

Über die Verschiebung der Explosionsgrenzen
von Äthylen- und Äthylenoxyd-Sauerstoff-Ge-
mischen durch Zusatz von Stickstoff, Kohlen-
dioxyd bzw. Äthylen.

Bei der Oxydation von Äthylen mittels Luftsauerstoff an Silberkontakten ¹⁾ fallen entflammbare, z.T. hochbrisante Gasgemische an. Versuche im Laboratoriumsmaßstab führten gelegentlich zu Verpuffungen, die bei größeren Versuchen hätten schlimme Folgen haben können. Es handelt sich um Äthylen-Sauerstoff- bzw. Äthylenoxyd-Äthylen-Sauerstoffgemische, verdünnt durch Stickstoff und Kohlendioxyd.

Ludwigshafen schlug vor durch Zusatz von Wasserdampf die Entflammbarkeit der Gase zu unterdrücken. Das Arbeiten mit Wasserdampf würde die Spesen erhöhen und wenn es sich darum handeln soll nicht nur Glykol, sondern reines Äthylenoxyd zu gewinnen, die Isolierung des Oxyds erschweren. Deshalb prüfte ich an Hand der Literatur und durch eigene Versuche die hier vorliegenden Explosionsverhältnisse.

Aus der Literatur (siehe Zusammenstellung S. 6 - 11) waren bei kritischer Betrachtung aus den vielen Angaben folgende Daten zu entnehmen:

Explosionsgrenzen	: Äthylen-Sauerstoff	:	3 % - 80 % Äthylen		
"	"	:	Äthylen-Luft	:	3 % - 33 % Äthylen
"	"	:	Äthylenoxyd-Luft	:	3 % - 80 % Äthylenoxyd.

Erhöhter Druck erweitert die Explosionsgrenzen, verringerter Druck verengt sie, sodaß bei einem Druck von 46 mm Hg mit Äthylen praktisch keine Explosion mehr zu erwarten ist.

Bei höheren Drucken wird besonders die obere Explosionsgrenze sehr stark erweitert. So explodieren Äthylen-Luftgemische bei 90 atü mit 68 % Äthylen, bei 380 atü mit 71 % Äthylen. Wollte man bei 5 atü Äthyle Sauerstoffgemische unentflammbar machen, so wären dazu über 60 % des Volumens der Gase an Wasserdampf erforderlich.

1) Bericht Dr. K.B.Metzger, Ammoniaklaboratorium Nr. 1592.

Es wurde festgestellt, dass die maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit der Aethylen-Luft-Flamme etwa 170 cm/sec beträgt und dass Aethylen-Sauerstoffgemische bei einer Temperatur von 480° C (normaler Druck) und Aethylen-Luftgemische bei einer Temperatur von 540° C (normaler Druck) zünden. Staube und Nebel sowie Druckerhöhung erniedrigen die Zündtemperaturen.

Über die Auslöschung von Aethylen- bzw. Aethylenoxydflammen erfahren wir, dass auf 1 Teil Aethylen 9 Teile Kohlendioxyd oder 15 Teile Stickstoff vorhanden sein müssen, um sie unentflammbar zu machen, während für 1 Teil Aethylenoxyd 7,5 Teile Kohlendioxyd genügen, um die Explosion zu verhindern.

Der kurze Überblick zeigt, dass einer ausgedehnten Literatur über Aethylen nur sehr spärliche Angaben über Aethylenoxyd gegenüberstehen. Ausserdem streuen die angeführten Werte sehr stark, sodass eine Nachprüfung nötig war.

Wenn man „Explosionsgrenzen“ oder besser gesagt „Entflammbarkeitsgrenzen“ vom Standpunkt des Sicherheitsingenieurs aus betrachtet (siehe Jones!), so handelt es sich darum, die weitestmöglichen Grenzen festzulegen. Es ist einerseits nicht bekannt, durch welche Zündung die Explosion im Betrieb zufällig ausgelöst wird, andererseits weiss man, dass beim Übergang von kleinen zu grösseren Räumen die Explosionsgrenzen ähnlich wie bei Temperaturerhöhung weiter werden. Die technisch richtigsten Werte wird also eine Anordnung liefern, die möglichst weite Grenzen erkennen lässt. Wie ein Vergleich, der in der Literatur angegebenen Werte mit den eigenen Versuchsdaten erkennen lässt, war meine Wahl, das „Union-Kalorimeter“ (C. 24/II/1244), wie es zur Bestimmung von Heizwerten dient, nach diesem Gesichtspunkt als Explosionsgefäss zu benutzen, richtig. Ausserdem bot der Petroleummantel, der als Thermometer den Explosionsraum umgibt, eine ausgezeichnete Möglichkeit, den Eintritt der Explosion zu erkennen.

Bild VIII zeigt als Skizze die Versuchsanordnung. Nachdem die Verbindungskapillaren mit Quecksilber gefüllt oder mit den zur Verwendung gelangenden Gasen durchgespült waren, wurden in Bürette B

durch Senken des Niveaugefäßes N_2 die Gase abgemessen. Wiederholtes Überführen der abgemessenen Gase von B nach U und zurück, ergaben eine sehr gute Durchmischung. Ausserdem konnte durch rasches Heben des Niveaugefäßes N_1 - was eine Fontäne von Quecksilbertropfchen in U erzeugte - gute Durchmischung erzielt werden. Die Zündung erfolgte an 2 Platindrähten, die aus einem 4 Volt Akkumulator über einen starken Transformator mit Strom versorgt wurden. Die Funkenlänge betrug 4 mm. Die Gase für die Versuche wurden aus Bomben entnommen: Sauerstoff mit 1,3 % Inerten Aethylenoxyd 98%ig mit Spuren Aldehyd.

Die von mir gefundenen Werte - aufgetragen in den Tabellen I u. II und in den Bildern I-III, V u. VI, unterscheiden sich von den Angaben der Literatur dadurch, dass die oberen Grenzen für Aethylenoxyd-explosionen wesentlich höher gefunden wurden. Explosionsgrenzen streuen meist etwas; deshalb wurden die hier angeführten Versuche häufig wiederholt und die weitesten reproduzierbaren Werte als Grenzen angegeben.

Da Aethylenoxyd mit 0,1 % Sauerstoff noch entflammte, prüfte ich in der gleichen Weise reines Aethylenoxyd. Ich fand dabei jedoch nie irgend eine Flammenbildung, sodass damit die Angabe, dass Aethylenoxyd mit 0,1 % Sauerstoffzusatz ein explosives Gemisch bildet, als gesichert angesehen werden darf.

Die eigenartigen Erhebungen bei den Kurven zwischen 3 und 20 % Aethylenoxyd sind reproduzierbar und auch in der Literatur angedeutet (siehe Bild IV.)

Als erfreuliche Feststellung dieser Untersuchung kann die Tatsache gelten, dass Aethylen die Explosionsgrenzen von Aethylenoxyd nicht etwa erhöht - was wegen seiner Explosibilität anzunehmen war - sondern im Gebiet kleiner Aethylenoxydkonzentrationen sogar senkt. Ausserdem nimmt die Heftigkeit der Explosionen durch Aethylenzusatz ab. Für das Arbeiten mit Kontakten ist unangenehm, dass Flammen mit mehr als 30 % Aethylen stark russen. Doch konnte gezeigt werden, dass die von mir entwickelten Kontakte l.c. auch in Gegenwart

von sehr viel Aethylen (80 %) sich durch eine lange Lebensdauer auszeichnen.

Was den Zusatz von Inerten anlangt, um die Flammen von Aethylen- bzw. Aethylenoxyd auszulöschen, konnte ich feststellen (siehe Tabelle I und II):

Stickstoff-, Kohlendioxyd- und Aethylen-Mischungen müssen weniger als 2 % Sauerstoff enthalten, damit sie mit Aethylenoxyd zusammen nicht entflammbar sind.

Aethylenoxyd-Mischungen müssen über 96,5 % Stickstoff, Kohlendioxyd oder Aethylen enthalten, um bezüglich des Aethylenoxyds unentflammbar zu sein.

(auf 1 Teil Aethylenoxyd 29 Teile andere Gase!)

Stickstoff und Kohlendioxyd-Mischungen müssen weniger als 9 bzw. 11 % Sauerstoff enthalten, damit sie mit Aethylen zusammen nicht entflammbar sind.

Aethylenmischungen müssen über 91 bzw. 89 % Kohlendioxyd oder Stickstoff enthalten, um unentflammbar zu sein.

(auf 1 Teil Aethylen 17 Teile Inerte!)

Wendet man die so ermittelten Erkenntnisse auf das Verfahren der Direktoxydation von Aethylen zu Aethylenoxyd an, so ergeben sich, wenn man die Verwendung von Wasserdampf ausschliesst, für betriebs-sicheres Arbeiten folgende Möglichkeiten:

- 1.) Verbrennen geringer Mengen Aethylen im Luftüberschuss. Die Konzentration der Endgase an Aethylenoxyd darf 2,5 % nicht überschreiten (Geringe Ausbeute, schlechte Abtrennungsmöglichkeit)
- 2.) Arbeiten im Kreislauf mit reinem Aethylen und reinem Sauerstoff. Wenn dafür Sorge getragen wird, dass die Konzentration des Aethylenoxyds im Kreislauf nicht über 20 % ansteigt, kann mit einer Mischung bis zu 90 % Aethylen und 10 % Sauerstoff ohne Explosionsgefahr gefahren werden.

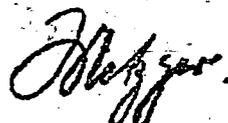
Die Isolierung des Aethylenoxyds wird dadurch erleichtert, die Ausbeute erhöht.

Zusammenfassung:
=====

Nach Überprüfung der Literaturangaben und durch eigene Versuche im Unionkalorimeter wurde festgestellt:

- 1.) Die Explosionsgrenzen von Aethylen-Sauerstoff-Mischungen zu 3,0 - 78 % Aethylen Aethylenoxyd-Sauerstoffmischungen zu 2,5 - 99,95 Aethylenoxyd bei Zimmertemperatur, normalem Druck und mit Gasen, die bei 20° C über Wasser gestanden hatten. D.h. die obere Explosionsgrenze für Aethylenoxyd wurde wesentlich höher gefunden als in der Literatur angegeben.
- 2.) Die Auslöschwirkung von Stickstoff, Kohlendioxyd und Aethylen auf Aethylenoxydflammen wurde geprüft und in Form von Tabellen und Kurven niedergelegt. In gleicher Weise wurde die Auslöschwirkung von Kohlendioxyd und Stickstoff auf Aethylenflammen dargestellt.
Aethylen erniedrigt die Explosionsgrenzen von Aethylenoxyd.
- 3.) Die Auswirkung der neugefundenen Erkenntnisse auf den Prozess der Direktoxydation von Aethylen zu Aethylenoxyd wurde besprochen.

Vorliegende Untersuchung wurde im Jahre 1939 im Betriebslaboratorium der Gasfabrik Oppau durchgeführt.


gez: Gloth

Explosionsgrenzen: Äthylen / Sauerstoff.

% Äthylen

unten oben

3,1	79,9	Jones und Kennedy, Zündung durch Gasflamme.
4,1	60,2	Jorissen, Ongkiehong.
4,0	62,5	Terres.
4,5	60,0	Bone, Fraser, Winter, Flammenzündung, Bunteburette 2,5 cm Ø
2,9	79,9	Jones, Yant, Miller u. Kennedy, offene Rohre und Bomben.

Explosionsgrenzen: Äthylen / Luft.

% Äthylen

unten oben

5,5	11,5	Rivin u. Sobolik, Funkenzündung 30 cm langes Bleirohr 18 mm Ø.
3,3	18,25	Georgeson u. Hartwell, Flamme von unten, Quarzrohr 2,5 cm Ø ; 150 cm lang.
3,05	28,6	Jones und Kennedy, Gasflammenzündung.
3,8	14,2	Terres, Funkenzündung, Bunteburette 19 mm Ø; 120 cm lang, Funkenlänge 1 - 1,5 mm.
4,0	14,7	Eitner, Bunteburette Ø 19 mm Volumen 110 cm ³ ; 17°C mit Wasserdampf gesättigt.
2,3	25,6	Chapman, Flammenzündung von unten.
4,0	22,0	Clowes, Flamme von unten.
3,5	11,8	Wagner.
3,13	33,3	White, Funkenzündung, 1,5 m langes Rohr mit 25 mm Ø
3,	14,4	A. La Fleur, Zündung von unten.
3,0	13,9	" , Zündung von oben.
3,5	16,0	Berl und Werner.
2,75	28,60	Jones, Yant, Miller und Kennedy.
3,26	18,30	Georgeson u. Hartwell, horizontale Flammenzündung.
1,85	-	Naylor und Wheeler, an heissem Quarz gezündet.
5,7	17,5	Thornton.

Berl und Fischer mischten Luft und Äthylen in einer injektorartigen Mischdüse und stellten bei der unteren Explosionsgrenze die Entflammbarkeit mittels Gasinterferometers fest. Es wurde dabei gefunden

% Äthylen

untere Grenze:

3,52	Glaspipette, Funkenzündung.
3,34	Glaskugel 27 mm Ø .
3,42	" 18 mm Ø .
3,69	Eisengefäß bei Zimmertemperatur.
3,22	" " 100° C .
3,40	" " 200° C .
3,83	" " 300° C .
2,82	besonders starke Zündung.

Explosionsgrenzen: Äthylenoxyd / Luft.

% Äthylenoxyd

unten oben

3,0	80,0	Jones u. Kennedy	trockene Gase.
3,0	70,0	Phys.Labor.Lu vom 5.10.29	relative Feuchtigkeit 50 % .

Einfluss von Druck auf die Explosionsgrenzen von Äthylen / Sauerstoff bzw. Luft-Gemischen.

% Äthylen

unten oben

5,0	16,0	0 atü	Äthylen/Luft, Berl & Werner	bei niederen Drucken verbrennt nur Wasserstoff, bei hohen Drucken auch Kohlenstoff.
3,5	-	20 "	" "	
-	68,0	90 "	" "	
1,5	71,0	380 "	" "	

Bei hohen Drucken sehr briesant.

Den Druckanstieg während der Explosion untersuchte P. Bräuer.

Die Explosionsverhältnisse bei Unterdruck wurden auch in Ludwigshafen studiert (siehe Peters u. Ganter!).

Zwei Memos des Phys.Labors.Lu 510 vom 3.3.37 und 16.9.38 geben Auskunft über die oberen Explosionsgrenzen von Äthylen/Sauerstoffgemischen: bei 0 atü: 76 % ; 5 atü: 85 % und 10 atü: 94 % Äthylen.

Der Einfluß von Unterdruck wirkt sich so aus, daß bei einem Druck von nur 46 mm Hg keine Explosion mehr stattfindet

% C₂H₄

Explosionsgrenze

unten	oben	Druck
3,4	78	760 mm Hg
2,9	69,2	200 " "
4,1	61,3	100 " "
-	-	46 " "

Den Einfluß von Wasserdampf und Druck auf die Explosionsgrenzen von Äthylen/Luft bzw. Äthylen/Sauerstoff-Gemischen behandelt ein Memo vom 11.3.37 des Phys.Labors.Lu.

Es explodieren nicht mehr :

mit Luft :	20,8 % H ₂ O	23,6 % H ₂ O
1,02 ata	7,9 % C ₂ H ₄	6,0 ata 7,6 % C ₂ H ₄
=====	71,3 % Luft	===== 68,8 % Luft

mit Sauerstoff:

	43,6 % H ₂ O	63,2 % H ₂ O
1,02 ata	21,6 % C ₂ H ₄	6,0 ata 14,7 % C ₂ H ₄
=====	33,8 % O ₂	===== 22,1 % O ₂

Einfluß der Zündbedingungen auf die Entflammung von Äthylen Luft bzw. Sauerstoffgemischen.

Wassertröpfchen und Gesteinsstaub oder Ni₂O₃ senken die Entzündungstemperatur von Äthylen Luftgemischen.

Nach King u. Mole :

bei 10 % Äthylen in Luft wird durch Zusatz von Ni₂O₃ Staub die Zündtemperatur erniedrigt von 550°C auf 460°C , durch Zusatz von Wassertröpfchen " 550°C " 530°C , dagegen C 1906/II/14: durch sehr scharfe Trocknung keine Verzögerung der Oxydation. Bone, Jack und Bell untersuchten sehr scharf getrocknete Gase.

Bone, Drugman und Andrew stellten fest, daß Äthylen und Sauerstoff auch dann noch bei 525°C miteinander reagieren, wenn die Gase einen Trocknungsgrad besitzen, der genügen würde die H₂-O₂ Explosion zu verhindern.

Thornton untersucht die Zündung von Gasen durch heiße Metalldrähte und Malinowski und Lawrow geben an, daß elektrische Felder die Explosion hemmen.

Nach Chapman, Flammzündung : (Äthylen-Luft)

Explosionsgrenzen: Zündung in horizontaler Richtung	3,4 - 14,1 %	Äthylen
" vertikales Rohr abwärts	3,6 - 13,7 %	"
" " aufwärts	2,3 - 25,6 %	"

Flammengeschwindigkeiten von Äthylen Luftgemischen.

Nach Chapman, Flammenzündung.

Äthylen neben Luft :

Maximale Geschwindigkeit der horizontalen Flamme 142,2 cm/sec bei 7,20 % C₂H₄ in Luft und bei Zimmertemperatur. Bei der unteren Grenze 25,8 cm/sec bei der oberen Grenze 22,2 cm/sec.

Zum Vergleich: 9 % Acetylen in Luft: 280 cm/sec.

40 % Wasserstoff in Luft: 480 " siehe auch W. Payman

Äthan 80 "

Nach Georgeson und Hartwell: Äthylen/Luft 3,3 - 18,25 % Äthylen als Explosionsgrenzen und 168 cm/sec als höchste Geschwindigkeit.

White studierte den Einfluß von Schwefelkohlenstoff auf die Flammgeschwindigkeit, Campbell und Coligny den Einfluß von Stickstoff.

Zündtemperaturen von Äthylen/Sauerstoff, bzw. Luftgemischen.

Nach Blomfield zündet Äthylen in Sauerstoff bei normalem Druck bei 604°C, bei 3 atü bei 500°C.

Dixon u. Coward geben an Äthylen in Sauerstoff 500-519°C

in Luft : 542-547°C bei normalem Druck.

Bunte und Bloch :

Äthylen + Luft trocken 540 - 591°C, feucht : 545 - 577°C

Äthylen + Sauerstoff trocken 485 - 630°C.

Goldmann prüfte, ob die Zündtemperatur sich ändert, je nachdem, ob von den beiden Gasen Sauerstoff oder Äthylen vorerhitzt wird 650-700°C . (kein Unterschied).

Naylor u. Wheeler finden für Äthylen/Luftmischungen in Abhängigkeit von der Verweilzeit 523 - 589°C .

Blomfield maß als Temperatur in der Flamme (Äthylen/Sauerstoff) 1800°C

Zur Verbrennung von Äthylen mittels Stickstoffoxydul ist nach Dixon keine höhere Temperatur nötig als in Luft.

Einfluß von Inerten Gasen auf die Explosionsgrenzen
von Äthylen bezw. Äthylenoxyd Sauerstoffgemischen.

Nach Jones und Kenndy müssen auf 1 Teil Äthylen 9 Teile Kohlendioxyd oder 15 Volumenteile Stickstoff vorhanden sein um es unentflammbar zu machen.

Terres verdünnte den Sauerstoff durch Stickstoff und bestimmte die Explosionsgrenzen der Gemische.

% Äthylen		
unten	oben	% Sauerstoff im Sauerstoff/Stickstoffgemisch.
4,0	62	93,7
4,0	56,4	74,7
4,0	47,7	59,5
4,0	33,9	40,4
3,8	14,2	Luft

Über die Auslöschung von Äthylenoxydflammen durch Kohlensäure siehe Peters und Ganter

Nach Jones und Kennedy genügen 7,15 Teile CO₂ auf 1 Teil Äthylenoxyd um Explosionen auszuschliessen.

Nach Memo Phys.Labor.Lu vom 20.11.33 sind bei einem Verhältnis Äthylen:Dampf = 1:10 und einer Mischung von Luft, Äthylen mit 2,5 - 25 % Äthylen keine Explosionen zu befürchten.

Verbrennungsprodukte bei der Explosion von Äthylen/
Sauerstoffgemischen

nach Bone, Drugman, Andrew

Wasserdampf, Aldehyde, Äthylen, Acetylen, Kohlenstoff, CO, CO₂
nach Terres: CO₂, C_nH_{2n}, O₂, CO, H₂, C₂H₆, CH₄, Äthylen und Aldehyde.

Anlagen.

Literaturnachweis.

- 1.) Berl u. Fischer, Zeitschr.f.Elektroch. 30, 29-35 (1924).
- 2.) Berl u. Werner, " f.angew.Chem.40, 245 (1927).
- 3.) Blomfield, C.1927/II/455.
- 4.) Bone, Drugman, Andrew, C.1907/I/328.
- 5.) Bone, Fraser, Winter, C.1927/II/390.
- 6.) Bone, Jack u. Bell, Proc.Roy.Soc.Lond.Ser.A 144, 257 (1934).
- 7.) Bone, Oudridge, Proc.Roy.Soc.Lond.Ser.A 157, 234.
- 8.) Bräuer. C. 1932/I/2692.
- 9.) Bunte und Bloch, C. 1935/II/951.
- 10.) Caligny de Champfleury Ellis, Journ.-Chem.Soc.Lond. 123, 1435.
- 11.) Campbell u.a., Journ.Chem.Soc.Lond. 125, 1937.
- 12.) Chapman, " " " " 119, 1677.
- 13.) Clewes, Journ.Soc.chem.Ind. 14, 1024 u. 15, 418 (1895).
- 14.) Dixon u. Coward, Journ.Chem.Soc.Lond. 95, 504.
- 15.) Eitner, Journ.f.Gasbel. 45, 21 u. 69 (1902).
- 16.) A.Le Fleur, Recueil Trav.chim.Pays-Bas 56, 442-73.
- 17.) Georgeson u.Hartwell, Journ.Chem.Soc.Lond. 1930, 733, 1927, 265.
- 18.) Goldmann, Zeitschr.f.Phys.Chem. Abtlg.B. 5, 316.
- 19.) Jones u. Kennedy, C.1930,II.885, Nature 118, 837,
Lond.Chem.Review 1930, 22, 1-26;
u.Jones allein C. 1935, II, 3082. Ind.& Eng.Chemistry 22, 2.
- 20.) Jorrison u. Ongkiewong, C.1926/I/3589.
- 21.) King u. Mole, C.1936/I/683 ; C. 1934/II/2776.
- 22.) Konschats, Z.f.hyg.Zoolog.u.Schädlingsbekämpfung.30, 22-26.
- 23.) Malinowski u. Sawrow, C.1930/I/2525.
- 24.) Mess u. Bierhalter, Gas und Wasserfach, 67, 393 (= G.W.F.)
- 25.) Naylor u. Wheeler, Journ.Chem.Soc.Lond.1933, 1240.
- 26.) Passauer, G.W.F. 1930, 73, 313, 343, 369, 392.
- 27.) Payman, C.1929/II/28.
- 28.) Peters u. Ganter, Angew.Chem. 1938, S.30.
- 29.) Rivin u. Sobolik, Acta physik. chim. U.R.S.S. 7, 825 (1937).
- 30.) Terres, Journ.f.Gasbeleuchtg. 63, 810 u. 785.
- 31.) Thornton, Phil.Mag. 1917, 33, 190.
- 32.) White, Journ.Chem.Soc.Lond. 127, 48, 672, 764.

Tabelle I.

(Dazu Bild I, II u. III)

Verschiebung der Explosionsgrenzen von Äthylen-Sauerstoffgemischen durch Zusatz von Stickstoff, Kohlendioxyd oder Äthylen.

Es explodieren eben nicht mehr folgende Gasgemische :

% Äthylenoxyd C ₂ H ₄ O	H ₂		%O ₂ + 100 %O ₂ + %H ₂		%O ₂ + 100 %O ₂ + %C ₂ H ₄ O		CO ₂		%O ₂ + 100 %O ₂ + %CO ₂		%O ₂ + 100 %O ₂ + %C ₂ H ₄ O		C ₂ H ₄		%O ₂ + 100 %O ₂ + %C ₂ H ₄		%O ₂ + 100 %O ₂ + %C ₂ H ₄ O	
	% O ₂	% H ₂	% O ₂	% H ₂	% O ₂	% CO ₂	% O ₂	% CO ₂	% O ₂	% C ₂ H ₄	% O ₂	% C ₂ H ₄	% O ₂	% C ₂ H ₄	% O ₂	% C ₂ H ₄	% O ₂	% C ₂ H ₄
2,5	97,5	-	100		97,5		97,5		100	97,5		97,5		100	97,5		97,5	
3,0	10,0	87,0	10,3	76,9	96,5		10,0	87,0	10,3	76,9	96,6	16,0	81,0	16,5	84,5	96,4		96,4
3,0	9,0	86,0	9,3	64,3	94,5		8,0	87,0	8,4	61,5	94,5	13,0	82,0	13,7	72,3	94,0		94,0
7,0	8,0	85,0	8,6	53,3	92,4		10,0	83,0	10,3	58,8	92,2	11,0	82,0	11,6	61,2	92,0		92,0
10,0	9,0	81,0	10,0	47,3	89,0		11,0	79,0	12,2	52,4	88,7	9,0	81,0	10,0	47,4	89,0		89,0
12,0	10,0	78,0	11,3	45,5	86,7		11,0	77,0	12,5	47,8	86,5	9,0	79,0	10,2	42,8	86,0		86,0
15,0	8,0	77,0	9,4	34,8	83,7		9,0	76,0	10,6	37,5	83,5	11,0	74,0	12,9	42,3	83,0		83,0
17,0	9,0	74,0	11,8	34,6	81,3		10,0	73,0	10,8	37,0	81,5	11,0	74,0	12,9	42,3	83,0		83,0
20,0	10,0	70,0	12,5	33,3	77,8		10,0	70,0	12,5	33,3	77,8	13,0	70,0	15,7	43,4	80,0		80,0
30,0	9,0	61,0	12,9	23,1	67,0		8,0	62,0	11,4	21,0	67,4	12,0	68,0	15,0	37,5	77,0		77,0
40,0	6,0	54,0	10,0	13,1	57,4		6,0	54,0	10,0	13,1	57,4	6,0	63,0	15,0	17,8	67,0		67,0
50,0	3,5	46,0	7,0	6,5	47,6		3,5	46,0	7,0	6,5	47,6	3,5	47,0	17,0	6,5	47,0		47,0
60,0	2,0	38,0	5,0	3,2	38,8		2,0	38,0	5,0	3,2	38,8	2,0	38,0	17,0	3,2	38,0		38,0
70,0	1,0	29,0	3,3	1,4	29,3		1,0	29,0	3,3	1,4	29,3	1,0	29,0	17,0	1,4	29,0		29,0
80,0	0,5	19,0	2,5	0,6	19,6		0,5	19,0	2,5	0,6	19,6	0,5	19,0	17,0	0,6	19,0		19,0
90,0	0,2	9,8	2,0	0,2	9,8		0,2	9,0	2,0	0,2	9,8	0,2	9,0	17,0	0,2	9,0		9,0
95,0	0,1	4,9	2,0	0,1	4,9		0,1	4,0	2,0	0,1	4,9	0,1	4,0	17,0	0,1	4,0		4,0
99,95	0,05	-	100	0,05	0,0		0,05	-	100	0,05	0,0	0,05	-	100	0,05	0,0		0,0

Obere Explosionsgrenze (feucht u. getrocknet) 99,95 % Äthylenoxyd
0,05 % Sauerstoff

Untere Explosionsgrenze(" " ") 2,5 % Äthylenoxyd
97,5 % Sauerstoff.

Tabelle II.

(Dazu Bild V u. VI).

Verschiebung der Explosionsgrenzen von Äthylen-Sauerstoff-Gemischen durch Zusatz von Stickstoff und Kohlendioxyd.

Es explodieren eben nicht mehr folgende Gasgemische:

% Äthylen C ₂ H ₄	N ₂		CO ₂			CO ₂		CO ₂		CO ₂	
	% O ₂	% H ₂	% O ₂ · 100 % O ₂ + % H ₂	% O ₂ · 100 % O ₂ + % C ₂ H ₄	% H ₂ · 100 % H ₂ + % C ₂ H ₄	% O ₂	% CO ₂	% O ₂ · 100 % O ₂ + % CO ₂	% O ₂ · 100 % O ₂ + % C ₂ H ₄	% CO ₂ · 100 % CO ₂ + % C ₂ H ₄	
3,0	97,0	0,0	100	97,0	0,0	97,0	0,0	100	97,0	0,0	
4,0	8,5	87,5	8,85	68,0	91,0	10,5	85,5	10,9	72,4	89,0	
5,0	8,0	87,0	8,43	61,5	91,5	10,5	84,5	11,0	67,8	89,0	
6,0	8,5	85,5	9,05	58,6	91,0	10,5	83,5	11,2	63,6	89,0	
8,0	9,0	83,0	9,78	52,9	90,0	12,0	80,0	13,0	60,0	87,0	
10,0	10,0	80,0	11,10	50,0	88,9	14,0	76,0	15,6	58,3	84,4	
12,0	10,5	77,5	11,92	46,7	88,1	15,5	72,5	17,6	56,3	82,3	
15,0	11,5	73,5	13,53	43,4	86,4	17,5	67,5	20,6	53,8	79,4	
20,0	13,0	67,0	16,26	39,4	83,8	20,0	60,0	25,0	50,0	75,0	
30,0	15,5	54,5	22,18	34,0	77,9	21,5	48,5	30,7	41,7	69,3	
40,0	18,0	42,0	30,00	31,0	70,0	22,0	38,0	36,7	35,4	63,3	
50,0	20,0	30,0	40,00	28,6	60,0	23,0	27,0	46,0	31,5	54,0	
60,0	21,0	19,0	52,5	25,9	47,5	23,5	16,5	58,8	28,2	41,3	
65,0	21,5	13,5	61,4	24,9	38,6	23,0	12,0	65,7	26,2	34,3	
78,0	22,0	0,0	100,0	22,0	0,0	22,0	0,0	100	22,0	0,0	

Untere Explosionsgrenze Äthylen-Sauerstoff :

bei 20°C mit Wasserdampf gesättigte Gase :

3,0 % Äthylen
97 % Sauerstoff ;

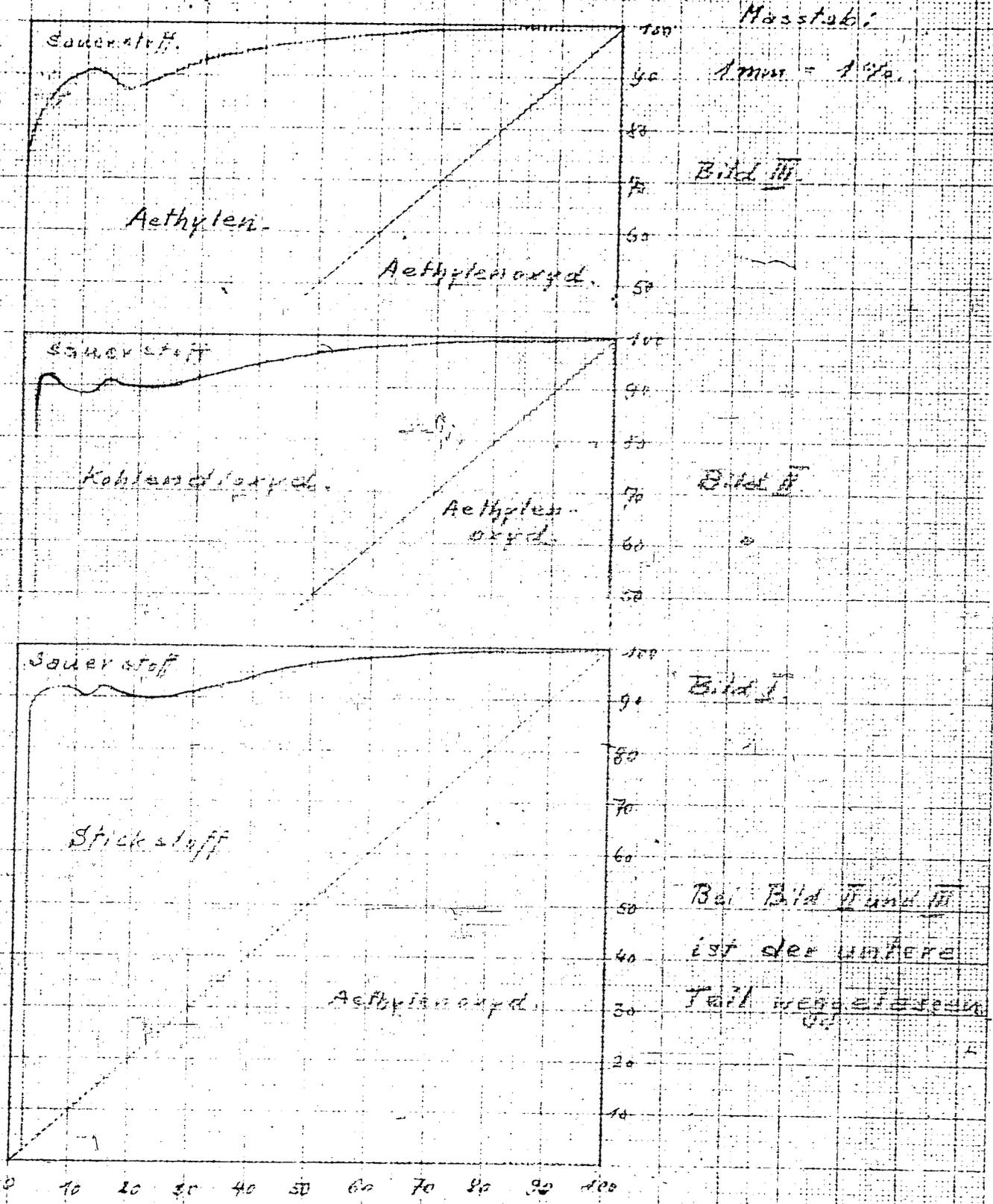
Gase und Gefäße mit Kieselgel getrocknet:

1,5 % Äthylen
98,5 % Sauerstoff .

Obere Explosionsgrenze mit und ohne Trocknung:

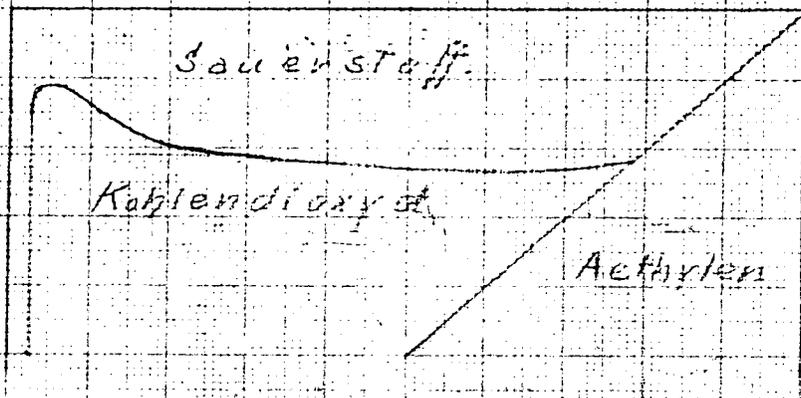
78 % Äthylen
22 % Sauerstoff .

Veränderung der Explosionsgrenzen von Äthylenoxyd durch Zusatz von Stickstoff, Kohlendioxyd oder Äthylaldehyd.



54

Verschiebung der Explosionsgrenzen von
Aethylen-Sauerstoffgemischen durch Zusatz von
Stickstoff oder Kohlendioxid.



(eigene Versuche)
 Bild VI.

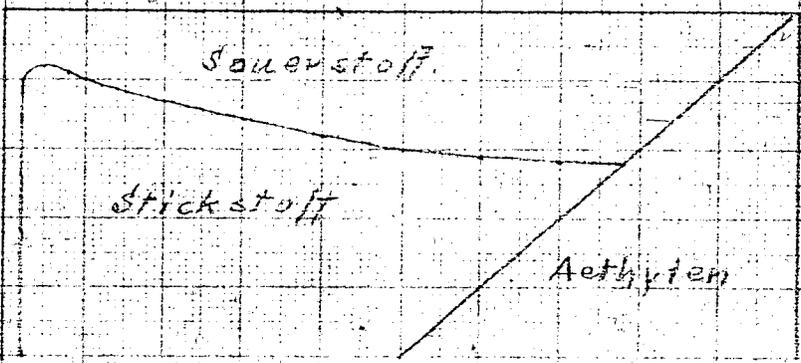
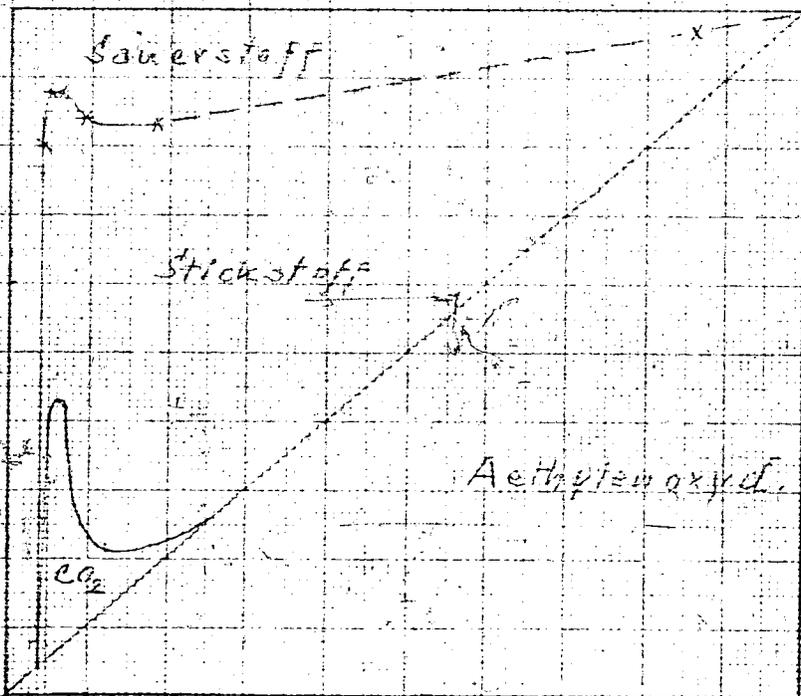


Bild V.

Bei Bild V und VI
 ist der untere Teil
 weggelassen.



Versuche von
 Peters u. Garter

Angew. Chem 57 29-33

Bild IV.

Ausschüttung von
Aethylenoxyd-Luft-
Flammen durch
Kohlendioxid.

Apparat zur Explosionsgrenzbestimmung

52

Bild VIII

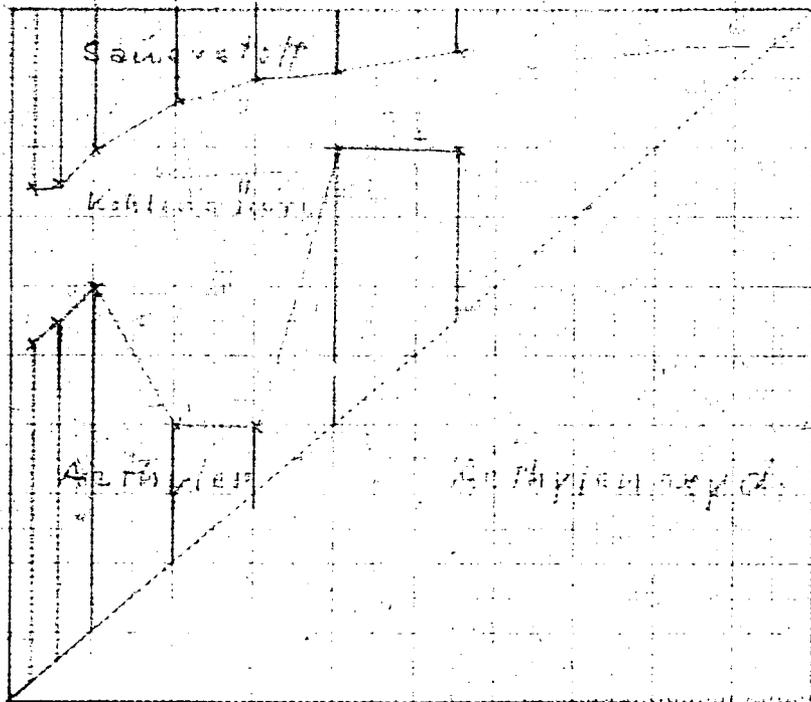
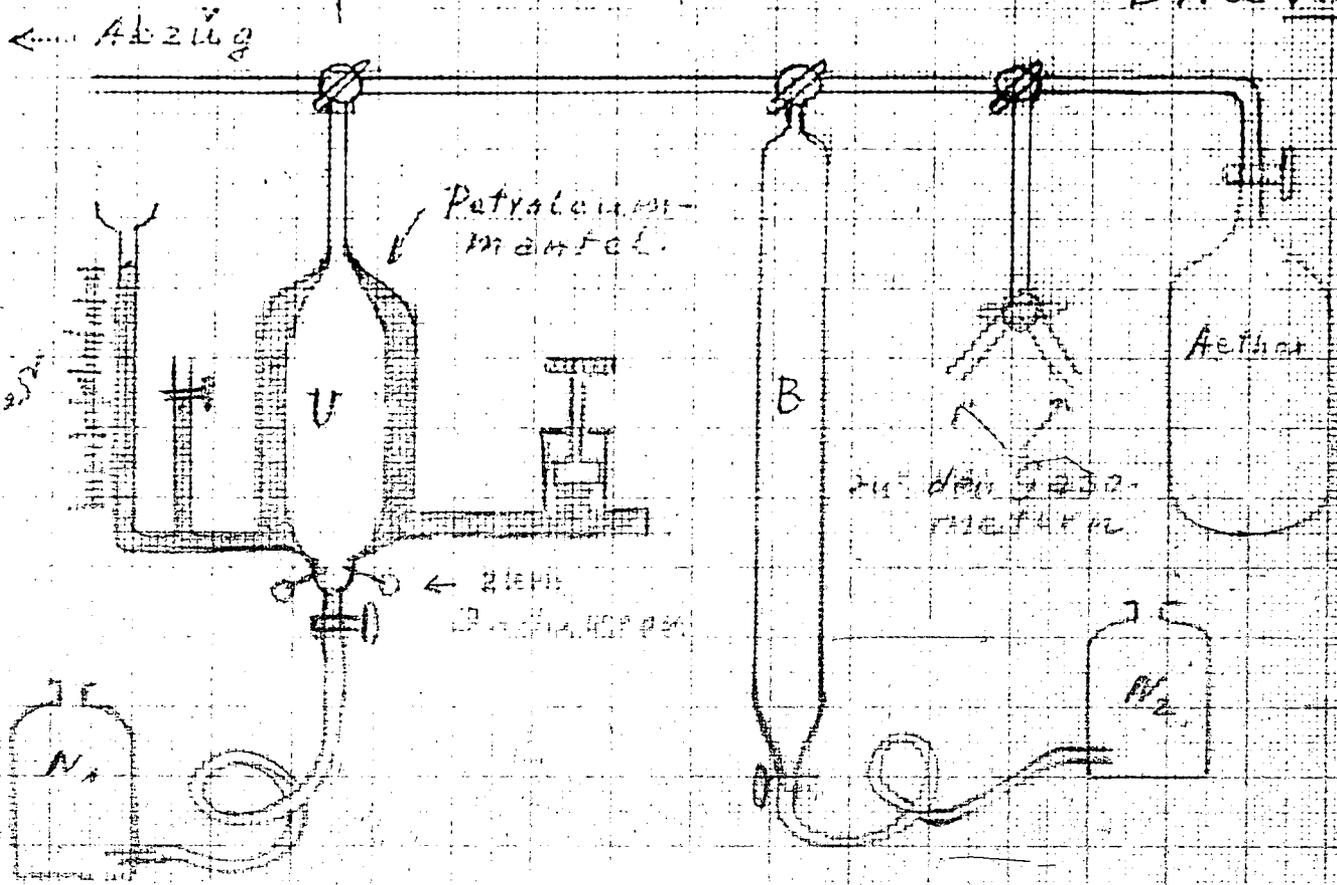


Bild VII

Explosionsgrenzen
von

Äthyläther - Äthylalkohol

Kohlenstoff - Sauerstoff

Gemischungen

(eigene Versuche)