

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

**Untersuchungen über die Explosionsgrenzen brennbarer
Gase und Dämpfe**

Eitner, Paul

München, 1902

I. Teil. Explosionen unter Verwendung einer Luft, in welcher der Sauerstoff schrittweise durch Kohlensäure ersetzt wird, bis zum Aufhören der Explosion

[urn:nbn:de:bsz:31-270244](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-270244)

I. Teil.

Explosionen unter Verwendung einer Luft, in welcher der Sauerstoff schrittweise durch Kohlensäure ersetzt wird, bis zum Aufhören der Explosion.

Wasserstoff und Luft-Kohlensäure-Mischungen.

Tabelle XIII.
(Feucht gemessen.)

No. des Vers.	Luft-Kohlensäure-Mischung in Vol.-%			Brennbares Gas in der Explosions-Mischung in Vol.-%		
	Sauerstoff	Kohlensäure	Stickstoff	Keine Explosion	Explosions-Bereich	Keine Explosion
1	21,0	0,0	79,0	9,4	9,5—66,3	66,5
2	10,5	10,5	79,0	12,3	13,1—35,3	36,1
3	8,0	13,0	79,0	13,3	14,0—26,0	26,6
4	7,0	14,0	79,0	Aufhören der Explosion		

Hieraus ergibt sich folgende prozentische Zusammensetzung der Gasmischungen an den Explosionsgrenzen:

Tabelle XIIIa.
(Feucht gemessen.)

No. des Versuchs	Untere Explosions-Grenze				Obere Explosions-Grenze			
	Wasserstoff	Sauerstoff	Kohlensäure	Stickstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Kohlensäure	Stickstoff
1	9,5	19,0	0,0	71,5	66,4	7,1	0,0	26,5
2	12,7	9,2	9,2	68,9	35,7	6,8	6,8	51,7
3	13,7	6,9	11,2	68,2	26,3	5,9	9,5	58,3
Aufhören der Explosion.								

Kohlenoxyd und Luft-Kohlensäure-Mischungen.

Tabelle XIV.
(Feucht gemessen.)

No. des Vers.	Luft-Kohlensäure-Mischung in Vol.-%			Kohlenoxyd in der Explosions-Mischung in Vol.-%		
	Sauerstoff	Kohlensäure	Stickstoff	Keine Explosion	Explosions-Bereich	Keine Explosion
1	21,0	0,0	79,0	16,4	16,6—74,8	75,4
2	10,5	10,5	79,0	17,0	17,7—47,7	48,5
3	9,0	12,0	79,0	18,2	18,7—28,3	28,6
4	8,0	13,0	79,0	19,0	19,8—20,0	20,6
5	7,0	14,0	79,0	Aufhören der Explosion		

Hieraus ergibt sich folgende prozentische Zusammensetzung der Gasmischungen an den Explosionsgrenzen:

Tabelle XIV a.
(Feucht gemessen.)

No. des Versuchs	Untere Explosions-Grenze				Obere Explosions-Grenze			
	Kohlenoxyd	Sauerstoff	Kohlensäure	Stickstoff	Kohlenoxyd	Sauerstoff	Kohlensäure	Stickstoff
1	16,5	17,5	0,0	66,0	75,1	5,2	0,0	19,7
2	17,4	8,7	8,7	65,2	48,1	5,5	5,5	40,9
3	18,5	7,3	9,8	64,4	28,4	6,4	8,6	56,6
4	19,4	6,4	10,5	63,7	20,3	6,4	10,3	63,0
Aufhören der Explosion.								

Methan und Luft-Kohlensäure-Mischungen.

Tabelle XV.
(Feucht gemessen.)

No. des Vers.	Luft-Kohlensäure-Mischung in Vol.-%			Methan in der Explosions-Mischung in Vol.-%		
	Sauerstoff	Kohlensäure	Stickstoff	Keine Explosion	Explosions-Bereich	Keine Explosion
1	21,0	0,0	79,0	6,0	6,4—12,8	13,2
2	17,0	4,0	79,0	6,3	6,8—9,4	9,9
3	16,0	5,0	79,0	6,9	7,3—8,5	8,9
4	15,0	6,0	79,0		7,6	
5	14,0	7,0	79,0	Aufhören der Explosion		

Hieraus ergibt sich folgende prozentische Zusammensetzung der Gasmischungen an den Explosionsgrenzen:

Tabelle XVa.
(Feucht gemessen.)

No. des Versuchs	Untere Explosions-Grenze				Obere Explosions-Grenze			
	Methan	Sauerstoff	Kohlensäure	Stickstoff	Methan	Sauerstoff	Kohlensäure	Stickstoff
1	6,2	19,7	0,0	74,1	13,0	18,3	0,0	68,7
2	6,6	15,9	3,7	73,8	9,7	15,4	3,6	71,3
3	7,1	14,9	4,6	73,4	8,7	14,6	4,6	72,1
4	7,6	13,9	5,5	73,0	7,6	13,9	5,5	73,0
Aufhören der Explosion.								

Äthylen und Luft-Kohlensäure-Mischungen.

Tabelle XVI.
(Feucht gemessen.)

Luft-Kohlensäure-Mischung in Vol.-%				Äthylen in der Explosions- Mischung in Vol.-%		
No. des Vers.	Sauer- stoff	Kohlen- säure	Stick- stoff	Keine Explo- sion	Explosions- Bereich	Keine Explo- sion
1	21,0	0,0	79,0	3,9	4,3—14,5	14,9
2	13,0	8,0	79,0	5,7	6,0—6,0	6,2
3	12,0	9,0	79,0	Aufhören der Explosion		

Hieraus ergibt sich folgende prozentische Zusammensetzung der Gasmischungen an den Explosionsgrenzen:

Tabelle XVIa.
(Feucht gemessen.)

No. des Ver- suchs	Untere Explosions-Grenze				Obere Explosions-Grenze			
	Äthylen	Sauerstoff	Kohlen- säure	Stickstoff	Äthylen	Sauerstoff	Kohlen- säure	Stickstoff
1	4,1	20,1	0,0	75,8	14,7	17,9	0,0	67,4
2	5,9	12,2	7,5	74,4	6,1	12,2	7,5	74,2
Aufhören der Explosion.								

Leuchtgas und Luft-Kohlensäure-Mischungen.

Tabelle XVII.
(Feucht gemessen.)

Luft-Kohlensäure-Mischung in Vol.-%				Leuchtgas in der Explosions- Mischung in Vol.-%		
No. des Vers.	Sauer- stoff	Kohlen- säure	Stick- stoff	Keine Explo- sion	Explosions- Bereich	Keine Explo- sion
1	21,0	0,0	79,0	7,8	8,0—19,0	19,2
2	15,7	5,3	79,0	9,2	9,6—15,0	15,5
3	13,4	7,6	79,0	10,3	10,9—12,0	12,4
4	12,8	8,2	79,0	Aufhören der Explosion		

Hieraus ergibt sich folgende prozentische Zusammensetzung der Gasmischungen an den Explosionsgrenzen:

Tabelle XVII a.
(Feucht gemessen.)

No. des Ver- suchs	Untere Explosions-Grenze				Obere Explosions-Grenze			
	Leuchtgas	Sauerstoff	Kohlen- säure	Stickstoff	Leuchtgas	Sauerstoff	Kohlen- säure	Stickstoff
1	7,9	19,3	0,0	72,8	19,1	17,0	0,0	63,9
2	9,4	14,2	4,8	71,6	15,3	13,3	4,5	66,9
3	10,6	12,0	6,8	70,6	12,2	11,8	6,7	69,3
Aufhören der Explosion.								

Acetylen und Luft-Kohlensäure-Mischungen.

Tabelle XVIII.
(Feucht gemessen.)

Luft-Kohlensäure-Mischung in Vol.-%				Acetylen in der Explosions- Mischung in Vol.-%		
No. des Vers.	Sauer- stoff	Kohlen- säure	Stick- stoff	Keine Explo- sion	Explosions- Bereich	Keine Explo- sion
1	21,0	0,0	79,0	3,3	3,6—52,0	52,4
2	12,0	9,0	79,0	3,7	3,8— 9,3	10,1
3	10,0	11,0	79,0	3,7	3,9— 6,5	6,7
4	9,0	12,0	79,0		5,5	
5	8,0	13,0	79,0	Aufhören der Explosion		

Hieraus ergibt sich folgende prozentische Zusammensetzung der Gasmischungen an den Explosionsgrenzen:

Tabelle XVIIIa.
(Feucht gemessen.)

No. des Ver- suchs	Untere Explosions-Grenze				Obere Explosions-Grenze			
	Acetylen	Sauerstoff	Kohlen- säure	Stickstoff	Acetylen	Sauerstoff	Kohlen- säure	Stickstoff
1	3,4	20,3	0,0	76,3	52,2	10,0	0,0	37,8
2	3,8	11,5	8,7	76,0	9,7	10,8	8,1	71,4
3	3,8	9,6	10,6	76,0	6,6	9,3	10,3	73,8
4	5,5	8,5	11,3	74,7	5,5	8,5	11,3	74,7
Aufhören der Explosion.								

Die Resultate der oben wiedergegebenen sechs Versuchsreihen sind in nachstehender graphischen Darstellung (Fig. 2) zusammengefaßt.

A. B. ...
 K. ...
 ...

Einfluss der Kohlensäure auf die Weite der Explosionsgrenzen bei fortschreitendem Ersatz des Sauerstoffs in der Verbrennungsluft durch Kohlensäure.

Abzisse: Kohlensäure in Vol.-%
 Ordinate: Brenn. Gas in Vol.-%

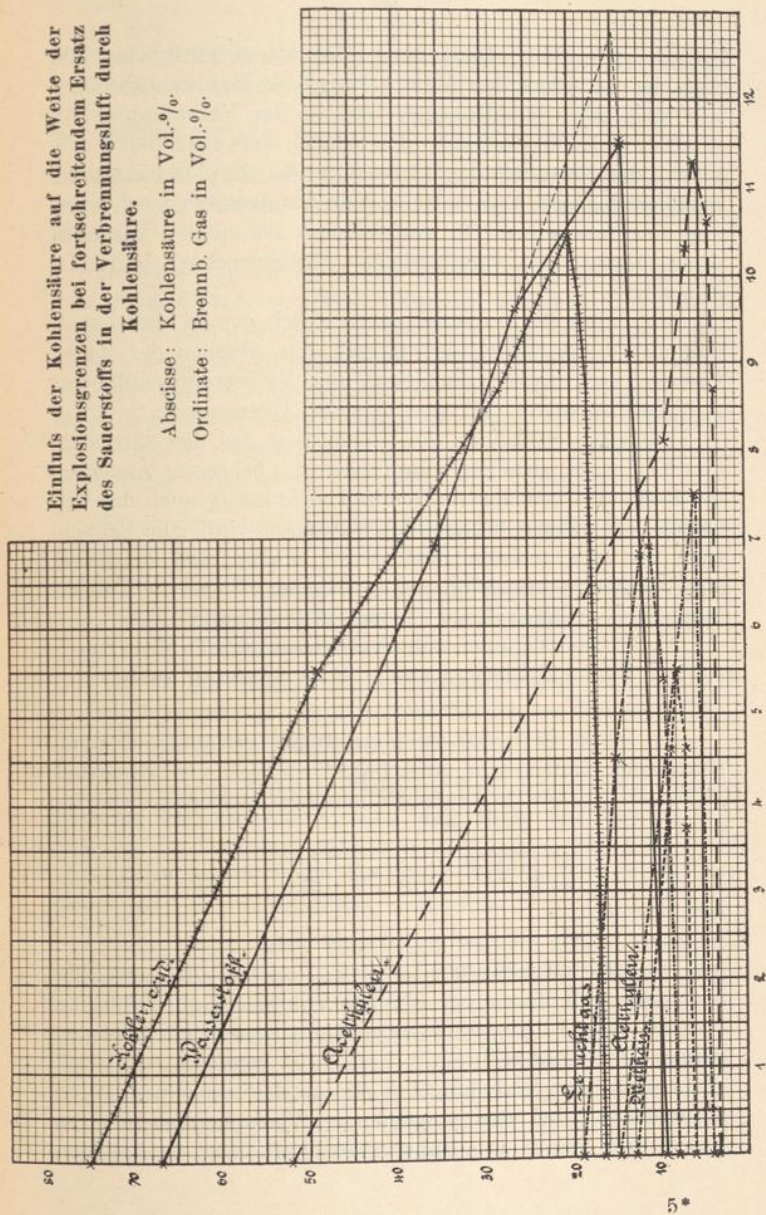


Fig. 2.

Die graphische Darstellung gibt ein anschauliches Bild von der zunehmenden Verengung der Explosionsbereiche mit steigendem Kohlensäuregehalt in der Verbrennungsluft.

Besonders bemerkenswert ist dabei, daß nach den Ergebnissen der Versuche die Begrenzung der Explosionsbereiche annähernd gerade Linien sind. Nur das Acetylen macht hiervon eine Ausnahme, die wohl in dem besonderen Verhalten dieses Gases bei verschiedenen Partialdrucken begründet sein dürfte.

Daß diese Begrenzungslinien wirklich gerade Linien sind, daß also das Ansteigen der unteren, das Abfallen der oberen Grenzen dem Kohlensäuregehalt der Verbrennungsluft proportional ist, ergibt sich aus folgender Überlegung:

Zunächst erscheinen die Verhältnisse bei den vorstehenden Versuchen ziemlich kompliziert, da bei einer Änderung des Kohlensäuregehalts im Gemisch gleichzeitig auch das Verhältnis der übrigen Bestandteile verändert wird. Die Betrachtung läßt sich indessen vereinfachen, indem man den Stickstoff der Verbrennungsluft auf den Sauerstoff und die Kohlensäure im Verhältnis dieser beiden Gase verteilt.

Enthält ein Volumen v der Verbrennungsluft o Teile Sauerstoff, k Teile Kohlensäure und n Teile Stickstoff, so ist

$$v = o + k + n.$$

Da ferner diese Verbrennungsluft aus gewöhnlicher atmosphärischer Luft durch einfachen Austausch von Sauerstoff gegen ein gleiches Volumen Kohlensäure hervorgegangen ist, so ist

$$n = \frac{79}{21} (o + k) = \frac{79}{21} o + \frac{79}{21} k = n_o + n_k$$

und demnach

$$v = (o + n_o) + (k + n_k)$$

$(o + n_o)$ ist atmosphärische Luft, $(k + n_k)$ ist Luft, in welcher aller Sauerstoff durch ein gleiches Volumen Kohlensäure ersetzt ist. Der Kürze halber möge diese letztere im folgenden einfach als »Kohlensäureluft« bezeichnet werden.

Durch diese Verteilung des Stickstoffes erscheint die Verbrennungsluft bei den vorstehenden Versuchen als ein Gemisch von reiner atmosphärischer Luft mit wechselnden

Mengen von Kohlensäureluft. An der graphischen Darstellung wird dadurch nichts geändert. Man hat nur die Prozente Kohlensäure auf der Abscissenachse mit $\frac{100}{21}$ multipliziert zu denken, dann gibt die Figur direkt die Verschiebung der Grenzen bei steigendem Gehalt des Gemisches an Kohlensäureluft.

Rechnet man ferner an der unteren Explosionsgrenze zu dem brennbaren Gase jeweils dasjenige Volumen atmosphärischer Luft hinzu, welches zur vollständigen Verbrennung des ersteren nötig ist, an der oberen Explosionsgrenze zu der im Gemisch vorhandenen atmosphärischen Luft dasjenige Volumen brennbaren Gases, welches mit dieser gerade vollständig zu verbrennen vermag, so erhält man die in den explosiven Mischungen enthaltenen Volumina der »Luftknallgase«.

Neben diesen Luftknallgasen bleibt dann in den Mischungen nur noch:

1. an der unteren Explosionsgrenze ein Gasgemenge, welches aus dem Rest der atmosphärischen Luft und der Kohlensäureluft besteht,
2. an der oberen Explosionsgrenze ein Gasgemenge, welches aus dem Rest des brennbaren Gases und der Kohlensäureluft zusammengesetzt ist.

Zur weiteren Vereinfachung der Betrachtung möge ferner zunächst vorausgesetzt werden, daß diese Gasgemenge gar nicht an der Verbrennung teilnehmen, daß sie sich also völlig als Gemisch inerte Gase verhalten, die in den explosiven Gemengen nur die Knallgase verdünnen.

Nimmt man dann schließlichs das im ersten Abschnitt dieser Arbeit wiedergegebene Le Chateliersche Gesetz auch in seiner allgemeinsten Form als gültig an, wonach Gasgemenge, die selbst an den Explosionsgrenzen stehen, bei der Vermischung wieder Gemenge liefern, welche sich an der Explosionsgrenze befinden, sofern durch die Mischung nicht neue Verbrennungsbedingungen geschaffen werden, so besagt dasselbe für den vorliegenden Fall:

Jedes Volumen eines inerten Gases erfordert einen ganz bestimmten Zusatz von Knallgas, um verbrennlich zu werden, und dieses Verhältnis des erforderlichen Knallgasvolumens zum Volumen des inerten Gases bleibt auch in der Mischung mit anderen ebenfalls an der Explosionsgrenze stehenden Gasgemengen erhalten.

Verschiedene inerte Gase aber erfordern verschiedene Knallgaszusätze, um verbrennlich zu werden. So braucht z. B. die Kohlensäureluft zur Ermöglichung einer fortschreitenden Verbrennung einen erheblich größeren Knallgaszusatz als die gewöhnliche atmosphärische Luft.

Will man diese Gesetzmäßigkeit auf die in Rede stehenden Versuche anwenden, so hat man nur die Knallgas Mengen in den an den Explosionsgrenzen stehenden Mischungen auf die in denselben enthaltenen inerten Gase so verteilt zu denken, daß jedes für sich ein an der Explosionsgrenze stehendes Gemenge bildet. Hierzu ist nach dem oben besprochenen Gesetz die vorhandene Knallgasmenge gerade notwendig und ausreichend.

Bei dieser Verteilung der Gase erscheinen dann die untersuchten Gasgemische einfach als ein Gemenge zweier an der Explosionsgrenze stehender Gasmischungen, von denen die eine mit steigendem Kohlensäuregehalt zunimmt, während die andere entsprechend abnimmt. Da diese Änderung des Mengenverhältnisses, wie ohne weiteres ersichtlich, dem Kohlensäuregehalte direkt proportional ist, so ist auch die hiermit verbundene Änderung im Gehalt der Mischung an Knallgas bzw. brennbarem Gas der Kohlensäuremenge proportional, d. h. die Begrenzungslinien der Explosionsbereiche in der oben gegebenen graphischen Darstellung müssen gerade Linien sein.

Hierzu sind indessen noch einige Bemerkungen zu machen. Die hier angestellte Überlegung setzte voraus, daß die im explosiven Gemisch neben dem Luftknallgas vorhandenen sonstigen Gase nicht an der Verbrennung teilnehmen, also sich wie inerte Gase verhalten. Diese Voraussetzung trifft bei den besprochenen Versuchen an den unteren Explosionsgrenzen zu, an den oberen dagegen nur beim Kohlenoxyd. Der

Wasserstoff und alle Kohlenwasserstoffe verhalten sich anders. Denn einerseits geht hier ein Teil der im Gemisch enthaltenen Kohlensäure mit in die Verbrennung ein, indem dieser Teil zu Kohlenoxyd reduziert wird, andererseits verbrennt erheblich mehr brennbares Gas, als dem theoretischen Knallgas entspricht, aber die Verbrennung ist unvollständig, d. h. sie liefert als Produkte je nach den Bedingungen verschiedene Mengen von Kohlenoxyd, Wasserstoff, Kohlensäure und Wasserdampf.

Trotzdem müssen auch hier die Begrenzungslinien der Explosionsbereiche gerade Linien sein, denn die Verbrennungsbedingungen ändern sich stetig und direkt proportional dem wachsenden Kohlensäuregehalt.

Selbstverständlich gelten alle diese Betrachtungen nur so lange, als in den Gasgemengen alle hier in Betracht gezogenen Bestandteile angenommen werden können. Verschwindet bei zunehmendem Kohlensäuregehalt der eine Bestandteil, z. B. an der unteren Grenze die überschüssige Luft, so erhält die Gerade an dieser Stelle einen Knickpunkt und ändert ihre Richtung. Diese Thatsache tritt auch in der graphischen Darstellung deutlich hervor.

Wie aus der Annahme, daß das oben erwähnte Le Chateliersche Gesetz in der gegebenen allgemeinen Form auch allgemeine Gültigkeit habe, gefolgert werden konnte, daß die Begrenzungslinien der Explosionsbereiche gerade Linien sein müssen, so kann umgekehrt die Thatsache, daß die Resultate der Versuche wirklich mit dieser Folgerung im Einklang stehen, als Beweis für die allgemeine Gültigkeit des Gesetzes in der gegebenen allgemeinen Form angesprochen werden. Indessen reicht hierzu das experimentelle Material nicht aus, da bei den Versuchen, die zu anderem Zwecke angestellt waren, zu wenig Punkte der Begrenzungslinien ermittelt sind.

Einfacher und weniger schwierig in der Ausführung sind die im folgenden beschriebenen Versuche, die unter ähnlichen Gesichtspunkten betrachtet werden können.