

I 240 Va

224

Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 565.

Geheim

Nitroalkyle als Kraftstoffe.

Zusammenfassung. Bei Betrieb von Motoren in großen Höhen oder unter Wasser muß ihnen nicht nur Kraftstoff, sondern auch der zum Verbrennen erforderliche Sauerstoff zugeführt werden. Hierbei können entweder dieser selbst oder geeignete Verbindungen, wie z.B. N_2O oder H_2O_2 , zur Anwendung kommen. Es wird gezeigt, daß auch die vorerst nur in geringen Mengen erzeugten Nitroparaffine gute Leistungsfähigkeit besitzen. Es wird dies belegt durch Vergleiche der Gemischheizwerte, des Aufwands in Gewicht und Raum, der Verbrennungstemperaturen und anderer Größen.

Die Klopfestigkeit der Nitroalkyle beträgt etwa 70 OZ, sie kommen deshalb für Hochleistungs-Otto-Motoren solange nicht in Betracht, bis geeignete Klopfbremsen gefunden sind. Bleitetraäthyl und Eisenkarbonyl sind nicht wirksam.

Die Cetanzahl beträgt etwa 15, sodaß sie in Dieselmotoren mit Strahl-einspritzung nicht verwendet werden können. Ihre Eigenschaft, sich an Flächen von 5 - 600° zu entflammen, ermöglicht aber ihre Anwendung in Vorkammer-Maschinen. Die Versuche ergaben eine beträchtliche Verbesserung der Leistung und der Verbräuche gegenüber Kohlenwasserstoffen.

Nitroalkyle sind geeignet als Höhenkraftstoffe für TL-Triebwerke. Die erwähnte leichte Entflammbarkeit kann zur Zündung der TL-Triebwerke mit Nitroalkylen als Anlaßkraftstoff ausgenutzt werden.

766

Abgeschlossen am: 6.3.1944.L.

Bearbeiter: Obering. Dr. Penzig

Penzig

Die vorliegende Ausfertigung 10 enthält

17 Textblätter

7 Bildblätter

Inhaltsverzeichnis.

- A) Einleitung, allgemeine Eigenschaften und Herstellung der Nitroalkyle Seite 3-5
- B) Leistungsfähigkeit der Sauerstoffträger und Nitro-Kraftstoffe, Heizwerte, Volumenvermehrung, Verbrennungstemperaturen Seite 5-10
- C) Zündverhalten der Nitro-Kraftstoffe an heißen Flächen Seite 10-11
- D) Verhalten der Nitro-Kraftstoffe im Motor Seite 12-14
- E) Dieselmotor-Versuche mit N-Propan Seite 14-15
- F) Kreislaufbetrieb mit Nitro-Kraftstoffen Seite 15-16.

Die Anregung, die Nitro-Alkyle als Motor-Kraftstoffe eingehender zu untersuchen, ging von Herrn Dr. Roth aus. Die Nitro-Kohlenwasserstoffe wurden von Herrn Dr.v.Schickh (Z.K.-Labor 2) zur Verfügung gestellt. An der Durchführung der Versuche waren weiterhin beteiligt die Herren Dr.Dimroth, D.Chem.Grünwald, Dipl.Ing.Köhler, Dipl.Ing.Witschakowski und D.Chem.Worliezek.

Nitroalkyle als Kraftstoffe.

A) Einleitung.

Die Leistung eines Verbrennungsmotors ist abhängig von der durchgesetzten Sauerstoffmenge und damit bei Flugmotoren abhängig von der Leistungsfähigkeit des vorgesehenen Gebläses. Es erscheint nun wünschenswert, wenigstens kurzzeitig über diese Begrenzung hinaus dem Motor weiteren Sauerstoff zuzuführen, um so entweder vorübergehend höhere Leistungen zu erzielen oder größere Höhen aufsuchen zu können.

Es besteht also die Notwendigkeit, Sauerstoff entweder als solchen oder in Form einer chemischen Verbindung, z.B. des N_2O mitzuführen. Die vom Gebläse angesaugte Luft wird dann mit Sauerstoff oder Sauerstoffträgern angereichert. Hierbei ist noch als grundsätzlich zu beachten, daß beim Betrieb mit erhöhtem Sauerstoffgehalt die Verbrennungstemperaturen steigen und hierdurch die höchste zulässige Leistung des Motors beschränkt wird, sofern nicht Abgase beigemischt werden. N_2O bringt dagegen Stickstoffballast mit und enthält 36 Gew.-% Sauerstoff.

Während Sauerstoff, N_2O und H_2O_2 , ausschließlich Sauerstoffe für die normalen Kraftstoffe liefern, gibt es gewisse Kraftstoffe, die selbst einen Teil ihres zum Verbrennen notwendigen Sauerstoffs bei sich tragen. Solche Stoffe sind die Nitroparaffine und Nitroaromaten. Da bei diesen Stoffen ein ganzes Mol Sauerstoff angelagert ist, so ist der Beitrag zum gesamt benötigten Sauerstoff nicht unerheblich und umso größer, je kleiner das gesamte Molekül ist. Im Höchstfall, bei Nitromethan, wird die Hälfte des zum Verbrennen des C und H benötigten Sauerstoffs aus eigenem Bestand gedeckt. (Zahlentafel 1)

Zahlentafel 1.

		Wichte kg/ltr.	$\frac{K.P.}{C}$	Eigener O_2
Nitromethan	CH_3NO_2	1,15	102	57
Nitroäthan	$C_2H_5NO_2$	1,06	114	31
Nitropropan	$C_3H_7NO_2$	1,02	118...131	21
Nitrobutan	$C_4H_9NO_2$	0,97	138...159	16
Nitrobenzol	$C_6H_5NO_2$	1,20	211	14

Die Nitroparaffine, die hier am meisten interessieren, sind Flüssigkeiten, die bei 100 bis 130° sieden und eine Dichte etwa bei 1 haben. Sie sind auch bei sehr tiefen Temperaturen flüssig mit der merkwürdigen Ausnahme, daß das Anfangsglied der Reihe, Nitromethan, schon bei -29° erstarrt.

Die Löslichkeit mit Kohlenwasserstoffen ist umso schlechter je kleiner das Molekül ist, sodaß Nitromethan und Nitroäthan wohl mit Äthern, nicht aber mit Benzinen gemischt werden können. Nitropropan und -butan sind mit Benzin dagegen nicht mit dem höhersiedenden Dieselöl mischbar. Nitroalkyle nehmen bei Raumtemperatur etwa 0,5 Wasser auf. Die Nitroalkyle sind als schwache Säuren anzusehen. Die p_H -Werte gesättigter wässriger Lösungen sind in folgender Zahlentafel angegeben.

Zahlentafel 2.

Tetranitromethan	$p_H = 2,5$
Nitromethan	$= 3,5$
Nitroäthan	$= 4,6$
1 Nitropropan	$= 4,8$
2 Nitropropan	$= 4,7$
Nitrobutan	$= 4,8.$

Es geht aus dieser Aufstellung hervor, daß die p_H -Werte umso niedriger sind je kleiner das Molekül ist. Zum Vergleich wurde auch Tetra-Nitro-Methan aufgenommen, das den niedrigsten p_H -Wert aufweist. Es war zu erwarten und wurde durch Versuche bestätigt, daß Metalle angegriffen werden. Am günstigsten scheint sich V2A, vernickeltes Messing, Aluminium, Kupfer und Eisen zu verhalten, wesentlich ungünstiger verhält sich Elektron. Anscheinend hat der Wassergehalt des Stoffes einen starken Einfluß, sodaß durch Trocknung eine Besserung zu erwarten ist.

Bei der Prüfung von Gummi- und Kunststoffsorten ergab sich im Vergleich zu Benzin eine gewisse Gegensätzlichkeit im Quell- und Lösungsvermögen. Bunaarten von befriedigendem Verhalten wurden gefunden. Von den Kunststoffsorten sind die Igamide, Oppanol, Zellstoff und Fibre brauchbar. Einbrennlacke, wie z.B. Luphen H sind beständig; weiterhin sind geeignet Lacke auf Grundlage von Igamid und Oppanol.

Über die Korrosionsversuche wird gesondert berichtet.

~~Miscalkyle~~ -und zwar vorwiegend Nitroäthan- werden z.Zt. nur im Werk Ludwigs-
hafen in einer Technikum-Apparatur des Z.K.-Labors Z (Dr.v.Schiokh) kiloweise
hergestellt. Eine halbtechnische Versuchsapparatur wird im Rahmen des PSV-
Programms erstellt. Als Ausgangsprodukte werden verwendet gasförmige Paraffine
und verdünnte Salpetersäure, wie sie durch Absorption von nitrosen Gasen in
Wasser erhalten wird.

B) Leistungsfähigkeit der Sauerstoffträger und Nitro-Kraftstoffe.

Für die Leistung eines Motors ist maßgebend der Gemischheizwert,
d.h. die Energiemenge, die in einem Raunteil Gemisch von beispielsweise stö-
chiometrischen Verhältnis enthalten ist. Vergleichen wir nun die folgenden
Kraftstoffe untereinander, so finden wir: ^{x)}

Zahlentafel 3.

(Kraftstoffvolumen unberücksichtigt).

	Heizwert kcal/kg	Luftbedarf kg/kg	Gemisch-Heizwert kcal/m ³
Heptan	10530	15,2	822
Methanol	4650	6,5	860
Heptan + 3 N ₂ O	4800	5,6	944
Heptan + 2 N ₂ O	5810	7,3	900
Heptan + 1 O ₂	7980	10,5	886
Nitropropan	4960	5,2	1012

Heptan, das hier als Stellvertreter des Benzins gelten soll, kann
in seinem Gemischheizwert um etwa 15% gesteigert werden, wenn der Luft N₂O in
etwa der 1,5-fachen Gewichtsmenge wie Kraftstoff, d.h. 3 Mol N₂O/Mol Kraftstoff
zugeführt wird. ^{xx)} Gleichzeitig wird eine Zerfallswärme von 20 000 kcal/kg-Mol

x) s.auch große Zahlentafel am Schluß des Berichtes.

xx) Im Bericht GK 019 lfd.Nr.1217/43 ^{von K&W} wird als Kraftstoffverbrauch bei 150 g/sec
GM 1-Zusatz mit eingeschalteter Anreicherungs-
hilfe 330 kg/h und mit Zusatz-
einspritzung von C 3 in den Ansaugschacht 410 kg/h, also durchschnittlich
etwa 100 g/sec, angegeben.

H_2O frei. Der Sauerstoff des H_2O wird erst bei der Zersetzung während der Verbrennung abgespalten. H_2O verhält sich dann etwa wie ein Stickstoff-Sauerstoff-Gemisch mit 36% Sauerstoff.

Infolge des geringen Luftbedarfs hat Methanol trotz seines schlechten Mischwertes einen recht guten Gemischheizwert. Die höchsten Gemischheizwerte werden mit Nitropropan erzielt. Sie liegen 23% über denen des Heptans und übertreffen auch die von Heptan bei Anwendung von H_2O .

Der Gemischheizwert ist in Zahlentafel 3 für alle Kraftstoffe unter der Annahme errechnet, daß der Kraftstoff im Vergleich zur Luft kein Volumen besitzt, was dann praktisch gegeben ist, wenn er sich in flüssigem Zustand befindet.

Die Volumenvermehrung, also die Vergrößerung der Anzahl der Mole durch die Verbrennung ist in Zahlentafel 4 dargestellt und zwar ebenfalls ohne Berücksichtigung des Kraftstoffvolumens.

Zahlentafel 4

(Kraftstoffvolumen unberücksichtigt).

	Gemischheizwert kcal/m ³	Volumen- vermehrung %
Heptan	822	7,6
Methanol	860	21,0
Heptan + 3 H_2O	944	10,3
Heptan + 2 H_2O	900	9,9
Heptan + 1 O_2	886	8,0
Nitropropan	1012	18,2

Die Volumenvermehrung ist am höchsten bei Methanol, aber auch bei H_2O -Propan ist sie beträchtlich höher als bei Heptan und Heptan+ H_2O .

Die in den Zahlentafeln 3 und 4 gemachte Annahme, daß der Kraftstoff unverdampft in den geschlossenen Brennraum gelangt, also einerseits kein Volumen beansprucht, andererseits aber auch der Einfluß der Verdampfungswärme auf die Wichte nicht vorhanden ist, trifft nur bei Dieselmotoren, Ottomotoren mit Einspritzung nach Schluß der Einlaßventile und bei Brennräumen der TL-Triebwerke zu. Beim üblichen Ottomotor wird stets ein Teil des Kraftstoffes verdampfen,

sodaß das Anfangsvolumen steigt und damit der Gemischheizwert sinkt.

Zahlentafel 5.

(Kraftstoffvolumen als Dampf gerechnet)

	A Gemischheizwert kcal/m ³	B Volumen- vermehrung %
Heptan	807	5,6
Methanol	754	6,1
Heptan + 3 N ₂ O	925	8,4
Heptan + 2 N ₂ O	962	7,7
Heptan + 1 O ₂	870	5,9
Nitropropan	960	11,9

In Zahlentafel 5 sind Gemischheizwerte sowie Volumenvermehrung unter der Voraussetzung gerechnet, daß der Kraftstoff restlos verdampft. Wir sehen, daß alle Werte und besonders die des Methanols beträchtlich kleiner werden. Die bei Ottomotoren tatsächlich vorliegenden Verhältnisse sind rechnerisch nur schwer zu erfassen, da das Ausmaß der Verdampfung ganz von der Wärmezufuhr, sei es durch Luftvorwärmung oder durch Saugrohrbeheizung, abhängt. Gleichzeitig spielen die von der Verdampfung beeinflussten Gemischtemperaturen eine bedeutende Rolle.

In Zahlentafel 6 sind die Gemischtemperaturen angegeben, die sich beim stöchiometrischen Verhältnis einstellen, wenn die Verdampfungswärme lediglich der Luft entnommen wird. Infolge der höheren Wichte erfahren dann auch die Angaben des Gemischheizwertes und der Volumenvermehrung eine entsprechende Änderung. Für Nitropropan konnten die Werte leider nicht angegeben werden, weil die Werte für die Verdampfungswärme dieses Stoffes fehlen. Für Heptan wurden 86 kcal/kg für N₂O 45 kcal/kg gerechnet.

Zahlentafel 6.

	Temp. des Gemisches °C	A Gemischheizwert kcal/m ³	B Volumen- vermehrung	Verdampf.- Wärme kcal/kg	Luft- bedarf kg/kg
Heptan	-9	880	15	86	15,3
Methanol	-10	930	29	290	6,4
Heptan + 3 N ₂ O	-32	1135	30		
Heptan + 2 N ₂ O	-23	1110	25		
Heptan + 1 O ₂	-17	1080	19		

Die tatsächlich erreichten Mehrleistungen mit N_2O sind beträchtlich höher. Die obigen Zahlen gelten nur für gleichen Druck der Gemische (735 mm Hg). Tatsächlich steigt der Ladedruck entsprechend der Wichte, die bei N_2O infolge der Abkühlung steigt, diese Erscheinung wird verstärkt dadurch, daß bei der praktischen Anwendung der zur Anreicherung benötigte Kraftstoff vor dem Lader eingespritzt wird und so durch Kühlung die Wichte im Lader erhöht. Sind nach der Rechnung in Zahlentafel 6 etwa 50% Mehrleistung zu erwarten, so werden tatsächlich 70% erreicht, da der Ladedruck um etwa 20% zunimmt.

Die Werte wurden unter der vereinfachten Annahme einer von der Temperatur unbeeinflussten spez. Wärme der Luft von 0,235 gerechnet. Als Ausgangspunkt wurden $15^\circ C$ angenommen. Die Dampfdrücke von Heptan und N_2O sind so groß, daß restlose Verdampfung erfolgen kann. Bei Methanol können nur 14% des Kraftstoffes verdampfen, es wird dann eine Temperatur von -10° erreicht, bei der infolge Absinkens des Dampfdruckes eine weitere Verdampfung nicht mehr möglich ist.

Die bisherigen Betrachtungen haben gezeigt, wie sich der Energiegehalt von Gemischen gleichen Volumens und gleicher Drücke verhält. Eine weitere Vergleichsmöglichkeit gewinnt man, wenn man die Energiemengen gegenüberstellt, die in einer gegebenen Luftmenge umgesetzt werden können. Diese als Luftheizwerte bezeichneten Größen sind in Zahlentafel 7 zusammengestellt.

Zahlentafel 7.

	Luftbedarf kg/kg	Heizwert kcal/kg	Luftheizwert			
			kcal/Mol Luft	kcal/m ³	kcal/kg Luft	
Heptan	15,2	10530	20150	822	694	100
Methanol	6,5	4650	20800	860	725	105
Heptan + 3 N_2O	5,6	4800	24000	1006	850	123
Heptan + 2 N_2O	7,3	6340	22950	940	792	115
Heptan + 1 O_2	10,4	7980	22100	906	764	110
Nitropropan	5,8	4960	24740	1012	854	123

↑
Energie pro Luftmenge

W.A.
-9-
Maritz

Es ist hier bemerkenswert, daß bei Verwendung von N_2O und Nitropropan etwa ein Viertel mehr Wärme aus der gleichen Luftmenge erzeugt werden kann als bei Heptan. Daß bei Sauerstoff eine geringere Menge umgesetzt wird, obgleich die Sauerstoffmenge die gleiche wie bei N_2O ist, hängt mit der Zersetzungswärme zusammen, die bei N_2O frei wird. Sie beträgt 20 000 kcal/kg Mol. Nitropropan erreicht höhere Luftheizwerte als Heptan + 3 N_2O . Es müßte also einem Zusatz von 150 g/sec GM 1 gleichwertig sein.

Einen weiteren Überblick kann man schließlich noch gewinnen, wenn man die Gewichte und Volumen vergleicht, die für 1000 kcal aufgewandt werden müssen.

Zahlentafel 8.

	Heizwert kcal/kg	Aufwand g/1000 kcal	Heizwert kcal/Ltr.	Aufwand cm ³ 1000 kcal	Wichte
Heptan	10530	95	7690	130	0,69
Methanol	4650	215	3675	272	0,79
Heptan + 3 N_2O	4800	208	4400	227	0,92
Heptan + 2 N_2O	6340	158	5480	183	0,87
Heptan + 1 O_2	7980	125	6080	165	0,76
Nitropropan	4960	202	5010	200	1,02

Die ungünstigsten Werte werden von Methanol erreicht. Nitropropan liegt zwischen Heptan + 2 und 3 N_2O . Unberücksichtigt ist hierbei freilich das Behältergewicht. Dieses beträgt für übliche Kraftstoffe etwa 10 bis 15 kg/100 Ltr., bei N_2O etwa 15 bis 25 kg/100 Ltr. und für flüssigen Sauerstoff ebenfalls schätzungsweise 15 bis 25 kg/100 Ltr. Da diese Zahlen nur angenähert gelten und es noch zu prüfen wäre, welcher Behälterschutz z.B. für Nitropropan anzuwenden ist, und da weiterhin bei N_2O -Betrieb nicht der Behälter, sondern auch die gesamte ziemlich umfangreiche Verteilungsanlage mitgerechnet werden müßte, soll auf einen Vergleich unter Berücksichtigung dieser Gewichte verzichtet werden. Man kann aber schätzen, daß der Betrieb mit Nitropropan etwa dieselben Gewichte erfordern wird wie der N_2O -Betrieb.

Die Verbrennungstemperaturen steigen im allgemeinen mit dem Gemisch- oder Luftheizwert.

Zahlentafel 9.

	Luftheizwert kg/kg	Verbr.Temp. °C
Heptan	694	2400
Methanol	725	2330
Heptan+3 N ₂ O	850	2610
Heptan+2 N ₂ O	792	2540
Heptan+1 O ₂	764	2530
Nitropropan	854	2600

Die in den Zahlentafeln 1 bis 9 enthaltenen Werte sind mit einigen Erweiterungen in der anhängenden Zahlentafel 15 zusammengestellt. Einige besonders kennzeichnende Daten sind auch auf den Blättern 1 bis 3 in Schaubildern dargestellt und zwar sind die N-Paraffine mit den normalen Paraffinen verglichen. Es ist weiterhin Heptan bei gleichzeitiger Anwendung von N₂O dargestellt. Schließlich sind noch einzelne Werte für N-Benzol, Heptan+1 O₂ und Methanol angegeben. Besonders aufschlußreich ist die Abhängigkeit der Verbrennungstemperatur vom Luftheizwert, dargestellt auf Blatt 3.

C) Zündverhalten der Nitroalkyle an heißen Flächen.

Beim Betrieb von Motoren mit Methanol treten Glühzündungen bei sehr viel tieferen Temperaturen der glühenden Flächen auf als dies bei Benzin der Fall ist. Um diese Erscheinung aufzuklären, wurden Kraftstoffnebel gegen eine elektrisch geheizte Drahtwendel geblasen. Es fand sich leider kein Mittel, den Zerfall des Methanols zu erschweren, es stellte sich aber heraus, daß die Nitroalkyle bei noch viel tieferen Temperaturen zerfallen. (vgl. Kurzbericht Nr. 385).

Benzinnebel werden leicht an einem Hochspannungsfunken entzündet, entflammen aber an heißen Flächen erst dann, wenn diese Temperaturen über 700° haben. Nitroalkyle dagegen zünden, da ihnen die Leichtflüchtigen fehlen, nicht besonders leicht an einem Funken, jedoch an heißen Flächen, selbst wenn diese nur dunkelrot glühend sind. Es bietet sich hier also die Möglichkeit, Verbrennungen ohne Anwendung von Hochspannungsfunken einzuleiten.

Eine Anwendung hierfür kann sich vielleicht bei den TL-Triebwerken ergeben, bei denen das Entzünden kalter Gemische in großen Höhen, also bei geringem Druck, Schwierigkeiten bereitet. Elektrische Funken scheinen unzuverlässig zu arbeiten und sind auch unerwünscht, da die Isolation bei Hochspan-

nungsanlagen in großen Höhen besondere Vorkehrungen nötig macht. Glühkerzen weisen diesen Mangel nicht auf und können bei entsprechender Entwicklung wohl auch für niedere Stromstärken hinreichend zuverlässig gemacht werden. Es ist beabsichtigt, auf dieser Grundlage ein Hilfsgerät zu entwickeln.

Die Temperaturen, die zur Entflammung von Gemischen notwendig sind, sind in folgender Zahlentafel zusammengestellt:

Zahlentafel 10.

	Zünd-Temperatur Temp. der Wendel °C	Krupp-Zündwert °C
Benzol	780	662
Heptan	730	245
R 300	720	178
Methanol	620	560
Nitrobenzol	600	538
Nitrobutan	580	398
Nitropropan	560	411
Nitroäthan	480	449
Nitromethan	450	450

Man sieht, daß die Zündtemperatur von Methanol um mehr als 100° tiefer liegt als die beiden Kohlenwasserstoffe und R 300. Dieser Körper ist also für die Entzündung an heißen Flächen nicht besonders geeignet. Wie die Erfahrungen beim Ringverfahren zeigen, zerfällt er beim Einspritzen in heiße Luft leichter als die üblichen Kohlenwasserstoffe, brennt dann aber verhältnismäßig langsam ab. Seine Verbrennungsgeschwindigkeit ist offenbar kleiner als die Strömungsgeschwindigkeit in dem benutzten Gerät, sodaß keine Flamme entsteht.

Nitrobenzol zündet noch etwas leichter als Methanol. Beträchtlich tiefer aber liegen die Nitroparaffine, die zum Teil bei mehr als 100° tiefen Temperaturen zünden. Ihre Verwendung zum Anlassen der TL-Triebwerke scheint erfolgversprechend.

Bei den gleichfalls angegebenen Werten des Krupp-Zündwertprüfers spielt die Verbrennungsgeschwindigkeit nicht die Rolle, wie bei den Versuchen mit rasch strömendem Gemischnebel, die Bewertung ist deshalb teilweise eine völlig andere.

D) Verhalten der Nitroalkyle im Motor.

Den Klopffwert der Nitroalkyle zu bestimmen, machte einige Schwierigkeiten, da der Vergaser des üblichen Prüfmotors für Stoffe von so geringem Heizwert nicht eingerichtet ist. Es wurde deshalb ein I.G.-Prüfmotor auf Einspritzung umgebaut. Die Werte, die der Motor bei dieser Ausrüstung lieferte, weichen nur sehr wenig von den üblichen Oktanzahlen ab; im vorliegenden Fall, wo es sich lediglich um Vergleiche handelte, ist dies ohne Bedeutung.

Da sich Nitromethan und Nitroäthan mit Kohlenwasserstoffen nicht mischen lassen, wurden die Versuche mit Nitropropan durchgeführt. Das technische, ziemlich reine Produkt wurde als S₃ bezeichnet. Es stellt eine Mischung der beiden Homologen des N-Propans dar. Es hatte eine Oktanzahl von etwa 72. Es ergab sich nun die überraschende und bisher nicht bekannte Erscheinung, daß S₃ beim Vermischen mit Benzin, wie IG 9 oder VT 702 Mischwerte erreichte, die tiefer lagen als jede der beiden Komponenten (Blatt 4). Die Tiefstwerte wurden bei etwa 30% S₃ erreicht. Bei ET 110 und bei Benzol wurde diese Erscheinung nicht beobachtet. Es tritt hier eine gleichmäßige Verminderung der Oktanzahl mit wachsendem S₃-Zusatz ein. Nitrobenzol konnte unvermischt nicht bestimmt werden, da heftige Glühzündungen auftraten. Es ist bemerkenswert, daß VT 702 bei Zusätzen bis 50% N-Benzol in der Klopfestigkeit etwas verschlechtert wird, dann aber unzweifelhaft eine Verbesserung auftritt. Einige Tastversuche mit Nitroäthan und Nitrobutan zeigen, daß diese Stoffe sich ähnlich wie Nitropropan verhalten.

Im Einzelnen ergeben die Klopfversuche folgende Motor-Oktanzahlen:

Zahlentafel 11.

	ohne Pb.	+ 0,12 Pb
Nitromethan	-	73,3
Nitroäthan	-	59,5
1-Nitropropan	71,5	70,0
2-Nitropropan	67,5	66,0
1-Nitro-Butan	70,5	66,0
2-Nitro-Butan	70,5	68,0

Man erkennt, daß die Oktanzahlen etwa bei 70 liegen und daß der Bleizusatz eher verschlechternd als verbessernd wirkt. Es ist dies nicht weiter verwunderlich, da der Ablauf der Reaktionen bei diesen Stoffen ein völlig

anderer als bei Kohlenwasserstoffen sein wird. Es ist anzunehmen, daß auch hier Stoffe zu finden sind, die eine dem Bleitetraäthyl entsprechende Wirkung auf die Nitroalkyle besitzen. Die folgenden Tastversuche zeigen, daß das Blei selbst dann nicht wirkt, wenn eine Mischung von S_3 mit dem sehr bleiempfindlichen ET 110 verwendet wird.

Zahlentafel 12.

			MOZ
S_3 +ET 110 (50:50)			75
"	"	+ 0,12% $Pb(C_2H_5)_4$	71,3
"	"	+ 0,40% $Fe(CO)_5$	69,5
"	"	+ 6% Methylanilin	72,0

Es ist zu hoffen, daß durch weitere Versuche Mittel gefunden werden, die die Nitroalkyle auch als Höhen- und Höchstleistungskraftstoff für Otto-Motoren geeignet machen.

Eine Bestimmung der Cetanzahl ergab:

Zahlentafel 13.

Nitromethan	CaZ 10
Nitroäthan	" 15
1-Nitropropan	" 14
2-Nitropropan	" 16
1-Nitrobutan	" 15
2-Nitrobutan	" 14

Die Nitroalkyle haben also sämtlich schlechte Cetanzahlen, die etwa bei 15 liegen. Auf Blatt 5 ist dargestellt, wie sich S_2 und S_3 in Mischung mit verschiedenen Kohlenwasserstoffen und mit R 300 verhalten. Entsprechend dem auffälligen Verhalten der Oktanzahl von Mischungen (vergl. Blatt 4) ist auch bei der Cetanzahl eine allerdings nicht sehr ausgeprägte Steigerung der Zündwilligkeit von Mischungen über ihre Mischungsbestandteile hinaus festzustellen. Mischungen mit Dieselölen höherer CaZ können leider nicht durchgeführt werden, da sich, wie bereits erwähnt, die Nitroalkyle mit paraffinischen Ölen größeren Molekulargewichts nicht mischen. Auffallend ist, daß S_2 und S_3 , die sich übrigens nahezu gleich verhalten, die Zündwilligkeit des R 300 nicht unerheblich steigern. Der Mischwert des R 300, also die scheinbare Zündwilligkeit des R 300 in diesen Mischungen, $-S_2$ und S_3 unverändert mit CaZ 15 angenommen- ist gleich-

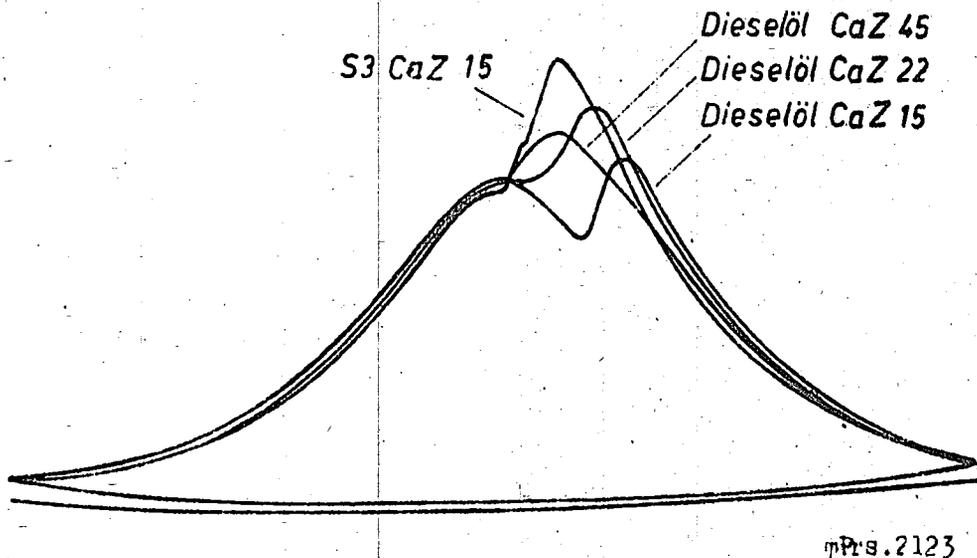
falls dargestellt. Während bei Kohlenwasserstoffen stets die verbessernde Wirkung irgend welcher Zusätze umso geringer ist, je höher die CaZ an sich ist, tritt hier bei der Mischung der Nitroalkyle die Erscheinung auf, daß das zündwillige R 300 verhältnismäßig stark verbessert wird. Anscheinend liegt hier eine Eigentümlichkeit der Nitro-Kraftstoffe vor, denn ein gleichfalls auf Blatt 5 dargestellter Versuch zeigt, daß ein Zusatz von Nitromethan umso stärker verbessernd auf die Cetanzahl wirkt, je zündwilliger der Stoff an sich ist.

E) Dieselmotoren-Versuch mit N-Propan.

Da für einen Versuch mit unvermischem S₃ nicht genügend Stoff vorhanden war, um einen Versuch in einem größeren Motor durchführen zu können, mußte eine Mischung mit einem Kohlenwasserstoff untersucht werden. Nitropropan mischt sich nun leider nicht mit den als Dieselkraftstoffen üblichen hochsiedenden Kohlenwasserstoffen, sodaß die Versuche am Dieselmotor mit einer Mischung aus Benzin IG 9 im Verhältnis 50:50 durchgeführt werden mußten. Blatt 6 zeigt, daß mit diesem Gemisch eine Mehrleistung von über 20% erzielt wurde, trotzdem aufgrund der Luftheizwerte lediglich ein solcher von 10% zu erwarten war. Es ist dies offensichtlich auf einen günstigeren Ablauf der Verbrennung zurückzuführen, der durch eine so gute Zuordnung des Sauerstoffs zum Kraftstoff bewirkt wird, wie dies auch bei der besten Zerstäubung nicht zu erzielen ist. Auf Blatt 7 sind die erzielten Nutzdrücke nochmals dargestellt in Abhängigkeit vom Verbrauch in cm^3/PSh , vom Kraftstoffverbrauch in g/PSh , und schließlich in kcal/PSh . Es geht daraus hervor, daß bis zur Höchstleistung des Kohlenwasserstoff-Kraftstoffs, Nitropropan-Benzingemisch einen Verbrauch hat, der gewichtsmäßig 20% höher, raummäßig aber etwas niedriger ist. Entsprechend der verbesserten Verbrennung ist der Wärmeverbrauch stets niedriger.

Die ungünstige CaZ der Nitroalkyle zeigt, daß sie unter den Bedingungen, unter denen die CaZ ermittelt wird, nämlich bei unmittelbarer Einspritzung, für den Betrieb von Dieselmotoren nicht geeignet sind. Die Erfahrungen aber, die mit der leichten Entflammbarkeit der Nitroalkyle an heißen Flächen gemacht wurden, legten es nahe, Versuche an einem Vorkammer-

Dieselmotor durchzuführen. Wegen der geringen vorerst zur Verfügung stehenden Kraftstoffmengen konnten nur einige Tastversuche gemacht werden. Sie zeigen jedoch vollkommen eindeutig, daß S_3 sich nicht wie ein Kohlenwasserstoff von CaZ 15 oder 22, sondern sich sogar besser als ein Gasöl mit CaZ 45 verhält.



Die Diagramme zeigen, daß der Zündverzug des S_3 etwa ebenso groß ist wie der des Dieselöls mit CaZ 45, daß aber der Druckanstieg steiler ist. Infolge des vom Kraftstoff mitgebrachten Sauerstoffs vollzieht sich also die Verbrennung offensichtlich schneller. Es wirkte sich dies auch in einem etwa 5% geringeren Wärmeverbrauch aus. Der Motor lief mit S_3 ebenso ruhig wie mit Dieselöl CaZ 45. Der Motor klopfte etwas mit CaZ 22 und stark mit CaZ 15, das bei unmittelbarer Einspritzung dem S_3 in Bezug auf Zündverzug gleichwertig ist.

F) Kreislaufbetrieb mit Nitro-Kraftstoffen.

Unter Kreislaufbetrieb wird ein Verfahren verstanden, einen völlig von der Atmosphäre abgeschlossenen Motor lediglich Kraftstoff und Sauerstoff zuzuführen, wobei eine gewisse aus Verbrennungsprodukten be-

Y
 stehende Menge Abgas nach Kühlung dem Motor wieder als Arbeitsmittel zugeführt wird. Bei einem derartigen für den Unterwasserbetrieb von Dieselmotoren wichtigen Arbeitsverfahren kommt N_2O und Sauerstoff in flüssiger Form wegen der langen Aufbewahrungszeit nicht in Frage. Der in der Zahlentafel 14 dargestellte Vergleich des Aufwandes für 1000 kcal ist deshalb mit Drucksauerstoff durchgeführt worden.

Zahlentafel 14.

Kraftstoff	Kraftstoff g	Sauerstoff g	Flasche g	Gesamt g	
Heptan	95,0	335	4200	4630	100
N-Butan	181	295	3700	4176	90
N-Propan	202	272	3400	3874	84
N-Äthan	254	244	3100	3598	78
N-Methan	397	156	2100	2653	57
N-Benzol	172	261	3300	3733	87

Für die Speicherung des Sauerstoffs ist hierbei ein Gefäß mit 1 m^3 Inhalt angenommen, das für einen Betriebsdruck von 400 at bei zweifacher Sicherheit schätzungsweise $6\frac{1}{2}$ to wiegt. Aus den angegebenen Werten geht hervor, daß bei Nitropropan etwa 16% an Gewicht gespart werden könnte. Eine gewisse Ersparnis tritt wahrscheinlich noch dadurch ein, daß, wie beim Dieselmotorenversuche gezeigt, mit einem gegenüber Dieselöl geringeren Verbrauch gerechnet werden kann.

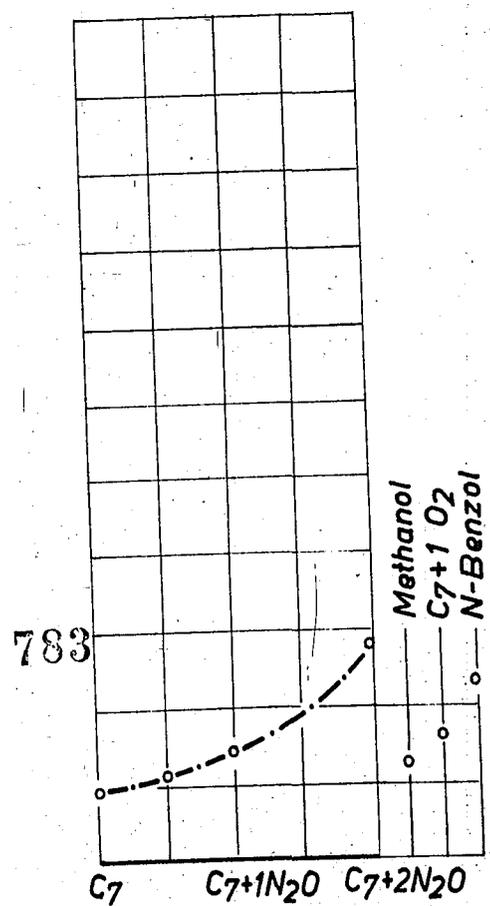
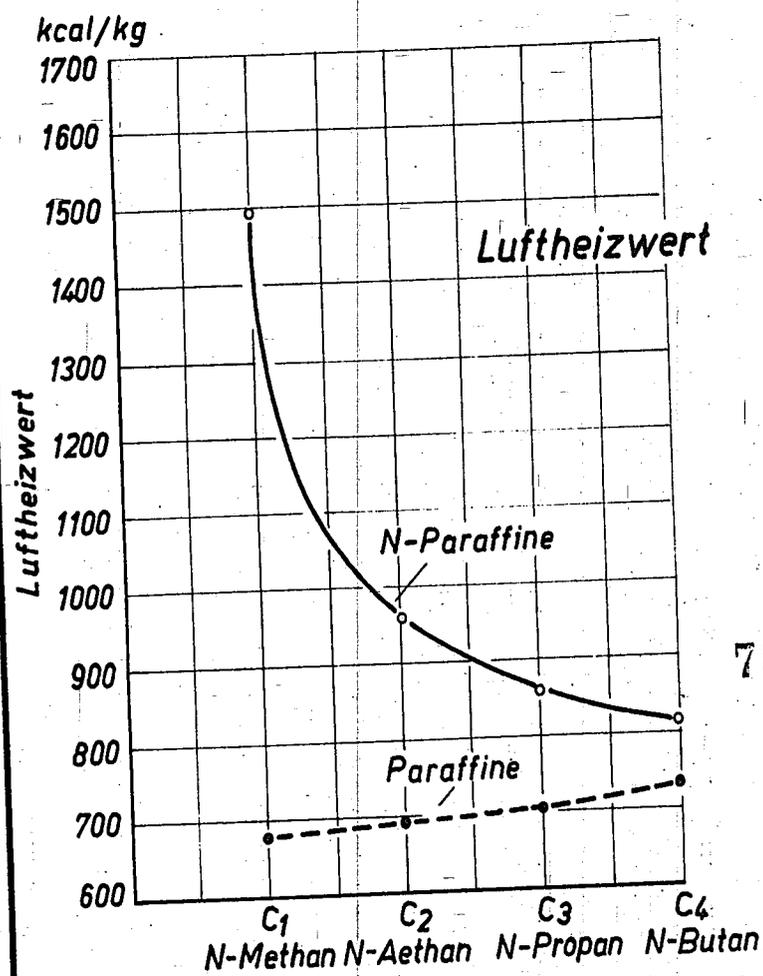
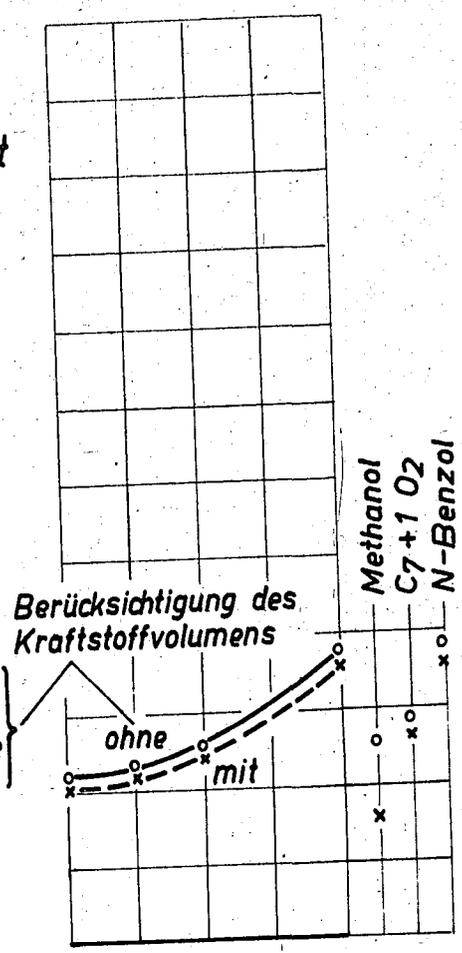
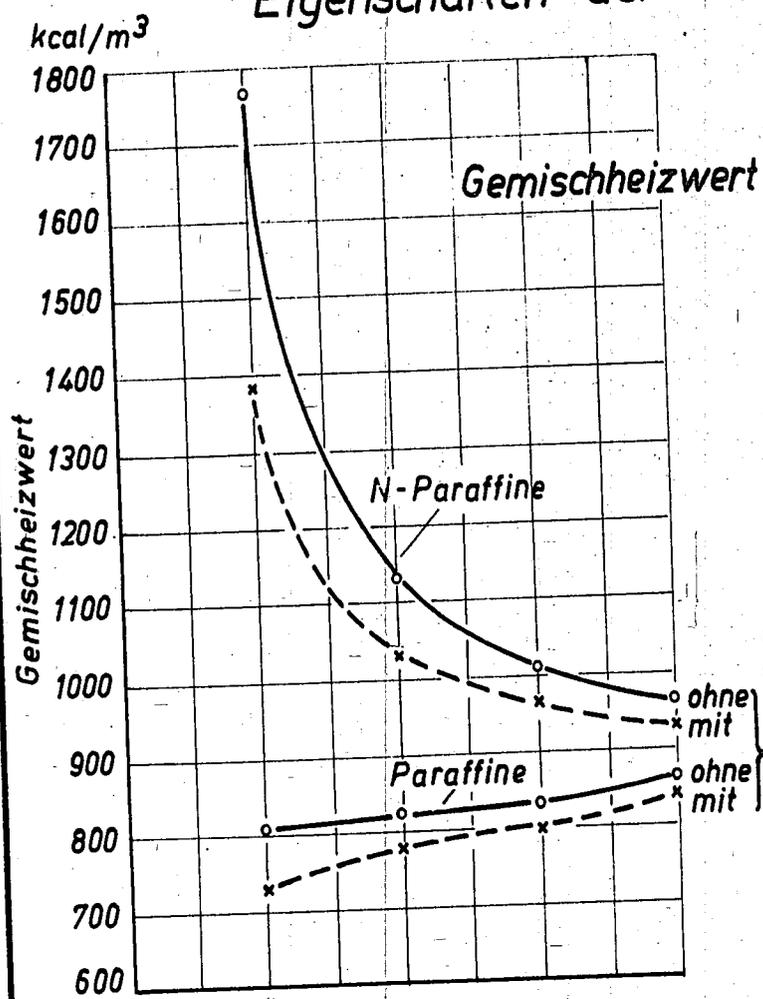
Die Anwendung der Nitroalkyle bei der Unterwasserfahrt würde jedenfalls eine Ersparnis an Sauerstoff und damit eine Vergrößerung der Reichweite bedeuten. Sie werden jedoch in nur beschränktem Umfange zur Anwendung kommen können, da der anfallende Stickstoff eine Blasenbahn verursacht.

Zahlen tafel 15

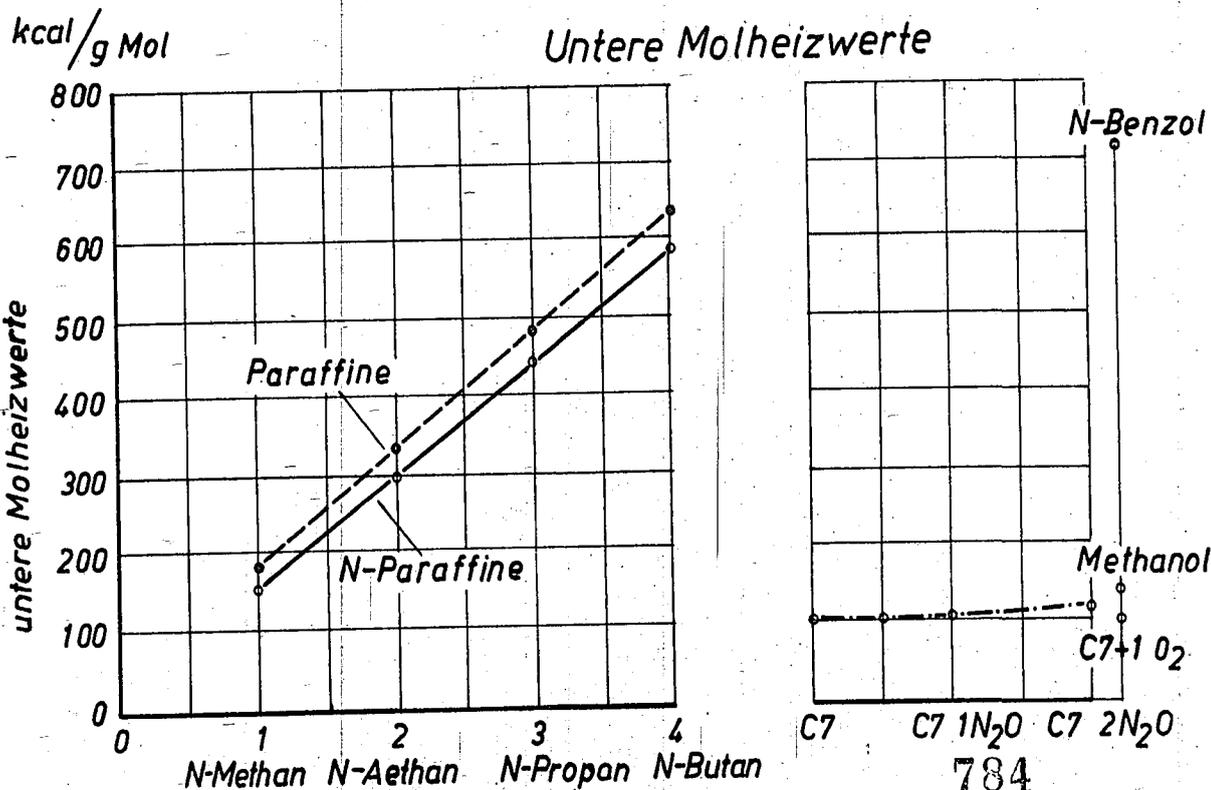
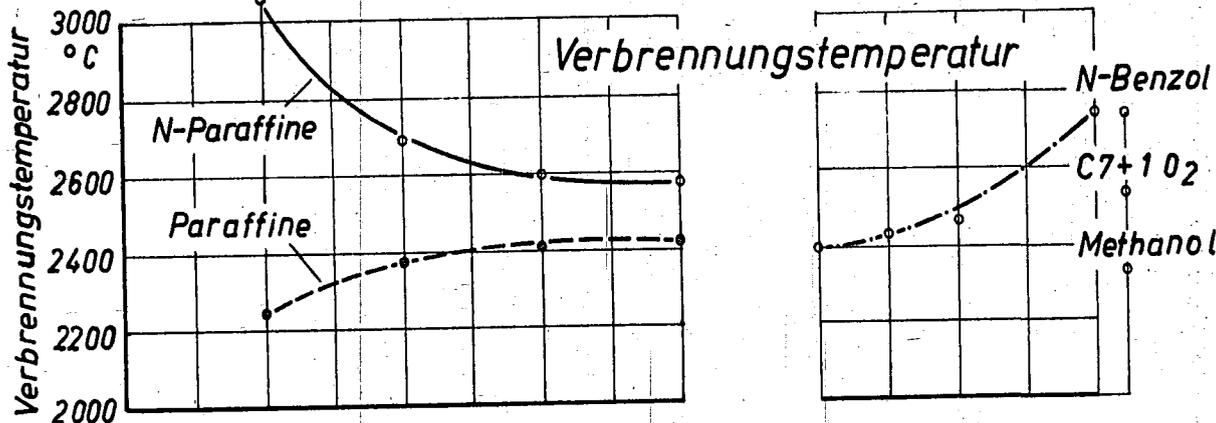
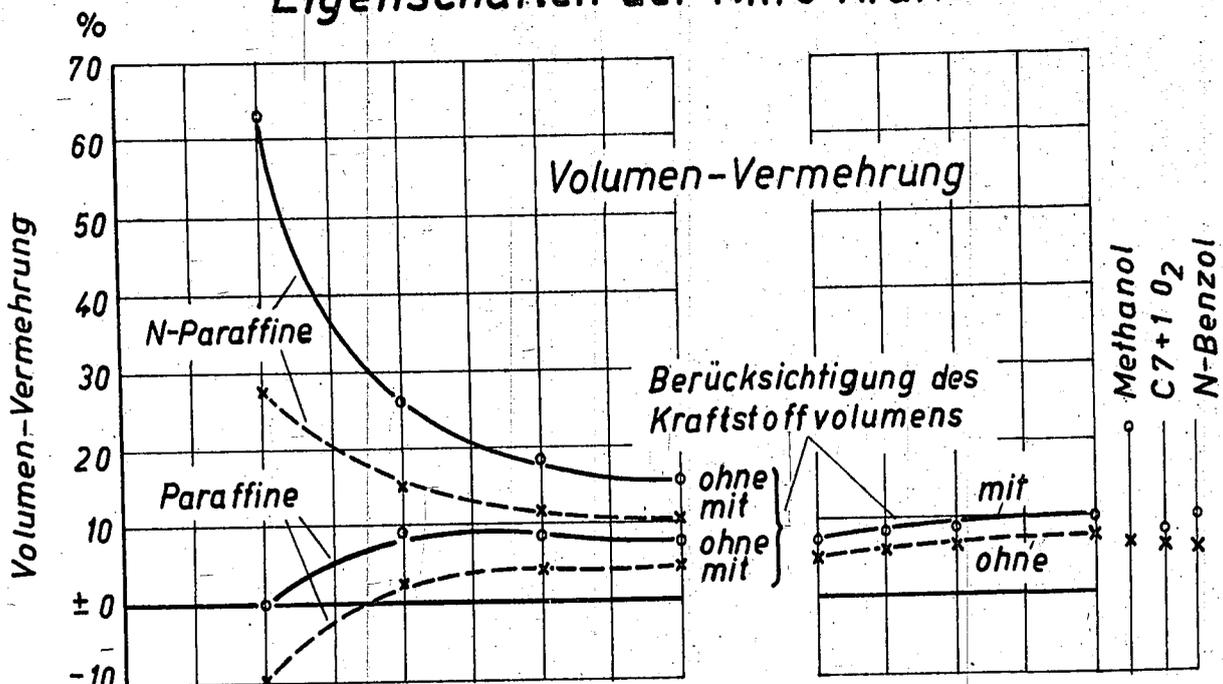
Formel	Molgew.	Fp. u. Kp. °C	Wichte g/cm ³	Luftbedarf kg/kg	Mol. Luft je Mol Kraftst.	Mol. Abgas je Mol Kraftst.	Volumenveränderung		Heizwert		Aufwand g/10 ³ kcal	Gemischheizwert		Luftheizwerte		Verbren- nungst. °C		
							ohne Berücks. d. Kraftst.	mit Berücks. d. Kraftst.	Hu kcal/kg	Hu kcal/l		ohne Berücks. d. Kraftst.	mit Berücks. d. Kraftst.	kcal/Mol L. Luft	kcal/kg Luft			
Methan	16	-162 - 161	0,655	17,20	9,50	9,50	10,53	0,00	187,4	11,700	65,4	130,6	808	808	680	2 250		
Aethan	30	-172 - 93	0,122	16,10	16,70	19,20	9,00	2,80	337,6	11,200	89,3	72,7	827	780	696	2 380		
Propan	44	-190 - 45	0,535	15,66	23,80	25,60	8,40	4,00	485,8	11,000	91,0	170,0	835	802	702	2 410		
Butan	58	-135 + 1	0,600	15,45	29,80	32,50	7,90	4,70	632,1	10,900	91,7	153,0	840	814	731	2 425		
Methanol	32	- 98 65	0,790	6,46	7,15	8,65	21,00	6,73	148,8	4 650	215,0	272,0	860	754	860	2 330		
Heptan	100	-97 + 98	0,688	15,18	52,40	56,40	7,64	5,62	105,3	10 530	95,0	130,0	822	807	622	2 400		
• 1/2 N ₂ O	122	—	0,747	12,15	51,20	55,90	8,20	6,08	106,3	8 710	115,0	154,0	841	827	850	2 430		
• 1 N ₂ O	144	—	0,794	10,05	50,00	55,50	8,80	6,70	107,3	7 450	134,0	168,0	861	845	879	2 460		
• 2 N ₂ O	188	—	0,865	7,34	47,70	54,60	9,90	7,70	109,3	5 810	172,0	195,6	900	882	940	2 540		
• 3 N ₂ O	232	—	0,918	5,64	45,25	53,80	10,30	8,44	111,3	4 800	208,4	227,0	944	925	1006	2 610		
• 1/2 O ₂	116	—	0,728	12,48	50,00	54,50	7,93	5,83	105,3	7 280	137,0	176,0	854	836	862	2 460		
• 1 O ₂	132	—	0,762	10,44	47,60	52,60	8,00	5,84	105,3	7 980	125,3	165,0	886	870	906	2 530		
Propan	44	-190 - 45	0,560	15,66	23,80	25,62	8,40	4,00	485,8	11 040	91,0	170,0	835	802	20 400	835	704	2 410
Propanol	60	-127	0,804	10,33	21,40	23,95	11,90	6,90	437,0	7 280	137,0	171,0	835	798	20 400	835	704	2 350
N Propan	89,2	132 -60 120	0,969	5,17	17,85	21,10	18,20	11,90	441,6	4 960	202,0	200,0	1 012	960	24 700	1 012	854	2 600
P + 1 N ₂ O	88	—	0,767	7,06	21,45	24,95	11,14	6,39	508,8	5 740	174,0	227,0	923	884	23 600	965	814	2 560
P + 2 N ₂ O	132	—	0,876	4,18	21,05	24,08	14,25	9,05	526,0	3 980	251,0	287,0	1 020	977	27 600	1 130	9530	2 730
P + 4 N ₂ O	220	—	0,986	1,88	18,30	22,30	21,85	15,50	566,0	2 570	389,0	394,0	1 265	1 200	39 600	1 620	1 370	3 090
N-Methan	61	-29 102	-1,130	1,64	3,57	5,82	63,00	27,40	154,0	2 520	397,0	345,0	1 785	1 380	43 100	1 765	1 490	3 070
N-Aethan	75	+60 114	1,050	4,13	10,70	13,50	26,00	15,00	295,0	3 940	254,0	239,0	1 130	1 030	27 600	1 130	952	2 690
N-Propan	89,2	132 -60 120	0,969	5,80	17,85	21,10	18,20	11,90	441,6	4 960	202,0	200,0	1 012	960	24 700	1 012	854	2 600
N-Butan	103,2	158 -60 138	0,968	7,01	25,00	28,80	15,20	10,80	589,6	5 700	175,5	181,0	966	928	23 600	966	615	2 580
N-Benzol	123	9 221	1,200	7,00	29,75	32,50	9,25	5,70	715,0	5 810	172,0	144,0	983	952	24 000	984	830	2 740

Techn. Prüfstand
Oppau

Eigenschaften der Nitro-Kraftstoffe

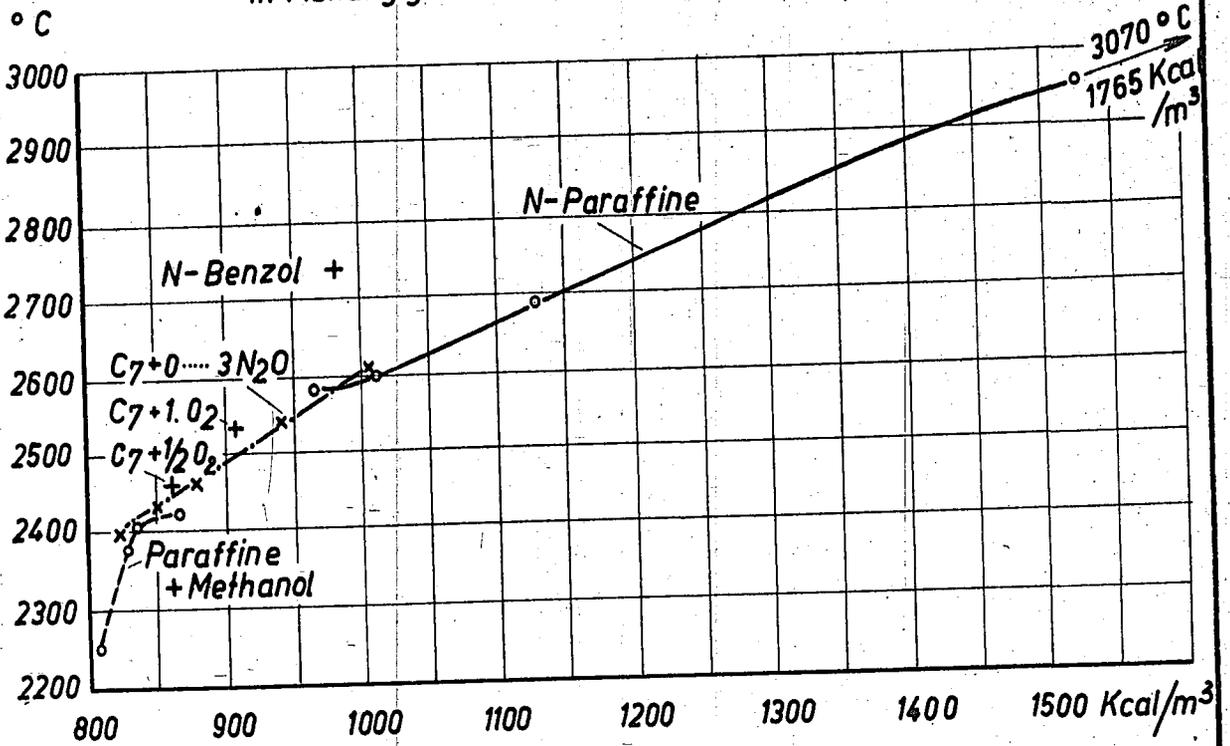


Eigenschaften der Nitro-Kraftstoffe

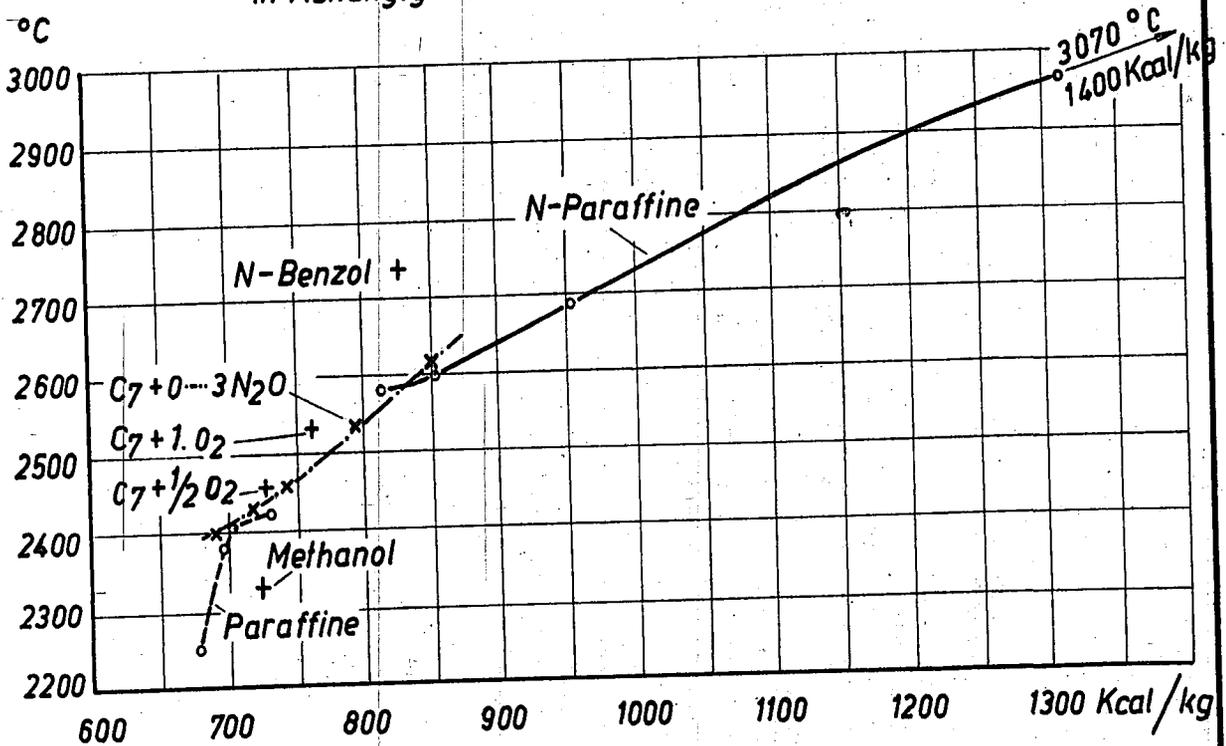


Oppau

Verbrennungstemperatur in Abhängigkeit vom Luftheizwert Kcal/m^3

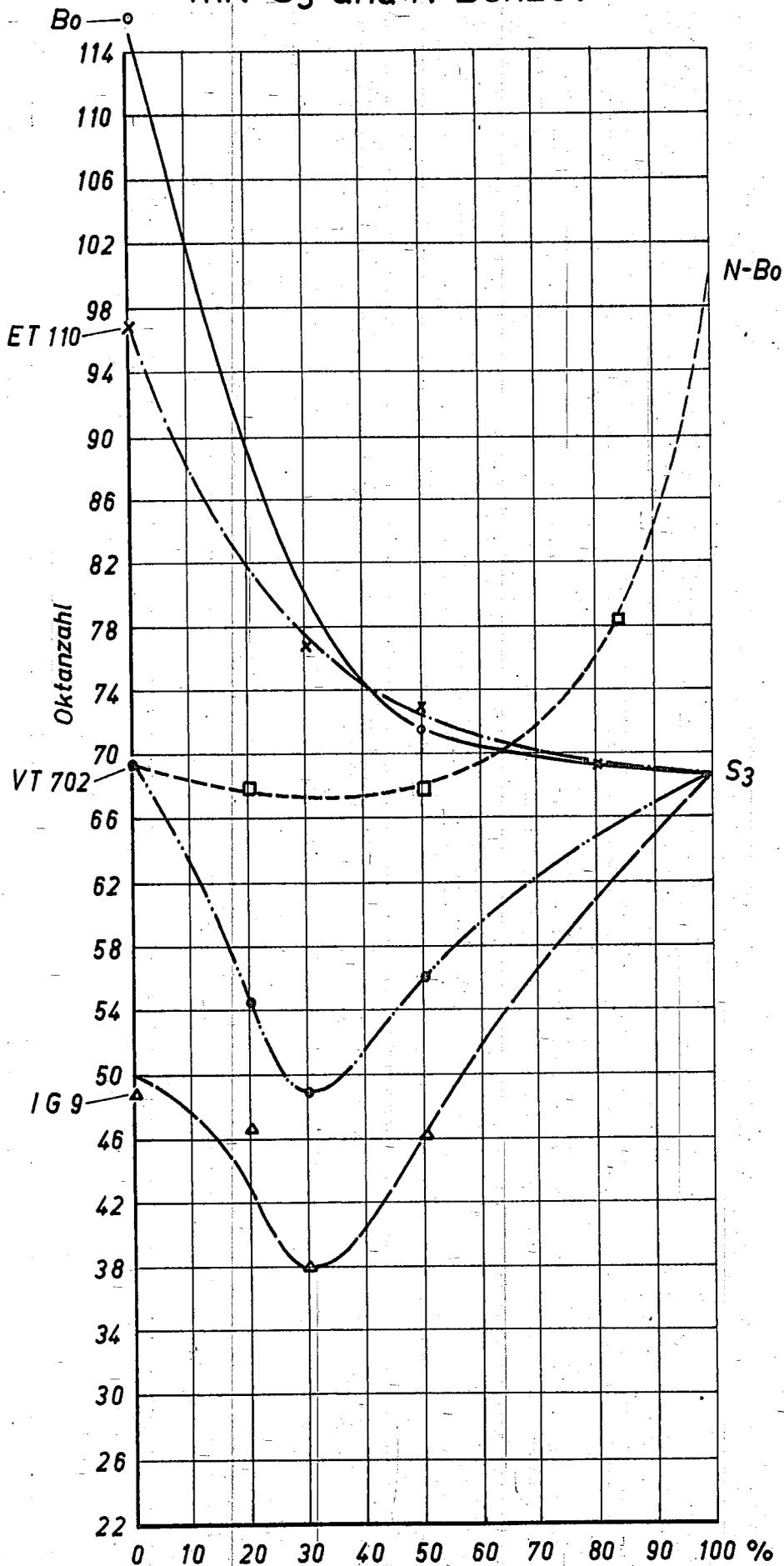


in Abhängigkeit v. Luftheizwert Kcal/kg



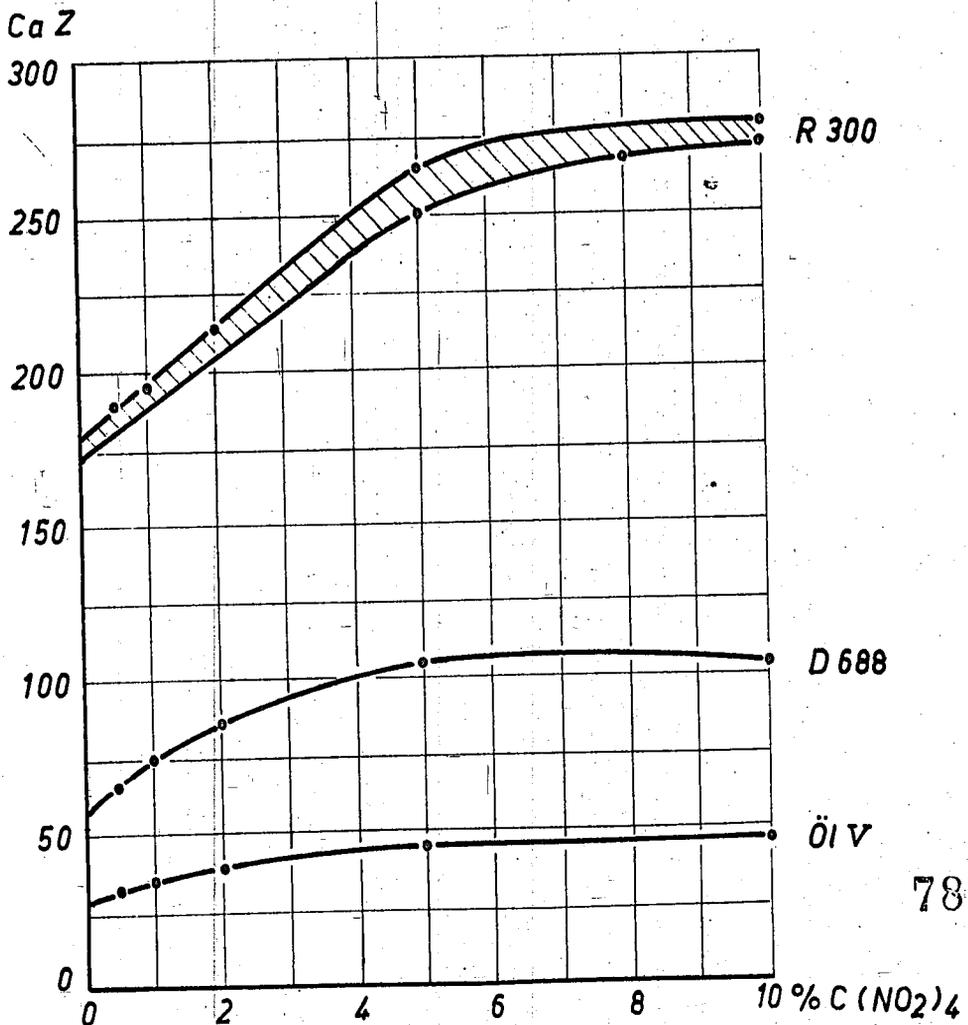
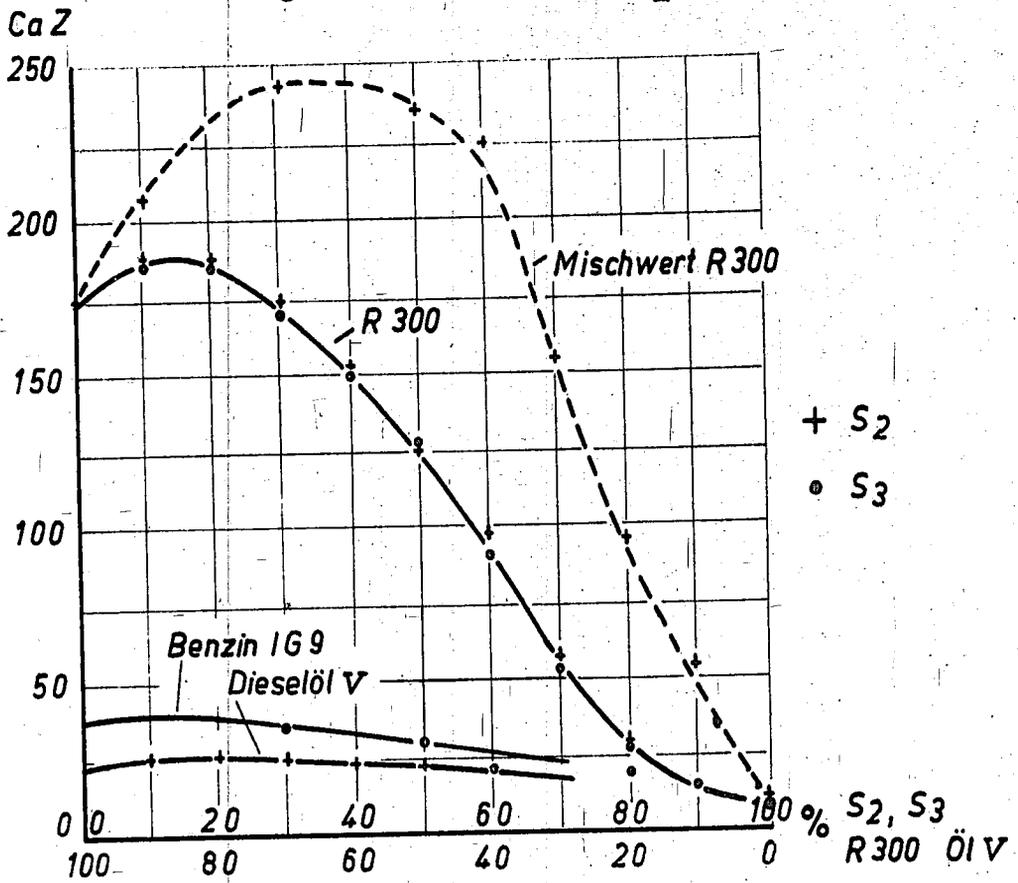
785

Klopffwert von Mischungen mit S₃ und N-Benzol

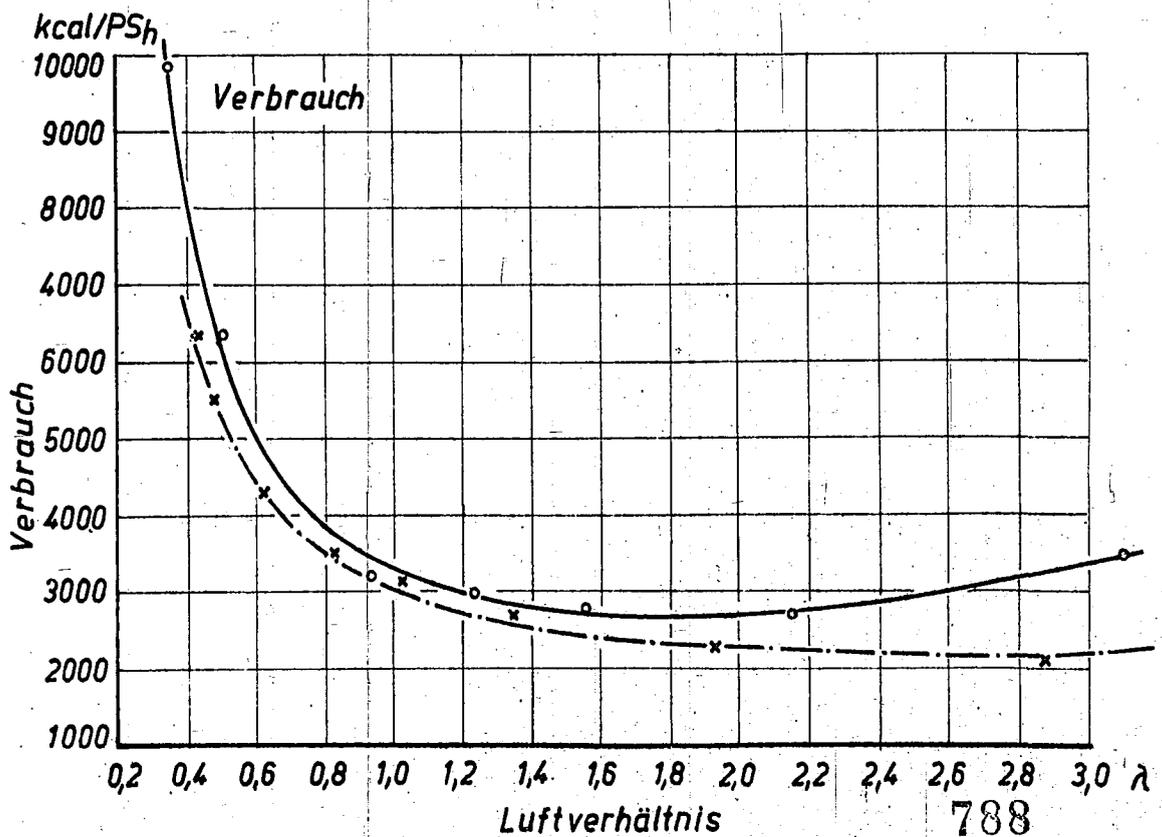
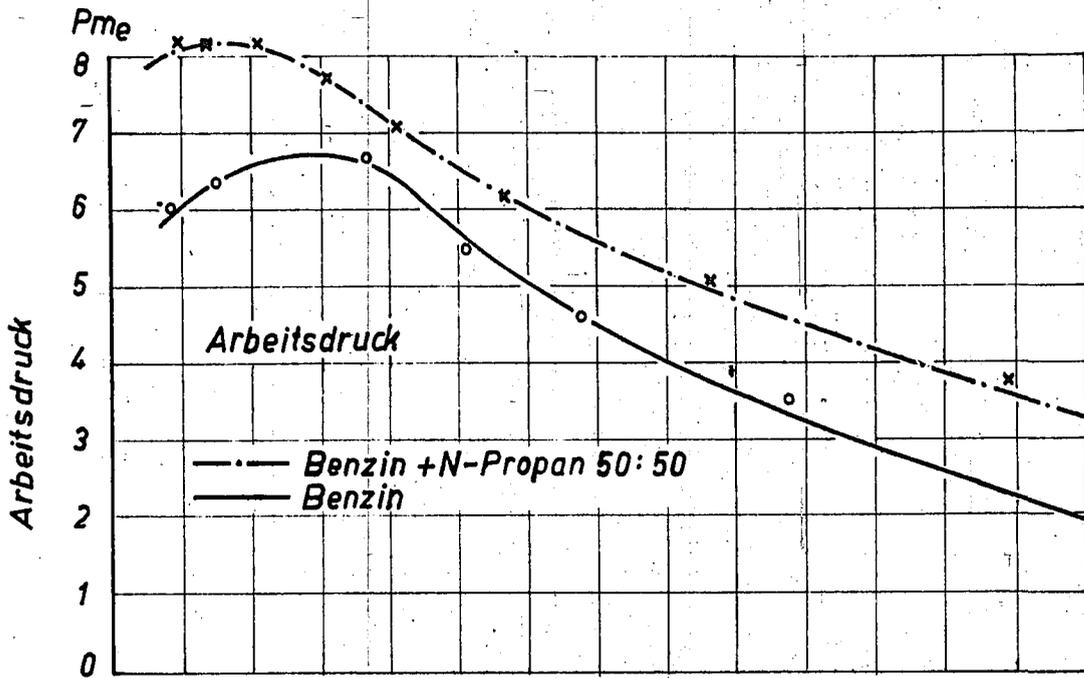
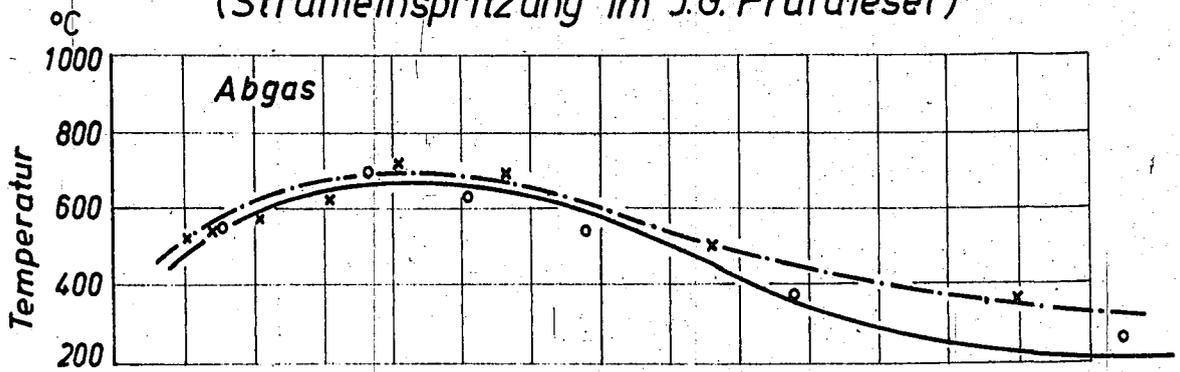


786

Verbesserung von Ölen durch O₂ Träger

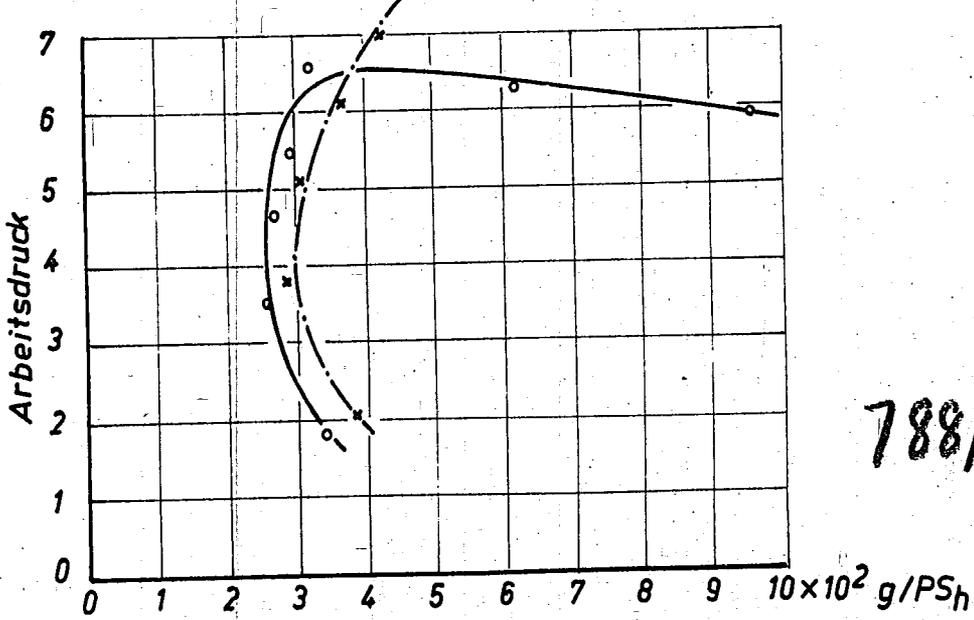
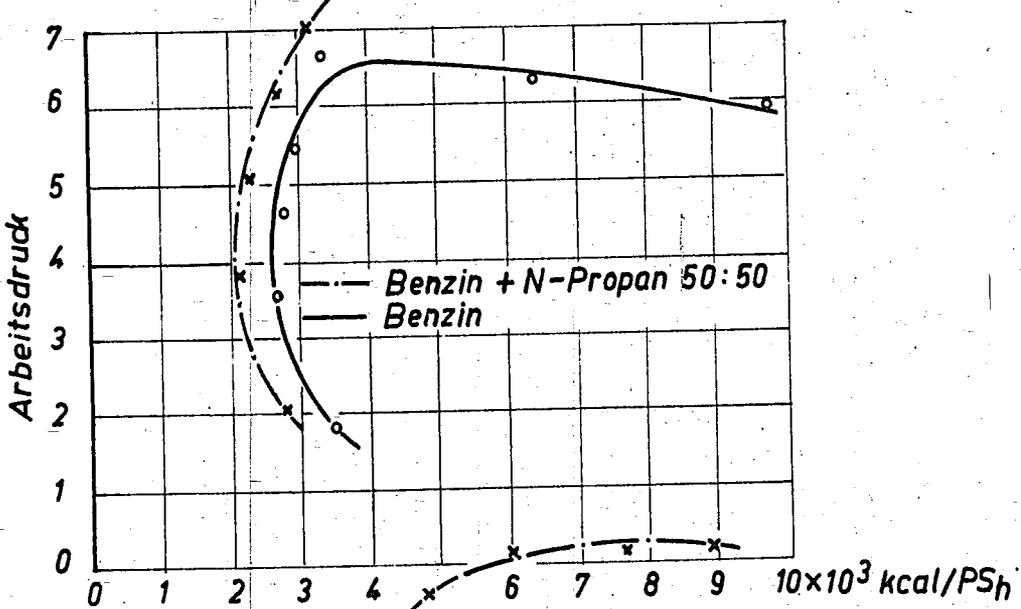
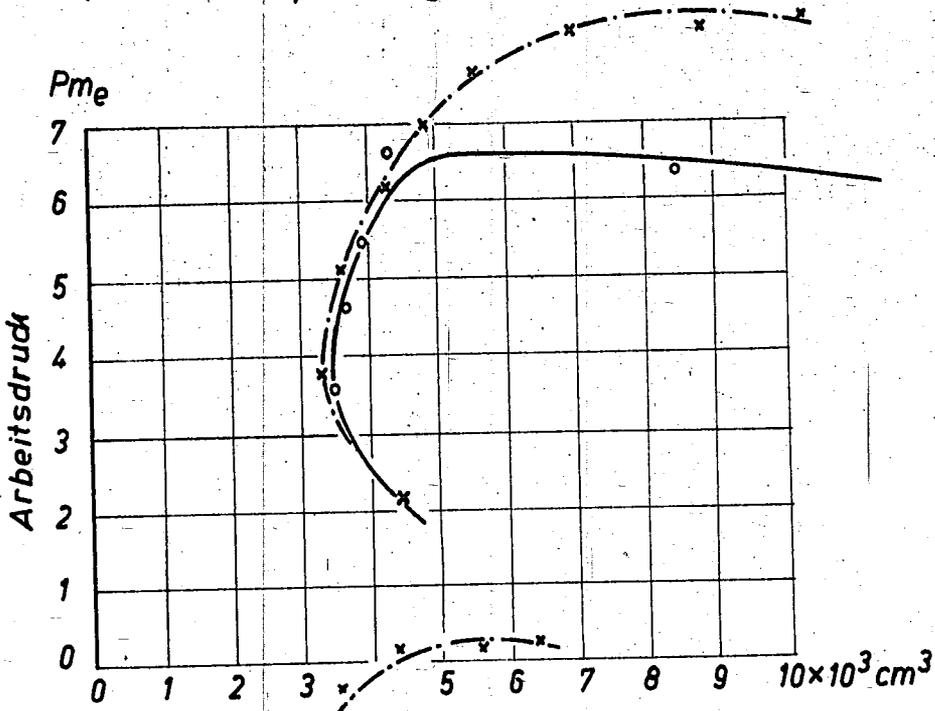


N-Propan als Dieselkraftstoff (Strahleinspritzung im J.G. Prüfdiesel)



Dieselmotor - Versuch

(Strahleinspritzung im J.G. Prüfdiesel)



788/1