

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

Zündmöglichkeit von brennbaren Gasen
und Dämpfen durch glimmenden Tabak

10

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V - UNTERAUSSCHUSS "FEUERWEHRANGELEGENHEITEN"

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ
AGF

Forschungsbericht Nr. 10

"Zündmöglichkeit von brennbaren Gasen
und Dämpfen durch glimmenden Tabak"

von

Oberregierungsrat Dr.-Ing. Günther Strese

Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Berlin-Dahlem

Berlin
Oktober 1968

FA.Nr.18 (4/64)

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	1
2. Eigenschaften der Zündquelle, Glutzonentemperatur	1
2.1. Untersuchung der Feuchtigkeit der Tabakwaren	2
2.2. Ermittlung des Zugwiderstandes der Tabakwaren	2
2.3. Bestimmung der Glutzonentemperatur der Tabakwaren	3
2.4. Ergebnisse der Glutzonentemperatur- Messungen	4
3. Zündversuche	5
3.1. Herstellung explosibler Gemische	5
3.2. Zündgefäß mit Eingabevorrichtung	6
3.3. Versuche mit Wasserstoff	7
3.4. Versuche mit brennbaren Flüssigkeiten	8
4. Ergebnisse der Zündversuche	8
5. Diskussion der Ergebnisse	10
6. Zusammenfassung	11
7. Literaturverzeichnis	12
8. Tabellen 1 - 3, Abbildungen 1 - 5	14

1. Einleitung

Als Ursache von Bränden und Explosionen wird ob das "Rauchen" angegeben. Man weiß, daß achtlos weggeworfene, glimmende Zigarren oder Zigaretten einen Waldbrand verursachen können. Auch ist bekannt, daß mit glimmendem Tabak abgelagerte Stäube oder andere leicht brennbare Stoffe mit großer Oberfläche zum Glimmbrand angeregt werden können. In ungünstigen Fällen kann ein Staubglimmbrand eine Staubexplosion auslösen oder aus einem Glimmbrand kann ein offenes Feuer werden. Andererseits ist bekannt oder wird vermutet, daß nicht alle brennbaren Gase und Dämpfe mit einer brennenden Zigarre oder Zigarette gezündet werden können. Durch systematische Untersuchungen sollte daher geklärt werden, welche brennbaren Gase und Dämpfe in Mischung mit Luft durch glimmenden Tabak zu einer fortschreitenden Reaktion mit dem Luftsauerstoff (Explosion) gebracht werden können.

2. Eigenschaften der Zündquelle, Glutzonentemperatur

Zur Festlegung der Eigenschaften der als Zündquelle verwendeten Zigarren und Zigaretten wurden die Glutzonentemperaturen beim Abrauchen bestimmt. Hierbei war folgendes zu berücksichtigen:

2.1 Untersuchung der Feuchtigkeit der Tabakwaren

Nach Untersuchungen von G. Neurath und H. Horstmann [1]^{*)} ist zwar die Glutzonentemperatur der Zigaretten nicht von der Feuchtigkeit des Tabaks abhängig, jedoch wurde eine Zunahme des Zugwiderstandes mit der Feuchtigkeit festgestellt. Für die Einhaltung der unter 2.3 beschriebenen, allgemein angewandten Abrauchbedingungen war es daher erforderlich, die Tabakwaren unter einer oder mehreren Bedingungen zu "konditionieren". In der Regel wurden die Tabakwaren bis zur Verwendung in einem geschlossenen Gefäß bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von etwa 65 % aufbewahrt (Gegenwart einer gesättigten Ammoniumnitratlösung). Zum Teil wurden die Tabakwaren aber auch im Anlieferungszustand oder nach einer Trocknung untersucht.

Die Feuchtigkeit des Tabaks in den Zigarren und in den Zigaretten wurde gravimetrisch durch 80 Minuten langes Trocknen von jeweils 5 g schweren Proben in einem offenen, flachen Wägegläschen in einem auf 104 °C gehaltenen Trockenschrank bestimmt [2]. Nur in wenigen Fällen wurde zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes die azeotrope Destillation mit Benzol angewandt [3].

2.2 Ermittlung des Zugwiderstandes der Tabakwaren

Der Zugwiderstand der Zigarren und der Zigaretten wurde vor dem Anzünden bei einer Luftströmung von 17,5 cm³/sec durch Messung des Differenzdruckes in mm Wassersäule (mmWS.), also unter den gleichen Bedingungen, unter denen die Tabakwaren bei der Bestimmung der Glutzonentemperatur geraucht werden sollen, ermittelt.

^{*)} Zusammenstellung der Literatur siehe Anlage 1.

2.3 Bestimmung der Glutzonentemperatur der Tabakwaren

Die Glutzonentemperatur der Zigarren und der Zigaretten wurde bei festgelegten Abrauchbedingungen mit Platin/Platinrhodium-Thermoelementen bestimmt.

2.3.1 Zur Einhaltung der von der "Wissenschaftlichen Forschungsstelle im Verband der Zigarettenindustrie" festgelegten und der Praxis entsprechenden Abrauchbedingungen [3]:

Zugvolumen	35 cm ³ /Zug
Zugdauer	2 sec
Zugfrequenz	1 Zug/min

wurde in Anlehnung an die Untersuchungen von G.P. Touey [4] die in Abb. 1 dargestellte Apparatur verwendet (siehe Anlage 2).

Durch Öffnen des Hahnes 3 fließen aus dem Rohr A, an dessen Eingangsöffnung sich die brennende Zigarre oder die brennende Zigarette befindet, in einer Zeit von 2 Sekunden 35 cm³ Wasser ab. Hierdurch werden wie vorgesehen 35 cm³ Luft durch die brennende Tabakware gesaugt. Die Hähne 1 und 2, die durch Drehen der dazwischen befindlichen Holzleiste gleichzeitig betätigt werden können, sind während des Saugvorganges geschlossen. Das Wasservolumen wird durch einen Schwimmer aus Glas begrenzt, der am unteren Rand mit einem Glasschliff versehen ist und beim Absinken auf den Innenschliff des Rohres A den Wasserabfluß unterbricht. In Abhängigkeit vom Zugwiderstand der Zigarren oder Zigaretten läßt sich durch Heben oder Senken des Überlaufgefäßes die Zugdauer von 2 Sekunden einstellen. Zum Füllen des Rohres A mit 35 cm³ Wasser wird zunächst der Hahn 3 geschlossen, anschließend werden durch Drehen der Holzleiste die Hähne 1 und 2 ge-

öffnet, so daß aus dem Rohr B das Wasser in das Rohr A fließen kann. Die für die einzelnen Züge benötigte Wassermenge ist durch die Höhe des Überlaufes am Rohr B festgelegt.

2.3.2. Die Glutzonentemperaturen wurden mit den dünnsten Platin/Platinrhodium-Thermoelementen ausgeführt, die in der BRD im Handel waren. Sie hatten einen Durchmesser von 0,1 mm. Die Zigarren bzw. Zigaretten wurden seitlich mit dem etwa 20 cm langen Thermoelementdraht durchstoßen, so daß die Heißblotstelle in der Längsachse der Zigarre bzw. der Zigarette lag. Die Austrittsöffnungen im Deckblatt der Zigarre bzw. im Zigarettenpapier wurden mit Dextrin verklebt. An die dünnen Thermoelementdrähte wurden 0,5 mm starke Drähte aus dem gleichen Material angeschweißt, die zur Kaltlötstelle führten (0°C). Zur Spannungsmessung wurde ein Kompensationsschreiber verwendet. Es mußten zahlreiche Versuche ausgeführt werden, da es nicht immer gelang, während eines Zuges (2 sec) die Glutzone an der Heißblotstelle des Thermoelementes vorbeizuwandern zu lassen. Aus diesem Grunde wurden auch einige Messungen bei einem Dauerzug von 17,5 cm³/sec vorgenommen. Die unter 2.4 zusammengestellten Ergebnisse der Glutzonentemperatur-Messungen liegen etwas tiefer als die von G.P. Touey und R.C. Mumpower [5] erhaltenen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Verfasser noch dünnere Thermoelemente (0,001 in. = 0,025 mm \varnothing) verwenden konnten.

2.4 Ergebnisse der Glutzonentemperatur-Messungen

Die ermittelten Werte der Glutzonentemperatur der Zigarren und der Zigaretten sind in der Tabelle 1 (Anlage 3) zusammen mit den Angaben über den Feuchtigkeitsgehalt und den Zugwiderstand aufgeführt. Daraus ist ersichtlich, daß die Glutzonentemperatur der Zigarren im Mittel nur geringfügig höher liegt als die mit Zigaretten erhaltenen Werte (Δt der Mittelwerte = 60 °C). Die Schwankungen der Werte sind bei den Zigarren größer als bei den Zigaretten. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Porosität der

Deckblätter nicht so einheitlich ist, wie die Porosität des Zigarettenpapiers. Die höchste Glutzonentemperatur ($t_{\max.} = 1120 \text{ }^{\circ}\text{C}$) wurde in der Zigarre 7 gemessen, die mit einer Folie aus Tabakstaub als Deckblatt versehen und daher weniger durchlässig für Luft war.

Da bei den unter 3. beschriebenen Zündversuchen die Zigarren bzw. die Zigaretten in Gemische aus Luft mit einem brennbaren Gas oder mit den Dämpfen einer brennbaren Flüssigkeit eingeführt wurden, die weniger als 20,9 Vol.-% Sauerstoff enthielten, wurden außerdem Glutzonentemperatur-Messungen in Luft mit unterschiedlichem Sauerstoffgehalt ausgeführt (Zugabe von Stickstoff oder Sauerstoff). In sauerstoffarmer Luft wurde die Glutzonentemperatur nur geringfügig erniedrigt. Bei einem Sauerstoffgehalt der Luft von etwa 14 Vol.-% war z.B. bei den Zigaretten ein Weiterrauchen nicht mehr möglich, weil die Zigarette erlosch. Dagegen stieg bei Erhöhung des Sauerstoffgehaltes der Luft durch Zugabe von reinem Sauerstoff die Glutzonentemperatur an. Bei einem Sauerstoffgehalt der Luft von etwa 41 Vol.-% wurde in einer Zigarre (mit Deckblatt aus Tabak) eine Temperatur von $1030 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und bei einem Sauerstoffgehalt von etwa 45 Vol.-% in einer Zigarette eine Temperatur von $1099 \text{ }^{\circ}\text{C}$ gemessen.

3. Zündversuche

Zur Untersuchung der Zündfähigkeit des glimmenden Tabaks der Zigarren und der Zigaretten mußten die angezündeten Tabakwaren in zuvor hergestellte explosible Gas/ bzw. Dampf/Luft-Gemische eingeführt werden. Von jedem untersuchten Gas bzw. Dampf wurden sowohl stöchiometrische Gemische mit Luft als auch "magere" und "fette" Gemische hergestellt.

3.1 Herstellung explosibler Gemische

Die explosiblen Gas/Luft-Gemische wurden in der Regel durch Mischung eines Brenngas- und eines Luftstromes in einem mit Füllkörpern beschickten Mischturn hergestellt. Die strö-

menden Gasmengen wurden mit Druckminderern reguliert und mit Schwebekörper-Durchflußmessern gemessen. Die fertigen Gemische gelangten anschließend in ein Gasinterferometer, das eine genaue Bestimmung der Gemischzusammensetzung ermöglichte. Über diese Apparatur (Abb. 2, Anlage 4) ist bereits von P. Dittmar, P. Voigtsberger und Dr. Conrad [6] berichtet worden.

Zum Teil wurden die Gas/Luft-Gemische auch mit Gasgemischpumpen hergestellt, bei denen durch die Veränderung der Geschwindigkeiten von zwei Kolbenpumpen unterschiedliche Mischungsverhältnisse eingestellt werden konnten.

Explosible Dampf/Luft-Gemische wurden dadurch hergestellt, daß ein Luftstrom durch zwei hintereinander geschaltete und mit der betreffenden Flüssigkeit gefüllte Waschflaschen, die in einem Thermostaten auf konstante Temperatur gebracht waren, geleitet wurde. Die Badtemperaturen wurden den Dampfdruckkurven der Flüssigkeiten entsprechend gewählt.

3.2 Zündgefäß mit Eingabevorrichtung

Die explosiblen Gas/ bzw. Dampf/Luft-Gemische wurden in ein Zündgefäß von angenäherter Kugelgestalt mit rund 5,3 Liter Inhalt geleitet, das nach ausreichender Spülung mit dem Gemisch abgesperzt werden konnte. Das Gefäß war über einen gasdichten Flansch durch eine Platte verschlossen, in der sich die Eingabevorrichtung für die Tabakwaren (s. weiter unten) und Druckentlastungsöffnungen befanden. Die Druckentlastungsöffnungen waren bis zum Eintreten einer Zündung durch Cellophan abgedichtet. An das Zündgefäß (Abb. 3, Anlage 5) war ein Quecksilbermanometer zur Messung des Druckanstieges bei der Zündung angebracht, das es gestattete, auch bei schwachen Verpuffungen die Druckerhöhung im Zündgefäß elektrisch zu registrieren. Ferner befand sich auf der Kugelseite des Gefäßes ein Stift, der durch eine Stopf-

buchse in das Zündgefäß hineingeschoben werden konnte und beim Ausbleiben einer Zündung durch die am Ende innen angebrachte Spiralfeder die Glut der Zigarre bzw. der Zigarette abstreifen konnte (Verschärfung der Zündbedingungen).

Die Eingabevorrichtung (Abb. 4, Anlage 6) diente dazu, die Zigarre bzw. die Zigarette in einem von explosiblem Gemisch freien Raum zu rauchen und sie anschließend schnell in das zuvor hergestellte Gemisch einzuführen. In die Abdeckplatte des Zündgefäßes war eine Rauchkammer eingebaut worden, in der die Tabakware in einem verschiebbarem Rohr befestigt werden konnte. Dieses bewegliche Rohr befand sich in dem Schnellverschluß der Rauchkammer. Zur Einleitung der Zündung wurde eine Abzugsvorrichtung betätigt, die gleichzeitig die Klappe der Rauchkammer zum explosiblen Gemisch öffnete und das bewegliche Rohr mit der Zigarre bzw. der Zigarette aus der Rauchkammer in das Gemisch schob. Durch einen geringen Überdruck des explosiblen Gemisches wurde außerdem die zunächst in der Rauchkammer vorhandene Luft über den Kamin der Rauchkammer verdrängt (Das Volumen des explosiblen Gemisches war etwa 27mal größer als das Luftvolumen in der Rauchkammer).

Abbildung 5 (Anlage 7) zeigt die Gesamtansicht der Apparatur zur Herstellung von Gasgemischen und das Zündgefäß.

3.3 Versuche mit Wasserstoff

Da zunächst Wasserstoff/Luft-Gemische nicht durch glimmenden Tabak gezündet werden konnten, aufgrund der Eigenschaften des Wasserstoffs und anderweitig gemachter Beobachtungen die Möglichkeit der Zündung jedoch nicht auszuschließen war, wurden mit diesen Gemischen zahlreiche Sonderversuche ausgeführt:

Kinderluftballons wurden mit stöchiometrischen Wasserstoff/Luft-Gemischen gefüllt, jeweils zu zweit zusammengebunden, so daß sie sich berührten, und anschließend einem der beiden Ballons eine Zündquelle (brennende Zigarette oder Flamme eines Feuerzeuges) genähert.

Ferner wurde ein Zündgefäß gebaut, das Zündversuche in strömenden Wasserstoff/Luft-Gemischen ermöglichte. Es bestand aus dem Abschnitt einer Stahlflasche (Inhalt ~ 8,5 l), dessen nach unten gerichtete Öffnung mit einer Cellophanfolie verschlossen war. An den Seiten war je eine Gasgemischeintritts- bzw. -austrittsöffnung angebracht worden. Die brennenden Zigaretten bzw. Zigarren wurden durch die kleine nach oben gerichtete Öffnung (Ventilanschluß-Öffnung) eingeführt. Die Gemische wurden mit Gasdosierpumpen hergestellt; in der Leitung zwischen den Dosierpumpen und dem Zündgefäß befand sich eine Flammenrückschlagsperre. Der Durchsatz der Gasgemische betrug je nach Gemischzusammensetzung 48 bis 67 Liter/Stunde.

3.4 Versuche mit brennbaren Flüssigkeiten

Als praxisnahe Zündversuche und zur Bestätigung der mit Dampf/Luft-Gemischen im Zündgefäß ausgeführten Versuche wurden brennende Zigarren und brennende Zigaretten durch die Dampfphase von brennbaren Flüssigkeiten hindurch direkt in die Flüssigkeiten getaucht. Die Flüssigkeiten befanden sich entweder in einer Abdampfschale oder sie waren auf Blähglimmer bzw. Asbestkrümel geträufelt worden.

4. Ergebnisse der Zündversuche

Von 42 untersuchten brennbaren Stoffen (24 Gase und 18 Dämpfe von Flüssigkeiten) konnten nur 7 im Gemisch mit Luft durch eine brennende Zigarre oder eine brennende Zigarette zur Zündung gebracht werden. Die Stoffe und die Ergebnisse sind in der Tabelle 2, Anlage 8, zusammengestellt. Es waren dies die Gase Acetylen,

Äthylenoxid, Phosphorwasserstoff, Schwefelwasserstoff und Wasserstoff sowie die Dämpfe der Flüssigkeiten Diäthyläther und Schwefelkohlenstoff.

Phosphorwasserstoff ist ein Gas, das ohnehin unter bestimmten Bedingungen (trocken bzw. verunreinigt) selbstentzündlich ist. Beim Wasserstoff gelang die Zündung nicht in ruhenden Wasserstoff/Luft-Gemischen. In strömenden Wasserstoff/Luft-Gemischen war die Zündung mit brennenden Zigarren bereits möglich, wenn das Luftgemisch etwa 6 Vol.-% Wasserstoff enthielt (untere Zündgrenze = 4,0 Vol.-%). Eine Zündung dieser strömenden Gemische mit einer brennenden Zigarette trat nur beim Einführen der Zigarette ein. War es gelungen, die Zigarette in die Gemische einzuführen, ohne daß die Gemische gezündet wurden (was häufig möglich war), so trat infolge der Erniedrigung der Glutzonentemperatur der Zigarette beim Weiterrauchen keine Zündung mehr ein.

Bei allen übrigen Versuchen wurden keine Unterschiede in der Zündwirkung der Zigarren und der Zigaretten beobachtet.

Das Berühren eines von zwei nebeneinander liegenden und mit explosiblen Wasserstoff/Luft-Gemischen gefüllten Kinderluftballons mit der Glutzone einer Zigarette führte zum Zerknall nur eines Luftballons. Wurde dagegen die Flamme eines Feuerzeuges an den Luftballon gehalten, so zerknallten beide Ballons. Hieraus ist zu schließen, daß die brennende Zigarette nur zur Zerstörung der Ballonhaut und nicht zur Zündung des Wasserstoff/Luft-Gemisches führte.

Unter den in 3.4 beschriebenen Versuchsbedingungen (Eintauchen von Zigarren oder Zigaretten in brennbare Flüssigkeiten) ließ sich nur der Dampf des Schwefelkohlenstoffs entzünden. Die Zündung des Ätherdampfes war nur in dem Zündgefäß mit sehr fetten Gemischen möglich. Nach einer längeren Induktionszeit trat hierbei eine schwache Verpuffung ein.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die sieben mit dem glimmenden Tabak einer Zigarre oder einer Zigarette gezündeten Gase oder Dämpfe sind zwar 16,7 % der untersuchten Stoffe, da jedoch neben einigen zufällig vorhandenen Gasen und Flüssigkeiten hauptsächlich die Stoffe untersucht wurden, bei denen eine Zündung durch glimmenden Tabak u.U. zu erwarten war, ist der Prozentsatz der brennbaren Gase und Dämpfe, die tatsächlich mit glimmendem Tabak gezündet werden können, wesentlich geringer.

Bis auf die Erscheinungen bei strömenden Wasserstoff/Luft-Gemischen wurden keine Unterschiede in der Zündwirkung zwischen den brennenden Zigarren und den brennenden Zigaretten festgestellt.

Schwefelkohlenstoff, Wasserstoff, Acetylen, Äthylenoxid und Schwefelwasserstoff gehören zu den Stoffen mit der niedrigsten Mindestzündenergie; Diäthyläther, der ohnehin nur im geschlossenen Gefäß nach einer langen Zündverzögerung gezündet werden konnte, hat eine Mindestzündenergie, die um den Faktor 3 bis 21 größer ist als die der übrigen mit glimmendem Tabak zündfähigen Gas/ bzw. Dampf/Luft-Gemische.

Die Zündbarkeit von brennbaren Gasen und Dämpfen durch glimmenden Tabak ist sicher nicht allein von einer sehr niedrigen Mindestzündenergie abhängig; nach dem Ergebnis der Untersuchungen kann jedoch gesagt werden, daß die Mindestzündenergie hierbei eine entscheidende Rolle spielt. Es konnte kein Stoff durch glimmenden Tabak gezündet werden, dessen Mindestzündenergie größer als 0,2 Milli-Joule ($> 2 \cdot 10^{-4}$ Wattsekunden) ist.

In der Tabelle 3, Anlage 9, sind die Mindestzündenergien von brennbaren Gasen und Dämpfen, nach steigenden Werten geordnet, zusammengestellt (die Mindestzündenergie des Phosphorwasserstoffs ist nicht bekannt).

Bei der Anreicherung von Sauerstoff in Gemischen aus brennbaren Gasen oder Dämpfen mit Luft sind andere Ergebnisse zu erwarten. Da durch Zugabe von Sauerstoff einerseits die Glutzonentemperatur der Zigarren oder Zigaretten erhöht wird und andererseits die Mindestzündenergie kleiner wird, muß in sauerstoffreicher Atmosphäre mit der Zündung einer größeren Zahl von Gasen oder Dämpfen durch glimmenden Tabak gerechnet werden.

Bei der Beurteilung von Unfällen, die möglicherweise durch "Rauchen" verursacht worden sind, muß selbstverständlich berücksichtigt werden, daß das brennende Streichholz oder die Flamme des Feuerzeuges, mit der die Tabakwaren angezündet werden, alle explosiblen Gemische zünden können.

6. Zusammenfassung

Nach Festlegung der Eigenschaften der als Zündquelle verwendeten glimmenden Zigarren und Zigaretten wurden Zündversuche mit zahlreichen brennbaren Gasen und Dämpfen in Mischung mit Luft ausgeführt. Ohne weiteres konnten gezündet werden die Gase Acetylen, Äthylenoxid, Phosphorwasserstoff und Schwefelwasserstoff sowie die Dämpfe des Schwefelkohlenstoffs. Eine Zündung von Wasserstoff war nur in strömenden und nicht in ruhenden Gemischen möglich. Der Dampf des Diäthyläthers ließ sich in Mischung mit Luft nur in geschlossenen Gefäß nach einer langen Zündverzugszeit zünden. Die Glutzone von Zigarren oder Zigaretten konnte durch Eintauchen in Diäthyläther ohne Zündung des darüber befindlichen Dampfes gelöscht werden. Die Gase und Dämpfe, die in Mischung mit Luft durch glimmenden Tabak gezündet werden konnten, haben eine besonders niedrige Mindestzündenergie.

- [1] G. Neurath und H. Horstmann
Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes von Cigaretten
auf die Zusammensetzung des Rauches und die Glut-
zonentemperatur
Beiträge zur Tabakforschung Band 2, Heft 3, (Okt. 1963),
93 - 100
- [2] P. Waltz und M. Häusermann
Zur Bestimmung der Feuchtigkeit im Tabak, Vergleich
zwischen der azeotropen Destillation mit Benzol und
der Trocknung im Ofen
Beiträge zur Tabakforschung, Heft 9, 1962, 343 - 346
- [3] Einheitliche Vorschriften für die Analyse von Tabak
und Tabakrauch (Herausgegeben von der Wissenschaftlichen
Forschungsstelle im Verband der Cigarettenindustrie)
Beiträge zur Tabakforschung, Heft 8, 1962, 307 - 314
- [4] G.P. Touey
Gaseous Phase of Cigarette Smoke, Isolation and Analysis
for Total Aldehydes
Analytical Chemistry 27 (1955), 1788 - 1790
- [5] G.P. Touey und R.C. Mumpower
Measurement of the Combustion-Zone Temperature of
Cigarettes
Tobacco 144 (1957), 18 - 22
- [6] P. Dittmar, P. Voigtsberger und D. Conrad
Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Ermittlung
der Zündgrenzen brennbarer Gase und Dämpfe in Mischung
mit Luft oder Sauerstoff
Arbeitsschutz, Heft 3 (1965), 58 - 63

- [7] H.F. Calcote, C.A. Gregory jr.,
C.M. Barnett und R.B. Gilmer
Spark Ignition, Effect of Molecular Structure
Ind. Eng. Chem. 44 (1952), 2656 - 2662
- [8] E.L. Litchfield
Minimum Ignition-Energy, Concept and its
Application to Safety Engineering
U.S. Bur. of Mines, Rep. of Invest. 5671
- [9] H. Freytag
Handbuch der Raumexplosionen
Verlag Chemie GmbH, Weinheim/Bergstr. 1965
- [10] A.J. Metzler
Minimum Ignition Energies of six pure Hydrocarbon
Fuels of the C₂ and C₆ Series
National Advisory Committee for Aeronautics
NACA RM E52F27, Washington, August 11, 1952
- [11] A.J. Metzler
Minimum Spark-Ignition Energies of 12 pure Fuels
at Atmospheric and Reduced Pressure
National Advisory Committee for Aeronautics
NACA RM E53H31, Washington, October 29, 1953

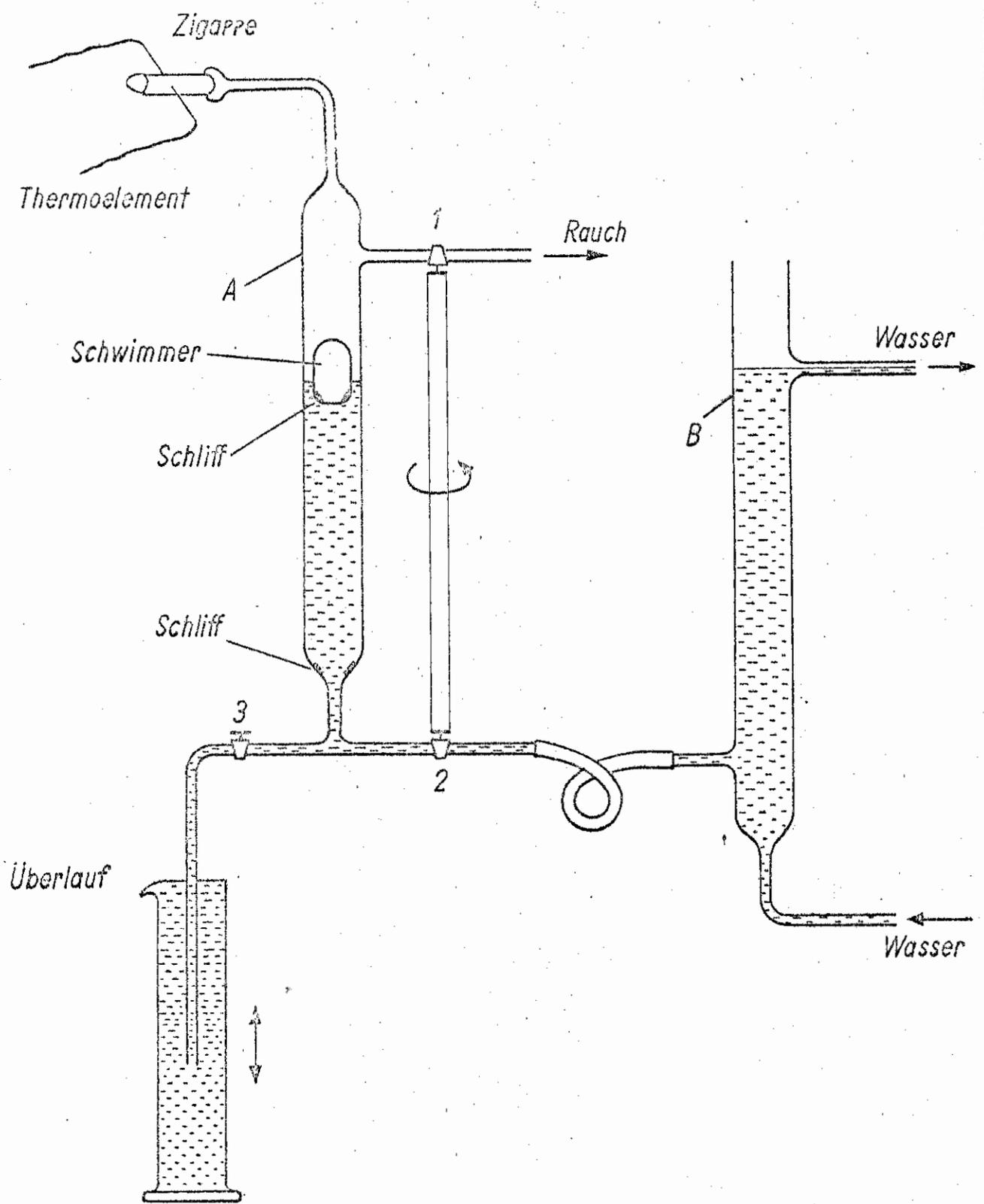


Abb.1 Abrauchapparat

Tabelle 1

Ergebnisse der Glutzonentemperatur-Messungen

Zigarren- bzw. Zigarettenorte	Bemerkung zur Rauchware	Feuchtigkeitsgehalt des Tabaks (Mittelwert) [Gew.-%]	Zugwiderstand bei einer Luftströmung von 17,5 cm ³ /sec [mm W.S.]	Glutzonentemperatur [°C]		Bemerkung
				Extremwerte	Mittelwert	
Zigarre 1		12,4	1,7 bis 5,9	675 bis 814	742	
Zigarre 2		13,1	4,5 bis 6,8	705 bis 909	804	
Zigarre 3		12,4	4,8 bis 9,4	811 bis 1064	912	
Zigarre 4		13,2	2,0 bis 5,8	704 bis 904	815	
Zigarre 5		12,6	2,5 bis 3,8	772 bis 1040	910	
Zigarre 6		13,0	4,2 bis 8,0	791 bis 940	860	
Zigarre 7	Folie als Deckblatt	12,5	0,4 bis 2,2	736 bis 1120	964	
Zigarre 8		11,6	4,5 bis 6,4	645 bis 860	768	
Zigarre 9	Zigarillo	12,1	4,5 bis 8,8	779 bis 834	812	
Zigarre 10	Brasil	12,7	3,8 bis 6,2	746 bis 846	808	
Zigarre 11	Zigarillo, Brasil	12,9	5,2 bis 9,5	938 bis 1016	939	
Zigarre 12		13,0	2,5 bis 4,9	722 bis 996	816	
Zigarette 01	Virginia	16,2	7,9 bis 8,3	753 bis 853	800	Dauerzug
Zigarette 01	Virginia	13,1	7,9 bis 9,5	743 bis 816	790	Dauerzug
Zigarette 01	Virginia trocken	~ 0	6,2 bis 7,6	750 bis 886	784	Dauerzug
Zigarette 02	Virginia	13,4	7,9 bis 8,5	750 bis 773	762	Dauerzug
Zigarette 02	Virginia nicht klimatisiert	13,3	7,0 bis 7,2	757 bis 817	792	
Zigarette 02	Virginia nicht klimatisiert	13,3	6,9 bis 7,3	763 bis 787	777	
Zigarette 02	Virginia trocken	~ 0	6,4 bis 7,1	733 bis 820	783	
Zigarette 03	Orient	13,3	2,7 bis 5,5	690 bis 838	782	
Zigarette 04	Orient	12,4	4,9 bis 11,8	763 bis 860	799	

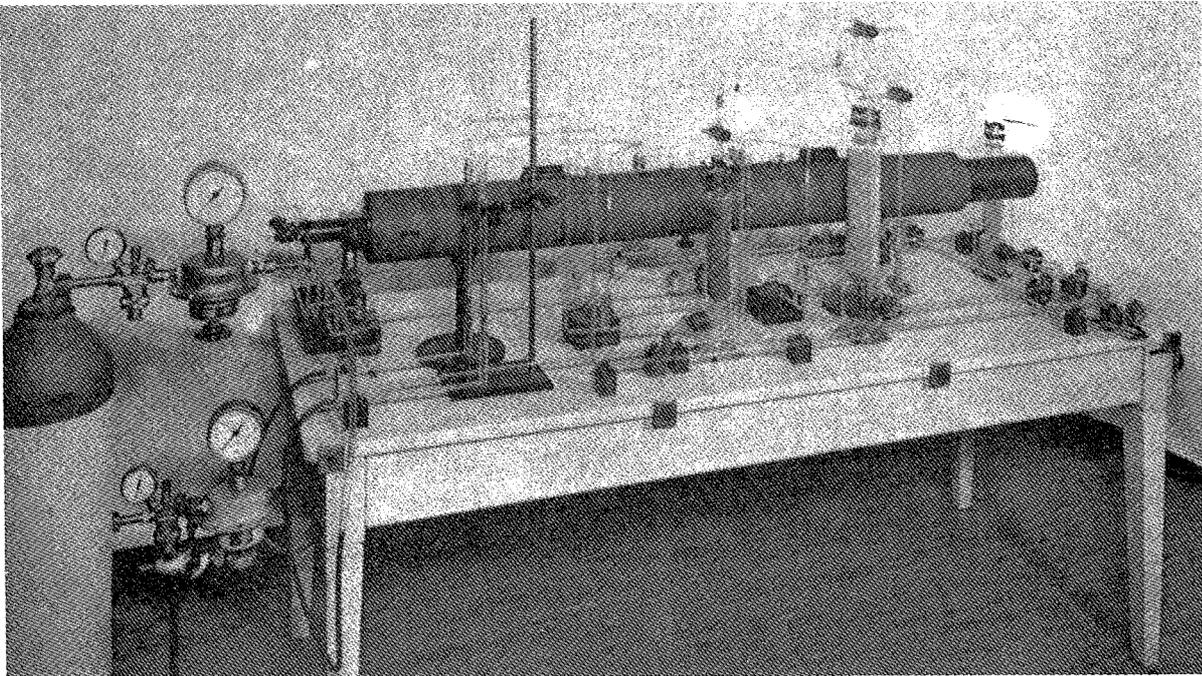


Abb. 2 Apparatur zur Herstellung explosibler Gas/Luft-Gemische

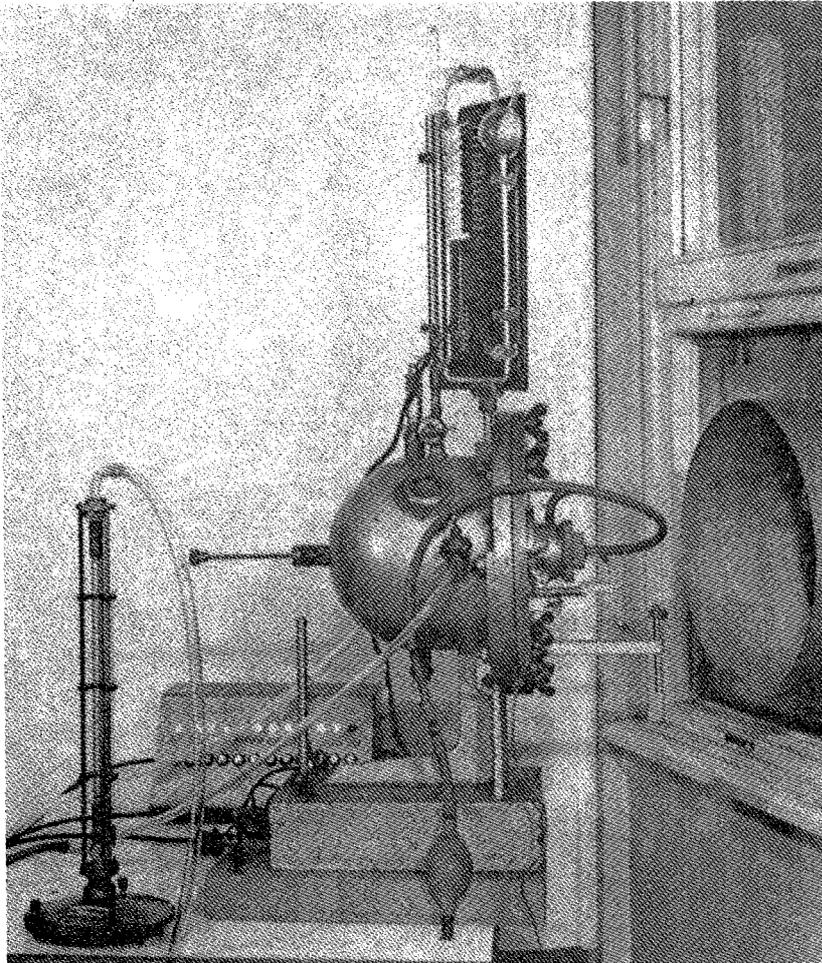


Abb. 3

Zündgefäß

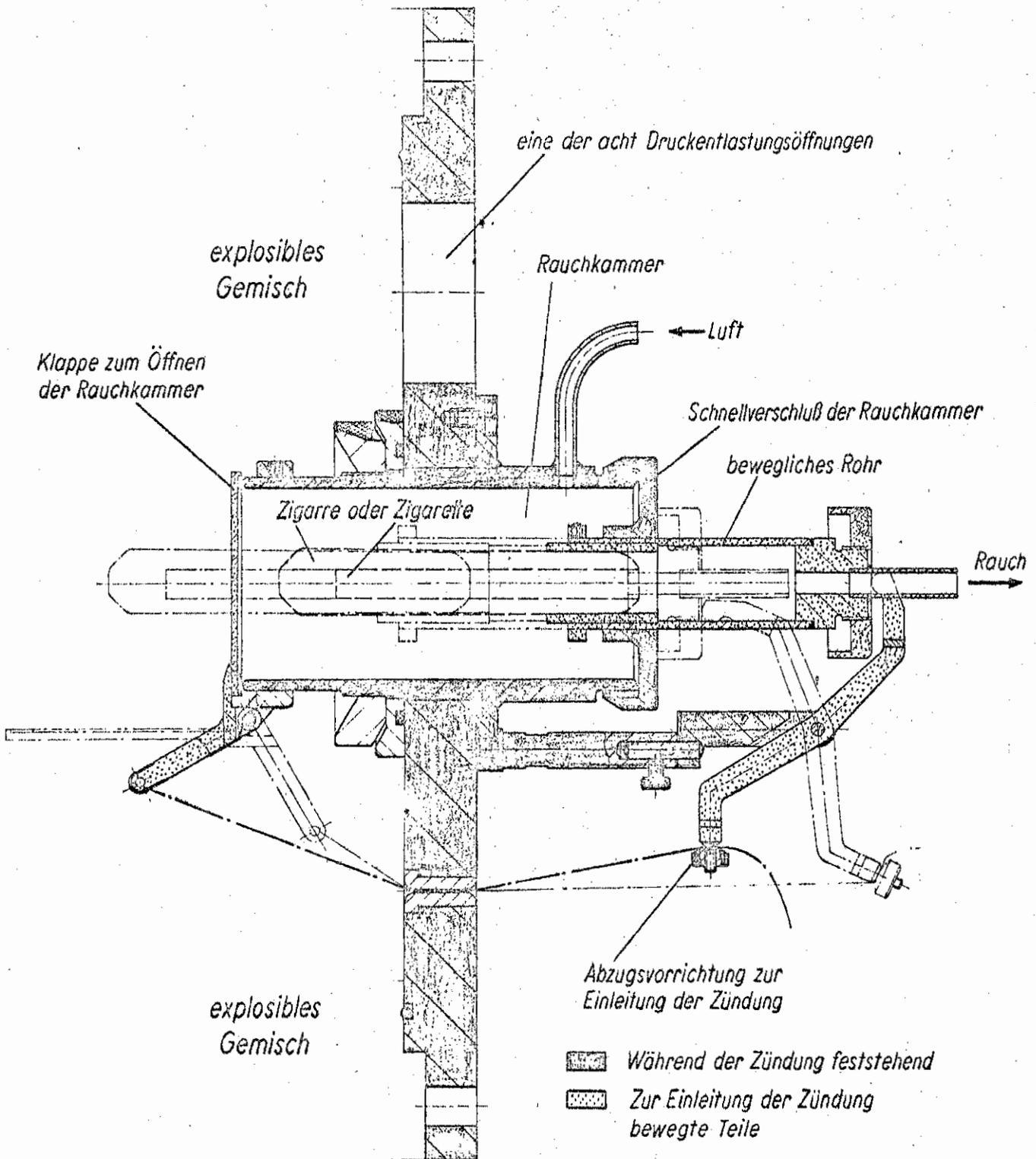


Abb.4 Eingabevorrichtung

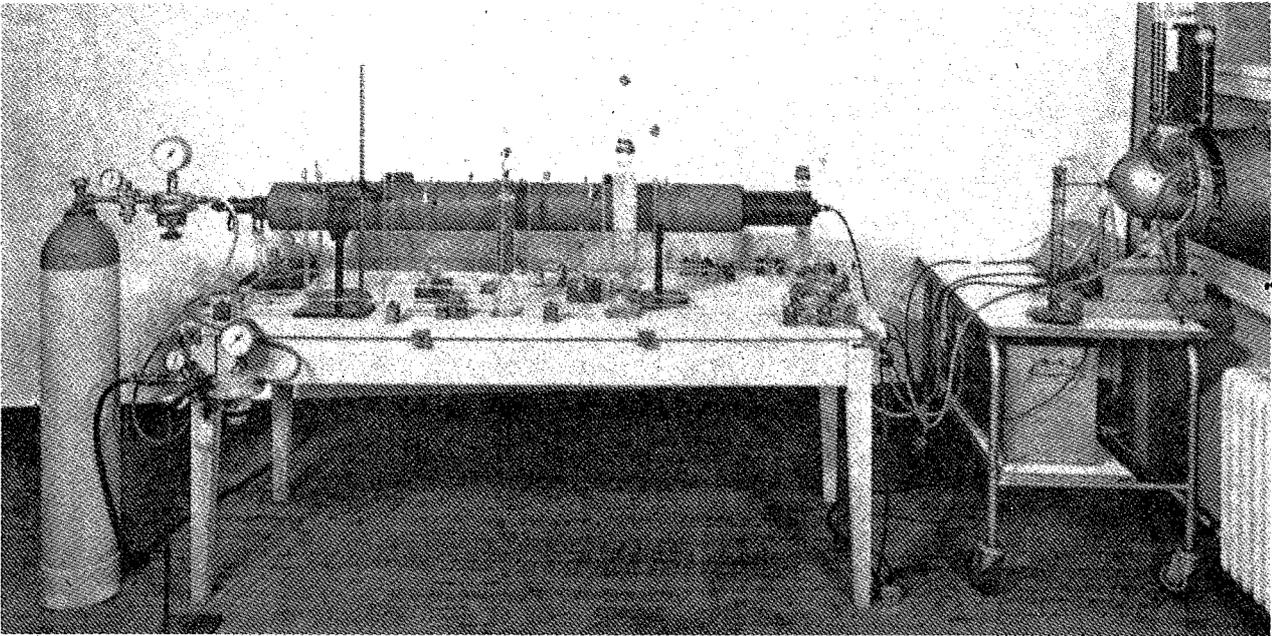


Abb. 5 Gesamtansicht der Apparatur zur Herstellung von Gas-
gemischen einschließlich Zündgefäß

Tabelle 2

Ergebnis der Zündversuche mit glimmenden

Tabakwaren

Stoff	Zündung mit brennender	
	Zigarre	Zigarette
Aceton	-	-
Acetylen	+	+
Acrolein	-	-
Äthylacetat	-	-
Äthylalkohol	-	-
Äthylamin	-	-
Äthylen	-	-
Äthylenoxid	+	+
Ammoniak	-	-
Benzol	-	-
Butadien	-	-
Butan	-	-
Butylacetat	-	-
Butylen	-	-
Cyclohexan	-	-
Cyclopropan	-	-
Diäthyläther	+	+
Dimethyläther	-	-
Dimethylamin	-	-
Dioxan	-	-
n-Heptan	-	-
n-Hexan	-	-
Kohlenoxid	-	-
Methan	-	-
Methanol	-	-
Methylamin	-	-
Methylchlorid	-	-
Methylenchlorid	-	-
Monochlortrifluoräthylen	-	-
n-Oktan	-	-
n-Pentan	-	-
Phosphorwasserstoff	+	+
Propan	-	-
i-Propanol	-	-
Propylen	-	-
Propylenoxid	-	-
Schwefelkohlenstoff	+	+
Schwefelwasserstoff	+	+
Stadtgas	-	-
Trimethylamin	-	-
Vinylchlorid	-	-
Wasserstoff	+	+

- = keine Zündung
 + = Zündung

Tabelle 3

Mindestzündenergie
von brennbaren Gasen und Dämpfen
in Mischung mit Luft

Stoff	Mindestzündenergie			
	[Milli-Joule]			
Schwefelkohlenstoff	0,009	-	0,015	- 0,03
Wasserstoff	0,011	-	0,02	
Acetylen	0,017	-	0,02	- 0,0512
Äthylenoxid	0,06	-	0,087	
Schwefelwasserstoff	0,068			
Äthylen	0,07	-	0,096	- 0,124
Vinylacetylen	0,0822			
Methylacetylen	0,11	-	0,152	
Propylenoxid	0,13	-	0,19	
Butadien-1,3	0,13	-	(0,175)	
Acrolein	(0,137)			
Methanol	0,14	-	0,215	-0,22
Acrylnitril	0,16			
Cyclopropan	0,17	-	0,24	-0,35
Penten-2	0,18			
Diäthyläther	0,19	-	0,49	- 0,52
Benzol	0,20	-	0,55	- 0,68
i-Pentan	0,21			
n-Pentan	0,22	-	0,25	- 0,28
Cyclohexan	0,22	-	1,38	
Tetrahydropyran	0,22			
Furan	0,225			
Heptan	0,24	-	0,7	- 1,2
Hexan	0,24	-	0,248	
Äthan	0,24	-	0,25	- 0,29
Butan	0,25			
2,2-Dimethylbutan	0,25			
Propan	0,26	-	0,305	
Methylcyclohexan	0,27			
Methan	0,28	-	0,47	
Propylen	0,282			
Butanon-2	0,29			
Dimethyläther	(0,29)	-	(0,33)	
Dihydropyran	0,365			
Acetaldehyd	0,376			
Thiophen	0,39			
Methylformiat	(0,4)			
Di-tert.butyl-peroxid	0,41			
Di-methoxymethan	0,42			
Penten-2	0,47	-	(0,51)	
Dimethylsulfoxid	(0,48)			
Äthylenimin	0,48			
i-Butan	(0,52)			

Cyclohexen	(0,525)	
i-Propylmercaptan	(0,53)	
Methyläthylketon	0,53	- (0,68)
Tetrahydrofuran	0,54	
Cyclopentan	(0,54)	
Heptyn-1	(0,56)	
i-Propylalkohol	0,65	
Cyclopentadien	0,67	
i-Pentan	0,7	
Vinylacetat	(0,7)	
Triäthylamin	(0,75)	- 1,15
Äthylchlorid	0,775	
Di-iso-butylen	(0,96)	
Triptan(2,2,3-Trimethylbutan)	1,0	
n-Propylchlorid	(1,08)	
Di-iso-Propyläther	1,14	
Aceton	1,15	
Tetrahydropyran	1,21	
n-Butylchlorid	(1,24)	
i-Oktan	1,35	
Äthylacetat	1,42	
i-Propylchlorid	(1,55)	
2,2-Dimethylpropan	1,57	
2,2-Dimethylbutan	1,64	
i-Propylamin	(2,0)	
Äthylamin	2,4	

Literatur zu den Werten: [7] [8] [9] [10] [11]