometers gestört. Durch ferneres Zulassen von Schwefelsäure wird das Gleichgewicht wieder hergestellt und dann ist der absorbirte Wasserdampf durch ein gleiches Volumen Schwefelsäure ersetzt. Dasselbe wird an der Bürette direct abgelesen und durch Rechnung der Procentgehalt der Luft an Wasserdampf gefunden. Wünscht man aus den Angaben

Fig. 163.

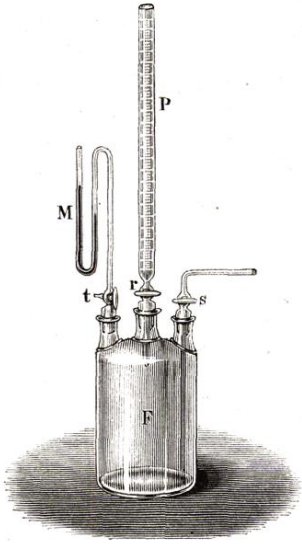
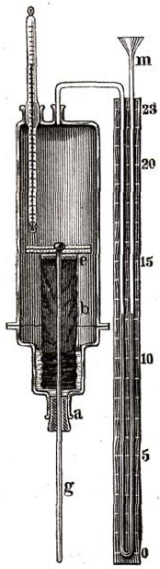


Fig. 164.



des Apparates den Theildruck, welchen der Wasserdampf ausübt, zu finden, so ergiebt sich dieser in folgender Weise: Enthält die Luft 1 Vol.-Proc. Wasserdampf, so übt derselbe auch 0,01 des Druckes aus. Bezeichnet man daher allgemein mit *v* das Volumen des in 100 Vol. Luft enthaltenen Wasserdampfes und mit *B* den in Millimeter ausgedrückten Barometerstand, so ergiebt sich der Theildruck des Wasserdampfes $= 0{,}01\ vB$ mm.

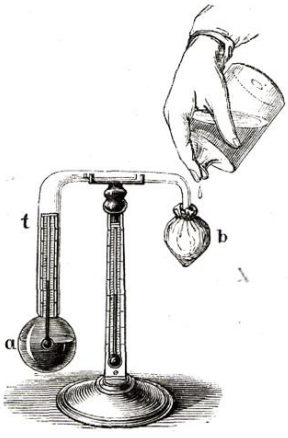
Das Verfahren ist bequem und genau, doch ziehe ich vor, statt des den Temperaturschwankungen ausgesetzten Gefäßes *F* das weit billigere, mit Wasser umgebene Gefäß *A* (Fig. 162) zu nehmen und das Manometer mit schwer siedendem Erdöl zu füllen.

F. Neesen[1]) hat den Apparat dahin geändert, daß er zwei Flaschen verwendet, welche mit einander verbunden sind, um dadurch die Beobachtung von der Temperatur unabhängig zu machen. Dieses ist überflüssig, sobald die Flasche in Wasser steht.

[1]) Ann. Phys. **11**, *526.

A. Matern[1]) bestimmt die Wassermenge, welche eine eingeschlossene Luft noch bis zur völligen Sättigung aufnimmt, um daraus auf den bereits vorhandenen Wassergehalt derselben zu schließen. Der Glasboden seines Condensationshygrometers endet unten in einen 1,5 cm langen, 1 cm weiten Hals *a* (Fig. 164), welcher zur Aufnahme eines Kautschukcylinders bestimmt ist. Vom oberen Ende des Halses an erweitert sich der Boden in einen 3 cm weiten und 3 cm hohen cylindrischen Raum, der zur Füllung mit Wasser dient. Die Wand dieses Behälters geht in einen möglichst geebneten, horizontal abstehenden Rand von 1 cm Breite über, erhöht sich dann noch etwa um 1 cm, bei welcher Stelle eine Weite von 5 cm erreicht ist, und läuft dann in einen rechtwinklig abstehenden flachen Rand von 1 cm Breite aus, der mit Schmirgel sorgfältig eben geschliffen ist. In einer Durchbohrung des Kautschukpfropfens läßt sich ein 2,5 mm starker Glasstab *g* mit Reibung auf- und abschieben, auf welchen zunächst ein mitten durchbohrtes Metallkreuz von 2 cm Armlänge und darunter eine ebene, leicht biegsame Kautschukscheibe von 4 cm Durchmesser geschoben ist. Beide Theile werden durch einen mit starker Reibung auf den Stab geschobenen kurzen Kautschukcylinder *e* von 2 cm Durchmesser festgehalten, an welchem ein den Stab umgebendes, etwa 15 cm langes Säckchen *b* von dünner Leinwand befestigt ist. In den geöffneten Behälter ist bis zu einer Marke so viel Wasser zu gießen, daß es nach dem Herabziehen des Stabes durch die eingetauchte Leinwand und den Kautschukcylinder noch nicht bis an den Rand des Behälters gehoben wird. Wenn das Kreuz die Kautschukscheibe gegen diesen Rand andrückt, ist der Wasserbehälter genügend geschlossen, um den Feuchtigkeitsgehalt der außerhalb befindlichen Luft unverändert zu lassen. Der eben geschliffene Rand des Bodens wird dann mit Talg bestrichen und ein mit gleichem Rande versehener 12 cm hoher, 5 cm weiter Behälter fest darauf gedrückt, in welchen oben ein 2,75 mm bis 3 mm weites und 30 cm langes, zur Hälfte mit Rüböl gefülltes Manometer *m* entweder eingeschmolzen, oder in einen Hohlconus eingesetzt ist. Der Stab ist dann in die Höhe zu schieben und die mit ihm emporgehobene feuchte Leinwand sättigt die Luft sehr bald mit Wasserdampf, dessen Druckerhöhung sich am Manometer zeigt. Das Verfahren steht den beiden letzteren (Fig. 162 u. 163) an Genauigkeit und Handlichkeit nach. Da jedoch auch diese Apparate nach jeder Bestimmung gereinigt und getrocknet werden müssen, so empfehlen sich dieselben namentlich zu

Fig. 165.

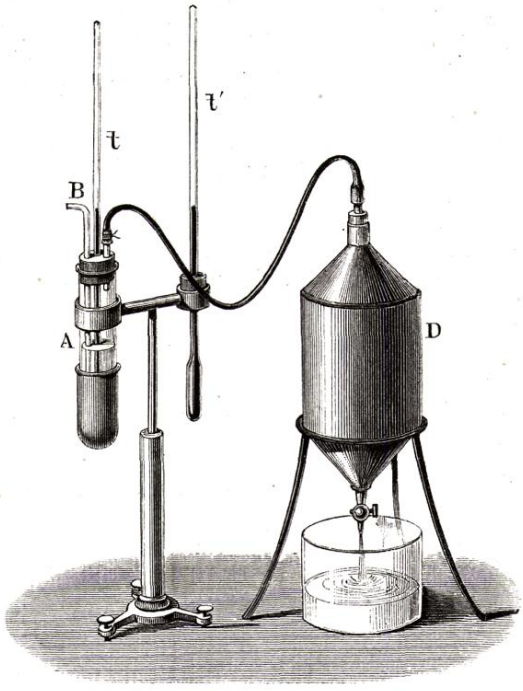


[1]) Ann. Phys. (1880) **9**, *147, **10**, *149; Dingl. 1880, **236**, *69.

einzelnen Controlbestimmungen, während für die fortlaufenden Bestimmungen meist ein gutes Haarhygrometer vorgezogen wird.

Daniell[1]) bestimmte den Thaupunkt, d. h. die Temperatur, bei welcher die Atmosphäre mit der vorhandenen Feuchtigkeit gesättigt sein würde, mittelst einer durch verdunstenden Aether abgekühlten Glaskugel (Fig. 165 a. v. S.). Die Kugel *a* des vollkommen luftleeren Apparates ist vergoldet und halb mit Aether gefüllt. Sobald man nun Aether auf die mit einem Gewebe umkleidete Kugel *b*

Fig. 166.



tropft, so verdichtet sich der darin befindliche Aetherdampf, es destillirt von *a* aus Aether über, bis sich diese Kugel durch die Verdunstungskälte auf den Thaupunkt der umgebenden Luft abgekühlt mit einem zarten Thau beschlägt. — Mangelhafter ist das sogenannte Thermohygrometer von Nollet[2]).

Döbereiner[3]) und Regnault[4]) gaben diesem Apparat die Form, welche unter dem Namen Regnault'sches Hygrometer bekannt ist (Fig. 166). Die halb mit Aether gefüllte Glasröhre *A* trägt unten ein fingerhutähnliches Gefäß aus dünnem polirtem Silberblech. Die eine der drei Durchbohrungen des Stopfens

[1]) Gilbert's Ann. **68**. — [2]) Dingl. 1842, **85**, 305. — [3]) Gilbert's Ann. **70**. — [4]) Ann. chim. phys. III, **15**.

enthält das fast bis zum Boden der Röhre *A* reichende Rohr *B*, während von dem nur eben bis unter den Kork reichenden Rohr ein Schlauch zu dem mit Wasser gefüllten, einige Meter entfernten Aspirator *D* führt. Die von diesem angesaugte, durch das Rohr *B* eintretende Luft streicht durch den Aether, welcher dadurch rasch verdunstet und das Silbergefäß bis zum Thaupunkt abkühlt. Der Eintritt desselben und die von beiden Thermometern *t* und *t'* angegebenen Temperaturen werden durch ein passend beim Aspirator aufgestelltes Fernrohr beobachtet. Durch entsprechende Stellung des Wasserabflußhahnes läßt man den Thau einige Mal hinter einander auftreten und verschwinden. Der Apparat hat vor dem Daniell'schen den großen Vorzug, daß weder die Nähe der Versuchsperson noch der Aetherdampf den Thaupunkt stören; die damit erzielten Resultate sind genau, nur schade, daß der Apparat für technische Zwecke etwas unhandlich ist. Zu erwähnen ist noch der Vorschlag von Allnard[1]), die vergoldete Kugel mit einer nicht gekühlten gleichen Fläche zu umgeben, um den Eintritt des Thaupunktes leichter zu erkennen. Dines[2]) schlug vor, eine schwarze Glasplatte bis zum Thaupunkt abzukühlen.

Das Regnault'sche Hygrometer giebt unmittelbar den richtigen Thaupunkt an. Nachfolgende Tabelle enthält die dem Thaupunkt *t* entsprechende Spannkraft *e*

t Grad	*e* mm	*f* g	*t* Grad	*e* mm	*f* g	*t* Grad	*e* mm	*f* g	*t* Grad	*e* mm	*f* g
— 10	2,0	2,1	0	4,6	4,9	10	9,1	9,4	20	17,4	17,2
— 9	2,2	2,4	1	4,9	5,2	11	9,8	10,0	21	18,5	18,2
— 8	2,4	2,7	2	5,3	5,6	12	10,4	10,6	22	19,7	19,3
— 7	2,6	3,0	3	5,7	6,0	13	11,1	11,3	23	20,9	20,4
— 6	2,8	3,2	4	6,1	6,4	14	11,9	12,0	24	22,2	21,5
— 5	3,1	3,5	5	6,5	6,8	15	12,7	12,8	25	23,6	22,9
— 4	3,3	3,8	6	7,0	7,3	16	13,5	13,6	26	25,0	24,2
— 3	3,6	4,1	7	7,5	7,7	17	14,4	14,5	27	26,5	25,6
— 2	3,9	4,4	8	8,0	8,1	18	15,4	15,1	28	28,1	27,0
— 1	4,2	4,6	9	8,5	8,8	19	16,3	16,2	29	29,8	28,6

und den Wassergehalt *f* von 1 cbm Luft für die hier in Frage kommenden Temperaturen. Da jedoch die den Apparat umgebende Luft abgekühlt war, so muß der dem Thaupunkt *t* in der Tabelle entsprechende Wassergehalt bei T^0 Lufttemperatur noch multiplicirt werden mit $\frac{1 + 0{,}00366 \,.\, t}{1 + 0{,}00366 \,.\, T}$.

Wird z. B. bei 20^0 Lufttemperatur der Thaupunkt zu 10^0 bestimmt, so entspricht die Spannkraft des in der Luft enthaltenen Wasserdampfes 9,1 mm Quecksilber, und

[1]) Compt. rend. **85**, 568. — [2]) Engineer 1872, 228; Dingl. 1872, **206**, *274.

1 cbm Luft enthält 9,4 $\frac{1 + 0{,}00366 \cdot 10}{1 + 0{,}00366 \cdot 20} = 9{,}1$ g Wasser. Bei geringen Temperaturunterschieden wird diese Correction oft überflüssig sein.

Bestimmung des Sauerstoffes. Die ersten derartigen Bestimmungen wurden ausgeführt, um festzustellen, in wie fern die Luft an verschiedenen Orten zum Athmen mehr oder weniger brauchbar und für die Erhaltung der Gesundheit zuträglich sei (daher Eudiometrie von *εὐδία*, gute Luft, und *μέτρον*). Hales[1]) machte bereits im Jahre 1727 die Beobachtung, daß nitrose Luft (NO), mit atmosphärischer Luft gemischt, eine Volumverminderung zeigt. Priestley[2]) verfolgte diese Beobachtung und stellte im Jahre 1772 das erste Eudiometer zur Untersuchung der Luft mittelst Stickoxyd her, indem er den Grundsatz aufstellte, die atmosphärische Luft sei um so reiner, je größer die Volumverminderung beim Vermischen mit Salpetergas sei. Diese Prüfung der Luft auf ihren Gehalt an Sauerstoff mittelst Stickoxyd fand den allgemeinsten Beifall. F. Fontana[3]) schlug unter Beibehaltung des Verfahrens acht verschiedene Eudiometer vor; besser waren die Apparate von Landriani[4]), der zuerst die Bezeichnung „Eudiometer" gebraucht, Ingenhouß[5]), Magellan[6]), Achard[7]), Stegmann[8]) u. A. Scheele[9]) verwendete zu gleichem Zweck Schwefel und Eisenfeile, Guyton-Morveau Schwefelkalium. Seguin[10]) nahm zuerst erwärmten Phosphor, Berthollet Phosphor bei gewöhnlicher Temperatur. Volta mischte die Luft mit Wasserstoff und entzündete das Gemisch durch elektrische Funken, ähnlich Weekes[11]); nach den Verbesserungen durch Bunsen (S. 193) ist diese Bestimmungsart des Sauerstoffes die genaueste der bis jetzt bekannten. Döbereiner vermittelte die Verbindung dieses Gasgemisches durch Platinschwamm.

Die Bestimmung des Sauerstoffgehaltes hat neuerdings eine erhöhte Bedeutung durch den Nachweis erhalten, daß derselbe, entgegen der allgemeinen Annahme in den letzten Jahrzehnten, ziemlich bedeutenden Schwankungen unterliegt.

Bekanntlich fand Regnault[12]) für 1 Liter atmosphärische Luft 1293,187 mg, für 1 Liter Sauerstoff 1429,802 mg und für 1 Liter Stickstoff 1256,167 mg. Bezeichnet x das Volum des im Liter Luft enthaltenen Sauerstoffgases, also $1 - x$ das des Stickstoffes, so hat man: $1429{,}802\,x + (1 - x)\,1256{,}167 = 1293{,}187$. Es berechnet sich hiernach x zu 0,2132 oder der Sauerstoffgehalt zu 21,32 Proc. Jolly[13]) hat nun mit einem Glaskolben von 1009,412 ccm Inhalt eine große Anzahl Wägungen ausgeführt, aus denen hervorgeht, daß für die geographische Breite von München von 48° 8′ und der Höhe von 515 m über der Meeres-

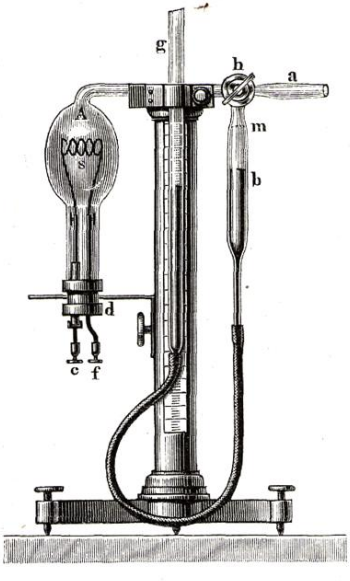
---

[1]) Hales, Vegetable Statisticks. Deutsch: Statik der Gewächse (Halle 1748), S. 128. — [2]) Leonhardi, Macquer's chymisches Wörterbuch (Leipzig 1789), **3**, 88. — [3]) Fischer, Physikalisches Wörterbuch (Göttingen 1779), **2**, 275. — [4]) Landriani, Untersuchung der Gesundheit der Luft (Basel 1778). — [5]) Philosophical Transactions (1776), **66**, 257. — [6]) Beschreibung einiger Eudiometer; übersetzt von Wenzel (Dresden 1780), 24. — [7]) Achard, Sammlung physikalischer Abhandlungen (Berlin 1784), **1**, 317. — [8]) Stegmann, Beschreibung eines Luftmessers (Cassel 1778). — [9]) Scheele, Luft und Feuer (Leipzig 1782), 269. — [10]) Gren's Journal der Physik, **6**, 148; Scherer, Geschichte der Luftgüteprüfungslehre (Wien 1785). — [11]) Dingl. 1834, **53**, *339. — [12]) Mém. de l'Acad. de sciences (1847) **21**, 158. — [13]) Ann. d. Phys. (1879) **6**, 539.

oberfläche 1 Liter Sauerstoff 1429,094 mg und 1 Liter Stickstoff 1257,614 mg wiegen (s. S. 139). Das Gewicht des in dem Ballon eingeschlossenen Sauerstoffes betrug 1442,545 mg, das des Stickstoffes 1269,455 mg, das der getrockneten atmosphärischen Luft (ob auch von Kohlensäure befreit, ist nicht angegeben) bei anhaltendem Nordost 1305,744 und bei anhaltendem Föhn 1304,899 mg, somit der Sauerstoffgehalt der Luft 20,965 und 20,477 Proc.

Ph. v. Jolly[1]) benutzt die bekannte Eigenschaft des glühenden Kupfers, der atmosphärischen Luft den Sauerstoff völlig zu entziehen. Das etwa 100 ccm fassende Glasgefäß *A* (Fig. 167) kann durch den Dreiweghahn *h* mit dem Rohransatz *a* und dem Rohr *b* in Verbindung gesetzt werden. Soll eine Bestimmung ausgeführt werden, so schließt man den Behälter *A* durch den Deckel *d*, verbindet das Rohr *a* mit der Queckſilberluftpumpe und füllt mit Hülfe derselben den Apparat mit der zu untersuchenden Luft. Inzwischen umgiebt man das Gefäß *A* mit Eis und stellt durch Heben oder Senken des mit *b* durch einen Schlauch verbundenen Rohres *g* das darin enthaltene Queckſilber bis zur Marke bei *m* ein. Der Hahn *h* wird dann so gestellt, daß *A* nur noch mit dem Rohr *b* in Verbindung steht, worauf man die Klemmschrauben *c* und *f* mit entsprechenden Zuleitungsdrähten verbindet, so daß durch den galvanischen Strom die Kupferspirale *s* in lebhafte Glühhitze kommt. Ist der Sauerstoff entfernt, so umgiebt man das Gefäß *A* abermals mit Eis, stellt das Queckſilber in *b* wieder bis zur Marke ein und berechnet den Sauerstoff aus der Druckabnahme. Nach den Versuchen von Jolly giebt der Apparat bis auf Hundertstelprocente genaue Resultate.

Fig. 167.

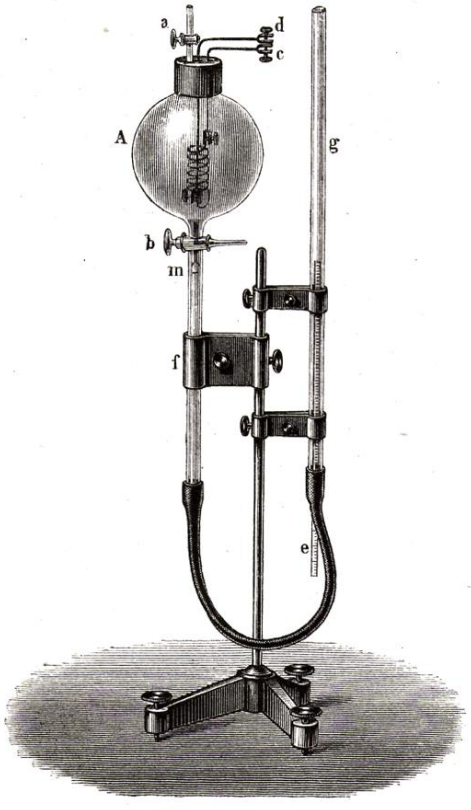


Da es mir zweifelhaft erschien, ob die im Rohre zwischen dem Behälter *A* und dem Queckſilber bei *m* eingeschlossene Luft stets in derselben Weise an der Sauerstoffabgabe betheiligt wird, die Verwendung der Queckſilberluftpumpe aber lästig ist, so habe ich mir den in Fig. 168 (a. f. S.) abgebildeten Apparat anfertigen lassen[2]). Durch den aufgeschraubten Deckel der Glaskugel *A* gehen die beiden zu einer Batterie führenden Kupferdrähte *c* und *d*, welche unten eine Spirale von feinem Kupferdraht tragen. Das von einem einfachen Gestell getragene Rohr *f* ist bis zur Marke *m*, das durch einen dickwandigen Gummischlauch damit verbundene Rohr *g* etwa halb mit Queckſilber gefüllt. Bei entsprechender Stellung des Dreiweghahnes *b*

[1]) Ann. Phys. 6, *538. — [2]) Dingl. 1879, 234, *50.

wird nun durch die Glaskugel *A* die von Kohlensäure und Wasser völlig befreite atmosphärische Luft gesaugt, auch der Raum zwischen Hahn *b* und Quecksilbersäule damit gefüllt. Dann wird der Hahn *a* geschlossen und durch den Hahn *b* der Raum *A* mit dem Rohr *f* verbunden, das Quecksilber in *f* bis zur Marke *m* eingestellt und der Stand in dem vor einem genauen Maßstabe *e* verschiebbaren Rohr *g* abgelesen. Nun wird der Strom 3 bis 4 Mal je 4 bis 5 Minuten geschlossen, so daß die rothglühende Kupferspirale den Sauerstoff aufnimmt. Um auch der zwischen dem Hahn *b* und dem Quecksilber eingeschlossenen geringen Luftmenge den Sauerstoff völlig zu entziehen, läßt man das Quecksilber einfach bis zum Hahn *b* aufsteigen. Hat der Apparat die während des Versuches unveränderte Temperatur des Versuchsraumes wieder angenommen, so stellt man durch Verschieben des Rohres *g* das Quecksilber in *f* wieder bis zur Marke *m* und berechnet aus der Druckabnahme in bekannter Weise (S. 189) die durch den verschwundenen Sauerstoff bedingte Volumabnahme. Die mit diesem Apparate erhaltenen Resultate stimmen befriedigend mit denen mittelst Pyrogallol und Wasserstoff (S. 195).

Fig. 168.



Mawson und Swan[1]) bestimmen den Sauerstoff der atmosphärischen Luft mit einem Apparat, welcher nur wenig von dem schon von Schlösing und Rolland (s. später) angewendeten abweicht; nur ist das Absorptionsgefäß mit Kupferdrahtnetz gefüllt, während als Absorptionsflüssigkeit ein Gemisch von 2 Thln. gesättigter Salmiaklösung und 1 Thl. Ammoniakflüssigkeit von 0,88 specif. Gewicht angewendet wird. Das Verfahren ist sehr ungenau.

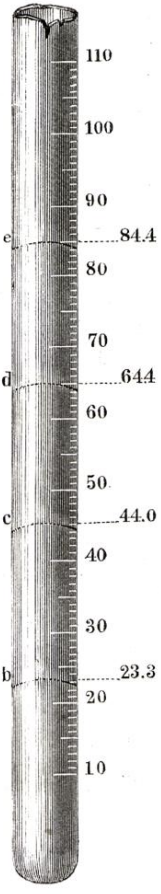
In jeder Beziehung musterhaft ist das Verfahren von R. Bunsen[2]), welcher

[1]) Chem. News **39**, *132. — [2]) R. Bunsen, Gasometrische Methoden (2. Aufl., Braunschweig 1877).

die mit Wasserstoff gemischte atmosphärische Luft in einem Eudiometer über Quecksilber durch einen elektrischen Funken zur Explosion bringt.

Die Eudiometer [1]) sind vor dem Gebrauch erst sämmtlich mit Quecksilber auszumessen. Dieses geschieht nach Bunsen in folgender Weise: Nachdem die Meßröhre mit dem verschlossenen Ende nach unten in lothrechter Richtung aufgestellt ist, gießt man in dieselbe ein 20 Theilstriche einnehmendes, in einem mit aufgeschliffener Glasplatte versehenen Glasröhrchen abgemessenes Quecksilbervolumen von stets gleicher Temperatur, entfernt die zwischen Glaswand und Quecksilber angesetzten Luftblasen mittelst eines dünnen Holzstabes und bestimmt den Stand des Quecksilbers an der Theilung, indem man die Ablesung, um die Parallaxe, sowie jede Erwärmung zu vermeiden, mittelst des Kathetometerfernrohres vollführt.

Fig. 169.



Es sei nun z. B.:

die erste Ablesung bei b 23,3 (Fig. 169),
„ zweite „ „ c 44,0,
„ dritte „ „ d 64,4,
„ vierte „ „ e 84,4,

so nimmt das zum Ausmessen benutzte Quecksilbervolumen

zwischen b und c den Raum 20,7,
„ c „ d „ „ 20,4,
„ d „ e „ „ 20,0

ein.

Nimmt man nun das Volumen der Maßflüssigkeit willkürlich zu 20,7 (dem größten Raume, welchen es in dem Instrumente einnimmt) an, so entspricht dem abgelesenen Theilstrich

23,3 das Volumen $1 \times 20{,}7 = 20{,}7$,
44,0 „ „ $2 \times 20{,}7 = 41{,}4$,
64,4 „ „ $3 \times 20{,}7 = 62{,}1$,
84,4 „ „ $4 \times 20{,}7 = 82{,}8$.

Wenn aber diese 20,7 Volumina zwischen e und d dem abgelesenen Volumen 20,0 entsprechen, so wird ein Theilstrich innerhalb dieses Scalenintervalles dem Hohlraum $\frac{20{,}7}{20} = 1{,}035$, und 0,1 Theilstrich dem Hohlraum 0,1035 entsprechen. Eben so findet man den einem oder einem Zehntel Theilstrich entsprechenden Hohlraum

für das Scalenintervall dc zu $\frac{20{,}7}{20{,}4} = 1{,}0147$ und 0,10147
„ „ „ bc „ $\frac{20{,}7}{20{,}7} = 1{,}0000$ und 0,10000

u. s. w.

Danach ergiebt sich folgende Correctionstabelle:

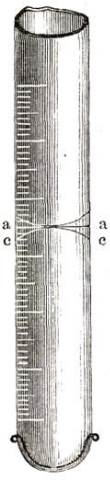
---

[1]) Die Herstellung derselben beschreibt Bunsen a. a. O., S. *27; in der Regel wird man vorziehen, dieselben von guten Glasbläsern z. B. aus Stützerbach zu beziehen.

I	II	I	II	I	II	I	II
23	20,4	31	28,4	40	37,40	48	45,46
24	21,4	32	29,4	41	38,40	49	46,47
25	22,4	33	30,4	42	39,40	50	47,49
26	23,4	34	31,4	43	40,40	51	48,50
27	24,5	35	32,4	44	41,40	52	49,52
28	15,4	36	33,4	45	42,41	53	50,53
29	26,4	37	34,4	46	43,43	54	51,55
30	27,4	38	35,4	47	44,44	55	52,56
							u. s. f.

Statt des direct abgelesenen Gasvolums (I) sind daher die den Ablesungen entsprechenden Hohlräume (unter II) in Rechnung zu setzen. Da nun aber bei dem Kalibriren des mit der Oeffnung nach oben stehenden Eudiometers die Ablesung des Quecksilberstandes, an dem höchsten Punkte des Meniscus, also bei *aa*, Fig. 170, stattfindet, so giebt diese Beobachtung keineswegs den dem Theilstrich *a* entsprechenden Hohlraum der Röhre *aab*, sondern nur das Volumen *ccb*, welches mithin um das Volumen *acca* kleiner ist als das abgelesene *aab*. Denkt man sich ferner das Instrument mit dem offenen Ende nach unten gekehrt, also nicht mehr in der Stellung, wie es kalibrirt wurde, sondern wie es beim Gebrauche steht, so wird ein genau wieder bei *a* abgelesenes Gasvolumen noch weniger dem beim Kalibriren gemessenen Quecksilbervolum *ccb* entsprechen. Zu dem direct gemessenen Gasvolumen muß daher der doppelte Raum *caac* hinzuaddirt werden. Zur Bestimmung desselben füllt man etwas Quecksilber in das Eudiometer und liest an der Oberfläche des Meniscus ab. Eine darauf über das Quecksilber gegossene Schicht verdünnter Sublimatlösung bewirkt nach einigen Augenblicken, daß das Quecksilber eine völlig horizontale Oberfläche annimmt. Der Raum, welcher zwischen der ersten Ablesung und der nun horizontal gewordenen Quecksilberoberfläche liegt, giebt, doppelt genommen, jene constante Größe, welche jeder Ablesung hinzuaddirt werden muß. Dieselbe beträgt bei Röhren von 15 mm Durchmesser nach Bunsen 1,06, bei 17 mm 0,88, bei 20 mm 0,52.

Fig. 170.



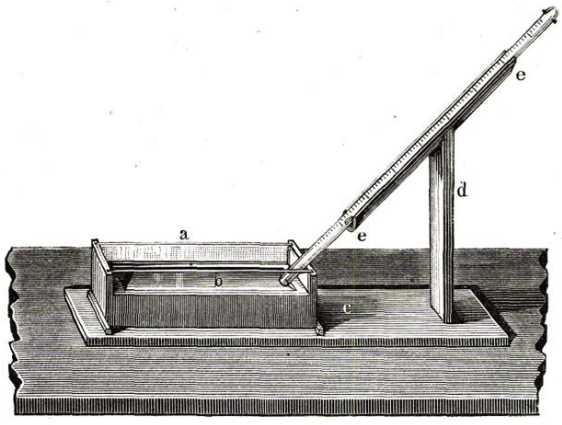
Die zu den Messungen verwendete 35 cm lange und 8 cm breite Quecksilberwanne (Fig. 171) besteht aus einem mit zwei Wänden von Spiegelglas *ab* versehenen Troge aus Birnbaumholz, den man vor dem Gebrauche inwendig mit Quecksilber und Sublimatauflösung zuerst feucht und dann trocken abreibt, um eine Adhäsion des Quecksilbers an den Holzwänden herbeizuführen. Die Wanne steht auf einem Brette *c*, das vermittelst des Pfeilers *d* oder besser vermittelst zweier Pfeiler die mit Filz ausgelegte, zum Ablegen des Eudiometers bestimmte hölzerne Rinne *ee* trägt.

Man füllt nun das sorgfältig gereinigte, schräg gelegte Eudiometer mit Hülfe eines langen Trichterrohres mit Quecksilber, nachdem man vorher in die Wölbung des Apparates einen kleinen Wassertropfen gebracht hat[1]). Nun läßt man die

[1]) Nach Plüger ist es vorzuziehen, den Wassertropfen in dem bereits mit Queck-

zu untersuchende von Kohlensäure befreite Luft[1]) in dem mit der Oeffnung in das Quecksilber tauchenden Rohre aufsteigen (Fig. 171), stellt dasselbe senkrecht und liest mittelst Fernrohr den Stand des inneren und äußeren Quecksilbers ab.

Fig. 171.



Da die Wandungen des Meßrohres feucht sind, so werden die Gase mit Feuchtigkeit gesättigt gemessen. Bezeichnet man nun den abgelesenen Barometerstand mit B, die Höhe der Quecksilbersäule im Eudiometer mit b, die Temperatur der Luft mit t, die dieser entsprechende Tension des Wasserdampfes mit e (siehe S. 183), das der Ablesung entsprechende und vorher durch Ausmessen mit Quecksilber unter Berücksichtigung des Meniscus bestimmte Volumen des Gases mit v, so berechnet sich das Volumen des Gases trocken bei 0° und 1000 mm Barometer bekanntlich zu:

$$V = \frac{v\,(B - b - e)}{1000\,[1 + (0{,}00366\,t)]}.$$

Wenn z. B. der Barometerstand 746,2 mm, die Temperatur 18,6°, der Stand des Quecksilbers in der Wanne 533,5 und im Eudiometer 277,8, so ist $b = 255{,}7$, die Tension $e = 15{,}9$ und v nach der für den Apparat berechneten Correctionstabelle 289,2, folglich $V = 128{,}51$.

Die Berechnung ist bequem mit fünfstelligen Logarithmen auszuführen; sie wird durch die Tabellen (S. 190) noch erleichtert. Zur Reduction der Quecksilbersäule auf 0° giebt Bunsen eine große Tabelle, von welcher hier nur ein Auszug folgt (S. 192). Danach sind z. B. bei 20° und 760 mm 2,6 mm abzuziehen.

---

silber gefüllten Eudiometer aufsteigen zu lassen. Zu diesem Zweck füllt er ein J gekrümmtes capillares Glasrohr, an dessen nicht umgebogenem Ende ein etwa fußlanger Gummischlauch mit Quetschhahn sich befindet, ganz mit destillirtem Wasser, führt das gebogene Ende, das natürlich keine Luftblase enthalten darf, unter das Eudiometer und drückt mit dem Daumen auf den Gummischlauch, bis der Tropfen über dem Quecksilber im Eudiometer erscheint (Archiv f. Physiolog. 18, 117).

[1]) Es ist für genaue Analysen nothwendig, mittelst eines Stückchen Kalis die Kohlensäure zu entfernen; denn beträgt der Kohlensäuregehalt auch nur 0,05 Volumprocent, so würde diese Menge doch schon einen meßbaren Fehler in der Sauerstoffbestimmung zur Folge haben, da Kohlensäure, mit einem großen Ueberschuß von Wasserstoff bei Gegenwart von Knallgas verbrannt, sich in ein gleiches Volumen Kohlenoxyd verwandelt, wobei ein gleiches Volumen Wasserstoff verschwindet, so daß das verbrannte Gasvolumen um 0,05 Proc. zu groß ausfallen würde.

Tabelle A.

Tension des Wasserdampfes nach Regnault.

t	e	t	e	t	e	t	e	t	e
8,0	8,02	13,0	11,16	18,0	15,36	23,0	20,89	28,0	28,10
1	8,07	1	11,24	1	15,45	1	21,02	1	28,27
2	8,13	2	11,31	2	15,55	2	21,14	2	28,43
3	8,18	3	11,38	3	15,65	3	21,27	3	28,60
4	8,24	4	11,46	4	15,75	4	21,40	4	28,77
5	8,29	5	11,53	5	15,85	5	21,53	5	28,93
6	8,35	6	11,61	6	15,95	6	21,66	6	29,10
7	8,40	7	11,68	7	16,05	7	21,79	7	29,27
8	8,46	8	11,76	8	16,15	8	21,92	8	29,44
9	8,52	9	11,83	9	16,25	9	22,05	9	29,61
9,0	8,57	14,0	11,91	19,0	16,35	24,0	22,18	29,0	29,78
1	8,63	1	11,99	1	16,45	1	22,32	1	29,96
2	8,69	2	12,06	2	16,55	2	22,45	2	30,13
3	8,75	3	12,14	3	16,66	3	22,59	3	30,31
4	8,81	4	12,22	4	16,76	4	22,72	4	30,48
5	8,87	5	12,30	5	16,86	5	22,86	5	30,65
6	8,93	6	12,38	6	16,97	6	23,00	6	30,83
7	8,99	7	12,46	7	17,07	7	23,14	7	31,01
8	9,05	8	12,54	8	17,18	8	23,27	8	31,19
9	9,11	9	12,62	9	17,29	9	23,41	9	31,37
10,0	9,17	15,0	12,70	20,0	17,39	25,0	23,55	30,0	31,55
1	9,23	1	12,78	1	17,50	1	23,69	1	31,73
2	9,29	2	12,86	2	17,61	2	23,83	2	31,91
3	9,35	3	12,95	3	17,72	3	23,98	3	32,09
4	9,41	4	13,03	4	17,83	4	24,12	4	32,28
5	9,47	5	13,11	5	17,94	5	24,26	5	32,46
6	9,54	6	13,20	6	18,05	6	24,41	6	32,65
7	9,61	7	13,28	7	18,16	7	24,55	7	32,84
8	9,67	8	13,37	8	18,27	8	24,70	8	33,03
9	9,73	9	13,45	9	18,38	9	24,84	9	33,22
11,0	9,79	16,0	13,54	21,0	18,50	26,0	24,99	31,0	33,41
1	9,86	1	13,62	1	18,61	1	25,14	1	33,60
2	9,92	2	13,71	2	18,72	2	25,29	2	33,79
3	9,99	3	13,80	3	18,84	3	25,44	3	33,98
4	10,05	4	13,89	4	18,95	4	25,59	4	34,17
5	10,12	5	13,97	5	19,07	5	25,74	5	34,37
6	10,19	6	14,06	6	19,19	6	25,89	6	34,56
7	10,26	7	14,15	7	19,31	7	26,05	7	34,76
8	11,32	8	14,24	8	19,42	8	26,20	8	34,96
9	10,39	9	14,33	9	19,54	9	26,35	9	35,16
12,0	10,46	17,0	14,42	22,0	19,66	27,0	26,51	32,0	35,36
1	10,53	1	14,51	1	19,78	1	26,66	1	35,56
2	10,60	2	14,61	2	19,90	2	26,82	2	35,76
3	10,67	3	14,70	3	20,02	3	26,98	3	35,96
4	10,73	4	14,79	4	20,14	4	27,14	4	36,17
5	10,80	5	14,88	5	20,27	5	27,29	5	36,37
6	10,88	6	14,98	6	20,39	6	27,46	6	36,58
7	10,95	7	15,07	7	20,51	7	27,62	7	36,78
8	11,02	8	15,17	8	20,64	8	27,78	8	36,99
9	11,09	9	15,26	9	20,76	9	27,94	9	37,20

Tabelle B.

Log 1 + 0,00366 . *t*.

t	*log*	*t*	*log*	*t*	*log*	*t*	*log*
10,0	0,01561	15,0	0,02321	20,0	0,03068	25,0	0,03802
1	01577	1	02336	1	03083	1	03817
2	01592	2	02351	2	03098	2	03831
3	01607	3	02366	3	03113	3	03846
4	01623	4	02381	4	03128	4	03860
5	01639	5	02396	5	03142	5	03875
6	01653	6	02411	6	03157	6	03889
7	01669	7	02426	7	03172	7	03904
8	01683	8	02441	8	03187	8	03918
9	01698	9	02456	9	03201	9	03933
11,0	0,01714	16,0	0,02471	21,0	0,03216	26,0	0,03948
1	01729	1	02486	1	03231	1	03963
2	01744	2	02501	2	03246	2	03977
3	01759	3	02516	3	03261	3	03992
4	01775	4	02531	4	03275	4	04006
5	01790	5	02546	5	03290	5	04021
6	01805	6	02561	6	03305	6	04035
7	01820	7	02576	7	03320	7	04050
8	01836	8	02591	8	03334	8	04064
9	01851	9	02606	9	03349	9	04079
12,0	0,01867	17,0	0,02621	22,0	0,03363	27,0	0,04093
1	01882	1	02636	1	03378	1	04107
2	01897	2	02651	2	03393	2	04122
3	01912	3	02666	3	03408	3	04136
4	01928	4	02681	4	03422	4	04150
5	01943	5	02696	5	03437	5	04165
6	01958	6	02711	6	03452	6	04179
7	01973	7	02726	7	03466	7	04193
8	01989	8	02741	8	03481	8	04208
9	02004	9	02756	9	03496	9	04222
13,0	0,02019	18,0	0,02771	23,0	0,03510	28,0	0,04237
1	02034	1	02786	1	03525	1	04251
2	02049	2	02801	2	03539	2	04266
3	02064	3	02816	3	03554	3	04280
4	02079	4	02831	4	03568	4	04295
5	02095	5	02846	5	03583	5	04309
6	02110	6	02861	6	03598	6	04323
7	02125	7	02876	7	03612	7	04338
8	02140	8	02891	8	03627	8	04352
9	02155	9	02906	9	03642	9	04367
14,0	0,02170	19,0	0,02921	24,0	0,03656	29,0	0,04381
1	02185	1	02936	1	03671	1	04395
2	02200	2	02951	2	03685	2	04410
3	02215	3	02965	3	03700	3	04424
4	02230	4	02980	4	03714	4	04438
5	02246	5	02995	5	03729	5	04453
6	02261	6	03009	6	03744	6	04467
7	02276	7	03024	7	03758	7	04482
8	02291	8	03039	8	03772	8	04496
9	02306	9	03053	9	03787	9	04510

Tabelle C.

$B-b$	Correct	$B-b$	Correct	$B-b$	Correct	$B-b$	Correct
200	0,0342	400	0,0684	600	0,1027	800	0,1369
10	0,0359	10	0,0702	10	0,1044	10	0,1386
20	0,0376	20	0,0719	20	0,1061	20	0,1403
30	0,0393	30	0,0736	30	0,1078	30	0,1420
40	0,0411	40	0,0753	40	0,1095	40	0,1437
50	0,0428	50	0,0770	50	0,1112	50	0,1454
60	0,0445	60	0,0787	60	0,1129	60	0,1471
70	0,0462	70	0,0804	70	0,1146	70	0,1489
80	0,0479	80	0,0821	80	0,1163	80	0,1506
90	0,0496	90	0,0838	90	0,1181	90	0,1523
300	0,0513	500	0,0856	700	0,1198	900	0,1540
10	0,0530	10	0,0873	10	0,1215	10	0,1557
20	0,0548	20	0,0890	20	0,1232	20	0,1574
30	0,0565	30	0,0907	30	0,1249	30	0,1591
40	0,0582	40	0,0924	40	0,1266	40	0,1608
50	0,0599	50	0,0941	50	0,1283	50	0,1625
60	0,0616	60	0,0958	60	0,1300	60	0,1643
70	0,0633	70	0,0975	70	0,1317	70	0,1660
80	0,0650	80	0,0992	80	0,1335	80	0,1677
90	0,0667	90	0,1009	90	0,1352	90	0,1694
						1000	0,1711

Ist so die Luft gemessen, so läßt man eine hinreichende Menge in einer kleinen Flasche aus Zink und verdünnter Schwefelsäure entwickelten und über ein Stück Kali geleiteten Wasserstoffes im Eudiometer aufsteigen und liest wieder ab. Nun läßt man zwischen den Platindrähten [1]) einen Inductionsfunken [2]) überspringen (weniger bequem ist Reibungselektricität) und mißt nach Ausgleich der Temperatur das verschwundene Gasvolum. Zu dem während der Explosion

[1]) Nach Riban sollen die Funkendrähte nicht an gegenüberliegenden Stellen der Kuppe das Glas durchsetzen und in das Innere hineinragen, sondern dicht neben einander durch die Glaswandung geführt werden und mit der inneren Glasoberfläche abschneiden [Bull. soc. chim. (1881), **35**, 482].

[2]) Als Elektricitätserreger empfiehlt sich das Bunsen'sche Tauchereelement, dessen Füllung aus 1 Thl. Kaliumdichromat, 2 Thln. Schwefelsäure und 12 Thln. Wasser besteht (Dingl. 1876, **220**, *43).

erforderlichen Verschluß des Eudiometers dient eine mit dickem vulcanisirten Kautschuk überzogene Korkplatte (Fig. 172), die so gestaltet ist, daß sie fest auf der Bodenwölbung der Quecksilberwanne aufliegt. Gegen diese Platte wird das Eudiometer mit seinem offenen, unter Quecksilber befindlichen Ende gepreßt und mittelst eines Halterarmes, in welchem sich eine mit Kork ausgefütterte Vertiefung befindet, festgeklemmt.

Fig. 172.

Bunsen fand so z. B.

	Vol.	Druck	Temp.	Vol. bei 0° und 1 m Druck
Angewandtes Luftvolum . . .	851,2	0,5468	6	455,41
Nach Zulassung von H	1010,1	0,6979	6	689,77
Nach der Explosion	816,9	0,5051	6	403,73

Da $^1/_3$ des verschwundenen Volums Sauerstoff war[1]), so enthielt diese Luft 20,889 Proc. Sauerstoff. In 27 Analysen fand Bunsen im Januar und Februar 1846 in Marburg von 20,97 bis 20,84 Proc. Sauerstoff.

Nach Bunsen ist die Bestimmung des Sauerstoffes durch Absorption mit einer Phosphorkugel nicht empfehlenswerth. Er wendet daher, nach Liebig's[2]) Vorschlage, eine alkalische concentrirte Lösung von pyrogallussaurem Kali an, welche am besten vermittelst einer mit diesem Salze getränkten festen Papiermachékugel mit dem Gase in Berührung gebracht wird. Die Absorption geht zwar etwas schwierig, aber doch vollständig von Statten, besonders wenn man die Kugel einmal erneuert. Der zurückbleibende Stickstoff muß mit einer möglichst wenig wasserhaltigen Aetzkalikugel getrocknet werden. Sind noch andere, durch Kalihydrat absorbirbare Gase vorhanden, so muß man dieselben vor der Anwendung des pyrogallussauren Kalis bestimmen. Bunsen fand so:

	Vol.	Druck	Temp.	Vol. bei 0° und 1 m Druck
Angewandte Luft	368,9	0,5759	3,1	210,08
Nach Absorption des O	313,8	0,5358	3,1	166,25

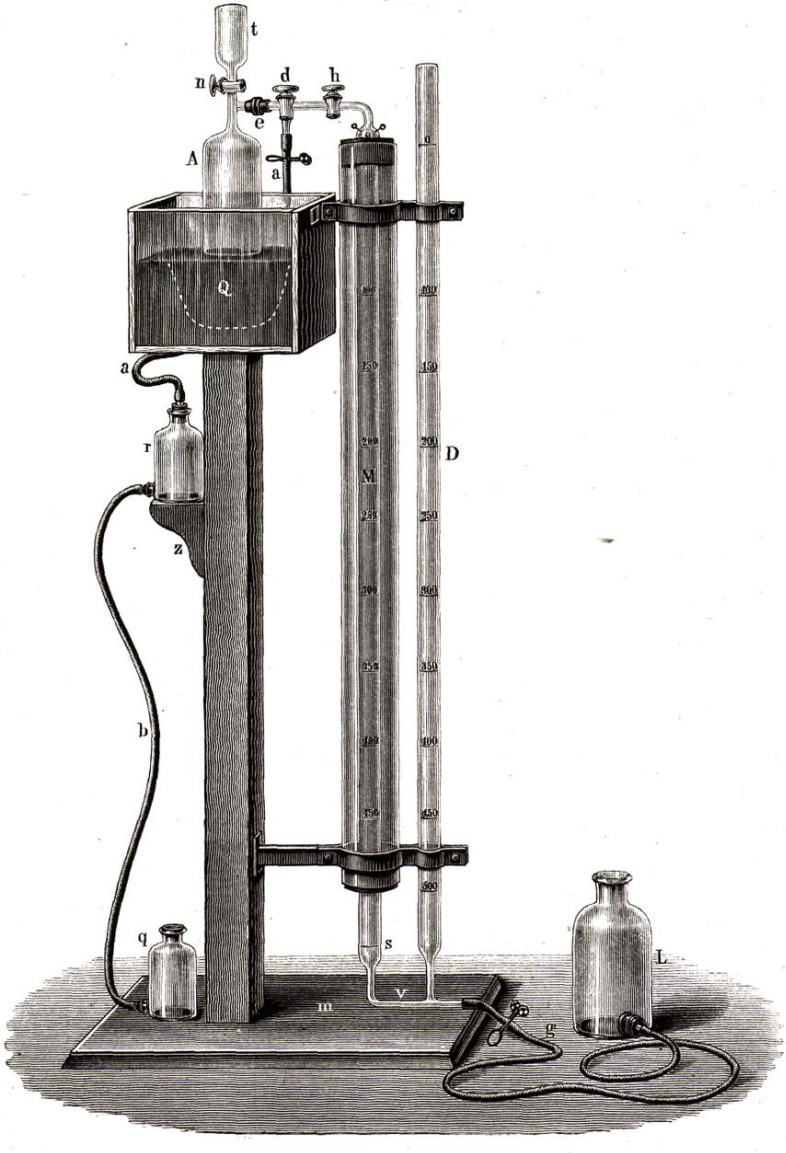
	Gefunden	Wirkliche Zusammensetzung
Stickstoff . . .	79,14	79,04
Sauerstoff . . .	20,86	20,96
	100,00	100,00

Nach den Versuchen von Bouffingault, Calvert und Cloëz[3]) entwickelt sich bei der Absorption von Sauerstoff durch pyrogallussaures Kali stets Kohlenoxyd und zwar um so mehr, je stärker die entsprechende Lösung und je mehr Sauerstoff vorhanden ist. Dieser Fehler betrug also bei dem Bunsen'schen Versuche trotz der concentrirten Lösung nur 0,1 Proc. Er wird verschwindend klein bei Ver-

[1]) Nach Bunsen hat man noch das Volumen des bei der Verbrennung gebildeten Wassers von dem bei der Verbrennung verschwundenen Gasvolumen abzuziehen. Zu dieser Correction genügt es, das verschwundene, auf 1 m Druck und 0° reducirte Gasvolumen mit 0,0007 zu multipliciren und das so erhaltene Product von der beobachteten Volumenverminderung abzuziehen. — [2]) Dingl. 1851, **119**, 196. — [3]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1864, 348.

wendung verdünnter Lösung, wie man sie bei dem später noch näher beschriebenen Apparate (Fig. 173) anwenden kann.

Fig. 173.



Nachdem man durch entsprechendes Heben und Senken der Flasche *L* das Druckrohr *D*, Meßrohr *M* und Arbeitsrohr *A* mit Quecksilber gefüllt hat, läßt

man in letzteres die zu untersuchende Luft aufsteigen, vom Trichter t aus etwas Kalilauge eintreten, saugt die so von Kohlensäure befreite Luft durch Senken der Flasche L in das Meßrohr M und schließt den Hahn h. Ist der Quecksilberstand in beiden Röhren M und D abgelesen, so läßt man durch Heben der Flasche L und Oeffnen des Quetschhahnes auf dem Schlauche g das Quecksilber im Rohre D aufsteigen, um dann nochmals beide Quecksilbersäulen abzulesen und so die in M eingeschlossene Luft unter dem Druck von zwei verschiedenen Quecksilbersäulen messen zu können. Ist im Arbeitsrohr A noch Luft zurückgeblieben, welche nicht im Rohre M Platz fand, so bringt man durch den Dreiweghahn d A mit der Quecksilberflasche r in Verbindung, öffnet den Quetschhahn auf dem Schlauche a, setzt die Flasche r auf die kleine Console z, so daß das Quecksilber durch Schlauch b nach q abfließt und in Folge des dadurch in r gebildeten Vacuums das Quecksilber der Wanne Q in A aufsteigt. Ist so die Luft nach r übergesaugt, Hahnrohr und Schlauch a mit Quecksilber gefüllt, so schließt man den Quetschhahn wieder. Nun bringt man in den Trichter t 0,8 bis 1 ccm Kalilauge und ebensoviel Pyrogallussäurelösung (1 : 10), welche erforderlichenfalls vorher durch Erwärmen möglichst luftfrei gemacht sind, und läßt die Flüssigkeit durch vorsichtiges Oeffnen des Hahnes n nach A übertreten, so daß aber noch einige Tropfen in t zurückbleiben, um den Eintritt von Luft zu verhindern. Man öffnet die Hähne h und d, treibt die Luft durch Heben der Flasche L von M nach A, saugt nach einigen Minuten nach M zurück, nochmals nach A, nach beendeter Absorption wieder nach M und schließt den Hahn h, sobald die Absorptionsflüssigkeit d erreicht. Nun wird wie vorhin doppelt abgelesen und, um sich von der völligen Absorption zu überzeugen, das Gas noch einmal nach A gebracht und wieder gemessen. Ist so die Analyse beendet, so saugt man mittelst der Flaschen r und q durch Schlauch a und Hahn d in vorhin erwähnter Weise zunächst die Absorptionsflüssigkeit aus A, läßt durch den Trichter t etwas Wasser eintreten, saugt dieses durch a ab und so fort, bis Rohr A völlig gereinigt ist. Erforderlichenfalls läßt man dann auch etwas Wasser nach M übertreten und treibt dieses durch Heben der Flasche L bei entsprechender Stellung des Hahnes d nach r, worauf man sofort zur nächsten Analyse schreiten kann. Rohr M ist daher immer hinreichend feucht.

Bei einer so im Juli 1880 ausgeführten Luftanalyse ergab die Ablesung des Barometers 756,6 mm bei 20,8°, so daß bei 2,7 mm Correction (S. 192) $B = 753{,}9$ mm. Der Ablesung im Meßrohr $M = 546{,}0$ entspricht $v = 553{,}5$. Der Quecksilberstand im Druckrohr D war ebenfalls 546,0, folglich $b = 0$, und da bei 20,8° $e = 18{,}3$ mm, so ist $(B—b—e) = 735{,}6$ mm und $V = 378{,}34$, da:

$$\begin{aligned}
&log\ 553{,}5 \ldots\ldots\ldots\ldots 2{,}74312\\
&log\ 735{,}6 \ldots\ldots\ldots\ldots 2{,}86664\\
&log\ 1000 \cdot (1 + 0{,}00366 \cdot 20{,}8) = 3{,}03187\\
&\text{folglich } log\ V \ldots\ldots\ldots 2{,}57789\\
&\text{und } V \ldots\ldots\ldots\ldots 378{,}34
\end{aligned}$$

Zusammengestellt mit der zweiten Ablesung:

M	v	D	$(B—b—e)$	V
546,0	553,5	546,0	735,6	378,34
370,0	378,8	29,1	1075,3	378,41
			Mittel .	378,38

Nach vollendeter Absorption war V im Mittel = 299,87, so daß der Sauerstoffgehalt der Luft 20,75 Proc. betrug. Eine in dem gleichen Apparat durch Explosion mit Wasserstoff ausgeführte Bestimmung ergab 20,69 Procent; mit dem Apparat Fig. 168 wurden 20,70 Procent und mit dem Apparat Fig. 178 (S. 207) 20,8 und 20,7 Proc. gefunden.

Während somit Jolly (S. 185) Schwankungen im Sauerstoffgehalt von 0,49 Proc., Bunsen (S. 193) von nur 0,13 Proc. fanden, Morley[1]) von 0,16 Proc., betrug nach A. R. Leeds[2]) der Sauerstoff der Atmosphäre in den Vereinigten Staaten vom Juli bis September 1876 20,82 bis 21,03 Procent. Lewy[3]) fand:

	Kohlensäure in 10 000 Thln.	Sauerstoff Proc.
Paris, September 1847	5,14	21,014
Havre, November 1847	3,60	20,895
Auf dem Meer bei den Antillen, December 1847	3,39— 5,50	20,96—21,06
Neugranada 1848	3,15—24,48	20,33—21,05
Bogata	49,04	21,03

Macagno (S. 205) fand in Palermo bis 20,984 Proc. Sauerstoff, viel weniger aber, wenn der Sirocco aus Afrika bläst, wie folgende Analysen zeigen:

Im Jahre 1879	Sauerstoff Proc.
März 20	19,994
„ 21	20,008
„ 22	20,064
April 15	19,998
Mai 29	20,021
„ 30	20,032
„ 31	20,017

Weitere Versuche müssen die näheren Ursachen und Folgen dieser Schwankungen feststellen[4]).

Ozon. Die Nachweisung dieser eigenthümlichen Modification des Sauerstoffes ist noch sehr zweifelhafter Natur. Hebt doch neuerdings E. Schöne[5]) hervor, daß die Gegenwart von Ozon in der atmosphärischen Luft überhaupt noch nicht bewiesen sei, sondern nur die des Wasserstoffsuperoxydes. Das am häufigsten angewendete Jodkaliumpapier ist zur Nachweisung von Ozon völlig unbrauchbar, da seine Färbung lediglich von der atmosphärischen Feuchtigkeit abhängt. Unabhängig davon ist das Thalliumpapier, zu dessen Darstellung in eine kochende Lösung von Baryumhydrat eine äquivalente Menge Thalliumsulfatlösung eingetragen wird. Die erhaltene Lösung von Thalliumoxydulhydrat wird im Vacuum so weit abgedampft, daß 100 ccm 10 g Hydrat enthalten; dann wird Filtrirpapier damit getränkt und dieses getrocknet der zu untersuchenden Luft ausgesetzt. Die Stärke der Färbung dieser Papiere durch Bildung von braunem Oxyd ist nach den Untersuchungen von Schöne bis jetzt dem Gehalte der Luft an Wasserstoff-

[1]) Chem. News **40**, 185; Americ. chem. journ. 1880, **2**, 276. — [2]) Chem. News **38**, 224, 257. — [3]) Ann. chim. phys. 1852, **34**, 5. — [4]) Vergl. Poggend. Ann. **135**, 135; Zeitschr. f. Met. 1875, 32. — [5]) Ber. deutsch. chem. Ges. 1880, 1503.

ſuperoxyd entſprechend geweſen. Noch ungewiſſer iſt die quantitative Beſtimmung des angeblichen Ozons mittelſt einer Löſung von arſenigſaurem Kalium und Beſtimmung der gebildeten Arſenſäure durch Titriren mit Jodkalium [1]). Bevor daher kein zuverläſſigeres Reagens für Ozon gefunden iſt, als die bisher gebräuchlichen, welche auch von Salpetrigſäure, Schwefelwaſſerſtoff, Schwefligſäure und anderen Beſtandtheilen der Atmoſphäre beeinflußt werden, erſcheint die Unterſuchung der Luft auf Ozon völlig zwecklos.

Kohlenſäure. Das Vorhandenſein von Kohlenſäure in der atmoſphäriſchen Luft erkannte ſchon van Helmont im Anfang des 17. Jahrhunderts. Humboldt, Gilbert u. A. [2]) verſuchten zuerſt dieſelbe quantitativ zu beſtimmen. Dalton verſuchte den Kohlenſäuregehalt dadurch zu beſtimmen, daß er durch Kalkwaſſer von beſtimmtem Gehalte ſo lange Luft hindurch leitete bis dieſes geſättigt war. In ähnlicher Weiſe ſaugen G. Lunge [3]) und Wiel [4]) die zu unterſuchende Luft durch Barytwaſſer bis dieſes deutlich getrübt wird. Genaue Reſultate vermochte Verfaſſer mit dieſem „mimimetriſchen“ Verfahren nicht zu erreichen [5]).

Brunner [6]), Pettenkofer [7]), Schlagintweit [8]) u. A. ſaugten die Luft durch Kalilauge und beſtimmten die Kohlenſäure durch die Gewichtszunahme. J. Fodor [9]) zeigt, daß dieſes Verfahren, wegen der Feuchtigkeit der Luft, unbrauchbar iſt.

Lewy (S. 196) beſtimmte die Kohlenſäure im Eudiometer; das Verfahren kann nicht genau ſein. Cl. Winkler [10]) verwendet zu gleichem Zweck ein cylindriſches, etwa 5 Liter faſſendes Glasgefäß, welches an beiden Enden in Rohranſätzen ausläuft und mit lackirtem Blechmantel *a* (Fig. 174, a. f. S.) umgeben iſt. Den Zwiſchenraum füllt man durch Hahn *h* mit Waſſer. Auf den oberen Rohrſtutzen des Glasgefäßes iſt ein cylindriſcher Trichter *b* aufgeſetzt; die Verbindung vermittelt ein ſtarker durch den Quetſchhahn *c* abſchließbarer Kautſchukſchlauch. Der untere Rohranſatz iſt mit einer Marke *m* verſehen und bis zu dieſer iſt der Inhalt des Glasgefäßes ein- für allemal genau ausgemeſſen, ſein Betrag aber dicht über der Marke verzeichnet. Auch dieſer Rohranſatz endet in einen Kautſchukſchlauch mit Quetſchhahn *e*. Das Gefäß *a* ruht in den Lagern eines eiſernen Stativs und kann durch eine Kurbel mit Zahngetriebe gedreht, mittelſt des Stiftes *s* aber feſtgelegt werden.

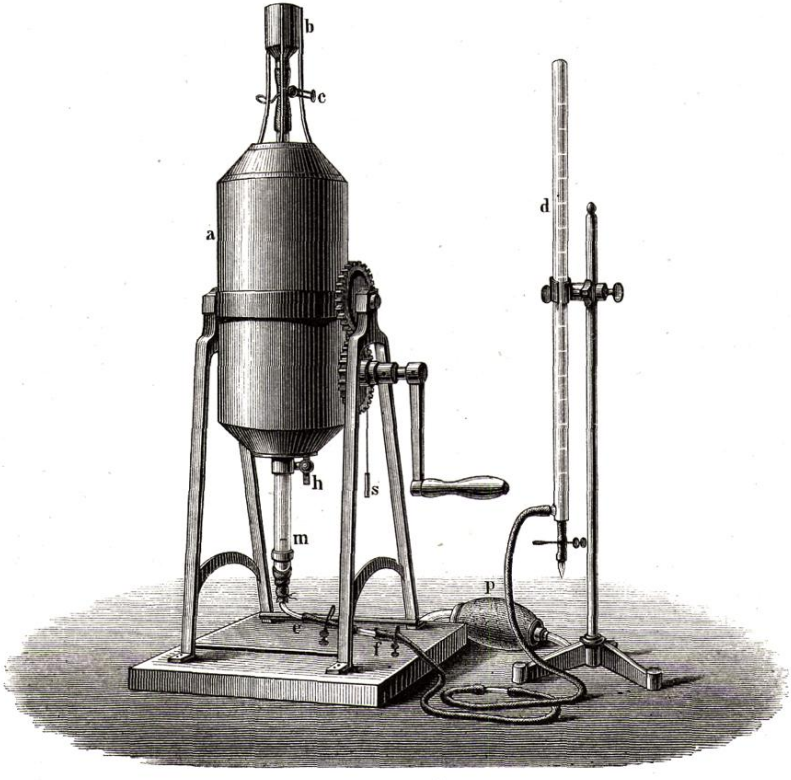
Soll nun mit Hülfe dieſes Apparates eine Luftunterſuchung vorgenommen werden, ſo ſetzt man die Kautſchukpumpe *p* beim Quetſchhahn *e* an, öffnet denſelben und ebenſo den oberen Quetſchhahn *c* und pumpt ſo lange von der zu unterſuchenden Luft ein, bis man ſicher iſt, daß das Gefäß ſich völlig damit gefüllt hat. Dann ſchließt man beide Quetſchhähne wieder, ſetzt die Bürette *d* an und

---

[1]) Ann. de l'Observ. d. Montsouris 1879, 416. — [2]) Ann. chim. phys. 1830, **44**, 1. — [3]) Dingl. 1879, **231**, *331, 384. — [4]) Vierteljahrſchr. f. öffentl. Geſundh. 1879, *235. — [5]) Vgl. Vögler, Luftverderbniß (Schaffhauſen 1878), 11. — [6]) Poggend. Ann. **24**, 569. — [7]) Dingl. 1851, **119**, 40, 282; **120**, 418. — [8]) Quarterly journ. of the chem. soc. 1861, 22. — [9]) Fodor, Luft, Boden und Waſſer (Braunſchweig 1881), 20. — [10]) Winkler, Unterſuchung der Induſtriegaſe, 385.

läßt aus dieſer ſo viel Waſſer zufließen, daß daſſelbe gerade bis zur Marke *m* ſteigt. Man wendet ſodann das Gefäß *a* mittelſt der Kurbel mehrmals hin und her, damit ſeine Innenwand ſich befeuchte, die Luft ſich mit Waſſerdampf ſättige und Temperaturausgleichung ſtattfinde; dann ſtellt man wieder ſenkrecht und läßt das Waſſer zuſammenfließen, bis es die Marke *m* eben wieder erreicht hat. Durch momentanes Oeffnen des Quetſchhahnes *c* muß nun noch der vorhandene Ueber-

Fig. 174.



druck beſeitigt werden, worauf ſich ein genau gemeſſenes, mit Feuchtigkeit geſättigtes Luftvolumen im Apparat befindet. Durch vorſichtiges Abſaugen entfernt man zunächſt die geringe unter der Marke befindliche Waſſermenge, gießt dann in den Trichter *b* etwas concentrirte Kalilauge, läßt dieſelbe durch Oeffnen des Quetſchhahnes *c* einfließen und ſpült in gleicher Weiſe mehrmals mit geringen Mengen Waſſer nach, immer den Quetſchhahn rechtzeitig wieder ſchließend. Dann dreht man den Apparat mehrmals um ſeine Achſe, läßt ihn wohl auch zeitweilig horizontal ſtehen und kann nach etwa einer Minute vollkommener Abſorption ſicher ſein. Man giebt aufs Neue Verticalſtellung und beginnt das Auswaſchen,

indem man den Trichter *b* mit Wasser füllt, sodann den unteren Quetschhahn *e* öffnet, die Kalilauge durch einen angesteckten Schlauch abfließen und hierauf in fortgesetztem Wechsel durch *c* Wasser ein- und durch *e* wieder austreten läßt. Der Apparat bleibt fünf Minuten senkrecht stehen, damit das Wasser zusammenfließt, welches man dann soweit durch *e* abfließen läßt, daß sein Spiegel eben mit der Marke *m* zusammenfällt. Dann setzt man in den Hals des Trichters *b* ein mit Wasser gefülltes kleines Manometer, verbindet den mit Wasser gefüllten Bürettenschlauch *f* mit *e*, stellt das Wasser in der Bürette auf die Nullmarke ein und öffnet Quetschhahn *c*. Man läßt jetzt aus der Bürette so lange Wasser in das Gefäß eintreten, bis der Druckunterschied ausgeglichen ist, worauf das Volum des eingetretenen Wassers dem der absorbirten Kohlensäure entspricht. Die mit diesem Apparate erhaltenen Angaben sollen nach Winkler genau sein.

A. Müntz und E. Aubin[1]) verwenden eine an beiden Enden ausgezogene Glasröhre mit Bimssteinstücken, welche mit Kalilauge getränkt sind; dann werden die beiden Enden zugeschmolzen. An den Orten, wo man die Luft untersuchen will, werden die Röhren geöffnet, einige 100 Liter Luft hindurchgeleitet und dann wieder verschlossen; sie können so beliebig lange aufbewahrt bleiben, um schließlich im Laboratorium untersucht zu werden. Zu diesem Zwecke wird die Röhre an dem einen Ende mit der Luftpumpe verbunden, und nachdem das Vacuum in derselben hergestellt ist, läßt man durch das andere Ende verdünnte Schwefelsäure in die Röhre treten, welche die Kohlensäure verdrängt, die unter einer Glocke gesammelt und gemessen werden kann. In ähnlicher Weise saugt Lévy[2]) im Observatorium von Montsouris 3,5 cbm Luft durch Kalilauge, neutralisirt diese dann mit Salzsäure und mißt die entwickelte Kohlensäure. — Mit diesem Verfahren wird man nur schwer genaue Resultate erzielen können.

Nach Kapusstin[3]) kann man den Kohlensäuregehalt der Luft dadurch bestimmen, daß man Natriumhydrat in 90procentigem Alkohol löst, die Lösung mit Luft schüttelt und hernach so viel Wasser hinzusetzt, als zur Auflösung des Carbonates erforderlich erscheint. Nach seinen Untersuchungen ergiebt sich, daß, wenn man zur Auflösung des Carbonates *n* Cubikcentimeter Wasser (von gewöhnlicher Temperatur) verwendet hat, sich die Anzahl der Cubikcentimeter Kohlensäure (*x*) bei 760 mm und 0° aus der Gleichung berechnen läßt: $x = \frac{n - 6{,}5}{0{,}55}$.

Der Versuch wird in folgender Weise ausgeführt: Um den Kohlensäuregehalt der in einer Flasche von 5 Liter enthaltenen Luft zu bestimmen, giebt man in die Flasche 75 ccm weingeistige Natronlauge (1 Liter der Lösung enthält 0,5 g NaOH), schüttelt alsdann $^1/_2$ Stunde lang, gießt die Flüssigkeit aus, nimmt von derselben unter Umrühren 25 ccm, setzt zu derselben aus einer Bürette nach und nach Wasser bis zum Verschwinden der Trübung hinzu und multiplicirt das nach der Formel berechnete Resultat mit 3. — Das Verfahren verspricht sehr wenig brauchbare Resultate.

---

[1]) Compt. rend. **92**, 247, 1229. — [2]) Annuaire de l'Observatoire Montsouris 1879. — [3]) Berichte deutsch. chem. Ges. 1880, 2376.

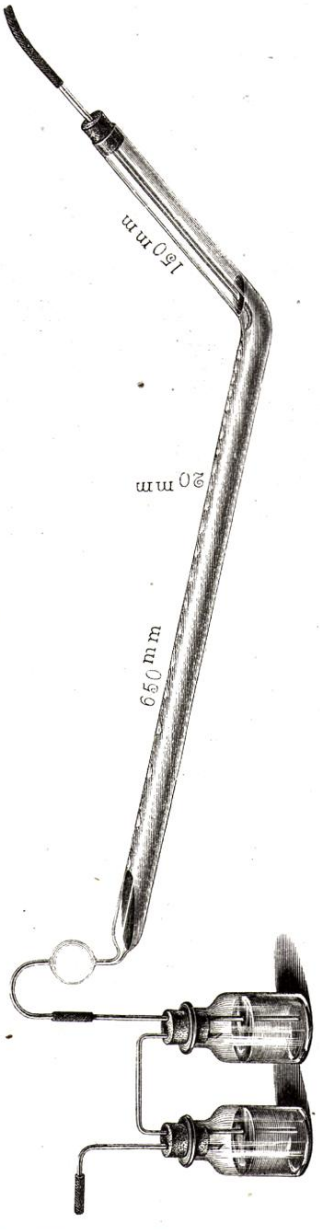


Fig. 175.

Im Allgemeinen sind die alkalischen Erden zu derartigen Bestimmungen geeigneter als die Alkalien. Th. Saussure[1]) füllte etwa 40 Liter fassende Flaschen mit der zu untersuchenden Luft, gab 100 ccm Barytwasser hinzu, schüttelte und ließ stehen. Das ausgeschiedene kohlensaure Baryum wurde in Salzsäure gelöst, mit Natriumsulfat gefällt und als schwefelsaures Baryum bestimmt.

Besser ist das Verfahren von Mohr[2]). Derselbe saugt etwa 20 bis 30 Liter Luft mittels eines Aspirators durch eine lange etwas geneigte (sog. Pettenkofer'sche) Glasröhre (Fig. 175) und zwei kleine Waschflaschen, welche sämmtlich eine Lösung von Aetzkali und Barythydrat enthalten. Die aus der nach oben gebogenen Spitze des Zuleitungsrohres strömende Luft steigt in kleinen Blasen, welche wie eine Perlenschnur regelmäßig hintereinander folgen, an dem wenig geneigten Schenkel in die Höhe und giebt ihre Kohlensäure meist so vollständig ab, daß die Barytlösung der ersten Waschflasche nur selten, die der zweiten wohl nie getrübt wird. Das gebildete kohlensaure Baryum wird abfiltrirt, rasch mit ausgekochtem Wasser abgewaschen, in Salzsäure gelöst, zum Trocken verdampft und nun mit $^1/_{10}$ Silberlösung und Kaliumchromat titrirt. 1 ccm Silberlösung entspricht 2,2 mg Kohlensäure. Das gleiche Verfahren wandte Gilm[3]) an.

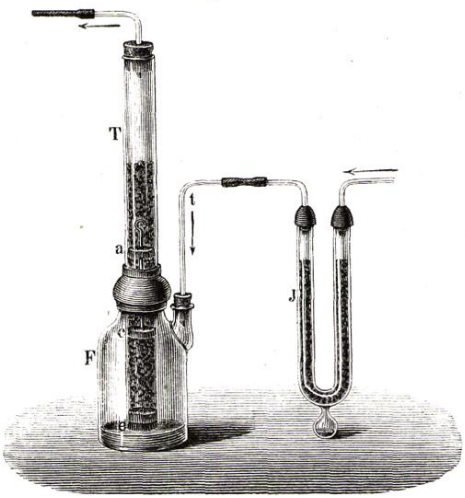
Von Pettenkofer u. A.[4]) wird vorgezogen, die Menge des gesättigten Baryts direct alkalimetrisch zu bestimmen (S. 203). Fodor[5]) füllt zu diesem Zweck in das Pettenkofer'sche Rohr 100 ccm Kalk- oder Barytwasser, welchem etwas Chlorcalcium oder Chlorbaryum zugesetzt ist. Zur Erkennung ob die Absorption eine vollständige ist, legt er hinter das schräge

[1]) Ann. chim. phys. (1830) **44**, 1; Poggend. Ann. **19**, 391. — [2]) Mohr: Titrirmethode 4. Aufl., 558. — [3]) Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1857, 257. — [4]) Ann.

Rohr an Stelle der Waschflaschen (Fig. 175) einen Liebig'schen Kaliapparat mit Barytwasser. Derselbe hat die auffallende Beobachtung gemacht, daß der Kohlensäuregehalt um so geringer ausfällt, je größer die durchgesaugte Luftmenge ist, vielleicht in Folge von Bicarbonatbildung. Ist dieses der Fall, so dürfte das Mohr'sche Verfahren, weil von diesem Fehler frei, vorzuziehen sein.

Nach Reiset[1]) tritt die angesaugte Luft zunächst in ein U-förmiges, mit durch concentrirte Schwefelsäure befeuchteten Bimssteinstücken gefülltes Rohr *J* (Fig. 176), um ihren Wassergehalt an diese abzugeben, während die gebildete verdünnte Säure sich in der unten angeschmolzenen Kugel sammelt. Die trockene Luft tritt nun durch das Rohr *t* in das Absorptionsgefäß *F*, in dessen Halse ein 0,5 m langer Glascylinder *T* mittels Gummikappe befestigt ist. In diesen Cylinder sind drei siebartig durchlöcherte Platinkapseln *a*, *c* und *e* von 4 cm Durchmesser eingeschoben. Man bringt in denselben 300 ccm Barytwasser und verbindet ihn mit einem zweiten Trockenrohr. In Folge der feinen Vertheilung der durchgesaugten Luft durch die Platinsiebe wird die Kohlensäure völlig von dem Barytwasser zurückgehalten. Sind etwa 600 Liter Luft hindurchgesaugt, so bestimmt man unter Berücksichtigung des verdunsteten und vom zweiten Rohre aufgenommenen Wassers durch Titration die Menge des ausgefällten Baryts.

Fig. 176.



Das gleiche Verfahren ist mit der einfachen Vorrichtung Fig. 179 (S. 216), 100 ccm Kalk- oder Barytwasser und etwa 200 Liter Luft auszuführen. Der während des Versuchs durch Verdunstung eingetretene Gewichtsverlust des gefüllten Apparates wird durch Zuführen von Wasser wieder ausgeglichen. Das Verfahren empfiehlt sich da, wo man den durchschnittlichen Kohlensäuregehalt der Luft innerhalb eines Tages oder einer Nacht feststellen will.

Wohl am häufigsten wird folgendes von Pettenkofer[2]) vorgeschlagenes Verfahren angewendet, welches gestattet Augenblicksproben zu nehmen. Zu diesem Zweck füllt er eine etwa 6 Liter fassende Flasche, deren Rauminhalt vorher ausgemessen war, durch Einblasen mittels eines Handblasebalges mit der zu unter-

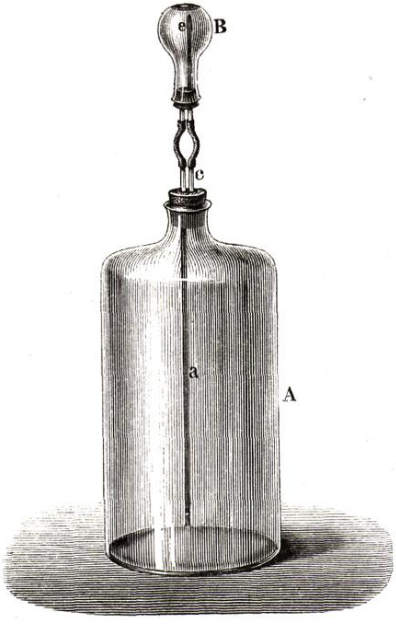
Chem. Pharm. 2. Suppl., 1. Landwirthsch. Versuchsstat. (1871), **14**, 366. Gorup-Besanez, Physiologische Chemie (Braunschweig 1874), 840. — [5]) Fodor, Luft, Boden und Wasser, S. 15.

[1]) Compt. rend. **90**, 1144. — [2]) Ann. Chem. Pharm. 2. Suppl., 23; Dingl. 1862, **163**, 53.

suchenden Luft, läßt 45 ccm Kalkwasser einfließen und schüttelt um. Nach 1 bis 2 Stunden wird die Flüssigkeit in ein enges Becherglas gegeben, und in 20 ccm durch Titriren mit Oxalsäure der nicht gefällte Kalk bestimmt. Als Indicator verwendet Pettenkofer die Tüpfelprobe auf Kurkumapapier.

Nach W. Hesse[1]) wird die nur 0,13 bis 0,5 Liter fassende Flasche in dem betreffenden Raume mit Luft gefüllt und mit einer Gummikappe verschlossen, die einen Schlitz zur Aufnahme der Pipettenspitze enthält; über diese wird eine zweite undurchbohrte Kappe gelegt und die Flasche womöglich in eine kühlere und kohlensäurefreie Luft gebracht, die obere Klappe entfernt, die Pipette in den Schlitz eingesetzt und die Kappe gleichzeitig noch durchstochen mit der Canüle einer Injectionsspritze, damit die Luft entweichen kann. Das Volum des zugesetzten Barytwassers wird von dem Inhalte der Flasche abgezogen. Die angewendete Oxalsäurelösung enthält 0,5727 g im Liter; 10 ccm entsprechen 2 mg CO_2; das Barytwasser ist so eingerichtet, daß 10 ccm 20 bis 25 ccm dieser Oxalsäurelösung neutralisiren. Münnich[2]) will diese Bestimmungen mit 0,5 bis 1 Liter fassenden Flaschen ausführen und statt des sonst allgemein gebräuchlichen Kalk- oder Barytwassers eine 2 proc. Strontianlösung verwenden, mit Phenolphtalein als Indicator. — Die Anwendung so geringer Luftmengen erscheint etwas bedenklich.

Fig. 177.



Verf. führt dieses Pettenkofer'sche Verfahren in folgender Weise aus. Der Inhalt der etwa 6 Liter fassenden Flasche *A* ist bei aufgesetztem Gummistopfen, dessen eine Durchbohrung ein bis fast zum Boden der Flasche reichendes Rohr *a*, die andere ein mit der Unterfläche des Stopfens abschneidendes Glasrohr *c* trägt, genau ausgemessen.

Man treibt nun mittels eines kleinen Gummi- oder Handgebläses durch das Rohr *a* etwa 30 Liter der zu untersuchenden Luft ein, während der Ueberschuß durch *c* entweicht, und notirt Barometerstand, Temperatur und Feuchtigkeit der Luft. Eine kleine, mit 50 ccm Kalk- oder Barytwasser[3]) fast gefüllte Flasche *B*, deren doppelt durchbohrter Stopfen ebenfalls zwei Glasröhren trägt, wird nun mittels kurzer Gummischläuche so mit der

[1]) Zeitschr. f. Biolog. **14**, 29; Eulenberg's Viertelj. **31**, 2. — [2]) Militärärztl. Zeitschr. **9**, 97. — [3]) Zur Herstellung des Kalkwassers wird frisch gelöschter Kalk mit etwa 20 Thln. Wasser geschüttelt, dieses nach dem Absetzen entfernt, der Kalk nochmals in gleicher Weise mit Wasser gewaschen, um etwaiges Alkali zu entfernen, nun mit

Flasche *A* verbunden, daß beim Umkehren der Flasche *B* (s. Fig. 177) das Kalkwasser durch das Rohr *a* in die Flasche *A* gelangt, während die dadurch verdrängte Luft durch die Rohre *c* und *e* nach *B* aufsteigt und hier ebenfalls ihre Kohlensäure an das Kalkwasser abgiebt. Man schwenkt die Flasche *A* einige Male um, läßt noch etwa 10 Minuten durch Umkehrung der ganzen Vorrichtung die Absorptionsflüssigkeit durch die Rohre *c* und *e* nach *B* fließen, löst die Schläuche von der Flasche *A* und schließt sie mittels Quetschhahn, nachdem man das Rohr *e* soweit aufgezogen hat, daß es etwa 1 cm vom Boden der Flasche *B* mündet. Hat sich der Niederschlag völlig abgesetzt, so steckt man die Spitze einer Pipette in die Mündung des mit *e* verbundenen Schlauches, nimmt die Quetschhähne ab und saugt 20 ccm der klaren Flüssigkeit ab. Diese werden in einem 50-ccm-Fläschchen mit einigen Tropfen empfindlicher Lackmuslösung [1]) versetzt und mit Zehntelоxalsäure (6,3 g $H_2C_2O_4 . 2H_2O$ im Liter) titrirt; die Bestimmung wird mit 20 ccm der klaren Lösung wiederholt und das Durchschnittsresultat mit 2,5 multiplicirt in Rechnung gesetzt.

Die Reduction des untersuchten Luftvolums geschieht nach der Formel (vgl. S. 189) $V = \frac{v.(B - e)}{760 . 1 + (0{,}00366 . t)}$. Jeder Cubikcentimeter Oxalsäurelösung, welcher nach der Absorption von 50 ccm Kalkwasser weniger gebraucht wird als vorher, entspricht 2,2 mg Kohlensäure (richtiger Kohlendioxyd CO_2) oder, da 1 ccm derselben bei 0° und 760 mm 1,978 mg wiegt (S. 139), 1,112 ccm. Sind viele Bestimmungen auszuführen, so kann man zur Vereinfachung der Rechnung auch 5,665 g Oxalsäure auf 1 Liter lösen; 1 ccm dieser Lösung entspricht dann 1 ccm Kohlendioxyd.

Bei Untersuchung der freien atmosphärischen Luft mit nur geringem Kohlensäuregehalt kann man die Maßflüssigkeiten zur Erhöhung der Genauigkeit auf halben Gehalt verdünnen.

Der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft wurde bis in die neuere Zeit allgemein auf Grund der Untersuchungen von Sauſſure und Bouſſingault zu 4 bis 4,15 auf 10 000 angenommen. Dagegen fand Schultze [2]) als Mittel seiner drei Jahre (1869 bis 1871) lang täglich ausgeführten Bestimmungen in Rostock 2,9197, Häſſelbarth und Fittbogen [3]) auf dem Hofe der Versuchsstation Dahna (1874 bis 1875) im Mittel von 357 Bestimmungen 3,34 und zwar im September 3,4056, October 3,3397, November 3,4277, December 3,2487; (1875) Januar 3,2584, Februar 3,2220, März 3,4135, April 3,4347, Mai 3,2994, Juni 3,3137, Juli 3,3149, August 3,4042. Der geringste Ge-

---

mehr Wasser geschüttelt und nach dem völligen Absitzen das klare Kalkwasser abgehoben; zur Unschädlichmachung der letzten Alkalispuren kann man einige Tropfen reiner Chlorcalciumlösung zusetzen. Oder man löst etwa 4 g Baryumhydrat und 0,2 g Chlorbaryum im Liter Wasser; beide Lösungen werden vor atmosphärischer Kohlensäure geschützt aufbewahrt.

[1]) Lackmus wird zunächst mit Alkohol, dann mit Wasser ausgezogen; letztere Lösung ist die gewünschte. Zeitschr. f. analyt. Chem. 1870, 252. — [2]) Landwirthschaftl. Versuchsstation **9**, 217; **14**, 366. — [3]) Landwirthschaftl. Jahrb. **8**, 669; Dingl. 1875, **218**, 532.

halt war 2,70, der höchste 4,17, Wolffhügel[1]) fand (1875) in München als Mittel von 200 Analysen 3,757. Fodor fand als Jahresmittel in Budapest für d. J. 1877 4,135, für 1878 3,735 und für 1878 3,788. Aus 49 Kohlensäurebestimmungen, welche P. Truchot[2]) vom 7. Januar bis 14. April 1876 in Clermont ausführte, ergaben sich als Grenzwerthe an schönen Tagen 2,1 und 4,2, im Mittel 3,3. An Regentagen erhielt er 4,2 und 5,1, im Mittel 4,6 und an Tagen, wo der Boden mit Schnee bedeckt war, 4,4 und 8,7, im Mittel 5,6 Vol. Kohlensäure. Nach A. Levy[3]) schwankte der Kohlensäuregehalt der Luft im Park von Montsouris zwischen 2,2 bis 3,6 Vol. und zwar

	1876	1877	1878	1879		1876	1877	1878	1879
Jan. . .	„	2,80	3,33	3,56	Juli . . .	2,61	2,77	3,42	3,46
Febr. . .	„	2,82	3,35	3,57	Aug. . .	„	2,67	3,50	3,33
März . .	„	2,76	3,22	3,57	Sept. . .	„	2,80	3,47	3,30
April . .	2,69	2,70	3,31	3,58	Oct. . . .	3,13	2,69	3,53	3,04
Mai . . .	2,49	2,78	3,59	3,56	Nov. . . .	3,07	3,08	3,54	2,55
Juni . . .	2,56	2,80	3,51	3,56	Dec. . . .	2,80	3,44	3,55	2,44

Marié-Davy[4]) glaubt diese Schwankungen auf den Einfluß der Windrichtung zurückführen zu können. J. Reiset[5]) schließt jedoch aus seinen Versuchen, daß derartige Schwankungen lediglich auf die Ungenauigkeit der Untersuchungsmethode zurückzuführen sind und thatsächlich nicht vorkommen. Er fand in Dieppe im Durchschnitt 2,942 Vol. mit Schwankungen von höchstens 0,3. Der Kohlensäuregehalt der Luft im Walde und auf Kleefeldern war fast genau so hoch als auf der Untersuchungsstation, so daß also die Kohlensäure sehr rasch sich in der Luft vertheilt. Die Luft in Paris enthielt 3,027 Vol. Eine andere Versuchsreihe gab auf der Versuchsstation am Tage 2,891, in der Nacht 3,084 Vol. bei einem Gesammtdurchschnitt von 2,978. Bei einem sehr starken Nebel stieg jedoch der Kohlensäuregehalt sogar auf 3,415 Vol. Th. Schlösing[6]) erklärt den gleichmäßigen Kohlensäuregehalt der Atmosphäre durch die ausgleichende Wirkung des Meeres. Müntz und Aubin[7]) fanden in Paris 2,88 bis 4,22, und zwar bei bedecktem Himmel 3,22 bis 4,22, bei klarem Wetter 2,88 bis 3,1; auf der Feldstation fanden sie 2,70 bis 2,99, im Mittel 2,88 am Tage, Nachts 3,00. Am 1. April 1881 ergab sich 9 U. Morgens bei klarem Himmel 2,73, um 1 U. 30 M. bei bedecktem Himmel 2,93 Vol. auf 10 000.

H. Macagno[8]) hat auf der Versuchsstation in Palermo im Jahre 1879 eine Reihe von Luftanalysen ausgeführt. Der Sauerstoff wurde mit pyrogallussaurem Kalium, die Kohlensäure gewichtsanalytisch mit Kalilauge bestimmt. Ferner wurde Luft durch Wasser gesaugt und dieses auf Ammoniak mit dem Neßler'schen Reagens, auf Nitrate mit Indigo und auf organische Stoffe mit übermangansaurem Kalium geprüft. Folgende Tabelle zeigt die Bestandtheile von 100 Liter Luft:

---

[1]) Zeitschr. f. Biolog. (1879), **15**, 98. — [2]) Annal. agronom. 1877, 69. — [3]) Compt. rend. **90**, 32. — [4]) Compt. rend. **90**, 1287. — [5]) Das. **88**, 1007; **90**, 1141, 1457. — [6]) Das. **90**, 1410. — [7]) Das. **92**, 247, 1229. — [8]) Chem. News **41**, 97.

Datum	Sauerstoff	Kohlensäure	Salpetersäure	Ammoniak	Organisch	Für 10 Tage: Mittlere Temperatur	Für 10 Tage: Regenfall
	Liter	Liter		mg	mg	Grad	mm
Februar 10	—	—	—	—	—	12,4	11,58
„ 20	20,879	0,021	—	0,024	0,154	13,6	17,29
„ 28	20,891	0,048	—	0,028	0,127	12,8	3,57
März 10	20,715	0,025	—	—	0,115	9,8	9,24
„ 20	19,994	0,025	—	—	0,094	13,3	—
„ 31	20,888	0,022	—	—	0,070	14,4	30,61
April 10	20,910	0,021	—	Spur	0,076	14,3	32,01
„ 20	20,880	0,064	—	—	0,094	15,8	18,45
„ 30	20,898	0,045	—	—	0,055	16,0	14,75
Mai 10	20,913	0,005	—	—	0,020	14,6	17,20
„ 20	20,902	0,049	—	—	0,072	14,0	16,65
„ 31	20,017	0,033	—	0,036	0,142	19,8	2,23
Juni 10	20,894	0,041	—	—	0,107	20,5	—
„ 20	20,918	0,043	—	0,040	0,363	22,0	—
„ 30	20,915	0,043	—	0,009	0,162	23,5	—
Juli 10	20,977	0,020	Spur	0,010	0,111	23,4	—
„ 20	20,984	0,076	—	0,080	0,157	22,6	—
„ 31	20,899	0,039	—	—	0,138	23,0	—
August 10	20,910	0,028	Spur	0,005	0,165	25,1	—
„ 20	20,888	0,030	—	0,007	0,112	25,1	—
„ 31	20,895	0,039	—	0,009	0,131	25,0	—
Mittel I	20,717	0,033	0	0,008	0,102	14,2	173,18
Mittel II	20,920	0,039	Spur	0,009	0,160	23,4	0

Das erste Mittel gilt für die Monate Februar, März, April und Mai, mit Regen, das zweite für Juni, Juli und August, ohne Regen. Demnach ist die Luft nach dem Regen reiner als vorher. Wie weit diese bedeutenden Schwankungen von 0,5 bis 7,6 im Kohlensäuregehalt von der anscheinend mangelhaften Methode herrühren, läßt sich nicht entscheiden. Smith[1]) fand in der Umgebung von Manchester im Mittel 3,69, in der Stadt selbst bis 8,37 Volum.

Fodor (a. a. O. S. 24) schließt aus seinen Versuchen, daß der Kohlensäuregehalt im Winter am geringsten, im Herbst am höchsten ist, die äußersten Grenzen zwischen 2 bis 6 schwanken, daß die Kohlensäure des Abends, namentlich im Herbst zunimmt und wenig durch die Größe der Städte beeinflußt wird, sondern wesentlich durch die Grundluft. Die Zunahme und Schwankungen der

[1]) Smith, Air and Rain (London 1872), 49.

Kohlensäure in der freien Atmosphäre zeigt im größten Theile des Jahres an, daß die Atmosphäre mehr oder weniger Grundluft aufgenommen hat, und dadurch verunreinigt wurde. Diese unreine Grundluft [1]) steigt namentlich im Herbst, ferner des Abends aus dem Boden in die Atmosphäre auf. Demnach würde der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft einen Maßstab für die Verunreinigung mit den Zersetzungsproducten des unreinen Bodens abgeben.

Der Kohlensäuregehalt der Luft in geschlossenen Räumen ist natürlich ungemein wechselnd. Nicht allein, daß auch in unsere Wohnzimmer die Grundluft eindringt [2]), es wird hier auch Kohlensäure erzeugt durch die Beleuchtung, namentlich aber durch die Athmung [3]). Die stündliche Ausscheidung an Kohlensäure betrug:

	Alter	Körpergewicht	Ausgeschiedene Kohlensäure in Gramm	
	Jahr	Kilogramm	d. Haut u. Lunge	d. d. Haut
Knabe . . .	$9^3/_4$	20	20,34	0,48
Mädchen . .	10	23	19,16	0,12
Jüngling . .	16	57	34,28	0,18
Jungfrau . .	17	56	25,34	—
Mann . . .	28	82	36,62	0,37
Frau	35	66	33,53	0,27

Die Kohlensäureausscheidung wird gesteigert durch Bewegung, Nahrungsaufnahme u. dgl. Die ausgeathmete Luft bestand nach Brunner und Valentin im Durchschnitt von 34 Analysen aus:

Kohlensäure	4,4
Sauerstoff	16,0
Stickstoff	79,6

Für praktische Zwecke völlig hinreichend genau läßt sich die ausgeathmete Luft sehr bequem mit dem später noch näher beschriebenen Apparate des Verfassers untersuchen. Handelt es sich um eine Durchschnittsprobe, so athmet man zunächst in ein Gasometer oder Gummibeutel und entnimmt aus diesem die Probe. Für Augenblicksproben nimmt man das kleine Gummigebläse *C* (Fig. 178) ab, nimmt das Schlauchende *a* in den Mund, stellt den Dreiweghahn *c* so, daß er die Bürette *A* mit dem Schlauch verbindet, öffnet den Quetschhahn auf dem Schlauche *s* so, daß sich die Bürette mit der ausgeathmeten Luft füllt, die überschüssige Luft aber durch das Sperrwasser entweichen kann. Man stellt nun das Wasser in der Bürette auf 0 ein, schließt den Dreiweghahn und führt die Analyse in gewöhnlicher Weise

---

[1]) Zeitschr. f. Biolog. **7**, 400; **9**, 252; **13**, 383; **15**, 98. Landwirthsch. Versuchsstation **25**, 375; Viertelj. f. öffentl. Gesundh. 1872, 290; 1875, 208; 1876, 393, 691; 1878, 343. Fleck: Jahresbericht d. chem. Centralst. 1874. — [2]) Vergl. F. Fischer: Die menschlichen Abfallstoffe, ihre Beseitigung und praktische Verwerthung (Braunschweig 1882), S. 22. — [3]) Gorup-Besanez, Physiologische Chemie, 3. Aufl., S. 788.

aus. Derſelbe Apparat wird bereits benutzt zur Unterſuchung der Luft in Bergwerken [1]).

Beſonders oft iſt die Luft in den Schulzimmern unterſucht worden. So fand Schulze [2]) in Nordhauſen 14,4 bis 35,6 Vol., Schottky [3]) in den Schulen von Breslau meiſt 20 bis 30 Thle. Kohlenſäure; wurden aber bei Ofenheizung Thüren und Fenſter geſchloſſen gehalten, ſo ſtieg der Kohlenſäuregehalt bis 51,5 Thle. O. Krauſe [4]) fand in der Realſchule zu Annaberg 7,2 bis 33,2 Vol., in der dortigen Bürgerſchule 28,2 bis 86 Vol., in der Bürgerſchule zu Buchholz 23 bis

Fig. 178.

87 Vol., im Seminar Annaberg 20,3 bis 59,6 Vol., desgl. Zſchopau 12,2 bis 46,6 Vol. Kohlenſäure. Der Verf. fand in der höheren Bürgerſchule in Hannover 20,8 bis 57,7 Vol., in einem Hörſale des alten Polytechnikums 49,5 Vol. Heſſe [5]) fand in Schulzimmern ſogar bis 117 Vol. Kohlenſäure (alſo 1,17 Proc.), dagegen in Gefängnißzellen nur 8 bis 27 Vol.

[1]) Winkler, Unterſuchung der Induſtriegaſe, S. 370. — [2]) Arch. Pharm. 209, 412. — [3]) Zeitſchr. f. Biolog. 1879, 549. — [4]) 31. Bericht der Realſchule zu Annaberg 1874. — [5]) Viertelj. f. öffentl. Geſundh. 1878, 265, 728.

R. Nichols hat nach einem gef. eingesendeten Bericht vom 23. März 1880 in verschiedenen Schulen Bostons 9,4 bis 23,9 Thle. Kohlensäure (auf 10000) gefunden. In den Schulen von Michigan wurden 7,3 bis 37,5 und in New-York 9,7 bis 35,7 Thle. Kohlensäure nachgewiesen, von Lupton [1]) in der Luft der öffentlichen Schulen von Nashville, Tennessee 9,1 bis 32,4 Thle. Kohlensäure, so daß in dieser Beziehung die deutschen Schulen nicht besser sind als die amerikanischen.

An sich ist ja diese Kohlensäuremenge unschädlich, sie dient aber als Maaßstab für die aus dem Boden oder durch Lunge, Haut u. s. w. gleichzeitig in die Atmosphäre dringenden organischen und organisirten Zersetzungsproducte. Nach Pettenkofer soll gute Zimmerluft dem entsprechend nicht mehr als 10 Vol. Kohlensäure (auf 10000) enthalten; bei 50 bis 70 Thln. wird sie bereits sehr drückend und ekelerregend.

Kohlenoxyd. Die Vergiftung durch Kohlendunst, welche schon im Alterthum bekannt war, sowie die in neuerer Zeit hinzugetretene Vergiftung durch Leuchtgas gewinnen ihr wissenschaftliches Interesse erst mit der näheren Kenntniß des i. J. 1799 von Priestley entdeckten Kohlenoxydgases, dessen Schädlichkeit für warmblütige Thiere durch die Experimente von Tourdes, Tardieu u. A. außer Zweifel gestellt wurde. Die ersten Versuche über den Kohlenoxydgehalt der Zimmerluft, welche durch eiserne Stubenöfen oder mittels sogenannter Luftheizung erwärmt ist, scheinen von Pettenkofer [2]) ausgeführt zu sein. Er bestimmte zunächst Kohlensäure und Wasserdampf der Luft, indem er sie durch ein Chlorcalciumrohr und einen Kaliapparat saugte; dann leitete er die Luft über glühendes Kupferoxyd und ließ die durch Verbrennung des Kohlenoxydes gebildete Kohlensäure durch Kalilauge absorbiren. Auf die von ihm gefundenen sehr geringen Mengen von Kohlenoxyd legte er aber kein Gewicht. Erst als Carret [3]) mit der Behauptung auftrat, er habe eine neue endemisch und epidemisch auftretende Krankheit beobachtet, deren Ursache man in der Kohlenoxydentwicklung eiserner Oefen zu suchen habe, wurde die allgemeine Aufmerksamkeit auf den Kohlenoxydgehalt der Zimmerluft gelenkt. Zwar gab Michaud [4]) in Uebereinstimmung sämmtlicher Aerzte von Chambery und Umgegend (Savoie) die Erklärung ab, die von Carret beobachtete Krankheit sei lediglich eine Typhusepidemie gewesen; die französische Akademie setzte aber eine Commission nieder zur Lösung der Frage, ob eiserne Oefen durch Abgabe von Kohlenoxyd an die Zimmerluft gesundheitsschädlich seien? Der von Morin [5]) Namens der Commission erstattete Bericht bejaht diese Frage in so fern, als nach den ausgeführten Versuchen eiserne Oefen, falls sie rothglühend werden, allerdings Kohlenoxyd an die Zimmerluft abgeben und dadurch schädlich wirken sollen.

Hoppe-Seyler [6]) machte die Beobachtung, daß das mit Kohlenoxyd behandelte Blut, im Sonnenspectrum untersucht, bei passender Verdünnung fast genau dieselben Absorptionsstreifen zeigt als sauerstoffhaltiges Blut, d. h. die des

---

[1]) Chem. News **40**, 180. — [2]) Dingl. 1851, **119**, 40. — [3]) Compt. rend. (1865), 60, 793; 61, 417. — [4]) Compt. rend. 60, 966; 66, 271. — [5]) Dingl. 1869, **193**, 201. — [6]) Zeitschr. f. anal. Chem. 1864, 439; Gorup-Besanez: Zoochemische Analyse (1871), 107, *345.

Oxyhämoglobins; nur ist der bei 52 anfangende Absorptionsstreifen etwas nach *E* hin verschoben. Behandelt man solches Blut aber mit reducirenden Stoffen, z. B. weinsaures Zinnoxydul, Schwefelammonium, weinsaures Eisenoxydulammoniak, so verschwinden diese Absorptionsstreifen nicht; ebenso wenig zeigt sich der Absorptionsstreifen (53 bis 55) des reducirten Hämoglobins, während die Streifen des normalen Blutes bei dieser Behandlung verschwinden und dem letztgenannten Streifen des reducirten Hämoglobins Platz machen. Versetzt man ferner Kohlenoxyd haltiges Blut, welches sich schon durch seine violettrothe Farbe auszeichnet, mit mäßig concentrirter Natronlauge im Ueberschuß, so nimmt dasselbe eine hell zinnoberrothe Färbung an, während gewöhnliches Blut bei gleicher Behandlung sogleich eine schwarzbraune, schmierige Masse giebt.

Dieses Verhalten des Blutes ist nun mehrfach zur Nachweisung des Kohlenoxydes verwendet. So hat die französische Commission[1]) den Kohlenoxydgehalt des Blutes von Kaninchen bestimmt, welche der zu untersuchenden Luft ausgesetzt waren; wie sie dies ausgeführt hat, ist leider nirgend angegeben. H. W. Vogel[2]) hat diese Blutprobe wesentlich verbessert. Er schüttelt in einer Flasche etwa 100 ccm der zu untersuchenden Luft mit 2 ccm stark verdünntem Blut und bringt dieses dann vor den Spalt eines Spectralapparates. Enthielt die Luft auch nur 25 Thle. Kohlenoxyd (auf 10000 Thle. Luft) oder 0,25 Proc., so erhält man die Kohlenoxydstreifen. Enthält das zu prüfende Gas keinen Sauerstoff, so lassen sich auf diese Weise noch 10 Thle. Kohlenoxyd auffinden. Hempel[3]) saugt etwa 10 Liter der zu untersuchenden Luft durch wenige Cubikcentimeter stark verdünntes Blut hindurch und untersucht letzteres dann spectralanalytisch, oder er setzt eine Maus der zu untersuchenden Luft aus und untersucht deren Blut. Auf ersterem Wege lassen sich noch 5, auf letzterem noch 3 Zehntausendstel Kohlenoxyd nachweisen. Wolff[4]) saugt 10 Liter der zu untersuchenden Luft durch einen kleinen mit Glaspulver und verdünntem Blut gefüllten Absorptionsapparat und prüft dann spectroskopisch. Weyl und Anrep[5]) empfehlen das Blut in ganz gefüllter Flasche bis zur Untersuchung abzuschließen und im Dunkeln bei niederer Temperatur aufzubewahren. Tritt dann auf Zusatz von Schwefelammonium oder der von Stokes angegebenen Lösung von weinsaurem Eisenoxydulammoniak keine Reduction zu Hämoglobin auf, so liegt Kohlenoxydhämoglobin vor. Tritt auf Zusatz weniger Tropfen einer 0,025 procentigen Chamäleonlösung im passend verdünnten Blute innerhalb 20 Minuten kein Methämoglobin auf, bleibt das Blut roth und klar, so ist Kohlenoxydhämoglobin vorhanden. Die gleiche Menge Chamäleon muß in einer gleich concentrirten, mit Luft geschüttelten Blutlösung von Mensch, Rind oder Kaninchen eine gelbe Färbung hervorbringen, Methämoglobin geben und eine Trübung verursachen. Statt der Chamäleonlösung kann mit gleich sicherem Erfolge eine einprocentige Lösung von Brenzcatechin oder Hydrochinon benutzt werden. Bei Anwendung dieser Phenole muß die Blutlösung 15 Minuten bei 40° digerirt werden.

---

[1]) Dingl. 1869; **193**, 203. — [2]) Bericht deutsch. chem. Ges. 1878, 235. — [3]) Das. 1869, 399. — [4]) Dingl. 1880, **237**, *456; Wagner's Jahresb. 1880, *351. — [5]) Bericht deutsch. chem. Ges. 1880, 1294.

S. v. Fodor[1]) konnte durch spectralanalytische Untersuchung des Blutes von Thieren, welche die verunreinigte Luft eingeathmet hatten, keine geringeren Mengen als 10 Thle. Kohlenoxyd nachweisen. Empfindlicher als das Spectroskop ist die Natronprobe von Hoppe-Seyler (s. o.) und die Farbenprüfung des mit Schwefelammonium geschüttelten Blutes mit freiem Auge, da sich dann durch Behandeln des Blutes mit 10 Liter Luft noch 5 Thle. Kohlenoxyd nachweisen ließen. Schüttelt man aber 10 ccm Blut 5 bis 7mal nach einander mit je 6 Liter Luft, welche nur 0,5 Thle. Kohlenoxyd enthält, erwärmt das Blut auf 90 bis 95° unter Hindurchleiten von atmosphärischer Luft, welche dann durch einen Kugelapparat mit einer neutralen Lösung von 1 Thl. Chlorpalladium in 500 Thln. Wasser geht, so wird Palladium ausgeschieden. Auf diese Weise ließ sich noch Kohlenoxyd in dem verdünnten Blute von Kaninchen nachweisen, welche einige Zeit eine Luft eingeathmet hatten mit nur 0,4 Kohlenoxyd in 10 000, so daß also das Kohlenoxyd selbst noch bei dieser Verdünnung von dem Blute lebender Thiere aufgenommen wird.

Böttger[2]) hatte beobachtet, daß ein mit Palladiumchlorürlösung getränkter Papierstreifen durch Kohlenoxyd schwarz wird. Gottschalk[3]) saugt nun die auf Kohlenoxyd zu prüfende Luft durch eine Lösung von Natriumpalladiumchlorür. Sind auch nur 2,2 Thle. Kohlenoxyd zugegen, so tritt eine Ausscheidung von sammtschwarzem, metallischem Palladium ein. Für den qualitativen Nachweis von Kohlenoxyd ist dieses Verfahren als sehr einfach zu empfehlen, da man beim Durchsaugen von 5 Liter einer Luft mit 2,5 Thln. Kohlenoxyd auf 10 000 durch 1 bis 2 ccm Palladiumchlorürlösung bereits einen dunklen Streifen an den Glaswandungen über der Flüssigkeit erhält. Gottschalk meint, diese Reaction gehe nach folgender Formel vor sich:

$CO + PdNa_2Cl_4 = 2\,NaCl + Pd + COCl_2$ und $COCl_2 + H_2O = CO_2 + 2\,HCl$,

so daß man das Kohlenoxyd durch Bestimmen der gebildeten Kohlensäure mittels Barytwasser auch quantitativ feststellen könne. Der Verf. konnte jedoch hiermit keine brauchbaren Resultate erhalten[4]).

Nach Fodor wird zur qualitativen Nachweisung des Kohlenoxydes feines Filtrirpapier in eine neutrale Lösung von 0,2 g Palladiumchlorür in 100 ccm Wasser getaucht, getrocknet und dann in Streifen geschnitten. Nun füllt man eine 10 Liter fassende Flasche mit der zu untersuchenden Luft, bringt einige Cubikcentimeter reines Wasser und an einem Platindraht das Reagenzpapier hinein und verkorkt die Flasche. Bei 5 Theilen Kohlenoxyd zeigt sich auf dem Papier schon nach einigen Minuten ein schwarzes glänzendes Häutchen, bei 1 Theil nach 2 bis 4 Stunden, bei 0,5 Theilen nach 12 bis 24 Stunden. Man kann auch Blut wiederholt mit der zu untersuchenden Luft schütteln und, wie vorhin besprochen, das aufgenommene Kohlenoxyd in Palladiumlösung leiten. Zur quantitativen Bestimmung wird eine größere Menge Luft durch mehrere mit neutraler Palladiumchlorürlösung gefüllte Kugelapparate gesaugt. Der nach der Zersetzungsgleichung

---

[1]) Viertelj. f. öff. Ges. 1880, 377; Wagner's Jahresb. 1880, *353. — [2]) Journ. pr. Chem. 76, 233; Dingl. 1859, **152**, 76. — [3]) Gottschalk: Die Nachweisbarkeit des Kohlenoxydes (Leipzig 1877), S. 2. — [4]) Dingl. 1880, **235**, 441.

$PdCl_2 + CO + H_2O = Pd + 2HCl + CO_2$ gebildete Niederschlag wird auf einem Filter gesammelt, dann sammt dem in den Gläsern gebliebenen in Königswasser gelöst, getrocknet und in schwacher Salzsäure gelöst. 53,24 Palladium entsprechen dann 14 Kohlenoxyd. Man löst nun 1,486 g reines Jodkalium zu 1 Liter, erwärmt die verdünnte saure Palladiumlösung im Wasserbade und läßt so lange Jodkalium zufließen, als sich noch schwarzes Palladiumjodid abscheidet. Um diese Grenze zu finden, filtrirt man einige Cubikcentimeter ab und fügt 1 Tropfen Jodkaliumlösung hinzu, welche keine braune Trübung mehr hervorbringen darf. 1 ccm Jodkaliumlösung entspricht dann 0,1 ccm Kohlenoxyd. Nach diesem Verfahren hat Fodor in 3 Leichen, welche bereits über zwei Monate beerdigt, dann aber wieder ausgehoben waren, Kohlenoxyd nachgewiesen, und zwar enthielten 100 ccm Blut einer jungen Frau 3,51, ihres Mannes 4,04 und seiner Mutter 4,23 ccm Kohlenoxyd; letztere scheint also der giftigen Wirkung am längsten widerstanden zu haben. Als dieses Blut an der Luft eingetrocknet war, konnte in der wässerigen Lösung mittels des Spectroskops kein Kohlenoxyd mehr nachgewiesen werden; mittels Palladium wurden aber für 100 ccm Blut noch 0,59 ccm Kohlenoxyd gefunden.

Da auch Aethylen, Methylen, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Schwefelammonium und ähnliche Gase, welche in der Luft vorkommen können, zersetzend auf die Palladiumlösung einwirken, so erfordert diese Bestimmung große Vorsicht. Gruber[1]) macht dagegen folgenden Vorschlag. Man schüttelt 20 Liter Luft mit 10 ccm Blut und prüft das Blut nach Fodor auf Kohlenoxyd. Das Spülwasser davon wird im Spectralapparate untersucht. Erhält man die Reaction nach Fodor, aber die im Spectralapparate nicht, so weiß man, daß der Gehalt weniger als 0,1 Proc. und mehr als 0,005 Proc. beträgt. Ferner nimmt man 100 ccm Luft und prüft nach Vogel. Gab die Untersuchung der großen Luftprobe die Absorptionsstreifen, die zweite aber nicht, dann liegt der Kohlenoxydgehalt zwischen 0,1 und 0,25 Proc.

Deville und Troost[2]) bestimmen ähnlich wie Pettenkofer das Kohlenoxyd und die Wasserstoffverbindungen durch Verbrennen mittels Kupferoxyd und folgender Absorption des gebildeten Wassers mittels Schwefelsäure, der Kohlensäure mit Kali. Dasselbe Verfahren wurde auch theilweise von der französischen Commission angewendet. Auch Vollert[3]) verbrennt mit glühendem Kupferoxyd, berechnet aber die gebildete Kohlensäure einfach auf Kohlenoxyd. Erismann[4]) hat aber ebenso wie Troost in der Zimmerluft Kohlenwasserstoffe nachgewiesen, so daß hierauf jedenfalls Rücksicht zu nehmen ist. Verf.[5]) ließ die betreffende Luft zunächst durch Kalilauge gehen, dann durch zwei Röhren mit Glasperlen und concentrirter Schwefelsäure, um die Feuchtigkeit völlig zurückzuhalten; ein eingeschobener Asbestpfropf hielt auch die letzten mitgeführten Staubtheile zurück. Nun folgte ein Rohr mit gut ausgeglühtem Kupferoxyd, welches in einem einfachen Verbrennungsofen erhitzt wurde. Das gebildete Wasser wurde in einem U-Rohr mit concentrirter Schwefelsäure, die Kohlensäure mittels Barytwasser

[1]) Dingl. 1881, **241**, 220. — [2]) Dingl. 1868, **188**, 137. — [3]) Vollert, Ueber Luftwechsel, 1878, 22. — [4]) Zeitschr. f. Biolog. (1876) **12**, 328. — [5]) Dingl. 1880, **235**, 440.

bestimmt, indem das gefällte kohlensaure Baryum in Salzsäure gelöst und dann als Sulfat gewogen wurde. Da nun die ersten Schwefelsäure-Rohre die etwa vorhandenen schweren Kohlenwasserstoffe und den Staub zurückhalten, so darf man das im Verbrennungsrohre gebildete Wasser wohl auf Grubengas (CH_4) berechnen, den Rest der gebildeten Kohlensäure aber auf Kohlenoxyd. War freier Wasserstoff zugegen, so fällt die so bestimmte Kohlenoxydmenge etwas zu gering aus; ich habe allerdings bei der Untersuchung einer mangelhaften Luftheizung neben 3,2 Thln. Kohlenoxyd nur zweifelhafte Spuren von Wasserstoffverbindungen gefunden. Das Verfahren ist zwar aus den angegebenen Gründen auch nicht ganz zuverlässig, in Verbindung mit der Fodor'schen Blutprobe aber immerhin brauchbar. Viel weniger genau ist die von Kayser angewendete Bestimmung des Kohlenoxyds durch Oxydation mittels Chromsäure.

Bezüglich der Mengenverhältnisse, in denen das Kohlenoxyd gesundheitsschädlich wirkt, gehen die Ansichten noch aus einander. Während man früher [1]) erst einen Kohlenoxydgehalt der atmosphärischen Luft von 1 bis 5 Proc. für gefährlich hielt, tödtet nach Letheby [2]) eine Luft mit 0,5 Proc. (also 50 Thle.) kleine Vögel bereits nach 3 Minuten. Nach den Versuchen von Biefel und Poleck [3]) enthielten die tödtlich wirkenden Gasgemische 0,19 Proc. und mehr Kohlenoxyd. 4 Theile Kohlenoxyd (auf 10 000 Luft) genügten aber schon, Kaninchen matt zu machen; Vogel meint dagegen, daß, wenn eine wenig Kohlenoxyd enthaltende Zimmerluft nicht mehr im Stande sei, auf das stark verdünnte Blut, welches bei seiner Kohlenoxydprobe (S. 209) zur Anwendung kommt, einzuwirken, diese Luft auch das viel concentrirtere Blut der menschlichen Lungen nicht vergiften könne. Die große Menge Sauerstoff bilde hier das natürliche Gegengewicht und hält er daher die Gegenwart kleinerer Mengen von Kohlenoxyd in der Luft als 25 Theile entschieden für nicht schädlich. Dieser Ansicht schließt sich Wolfhügel [4]) an. Allerdings hat Liman [5]) gezeigt, daß Kohlenoxyd haltiges Blut durch längeres Schütteln mit Sauerstoff das Kohlenoxyd wieder verliert und nun die Absorptionsstreifen des normalen Blutes zeigt. N. Grehant [6]) hat aber gefunden, daß selbst sehr geringe Kohlenoxydmengen einen Theil der rothen Blutkörperchen unfähig machen, Sauerstoff aus der Atmosphäre aufzunehmen. Zu diesem Zwecke wurde die Sauerstoff-Aufnahmefähigkeit einer Blutprobe eines Hundes bestimmt, der Hund dann 30 Minuten einem Gemisch von atmosphärischer Luft mit Kohlenoxyd ausgesetzt und nun dessen Blut abermals untersucht. Bei 10 Thln. Kohlenoxyd (0,1 Proc.) nahmen 100 ccm Blut 25,5 ccm, nach der Einwirkung des Kohlenoxydgemisches auf das Thier aber nur 15,4 ccm Sauerstoff, also 10,1 ccm weniger auf, und bei 2,5 Thln. (1 : 4000) Kohlenoxyd 21,1 und 19,9 ccm, demnach noch ein Unterschied von 1,2 ccm Sauerstoff, so daß also selbst bei dieser starken Verdünnung, welche mittelst des Spectralapparates nicht mehr nachgewiesen werden kann, noch eine entschieden nachtheilige Einwirkung stattfindet.

---

[1]) Husemann: Toxikologie, 1862, S. 645. Hirt: Gasinhalationskrankheiten, 1873, S. 16. — [2]) Lancet (1862), 1, 9. — [3]) Dingl. 1878, **230**, 92; 1880, **240**, 201. — [4]) Zeitschr. f. Biolog. (1878), **14**, 506. — [5]) Centralbl. f. medicin. Wiss. 1876, 353. — [6]) Compt. rend. **87**, 193; Ann. d'hyg. publ. 1879, 114.

Fodor hat durch eine größere Anzahl von Versuchen mit Kaninchen gefunden, daß bei einem Gehalt von 40 Thln. Kohlenoxyd (auf 10 000) Thiere nach 4 Stunden betäubt werden, bei 31 Thln. dies nach 24 Stunden geschieht und daß selbst 13 Thle. noch schwere Erscheinungen hervorrufen, wenn die so verunreinigte Luft mehrere Tage auf den Organismus einwirkt. Nun ist aber der Mensch noch empfindlicher gegen Kohlenoxyd als die Thiere, wie bereits Friedberg in seiner Abhandlung „Vergiftung durch Kohlendunst“ (Berlin 1866) nachgewiesen hat und wie daraus folgt, daß sich Thiere leicht von der Betäubung erholen, Menschen aber, sobald sie die Besinnung verloren haben, selten dem Leben erhalten werden können. Die Schädlichkeit des Kohlenoxydes wird aber unzweifelhaft nicht erst dann beginnen, wenn es bereits Besinnungslosigkeit, Erstickungsanfälle oder gar den Tod hervorruft. Weitere Versuche mit Kaninchen zeigten nun, daß selbst bei 5 Thln. Kohlenoxyd das Athmen erschwert wurde; die Thiere taumelten und nahmen kein Futter zu sich und waren selbst bei 2,3 Theilen noch schläfrig, so daß also selbst noch bei dieser Verdünnung das Kohlenoxyd die Gesundheit schädigt. Da es nun mindestens sehr wahrscheinlich ist, daß jedes Blutkörperchen, dessen Hämoglobin sich mit Kohlenoxyd verbunden, seine Lebensthätigkeit für immer eingebüßt hat, so ist das Kohlenoxyd für die Gesundheit nicht mehr gleichgültig, sobald es die Luft in einer solchen Menge enthält, daß es aus ihr durch das Blut des lebenden Thieres aufgenommen wird. Dieses geschieht aber, wie bereits erwähnt, selbst noch bei 0,4 Thln. auf 10 000, so daß selbst diese geringe Menge nicht gleichgültig für das Wohlbefinden sein wird.

M. Gruber[1]) findet dagegen neuerdings, daß Kaninchen zwar schon bei einem Gehalte der Athemluft von 6 bis 7 Thln. (0,06 bis 0,07 Proc.) ihr Verhalten änderten, daß aber trotz fortdauernder Zufuhr neuer Dosen des Giftes bei gleichbleibender Concentration eine Steigerung der Giftwirkung doch nur in sehr beschränktem Maße stattfindet. In kurzer Zeit, längstens in einer Stunde, sind die Symptome zu einer gewissen Höhe entwickelt, um dann auf dieser tage- oder stundenlang annähernd gleich zu bleiben, so daß innerhalb gewisser Grenzen jeder Concentration ein bestimmter Grad der Vergiftung entspricht. Daß die Höhe der Vergiftung von der Concentration und nicht von der Dauer der Einwirkung des Gases abhängt, folgert er aus Versuchen, bei denen, nach Ausbildung der Symptome, von einem höheren Kohlenoxydgehalte auf einen niedrigeren herabgegangen wurde. Trotz continuirlicher Zufuhr des Giftes nahmen die Vergiftungserscheinungen doch bedeutend ab und die Thiere erholten sich bis zu einem gewissen Grade oder auch völlig, wenn der Kohlenoxydgehalt niedrig genug war. Gruber athmete ferner an zwei auf einander folgenden Tagen je 3 Stunden lang einmal Luft mit 0,021 Proc., das andere Mal Luft mit 0,024 Proc. Kohlenoxyd ein. Obwohl in den Luftproben das Gas deutlich nachweisbar war, also jedenfalls auch in seinem Blute nach Fodor's Methode nachweisbar gewesen wäre, verspürte er doch nicht die geringste schädliche Wirkung. War auch die Dauer der Versuche kurz, so hält sie Gruber doch für die Unschädlichkeit des so verdünnten Gases beweisend. Nach Maßgabe der Thierversuche hätten sich in

[1]) Dingl. 1881, **241**, 220.

dieser Zeit bereits Symptome einstellen müssen; ja, wenn im Körper wirklich eine beträchtliche Anhäufung des Kohlenoxydes stattfände, dann hätte man eine arge Vergiftung erwarten müssen, wenn man bedenkt, daß die Blutmasse eines Erwachsenen etwa 1 Liter Sauerstoff bez. Kohlenoxyd zu binden vermag und in drei Versuchungsstunden mehr als 300 ccm Kohlenoxyd in die Lungen gelangten. Die Grenze der Schädlichkeit des Kohlenoxydgases liegt also wahrscheinlich bei einer Verdünnung von 0,05, sicher aber von 0,02 Proc., wie Gruber annimmt. Er erklärt dieses Resultat damit, daß das Kohlenoxydhämoglobin sich bei Körpertemperatur in beträchtlichen Massen dissociirt. Es wäre ohne Annahme der Abhängigkeit der Bildung desselben vom Partialdrucke des Kohlenoxydes auch unverständlich, warum die Vogel'sche Probe selbst bei Anwendung größerer Luftmengen im Stiche läßt. Das Blut nimmt nur einen kleinen Theil des vorhandenen Kohlenoxydes auf. Werden z. B. in eine 20-Liter-Flasche 2 ccm Kohlenoxyd gebracht, 10 ccm Blut zugefügt, geschüttelt, nach einiger Zeit das Blut entleert, die Reste mit Wasser ausgespült und wurde dieses Verfahren mit neuen Blutproben 3 und 4 mal wiederholt, so ist das Resultat stets das gleiche, ob jede Blutprobe 20 Minuten oder 3 Stunden mit der Luft in Berührung blieb. Alle Blutproben geben in Fodor's Apparate die Kohlenoxydreaction und, wenigstens die 3 oder 4 ersten, annähernd in gleicher Stärke. Auch die insbesondere von Pokrowsky angegebene, von Dybkowsky[1]) bestätigte Oxydation findet zweifellos statt. Sie erfolgt langsam schon bei gewöhnlicher Temperatur. Je mehr Oxyhämoglobin neben Kohlenoxydhämoglobin in einer Blutprobe enthalten ist, um so rascher wird die Oxydation verlaufen. Bringt man von den wie oben bereiteten 4 oder 5 Blutproben die vierte oder fünfte sogleich in Fodor's Apparat, während man die übrigen wohlverkorkt bei gewöhnlicher Temperatur stehen läßt, so ist in letzteren schon nach 6 Stunden kein Kohlenoxyd mehr nachweisbar, während die sogleich untersuchte starke Reduction bewirkte. Bei Körpertemperatur geht die Oxydation viel rascher vor sich. Im Organismus finden also jedenfalls beide Processe statt, das Ueberwiegen der Dissociation ist aber aus dem oben angegebenen Grunde wahrscheinlicher. —

Berücksichtigt man, daß die Empfindlichkeit verschiedener Personen gegen Kohlenoxyd sehr ungleich ist, so daß zuweilen von zwei Leuten, welche derselben Kohlenoxyd haltigen Atmosphäre ausgesetzt waren, nur der Eine starb, während der Andere mit leichten Kopfschmerzen davon kam[2]) — eine Erscheinung, die nach Hirt vielleicht in einer eigenthümlichen Beschaffenheit des Blutes begründet ist —, so wird man die Schädlichkeitsgrenze auf 2 bis 3 Theile setzen dürfen, wenn auch zugegeben werden soll, daß viele Leute, namentlich Raucher, erheblich größere Kohlenoxydmengen ohne nachweislichen Schaden ertragen. Da ferner die Bildung von Kohlenoxyd in der Zimmerluft vermeidbar ist, so darf man von einer dem Heizapparat entströmenden Luft wohl billig verlangen, daß 5 Liter derselben durch eine Lösung von Palladiumchlorür gesaugt, keine Fällung mehr bewirkt, entsprechend einem Kohlenoxydgehalt von etwa 2,5 Thln. auf 10 000 Thle. Luft.

---

[1]) Hoppe-Seyler: Medicinisch-chemische Untersuchungen 1866, 116. — [2]) Vgl. Dingl. 1881, 242, 71.

Als Ursache der Kohlenoxydbildung durch eiserne Zimmeröfen oder sogenannte Luftheizungsanlagen wurde früher wohl die Verbrennung des im Gußeisen enthaltenen Kohlenstoffes angeführt — eine Angabe, welche bereits von Regnault und Chevreul[1]) widerlegt wurde. Nach ihrer Ansicht kann Kohlenoxyd nur durch Verkohlung des auf die eisernen Heizflächen abgesetzten organischen Staubes in die Zimmerluft gelangen. — Die hierdurch gebildeten Kohlenoxydmengen können offenbar nur bei großer Fahrlässigkeit wahrnehmbar werden. Die hierbei gleichzeitig auftretenden empyreumatischen Stoffe machen sich z. B. bemerkbar, wenn ein Ofen nach längerer Zeit zum ersten Male wieder geheizt wird, ohne vorher abgestäubt zu sein. Deville und Troost[2]) erklären das Vorkommen von Kohlenoxyd und Wasserstoff in der Heizluft durch die Diffusion dieser Gase durch glühende Eisenwände, welche auch von Graham[3]) und neuerdings von Wolfhügel[4]) nachgewiesen wurde. Auch die französische Commission bestätigt diese Angabe; sie führt aber aus, daß dieser Fehler durch Auskleiden der eisernen Oefen mit feuerfesten Steinen vermieden würde. Zweifelhaft ist dagegen die Angabe von Cailletet[5]), daß Gußeisen auch bei gewöhnlicher Temperatur für Gase durchlässig sei. Diese Luftverunreinigung mit Kohlenoxyd läßt sich somit vermeiden, wenn man durch Aussetzen der Heizapparate mit feuerfesten Steinen das Glühendwerden der Eisenwände verhütet, sowie auch, wenn man durch passende Behandlung des Feuers die Bildung von Kohlenoxyd im Ofen selbst möglichst verhindert. Die entgegenstehenden Angaben von Fodor hat Verf. bereits früher widerlegt[6]).

Kommt die Verunreinigung der Luft mit Kohlenoxyd von einer Leuchtgasausströmung her, so ist zu berücksichtigen, daß, obgleich bei directer Ausströmung des Leuchtgases dessen charakteristischer Geruch schon erkennbar ist, wenn der Kohlenoxydgehalt erst 0,003 Proc. beträgt, daß dieser Geruch dagegen verschwindet, wenn das Gas durch eine Erdschicht nach bewohnten Räumen hin angesaugt wird, wodurch in München und Breslau[7]) wiederholt Vergiftungen mit tödtlichem Ausgange veranlaßt wurden. Biefel und Polecк[8]) haben Leuchtgas vor und nach seinem Durchgange durch eine Erdschicht untersucht:

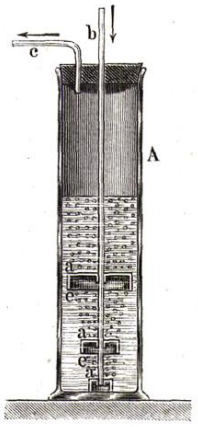
	Leuchtgas	Durch die Erdschicht geströmtes Gas
Kohlensäure	3,06	2,23
Schwere Kohlenwasserstoffe	4,66	0,69
Sumpfgas	31,24	17,76
Wasserstoff	49,44	47,13
Kohlenoxyd	10,52	13,93
Sauerstoff	0,00	6,55
Stickstoff	1,08	11,71
	100,00	100,00.

Wenn man die Bestandtheile des durch die Erdschicht gedrungenen mit der Zusammensetzung des unveränderten Gases vergleicht, so fällt zunächst in die Augen,

[1]) Dingl. 1865, **177**, 408. — [2]) Das. 1864, **171**, 201; 1868, **188**, 136. — [3]) Pogg. Ann. (1868), **134**, 326. — [4]) Zeitschr. f. Biolog. 1878, 526. — [5]) Dingl. 1865, **176**, 305; 1868, **189**, 125. — [6]) Dingl. 1879, **233**, 133; 1880, **235**, 443; **237**, 457. — [7]) Dingl. 1881, **240**, 203. — [8]) Zeitschr. f. Biolog. 1880, 279; Wagner's Jahresber. 1880, 908.

daß etwa 75 Proc. der schweren Kohlenwasserstoffe und mit ihnen die im Gase befindlichen Dämpfe der riechenden Theerbestandtheile condensirt worden sind; das Sumpfgas hat sich um etwa 50 Proc. vermindert, während der Wasserstoff nahezu derselbe geblieben ist und das Kohlenoxyd sich scheinbar sogar um 25 Proc. vermehrt hat. Ebenso entspricht der von der atmosphärischen Luft herrührende Sauerstoff und Stickstoff nicht dem Verhältniß ihrer Mischung. Das Verhalten der Gase gegen poröse Stoffe von so wechselnder Zusammensetzung wie der Erdboden, ist noch viel zu wenig gekannt, um eine genügende Erklärung für die hier vorliegenden Absorptions- und Diffusionsverhältnisse finden zu können. Wenn weitere Analysen die geringe Absorptionsfähigkeit für Kohlenoxyd bestätigen sollten, so würde darin die größte Gefahr derartiger Gasausströmungen um so mehr zu suchen sein, als sie sich zunächst kaum durch den Geruch verrathen. — Vor Anwendung der Ansell'schen Apparate[1]) zur Erkennung von Gasausströmungen kann nur gewarnt werden[2]), da er hierzu völlig untauglich ist.

Fig. 179.



Zum Nachweis der sonstigen Verunreinigungen der atmosphärischen Luft kann man oft vortheilhaft das auf reinen Flächen gesammelte Regenwasser[3]) benutzen. Anderenfalls saugt man eine größere Luftmenge durch Wasser, was passend mittelst der kleinen in Fig. 179 im Schnitt gezeichneten Vorrichtung geschieht. Die durch einen, zwischen der Wasserstrahlpumpe und Rohr *c* eingeschalteten Gasmesser gemessene Luft tritt durch das Rohr *b* in den hohen, zu etwa $^2/_3$ mit Wasser gefüllten Cylinder *A* und wird hier durch die mit breitem Rande *e* versehenen Siebplatten *a* wiederholt fein vertheilt.

Schwefelwasserstoff wird in dieser Lösung durch den Geruch, durch einige Tropfen Bleilösung oder auch in der Luft selbst durch Bleipapier erkannt. Zur quantitativen volumetrischen Bestimmung mittels einer Jodlösung ($J_2 + H_2S = 2HJ + S$) oder gewichtsanalytisch mit einer Lösung von Arsenigsäure (als As_2S_3) wird wohl kaum jemals eine genügende Menge dieses Gases vorhanden sein, obgleich es bei der Fäulniß von Abortstoffen[4]), bei der Zersetzung von Sodarückständen[5]) u. dergl. oft massenhaft entwickelt wird.

Schwefligsäure erkennt man theils am Geruch, wo das Gas in der Nähe von Röstöfen u. dergl.[6]) rein ist, theils durch seine bleichende Wirkung auf Pflanzenfarben. Quantitativ wird sie durch eine Jodlösung bestimmt: ($J_2 + SO_2 + H_2O = H_2SO_4 + 2HJ$.) Auch die Schwefligsäure oxydirt sich rasch zu

---

[1]) Dingl. 1867, **183**, *459. — [2]) Das. 1877, **223**, 547. — [3]) Ferd. Fischer, Chemische Technologie des Wassers; 75 bis 86. — [4]) Ferd. Fischer: Die menschlichen Abfallstoffe (Braunschweig 1882) S. 44. — [5]) Ferd. Fischer: Verwerthung der städtischen und Industrieabfallstoffe (Leipzig 1875); 129, 134. — [6]) Dingl. 1880, **235**, *219; **238**, 337; **241**, 124; Wagner's Jahresber. 1880, 247.

Schwefelsäure, so daß sie nur selten als solche nachzuweisen ist. In der Luft und im Regenwasser Hannovers hat dem Verfasser dieses z. B. nicht gelingen wollen, obgleich hier jährlich etwa 140 000 Tonnen Steinkohlen mit rund $1^1/_2$ Millionen Kilogr. Schwefel verbrannt werden und außerdem drei Ultramarinfabriken und zwei Schwefelsäurefabriken bedeutende Mengen dieses Gases in die Luft schicken. Uebrigens wird ein erheblicher Theil desselben bereits im Ultramarinofen [1]) und in den gewöhnlichen Feuerungsanlagen [2]) in Schwefelsäure übergeführt, wie Verfasser nachgewiesen hat.

Schwefelsäure wird mittels Chlorbaryum als Baryumsulfat gefällt und bestimmt, **Salzsäure**, bez. Chloride mit Silbernitrat.

Salpetersäure kann mit Brucin erkannt, mit Indigo bestimmt werden. Salpetrigsäure wird mit Jodkaliumstärkekleister erkannt, und mit der Salpetersäure zusammen als Stickoxyd bestimmt [3]).

Ammoniak. Der Nachweis desselben gelingt leicht in Regenwasser und in dem genannten Waschwasser, welches dasselbe wohl überall, wo Steinkohlen gebrannt werden, als Sulfat enthält. Zur quantitativen Bestimmung saugt Fodor [4]) 4 bis 6 cbm Luft zunächst durch einen Pfropfen Glaswolle, um den atmosphärischen Staub zurückzuhalten, dann durch zwei U-Röhren, in deren Schenkeln sich eine 30 cm hohe Schicht Glaswolle befindet, welche mit 4 ccm Schwefelsäure befeuchtet ist. Täglich wird etwa 1 cbm Luft hindurchgesaugt. Nach 4 bis 6 Tagen wird diese Lösung mit Wasser ausgespült, mit Kalkmilch destillirt und im Destillat das Ammoniak mit Neßler'schem Reagens colorimetrisch bestimmt. Sämmtliche Reagentien müssen von Ammon frei sein, oder es muß ihr Ammongehalt bekannt sein.

Während Scheele schon das Vorkommen von Ammoniak in der Atmosphäre kannte, sind zuverlässige Bestimmungen erst in neuerer Zeit gemacht. Im Cubikmeter Luft fand Truchot [5]) in Clermont Ferrand 0,93 bis 2,79 mg, Levy [6]) in Montsouris 0 bis 0,087 mg, im Mittel 0,0278 mg, Macagno (S. 205) 0,05 bis 0,8 mg. Fodor fand in Pest im Durchschnitt

Herbst 1878	0,0558 mg.
Winter 1878/9	0,0251 „
Frühling 1879	0,0303 „
Sommer	0,0488 „
Herbst	0,0344 „

Dieser Ammoniakgehalt ist wesentlich auf die überall stattfindenden Fäulnißprocesse zurückzuführen.

Organisches. Ira Remsen [7]) saugt die zu untersuchende Luft durch ein Rohr an, welches mit Wasser benetzte Bimssteinstückchen enthält, destillirt dann mit Natriumcarbonat und bestimmt das vorhandene Ammonik colorimetrisch mit Neßler'schem Reagens. Der Rückstand wird dann mit alkalischem Permanganat

---

[1]) Dingl. 1879, **221**, 472. — [2]) Dingl. 1879, **233**, 139. — [3]) F. Fischer: Chemische Technologie des Wassers. 126. — [4]) Fodor: Luft, Wasser und Boden. 74. — [5]) Compt. rend. **77**, 1159. — [6]) Compt. rend. **84**, 273; Fischer: Chemische Technologie des Wassers. 81. — [7]) National Board of health Bullet. II, Nr. 11. D. Viertelj. f. öffentl. Ges. 1881, 307.

gekocht und das durch Zersetzung der organischen Stoffe gebildete sog. Albuminoidammoniak ebenso bestimmt. In gleicher Weise untersuchte Sloeten[1]) die Luft in Krankenhäusern; er fand 1878 in 100 000 Cubikfuß bis 175 Gran Ammoniak und bis 400 Gran Albuminoidammoniak. Das Verfahren ist keineswegs genau. Einfacher und wohl ebenso brauchbar ist die Prüfung des Wassers nach dem Durchstreichen der Luft mit übermangansaurem Kalium[2]).

Zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffes in der Luft saugen Dupre und Hake[3]) dieselbe durch Barytwasser, um den Kohlensäuregehalt festzustellen, sodann eine gleiche Luftmenge nach der Filtration durch Asbest über glühendes Kupferoxyd und dann durch den Absorptionsapparat. Der Unterschied der beiden Kohlensäurebestimmungen wird auf organischen Kohlenstoff berechnet. 10 Liter Luft enthielten danach 0,1 bis 0,2 mg organischen Kohlenstoff. — Den doch wahrscheinlich vorhandenen Kohlenoxydgehalt der Londoner Luft haben die Verfasser nicht berücksichtigt.

A. Müntz[4]) hat mittels der Jodoformreaction in der Luft, im Boden und in allen Wassern Alkohol aufgefunden; er führt denselben auf die Fäulnißprocesse zurück.

Im Allgemeinen ist die Untersuchung der atmosphärischen Luft auf organische Stoffe noch mangelhaft.

Staub. Zur Bestimmung des Staubes in der Atmosphäre saugte Pasteur[5]) die Luft durch Schießbaumwolle, welche er zur Isolirung des Staubes dann in Aetheralkohol löste. Fodor (a. a. O. S. 92) saugt die Luft durch ein Rohr mit Glaswolle; er fand im Cubikmeter Luft im Durchschnitt 0,4 mg Staub. Maddox[6]), Miquel[7]) u. A. leiten die angesaugte Luft gegen eine mit Glycerin überzogene Fläche. Smith[8]) schüttelte Wasser mit der zu untersuchenden Luft, Andere ließen die Luft durch das Wasser hindurchstreichen.

Die Menge des Staubes ist natürlich ungemein verschieden, je nach dem Ort der Beobachtung, dem Wetter und der Luftfeuchtigkeit. Die unorganisirten Theile desselben sind theils cosmischen Ursprungs, wie Tissandier[9]) nachwies, zum größten Theil werden sie aber gebildet vom Straßenstaub, dem Kohlenruß, dem Flugstaub der Fabriken, so daß in denselben alle möglichen Stoffe vorkommen können. Besonders wichtig sind aber die organisirten Bestandtheile. F. Cohn[10]) und Miflet haben mittels einer Wasserstrahlluftpumpe die auf Bakterien zu untersuchende atmosphärische Luft durch Lösungen von Malzextract oder Fleischextract gesaugt, die Flüssigkeiten drei Tage bei 30° stehen lassen und nun mikroskopisch untersucht. Sie fanden so in der Luft zahlreiche entwickelungsfähige Bakterienkeime, bis jetzt aber nicht Bacterium Termo, Spirillum und Spirochaete. Besonders reich war die Luft aus Cloaken an Bakterien. P. Miquel[11]) hat gefunden, daß

---

[1]) Journ. Americ. Chem. Soc. 1, 263. — [2]) Ferd. Fischer: Chemische Technologie des Wassers S. 124. — [3]) Chem. News (1881) **43**, 69. — [4]) Compt. rend. **92**, 499. — [5]) Compt. rend. **50**, 302; **85**, 178. — [6]) Compt. rend. **47**, 979; Monthly microscop. journ. 3, 283. — [7]) Compt. rend. **86**, 1552. — [8]) Smith: Air and Rain (London 1872), S. 487. — [9]) Compt. rend. 80, 58; **82**, 388. — [10]) Biologie der Pflanzen 1879, Bd. 3, Heft 3, S. 119. — [11]) Compt. rend. **86**, 387, 1552; **91**, 64.

die Anzahl der Bakterien in der atmosphärischen Luft im Winter sehr klein ist, im Frühjahr rasch wächst, um bei Eintritt des ersten Frostes sehr rasch wieder abzunehmen. Ebenso verhalten sich die Sporen der Schimmelpilze. Im Sommer und Herbst ist jedoch die Anzahl der Bakterien in der Atmosphäre am größten bei trockner Luft, während bei feuchtem Wetter die Schimmelpilze überwiegen. Seltener fand er in der Luft Rhizopoden und Eier von Infusorien. Auch Hansen[1]) u. A.[2]) fanden in der Atmosphäre zahllose Bakterien und Pilze. Besonders umfassende Versuche über diese niederen Organismen in der Atmosphäre hat aber Fodor[3]) ausgeführt, auf welche hier verwiesen werden muß.

Untersuchung der Feuergase.

Geschichtliches. Die ersten Analysen von Verbrennungsgasen scheint Peclét[4]), und zwar im Jahre 1827, ausgeführt zu haben. Er ließ eine mit Wasser gefüllte Flasche in den Gasen, welche aus dem Schornsteine eines Dampfkessels entwichen, auslaufen, absorbirte die Kohlensäure dieser Gase mit Kali, den Sauerstoff durch Phosphor und fand so, daß bei gewöhnlichen Feuerungen nur die Hälfte der zugeführten Luft zur Verbrennung dient. Die ersten wissenschaftlich durchgeführten und damit auch die ersten zuverlässigen Analysen von Verbrennungsgasen liegen jedoch von R. Bunsen[5]) vor, während die Analysen von Ebelmen[6]) nur wenig Anspruch auf Genauigkeit machen können. Daran schließen sich die Versuche von Combes (1847), C. de Marsilly[7]), Cailletet[8]), Scheurer-Kestner[9]), Cl. Winkler u. A.; aber erst in den letzten Jahren hat sich die Erkenntniß allgemeiner Bahn gebrochen, daß die Untersuchung der Rauchgase auch für die Technik von hohem Werthe ist.

Probenahme. Ebelmen[10]) saugte die zu untersuchenden Gase mittels eines Gasometers, welches Queckſilber oder auch wohl Wasser mit einer aufschwimmenden Oelschicht enthielt, an, nachdem dieselben ein Rohr mit Bimssteinstückchen und Schwefelsäure zur Bestimmung des Wassergehaltes durchstrichen hatten. Scheurer-Kestner[9]) sog das Gas in ähnlicher Weise durch ein Platinrohr mit einem Schlitz *ab* Fig. 180 (a. f. S.) durch Ausfließenlassen von Queckſilber, später nach dem Vorschlage von Saint Claire-Deville[10]) mittels einer eigenthümlichen Wasserluftpumpe langsam an, um so eine Durchschnittsprobe der Gase, welche innerhalb mehrerer Stunden entweichen, zu bekommen. Da Wasser für die Gase ein sehr verschiedenes Lösungsvermögen besitzt, so kann das Ansaugen hiermit nur ungenaue Resultate geben. Weinhold[11]) erinnert daran, daß selbst ein solches Schlitzrohr

---

[1]) Zeitschr. f. d. ges. Brauwes. 1880, S. 277, 471. — [2]) F. Fischer: Verwerthung der städtischen Industrieabfallstoffe S. 14. — [3]) Fodor: Luft, Boden u. Wasser S. 97 bis 132. — [4]) Peclét: Traité de la chaleur 1, S. 299. — [5]) Dingl. 1839, **71**, 321. — [6]) Dingl. 1842, **85**, 35; **88**, 288; 1851, **119**, 350. — [7]) Bull. de la Soc. industr. d'Amiens. 1862, 57. — [8]) Bull. de la Soc. chim. (1866), **6**, 104. — [9]) Dingl. 1870, **196**, 28. — [10]) Bull. de la Soc. industr. Mulh. 1868; Civilingen. 1869, S. *158. — [11]) Dingl. 1876, **219**, 411.