

u. i.

Zündung brennbarer Gas-Luft-  
bzw. Dampf-Luft-Gemische  
durch Schleiffunken

9930

Abschrift.

Ammoniakwerk Menseburg  
G.m.b.H.

Teko

23. März 1944.

An die Mitglieder der Teko.

Betr. explosionsfähige Gemische.

Es ist beabsichtigt, die Versuchsarbeiten unseres Herrn Dr. Gaulmann: "Zündungsergebnisse für verschiedene Gas-Gemische durch Schleiffunken" im Zusammenhang mit dem "Schutz" (III Teil des Reichswehrgesetzes) zur Verfügung zu stellen, da die Ergebnisse in vielfacher Hinsicht bemerkenswert sind. Von der Arbeit ergibt sich überraschenderweise, daß die größte Wahrscheinlichkeit einer Zündung nicht beim brennbarsten Gemisch liegt. Der sehr einfache Versuch ist ausreichend zuverlässig. Die Zündbarkeit der Gemische durch Schleiffunken deckt sich mit der Fähigkeit des Durchschlagens der Zündung durch Spalten von weniger als 0,8 mm Breite nach VDE 0171 § 13c.

Folgerungen aus den Versuchsergebnissen:

Funkenfreies Werkzeug ist erforderlich für Wasserstoff, Kohlenoxyd, Azetylen, Äthylen, und Schwefelkohlenstoff:

" " " entbehrlich für Ammoniak, Äthan, Methan, Butan-n, Butylen, Propan, Propylen, Treibgas, Azetaldehyd, Azeton, Äthylalkohol, Äthyläther, Benzol, Gasbenzin, n-Hexan, Benzin, Methanol, n-Pentan und Toluol.

Weitere Stoffe werden noch untersucht.

Falls bis 10. April keine Einwände vorliegen, nehme ich Ihr Einverständnis an.

Anlage: 1 Blatt

9931

Dr. Bauer

- 1.)  Herrn Prof. Dr. Milke
- 2.)  Herrn Dr. Henckensberg
- 3.)  Herrn Regomstr. Thurn

Handwritten notes in a box:  
Zündung  
brennbar  
entzündlich

## Zündung brennbarer Gas- bzw. Dampf-Luft-Gemische durch Schleiffunken.

von Dr. K. Gaulrapp.

### Vorbemerkung:

Die Unfallverhütungsvorschriften schreiben vor, daß in explosionsgefährdeten Räumen mit Maschinen und Werkzeugen, die zu Funkenbildung Anlaß geben, nicht gearbeitet werden darf.

Auf Veranlassung des Sicherheitsingenieurs des Ammoniakwerks Merseburg (Dipl. Ing. F e d e r) wurden daher die in vorliegendem Bericht wiedergegebenen Versuche unternommen, um zu erforschen, welche Gasgemische durch die beim Arbeiten mit Stahlwerkzeugen auftretenden Schleif- oder Schlagfunken gezündet werden können. Erst nach eingehenden Kenntnissen der Explosions Eigenschaften ist es möglich zu entscheiden, in welchen Betrieben normales Werkzeug verwendet werden kann, denn das funkenfreie Werkzeug ist, zumal im Kriege, schwer zu beschaffen und hat in seiner Anwendung weitere, schwerwiegende Nachteile.

Versuche darüber, welche Gas- bzw. Dampf-Luftgemische durch einen Schleif- oder Schlagfunken gezündet werden können, liegen bisher nur in geringem Umfang vor. Z a p s und U n g l a u b e berichten über Versuche (Feuerschutz 1937 S. 91-93), bei denen sie einen Schleiffunkenregen auf mit Leichtbenzin getränkte Futzwolle sowie auf eine mit Leichtbenzin gefüllte Schale übergießen ließen, ohne jedoch außer bei Verwendung von Gaseisen zur Erzeugung der Schleiffunken eine Zündung zu erhalten. Diese Versuchsergebnisse wurden später von S p e r l i n g (Feuerschutz 1937 S. 142-144) näher erörtert. A m s o l und S t a p e l haben, um den größtmöglichen Druck bei der Reibung zu erreichen, mit Pistolen und Gewehren auf Feilenstahl geschossen, der sich in einem zündfähigen Benzin-Luftgemisch befand, und nur beim Beschuß mit dem Gewehr eine Zündung erhalten. Durch Untersuchungen von N i t k a (TIV-Bericht vom 9.1.1940, I.G. Wolfen, Filmfabrik) ist bekannt geworden, daß Schwefelkohlenstoffdampf-Luftgemische durch einen im explosiblen Gemisch erzeugten Schleiffunken zur Entzündung gebracht werden können, während auf Ätherdampf-Luftgemische der Schleiffunken ohne jede Wirkung bleibt.

Die sehr einfach auszuführenden Versuche von Z a p s und U n g l a u b e wurden im Ammoniakwerk Merseburg von Feder nachgeahmt und auf Benzol, Äther, Äthylalkohol und Schwefelkohlenstoff ausgedehnt. Um die Zündwirkung von Schleiffunken auf Gas in ähnlicher einfacher Weise zu untersuchen, verfuhr F e d e r so, daß er aus einem Bunsenbrenner diese ausströmen ließ und so dem Schleiffunkenregen aussetzte. Wegen der Einfachheit der Ausführung sollen diese „Schalen- und Bunsenbrennerversuche“, auf die noch zurückzukommen sein wird mit dem Wort „Primitivversuche“ bezeichnet werden.

In vorliegendem Bericht sollen eingehendere Versuche über die Zündbarkeit von Gas- bzw. Dampf-Luftgemischen durch Schleiffunken geschildert werden.

### Versuchsordnung:

Die zur Durchführung der Versuche über die Zündwirkung der Schleiffunken verwendete Apparatur ist in beiliegendem Schema dargestellt. Das Gas- bzw. Dampf-Luftgemisch wird in den starkwandigen, eisernen Explosionsbehälter von 11 Liter Inhalt gebracht, in dessen Innern sich eine Schwirgelscheibe (Fabrikat Reiock, Schleifscheibenfabrik Dresden, Type Reiockid, 125 mm  $\phi$ , 16 mm dick, Härte 2, Korn 80 künstlicher Korund) befindet, die durch einen Elektromotor, dessen Welle durch eine Stopfbuchse geführt ist, mit 1400 Umdrehungen/min. angetrieben wird. Auf der Motorwelle sitzt ein kleiner Propeller als Gemischrührer. Gegen die Schwirgelscheibe wird ein Stahlstift gedrückt, der durch eine Stopfbuchse nach außen ragt und zusätzlich durch Gewichte belastet werden kann. Bei den vorliegenden Versuchen bestand der Stift aus einer Rundfeile von 14 mm  $\phi$ , Brinellhärte 730; die Analyse ergab C = 1,03 %, Si = 0,1 %, Mn = 0,16 %. Die Gewichtabelastung wurde so gewählt, daß der Stift mit einem Druck von 2 kg/cm<sup>2</sup> gegen die Schleifscheibe drückte. Durch diese Anordnung wird ein kräftiger Schleiffunkenregen direkt in der explosiblen Atmosphäre erzeugt.

Die Beobachtung der Schleiffunken ist durch ein im Deckel des Explosionsbehälters befindliches Schauglas möglich. In dem Deckel befindet sich weiterhin eine Platzscheibe von 50 mm  $\phi$  aus dünnem Papier, die nach jeder Zündung erneuert wird. Das an dem Explosionsbehälter gezeichnete Manometer mit Schleppzeiger zur Anzeige des entstandenen Explosionsdrucks hat sich infolge der Trägheit des Schleppzeigers als ungeeignet und überflüssig erwiesen. In der Wandung des Explosionsbehälters ist weiterhin eine Zündkerze eingebaut, um das Gemisch auch durch einen elektrischen Funken zünden zu können. Die Herstellung der Gas-Luft-Gemische geschieht über einen mit Staubsäusen und Schrägrohrmanometern ausgerüsteten Mischapparat, über den das jeweilige, in jedem beliebigen Verhältnis herstellbare Gemisch solange durch das Explosionsgefäß strömt, bis dieses davon richtig erfüllt ist. Dann werden die Hochdruckventile im Gaseingang und -ausgang geschlossen. Der Fülldruck ist also praktisch gleich dem Atmosphärendruck. Zur Herstellung der Dampf-Luftgemische wurde so verfahren, daß die zur Verdampfung zu bringende Flüssigkeit in berechneter und abgemessener Menge durch den Manometerstutzen in den Explosionsbehälter gebracht wurde und darin verdampfte.

#### Versuchsausführung:

Nachdem in der geschilderten Weise das Gas- bzw. Dampf-Luftgemisch in dem Explosionsbehälter vorhanden war, wurde der Elektromotor eingeschaltet und danach der Stahlstift gegen die rotierende Schmirgelscheibe gepreßt. Die Anpressung und damit die Erzeugung der Schleiffunken wurde, wenn nicht sofort eine Zündung erfolgte, 15 Sekunden aufrecht erhalten und um ein Wiedereerkalten des Stahlstifts zu erreichen, nach einer Pause von etwa einer Minute nochmals 15 Sekunden lang wiederholt. Dadurch ist gewährleistet, daß sich der Stahlstift nicht so hoch erwärmt, daß schon durch seine Temperatur eine Zündung des Gemisches eintritt. Wenn auch durch diesen zweimaligen Schleiffunkenregen keine Zündung erfolgte, so wurde die Explosion durch Einschalten des elektrischen Funkens hervorgerufen, um sicher zu sein, daß auch wirklich ein explosives Gemisch vorlag. Das Eintreten einer Zündung durch Schleiffunken oder elektrischen Funken war stets einwandfrei am Knall der stattfindenden Explosion feststellbar, wobei auch stets die Platzscheibe heraufzog. Bei allen untersuchten Gasen bzw. Dämpfen wurde nicht nur das explosibelste Mischungsverhältnis hergestellt und untersucht, sondern innerhalb des gesamten Zündbereichs, der aus der Literatur oder aus eigenen früheren Messungen für elektrische oder Flammenzündung bekannt ist, in Stufen Zündfähigkeitsversuche mit dem Schleiffunken vorgenommen. Dabei wurde mit dem „magersten“ Gemisch, also an der untersten Explosionsgrenze begonnen. Dies hat den Vorteil, daß man bei hochexplosiblen Stoffen nicht sofort in das Gebiet höchster Brisanz gerät und damit die Apparatur gefährdet. Ferner führte dieses Vorgehen bei der Untersuchung von Äthylen und Kohlenoxyd zu einer unerwarteten Besonderheit, die später noch näher erläutert wird.

Die hier wiedergegebenen Versuche wurden, soweit nicht anders erwähnt ist, bei Zimmertemperatur (20-25 °C) vorgenommen; bei der Untersuchung von Äthylalkohol und Methanol erwies es sich jedoch als notwendig mit der Temperatur höher zu gehen, um eine ausreichende Menge Flüssigkeit zum Verdampfen zu bringen und damit die erforderlichen höherprozentischen Gemische herzustellen. Es wurde daher nachträglich in den Explosionsbehälter noch eine Dampfheizung eingebaut, mit der das Gasgemisch bis auf 45 °C erwärmt werden konnte; die Temperatur selbst wurde mit einem eingebauten Widerstandsthermometer bestimmt. Bei Äthylalkohol konnte so bei 45 °C ein gesättigtes 18 %iges Gemisch erhalten, also die obere Zündbereichsgrenze erreicht werden, und ebenso genügt bei Methanol eine Temperatur von 40 °C um mit einem 35 %igen Gemisch an die obere Grenze heranzureichen. Bei allen anderen untersuchten Flüssigkeiten liegen die Zündbereiche so niedrig und der Dampfdruck so hoch, daß die zu untersuchenden Mengenverhältnisse bereits bei Zimmertemperatur hergestellt werden können.

#### Ergebnisse:

Einen raschen Überblick über die untersuchten Stoffe und diejenigen, die eine Zündung mit dem beschriebenen Schleiffunken ergaben, erhält man aus der Tafel 1. Darin sind die Zündbereiche, meist den „Gastafeln“ von B r u c k n e r entnommen, weiß gezeichnet. Ergab sich innerhalb eines solchen Bereichs Zündung

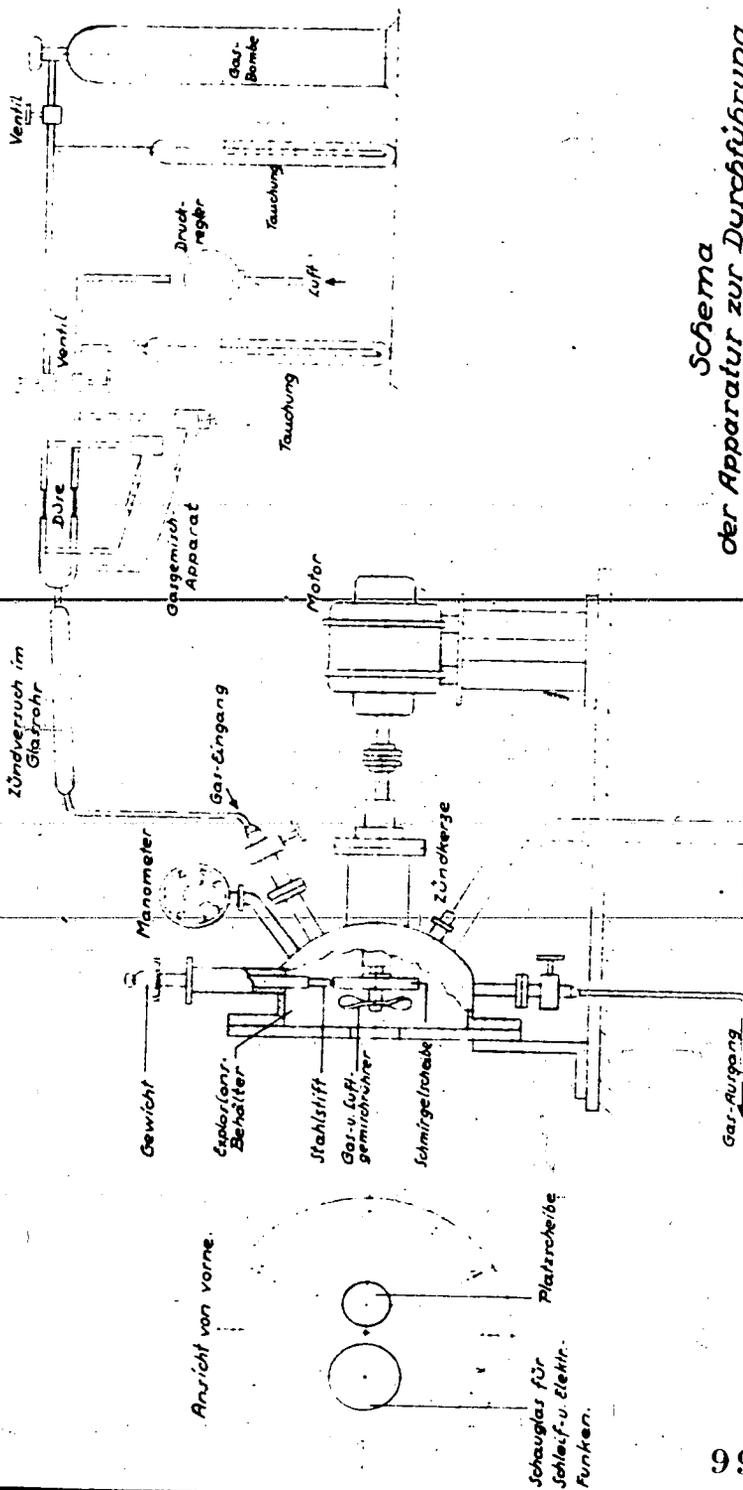
mit dem Schleiffunken, so ist dieser Bereich rot angelegt. Schleiffunkenzündung erhielten wir also bei Azetylen, Äthylen, Kohlenoxyd, Schwefelkohlenstoff und Wasserstoff. Bei Azetylen, Schwefelkohlenstoff und Wasserstoff wurden die Gemische nur bis zu einer solchen oberen Grenze untersucht, bei der die auftretende Explosion noch nicht so heftig war, daß sie die Apparatur gefährdete; diese Grenze ist in der Darstellung der Tafel 1 durch einen sägeförmig gezackten Übergang zwischen Rot und Weiß angedeutet. Ist kein rot angelegtes Feld bei einem Stoff zu sehen, so erfolgte in dem gesamten Bereich keine Zündung durch den Schleiffunken. Bei Azetylen, Wasserstoff und Schwefelkohlenstoff wurden auch Versuche von der oberen Grenze des Zündbereichs her unternommen. Man erhielt jedoch bei den hochprozentischen Gemischen von 75 %, 70 % und 65 % Wasserstoff, sowie bei 80 %, 75 %, 73 % und 71 % Azetylen überhaupt keinen sichtbaren Schleiffunken und damit auch keine Zündung. Das Auftreten eines Schleiffunkenregens ist offensichtlich abhängig vom Vorhandensein einer ausreichenden Menge Sauerstoff. Dies ist leicht daraus zu erkennen, daß z.B. bei Füllung der Explosionskammer mit Stickstoff ebenfalls kein Schleiffunken zu sehen ist. Bei Schwefelkohlenstoff, wo die Versuche in der Nähe der oberen Explosionsgrenze bei 40 °C vorgenommen worden, ergab sich bei 50 %, 45 % und 40 % Dampf im Gemisch stets eine Zündwirkung mit dem Schleiffunken. Besonders sei darauf hingewiesen, daß normales Benzin, sowie aber auch leichtes Gasbenzin und Hexan keine Zündung durch den Schleiffunken ergaben. Eine Besonderheit zeigt sich beim Äthylen und beim Kohlenoxyd. Hier wird für die Zündfähigkeit durch den Schleiffunken eine obere Grenze erreicht, die unterhalb des für Funken- bzw. Flammenzündung explosibelsten Mischungsverhältnisses, d.h. des Gemisches mit der größten Flammengeschwindigkeit bzw. Explosionsheftigkeit liegt. Dieses ist auch durch eine scharfe Grenze zwischen Rot und Weiß in Tafel 1 angezeichnet. So explodierte z.B. ein 4 %iges Äthylen-Luftgemisch bei Zündung sowohl mit Schleiffunken als auch mit elektrischem Funken mit mäßigem Knall, während ein 6 %iges Äthylen-Luftgemisch mit Schleiffunken gar nicht, mit elektrischem Funken dagegen mit heftigem Knall zur Explosion kam. Die größte Flammengeschwindigkeit liegt bei einem 7 %igen Äthylen-Luftgemisch bzw. bei einem 48 %igen Kohlenoxyd-Luftgemisch vor. Soweit bekannt, ist das Mischungsverhältnis mit der größten Flammengeschwindigkeit in Tafel 1 jeweils durch eine senkrechte Strichelung in den weißen Felder angedeutet. Die Tabelle im Anhang gibt ausführlich die untersuchten Gemische mit dem erhaltenen Ergebnis für Schleiffunken und elektrischen Funken wieder. Zu bemerken ist, daß in fast allen Fällen die aus dieser Tabelle ersichtlichen Zündbereiche für den verwendeten elektrischen Funken enger sind als die in den Gastafel von Brückner angegebenen Bereiche, die offenbar für die günstigsten Zündbedingungen der Flamme gelten.

Discussion:

Der bei den beschriebenen Versuchen verwendete Stahl-Kolund-Schleiffunken war durch die Art seiner Erzeugung so kräftig, wie er in der Praxis wohl selten vorkommt. Im Gegensatz zu Nitka wurde der Stahl nicht teilweise an die Schleifscheibe angeschlagen, sondern unter kräftigem Druck (2 kg/cm<sup>2</sup>) dauernd an die Scheibe angepreßt. Das Abbrechen der Versuche nach jeweils 15 Sekunden gewährleistete im Verein mit dem kräftigen Stahlstift, daß keine allzu große Erwärmung auftrat. Unseres Erachtens dürften sich Zündversuche mit Schlagfunken Stahl gegen Stahl erübrigen, da bei ihnen keine andere bzw. stärkere Zündwirkung zu erwarten ist als bei den geschilderten Schleiffunken. Dass die Schleiffunken-Zündfähigkeit eines Stoffes nicht unmittelbar mit dessen Zündtemperatur zusammenhängt, wie man nach der leichten Entzündbarkeit von Schwefelkohlenstoff vielleicht erwartet, geht aus folgender Tabelle hervor:

<u>Stoff</u>	<u>Zündtemperatur</u>	<u>Zündfähigkeit mit Schleiffunken</u>
Schwefelkohlenstoff	120 °C	zündet
Äthyläther	180 °C	zündet nicht
Azetylen	340 °C	zündet
Kohlenoxyd	610 °C	zündet
Wasserstoff	460 °C	zündet
Hexan	500 °C	zündet nicht





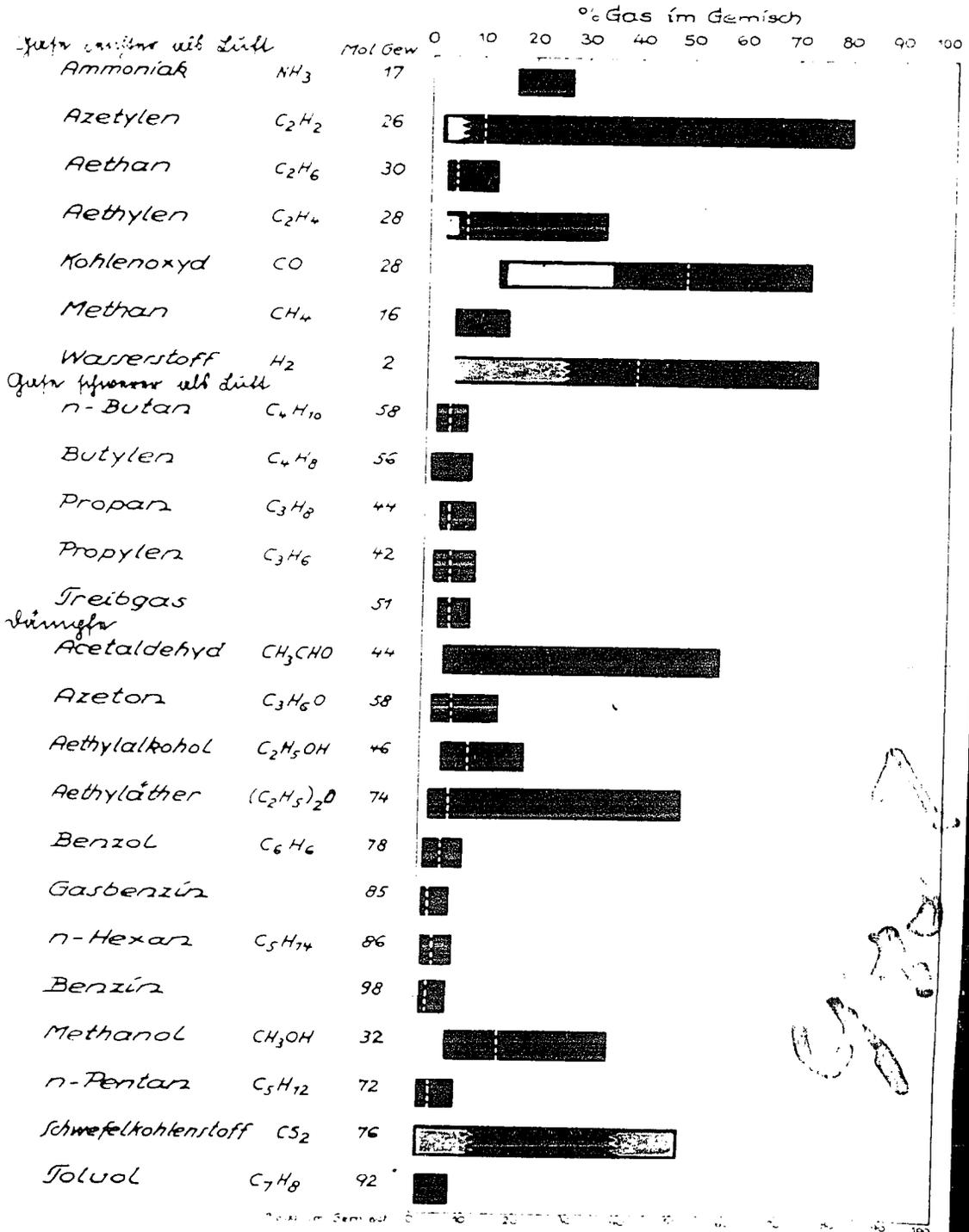
Schema  
 der Apparatur zur Durchführung  
 von Versuchen über die Zündwirkung  
 von Schleiffunken.

9936

# Zündung brennbarer Gas-Luft-bezw. Dampf-Luft-Gemische.

Zündbereiche (in Literatur)

Zündung mit Schleiffunkerz



Betriebskontrolle Me 201.

Phys. Zuber

Übersicht über die mit Schleiffunken und elektr. Funken

untersuchten Gas bzw. Dampf-Luftgemische

+ = Zündung      - = keine Zündung

Gas leichter als Luft

Stoff	Gas	Schleif- Funken	elektr. Funken
Ammoniak	10	-	-
	15	-	-
	16	-	-
	18	-	-
	20	-	-
	22	-	-
	25	-	-
	28	-	-
Acetylen	2	-	-
	2,5	+	-
	3	+	+
	4	+	-
	5	+	+
	7	-	-
	7,5	-	-
	80	-	-
Ethan	3	-	-
	3,5	-	-
	4	-	+
	5	-	+
	8	-	+
	10	-	+
Ethylen	2	-	-
	2,5	-	-
	3	+	+
	4	+	+
	4,5	+	+
	5	-	+
	6	-	+
	12	-	+
	15	-	+
	20	-	+
Kohlenoxyd	12	-	-
	13	-	-
	14	-	-
	15	-	-
	16	+	+
	18	+	+
	20	+	+
	22	+	+
	30	+	+
	32	+	+
	35	+	+
	37	-	+
40	-	+	
50	-	+	

Stoff	Gas	Schleif- Funken	elektr. Funken
Kohlenoxyd	60	-	+
	70	-	+
	72	-	+
Methan	6	-	-
	8	-	+
	10	-	+
	11,5	-	+
	14	-	+
Wasserstoff	15	-	-
	5	-	-
	5,5	+	+
	6	+	+
	8	+	+
	15	+	+
	18	+	+
Gase schwerer als Luft	20	-	+
	65	-	+
	70	-	+
75	-	-	

Stoff	Gas	Schleif- Funken	elektr. Funken
n-Butan	2,5	-	-
	3	-	+
	4	-	+
	5	-	+
	6	-	+
Butylen	7	-	-
	2	-	-
	3	-	+
	4	-	+
Propan	5	-	+
	7	-	+
	8	-	+
	9	-	-
	2,5	-	-
Propylen	3	-	+
	3,5	-	+
	4,5	-	+
	6	-	+
	7	-	+
	8	-	+
	9	-	-
	2	-	-
	4	-	+
	5	-	+
Treibgas	6	-	+
	7	-	+
	8	-	+
	9	-	+
10	-	+	
3	-	+	
4,5	-	+	
7	-	+	

D ä m p f e

<u>S t o f f</u>	<u>% Dampf</u>	<u>Schleif- elektr. Funken</u>	<u>S t o f f</u>	<u>% Dampf</u>	<u>Schleif- elektr. Funken</u>
Azetaldehyd	4	-	l - Benzin	1,6	-
40°C	10	-		3,2	+
	15	-		4,8	+
	20	-		6,4	-
	25	-	Methanol	5,5	-
	30	-		7	-
35	-		10,9	-	
Azeton	1,3	-		12	+
	2,5	-		14,4	+
	3,8	-		16,4	+
	5,1	-		21,9	+
	8	-		27,4	+
	12	-	40°C	30,0	+
Äthylalkohol	3,8	-		35,0	+
	5,7	-		37,0	+
	7,6	-	n - Pentan	1,0	-
	9,5	-		1,9	-
	11,4	-		2,5	+
40°C	13,0	-		2,9	+
45°C	15,0	-		3,4	+
	16,0	-		5,1	+
	17,6	-		6,2	+
Äthyläther	2,2	-		6,8	+
	4,3	-		7,8	-
	6,5	-	Schwefel-	1,8	+
	13	-	kohlcnstoff	3,7	+
	19,5	-		7,4	+
40°C	40	-		11,6	+
	42	-		40,0	+
	45	-	40°C	45,0	+
	47	-		50,0	+
Benzol	2,3	-	Toluol	1,1	-
	3,4	-		2,2	+
	4,5	-		3,3	+
	6,8	-		4,3	+
	8,0	-		6,5	+
Gasbenzin	1,6	-			
	3,2	-			
	4,9	-			
	6,5	-			
n - Hexan	1,7	-			
	2,2	-			
	2,6	-			
	3,4	-			
	4,3	-			
	5,1	-			
	6,0	-			
	6,8	-			