

Bericht über die R-Triebwerke auf Grundlage des T-Stoffes

Von Hellmuth Walter

Der Weg zum T-Stoff

Auf der Suche nach einem luftunabhängigen Energieerzeuger für den Antrieb von Unterwasserfahrzeugen konzentrierte sich die Aufmerksamkeit schon frühzeitig auf den T-Stoff. Es gelang alsbald, das OKM von der Bedeutung des Stoffes zu überzeugen. Im Jahre 1934 wurden die ersten Versuche unternommen.

Eine Schwierigkeit stellt zunächst die Beschränkung in der Höhe der erreichten Konzentration dar. Anfänglich konnte nur 60%iger, später bis 85%iger T-Stoff zur Verfügung gestellt werden. Zersetzungs- und Verbrennungsversuche auf dem Gelände der CPVA in Kiel-Dietrichsdorf führten zu den ersten praktischen Erkenntnissen über die technische Durchführbarkeit der Anwendung von T-Stoff. Dabei ergaben sich sehr bald neue Ausblicke, da hier eine Methode konzentrierter Energieerzeugung gefunden worden war, die sich für viele Zwecke nutzbar machen ließ. Der Gedanke, diese Energie für den Antrieb von Geschossen entweder im Geschütz oder als Rakete anzuwenden, lag damit nahe, und es wurden den interessierten Amtsstellen entsprechende Vorschläge vorgelegt, die alsbald zum Bau erster Versuchsgeräte führten.

Im Januar 1937 fand der erste Flug mit einer DVL-Maschine in Alimismühle mit T-Stoff-Zusatzantrieb im Beisein von Oberst Udöt statt, der den dritten Flug selber durchführte. Im Juni 1937 wurden die ersten T-Stoff-Raketen verschossen (Altenwalde). Dann wurden in schneller Folge weiter die Starthilfen, Hauptantriebe und andere R-Antriebe in Versuchsausführungen herangebracht.

Der T-Stoff — das Wasserstoffperoxyd ist ein bekanntes Chemikallium und findet namentlich in der Textilindustrie weitgehende Anwendung. Seine chemisch-physikalischen Eigenschaften sowie Herstellungs- und Anwendungsverfahren sind bekannt und in umfangreichen Büchern und Abhandlungen beschrieben worden. Es hat jedoch noch viel Entwicklungsarbeit dazu gehört, um dem T-Stoff den Weg als brauchbarem Sauerstoffträger zu öffnen. In der Tat ist die Anwendung des T-Stoffes als Sauerstoffträger für Energieerzeugung bislang nur sehr vereinzelt in Vorschlag

gekommene und in allen Fällen nicht über theoretische Überlegungen hinaus gediehen. Da für die bisherige Anwendung des Wasserstoffsperoxyds im allgemeinen nur niedrige Konzentration erforderlich, andererseits die Herstellungskosten höherer Konzentration erheblich waren, bestand durchaus kein Anreiz zur Herstellung höherer Konzentrationen, und es waren diese auch im Handel nicht erhältlich. Es ist in Erwägung gezogen worden, zur Minderung der Transportkosten die Konzentration zu erhöhen. Die handelsübliche Ware von 30% bot jedoch, wie die energetischen Rechnungen zeigen, nur wenig Reiz zur Ausnutzung als Energieträger. Dafür haftete aber den höheren Konzentrationen ein abträglicher Ruf der Gefährlichkeit an im Hinblick auf Lagerung, Explosionsgefahr usw. Das kam beispielsweise auch in den Transportbestimmungen der Reichsbahn zum Ausdruck. Dieses Vorurteil, das durch Unglücksfälle aus mangelnder Kenntnis und Erfahrung mit höheren Konzentrationen genährt wurde, wirkte außerordentlich hemmend auf die technische Anwendung als Energieträger und muß zum Teil noch heute immer wieder bekämpft werden.

Nachdem es nach dem Verfahren der EWM gelang, eine ausreichend reine und stabile Ware höherer Konzentration (zunächst 70%, später 85%) herzustellen, konnten im Jahre 1936 die ersten Geräte für R-Antriebe entworfen und erprobt werden. Mit den Erfahrungen und Erkenntnissen der folgenden Jahre kann der T-Stoff heute — selbstverständlich unter Voraussetzung bestimmter Behandlungs- und Lagervorschriften — als ein durchaus betriebssicherer Treibstoff angesprochen werden. (Nähere Ausführungen werden später folgen.)

Chemische und energetische Daten

Es sei nun auf den Stoff selbst eingegangen, wobei einiges bereits Bekannte wiederholt werden mag.

Das Wasserstoffperoxyd oder kurz mit der Tarnbezeichnung T-Stoff bezeichnet, ist seinen chemischen Bestandteilen Wasserstoff und Sauerstoff nach auf den ersten Blick ein geradezu idealer Sauerstoffträger. Leider sind bei 100%iger Konzentration nur 47% des Gewichtes als Sauerstoff für weitere Reaktionen mit Brennstoffen ausnutzbar. Das ist für einen Sauerstoffträger ein verhältnismäßig geringer Anteil.

Für Salpetersäure ergibt sich z. B. 63,5% des Gewichtes als Sauerstoff ausnutzbar, ganz zu schweigen von reinem Sauerstoff.

Dieser Nachteil wird jedoch durch die verhältnismäßig hohe Zerfallswärme bei Zerfall des T-Stoffes in seine Bestandteile H_2O und O_2 fast vollständig ausgeglichen.

Bei Zerfall der 100%igen Lösung werden 690 kcal/kg frei, die imstande sind, die Zerfallsprodukte auf eine Endtemperatur von etwa 950° C zu erhitzen. Die Zusammenhänge von Konzentration, Wärmeinhalt, Zerfallstemperatur sind auf der Abbildung aufgezeichnet.

Über der Konzentration von 0 bis 100% steigt die Zerfallswärme (a) von 0 bis 690 kcal/kg gradlinig an. Die Erzeugungswärme für trocken gesättigten Dampf (b) (bei Konzentration 0 = 639 kcal/kg) sinkt mit steigendem T-Stoff-Gehalt entsprechend dem geringeren Wassergehalt, desgleichen die Flüssigkeitswärme entsprechend der geringeren spezi-

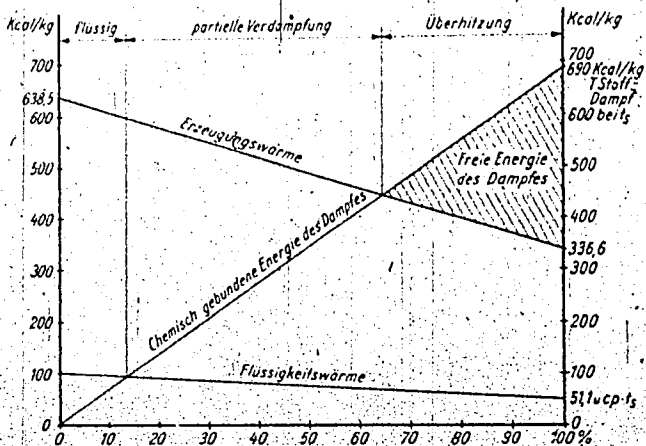


Abb. 1
Energiegehalt von T-Stoff-Lösungen
0 bis 100% bei 1 at., $t_0 = 0^\circ \text{C}$

fischen Wärme des T-Stoffes. Bei der Konzentration 13,5% zeigt der Schnittpunkt von a und c an, daß die Zerfallswärme gerade ausreicht, um das entstandene Wasser und den Sauerstoff auf die Verdampfungstemperatur (100°) zu erwärmen — bei Konzentrationen darüber wird eine Teilverdampfung erreicht —, bis bei 64,5% (Schnittpunkt a—b) sämtliches Wasser in Dampf übergeführt ist. Darüber hinaus dient nunmehr

die überschüssige Zerfallswärme dazu, das Gas-Dampf-Gemisch zu überhitzen. Bei 80% ergibt sich beispielsweise eine Temperatur von etwa 465° C. Den Zusammenhang zwischen Zersetzungsendtemperatur und Konzentration auch bei anderen Drücken zeigt das *t-i*-Diagramm.

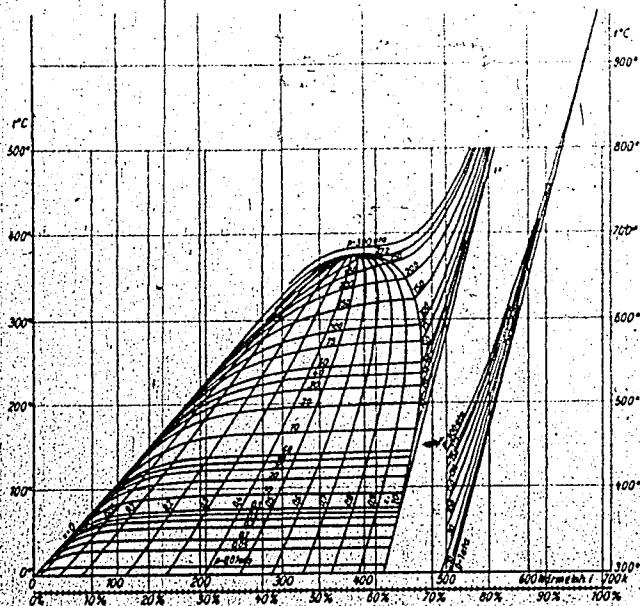


Abb. 2
t-i-Diagramm für T-Stoff

Auf der Linie für $p = 1 \text{ ata}$ ergibt sich zwischen 0 und 13,5% eine Temperatursteigerung auf etwa 100° C, zwischen 13,5 und 64% innerhalb der Grenzkurven ein Dampf-Flüssigkeits-Sauerstoff-Gemisch und über 64,5% überhitztes Dampf-Sauerstoff-Gemisch. Bei verschiedenen Drücken verschieben sich die Grenzpunkte, wie durch die rechte und linke Grenzkurve angezeigt.

Dieses Verhalten des T-Stoffes bei seiner Zersetzung ist grundlegend für seine Bedeutung. Einmal rückt er trotz der geringen Sauerstoffabgabe durch die Abgabe der eigenen Zerfallswärme in die gleiche Größenordnung der Gesamtenergieabgabe anderer Sauerstoffträger, zum anderen bietet aber die Ausnutzung der Eigenzerfallsenergie unschätzbare Vorteile für die Anwendung bei Triebwerken, insbesondere der Hilfsantriebe.

Der enge Zusammenhang zwischen Konzentration und Dampftemperatur ermöglicht ein unfehlbares Verfahren zur Herstellung eines Dampfes von absolut konstanter Temperatur, das durch kein anderes der bisher bekannten Dampfkesseltechnik bezüglich Regelbarkeit, Einfachheit und geringen Gewichtaufwandes sowie des geringen Umfanges der Anlage bei gleicher Leistung geschlagen werden könnte.

Aufbereitung des reinen T-Stoffes

Die Aufbereitung oder Zersetzung des reinen T-Stoffes erfolgt über Katalysatoren. Der wirksamste Katalysator ist neben einigen Edelmetallkatalysatoren, z. B. Platinschwamm oder platinisiertem Bimsstein, das Permanganat, das entweder als Natrium- oder Calciumpermanganat in wässriger Lösung von hohem spezifischem Gewicht (1,5) zusammen mit dem T-Stoff in einer Zersetzkammer vernebelt oder versprüht wird oder aber in Form von Braunstein mit Zement- und Sandzusätzen zu Katalysatorsteinen verarbeitet wird, die als Füllung in eine Zersetzkammer eingebracht werden und auf die der T-Stoff durch Vernebelungsdüsen aufgespritzt wird.

Nach dem heutigen Stand der Katalysatorsteinentwicklung können bei normalen Betriebsverhältnissen, d. h. bei etwa 25 atü, 150 bis 200 g/l T-Stoff durch 1 kg Steine oder insgesamt etwa 2000 kg pro Lebensdauer von 1 kg Steinen zersetzt werden. Durch den hohen Durchsatz ergibt sich eine erhebliche mechanische Beanspruchung der Steine, so daß mit einem gewissen Abrieb der Masse zu rechnen ist. Andererseits enthält der normale T-Stoff noch so viel Säurereste, daß die Steine bald verunreinigt würden. Daher wird bei Oberflächenzersetzung mit destilliertem T-Stoff gearbeitet.

Bei der Zersetzung durch Natriumpermanganat findet zwar eine Reaktion unter Bildung von Natriumhydroxyd und Braunstein statt, so daß dann von einer echten Katalyse die Rede sein kann, jedoch kann man nur durch die Zerstäubung in feinste Teilchen die hohe Wirksamkeit des Permanganats ausnutzen, mit der es gelingt, 1 kg T-Stoff in der Sekunde in 1 Liter Zersetzervolumen zu zersetzen.

Verbrennung mit T-Stoff

Bei der Entwicklung der Brennstoffe und Brennkammern für die Verbrennung des Sauerstoffs stehen folgende Forderungen im Vordergrund:

1. Höchste Energieerzeugung, d. h. geringster spezifischer Verbrauch.
2. Niedrigstmögliche Brennkammertemperaturen.
3. Sichere Zündung nach Möglichkeit ohne besondere Hilfsmittel.

Zu 1. Die erste Forderung erfüllen ohne Zweifel am besten die Kohlenwasserstoffe, die gleichzeitig auch den Forderungen für Unterwassertriebwerke nach kondensierbaren und löslichen Abgasen gerecht werden. Eine Zündung ohne besondere Hilfsmittel und auch eine Verbrennung in kleinen Räumen ohne Katalysatorzusätze ist jedoch nicht möglich. Als Katalysatorzusatz kommt auch hier — in kleineren Mengen — das Natrium- oder Calciumpermanganat in Frage. Ein derartiges Triebwerk liegt zur Zeit in der Verbrennungsstarthilfe vor. Das Verfahren ist sehr zuverlässig, erfordert jedoch wegen der drei Komponenten großen apparativen Aufwand und führt dadurch bei regelfähigen Anlagen zu unangenehmen Komplikationen.

Zu 2. Die zweite Forderung ist im allgemeinen schon durch die Anwendung des T-Stoffes erfüllt. Bei Verbrennung von Kohlenwasserstoffen ergeben sich bei 80%igem T-Stoff etwa 2200° C, während bei gleichen Verbräuchen die Salpetersäure etwa 2750° C erzielt.

Zu 3. Die dritte Forderung wird heute durch die Anwendung des Hydrazinhydrats erfüllt. Da jedoch dessen Heizwert nur 2822 kcal/kg beträgt, wird eine Mischung von Hydrazin und Methanol angewendet, dessen Zündfähigkeit noch ausreichend ist. Eine weitere Herabsetzung des Hydrazinanteils, die zur höheren Energieausbeute führen würde, ist vorläufig aus Sicherheitsgründen noch nicht vorgesehen, wenn auch Versuche durchaus die Möglichkeit der Anwendung einer derartigen Mischung erwiesen haben.

In den folgenden Schaubildern sind die adiabatischen Gefälle und Temperaturen in Abhängigkeit der Konzentrationen, Mischungsverhältnisse aufgetragen für das T-Stoff-Kohlenwasserstoff-, das T-Stoff-C-Stoff- und das Sv-Stoff-Kohlenwasserstoffsystem.

Es geht daraus hervor, daß bei 80%igem T-Stoff und 90%igem Sv-Stoff bei Verbrennung mit Kohlenwasserstoffen etwa dieselben Gefälle erreicht werden, wobei jedoch die Temperaturen beim Sv-Stoff wesentlich höher liegen.

Bei Anwendung des Hydrazinhydrats muß auf etwa 4% des Gefälles verzichtet werden, womit allerdings auf der anderen Seite der Vorteil

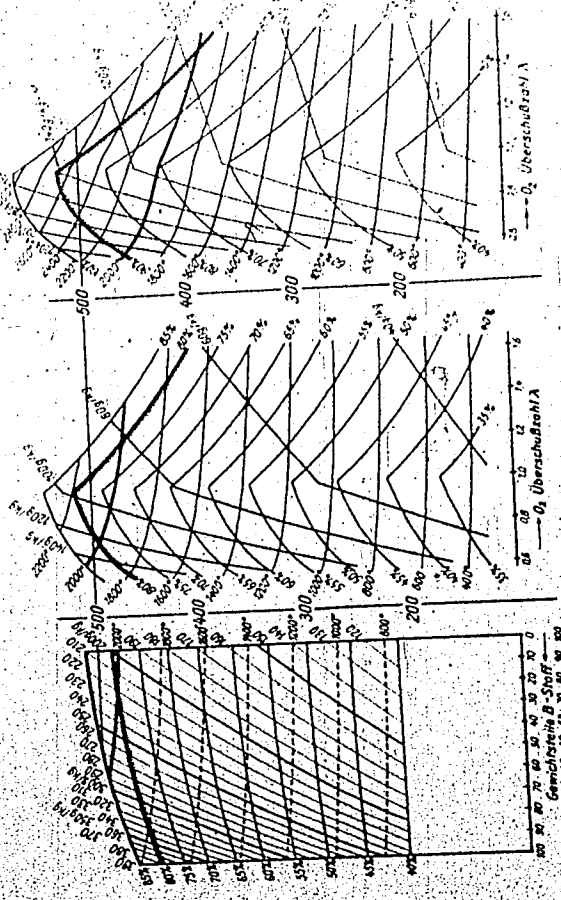


Abb. 3
 Adiabatisches Gefälle (16:1 sta) und Verbrennungstemperaturen
 als Funktion von Konzentration-Mischungsverhältnis-Sauerstoffüberschuß

einer geringeren Temperaturbeanspruchung der Brennkammer einhergeht und vor allem der sichere Zündensatz und saubere Verbrennung erkauft wird.

Eine ähnliche Verringerung des Gefälles tritt übrigens auch bei dem Salpetersäurediagramm ein, wenn von Kohlenwasserstoffen mit einem Heizwert von etwa 11 000 auf Visole mit etwa 9000 kcal/kg übergegangen wird.

Übrige Stoffeigenschaften

Hinsichtlich der Eignung des T-Stoffes als Sauerstoffträger für R-Trichterwerke sind noch folgende Eigenschaften zu erwähnen:

1. Das spezifische Gewicht ist verhältnismäßig hoch und beträgt bei 80%iger Lösung 1,345. Es wird jedoch darin vom Sv-Stoff übertroffen.
2. Die Kältebeständigkeit ist abhängig von der Konzentration. Sie erreicht bei 52% ihren tiefsten Punkt bei etwa -50°C , während der Gefrierpunkt für 80% bei etwa -25°C liegt. Die Kristallisation tritt jedoch meistens mit großer Verzögerung ein und bedarf einer Anregung durch Kristallisationskerne, so daß in der Regel bedeutende Untertemperaturen möglich sind.
3. Die Lagerung stellte zunächst ein Problem widrigster Natur dar. Erst mit seiner Lösung kann der T-Stoff als verwendbarer Treibstoff angesprochen werden.

Das Problem liegt beim T-Stoff insofern schwierig, als eine Wechselwirkung zwischen Behälter und T-Stoff eintritt, nach der

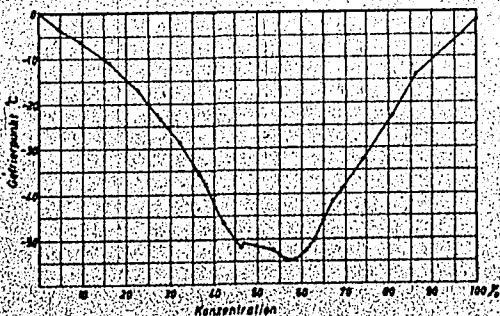


Abb. 4
Gefrierpunkte von T-Stoff-Lösungen

sowohl eine Korrosion des Behälters und dadurch in den meisten Fällen auch eine Zersetzung des T-Stoffes, damit aber eine Erwärmung unter Umständen bis zur kritischen Zerfallstemperatur bei etwa 140° C und schließlich Explosion eintritt, was übrigens in der Regel der Grund für die früher befürchteten Explosionen gewesen sein dürfte.

Für eine einwandfreie Lagerung ist ein Zusatz von Phosphor und Oxycincholin oder andere Zusätze zur Stabilisierung der T-Stoff-Lösung notwendig. Durch gelegentliche Verunreinigungen kann dieser Zusatz unwirksam werden, so daß die Gefahr der Eigenzersetzung erhöht wird. Es muß daher auch von der Behälterseite her die Lagerbeständigkeit sichergestellt werden.

Als Behältermaterial kommen in Frage: nickel- und chromhaltige legierte Stähle, wie V 4 A, V 2 A, Remanit u. ä. sowie kupferfreie Aluminiumlegierungen, insbesondere Reinaluminium 99,5, Hydronalium, Seewasserlegierungen u. ä., die eloxiert und gewachst oder mit Oxin nachgedichtet sind. Ferner eignen sich von den Kunststoffen Mipolam, Igelit (Polyvinylchloride) zum Auskleiden. Behälter dieser Art in größeren Ausmaßen sind bereits jahrelang ohne Anstand in Benutzung. Für die Lagerung in kleineren Einheiten wurden umfangreiche Versuche im Auftrage des OKM an Torpedokesseln durchgeführt mit dem Erfolg, daß die Lagerung auch unter Tropenbedingungen (50° C Dauer- und Wechseltemperatur) ohne Anstand bis zu 6 Monaten ohne wesentliche Konzentrationsverluste ausgedehnt werden konnte. Die Versuche erstreckten sich zum Teil über noch längere Zeiträume.

Da es sich beim Torpedo um ein Lagergerät handelt, dürfte die eben angeführte Lagerdauer für die meisten übrigen Fälle ebenfalls als ausreichend bezeichnet werden. Für Dauerlagerung von einmalig zu füllenden Verlustgeräten, die vor dem Abschluß nicht geprüft werden können, insbesondere bei kleineren Geräten unter 25 l, dürfte der T-Stoff nicht zu empfehlen sein.

4. Im Anschluß an diese Frage taucht sofort die Gefährdung der Behälter durch Brand und Beschuß auf. Auch diese Fragen sind systematisch untersucht worden. In Behältern, die einer äußeren Flamme ausgesetzt wurden, wurde der Temperatur- und Druckanstieg gemessen sowohl bei geöffneten als auch geschlossenen Behältern. Dabei zeigt sich bei Temperaturen von etwa 90 bis 100° C zunächst eine geringe zusätzliche Zersetzung, die die Erwärmung durch die frei werdende Zerfallswärme beschleunigt,

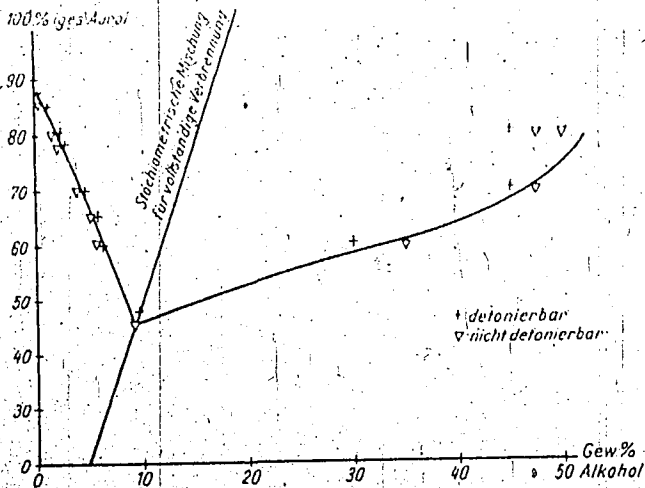


Abb. 5

Verlauf der Detonationsgrenze für Gemisch T-Stoff-Alkohol

bis bei 135 bis 140° C eine nicht mehr aufzuhaltende Verdampfung eintritt, die jedoch nicht zur Detonation, sondern zur einfachen Kesselexplosion infolge inneren Überdruckes führt. Bei ausreichender Bemessung eines Entgasungsventils kommt es nur zum einfachen Ausdampfen des Behälters. Unter Temperaturen von 120° C konnte durch äußere Kühlung der Verdampfungsprozeß aufgehalten und die normale Lagerung wiederhergestellt werden. Bei Anwesenheit von Verunreinigungen, wie Rost, kupfernen Meßleitungen oder ähnlichen katalytisch wirkenden Stoffen, kann der Prozeß natürlich beschleunigt werden und unter Umständen auch Detonation auftreten.

Bei drucklosen Behältern würde ein Brand demnach zum Zerreißen der Behälter an den schwächsten Nähten oder an besonders dafür vorgesehenen Reißstellen führen. In einen Brand hineinfließende T-Stoffmengen entfachen der Natur der Sache entsprechend natürlich einen Brand, jedoch ohne die Gefahr einer Detonation.

5. Die Beschußsicherheit ist ebenfalls weitgehendst geprüft worden. Von der Forschungsabteilung des Heereswaffenamts sind Detonationsversuche mit T-Stoff-Alkoholmischungen aller Konzentrationen durchgeführt worden, deren Ergebnisse auf der nächsten Abbildung aufgezeichnet sind.

Mit stärksten Initialladungen sind Konzentrationen reinen T-Stoffes nur über 87% detonierbar. Je stärker die Alkoholzumischung, bei desto niedrigeren T-Stoff-Konzentrationen ist noch Detonation möglich, bis bei stöchiometrischem Verhältnis der tiefste Punkt erreicht wird bei etwa 45%igem T-Stoff. Daraus ergibt sich, daß der Beschuß von T-Stoff-Behältern durch Sprengmunition ähnliche Wirkung zeigen muß wie der eines Wasserbehälters. In der Tat ergeben sich nur geringe zusätzliche Wirkungen. Komplikationen und gefährliche Zustände können natürlich bei Beschuß von Kombinationen verschiedener Behälter mit T-Stoff, Brennstoffen und Zusatzstoffen eintreten, insbesondere wenn Mischungen in größeren Mengen von T-Stoffen und Brennstoffen möglich sind, ohne daß es sofort zur Zündung kommt, d. h. also bei nicht selbstzündenden Brennstoffen, womit — wie oben angedeutet — detonierbare Gemische entstehen, die eine größere Gefährdung einer Katastrophenstelle darstellen als ein reiner Brand, der beim Zusammenfließen von T-Stoff und selbstzündenden Brennstoffen entstehen würde.

Besondere Erwähnung bedarf das Verhalten des T-Stoffes bei Beschuß durch Brandmunition, insbesondere durch Kautschukbrandbomben, durch die wahrscheinlich nach einem gewissen Zündverzug Explosionen ausgelöst werden können, was insbesondere für die Ausgestaltung von größeren T-Stofflagern zu berücksichtigen ist.

6. Die Transportfrage des T-Stoffes ist durch die systematische Arbeit auf diesem Gebiet als gelöst anzusehen. Der T-Stoff ist seit Bereitstellung geeigneter Wagen mit vorschriftsmäßig behandelten Aluminiumbehältern für den Transport durch die Eisenbahn zugelassen. Bei den früheren Transporten durch Lastkraftwagen kam es verschiedentlich zu Unglücksfällen, die den Stoff bei solchen Gelegenheiten als verhältnismäßig harmlos erscheinen lassen. Bei Anwesenheit, d. h. bei direkter Berührung mit anderen brennbaren Stoffen und gleichzeitiger Gegenwart von Zündmitteln besteht natürlich erhöhte Brandgefahr.
7. Neben der Transportfrage ist von besonderem Interesse die einfache Handhabung des Stoffes auf Prüfständen, Flugplätzen

usw. durch das Personal. Da der Siedepunkt bei etwa 120° C liegt, läßt sich der Stoff in sauberen Aluminiumkannen fast wie Wasser handhaben. Die Füllung der Geräte erfolgt im allgemeinen über offene Trichter mittels Kannen oder Hand- oder Elektropumpen. Fortleitung durch biegsame Mipolanschläuche ist ebenfalls möglich.

Eine Gefährdung des Personals tritt nur bei direkter Berührung ein. Der Stoff wirkt auf die menschliche Haut leicht ätzend, wobei sich weißliche Aufschwellungen des Gewebes zeigen, die jedoch je nach Stärke der Ätzung in 1 bis 2 Stunden wieder verschwunden sind. Die Wirkung ist so träge, daß bei sofortigem Abwaschen mit reichlich Wasser kaum Spuren einer Ätzung zu bemerken sind. Gefährlich kann nur eine Verätzung der Augen werden. Unangenehm wegen der Brandgefahr und Beschädigung des Gewebes sind Spritzer auf die Arbeitskleidung. Die Bedienungsmannschaften sind daher angewiesen, Gummi- oder Mipolanshürzen, Fußschutz und Schutzbrille zu tragen, was jedoch gerne nach einiger Eingewöhnung vergessen wird. Die Bereitstellung von reichlich Wasser in der Nähe der Arbeitsplätze und Sauberkeit bei der Montage aller Geräte ist fast die einzige besondere Schutzmaßnahme. Da ebenfalls die Abgase (bestehend aus Wasserdampf, Sauerstoff und Kohlensäure) ungefährlich sind, tritt auch hierdurch keine besondere Handhabungsschwierigkeit auf.

8. Zuletzt ist mittelbar von größter Wichtigkeit die Beschaffungslage eines Treibstoffes. Da für die Verwendung in R-Triebwerken an den T-Stoff höherer Konzentration die oben geschilderten Bedingungen betreffs langer Lagerzeiten gestellt und auch aus betrieblichen Gründen eine hohe Reinheit des Stoffes gefordert werden muß, genügt bisher nur das Herstellungsverfahren der EWM München (durch Elektrolyse). Hierfür ist ein erheblicher Aufwand an Edelmetallen und elektrischem Strom notwendig, so daß der Ausbau der Produktion in erster Linie hierdurch beschränkt wird. Mit dem Fortschritt des T-Stoff-Triebwerkes wird jedoch auch seine Anwendungs- und Einsatzmöglichkeit steigen. Es wird darum an neuen Verfahren gearbeitet, die es ermöglichen sollen, auf anderer Basis den steigenden Bedarf zu decken.

Nachdem somit der T-Stoff als ein für R-Triebwerke gut geeigneter Treibstoff betreffs Leistung, Betriebsverhalten, Lagerung, Sicherheit und Beschaffung gekennzeichnet ist, komme ich zu der Beschreibung der Triebwerke selbst.

Die R-Triebwerke

Der Aufbau von R-Triebwerken ist weitgehend von seinen Verwendungszwecken abhängig, die nach folgendem Schema eingeteilt werden können:

1. Kurzzeittriebwerke in Verlustgeräten. Hierzu gehören Geschößantriebe, Gleitbomben, ferngesteuerte Gleiter, Abwurftrapedos, Unterwassergranaten usw.
2. Kurzzeittriebwerke mit wiederholbarem Einsatz. Hierzu gehören Start- und Landhilfen, Schleudern, Gasdruckgeschütze u. ä.
3. Regelbare Dauertriebwerke. Hierzu gehören R-Jäger und Flugzeugantriebe, Bootsantriebe für Pionierzwecke u. ä.
4. Mittelbare Antriebe und Mischtriebwerke, z. B. in Strahl- und Verdichtungsanlagen etwa für Grenzschiebbeeinflussung, R-L-Triebwerke, Melodrüsen u. ä.
5. Neben dieser Anwendung für R-Triebwerke ergeben sich für die Hochleistungs-dampferzeugung aus dem T-Stoff noch Anwendungsmöglichkeiten für die verschiedensten Zwecke, z. B. für Heizung, Druckgas- und Sauerstoffherzeugung, Leistungserhöhung durch Einspritzen von T-Stoff in Kraftmaschinen usw., was jedoch über den Rahmen dieses Vortrags hinausführt.

Zu 1. Der schematische Aufbau eines Kurzzeittriebwerkes ist in der nächsten Abbildung dargestellt.

Einfachster Aufbau, Vermeidung komplizierter Schaltgeräte, gedrängteste Bauart, lange Lagerfähigkeit sind die Hauptmerkmale dieser Geräte. Für die Förderung der Flüssigtreibstoffe kommt vornehmlich die Druckgas- oder Luftförderung in Frage.

Die Luftflasche wird durch die Membran eines Zünderreißventils, dessen zuverlässige Abdichtung in Versuchen über Jahre erprobt ist, verschlossen. Die Luft strömt nach Auslösung des Ventils über einen Druckminderer, der bei kurzen Betriebszeiten oft durch eine einfache Drossel ersetzt werden kann, und die bei bestimmtem Druck reißenden Verschlussmembranen oder Rückschlagventile in die Treibstoffbehälter und treibt die Treibstoffe über die untere Verschlussmembran oder ein Rückschlagventil in den Zerstäuber oder Mischkopf der Brennkammer mit Lavalldüse, in der die Komponenten miteinander reagieren.

Ein guter Weg der Gewichtersparnis besteht in der Einspritzförderung, wie in dem danebenstehenden Schema dargestellt ist. Sie wird jedoch vorläufig nur für die Förderung von Z-Stoff mit T-Stoff zuverlässig beherrscht. Von der Druckleitung wird eine geringe Menge T-Stoff

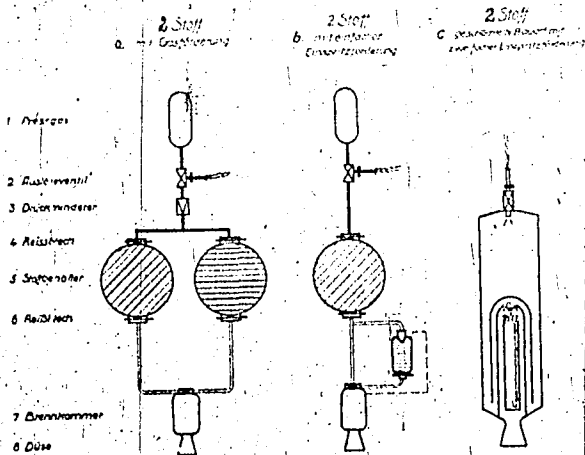


Abb. 6
Kurzzeittriebwerte (Verlustgeräte)
10 bis 60 000 kg

abgezweigt, die über ein Rückschlagventil in den Z-Stoffbehälter gespritzt wird, in dem sich bis zur Erreichung des T-Stoff-Druckes Dampf bildet, der seinerseits den Z-Stoff fördert. Die Druckbildung erfolgt so augenblicklich, daß ein Förderverzug nicht eintritt.

Die Einspritzförderung kann auch zur Förderung des gesamten T-Stoffes benutzt werden, wie die danebenstehende Abbildung zeigt. Zur Förderung von 1 kg T-Stoff bei 20 atü müssen etwa 10 g desselben in Dampf umgesetzt werden, was wiederum durch Einspritzung von etwa 0,2 bis 0,5 g Z-Stoff erreicht werden kann. Diese Art der Einspritzung zusammen mit einer geschachtelten Bauart ergibt ein sehr geschlossenes Gerät. Leider läßt sich die Druckbildung nur mit etwa $\pm 20\%$ Genauigkeit einhalten. Dieses Verfahren ist zunächst nur für Geräte mit T-Stoff und Z-Stoff geeignet, da die Förderung von Brennstoffdampfgemisch von 450°C wegen der Selbstentzündungsgefahr nicht ratsam ist, wenn nicht die Lagerung und Förderung des Brennstoffes aus elastischen und zugleich wärmefesten Beuteln gelingen sollte.

Für Triebwerke einfachster Bauart hat sich trotz des verhältnismäßig hohen spezifischen Verbrauchs von 9,3 g/kg s das T-Z-Stoff-System für viele Fälle bewährt. Die Anwendung verliert sich allerdings, wie schon vorher gesagt, für einfache Geräte mit Lagerzeiten von über 6 Monaten, insbesondere bei kleinen Einheiten. Es ist aus diesem Grunde dem Pulver und anderen Sauerstoffträgern unterlegen, jedoch für den Einsatz von Gleitbomben, die vor dem Einsatz auf dem Flugplatz betriebsklar gemacht werden können, sowie alle Arten von Versuchsantrieben, Modellraketen, Flugmodellen usw. hat sich dieses System ein weites Anwendungsgebiet erobert. Es sind Triebwerke in allen Größen von 10 kg bis 60-t-Schub konstruiert worden, bei denen heute mit großer Sicherheit das Gelingen des ersten Versuchs zugesagt werden kann, während dies bei Geräten mit Verbrennung im allgemeinen nicht der Fall ist.

In der nächsten Abbildung ist das Schaltschema eines Gleitbombenantriebes gezeigt, das sich im Prinzip mit dem ersten Schema der vorigen Abbildung deckt:

Schema Gerät 109-507 B-1

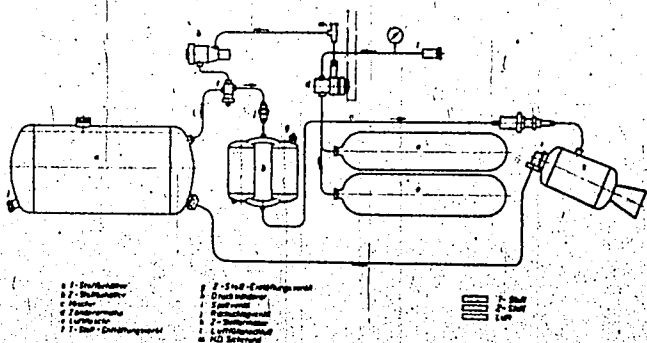


Abb. 7

Schaltschema: Gleitbombenantrieb
T-Z-Stoff

Luftförderung über Zündventil, Druckminderer, Verteiler auf zwei Behälter für T- und Z-Stoff, Schubbildung in dem Zersetzer mit Düse. Der Gesamtimpuls dieses Gerätes mit reiner T-Stoff-Zersetzung beträgt bei 600 kg Schub über reichlich 10 s 6400 kg s. Dabei wiegt das leere Gerät 68 kg, d. h. 10,6 g/kg s. Daraus ergibt sich zusammen mit dem spezifi-

sehen Treibstoffverbrauch von 10 g/kg s ein Gesamtgewichtsaufwand von 20,9 g/kg s. Unser gebräuchlichstes Zündventil wird ohne bewegliche Teile gebaut. Der Hochdruckteil ist vom Niederdruckteil durch eine Reißmembran getrennt. Diese wird in der Mitte beiderseits von einem Rohr berührt, durch das nach Auslösung eines Zünders die Druckwelle der Pulverladung den Kern des Reißbleches herausstaut, wonach der übrige Teil der Membran unter dem Hochdruck aufklappt und sich an die Wände anlegt. Somit ist ein freier Durchgang ohne bewegte Teile von höchster Sicherheit geschaffen.

Zu 2. Bei Kurzzeittriebwerken mit wiederholbarem Einsatz sind naturgemäß die Konstruktionsgrundsätze vollkommen andere: während bei langlagernden Verlustgeräten das Hauptaugenmerk auf die Lagerbehälter zu richten ist und die übrigen Teile nur für einen einmaligen Betrieb ausgelegt werden, treten hier Anforderungen an das Behältermaterial mehr in den Hintergrund vor der Ausbildung der Schaltgeräte, Füllvorrichtungen und anderen Verschleißteilen, Auswechselbarkeit von Einzelteilen und Baugruppen, Kontrollgeräten usw. Das Schaltschema kann in den meisten Fällen ähnlich wie im vorher geschilderten Fall aussehen.

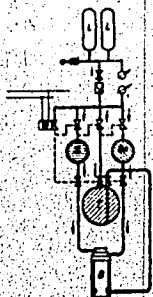


Abb. 8
Kurzzeittriebwerk für
wiederholten Einsatz
0 bis 2000 kg

Die Preßluftförderung hat auch hier Vorteile für die einfache Gestaltung und den Betrieb des Geräts. Die Luftflasche ist mit Füllvorrichtungen ausgerüstet. Das Auslöseventil ist elektromagnetisch betätigt, die Reißbleche durch Rückschlagventile ersetzt. Die Förderfolge und der Verbrennungseinsatz werden in einer Sicherheitsschaltung gesteuert. Geräte dieser Art sind die Starthilfen, Torpedos (mit wiederholbarem Einsatz wegen der notwendigen Einschleßversuche und Probelaufe). Weiter gehören hierher auch die Schleuderantriebe und Gleichdruckgeschütze.

Da bei derartigen Geräten der apparative Aufwand höher sein darf, kann hier der Ersatz der Luftförderung, die für die Füllung der Geräte eine umfangreiche und kostbare Kompressorstation erfordert, durch eine Druckgaserzeugung in Erwägung gezogen werden. Der einfachste Fall einer Druckgaserzeugung ist in der nächsten Abbildung dargestellt.

Auf der Abbildung a läuft der T-Stoff aus dem Behälter nach Öffnung des Ventils unter dem Einfluß der Schwerkraft in den Oberflächenzer-setzer und wird in Dampf umgesetzt. Da dieser Dampf genügende Rein-

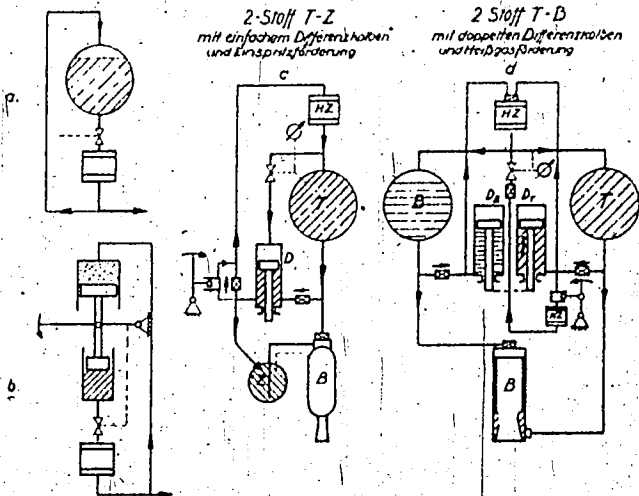


Abb. 9
 Druckgaszerzeugung aus T-Stoff
 Kurzzeittriebwerk für wiederholten Einsatz F 29 1009
 0 bis 2000 kg

heit besitzt, kann er direkt auf den Behälter als Fördergas zurückgeleitet werden. Der Druck kann prinzipiell beliebig hoch gesteigert werden, wobei jedoch eine Grenze durch die Aufheizung des T-Stoffes durch den Dampf gesetzt ist, die bei kurzen Vorgängen allerdings nicht gefährlich zu werden braucht. Das Tempo der Druckbildung ist andererseits begrenzt durch die statische Zulaufhöhe des T-Stoffspiegels und die Widerstände in der Zulaufleitung. Die Weiterentwicklung dieses Fördergedankens führt somit zur Trennung des T-Stoff- und Dampftraumes und zur Anwendung des Differenzkolbenprinzips, wie in Abbildung b dargestellt:

Nach Öffnen des Ventils wird durch Hand, Feder oder eine andere Hilfskraft der Prozeß durch Einspritzen einer geringen Menge T-Stoffes in den Zersetzer eingeleitet, wonach je nach dem Verhältnis der Kolbendurchmesser die T-Stoff-Förderung mehr oder weniger schnell durchgeführt wird. Der Apparat arbeitet ähnlich wie eine Duplex-Dampf-pumpe und kann durch Anordnung sinngemäßer Pumpen- und Dampf-

ventile für kontinuierlichen Betrieb brauchbar gemacht werden. Als Antrieb für ein automatisches Dampfdruckgeschütz haben wir ohne Schwierigkeiten 30 Druckerzeugungsperioden in der Minute erreicht, was ohne Zweifel noch weiter gesteigert werden kann.

Da bei größeren T-Stoffmengen natürlich ein bedeutender Umfang des Förderkolbens notwendig wird, was zu unbequemen Bauformen und vor allem wegen der notwendigen Abdichtung des Kolbens zu Lagerschwierigkeiten führt, ist eine Hilfsdampferzeugung nach diesem Prinzip zu erwägen, wie in Abbildung dargestellt. Hier wird der durch die Differenzpumpe geförderte T-Stoff nicht als Arbeitsdampf, sondern nur als Mittel zur Förderung der Haupt-T-Stoffmenge ausgenützt, der nun wiederum entweder ganz in einem Oberflächenzersetzer oder mittels durch Einspritzverfahren geförderten Z-Stoff zersetzt werden möge.

Die Einleitung kann auch hier durch zusätzliche Einspritzung von Hand, Feder, Pulverdruck o. ä. bewirkt werden, während die Füllung des Hilfskolbens gegebenenfalls erst bei Inbetriebnahme des Geräts zu erfolgen braucht. Die Anwendung dieses Prinzips für die Schleudergaserzeugung ist vorgesehen und in Entwicklung auch für den Zweistoffbetrieb mit Verbrennung, für den das Schaltschema nach Abbildung d erweitert werden müßte. Da es sich hier um sehr kurzzeitige Vorgänge, etwa 0,5 s handelt, kann die Förderung bei heißen Gasen ohne Gefahr durchgeführt werden. Es entsteht dabei, wie ersichtlich, eine Doppelkolbenanordnung für die Förderung der zwei Komponenten zum Hilfszersetzer, wobei der Förderbeginn wieder entweder durch reinen T-Stoffdampf, Pulvergas oder Handkraft erfolgt. In der Skizze ist als Verbraucherstelle eine Brennkammer gezeichnet, die natürlich auch durch den Verbrennungsraum einer Schleuder ersetzt werden kann.

Die nächste Abbildung zeigt den Schnitt durch eine Starthilfe. Hier ist in Leichtbauweise, jedoch mit allen Sicherheitselementen ausgerüstet, das Aggregat als Luftwaffengerät gestaltet. Als leichtester Druckbehälter würde die Kugelform gewählt. Sie wird sowohl ohne als auch mit Verbrennung ausgeführt.

Bei 1500 kg Schub über 30 s beträgt der Gesamtimpuls 45 000 kg s. Dabei wiegt das leere Gerät 250 kg, d. h. 5 g/kg s. Das ergibt zusammen mit dem spezifischen Treibstoffverbrauch von 5,7 g/kg s einen Gewichts-aufwand von insgesamt 10,7 g/kg s.

Die nächste Abbildung zeigt einen Strahltorpedo (Lt 1500) ebenfalls nach dem T-Stoff-Z-Stoff-Brennstoffsystem. Bei einem Schub von 800 kg über 106 s beträgt der Gesamtimpuls 84 800 kg s. Das Leergewicht ohne Sprengstoff beträgt 818 kg oder 9,65 g/kg s, d. h. zusammen mit dem spezifischen Treibstoffverbrauch von 5,5 g/kg s ein Gesamtgewichtsaufwand

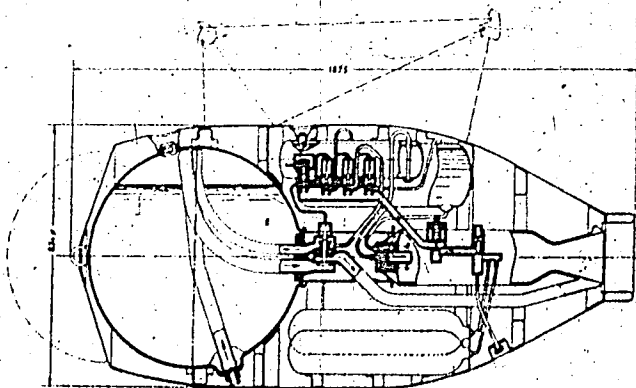


Abb. 10
Starhülle

von 15,18 g/kg s. Dies verhältnismäßig hohe Gewicht ist bedingt durch die schwere Konstruktion der Hülle, die den Beanspruchungen beim Abwurf gewachsen sein muß.

Die nächste Abbildung zeigt einen Schleudierantrieb, der allerdings kein Strahltriebwerk im direkten Sinne darstellt, jedoch ein kennzeichnendes Gerät für einen ortsfesten Dampfstrahlerzeuger mit kurzer Betriebszeit ist. Als zusätzliches Problem ist hier die Erzeugung einer über die vorgeschriebene Betriebszeit quadratisch ansteigenden Dampfmenge

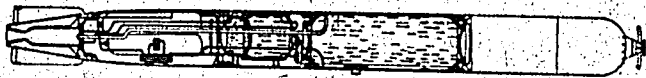


Abb. 11
Unterwasser-Triebwerk LT 1500
T-B-Z-Stoff = 800 kg = 60 sec

gestellt, das durch gestaffelten Einsatz verschiedener Zerstäuberdüsen gelöst worden ist. Durch elektromagnetische Auslösung eines Luftsteuer-ventils wird ein Hochdruckluftventil geschaltet, das den Luftstrom über eine Pufferflasche zu dem Treibstoffbehälter freigibt. Aus dem ersten Behälter führen verschiedene lange Zuleitungen zu den Zerstäuberelemen-

ten, so daß die Flüssigkeiten zu verschiedenen Zeiten dort ankommen. Weiter wird eine Menge durch ein drittes Steigrohr in einen zweiten, zunächst leeren Behälter gedrückt, aus dem zuerst die Förderluft durch Auffüllung des Behälters verdrängt werden muß, wobei die Förderung durch ebenfalls verschiedene Leitungen allmählich einsetzt. Gleichzeitig mit der T-Stoff-Zufuhr hat auch eine reichliche Z-Stoff-Zufuhr eingesetzt. Spezifische Verbrauchswerte hier anzugeben hat keinen Sinn. Die Dampferzeugung geht direkt im ständig wachsenden Zylinderraum vor sich. Es werden hier etwa 65 kg T-Stoff in 0,5 s zersetzt.

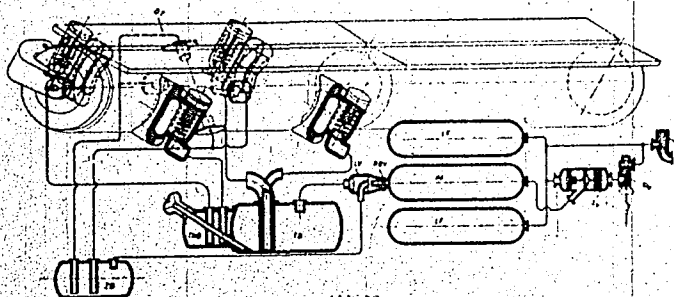


Abb. 12
Schalt-schema

Zu 3. Von gewissen Betriebszeiten an verbietet sich die Anwendung von Druckförderbehältern, und es muß zur Pumpenförderung übergegangen werden. Damit wird die Pumpenförderung zum Hauptkennzeichen für die Dauertriebwerke.

Als typisches Beispiel eines Dauertriebwerks ist das des R-Jägers zu nennen, für das eine Schubleistung, regelbar in den Grenzen von 150 bis 1500 kg über mehrere Minuten gefordert wurde. Diese ist von uns in einer Erprobungsausführung mit dem T-Stoff-Z-Stoff-Verfahren (mit einem spezifischen Verbrauch von 9,5 g/kg s) und in seiner endgültigen Form nach dem T-Stoff-C-Stoff-Verfahren (d. h. T-Stoff mit Hydrazinhydrat-Methanol-Verbrennung mit einem spezifischen Verbrauch von 5,5 g/kg s) ausgeführt.

Neben der Ausbildung der eigentlichen Strahldüse mit Zersetzungs-brennkammer für den gesamten Schubereich stellt das Hauptproblem der Betrieb der Förderpumpen und die Regelung der Fördermengen dar. Die Förderung der Treibstoffe erfolgt am zweckmäßigsten durch hoch-

tourige Zentrifugalpumpen mit dem T-Stoff-Dampfturbinenantrieb, die für den besonderen Zweck entwickelt worden sind bzw. in Entwicklung stehen. Die Regelung der Fördermengen kann grundsätzlich entweder durch Regelung der Drehzahl und des Förderdrucks oder durch Drosselung des konstanten Pumpenförderdrucks auf den Brennkammerbetriebsdruck gesehen. In beiden Fällen ergibt der Antrieb mit dem T-Stoff-Hilfsantrieb eine einfache Lösung der Aufgabe. Der grundsätzliche Aufbau dieses Hilfsantriebs ist aus der nächsten Abbildung ersichtlich.

Eine Turbine T , die durch irgendein Mittel, z. B. einen Anlaßmotor, auf eine gewisse Tourenzahl gebracht wird, treibt eine T-Stoff-Pumpe an. Aus der Druckleitung wird ein Zweigstrom entnommen und über ein Regelventil in den Hilfszersetzer, zweckmäßigerweise in einen Oberflächenzersetzer, geführt, in dem bei bestimmter Konzentration (80 %) nur ein Dampf ganz bestimmter Temperatur (175° C) entstehen kann, der die Turbine antreibt. Die Charakteristik der Pumpe und Turbine ist so gewählt, daß der Pumpendruck stets um annähernd den gleichen Betrag über dem Turbinenbetriebsdruck liegt, so daß über den ganzen Bereich eine Förderung von T-Stoff zum Hilfszersetzer möglich ist. Jedem Drosselwert des Regelventils ist dann ein bestimmter Betriebszustand zugeordnet. Das Regelventil kann entweder von Hand, von einem Drehzahlregler oder durch den Förderdruck gesteuert werden. Zum Stillsetzen der Anlage wird das Regelventil oder ein besonderes Absperrventil geschlossen.

In der zweiten Figur ist ein Hilfsantrieb mit Handregelgerät gezeigt. Zum Anfahren wird aus einer Anfahrflasche A T-Stoff entnommen, der über eine besondere kleine (nicht angezeichnete) Anfahrflutflasche unter

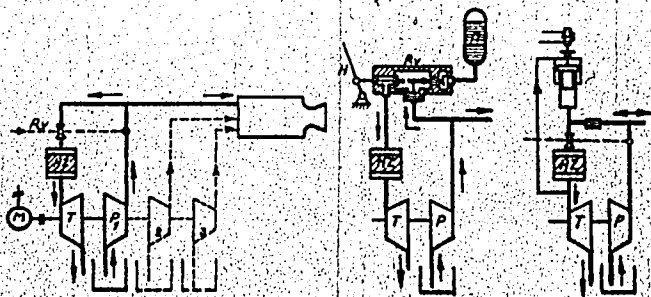


Abb. 13

Regelbares Dauertriebwerk (Walter-Hilfsantrieb)

Druck gesetzt werden kann, indem mit dem Hebel H über den linken Ventilkegel und den Stößel der rechte Rückschlagkegel geöffnet wird und damit der Strom von A zum Hilfszersetzer HZ freigegeben wird. Die Turbopumpe läuft an, und unter dem Förderdruck fließt nun über das mittlere Rückschlagventil T-Stoff zum Regelgerät, wobei der Stößel angelüftet und der Kraftschluß zwischen dem linken und rechten Kegel beseitigt wird, worauf letzterer als reines Rückschlagventil weiterarbeitet. Der T-Stoff aus der Druckleitung fließt nun einerseits dem Hilfszersetzer zu, andererseits der Anfahrflasche, die somit bis zum höchsten während einer Arbeitsperiode erreichten Förderdruck aufgefüllt wird. Die Anlage ist somit nach jedem Abschalten stets betriebsbereit. Die Betätigung des Hebels kann selbstverständlich auch indirekt, z. B. durch Druckluft, Drucköl oder Ähnliches, erfolgen.

Steht zum Anwerfen der Anlage keine starke Stromquelle zur Verfügung, kann auch die dritte Schaltung angewendet werden, wobei die Anfahrmenge nach dem Differenzkolbenprinzip mit Magnet-, Pulvergas- oder Federkraftauslösung gefördert wird.

Der große Vorzug dieses Hilfsantriebs besteht darin, daß der Hilfskreislauf nur einen Treibstoff zu seinem Betriebe und damit nur ein Regelgerät benötigt, während die Betriebstemperatur absolut konstant bleibt und der Dampf vollkommen sauber und ungefährlich ist. Die Inbetriebnahme ist äußerst einfach und kann ohne zusätzliche Betriebsmittel erfolgen.

An das Turbopumpenaggregat können selbstredend weitere Pumpen angeschlossen werden, wodurch unter Voraussetzung gleicher Fördercharakteristik schon ein Vielstofftriebwerk ohne weitere Regelgeräte zwischen Pumpe und Brennkammer möglich wäre.

Die nächste Abbildung zeigt das Schema des ersten R-Jüger-Triebwerks mit einfacher T-Stoff-Z-Stoff-Zersetzung. Der Hilfskreislauf wurde nach dem Schema der vorigen Abbildung mit Anfahrntank (ohne elektrische Armaturen) ausgebildet. In den beiden Hauptleitungen sind Abschaltventile eingeordnet, die gegenseitig vom Druck der anderen Leitung beeinflusst werden, so daß beim Ausfall einer Komponente die andere ebenfalls abgeschaltet wird. Die nächste Abbildung zeigt die Ansicht dieses Triebwerks. Bemerkenswert ist dabei die Ausbildung des Zersetzers, der zur Verlagerung des Schwerpunkts nach vorn mit einer extrem langen Düse bei kleinstem Zersetzerraum ausgeführt wurde. Im letzteren wird die Zersetzung nur unvollkommen eingeleitet, während sie beim Fluß der Stoffe durch die lange Düse vollendet wird. Die Abnahme des Wirkungsgrades ist hierbei unbedeutend, die Schwerpunktsverlagerung jedoch äußerst angenehm. Dieses Gerät stellt als Modelltriebwerk wegen der

hohen Betriebssicherheit, geringen Brandgefahr und wegen der anderen bereits aufgezählten Vorzüge dieses Systems ein ideales Erprobungsgerät dar. Mit ihm konnten die ersten Höchstgeschwindigkeitsflüge und Steigflüge und ein ausgedehntes Versuchs- und Schulungsprogramm durchgeführt werden. Bei einem Gesamtgewicht (ohne Treibstoffbehälter) von nur 75 kg kann bei der Höchstgeschwindigkeit immerhin eine Vortriebs-

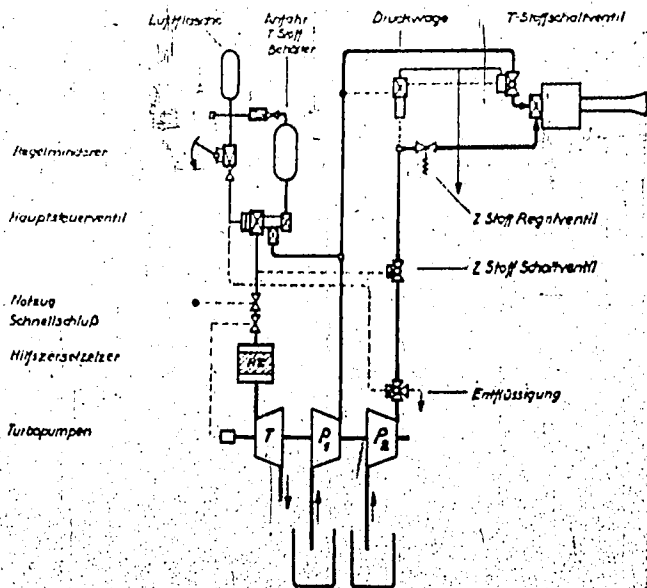


Abb. 14

Regelbares Dauertriebwerk R 11 003 b
0 bis 750 kg

leistung von 3000 PS (750 kg bei 300 m/s) abgegeben werden. Das entspricht einem Leistungsgewicht von nur 25 g/PS eff. Der hohe spezifische Verbrauch von 10 g/kg s verbietet naturgemäß seinen Einsatz als Frontgerät, für das nur das heiße Triebwerk in Frage kommt, welches in der nächsten Abbildung gezeigt wird.

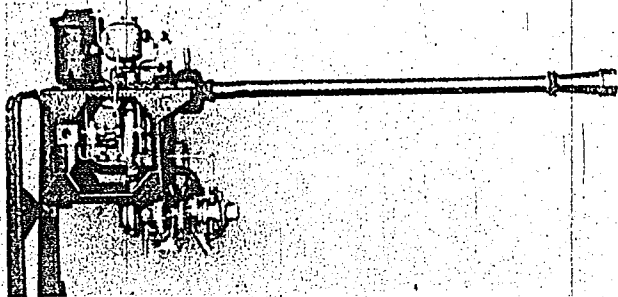


Abb. 15
 Regelbares Triebwerk R II 203 b
 T-C-Stoff, 0 bis 1500 kg

Unten ist das Turboaggregat mit den beiden Treibstoffpumpen in der eben besprochenen Hilfskreislaufschaltung erkenntlich. Das Aggregat wird durch einen elektrischen Anlaßmotor über eine Freilaufkupplung oder ein Getriebe, an das Drehzahlgeber und Luftkompressor ebenfalls angeschlossen sein können, angelassen.

Nach Erreichung eines bestimmten Druckes in der C-Stoff-Leitung werden von diesem zwei Absperrventile in den Hauptleitungen für C- und T-Stoff geöffnet, ferner Entflüssigungsventile am Brennkammerkühlraum geschlossen. Letzteres ist notwendig, um nach dem Abstellen ein Nachbrennen des aus den Leitungen nachlaufenden Brennstoffes in der Brennkammer zu verhindern, da die hierbei entstehende Flamme keine Eigenenergie besitzt und durch die Luftzirkulation am Heck des Flugzeugs ohne Schub in den Rumpf oder an das Leitwerk geraten könnte. Nach dem Öffnen der Schaltventile fließt der C-Stoff zunächst in den Kühlraum der Brennkammer und von dort zum dreistufigen oder mehrstufigen Schaltgerät, das durch den Hauptfahrhebel betätigt wird. Der T-Stoff fließt inzwischen vor die Druckwaage. Jede Zuschaltung einer C-Stoff-Düsengruppe veranlaßt über die Druckwaage die Zuschaltung einer entsprechenden T-Stoff-Düsengruppe.

Die Brennkammer ist als Kugelraum ausgebildet mit einer Laval-Düse konstanten Querschnitts, da sich der Bau einer veränderlichen Düse aus kühltechnischen Gründen verbietet. Das Düsenöffnungsverhältnis kann naturgemäß nicht für alle Betriebszustände, insbesondere während des

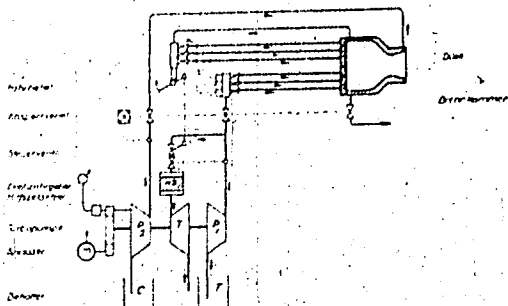


Abb. 16
Regelbares Dauertriebwerk RH 211
0 bis 1500 kg

Steigfluges, passend gewählt werden. Es ist daher für den Betrieb mit Vollschub in Bodennähe und damit ebenfalls für den Betrieb im Schnellflug in großer Höhe ausgelegt, da diese beiden Betriebszustände für den Gesamtverbrauch maßgebend sind. Die Kühlung der Brennkammer erfolgt durch den C-Stoff, der sich bei Vollschub um etwa 100° erwärmt. Eine Kühlung durch den T-Stoff ist ebenfalls möglich, erfordert jedoch nach dem Abstellen eine zuverlässige Entflüssigung.

Die Zerstäubung der beiden Treibstoffe erfolgt in drei Gruppen mit je drei Paaren konzentrisch angeordneter Zentrifugalspaltdüsen, die für diesen Zweck besonders entwickelt wurden. Eine weitere gute Möglichkeit der Verbrennung besteht in dem Vorkammerverfahren, bei dem in einer Vorkammer etwa $\frac{1}{10}$ der Haupttreibstoffmenge als Zündflamme verbrannt wird, die dann die durch verhältnismäßig grobe Lochdüsen eingespritzte Hauptmenge zerstäubt und sicher zündet.

Das Triebwerk ist außer den Haupttreibstoffbehältern, die im vorderen Rumpf und in den Flügeln untergebracht sind, zu einer Einheit mit Dreipunktaufhängung vereinigt, wie die nächste Abbildung zeigt.

Bezüglich der T-Stoffbehälter ist noch zu bemerken, daß diese nach Art der beschußsicheren Benzinhälter ebenfalls beschußsicher ausgeführt werden können, indem die Wandungen aus mehreren Schichten mit zum Teil quellfähigen Stoffen ausgebildet werden (bei entsprechendem Gewichtszuwachs).

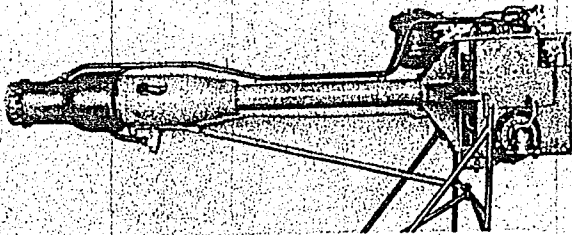


Abb. 17
Regelbares Dauertriebwerk R II 211
T.C-Stoff. 0 bis 1500 kg

Die an das Triebwerk gestellten Forderungen sind in Abnahmeversuchen eingehalten worden. Das Triebwerksgewicht beträgt 165 kg. Bei einem Schub von 1500 kg bei 300 m/s würde sich eine Leistung von 6000 PS ergeben. Damit errechnet sich ein Leistungsgewicht von nur 27,5 g/PS eff.

Das Anwendungsgebiet dieses Triebwerks wird nach seiner Erprobung wahrscheinlich nicht auf den Jäger beschränkt bleiben, und es zeichnen sich heute schon neue Anwendungsmöglichkeiten ab.

Zu 4. Wurde bisher nur der reine Treibstrahl behandelt, möge jetzt noch einiges über den Mischstrahl und das kombinierte Strahltriebwerk gesagt werden.

Die Luftzumischung zum Treibstrahl zum Zwecke der Schubvermehrung — das Melot-Prinzip — ist bekannt und vielfach untersucht worden. Es wurden auch von uns Versuche durchgeführt, die einen Schubzuwachs im Stand von 150% ergeben haben. Da diese Werte jedoch nur mit einem umfangreichen zusätzlichen, wenn auch leichten Apparat erreicht werden können, hat sich die Einführung solcher Mischdüsen bisher noch nirgends als zweckmäßig erwiesen.

Wichtiger und wertvoller scheint der Mischstrahl auf dem Gebiete der Strahlabsaugung und Verdichtung zu werden, z. B. zum Zwecke der Grenzschichtbeeinflussung oder bei Luftstrahlgeräten zur Durchführung der Luftverdichtung beim Start und zur Nachverdichtung während des Betriebes zur Leistungssteigerung. Untersuchungen über die Anwendungsmöglichkeiten auf diesem Gebiete laufen zur Zeit und haben schon

brauchbare Resultate gezeitigt. Weiter könnte der Mischstrahl zum Betriebe von in kürzester Zeit und mit einfachsten Mitteln zu erstellen den provisorischen Windkanälen für Sonderzwecke angewandt werden.

Auch bei diesen Triebwerken wird zunächst der T-Stoff-Z-Stoff-Strahl und der erwähnte Hilfsantrieb seiner Einfachheit und Betriebssicherheit wegen eingesetzt. Ein für systematische Untersuchungen sehr geeignetes Verfahren, insbesondere dann, wenn bestimmte Strahltemperaturen verlangt werden, stellt das sogenannte „Verfahren 3c“ dar, das darin besteht, daß T-Stoff und Hydrazinhydrat in gleichprozentigen Lösungen mit Wasser angewandt werden, z. B. 80% T-Stoff + 80% B-Stoff. Dabei ergibt sich zufällig für das stöchiometrische Verhältnis annähernde Volumengleichheit und ein konstantes Gewichtsverhältnis von etwa 0,73. Damit wird erreicht, daß mit ein und derselben Versuchsapparatur ohne Auswechseln von Düsen bei gleichen Drücken unbedingt zuverlässig bestimmte Temperaturen erreicht werden können, die durch die Wahl der Konzentration festgelegt sind. Hierbei sind Zündungen bis zu 45%iger Lösung herab noch möglich.

In der gegebenen Übersicht wurde die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten des T-Stoffes auf dem Gebiet der Rückstoßantriebe aufgezeigt. Wenn er im Bereich der Kurzantriebe auch stark mit der Konkurrenz der Pulverantriebe und anderer Sauerstoffträger zu kämpfen hat und zum Teil klar unterlegen ist, so erweist sich für Versuchsantriebe und insbesondere auf dem Gebiete der regelbaren Triebwerke wegen seiner günstigen spezifischen Eigenschaften als Treibstoff und der Einfachheit und Sicherheit seiner Triebwerke als bestens geeignet.

Dem unermüdlichen Fleiß aller Mitarbeiter, der führenden Unterstützung durch die Amtsstellen, der willigen Förderung durch Forschungsstellen und nicht zuletzt dem Einsatz der Versuchspiloten ist es zu danken, daß heute Triebwerke zur Verfügung stehen, von denen zuversichtlich ausgesprochen werden darf, daß sie sich im Einsatz an allen Fronten bewähren werden, noch mehr als sie es in einigen Fällen schon getan haben.