universität innsbruck
Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Die chemische Technologie der Brennstoffe

Chemischer Theil

Fischer, Ferdinand

1897

Untersuchung der Feuergase

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

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.

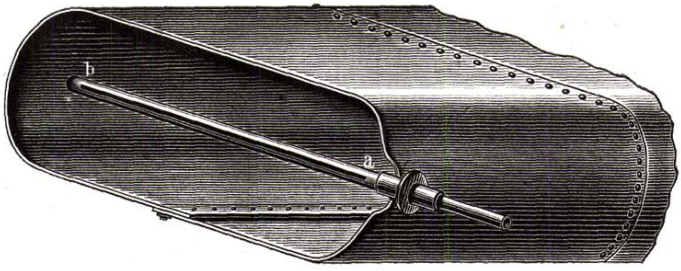
Probenahme. Ebelmen[10]) saugte die zu untersuchenden Gase mittels eines Gasometers, welches Queckſilber oder auch wohl Wasser mit einer aufschwimmenden Oelschicht enthielt, an, nachdem dieselben ein Rohr mit Bimssteinstückchen und Schwefelsäure zur Bestimmung des Wassergehaltes durchstrichen hatten. 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.

nicht die Gewißheit einer vollständigen Durchschnittsprobe giebt. Er saugt die Gase mittels eines Messingrohres in eine Flasche von 8 bis 10 Liter Inhalt durch Ausfließenlassen von Wasser langsam an, welches, wie bei Ebelmen, mit einer Oelschicht bedeckt ist, und untersucht die so erhaltene Durchschnittsprobe.

Fig. 180.



Scheurer-Kestner untersuchte 14 in der angegebenen Weise gesammelte Durchschnittsproben der Verbrennungsgase einer Dampfkesselfeuerung; in folgender Tabelle

Versuchsnummer	Ueberschüssige Luft	Zusammensetzung der Gase						Unverbrannt entwichen		Auf 1 qm Rostfläche stündlich verbrannte Kohle	Höchste Temperatur der Austrittsgase	Auf einmal aufgegebene Kohlenmenge	Pausen zwischen dem Aufgeben	Dauer der Gasentnahme
		Stickstoff	Kohlensäure	Sauerstoff	Brennbare Gase									
					Kohlenoxyd	Kohlenstoff	Wasserstoff	Kohlenstoff	Wasserstoff					
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	k	Grad	k	Min.	Min.
12	6,66	80,38	14,87	1,41	0,84	1,15	1,35	18,8	9,5	40	119	7	5	—
11	10,47	80,60	14,16	2,18	0,97	0,98	1,11	18,6	7,4	47	128	14	8	—
9	13,32	80,66	14,63	2,80	0,86	0,49	0,56	11,9	4,2	47	126	7	4	3
13	17,61	81,52	13,34	3,77	—	0,46	0,91	6,8	7,8	40	135	7	5	—
14	20,94	80,23	13,43	4,42	0,42	0,32	1,41	6,3	9,6	40	—	14	10	—
6	25,09	79,92	13,46	5,27	—	0,52	1,08	7,6	21,7	—	—	—	—	8
8	26,18	80,34	12,89	5,53	—	0,28	1,96	4,6	22,3	23	93	7	8	3
4	26,32	78,75	13,80	5,53	—	0,86	1,06	12,4	20,7	—	—	—	—	1
10	42,84	79,76	10,87	8,99	—	0,19	0,19	3,1	6,3	92,5	156	7	2	3
5	51,42	79,88	8,62	10,83	—	0,14	0,53	3,2	17,7	45	—	—	—	8
7	53,78	79,86	8,23	11,35	—	0,04	0,52	0,9	18,1	16,6	94	6	10	3

sind die erhaltenen Resultate zusammengestellt, nur die drei ersten, unvollständigen Analysen sind fortgelassen. Die verbrannte Steinkohle von Ronchamp hatte folgende Zusammensetzung:

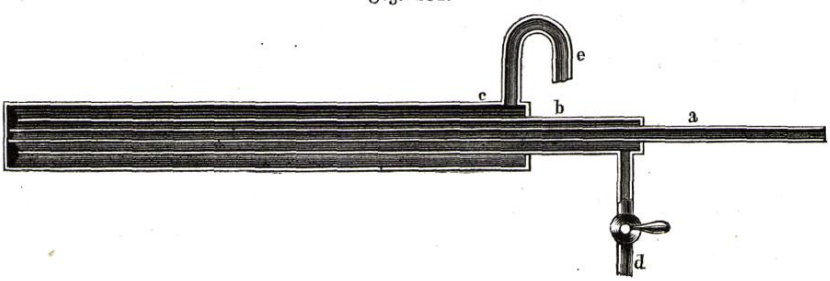
Kohlenstoff	70,0
Wasserstoff	4,0
Sauerstoff	4,0
Stickstoff	1,0
Asche	21,0
	100,0

Diese Angaben zeigen hinlänglich, daß derartige Durchschnittsanalysen kein richtiges Bild der Verbrennungsvorgänge geben können, daß sie daher von nur geringem Werthe sind. In weitaus den meisten Fällen empfiehlt es sich, eine Reihe rasch auf einander folgender Augenblicksanalysen auszuführen.

Schinz[1]) zog die Gase aus dem Rauchcanal durch Ausfließenlassen von Quecksilber und ließ dieselben direct in das Eudiometerrohr aufsteigen. Die Vorrichtung ist schwerfällig; noch weniger empfehlenswerth ist aber das Verfahren von Marsilly (S. 219), die Gase in ausgepumpte Kupfercylinder aufzufangen.

Zum Ansaugen der Gasproben genügen wohl überall die kleinen Gummigebläse (vergl. S. 207). Handelt es sich darum, Gase aus Oefen anzusaugen, deren Temperatur so hoch ist, daß man Dissociationserscheinungen vermuthet, so kann man, um eine nachträgliche Vereinigung derselben möglichst zu verhindern, dieselben durch ein Rohr *a* (Fig. 181) ansaugen, welches von zwei Röhren *b* und *c*

Fig. 181.



umgeben ist, die von *d* nach *e* von Wasser durchflossen werden[2]). Vor Anwendung nicht gekühlter Metallröhren ist dringend zu warnen, da sie aus Sauerstoff haltigen Gasen diesen schon bei niederen Temperaturen theilweise aufnehmen, an reducirende Gase aber wieder abgeben. Mir selbst ist es vorgekommen, daß Generatorgase, durch ein höchstens schwach rothwarm gewordenes Eisenrohr angesaugt, 26 Proc. Kohlensäure, durch Glasrohr angesaugt aber nur 1,5 Proc. Kohlensäure enthielten[3]). Für Temperaturen unter 600 bis 700° nehme man daher Glasrohre, für höhere Hitzegrade aber Porzellanrohre (Königl. Porzellanmanufactur in Berlin), welche in die Wandung des betreffenden Gasbehälters eingelassen werden, worauf man die Fugen dicht mit Lehm u. dgl. verstreicht. Ist man zweifelhaft, ob die Gase gut gemischt waren, so nimmt man zur Controle an irgend einer anderen Stelle des betr. Ofens oder Gascanales ebenfalls gleichzeitig einige Gasproben.

[1]) Heizung und Ventilation in Fabrikgebäuden (Stuttgart 1861), S. *64. — [2]) Vgl. Cl. Winkler: Untersuchung der Industriegase II. S. *16. — [3]) Vgl. Dingl. 1879, 232, 528.

Kann man die Gasproben nicht an Ort und Stelle untersuchen, so saugt man sie passend durch etwa 100 ccm fassende Glaskugeln (Fig. 182) an, schmilzt mit dem Löthrohr bei *c* ab und kann die Analyse nun zu gelegener Zeit ausführen. Um z. B. die Gase aus Bessemerbirnen zu untersuchen, ließ ich die Mündung des Porzellanrohres *e* (Fig. 183) etwa 5 cm aus dem stützenden Eisenrohr *b* vorstehen, verband beide mit einem Wulst von Chamottemasse *a*, und vorher das Porzellanrohr bei *c* mit Thon und Wasserglas mit einem Glasrohr *z*, welches wieder mittels Gummischlauch *g*

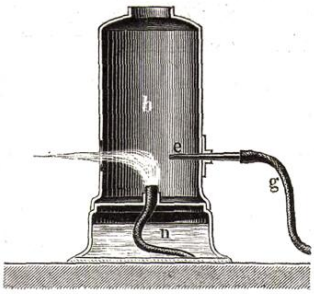
Fig. 182.

mit einer Anzahl der erwähnten Kugeln verbunden war, worauf schließlich der Gummiaspirator folgte. Das Rohr wurde nun wagerecht so auf die Mündung der Bessemerbirne gelegt, daß die Mündung des Porzellanrohres mitten im Gasstrom war, mittels des Gummiaspirators die Gase angesaugt und nun von zwei zu zwei Minuten eine Kugel abgeschmolzen.

Fig. 183.

Um dieses Abschmelzen auch im Freien bequem ausführen zu können, verwende ich eine kleine Oelflamme *n*, deren Messingmantel *b*, wie der Durchschnitt Fig. 184 zeigt, die durch Schlauch *g* mit entsprechendem Mundstück verbundene Löthrohrspitze *e* trägt. Dieser gegenüber ist ein Ausschnitt in dem abgeplatteten Mantel angebracht, aus welchem die Löthrohrflamme heraustritt.

Fig. 184.



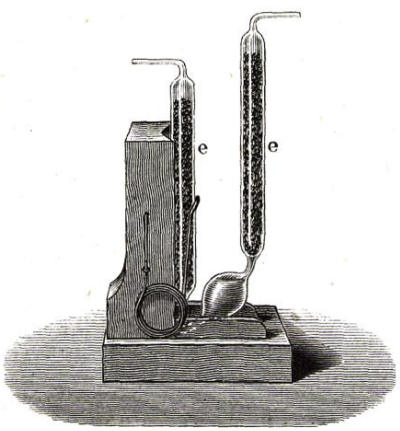
Zur **Bestimmung des Rußes** saugt Scheurer-Kestner[1]) nach dem Vorschlage von Minary die Rauchgase durch ein mit einer 20 cm langen Asbestschicht versehenes Verbrennungsrohr an, trocknet, verbrennt den abgesetzten Ruß im Sauerstoffstrom und berechnet die Menge desselben aus der gebildeten Kohlensäure. Er führte in dieser Weise folgende zwei Versuche aus: Bei lebhaftem Feuer wurden während einer Stunde 86 Liter Gase, welche 8,5 Proc. Kohlensäure und 53,4 Proc. überschüssige Luft enthielten,

[1]) Dingl. 1870, **196**, 34.

angesaugt und beim Verbrennen des Rußes im Sauerstoffstrome 70 mg CO_2 erhalten. Die 15200 Liter Gas, welche nach obiger Analyse für 1 *k* Steinkohle verwendet wurden, enthielten somit 3,61 g Kohlenstoff; der Verlust an Ruß betrug somit 0,48 Proc. des in der Kohle enthaltenen Kohlenstoffes. Bei gedämpftem Feuer und sehr schwachem Zuge enthielten die Verbrennungsgase 14,8 Proc. Kohlensäure und 6,7 Proc. überschüssige Luft, sowie in 57 Liter 55 mg Kohlenstoff, entsprechend 1,27 Proc. Verlust.

Der **Wassergehalt** der Verbrennungsgase ist oft (Ziegel-, Potasche-, Hohofen) so groß, daß sich ein Theil desselben schon in dem Ansaugrohr verdichtet, so daß eine genaue Bestimmung hier kaum ausführbar. Die Brennstoffe enthalten meist so viel Wasser, daß die directe Bestimmung des in den Gasen enthaltenen weniger Werth hat. Ist sie aber erforderlich, so werden 40 bis 50 Liter des Gases durch eine dünne Schicht Asbest, dann durch concentrirte Schwefelsäure angesaugt, aus dessen Gewichtszunahme die Menge des Wasserdampfes in bekannter Weise berechnet wird. Empfehlenswerth hierfür ist der kleine Apparat von C. Reischauer (Fig. 185), bei welchem die beiden senkrechten, mit Bimssteinstückchen gefüllten Schenkel *e* unten durch eine in der Richtung des Gasstromes schräg ansteigende Kugel verbunden sind, so daß es leicht ist die Bimssteinstückchen durch Neigen des Apparates mit der in der Kugel befindlichen Schwefelsäure zu benetzen. Als Halter für diese Röhren dient die hölzerne mit dreieckiger Rinne zur Aufnahme des einen Schenkels versehene Vorrichtung. Durch eine Feder von Eisendraht mit doppelter Spiralwindung, deren Ende rechtwinklig umgebogen ist und auf den einen Schenkel drückt, wird der Apparat darin festgehalten, ist indeß behufs Reinigung oder neuer Beschickung mit der betreffenden Flüssigkeit durch Abbiegen der Feder leicht auszulösen.

Fig. 185.



Gewichtsanalyse. Ebelmen[1]) saugt 2 Liter der betreffenden Gase mittels eines Aspirators durch einen Liebig'schen Kaliapparat zur Bestimmung der Kohlensäure, leitet das Gas dann durch ein mit metallischem Kupfer und Kupferoxyd gefülltes Rohr und läßt es schließlich durch ein Chlorcalciumrohr und einen Kaliapparat streichen. Den Sauerstoff berechnet er aus der Gewichtszunahme des Rohres, die brennbaren Gase aus der durch das Kupferoxyd gebildeten Kohlensäure und dem Wasser, und zwar den Kohlenstoff derselben als Kohlenoxyd, den Wasserstoff als freien Wasserstoff. Er findet so viel mehr Sauerstoff und brenn-

[1]) Ebelmen: Chemie, céramique 1861, II. S. 585.

bare Gase, als überhaupt vorhanden sein können; dies zeigen auch folgende von Debette in gleicher Weise ausgeführte Analysen der Rauchgase eines Steinkohlenfeuers:

Kohlensäure	7,73	8,61
Kohlenoxyd	0,01	0,47
Sauerstoff	14,27	13,80
Wasserstoff	1,63	1,14
Stickstoff	76,36	75,98.

Keller[1]) und Scheurer-Kestner[2]) verfahren ebenso; letzterer vermeidet aber den erwähnten Fehler durch directe eudiometrische Bestimmung des Sauerstoffes mit Stickoxyd oder pyrogallussaurem Kalium, giebt jedoch selbst zu, daß der Wasserstoff auf diese Weise etwas zu hoch gefunden werde, da das Chlorcalciumrohr einige Male auch bei gleicher Behandlung von atmosphärischer Luft eine Gewichtszunahme zeigte. Uebrigens giebt auch die Sauerstoffbestimmung mit Stickoxyd unzuverlässige Resultate, da je nach den Mengenverhältnissen der Mischung N_2O_3 oder NO_2, selbst HNO_3 gebildet wird.

Fresenius[3]) leitet die Gase aus Generatoren, Hohöfen u. dgl. zunächst durch ein Chlorcalcium- und ein Natronkalkrohr zur Bestimmung der Feuchtigkeit und der Kohlensäure, dann durch glühendes Kupferoxyd und berechnet aus der gebildeten Kohlensäure und dem Wasser den Gehalt der brennbaren Gase an Kohlenstoff und Wasserstoff. Sauerstoff wird nicht bestimmt; Fresenius meint aber, daß dies durch Wiegen des Verbrennungsrohres geschehen könne. Stöckmann[4]) verfährt ebenso; er berechnet den Kohlenstoff und Wasserstoff der brennbaren Gase auf Kohlenoxyd, Grubengas und Wasserstoff. Er findet auf diese Weise übrigens einen auffallend hohen Gehalt an Wasserstoff; die Gase eines Kokeshochofen hatten z. B. folgende Zusammensetzung:

Kohlensäure	12,35
Kohlenoxyd	24,46
Kohlenwasserstoff (CH_4)	0,37
Wasserstoff	4,97
Stickstoff	57,85
	100,00.

Da bei diesen Gewichtsanalysen immer größere Mengen der zu untersuchenden Gase erforderlich sind, sollen nicht die unvermeidlichen Versuchsfehler das Resultat völlig unsicher machen, da ferner der Sauerstoff nicht genau bestimmbar ist, die Kohlenwasserstoffe nicht unterschieden werden, so ist dieses Verfahren nur in wenigen Fällen dem volumetrischen vorzuziehen.

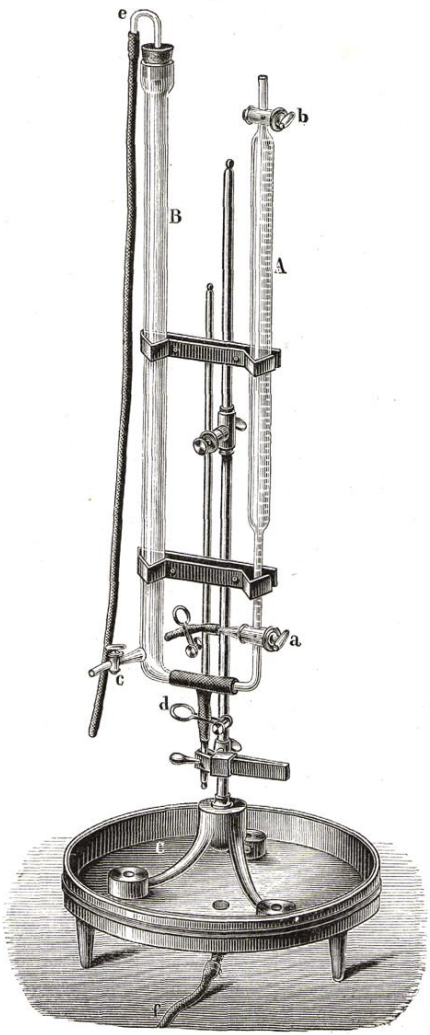
Apparate zur volumetrischen Bestimmung. Die zur volumetrischen Untersuchung der Feuergase verwendeten Apparate sind theils solche, bei denen Absorption und Messung in demselben Rohr erfolgt, während bei den übrigen Arbeitsrohr und Meßrohr getrennt sind.

---

[1]) Dingl. 1855, **135**, 393. — [2]) Dingl. 1870, **196**, *30. — [3]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1864, *343. — [4]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1875, 47; Stöckmann, Die Gase des Hochofens S. *3.

Zu den Apparaten der ersteren Art gehört außer dem Eudiometer von Bunsen (S. 188) die Gasbürette von Cl. Winkler[1]). Die beiden Schenkel *A* und *B* (Fig. 186) sind an der Krümmungsstelle durch ein Stück Kautschukrohr verbunden, dessen nach unten führender Ansatz die Reinigung sehr erleichtert. Der Apparat steht passend auf einem Untersatz *C* mit bleiernem Abfallrohr *f*. Zunächst wird das getheilte Rohr *A* mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt, worauf man die beiden Hähne *a* und *b* abschließt.

Fig. 186



Die Absorptionsflüssigkeit wird in das Rohr *B* eingeschüttet, dann das sich unter dem Dreiweghahn *a* sammelnde Gas durch die Längsbohrung desselben nach außen geleitet, worauf man durch Senkrechtstellung des Hahnes die Verbindung zwischen beiden Röhren herstellt. Zur Erleichterung des Eintrittes der Absorptionsflüssigkeit in das Rohr *A* kann man durch das Rohr *e* etwas Luft einblasen. Um nun die eingedrungene Flüssigkeit mit dem in *A* befindlichen Gase in innigste Berührung zu bringen, ist das Stativ, welches die Schenkelröhre trägt, so eingerichtet, daß man diese wechselweise vertical und horizontal stellen kann. Bevor man ihr Horizontalstellung giebt, hat man den Hahn *a* in die frühere abschließende Stellung zu bringen, weil sonst sehr leicht Gas aus der Röhre austreten kann. Bei der Horizontalstellung der Röhre erfolgt nun die Absorption äußerst lebhaft, wie man wahrnimmt, wenn man dem Apparate wieder senkrechte Lage giebt und den Hahn *a* aufs Neue öffnet. Sofort dringt weitere Flüssigkeit mit Beschleunigung in die Meßröhre ein. Dieses Wenden oder Wiegen des Apparates setzt man, unter jedesmaligem Abschließen des Hahnes *a*, so lange fort, bis kein weiteres

[1]) Dingl. (1876) 219, *413. Winkler: Untersuchung der Industriegase II, S. *133; Journ. f. prakt. Chem. (1872) 6, *203.

Eindringen von Flüssigkeit mehr bemerkt werden kann, wozu in den meisten Fällen eine Zeitdauer von wenigen Minuten erforderlich ist. Mittels des Abflußrohres *c* oder des Schlauches *d* stellt man dann die Flüssigkeiten in beiden Röhren gleich hoch, worauf die Menge der eingetretenen Flüssigkeit der des absorbirten Gases entspricht. Handelt es sich um die Ausführung einer ganzen Analyse, so wendet man zweckmäßig eben so viele Apparate an, als man Bestimmungen zu machen hat. Man koppelt dieselben durch Kautschukschläuche an einander, saugt sie gemeinsam voll und hat nun eine der Zahl der Apparate entsprechende Anzahl genau bestimmter Gasvolumina dicht abgeschlossen zur Verfügung, welche unter gleichen Druck- und Temperaturverhältnissen und mit Wasserdampf gesättigt zur Absperrung gelangten, so daß, da es sich nur um Feststellung der Volumverhältnisse handelt, die üblichen Correctionen entbehrlich werden. Da in jedem der zusammengekoppelten Apparate ein anderer Gasbestandtheil bestimmt wird, so wird ein jeder auch eine andere Absorptionsflüssigkeit enthalten müssen. So absorbirt man z. B. in dem einen Kohlensäure durch Kalilauge, in einem zweiten Sauerstoff mittels alkalischen Pyrogallols, in einem dritten Kohlenoxyd durch Kupferchlorürlösung. Werden zwei verschiedene Gase gleichzeitig von ein und derselben Absorptionsflüssigkeit aufgenommen, so muß man das eine vor dem Einfüllen der Gasprobe in die Meßröhre entfernen.

F. M. Raoult[1]) füllt die einfache Bürette Fig. 187 mit dem zu untersuchenden Gase, taucht sie mit dem Hahn *b* in Wasser, öffnet diesen bis die Flüssigkeit genau auf dem Theilstrich 100 steht und öffnet dann den oberen Hahn um das Gas unter Atmosphärendruck zu bringen. Man saugt nun mittels Gummischlauch aus dem senkrecht gestellten Rohr nach Oeffnung des Hahnes *b* vorsichtig das Wasser ab, schließt den Hahn ohne daß Luft eintritt, füllt den Trichteraufsatz mit der Absorptionsflüssigkeit und öffnet Hahn *a*, so daß die Flüssigkeit eindringt. Nach beendeter Absorption gießt man durch den Trichteraufsatz bei geöffneten Hähnen Wasser ein, um die Absorptionsflüssigkeit zu entfernen, stellt wieder auf Atmosphärendruck ein und liest ab. In gleicher Weise kann ein zweiter oder dritter Bestandtheil bestimmt werden.

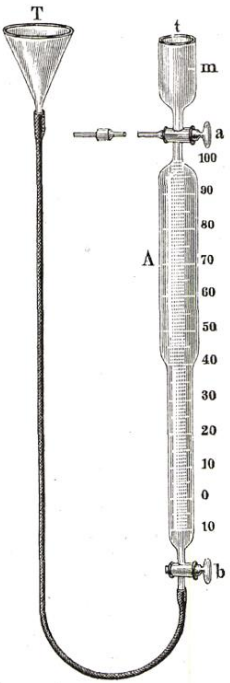
Diesen Apparat hat H. Bunte[2]) verbessert (Fig. 188). Um Gas in die Bürette zu füllen, schiebt man einen Kautschukschlauch, der mit der Gasleitung verbunden ist, über die Spitze des Dreiweghahnes *a* und setzt das Innere des Meßrohres durch Drehung dieses Hahnes mit der axialen Bohrung desselben in Verbindung. Man saugt sodann bei geöffnetem Hahn *b* so lange Gas durch die Bürette, bis die vorher eingeschlossene Luft durch das zu untersuchende Gas verdrängt ist und schließt die Hähne *a* und *b*. Die Spitze des Hahnes *a* wird durch ein Stückchen Kautschukschlauch mit Glasstopfen oder Quetschhahn geschlossen und der Trichter *t* bis zur Marke *m* mit Wasser gefüllt. Um das unter beliebigem Druck eingeschlossene Gasvolum auf 100 ccm und unter bekannten Druck zu bringen, drückt man mittels eines Trichters *T* und ein daran schließendes enges Kautschukrohr in der gezeichneten Anordnung Wasser von unten in die Bürette bis zum

[1]) Compt. rend. 82, *844. — [2]) Journ. f. Gasbeleucht. 1877, *447; Dingl. (1878) 227, *167; 228, *529.

Nullpunkt, indem man selbstverständlich Sorge trägt, daß das Kautschukrohr vor der Verbindung mit der Bürette sich vollständig mit Wasser füllt. Setzt man nun, nachdem *b* geschlossen, durch eine Drehung des Hahnes *a* das Innere der Bürette mit dem mit Wasser gefüllten Trichter in Verbindung, so entweicht ein Theil des Gases in Blasen, bis der eingeschlossene Rest unter dem Druck der Atmosphäre und einer Wassersäule von einigen Centimeter steht. Das im Trichteraufsatz *t* befindliche Wasser wird capillar in dem Verbindungsrohr und der Hahnbohrung festgehalten und bleibt über dem in der Bürette eingeschlossenen Gas stehen, ohne daß Wasser eindringen oder mehr Gas entweichen kann. In derselben Weise kann bei jedem beliebigen Stand der Flüssigkeit im Meßgefäß das eingeschlossene Gas unter gleiche Druckverhältnisse gebracht werden. Man saugt das Wasser bis auf einen geringen Rest aus der Bürette und schließt den Hahn *b*. Das Absorptionsmittel wird in eine Porzellanschale gegossen und die untere Spitze der Bürette unter den Flüssigkeitsspiegel getaucht; öffnet man nun den Hahn *b*, so wird das flüssige Absorptionsmittel eingesaugt. Nachdem der Hahn *b* wieder geschlossen ist, wird zur Beschleunigung der Absorption die Bürette horizontal gelegt, oder besser geschüttelt. Um einer vollständigen Absorption des Gemengtheiles durch das angewendete Reagens sicher zu sein, läßt man nach dem Umschütteln abermals Absorptionsflüssigkeit eintreten und wiederholt dieses bis der Stand der Flüssigkeit im Meßrohr constant bleibt. Vor der Ablesung setzt man durch Drehen des Hahnes *a* das Meßrohr mit dem Wasser im Trichter *t* in Verbindung; es fließt Wasser ein, bis sich der frühere Druck wieder hergestellt hat; nöthigenfalls wird der Trichter bis zur Marke *m* mit Wasser aufgefüllt. Die Ablesung ergiebt direct den Procentgehalt des untersuchten Gases an dem absorbirten Bestandtheil.

Fig. 187.

Fig. 188.

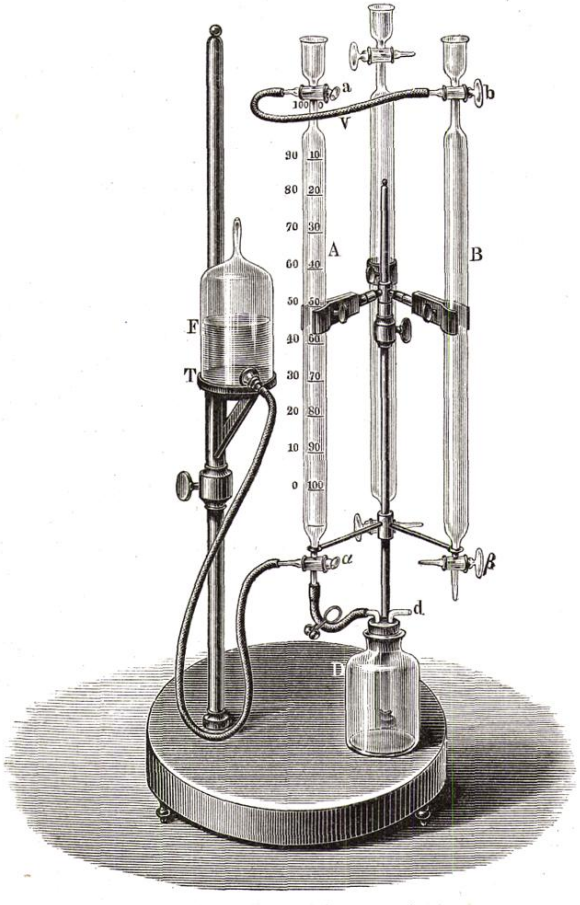


M. Liebig[1]) befestigt drei oder mehr, etwa 105 ccm fassende Büretten derart an einem Gestell (Fig. 189 a. f. S.), daß sie zur Beschleunigung der Reaction auch senkrecht und wagrecht gestellt werden können. Die Flasche *D* dient zur Aufnahme der ausgenutzten Absorptionsflüssigkeiten. Dieselbe ist mit einem zwei-

[1]) Dingl. (1873) **207**, *37; (1879) **233**, *396.

fach durchbohrten Kautſchukſtopfen geſchloſſen, welcher zwei rechtwinklig gebogene Glasröhrchen trägt. Während das bis auf den Boden der Flaſche reichende Röhrchen durch einen Kautſchukſchlauch mit dem Rohranſatz der Bürette verbunden iſt, iſt am Rohr *d* ein Schlauchſtück befeſtigt, welches mit einer kleinen gläſernen Waſſerſtrahlpumpe in Verbindung gebracht wird. Die Arbeit mit dem Apparate iſt nun folgende. Der Hahnſchlüſſel des Hahnes *a* wird mittels eines Kautſchukſchlauches mit dem Raume verbunden, aus welchem das zu analyſirende

Fig. 189.



Gas entnommen werden ſoll, und die Verbindung mit dem Innern der Bürette *A* hergeſtellt; ferner das Innere der Bürette, welche unten durch geeignete Hahnſtellung abgeſchloſſen war, mit der Flaſche *D* unter gleichzeitiger Lüftung des Quetſchhahnes verbunden und dadurch mittels der Waſſerſtrahlpumpe ſo lange Gas durch den Apparat geſaugt, bis man alle Luft durch daſſelbe verdrängt glaubt, worauf man die Bürette nach Schluß des Quetſchhahnes oben durch Drehung

des Hahnes *a* um 180° abschließt. Man dreht nun auch den unteren Hahn *α* um 90°, so daß die Flasche *F* mit der Flasche *D* in Verbindung steht, sobald der Quetschhahn geöffnet wird. Jetzt wird der Quetschhahn so lange gelüftet, bis etwas Flüssigkeit aus *F* in *D* erscheint, wodurch alle Luft und alles Gas aus den Schläuchen verdrängt wird. Nach erfolgtem Schluß des Quetschhahnes wird der Hahn *α* um 180° gedreht; es tritt nun Sperrflüssigkeit in die Bürette und verdichtet dort das Gas. Stellt man jetzt den Flüssigkeitsspiegel von *F* in gleiche Höhe mit der Marke 100° und verbindet das Innere der Bürette auf kurze Zeit durch Drehung des oberen Hahnes *a* mit der atmosphärischen Luft, so bleiben in der Bürette genau 100 Raumtheile des Gases unter dem gerade herrschenden Drucke der Atmosphäre zurück. Sind nun die 100 Raumtheile des zu untersuchenden Gases abgemessen, so gilt es, in der Bürette Raum für das erste Absorptionsmittel zu schaffen. Zu dem Zwecke bringt man die Bürette *A* mit dem nach *D* führenden Schlauch durch Drehung von *α* um 90° in Verbindung. Durch Lüften des Quetschhahnes läßt man die Sperrflüssigkeit mittels der Wirkung der an *d* saugenden Luftpumpe fast vollständig nach *D* übertreten, worauf man *A* durch *α* abschließt. Man tauscht jetzt die Wasserflasche *F* gegen die erste Reagentienflasche aus, füllt Schlauch und Hahncanal durch Lüften des Quetschhahnes vollständig mit der Absorptionsflüssigkeit an und stellt dann die Verbindung von *F* mit *A* her. Die Flüssigkeit dringt jetzt heftig in die mit verdünntem Gas gefüllte Bürette ein. Durch mehrere Mal wiederholtes Schließen von *α*, Schwenken der Bürette und Oeffnen des Hahnes wird die Absorption in bekannter Weise beschleunigt, nach Vollendung derselben endlich der Flüssigkeitsspiegel von *F* in gleiche Höhe mit dem der Bürette gebracht und die Ablesung vorgenommen. Verträgt es der Charakter der Absorptionsflüssigkeiten (wie z. B. bei Kalilauge und alkalischer Pyrogallussäure), so kann man nach möglichst erfolgtem Absaugen der verbrauchten Flüssigkeit die zweite Absorption in derselben Bürette und in gleicher Weise, wie man sie bei der ersten beobachtete, ausführen. Hat man aber mit einem Absorptionsmittel zu arbeiten, welches auf das vorhergehende schädlich einwirkt, so treibt man das übrig gebliebene Gas mittels der ersten Absorptionsflüssigkeit aus der ersten Bürette in eine zweite über, in welcher es direct mit dem nächsten Absorptionsmittel in Berührung tritt.

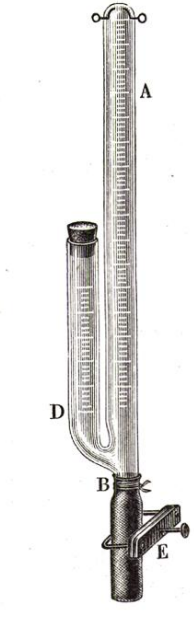
Morgan[1]) hat, um ohne Wanne arbeiten zu können, den unteren offenen Theil eines Eudiometers *A* bei *B* (Fig. 190 a. f. S.) mit einem starken Gummischlauch versehen, während seitlich ein oben offenes Rohr *D* angeschmolzen ist. Dieses wird durch einen Kork verschlossen, der Apparat umgekehrt mit Quecksilber gefüllt, der Quetschhahn *E* aufgesetzt und nun in den aufrecht gestellten Apparat durch ein Rohr das Gas aufsteigen gelassen, während der Quetschhahn *E* soweit geöffnet ist, daß das Quecksilber eben abfließen kann. Man stellt bei jeder Ablesung das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch. Die Absorptionsflüssigkeiten gießt man in das Rohr *D* ein und läßt sie durch Neigen des Apparates in dem Schenkel *A* aufsteigen.

---

[1]) Chem. N. 35, *207.

Williamson und Ruſſel[1]) ſetzen um die Correctionen zu umgehen neben das Eudiometerrohr eine andere Röhre von gleichem Durchmeſſer und von etwa 15 cm Länge in die Queckſilberwanne, welche an dem offenen Ende mit einer ebenſo langen, engeren Röhre verbunden iſt und Luft enthält, deren Volum bei Normaldruck und Normaltemperatur durch einen Strich an der engeren Röhre angegeben iſt, ſo daß dieſes Normalvolum bei jedem Druck und bei jeder Temperatur durch Heben und Senken hergeſtellt werden kann. W. Gibbs[2]) verwendet in ähnlicher Weiſe eine beſondere, kalibrirte Vergleichsröhre mit feuchter Luft, deren Volum V_0 bei 0° und 760 mm genau beſtimmt iſt. Das Eudiometer, welches das zu meſſende Gas ebenfalls im feuchten Zuſtande enthält und dicht neben der Vergleichungsröhre in der Queckſilberwanne ſteht, wird ſo eingeſtellt, daß die Queckſilberſäulen in beiden Röhren genau die gleiche Höhe haben. Iſt alsdann v_0 das in der Vergleichsröhre enthaltene, v das Gasvolum des Eudiometers, ſo findet man das letztere auf 0° und 760 mm reducirt durch die Proportion $V : V_0 = v : v_0$.

Fig. 190.



Ein Apparat mit getrennter Meß- und Arbeitsröhre wurde (1849) zuerſt von V. Regnault und J. Reiſet[3]) angegeben. Das Meßrohr ab (Fig. 191, 192) von 15 bis 20 mm Durchmeſſer iſt mit einer Millimetertheilung verſehen und läuft oben in das Capillarrohr ahr' aus; in der Nähe von a ſind zwei Platindrähte zur Entzündung von Knallgasmiſchungen eingeſchmolzen. Das untere Ende dieſes Meßrohres iſt in die gußeiſerne Faſſung N eingekittet, welche die beiden Tubulaturen b und c und den Dreiweghahn R trägt, durch den man die Verbindung der Röhre ab und der in c eingekitteten, an beiden Seiten offenen und ebenfalls mit Millimetertheilung verſehenen Röhre cd unter ſich oder auch nach außen herſtellen kann. Beide Röhren werden von dem mit Waſſer gefüllten Glascylinder MN umſchloſſen, deſſen Temperatur das Thermometer T angiebt, und mittels der Stellſchrauben an dem gußeiſernen Geſtell Z ſenkrecht geſtellt. Die unten offene Arbeitsröhre gf endet oben in die Capillarröhre fnr; ſie taucht in eine gußeiſerne Queckſilberwanne V, welche auf dem Tiſchchen m befeſtigt iſt und mittels des in die Zahnſtange i eingreifenden Triebrades o und der Kurbel I auf und ab bewegt und durch den Sperrkegel p in beliebiger Höhe feſtgehalten werden kann. Die beiden Capillarröhren ſind in zwei ſtählerne Hähne r, r' eingekittet, welche genau in einander paſſen. Die Verbindungsſtelle wird mit geſchmolzenem Kautſchuk überzogen und mittels der Meſſingklemme q feſt zuſammen gepreßt. Die Arbeitsröhre wird durch die Klemme x, welche mittels der Schraube s geöffnet und geſchloſſen werden kann, in ſenkrechter Lage erhalten.

[1]) Journ. Chem. Soc. 6, 128; Dingl. (1878) 227, 177.
[2]) Amer. journ. of scienc. 49, 1.
[3]) Ann. Chim. Phys. 27, *333.

Zum Gebrauch des Apparates gießt man, bei passender Stellung des Hahnes *R*, in die Röhre *c d* Queckſilber, ſo daß daſſelbe in *a b* aufſteigt, bis es

Fig. 191.

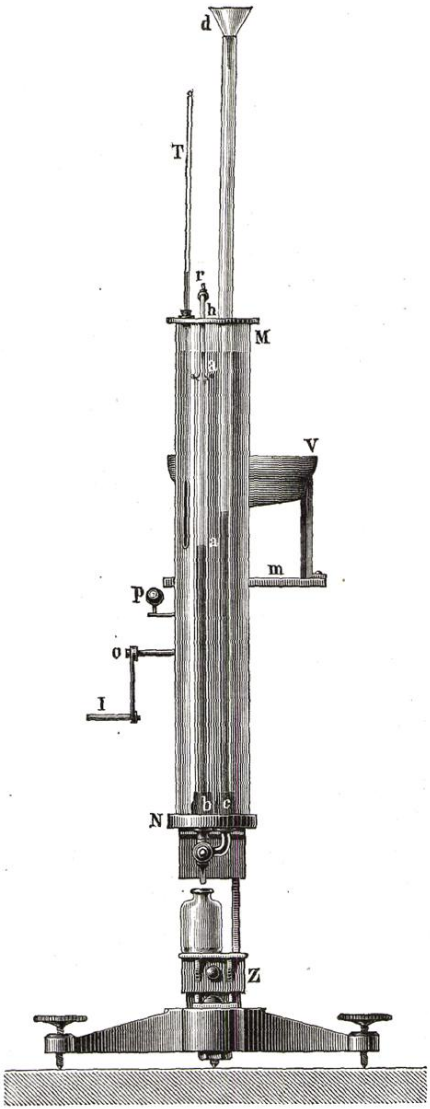
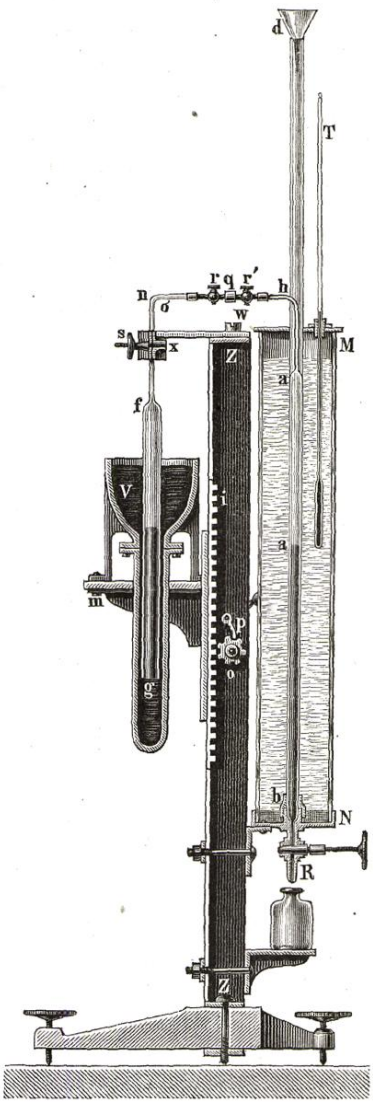


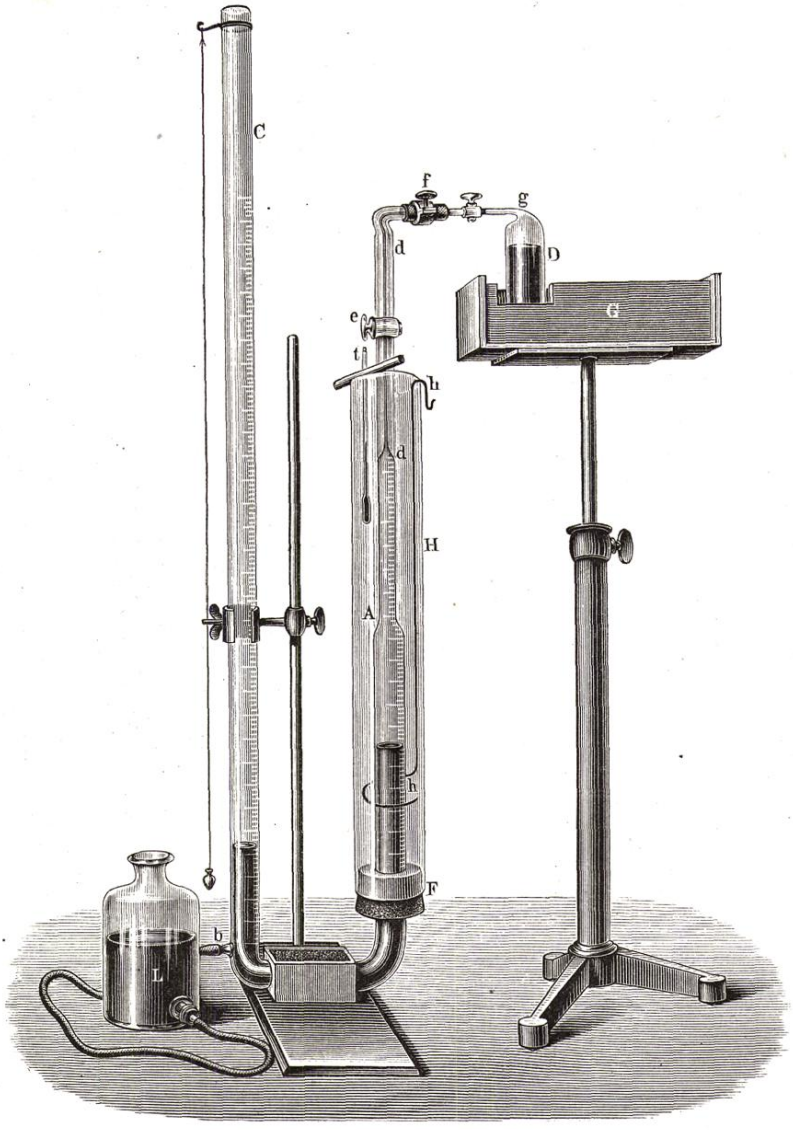
Fig. 192.



den Hahn *r′* erreicht, worauf dieſer geſchloſſen wird. Dann macht man das Rohr *g f* aus der Klammer *x* los, taucht es völlig in die Queckſilberwanne ein und

saugt mittels eines Kautschukschlauches das Quecksilber hoch, bis es den geöffneten Hahn *r* erreicht, worauf derselbe auch geschlossen wird. Das zu untersuchende

Fig. 193.



Gas läßt man nun in das Rohr *g f* aufsteigen, befestigt dasselbe mittels *x* und verbindet die Hähne *r*, *r'* in der angegebenen Weise. Hebt man nun die Wanne *V*

und läßt aus R Queckſilber ausfließen, ſo tritt das Gas in das Meßrohr über, deſſen Wände mit ein wenig Waſſer benetzt ſind, ſobald die Hähne r, r' geöffnet werden. Erreicht das aufſteigende Queckſilber die an dem Capillarrohre angebrachte Marke σ, ſo wird r' geſchloſſen. Man bringt hierauf das Niveau des Queckſilbers auf einen beſtimmten Theilſtrich a der Röhre ab und lieſt den Höhenunterſchied beider Queckſilberſäulen an der Theilung der Röhre cd ab. Man läßt nun von neuem Queckſilber aus dem Hahn R ausfließen, öffnet r', um alles Gas ſowie eine Queckſilberſäule nach ar' überzuführen, und ſchließt dann r' wieder. Nun nimmt man die Arbeitsröhre ab, läßt mittels einer gekrümmten Pipette einen Tropfen concentrirter Kalilauge in derſelben aufſteigen und befeſtigt ſie wieder an ihrer Stelle. Man füllt dann cd mit Queckſilber, ſenkt die Queckſilberwanne V und öffnet vorſichtig die Hähne r, r', ſo daß das Gas aus der Meßröhre in die Arbeitsröhre übergeht. Nach einigen Minuten bringt man in bekannter Weiſe das Gas in die Meßröhre zurück und wiederholt zur vollſtändigen Abſorption der Kohlenſäure dieſes Hinüberſchaffen des Gaſes aus einer in die andere Röhre noch ein oder zwei Mal. Wird das Gas zuletzt in das Meßrohr übergeführt, ſo ſchließt man r', ſobald die Lauge die Marke σ erreicht. Man bringt nun in der Röhre ab das Queckſilber wieder auf a, mißt den Höhenunterſchied h der beiden Queckſilberſäulen und beſtimmt den Barometerſtand.

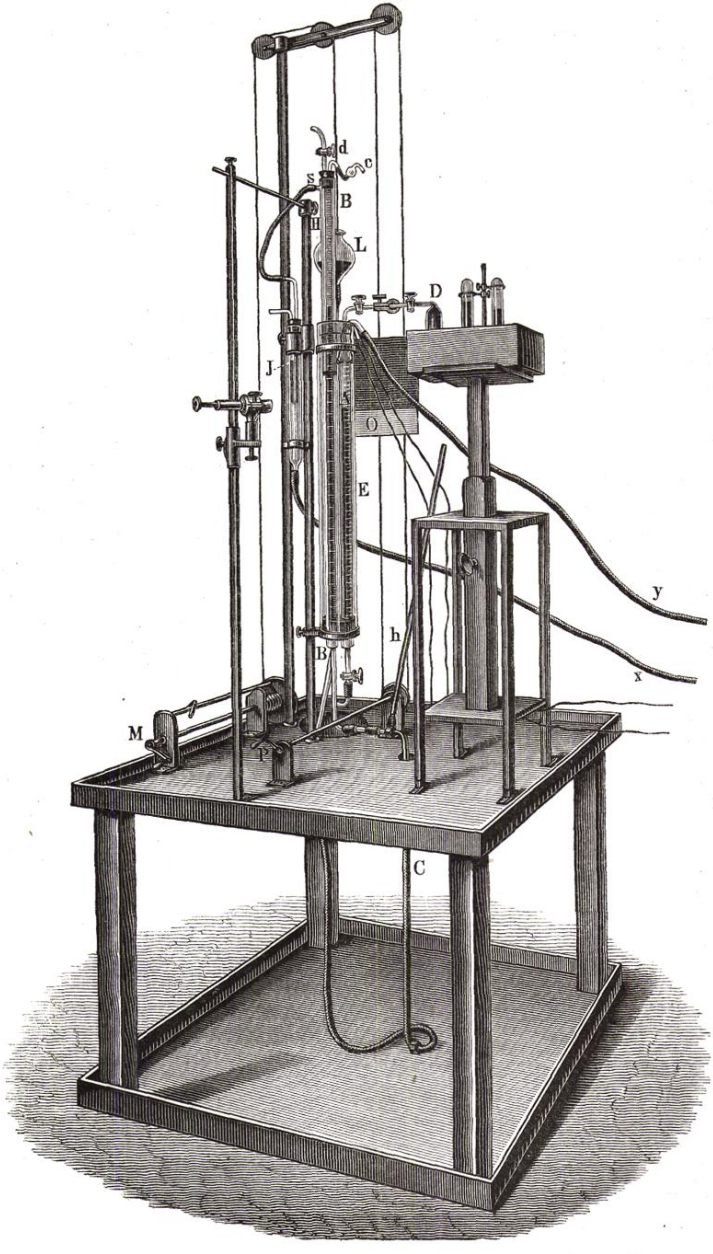
Zur Beſtimmung des Sauerſtoffes löſt man das Arbeitsrohr gf, reinigt es, füllt es mit Queckſilber und verbindet es wieder mit dem Meßrohr. Durch Heben der Wanne und Ausfließenlaſſen von Queckſilber aus R ſaugt man das Queckſilber nach Oeffnen der Hähne r, r' in die Röhre ar' bis zur Marke h, berechnet das jetzige Volum des Gaſes, läßt Waſſerſtoff zutreten und den Funken überſpringen. Statt das Volum des Gaſes conſtant zu laſſen und nur die Spannkraft zu meſſen, kann man auch die Spannung conſtant laſſen und das Volum meſſen; doch muß in dieſem Falle die Meßröhre genau kalibrirt ſein.

Dieſer Apparat wurde durch Frankland und Ward [1]), dann von Frankland [2]) verändert und vereinfacht. Der längere Schenkel C (Fig. 193) der U-förmigen Glasröhre von 16 mm innerer Weite iſt 110 cm, der kürzere bis zur Verengung A 35 cm lang. Dieſe Verengung von nur 1,5 mm innerer Weite ſetzt ſich in das mit einem Glashahn e verſehene Capillarrohr d fort, welches in ähnlicher Weiſe wie bei Regnault durch Stahlhülſen bei f mit der Verengung g der Arbeitsröhre D verbunden iſt. Dieſe Röhre D iſt 100 mm hoch, 38 mm weit und ſteht in der Queckſilberwanne G. Ueber den kürzeren Schenkel der Meßröhre iſt mittels des Kautſchukſtopfens F ein Glascylinder H geſchoben, der das Thermometer t trägt und mit Waſſer gefüllt iſt, welches mittels des Drahtes h umgerührt werden kann. An den längeren Schenkel des Meßrohres C iſt unten das Röhrchen b angeſchmolzen, welches mittels eines Kautſchukſchlauches mit der Queckſilberflaſche L verbunden iſt. Beide Schenkel von C ſind von oben nach unten mit einer Millimetertheilung verſehen, deren Nullpunkt bei ſenkrechter Stellung derſelben genau in gleicher Höhe liegt. Nach-

[1]) Handwörterbuch d. Chem. (1857), Bd. 1, S. *956; Chem. N. 36, 249; Dingl. (1878) 227, *252. — [2]) Rivers Pollution Commission (1868); sixth report (London 1874), 508. Journal of the Chemical Society, Serie 2, 6, 109.

dem durch entſprechendes Heben und Senken der Flaſche L der ganze Apparat mit Queckſilber gefüllt iſt, wird das zu unterſuchende Gas in bekannter Weiſe in

Fig. 194.



die Arbeitsglocke *D* aufsteigen gelassen, dann in das Rohr *A* übergesaugt und dort gemessen. Nun wird es wieder durch Heben der Flasche *L* in die Glocke zurückgeführt, dort mit den entsprechenden absorbirenden Lösungen behandelt und zur Messung jedesmal wieder in das mit Wasser umgebene Eudiometerrohr *A* übergeführt. Die Berechnung geschieht wie bei Bunsen unter Berücksichtigung der Höhenunterschiede der Quecksilbersäulen in *A* und *C*.

Die Fig. 194 veranschaulicht den großen Apparat von Mc Leod[1]). Das Eudiometerrohr *A* ist in bekannter Weise mit dem Arbeitsrohr *D* verbunden, das Barometerrohr *B* wie bei Frankland und Ward oben mit einem Hahn *d* versehen, der beim Füllen mit Quecksilber geöffnet wird. Das Heberrohr *H* ist ebenfalls mit dem kleinen Kugelapparat *c* und dem kleinen Ansatzrohr *s* versehen, welches durch einen Kautschukschlauch mit dem gebogenen Rohr in *J* in Verbindung steht. Das nach dem Kühlcylinder *E* aus einer Leitung durch *y* zufließende Wasser steigt in *H* auf, so daß das Barometerrohr überall dieselbe Temperatur behält und fließt durch *s*, *J* und den Schlauch *x* wieder ab. Sollen die Platindrähte in *A* zur Explosion trocken gelegt werden, so wird *H* einfach etwas gesenkt. Die Quecksilberflasche *L* wird durch eine Schnur bei Drehung der Kurbel *M* auf- und abgeführt. Der Zufluß des Quecksilbers durch den Verbindungsschlauch von *L* nach *A* und *B* durch den Schlauch *C* wird mittels eines Hahnes mit langem Hebelarm *h* geregelt, damit die Röhren durch den Stoß nicht zerbrechen. Die Ablesung geschieht mit dem Fernrohr; sie wird erleichtert durch die Scheibe *O*, welche durch die Kurbel *P* auf- und abbewegt werden kann.

Bei Parry[2]) finden wir Meß- und Arbeitsrohr in umgekehrter Anordnung. Aehnlich ist der für Seereisen bestimmte Apparat von J. Buchanan[3]), welcher ohne Quecksilberwanne arbeitet, sowie der von Jolly[4]), bei dem, wie bei Regnault und Reiset, die Druckveränderungen bei gleichbleibendem Volum gemessen werden.

Wie bereits früher[5]) bemerkt besteht der vom Verfasser verwendete Apparat (Fig. 195 a. f. S.) im Wesentlichen aus dem Arbeitsrohr *A* und dem Meßrohr *M*. Letzteres ist der ganzen Länge nach mit Millimetertheilung versehen und zum Schutz gegen Temperaturschwankungen in ein mit Wasser gefülltes zweites Rohr gesteckt, welches von zwei Armen des Gestelles *g* getragen wird. Oben geht diese Bürette in ein dickwandiges Capillarrohr über, mit dem einfachen Hahn *h* und dem Dreiweghahn *d*, welches bei *e* durch einen übergeschobenen kurzen Gummischlauch mit dem gut vorgeschliffenen Ende des Verbindungsrohres von dem Absorptionsrohr *A* verbunden ist.

Zum Gebrauch füllt man die an zwei Seiten mit Glasplatten versehene Quecksilberwanne und die durch einen dickwandigen Gummischlauch *f* mit dem Rohr *A* verbundene Flasche *F* mit Quecksilber, öffnet Hahn *n* und setzt die Flasche

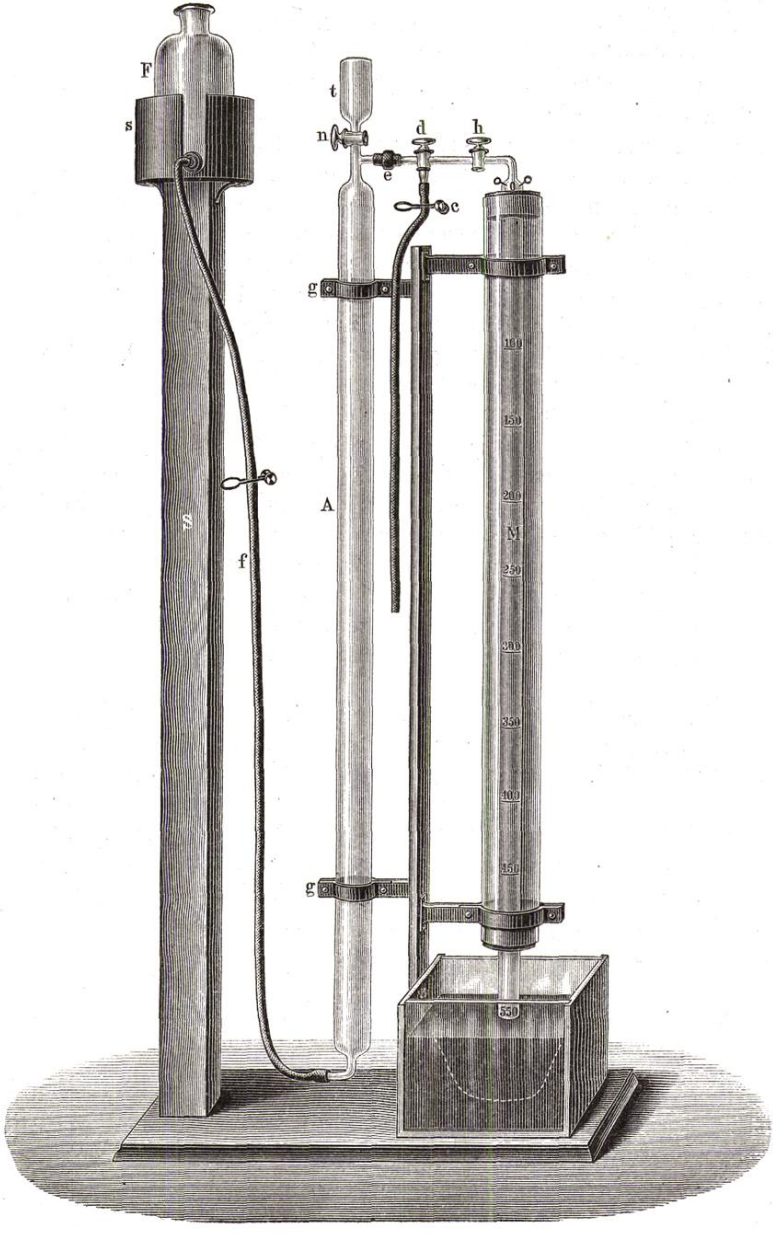
---

[1]) Handbuch, enthaltend Aufsätze über die exacten Wissenschaften und ihre Anwendung. (Internationale Ausstellung wissenschaftlicher Apparate im South Kensington Museum zu London 1876.) Deutsch von Rudolf Biedermann, S. 247.

[2]) Chem. N. **24**, 282; Dingl. (1878) **227**, *254. — [3]) Zeitschr. f. analyt. Chem. 1874, *18. — [4]) Liebig's Annal. **177**, *145. — [5]) Dingl. pol. Journ. (1878) **227**, 258; **237**, *387

auf die Säule S, welche mit einer kleinen Schutzwand s verſehen iſt, um das Herabfallen der Flaſche zu verhüten. Hat ſich ſo das Rohr A mit Queckſilber

Fig. 195.



gefüllt, so schließt man Hahn *n*, öffnet *d* und *h* und senkt die Flasche *F*, so daß sich das Rohr *M* bis zum Dreiweghahn *d* mit Quecksilber füllt, worauf die beiden Hähne *d* und *h* geschlossen werden. Durch Heben der Flasche *F* und entsprechende Stellung des Hahnes *d* füllt man dann auch das Rohr *A* völlig mit Quecksilber. Nun bringt man die Glaskugel mit der Gasprobe (S. 222) in die Quecksilberwanne, bricht die beiden mit einer Feile etwas eingefeilten zugeschmolzenen Enden ab und läßt das Gas in der Bürette *M* aufsteigen. Mittels eines auf einer Eisenstange verschiebbaren Fernrohres wird dann der Stand des Quecksilbers im Rohr *M* und in der Quecksilberwanne abgelesen.

Zur Bestimmung der Kohlensäure läßt man von dem Trichter *t* aus 1 bis 2 ccm Kalilauge in das Rohr *A* treten, schließt den Hahn *n*, senkt die Flasche *F* und öffnet die Hähne *d* und *h*, so daß das Gas aus dem Rohr *M* nach *A* übergeführt wird. Ist nach wenigen Minuten die Kohlensäure gebunden, so läßt man das Gas durch Heben der Flasche *F* wieder in das Meßrohr übertreten, schließt, sobald die Kalilauge bis zum Dreiweghahn *d* tritt, beide Hähne *d* und *h* und liest den Quecksilberstand wie vorhin ab. Die Bestimmung des Sauerstoffes wird in gleicher Weise mit pyrogallussaurem Kalium ausgeführt.

Enthält das von Kohlensäure und Sauerstoff befreite Gas außer Stickstoff Kohlenoxyd, Wasserstoff und Grubengas, so läßt man in der Meßröhre etwa das gleiche Volumen, liegen nur oder fast nur brennbare, namentlich an Wasserstoff reiche Gase vor, das 2- bis 3fache Volumen Sauerstoff aufsteigen, um die Heftigkeit der Explosion zu mäßigen, da anderenfalls der Apparat zerschmettert werden kann (vergl. S. 254). Nun schiebt man unter das Rohr *M* ein Platinblech, um das Herausschleudern des Quecksilbers zu verhüten, liest die Gasmenge ab, läßt zwischen den Platindrähten einen Funken überspringen und bestimmt nach einigen Minuten die Volumabnahme. Dann bestimmt man durch Ueberführen des Gases in das Rohr *A* die gebildete Kohlensäure und untersucht mittels pyrogallussaurem Kalium oder Wasserstoff die Reinheit des überschüssigen Sauerstoffes.

Man füllt nun den Trichter *t* mit Wasser, öffnet Hahn *n*, senkt die Flasche *F*, damit das Wasser in dem Rohr *A* herunterſinkt, stellt dann den Dreiweghahn *d* so, daß beim Heben der Flasche *F* das Wasser durch einen über die Verlängerung des Hahnes *d* geschobenen Gummischlauch abfließt. Hat man so noch zweimal mit etwas Wasser nachgespült, so läßt man zur Reinigung der Meßröhre von dem bei der Explosion sich an den Wandungen meist absetzenden grauen Anflug bei entsprechender Stellung der Hähne *d* und *h* auch etwas Wasser in das Rohr *M* übertreten, saugt dieses nach *A* zurück und treibt es dann ebenfalls durch den Hahn *d* heraus, worauf man den Quetschhahn *c* schließt. Man kann nun sofort die nächste Gasprobe im Meßrohre aufsteigen lassen.

Da die Wandungen des Meßrohres immer feucht sind, so werden die Gase mit Feuchtigkeit gesättigt gemessen. Die Berechnung des abgelesenen Volums geschieht nach S. 189. Bei der Analyse des einer Zinkröhre kurz vor Beginn der Destillation entnommenen Gases wurden z. B. folgende Zahlenangaben erhalten:

	v	$(B-b-c)$	t	V
Anfängliches Gasvolumen . . .	284,0	461,6	21,0	121,74
Nach Absorption von CO_2 . . .	255,7	432,8	21,0	102,77
Nach Zulaß von Sauerstoff . . .	405,3	584,9	20,9	220,21
Nach der Explosion	268,4	444,4	21,9	110,42
Nach Absorption von CO_2 . . .	178,2	353,5	21,4	58,42

Somit, da das überschüssige Gas fast reiner Sauerstoff war:

Kohlendioxyd	18,97 Vol.
Stickstoff	Spur
Contraction (n)	109,79
Gebildetes Kohlendioxyd (k) . .	52,00

Nun geben nach der Gleichung $CO + O = CO_2$ 2 Vol. Kohlenoxyd mit 1 Vol. Sauerstoff 2 Vol. Kohlendioxyd, somit eine Contraction von $^1/_2$, nach $CH_4 + 4\,O = CO_2 + 2\,H_2O$ 2 Vol. Methan mit 4 Vol. Sauerstoff 2 Vol. Kohlendioxyd, somit eine Contraction von 2 und nach $H_2 + O = H_2O$ giebt Wasserstoff eine Contraction von $^3/_2$. Die drei Gase geben sonach eine Contraction von $^1/_2\,c$, $2\,m$ und $^3/_2\,w$, die Gesammtcontraction n ist gleich der Summe der einzelnen Verdichtungen oder: $n = {}^1/_2\,c + 2\,m + {}^3/_2\,w$.

Ferner ist die Menge des gebildeten Kohlendioxydes $k = c + m$ und das Gesammtvolumen $V = c + m + w$, folglich die Menge von:

$$\text{Wasserstoff } w = V - k$$
$$\text{Kohlenoxyd } c = {}^1/_3\,k + V - {}^2/_3\,n$$
$$\text{Methan } m = {}^2/_3\,k - V + {}^2/_3\,n.$$

Die Zusammensetzung des Gases ist demnach:

Kohlendioxyd	18,97 Vol.	15,58 Proc.
Kohlenoxyd	46,91	38,52
Methan (Sumpfgas) . . .	5,08	4,17
Wasserstoff (102,77—52) . .	50,77	41,70
Stickstoff	Spur	Spur.

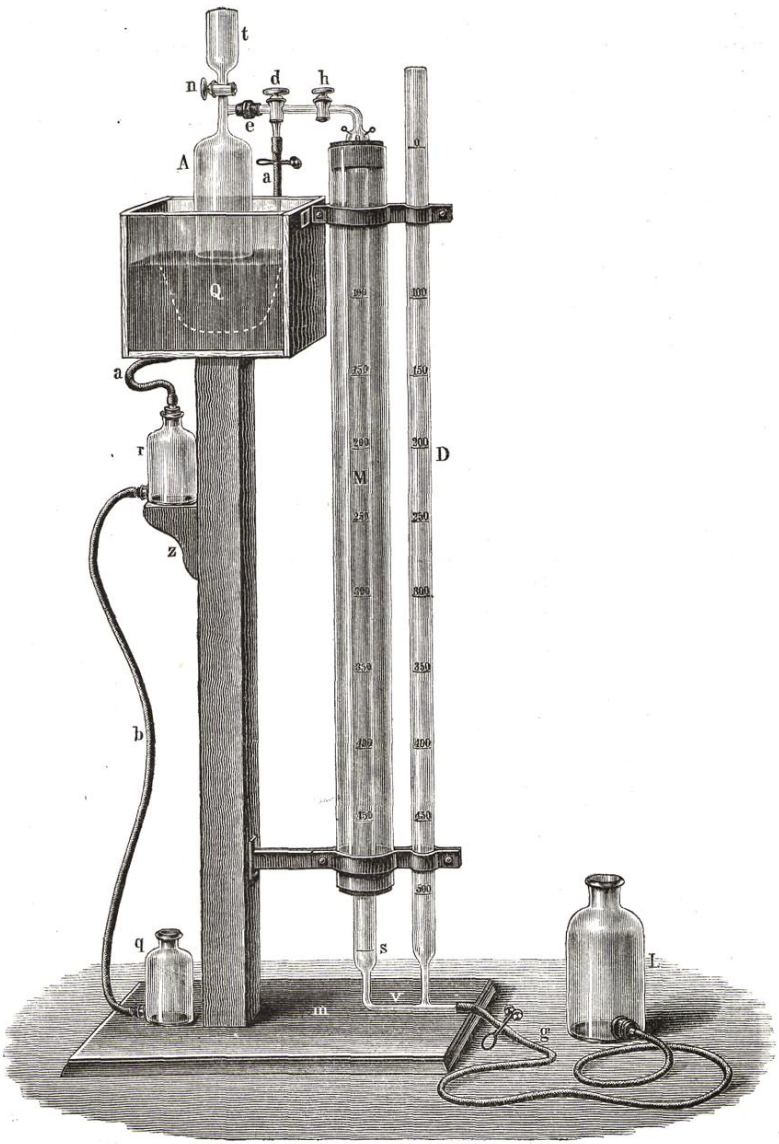
Man arbeitet mit diesem Apparat rasch und sicher, doch ist besonders darauf zu sehen, daß die Hähne d und h gut eingeschliffen sind und absolut dicht halten; n ist leichter dicht zu halten, weil über demselben sich fortwährend Flüssigkeit befindet. Als Hahnschmiere ist ein Gemisch von Vaseline mit etwas Paraffin zu empfehlen.

Um gleichzeitig feste Absorptionsmittel verwenden zu können, verwende ich[1]) namentlich den in Fig. 196 ebenfalls in $^1/_5$ nat. Gr. dargestellten Apparat, bei welchem den Frankland'schen (S. 232) entsprechend das Arbeitsrohr A offen, das Meßrohr M aber geschlossen ist. Die Verbindung der dickwandigen Capillarröhren bei e geschieht wie beim vorigen Apparat mittels eines Gummischlauches, welcher dann noch mit fettem Copallack völlig überzogen wird. Um das Meßrohr mit Quecksilber genau ausmessen zu können (S. 187) ist es bei s abgesprengt, dann aber durch übergeschobenen Gummischlauch und umgelegte Messinghülse an dem Verbindungsstück v befestigt, welches zu dem offenen Quecksilberstandrohr D und mittels eines starken Gummischlauches g zu einer Queck-

[1]) Wagner's Jahresbericht 1880, S. *934.

silberflasche *L* führt. Das Verbindungsstück *v* wird dann noch in passender Weise auf der Bodenplatte *m* befestigt.

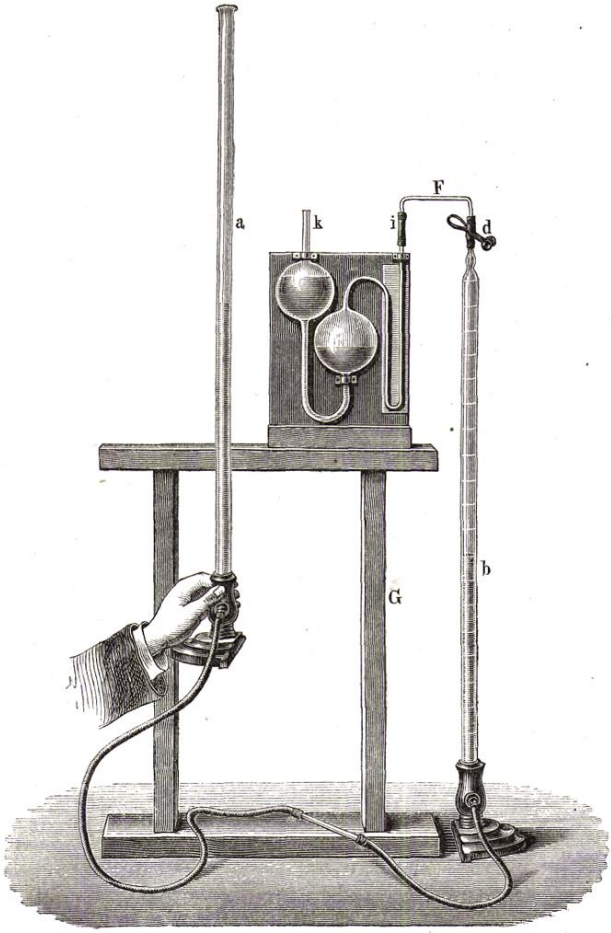
Fig. 196.



Zur Ausführung der Analyse füllt man durch Heben der Quecksilberflasche die Rohre *M* und *D*, dann durch Senken die Arbeitsglocke *A* und schließlich bei

entsprechender Stellung des Dreiweghahnes d das Meßrohr M völlig mit Queckſilber. Nun läßt man das Gas in A aufſteigen, ſaugt es in das Eudiometer M und beſtimmt die Queckſilberſtände der beiden Rohre M und D. Die Abſorption geſchieht in der Glocke A, die Verbrennung des mit Waſſerſtoff oder Sauerſtoff gemiſchten und dann in das Eudiometer m übergeführten Gaſes erfolgt durch

Fig. 197.



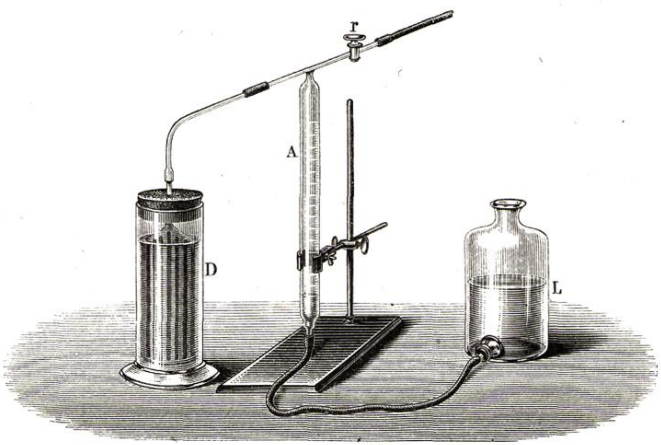
zwiſchen den eingeſchmolzenen Platindrähten überſpringende Inductionsfunken. Die Reinigung des Apparates wird mit Hülfe der Flaſchen r q, oder auch einer Waſſerſtrahlpumpe in der S. 195 und 237 erläuterten Weiſe ausgeführt.

Der Apparat hat den großen Vorzug, daß alle Meſſungen zwei oder mehrmal unter verſchiedenen Drucken gemacht werden können, wodurch etwaige Fehler in der Calibrirung und Ableſung ausgeglichen werden. Außerdem ſind die Hähne,

der geringeren Spannungen gegen die Atmosphäre wegen leichter dicht zu halten, als beim vorigen Apparat.

Weniger genau ist die von Doyére[1]), Eglestón[2]) und Hempel[3]) weiter ausgeführte Benutzung der Ettling'schen Gaspipette. Die auf der Holzbank G (Fig. 197) stehende Pipette wird durch das Rohr F mit der abgeänderten Winkler'schen Bürette ab verbunden. Oeffnet man den Quetschhahn d und hebt das Standrohr a, so strömt das zu untersuchende Gas durch das Verbindungsrohr in die Absorptionspipette, wobei die kleine Luftblase, welche etwa beim Einstecken der Röhre F in das Schlauchstück i eingeschlossen worden ist, durch das in F befindliche Wasser beim Beginn des Uebertreibens von dem zu untersuchenden Gasgemisch abgeschlossen wird. Nimmt diese Blase in der Capillarröhre der Pipette nicht mehr als 5 bis 10 mm Raum ein, so kann sie vernachlässigt werden.

Fig. 198.



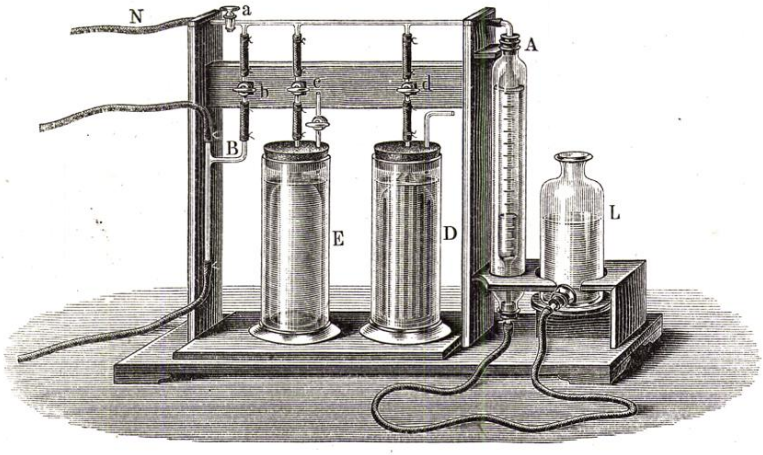
Ist die Luftblase größer, so treibt man durch Senken der Standröhre das Gas vollständig in die Bürette zurück und wiederholt die Operation. Ist das Gas in die Absorptionspipette übergeströmt, so läßt man noch etwa 0,5 ccm Wasser nachtreten, wodurch das Capillarrohr ausgespült und von dem vorher darin enthaltenen Absorptionsmittel hinlänglich befreit wird. Hierauf löst man, nachdem die Bürette mittelst des Quetschhahnes geschlossen ist, die Verbindung mit derselben und bringt durch etwa zwei Minuten andauerndes Schütteln der Pipette das Gas zur Absorption. Dann verbindet man Bürette und Pipette wieder und läßt, indem man das Standrohr a auf den Fußboden stellt, das Gas in die Bürette zurückströmen, wobei man Bedacht hat, daß das Absorptionsmittel nur bis in die Verbindungscapillare F dringt. Ist dies geschehen, so schließt man den Quetsch-

[1]) Annal. chim. phys. 28, *1; Fehling, Handwörterbuch der Chemie. Bd. 1. S. *512. — [2]) The metallurg. Rev. (1878) 2, *53. — [3]) Hempel, Analyse der Gase. 1880, S. *24.

hahn, entfernt die Pipette und lieſt das Volumen des rückſtändigen Gaſes ab. Für jedes Abſorptionsmittel verwendet man eine beſondere Pipette.

Schlöſing und Rolland[1]) füllen in bekannter Weiſe durch Senken und Heben der Flaſche L das Meßrohr A (Fig. 198, a. v. S.) mit Waſſer bis zur Marke und das unten offene Arbeitsrohr D, welches in einem mit Kalilauge gefüllten Glascylinder mit Fuß befeſtigt iſt, mit dieſer Löſung. Nun wird der Hahn r geöffnet, das auf Kohlenſäure zu unterſuchende Gas durch Senken von L nach A angeſaugt und nach dem Schließen von r durch Heben von L nach D hinüber getrieben. Zur Beſchleunigung der Abſorption iſt D mit Glasröhren angefüllt, ſo daß das eintretende Gas eine große, mit Kalilöſung befeuchtete Fläche trifft. Nach geſchehener Abſorption wird das Gas nach A zurückgeſaugt und gemeſſen.

Fig. 199.

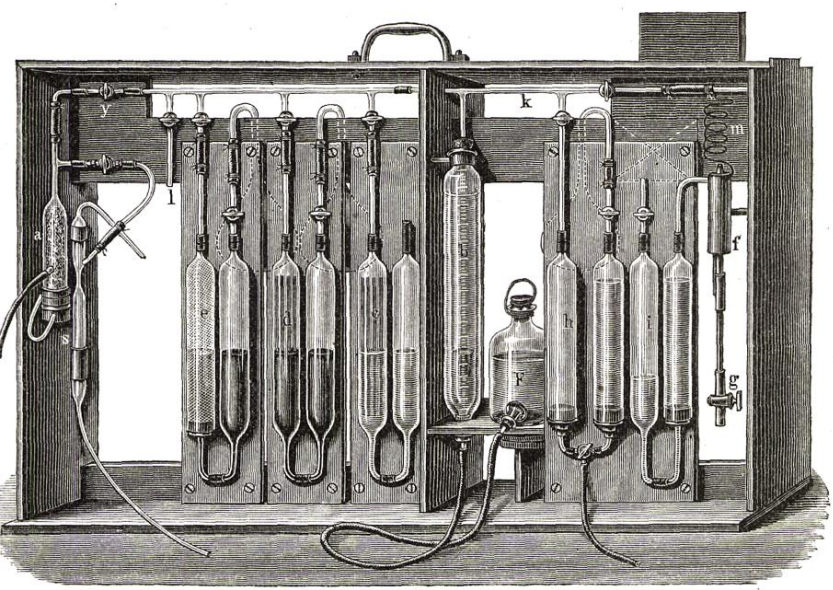


Orſat[2]) verbeſſerte dieſen Apparat durch Anbringen einer mit Kupferdrahtgewebe und einer Löſung von Salmiak und Ammoniak gefüllten zweiten Arbeitsglocke E (Fig 199) zur Abſorption des Kohlenoxydes. Nachdem das mit einem Waſſermantel (wie bei Regnault) umgebene Meßrohr A und die beiden Abſorptionsglocken D und E mittels der Waſſerflaſche L bis zur Marke gefüllt ſind, öffnet man die Hähne a und b, ſaugt mittels des kleinen Luftſtrahlgebläſes B das zu unterſuchende Gas an, um den Schlauch N völlig damit anzufüllen, ſchließt b, ſaugt durch Senken von L 50 ccm des Gaſes nach A und ſchließt a. Nun wird d geöffnet und das Gas zur Abſorption der Kohlenſäure nach D getrieben, nach A zurückgeſaugt und, nachdem d geſchloſſen iſt, gemeſſen. In gleicher Weiſe wird das Gas nach Oeffnen des Hahnes c nach E getrieben und nach Abſorption des Kohlenoxydes in A gemeſſen.

[1]) Annal. chim. phys. (1868) **14**, *55. — [2]) Engineering Mining journ. (1874) **18**, *49.

Zur Untersuchung der auch Sauerstoff enthaltenden gewöhnlichen Rauchgase hat Orsat[1]) den in Fig. 200 abgebildeten Apparat angegeben[2]). Das Gas wird auch hier mittels der kleinen Strahlpumpe *s* durch das zum Zurückhalten des Rußes mit Baumwolle gefüllte Rohr *a* angesaugt. Zur Absorption der Kohlensäure wird das nach *b* gesogene Gas in den mit *c* bezeichneten Schenkel des ersten U-Rohres getrieben, so daß die verdrängte Kalilauge in dem anderen Schenkel aufsteigt. Nach Entfernung der Kohlensäure wird das Gas in *b* gemessen und zur Absorption des Sauerstoffes in das mit pyrogallussaurem Kali gefüllte Rohr *d* und schließlich zur Bestimmung des Kohlenoxydes nach *e* getrieben. Der zurückbleibende Stickstoff wird nach beendeter Analyse durch den Hahn *l* abgelassen. Damit die Lösungen in *d* und *e* nicht durch den atmosphärischen Sauerstoff verderben, sind sie durch schlaffe Kautschukballons abgeschlossen.

Fig. 200.



Zur Bestimmung des Wasserstoffes und der Kohlenwasserstoffe schlägt Orsat[3]) folgende Ergänzung seines Apparates vor. Von der Meßröhre *b* (Fig. 200) geht das Gas durch eine Hilfsleitung *k* nach einer kleinen, senkrechten Platinspirale *m*, welche mittels der Gaslampe *f g* erhitzt wird und deren anderes Ende mit dem U-Rohre *i* in Verbindung steht. Vor dem auf der Röhre *k* angebrachten Hahn befindet sich eine Abzweigung, welche mit einer zweiten U-förmigen Röhre *h* in Verbindung steht, die eine Zinkplatte und verdünnte Schwefel-

[1]) Annal. des mines (1875) **8**, *485. — [2]) Der Theil rechts von der Flasche *L* fehlt bei den gewöhnlichen Apparaten. — [3]) Annal. des mines 1875, S. 501. Bullet. Soc. d'Encouragem. (1880), **7**, *295; Dingl. 1878, **227**, *260.

säure enthält. Der entwickelte Wasserstoff drückt die Säure nach dem andern Schenkel, so daß beim Oeffnen des Hahnes immer reiner Wasserstoff austritt. Zur Ausführung der Analyse bestimmt man in 200 Theilstrichen Gas, Kohlensäure, Sauerstoff und Kohlenoxyd genau so, wie oben angegeben wurde. Von dem aus Stickstoff, Kohlenwasserstoffen und Wasserstoff bestehenden, nicht absorbirbaren Rest nimmt man 40 bis 50 Theilstriche und bringt den Rest des überschüssigen Gases in der Röhre *d* mit Pyrogallussäure unter, welche demnach als Vorrathsbehälter dient und nöthigenfalls eine zweite Analyse als Controle der ersten ermöglicht. Hierzu fügt man 10 bis 15 Theilstriche reinen Wasserstoff, je nach der wahrscheinlichen Menge der Kohlenwasserstoffe, und schließlich 130 bis 140 Theilstriche atmosphärische Luft, welche man durch den Hahn *l* einführt. Man läßt hierauf das Gasgemenge langsam durch die glühende Spirale streichen, indem man das Mitreißen von Feuchtigkeit in die Spirale sorgfältig vermeidet, was leicht den Bruch der Glasröhre herbeiführen könnte. Sodann kühlt man das Gas ab und liest die vorgegangene Contraction ab. Im verbrannten Gas bestimmt man alsdann die Kohlensäure in *c* und den übrigen Sauerstoff in der Kupferchlorür-Röhre *e*. Bemerkt man, daß nach der Verbrennung kein Sauerstoff übrig bleibt, so ist dies ein Zeichen, daß die Verbrennung nicht vollständig war. Man kann in diesem Falle noch mehr Luft und Wasserstoff hinzufügen und eine neue Verbrennung machen; doch ist es vorzuziehen, eine neue Analyse mit dem in *d* gehaltenen Rückstande durchzuführen.

Die durch diese Verbrennung erzeugte Kohlensäure wird unmittelbar erhalten. Der erzeugte Wasserdampf läßt sich einfach berechnen. Ist nämlich das Volum der eingeführten Luft *p* Theilstriche, so entspricht dies 0,21 *p* Sauerstoff und 0,79 *p* Stickstoff. Nun hat der Sauerstoff dazu gedient: 1) den dem Gemenge beigefügten Wasserstoff zu verbrennen; 2) den Wasserstoff der Kohlenwasserstoffe zu verbrennen; 3) den Kohlenstoff der gleichen Bestandtheile zu verbrennen; der überschüssige Rest verbleibt in dem schließlich erhaltenen Gemenge. Von diesen 4 Mengen Sauerstoff ergeben sich drei unmittelbar dadurch, daß der zugegebene Wasserstoff die Hälfte seines Volums an Sauerstoff gebraucht, und daß andererseits der Kohlenstoff bei seiner Umwandlung in Kohlensäure so viel Sauerstoff beansprucht hat, als dem Volum der erzeugten und bestimmten Kohlensäure gleich kommt; der übrig bleibende freie Sauerstoff wurde schließlich als solcher bestimmt. Man kennt somit den Sauerstoff, der zur Verbrennung des Wasserstoffes der Kohlenwasserstoffe gedient hat, und da dieser Sauerstoff ein Volum Wasserdampf geliefert hat, das doppelt so groß ist als sein eigenes, so ist es einfach, den Wasserstoff der Kohlenwasserstoffe dem Volum und Gewichte nach zu berechnen. Schließlich kann man noch das Gesammtvolum der Kohlenwasserstoff-Verbindungen erhalten; nach allen Verbrennungen und Absorptionen enthält nämlich die Meßröhre bloß noch Stickstoff, der von zwei Quellen herrühren kann: dem wirklichen Stickstoff des analysirten Gases und dem Stickstoff der eingeführten Luft $= 0{,}79\,p$. Die Differenz ergiebt das Stickstoffvolum des analysirten Gases, und da das Volum des Stickstoffes sammt den Kohlenwasserstoffen vor der Verbrennung bekannt war, so ergiebt die Differenz das Volum der letzteren. Als Beispiel führt Orsat folgende Analyse eines Generatorgases an:

	Theilstriche			Proc.
Zur Untersuchung verwendet	200			
Nach Absorption durch Kali	188	folgl.	12,0 CO_2	= 6,0
Desgl. durch Pyrogallus	188	„	0 O	= —
Desgl. durch Kupferchlorür	145	„	43,0 CO	= 21,5
Von dem Rest verwendet	50			
Wasserstoff	10			
Luft (29 Thle. O, 111 Thle. N)	140			
	200			

	Theilstriche		
Nach der Verbrennung	177		
Nach Absorption durch Kali	175,5	folgl.	1,5 CO_2
Desgl. durch Kupferchlorür	158	„	17,5 freier O

Zur Verbrennung von 10 freien H verbrauchter Sauerstoff	5,0
Desgl. für den Wasserstoff der Kohlenwasserstoffe . . .	5,0
Summe des Sauerstoffes	29,0
Ferner: eingeführter Stickstoff	111,0
Stickstoff des untersuchten Gases . .	47,0
	158,0

Daraus berechnet sich folgende Zusammensetzung:

Kohlensäure	6,00
Kohlenoxyd	21,50
Sauerstoff	—
Kohlenwasserstoff	4,35
Stickstoff	68,15
	100,00

Diese Berechnung zeigt hinlänglich, daß die Ablesungsfehler und die in Folge der glühenden Platinröhre unvermeidlichen Versuchsfehler nach dieser Methode viel zu groß sind, so daß eine derartige Analyse meist werthlos ist.

Salleron[1]) und Aron[2]) lassen die Absorptionsrohre in die Vorrathsgefäße eintauchen, und verwenden statt des Strahlgebläses B einen Gummisauger. Die statt der Glashähne verwendeten Hähne aus Zinn oder Rothguß kann ich nicht empfehlen, da Metallrohre weniger leicht zu reinigen und der vielen Verbindungen wegen schwieriger dicht zu halten sind als das Hahnrohr aus Glas (Fig. 203, S. 248); außerdem klemmen sich Zinnhähne leicht fest. Alberti und Hempel[3]) verwenden denselben Apparat, saugen aber das Gas durch Chlorcalcium an und verwenden als Sperrflüssigkeit im Meßrohr Glycerin; derartig ausgeführte Analysen mußten selbstverständlich falsch werden, da die Spannkraft der Lösungen nicht berücksichtigt ist (vgl. S. 134). Der ähnliche Apparat von Schwackhöfer[4]) ist theuer und schwerfälliger, besser ist der von Müncke[5]), während der kreisförmig angeordnete

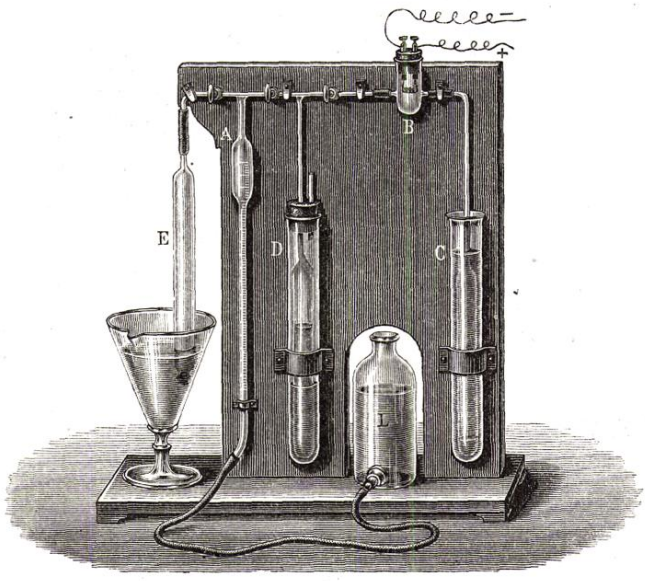
[1]) Winkler: Industriegase S. *166. — [2]) Dingl. (1875) **217**, *220. — [3]) Dingl. (1878) **228**, *439. — [4]) Wochenschr. d. österr. Ing. Arch. Ver. 1877, *298; Dingl. (1878) **227**, 257. — [5]) Dingl. (1877) **225**, *557.

von Kasalovsky [1]) der vielen Gummiverbindungen wegen und der von Tomson [2]) seiner übermäßigen Kleinheit wegen bedenklich erscheinen.

Nach Coquillion [3]) wird das im Rohr *E* (Fig. 201) aufgefangene Gas mittels der Flasche *L* in das Meßrohr *A* gesaugt, dann in ein oder mehrere Absorptionsgefäße *D*, schließlich wie bei Orsat mit Luft gemischt über den glühenden Palladiumdraht in *B* nach *C* getrieben und nach vollzogener Verbrennung der Wasserstoffe nach *A* zurückgesaugt.

O. Lindemann [4]) saugt das Gas durch *e* (Fig. 202) in das Meßrohr *B*, treibt es in das, zur Bestimmung von Sauerstoff mit Phosphorstangen gefüllte, in die Wasserflasche *D* tauchende Absorptionsrohr *A* und schließlich zur Messung nach *B* zurück.

Fig. 201.



Seit 1876 verwendet Verf. den in Fig. 203 a. S. 248 dargestellten Apparat und kann ihn, nachdem er damit mehrere Tausend Rauchgasanalysen ausgeführt hat, als praktisch völlig bewährt bezeichnen.

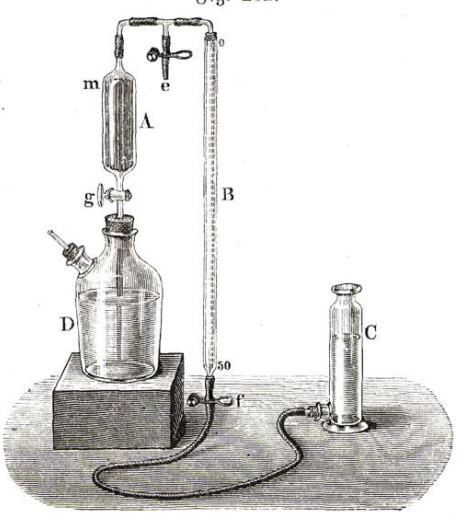
Der untere, 45 ccm fassende Theil der zum Messen des zu untersuchenden Gases bestimmten Bürette *A*, welche zur Abhaltung von Temperaturschwankungen von einem weiten Cylinder mit Wasser eingeschlossen wird, ist in Zehntel, der obere in ganze Cubikcentimeter eingetheilt. Das dickwandige gläserne Capillarrohr

---

[1]) Oesterreich. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenwesen 1878, 407; Dingl. (1879) **230**, *480; **231**, 560. — [2]) Dingl. (1881) **240**, *374. — [3]) Engineering, **24**, *317; Compt. rend. **85**, 1106; Dingl. (1878) **227**, 262. — [4]) Zeitschr. anal. Chem. 1879, S. *158; Dingl. pol. Journ. (1879) **232**, S. *332.

ist an beiden Enden festgelegt, bei *i* in einem Ausschnitte der Scheidewand und bei *o* durch eine kleine, an der Decke des Kastens befindliche Stütze. Die vier Glashähne schließen sicher dicht und klemmen sich bei nur einigermaßen verständiger Behandlung nie fest. Das Hahnrohr ist am vordern Ende umgebogen und mit dem U-Rohr *B* verbunden, dessen Schenkel Baumwolle enthalten, während sich in der untern Biegung Wasser befindet, um allen Ruß und Staub zurückzuhalten und das angesaugte Gas sicher mit Feuchtigkeit zu sättigen, bevor es zur Messung gelangt. Das nach hinten gerichtete Ende des Dreiweghahnes *c* ist durch einen Gummischlauch *a* mit dem Gummiaspirator *C* verbunden, durch welchen es leicht gelingt, das Gaszuführungsrohr und *B* mit dem zu untersuchenden Rauchgase zu füllen. Die Absorption geschieht in den unten in Einschnitte festgelegten U-förmigen Gefäßen *D*, *E* und *F*, welche durch kurze Kautschukschläuche mit dem Hahnrohre verbunden und zur Vergrößerung der Absorptionsfläche mit Glasröhren angefüllt sind. Da die Marke *m* sich über dieser Verbindungsstelle befindet, so ist diese stets mit der betreffenden Flüssigkeit benetzt und so leicht vollkommen dicht zu halten. Das andere Ende des U-Rohres ist mit einem Kautschukstopfen geschlossen, welcher ein Glasröhrchen *x* enthält; die Röhrchen sind mit einem gemeinschaftlichen, etwa 200 ccm fassenden schlaffen Gummiballon *G*, zur Abhaltung des atmosphärischen Sauerstoffs, verbunden. Durch diese Anordnung ist es möglich geworden, den ganzen Apparat auf 50 cm Höhe und 25 cm Breite zu beschränken, während andere, für gleichen Zweck bestimmte Apparate die doppelte Größe haben. Beim Transport werden die erforderlichen Kautschukschläuche neben die, in den Klotz *l* gesetzte Flasche *L* gepackt, die Auffangröhre aus Glas oder Porzellan, sowie ein langes Quecksilberthermometer hinter der Bürette *A* befestigt und die beiden Schiebethüren eingesetzt, so daß der Apparat dann nach Außen völlig abgeschlossen ist.

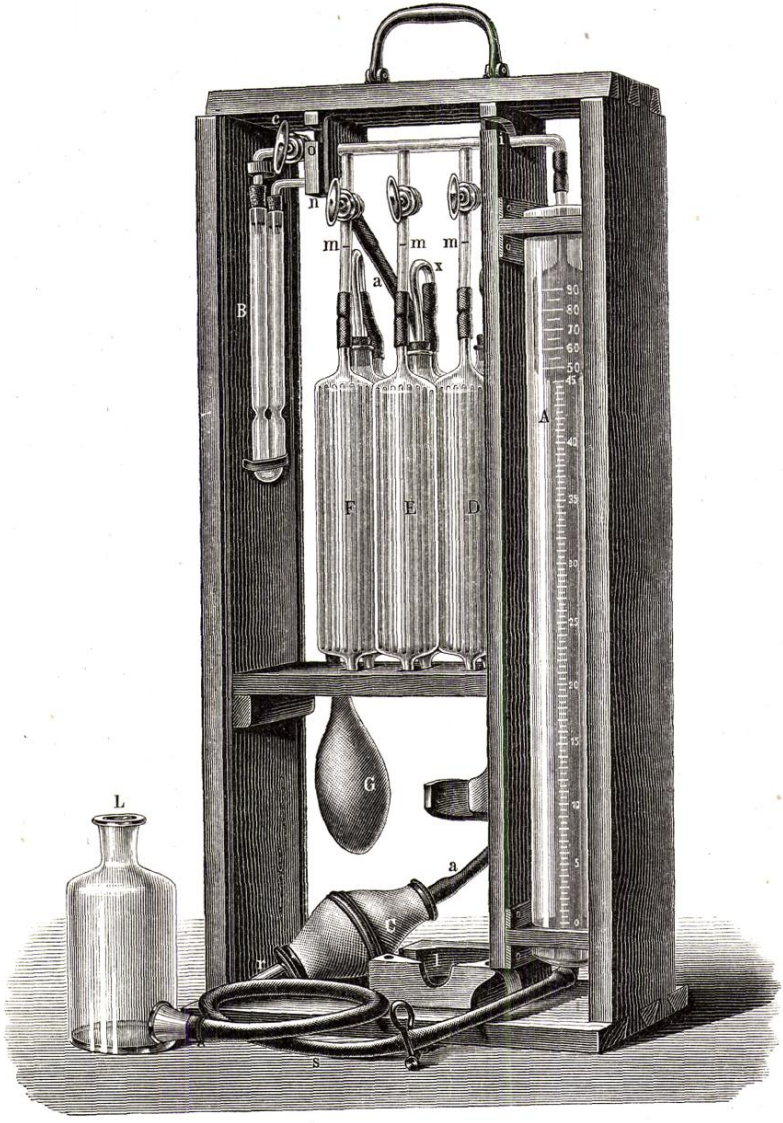
Fig. 202.



Soll der Apparat gebraucht werden, so füllt man zunächst den die Bürette *A* umgebenden Cylinder, sowie auch die Flasche *L* mit destillirtem Wasser. Zur Füllung der drei Absorptionsflaschen nimmt man die Stopfen mit den Glasröhren *x* und Gummibeutel *G* ab und gießt in das Gefäß *D* etwa 110 ccm Kalilauge von 1,26 bis 1,28 specif. Gew., so daß dasselbe etwas über halb damit angefüllt wird. Ferner löst man 18 g Pyrogallussäure in 40 ccm heißen Wassers, fügt 70 ccm der obigen Kalilauge hinzu und gießt das Gemisch in das zweite Gefäß *E* zum Lösen des Sauer-

stoffes[1]). Zur Bestimmung des Kohlenoxydes bringt man 35 g Kupferchlorid mit 200 ccm concentrirter Salzsäure und etwa 50 g Kupferblechschnitten in eine gut

Fig. 203.



[1]) Nach Weyl (Liebig's Ann. **205**, 255) wird Sauerstoff am schnellsten von 1 g Pyrogallol in 40 ccm Kalilauge von 1,05 specif. Gew. gelöst. Für obigen Zweck würde aber diese Lösung zu oft erneuert werden müssen.

schließende Flasche, läßt unter häufigem Umschütteln etwa 1 Tag stehen, setzt 100 ccm Wasser hinzu, um dann von der erhaltenen Lösung das Gefäß *F* zu füllen. Man schließt die drei Glashähne, stellt den Hahn *c* wagerecht und hebt die Flasche *L*, so daß das Wasser die Bürette *A* füllt, giebt dem Hahn *c* eine Vierteldrehung nach links, so daß die zweite Durchbohrung zum Rohr *B* führt, öffnet den Hahn des Gefäßes *D*, senkt die Flasche *L* und öffnet vorsichtig den auf den Schlauch *s* gesetzten Quetschhahn, so daß die Kalilauge bis zur Marke *m* aufsteigt, worauf der Hahn geschlossen wird. In gleicher Weise werden auch die Flüssigkeiten der beiden anderen Gefäße bis zur Marke *m* aufgesaugt, wobei das Auge stets auf die aufsteigende Flüssigkeit gerichtet ist [1]). Dann werden die drei Stopfen mit den Glasröhren *x* luftdicht aufgesetzt. In Röhre *B* bringt man zunächst etwa 1 ccm Wasser, füllt beide Schenkel mit loser Baumwolle, setzt die Stopfen wieder ein und verbindet das Röhrchen *n* mittels eines Gummischlauches mit dem Glasrohre oder Porzellanrohre, welches luftdicht in den Rauchcanal eingesetzt ist, um den Zutritt der atmosphärischen Luft zu verhüten (S. 260).

Zur Probe, ob der Apparat dicht ist, stellt man den Hahn *c* wagrecht, preßt den Schlauch unmittelbar an dem Rohr im Rauchcanal mittels Quetschhahn oder der Hand fest zu und öffnet den Quetschhahn des Schlauches *s*. Die Wassersäule in *A* sinkt etwas, muß dann aber völlig fest stehen bleiben, da ein fortgesetztes langsames Sinken irgend eine Undichtigkeit verrathen würde, die natürlich zunächst beseitigt werden muß, sei es durch besseres Ueberziehen der Schläuche, festes Eindrücken der Stopfen oder Schmieren der Glashähne mit Vaseline.

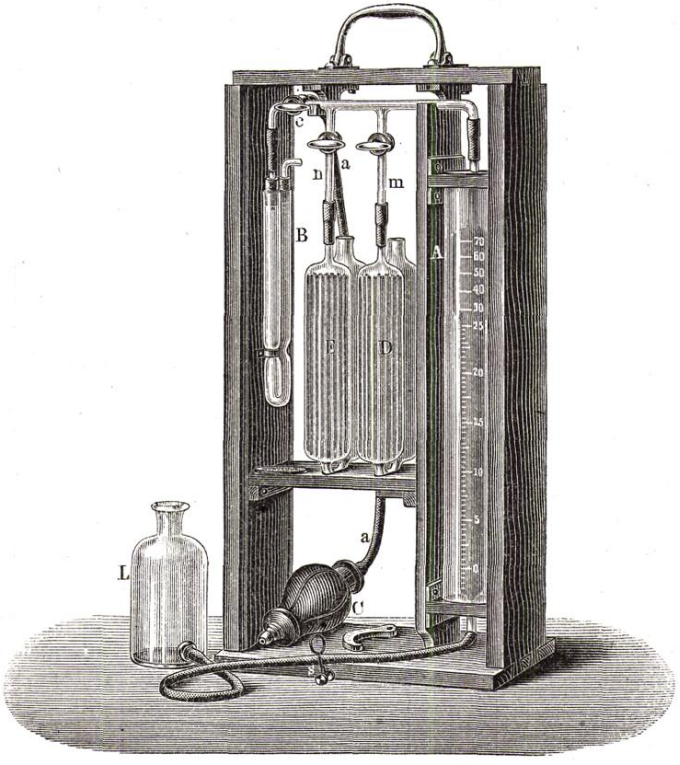
Nachdem man die Bürette *A* durch Heben der Flasche *L* bis zur Marke 100 mit Wasser gefüllt hat, stellt man den Hahn *c* so, daß die Verbindung von dem Gummisauger *C* durch das Rohr *B* mit dem Rauchcanal hergestellt ist, und saugt durch 10- bis 15-maliges Zusammenpressen von *C* so lange, bis die ganze Leitung sicher mit dem zu untersuchenden Gase gefüllt ist. Dieses geschieht am bequemsten in der Art, daß man mit der linken Hand *C* zusammenpreßt, dann mit dem Daumen der rechten Hand den Röhrenansatz *r* schließt und nun durch Oeffnen der linken Hand den Ballen aufblähen läßt, den Daumen lüftet, *C* wieder zusammenpreßt u. s. w., bis der Zweck erreicht ist. Nun stellt man den Hahn *c* wieder wagerecht, öffnet den Quetschhahn von *s* und senkt die Flasche *L*, so daß sich die Bürette *A* mit dem zu untersuchenden Rauchgase bis zum Nullpunkt anfüllt, worauf *c* durch Vierteldrehung nach links wieder geschlossen wird. Das Gas ist jetzt zwischen den 4 Glashähnen und der Wassersäule in *A* eingeschlossen.

Zur Bestimmung der Kohlensäure öffnet man den Hahn von *D* und hebt *L* mit der linken Hand, so daß beim Oeffnen des Quetschhahnes auf *s* mit der rechten Hand das Gas in die Flasche *D* übertritt, senkt *L* wieder, bis die Kalilauge in *D* etwa zur Schlauchverbindung unter *m* reicht und treibt das Gas noch einmal durch Heben von *L* in das Kaligefäß. Durch Senken der Flasche *L* und vorsichtiges Oeffnen des Quetschhahnes läßt man nun die Kalilauge wieder bis zur Marke *m* aufsteigen, schließt den Glashahn, öffnet den Quetschhahn, hält die

[1]) Es empfiehlt sich, diese Operation zunächst mit reinem Wasser einzuüben und erst dann die Absorptionsflüssigkeiten einzufüllen.

Flasche *L* so neben die Bürette, daß das Wasser in beiden Gefäßen gleich hoch steht, schließt den Quetschhahn wieder und liest endlich das zurückgebliebene Gasvolum ab. Der Stand des Sperrwassers giebt direct den Procentgehalt des untersuchten Gases an Kohlensäure. In gleicher Weise läßt man das Gas in das Gefäß *E* zwei- bis dreimal übertreten, bis keine Volumabnahme mehr erfolgt; die Ablesung nach der erfolgten Einstellung giebt die Menge der Kohlensäure und des Sauerstoffes zusammengenommen, während durch gleiche Behandlung des Gases in dem Gefäße *F* außerdem noch das Kohlenoxyd absorbirt wird.

Fig. 204.



Ist so die Analyse beendet, so stellt man den Hahn *c* wieder wagrecht, hebt *L*, öffnet den Quetschhahn und läßt das Wasser in der Bürette bis auf 100 aufsteigen, stellt *c* wieder senkrecht, füllt mittels *C* die Leitung mit dem zu untersuchenden Gase und nimmt eine neue Probe. Ist wie gewöhnlich kein Kohlenoxyd vorhanden, so kann man bei einiger Uebung alle 4 bis 5 Minuten eine bis auf Fünftelprocent genaue Analyse ausführen. Wird die Absorption nach 100 bis 200 Analysen träge, so entleert man mittels eines kleinen Hebers die Gefäße, spült mit destillirtem Wasser nach und füllt sie von Neuem mit Kalilauge, Pyrogallat und Kupferchlorür.

Sollte durch Unachtsamkeit die Absorptionsflüssigkeit in das Hahnrohr steigen, so hebt man die Flasche *L*, öffnet den Quetschhahn und spült so durch das destillirte Wasser die Lösung in das Gefäß zurück. Gelingt dieses nicht ganz, so zieht man den Schlauch *a* von Hahn *c* ab, giebt letzterem eine halbe Umdrehung und läßt durch Heben von *L* so lange Wasser durch das Hahnrohr und den Hahn *c* ablaufen (die übrigen sind geschlossen), bis dasselbe völlig rein ist. Wurde dabei das Sperrwasser in der Bürette unrein, so muß es erneuert werden.

Da die Rauchgase der gewöhnlichen Feuerungsanlagen nur selten Kohlenoxyd enthalten, so habe ich, um den Apparat für Reisezwecke noch bequemer zu machen, das Lösungsgefäß für Kohlenoxyd fortgelassen und die übrigen Theile etwas verkleinert, wie Fig. 204 andeutet. Der Apparat ist jetzt nur 40 cm hoch, 20 cm breit und so leicht, daß man ihn bequem selbst auf weitere Strecken in der Hand tragen kann (S. 207). Die Ausführung der Untersuchung geschieht in derselben Weise wie mit dem größeren Apparat [1]).

Ausführung der Untersuchung von Verbrennungsgasen.

Die Feuergase bestehen außer Stickstoff, welcher sich stets als Rest ergiebt, wesentlich aus Kohlensäure und Sauerstoff; Kohlenoxyd, Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe finden sich in nennenswerther Menge meist nur bei mangelhafter Construction oder schlechter Wartung der Feuerungsanlage bezw. bei ungenügendem Luftzutritte. Minder wichtig sind Schwefligsäure und Schwefelsäure (vgl. S. 216), wie Verfasser durch Untersuchung der Gase aus Ultramarinöfen [2]), Dampfkesselfeuerungen [3]), Ziegelöfen [4]), Potaschesöfen [5]), Sodaöfen [6]), Stubenöfen [7]), Cupolöfen [8]), Puddelöfen [9]), Locomotiven [10]), Retortenöfen [11]) u. a. gezeigt hat.

Nach Bunsen (S. 193) geschieht die Bestimmung der Kohlensäure durch eine an einen Platindraht gegossene Aetzkalikugel [12]), welche so wasserhaltig

---

[1]) Universitätsmechaniker W. Apel in Göttingen liefert den großen Apparat, Fig. 202, für 65 Mk., den kleinen, Fig. 203, für 45 Mk. — [2]) Dingl. Journ. **221**, 468. — [3]) Dingl. Journ. **229**, 130; **232**, 336; **242**, 40; Wagner's Jahresber. 1881, 1047. — [4]) Dingl. Journ. **228**, 432. — [5]) Dingl. Journ. **229**, 446. — [6]) Dingl. Journ. **234**, 306; Wagner's Jahresber. 1880, 274. — [7]) Dingl. Journ. **230**, 322; **233**, 133. — [8]) Dingl. Journ. **231**, 38 u. 470. — [9]) Wagner's Jahresber. 1881, 35. — [10]) Dingl. Journ. **241**, 449; Wagner's Jahresber. d. chem. Technologie 1881, 1050. — [11]) Dingl. Journ. **232**, 527.

[12]) Zur Herstellung solcher Kugeln senkt man den mit einer kleinen Umbiegung versehenen Platindraht senkrecht in eine gewöhnliche eiserne Kugelform und gießt das geschmolzene Kali ein. Die zur Einführung saurer Kupferchlorürlösung, Schwefelsäure, pyrogallussaurem Kalium u. dergl. erforderlichen Kokskugeln werden aus einem fein pulverisirten Gemenge von ungefähr 1 Thl. fetter, möglichst schwefelkiesfreier Steinkohle und 2 Thln. Koks angefertigt. Man schüttet diese Masse um den Platindraht in die noch mit ihrem Eingußcanal versehene Kugelform und erhitzt die letztere langsam bis zum stärkeren Rothglühen. Wird die Masse zu porös oder noch nicht hinlänglich fest, so tränkt man die zuvor über 100° erhitzte Kugel mit concentrirtem Zuckersyrup oder mit Steinkohlentheer und glüht sie darauf in der offenen Flamme einer

ist, daß sie noch Eindrücke vom Nagel annimmt, und die man zuvor an der Oberfläche mit etwas Wasser befeuchtet.

Hat man in Gasgemengen neben Kohlensäure noch Sauerstoff und Stickstoff zu ermitteln, so wird die erstere im Absorptionsrohre bestimmt und das rückständige Gasgemenge in ein Verbrennungseudiometer übergefüllt, um die Verpuffung mit Wasserstoff in einem Raume vornehmen zu können, dessen Wände nicht mit Aetzkali beschmutzt sind, da durch dessen Gegenwart die Spannkraft des Wasserdampfes im feucht gemessenen Gase verändert werden würde. Gebieten es die Umstände, die Versuche in einem und demselben Eudiometer auszuführen, so kann man den Sauerstoff durch Papier- oder Kokskugeln mit pyrogallussaurem Kali nach Absorption der Kohlensäure bestimmen (S. 193). Dann aber ist es unumgänglich nothwendig, das rückständige Stickstoffvolumen durch eine Kalikugel noch vor der Ablesung zu trocknen [1]).

Enthält das zu untersuchende Gas nach Absorption der Kohlensäure so wenig Sauerstoff, daß nach Zulassung von Wasserstoff (S. 192) auf 100 Thle. nicht brennbares Gas weniger als 25 Thle. brennbares Gas kommen, so findet oft nur eine ungenügende oder gar keine Verbrennung beim Durchschlagen des Funkens statt. Man läßt dann so viel Knallgas zutreten, daß dieser Grenzwerth erreicht wird. Verbindet man nach Bunsen zu diesem Zwecke die in zehnfach verdünnte Schwefelsäure eintauchenden Platinplatten *a* (Fig. 205) durch die Platindrähte *b* mit den Polen einer galvanischen Batterie, so erhält man einen gleichmäßigen Strom von Knallgas. Nachdem die Gasentwicklung einige Minuten gedauert hat, um alle Luft auszutreiben und die verdünnte Schwefelsäure mit Wasserstoff und Sauerstoff zu sättigen, wird eine entsprechende Menge Knallgas durch bei *d* eingeführte Schwefelsäure getrocknet oder durch Wasser gewaschen in das Eudiometer eingeführt, und verschwindet hier bei der Verbrennung

---

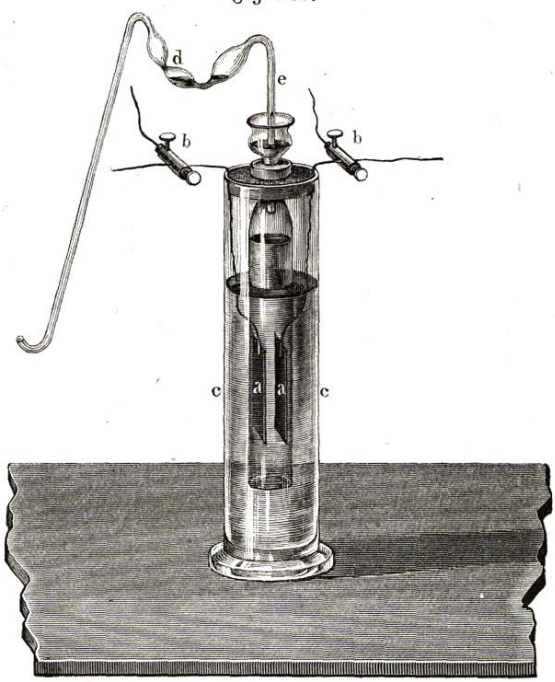
Glasbläserlampe noch einmal stark aus. Vor dem Gebrauche müssen solche Kugeln mit Säure ausgezogen werden, um die darin möglicherweise vorhandenen Metalle und Schwefelmetalle zu entfernen. Statt der Koksmasse ist es oft vortheilhaft, Papiermaché anzuwenden, das man aus Löschpapier bereitet und um den Platindraht in eine noch mit Eingußcanal versehene Kugelform stampft oder preßt; Gypskugeln lassen sich ebenfalls anwenden.

[1]) Obgleich das ganze Volumen solcher Kugeln gewöhnlich kaum mehr als einen Theilstrich der Absorptionsröhre einzunehmen braucht, so kann doch die an der Oberfläche haftende atmosphärische Luft leicht einen Fehler von 0,05 bis 0,1 Theilstrichen zur Folge haben. Um diesen übrigens schon verschwindend kleinen Fehler noch mehr zu verringern, taucht man die zuvor befeuchtete, zwischen Zeigefinger, Daumen und Mittelfinger gehaltene Kugel unter das Quecksilber, streift die Luft mit den Fingern nach dem Drahte hin ab und läßt diesen zwischen Daumen und Zeigefinger emporgleiten, bis die Kugel unter dem Quecksilber an der Wandung des Absorptionsrohres zum Vorschein kommt. Erscheint sie nur an einem Pünktchen sichtbar, so kann man sie bis in das Gas emporschieben; ist sie dagegen mit einer größeren Luftblase umgeben, so zieht man sie zurück, um die Operation von Neuem zu wiederholen. Bei dem Entfernen der Kugel aus dem Gase zieht man sie stoßweise unter das Quecksilber, bis sie ebenfalls an der Glaswandung nur an einem kleinen Pünktchen erkennbar ist.

völlig, wie Bunsen[1]) gezeigt hat. Der Cylinder *c* wird zur Ausgleichung der Temperatur passend mit Alkohol angefüllt.

Um schließlich zu sehen, ob ein Gas außer Stickstoff überhaupt Sauerstoff oder ein brennbares Gas enthält, ermittelt man nach Bunsen zuerst, ob das Gas an und für sich entzündlich ist, indem man einen elektrischen Funken durch ein gemessenes Volumen desselben schlagen läßt. Findet keine Entzündung statt, so folgt daraus, daß keine größeren Mengen eines brennbaren Gases neben Sauerstoff dem Stickgase beigemengt sind. Es werden nun auf 100 Vol. des Gases ungefähr 30 Vol. Knallgas zugelassen und die Verbrennung bewirkt. Ver-

Fig. 205.



ändert sich dadurch das anfängliche Gasvolumen nicht, so ist mit Sicherheit anzunehmen, daß überhaupt kein Sauerstoff neben einem brennbaren Bestandtheile vorhanden war. Um sodann zu sehen, ob Sauerstoff ohne ein brennbares Gas vorhanden ist, fügt man Wasserstoff und so viel Knallgas hinzu, daß das anfängliche Volumen nebst dem zugesetzten Wasserstoff sich zu dem Knall-

[1]) Bunsen: Gasometrische Methoden, S. 78. Zwar beobachtete Schuller (Ann. d. Phys. [1882], **15**, 289) bei der Explosion von Knallgas die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd, Doyere (Ann. chim. phys. [3], **28**, 18) bei der Elektrolyse ein nicht völlig normales Knallgas, Andere hierbei die Bildung von Wasserstoffsuperoxyd. Bei Innehaltung der erwähnten Vorsichtsmaßregeln ist diese Fehlerquelle verschwindend klein oder gar nicht vorhanden.

gas wiederum ungefähr wie 100 : 30 verhält. Erhält man nach der Explosion das ursprüngliche Gas nebst dem zugesetzten Wasserstoff unverändert wieder, so beweist dies die Abwesenheit des Sauerstoffs, und es ist nur noch zu ermitteln, ob keine Spuren brennbarer Bestandtheile zugegen sind. Dies geschieht durch Verbrennung des Gasgemenges mit überschüssiger atmosphärischer Luft bekannter Zusammensetzung oder Sauerstoff, welchen man in einem solchen Verhältnisse hinzufügt, daß das aus dem zugesetzten Wasserstoff und dem Sauerstoff hervorgehende Knallgas gegen die übrigen nicht verbrennlichen Gase sich dem Volumen nach wie 25 bis 60 zu 100 verhält [1]). Entsprechen $^2/_3$ des bei der Explosion dieses Gemenges verschwundenen Gases genau dem zugesetzten Wasserstoffe, so kann man das untersuchte Gas als reinen Stickstoff betrachten. Da Feuergase fast immer überschüssigen Sauerstoff enthalten, so ist diese letztere Prüfung nur in den seltensten Fällen erforderlich.

Zur Bestimmung des Kohlenoxydes führt man nach Absorption der Kohlensäure und des Sauerstoffes durch Kali und Pyrogallol eine Papierkugel (S. 251) in das Bunsen'sche Meßrohr (S. 188) ein, welche mit einer sauren Lösung von Kupferchlorür [2]) getränkt ist und entfernt dann mittelst einer Kalikugel die Salzsäuredämpfe. Genauer wird das Kohlenoxyd dadurch bestimmt, daß man zu dem von Kohlensäure und Sauerstoff befreiten Gase Sauerstoff zutreten läßt, dann, da der Gehalt der Feuergase an Kohlenoxyd fast immer sehr gering ist, zur Erzielung einer vollständigen Verbrennung (S. 252) etwa 25 Proc. des Gesammtvolumens elektrolytisches Knallgas (S. 253), worauf man das Gasgemisch durch einen Funken entzündet [3]), darauf nach Ausgleich der Temperatur Contraction und Kohlensäure bestimmt. Unter Zugrundelegung der S. 238 erörterten Berechnung erhält man gleichzeitig den etwaigen Gehalt der Gase an Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen. Hat sich bei der Explosion keine Kohlensäure gebildet, war somit kein Kohlenoxyd oder Methan vorhanden, so beträgt der Gehalt an Wasserstoff $^2/_3$ der bei der Explosion eingetretenen Contraction.

---

[1]) Enthält das Gas nämlich mehr als 64 Vol. brennbares Gas auf 100 Vol. nicht brennbares, so entsteht die doppelte Gefahr, daß der Apparat in Folge der heftigen Explosion zertrümmert werden (welche man bei Benutzung des Apparates S. 239 dadurch wesentlich vermindern kann, daß man bei zu erwartender heftiger Explosion das Gas durch Senken der Flasche L ausdehnt), und daß sich mit einem Theile Stickstoff Salpetersäure bilden kann. In diesem Falle muß eine entsprechende Menge überschüssiger Luft bekannter Zusammensetzung oder Stickstoff zugesetzt werden.

[2]) Unter Umständen ist zu berücksichtigen, daß Kupferchlorür in saurer Lösung auch Sauerstoff, Acetylen, Allylen und Aethylen absorbirt, in ammoniakalischer Lösung zwar das Quecksilber weniger verunreinigt, sonst aber ähnlich wie die saure Lösung wirkt und auch Kohlenwasserstoffe der Formel C_nH_{2n} verschluckt.

[3]) H. B. Dixon fand, daß Kohlenoxyd und Sauerstoff durch den elektrischen Funken nicht explodiren, wenn das Gasgemisch völlig trocken ist, daß aber das feuchte Gemisch leicht verbrennt (Rep. of the Brit. Assoc. Swansea 1880, 503). Bötsch bestreitet diese Angabe, führt sie auf zu geringen Druck zurück und zeigt, daß die Affinität des Kohlenoxyds zum Sauerstoff bei der Explosion mit der Temperatur wächst (Liebig's Ann. [1882] 210, 207).

Die Darstellung des hierzu erforderlichen Sauerstoffes geschieht nach Bunsen in kleinen, 6 bis 10 ccm fassenden Retorten (Fig. 206), welche man halb mit getrocknetem, gepulvertem, chlorsaurem Kalium füllt, worauf man die Mündung des Ableitungsrohres bei *a* etwas aufwärts biegt, die atmosphärische Luft durch eine rasche Sauerstoffentwicklung austreibt und den Sauerstoff nun unmittelbar in das Eudiometer leitet, doch soll die Sauerstoffmenge den zwei- bis dreifachen Betrag des zu bestimmenden Kohlenoxydes und Wasserstoffes nicht wesentlich übersteigen. In Ermangelung solcher Retorten verwendet man kurze Reagirgläschen, in welche man das Gasableitungsrohr mittelst durchbohrten Korkes einsetzt und welche noch den Vortheil haben, daß das Kaliumchlorat in Krystallen verwendet werden kann, die Röhren aber wiederholt brauchbar sind.

Fig. 206.

Dieses Verfahren von Bunsen zeichnet sich durch große Genauigkeit aus, erfordert aber wegen der langsamen Absorption und des Temperaturausgleiches viel Zeit und einen besonders günstig gelegenen Arbeitsraum. Der vom Verfasser verwendete Apparat (Fig. 196, S. 239) gestattet dagegen die genaue Untersuchung eines derartigen Gasgemisches in etwa einer Stunde und in jedem Laboratorium, da die Temperaturen sehr rasch durch das die Meßröhre umgebende Wasser ausgeglichen werden und die Absorptionen schnell vor sich gehen [1]).

Zu weitaus den meisten Untersuchungen, namentlich zu allen Betriebscontrolen genügt es vollständig, an Ort und Stelle mittelst der Apparate Fig. 203 oder Fig. 204 in der S. 250 erörterten Weise den Gehalt der Feuergase an Kohlensäure und Sauerstoff zu bestimmen, bei geringem Sauerstoffgehalt und anscheinend mangelhafter Verbrennung auch das Kohlenoxyd. Die Bestimmung von Wasserstoff und Kohlenwasserstoff nach Orsat (S. 245), Coquillion (S. 247), welcher neuerdings [2]) statt Palladium auch Platindraht anwendet, sowie nach dem ähnlichen Verfahren von Bunte [3]) muß Verfasser für die Untersuchung von Feuergasen als werthlos bezeichnen, da die unvermeidlichen Versuchsfehler größer sind als die Mengen dieser Gase, welche (mit seltenen Ausnahmen) in Verbrennungsgasen überhaupt vorkommen, eine falsche Analyse aber besser unterbleibt. Wo daher die Untersuchung der Feuergase auf Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe überhaupt erforderlich erscheint, oder wo es auf völlige Genauigkeit bezw. auch der übrigen Bestandtheile ankommt, schmilzt man von Zeit zu Zeit Proben ein (S. 222) und prüft in eben besprochener Weise über Quecksilber.

Zur sicheren Beurtheilung der Feuerung ist zunächst die Kenntniß des Brennwerthes der verwendeten Brennstoffe erforderlich. —

Um nun zunächst eine Durchschnittsprobe der verwendeten Brennstoffe zu erhalten, kann das Verfahren von Scheurer-Kestner (S. 105) zweckmäßiger Weise dahin geändert werden, daß von jedem Karren der zugeführten Kohlen

---

[1]) Nachdem ich den Apparat nunmehr seit zwei Jahren benutze, ziehe ich ihn allen anderen vor. — [2]) Compt. rend. 87, 795; 88, 1204. — [3]) Dingl. Journ. (1878) 228, *529.

eine Schaufel voll in eine mit Deckel versehene Kiste geworfen wird. Nach Beendigung des Versuches werden diese Kohlen zerschlagen, gut gemischt, in erwähnter Weise 4 bis 5 cm hoch ausgebreitet, wiederholt in 4 Theile zerlegt und von zwei gegenüber liegenden Dreiecken eine Durchschnittsprobe von etwa 2 kg in eine gut zu verschließende Flasche gefüllt. Für genauere Untersuchung empfiehlt es sich auch von der zurückgelegten Hälfte in gleicher Weise eine Durchschnittsprobe zu nehmen und diese getrennt zu untersuchen. Da in der Regel während dieser Probenahme bereits ein Wasserverlust zu befürchten ist, so werden von Zeit zu Zeit kleinere Durchschnittsproben von etwa 50 g in vorher gewogenen Probegläschen mit Glasstopfen gefüllt, um zur Wasserbestimmung zu dienen. Eine 44,01 Proc. Wasser enthaltende Braunkohle hatte z. B. nach 24 Stunden bei 18° und 50 Proc. Luftfeuchtigkeit in offener Schale bereits 9,03 Proc. Wasser verloren. Die Untersuchung der Brennstoffe geschieht in der S. 107 bis 127 erörterten Weise.

Enthält nun der fragliche Brennstoff c Proc. Kohlenstoff, h Proc. Wasserstoff, s Proc. Schwefel, o Proc. Sauerstoff und w Proc. Wasser, so erfordert 1 kg Kohle:

$$\frac{2{,}667\,c + 8h + s - o}{100}$$ Kilogramm,

oder

$$\frac{2{,}667\,c + 8h + s - o}{100 \times 1{,}43}$$ Cubikmeter Sauerstoff,

oder

$$\frac{2{,}667\,c + 8h + s - o}{21 \times 1{,}43}$$ Cubikmeter atmosphärische Luft (L)

zur vollständigen Verbrennung (wenn dieselbe 21 Proc. Sauerstoff enthält (vgl. S. 196).

Der Brennwerth wird für praktische Zwecke noch fast immer auf Grund der Elementaranalyse nach der Dulong'schen Formel berechnet. Viele [1]) verwenden hierzu die einfache Formel:

$$W = \frac{8000\,c + 34\,500\,(h - {}^1/_8\,o)}{100},$$

oder auch

$$W = \frac{8000\,c + 34\,462\,(h - {}^1/_8\,o)}{100}.$$

Andere [2]) berücksichtigen das hygroskopische Wasser, z. B.:

$$W = \frac{8000\,c + 34\,400\,(h - {}^1/_8\,o) - 637\,w}{100}.$$

---

[1]) W. Avenarius: Chemisch-technische Analyse. Braunschweig 1882, S. 32. — [2]) E. Kopp: Bolley's Handbuch der chemisch-technischen Untersuchungen. Leipzig 1876, S. 533.

F. Schwackhöfer[1]) führt in den Brennstoffanalysen den Sauerstoff nicht als solchen, sondern mit Wasserstoff verbunden als „chemisch gebundenes Wasser“ auf, für welches die latente Wärme ebenfalls in Abzug gebracht wird, so daß sich unter Beibehaltung der hier gewählten Bezeichnungen die Formel ergiebt:

$$W = \frac{8080\,c + 34\,462\,(h - {}^1/_8\,o) - 637\,(w + {}^9/_8\,o)}{100}.$$

Wieder Andere stellen die Verdampfungswärme des gesammten, bei der Verbrennung gebildeten Wassers in Rechnung und zwar B. Kerl[2]) mit 540 W.-E., Ferrini[3]) mit 600 (abgerundet statt 637) und C. A. M. Balling[4]) sogar mit 652 W.-E. (für 150°), so daß nach Ferrini:

$$W = \frac{8100\,c + 34\,500\,h - 600\,(w + 9\,h)}{100},$$

nach Balling aber:

$$W = \frac{8080\,c + 34\,462\,(h - {}^1/_8\,o) - 652\,(w + 9\,h)}{100}.$$

L. Gruner[5]) führt aus, daß, wenn der feste Kohlenstoff 8080 W.-E. giebt, dem vergasten Kohlenstoffe, entsprechend dem Welter'schen Gesetze[6]), 11 214 W.-E. zukommen, so daß der seiner Ansicht nach wenig condensirte Kohlenstoff der Steinkohlen mehr Wärme erzeugen müsse, als der reine Kohlenstoff aus Holzkohle. Andererseits müsse man für den im festen Zustande befindlichen Wasserstoff der Steinkohle eine niedrigere Zahl als 34 462 W.-E. wählen, weil diese für den gasförmigen Wasserstoff gelte. Er schlägt daher vor, für den Kohlenstoff der Steinkohlen 9000 W.-E., für den Wasserstoff 30 000 W.-E. einzusetzen, und empfiehlt zur Beurtheilung der Kohlen die sogenannte Immediatanalyse, da die Heizkraft der Kohlen mit der Menge des bei der Destillation zurückbleibenden festen Kohlenstoffes zu- und abnehme. In derselben Weise [8080 — (2 × 2473)] berechnet auch Rankine die Vergasungswärme des Kohlenstoffes zu 3134 W.-E.

Sehr ähnlich ist der Vorschlag von Hilt[7]) und Cornut, die Kokesausbeute zu bestimmen und dann den Brennwerth der Kohle zu berechnen nach:

$$W = \frac{8080\,c_f + 11\,214\,c_v + 34\,462\,h}{100},$$

worin c_f den festen, c_v den flüchtigen Kohlenstoff bedeutet. Hierbei ist völlig

---

[1]) Bericht des von der niederösterreichischen Gewerbekammer eingesetzten Comité zur Berathung über eine in Wien zu errichtende Versuchsanstalt für die Erprobung des Heizwerthes von Brennstoffen. Redigirt von C. Völckner, Wien 1880, S. 11 und 47. — [2]) B. Kerl und Stohmann: Technische Chemie, Braunschweig 1876, Bd. 3, S. 867. — [3]) R. Ferrini: Technologie der Wärme, Feuerungsanlagen u. s. w. Unter Mitwirkung des Verfassers aus dem Italienischen von M. Schröter (Jena 1878), S. 135. — [4]) C. A. M. Balling: Metallurgische Chemie, Bonn 1882, S. 224. — [5]) Ann. des Mines (1873) **2**, 511; **4**, 169; Wagner's Jahresber. d. chem. Technol. 1874, 1023; Dingl. Journ. (1874) **213**, 70, 242, 430. — [6]) Vergl. Dingl. Journ. (1876) **220**, 182; (1868) **189**, 44. — [7]) Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure 1875, S. 290.

übersehen, daß die Vergasung des Kohlenstoffes doch Wärme erfordert hat, so daß die Berechnung nach dieser Formel (abgesehen von der zu hohen Zahl für Wasserstoff) zu hohe Werthe giebt.

Zunächst ist bei der Berechnung der Kohlenanalysen die Vereinigung des Sauerstoffes mit der entsprechenden Menge Wasserstoff als „chemisch gebundenes Wasser" entschieden falsch. Denn wenn der Sauerstoff bereits mit Wasserstoff zu Wasser verbunden vorhanden wäre, so müßte dieses bei der Destillation der Brennstoffe als solches entweichen. Thatsächlich enthält aber Steinkohlengas (S. 287) eine große Menge von Kohlensäure und Kohlenoxyd, Holzgas[1]) sogar bis 64 Proc. Kohlensäure und 31 Proc. Kohlenoxyd, das beim schwachen Erhitzen von Braunkohlen erhaltene Gas etwa 60 Proc. Kohlensäure und 20 Proc. Kohlenoxyd, so daß der Sauerstoff dem Kohlenstoff offenbar näher steht als dem Wasserstoff und daher besser getrennt angegeben wird.

Für den Brennwerth des Kohlenstoffs wird man, bis weitere Bestimmungen vorliegen, den Werth von 8080 nach Favre und Silbermann[2]) beibehalten oder den von Scheurer-Kestner[3]) gefundenen von 8103 W.-E. beziehentlich abgerundet 8100 W.-E. und liegt keine Veranlassung vor, auf die Gruner'sche Hypothese einzugehen.

Für Wasserstoff fanden Favre und Silbermann (a. a. O. S. 399) in sechs Versuchen 34 340 bis 34 576, im Mittel 34 462 W.-E., J. Thomsen[4]) 34 180 W.-E., Berthelot[5]) 34 600 W.-E., C. v. Than[6]) 33 982 W.-E., Schuller und Wartha[7]) 34 126 W.-E., im Mittel 34 266 W.-E. Neuerdings hat Than[8]) die genauer ermittelten Werthe umgerechnet unter Annahme der specifischen Wärme des Wassers bei 15° als Einheit:

	Bei constantem Volumen bezieh.	Druck
Nach Than	33 822 W.-E.	34 218 W.-E.
„ Andrews	33 888	34 230
„ Thomsen	33 810	34 297
„ Favre und Silbermann .	33 746	34 154
„ Schuller und Wartha . . .	33 791	34 199
	Mittel 34 220 W.-E.	

Der wahrscheinliche Werth für die Verbrennungswärme des Wasserstoffes zu flüssigem Wasser ist danach 34 220 W.-E. Thatsächlich entweicht nun aber das Wasser aus unseren Feuerungen als Wasserdampf, so daß man 9×637 in Abzug bringen muß, wenn die Gase mit 100° entweichen, somit $34\,220 - 5733 = 28\,487$ W.-E. Dann aber darf man den durch die höhere specifische Wärme der Rauchgase bewirkten Verlust für das hygroskopische und das bei der Verbrennung gebildete Wasser erst von 100° an rechnen. Bequemer für die spätere

[1]) Wagner's Jahresber. 1880, 417. — [2]) Ann. d. chim. phys. (1852) **34**, 411 bis 424. Ihre erste Versuchsreihe ergab 8035 bis 8113, die sechs letzten Versuche 8070 bis 8089 W.-E. — [3]) Compt. rend. (1868) **67**, 661. — [4]) Pogg. Ann. (1873) **148**, 375. — [5]) Compt. rend. (1880) **90**, 1241. — [6]) Bericht. deutsch. chem. Gesellsch. 1877, 947, 2141. — [7]) Ann. d. Phys. (1877) **2**, 359. — [8]) Chem. Centralbl. 1881, 828.

Verluſtberechnung iſt es, bei einer mittleren Lufttemperatur von $T = 20^0$ nach Regnault[1]) 613 W.-E., oder was wohl richtiger erſcheint, da die Gaſe bei Dampfkeſſelfeuerungen mit über 100^0 entweichen, $637 - (80 \times 0{,}4805) = 599$ oder abgerundet 600 W.-E., ſomit 34 220 — 5400 = 28 820 oder rund 28 800 W.-E. als Brennwerth des Waſſerſtoffes in Rechnung zu ſetzen. Die Berechnung der latenten Siedewärme auch für das aus dem ſogenannten gebundenen Waſſerſtoffe gebildete Waſſer halte ich nicht für angebracht.

Der Schwefel iſt in der Kohle theils als Schwefelkies, theils in organiſcher Verbindung vorhanden; er verbrennt theils zu Schwefligſäure, theils aber zu Schwefelſäure, ſo daß man wohl den Mittelwerth 2500 W.-E. einſetzen darf.

Es ergiebt ſich danach die Formel:

$$W = \frac{8100\,c + 28\,800\,(h - {}^1/_8\,o) + 2500\,s - 600\,w}{100}.$$

Ob es richtiger iſt, für gewiſſe Brennſtoffe den Brennwerth des geſammten Waſſerſtoffs in Rechnung zu ſetzen, oder den Sauerſtoff als mit Kohlenſtoff verbunden, ſomit:

$$W = \frac{8100\,c + 28\,800\,h + 2500\,s - 600\,w}{100}$$

oder

$$\frac{8100\,(c - {}^3/_8\,o) + 28\,800\,h + 2500\,s - 600\,w}{100},$$

müſſen weitere Forſchungen ergeben. Völlig zutreffende Reſultate ſind durch dieſe Berechnungen natürlich nicht zu erreichen, da wir es in den Brennſtoffen nicht mit einem Gemiſch von feſtem Kohlenſtoff, gasförmigen Waſſerſtoff und Sauerſtoff, ſondern mit chemiſchen Verbindungen zu thun haben, die zur Zeit noch unbekannt ſind. Für praktiſche Zwecke wird man jedoch vorläufig damit zufrieden ſein, oder aber ſich auf calorimetriſche Beſtimmungen einrichten müſſen (S. *160). —

Die Dauer der Verſuche darf nicht zu kurz bemeſſen werden; eine Beurtheilung der Feuerung läßt ſich meiſt in 3 bis 4 Stunden erreichen, ein Verdampfungsverſuch am Dampfkeſſel z. B. ſollte aber mindeſtens 10 Stunden dauern.

Die Temperatur der abziehenden Rauchgaſe wird mittelſt 75 cm bis 1 m langer Thermometer [womöglich ſolcher mit Stickſtofffüllung[2])] beſtimmt, welche in den Rauchcanal vor dem Schieber ſo eingeſetzt werden, daß die Queckſilberkugel ſich möglichſt mitten im Gasſtrome befindet. Die Ableſungen erfolgen ſo oft (oder halb ſo oft) als Gasproben genommen werden. Haben die Rauchgaſe eine Temperatur von über 360^0, ſo iſt die Bedienung der Feuerung entſprechend zu ändern, oder es ſind die S. 48 und 61 beſchriebenen Pyrometer zu verwenden.

[1]) Regnault: Mémoires de l'Académie (1847) **21**, 635. — [2]) Univerſitätsmechaniker W. Apel in Göttingen liefert 75 cm lange Thermometer für 5,50 Mk., 1 m lange mit Stickſtofffüllung für 12 Mk.

Zur Unterſuchung der Rauchgaſe werden während des ganzen Verſuches in gleichmäßigen Zwiſchenräumen ſtündlich 5 bis 6 Gasproben durch ein luftdicht im Fuchs neben dem Thermometer eingeſetztes Glasrohr, deſſen untere Mündung möglichſt mitten in den Gasſtrom reicht, entnommen und deren Gehalt an Kohlenſäure und Sauerſtoff beſtimmt (S. 248), ſowie auf etwaigen Gehalt an Kohlenoxyd geprüft. Enthalten die Rauchgaſe nennenswerthe Mengen von Kohlenoxyd — was meiſt nur bei mangelhaften Feuerungen der Fall iſt —, ſo iſt die Bedienung der Feuerung entſprechend zu ändern, oder aber es ſind Gasproben einzuſchmelzen und im Laboratorium auf ihren Gehalt an Kohlenoxyd, Waſſerſtoff und Kohlenwaſſerſtoff zu prüfen (S. 222 und 239). Ferner wird ſtündlich der Feuchtigkeitsgehalt (S. 172) und die Temperatur der in die Feuerung tretenden Luft mittelſt eines vor ſtrahlender Wärme geſchützten Thermometers beſtimmt. Von den erhaltenen Reſultaten wird das arithmetiſche Mittel genommen und den folgenden Berechnungen zu Grunde gelegt.

Ergab die Gasanalyſe k Proc. Kohlenſäure, o Proc. Sauerſtoff und n Proc. Stickſtoff, ſo iſt das Verhältniß der gebrauchten Luftmenge zu der theoretiſch erforderlichen, wenn die Verbrennungsluft x Proc. Sauerſtoff und z Proc. Stickſtoff enthält:

$$v = \frac{x}{x-(z\,o:n)} \text{ oder } \frac{n}{n-(z\,o:x)} \text{ bezieh. } \frac{21}{21-(79\,o:n)}$$

bei 21 Proc. Sauerſtoff; 1 kg der Kohle mit c Proc. Kohlenſtoff [1]) giebt $= 1{,}854\,c : 100 = K$ cbm Kohlenſäure (von 0^0 und 760 mm), $Ko : k = O$ cbm Sauerſtoff und $Kn : k = N$ cbm Stickſtoff. Die Menge w des in den Rauchgaſen enthaltenen Waſſerdampfes wird berechnet aus dem Waſſergehalt der Kohle ($w : 100$), dem durch Verbrennung des Waſſerſtoffes gebildeten ($0{,}09\,h$) und dem in der Verbrennungsluft enthaltenen ($v\,Lf$; vgl. S. 183) [2]). Die Geſammtmenge der Verbrennungsgaſe von 1 kg Kohle iſt ſomit:

$$\frac{^{11}/_{3}\,c}{100} + 1{,}430\,O + 1{,}257\,N + \frac{2\,s}{100} + w_1 \text{ Kilogramm,}$$

oder

$$K + \frac{K\,(o+n)}{k} + \frac{2\,s}{286{,}4} + \frac{w_1}{0{,}805} \text{ Kubikmeter von } 0^0 \text{ und } 760\text{ mm.}$$

Enthalten die Rauchgaſe Kohlenoxyd und Kohlenwaſſerſtoff, ſo iſt zu berückſichtigen, daß nach den Formeln $C + O_2 = CO_2$, $C + O = CO$ und $C + 2\,H_2 = CH_4$ je 1 cbm dieſer Gaſe 0,5395 kg Kohlenſtoff enthält [3]). Ergab nun die Analyſe k Proc. Kohlenſäure, d Proc. Kohlenoxyd, m Proc.

---

[1]) Nach Abzug des etwaigen Gehaltes der Aſche an unverbranntem Kohlenſtoff. — [2]) Statt $v\,L$ wird man oft hinreichend genau $K + O + N$ nehmen, welcher Ausdruck wegen des beim Verbrennen des Waſſerſtoffes verſchwundenen Sauerſtoffes meiſt etwas kleiner iſt als $v\,L$. — [3]) 1 kg Kohle giebt $44 : (12 \times 1{,}9781) = 1{,}8537$ cbm Kohlenſäure. Dieſelbe Zahl wird erhalten, wenn für Kohlenſtoff 11,97 und für Sauerſtoff 15,96 geſetzt wird (vgl. Wagner's Jahresber. 1881, 379), folglich enthält 1 cbm $1 : 1{,}8537 = 0{,}5395$ kg Kohlenſtoff.

Methan (CH_4), h Proc. Wasserstoff, o Proc. Sauerstoff und n Proc. Stickstoff, sowie in 1 cbm r kg Kohlenstoff als Ruß, so enthält 1 cbm dieser Gase $= {}^1/_{100}\,(k + d + m)\ 0{,}5395 + r$ kg Kohlenstoff und 1 kg Kohle giebt $= 0{,}01\,c : [0{,}01\,(k + d + m)\ 0{,}5395 + r] = G$ Kubikmeter trockene Gase, darin:

$$\frac{Gk}{100} = K \text{ Kubikmeter Kohlensäure, } \frac{Kd}{k} \text{ oder } \frac{Gd}{100} \text{ Kohlenoxyd,}$$

$$\frac{Gm}{100} \text{ Methan, } \frac{Gh}{100} \text{ Wasserstoff, } \frac{Go}{100} \text{ Sauerstoff und } \frac{Gn}{100} \text{ Stickstoff.}$$

Schwefligsäure (bezieh. Schwefelsäure) und Wasserdampf werden wie vorhin berechnet. Das Gewicht dieser Gase findet sich leicht mit Hülfe der kleinen Tabelle auf S. 139.

Der Brennwerth des Kohlenoxydes ist nach Favre und Silbermann[1]) 2389 bis 2417, im Mittel 2403 W.-E., nach Thomsen[2]) = 68 370 : 28 = 2442 W.-E., nach Berthelot[3]) = 68 300 : 28 = 2439 W.-E., im Mittel somit 2428 W.-E. Der Brennwerth des Methans ist nach Favre und Silbermann (a. a. O. S. 427) = 13 063 W.-E., nach Thomsen = 213 530 : 16 = 13 346 W.-E., nach Berthelot = 213 500 : 16 = 13 344 W.-E., im Mittel 13 251 W.-E., bezogen auf flüssiges Wasser. Nun giebt 1 kg Methan 2,25 kg Wasser, so daß unter Zugrundelegung von 20° Lufttemperatur 1350 W.-E. abzuziehen sind und nur 11.900 W.-E. gerechnet werden dürfen. Somit ergeben sich die Brennwerthe:

	Bildung von flüssigem Wasser bei 0°			Bildung von Wasserdampf bei 20°			Gewicht von 1 cbm
	1 kg	cbm		1 kg	cbm		
Kohlenoxyd (CO) . . .	2 428	3058	W.-E.	2 428	3058	W.-E.	1,2593 kg
Methan (CH_4)	13 251	9481		11 900	8514		0,7155
Wasserstoff	34 220	3060		28 800	2580		0,0896

Der Verlust durch unvollkommene Verbrennung ergiebt sich aus dem Brennwerthe der unverbrannten Kohle in den Herdrückständen und dem der etwaigen brennbaren Bestandtheile (Kohlenoxyd, Methan, Wasserstoff, Ruß) der Rauchgase.

Ein Beispiel möge diese Berechnungen erläutern. Die verwendete Kohle bestehe aus:

Kohlenstoff	80 Proc.
Wasserstoff	4
Sauerstoff	8
Stickstoff	1
Schwefel	2
Wasser	3
Asche	2
	100

[1]) Ann. de chim. phys. (1852) 34, 405. — [2]) Bericht. deutsch. chem. Gesellsch. 1880, 1321, 1805, 2320. — [3]) Wagner's Jahresber. 1880, 922.

So iſt der Brennwerth nach der S. 259 entwickelten Formel:

$$W = \frac{8100 \times 80 + 28800\,(4 - {}^{8}/_{8}) + 2500 \times 2 - 600 \times 3}{100} = 7376 \text{ W.-E.}$$

1 kg dieſer Kohle erfordert

$$\frac{{}^{8}/_{3} \times 80 + 8 \times 4 + 2 - 8}{100} = 2{,}393 \text{ kg oder } 1{,}673 \text{ cbm Sauerſtoff,}$$

ſomit

$$\frac{{}^{8}/_{3} \times 80 + 8 \times 4 + 2 - 8}{1{,}43 \times 21} = 7{,}97 \text{ cbm Luft,}$$

wenn dieſelbe 21 Proc. Sauerſtoff enthielt.

Die Unterſuchung der Rauchgaſe ergebe zunächſt im Durchſchnitt 320° und:

Kohlenſäure	15 Proc.
Sauerſtoff	5
Stickſtoff	80

Die äußere Luft habe 20° und ſei mit Waſſerdampf geſättigt, ſo daß $f = 0{,}017$ (S. 183), die Aſche enthalte zu vernachläſſigende Mengen unverbrannter Kohle. Dann ergab 1 kg Kohle $1{,}854 \times 0{,}8 = 1{,}483$ cbm Kohlenſäure, 0,494 cbm Sauerſtoff und 7,909 cbm Stickſtoff, zuſammen 9,886 cbm trockener Gaſe; dieſelbe Zahl wird nach der Formel $c : (k \times 0{,}5395)$ oder $80 : (15 \times 0{,}5395)$ erhalten. Das Verhältniß der gebrauchten zur theoretiſch erforderlichen Luftmenge iſt $v = 1{,}31$. Die Menge des Waſſerdampfes iſt $0{,}03 + 0{,}36 + (7{,}97 \times 1{,}31 \times 0{,}017) = 0{,}567$ kg $= 0{,}705$ cbm. Der Wärmeverluſt beträgt ſomit für 1 kg Kohle:

	cbm	(320 — 20) × Specif. W.	Wärmeverluſt
Kohlenſäure	1,483	138,9	206 W.-E.
Sauerſtoff	0,494	93,3	46
Stickſtoff	7,909	91,9	727
Schwefligſäure	0,014	133,4	2
Waſſerdampf	0,705	116,0	82
	10,605		1063 W.-E.

ſomit 14,3 Proc. des Geſammtbrennwerthes. Für die trockenen Rauchgaſe allein ergeben ſich 980 W.-E., bei Annahme einer mittleren ſpecifiſchen Wärme von 0,307, wie Bunte (S. 165) annimmt, aber nur 910 W.-E., während auf den meiſt nicht berückſichtigten Waſſerdampf der Verbrennungsluft 25 W.-E. entfallen. Ich kann mich daher zur Annahme derartiger Näherungswerthe nicht entſchließen, welche nur den Zweck haben, nach einem 8 bis 10ſtündigen Heizverſuche bei der Berechnung der Reſultate einige Minuten Zeit zu erſparen, dafür aber etwa 10 Proc. des Geſammtverluſtes betragende Rechnungsfehler zu begehen. Der Verluſt durch die Schwefligſäure der Rauchgaſe dagegen iſt ſo klein, daß er um ſo eher vernachläſſigt werden kann, als dieſe gewöhnlich mit der Kohlenſäure zuſammen beſtimmt wird. Die mit der Temperatur ſteigende

ſpecifiſche Wärme der Kohlenſäure iſt aber zu berückſichtigen (S. 143), da Le Chatelier[1]) neuerdings wieder beſtätigt hat, daß die ſpecifiſche Wärme der Kohlenſäure und des Waſſerdampfes bei 2000° faſt doppelt ſo groß iſt, als bei 200°.

Hätte man den Brennwerth der Kohle auf flüſſiges Waſſer von 0° berechnet, ſomit:

$$W = 8100 \times 0{,}8 + 34\,220 \times 0{,}03 + 2500 \times 0{,}02 = 7557 \text{ W.-E.},$$

ſo ergiebt die Verluſtberechnung für Waſſer:

$$\begin{aligned}(0{,}03 + 0{,}36)\,637 \;\ldots\ldots\ldots &= 248 \text{ W.-E.}\\ 0{,}39 \times 220 \times 0{,}4805 \;\ldots\ldots\ldots &= 41\\ (7{,}97 \times 1{,}31 \times 0{,}017) \times (300 \times 0{,}4805) &= 25\\ &= 314 \text{ W.-E.},\end{aligned}$$

wenn man auch die latente Wärme für das aus dem ſogenannten gebundenen Waſſerſtoff gebildete Waſſer in Rechnung ſetzt. Geſchieht dies nicht, ſo iſt der Verluſt um $0{,}09 \times 600 = 54$ W.-E. geringer, beträgt ſomit nur 260 W.-E. Nach der erſten Rechnung bleibt demnach ein nutzbarer Reſt von $7376 - 1063 = 6313$ W.-E., nach der letzteren von $7557 - 1241 = 6316$ W.-E.; der Unterſchied erklärt ſich aus den Abrundungen der Rechnung, ſowie aus der der letzteren Rechnung zu Grunde liegenden Annahme, daß die Kohle 0° habe.

Bei ſonſt gleichen Verſuchsbedingungen ergebe die Unterſuchung der Rauchgaſe einer ſchlechten Feuerung in 1 cbm 0,0011 kg Kohlenſtoff als Ruß und:

Kohlenſäure	15	20 Proc.
Kohlenoxyd	4	
Kohlenwaſſerſtoff	1	
Waſſerſtoff	1	
Sauerſtoff	2	
Stickſtoff	77	

Für je 100 kg Kohlen ſeien 2,5 kg Herdrückſtände mit 20 Proc. unverbranntem Kohlenſtoff erhalten, ſo daß von 1 kg Kohle ſtatt 0,80 nur 0,795 kg Kohlenſtoff in die Rauchgaſe übergegangen ſind und 1 kg Kohle $= 0{,}795 : [0{,}2 \times 0{,}5395 + 0{,}0011] = 7{,}294$ cbm trockene Rauchgaſe gegeben hat und darin 1,094 cbm Kohlenſäure, 0,292 cbm Kohlenoxyd, 0,073 cbm Methan, 0,073 cbm Waſſerſtoff, 0,146 cbm Sauerſtoff, 5,616 cbm Stickſtoff und 0,008 kg Ruß. 1 Liter Methan enthält 2 Liter Waſſerſtoff, es entweichen ſomit 0,219 Liter oder 0,02 kg, alſo die Hälfte des Waſſerſtoffs unverbrannt, ſo daß die Rauchgaſe nur 0,37 kg oder 0,46 cbm Waſſerdampf enthalten und ſich durch die höhere Temperatur der Gaſe ein Wärmeverluſt ergiebt von:

---

[1]) Compt. rend. (1881) **93**, 1014.

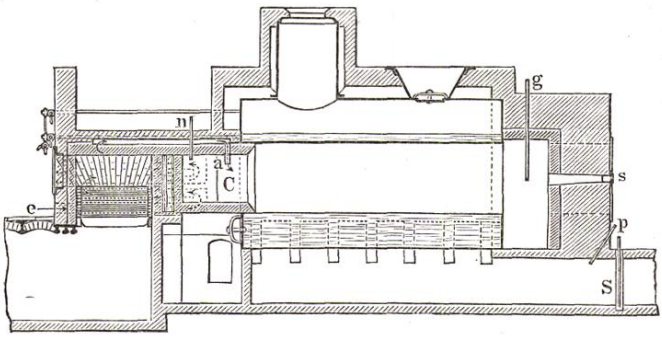
	cbm	(320 — 20) × Specif. W.	Wärmeverluſt
Kohlenſäure	1,094	139	152 W.-E.
Kohlenoxyd	0,292	93	27
Methan	0,073	127	9
Waſſerſtoff	0,073	92	7
Sauerſtoff	0,146	93	14
Stickſtoff	5,616	92	517
Waſſer	0,46	116	53
			779 W.-E.

Der Wärmeverluſt durch unvollkommene Verbrennung ergiebt ſich für 1 kg Kohle zu:

	cbm	kg	Brennwerth
Kohlenoxyd	0,292	0,368	893 W.-E.
Methan	0,073	0,052	620
Waſſerſtoff	0,073	0,0065	187
Ruß	—	0,008	65
Kohlenſtoff der Herdrückſtände	—	0,005	40
			1805 W.-E.

Als Beiſpiel einer ausgeführten Rauchgasanalyſe möge die Unterſuchung einer Dampfkeſſelfeuerung näher erörtert werden, bei welcher gleichzeitig feſtzuſtellen

Fig. 207.



war, welchen Werth eine ſogenannte Rauchverbrennungsvorrichtung hatte. Dieſelbe iſt, wie die drei Figuren 207 bis 209 zeigen, bei einem Einflammrohrkeſſel als Vorfeuerung ausgeführt. Die von der Thür *d* aus in den Schacht *A* eingefüllten Kohlen werden hier vorgewärmt, theilweiſe entgaſt, rutſchen dann zu beiden Seiten auf dem ſchrägen Roſt *r* herunter, um hier und auf den wagerechten Roſten der von *b* aus zugänglichen Brennkammern *B* völlig zu verbrennen. Die durch die Oeffnung *e* angeſaugte Luft umzieht die Wandungen der Brennkammern *B*, erhitzt ſich weiter in den Zwiſchenräumen der beiden in einander geſteckten Chamotteröhren *C* und miſcht ſich bei *a* mit den durchziehenden Feuergaſen, um hierdurch eine völlige Verbrennung der Rauchgaſe zu erzielen.

Nachdem Verfasser zunächst durch Vorversuche festgestellt hatte, daß bei einer Schieberöffnung S von 24 cm die Rauchgase im Durchschnitt mit 6,1 Proc. Kohlensäure und 245°, bei 11 cm Schieberöffnung mit 11,7 Proc. Kohlensäure und 215°, bei 9 cm Schieberöffnung aber im Durchschnitt mit 14,2 Proc. Kohlensäure und 201° entwichen, wurde wenige Tage später eine längere Versuchsreihe ausgeführt, deren Resultate in nachfolgender Tabelle zusammengestellt sind. Die Temperatur t der abziehenden Rauchgase wurde bei p mit einem 75 cm langen Quecksilberthermometer mit Stickstofffüllung, die Temperatur T am Ende des ersten Zuges mit einem durch das Schauloch s eingeführten neuen Graphitpyrometer von Steinle und Hartung (S. 11) bestimmt. Die Gase wurden bei p angesaugt, zur Vergleichung auch bei g durch ein eingesenktes Porzellanrohr zeit-

Fig. 208.

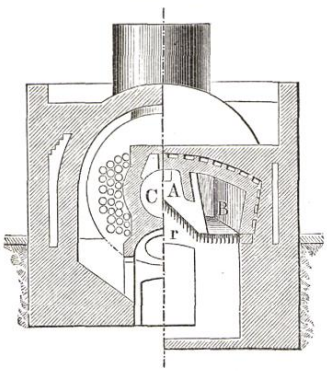
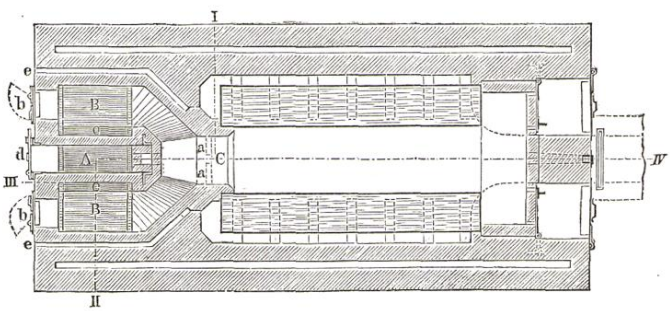


Fig. 209.



weilig Proben entnommen und an Ort und Stelle mittelst des Apparates Fig. 204 in der S. 250 erörterten Weise untersucht. Da die Analysen übereinstimmten, so waren die Gase hinreichend gemischt, gleichzeitig ergab sich hierdurch, daß das Mauerwerk gut gedichtet war, da sonst der Sauerstoffgehalt der Gase bei p größer, der Kohlensäuregehalt entsprechend kleiner gewesen wäre als bei g. Da die abziehenden Rauchgase rauchfrei waren und hinreichend Sauerstoff enthielten, so war vorauszusehen, daß keine nennenswerthen Mengen Kohlenoxyd und Wasserstoff vorhanden sein konnten, doch wurde, als der Sauerstoffgehalt sehr gering war, eine Probe eingeschmolzen (S. 222) und mit dem Apparate Fig. 196 untersucht. Um ferner die Wirkung der Luftzufuhr bei e festzustellen, wurden zeitweilig Proben von den Luftaustrittsöffnungen bei a durch ein Porzellanrohr n entnommen. Die Untersuchung ergab:

Probenahme		Kohlensäure	Sauerstoff	Stickstoff	T	t	Bemerkungen
Uhr	Min.						
8	55	14,3	5,1	80,6	640	231	Lufttemp. 23°, 1 cbm Luft enthält 16,5 g Wasser.
9	—	12,1	7,7	80,2			Schieberstellung S 9 bis 10 cm.
	5	9,9	10,0	80,1			
10	5	14,3	5,2	80,5	565	202	
	10	14,8	4,6	80,6			
	20	15,4	3,8	80,8	561	205	
	30	14,5	4,9	80,6			
	40	14,6	4,9	80,5	568	208	
	50	13,6	6,1	80,3			
11	—	13,9	5,6	80,5	562	204	Lufttemp. 24°, 1 cbm Luft enthält 16,1 g Wasser.
	10	13,9	5,8	80,3			
	15	14,0	5,3	80,7			
	20	15,9	3,8	80,3			} Vorn bei n.
	25	14,0	5,4	80,6			
	40	14,9	4,8	80,3	508	206	Luftzufuhr e verstopft.
	50	13,9	5,7	80,4			
12	—	12,4	7,0	80,6	545	206	
	10	5,5	14,6	79,9			Während des Ausschlackens.
	15	6,2	13,7	80,1			
	30	8,4	11,6	80,0			
	45	12,2	7,7	80,1	610	218	Luftzufuhr wieder geöffnet.
1	—	12,2	7,5	80,3	580	209	
	20	14,8	5,0	80,2	540	208	
	30	14,1	5,3	80,6			
	40	12,9	6,5	80,6			
	50	12,2	7,3	80,5	520	201	
2	—	14,6	4,6	80,8			Lufttemp. 24,5°, 1 cbm Luft enthält 15,4 g Wasser.
	10	13,6	5,8	80,6			
	20	13,1	6,3	80,6	552	204	
	30	14,2	5,4	80,4			
	50	13,3	6,0	80,7			
3	—	13,4	6,1	80,5	580	218	
		13,0	6,6	80,4	564°	209°	Mittel.

Eine Durchſchnittsprobe der zur Heizung des Keſſels verwendeten weſtfäliſchen Nußkohlen (Shamrock) beſtand aus:

Kohlenſtoff	85,14
Waſſerſtoff	4,62
Schwefel, flüchtig	1,04
Schwefel in der Aſche	Spur
Sauerſtoff und Stickſtoff	6,20
Waſſer	1,06
Aſche	1,94
	100,00

entſprechend einem Brennwerthe von rund 8000 Wärmeeinheiten.

Der Durchſchnitt obiger 32 Einzelproben[1]) ergibt ſomit für 1 kg Kohle

	cbm	185 × Spec. Wärme[2])	Wärmeverluſt
Kohlenſäure	1,58	81,23	128 W.-E.
Sauerſtoff	0,80	57,56	46
Stickſtoff	9,77	56,68	554
Waſſer	0,77	71,54	55
	12,92		783 W.-E.

Für je 1 kg Kohle entwichen demnach durchſchnittlich 12,92 cbm Verbrennungsgaſe mit 783 Wärmeeinheiten, entſprechend einem Wärmeverluſt von 9,8 Proc. (vgl. S. 146). Eine ſpätere Verſuchsreihe ergab im Weſentlichen daſſelbe Reſultat. Eine dem Rohre *g* entnommene Probe beſtand (über Queckſilber unterſucht) aus:

---

[1]) Zur bequemen Berechnung des Wärmeverluſtes möge als Nachtrag zu S. 144 eine Zuſammenſtellung der ſpecif. Wärme der Gaſe berechnet auf 1 cbm derſelben folgen:

	Specif. Wärme	Gewicht von 1 cbm	Specif. Wärme von 1 cbm
Kohlenſäure (CO_2) von 10 bis 150°	0,20914	1,9781 k	0,4137
200	0,21564	—	0,4265
250	0,22197	—	0,4391
300	0,22812	—	0,4512
350	0,23409	—	0,4631
Kohlenoxyd	0,2450	1,2593	0,3084
Sauerſtoff	0,21751	1,4303	0,3111
Stickſtoff	0,2438	1,2566	0,3064
Waſſerſtoff	3,4090	0,0896	0,3054
Waſſerdampf	0,48051	0,8048	0,3867
Methylwaſſerſtoff (CH_4)	0,59295	0,7155	0,4243
Schwefligſäure	0,15531	2,8640	0,4448

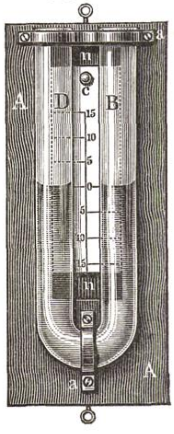
[2]) 209° weniger 24° Lufttemperatur.

Kohlensäure	16,59
Kohlenoxyd	0
Sauerstoff	2,80
Wasserstoff	0
Stickstoff	80,61
	100,00

Brennbare Gase waren demnach trotz des geringen Luftüberschusses hier nicht nachweisbar; dieses günstige Verhältniß ist wohl der theilweisen Entgasung im Füllschacht, sowie dem Umstande zuzuschreiben, daß die Feuergase zunächst durch das glühende Chamotterohr hindurchgehen müssen, bevor sie mit abkühlenden Kesselflächen zusammenkommen. Dem entsprechend war auch die Rußbildung bei beiden Kesseln gering, so daß aus dem Schornsteine nur dann schwarzer Rauch entstieg, wenn der Heizer aus dem Kohlenschachte eine größere Menge nicht genügend erhitzter Kohlen auf den Planrost in *B* niederstieß. Die complicirte Luftzuführung bei *a* dagegen erwies sich, wie vorauszusehen war, nach obigen Analysen als zwecklos, da das Verschließen derselben ohne nachweisbaren Einfluß auf die Rauchgase war. —

Bei der Untersuchung von Feuerungsanlagen ist auch oft die Zugstärke zu messen. Hierzu verwendet Verfasser seit Jahren ein U-Rohr, welches zur Erleichterung des Ablesens mittelst kleiner Messingbügel *a* (Fig. 210) auf das 1 cm dicke Brett *A* befestigt ist. Hinter dem Rohre *BD* ist in einem 4 mm tiefen Ausschnitte *n* ein kleiner Maßstab mit Millimetertheilung mittelst des Knopfes *c* verschiebbar eingesetzt. Beim Gebrauch wird das Rohr etwa zur Hälfte mit gefärbtem Wasser gefüllt, dann das Brett mittelst zweier unten und oben eingeschraubter Oesen an eine Wand, bei einzelnen Untersuchungen auch einfach an den Apparat für Rauchgasanalysen (S. 249) befestigt und mittelst des Knopfes *c* der Maßstab so verschoben, daß der Nullpunkt genau mit dem unteren Meniskus der Flüssigkeit in beiden Schenkeln — wie in Fig. 210 — zusammentrifft. Nun wird der Schenkel *D* mittelst Gummistopfen und Glasrohr oder Gummischlauch mit dem Schornsteine verbunden und der Höhenunterschied beider Flüssigkeitssäulen abgelesen. Da hier keine Luft hindurchgesaugt wird, so kann man mittelst dieser kleinen Vorrichtung selbst auf größere Entfernungen hin durch Einschaltung eines engen Bleirohres oder Gummischlauches die Zugstärke messen. Durch Lösen der Verbindung kann man sich jederzeit von der Richtigkeit der Angaben überzeugen. — Andere Zugmesser sollen später besprochen werden.

Fig. 210.



Generatorgase werden in der S. 239 besprochenen Weise untersucht, oder aber wie Leuchtgas.