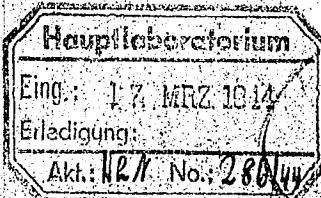


HAF 11
 Karlshagen

Archiv Nr 110/14g

TD 393

29.2.1944

A.D.I.C.H.3120.

Monergole Treibstoffe

Sachbearbeiter und Berichter
 Dipl.Chem.Luft

Abteilungsleiter:
 Dipl.Chem.Heller

1.) Einleitung, Erklärung

Die meisten Vorschläge zum Betrieb luftunabhängiger Flüssigkeits-R-Antriebe sehen die Verwendung eines Systems aus zwei Komponenten vor, die in getrennten Behältern gelagert werden und nach dem Zusammenspritzen durch geeignete Düsen unter Entflammung miteinander reagieren (Hypergole) bzw. nach Fremdzündung weiter abbrennen. (Nicht-hypergole Zwei-Komponenten-Brennstoffe). Monergole sind Verbindungen oder Gemische, die neben einem brennbaren Anteil schon gleichzeitig die zur Verbrennung benötigte Menge Sauerstoff enthalten.

Als Hypergole hat man daher sehr reaktionsfähige, sauerstoffseitig geradezu aggressive Körper wie hochkonzentriertes Wasserstoffperoxyd und Salpetersäure. Bei Lagerung in geschlossenen Behältern unter Fernhaltung von Fremdstoffen sind sowohl Brennstoff als auch Sauerstoffträger meist unbegrenzt haltbar, ungefährlich in der Handhabung und gegen Druck- und Temperaturerhöhung unempfindlich. Erst beim Mischen tritt die rezroke Instabilität schlagartig zutage.

Monergole dagegen sind metastabile Verbindungen oder Lösungen, an denen oft schon kleine Veränderungen der äußeren Bedingungen weitgehend Umsetzungen auslösen. Sie schließen sich dadurch eng an die Spreng- und Explosivstoffe an. Ja, beide Gebiete überschneiden sich teilweise. Mitunter kann ein und derselbe Stoff als Monergol und als Sprengmittel dienen, je nach den besonderen Bedingungen.

Der Auswahl monergoler Treibstoffe sind daher aus Stabilitäts- und Sicherheitsgründen im allgemeinen engere Grenzen gesetzt. Während bei der Erforschung und Erprobung Hypergoler das Bestreben vorherrscht, die wechselseitige Reaktivität der beiden Komponenten möglichst zu erhöhen, ist man hier mitunter gezwungen, unter Verzicht auf maximale Energieausbeute ein indifferentes Lösungsmittel zur Stabilisierung zuzusetzen.

Bei Hypergolen wird man besonderes Augenmerk der Einspritzung und Zersetzung schenken müssen, um in der zur Verfügung stehenden kurzen Verweilzeit der Stoffe im Brennraum die Verbrennung durch gute Vermischung möglichst vollständig ablaufen zu lassen. Bei Monergolen erübrigt sich dies weitgehend, denn es sind ja schon homogene Mischungen; dagegen taucht hier das Problem der Rückzündung vom Brennraum zum Vorratsbehälter auf, die evtl. das ganze Programm in Frage stellen kann.

In theoretischer Hinsicht interessiert bei Hybergolen mehr die Anzündung, bei Monergolen mehr die Zündung in der Flammenfront. Doch kann gerade dieses Verhalten der Monergole wertvolle Rückschlüsse auf die Zündung im allgemeinen und deren Mechanismus erlauben.

Die monergolen Brennstoffe werden trotz gewisser Nachteile hinsichtlich Betriebs- und Handhabungssicherheit die ihnen gebührende Stellung einnehmen, bringen sie doch eine bemerkenswerte apparative Vereinfachung, erleichtern die konstruktive Durchdringung und Fertigung, helfen Material ersparen und ermöglichen es, bei gleichem Durchsatz die Nutzlast zu erhöhen.

2.) Entwicklung monergoler Treibstoffe

Es ist daher nicht verwunderlich, daß seit einiger Zeit die Bemühungen um dieses aussichtsreich erscheinende Gebiet zunehmen.

Es war zunächst naheliegend, energiereiche Verbindungen und Gemische wie Dinitrochlorhydrin (DAG), Methylnitrat (Degussa), Gasöl-Stickstofftetroxyd (LFA, HAP), Äthylchlorid-Salpetersäure (HAP, die aus der Sprengstoffchemie her bekannt sind, zum monergolen R-Antrieb auszunutzen. Um eine evtl. Alterung, Instabilität und Betriebsunsicherheit herabzusetzen, mischte man in der Regel Verdünnungsmittel und indifferente Verschnittmittel zu. Betriebsgefahren, insbesondere solche durch Rückzündung, suchte man überdies apparativ zu kompensieren durch passende Einspritzverfahren, zusätzliche Kühlung u.a.m. Versuche beim HAP II verfolgten das Ziel, durch weitgehende und spezifische Stabilisierung einzelner oder aller Komponenten bzw., eine beim Mischen einsetzende Stabilisierungsreaktion die Beständigkeit monergoler Gemische zu erhöhen. Die I.G. hat ausgehend von hybergolen Treibstoffen in ihrem Cyklamat einfach durch Wasserzusatz die Reaktionsfähigkeit der beiden Komponenten soweit abgeschwächt, daß ein stabiles Monergol erhalten wurde. Weiterhin wurde dabei gezeigt, daß sich Cyclohexylamin-Nitrat durch Nitrate anderer Amine, insbesondere Methylamin ersetzen läßt. BLW ihrerseits haben aus dem Gedanken einer intensiveren Durchmischung hybergoler und nichthybergoler Zweikomponenten-Brennstoffe und des Vorkammerverfahrens heraus Monergole entwickelt, wobei vor allem an die Verwendung beständiger Paraffin-Kohlenwasserstoffe gedacht wurde. Neuerdings bearbeitet die I.G. Höchst Gemische aus Schwefelkohlenstoff, Stickstofftetroxyd und Tetranitromethan, die in ihren Anfängen offen-

sichtlich auf amerikanische Versuchsergebnisse zurückgehen. (Vgl. dazu die Verwendung von Schwefelkohlenstoff und Stickstofftetroxyd zum Betrieb "Neuartiger Flugmotoren"; ref.: "Der Flieger" 20. Jahrgang, Seite 366).

Aus den dargelegten Arbeiten erhebt sich, daß neben der Auffindung und Erforschung monergoler Treibstoffe selbst die Stabilitätsfrage das Hauptproblem darstellt. Hier aber steckt die Entwicklung noch ganz in den Anfängen.

3.) Chemischer Teil

Hierher gehörende Fragen wurden schon im letzten Kapitel gestreift. Nach der chemischen Zusammensetzung hat man grundsätzlich zwischen zwei Typen von Monergolen zu unterscheiden:

- a) Verbindungs-Monergole
- b) Gemisch-Monergole

Erstere bestehen im wesentlichen nur aus einer einzigen Verbindung, welche die zur Verbrennung von Kohlenstoff und Wasserstoff erforderliche Menge Sauerstoff schon im Molekül gebunden enthält; es handelt sich dabei also in der Hauptsache um sauerstoffreiche Verbindungen wie Peroxyde, Ozonide, Nitrokörper, Nitrato, Nitrosite, Nitrosate, Peroxysalze und ähnliches. Letzteres sind Gemische mindestens zweier Komponenten eines charakteristischen Sauerstoffträgers mit einem Brennstoff, der darin gelöst, emulgiert oder suspendiert ist.

Um die Treibstoffe hinreichend gut auszunutzen, wird man dem Atomverhältnis $C_x H_y O_{x+y/2}$ bis $2x+y/2$

nahezukommen suchen. Schon dabei zeigt sich die Überlegenheit der Gemischmonergole. Außerdem lassen sich aber mit diesen durch geeignete Wahl der Mischungsverhältnisse, teilweisen Austausch der einzelnen Komponenten gegen ähnliche Stoffe, Verwendung von Zusätzen, Verdünnungsmitteln, Stabilisatoren usw. die mannigfachsten Effekte erzielen, während bei Verbindungsmonergolen meist nur geringe Variationsmöglichkeiten bleiben.

Hier soll nur die Gruppe der Mischungsmonergole besprochen werden; wegen der Verbindungsmonergole wird auf die Tabelle am Schluß verwiesen.

Die Zusammenstellung monergoler Gemische ist im wesentlichen eine Frage der Mischbarkeit, Löslichkeit, Auffindung geeigneter Emulgier- und Dispergiermittel und wechselseitiger Reaktionsträigkeit. Der Einfachheit und des besseren Überblickes wegen gehen wir bei dieser Besprechung von der Sauerstoffträgerseite aus. Als Sauerstoffträger hat man bekannte Verbindungen wie

O_2 - flüssig, Ozon

Chloroxyde und Derivate wie: ClO_2 , $HClO_4$, NH_4ClO_4

Stickoxyde u.ä. wie: NO , N_2O , N_2O_4 , N_2O_5 , HNO_3 , NH_4NO_3 , H_2O_2

polynitroverbindungen insbesondere $C(NO_2)_4$.

Für die Praxis kommen nach dem augenblicklichen Stand der Entwicklung lediglich:

Stickstofftetroxyd

Salpetersäure

Tetranitromethan und evtl.

Wasserstoffperoxyd

in Betracht. Die anderen Stoffe sind teilweise nicht in der nötigen Menge zu beschaffen und daher bestenfalls als Zusätze denkbar, teils schwierig zu handhaben, teils fehlen selbst elementare Daten wie z.B. bei flüssigem Sauerstoff Angaben über Löslichkeitsverhältnisse usw. Außerdem scheidet flüssiger Sauerstoff wegen der tiefen Temperatur aus. Salpetersäure wird man nicht als hochkonzentriertes Produkt anwenden, da derartige Gemische zu wenig lagerbeständig sind, und aus Gründen der Korrosion meist nicht als alleinigen Sauerstoffträger.

Das Verhalten zahlreicher brennbarer Stoffe gegenüber diesen 4 Sauerstoffträgern ist aus einer Tabelle am Schluß des Berichtes zu entnehmen.

Die Aufgabe der Stabilisierung durch chemische Mittel ist eine doppelte und erstreckt sich sowohl auf die Alterung als auch Explosibilität, Schlag- und Detonationsempfindlichkeit bei erhöhter Temperatur.

Die Wirkung einfacher Verdünnungs- und Lösungsmittel beruht auf einer Verringerung der Konzentration bzw. Erhöhung der Aktivierungsenergie und stellt daher einen ziemlich groben Eingriff da. Günstiger dürfte in vielen Fällen der Zusatz starker Stabilisatoren und

Inhibitoren sein; doch stehen wir mit dieser Entwicklung noch am Anfang. Im Augenblick bereitet es z.B. noch Schwierigkeiten, den normalen T-Stoff wirksamer zu konservieren. Über die neusten Versuche, die in dieser Richtung unternommen wurden, wird an anderer Stelle berichtet werden.

Der stabilisierende Einfluß von Verdünnungsmitteln wird bei Temperaturerhöhung noch mehr in Frage gestellt. Als einzige chemische Methode zur Verringerung der Rückzündungsgefahr bleibt vorläufig die Verwendung von Komponenten mit weitauseinander liegenden Siedepunkten, wie sie vom IAP 11 vorgeschlagen wurde.

Durch Anwendung monergoler Treibstoffe, vornehmlich solcher auf der Basis von Stickstofftetroxyd und Tetranitromethan läßt sich die heikle Korrosionsfrage aller Wahrscheinlichkeit nach schlagartig lösen; Tetranitromethan und Stickstofftetroxyd greifen die bekannten metallischen Werkstoffe kaum an und selbst Salpetersäure - N_2O_4 - Gemische sind von einem gewissen Prozentsatz an N_2O_4 ab (45 % und darüber) infolge des Fehlens von H^+ -ionen sehr beständig. Nichtionisierende organische Lösungsmittel wie Benzin und Gasöl setzen diese Indifferenz noch weiter herab. So greift z.B. das optimale Gemisch aus Gasöl und Stickstofftetroxyd bei kurzer Einwirkung die menschliche Haut kaum an. Dieses günstige Korrosionsverhalten wird man nicht übersehen können.

4.) Beurteilung monergoler Treibstoffe

Die Hauptkriterien, welche über die Brauchbarkeit eines monergolen Treibstoffes in R-Antrieben entscheiden, sind außer zusätzlichen Stabilitätsforderungen im Großen und Ganzen dieselben wie bei den schon oft diskutierten Hypergolen. Zunächst wird man gewisse Vorschriften hinsichtlich Dampfdruck, Siedepunkt, Verdunstungsgeschwindigkeit und Entmischungs- bzw. Erstarrungstemperatur festhalten und eine angemessene Lade-, Energiedichte und Leistungsfähigkeit fordern müssen. Die thermodynamische Durchrechnung liefert die Zahlenwerte der T_i , W_a , R , G/R usw. und diese bestimmen über die Brauchbarkeit eines Brennstoffes. Gerade hierbei liegt es nahe, sich im Voraus auf Gemisch-Monergole festzulegen; denn sehr oft gelingt es, durch Zumischung einer spezifisch schweren bzw. energiereichen Verbindung ein sonst schlechtes Monergol wesentlich zu verbessern.

Ahnliches gilt z.B. für den Erstarrungspunkt usw.

Während sich die thermodynamischen Probleme sehr gut durch Abschätzung bzw. Rechnung, d.h. durch theoretische Erwägung auf Grund von relativ wenigen, bekannten Tatsachen lösen lassen, reicht das Erfahrungsmaterial zur unmittelbaren Beantwortung der folgenden Fragen noch nicht aus. Man ist hier also auf das Experiment angewiesen.

Die zweite, aber ebenfalls wichtige Forderung, die mit der voraufgehenden oft in gewissem Zusammenhang steht, ist die nach Stabilität, sowie Handhabungs- und Betriebssicherheit. Die Prüfung lehnt sich dabei an die Untersuchungsmethoden der Explosivstoffe an. Doch wäre es voreilig, Normen einfach übertragen zu wollen; und auch die beigefügte Brennstofftabelle kann diesbezüglich kaum mehr als einige Anhaltspunkte geben. So wird natürlich allein ein tiefliegender Zersetzungspunkt oder eine relativ niedrige Verpuffungstemperatur eine weitere Bearbeitung noch nicht ausschließen. Der Vergleich mit hypergolen Komponenten (T-Stoff zersetzt sich bekanntlich knapp über 100° vollständig und Visol - Brenzkatechin - Brennstoffe sind bei 130° schon restlos verharzt und unbrauchbar) kann auf diesem Gebiet oft nützlich sein. Eigene Formen zu finden, ist das nächstliegende Ziel kommender Untersuchungen.

Im Folgenden sind die in Frage kommenden speziellen Prüfverfahren aufgeführt.

Spezielle Prüfmethoden

Außer den allgemeinen Prüfverfahren wie der Bestimmung des Erstarrungspunktes, der Siedegrenzen, Viskosität und Dichten bei verschiedenen Temperaturen, des korrosiven Verhaltens usw. hat man mit den Treibstoffen folgende Prüfungen vorzunehmen:

- 1.) Zündung durch die Bunsenflamme (10 cm lang). Man beobachtet Zündwilligkeit, Art der Entflammung (ob nur die Dämpfe oder auch die Flüssigkeit entzündet werden).
- 2.) Zündung durch Zündschnur in einer Alu-Schale als Beispiel einer kurzen energiereichen Flammeneinwirkung.

- 3.) Verhalten beim Auftropfen bzw. Ausspritzen gegen eine elektrisch aufgeheizte, rotglühende Porzellanschale. Man schätzt den Zündverzug und beobachtet den Einsatz der Zündung (Auflammen, scharfer Knall, Detonation).
- 4.) Zündtemperatur bei 1 ata Druck: Das Monergol wird dabei auf eine elektrisch aufgeheizte Porzellanplatte von 100° getropft, dann steigert man die Temperatur von Minute zu Minute um je 20° bis gegen 400° .
- 5.) Erhitzen unter Einschluß: 2g in einem durch 100-atü-Platzmembrane verschlossenen Alu-Fläschchen. Man mißt die Temperatur, bei der die Membrane platzt.
- 6.) Zündgeschwindigkeit als Maß für die Rückzündungsgefahr: Man mißt die Verbrennungszeit für 10 g in einem Porzellentiegel und die Abbrennzeit einer Säule von 1 qcm Querschnitt und 50 cm Länge.
- 7.) Reibungsempfindlichkeit beim Reiben in einer unglasierten Porzellanschale.
- 8.) Schlagempfindlichkeit mittels Fallgewicht von 10 kg. Plan der Apparatur am Schluß des Berichtes.
- 9.) Detonationsempfindlichkeit gegen elektrisch geziündete Sprengkapsel (Nr. 1 bis 10).
- 10.) Detonationsgeschwindigkeit nach Dautriche: Vergleiche dazu die Apparateskizze. Die Detonationsgeschwindigkeit errechnet sich dabei nach

$$V = v_{\text{Zündschnur}} \cdot d_{12} / 2a$$

wobei d_{12} die Entfernung der beiden Sprengkapseln und a die Entfernung des Detonationsbauches (kenntlich am starken Eindruck in der Bleiplattenunterlage!) von der Zündschnurmitte bedeutet.
- 11.) Rückzünd- und Ausblasendruck in einem Raum mit 15 atü Innendruck. Man spritzt das Monergol aus einer gewöhnlichen Düse aus und zündet es. Nun variiert man den Einspritzdruck nach oben und unten und beobachtet die Veränderung der Flamme.
- 12.) Chemische Stabilität durch Warmlagerung von 2g in einem Druckfläschchen aus Glas bei 75° . Man beobachtet alle grob wahrnehmbaren Veränderungen.

5.) Umstellung von R-Antrieben auf den Einsatz Monergoler

Das in Angriff genommene Gebiet monergoler Treibstoffe ist mit dem der hypergolen verwandt. Die Umstellung wäre, falls rasch durchführbar, nur zu begrüßen, da sie bemerkenswerte apparative Erleichterungen bringt. Entfallen doch insbesondere

- 1 Treibstoffbehälter,
- mehrere Rohrleitungen und Ventile,
- Misch-, Regel- und elektrische Einrichtungen.

Dadurch wird einerseits Material eingespart, anderseits der Raketenraum besser ausgenutzt und die Leistungsfähigkeit des Brennraumes infolge Fortfallens der Vermischungszone erhöht. Da sich die von nichtmonergolen Treibstoffen her bekannte Vermischung im Ofenkopf erübriggt, wird unter Umständen die Verwendung selbst stark viskoser Brennstoffe diskutabel, die bisher nicht zuletzt aus Gründen zu geringer Vermischungsgeschwindigkeit ungeeignet waren. Weiterhin treten damit Brennstoffe wesentlich höherer Ladedichte in den Kreis der Erörterung, sowie durch Viskositätserhöhung stabilisierte Emulsions und Suspensions-Treibstoffe.

An zusätzlichen apparativen Maßnahmen sind gegebenenfalls solche zu treffen, die eine Rückzündung verhindern und damit die Betriebssicherheit erhöhen:

a) Naheliegend ist es, zu diesem Zweck das Einspritzsystem so auszulegen, daß die Strömungsgeschwindigkeit des Monergols größer als dessen Abbrenggeschwindigkeit ist, nämlich durch enge Dimensionierung der Düsenquerschnitte. Doch läßt sich dieses Verfahren nicht beliebig weit vorwärtstreiben, wenn man nicht mit zu hohen Anfangsdrücken arbeiten will. Unter Voraussetzung laminarer Strömung, also für Reynoldsche Zahlen $Re = \frac{V_a \cdot d}{\nu} < 2320 \text{ cm}^2/\text{sek}$

ist bekanntlich der Druckabfall in Röhren mit kreisförmigem Querschnitt

$$\Delta p = 32 \eta \cdot V_a \cdot 1/d^2$$

Es muß aber natürlich immer

$$\Delta p \ll p_T - p_i = \frac{G^2}{2g \cdot \alpha^2 \cdot f^2}$$

sein.

In diesen Gleichungen bedeuten:

G = Durchsatz (kg/sec),

d = Durchmesser (cm)

f = Querschnitt (cm) } der Einspritzdüse

l = Länge (cm)

ρ = Dichte

γ = Dynamische Zähigkeit

ν = Kinematische Zähigkeit = η/ρ der Flüssigkeit

v_a = Einspritzgeschwindigkeit (cm/sec) = $G/\rho \cdot f$

p_T = Druck vor der Düse (kg/cm²)

p_i = Druck hinter der Düse (kg/cm²)

b) Zur Gewährleistung genügender Betriebssicherheit ist ein hinreichend starkes Wärmegefälle von der Verbrennungszone zur Einspritzdüse unerlässlich. Insbesondere wird man durch Kühlung der Einspritzfläche mit Luft, nach dem Gegenstrom- oder dem Davyschen Sicherheitsprinzip dafür Sorge tragen, daß in jedem Falle die Einspritztemperatur unter der Entzündungstemperatur des Monergols gehalten wird.

c) Eine Reaktionsvorkammer, wie sie im Motorenbau geläufig ist, kann hier gegebenenfalls als Druckpolster wirken und die Fortpflanzung eines plötzlichen Druckanstieges vom Brennraum zur Treibstoffzuführung verhindern.

d) In Anlehnung an Stabilisierungsmethoden der Sprengstoffindustrie sieht die DAG-Troisdorf die Verwendung einer porösen Aufsaugmasse im Treibstofftank bzw. einem Zwischenbehälter vor, aus welcher der Treibstoff durch eine Verdrängerflüssigkeit, die mit dem Monergol nicht mischbar ist, ausgetrieben wird.

Den Betrieb von Verbrennungsmaschinen mit Monergolen muß man durch Fremdzündung einleiten, etwa:

- 1.) mittels Hypergolen unter Verwendung eines besonderen Zündgerätes
- 2.) durch Gegenspritzen eines geeigneten, selbstzündenden Stoffes,
- 3.) durch Anbringen einer hypergolen Zündpatrone,
- 4.) katalytisch oder
- 5.) pyrotechnisch.

Auf gute Anzündung ist dabei besonders zu achten, um Explosionen

vermeiden zu können. Durch geeignete Steuerung des Zünd- mit dem Einspritzvorgang, wie an anderer Stelle beschrieben wird, lässt sich dies erreichen.

Die dargelegten Gedanken sind zu einem guten Teil vorerst nur Plan und Programm. Erst auf Grund von Brennversuchen lässt sich besonders die apparative Seite weiter erörtern.

Wülf

Sachbearbeiter und Berichter

Jellor

Abteilungsleiter

Löslichkeit und reaktives Verhalten einiger
Brennstoffe in verschiedenen O₂-Trägern.

Stabil., hochkonz. Stickstoff- Salpeter- Tetra-
wasserstoffperoxyd tetroxyd säure nitro-
(60-80 %ig) methan

Aliph. KW-Stoffe	=	++	+	++
Benzin, Gasöl	-	-	-	-
Olefin-KW-Stoffe	=?	++A	+V?	++
Benzol, Toluol	=	++A	+Z	++
Xylol	-	-	-	-
Methanol	++?	+A	++A	++V
Athanol	-	-	-	-
Cl-KW-Stoffe	=A	+	-	++
Äther	++	++V	++V	++
Aldehyde, Ketone	++?	+?	+?Z	+V
Aliph.u.hydro- aromat. Amine	+Z	+Z	bei H ₂ O-Zu- satz: ++A	+?
Amine, aromatisch	-Z	+Z	++?Z	?Z
Nitrokörper Nitrate	-V	++	++A	++
Sulfosäuren- chloride	+	+V	+A	+V
Dioxan	++V	++?	++?	++V
Harnstoff	+	+Z	+A?	?
Schwefelkohlenstoff	-Z	++	-Z	++
Essigsäureanhydrid	++Z	++A	++A	+

Es bedeuten: = nicht löslich,
+ löslich,
- wenig löslich,
++ mischbar,

V (geringe) Veränderungen beim
Zusammenbringen
A tragbare (und günstige) Verän-
derungen, Alterung
? allmähliche, bei Erwärmen
starke Zersetzung
Z sofortige Zersetzung

Labor-Prüfschein für Monergole.

Nr.:
Bezeichnung:

Erstarrungspunkt:

Siedekurve (Vak.):

$t^{\circ}\text{C}$	60	ccm

Dichte:

$t^{\circ}\text{C}$	-10	0	10	20
ρ_t				

Viskosität:

$t^{\circ}\text{C}$	-40	-20	0	20
v_t				

centistoke

Flammpunkt:

Zündverzüge: ${}^{\circ}\text{C}$ 100 200 300 400 500 600
 $\frac{1}{10}\text{sek}$

Zündgeschwindigkeit: 1) ... cm/sec 2) ... g/sec

Empfindlichkeit gegen Reibung:

Schlag:

Initierung:

Rückzünd-, Ausblase-Druck:

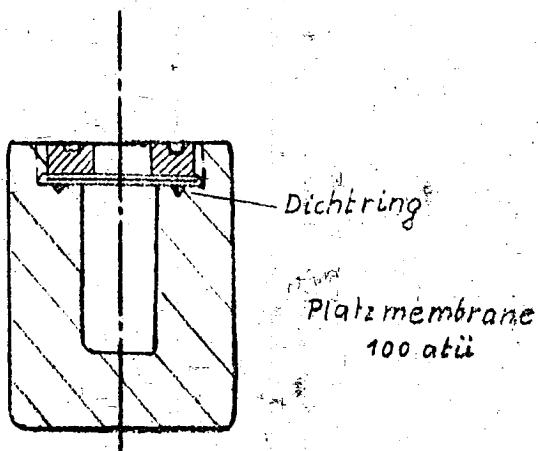
Beständigkeit gegen Warmlagerung:

Luft, Feuchtigkeit:

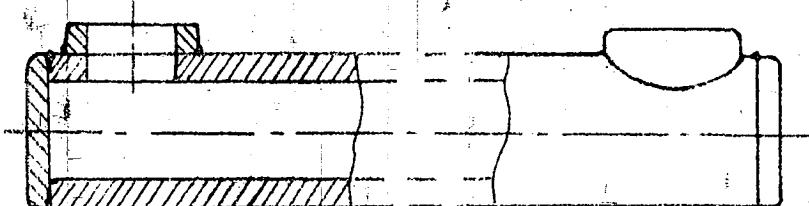
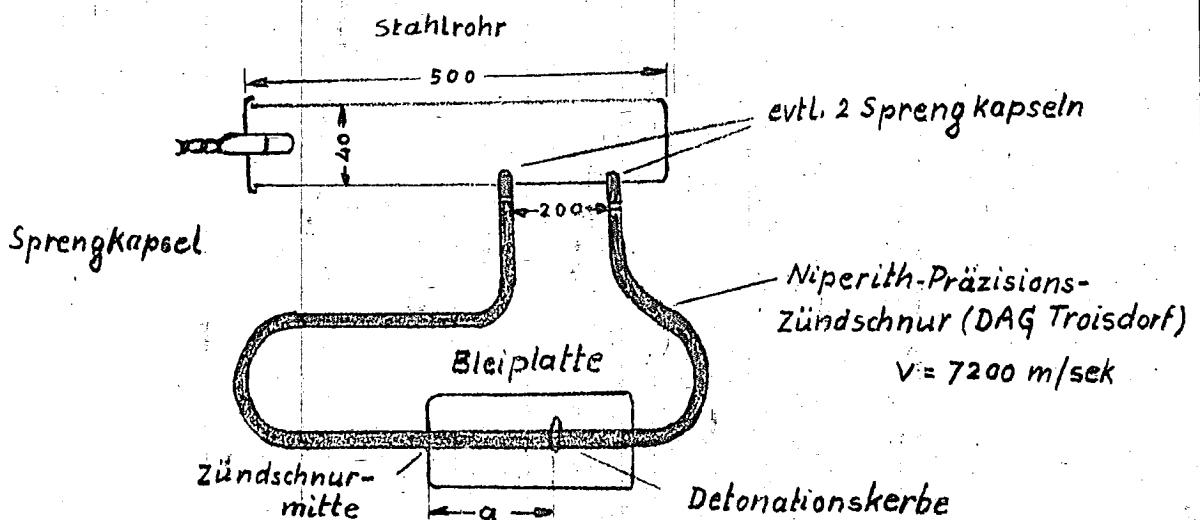
Werkstoffe:

Prüfungs-Apparaturen.Zündbombe:

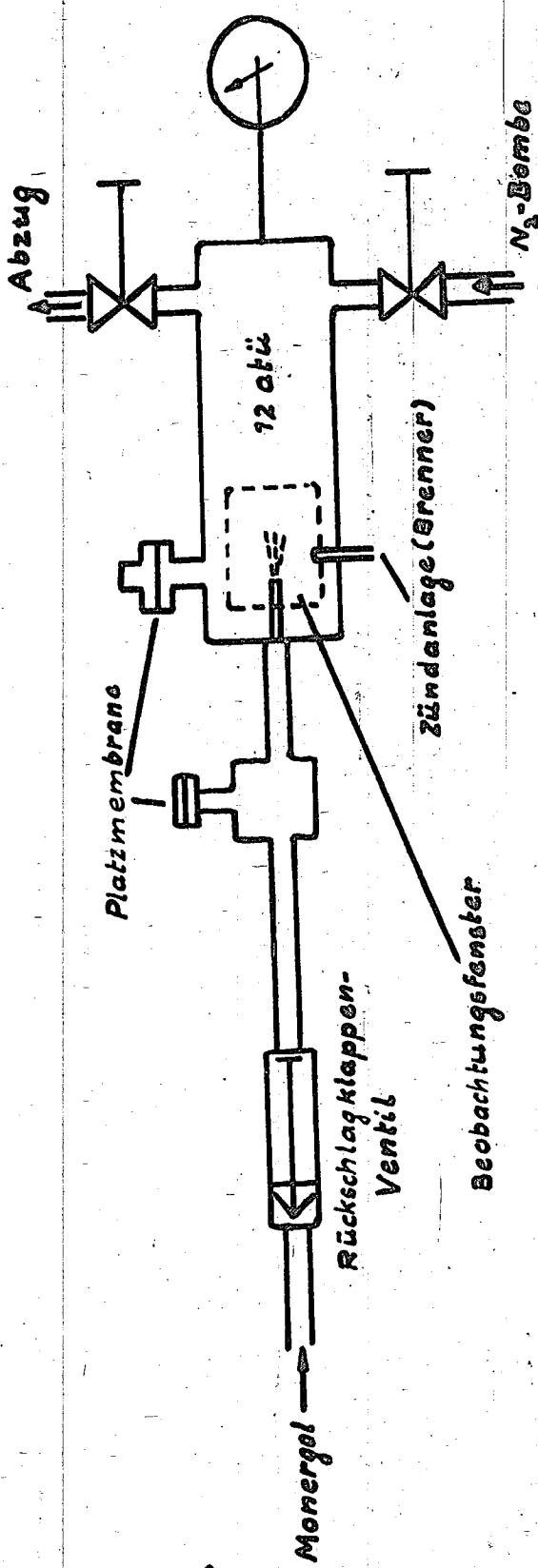
Maßstab: 1:1

Zündrohr:

Maßstab: 1:4

Detonationsapparatur n. Dautriche:

Vorrichtung zur Prüfung der Rückzündung:



Sprengstoffe und Munitionen

Stoff	Chemische Zusammensetzung	Gew.%	Dichte (20°)	Ep	Kp	Zerfalls-wärme Kcal/kg	Stabilität gegen Schlag warme cm	n-Antr. 1/16 W, th
Nitroglycerin	CH ₂ O·NO ₂ CHO·NO ₂ CH ₂ O·NO ₂	1,596	12,2 expl. (220, 15mm)	257	4	4 (2 kg)	gut	
Glycerindinitrat	NO ₂ C ₃ H ₅ ·OH NO ₂	1,47	26	145	1250	3-10 (2 kg)	gut	
Trinitrotoluol	CH ₃ ·NO ₂ C ₆ H ₂ :(NO ₂) ₃	1,57	81 104	950	57-90 (2 kg)	gut		
Dinitrochlorhydrin	CH ₂ ·ONO ₂ CHCl CH ₂ ·O·NO ₂	1,53	50 at 16,2 zers.	190	1140	75 (2 kg)	gut	
Methylnitrat	CH ₃ ·ONO ₂	1,20	11	65 zers.	1580	gering		
Myrol (80)	CH ₃ ·ONO ₂ CH ₃ ·OH	80	38	-60	54	1270 gut	genügt	2040- 2320
Cyklamit	CyKlohexylamin Salpetersäure Wasser	06H11·NH ₂ HNO ₃ H ₂ O	15,3 72,1 12,5		-970	gut	genügt	
HAP/UHM 1	Gasöl Stickstofftetroxyd	(CH ₃ , 8)x N ₂ O ₄	20 80	1,20	<20	~1850	gut	genügt 2230 schlecht
HAP/TIN 1	Dioxan Wasser	C ₄ H ₈ O ₂ H ₂ O ₂ H ₂ O	20 65 15	1,26 <25	zers.	~1020	gut	3240