

lungsgefäß gebracht und auf 5 cm eingeeengt. Nach Maskierung des Eisens durch einige Kriställchen Weinsäure wird die Lösung eben ammoniakalisch gemacht und ein Überschuß einer 1%igen alkoholischen Dimethylglyoximlösung (etwa 1 cm) zugegeben. Der Niederschlag wird durch halbstündiges Erwärmen auf dem Wasserbad bei etwa 80° leicht filtrierbar (Jenaer Mikro-Glasfiltrerröhrchen).

Das Filtrat wird im Platinschälchen eingedampft, der Rückstand gegläht und das Eisen kolorimetrisch über Rhodaneisen ermittelt.

Auf diese Weise lassen sich bei Einwaagen von 25 g Öl in diesem noch tausendstel Prozente an Eisen, Nickel und Kupfer mit ziemlich großer Genauigkeit bestimmen.

B. Bestimmung von Spuren von Gasen und Dämpfen.

4. Methoden zur Ermittlung kleinster Mengen von Wasserstoff und Kohlenoxyd im Carbonyleisen.

Das durch thermische Zersetzung von Eisenpentacarbonyl hergestellte Eisen, welches sich durch einen sehr hohen Reinheitsgrad auszeichnet, kann noch äußerst geringe Mengen von Kohlenoxyd und Wasserstoff enthalten. Die Mengen dieser Gase liegen meistens unter $\frac{1}{1000}\%$; die zu ihrer Bestimmung benutzten Analysemethoden müssen bei etwa 10 g Einwaage an Eisen die quantitative Bestimmung von etwa 30 bis 50 Gamma Wasserstoff oder Kohlenoxyd gestatten.

Verfahren zur Bestimmung des Wasserstoffes im Eisen sind in der Literatur mehrere angegeben¹²⁾. Bei den chemischen oder Lösungsmethoden wird das Eisen durch Brom usw. zersetzt, während die physikalischen, sogenannten Extraktionsverfahren in der Weise arbeiten, daß das Eisen mit einem Zuschlag geschmolzen wird; zur Bestimmung des Wasserstoffes werden dann die im Vakuum freigemachten Gase analysiert. Bei dem von uns zurzeit benützten, ohne Vakuum arbeitenden Verfahren wird der Wasserstoff durch Erhitzen freigemacht und an Kupferoxyd zu Wasser verbrannt; dieses wird ermittelt. Da gravimetrische Methoden zur Erfassung der äußerst geringen Wassermengen ausscheiden, haben

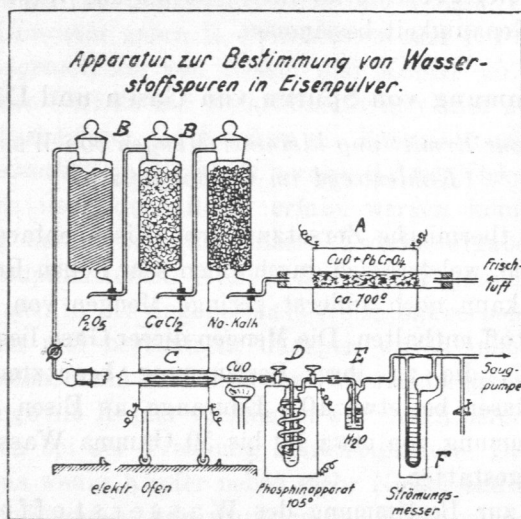
¹²⁾ OBERHOFFER u. BEUTELL, Stahl-Eisen, 1584 (1919).

VITA u. MAURER, Stahl-Eisen, 445 (1922).

OBERHOFFER u. PIWOWARSKY, Stahl-Eisen, 801 (1922).

T. E. ROONEY u. GUY BARR, Iron Coal Trades Rev., 119, 41; C. Bl., II, 1437 (1929).

wir mit Erfolg das von J. LINDNER¹³⁾ für die Wasserstoffbestimmung in der Halbmikroelementaranalyse angegebene Naphthyloxychlorphosphin, $C_{10}H_7POCl_2$, benützt. 1 Mol Wasser spaltet aus dem auf etwa $105^\circ C$ erhitzten Phosphin 2 Mole Chlorwasserstoff ab; dieser kann in einfacher Weise titrimetrisch ermittelt werden. 0,100 ccm n/10-NaOH zeigen 10,08 Gamma Wasserstoff an. Die von uns benützte Apparatur ist in folgender Weise angeordnet:



Ein Vorreiniger A nimmt aus der angesaugten Frischluft eventuell in dieser enthaltene organische (kohlenwasserstoffhaltige) Verbindungen durch Verbrennung dieser über Kupferoxyd-Bleichromat heraus; die so vorbehandelte Luft wird in dem Reinigungssystem B über Natronkalk, Chlorkalzium und Phosphorperoxyd von Kohlensäure und Wasserdampf befreit. In dem verschiebbaren elektrischen Ofen C befindet sich ein mit Schliff versehenes Bergkristallrohr von etwa 18 mm lichter Weite, das sich nach dem Phosphinapparat D zu auf etwa 10 mm lichte Weite verjüngt und dort einen etwa 10 cm langen Kupferoxydkontakt, der durch eine Gasflamme erhitzt wird, trägt. Das Bergkristallrohr läuft kapillar aus; an die Kapillare schließt sich mittels einer Gummimanschette (nach PREGL behandelt) die von LINDNER konstruierte, mit etwa 6 ccm des Phosphins (Merck) beschickte Spiralwaschflasche D an, welche in einem elektrischen Ofen auf zirka 105° erhitzt werden kann und eine innige Berührung der wasserdampfhaltigen Luft mit dem Phosphin gewährleistet. Es folgt dann ein mit etwa 5 ccm destil-

¹³⁾ Berichte, **55**, 2025 (1922).

Ztschr. f. analyt. Chem., **66**, 305 (1925).

liertem Wasser beschicktes Waschfläschchen E, welches den entstandenen Chlorwasserstoff aufnimmt, und schließlich ein Strömungsmesser F. Der durch eine Wasserstrahlpumpe angesaugte Luftstrom kann durch einen Präzisionsquetschhahn reguliert werden. Gummiverbindungen und Schläuche sind an der gesamten Apparatur möglichst vermieden und durch Schliffe oder Bleirohr ersetzt.

Vor Benützung der Apparatur trocknet man das auf zirka 105° erhitze Phosphin, indem man einen durch A und B gereinigten Luftstrom mit zirka 1 Liter-Stunde Geschwindigkeit durch die erhitze Apparatur saugt. Allmählich nimmt die Säureentwicklung aus dem Phosphin immer mehr ab und bleibt schließlich bei einem Verbrauch von etwa 0,05 ccm bis höchstens 0,1 ccm n/10-Lauge-Stunde stehen. Ist die Apparatur praktisch wasserfrei, das heißt, bleibt der Leerversuch bei zirka 0,05 ccm n/10-Lauge/Stunde konstant, so werden etwa 10 g des gegebenenfalls im Vakuum über Phosphorperoxyd getrockneten Eisenpulvers auf einem zirka 15 cm langen Porzellanschiffchen in das Bergkristallrohr eingebracht. Man erhitzt das Eisen während einer Stunde im Luftstrom, welcher mit gleicher Geschwindigkeit wie beim Leerversuch eingestellt ist, unter Verschieben des elektrischen Ofens auf zirka 700° ¹⁴⁾; dabei entweicht der Wasserstoff aus dem Eisen und verbrennt am Kupferoxyd zu Wasser. Die von diesem aus dem Phosphin freigemachte und in dem Waschfläschchen E absorbierte Salzsäure wird durch Titration mit n/10-Lauge (Mikrobürette, 2 ccm in $\frac{1}{100}$ ccm geteilt) ermittelt.

Zur Kohlenoxydbestimmung im Eisen sind in der Literatur¹⁵⁾ zahlreiche Methoden angegeben. Ohne hier näher auf die einzelnen Verfahren einzugehen, sei kurz mitgeteilt, daß die sogenannten thermischen Methoden, also die Entgasung des Eisens unter Erhitzen im Hochvakuum (die sogenannte Heißextraktion), meistens viel zu hohe Kohlenoxydwerte liefern, weil die im Eisen enthaltenen Sauerstoffverbindungen mit dem Kohlenstoff des Eisens teilweise unter Kohlenoxydbildung reagieren. Bei der sogenannten Kaltextraktion, welche auf der Umsetzung des Eisens durch Brom, Quecksilberchloridlösung oder Kupferammonchloridlösung und nachfolgender Bestimmung des freigemachten Kohlenoxyds beruht, findet man im Vergleich zu den thermischen Verfahren kleinere, dem wirklichen Kohlenoxydgehalt entsprechende Werte; die Bildung von Reaktionsgasen ist hier ausgeschlossen. Die von uns zurzeit benutzte Methode zur Bestimmung der Kohlenoxydspuren im Carbonyleisen ist eine Verfeinerung des zuerst von GOUTAL¹⁶⁾ angegebenen, ohne Vakuum arbeitenden Verfahrens.

¹⁴⁾ ROONEY u. BARR, Iron Coal Trades Rev., **119**, 41; C. Bl., **II**, 1437 (1929).

¹⁵⁾ Vergl. dazu die Anm. ¹²⁾.

¹⁶⁾ Ref. Stahl-Eisen, 1079 (1909).

VITA u. MAURER, Stahl-Eisen, 445 (1922).

Man löst eine kleine Menge des Eisenpulvers in einer schwach sauren Kupferammonchloridlösung im Stickstoffstrom und ermittelt das freigewordene Kohlenoxyd nach entsprechender Reinigung durch Oxydation an Jodpentoxyd. Die Apparatur ist in folgender Weise angeordnet (siehe Abb. 6):

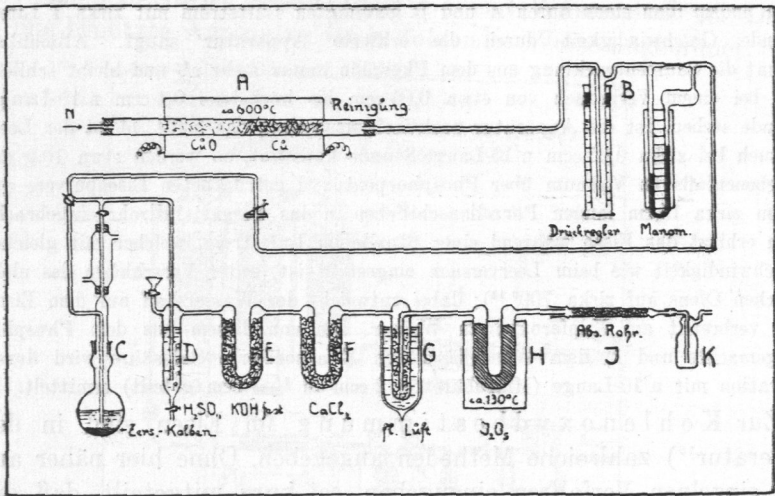


Abb. 6.

Der Stickstoff, aus einer Bombe entnommen, wird im Ofen A an Kupferoxyd-Kupfer bei zirka 700° gereinigt; nach Passieren von Druckregler und Meßvorrichtung B tritt er über einen Dreiweghahn in das Zersetzungsgefäß C ein. D, E und F sind mit konzentrierter Schwefelsäure, festem Ätzkali und Chlorkalzium beschickte Absorptionsgefäße; die Schwefelsäure soll den aus dem Zersetzungsgefäß mitgerissenen Wasserdampf und bei der Zersetzung des Eisens eventuell entstehende Kohlenwasserstoffe teilweise herausnehmen. Die Endreinigung des Gasstromes erfolgt in dem Absorptionsgefäß G (Silberwollefüllung; mit flüssiger Luft gekühlt). Das Jodpentoxydgefäß H ist mit granuliertem Jodpentoxyd gefüllt und wird in einem Aluminiumblock auf etwa 130° erhitzt. Das freigemachte Jod wird in einem dem PREGL'schen Perlenrohr nachgebildeten Absorptionsrohr¹⁷⁾ J durch Jodkalilösung absorbiert; ein Blasenzähler K bildet den Abschluß der Apparatur. Gummiverbindungen sind möglichst vermieden und durch Schcliffe ersetzt.

Man trocknet zuerst das Jodpentoxyd durch mehrstündiges Erhitzen auf zirka

¹⁷⁾ TAUSZ u. JUNGSMANN, Mitteil. des Chem.-Techn. Inst. d. Techn. Hochschule Karlsruhe, Heft I, 1923 (Verlag Knapp, Halle).

Ref. G. KLEIN u. R. STREBINGER, Fortschritte der Mikrochemie, S. 350, 1928, Leipzig-Wien.

195°; dabei wird gereinigter Stickstoff durch die Apparatur geleitet. Dann wird das Perlenrohr mit frisch bereiteter, 10%iger Jodkalilösung beschickt und die Temperatur des Jodpentoxyds auf zirka 120 bis 130° eingestellt. Der Stickstoffstrom geht jetzt durch den Zersetzungskolben C, in dem sich 180 ccm einer zirka 30%igen wässrigen Lösung von Kupferammonchlorid (Merk), mit 1,8 ccm konzentrierter Salzsäure angesäuert, befinden; seine Strömungsgeschwindigkeit beträgt etwa 2 Liter/Stunde. Bei diesen Leerversuchen soll aus dem Jodpentoxyd in 1½ Stunden kein Jod oder höchstens Mengen, welche etwa 0,02 ccm n/100-Thiosulfatlösung entsprechen, freigemacht werden. Sind die Leerversuche befriedigend, dann wird der Zersetzungskolben durch Drehen des Dreiweghahns ausgeschaltet und abgenommen. Man gibt zu der in ihm befindlichen Kupferlösung rasch 10 g des Eisenpulvers und fügt den Kolben sofort unter Umschalten des Dreiweghahns in die Apparatur ein. Unter ziemlicher Selbsterwärmung geht das Eisen in Lösung, während Kupfer ausfällt; die Lösung des Eisens wird durch öfteres Umschütteln beschleunigt. Nach 45 Minuten wird der Zersetzungskolben durch Drehen des Dreiweghahns ausgeschaltet und nun das Kohlenoxyd in weiteren 45 Minuten völlig durch die Apparatur getrieben. Man spült das Perlenrohr mit frisch bereiteter, 10%iger Jodkalilösung, dann mit Wasser aus und ermittelt das Jod durch Titration mit frisch bereiteter n/100-Thiosulfatlösung (Mikrobürette 2 ccm, in ¼₁₀₀ ccm geteilt) in üblicher Weise. Nach Abzug des Blindversuchs erfolgt die Berechnung; 0,100 ccm n/100-Thiosulfatlösung entsprechen 70 Gamma Kohlenoxyd.

5. Bestimmung kleinster Mengen von Metallcarbonylen in der Luft.

Um in der Luft Spuren flüchtiger Metallcarbonyle, z. B. Eisenpentacarbonyl oder Nickeltetracarbonyl, quantitativ zu ermitteln, kann man von der Eigenschaft dieser Carbonyle, sich mit konzentrierter Salpetersäure rasch und quantitativ in Metallnitrate und Kohlenoxyd zu zersetzen, Gebrauch machen; die entstandenen Spuren von Kohlenoxyd ermittelt man über Jodpentoxyd.

Die Apparatur (siehe Abb. 7), welche ähnlich wie die vorher für die Kohlenoxydbestimmung im Eisen beschriebene zusammengesetzt ist, besteht aus dem Reinigungssofen A, der mit Kupferoxyd-Bleichromat beschickt ist und an den sich ein mit Natronkalk und Chlorkalzium gefüllter Reiniger B anschließt. Durch A und B wird die für die Spülung der Apparatur nötige Frischluft gereinigt. Dann folgt, an einen Dreiweghahn angeschmolzen, ein mit konzentrierter Schwefelsäure beschickter Blasenähler C; D und E sind mit festem Ätznatron bzw. Chlorkalzium gefüllte U-Röhren. F ist ein mit Silberwolle gefülltes, durch flüssige Luft gekühltes Absorptionsgefäß. Der so gereinigte (kohlenoxydhaltige) Luftstrom kommt in G mit dem auf 130° erhitzten Jodpentoxyd in Berührung; das freigemachte Jod wird in dem Perlenrohr H durch 10%ige Jodkalilösung absorbiert; J ist ein mit Jodkalilösung gefüllter Blasenähler. Der Gasometer K ist ein bis zum Ausguß mit Wasser geeichter und entsprechend ausgerüsteter

5-Liter-Stehkolben; er kann durch Drehen des Dreiweghahns vor dem Blasen-
zähler in die Apparatur ein- oder ausgeschaltet werden.

Man stellt nun, wie oben beschrieben, Blindversuche an, welche beim
Durchgang von 5 Litern gereinigter Frischluft in $2\frac{1}{2}$ Stunden eine Jodmenge er-
geben sollen, die höchstens etwa 0,07 ccm n/100-Thiosulfatlösung entspricht. Dann
wird der Gasometer evakuiert und an der Stelle der Probenahme durch Öffnen
eines der Hähne mit etwa 5 Liter der zu untersuchenden Luft gefüllt. In den
oben am Gasometer befindlichen Tropftrichter gibt man dann 50 ccm konz-

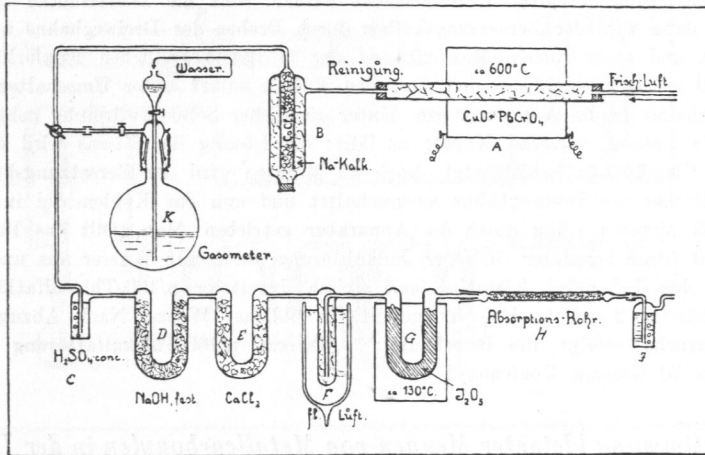


Abb. 7.

trierte Salpetersäure und drückt diese durch Preßluft in den Gasometer ein. Man
überzeugt sich von dem guten Verschluss der Hähne und bringt nun die im Kolben
befindliche Luft mit der konzentrierten Salpetersäure durch kräftiges, etwa fünf
Minuten dauerndes Schütteln in innige Berührung. Der Gasometer wird nun in die
Apparatur eingefügt; durch Drehen des Dreiweghahns vor dem Blasen-
zähler C wird der Reinigungs-Ofen ab- und der Gasometer eingeschaltet. Durch den Tropf-
trichter eintretendes Druckwasser (Niveauflasche) drückt die kohlenoxydhaltige
Luft in etwa $2\frac{1}{2}$ Stunden durch die Apparatur. Wenn der Gasometer mit Wasser
vollgelaufen ist, wird er abgeschaltet und dann die Apparatur nach dem Drehen
des Dreiweghahns mit 1 Liter Frischluft durchgespült. Das im Perlenrohr abge-
schiedene Jod wird mit frisch bereiteter n/100-Thiosulfatlösung ermittelt (Mikro-
bürette 2 ccm; in $\frac{1}{100}$ ccm geteilt). Nach Abzug des Blindversuches erfolgt die
Berechnung des Carbonylgehaltes pro Liter Luft (red.); 0,100 ccm der n/100-
Thiosulfatlösung zeigen 97,5 Gamma Eisenpentacarbonyl oder 106,7 Gamma
Nickeltetracarbonyl an.

Auf diese Weise können in etwa dreistündigem Arbeitsgange
Eisen- oder Nickelcarbonylmengen von etwa 15 Gamma/Liter Luft
abbestimmt werden.

6. Quantitative Bestimmung geringer Mengen von Kohlenstoffverbindungen organischer Natur in der Luft.

Für manche Zwecke ist es wünschenswert, ein Verfahren zu besitzen, um kleine Mengen von organischen Kohlenstoffverbindungen, wie sie in der Luft enthalten sein können, rasch zu bestimmen. Der Nachteil der bekannten Methoden, die etwa in der Weise arbeiten, daß ungefähr $\frac{1}{2}$ cbm Luft an geeigneten Kontaktsubstanzen verbrannt und die entstandene Kohlensäure gravimetrisch oder titrimetrisch ermittelt wird, besteht darin, daß für die Bestimmung ein großer Zeitaufwand nötig ist. Gegenüber diesen Verfahren unterscheidet sich die im folgenden beschriebene, mit E. NEUKIRCH im hiesigen Laboratorium ausgearbeitete Methode prinzipiell dadurch, daß an Stelle der gravimetrischen oder titrimetrischen Ermittlung der Kohlensäure die volumetrische gesetzt wird. Die ganz geringen Kohlensäuremengen werden in flüssiger Luft ausgefroren und nach dem Auftauen der Kohlensäure im Hochvakuum durch

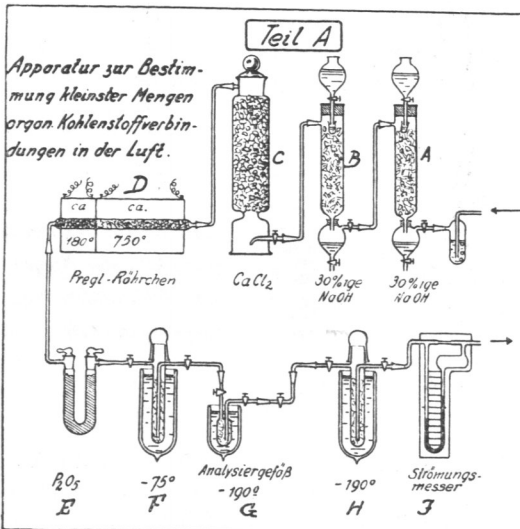


Abb. 8.

Messung des Druckabfalls in einer Apparatur mit bekanntem kleinem Volumen ermittelt. Da noch 4 Gamma Kohlensäure (entsprechend etwa 1 Gamma Kohlenstoff) bestimmbar sind, genügen für

eine Luftanalyse etwa 5 bis 10 Liter Luft, so daß man bei einem Gehalt der Luft an Kohlenstoff selbst unter 1 mg/cbm in etwa 1 Stunde eine Analyse mit allen Messungen usw. erledigen kann.

Die zu untersuchende Luft wird zuerst von Kohlensäure und Wasserdampf befreit; dies geschieht in den Absorptionsvorrichtungen A, B und C, welche mit Natronkalk oder herabrieselnder 30%iger Natronlauge und Chlorkalzium besetzt sind. Die Verbrennung der in der vorgereinigten Luft enthaltenen Kohlenstoffverbindungen zu Kohlensäure (und Wasser) erfolgt in dem Öfchen D bei zirka 650° bzw. 180° an Kupferoxyd-Bleichromat; Silberwolle und Bleisuperoxyd halten in der Luft eventuell enthaltene organische Halogen- und Stickstoffverbindungen zurück. Die Füllung des Verbrennungsröhrchens entspricht der von PREGL angegebene Anordnung für die Mikro-C-H-Bestimmung mit dem Unterschied, daß das Kupferoxyd-Bleichromat-Gemisch auch den sonst leeren Rohrteil ausfüllt und der Bremspfropf wegfällt. In den Absorptionsgefäßen E (Phosphorpenoxydfüllung)

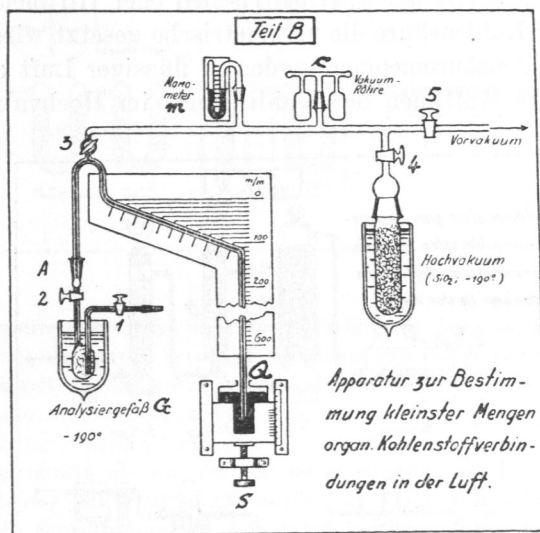


Abb. 9.

und F (Silberwollefüllung; auf zirka -75° durch Aethanol-Kohlensäure gekühlt) wird der Wasserdampf festgehalten; die Kohlensäure friert in dem austarierten (siehe unten) Analysiergefäß G (Silberwollefüllung; auf zirka -190° durch flüssige Luft gekühlt) aus. H ist ein die Apparatur abschließendes Sicherheitsgefäß. Schließlich folgen Gasmesser J und Wasserstrahlpumpe. Gummiverbindungen sind möglichst vermieden und durch Schiffe ersetzt.

Das Meßgerät (vergl. die Abb. 9) ist im wesentlichen ein austariertes Kapillarmanometer, an das mittels Schliff A das ebenfalls austarierte Analysiergefäßchen G angesetzt werden kann. Die oberen 10 cm der Kapillare liegen, um die

Ablesegenauigkeit zu erhöhen, schräg. Über Hahn 5 wird die Apparatur mittels Wasserstrahlpumpe vorevakuiert. Hochvakuum wird durch mit flüssiger Luft gekühlte aktive Kieselsäure erzeugt. Das Manometer m und die durch ein Induktorium betriebene Crookes-Röhre c dienen als Vakuummesser. Die Schraube S gestattet die genaue Einstellung des Quecksilbermeniskus auf die Nullmarke nach dem jeweiligen Barometerstand. Das Volumen des Analysiergefäßchens G war durch Auswiegen mit Wasser von Hahn 1 bis zum unteren Ende des Schliffmantels A z. B. zu 3,705 ccm bestimmt worden. Die Kapillare wurde durch Auswiegen mit Quecksilber tariert. Ihr Volumen beträgt von Schriff A ab bis zur Nullmarke z. B. 1,091 ccm und von der Nullmarke bis zum Ende der Kapillare pro 1 cm Länge 0,0213 ccm.

Man verbrennt etwa 5 bis 10 Liter Luft in etwa 1 Stunde, nimmt das geschlossene Gefäßchen G mit dem Dewar-Kelch aus der Verbrennungsapparatur heraus und fügt es in das Volumenometer ein, das vorher über Hahn 5 vorevakuiert und nach Schließen von Hahn 5 über Hahn 4 hochevakuiert wurde. (Hahn 4 bleibt während der ganzen Messung geöffnet.) Langsames Öffnen von Hahn 3 bewirkt, daß das Quecksilber in der Barometer-Kapillare von Q her hochsteigt. Man stellt dann auf die Nullmarke der Kapillare (unter Beklopfen dieser) ein, öffnet Hahn 2 an dem Gefäßchen G und prüft an der Vakuumröhre c nochmals auf Hochvakuum. Nach Schließen von Hahn 3 entfernt man die flüssige Luft von dem Analysiergefäßchen G; die ausgefrorene Kohlensäure verdampft und bringt den Quecksilbermeniskus zum Sinken. Aus dem gefundenen Volumen der Kohlensäure (siehe unten) und der angewandten Luftmenge berechnet man den Gehalt in Milligramm C/cbm Luft (red.) in folgender Weise:

$$\text{mg C/cbm Luft (red.)} = \frac{12 \cdot V_{\text{CO}_2} \cdot p \cdot (t + 273)}{22,412 \cdot V_{\text{Luft}} \cdot b \cdot (t_1 + 273)}$$

Dabei drücken aus:

V_{CO_2} = Volumen des Gefäßchens G + Volumen der Kapillare vom Schriff A bis zur Nullmarke + Volumen von 1 ccm Kapillare \times Länge der freigewordenen Kapillare in Zentimetern (Ablesung) in Kubikzentimetern.

p = Ablesung am Kapillarbarometer in Millimetern.

t = Temperatur der Kohlensäure (Zimmertemperatur).

V_{Luft} = Volumen der angewandten Luftmenge in cbm. (Ablesung an Gasuhr oder Strömungsmesser).

b = Korrigierter Barometerstand, bei Messung in Gasuhr noch um den jeweiligen Wasserdampfdruck vermindert.

t_1 = Temperatur der Luft in der Gasmeßvorrichtung.

Zusammenfassung.

In der vorliegenden Abhandlung wird an Hand einiger ausgewählter Beispiele gezeigt, wie sich bei chemisch-technischen Unter-

suchungen für die Bestimmung kleinster Mengen chemischer Stoffe (der sogenannten „Spurensuche“ nach EMICH) Mikromethoden erfolgreich benützen lassen; die erwähnten Beispiele behandeln die quantitative Bestimmung kleinster Mengen von Metallen (Kupfer, Nickel, Blei usw.) in verschiedenen chemischen Produkten und die Ermittlung von Spuren von Gasen und Dämpfen (Wasserstoff, Kohlenoxyd, Metallcarbonylen, Kohlenstoffverbindungen organischer Natur) in den verschiedensten Stoffen.