

fachen Verwendung des Zirkondioxyds scheint eine Veröffentlichung der gefundenen Zahlenwerte von gewissem Interesse zu sein.

Zur Verfügung standen mir²⁾ bei den ersten Versuchen Proben der üblichen keramischen Massen mit einem Gehalt von etwa 2% MgO. Die an diesen gefundenen Werte der Leitfähigkeit κ ($\text{Ohm}^{-1} \text{cm}^{-1}$) sind

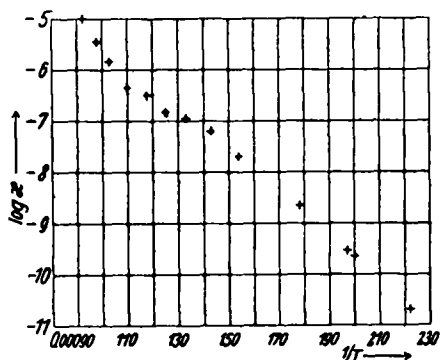


Abb. 1. Leitfähigkeit κ von ZrO_2 mit 2% MgO (bei 375 V/cm).

in Abb. 1 in üblicher Weise logarithmisch gegen die reziproke abs. Temperatur aufgetragen. Weiterhin wurden Proben ohne den Zusatz von MgO untersucht, die also nur mehr die Verunreinigungen des Ausgangsmaterials enthielten, Fe_2O_3 , Spuren von TiO_2 usw. und 0,3% Wasser. Ihre Leitfähigkeiten ergeben sich aus Abb. 2. Beide Kurven zeigen Knicke bei der Messung mit steigender Temperatur etwa zwischen 450° und 550° . Mißt

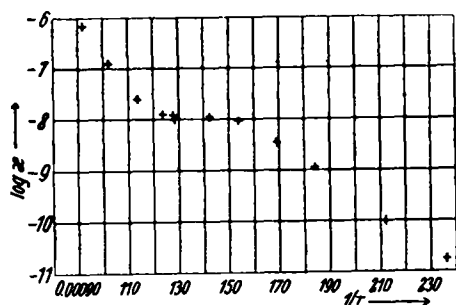


Abb. 2. Leitfähigkeit κ von Mg-freiem ZrO_2 (bei 510 V/cm).

man (Abb. 3) zuerst bei steigender Temperatur (stehende Kreuze) und sodann zurück bei fallender Temperatur (liegende Kreuze), so ergeben die zurückgemessenen Werte eine gerade Linie, die fallend gemessenen Werte tieferer Temperatur liegen recht bedeutend unter den

²⁾ Für die freundliche Überlassung der Proben von Zirkondioxyd sind wir der Auer-Gasglühlicht G. m. b. H., Berlin, zu besonderem Danke verpflichtet.

steigend gemessenen Werten der Leitfähigkeit. Es dürfte dies auf einer Wasserabgabe beruhen, die danach etwa bei den Proben reinen Materials bei etwa 510° bis 530° erfolgt.

An einer bei 800° ausgeglühten Probe des reinen Materials habe ich ferner die Abhängigkeit der Leitfähigkeit von der Feldstärke gemessen und eine lineare

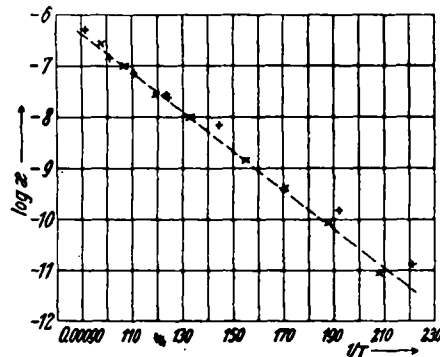


Abb. 3. Leitfähigkeit κ von Mg-freiem ZrO_2 (bei 940 V/cm). +++ bei steigender Temp. ××× bei fallender Temp.

Abhängigkeit bis zu dem gemessenen Wert von 1500 V/cm gefunden (Abb. 4).

Ein Vergleich von κ bei den magnesiumhaltigen und den reineren Proben läßt eine starke Abnahme der Leitfähigkeit mit zunehmender Reinheit erkennen. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß sie tatsächlich bei geschmolzenem, reinem Zirkondioxyd wesentlich geringer wäre

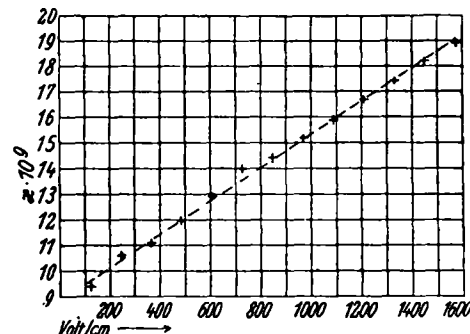


Abb. 4. Abhängigkeit von κ von der Feldstärke (bei $T = 777$ abs.).

als die von Quarz. Solche Proben standen uns leider nicht zur Verfügung.

Diese Messungen fallen in den Rahmen einer Untersuchung über die Leitfähigkeit fester Salze, die von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch die Gewährung eines Forschungsstipendiums und durch Bereitstellung von Mitteln ermöglicht wird. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft sei dafür auch an dieser Stelle Dank ausgesprochen.

[A. 5.]

Analytisch-technische Untersuchungen

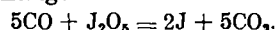
Über eine Bestimmungsmethode für Kohlenoxyd durch Verbrennen mit Sauerstoff unter Verwendung eines neuen Zweistoffkatalysators.

Von Dr. ALBERT SCHMIDT,

Chem.-Techn. Reichsanstalt, Abteilung für Sprengstoffe.

(Eingeg. 1. Dezember 1930.)

Von den quantitativen Bestimmungsmethoden für kleine Mengen Kohlenoxyd ist die Jodpentoxydmethode schon seit langer Zeit die gebräuchlichste. Sie fußt auf der Eigenschaft des Jodpentoxyds, Kohlenoxyd zu Kohlendioxyd unter Abscheidung von Jod zu oxydieren, gemäß der Gleichung:



Diese Methode weist einige Mängel auf, die in erster Linie dadurch bedingt sind, daß in dem Temperaturbereich, in dem diese Reaktion rasch genug vor sich geht, um eine brauchbare Bestimmung des Kohlenoxyds zu ermöglichen, das Jodpentoxyd schon recht unbeständig ist.

Die von verschiedenen Forschern gemachten Angaben über die günstigste Reaktionstemperatur und über

den Einfluß anderer reduzierender Gase auf Jodpentoxyd gehen z. T. weit auseinander. Während Tausz und Jungmann¹⁾ als geeignetste Reaktionstemperatur 196° (Umwandlungspunkt der Anhydrojodsäure HJ_2O_8 in Jodpentoxyd J_2O_5) angeben und nur bei Anwesenheit von Wasserstoff, Methan und anderen reduzierenden Gasen auf 120 bis 130° heruntergehen, arbeitet Treadwell²⁾ bei 160°. P. Schläpfer und E. Hoffmann³⁾ dagegen konnten bei 160° beim Durchleiten reiner, trockener Luft durch ein mit Jodpentoxyd beschicktes Rohr in einer halben Stunde, nach Durchgang von 3 l Luft, eine deutliche Jodabscheidung beobachten; sie geben als günstigste Temperatur 130° bis 135° an. G. M. Edell⁴⁾, der wieder bei höherer Temperatur (150°) arbeitet, schreibt vor, durch eine „Leer“-Bestimmung mit kohlenoxydfreier Luft die Geschwindigkeit der Selbstzersetzung des Jodpentoxyds vor dem eigentlichen Versuch zu bestimmen und die Meßergebnisse danach in entsprechender Weise zu korrigieren. W. M. Welton und N. L. Drake⁵⁾ geben als Reaktionstemperatur 170° bei Abwesenheit von Fremdgasen an, ohne eine Selbstzersetzung des Jodpentoxyds bei dieser Temperatur zu erwähnen.

Von den reduzierenden Fremdgasen, die die Kohlenoxydbestimmung nach der Jodpentoxydmethode stören können, interessieren am meisten Wasserstoff und Methan, da sie nicht vorher durch Absorptionsmittel entfernt werden können. Während das sehr stabile Methan praktisch nicht auf Jodpentoxyd einwirkt, wird, wie Froboese⁶⁾ feststellte, Jodpentoxyd durch Wasserstoff bei 70° noch kaum angegriffen; bei 160° jedoch wird Jod in so beträchtlichen Mengen freigemacht, daß eine Kohlenoxydbestimmung durch Jodtitration nicht mehr möglich ist.

Aus den vorliegenden Arbeiten über die Jodpentoxydmethode, von denen hier nur einige wenige zitiert sind, geht jedenfalls übereinstimmend hervor, daß das Jodpentoxyd bei den in Frage kommenden Temperaturen schon recht unbeständig ist; der Grad der Zersetzlichkeit hängt in hohem Maße von der Darstellungsweise und dem Reinheitsgrad ab. Die Selbstzersetzung tritt naturgemäß um so störender in Erscheinung, je geringer die zu bestimmenden Kohlenoxydkonzentrationen sind.

Für die Kohlenoxydbestimmung durch Titration des freigemachten Jods tritt noch eine andere Schwierigkeit hinzu durch die Eigenschaft des Jodpentoxyds, das Jod festzuhalten und auch bei längerem Durchleiten reiner, trockener Luft oft nur unvollkommen abzugeben. Besonders bei höheren Kohlenoxydgehalten macht sich diese Eigenschaft störend bemerkbar. Als obere Grenze des Kohlenoxydgehaltes, bei dem die Jodtitration noch richtige Werte gibt, wird in älteren Arbeiten 0,1% angegeben. Schläpfer und Hoffmann (a. a. O.) jedoch, die das Jodpentoxyd auf Bimsstein auftragen, wodurch eine bessere Oberflächenverteilung erzielt und die Abgabe des Jods erleichtert wird, erhalten noch bis zu 0,4% Kohlenoxyd — als obere Grenze — durch Jodtitration richtige Werte. Notwendig ist dabei stets ein längeres Nachspülen mit reiner, trockener Luft. Nach-

teilig für die Kohlenoxydbestimmung durch Titration des in Freiheit gesetzten Jods im Vergleich zur acidimetrischen Titration der Kohlensäure mit Barytlauge ist der Umstand, daß, auf Grund der Beziehung: $5\text{CO} \rightarrow 1\text{J}_2$, der Fehler bei der Jodtitration nach Umrechnung auf Kohlenoxyd fünfmal so groß wird wie bei der Kohlensäuretitration, bei gleicher Normalität der Titrationsflüssigkeiten. Diese Nachteile der Jodpentoxydmethode veranlaßten uns zu experimentellen Untersuchungen zwecks Ausarbeitung einer quantitativen Bestimmungsmethode, die rasch und bequem auszuführen ist und die auch bei höherem Kohlenoxydgehalt sowie in Gegenwart von Wasserstoff und Methan zuverlässige Resultate liefert, was besonders bei der Untersuchung von Explosionsgasen sehr erwünscht ist. Wir gingen dabei von der Kohlenoxydverbrennung über Kupferoxyd aus.

Frühere Untersuchungen⁷⁾ hierüber hatten ergeben, daß Kohlenoxyd nur in Gegenwart von Wasserstoff oder Wasserdampf über Kupferoxyd bei 300° einigermaßen quantitativ verbrennt, dagegen in trockenem Zustand auch bei sehr geringer Strömungsgeschwindigkeit eigenartigerweise nur bis zu 80 bis 95%. Die Menge des unverbrannten Kohlenoxyds schwankt also in ziemlich weiten Grenzen, ohne daß zwischen dieser Menge und der angewandten Strömungsgeschwindigkeit ein gesetzmäßiger Zusammenhang zu erkennen ist. In diesem Falle muß man, um quantitative Umsetzung zu erzielen, das Gasgemisch nach Absorption der Kohlensäure nochmals über Kupferoxyd leiten. Sehr lästig wirkt hierbei die sehr starke Absorption der Kohlensäure durch Kupferoxyd, die ein längeres Nachspülen mit reiner Luft bei erhöhter Temperatur (Rotglut) erforderlich macht.

Um die Verbrennung über Kupferoxyd für eine rasche und genaue Bestimmungsmethode brauchbar zu machen, waren demnach in erster Linie zwei Aufgaben zu lösen:

1. die Geschwindigkeit der Verbrennung des Kohlenoxyds so weit zu erhöhen, daß man bei einmaligem Überleiten über Kupferoxyd mit nicht zu geringer Strömungsgeschwindigkeit quantitative Umsetzung erzielt (Über 300° darf man nicht hinausgehen, da dann Methan mitverbrennt.);
2. den störenden Einfluß der Absorption der Kohlensäure durch das Kupferoxyd auf einem möglichst geringen Betrag herabzumindern.

Untersuchungsmethode.

Kohlenoxyd-Luftgemische von genau bekanntem Kohlenoxydgehalt wurden, von Kohlensäure und Wasserdampf befreit, durch das auf die jeweils gewünschte Temperatur erhitzte Reaktionsrohr geleitet, in dem die Umsetzung zu Kohlensäure erfolgte. Diese wurde in Barytlauge aufgefangen und durch Titration bestimmt. Der Betrag an Kohlensäure, verglichen mit der angewandten Kohlenoxydmenge, ergibt den Grad der erzielten Umsetzung und in Verbindung mit der jeweils gemessenen Strömungsgeschwindigkeit ein Maß für die Leistungsfähigkeit der Kontaktmasse. Das Kohlenoxyd wurde nach Allner aus konzentrierter Schwefelsäure und Ameisensäure hergestellt, gereinigt und in einer größeren Gaspipette über Quecksilber aufbewahrt. In eine Gasbürette, eigens zum genauen Abmessen kleiner Gasmengen eingerichtet, wurde für jeden Versuch die gewünschte Kohlenoxydmenge eingefüllt. Das Gas wurde dann in einem etwa 1,5 l fassenden Gasometer, wie ihn Bodenstein⁸⁾ beschrieben hat, mit Luft gemischt und von hier aus in gleichmäßigem Strom durch die Apparatur gedrückt (Abb. 1). Das Reaktionsrohr von etwa 50 cm³ Inhalt

¹⁾ Mitt. Chem. Techn. Inst. d. techn. Hochschule Karlsruhe 1923, Heft 1, S. 20, sowie Gas- u. Wasserfach 43, 1049 [1927].

²⁾ Lehrbuch der analyt. Chemie.

³⁾ Monatsbull. Schweiz. Ver. Gas-Wasserfachmännern 1927, Nr. 10 u. 12.

⁴⁾ Ind. Engin. Chem. 20, 275 [1928].

⁵⁾ Ebenda (Analyt. Ed.) 1, 20 [1929].

⁶⁾ Ztschr. analyt. Chem. 54, 1 [1915].

⁷⁾ Z. B. Jäger, Journ. Gasbel. 41, 764 [1898], u. L. Ubbelohde u. de Castro, ebenda 54, 810 [1911].

⁸⁾ M. Bodenstein, Ber. Dtsch. chem. Ges. 51, 1640 [1918].

wurde in einem kleinen elektrischen Ofen einfachster Konstruktion erhitzt: ein eisernes Heizrohr, mit Asbest belegt und mit Chromnickeldraht bewickelt, sowie mit Isoliersteinen aus Diatomit in passender zylindrischer Schalenform umkleidet. Die Temperatur wurde in der Mitte des Ofens außen am Heizrohr abgelesen. Sie liegt bei 300° etwa 15 bis 20° tiefer als die im Reaktionsrohr. In den Tabellen ist stets die Temperatur des Reaktionsrohres angegeben.

Als Absorptionsgefäße, in denen gleichzeitig titriert werden konnte, wurden 200-cm³-Kolben mit angesetztem Fünfkugellohr benutzt (vgl. Abb. 1, D). Beim Einfüllen und Titrieren der Barytlauge läßt man langsam kohlensäurefreie Luft durch den Kolben strömen, die man durch das Kugellohr eintreten

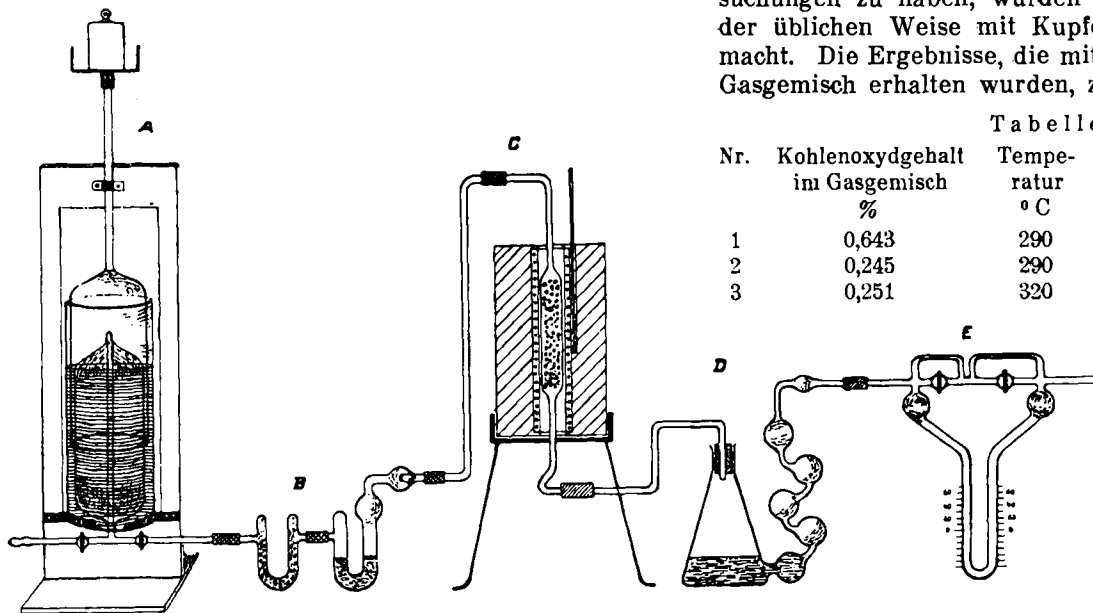


Abb. 1.

läßt. Die Stärke der Barytlauge richtet sich naturgemäß nach der Kohlenoxydmenge in dem Gasgemisch; bei einem Kohlenoxydgehalt unter 1% wurde eine n_{100} Lauge angewandt, mit der es möglich ist, in einem Liter Gas den Kohlenoxydgehalt auf 0,001 bis 0,002% genau zu titrieren. Scharfe Umschlagpunkte erhält man in einer derart verdünnten Lösung nur, wenn sie Bariumchlorid in größerem Überschuß gelöst enthält.

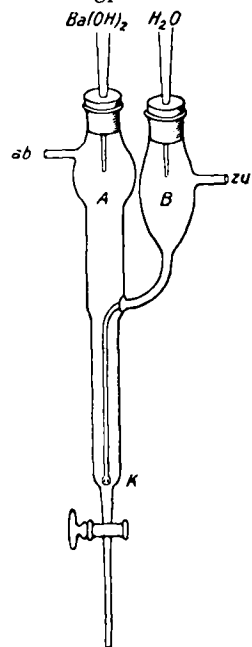


Abb. 2.

hineinzuspülen. (Betr. genauer Arbeitsvorschriften vgl. die zitierte Arbeit.)

⁹⁾ M. Hahn u. J. Hirsch, Ztschr. Hyg., Infekt.-Krankh. 105, 172 [1925].

Zum Einstellen und Kontrollieren der jeweils gewünschten Strömungsgeschwindigkeit diente ein Differential-Strömungsmesser mit drei Meßbereichen.

Das Gasgemisch wurde, bevor es in den Ofen eintrat, durch Natronkalk und konzentrierte Schwefelsäure von Kohlensäure befreit und getrocknet.

Vorversuche mit Kupferoxyd in Drahtform.

Zur Nachprüfung der Ergebnisse früherer Arbeiten und um Vergleichsdaten für die folgenden, unter ähnlichen experimentellen Bedingungen ausgeführten Untersuchungen zu haben, wurden noch einige Versuche in der üblichen Weise mit Kupferoxyd in Drahtform gemacht. Die Ergebnisse, die mit dem scharf getrockneten Gasgemisch erhalten wurden, zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1.

Nr.	Kohlenoxydgehalt im Gasgemisch %	Temperatur ° C	Strömungs- geschwindigkeit l/h	Kohlenoxyd gefunden %
1	0,643	290	0,66	0,571
2	0,245	290	0,66	0,215
3	0,251	320	0,66	0,244

Sie bestätigen die obenerwähnten, früheren Ergebnisse, daß trockenes Kohlenoxyd bei 300° nicht vollständig über Kupferoxyd verbrennt. Auch machte sich die starke Absorption der Kohlensäure durch das Kupferoxyd deutlich bemerkbar; es war ein längeres

Nachspülen (2 bis 3 h) mit trockener Luft bei heller Rotglut notwendig, um die Kohlensäure vollständig in die Vorlage hineinzubringen.

Bei den folgenden Untersuchungen mit dem Ziel, die Verbrennungsgeschwindigkeit zu erhöhen und gleichzeitig die Absorption möglichst weitgehend herabzumindern, war der leitende Gedanke, die Größe der katalytisch wirksamen Oberfläche, bzw. ihre katalytische Aktivität für die Kohlenoxydverbrennung zu steigern und dabei gleichzeitig die Menge des Kupferoxyds so weit wie möglich zu verringern. Dieses Ziel konnte nur erreicht werden, wenn es gelang, eine als Kontakträger geeignete Substanz ausfindig zu machen, auf der Kohlenoxyd in möglichst dünner Schicht haftet, und die die katalytische Wirksamkeit des Kupferoxyds wesentlich zu steigern vermag („Verstärkung“). Voraussetzung war dabei, daß der Kontakträger selbst das Kohlendioxyd nicht in störender Weise absorbierte. Die als Hopcalite bekannten katalytisch z. T. sehr wirkungsvollen Gemische von Kupferoxyd mit Manganoxiden und anderen Metalloxyden (z. B. Silberoxyd) kommen als solche für den vorliegenden Zweck wegen ihrer starken Absorption der Kohlensäure ebensowenig in Frage wie Kupferoxyd allein.

Auf der Suche nach einem geeigneten Kontakträger nahmen wir auch Bimsstein, auf dem Kupferoxyd sehr schön haftet. Eine wesentliche Erhöhung der Verbrennungsgeschwindigkeit konnte hiermit nicht erzielt werden, ebensowenig eine merkliche Herabminderung der Absorption, selbst bei Erniedrigung der Kupferoxydmenge auf den zehnten Teil der in Drahtform angewendeten Menge. Bei der feinporigen Beschaffenheit des Bimssteins konnte dieses Resultat nicht überraschen.

Als eine, für den gewünschten Zweck besonders gut geeignete Substanz erwies sich Quarz.

Durch Schütteln von fein gekörntem Quarz mit Kupferoxydpulver erhielten wir einen sehr wirksamen Katalysator. Trotz höherer Strömungsgeschwindigkeit (etwa das Dreifache) und Verringerung der Kupferoxydmenge auf den zehnten Teil trat quantitative Umsetzung ein. Auch das Austreiben der Kohlensäure ging erheblich rascher vonstatten (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2.

Nr.	Kohlenoxydgehalt im Gasgemisch	Tempe- ratur ° C	Strömungs- geschwindigkeit l/h	Kohlenoxyd gefunden
	%			%
1	0,240	290	1,5	0,241
2	0,241	290	1,5	0,243
3	0,628	290	1,5	0,627

Um eine möglichst feine und gleichmäßige Verteilung des Kupferoxyds auf dem Quarz zu erzielen, wurden bei den folgenden Versuchen die Quarzkörner (1 bis 2 mm Korngröße) mit Kupfernitratlösung getränkt und im Luftstrom auf 300 bis 400° erwärmt. Auf diese Weise ließ sich die Kupferoxydmenge durch Verändern der Konzentration der Lösung beliebig regeln. Die Quarzmenge in dem Reaktionsrohr betrug etwa 60 bis 65 g.

Die Kupferoxydmengen wurden nun von Versuch zu Versuch verringert (2 g; 0,04 g; 0,008 g).

Selbst bei der äußerst geringen Menge von 0,008 g Kupferoxyd konnte bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 2 l/h quantitative Verbrennung erzielt werden (Tabellen 3 bis 5).

Tabelle 3 (2 g Kupferoxyd).

Nr.	Kohlenoxydgehalt im Gasgemisch	Tempe- ratur ° C	Strömungs- geschwindigkeit l/h	Kohlenoxyd gefunden
	%			%
1	0,600	290	1,5	0,601
2	1,200	290	2,4	1,194
3	1,220	290	3,0	1,216
4	0,243	290	2,5	0,247
5	0,259	270	2,0	0,259

Tabelle 4 (0,04 g Kupferoxyd).

Nr.	Kohlenoxydgehalt im Gasgemisch	Tempe- ratur ° C	Strömungs- geschwindigkeit l/h	Kohlenoxyd gefunden
	%			%
1	0,249	285	2	0,246
2	0,259	285	2	0,261
3	0,257	285	2	0,259
4	0,265	250	2	0,263

Tabelle 5 (0,008 g Kupferoxyd).

Nr.	Kohlenoxydgehalt im Gasgemisch	Tempe- ratur ° C	Strömungs- geschwindigkeit l/h	Kohlenoxyd gefunden
	%			%
1	0,241	280	2	0,239
2	0,644	280	2	0,640
3	1,162	280	2	1,160

Die Versuche zeigen, daß es durch Anwendung von Quarz als Kontaktträger für das Kupferoxyd gelingt, auch bei trockenem Kohlenoxyd quantitative Umsetzung zu Kohlensäure zu erzielen und dabei die Kupferoxydmenge auf etwa 0,01 g herabzumindern; d. h. auf etwa 1 : 10 000 der Menge, die bei Anwendung des Kupferoxyds in Drahtform sich in dem Reaktionsrohr befindet. Die Absorption der Kohlensäure ist dadurch auf ein Mindestmaß beschränkt. Die sehr oberflächenreiche Beschaffenheit des Kupferoxyds erleichtert die Abgabe der

absorbierten Kohlensäure in hohem Maße. Es genügt ein Ausspülen von etwa 15–20 min mit reiner Luft bei 300 bis 350°, um die Kohlensäure quantitativ in die Vorlage zu treiben. Ein Erhitzen auf Rotglut ist hierbei nicht nötig und auch deshalb zu vermeiden, weil dadurch die Aktivität des Quarz-Kupferoxyds stark herabgemindert wird.

Die Reaktion zwischen Kohlenoxyd und Sauerstoff an Quarzoberflächen ist vor längerer Zeit von Bodenstein und Ohlmer untersucht worden¹⁰⁾. Sie fanden, daß sich die Reaktionsgeschwindigkeit direkt proportional dem Sauerstoffdruck und umgekehrt proportional mit dem Druck des Kohlenoxyds ändert. Hinshelwood¹¹⁾ deutet diese Ergebnisse in folgender Weise: Kohlenoxyd wird von der Quarzoberfläche stark absorbiert; die Größe der unbedeckt gebliebenen Oberfläche ist daher umgekehrt proportional dem CO-Druck. Da man nun annehmen muß, daß die Reaktion nur zwischen adsorbierten Sauerstoffmolekülen und adsorbierten Kohlenoxydmolekülen stattfindet, so muß die Reaktionsgeschwindigkeit um so größer werden, je größer die von CO-Molekülen freigebliebene Oberfläche und je größer die von diesem Teil der Oberfläche absorbierte Sauerstoffmenge ist, die proportional mit dem Sauerstoffdruck in dem Gasgemisch anwächst. Die Reaktionsgeschwindigkeit ist somit proportional: $\frac{[O_2]}{[CO]}$.

Während also am Quarz starke Adsorption von Kohlenoxyd anzunehmen ist, adsorbiert Kupferoxyd, was besonders durch die Versuche von Bone und Andrew¹²⁾ über die Kohlenoxydverbrennung an Nickel und Kupfer und deren Oxyden sehr wahrscheinlich gemacht wird, Sauerstoff sehr stark, so daß man an seiner Oberfläche Sättigung mit Sauerstoff annehmen darf. Die starke katalytische Wirksamkeit des Quarz-Kupfer-Katalysators dürfte dann im Sinne von H. Cassel¹³⁾ dadurch zu erklären sein, daß an den Grenzlinien zwischen Quarz (starke CO-Adsorption) und Kupferoxyd (starke O₂-Adsorption) die Reaktion zwischen den beiden Adsorbaten: $[2CO + O_2 = 2CO_2]$ ganz wesentlich rascher verläuft als auf den Oberflächen der beiden Stoffe allein.

Die Frage, ob daneben noch andere Erscheinungen für die beobachtete „Verstärkung“, etwa die Erzeugung und Erhaltung einer besonders feinen Verteilung des Kupferoxyds, oder eine rein energetische Auszeichnung der Grenzlinien¹⁴⁾, verantwortlich zu machen sind, läßt sich nur beantworten auf Grund von Untersuchungen, wie sie neuerdings G. M. Schwab und H. Schultes¹⁵⁾ über den Zerfall einer einzigen Substanz (N₂O) an Mischkatalysatoren (Ausschaltung des „Cassel-Effektes“) durchgeführt haben. [A. 170.]

(Der gebrauchsfertige Katalysator bzw. die ganze Apparatur kann bezogen werden von Dr. H. Göckel, Berlin NW 6, Luisenstr. 21.)

¹⁰⁾ Ztschr. physikal. Chem. 53, 166 [1905].

¹¹⁾ Reaktionskinetik gasförmiger Systeme, übersetzt und erweitert von E. Pietsch u. G. Wilcke, S. 151, Leipzig 1928.

¹²⁾ Proceed. Roy. Soc., London (A) 110, 16 [1926]; vgl. auch G. M. Schwab, Fortschritte auf dem Gebiete der heterogenen Gasreaktionen (Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, Berlin 1928).

¹³⁾ Naturwiss. 14, 103 [1926].

¹⁴⁾ G. M. Schwab u. E. Pietsch, Ztschr. physikal. Chem. (B) 1, 385 [1928], sowie: Ztschr. Elektrochem. 35, 573 [1929].

¹⁵⁾ G. M. Schwab u. H. Schultes, Ztschr. physikal. Chem. (B) 9, 265 [1930].