

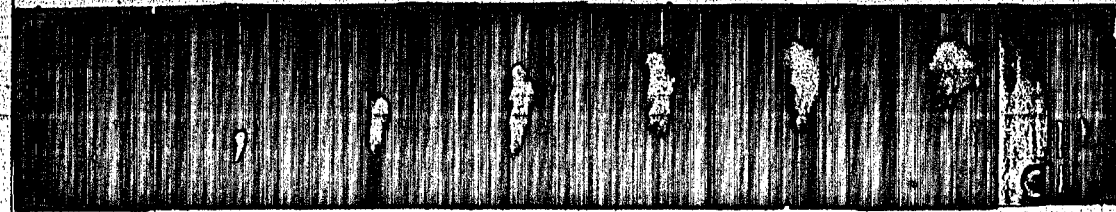
Flachsitzdüse

Abspritzdruck 180 atü
 Abspritzmenge 180 mm³/Hub
 Einspritzpumpe PE 1B 90
 Maßstab 1:9,5

Exzenterocken PAC 61/1 x
 Motordrehzahl n=1750 U/min
 Kraftstoff TZ 900-2,0
 Federkonstante d. Nädelfeder

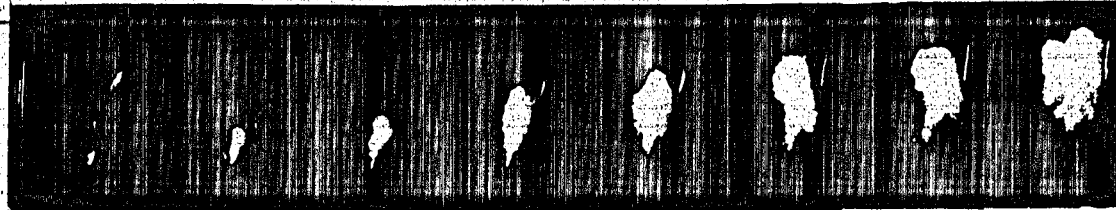
P/f 125 kg/mm

30496



3 17 39 60 78 98 141°KW

Bohrung 3 205°C



8 23 37 55 71 102 117 143

312°C



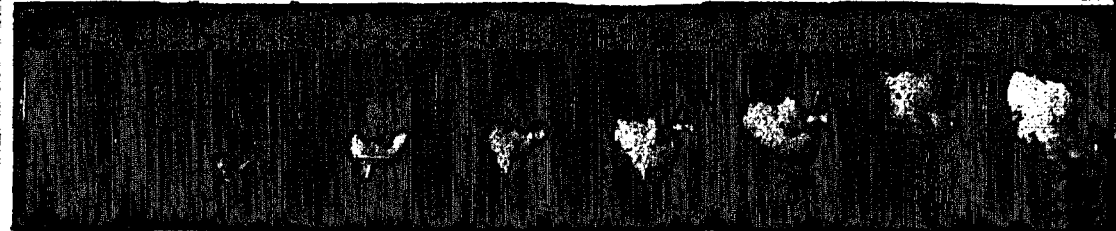
3 22 32 98 71 91 117 145

360°C



11 29 33 55 67 85 107 141

160°C



11 22 39 45 61 81 97 147

254°C

Tafel 7

Geheime Kommandosache!

Geheim!

5

Hochdruckversuche
Lu 1.

1. Die in der Staatsarchiv...
2. Die in der Staatsarchiv...
3. Die in der Staatsarchiv...
4. Die in der Staatsarchiv...
5. Die in der Staatsarchiv...

Versuche zur Herstellung von Soudertreibstoffen. 30497

1) Nitrirung von Kohlenwasserstoffen und Phenolen.

- a) Es wurde zunächst nur eine Mononitrirung angestrebt. Die Kohlenwasserstoffe wurden mit Nitriersäure (1 Teil conc. Salpetersäure + 1,2 Teile conc. Schwefelsäure) unter Kühlung bei 0°C nitrirt. Auf diese Weise wurden behandelt:
Aromatenextrakt aus HD-Benzin (nach Nitrirung: spez. Gew. 1,14-1,20 Siedebereich $200-250^{\circ}$)
Mischung von 20 % Aromaten in 80 % Restbenzin aus HD.
Bei der Nitrirung entmischten sich die nitrirten Aromaten unter Bildung zweier Phasen ziemlich quantitativ. Die Abhängigkeit der Löslichkeit nitrirter Aromaten von der Zusammensetzung des Benzins muss noch näher untersucht werden. Ebenso wird noch die Löslichkeit bei nur teilweiser Nitrirung verfolgt.
- b) Phenol und Phenolsolvanextrakt aus Pölitz
Die Nitrirung wurde hier mit Salpetersäure + Salpeter durchgeführt. Eine Reinigung durch Wasserdampfdestillation und Phenolatzersetzung des Rückstandes ist notwendig.
- c) Ferner wurden hergestellt:
Nitrocyclohexan, Nitromethylcyclohexan, Phenylnitromethan, Phenylnitroethan.
- d) Beschafft wurden folgende Stoffe:
Nitromethan, Nitroethan, Nitropropan -1 und -2, Nitrobutan, Nitroisobutan, Nitromethan.
- e) In Arbeit ist die Herstellung von:
Nitroalkoholen, nitrirten Olefinen von Michaelbenzin.

2) Verhalten von nitrirten Aromaten in Benzin.

Bestimmung der Kristallisation bzw. Entmischung.

Während die einzelnen aromatischen Nitroverbindungen für sich und auch gelöst in Benzin verhältnismässig hohe Kristallisationspunkte haben, erniedrigen sie sich in Mischung gegenseitig teilweise sehr erheblich.

So kristallisieren 10%ige Lösungen (in Fliegerbenzin VT 702) von
Nitrobenzol bei -13°
o-Nitrotolol " -26°
m- " " -6°
p- " " $+13^{\circ}$ } Gemisch 1:1:1:1:1 bei -42° .

Auch das nitrirte Aromatenextrakt in 10 % Lösung in VT 702 hatte einen Kristallisationspunkt von -38° .

020

4172

POOR COPY 5

POOR COPY

30498

- 2 -

Weiterhin ist der Kristallisationspunkt bzw. Entmischungstemperatur abhängig von der Konzentration und Zusammensetzung des Lösungsmittels. Eine nitrierte Aromatmischung zeigte bei

5% Zusatz gr. VT 702	einen Kristallisationspunkt von	-58°
1) % " " " "	Entmischungstemp.	-42°
2) % " " " "	" " "	-21°

In Lösung mit einem aromatenfreien Benzol liegen die Entmischungstemperaturen höher, sodass anzunehmen ist, dass Aromaten als Lösungvermittler für die nitrierten Aromaten wirken. Versuche mit Zusatz von Aromaten bzw. nur teilweiser Nitrierung von Aromaten sind im Gange.

Das Kälteverhalten von Nitrophenolgemischen ist noch zu prüfen.

Von den bis -60° beständigen Lösungen ist die Zähigkeitskurve zu messen. Vor allem sind auch Mischungen von nitrierten Kohlenwasserstoffen mit Visolen, Aminen, Furfurylalkoholen bezüglich ihres Kälteverhaltens zu prüfen.

3) Kälteverhalten von Hydrierprodukten (Viskositätskurven)

	VT 702	Michael-Benzin	DHD-Benzin	Steink.-b-Mittelöl	Steink.-s-Mittelöl
Siedebereich	40-145°	40-200°	40-175°	170-300°	170-330°
Visk. +20° c.St.	0,75	1,27	0,71	4,17	8,39
+ 0° " "	1,20	1,69	0,97	5,43	23,57
-20° " "	1,71	2,71	1,60	11,48	159,7
-40° " "	2,23	5,54	2,00	33,13	ca. 3000 bei -35° stockt bei -40°
-70° " "	2,34	8,50	2,72	90,0	-
Kristallisationspunkt	unter -60°	unter -60°	unter -60°	unter -60°	-40°

Die Forderung bezüglich Kristallisationspunkt wird von allen Benzinen und auch geeigneten b-Mittelölfractionen erreicht. Die Anforderungen an Viskosität von max. 40 c.St. bei -40° desgleichen, gegebenenfalls sind die Mittelöle unten tiefer abzuschneiden.

gez. Hirschberger.
gez. Bueren
gez. Keller

Nachtrag

20% o-Nitro

20% " " "

5% nitr. Ar

90% VT

10% nitr. Ar

80% VT

20% nitr. Ar

60% VT

10% nitr. Ar

20% nitr. Ar

Aromatenext.

10% Nitrom

10% Nitrom

POOR COPY

5

POOR COPY

30499

9.12.43.H1/LW.

Nachtrag zum Kälteverhalten von nitrierten Aromaten in Benzinen.

	<u>Entm. Temp.</u>	<u>Kristallp.</u>
20% o-Nitrotoluol + 80 % VT 702	-27°	
20% " " + 20 % Aromat. Extr. + 60% VT 702.	-	-45°
5% nitr. Aromaten + 5% Aromatenextrakt + 90 % VT 702	-53°	
10% nitr. Aromaten + 10% Aromatenextrakt + 80% VT 702	-54°	
20% nitr. Aromaten + 20 % Aromatenextrakt + 60 % VT 702	-64°	
10% nitr. Aromaten + 90 % DHD-Benzin	unter -70°	flüssig
20% nitr. Aromaten + 80 % DHD-Benzin	unter -70°	flüssig
Aromatenextrakt nitriert	-	unter -70°
10 % Nitromepasin + 90% VT 702	-	-63° stark viskos
10 % Nitromethan + 90 % VT 702	entmischt b. Zimmertemp.	

gez. Hirschberger

POOR
COPY

5

POO
COP

30500

Zurück an
Vorzimmer Dir. Dr. Pler

6

A. D. Petrov

Klopferverhalten und Stockpunkte der individuellen

Kohlenwasserstoffe der Dieselkraftstoffe

(Übersetzung aus Bulletin de L'Académie
des Sciences de L'URSS, Classe des Sciences
Chimiques. 1941, Nr. 2, S. 145 - 155.)

217406

I
u
w
S

Di
als Kom
sammens
Bewertun
grundsät
schen der
sind fol

1.
stärker
anderen
homologe
umso sch
die Seite

2.
cher als
zweigung
stoffen
stoffe i
das Zent
Kw=stoff
stark im
dungen.

3.
Klopfer
finischer
lisieren
teilen d
günstigt
Naphthen
den Para
festigke

4.
mit höch
merklich
schon üb
Grundlag
aufarbei
festen K
von synt
butan un
Ortanzah

POOR
COPY

6

POO
COP

Mitteilung

In der Arbeit wird die Charakteristik der Zündwilligkeit und der Stoßpunkte der aliphatischen und cyclischen Kohlenwasserstoffe der Zusammensetzung C₁₂-C₂₈ verschiedener Strukturtypen gegeben.

Die Kw-stoffe aller Klassen und verschiedener Struktur, die als Komponenten im Benzin vorkommen, d.h. die Kw-stoffe der Zusammensetzung C₅ - C₁₀, haben wie bekannt (1) schon lange eine Bewertung ihrer Klopfbarkeit in ihren Oktanzahlen bekommen. Die grundsätzlichen Gesetzmäßigkeiten, die hier den Zusammenhang zwischen der Klopfbarkeit und der Struktur der Kw-stoffe bestimmen sind folgende:

1.) Die Paraffin-Kw-stoffe der normalen Struktur klopfen umso stärker, je höher ihr Molekulargewicht ist. Das stimmt auch für die anderen Klassen der Kw-stoffe mit Ausnahme der ersten Glieder der homologen Reihe des Benzols. Die Kw-stoffe der Isostruktur klopfen umso schwächer je verzweigtere Struktur sie aufweisen und je näher die Seitenketten zum Zentrum des Moleküls stehen.

2.) Normale Kw-stoffe der Olefinreihe klopfen bedeutend schwächer als die entsprechenden Kw-stoffe der Paraffinreihe. Die Verzweigung der Kette ergibt hier den gleichen Effekt wie bei den Kw-stoffen der Paraffine. Bei den normalen isomeren olefinischen Kw-stoffe ist das Klopfen umso schwächer je näher die Doppelbindung an das Zentrum des Moleküls heranrückt. Beim Übergang von olefinischen Kw-stoffen zu den Diolefinen nimmt das Klopfen ab und zwar besonders stark im Falle der Diolefine mit konjugierter Lage der Doppelbindungen.

3.) Die naphthenischen Kw-stoffe zeigen immer eine bessere Klopfbarkeit als die normalen (oder wenig verzweigten) paraffinischen Kw-stoffe mit der gleichen Zahl der C-Atome. Das Zentralisieren des Moleküls der naphthenischen Kw-stoffe oder das Verteilen der langen Seitenkette auf eine Reihe von kurzen Ketten begünstigt das Verbessern der Klopfbarkeit. Der Übergang von den Naphthenen zu den Naphthylenen führt, genau so wie beim Übergang von den Paraffinen zu den Olefinen, zu einer Verbesserung der Klopfbarkeit.

4.) Aromatische Kw-stoffe bilden eine Klasse von Kw-stoffen mit höchster Klopfbarkeit, die beim Hydrieren des Benzolringes merklich verschlechtert wird. Die Kenntnis der Oktanzahlen von jetzt schon über 100 verschiedenen individuellen Kw-stoffen diente als Grundlage der progressiven Entwicklung aller Verfahren der Erhöhung der Klopfkraft auf Motorenbenzin, führte zur Entdeckung von hochklopfenden Komponenten der Motorenbenzin und bewirkte das Aufkommen von synthetischen Qualitätensbenzinen (z.B. Benzin aus 2,2-Dimethylbutan und 2,2,4-Trimethylpentan, das mit Bleitetraäthyl eine Oktanzahl von 115 aufweist).

Fu
brer Be
der Ausfü
arbeitern
der USSR
der organ
Synthese
thenische
C₁₂ - C₂₈

A
ziehung s
serstoffe
bei den B
Die Kennt
verschied
und prakt

Be
die Benie
ligkeit a
verfolgen
Die Analy
turangabe
nur eine
synthetis
durchaus

Da
phatische
ist in de
über die
(sowie de

Da
Kw-stoffe
entsprech
Kw-stoffe
(oder bes
de Kohle
schmelzen
Kw-stoffe
schmelzen
Beim Über
kurzen Ke
langen Ko

In
individua
(normalo

Hi
und H.A.
der Dies
thetisier
stellt wu

POOR COPY

6

POOR COPY

Für die K_w -Stoffe der Dieselmotortreibstoffe ist die Aufgabe ihrer Bewertung in der Cetanskala noch nicht durchgeführt. Zum Zwecke der Ausfüllung dieser Lücke wurde von I. B. P a t r o w mit den Mitarbeitern des Inst. f. organ. Chemie der Akademie d. Wissenschaften der USSR (M.A. Tschelnowa, E.P. Kaplan, und D.H. Andrejew), sowie der organischen Abteilung der Univ. in Gorki (B.I. Laptewa u.a.) die Synthese der K_w -Stoffe der paraffinischen, aromatischen und naphthenischen Reihen verschiedener Struktur- und der Zusammensetzung von $C_{12} - C_{25}$ durchgeführt.

A priori war es klar, dass die Gesetzmäßigkeiten, die die Beziehung zwischen der Zündwilligkeit und der Struktur der Kohlenwasserstoffe verbinden, im vorliegenden Fall umgekehrt sein werden wie bei den Benzin- K_w -Stoffen.

Die Kenntnis der quantitativen Werte der Cetanzahlen der K_w -Stoffe verschiedener Klassen und Struktur ist aber von großem, theoretischem und praktischem Interesse.

Bei der Wahl der Syntheseobjekte war es außerdem von Interesse die Beziehung der Struktur der K_w -Stoffe nicht nur zu der Zündwilligkeit sondern auch zum Stockpunkt der entsprechenden K_w -Stoffe zu verfolgen.

Die Analyse der letzten Frage konnte, nach den vorhandenen Literaturangaben, nur sehr unvollständig durchgeführt werden, da bis jetzt nur eine sehr geringe Zahl der K_w -Stoffe der Zusammensetzung $C_{12} - C_{25}$ synthetisiert ist. Außerdem wurde für die synthetisierten K_w -Stoffe durchaus nicht immer der Stockpunkt bestimmt.

Das vorhandene geringe Material über die Stockpunkte der aliphatischen K_w -Stoffe (der paraffinischen und olefinischen Reihen) ist in der Tabelle 1 zusammengestellt; das noch spärlichere Material über die Stockpunkte der Monoalkylbenzole und Monoalkyl-naphthaline (sowie deren Hexahydroderivate) ist in der Tabelle 2 geführt.

Daraus ist zu ersehen, dass die verzweigten paraffinischen K_w -Stoffe bedeutend niedriger schmelzen (manchmal um 80°) als die entsprechenden normalen Paraffin- K_w -Stoffe. In der Reihe der isomeren K_w -Stoffe liegt der Stockpunkt um so tiefer je weiter die Seitenkette (oder besser die Seitenketten) von dem Ende der normalen Grundkette der Kohlenstoffatome liegt. Die normalen olefinischen K_w -Stoffe schmelzen um $16 - 20^\circ$ tiefer als die entsprechenden paraffinischen K_w -Stoffe. Die verzweigten Monoalkylbenzole und Monoalkyl-naphthaline schmelzen ebenfalls tiefer als die normalen.

Beim Übergang von den aromatischen K_w -Stoffen zu den Naphthenen mit kurzen Ketten findet eine Erniedrigung des Stockpunktes statt; bei langen Ketten dagegen steigt der Stockpunkt anscheinend an.

In der Zeitschriften-Literatur (2) über die Cetanzahl von individuellen K_w -Stoffen sind nur Werte von 3 K_w -Stoffen vorhanden (normales Hexyl-, Heptyl- und Nonylbenzol).

Wir haben zusammen mit D.H. Andrejew, B.I. Laptewa, E.P. Kaplan und M.A. Tschelnowa u. a. bis jetzt über 30 individuelle K_w -Stoffe der Dieselmotortreibstoffe der verschiedenen Klassen und Struktur synthetisiert, wobei die meisten Kohlenwasserstoffe erstmalig dargestellt wurden (Angaben über die Synthese dieser K_w -wasserstoffe wer-

POOR
COPY

6

POOR
COPY

den z. St. in Journal für allgemeine Chemie veröffentlicht). Für diese K_w-stoffe, die in der Tabelle 3 und 4 zusammengestellt sind, wurden die Stockpunkte bestimmt, sowie die Cetanzahlen in der Bombe von M.B. Neumann (3) ermittelt.

Unter Berücksichtigung der großen Zahl von möglichen isomeren K_w-stoffe der Zusammensetzung C₁₂ - C₂₅ und der großen Vielfältigkeit der Strukturtypen dieser K_w-stoffe geben die von uns erhaltenen Daten gewiss nur eine ganz oberflächliche Orientierung in der Frage über den Zusammenhang zwischen der Struktur der K_w-stoffe und ihrer Zündwilligkeit sowie dem Stockpunkt.

Wir sehen daraus, dass die K_w-stoffe mit niedrigerem Stockpunkt in der Regel auch eine relativ niedrige Zündwilligkeit aufweisen.

In der Reihe der K_w-stoffe mit tiefem Stockpunkt begegnen wir aber auch einer grossen Vielfältigkeit der Struktur und dem entsprechend auch einem starken Schwanken der Zündwilligkeit. In der Reihe der Paraffine der Zusammensetzung C₁₂ - C₁₆ muss den schwach verzweigten K_w-stoffen mit einer Seitenkette der Vorrang gegeben werden, da die Einführung der zweiten Seitenkette die Zündwilligkeit stark verschlechtert. Bei den Paraffinen der Zusammensetzung über C₁₆ weisen nur die Paraffine mit 2 Seitenketten (wenigstens im Falle der kurzen Seitenketten) genügend niedrige Stockpunkte auf. Diese K_w-stoffe besitzen Dank der höheren Molekulargewichte genügend befriedigende Zündwilligkeit (mit Ausnahme von K_w-stoffen der symmetrischen Struktur, z. B. 5,6 - Dibutyldekan oder Tetrabutyl - Ethan). Die Einführung der Doppelbindung in das Molekül verschlechtert die Zündwilligkeit bedeutend weniger, als die Einführung der Seitenkette.

Unter den aliphatischen K_w-stoffen vom gleichen Molekulargewicht besitzen die niedrigsten Cetanzahlen die verzweigten Diolefine, die wie bekannt die höchsten Mischoktanzahlen besitzen.

Monoalkylbenzole der Zusammensetzung C₁₂ - C₂₄ weisen im Falle der verzweigten Seitenketten genügend niedrigen Stockpunkt auf, zeigen aber eine befriedigende Zündwilligkeit nur bei K_w-stoffen der Zusammensetzung C₁₆ und höher. In der Reihe der Monoalkylbenzole der Zusammensetzung C₁₂ - C₁₆ zeigen die normalen Monoalkylbenzole genügende Zündwilligkeit, sie sind aber durch relativ hohe Stockpunkte charakterisiert.

Die Monoalkylnaphthaline zeigen bedeutend schlechtere Zündwilligkeit im Vergleich zu den Monoalkylbenzolen derselben Zusammensetzung (n-Nonylbenzol hat Cetanzahl 57, n-Butylnaphthalin 7, n-Dodecylbenzol 66 und n-Oktanaphthalin 20). In diesem Fall werden anscheinend ein genügend gute Zündwilligkeit (Cetanzahl 45 - 50) nur die Homologen der Zusammensetzung C₂₀ und höher, sogar im Falle der normalen Seitenketten, aufweisen.

Die Hydrierung des Benzolringes erhöht die Cetanzahl um 9-10 Punkte; einen größeren Effekt zeigt die Hydrierung des Naphthalinrings. Demzufolge können wir nicht damit rechnen durch Alkylierung von Benzol und seinen Homologen (oder Naphthalin) Kohlenwasserstoffe für Dieselmotoren zu gewinnen, die gleichzeitig einen tiefen Stockpunkt und gute Zündwilligkeit aufweisen. Sogar die nachfol-

gende Hyu-
keit dies
Das weiter
auf alle
Kraftstoff
(niederm
friedigen
molekulare
genannten
K_w-stoffen
der meist
dieses Pro
siert und
einziger
hohen Zünd
gabe von 2
sert werde
den starke
paraffinis

Der nach d
index betr

2,7-Dimeth
5,6-Dibuty
2,9-Dimeth
Die Bestim
Morosow, d

De
ok
Ko
at
we
Ok

POOR COPY

6

POOR COPY

gende Hyarierung wird möglicherweise nicht immer die Zündwilligkeit dieser Kw-stoffe genügend verbessern.

Das weitere Studium der Verwirklichung dieses Verfahrens bleibt aber auf alle Fälle von Interesse als ein Weg zur Gewinnung einerseits von Kraftstoffen mit niedrigem Stockpunkt, ab nicht hoher Zündwilligkeit (niedermolekulare Kw-stoffe), andererseits von Kraftstoffen mit befriedigender Zündwilligkeit, aber mit relativ hohem Stockpunkt (hochmolekulare Kw-stoffe). Kogasin II, das unter den Bedingungen der sogenannten Mitteldrucksynthese erhalten wird und aus wenig verzweigten Kw-stoffen der Paraffinreihe besteht, erscheint augenscheinlich als der meist versprechende synthetische Dieseldraftstoff. Die Kw-stoffe dieses Produktes sind durch befriedigende Zündwerte 1) charakterisiert und können bei niedriger Verdichtung verbrannt werden. Als ihr einziger Nachteil erscheint ihre schwere Oxydierbarkeit, die den hohen Zündverzög und die niedrige Cetenzahl verursacht und durch Zugabe von Zusätzen z.B. von Verbindungen des Peroxydcharakters verbessert werden kann. Anschließend halten wir es für nicht uninteressant den starken Unterschied im Dieselinde und in den Cetenzahlen der isoparaffinischen Kw-stoffe hervorzuheben.

Der nach der folgenden Formel von R.Sundstrom (4) berechnete Dieselinde beträgt:

$$2,367 (t + 17,8) \frac{1,076}{S + 0,004}$$

(S = spez.Gewicht bei 20/4, t = Anilinpunkt)

2,7-Dimethyl-4,5-diäthyl- <u>oktan</u> , Dieselinde 90,1 Cetenzahl	45 ;
5,6-Dibutyldekan	" 94 " 43 ;
2,9-Dimethyl-5,6-diisooamyldekan	" 96,25 " 55 ;

Die Bestimmung der Cetenzahlen verdanken wir A.M. Smirnow u. G.A. Morosow, denen wir auch auf diesem Weg unseren Dank aussprechen.

1) Der Zündwert nach Jentsch beträgt bei 2,7-Dimethyl-4,5-diäthyl-oktan 219 °, bei 5,6-Dibutyldekan 210 °. Bei den aromatischen Kohlenwasserstoffen mit der gleichen Zahl der Kohlenstoffatome liegt der Zündwert bedeutend höher z.B. liegt der Zündwert beim normalen Butyl-naphthalin über 360 °, bei normalen Oktylnaphthalin bei 274 °.

1.) In der Mater indiv

2.) Die h bespr

1.) ... Blatt

2.) Gann S. 69

3.) ...

4.) ...

Aus dem In Chemie, ... Wissenschaft

POOR COPY

6

POOR COPY

Zusammenfassung.

- 1.) In der Arbeit wurde eine Übersicht des vorhandenen Versuchsmaterials gegeben, das die Zündwilligkeit und die Stockpunkte der individuellen Kw-stoffe der Dieselmotoren charakterisiert.
- 2.) Die hier auftretenden grundsätzlichen Gesetzmäßigkeiten wurden besprochen.

Literatur.

- 1.) A.D. Petrow, Fortschritte der Chemie, 8, Heft 7 (1939); Zentralblatt 1939, II, 4415.
- 2.) Gann Shen, Wood, Garner, J. of the Institut of Petroleum 25, S. 695 1939; Zentralblatt 1940 I, 2267.
- 3.) N.E. Neumann DAN. 11 4, 141 (1936).
- 4.) R. Sundstrom, Tekn. Tidskr., 20, 76 - 79 (1938).

Aus dem Institut für organische
Chemie, Abt. N.D. Zelinsky, Akademie d.
Wissenschaften d. USSR.

Der Direktion zugegangen
am 5.11.1940

Kohlenwasserstoffe

1. n-Doz
2. n-Tri
3. n-Tet
4. n-Pent
5. n-Hex
6. n-Hept
7. n-Oct
8. n-Non
9. 2,11-Di
10. 4,5-Di
11. 7,8-Di
12. 3,12-Di
13. 2-Meth
14. 3-Meth
15. 2,19-Di
16. 4-n-Pr
17. 2-Meth
18. 2,2-Di
19. 5-n-Bu
20. 13-Met
21. 10-n-H

POOR
COPY

6

POOR
COPY

Tabelle I.

30506

Paraffinkohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe	Siedepunkt	Titel
1. n-Dodecan, $C_{12}H_{26}$	+ 12	Kraft, B 15, 1699 (1882)
2. n-Tridecan, $C_{13}H_{28}$	+ 6,2	Kraft, B 15, 1699 (1882)
3. n-Tetradecan, $C_{14}H_{30}$	+ 5,5	Kraft, B 15, 2218 (1886)
4. n-Pentadecan, $C_{15}H_{32}$	+ 10,0	Kraft, B 15, 2700 (1882)
5. n-Hexadecan, $C_{16}H_{34}$	20,0	Lea, Brit. Ann. 220, 168 (1883)
6. n-Heptadecan, $C_{17}H_{36}$	22,5	Schaal, B 40, 4784 (1907)
7. n-Octadecan, $C_{18}H_{38}$	28,0	Schaal, B 40, 4784 (1907)
8. n-Nonadecan, $C_{19}H_{40}$	32,0	Kraft, B 15, 1704 (1882)
9. 2,11-Dimethyldodecan, $C_{14}H_{30}$	8,5	Landa, Coll. Czechoslov. 3, 367 (1931)
10. 4-5-Di-n-propyloctan, $C_{14}H_{30}$	unter 80	Picard u. Brewster, J. Amer. Chem. Soc. 43, 2626 (1921)
11. 7-8-Dimethyltetradecan, $C_{16}H_{34}$	unter 70	Alchin, J. russ. Phys.-Chem. Ges. 15, 175 (1883)
12. 3,12-Dimethyltetradecan, $C_{16}H_{34}$	etwa 70	Petrow u. Kaplan unveröffentliche Ergebnisse
13. 2-Methylnonadecan, $C_{20}H_{42}$	+ 18,3	Landa, Coll. Czechoslov 3, 475 (1936)
14. 3-Methyloctadecan, $C_{20}H_{42}$	+ 3	Bykman, Verhandlungen Haag, (5) 8, 441 (1919)
15. 2,19-Dimethylheicosan, $C_{22}H_{46}$	+ 41	Landa, Coll. Czechoslov 3, 367 (1931)
16. 4-n-Propylnonadecan, $C_{22}H_{46}$	+ 6,5	Landa, Coll. Czechoslov 5, 204 (1933)
17. 2-Methyltrikosan, $C_{24}H_{50}$	+ 42	Landa, Coll. Czechoslov 5, 520 (1930)
18. 2,2-Dimethyldokosan, $C_{24}H_{50}$	+ 34,5	Strating, Rec. Trav. Chim. 55, 903 (1936)
19. 5-n-Butyltrikosan, $C_{24}H_{50}$	+ 8	Landa, Coll. Czechoslov 5, 204 (1933)
20. 13-Methylpentakosan, $C_{26}H_{54}$	+ 29	Mo-Kittric, J. Inst. Petrol. Technol. 23, 630 (1937)
21. 10-n-Hexyl-n-nonadecan, $C_{28}H_{58}$	+ 6	Strating, Rec. Trav. Chim. 55, 903 (1936)

Kohlenwa

22. Dode

23. 2,2-
Laty

24. Trid

25. Petr

26. Penad

27. Hexa

28. 5-Bu

29. Hept

30. Octa

POOR
COPY

6

POOR
COPY

30507

Olefinkohlenwasserstoffe.

<u>Kohlenwasserstoffe</u>	<u>Stockpunkt</u>	<u>Literatur</u>
22. Dodecen-1, $C_{12}H_{24}$	- 31	Kraft B., 16, 3019 (1893)
23. 2,2,4-Trimethyl-3-tert. butylpentan-2, $C_{12}H_{24}$	unter 30	Butlerow, J. russ. Phys. Chem. Ges., 11, 198 (1879)
24. Tridecen-1, $C_{13}H_{26}$	- 13	Kozacik, Reid, J. Amer. Chem. Soc., 60, 2436 (1938)
25. Tetradecan-1, $C_{14}H_{28}$	- 22	Kraft, B., 16, 3018 (1893)
26. Pentadecen-1, $C_{15}H_{30}$	- 3	Kozacik, Reid, J. Amer. Chem. Soc., 60, 2437 (1938)
27. Hexadecen-1, $C_{16}H_{32}$	+ 4	Langedijk, Rec. Trav. Chim., 56, 326 (1937)
28. 5-Butyldodecen-4, $C_{16}H_{32}$	- 62	Petrow u. Andrejew, D. Z. allg. Chem. (russ.), 7, 370 (1937)
29. Heptadecen-1, $C_{17}H_{34}$	11, 2	Kozacik, Reid, J. Amer. Chem. Soc., 60, 2436 (1938)
30. Octadecen-1, $C_{18}H_{36}$	18	Gault u. Alchidjan, Ann. Chim., (10), 2, 209, (1924).

Ar

Kohlenwasserstoffe

1. n-Isopent

2. n-Oct

3. p-Hex

4. p-n

5. n-Hept

6. n-Hex

7. Tert. D

8. c-Hexad

9. n-Hex

10. p-Hex

11. Tert. H

12. n-Hept

13. n-Dode

14. n-Hexa

15. c-Octa

02

POOR
COPY

6

POOR
COPY

Aromatische und naphthenische Kohlenwasserstoffe

<u>Kohlenwasserstoffe</u>	<u>Stockpunkt</u>	<u>Zitat</u>
1. <i>o</i> -Isopropyl-naphthalin, $C_{13}H_{18}$	- 21	Roux, A.Ch., (6) 12, 315
2. <i>n</i> -Octylbenzol, $C_{14}H_{22}$	- 7	Ahrens, B., 19, 2718 (1886)
3. <i>p</i> -Methylen-phenylheptan, $C_{14}H_{22}$	unter 20	Paul-Hoffmann, B., 25, 1902 (1890)
4. <i>p</i> - <i>n</i> -Octyltoluol, $C_{15}H_{24}$	+ 11-12	Lipinsky, B., 31, 940 (1889)
5. <i>n</i> -Heptylnaphthalin, $C_{17}H_{22}$	unter 21	Kuli-Sade, Aserbedsch. Filiale d. Akad. d. Wissensch. unveröffentlicht.
6. <i>n</i> -Hexadecylbenzol, $C_{22}H_{38}$	+ 7	Kraft, B., 19, 2983 (1886)
7. Tert. Dodecyl-naphthalin, $C_{22}H_{32}$	unter 21	Kuli-Sade, Aserbedsch. Filiale d. Akad. d. Wissensch. unveröffentlicht.
8. <i>o</i> -Hexadecyltoluol, $C_{22}H_{40}$	8-9	Kraft, B., 21, 3181 (1888)
9. <i>n</i> -Hexadecyltoluol, $C_{23}H_{40}$	11-12	" " "
10. <i>p</i> -Hexadecyltoluol, $C_{23}H_{40}$	27, 5	" " "
11. Tert. Eicosyl-naphthalin, $C_{32}H_{52}$	- 10	Kuli-Sade, Aserbedsch. Filiale d. Akad. d. Wissensch. unveröffentlicht.
12. <i>n</i> -Heptylcyclohexan, $C_{13}H_{26}$	- 41	Schmidt, B., 73, 930 (1940)
13. <i>n</i> -Dodecylcyclohexan, $C_{18}H_{36}$	+ 12	" " "
14. <i>n</i> -Hexadecylcyclohexan, $C_{22}H_{44}$	+ 32, 5 + 41, 3	Strating, Rec. Trav. Chim., 55, 903 (1936)
15. <i>o</i> -Octadecylcyclohexan, $C_{24}H_{48}$	+ 40, 0	Hickska, J. Org. Chem., 3, 499 (1938)

POOR
COPY

6

POOR
COPY

30509

Tabelle III

Kohlenwasserstoffe der Paraffin- und Olefinreihe

Kohlenwasserstoffe	Stockpunkt	Gefahren
1. n-Dodecan $C_{12}H_{26}$	-12	22
2. 3-Athyldecan $C_{12}H_{26}$	-70	51
3. 4,5-Diat., Octan $C_{12}H_{26}$	-70	22
4. 2,5-Dimethyldecan $C_{13}H_{28}$	-	66
5. 3-Propyldecan $C_{13}H_{28}$	-65	48
6. 2,7-Dimethyl-4,5-diäthyldecan $C_{14}H_{30}$	-70	48
7. n-Hexadecan $C_{16}H_{34}$	-20	(110)
8. 7,8-Dimethyltetradecan $C_{16}H_{34}$	-70	46
9. 7,8-Diäthyltetradecan $C_{16}H_{34}$	-56	77
10. 3,6-Dibutyldecan $C_{16}H_{34}$	-62	34
11. 2,9-Dimethyl-5,8-dioctyldecan $C_{22}H_{46}$	-38	35
12. n-Tetradecan $C_{14}H_{28}$	-12	90
13. 1-Dodecan $C_{12}H_{26}$	-62	72
14. Methyl-3-propyldecan $C_{14}H_{28}$	-65	
15. Diäthyltetradecan $C_{16}H_{34}$	-	30

Kohlenwasserstoffe
1. n-H
2. n-H
3. n-H
4. Phn
5. Ter
6. n-H
7. Ter
8. Phn
9. Phn
10. n-H
11. n-H
12. Phn
13. Phn
14. Phn
15. Phn
16. Cycl
17. n-H
18. n-H
19. Dodec
20. n-Par
21. Tert
22. n-Oct

POOR COPY

6

POOR COPY

30510

Recherches
In 556

Tabelle IV

Aromatische und naphthenische Kohlenwasserstoffe

Kohlenwasserstoffe	Siedepunkt	Geruchzahl
1. n-Hexylbenzol C ₁₂	-	30 ²
2. n-Heptylbenzol C ₁₃	-	40 ²
3. n-Octylbenzol C ₁₄	-	57 ²
4. Phenylmethyloctylmethan C ₁₄	- 70	37
5. Tert. Butyl-naphthalin C ₁₄	- 5	4
6. n-Butyl-naphthalin C ₁₄	- 55	7
7. Tert. Butyl-tetralin C ₁₄	- 49,5	19
8. Phenylnonyl-ethylmethan C ₁₇	- 35	58
9. Phenylmethyloctyläthylen C ₁₇	- 22	26
10. n-Dodecylbenzol (Phenyl-dodecan) C ₁₈	- 7	66
11. n-Octyl-naphthalin C ₁₈	- 45,5	20
12. Phenylmethylheptylmethan C ₁₉	unter 10	46
13. Phenylisopentylheptylmethan C ₂₂	-	21
14. Phenylmethylpentadecylmethan C ₂₄	- 13	65
15. Phenylmethyl-dodecylmethan C ₂₀	- 7	56
16. Cyclohexylmethyl-dodecylmethan C ₂₀	- 19	65
17. n-Methyl-dodecyl-cyclohexan C ₁₉	- 14	80
18. o-Methyl-dodecyl-cyclohexan C ₁₉	- 19	...
19. Dekalin C ₁₀	- 70	55
20. n-Butyl-dekalin C ₁₄	- 68	...
21. Tert. Butyl-dekalin C ₁₄	- 50	27
22. n-Octyl-dekalin C ₁₈	- 48	35

POOR
COPY

6

POOR
COPY

187421

Rechenversuch
In 558

5. 6. 1941, Gott/Pf.

Frl. Dr. Höring

⑦

Betr.: Diesello-Produktion in Steinkohle-Hydrieranlagen ¹⁾.

Zusammenfassung.

In der anhängenden Tabelle I sind einige Möglichkeiten der Dieselloherstellung in einer Steinkohle-Hydrieranlage angezeigt.

Es ergibt sich:

I. Die maximal in einer Steinkohle-Anlage (Kapazität 200 000 Jato Autobenzin) zu gewinnende Diesellohmange ist 125 000 Jato, daneben fallen 82 000 Jato Autobenzin an. Bei einer Produktion von ca. 100 000 Jato Flugbenzin beträgt die Diesellohmange ca. 90 000 Jato.

Wird eine Steinkohle-Anlage mit einer Kapazität von ca. 200 000 Jato Autobenzin und 200 000 Jato Heizöl auf Dieselloherzeugung umgestellt, so kann jetzt bedingt durch die höhere Sumpphasebenzin-Menge nur 78 000 Jato Diesello neben ~ 125 000 Jato Autobenzin und 200 000 Jato Heizöl erzeugt werden. Bei der Herstellung von Flugbenzin geht obige Diesellohmange auf ca. 55 000 Jato zurück.

II. Bei der Erzeugung von Diesello geht die Qualität der dabei gleichzeitig anfallenden Benzine entsprechend der Diesellohmange zurück (O.Z. des I-Benzins geschätzt ca. 71 M.M., O.Z. des Autobenzins 55-60).

III. Die 6434-Gasphase liegt teilweise bzw. ganz still.

IV. Das erzeugte Diesello hat eine Oktanzahl von 35 bis 40. (Verdünnter oder konzentrierter Vorhydrier-Kontakt.)

Der Stockpunkt des Diesellos liegt sehr tief (unter -35°C).

Die Viskosität ist mit $1,08^{\circ}\text{B}/20^{\circ}$ etwas gering.

1) Vergl. Bespr.-Ber. v. 12.5.41 1736 und Schreiben RWA v. 16.5.41.

POOR
COPY

7

V. Wenn in einer Steinkohle-Anlage Dieselöl erzeugt werden soll, ist vorzusehen:

- a) getrennte Abstreifer-Destillation für 5058 und 6434.
- b) Die 5058-Abstreifer-Destillationskolonne muß so ausgelegt werden, daß ein Leichtbenzin $< 120^\circ$ eine Zwischenfraktion $120 - 180$ und Mittelöl $> 180^\circ$ herausgeschnitten werden können.
- c) Lauge und Wasserwäsche für das Dieselöl sind vorzusehen.
- d) Entsprechende Zwischentanks und Fertigtanks sind vorzusehen.

Ausgehend von 1 000 kg Sumpphase-Benzin und Mittelöl sind in der anhängenden Tabelle I einige Möglichkeiten aufgezeigt, Dieselöl aus der Gasphase herausanziehen.

Im Fall a) wird die Sumpphase auf Benzin und Mittelöl gefahren, im Fall b) auf Benzin, Mittelöl und Schweröl (Heizöl).

Es wird jeweils die normale Fahrweise auf Auto- bzw. L-Benzin verglichen mit einer Fahrweise, bei der nach der Vorhydrierung Dieselöl herausgezogen wird und zwar wird neben Dieselöl Autobenzin bzw. L-Benzin hergestellt.

Für den Fall a) (kein Heizöl) ergeben sich für eine 200 000 Jato Autobenzin-Anlage folgende Produktionsmöglichkeiten:

Produktion in Jato				
Autobenzin	200 000	--	82 000	--
L-Benzin OZ. 87	--	180 000	--	100 000
Dieselöl	--	--	126 000	93 000
Gesamt-Produktion	200 000	180 000	208 000	193 000

f) in den Fall b (Heizölfahrweise) ergeben sich etwa folgende Produktionsmöglichkeiten:

Produktion in Tona				
Autobenzin	200 000	---	127 000	---
L-Benzin OZ- 57	---	185 000	---	134 000
Dieselöl	---	---	78 000	54 000
Heizöl	200 000	200 000	200 000	200 000
Gesamt-Produktion	400 000	385 000	405 000	388 000

Wie aus Tabelle I ersichtlich, wird bei der Herstellung von Autobenzin und Dieselöl das Vorhydrierungsbenzin als Autobenzin herausgezogen (Benzin ist nicht ganz siedegerecht), das über dem Benzin siedende Mittelöl wird als Dieselöl herausgezogen. (Maximale Dieselmenge.) Die 6434-Kammern stehen hierbei still. Wird ein Teil des Dieselöls über 6434 verarbeitet, so kann die Autobenzin-Menge und die Qualität des letzteren entsprechend verbessert werden.

Soll neben Dieselöl Flugbenzin erzeugt werden, so wird es zweckmäßig sein, 5058- und 6434-Abstreifer getrennt zu destillieren und zwar derart, daß der 5058-Abstreifer zerlegt wird in Benzin bis ca. 120°, ein Schwerbenzin 120-180° und Mittelöl >180°. Das Schwerbenzin und ein Teil des Mittelöls wird über 6434 auf L-Benzin so verarbeitet, daß die Mischung mit dem Vorhydrierungsbenzin bis ca. 120° das fertige Flugbenzin ergibt. Dies so gewonnene Flugbenzin dürfte in seiner Qualität nahezu die Qualität des VT 705 erreichen.

Allgemein gilt, daß bei Herausnahme von vorhydriertem Mittelöl als Dieselöl, die 6434-Kammern teilweise oder ganz außer Betrieb sind.

30514

Dieselöl-Qualität.

In der Tabelle II sind einige im 6- und 1 Ltr.-Ofen erhaltene b-Mittelöle aus der Vorhydrierung von Steinkohle zusammengestellt.

Daraus ergibt sich, daß die bei der Vorhydrierung von Steinkohle-Verflüssigungsmittelöl erhaltenen b-Mittelöle eine Cetanzahl von ca. 35 haben. Bei der Vorhydrierung mit Kontakt 5058 dürfte eine Cetanzahl von ca. 40 erreicht werden. Die Steinkohlen-Dieselöle haben einen sehr tiefen Stockpunkt - unter -35°C -, die Viskosität ist mit 1,08⁰E bei 20⁰ allerdings etwas gering.

Ferner dürfte es nötig sein, falls in einer Steinkohle-Anlage Dieselöl erzeugt werden soll, für dieses Dieselöl eine Laugewäsche und Wasserwäsche vorzusehen.

gez. Oettinger

2 Tabellen

Tabelle I.

	a) 1000 kg S-Bi + Mi S-Phase auf Bi + Mi 5058				b) 1000 kg S-Bi + Mi S-Phase Bi + Heizöl 5058 40 % S-Bi - 200°			
		oder	oder	oder				
kg Abstreifer	962	962	962	962	950	950	950	950
kg Benzin KP	378 - 180°	296 - 150°	378 - 180°	190 - 120°	586 - 180°	520 - 150°	586 - 180°	360 - 120°
kg Schwerbenzin	—	—	—	188 120 - 180°	—	—	—	226 120 - 180°
kg b-Mittelöl	580 - 180°	672 - 150°	580 - 180°	580 - 180°	360 - 180°	426 - 190°	360 > 180°	360 - 180°
6434	↓	↓	—	↓ 1)	↓	↓	—	↓ 1)
kg Benzin KP	540 - 180°	542 - 150°	—	271 - 150°	335 - 180°	342 - 150°	—	258 - 140°
Endprodukte								
kg Autobenzin	918	—	378	—	921	—	586	—
kg L-Benzin	—	828	—	461	—	862	—	618
kg Dieselöl	—	—	580	425	—	—	360	250
Sa. Endprodukte	918	828	958	886	921 x)	862 x)	945 x)	868 x)
				1) Frischöl für 6434 188 kg Schwerbi 155 kg b- Mittelöl				1) Frischöl für 6434 226 kg Schwerbi + 110 kg b- Mittelöl
					x) Außerdem 920 kg S-Phase Abstreifer- Schweröl als Heizöl			

30515

Vorhydrierung
Katalysator

% Benzin im
Abstreifer

Mittelöl

spez. Gewicht

Anilinpunkt

Wiedebeginn

B.P. °C

Cetanzahl

Stockpunkt °C

Viskosität °C

% Phenole

x) Aus C

Tabelle II.

Eigenschaften des b-Mittelöls aus der Vorhydrierung von Steinkohle-Verflüssigungs-Mittelöl.

Vorhydrierungs- Katalysator	5058	5058	5058	5058	5058/ 7846	5058/ 7846	7846	7846
% Bensen im Abstreifer	53	37,3	23,4	20,5	23,4	27	22	44
<u>b-Mittelöl</u>								
Spez. Gewicht	0,861	0,856	0,876	0,888	0,878	0,872	0,876	0,876
Anilinpunkt °C	53	49	41	34	31	38	38	41
Niedebeginn °C	212	190	196	195	189	200	187	186
B.P. °C	303	305	310	308	309	307	318	310
Cetanzahl	—	43 x)	40 x)	35 x)	30	37	34,5	35
Stockpunkt °C	—	—	—	—	unter -35°	unter -35°	—	—
Viskosität °E/20°	—	—	—	—	1,085	1,085	—	—
% Phenole	—	0,03	0,07	0,35	0,007	—	—	—

x) Aus Cetanzahl umgerechnet.

30516

POOR
COPY

7

Abschrift

30517

Blatt 11

Zurück an

Tafel 1.

Vorzimmer Dir. Dr. Pier

8

Physikalisch-chemische und motorische Daten
von Braunkohlenteerölen verschiedener Her-
kunft vor ihrer Behandlung mit selektiven
Lösungsmitteln.

Nr.	Bezeichnung	Spez. Gew. bei 20°	Siede- kennz.	Ostenz. CFR-Mot.	Schwefel- geh. Gew%	Kreosot- geh. Vol. %
1	Braunkohlen- teeröl 2 aus Rolleofenteer	0,891	278	48	0,86	2
2	Kaltpressöl aus Geißenofenteer	0,935	184	34	1,50	13
3	Braunkohlenteer- öl 1 aus Rolle- ofenteer	0,886	259	46	0,79	2
4	Schieferteeröl aus Messeler Schieferteer	0,837	267	66	0,58	0

Anlagekosten 30-40 t Schwelteerverarbeitung (Hagemann)

Motor. Prüfungen

Grösse der Versuchsapparatur

Schmieröle

Lagefähigkeit 1 Std. auf 180° erhitzt

Wie lange

Mischen mit Kogasin

Verbesserung mit normalen ?

Für Geruchseigenschaften

49425 von Dr. Karsenbach amf. 4.9.38.

Ausgangs-
öl

Nr.

1 x)

2

3

4

x) Propanol,
Benzaldehyd,
schichten

POOR
COPY

8

Tafel 2

Physikalisch-chemische und motorische Daten der Raffinate, die aus den Teerölen der Tafel 1 durch Behandlung mit Lösungsmitteln erhalten wurden.

Ausgangs- öl Nr.	Verwendetes Lösungsmittel	Raffinat- ausbeute Vol.%	Spez. Gew. bei 20°	C.F.R.- Ceten- zahl
1 x)	a) fl. Schwefeldioxyd	40	0,847	69
	b) fl. Phenol	59	0,847	68
	c) Anilin	32	0,827	77
	d) Sprit	47	0,862	60
	e) Furfurol	55	0,841	70
	f) Methanol	69	0,867	58
	g) Aceton	46	0,870	57
	h) Eisessig	30	0,860	61
2	a) fl. Schwefeldioxyd	26	0,861	62
	b) Phenol	40	0,855	69
	c) Anilin	38	0,852	76
	d) Furfurol	36	0,853	76
3	a) fl. Schwefeldioxyd	45	0,842	67
	b) fl. Phenol	52	0,838	67
	c) Anilin	40	0,827	75
	d) Sprit	58	0,864	58
	e) Furfurol	50	0,826	73
4	a) fl. Schwefeldioxyd	60	0,810	92
	b) fl. Phenol	68	0,809	92
	c) Anilin	69	0,808	93
	d) Sprit	67	0,826	84
	e) Furfurol	80	0,811	91

x) Propanol, Methyläthylketon, Chlorex, Crotonaldehyd, Benzaldehyd, Toluidin und Kresol ergaben keine Zweischichtenbildung.

a) Anderung
Raffinat

Ausgangsöl
" (kresol)

Raffinat

b) Anderung
der Raffinat

Art des
Öles

Ausgangsöl

Raffinat

Extrakt

c) Anderung
Raffinat

Art des

Ausgangsöl

Raffinat

Tafel 3

a) Änderung der Verkokungseignung eines Braunkohlenteeröles durch Raffination mit selektiven Lösungsmitteln.

	Art des Lösungsmittels	Normalbenzin-Unlösliches Gew. %	Asphalt Gew. %	Kok Gew. %
Ausgangsöl	-	6,09	5,23	0,86
" (kreas.frei)	-	5,03	4,35	0,68
Raffinat	Methanol	1,39	0,82	0,57
"	Aethanol	1,40	0,78	0,62
"	Phenol	0,75	0,28	0,47
"	Furfurol	0,47	0,11	0,36
"	Anilin	0,36	0,10	0,26

b) Änderung der Siedekennziffer eines Braunkohlenteeröles bei der Raffination mit Lösungsmitteln.

Art des Öles	Art des Lösungsmittels	Siedekennziffer
Ausgangsöl	-	309
Raffinat	Phenol	313
	Furfurol	312
	Anilin	320
Extrakt	Phenol	306
	Furfurol	305
	Anilin	300

c) Änderung des Stockpunktes eines Braunkohlenteeröles durch die Raffination mit Lösungsmitteln.

Art des Öles	Art des Lösungsmittels	Stockpunkt in Grad C
Ausgangsöl	-	- 9
Raffinat	Methanol	- 6
	Phenol	- 4
	Furfurol	- 3
	Anilin	- 2
	Pentan-Furfurol	- 7
	Pentan-Phenol	- 6

Behandlung

Raffinat
ExtraktRaffinat
ExtraktRaffinat
ExtraktRaffinat
ExtraktRaffinat
ExtraktRaffinat
ExtraktRaffinat
ExtraktRaffinat
ExtraktRaffinat
ExtraktRaffinat
ExtraktRaffinat
Extrakt

Tafel 4.

Behandlung eines Braunkohlenteeröles (Tafel 1, Nr. 1) mit Lösungsmittelgemischen.

	Verwendetes Lösungsmittel-gemisch	Ausbeute in Vol%	spez. Gew. bei 20° kg/dm ³	S-Gehalt in Gew.-%	Cetenzahl (phys. erm.)
Raffinat	Methanol-Aethanol	50	0,8626	0,63	60
Extrakt	" "	50	0,9167	1,19	38
Raffinat	Methanol-Aceton	56	0,8594	0,59	65
Extrakt	" "	44	0,9246	1,19	34
Raffinat	Methanol-Eisessig	64	0,8628	0,59	60
Extrakt	" "	36	0,9436	1,45	27
Raffinat	Methanol-Anilin	49	0,8401	0,49	71
Extrakt	" "	51	0,9190	1,21	36
Raffinat	Methanol-Phenol	77	0,8696	0,73	57
Extrakt	" "	23	0,9545	1,29	24
Raffinat	Methanol-Kresol	35	0,8540	0,53	64
Extrakt	" "	65	0,9075	1,03	45
Raffinat	Methanol-Furfurol	48	0,8390	0,52	71
Extrakt	" "	52	0,9292	1,17	32
Raffinat	Furfurol-Aethanol	37	0,8359	0,54	72,5
Extrakt	" "	63	0,9193	1,04	36
Raffinat	Furfurol-Aceton	15	0,8481	0,63	67
Extrakt	" "	85	0,8960	1,01	45
Raffinat	Furfurol-Eisessig	50	0,8412	0,63	70
Extrakt	" "	50	0,9124	1,10	39
Raffinat	Furfurol-Phenol	61	0,8438	0,55	69
Extrakt	" "	39	0,9593	1,34	23

Lösungsgemische sollen besondere Vorteile (Cetenzahl) haben.

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Raffinat Extrakt

Tafel 5.

Behandlung eines Braunkohlenteeröles (Tafel 1, Nr. 1) mit
selektiven Lösungsmitteln unter Zusatz von Pentan.

Verwendetes Lösungsmittel	Lösgs. mittel- menge in Vol%	Ausbeute in Vol%	Spez. Gew. bei 20° kg/dm ³	S-Gehalt in Gew.-%	Cetenzahl (phys. erm.)	
Raffinat Extrakt	Pentan-Furfurol " "	1x150 1x150	79 21	0,8675 0,9765	0,70 -	58 21
Raffinat Extrakt	Pentan-Phenol " "	1x150 1x150	74 30	0,8744 0,9566	0,71 -	55 24
Raffinat Extrakt	Pentan-Anilin " "	1x150 1x150	70 30	0,8702 0,9550	0,76 -	57 25
Raffinat Extrakt	Furfurol " "	1x75 1x75	61 39	0,8599 0,9547	0,68 -	61 24
Raffinat Extrakt	Phenol " "	1x75 1x75	64 36	0,8661 0,9327	0,69 -	59 31

Mit 75 % Anilin wurde keine Schichtenbildung
erreicht

Tafel 6.

Behandlung eines rohen Braunkohlenteerdestillates mit
selektiven Lösungsmitteln.

Ausgangsöl	Ausbeute in Vol-%	Spez. Gew. bei 20° kg/dm ³	S-Gehalt in Gew.-%	Cetenz. (phys. erm.)	Kreosot- gehalt in Volumen-%	
Ausgangsöl	-	0,9218	1,32	37	8	
Raffinat Extrakt	Methanol "	40 60	0,8725 0,9596	1,07 1,64	58 25	- 15
Raffinat Extrakt	Aethanol "	20 80	0,8706 0,9581	1,07 1,48	59 31	- 10
Raffinat Extrakt	Anilin "	16,5 83,5	0,8259 0,9563	0,57 1,62	79 32	- 10
Raffinat Extrakt	Furfurol "	28 72	0,8281 1,0064	0,49 1,65	78 -	- 12
Raffinat Extrakt	Phenol "	34 66	0,8595 0,9928	0,90 1,56	63 -	- 14
Raffinat Extrakt	Pentan-Furfurol " "	70 30	0,8768 0,9921	1,09 1,68	56 -	- 25

Behandlung
BraunVerwendetes
Lösungsmittel

1. R o l l

Ausgangsteer

Raffinat M
ExtraktRaffinat F
ExtraktRaffinat P
Extrakt

2. S p u l

Ausgangsteer

Raffinat M
ExtraktRaffinat F
ExtraktBehandlung
LösungVerwendetes
Lösungsmittel

1. R o l l

Ausgangsteer

Raffinat M
ExtraktRaffinat P
ExtraktRaffinat P
Extrakt

2. R o l l

Raffinat 20

Extrakt 20

3. S p u l

Ausgangsteer

Raffinat M
ExtraktRaffinat P
Extrakt

x) Weg

Tafel 7

30522

Behandlung von nicht destillierten, entparaffinierten
Braunkohlenteeren mit selektiven Lösungsmitteln:

Verwendetes Lösungsmittel	Lösungsm.- Menge in Vol.%	Ausbeute in Vol.%	spez. Gew. bei 20° kg/dm ³	S-Gehalt in Gew.%	Cetenzahl (phys. er- mittelt)
1. Rolleofenteer					
Ausgangsteer	-	-	0,9438	1,47	37
Raffinat Methanol	3 x 50	44	0,9179	1,37	47
Extrakt "	3 x 50	56	0,9619	1,63	32
Raffinat Furfurol	3 x 50	35	0,8649	0,90	60
Extrakt "	3 x 50	64	1,0241	1,88	-
Raffinat Phenol	3 x 50	40	0,9047	1,25	53
Extrakt "	3 x 50	60	0,9834	1,66	-
2. Spülgasteer					
Ausgangsteer	-	-	0,9890	0,77	28
Raffinat Methanol	3 x 50	53	0,9696	0,59	32
Extrakt "	3 x 50	47	1,0088	0,97	-
Raffinat Furfurol	1 x 100	36	0,9527	0,53	37
Extrakt "	1 x 100	64	1,0091	1,07	-

Tafel 8

Behandlung von nicht destillierten Braunkohlenteeren mit
Lösungsmittelgemischen (1 x 150 Vol.%) (Pentan+Furfurol+Phenol)

Verwendetes Lösungsmittel	Ausbeute in Vol.%	spez. Gew. bei 20° kg/dm ³	S-Gehalt in Gew.%	Cetenzahl (phys. er- mittelt)
1. Rolleofenteer				
Ausgangsteer	-	0,9438	1,47	37
Raffinat Methanol-Phenol	68	0,9180	1,20	47
Extrakt " "	32	1,0456	1,73	-
Raffinat Pentan-Furfurol	66	0,9073	1,22	52
Extrakt " "	34	1,0230	1,84	-
Raffinat Pentan-Phenol	60	0,9190	1,31	46
Extrakt " "	40	0,9890	1,80	-
2. Rolleofenteer (nicht entparaffiniert)				
Raffinat 200% Normal-Bi+100% Phenol	74	{ 0,9288	1,60	x)
Extrakt 200% " +100% "	26	{ 0,8946	1,30	x)
		0,9889	1,82	-
3. Spülgasteer				
Ausgangsteer	-	0,9890	0,77	28
Raffinat Methanol-Phenol	60	0,9727	0,67	31,5
Extrakt " "	40	0,9959	0,93	-
Raffinat Pentan-Furfurol	63	0,9727	0,67	31,5
Extrakt " "	37	1,0191	0,95	-

x) Wegen der auftretenden Paraffinausscheidungen nicht meßbar.

Nach Dryer, Chenicek, Egloff und Morrell.

Eigenschaften der Raffinate von Spaltdieselmkraftstoffen.a) Pennsylvania Spaltdieselmkraftstoff.

Lösungsmittel	F u r f u r o l				Schwefeldioxyd		
Verhältnis Lösungsmittel:Ausgangsöl	0	0,5	1,0	1,5	0,6	0,9	1,2
Raffinat %	100	84	78	72	75	73	71
Dichte bei 20°	0,873	0,855	0,843	0,837	0,841	0,837	0,835
Schwefelgehalt %	0,05	0,05	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03
Conradsontest %	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Destillation °C							
Siedebeginn	170	225	216	225	209	207	203
10 % Dest. bei	244	250	249	252	247	249	249
50 % " "	280	282	280	287	281	283	283
90 % " "	325	321	322	323	323	325	321
Endsiedepunkt	349	351	350	357	346	347	346
Cetenzahl	44	49	52	58	58	60	69

b) Mid-Continent Spaltdieselmkraftstoff.

Lösungsmittel	F u r f u r o l				Schwefeldioxyd		
Verhältnis Lösungsmittel:Ausgangsöl	0	0,54	0,86	1,2	0,3	0,5	1,1
Raffinat %	100	81	70	62	72	65	63
Dichte bei 20°	0,884	0,868	0,861	0,846	0,861	0,849	0,840
Schwefelgehalt %	0,23	0,16	0,15	0,10	0,16	0,13	0,09
Conradsontest %	0,14	0,08	0,07	0,04	0,10	0,06	0,05
Destillation °C							
Siedebeginn	203	215	216	204	210	207	204
10 % Dest. bei	237	235	234	227	232	230	228
50 % " "	251	250	249	247	250	249	248
90 % " "	287	290	284	284	283	286	284
Endsiedepunkt	321	314	320	318	313	330	321
Cetenzahl	35	41	43	44	42	53	53
" (nach Zusatz vom 1% Acetonperoxyd)	44	52	58	63	55	64	68

9

30524

Vergleich der Motorleistung bei Betrieb mit Sauerstoff und mit H₂O.

Es soll der Leistungsbetrieb von Motoren mit Sauerstoff und mit H₂O energie- u. gewichtsmäßig verglichen werden. Die Leistung eines Motors hängt unter sonst gleichen Bedingungen von der Energiemenge ab, die den Motor pro m³ Kraftstoff-Luft-Gemisch zugeführt und verarbeitet wird. Diese Energiemenge heißt Gemischheizwert in WR/m³ (15⁰⁰, 735mm).

Der Gemischheizwert errechnet sich aus dem unteren Heizwert H_u (WR/kg) und dem Luftbedarf L in m³ (15⁰, 735 mm) pro kg.

(1) Gemischheizwert = $\frac{H_u}{L}$ in WR/m³ (15⁰⁰, 735 mm)
 $\frac{24,43 + L}{L}$ H = Mol.-Gewicht des Kraftstoffes

(2) Luftbedarf L = $\frac{50,57 + h}{5,219}$ in m³ (15⁰, 735 mm) pro kg Kraftstoff
h = % H des sauerstoff-freien K-Kraftstoffes

Für ein durchschnittliches Benzin ist der untere Heizwert H_u = 10 400 WR pro kg, das Mol.-Gewicht H = 100, der Wasserstoffgehalt h = 14,3 %.

Der Luftbedarf ist nach (2) = $\frac{50,57 + 14,3}{5,219} = 12,42$ m³ / kg

Der Sauerstoffbedarf = 12,42 x 0,2095 = 2,6 m³/kg = 3,42 kg/kg Brennstoff

Der H₂O-Bedarf = 2 x Sauerstoffbedarf = 5,2 m³/kg = 9,44 kg/kg Brennstoff

Der Gemischheizwert mit Luft nach (1) = $\frac{10\ 400}{0,244 + 12,42} = 820$ WR/m³

Der Gemischheizwert mit Sauerstoff = $\frac{10\ 400}{0,244 + 2,6} = 3850$ WR/m³

Der Gemischheizwert mit H₂O: Da ihn zu erhalten, muß man den Heizwert H_u des Benzins um den Energieinhalt, der 9,44 kg H₂O/kg Brennstoff vermehren. H₂O mit dem Mol.-Gewicht 44,02 hat eine molare Bildungswärme (gasförmig) von - 17,7 WR, also eine Bildungswärme von - 402 WR/kg; 9,44 x 402 = 3 790 WR; diese muß H_u vermehrt werden. Für den Gemischheizwert folgt $\frac{10\ 400 + 3\ 790}{0,244 + 5,2} = 2\ 605$ WR/m³.

Ein Vergleich der eben berechneten Gemischheizwerte mit Luft, Sauerstoff und H₂O zeigt, dass man rein energetisch mit Sauerstoff die 4,5-fache Leistung, mit H₂O die 3,18-fache Motorleistung gegenüber

20335

POOR COPY 9

POOR COPY

Über den Luftbetrieb erreichen könnte.

Diese Leistungssteigerung erkauft man aber mit einer Minderung der maximalen Flugzeit infolge des erhöhten Brennstoffverbrauchs und der Belastung an mitgeführten Sauerstoff bzw. H_2O .

Will man 15 Minuten lang eine 10%ige Mehrleistung des Motors erreichen, so muss man beim O_2 -Betrieb 10 % mehr Benzin einspritzen und den dazu nötigen Sauerstoff liefern. Das bedeutet, - um ein zum Vergleich geeignetes praktisches Beispiel zu nehmen - für einen 1000 PS - Motor (Verbrauch 220 g/PS) eine Zusatzbenzinsmenge von 5,5 kg mit einem Sauerstoffbedarf von $3,41 \times 5,5 = 18,8 \text{ kg } O_2$, zusammen 24,3 kg Brennstoff + O_2 Mehrgewicht (ohne Flasche, Äquivalent einer Minderung der Normalflugzeit um 7 Minuten.

Nimmt man den Sauerstoff nicht flüssig, sondern in einer Flasche gasförmig mit, so muss man dazu noch das Flaschengewicht mit dem 1,0 bis 1,7-fache Betrag, je nach dem Flaschenmaterial addieren = 18,8 bis 32 kg, zusammen 43 bis 57 kg Brennstoff + O_2 + Flasche Mehrgewicht, Äquivalent einer Minderung der Normalflugzeit um 12 bis 15,5 Minuten.

Beim H_2O -Betrieb benötigt man, um eine 10%ige Mehrleistung zu erhalten, über 15 Minuten wegen dem Energieinhalt des H_2O (vergleiche oben) nur $5,5 \times 10 \cdot 400 = 4,04 \text{ kg}$ Benzin mehr und eine H_2O -Menge von $4,04 \times 9,44 = 38,1 \text{ kg}$, zusammen 42,1 kg Brennstoff + H_2O (ohne Flasche), Äquivalent einer Minderung der Normalflugzeit um 11,5 Minuten.

Nimmt man H_2O flüssig in einer Flasche mit, so muss man noch den 0,4-fache Betrag an Flaschengewicht addieren = 15,5 kg, zusammen 57,7 kg mit Flasche, Äquivalent einer Minderung der Flugzeit um 15,7 Minuten.

Es sei betont, dass diese orientierende Berechnung nur die Energie- und Gewichtsverhältnisse berücksichtigt, aber nicht etwaige Unterschiede von O_2 und H_2O in reaktionskinetischen Verhalten wie Klopfen, Schmierfleckbildung, Kolbenverbräunung und sonstige Korrosionen.

Zusammenfassung.

Ein orientierender Vergleich der Energie- und Gewichtsverhältnisse beim Motorbetrieb mit O_2 und H_2O ohne Berücksichtigung etwaiger reaktionskinetischer Unterschiede zeigt, dass eine 10%ige Mehrleistung des Motors während der Dauer von 15 Minuten mit einer Minderung der Gesamtflugdauer

um 7 Minuten bei Betrieb mit Sauerstoff ohne Flasche	
• 12	• H_2O
• 12-16	• O_2 -Sauerstoff in Flasche
• 15	• H_2O

verbunden ist.

Insbesondere erkennt man, dass Sauerstoff der gasförmig in einer widerstandsfähigen Leichtmetallflasche mitgeführt wird, energie- und gewichtsmäßig genau so günstig liegt, wie flüssig und offen mitgeführtes H_2O .

Ing. Fröhner

1. Dies ist ein...
2. Dies ist ein...
3. Dies ist ein...
4. Dies ist ein...
5. Dies ist ein...
6. Dies ist ein...
7. Dies ist ein...
8. Dies ist ein...
9. Dies ist ein...
10. Dies ist ein...

Es wird hier...
gesprochen, dass...
Kolbentriebwerk...
kaum mehr...
nicht so...
feststellen...
Entwicklung...
Beweis hierfür...
das Ringverf...
Wir unter...
Arbeitsverfah...
Die Untersch...
wicklung imm...
einem mittler...
Motor wird d...
mit Luft ger...
spritzt in ein...
des Diesel-Mo...
auch die Mög...
spritzung nac...
Motor ist der...
dichtungshub...
wandert, so...
Diesel-Motor...
Diesel-Motor...
Motor bemüht...
zu verarbeiten...
Als einzige...
Diesel-Motor...
rend beim O...
halten werde...
nun überbrü...
das Ringverf...
eine Kreuzun...
darstellt...
Es gibt ein...
Kreuzungen...
Patent von 18...
stoff-Luftgem...
gerade nicht...
endtemperatu...
nahe dem T...
selbst und da...
Das Verfahre...
damals gepla...
schafflich wa...
in Betracht...
eine brennend...
sind Zweisto...
scheinend gl...
nämlich von...
mit Treibgas...
uns, weil wir...
kraftstoff nac...
als sie ein Z...

1) Bericht des T...

POOR COPY 9

Geheime Kommandosache

Geheime Kommandosache!

Geheime Kommandosache!

1. Dies ist ein geheimes Dokument des § 88 StGB.
 2. Die Kenntnis dieses Dokuments ist eine fahrlässige Anfechtung der öffentlichen Sicherheit.
 3. Die Verbreitung dieses Dokuments ist eine fahrlässige Anfechtung der öffentlichen Sicherheit.
 4. Die Verbreitung dieses Dokuments ist eine fahrlässige Anfechtung der öffentlichen Sicherheit.
 5. Die Verbreitung dieses Dokuments ist eine fahrlässige Anfechtung der öffentlichen Sicherheit.
 6. Die Verbreitung dieses Dokuments ist eine fahrlässige Anfechtung der öffentlichen Sicherheit.
 7. Die Verbreitung dieses Dokuments ist eine fahrlässige Anfechtung der öffentlichen Sicherheit.
 8. Die Verbreitung dieses Dokuments ist eine fahrlässige Anfechtung der öffentlichen Sicherheit.
 9. Die Verbreitung dieses Dokuments ist eine fahrlässige Anfechtung der öffentlichen Sicherheit.
 10. Die Verbreitung dieses Dokuments ist eine fahrlässige Anfechtung der öffentlichen Sicherheit.

Ellenthal-Gesellschaft
 für Luftfahrtforschung
 119 144 36
 3073
Geheim

30526

Bl. Manuskript
 Bogen Umbruch
 Orig. Abbildungen
 gekl./lose Blaups.

10

Das Ringverfahren

(E. Penzig, Oppau)

Es wird heute so viel von neuartigen Triebwerken gesprochen, daß man annehmen könnte, das gute alte Kolbentriebwerk habe seine Pflicht getan, und es lohne kaum mehr, davon zu reden. Dem ist aber bei weitem nicht so, und man muß umgekehrt mit Erstaunen feststellen, welche Möglichkeiten sich der weiteren Entwicklung immer wieder von neuem öffnen. Einen Beweis hierfür stellt auch das neue Arbeitsverfahren, das Ringverfahren, dar.

Wir unterscheiden heute noch zwei motorische Arbeitsverfahren, das Otto- und das Diesel-Verfahren. Die Unterschiede verweisen sich im Laufe der Entwicklung immer mehr. Otto- und Diesel-Motor streben einem mittleren Verdichtungsverhältnis zu. Beim Otto-Motor wird der Kraftstoff nicht mehr im »Vergaser« mit Luft gemischt, sondern in den Zylinder eingespritzt in einer Weise, die der Kraftstoffeinspritzung des Diesel-Motors sehr verwandt ist. Zugleich hat sich auch die Möglichkeit ergeben, den Zeitpunkt der Einspritzung nach Belieben zu wählen. Beim Hesselman-Motor ist der Einspritzbeginn nicht nur in den Verdichtungshub, sondern sogar bis an dessen Ende gewandert, so daß man diesen Motor fast für einen Diesel-Motor mit Hilfszündung halten könnte. Der Diesel-Motor lernt mit Benzin laufen und der Otto-Motor bemüht sich, hochsiedende Sicherheitskraftstoffe zu verarbeiten.

Als einziger Unterschied bleibt bestehen, daß beim Diesel-Motor der Kraftstoff sich selbst entzündet, während beim Otto-Motor mit einer Zündkerze nachgeholfen werden muß. Dieser einzige Unterschied wird nun überbrückt durch ein drittes Arbeitsverfahren, das Ringverfahren, das eigentlich kein drittes, sondern eine Kreuzung zwischen Otto- und Diesel-Verfahren darstellt.

Es gibt eine ganze Anzahl von Erfindern solcher Kreuzungen. Der erste ist Diesel selbst, der in einem Patent von 1898 ganz klar sagt, daß man ein Kraftstoff-Luftgemisch so weit verdichten soll, daß es sich gerade nicht entzündet, daß aber die Verdichtungs-temperatur so hoch sein soll, daß ein zweiter, nahe dem Totpunkt eingespritzter Kraftstoff sich selbst und damit auch das Gemisch entzünden kann. Das Verfahren kam nicht zur Anwendung, weil die damals geplante Verwendung von Gas nicht wirtschaftlich war. 1939 hatte Eisenlohr die Möglichkeit in Betracht gezogen, ein Benzin-Luftgemisch durch eine brennende Flüssigkeit zu entzünden, und 1939 sind Zweitstoffverfahren von mehreren Stellen anscheinend gleichzeitig erfunden worden. Einmal nämlich von den Stellen, die Fahrzeug-Diesel-Motoren mit Treibgas betreiben wollten, und zum anderen von uns, weil wir bei unseren Arbeiten mit Sicherheitskraftstoff nach einer kräftigeren Zündquelle suchten, als sie ein Zündfunke darstellt.

¹⁾ Bericht des Techn. Prüfstandes Oppau der I. G. Farbenindustrie.

Die von uns entwickelte und mit der Bezeichnung »Ringverfahren« getarnte Arbeitsweise unterscheidet sich nun aber doch wesentlich von dem, was Diesel und seine Nachfolger beabsichtigten. Jener ging von Diesel-Motor aus und wollte ihm statt Luft ein Kraftstoff-Luftgemisch zuführen, wobei nach dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse gewisse Forderungen an die Klopfestigkeit des Otto-Kraftstoffes gestellt werden. Das Ringverfahren geht jedoch vom Otto-Motor aus, wobei sich die Forderung nach einem Zündkraftstoff höher Zündwilligkeit ergibt.

Ein Stoff, der gesättigte, einen Otto-Motor ohne wesentliche Erhöhung seines Verdichtungsverhältnisses als Diesel-Motor zu betreiben, war damals nicht bekannt. Er wurde gefunden in dem als R 300 bezeichneten Stoff, der die Grundlage des Ringverfahrens darstellt.

Diesöle sind um so zündwilliger, je mehr Paraffine sie enthalten und je länger die Moleküle dieser Paraffine sind. Paraffine, die bis zu 4 C-Atome besitzen, sind noch sehr wenig zündwillig, wie die gute Klopfestigkeit der Gase von Methan bis Butan beweist, die bekanntlich als Treibgase für Otto-Motore verwendet werden. Als Diesel-Kraftstoffe brauchbar sind die Paraffine vom Hexan an. Am zündwilligsten ist Cetan mit 16 C-Atomen (Abbildung 1), aber damit sind bereits die Möglichkeiten der Paraffinreihe für unsere Zwecke zu Ende. Es kann sein, daß noch größere Moleküle noch leichter zerfallen, aber sie sind ihres Stockpunktes wegen uninteressant, da dieser bei Cetan schon bei +16° liegt.

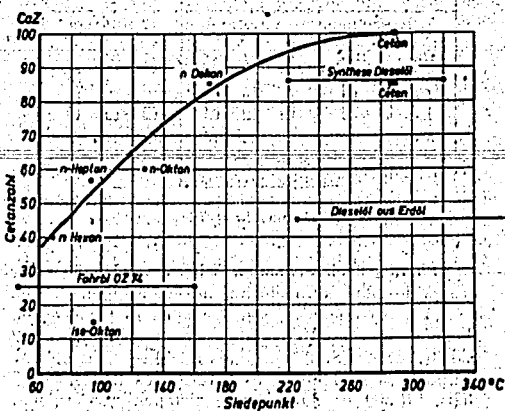


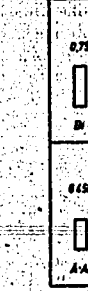
Abb. 1. Zündwilligkeit der geradkettigen Paraffine
 Je länger das Molekül und je höher damit der Siedepunkt, desto größer ist die Zündwilligkeit

Es ist den Peroxydigen Sprüdigkeit aber nur bei gewisartigen Stoffen anwendbar da sie sich mehr bei weissen:

Eine b... der Athen... Äthyläthe... und zwar... bei Diese... Es hat sic... Athen se... haben als... das mögl... gebaut is... nicht dav... sauerstoff... geht kei... scheinlich... Zerfall b... Peroxyde

0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
0.06
0.07
0.08
0.09
0.10
0.11
0.12
0.13
0.14
0.15
0.16
0.17
0.18
0.19
0.20
0.21
0.22
0.23
0.24
0.25
0.26
0.27
0.28
0.29
0.30

Die



Die

Unter... ausgewäl... besonder... Maßstab... und 3). Abbildun... stellt. I... hoch sied... zahl als... bezeichne

Es ist bekannt, daß man in Nitraten, Nitriten und den Peroxyden sogenannte Zündpeitschen besitzt, die einer Sprengkapsel vergleichbar, die Umsatzgeschwindigkeit eines Dieselloles zu steigern vermögen. Leider aber nur für Geschwindigkeit, da sie selbst auch erst bei gewissen Temperaturen in Gang kommen. Derartige Stoffe haben wir zu Beginn als Zwischenlösung anwenden müssen, haben sie aber gern beiseitegelegt, da sie sich weniger in der fertigen Mischung als vielmehr bei der Herstellung als sehr heimtückisch erweisen.

Eine befriedigende Lösung fand sich beim Studium der Äther. Von den Äthern ist am bekanntesten der Äthyläther, der als Anlaßhilfsmittel gebräuchlich ist, und zwar bei Otto-Motoren wegen seiner Flüchtigkeit, bei Diesel-Motoren wegen seiner guten Zündwilligkeit. Es hat sich nun gezeigt, daß auch die höher siedenden Äther sehr gute Zündeigenschaften haben. Äther haben als Kennzeichen den Sauerstoff, der im Molekül, das möglichst eine gerade Kette darstellen soll, eingebaut ist. Die Zündwilligkeit der Äther rührt aber nicht davon her, daß sie einen Teil ihres Verbrennungssauerstoffes mit sich tragen, denn die Zündwilligkeit geht keineswegs mit dem Sauerstoffgehalt. Wahrscheinlich aber haben die Äther die Eigenschaft, beim Zerfall besonders sauerstoffreiche Verbindungen, also Peroxyde, zu bilden.

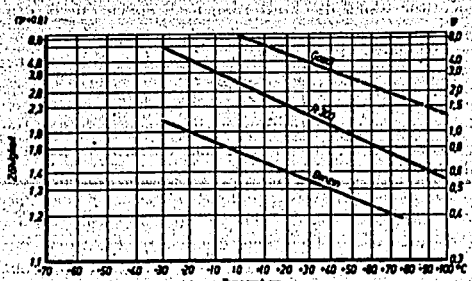


Abb. 2. Zähigkeit des Zündstoffes R 300. Die Zähigkeit des R 300 liegt zwischen der des Benzins und des Gasöls.

Wichte g/cm ³ (20°C)		Zähigkeit cst (20°C)		Siedepunkt °C	
0,75	0,81	0,8	1,5	80	100
Bz	R 300	Bz	R 300	Bz	ET 60
Heizwert kcal/kg		Luftbedarf kg/kg		Zündwilligkeit Ca 2	
8,450	8,800	8,0	14,8	45	105
A-M	R 300	A-M	R 300	Gasöl	Otton

Abb. 3. Stoffwerte des R 300. Die Eigenschaften des R 300 werden verglichen mit denen bekannter Kraftstoffe.

Unter den hochsiedenden Äthern wurde nun einer ausgewählt, der sich nicht nur in seinen Eigenschaften besonders auszeichnete, sondern auch in technischem Maßstabe hergestellt werden konnte (Abbildung 2 und 3). Dieser Stoff wurde als R 300 bezeichnet. Auf Abbildung 3 sind einige Stoffwerte des R 300 dargestellt. R 300 ist danach eine ziemlich schwere und hochsiedende Flüssigkeit, die dank ihrer hohen Cetanzahl als ein außerordentlich leicht zündliches Dieselloil bezeichnet werden kann. Der Heizwert beträgt ge-

wichtsmäßig 60 vH, raummäßig 80 vH des Heizwertes von Benzin. Der geringe Luftbedarf bewirkt, daß der Gemischleistungswert etwas höher ist als der von Benzin. R 300 kann auch als Anlaßkraftstoff für Diesel-Motoren bequ coast werden. Er trägt dann die Bezeichnung KS II.

Spritzt man nun den R-Stoff in ein verdichtetes Otto-Gemisch, so beginnen die Tröpfchen mit dem überall vorhandenen Sauerstoff zu reagieren. Wird anfangs noch Wärme aufgenommen, so folgt sehr bald Wärmeabgabe, und schließlich hat der Umsatz eine solche Geschwindigkeit erreicht, daß Entflammung eintritt, wobei gleichzeitig das gesamte Otto-Gemisch mit entzündet wird. Während die Verbrennung beim Otto-Verfahren nur bei den Zündfunken beginnt, können wir annehmen, daß beim Ringverfahren die Verbrennung an sehr vielen Stellen nahezu gleichzeitig einsetzt, und zwar an den Stellen, an denen der R-Stoff das Übergewicht gegenüber dem Otto-Kraftstoff hat und möglichst hohe Temperaturen vorliegen.

Die Leichtzündlichkeit des R-Stoffes beruht darauf, daß die Reaktionen schon bei verhältnismäßig niedrigeren Temperaturen einsetzen. Diese an sich wohl bekannte Tatsache wird recht anschaulich durch Versuche dargelegt, die von der LFA-Braunschweig durchgeführt wurden. Hier wurde ein Otto-Motor, und zwar ein CFR-Motor fremd ohne Zündung angetrieben und zunächst die Temperatur der als Abgas ausgestoßenen Luft bestimmt. Wurde nun der Ansaugluft Kraftstoff beigegeben, so trat eine Erhöhung der Abgastemperatur ein, und zwar war diese um so höher, je stärker die Reaktionen während der Verdichtung waren. Abbildung 4 zeigt nun in Abhängig-

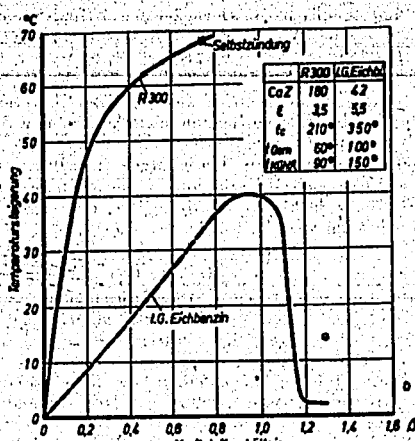
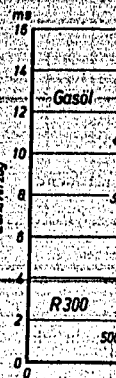


Abb. 4. Vorreaktionen des R 300. Beim Verdichten eines Kraftstoff-Luftgemisches wird beim reaktionsfreudigen R 300 eine erheblich höhere Temperatursteigerung beobachtet als bei einem zündwilligen Benzin.

keit vom Kraftstoffverhältnis diese Temperatursteigerung für ein sehr klopfreudiges, also zündwilliges Benzin mit der Cetanzahl 42, das im günstigsten Falle eine Temperaturerhöhung von 40° brachte. Unter den gleichen Bedingungen ergab R 300 sofort Selbstzündungen, und diese konnten erst dann vermindert werden, als das Verdichtungsverhältnis auf 13,5 und die Gemischtemperatur auf 60° herabgesetzt wurde. Trotzdem sind die an der Temperatursteigerung kenntlichen Vorreaktionen sehr viel stärker als bei dem Benzin.

Eine weitere Vorstellung von der Zündwilligkeit des R 300 gibt die Cetanzahlbestimmung am I.G.-Prüfdiesel, bei dem ein Zündverzögerung von 18° durch Veränderung der Verdichtung eingestellt wird. Diese

beträgt bei
Eine Unters
von Druck
nenlaborator
an der Ver
führt (Abbi



Bei der Unter
ergaben sich

Es zeigte s
verzögerung
mit einer Cet
stellt, daß de
den Druck b
verzögerung
zunehmen, w
peratur ständ

Ein Strahl
also an Stell
fahren die V
bereits ein v
Es ist bekannt
der Motoren
macht, Lästig
zum Schutze
aber ist in g
kerzen durch
Isolators. An
kerzen selbst
körper in ih
des Bleitetra
deren werden
davon ist, da
Motors, sonde
dem Zusatz
kündigt nichts
Fortschritt ar
lichen Zündke
eine sehr bet

Der Zusatz
gen begrenzt,
und Kerzen
annehmen da
panzerter Ven
schwächster
seitigt, so be
sätzen überzu
kraftstoffe zu
verständlich
diese hohen Z
ursachen; den
stören.

30528

beträgt bei Gasöl etwa 1:14, bei R 300 etwa 1:7. Eine Untersuchung der Zündverzögerung in Abhängigkeit von Druck und Temperatur wurde durch das Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule Dresden an der Verdichtungsbombe nach Holfelder durchgeführt (Abbildung 5).

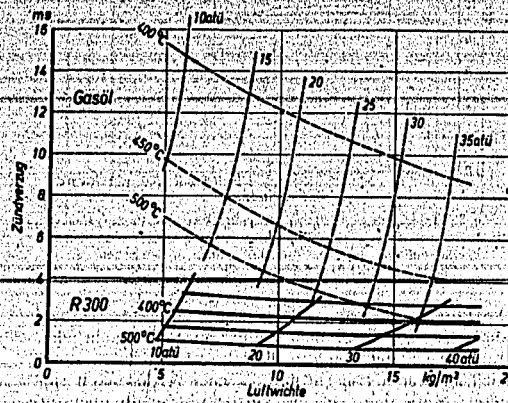


Abb. 5. Zündverzögerung von R 300 und Gasöl. Bei der Untersuchung in der Verdichtungsbombe nach Holfelder ergaben sich bei R 300 sehr kleine Zündverzögerungen, die nur wenig druckabhängig sind.

Es zeigte sich bei diesen Versuchen, daß die Zündverzögerung sehr viel kleiner ist als bei einem Gasöl mit einer Cetanzahl von 65. Weiterhin wurde festgestellt, daß der Zündverzögerung des R 300 sehr wenig durch den Druck beeinflusst wird. Auch scheint der Zündverzögerung mit zunehmender Temperatur gleichmäßig abzunehmen, während bei Gasöl die Wirkung der Temperatur ständig geringer wird.

Ein Strahl dieses reaktionsfreudigen R-Stoffes tritt also an Stelle des Zündfunkens, der beim Otto-Verfahren die Verbrennung auslöst. Darin aber liegt bereits ein wesentlicher Vorteil des Ringverfahrens. Es ist bekannt, daß die elektrische Zündung im Laufe der Motorentwicklung zunehmende Schwierigkeiten macht. Lästig ist einmal die notwendige Abschirmung zum Schutze des Funkverkehrs, unmittelbar störend aber ist in großen Höhen das Aussetzen der Zündkerzen durch Überschlag am außenliegenden Teil des Isolators. Andere Mängel stellen sich an den Zündkerzen selbst ein, bei denen einmal die Isolationskörper in ihrer Wirksamkeit durch die Rückstände des Bleitetraäthyls beeinträchtigt werden. Zum anderen werden die Elektroden angegriffen. Die Folge davon ist, daß die Zündkerzen nicht ein Bauteil des Motors, sondern ein Verbrauchsgegenstand sind. An dem Zusatz von Bleitetraäthyl wird sich auch in Zukunft nichts ändern lassen, so daß es als wesentlicher Fortschritt anzusehen ist, wenn an Stelle einer empfindlichen Zündkerze ein Flüssigkeitsstrahl tritt, der durch eine sehr betriebssichere Düse gesteuert wird.

Der Zusatz von Bleitetraäthyl ist durch die Störungen begrenzt, die bei höheren Zusätzen an Ventilen und Kerzen hervorgerufen werden. Da man wohl annehmen darf, daß in Zukunft ganz allgemein gepanzerte Ventile verwendet werden, so bleibt als schwächster Punkt die Zündkerze. Wird diese beseitigt, so besteht die Möglichkeit, zu höheren Zusätzen überzugehen und auf diese Weise Hochleistungskraftstoffe zu erreichen (Abbildung 6). Es muß selbstverständlich sehr sorgfältig nachgeprüft werden, ob diese hohen Zusätze nicht anderweitig Störungen verursachen; den R-Stoffstrahl werden sie jedenfalls nicht stören.

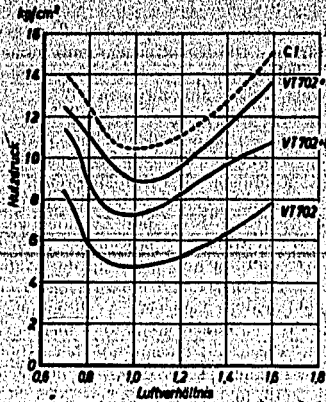


Abb. 6. Steigerung der Klopffestigkeit durch hohe Bleisätze. Erhöhung der Zusätze über die jetzt üblichen 0,12 vH hinaus ergeben eine Steigerung der Klopffestigkeit, die beim Ringverfahren anwendbar erscheint, sofern die Ventile hinreichend geschützt sind.

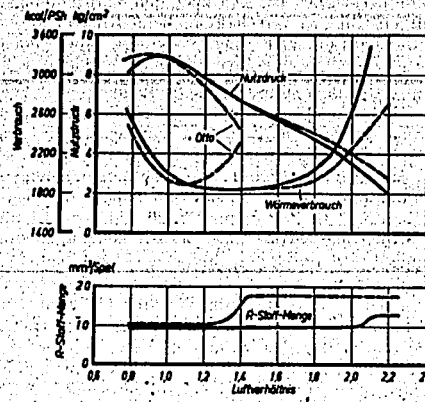


Abb. 7. Vergleich zwischen Otto- und Ring-Verfahren. Bei beiden Verfahren kann praktisch gleiche Höchstleistung erzielt werden. Der Ring-Motor ist von Vollast bis Leerlauf kraftstoffseitig regelbar.

Wir müssen nun zunächst aber feststellen, ob die neue Zündungsart Abweichungen in Leistung und Verbrauch ergibt. Man kann sagen, daß hierzu kein Grund vorhanden ist, denn die Leistung wird vom Energiegehalt der Otto-Ladung bestimmt, die in beiden Fällen zur vollkommenen Entzündung gebracht werden kann. R 300 hat zwar einen geringeren Heizwert, der jedoch durch einen geringeren Luftbedarf ausgeglichen wird. Der R-Stoff vermindert also nicht den Energieinhalt der Ladung.

Wir finden deshalb auch, daß die erzielbare Höchstleistung in beiden Arbeitsverfahren dieselbe ist (Abbildung 7). Wir bemerken aber zugleich auch eine weitere vorteilhafte Eigenart des Ringverfahrens, die als Erbstück des Diesel-Verfahrens anzusehen ist: Der R-Motor ist kraftstoffseitig von Vollast bis Leerlauf regelbar. Beim Otto-Verfahren können in besonders günstigen Fällen 30 vH Luftüberschuß verwendet werden. Wegen der unvermeidbaren Ungleichmäßigkeit in der Belieferung einzelner Zylinder kann man aber kaum mehr als 10 vH Luftüberschuß zulassen. Beim Ringverfahren jedoch werden auch die ärmsten Gemische zuverlässig gezündet. Der Grund liegt in dem hohen Energiegehalt eines R-Stoffstrahles von etwa 70 kcal im Vergleich zu 10⁻⁶ kcal eines Zündfunkens. Bei sehr armen Gemischen ist es notwendig,

die Mengen armer Gemische auch erbbungsarbeitsfähig sind. Ganz grundsätzlich Ringverfahren gezündet sorgfältig spritzen werden, oder sonst Zündkerzen befindet gar Aussehen Ringverfahren an die G Forderungen ausreicht aufzusuchen. Als F beim Otto Spitzend verbildung verlauf sind die wesentlich. Setzt r Kraftstoff besser, j Mischung steht. M stoff un kürzt ma der Eins Leistungs ein, wie Fall ein Einspritz Ringverf der Hälft die Eins den Verg kann als geschicht. Bei re sprechen verfahren

die Menge des R-Stoffes etwas zu erhöhen, da die armen Gemische eines kräftigeren Anstoßes zur Entzündung bedürfen. Die R-Stoffmenge muß schließlich auch erhöht werden, da im Leerlauf die gesamte Reibungsarbeit vom R-Stoff aufzubringen ist.

Ganz abgesehen von Fragen der Regelung ist es grundsätzlich als ein außerordentlicher Vorteil des Ringverfahrens anzusehen, daß beliebig arme Gemische gezündet werden können. Bei Otto-Motoren muß sehr sorgfältig auf gute Gemischverteilung beim Einspritzen des Kraftstoffes in den Zylinder geachtet werden, da sich sonst bei irgendwelchen Drehzahlen oder sonstigen Betriebsbedingungen in der Nähe der Zylinderkerzen ein zu reiches oder ein zu armes Gemisch befindet. Die Folge ist schlechte Verbrennung oder gar Aussetzen. Es ist einleuchtend, daß hiergegen das Ringverfahren wesentlich unempfindlicher ist, da es an die Gemischzusammensetzung bedeutend geringere Forderungen stellt und die Reichweite des Strahles ausreicht, um ein zur Zündung geeignetes Gemisch aufzusuchen.

Als Folge der Gemischempfindlichkeit schwanken beim Otto-Motor auch unter normalen Bedingungen die Spitzendrücke sehr stark, so daß es nur durch Mittelwertbildung möglich ist, sich über den Verbrennungsverlauf ein Bild zu verschaffen. Beim Ringverfahren sind diese Streuungen nicht beseitigt, aber doch wesentlich geringer, wie später gezeigt werden wird.

Setzt man einen hinreichend verdampfungsfähigen Kraftstoff voraus, so ist die Gemischbildung um so besser, je länger die Zeit bemessen wird, die zur Mischung von Kraftstoff und Luft zur Verfügung steht. Man führt deshalb beim Otto-Motor den Kraftstoff unmittelbar zu Beginn des Saughubes ein. Verkürzt man nun die Zeit dadurch, daß man den Beginn der Einspritzung später legt, so tritt schließlich ein Leistungsabfall durch unvollkommene Verbrennung ein, wie Abbildung 8 zeigt. Beim Otto-Motor, in diesem Fall ein BMW 132 N, fällt die Leistung ab, wenn der Einspritzzeitpunkt später als 120° gelegt wird. Beim Ringverfahren dagegen kann der Motor mit nahezu der Hälfte der Gemischbildungszeit auskommen, d. h. die Einspritzung kann zu einem wesentlichen Teil in den Verdichtungsstadium gelegt werden. Der Ringmotor kann also unvollkommene Gemische oder absichtlich geschichtete Ladungen gut verarbeiten.

Bei reichen Gemischen, die der Startleistung entsprechen, sinkt, wie Abbildung 7 zeigt, beim Ringverfahren die Leistung schneller ab als beim Otto-

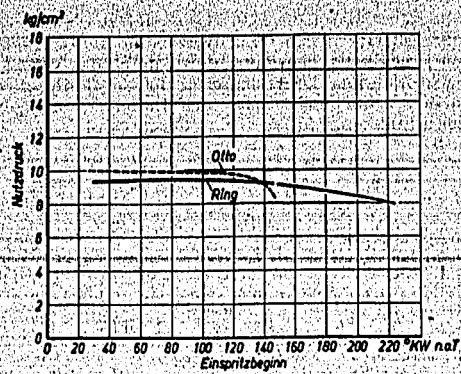


Abb. 8. Einfluß des Einspritzbeginns beim Otto- und Ring-Verfahren. Im Gegensatz zum Otto-Motor ist der Ring-Motor wesentlich unempfindlicher gegenüber unvollkommenen Gemischen, die durch späte Kraftstoffeinspritzung verursacht werden.

Verfahren. Es rührt dies offensichtlich davon her, daß der R-Stoff in der Ladung nirgends mehr eine Lücke vorfindet, sondern überall auf Kraftstoff stößt, sich mit ihm vermischt und so seine Wirksamkeit einbüßt; außerdem ist die Verdichtungsendtemperatur infolge der großen verdampfenden Kraftstoffmenge geringer. Wie Abbildung 9 zeigt, steigt dadurch der Zündverzug, so daß der Höchstwert des Druckes erst hinter dem Totpunkt auftritt. Wollte man noch zeitiger einspritzen, so würde der Zündverzug noch mehr anwachsen und folglich die Erscheinung nicht gebessert, sondern eher noch verschlechtert werden. Eine Besserung tritt nun ein, wenn man die Ladung absichtlich ungleichförmig macht, indem man beispielsweise den Einspritzzeitpunkt des Otto-Kraftstoffes später legt (Abbildung 10). An Stelle dieser praktisch nur beschränkt anwendbaren Maßnahme wird man besser geschichtete Ladungen anwenden.

Die Minderleistung des Ringverfahrens bei fetten Gemischen tritt übrigens vorzugsweise bei geringen Überladungen auf (Abbildung 11). Bei höheren Ladedrücken sinkt offenbar infolge geringerer Eindringtiefe des Kraftstoffes die Gleichmäßigkeit des Gemisches, und weiterhin steigt die Verdichtungstemperatur infolge der höheren Zylinderbelastung, so daß bei hohen Überladungen das Ringverfahren dem Otto-Verfahren auch im Gebiet der Startleistung überlegen ist.

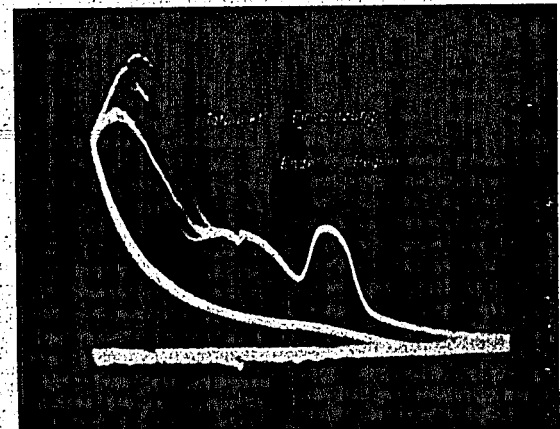


Abb. 9. Druckverlauf bei reichem Gemisch. Trotzdem der R-Stoff zeitig eingespritzt wird, setzt die Verbrennung zu spät ein.



Abb. 10. Die Minderleistung durch Änderung des Gemischverhältnisses.

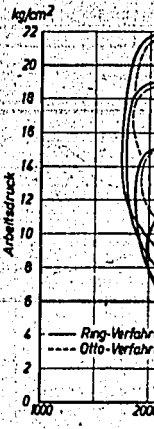


Abb. 11. Vergleich bei höheren Ladedrücken. Das Gebiet der so sehr interessanten Möglichkeit des Verhalten eines M...

F. Penzig: Das Ringverfahren

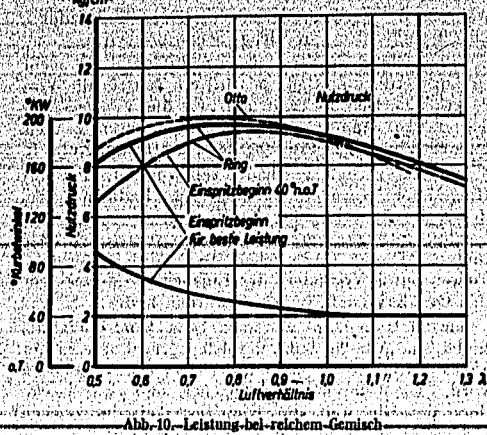


Abb. 10. Leistung bei reichem Gemisch. Die Minderleistung des R-Motors bei reichem Gemisch kann durch Änderung der Gemischbildung beeinflusst werden.

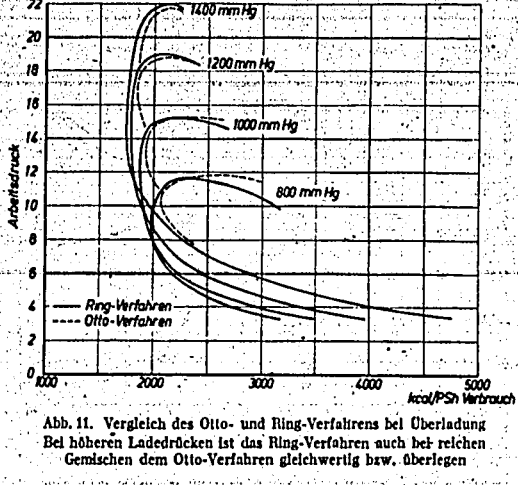


Abb. 11. Vergleich des Otto- und Ring-Verfahrens bei Überladung. Bei höheren Ladedrücken ist das Ring-Verfahren auch bei reichem Gemisch dem Otto-Verfahren gleichwertig bzw. überlegen.

Das Gebiet der ungleichförmigen Ladungen ist heute so sehr interessant geworden, da hier noch beträchtliche Möglichkeiten liegen, beispielsweise das Klopfverhalten eines Motors zu bessern und so den ständigen

Aufwand eines kostspieligen Kraftstoffes nach Möglichkeit zu vermeiden. Es wäre deshalb sehr erwünscht, wenn bei Versuchen mit geschichteten Ladungen auch das Ringverfahren erprobt würde.

Bevor wir auf diese besonderen Einzelheiten eingehen, wollen wir das Klopfverhalten des Otto- und des Ring-Motors zunächst ohne Berücksichtigung der Gemischgüte betrachten.

Das Klopfen wird dadurch hervorgerufen, daß im unverbrannten Teil des Gemischs die Reaktion mit dem Sauerstoff der Luft so schnell abläuft, daß eine Entzündung eintritt, bevor die vom Zündfunken ausgehende Flammenfront diesen Gemischteil erreicht hat. Die Klopfschläge sind um so heftiger, je größer und einheitlicher der Gemischrest ist, der in seiner selbständig ablaufenden Reaktion durch den Druck des verbrannten Gemisches sowie durch Temperatureinstrahlung angeregt wird. Es läßt sich deshalb voraussehen und wurde auch durch Versuche bestätigt, daß die Klopfneigung von Motoren vermindert werden kann, wenn man durch Anordnung mehrerer Zündkerzen für eine so schnelle Entzündung der Ladung sorgt, daß selbständig sich entzündende Gemischreste entweder gar nicht oder doch nur in geringem Umfange auftreten können.

Unter diesen Voraussetzungen muß erwartet werden, daß das Ringverfahren geringere Anforderungen an die Klopfestigkeit des Kraftstoffes stellt, sofern tatsächlich die im Brennraum verteilten Tröpfchen die Ladung an sehr vielen Stellen gleichzeitig zünden. Versuche haben nun gezeigt, daß zweifellos eine Verbesserung der Klopferscheinung vorliegt, wenn sie auch vorerst noch hinter den Erwartungen zurückbleibt.

Würde z. B. ein frei ansaugender Motor bei verschiedenen Kraftstoff-Luftverhältnissen so betrieben, daß durch Einstellung der Vorzündung bzw. der Voreinspritzung entweder die höchste Leistung oder die Klopfgrenze erreicht wurde, so ergab sich (Abbildung 12) bei 1:8 etwa gleiches Verhalten der beiden Verfahren. Bei höheren Verdichtungsverhältnissen trat beim Otto-Verfahren eher Klopfen auf, dem durch späteres Einstellen der Zündung, erkennbar an der geringeren Leistung, ausgewichen werden mußte. Diese Erscheinung, die noch näher untersucht werden muß, scheint darauf hinzudeuten, daß bei niedriger Verdichtung der Vorteil der Vielfunkenzündung aufgehoben wird durch Verschlechterung des Otto-Gemisches infolge Vermischung mit R-Stoff, und zwar unter bestimmten Voraussetzungen. Man kann sich vorstellen, daß diese Verschlechterung bei höherem

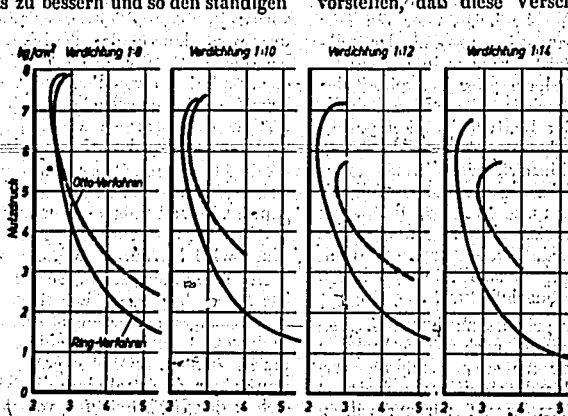


Abb. 12. Bestleistungen nach dem Otto- und Ring-Verfahren bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen. Die geringe Klopfneigung des Ring-Verfahrens kommt um so mehr zum Ausdruck, je höher das Verdichtungsverhältnis ist.

Verdichtungsverhältnis zu Klärung des Verfahrens auch R-Verfahren. Ein Verfahrenskurve. Beim O vorgesch. Beim R auf 80° kurve v spritzum Abbildu kennzeichlicher U besteht bei C1 Steigerung

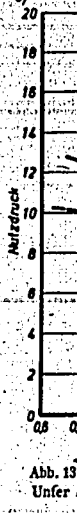


Abb. 13. Unter

Es ist Ladung Gemisch niederes ständige keit best Gemisch gen maß Saughub und Ver Gemisch dem Sa Klopfes Peroxyd nung fin Tempera

Versch stoffa vor wird im schlechte vermindert sein, da letz ver nicht in neigt. S

Verdichtungsverhältnis der Verkürzung des Zündverzugs entsprechend kleiner wird. Zur endgültigen Klärung des Klopfvorganges wird es notwendig sein, den Verbrennungsablauf genau zu untersuchen. Es scheint nicht ausgeschlossen zu sein, daß beim Ringverfahren neben dem bekannten Ablauf des Klopfens auch Raumexplosionen eine Rolle spielen.

Ein weiterer Vergleich des Otto- und des Ring-Verfahrens wurde durch Aufnahme von Klopfgrenzkurven mit verschiedenen Brennstoffen durchgeführt. Beim Otto-Motor wurde die für derartige Versuche vorgeschriebene Vorzündung von 38° v. o. T. angewandt. Beim Ring-Motor wurde der Einspritzbeginn des R-Stoffes auf 80° v. o. T. eingestellt. Die Lage der Klopfgrenzkurve wurde übrigens durch das Maß der Voreinspritzung des R-Stoffes nur wenig beeinflusst. Auf Abbildung 13 sind die Grenzkurven für verschiedene kennzeichnende Kraftstoffe dargestellt. Ein wesentlicher Unterschied zwischen Otto- und Ring-Verfahren besteht hier nicht, lediglich beim Kraftstoff B4 und bei C1 wurde bei reichem Gemisch eine erhebliche Steigerung der Klopfintensität beobachtet.

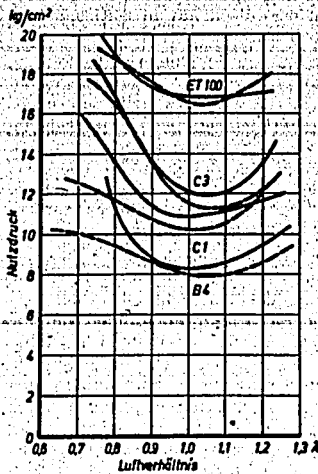


Abb. 13. Klopfgrenzkurven nach dem Otto- und Ring-Verfahren. Unter den gegebenen Bedingungen werden annähernd gleiche Nutzdruke erzielt.

Es ist bekannt, daß man durch Schichtung der Ladung erreichen kann, daß der zuletzt verbrennende Gemischrest entweder ein sehr hohes oder ein sehr niederes Luftverhältnis aufweist, so daß der selbständige Umsatz gehemmt ist. Eine weitere Möglichkeit besteht in einer Veränderung der Verweilzeit des Gemisches im Zylinder. Hierbei sind zwei Erscheinungen maßgebend. Wird der Kraftstoff zu Beginn des Saughubs eingespritzt, so hat er während des Saug- und Verdichtungshubes hinreichend Zeit, ein gutes Gemisch zu bilden. Gleichzeitig beginnt er sich mit dem Sauerstoff der Luft umzusetzen, so daß seine Klopfintensität beispielsweise durch Bildung von Peroxyden vermindert wird. Diese letztere Erscheinung findet vorwiegend unter dem Einfluß der hohen Temperaturen im Verdichtungshub statt.

Verschiebt man den Einspritzbeginn des Otto-Kraftstoffes vom Beginn des Saughubs nach seinem Ende, so wird im wesentlichen nur die Gemischbildung verschlechtert und bereits hierdurch die Klopfintensität vermindert. Es kann dies darauf zurückzuführen sein, daß die Gesamtladung und damit auch der zuletzt verbrennende Gemischrest uneinheitlich ist, also nicht in größeren Mengen zu selbständiger Entzündung neigt. Sehr wahrscheinlich ist aber auch, daß die

größere Verteilung des Kraftstoffes die Reaktionen während des Verdichtungshubs erschwert und dadurch eine Verminderung der Klopfintensität bewirkt.

Verschiebt man den Einspritzzeitpunkt noch mehr in den Verdichtungshub, so wird die Zeit für die Vorreaktion an sich verkürzt und, wie die Versuche des Techn. Prüfstandes an Hesselmann-Motoren zeigten, eine merkliche Verbesserung der Klopfintensität erzielt.

Wir haben nun gesehen (Abbildung 8), daß der Ring-Motor besonders befähigt ist, Ladungen, bei denen durch Verkürzung der Verweilzeit eine gewisse Ungleichförmigkeit erreicht wird, zu verarbeiten. Abbildung 14 zeigt, in welcher Weise die Klopfgrenzkurven durch Verändern des Einspritzzeitpunktes für den Otto-Kraftstoff verlagert werden können.

Sowohl beim Otto- wie auch beim Ring-Verfahren findet eine Verschiebung der Klopfgrenzkurve in der Weise statt, daß am meisten der Tiefpunkt gehoben wird. Die Kurven werden flacher, und zwar besonders deshalb, weil die Klopfintensität im reichen Gebiet etwas zurückgeht. Möglicherweise steht dies in Beziehung zu Erscheinungen, die Franke am DB 6001 bei verschiedenen Ventilüberschneidungen fand. Nach Callender sollen Reaktionen am Tropfen,

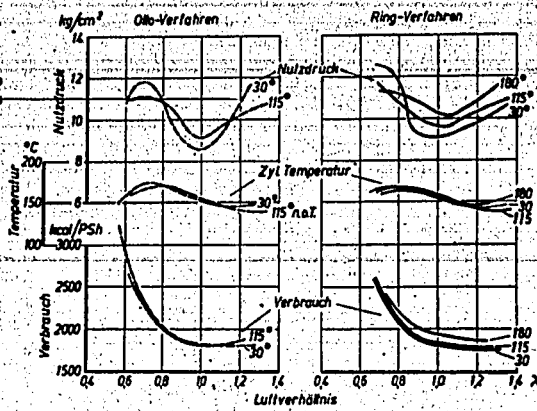


Abb. 14. Einfluß des Kraftstoff-Einspritzbeginns auf die Klopfneigung. Durch späteres Einspritzen des Kraftstoffes kann besonders beim Ring-Verfahren eine Besserung des Klopfverhaltens bewirkt werden.

besonders bei aromatenarmen Kraftstoffen, zur Peroxybildung führen. Da durch Späterstellen des Einspritzzeitpunktes die Gemischgüte zweifellos vermindert wird, könnte das Absinken der Klopfintensität bei reichen Gemischen mit dem Auftreten von Tropfen und damit von Peroxyden erklärt werden. Die beim Otto-Motor beobachtete Verminderung der Klopfintensität bei armen Gemischen bedarf noch der weiteren Untersuchung.

Die Abbildung läßt nun erkennen, daß die Hebung des Tiefpunktes beim Ringverfahren besonders ausgeprägt ist und Späteinspritzung noch bei Zeitpunkten möglich ist, bei denen der Otto-Motor versagt. Allerdings wird hierdurch auch der Verbrauch schlechter. Die Verkürzung der Verweilzeit wurde lediglich als besonders bequemes Beispiel benutzt. Wesentlich bessere Ergebnisse können sicher durch sorgsam geschichtete Ladungen nach dem Verfahren der DVL erzielt werden. BMW konnte bereits durch Verwendung einer Zweistrahldüse die Klopfbereiche aus dem Gebiet der Höchstleistung verschieben. Gute Erfolge wurden auch durch ein verhältnismäßig geringfügiges Verlegen des Einspritzzeitpunktes erzielt.

Bei der Betrachtung von Verbrennungsvorgängen darf der Spitzendruck nicht außer acht gelassen wer-

den, da die Bemessung des Spitzendrucks und die Bemessung des Spitzendrucks in einer Gleichrichtung geschehen müssen, dadurch, daß dem Überschallbereich weicher die Verbrennung beginnt (Abbildung 15).

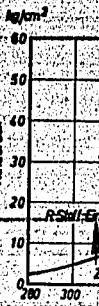


Abb. 15. Verbrennung im Gegensatz zu der Verbrennung.

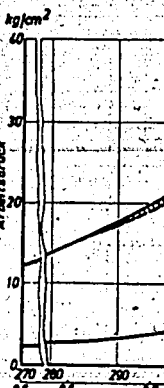


Abb. 16. Kolben durch zeitigeres Einströmen des Druckes im Dehnungsfläch.

beiden Fällen ein zweifellos beschleunigendes, das höhere Spitzendruck im Raum, in dem beiden Verfahren beim Otto-Verfahren der Totpunkt sich zu des Gemisch verflüchtigt, die das Ring-Verfahren. Es sind hier zwei Spitzendruck auf der Leistung im Vermerkliche Abfall im Ring-Diagramm eine Gewinnfläche tritt. Bei Leistung des Spitzendrucks beim Ring-Verfahren dargestellt die Zahl von Aufnahmen

den, da die auftretenden höchsten Drücke für die Bemessung des Triebwerkes wichtig sind. Die Spitzendrücke sind um so höher, je mehr die Verbrennung einer Gleichraumverbrennung gleicht. Nun unterscheiden sich Otto- und Ring-Diagramm grundsätzlich dadurch, daß bei Otto die Verbrennung sofort mit dem Überschlag des Zündfunken beginnt und wesentlich weicher einsetzt als beim Ringverfahren, wo die Verbrennung erst im oder kurz nach dem Totpunkt beginnt (Abbildung 15). Der Spitzendruck muß in

herausgesucht, so daß Zufälligkeiten nicht vorliegen. Die Streuungen, denen die Otto- und auch noch die Ring-Diagramme ausgesetzt sind, machen eine genaue Ermittlung der Verhältnisse recht schwierig, und es wäre sehr erwünscht, wenn durch eingehendere Untersuchungen hier Klarheit geschaffen würde.

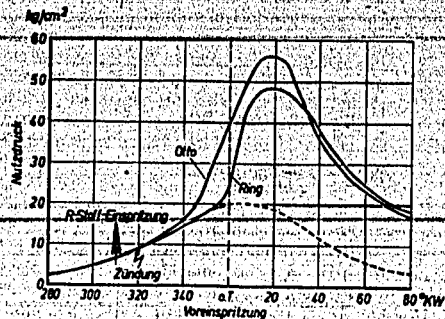


Abb. 15. Verbrennungsverlauf beim Otto- und Ring-Verfahren

Im Gegensatz zum Ring-Verfahren beginnt beim Otto-Verfahren die Verbrennung bereits vor dem oberen Totpunkt.

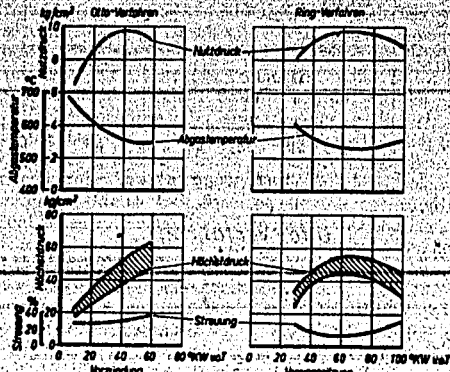


Abb. 17. Spitzendrücke beim Otto- und Ring-Verfahren

Die Spitzendrücke steigen beim Otto-Verfahren mit der Vorzündung ständig an, beim Ring-Verfahren sind sie dem Nutzdruck verhältniß-

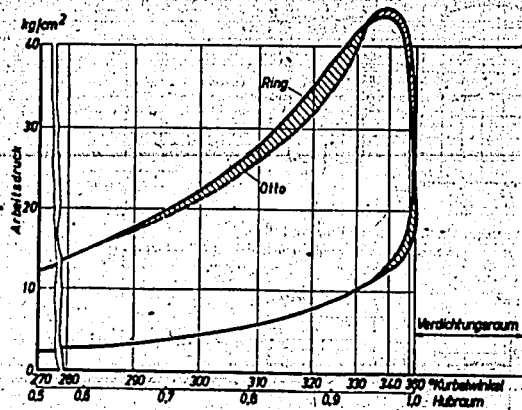


Abb. 16. Kolbenwegdiagramm beim Otto- und Ring-Verfahren

Durch zeitigeres Einsetzen der Verbrennung und schnelleres Absinken des Druckes im Dehnungshub entstehen beim Otto-Diagramm Verlustflächen gegenüber dem Ringverfahren.

beiden Fällen etwa 10 bis 20° n. o. T. liegen, so daß zweifellos beim Ringverfahren die größeren Druckbeschleunigungen vorliegen. Es hat sich aber ergeben, daß höhere Spitzendrücke nicht auftreten, da der Raum, in dem sich die Verbrennung abspielt, bei beiden Verfahren etwa gleich ist. Die Tatsache, daß beim Otto-Verfahren der Raum zwischen Zündung und Totpunkt sich zunächst verkleinert, daß also brennendes Gemisch verdichtet wird, führt zu einer Verlustfläche, die das Ringverfahren nicht hat (Abbildung 10). Es sind hier zwei Diagramme mit annähernd gleichem Spitzendruck aufgezeichnet. Außer der kleinen Verlustfläche im Verdichtungsraum erkennt man noch eine merkwürdige Abweichung in der Dehnungslinie. Das Ring-Diagramm ist hier immer etwas voller, so daß eine Gewinnfläche gegenüber dem Otto-Diagramm auftritt. Bei Leistungsgleichheit müßte also der Spitzendruck beim Ringverfahren sogar kleiner sein. Die dargestellten Diagramme sind aus einer großen Anzahl von Aufnahmen als kennzeichnende Beispiele

Wir haben die Spitzendrücke auch in Abhängigkeit von der Vorzündung bzw. von der Voreinspritzung beobachtet und sind zu dem in Abbildung 17 dargestellten Ergebnis gekommen. Die Besteleistung war in beiden Fällen die gleiche, was an sich selbstverständlich ist, da in beiden Fällen ein Luftverhältnis von 0,92 angewandt wurde. Beim Ringverfahren war hierbei eine R-Stoffmenge von 22 mm³ je Spiel eingezeichnet. Bei den Spitzendrücken sind die Grenzen angegeben, in denen sie schwanken. Die Streuung, bezogen auf den Höchstwert, ist beim R-Verfahren mit 18 vH geringer als beim Otto-Verfahren, wo sie 25 vH beträgt.

Beim Ringverfahren ist nun der Höchstdruck dem Nutzdruck etwa verhältniß. Wenn also durch übermäßig zeitiges Einspritzen der Nutzdruck fällt, so folgt ihm auch der Spitzendruck. Beim Otto-Verfahren dagegen steigt der Spitzendruck beständig, da ja die Verbrennung mit der Zündung einsetzt und das schon während der Verdichtung brennende Gemisch bereits im Totpunkt völlig verbrannt sein kann.

Beim Ringverfahren erfolgt der Druckanstieg jedoch stets ungefähr im Totpunkt. Zu zeitig eingespritzter R-Stoff findet noch nicht die zur Zündung erforderliche Temperatur vor, so daß der Zündverzögerung wächst. Gleichzeitig wird die Entzündung dadurch gehemmt, daß während des längeren Zündverzögeres ein Vermischen von R-Stoff mit Kraftstoff eintritt. Erfolgt die Einspritzung zu nahe dem Totpunkt, so setzt die Zündung zu spät ein, und der Spitzendruck fällt ab, da die Verbrennung zu weit im Dehnungshub liegt. Von BMW wurde allerdings bei Überladung ein anderes Verhalten beobachtet, das noch aufgeklärt werden muß. Der für die Leistung günstigste Verbrennungseinsatz stellt sich also selbsttätig ein, und es ist daraus erklärlich, daß der Nutzdruck in sehr weiten Grenzen vom Einspritzzeitpunkt (Abbildung 18) unabhängig ist. Diese Erscheinung ist für die Regelung sehr wertvoll und ist auch der Grund, weshalb die später behandelte, nahezu ungesteuerte pumpenlose Einspritzung, wie sie Hirth entwickelt hat, nicht nur möglich ist, sondern recht brauchbare Ergebnisse liefert.

Spitzendruck

Wie Druck Ringverfahren, also auf Kühler nicht et beim O BMW E gestellt und K tempera Betrich

30533

Bericht 158 der Lilienthal-Gesellschaft

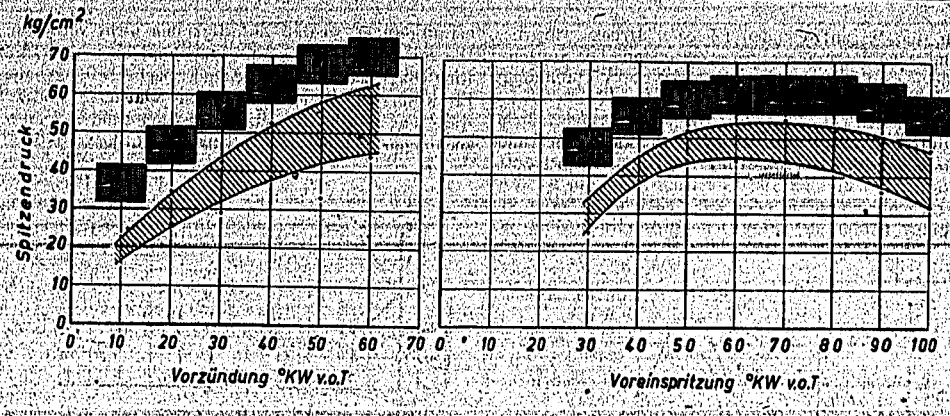


Abb. 18. Einfluß der Vorzündung bzw. Voreinspritzung auf den Brennungsablauf. Beim Ring-Verfahren ist der Nutzdruck in weiten Grenzen unabhängig vom Grad der Voreinspritzung.

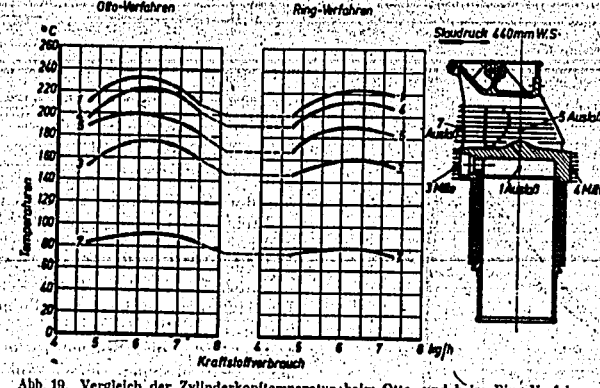


Abb. 19. Vergleich der Zylinderkopftemperatur beim Otto- und beim Ring-Verfahren. Unter vergleichbaren Bedingungen liegen die Temperaturen beim Ring-Verfahren deutlich unter denen des Otto-Verfahrens.

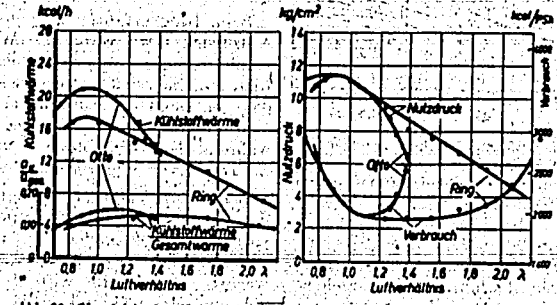


Abb. 20. Vergleich der Kühlstoffwärme beim Otto- und beim Ring-Verfahren. Die Kühlstoffwärme ist beim Otto-Motor merklich größer als beim Ring-Motor.

Wie bereits erwähnt, wurde gefunden, daß die Druckabnahme während des Dehnungshubes beim Ringverfahren langsamer erfolgt als beim Otto-Verfahren. Man könnte hieraus auf ein Nachbrennen, also auf höhere Verlustwärmern im Abgas und im Kühlstoff schließen. Nun ist aber die Kühlstoffwärme nicht etwa höher, sondern sogar deutlich niedriger als beim Otto-Verfahren. Diese Tatsache ist zuerst von BMW bei Versuchen an luftgekühlten Zylindern festgestellt worden. Man fand bei gleichen Leistungen und Kühlverhältnissen eine durchschnittliche Kopf-temperatur, die mehr als 40° tiefer als beim Otto-Betrieb lag.

Bei einem kleinen Zylinder von 1 l Hubraum konnte Hirth die Erscheinung gleichfalls, wenn auch nicht so ausgeprägt, feststellen (Abbildung 19). Schließlich liegen auch noch Messungen an einem flüssigkeitsgekühlten Zylinder vor (Abbildung 20), bei denen sich bei Vollast eine um 25 vH kleinere Kühlleistung als beim Otto-Verfahren ergab. Die fehlende Wärme kann sich nur in den Abgasen befinden. Wenn sie durch Temperaturmessung manchmal gar nicht, manchmal nur zum Teil nachweisbar war, so mag dies daran liegen, daß die Temperaturmessung nicht einwandfrei war. Wir vermuten, daß ein gewisser Fehler dadurch auftritt, daß die Strahlung bei den verschiedenen

Arbeitsverfahren vers... dieser Richtung sind... denken, daß die Mess... Versuchsfehlern belast... der Wärme von der... 25 vH, sondern wahr... werden uns auch weite... Erscheinung zu klären... Es wurde bisher le... verfahren die Zündun... selbstzündlichen Stoff... anfangs gerade in dies... Schwierigkeiten erwart... als wir je gehofft hatt... die Entwicklung beson... würde, so zeigte sich... Einspritzpumpen mit... Durchmesser durchaus... Mengen von 10 bis 20... war noch nicht einm... räume, Entlastung de... Durchmesser besonders... bei höheren Drehzahl... kleinen Mengen einwa... suche bis zu Drehzahl... dung 21). Der Einspr... Drehzahlen über 2200... R-Stoffmenge wurde... steigert. Bei unse... n = 2500 U/min die M... mindern. Bei Vollmot...

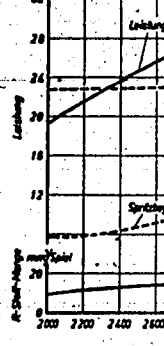


Abb. 21. Einfluß der Einspritzung der kleineren Drehzahl.

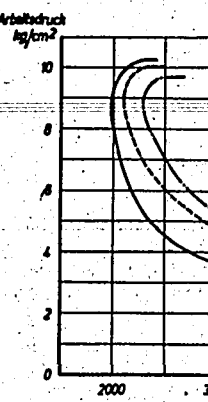


Abb. 22. Einfluß der Form und des Durchmessers der Feinzerstäubende Düsen...

F. Penzig: Das Ringverfahren

Arbeitsverfahren verschieden groß ist. Versuche in dieser Richtung sind im Gange. Weiterhin ist zu bedenken, daß die Messungen von Kühlstoffwärmern mit Versuchsfehlern belastet sind, so daß die Verschiebung der Wärme von der Kühlung in das Abgas nicht 25 vH, sondern wahrscheinlich weniger beträgt. Wir werden uns auch weiterhin bemühen, diese interessante Erscheinung zu klären.

Es wurde bisher lediglich gesagt, daß beim Ringverfahren die Zündung durch Einspritzen eines leicht selbstzündlichen Stoffes bewirkt wird. Wir hatten anfangs gerade in diesem Einspritzvorgang erhebliche Schwierigkeiten erwartet, aber es ging alles viel besser als wir es gehofft hatten. Gläubten wir anfangs, daß die Entwicklung besonderer Pumpen notwendig sein würde, so zeigte sich, daß die gewöhnlichen Diesel-Einspritzpumpen mit kleinem Stempel von 6 mm Durchmesser durchaus befähigt waren, die kleinen Mengen von 10 bis 20 mm³ zuverlässig zu steuern; es war noch nicht einmal notwendig, auf kleine Toträume, Entlastung der Einspritzleitung und deren Durchmesser besondere Rücksicht zu nehmen. Auch bei höheren Drehzahlen erfolgte die Bemessung der kleinen Mengen einwandfrei, wie Hirth durch Versuche bis zu Drehzahlen von 3800 feststellt (Abbildung 21). Der Einspritzzeitpunkt mußte lediglich bei Drehzahlen über 2200 U/min vorverlegt werden. Die R-Stoffmenge wurde mit der Drehzahl etwas gesteigert. Bei unseren Versuchen ergab sich bis n = 2500 U/min die Möglichkeit, sie etwas zu vermindern. Bei Vollmotorenversuchen werden noch die

vorhandenen großen Kraftstoffförderpumpen verwendet; bei Einbau kleiner Pumpenelemente. Späterhin wird es möglich sein, besondere Pumpen mit wesentlich kleineren Abmaßen anzuwenden. Dauerversuche bei BMW über 2000 Stunden haben gezeigt, daß ein erhöhter Verschleiß durch den R-Stoff nicht auftritt, womit unsere Erfahrungen bestätigt werden.

Ebenso haben die Düsen nie grundsätzliche Schwierigkeiten gemacht. In ihrer Wirkung haben sich sogenannte offene Düsen mit Rückschlagventil ebenso bewährt wie geschlossene Boschdüsen. Mit der Strahlform sind viele Versuche gemacht worden. Dabei hat sich ein nicht zu fein aufgelöster Strahl, wie ihn eine einfache Lochdüse oder eine Zapfendüse liefert, am besten bewährt. Ungeeignet sind lediglich Zapfendüsen für große Kegelwinkel, wie sie für die Benzineinspritzung benutzt werden; auch Fächerdüsen verteilen die kleine R-Stoffmenge offenbar zu gründlich und haben eine zu geringe Eindringtiefe (Abbildung 22). Diese Eindringtiefe ist offenbar wichtig. Versuche (Abbildung 23) zeigten, daß bei einer Zapfendüse mit 40° Kegelwinkel die erzielte Leistung bei 20 mm³ schlecht war und erst bei 35 mm³ dieselbe Wirkung erzielt wurde wie mit einer Lochdüse von 0,3 mm Durchmesser. Im allgemeinen haben sich Lochdüsen mit 0,3 bis 0,4 mm Öffnung oder auch Zapfendüsen mit 0° Kegelwinkel am besten bewährt. Die Mengen betragen 15 bis 20 mm³ bei 3-1-Zylindern, bei kleineren Zylindern kommt man mit 10 bis 15 mm³ aus. Die Menge muß jedenfalls etwas reichlicher bemessen sein als an der Aussetzergrenze nötig.

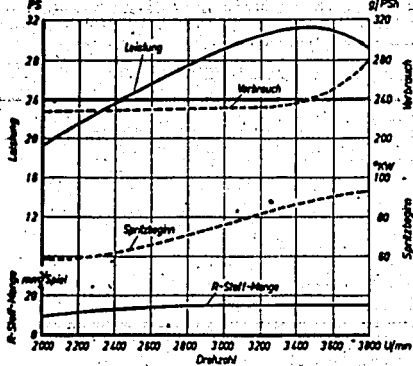


Abb. 21. Einfluß der Drehzahl auf die Bestleistung. Die Einspritzung der kleinen R-Stoffmengen erfolgt auch bei hohen Drehzahlen einwandfrei.

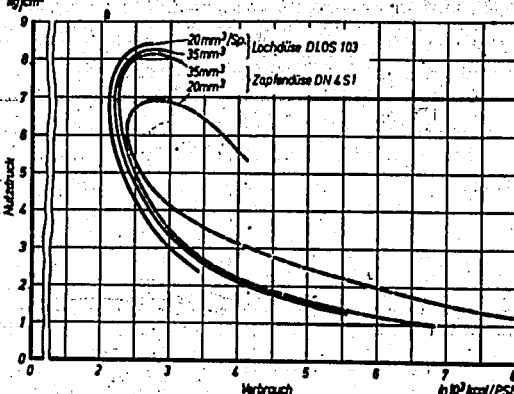


Abb. 23. Kraftstoffschleifen mit verschiedenen R-Stoffdüsen. Bei Düsen mit großer Öffnung, wie z. B. Zapfendüsen, sind größere R-Stoffmengen erforderlich, um die nötige Durchschlagkraft zu erzielen.

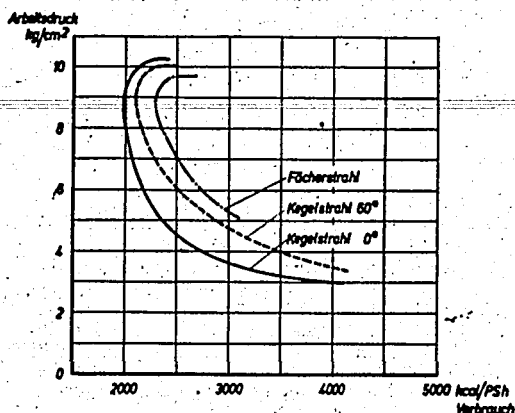


Abb. 22. Einfluß der Form des R-Stoffstrahls auf Leistung und Verbrauch. Feinzerstäubende Düsen sind für R-Stoffeinspritzung ungeeignet.

Lediglich das Dauerverhalten hat zur Bevorzugung bestimmter Düsenbauarten geführt. Die offene Düse spritzt weniger genau ab, so daß nachträglich der R-Stoff Verkokungen in der Düsenbohrung verursacht. Es wäre deshalb die geschlossene Düse, wie sie Bosch bisher für Benzineinspritzung verwendete, zu bevorzugen. Sie hat aber den Nachteil, ziemlich groß zu sein, eine besondere Leckölleitung zu benötigen und in ihrer Leckölmenge zu schwanken. Diese Mängel ließen es wünschenswert erscheinen, die neuen sogenannten lecköllosen Boschdüsen zu verwenden, die nur halb so schwer sind wie die gewöhnlichen Benzindüsen.

Auch bei der Anordnung der R-Stoffdüse; d. h. bei der Lage des R-Stoffstrahles im Brennraum, ergaben sich keinerlei Schwierigkeiten. Man erhält brauchbare Werte bei jeder Anordnung. Zweckmäßig ist es, die Düse an gut gekühlter Stelle anzubringen, obgleich keine Schwierigkeiten durch Dampfblasenbildung oder Überhitzung der Düse zu befürchten sind. Bei einer

dera
Zylin
Teil
such
Stra
wird
bess
bis
mit

g/PS
300
320
340
360
380
400
420
440
460
480
500

Verbrauch
mm³/PS
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

Arbeitsdruck
kg/cm²
1
2
3
4
5
6
7
8
9

Abb.
Bei

Gle
Leit
sch
wü
fan
nun
Sch
tun
der
Ver
Ger
Ab
kra

10

derartigen Lage wird aber besonders bei luftgekühlten Zylindern erreicht, daß der R-Stoffstrahl gegen heiße Teile des Brennraumes gerichtet wird. Nach Versuchen von BMW ist es besonders vorteilhaft, den Strahl gegen das heiße Abgasventil zu richten. Hierbei wird einmal die Leistung im fetten Gebiet so weit verbessert, daß man innerhalb des ausnutzbaren Bereichs bis $\lambda = 0,6$ von einer völligen Gleichheit der Leistung mit dem Otto-Verfahren sprechen kann (Abbildung 24).

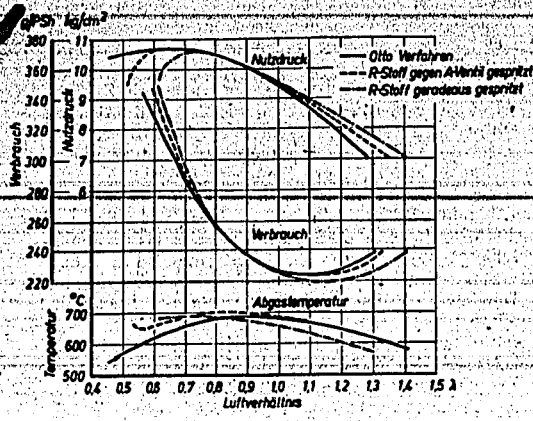


Abb. 24. Verbesserung der Startleistung durch Spritzen des R-Stoffes auf das Auslaßventil

Bei reichem Gemisch wird durch bessere Aufbereitung des R-Stoffes eine Leistungserhöhung beobachtet

Wie bereits erwähnt, können andere Hilfsmittel angewandt werden, um die Startleistung zu verbessern. Die wesentlichste Wirkung des Aufspritzens des R-Stoffes auf das Auslaßventil tritt bei niederen Temperaturen der Ladeluft und der Zylinderwandungen hervor, wie sie bei geringen Belastungen der Maschine auftreten können. Es können dann Vermagerungsschleifen bei verschiedenen Lufttemperaturen mit praktisch gleichen niedrigsten Verbräuchen gefahren werden, und das durch die niedere Ladelufttemperatur hervorgerufene höhere Ladungsgewicht tritt als Mehrleistung in Erscheinung (Abbildung 25). Zum Vergleich sind Versuche an einem flüssigkeitsgekühlten Zylinder mit geradeaus spritzender Düse dargestellt.

Der Einfluß niederer Temperaturen ist auch bei dem Anlassen des kalten Motors von Wichtigkeit. Der Ring-Motor wird angelassen lediglich mit R-Stoff, und je nach dem Wärmezustand des Motors kann mehr oder weniger rasch Benzin gegeben werden. Auf diese Weise kann der kalte Ring-Motor jedoch nur bei Temperaturen oberhalb 20° angelassen werden. Bei Vollmotorenversuchen bei DB und BMW sind zwar Kaltstarts bei Temperaturen unter 0° gelungen, doch dürften dies Ausnahmen sein.

Die beim Anlassen vorliegenden Verhältnisse sind für einen Motor, der nach dem Diesel-Verfahren arbeitet, sehr ungünstig. Neben der sehr geringen Drehzahl, der wenigen Umdrehungen, die der übliche Starter macht, ist es vor allem das große Spiel des kalten Kolbens, der das Zustandekommen eines ausreichenden Verdichtungsdruckes erschwert. Besonders bei luftgekühlten Zylindern sind die Kolben-

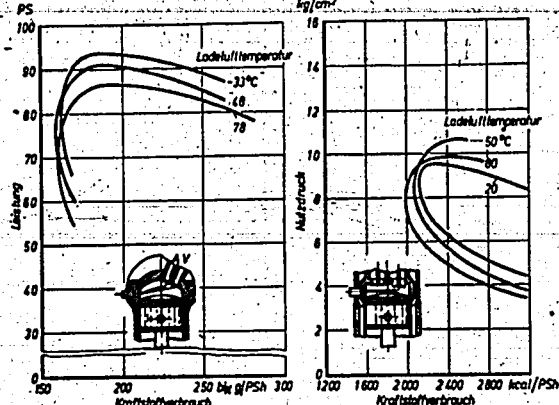


Abb. 25. Ring-Verfahren bei niederen Ladelufttemperaturen

Wird der R-Stoffstrahl gegen das Auslaßventil gerichtet, so können niedrige Ladelufttemperaturen angewandt werden bei unverändertem gutem Verbrauch und höheren Leistungen

Gleichzeitig beobachteten wir allerdings, daß die Leistungen und Verbräuche bei Luftüberschuß verschlechtert wurden und eine hier allerdings unerwünschte Annäherung an das Otto-Verfahren stattfand. Wir glauben, daß die Ursache dieser Erscheinungen außer in der Ausnutzung einer zufälligen Schichtung der Ladung in einer verbesserten Aufbereitung des R-Stoffes, also in einem Ausgleich gegenüber den in Anbetracht der großen Kraftstoffmenge niederen Verdichtungsndtemperaturen zu suchen ist. Bei armem Gemisch macht sich störend bemerkbar, daß der am Abgasventil zerstäubte R-Stoff nicht die Durchschlagskraft des ungestörten Strahls besitzt.

sple bei kaltem Motor sehr groß. Hierzu kommt noch, daß das Ventilspiel eines luftgekühlten Zylinders bei tiefen Temperaturen sehr klein und folglich die Nachöffnung des Saugventils sehr groß ist. Versuche von Hirth haben deshalb auch gezeigt, daß die Verbrauchsenddrücke bei der üblichen Anlaßdrehzahl von 50 U/min außerordentlich gering sind. Es müssen starke Vorwärmungen in der Ladeluft angewandt werden, die wiederum nicht ausgenutzt werden können, da der kalte Motor schlecht ansaugt und die Wärme auf dem Weg durch den Lader zum Zylinder verloren geht. Diese bekannten Schwierigkeiten machen sich beim Ringverfahren besonders stark geltend.

Nach dem mäßigsten anzuwenden folgend beschleunigen Temperaturen angelassen

Einen stellt die Vorkammer Vorteil der Zündung Kammer der R-Stoff Kraftstoff durch den strahl einen vielen Stellen

Wenn bei Daimler so sind bemerkenswert an einen Verluste Einsparungen Bentele N

Weitere wendig, da in der Vor gemisch im Feuerstrahl erwartet w

Über die fassen, ein wurde; zur Grund sein sprechen w

Der Gemische e fühllich wie beaufschlag

Die Regeln den Vorein fortbleiben,

F. Penzig: Das Ringverfahren

Nach diesen Erfahrungen dürfte es am zweckmäßigsten sein, eine Hilfszündkerze ohne Abschirmung anzuwenden, ein Weg, den BMW (Spandau) mit Erfolg beschritten hat. Der Motor wird dann bei tiefen Temperaturen als Otto-Motor mit den hierfür vorhandenen Hilfsmitteln, wie Leichtbenzin oder Acetylen, angelassen.

Einen Sonderfall der Einspritzung des R-Stoffes stellt die Anordnung einer Vorkammer dar. Von einer Vorkammer ist ähnlich wie beim Diesel-Motor ein Vorteil dadurch zu erwarten, daß die für die Entzündung notwendige Temperatur lediglich in der Kammer zu herrschen braucht, daß also eine sehr weitgehende Unabhängigkeit von den Temperaturen im Brennraum eintritt. Weiterhin ist zu erwarten, daß der R-Stoff sich vor der Entzündung kaum mit dem Kraftstoff im Brennraum vermischen kann und daß durch den aus der Vorkammer austretenden Feuerstrahl eine sehr gründliche Zündung gleichzeitig an vielen Stellen eintritt.

Wenngleich einige Versuche mit Vorkammern auch bei Daimler-Benz und bei uns durchgeführt wurden, so sind vor allem die Versuche von Hirth besonders bemerkenswert, weil hier gleichzeitig in Anlehnung an einen Vorschlag von Prosper L'Orange ein pumpenloses Einspritzsystem entwickelt wurde; hierüber wird Bentele Näheres berichten.

Weitere Untersuchungen an Vorkammern sind notwendig, da durch die Zusammenfassung des R-Stoffes in der Vorkammer und durch die Zündung des Gemischs im Verbrennungsraum durch den austretenden Feuerstrahl eine Beeinflussung des Klopfverhaltens erwartet werden kann.

Über die Fragen der Regelung kann ich mich kurz fassen, einmal, weil das Wesentlichste schon gesagt wurde; zum anderen aber, weil hierüber Peter auf Grund seiner Erfahrungen an einem BMW-Vollmotor sprechen wird.

Der Gemischregler kann nach der Seite der armen Gemische einen größeren Spielraum erhalten, ohne daß, ähnlich wie beim Otto-Motor, Rücksicht auf schwach beaufschlagte Zylinder genommen werden müßte.

Die Regelung des R-Stoffes betraf die Menge und den Voreinspritzwinkel. Eine Mengenregelung kann fortbleiben, wenn für das Anlassen und für den Leer-

lauf eine Hilfszündkerze vorgesehen ist. Die Pumpe wird dann auf 15 bis 20 mm³ fest eingestellt, andernfalls müßte eine zweite Stufe mit 50 bis 100 mm³ vorgesehen werden. Der Voreinspritzwinkel kann unter den gleichen vereinfachten Bedingungen unverändert bleiben. In bezug auf die Drehzahl ist keine besondere Regelung notwendig, zum mindesten keine, die nicht selbsttätig durch besondere Gestaltung der Pumpenelemente und des Rückschlagventils verwirklicht werden könnte. Durch Spritzen des R-Stoffes gegen das Abgasventil oder bei Anordnung einer Vorkammer kann sich die Kühlung des Motors auf die bisher vorhandene Einrichtung beschränken. Eine Regelung der Kühltemperatur, die auch beim Otto-Motor nützlich sein würde, wäre beim Ringverfahren trotzdem sehr erwünscht.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß der wesentlichste Vorteil des Ringverfahrens im Fortfall der bisher üblichen abgeschirmten und höhenempfindlichen Zündanlage zu suchen ist. Wichtig ist die geringe Empfindlichkeit des Motors gegen Bleirückstände sowie die Möglichkeit, mit armen Gemischen zu fahren. Obgleich die Gründe bisher noch nicht völlig geklärt sind, steht fest, daß die Kühlstoffwärmern des R-Motors beträchtlich geringer sind als die des Otto-Motors. Schließlich scheint das Ringverfahren ein günstigeres Klopfverhalten als das Otto-Verfahren zu haben. Im Ringverfahren vereinigen sich also eine große Anzahl neuartiger Erscheinungen, die es zweckmäßig erscheinen lassen, das Ringverfahren weiter zu entwickeln.

Nachtrag^{*)}

Einige inzwischen vorliegende Versuche bestätigen, daß eine erhebliche Verbesserung des Klopfverhaltens eintritt, wenn man den R-Stoff nicht in die Zylinder, sondern in eine Vorkammer einspritzt. Es wurde hierzu eine von Hirth gebaute Vorkammer mit 6 cm³ Inhalt benutzt, die in den Zylinderkopf eingeschraubt werden könnte. Der R-Stoff wurde nicht selbsttätig gefördert, sondern durch eine einfache Düse eingespritzt. Es zeigte sich, daß die Klopfneigung erheblich geringer ist als bei unmittelbarer Strahleinspritzung und auch bei Otto-Betrieb. Weitere Versuche in dieser Richtung sind geplant.

*) Vom Verfasser bei Drucklegung des Berichts eingesandt.

Geheime Kommandosache

Lillenthal-Gesellschaft
für Luftfahrtforschung
Vorabdruck aus Bericht 158

Lillenthal-Gesellschaft
für Luftfahrtforschung
Ausfertigung
55 122/3 8
Ausfertigung
Geheim

Bl. Mensch. Fr. 1/1
Bogen Umbruch
Orig.-Abbildungen
gekl./lose Blaups.

Geheime Kommandosache I

1. Dies ist ein Staatsgeheimnis im Sinne des § 88 StGB.
2. ~~Es ist eine~~ **Geheime Kommandosache!**
in doppelter Hinsicht: a) Empfängerangelegenheit; b) Weitergabe.
3. Beförderung möglichst durch Auktor oder Vertrauensperson; bei Postbeförderung unter Wertangabe von mehr als 1000 RM.
4. Vervielfältigung jeder Art sowie Herstellung von Klugsagen verboten.
5. Aufbewahrung unter Verantwortung des Empfängers im Panzerschrank, ausnahmsweise im Stahlstüb mit Rumpfschloß.

Grundsätzliche Fragen zur Anwendung von Sauerstoffträgern für die Leistungssteigerung im Flugmotor

O. Lutz, Braunschweig

30537

Gliederung

1. Einleitung
2. Thermodynamische Beziehungen
 - a) Anordnung; Änderung der Innenleistung
 - b) Änderung der Luftmenge
 - a) Änderung des Ladedruckes; Lädereinfluß
 - β) Änderung der Ladelufttemperatur; Mischungseinfluß
 - c) Änderung der effektiven Leistung; spezifische Ausbeute
3. Vergleich einiger Sauerstoffträger
 - a) In Betracht gezogene Sauerstoffträger
 - b) Vergleich der Sauerstoffträger
4. Thermische Belastung des Triebwerks
 - a) Ableitung der Beziehungen
 - b) Vergleich der Sauerstoffträger
5. Motorische und betriebliche Eignung der Sauerstoffträger
 - a) Korrosionsverhalten
 - b) Klopfverhalten
 - c) Speicherung
 - d) Handhabung
6. Folgerungen für die Auswahl der Sauerstoffträger
7. Hinweis auf Versuchsergebnisse
8. Erzielbare Flugleistungen
9. Aufbau der Geräte
10. Schlußfolgerungen

1. Einleitung

Der Verbrennungsmotor braucht zur Bewältigung seiner Arbeit dreierlei Stoffe, die er verdaut: einen Kraftstoffträger, einen Sauerstoffträger und einen Ballastträger.

Nach jahrzehntelanger Gewöhnung an einen Stoff mit 10000 Wärmeeinheiten Heizwert als Kraftstoffträger und an ein Gemisch von Sauerstoffträger zu Ballastträger im Verhältnis 1:4 fällt es ihm schwer, sich auf andere Kombinationen umzugewöhnen. Die vorangegangenen Ausführungen zeigten, daß man die Leistungskonzentration des Triebwerks erhöhen kann, wenn man die Teildrücke des üblichen Sauerstoff- und Ballastträgers erhöht und kraftstoffseitig dafür sorgt, daß durch Anwendung höherer Verdampfungswärmen eine thermische Entlastung eintritt.

Anstatt den Kraftstoffträger zu variieren, kann man nun auch daran denken, den Sauerstoffträger zu verändern. Zwingend wird diese Aufgabenstellung, wenn etwa ein Verbrennungsmotor unter Wasser laufen soll, also völlig von der Außenluft abgeschlossen ist. Hier muß versucht werden, das Triebwerk ganz ohne Luft zu betreiben. Schon in dem Jahrzehnt vor dem ersten Weltkrieg sind in dieser Hinsicht viele Vorschläge aufgetaucht, von denen aber keiner technische Bedeutung erlangte. Dies mag allerdings von dem Umstand mit beeinflusst worden sein, daß der Antrieb von Verbrennungsmotoren unter Wasser an sich mit schwierigen technischen Problemen verknüpft ist. Als Sauerstoffträger sind damals besonders Salpetersäure, Wasserstoffperoxyd, flüssiger Sauerstoff und Tetranitromethan vorgeschlagen worden. Stickoxydul wurde wegen seines geringen Sauerstoffgehaltes als nicht aussichtsreich befunden.

Für Flugmotoren, die sich ja immer in der Luft hülle unserer Erde bewegen, bestand nicht von vornherein eine solche extreme Forderung wie bei Unterseebootmotoren. Insbesondere beim Flug in großen Höhen hat sich nun, in den letzten Jahren gezeigt, daß eine teilweise Zugabe von Sauerstoffträgern zu der bereits verarbeiteten Luft überraschend günstige Ergebnisse haben kann, selbst im Hinblick auf die mitzuführenden Gewichte. Es ist bereits von maßgeblicher Triebwerksseite darauf hingewiesen worden, daß extreme Höhenleistungen künftig ohne die in den letzten Jahren eingeführten Verfahren der Zugabe von Sauerstoffträgern nicht mehr zu denken sind.

Es liegt nahe, die günstigen Erfolge in der Höhe auch beim Flug in Bodennähe auszunutzen. Während in der Höhe aber das Triebwerk durch die Zugabe nur auf Leistungen unterhalb der Volldruckleistung gebracht wird, würde in Bodennähe die Leistung wesentlich über die Volldruckleistung hinausgehen. Daß hierbei besondere thermische Schwierigkeiten auftreten, ist verständlich; trotzdem besteht gute Aussicht, künftig auch hier Erfolge zu erzielen.

Meine Ausführungen geben zunächst einige thermodynamische Grundlagen, deren Ergebnis insofern bemerkenswert ist, als sie zeigen, daß beim Ladertriebwerk nicht die absoluten Sauerstoffgehalte allein für die Eignung maßgebend sind. Außerdem werde ich kurz auf die betriebliche Eignung der in Frage kommenden Sauerstoffträger und auf einige Fragen eingehen, die bei der Einführung des Verfahrens aufgetreten sind.

2. Thermodynamische Beziehungen

Die Auswirkung der Zugabe von Sauerstoffträgern auf die Leistung eines Flugmotors läßt sich rechnerisch unter gewissen einschränkenden Voraussetzungen in verhältnismäßig einfacher, geschlossener Form ermit-

te. Die dabei gemachten Vernachlässigungen wirken sich gleichmäßig auf die betrachteten Sauerstoffträger aus, so daß sie für den Vergleich der einzelnen Stoffe zulässig sind. Für die hauptsächlich in Frage kommenden Stoffe Sauerstoff und Stickoxydul sind im Anschluß die Ergebnisse einer genaueren Rechnung mitgeteilt.

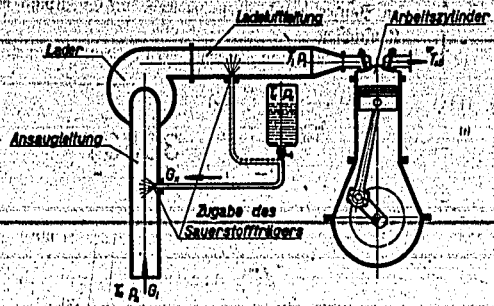


Abb. 1. Anordnung; Berechnungen

a) Anordnung; Änderung der Innenleistung

Abbildung 1 zeigt das Schema der Anordnung: Arbeitszylinder, Ladeluftleitung, Lader, Ansaugleitung. Der Sauerstoffträger wird entweder in die Ansaugleitung oder die Ladeluftleitung eingeblasen oder eingespritzt. Durch die Einbringung der Sauerstoffträgermenge G_s [kg/s] wird das ursprüngliche Ladegewicht $G_{L,o}$ [kg/s] um ΔG_L geändert (Index o bezieht sich auf den ursprünglichen Zustand ohne Zugabe). Die Änderung der Innenleistung ergibt sich aus der Änderung des Ladegewichts infolge des Einblasens des Sauerstoffträgers und aus den energetischen Eigenschaften des Sauerstoffträgers zu:

$$\frac{\Delta N_i}{N_{i,o}} = \frac{\Delta G_L}{G_{L,o}} + \sigma \frac{G_s}{G_{L,o}} \quad (1)$$

wobei der »Luftwert« σ kennzeichnet, in welchem Verhältnis bei der Verbrennung des Sauerstoffträgers mehr Wärmeenergie frei wird als bei Luft:

$$\sigma = \frac{O_s}{O_L} - \frac{bw_f}{698} + x \frac{q + (aw)}{698} \quad (2)$$

- $\frac{O_s}{O_L}$ = Verhältnis der Sauerstoffanteile,
- bw_f = Bildungswärme des flüssigen Stoffes bei 20° in kcal/kg,
- x = Anteil des in der Ladeluftleitung Verdampfenden,
- q = innere Verdampfungswärme in kcal/kg,
- (aw) = Aufheizungswärme des dampfförmigen Stoffes, bezogen auf 20°,
- 698 = Gemischheizwert eines normalen Benzindampf-Luftgemisches in kcal/kg.

b) Änderung der Luftmenge

Im allgemeinen wird man die Leistungssteigerung nur bei Vollgasbetrieb anwenden, da bei kleinerer Last das Triebwerk ja selbst noch steigerungsfähig ist. Dies bedeutet, daß die Drehzahl des Triebwerks während der Zugabe des Sauerstoffträgers nicht gesteigert werden kann (Eingreifen der Verstell-Luftschraube). Es gilt also

$$n = \text{konst.} \quad (3)$$

Das vom Triebwerk in der Zeiteinheit verarbeitete Volumen muß demnach gleich dem ursprünglichen sein:

$$\frac{G_{L,o} T_{L,o}}{M_L p_{L,o}} = \frac{G_L T_L}{M_L p_L} + \frac{G_s T_s}{M_s p_s} \quad (4)$$

(M = Molekulargewicht; Gasgleichung für den Sauerstoffträger in Näherung als gültig betrachtet). Vernachlässigt man kleine Größen zweiter Ordnung, so folgt:

$$\frac{\Delta G_L}{G_{L,o}} = \frac{\Delta p_L}{p_{L,o}} - \frac{\Delta T_L}{T_{L,o}} \times \frac{G_s T_L p_{L,o} M_L}{G_{L,o} T_{L,o} p_L M_s} \quad (5)$$

Die gewählte Darstellung bietet den Vorteil, daß die einzelnen Glieder nach (1) bereits die Leistungsanteile zeigen, nach denen sie sich auswirken; das letzte Glied kennzeichnet die Verdrängung der Ladeluft durch den Sauerstoffträger. Das Temperaturglied $\frac{\Delta T_L}{T_{L,o}}$ ist noch aufzuspalten in einen von der Ladedruckänderung herrührenden (adiabatischen) Anteil $\frac{\Delta T_L}{T_{L,o}}$ und einen zweiten $\frac{\Delta T_s}{T_{L,o}}$, den die Mischung mit dem Sauerstoffträger bewirkt.

a) Änderung des Ladedruckes; Ladereinfluß

Zwischen der Änderung der vom Lader angesaugten Luftmenge und der Ladedruckänderung besteht ein Zusammenhang, der durch die Kennlinie des Laders gegeben ist. Zur Vereinfachung werde angenommen, daß der Sauerstoffträger hinter dem Lader eingebracht wird; die Änderung des Laderdurchsatzvolumens ist dann gleich der Änderung des durchgesetzten Gewichts $\frac{\Delta G_L}{G_{L,o}}$. Da sich die Laderdrehzahl nicht ändert, kann für die Kennlinie angesetzt werden (vgl. Abbildung 2):

$$\frac{\Delta H}{H_o} = -C \frac{\Delta G_L}{G_{L,o}} \quad (6)$$

(H = Förderhöhe des Laders in kcal/kg oder mkg/kg).

Nun gilt für die Förderhöhe

$$H_o = c_p L (T_{L,o} - T_d)$$

also folgt für die durch den Lader bedingte Änderung der Ladelufttemperatur ΔT_L :

$$\frac{\Delta T_L}{T_{L,o} - T_d} = -C \frac{\Delta G_L}{G_{L,o}} \quad (6a)$$

und weil Temperatur- und Druckänderung durch

$$\frac{\Delta T_L}{T_{L,o}} = \frac{\kappa - 1}{\kappa} \frac{\Delta p_L}{p_{L,o}}$$

zusammenhängen, ergibt sich für die Glieder $\frac{\Delta p_L}{p_{L,o}} - \frac{\Delta T_L}{T_{L,o}}$:

$$\frac{\Delta p_L}{p_{L,o}} - \frac{\Delta T_L}{T_{L,o}} = -\frac{C}{\kappa - 1} \left(1 - \frac{T_d}{T_{L,o}}\right) \frac{\Delta G_L}{G_{L,o}}$$

Für die Änderung des Luftgewichtes bleibt:

$$\frac{\Delta G_L}{G_{L,o}} \left(1 + \frac{C}{\kappa - 1} \left(1 - \frac{T_d}{T_{L,o}}\right)\right) = \frac{\Delta T_s}{T_{L,o}} \times \frac{G_s T_L p_{L,o} M_L}{G_{L,o} T_{L,o} p_L M_s} \quad (7)$$

Der den Ladereinfluß kennzeichnende Faktor

$$1 + \frac{C}{\kappa - 1} \left(1 - \frac{T_d}{T_{L,o}}\right)$$

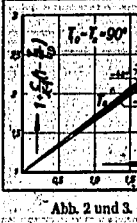


Abb. 2 und 3

ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Änderung der Förderhöhe ist höher die Förderhöhe. Wie später gezeigt werden Sauerstoffträger die spezifische Leistung nach diesem Er

b) Änderung

Durch die Verdrängung des Sauerstoffträgers wird die Ladeluftmenge im nichtverdrängten Teil nachfolgendem Ansatz

$$\begin{aligned} G_L c_p &= (G_{L,o} c_p + G_s c_s) \\ (c_p &= spez. Wärmekapazität) \\ \Delta T_s &= \text{Temperaturerhöhung des Sauerstoffträgers} \end{aligned}$$

(Vereinfachung)

streng erfüllt nur bei Vollgasbetrieb. Der Klammerausdruck in der Ladeluftleistungsgleichung ist positiv, so daß die Leistungssteigerung durch den Sauerstoffträger ausfällt, erst im

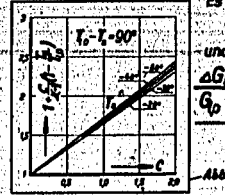
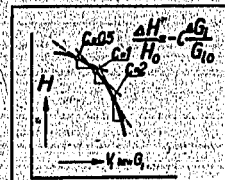


Abb. 2 und 3. Änderung der Luftmenge II: Ladereinfluß

ist in Abbildung 3 aufgezeichnet. Man erkennt:

Die Änderung der Luftmenge ist um so geringer, je steiler die Laderkennlinie und je höher die Außentemperatur ist.

Wie später gezeigt wird, bewirken alle in Frage kommenden Sauerstoffträger eine positive Änderung $\frac{\Delta G_L}{G_{L,0}}$; die spezifischen Leistungsausbeuten steigen deshalb nach diesem Ergebnis mit der Flughöhe etwas an.

β) Änderung der Ladelufttemperatur; Mischungseinfluß

Durch die Verdampfung des eingespritzten Sauerstoffträgers wird die Ladelufttemperatur gesenkt; vernachlässigt man die nur geringe Temperaturänderung im nichtverdampften Flüssigteil, so kann man von folgendem Ansatz ausgehen:

$$G_L c_{pL} T_L + x (G_x c_{pX} T_x - G_x r) = (G_L c_{pL} + x G_x c_{pX}) (T_L + \Delta T_x)$$

(c_p = spez. Wärmen, ΔT_x = Temperaturänderung in der Ladeluftleitung durch Mischung);

mit den Näherungen $G_L \approx G_{L,0}$ und $T_L \approx T_{L,0}$ wird

$$\frac{\Delta T_x}{T_{L,0}} \left(1 + x \frac{G_x c_{pX}}{G_{L,0} c_{pL}} \right) \approx -x \frac{G_x c_{pX} (T_{L,0} - T_x) + r}{G_{L,0} c_{pL} T_{L,0}} \quad (8)$$

Für die gesuchte Änderung der Luftmenge erhält man damit:

$$\frac{\Delta G_L}{G_{L,0}} \left(1 + \frac{C}{x-1} \left(1 - \frac{T_x}{T_{L,0}} \right) \right) \approx x \frac{G_x c_{pX} (T_{L,0} - T_x) + r}{G_{L,0} c_{pL} T_{L,0}} \quad (9)$$

(Vereinfachungen $1 + \frac{1}{x} \frac{\Delta p_L}{p_{L,0}} \approx 1$,

$$1 + x \frac{G_x c_{pX}}{G_{L,0} c_{pL}} \approx 1 + x \frac{G_x M_L}{G_{L,0} M_x}$$

streng erfüllt nur für zweiatomige Gase im vorliegenden Temperaturbereich.)

Der Klammerausdruck auf der rechten Seite gibt ein Kriterium für den Verdampfungsvorgang in der Ladeluftleitung: solche Sauerstoffträger, bei denen er positiv ist, sollten in der Ladeluftleitung verdampft werden ($\frac{\Delta G_L}{G_{L,0}}$ positiv), jene, bei denen er negativ ausfällt, erst im Zylinder.

α) Änderung der effektiven Leistung; spezifische Ausbeute

Aus der Änderung des verarbeiteten Luftgewichts und dem »Luftwert« σ nach (2), der sich aus den Stoffeigenschaften des Sauerstoffträgers ergibt, läßt sich die Änderung der Innenleistung bestimmen, wie die Ausgangsgleichung (1) zeigt. Aus ihr kann auf die Änderung der effektiven Leistung geschlossen werden, wenn berücksichtigt wird, daß während des Vorgangs die Drehzahl konstant bleibt, die Reibungsleistung N_R also/ konstant angenommen werden kann. Wenn der Kennlinienfaktor C des Laders gleich 1 angenommen werden kann, bleibt auch die Laderleistung N_L konstant, andernfalls ist eine geringe Abhängigkeit von der Änderung des durchgesetzten Luftgewichts vorhanden. Nimmt man zur Vereinfachung $C = 1$, so folgt $N_L = 0$, also:

$$\Delta N_e = \Delta N_i$$

und damit

$$\frac{\Delta N_e}{N_{i,0}} = \varphi' \frac{G_x}{G_{L,0}}$$

oder

$$\frac{\Delta N_e}{G_x} = \varphi' \frac{N_{i,0}}{G_{L,0}} \quad (10)$$

wobei φ' der später in Abbildung 7 gezeigte Wert ist. Nun kann bei einem Viertaktmotor mit Fremdzündung

$$\frac{N_{i,0}}{G_{L,0}} \approx 1,40 \frac{PSs}{g} \quad (11)$$

gesetzt werden, also folgt für die spezifische Ausbeute:

$$\varphi \equiv \frac{\Delta N_e}{G_x} = 1,40 \varphi' \quad (12)$$

Aus Abbildung 7 ergibt sich, daß die φ' -Werte zwischen 2,5 und 4,5 $\frac{PSs}{g}$ schwanken, so daß beim Viertaktmotor mit Fremdzündung Ausbeuten von 3,5 bis 6,3 $\frac{PSs}{g}$ zu erwarten sind.

Beim Motor mit Selbstzündung, der im Normalbetrieb mit Luftüberschuß arbeitet, ist bei der Aufstellung des »Luftwertes« Vorsicht geboten. Es muß beachtet werden, daß der Sauerstoffträger möglicherweise mit anderem Kraftstoff unterworfen ist als die verarbeitete Luft. Da der »Gemischheizwert« geringer ist als beim Motor mit Fremdzündung, fallen außerdem Bildungswärme und Verdampfungswärme stärker ins Gewicht.

Bei der Einspritzung in den Lader oder vor den Lader werden die Zusammenhänge verwickelter, da als weitere Veränderliche die Ansaugtemperatur auftritt (Mischungseinfluß). Bevor hierauf eingegangen wird, sollen die bisherigen Ergebnisse auf den Vergleich einiger Sauerstoffträger angewendet werden.

3. Vergleich einiger Sauerstoffträger

a) In Betracht gezogene Sauerstoffträger

Die Auswahl der Sauerstoffträger wird auf jene beschränkt, die auf Grund der Beschaffungslage heute für verwandte Anwendungsgebiete allein in Frage kommen. Es sind dies:

80prozentiges Wasserstoffperoxyd, Salpetersäure, Sauerstoff, Stickoxydul, Tetränitromethan.

Die Stoffwerte sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt¹⁾.

¹⁾ Bei der Zusammenstellung und Mittelung der in der Literatur genannten Werte hat mich mein Mitarbeiter W. Noeggerath unterstützt.

H₂O, 80 vH
HNO₃, 100 v
O₂ gasförm
O₂ flüssig
N₂O verflü
(u. Dr.)
N₂O verflü
(u. Dr.)
N₂O verflü
(u. Dr.)
N₂O flüssig
(druck)
N₂O
In Ab
Sauerstof
An der S
folgen Sa
sich erge
für die r
Die ers
zugegeben
bedingt.
 $\frac{\Delta G_L}{G_{L,0}} = x$
wobei die
die Auß
temperat
ist für di
mengest
Den mit
stoffperox
Stickoxyd
Waage h
wirkung r
stark abs

Zahlentafel I
Zusammenstellung der Stoff- und Rechnungswerte

	θ_s	M_x	γ_s	θ_s	θ_d	r	ρ	$c_{p,x}$	$bw_{p,x}$	O_2	$\frac{\Delta G_f}{G_{L,o}}$		$\frac{\Delta N_f}{N_{L,o}}$		$\frac{G_x}{G_{L,o}}$
											$x=0$	$x=1$	$x=0$	$x=1$	
H ₂ O, 80 vH	+20	28,83	1,346	151,4	-29,0	408,2	367	0,231	-187,8	0,376	1,684	2,400	1,36	1,684	4,074
HNO ₃ , 100 vH	+20	63	1,522	86	-42,3	115	103,5	0,160	+203,5	0,635	2,434	2,582	0,69	2,434	2,980
O ₂ gasförmig	+20	32	-	-	-	-	-	0,218	0,00	1,00	4,200	4,200	-0,822	4,200	3,800
O ₂ flüssig	-183	32	1,146	-183	-218,9	50,9	46,4	0,216	+84,8	1,00	4,160	4,290	0,40	4,160	4,535
N ₂ O verflüssigt (u. Druck)	-20	44	1,013	-	-90,83	66,9	55,8	0,203	-380,0	0,364	2,104	2,196	0,39	2,104	2,426
N ₂ O verflüssigt (u. Druck)	±0	44	0,925	-	-90,83	61,5	50,9	0,203	-390,5	0,364	2,119	2,198	0,255	2,119	2,348
N ₂ O verflüssigt (u. Druck)	+20	44	0,731	-	-90,83	43,7	37,4	0,203	-417,3	0,364	2,150	2,203	-0,013	2,150	2,195
N ₂ O flüssig (drucklos)	-88,5	44	1,225	-88,5	-90,83	90,0	85	0,201	-343,2	0,364	2,032	2,207	0,86	2,032	2,714
NO ₂	+20	106	1,650	126	+13	80,0	72	0,130	-357	1,490	2,730	2,863	0,90	2,730	3,303

1) 100 vH H₂O;
 2) Beginn des Ausscheidens von H₂O₂; Eutektikum (50,2 vH) erstarrt bei -48°
 3) Tripelpunkt, p = 638,95 mm Hg
 4) bei 10°
 5) bei 85°
 6) bei θ_s
 7) geschätzt
 8) bei -88,5°

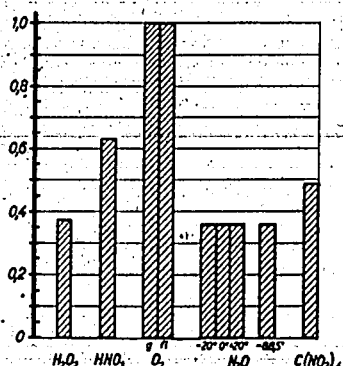


Abb. 4. Verfügbare Sauerstoffgehalte

b) Vergleich der Sauerstoffträger

In Abbildung 4 sind zunächst die verfügbaren Sauerstoffgehalte im Verhältnis zu Luft aufgezeichnet. An der Spitze marschiert naturgemäß Sauerstoff, dann folgen Salpetersäure und Tetranitromethan. Es wird sich ergeben, daß dieses Bild noch keinen Maßstab für die motorische Eignung der Stoffe abgibt.

Die erste Änderung ist durch die Auswirkung des zugegebenen Sauerstoffträgers auf das Ladeluftgewicht bedingt. Nach (9) gilt:

$$\frac{\Delta G_L}{G_{L,o}} \cdot x \frac{G_x}{G_{L,o}} = 0,59 \left(\frac{c_{p,x}(T_{L,o} - T_x) + r}{c_{pL}T_{L,o}} - \frac{M_L}{M_x} \right) \quad (9a)$$

wobei die Kennzahl für die Ladercharakteristik $C=1$, die Außentemperatur $T_a=233^\circ$ und die Ladelufttemperatur $T_{L,o}=323^\circ$ angenommen sind. Dieser Wert ist für die ausgewählten Stoffe in Abbildung 5 zusammengestellt und in die Zahlentafel I aufgenommen. Den mit Abstand günstigsten Wert ergibt Wasserstoffperoxyd, während sich Salpetersäure, flüssiges Stickoxydul und Tetranitromethan ungefähr die Waage halten. N₂O von 20° zeigt gerade keine Auswirkung mehr, während gasförmiges O₂ die Luftmenge stark absinken läßt. Es wurde bereits darauf hinge-

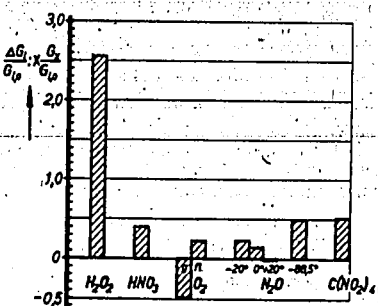


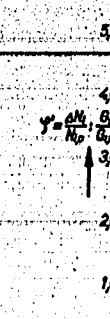
Abb. 5. Änderung des Ladeluftgewichtes

wiesen, daß es bei allen Stoffen mit positivem Wert günstigster ist, sie in der Ladeluftleitung zu verdampfen.

Vom Anteil des Verdampften ist auch der »Luftwert« abhängig, wie aus (2) zu entnehmen ist. Abbildung 6 zeigt den Luftwert, aufgespalten in den von x unabhängigen (unten) und den von x abhängigen Anteil. Gegenüber dem Sauerstoffgehalt (Abbildung 4) haben insbesondere Wasserstoffperoxyd und Stickoxydul aufgeholt, während Salpetersäure nachgelassen hat (infolge ihrer positiven Bildungswärme). Tetranitromethan ist bereits besser als Salpetersäure geworden, während Wasserstoffperoxyd bis auf 95 vH, Stickoxydul bis auf 85 vH herangerückt sind.

Schließlich ist in Abbildung 7 die Änderung der Innenleistung zusammengestellt. Für $x=1$ steht Wasserstoffperoxyd an der Spitze und hat sogar Sauerstoff überflügelt. Großen Anteil an dem hohen Wert hat die große Verdampfungswärme, die eine starke Abkühlung der Ladeluft bewirkt, wodurch die vom Lader verarbeitete Luftmenge wesentlich ansteigt (Abbildung 5); hierauf wird später noch eingegangen.

Nun wird eine völlige Verdampfung in der Ladeluftleitung — außer bei Sauerstoff und Stickoxydul — ohnehin Schwierigkeiten machen, besonders bei Tetranitromethan (Stockpunkt +12°). Aber nur im Falle einwandfreier Verdampfung in der Ladeluftleitung



besteht noch
 Tetranitromet
 oxydul, und
 Tetranitromet
 Verdampfung
 und Tetranit
 mehr, Salpet
 schlechter.

Die für die
 den physikal
 äußern sich
 nur 36,4 vH
 immerhin geg
 gegenüber g
 stiegen ist.

Die Unterse
 vor dem Lade
 neuen Durch
 oxydul näher
 76,5 vH, dem
 Sauerstoff sog
 außerdem noch
 charakteristiki
 Werte des F
 sind nicht be

In Abbildu
 Ladeluftleitun
 zeichnet. Es
 steigert werd
 ratur von —
 ein, so senkt
 —87,8°, bei S
 sinkt die ursp

9) Die Berechnung durchgeföhrt wor

O. Lutz: Grundsätzliche Fragen zur Anwendung von Sauerstoffträgern für die Leistungssteigerung im Flugmotor

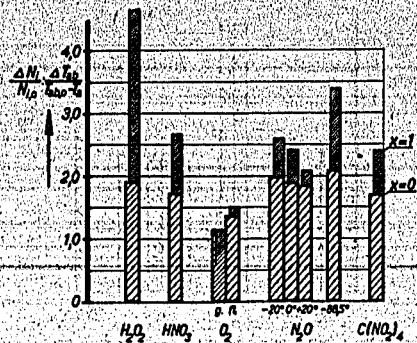


Abb. 6. Lutzwert

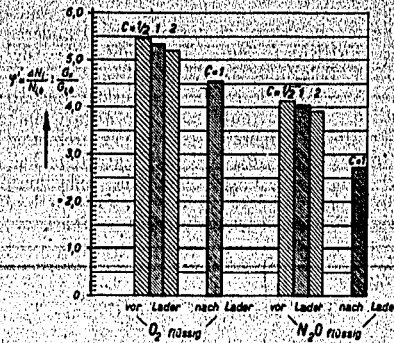


Abb. 8. Änderung der Innenleistung (O₂ - N₂O)

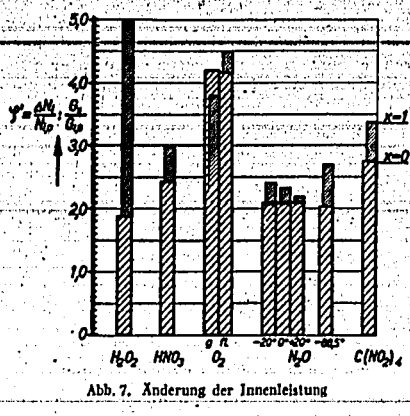


Abb. 7. Änderung der Innenleistung

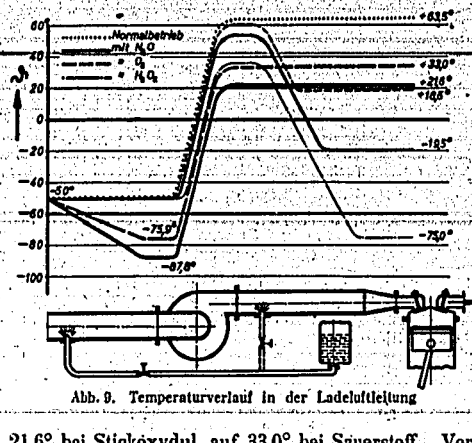


Abb. 9. Temperaturverlauf in der Ladeluftleitung

besteht noch eine Überlegenheit von Salpetersäure und Tetranitromethan gegenüber drucklos flüssigem Stickoxydul, und zwar ist Salpetersäure um rund 10 vH, Tetranitromethan um rund 25 vH besser. Gelingt die Verdampfung nicht, so besteht zwischen Stickoxydul und Tetranitromethan praktisch kein Unterschied mehr, Salpetersäure dagegen ist um rund 10 vH schlechter.

Die für die motorische Verwendung günstig liegenden physikalischen Eigenschaften von Stickoxydul äußern sich auch darin, daß der Sauerstoffgehalt zwar nur 36,4 vH beträgt, die Leistungsausbeute aber immerhin gegenüber flüssigem Sauerstoff auf 59,8 vH, gegenüber gasförmigem sogar auf 71,4 vH angestiegen ist.

Die Unterschiede werden noch geringer, wenn man vor dem Lader einspritzt. Das Ergebnis einer genauen Durchrechnung zeigt Abbildung 8²⁾. Stickoxydul nähert sich dabei dem flüssigen Sauerstoff auf 76,5 vH, dem hinter dem Lader verdampften flüssigen Sauerstoff sogar auf 88,7 vH. In der Abbildung sind außerdem noch die Ergebnisse für verschiedene Ladercharakteristiken — gekennzeichnet durch verschiedene Werte des Faktors C — eingetragen. Die Einflüsse sind nicht bedeutend.

²⁾ Die Berechnungen sind von meinem Mitarbeiter H. Reichert durchgeführt worden.

21,6° bei Stickoxydul, auf 33,0° bei Sauerstoff. Voraussetzung ist, daß eine vollständige Verdampfung vor Lader gelingt.

Spritzt man hinter dem Lader ein, so werden die entsprechenden Ladelufttemperaturen — wieder bei 50prozentiger Leistungserhöhung — für Stickoxydul — 19,5°, für Sauerstoff + 18,5°, also wesentlich niedriger als bei Einspritzung vor dem Lader. Im ersten Fall steigt dabei der Ladedruck gegenüber dem Ausgangszustand, im zweiten Fall fällt er etwas ab.

In die Abbildung sind auch noch die Temperaturen eingetragen, die sich ergeben würden, wenn man Wasserstoffperoxyd hinter dem Lader eingespritzt völlig verdampfen läßt. Nach der früher gezeigten Abbildung 7 wäre die Leistungsausbeute hierfür besonders günstig. Es zeigt sich aber, daß die Temperaturabsenkung bereits für 50prozentige Leistungssteigerung so bedeutend wäre (— 75°), daß mit den vorhandenen Reguliereinrichtungen der Vorgang nicht mehr zu beherrschen wäre, ganz abgesehen davon, daß Wasserstoffperoxyd bei diesen tiefen Temperaturen fest wird. Läßt man nur einen so großen Anteil verdampfen, daß die Abkühlung der von voll verdampftem Stickoxydul entspricht, so werden die Leistungsausbeuten ziemlich genau gleich groß.

4. Thermische Belastung des Triebwerks

a) Ableitung der Beziehungen

Es ist schwierig, für die thermische Belastung des Triebwerks eine eindeutige thermodynamische Rechnungsgröße aufzustellen. Für die Belastung des Kolbens sind neben der absoluten Höhe der Verbrennungstemperaturen auch die auftretenden Spitzendrücke maßgebend, die ihrerseits nicht nur von den Höchsttemperaturen, sondern auch von den Verbren-

nungsgeschwindigkeiten abhängen. Von der Änderung der Verbrennungsgeschwindigkeiten wird andererseits wieder die Klopfneigung beeinflusst, die für die thermische Belastung des Kolbens sehr wichtig ist. Für die Auslaßventile ist die Temperatur der Abgase wesentlich. Da die Änderungen der Abgastemperatur und der Höchsttemperatur bei der Verbrennung einander nahezu verhältlich sind und außerdem bei einzelnen Motormustern die thermische Belastung der Auslaßventile besonders wichtig ist, so wird hier die Änderung der Abgastemperatur T_{ab} verfolgt.

Aus der Energiebilanz kann man folgern ohne Zugabe:

$$G_{L,o} c_{pL} T_a + 698 G_{L,o} - N_{i,o} = G_{L,o} c_{pab} T_{ab,o}$$

oder

$$\left(\frac{1}{\eta} - 1\right) N_{i,o} = G_{L,o} (c_{pab} T_{ab,o} - c_{pL} T_a)$$

mit Zugabe:

$$\left(\frac{1}{\eta} - 1\right) N_{i,o} = (G_L + G_x) c_{pab} T_{ab} - G_L c_{pL} T_a - G_x c_{p_x} T_x + x G_x r$$

Wird zur Vereinfachung $c_{pab} \approx c_{pL}$ gesetzt, so folgt:

$$\frac{N_{i,o}}{G_{L,o}} = \frac{(G_L + G_x) (T_{ab,o} - T_a)}{G_{L,o} (T_{ab,o} - T_a)} + \frac{G_x c_{pL} T_a - c_{p_x} T_x + x r}{G_{L,o} c_{pL} (T_{ab,o} - T_a)}$$

oder — nach Unterdrückung der in zweiter Ordnung kleinen Glieder —

$$\frac{\Delta N_{i,o}}{N_{i,o}} \approx \frac{\Delta T_{ab,o}}{T_{ab,o} - T_a} + \frac{\Delta G_L + G_x}{G_{L,o}} + \frac{G_x c_{pL} T_a - c_{p_x} T_x + x r}{G_{L,o} c_{pL} (T_{ab,o} - T_a)}$$

Mit den Beziehungen (1) und (2) erhält man daraus:

$$\frac{\Delta T_{ab,o}}{T_{ab,o} - T_a} \approx \frac{G_x}{G_{L,o}} \left\{ \sigma - 1 - \frac{x r - c_{p_x} T_x + c_{pL} T_a}{c_{pL} (T_{ab,o} - T_a)} \right\} = \frac{G_x}{G_{L,o}} \cdot y \quad (13)$$

b) Vergleich der Sauerstoffträger

In Abbildung 10 ist der Klammerausdruck y von Formel (13) für $T_a = 233^\circ$ und $c_{pL} (T_{ab,o} - T_a) = 270$ kcal/kg ausgewertet. Es zeigt sich, daß — falls die Verdampfung in der Ladeluftleitung gelingt — Wasserstoffperoxyd keinerlei Erhöhung der Abgastemperatur bringt, die nächst niedere bringt Stickoxydul, dann kommen Salpetersäure und Tetranitromethan.

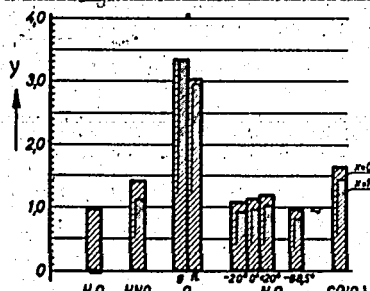


Abb. 10. Änderung der Abgastemperatur

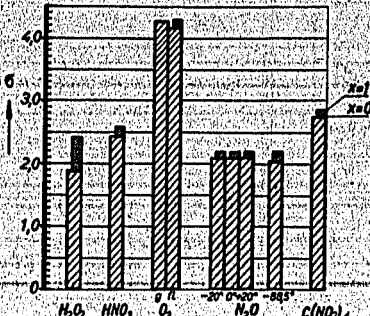


Abb. 11. Verhältnis von Leistungssteigerung zu Abgastemperatursteigerung

Ein Kriterium für die motorische Eignung der Sauerstoffträger ist das Verhältnis der Leistungszunahme zur Zunahme der Abgastemperatur; da nur eine begrenzte Steigerung der Auslaßtemperatur zulässig ist, gibt dieser Wert an, in welchem Ausmaß die einzelnen Stoffe Leistungssteigerungen erlauben. Besonders günstig würde Wasserstoffperoxyd abschneiden (Abbildung 11), wenn die Verdampfung in der Ladeluftleitung gelänge. Berücksichtigt man aber, daß nur Stickoxydul und Sauerstoff sicher zu verdampfen sind, so ist flüssiges Stickoxydul allen übrigen Stoffen wesentlich überlegen (beispielsweise flüssigem Sauerstoff um mehr als 100 yH). Daß der Unterschied noch größer wird, wenn man vor dem Lader einspritzt, ist nach den vorangegangenen Ausführungen klar.

5. Motorische und betriebliche Eignung der Sauerstoffträger

a) Korrosionsverhalten

Eine Grundforderung für den Einsatz der Sauerstoffträger ist, daß die Triebwerke als unveränderliche Gegebenheit vorliegen; eine Anpassung der Triebwerke an die Sauerstoffträger ist — zumindest im Augenblick — nicht möglich. Die Sauerstoffträger dürfen deshalb gegenüber den Baustoffen des Flugmotors nicht korrosiv sein. Vereinfachend wirkt dabei der Umstand, daß die Stoffe nur in verdünntem Zustand mit dem Triebwerk in Berührung kommen und daß außerdem die Zugabezeiten gegenüber den Betriebszeiten klein sind.

Wasserstoffperoxyd kann in seiner Korrosionswirkung Eisen gegenüber nur schlecht untersucht werden, da durch katalytischen Einfluß eine Zersetzung des Sauerstoffträgers eintritt; Rostbildung tritt sicher auf. Der Angriff bei Leichtmetalllegierung ist nicht stark, doch kann interkristalline Korrosion auftreten. Bronzen werden angegriffen.

Salpetersäure greift Eisen an, dagegen verhalten sich Leichtmetalllegierungen ohne Magnesium günstig. Alle Magnesiumlegierungen, also etwa Hy 7 und Hy 9 werden stark angegriffen. Auch Bronzen verhalten sich schlecht.

Sauerstoff ist praktisch unschädlich, doch haben wir bei der Al-Mg-Legierung Hy 9 nach Wochen einen Angriff festgestellt. Bei unter Druck verflüssigtem Stickoxydul konnte dagegen überhaupt kein Angriff bemerkt werden, selbst die immer vorhandene Wasserkorrosion wird etwas verringert.

Bei der kurzen Zugabezeit dürften bei Sauerstoff und Stickoxydul überhaupt keine, bei Wasserstoffperoxyd nur unwesentliche und bei Tetranitromethan noch keine hindernden Schwierigkeiten auftreten. Salpetersäure dagegen kann im heutigen Flugmotor nicht ohne Gefahr zugegeben werden.

Die Leistungsfähigkeit von Fremdzugmotoren mit Klopfneigung von 100 vH gegenüber 100 vH, ist das Klopfverhalten von einschneidender Bedeutung.

Exakte Ergebnisse sind nur bei Sauerstoffträger mit Stickoxydul zu erwarten, woraus geschlossen werden kann, daß die Klopfneigung bei Aufstockung der Leistung schon um 10 vH und daß bereits erzielt worden ist, bei Zusatz von Stickoxydul klopfte.

Auch mit Sauerstoffträger ohne Stickoxydul ist die Klopfneigung bei Aufstockung der Leistung schon um 10 vH und daß bereits erzielt worden ist, bei Zusatz von Stickoxydul klopfte.

Ein Kriterium für die motorische Eignung der Sauerstoffträger ist das Verhältnis der Leistungszunahme zur Zunahme der Abgastemperatur; da nur eine begrenzte Steigerung der Auslaßtemperatur zulässig ist, gibt dieser Wert an, in welchem Ausmaß die einzelnen Stoffe Leistungssteigerungen erlauben.

Wasserstoffperoxyd kann in seiner Korrosionswirkung Eisen gegenüber nur schlecht untersucht werden, da durch katalytischen Einfluß eine Zersetzung des Sauerstoffträgers eintritt; Rostbildung tritt sicher auf.

Salpetersäure greift Eisen an, dagegen verhalten sich Leichtmetalllegierungen ohne Magnesium günstig. Alle Magnesiumlegierungen, also etwa Hy 7 und Hy 9 werden stark angegriffen.

Sauerstoff ist praktisch unschädlich, doch haben wir bei der Al-Mg-Legierung Hy 9 nach Wochen einen Angriff festgestellt. Bei unter Druck verflüssigtem Stickoxydul konnte dagegen überhaupt kein Angriff bemerkt werden.

Bei der kurzen Zugabezeit dürften bei Sauerstoff und Stickoxydul überhaupt keine, bei Wasserstoffperoxyd nur unwesentliche und bei Tetranitromethan noch keine hindernden Schwierigkeiten auftreten.

Neben der Speichermöglichkeit muß die Klopfneigung bei Aufstockung der Leistung schon um 10 vH und daß bereits erzielt worden ist, bei Zusatz von Stickoxydul klopfte.

b) Klopfverhalten

Die Leistungsfähigkeit eines heutigen Viertaktflugmotors mit Fremdzündung ist begrenzt durch die Klopfestigkeit von Treibstoff und Brennraumform. Da in größeren Flughöhen Leistungssteigerungen bis zu 100 vH gegenüber der Ausgangsleistung verlangt werden, ist das Klopfverhalten des Sauerstoffträgers von einschneidender Bedeutung.

Exakte Ergebnisse über Klopfverhalten liegen bislang nur bei Sauerstoff und Stickoxydul vor. Bei Zusatz von Stickoxydul steigt die Verbrennungsgeschwindigkeit an, woraus auf eine Erhöhung der Klopfestigkeit geschlossen werden darf. Aus den an vielen Stellen durchgeführten Versuchen hat sich ergeben, daß bei Aufstockung der Höhenleistung auf einen Wert, bei dem ohne Zusatz kein Klopfen auftritt, auch bei Zusatz mit Sicherheit kein Klopfen erfolgt. Dabei muß darauf hingewiesen werden, daß die Höhenleistung schon um über 100 vH gesteigert worden ist, und daß bereits klopfreier Betrieb bei Leistungen erzielt worden ist, bei denen das Triebwerk ohne Zusatz klopfte.

Auch mit Sauerstoff ist der Betrieb eines heutigen Flugmotors ohne Schwierigkeiten möglich. Besonders wichtig ist dabei die einwandfreie Verdampfung in der Ladeluftleitung, um die hierdurch erzielbare Herabsetzung der thermischen Belastung voll auszunutzen. Hier hat die DVL besondere Erfolge durch Einbau eines besonderen Verdampfers hinter dem Lader erzielt. Allerdings muß die absolute Leistungssteigerung bei Sauerstoff geringer bleiben als wie bei Stickoxydul, da sonst der Motor thermisch überlastet wird.

Mit Zusatz von Wasserstoffperoxyd war der Betrieb eines DB 601 nicht möglich. Schon bei geringen Zugaben wurde der Lauf unruhig, und es zeigten sich ausgesprochene Nachbrennerscheinungen. Es handelt sich allerdings nur um orientierende Versuche, bei denen der Sauerstoffträger in gleich einfacher Form wie Stickoxydul oder Sauerstoff zugegeben wurde; es kann möglich sein, daß mit besonderen Maßnahmen Verbesserungen zu erzielen sind.

Auch Salpetersäure steigert die Klopfneigung, wie Versuche der BMW ergeben haben.

Tetranitromethan hat die unangenehme Eigenschaft, daß es den Bleizusatz von gebleiten Kraftstoffen durch Oxydation unwirksam macht. Schon geringe Zusatzmengen setzen die Oktanzahl herab.

c) Speicherung

Die Speichermöglichkeit der Sauerstoffträger ist für die praktische Verwendung von großer Wichtigkeit, da immerhin wesentliche Mengen mitgeführt werden müssen. Neben dem Gewichtsaufwand spielt vor allem auch der Raumaufwand für die Unterbringung im Flugzeug eine Rolle.

Abbildung 12 zeigt die Raumgewichte der Sauerstoffträger (für das unter Druck verflüssigte Stickoxydul ist der behördlich vorgeschriebene Wert 0,75 kg/l eingetragen). Am günstigsten liegt Tetranitromethan, ungünstig das unter Druck verflüssigte Stickoxydul.

Umgekehrt ist das Ergebnis bei der Lage des Stockpunktes, der wegen des Einsatzes in großer Höhe, d. h. bei Temperaturen von -50° und niedriger von Wichtigkeit ist. Aus Abbildung 13 geht hervor, daß Tetranitromethan kaum brauchbar sein wird, daß auch Wasserstoffperoxyd Schwierigkeiten machen wird, während Salpetersäure an der möglichen Grenze liegt und Sauerstoff und Stickoxydul sich günstig verhalten.

Neben der Speicherung im Flugzeug muß auch die Speichermöglichkeit während des Nachschubes berücksichtigt werden. Hier verhalten sich die nur in

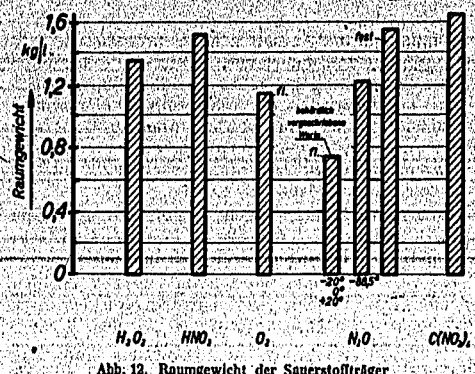


Abb. 12. Raumgewicht der Sauerstoffträger

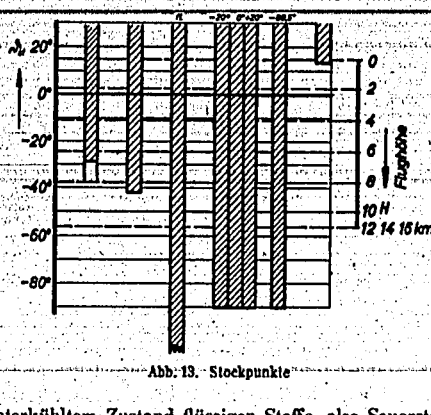


Abb. 13. Stockpunkte

unterkühltem Zustand flüssigen Stoffe, also Sauerstoff und Stickoxydul, ungünstig, da besondere Maßnahmen zur Temperaturhaltung erforderlich sind. Die dabei auftretenden Probleme sind bereits gelöst; Stickoxydul besitzt dabei den für den taktischen Einsatz einschneidenden Vorteil, daß die Verdampfung 3- bis 3,5mal kleiner als bei flüssigem Sauerstoff ist.

d) Handhabung

Eine bequeme und ungefährliche Handhabung der Stoffe ist zwar für den motorischen Einsatz erst in zweiter Linie wichtig, der Vollständigkeit halber sei sie aber doch erwähnt, da von ihr etwaige Sondermaßnahmen für das Bodenpersonal in bezug auf Ausbildung und Schutz abhängen. Für den allgemeinen Einsatz des Verfahrens wäre aber hinderlich, wenn nur Sonderpersonal mit den Stoffen umgehen könnte und dürfte.

Wasserstoffperoxyd ist empfindlich gegen Verunreinigungen metallischer und organischer Natur, da hierbei Zersetzung des Sauerstoffträgers eintreten kann. Hautverbrennungen bei Berührung des Stoffes sind harmlos, wenn sofort abgespült wird; längere Einwirkungen sind schädlich.

Salpetersäure ist gegen Verunreinigungen wenig empfindlich, nur eine bestimmte Gruppe organischer Stoffe kann eine Zersetzung bewirken. Dagegen sind die physiologischen Auswirkungen äußerst unangenehm. Die Dämpfe sind sehr giftig und bei Berührung treten schwerste Verätzungen des Haut- und Knochengewebes auf^{*)}.

Sauerstoff ist gegen Verunreinigungen unempfindlich; Hautverbrennungen sind nur bei längerem Einwirken gefährlich.

*) Siehe Anmerkung am Schluß dieser Arbeit.

Stickoxydul ist gegen Verunreinigungen ebenfalls unempfindlich und verhält sich gegen organische Substanzen träger als Sauerstoff. Trotz der weniger extremen Temperatur treten Hautverbrennungen schneller als bei Sauerstoff auf, da Stickoxydul eine schnellere Benetzung der Haut herbeiführt. Physiologische Auswirkungen (Lachgase) treten erst bei starken Konzentrationen unliebsam in Erscheinung, sind also praktisch ohne Bedeutung.

Tetranitromethan ist gegen Verunreinigungen nicht stark empfindlich. Auftretende Dämpfe sind sehr giftig, Hautverletzungen vermutlich harmlos.

Bei Sauerstoff- und Stickoxydul werden entsprechend keine besonderen Handhabungsvorkehrungen und Schutzmaßnahmen erforderlich sein, bei Wasserstoffperoxyd werden nur beschränkte Maßnahmen durchzuführen sein, während das Umgehen mit Tetranitromethan und Salpetersäure nur vorgeschultem Personal anvertraut werden kann.

6. Folgerungen für die Auswahl der Sauerstoffträger

Faßt man die Ergebnisse zusammen, so ergibt sich:

1. Für die motorische Ausbeute ist nicht allein der Sauerstoffgehalt, sondern wesentlich auch die Verdampfungswärme und der Grad der Verdampfbarkeit in der Ansaugleitung ist maßgebend.
2. Am günstigsten würde Wasserstoffperoxyd abschneiden, wenn die volle Verdampfung in der Ansaugleitung gelänge. Allerdings würde die Abkühlung der Ladeluft so stark sein, daß nur geringe Zusatzleistungen möglich wären.
3. Thermisch am geeignetsten ist Stickoxydul, da seine Verdampfbarkeit gut und die Verdampfungswärme gerade so groß ist, daß noch Leistungssteigerungen von 100 vH möglich sind, außerdem die Ausbeute jene von Salpetersäure erreicht, und das Stickoxydul im übrigen die größte absolute Leistungssteigerung von allen Stoffen erlaubt (von voll verdampfbarem Wasserstoffperoxyd abgesehen).
4. Das Korrosionsverhalten scheidet für längeren Betrieb Salpetersäure und Tetranitromethan aus.
5. Das Klopfverhalten schließlich beschränkt den Kreis der für Motoren mit Fremdzündung in Frage kommenden Stoffe auf Sauerstoff und Stickoxydul.
6. Stickoxydul besitzt gegenüber Sauerstoff den entscheidenden Vorteil, daß es bei gleicher thermischer Belastung des Triebwerks eine wesentlich größere absolute Leistungssteigerung erlaubt, außerdem ist es Sauerstoff in bezug auf Speichermöglichkeit überlegen.
7. Dagegen erreicht Stickoxydul nur rund 60 bis 75 vH der spezifischen Leistungsausbeute von Sauerstoff, so daß zwei Anwendungsbereiche abgegrenzt werden können: für kurzzeitigen Einsatz großer Zusatzleistungen kommt Stickoxydul in Betracht, für langzeitigen Einsatz geringerer Zusatzleistungen Sauerstoff.

7. Hinweis auf Versuchsergebnisse

Die vorgebrachten Ergebnisse sind inzwischen bei vielen Versuchsreihen in Industrie und Forschung nachgeprüft worden. In den anschließenden Berichten werden hierüber Einzelheiten mitgeteilt werden. Hier soll nur der zu erreichende Gesamterfolg herausgegriffen werden, nämlich die sogenannte spezifische Leistungsausbeute von Stickoxydul.

Nach Formel (10) und nach Abbildung 7 ergibt sich der Zwischenwert:

$$\varphi' = \frac{\Delta N_{L,0} \cdot G_x}{N_{L,0} \cdot G_{L,0}}$$

für Stickoxydul bei vollkommener Verdampfung in der Ladeluftleitung (x=1) und für Einspritzung nach Lader zu:

unterkühlter, druckloser Stoff = 2,714,
unter Druck verflüssigter Stoff (+ 20°) = 2,195.
Berücksichtigt man noch, daß φ' mit φ durch $\varphi = 1,40 \varphi'$ verknüpft ist, so erhält man hieraus die in Abbildung 14 eingezeichneten Werte. In der Ab-

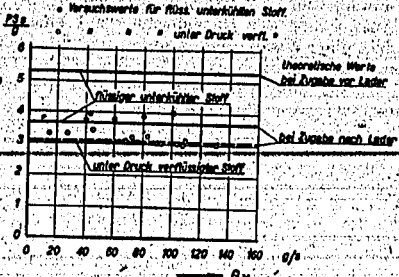


Abb. 14. Spezifische Ausbeute

bildung ist als obere Grenze noch der Wert eingetragen, der sich für drucklosen Stoff bei Einspritzung vor Lader ergibt. In diesem Falle bleibt die Laderleistung nicht konstant, da das durchgesetzte Luftgewicht bei Temperaturabnahme vor Lader zunimmt. Hier ergibt sich φ zu:

$$\varphi = 1,40 \left(\varphi' - \frac{\Delta N_{L,0} \cdot G_{L,0}}{N_{L,0} \cdot G_x} \right)$$

wobei die Änderung der Laderleistung wegen der stärkeren Zunahme des Luftgewichts bedeutender ist als bei Einspritzung nach Lader. Da bei der praktischen Anwendung die Einspritzstelle wegen der kurzen Ansaugleitung immer sehr nahe beim Lader liegt, ist eine völlige Verdampfung vor Lader nicht zu erreichen. Zudem benutzt man die zentrifugierende Wirkung des schnell umlaufenden Laderrades bei Stickoxydul zur Verhinderung von Schneebildung (die theoretisch bei Drücken unter 0,9 ata auftreten müßte), bei Sauerstoff zur Unterdrückung von Leydenfrostbildungen.

In die Abbildung sind Versuchswerte verschiedener Stellen eingetragen (Einspritzung vor Lader); man erkennt, daß die praktisch erreichten Ausbeuten die theoretischen Werte noch nicht erreichen, wofür die angeführten Gründe die Ursache sind. Es muß versucht werden, durch entsprechende Steuerung der Entwicklung künftig Verbesserungen zu erzielen.

Es ist verständlich, daß die theoretischen Ausbeuten nur dann erreicht werden können, wenn genügend Kraftstoff zur Verbrennung des zusätzlichen Sauerstoffs zur Verfügung steht. Bei Triebwerken, die mit fettem Gemisch betrieben und wo nur kleine Zusatzleistungen verlangt werden, sind im allgemeinen keine besonderen Maßnahmen erforderlich; in Fällen extremer Zusatzleistung müssen aber mit der Zugabe des Sauerstoffträgers gleichzeitig Eingriffe in die Regelung der Einspritzpumpe erfolgen.

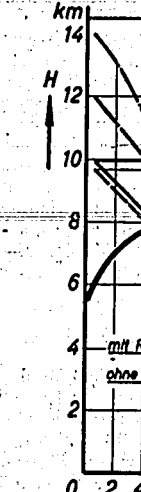
Erwähnenswert ist, daß die eingezeichneten Leistungsausbeuten zum Teil von Versuchen stammen, bei denen mit veränderlichem Kraftstoff-Luftverhältnis gefahren wurde. Als Leistungsausbeute ist dabei der Mehrbetrag gegenüber der günstigsten Luftleistung eingesetzt. Würde man die Luftleistung bei gleicher Reglereinstellung zum Ausgang wählen, so würden die Ausbeuteziffern höher sein.

8. Erzielbare Leistungen
Die erzielbaren Leistungen 15 und 16 um ein modernes Leistungs mit ungenügenden Annahmen. Daß es schwierig ist, richtig zu errechnen, ist hersteller ist, ist nicht genannt und die absoluten Werte in Abbildung 15 zeigen der im letzten Jahr

Motorleistung



Stielgeschwindigkeit



O. Lutz: Grundsätzliche Fragen zur Anwendung von Sauerstoffträgern für die Leistungssteigerung im Flugmotor

8. Erzielbare Flugleistungen

Die erzielbaren Flugleistungen sind in den Abbildungen 15 und 16 veranschaulicht. Es handelt sich um ein modernes Flugzeugmuster, bei dem die Flugleistungen mit und ohne Zusatzleistung unter den gleichen Annahmen errechnet, also vergleichsfähig sind. Daß es schwierig ist, die absoluten Flugleistungswerte richtig zu errechnen, wenn man nicht der Flugzeughersteller ist, ist bekannt; deshalb ist auch die Type nicht genannt und nur Wert auf den Vergleich, nicht die absoluten Werte gelegt.

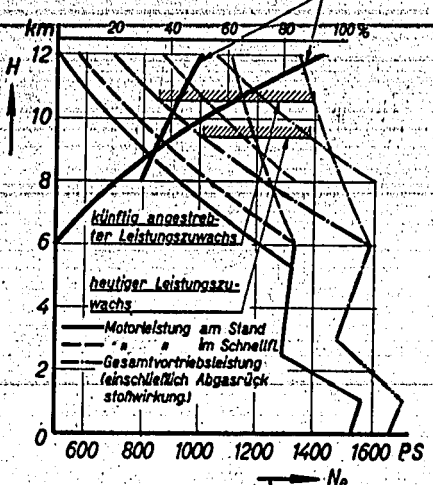
Abbildung 15 zeigt links die Motorleistungen, mit der im letzten Jahr zugelassenen Mehrleistung und

der künftig angestrebten; die angestrebte ist inzwischen am Stand bereits überschritten, wie BMW noch näher mitteilen wird. In 12 km Höhe beträgt die an der Front bereits zugelassene Steigerung 50 vH, künftig fast das Doppelte. Rechts sind die Geschwindigkeiten im Waagerechflug eingetragen, deren Zunahme in der Hauptarbeitshöhe des Flugzeugs beträchtlich ist; begünstigend wirkt, daß in größerer Flughöhe bei Leistungssteigerung mit besserem Verhältnis von Auftriebsbeiwert zu Widerstandsbeiwert geflogen werden kann.

In Abbildung 16 sind die Verbesserungen der Steiggeschwindigkeiten eingetragen; daß die Steiggeschwin-

Motorleistung

verhältnismäßige Leistungssteigerung



Geschwindigkeit im Waagerechflug

bei gleichbleibendem Luftschraubenwirkungsgrade

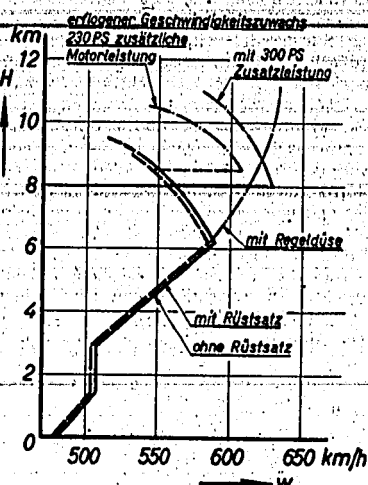
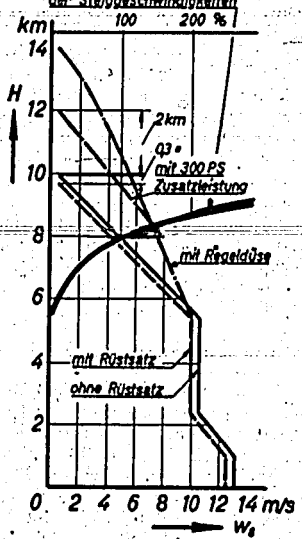


Abb. 15. Flugleistungen eines 2motorigen Flugzeuges

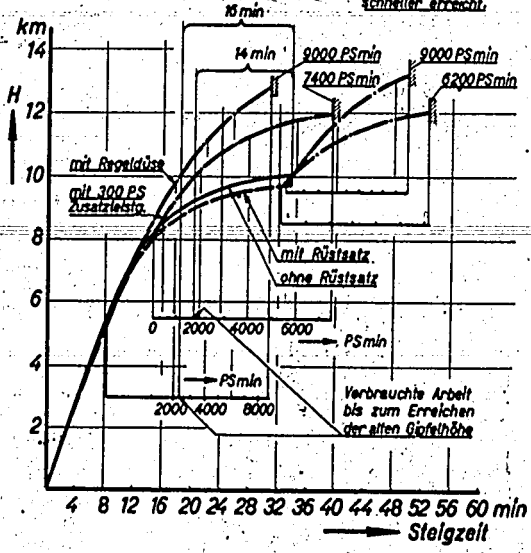
Steiggeschwindigkeiten

verhältnismäßige Steigerung der Steiggeschwindigkeiten



Steigzeiten

die alte Gipfelhöhe wird um 13 min = 46% bzw. 14 min = 40% schneller erreicht.



Fluggewicht G=10t bzw. 10,5t mit N₂O-Rüstsatz.

Abb. 16. Flugleistungen eines 2motorigen Flugzeuges

digkeiten in größerer Flughöhe ganz wesentlich anwachsen, ist verständlich, so daß insgesamt der taktische Erfolg bemerkenswert ist. Auch zeigen die Abbildungen, daß das zweimotorige Flugzeugmuster in 10 bis 11 km Höhe mindestens so schnell wie ein einmotoriger Jäger ohne Zusatzhilfe wird.

Besonders wichtig scheint mir noch der Hinweis auf den Vergleich mit Schubhilfen. Es ist hier nicht der Ort, näher darauf einzugehen, festgestellt sei lediglich, daß sich beim Aufklärungseinsatz über England ein Schubverbrauch von 0,6 bis 0,7 g/kg — aus der Flugleistung ermittelt — ergeben hat. Dieser Wert, der sozusagen ein Nettowert ist, da der Widerstand der Schubhilfe bereits berücksichtigt (abgezogen) ist, wird von keiner der heute bekannten Hilfen erreicht.

9. Aufbau der Geräte

Die anfänglich benutzten Geräte zur Leistungssteigerung waren in ihrem Aufbau sehr einfach; das verwendete Stickoxydul wurde unter seinem eigenen Dampfdruck in die Ansaugleitung eingeblasen. Bald zeigten sich jedoch bei der praktischen Verwendung Schwierigkeiten, wie etwa das Absinken des Dampfdruckes bei Stoffentnahme und bei Abkühlung von außen, also Nachlassen der Zusatzleistung, außerdem das Dampfkesselerhalten der Behälter bei Beschuß. Zwar wurde durch besondere Ausbildung der Behälter erreicht, daß unter Beachtung gewisser geometrischer Verhältnisse eine ausreichende Beschußsicherheit eintrat, jedoch waren ohnehin die Vorteile des drucklos flüssigen Stoffes in bezug auf Leistungsausbeute und Raumgewicht so wesentlich, daß heute die Geräte überwiegend für drucklos-flüssigen Stoff gebaut werden. Die Abbildungen 17 und 18 zeigen den Aufbau



Abb. 17. Gerät zur Leistungssteigerung

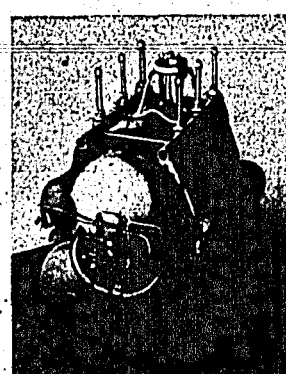


Abb. 18. Gerät zur Leistungssteigerung

eines Gerätes für das Flugzeugmuster Ju 88, das ein Sonderstoffgewicht von 360 kg aufnehmen kann, dem ein gewährleistetestes Arbeitsvermögen von 21 000 PSmin entspricht. Die Behälter sind einfache Aluminiumbehälter mit verhältnismäßig bescheidener Isolation, die so bemessen ist, daß der Verdampfungsverlust rund 1 vH je h am Boden, in der Arbeitshöhe rund 0,6 vH je h beträgt. Die Geräte können auch für flüssigen Sauerstoff verwendet werden, jedoch würde der Verdampfungsverlust am Boden rund 3,2mal, in der Arbeitshöhe rund 5mal höher sein, so daß das gespeicherte Arbeitsvermögen schon bei den im praktischen Einsatz immer notwendigen Standzeiten nicht wesentlich größer als bei Stickoxydul ist. An der Verbesserung der Isolation wird gearbeitet, so daß die Geräte in Fällen, wo nur geringere Zusatzleistung verlangt wird, auch für flüssigen Sauerstoff eingesetzt werden können.

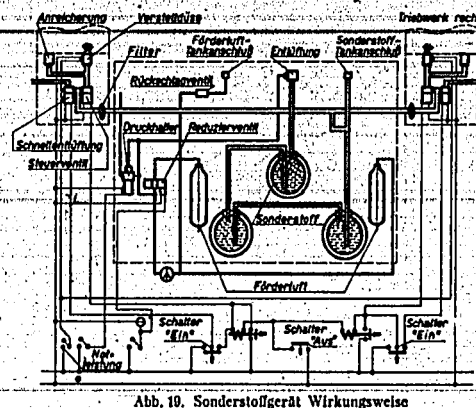


Abb. 10. Sonderstoffgerät Wirkungsweise

Der technische Aufbau der Geräte ist aus dem Schema in Abbildung 19 ersichtlich. Das Bild läßt erkennen, daß selbst die Bewältigung an sich einfacher Aufgaben einen gewissen Aufwand erfordert, wenn man Druckknopsbedienung, verschieden wählbare Zusatzleistung u. a. mehr verlangt. Auf Einzelheiten der Geräte einzugehen, verbietet der Rahmen dieses Berichts. Welche überraschenden Aufgabenstellungen bei der Entwicklung auftraten, mag daraus entnommen werden, daß bei der Inbetriebsetzung der Geräte zunächst keine Wirkung zu spüren war; erst nach 4 bis 5 Minuten setzte sie ein. Diese Zeit vergeht, bis die Leitungen zum Triebwerk mit flüssigem Stoff gefüllt sind. Für den taktischen Einsatz ist diese Zeitspanne naturgemäß nicht tragbar. Durch Isolation der Leitung oder zusätzliche Kühlung der Leitungswände durch andauernde Bedampfung konnte keine endgültige Abhilfe geschaffen werden. Erst die Anbringung eines großen Nebenauslasses, der beim Einschalten des Geräts mitbetätigt und beim Eintreffen der Flüssigkeit an dieser Stelle durch Thermowirkung geschlossen wird, brachte die Lösung.

10. Schlußfolgerungen

Zusammenfassend stellt man fest, daß für die Zuzugabe von Sauerstoffträgern zum System Lader-Kolbenmotor der Sauerstoffgehalt allein für eine günstige Leistungsausbeute noch nicht maßgebend ist. Vor allem spielt die Verdampfungswärme und die negative oder positive Bildungswärme des Sauerstoffträgers eine Rolle. Dies führt beispielsweise dazu, daß die theoretische Ausbeute bei Stickoxydul gleich günstig wird wie die bei Salpetersäure. Für die Verwendungsmöglichkeiten bei den heutigen Flugzeugtriebwerken ist besonders noch das Korrosionsverhalten

und vor allem entsprechenden Form aus Beschaffung Sauerstoffträger weit Triebwerk den Stickoxydul als es das Triebwerk damit eine um 6 steigerung als die apparative tremen Temper Leistungsabbeu Lader wie 0,60 zu 1; der Ver am Boden 3- bis geringer.

Für Stickoxyden Jahren eine Versorgungsbase Zum Schluß sen, das hier eines besondere der von Stieglie ierung des Kra chende Vorverst anstalt Hermann mit günstigem vorgetragenen Verfahren anzu

(Anmerkun mir die Firma Spandau, freun fahrungen mit

Die Schädigung säure eintreten ätzen der Haut Handhabung un Betankungseinri gesetzt werden Augen ist mit ei ohne Schädigung

O. Lutz: Grundsätzliche Fragen zur Anwendung von Sauerstoffträgern für die Leistungssteigerung im Flugmotor

und vor allem der Klopfenfluß maßgebend. Die entsprechenden Forderungen beschränken den Kreis der aus Beschaffungsgründen allein in Frage kommenden Sauerstoffträger auf Sauerstoff und Stickoxydul, soweit Triebwerke mit Fremdzündung betrachtet werden. Stickoxydul ist insofern Sauerstoff überlegen, als es das Triebwerk thermisch weniger belastet und damit eine um 60 bis 80 vH höhere absolute Leistungssteigerung als Sauerstoff ermöglicht. Außerdem ist die apparative Handhabung wegen der weniger extremen Temperaturlage einfacher. Die spezifischen Leistungsausbeuten verhalten sich bei Zugabe nach Lader wie 0,60 zu 1, bei Zugabe vor Lader wie 0,73 zu 1; der Verdampfungsverlust ist bei Stickoxydul am Boden 3- bis 3,5mal, in der Arbeitshöhe rund 5mal geringer.

Für Stickoxydul hat sich die Luftwaffe in den letzten Jahren eine großzügige, jedem Einsatz gewachsene Versorgungsbasis geschaffen.

Zum Schluß sei noch auf die Möglichkeit hingewiesen, das hier vorgetragene Verfahren der Zugabe eines besonderen Sauerstoffträgers zu verbinden mit der von Stieglitz und Triebnigg beschriebenen Variierung des Kraftstoff- und Ballastträgers. Entsprechende Vorversuche sind in der Luftfahrtforschungsanstalt Hermann Göring bereits vor anderthalb Jahren mit günstigem Erfolg angestellt worden. Nach den vorgetragenen Überlegungen wäre ein kombiniertes Verfahren anzustreben, nach dem

1. ein Sauerstoffträger vor dem Lader so einzubringen ist, daß durch Teilverdampfung eine Temperaturabsenkung vor Lader von 30 bis 50° (am Boden noch höher) erreicht wird,
2. ein Kraftstoff-Ballast-Gemisch hinter dem Lader so einzubringen ist, daß durch Teilverdampfung eine Temperaturabsenkung in der Ladeluftleitung auf rund 0° erreicht wird,
3. das Kraftstoff-Ballast-Gemisch so auf den Sauerstoffträger abgestimmt ist, daß keine wesentlichen Regeleinriffe erfolgen müssen, und
4. genügend Verdampfungsballast im Zylinder zur wirksamen Innenkühlung und Absenkung der Druckspitzen frei wird.

Nach dem heutigen Stand scheint diese Aufgabe in naher Zukunft verwirklichtbar. Damit würde das heutige Normaltriebwerk zu taktisch wertvollen Leistungsspitzen befähigt werden, die man vor kurzer Zeit noch für unmöglich gehalten hätte; was bisher nur durch Start- und Schubhilfen ersichtbar schien, wird mit verringertem Aufwand und einem wesentlich erweiterten Anwendungsbereich geschaffen. Das Kolben-triebwerk bricht meiner Ansicht nach damit sogar in Gebiete ein, die bisher eine Domäne anderer Antriebsarten schienen; bedenkt man, daß es sich dabei um die Verwendung von seit Jahren im Einsatz erprobten Triebwerken handelt, so müßte diesem Hinweis auch von seiten der anderen Antriebe Beachtung geschenkt werden.

(Anmerkung.) Während der Drucklegung hat mir die Firma BMW Flugmotorenbau GmbH, Berlin-Spandau, freundlicherweise folgende ergänzende Erfahrungen mit Salpetersäure mitgeteilt:

Die Schädigungen, die bei Anwendung von Salpetersäure eintreten können, sind im wesentlichen ein Verätzen der Haut, die aber im Labor bei sorgfältiger Handhabung und im großen durch in sich geschlossene Betankungseinrichtungen auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden können. Eine Benetzung selbst der Augen ist mit einer starken sofortigen Wasserspülung ohne Schädigung zu beheben.

Da nitrose Gase sich in merkbaren Konzentrationen überhaupt nur bei einem der Salpetersäure aufgezwungenen Zerfall entwickeln können, dies aber auch bei offener Lagerung der Salpetersäure praktisch nie der Fall sein wird, ist mit einer Schädigung durch Gase beziehungsweise Dämpfe der Salpetersäure nicht zu rechnen. Bei geschlossener Lagerung und bei geschlossenen Betankungseinrichtungen ist eine Schädigung durch Gase unmöglich.

Im Verlauf eines 3jährigen Versuchsbetriebes sind unter Beachtung der entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen noch keine Schädigungen irgendwelcher Art aufgetreten.

1. Dies
des S
2. Weiter
beförder
3. Aufber
Empfä

g
K
Z
V
M
n
d
b
s
tr
w
z
ve
E
K
B
m
de
no
lic
vo

ein
da
K
be
hö
lic
ge
am
ru
de

hö
Le
hol
fal
zu
hol
He
alle
din
fisc
Ber
hoc
Ver
sen
dar

Aut
mot
Ver
stül

Geheim!

30548

1. Dies ist ein Staatsgeheimnis im Sinne des § 88 RStGB.
2. Weitergabe nur verschlossen, bei Postbeförderung als „Einschreiben“.
3. Aufbewahrung unter Verantwortung des Empfängers unter gesetzlichem Verzicht.

Lillenthal-Gesellschaft
für Luftfahrtforschung

239 5/42/30 60 Ausfertigungen
9. Ausfertigung
13.13.43

Geheim

Geheim!

5 Bl. ~~Mitteilungen~~
Bogen Umbruch
Orig.-Abbildungen
gekl./lose Blaups.

Einzylinderversuche über innere Kühlung¹⁾

H. Triebnigg, Berlin

12

Übersicht

Die Aufgabenstellung ergab sich unter Berücksichtigung der vorhandenen Versuchseinrichtungen in der Klärung grundsätzlicher motortechnischer Fragen des Zweistoffbetriebes mit zusätzlicher Einspritzung von Wasser, Wasser-Methanalmischungen und reinem Methanol, wie der Untersuchung der Einspritzverhältnisse, der Feststellung der erreichbaren Leistungen, der notwendigen Zusatzstoffmengen und Gesamtverbräuche, der wärtemäßigen und mechanischen Beanspruchung des Motors, der Empfindlichkeit des Betriebes u. dgl. Die Versuche werden zur Zeit noch weitergeführt. Aber schon die bisherigen Ergebnisse zeigen, daß — in Übereinstimmung mit Vollmotorversuchen an anderen Stellen — durch zusätzliche Einspritzung dieser Stoffe, hauptsächlich durch innere Kühlung infolge der hohen Verdampfungswärme, eine Beherrschung der Wärmebeanspruchung des Motors möglich wird, die eine außerordentliche Steigerung der spezifischen Leistung über die Klopfgrenze bei normalem Kraftstoffbetrieb bei Otto-Motoren ermöglicht, sofern die notwendige Verbrennungsluftmenge vorhanden ist.

Einleitung

Es ist seit langem bekannt, daß durch Wassereinspritzung bei Otto-Motoren infolge der hohen Verdampfungswärme des Wassers eine starke innere Kühlung des Zylinders erzielbar ist, durch die sich bei einem gegebenen Kraftstoff und Motor eine Erhöhung der Klopfgrenze ergibt und dadurch die Möglichkeit erhöhter Aufladung und Leistungssteigerung gegeben ist. So haben Versuche mit Wassereinspritzung am englischen Jaguar-Flugmotor eine Leistungssteigerung von 30 vH bei einem Wasseranteil, bezogen auf den Kraftstoff, von etwa 60 vH ergeben.

Als Zusätze zu normalen Kraftstoffen zwecks Erhöhung der Klopfestigkeit und der damit möglichen Leistungssteigerungen sind ebenso seit langem Alkohole, besonders Methanol, bekannt. Sie besitzen ebenfalls sehr hohe Verdampfungswärmen im Gegensatz zu den Benzinen und sind außerdem Kraftstoffe sehr hoher Klopfestigkeit. Ihr Nachteil ist der geringe Heizwert, der für einen Dauerbetrieb als Kraftstoff allein einen zu hohen Verbrauch zur Folge hat. Allerdings wirkt sich dieser Nachteil nicht auf die spezifische Leistung aus, die bekanntlich höher als die bei Benzinbetrieb ist, da der Gemischheizwert fast ebenso hoch wie der von Benzin ist, außerdem aber die hohe Verdampfungswärme eine wesentliche Temperatursenkung der Ladung während des Ansaugtaktes und damit eine Ladegewichtserhöhung bewirkt. Die An-

wendung solcher Zusatzstoffe bei Start, Lüftkampf u. dgl. zur Leistungssteigerung von Triebwerken, die im Dauerbetrieb mit Kraftstoffen der üblichen Oktanzahl betrieben werden, ist ebenfalls durch Veröffentlichung bekanntgeworden. So findet sich in der ATZ 1941, S. 125 ein Aufsatz, der über ausländische Versuche berichtet und aus der Abbildung 1 entnommen ist.

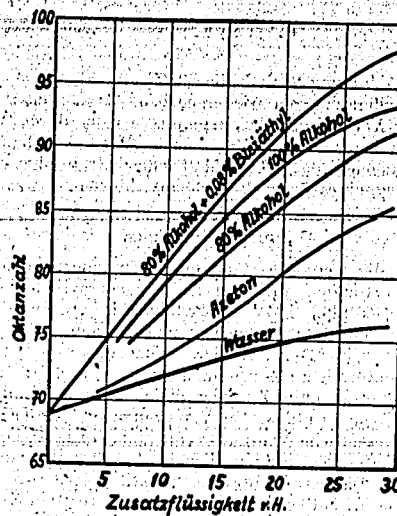


Abb. 1. Einfluß verschiedener Zusätze auf die Oktanzahl eines Benzins mit 60 vH

Seit langem ist auch die Verwendung von Alkoholen als Zusatz zu Mischkraftstoffen für Hochleistungsmotoren bekannt. Die Schwierigkeiten liegen hier in der Herstellung eines stabilen Gemisches. Die Stabilität hängt weitgehend vom inneren Aufbau des Benzins ab. Sie wird besser bei Vorhandensein von Benzol. Die Mischungen sind hinsichtlich ihrer Beständigkeit vor allem sehr wasserempfindlich, aber auch temperaturempfindlich. Diesen Schwierigkeiten geht man durch eine gesonderte zusätzliche Einspritzung, wie in den vorliegenden Versuchen, aus dem Wege, die auch aus wirtschaftlichen Gründen gegeben ist. Denn sie bedeutet eine wesentliche Einsparung von Zusatzstoff, da dieser nur dann gebraucht wird, wenn es die gesteigerte Leistung wirklich erforderlich macht.

Diese kurze Betrachtung deutet an, wie wichtig die Fragen eines solchen Zweistoffbetriebes zur Leistungssteigerung sind, zumal die bisher bekanntgewordenen Versuchsergebnisse keine erschöpfende Antwort geben, wohl aber zu weiteren Versuchsreihen anregen.

¹⁾ Die Versuche wurden auf Anregung von H. Zborowski (BMW) im Auftrage der Fo. P. d. L. und Ob. d. L. im Institut für Flugmotoren der TH Berlin durchgeführt. Bei der Durchführung der Versuche wurde ich von meinem Mitarbeiter Priese bestens unterstützt.

In Ab Methanol ist der V für Hö Mischung Gefrierp

Für d zur Ver wasserge Bauart v gebaut v scheiben flüssigke und 2 Au ohne wes Der Kra spritz der Ausl stoffbetri konnte v über der rohr etw werden. Boschpu ventile (1 etwa 60 elektrisch wurde vo liefert.

Zur F wurde di kreislauf der Tem aus dem aus 20 h gemessen des gesch daß sich 8° C zwis Wasserm hältnism durch d differenz

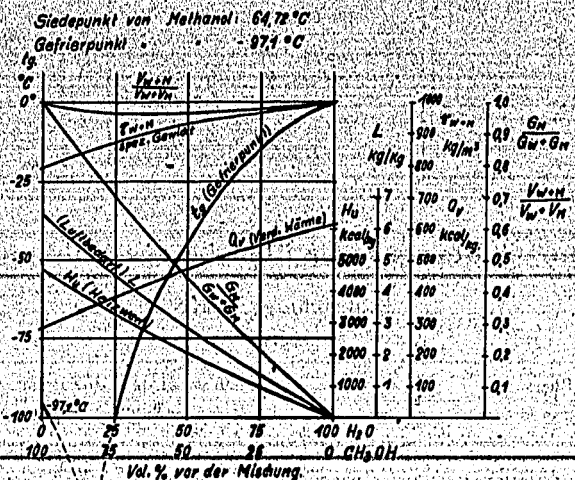


Abb. 2. Stoffwerte von Wasser-Methanalmischungen

In Abbildung 2 sind die Stoffwerte von Wasser-Methanalmischungen wiedergegeben. Bemerkenswert ist der Verlauf der Gefrierpunktskurve t_f durch den für Höhenmotoren Wasser- und Wasser-Methanalmischungen unter 50 vH Methanolgehalt infolge des Gefrierpunktes über 50° sich ausschließen.

Versuchsbedingungen

Für die Versuche stand ein Einzylinderprüfstand zur Verfügung, auf dem als Versuchszylinder ein wassergekühlter BMW 116-Zylinder in geschweißter Bauart von 130 mm Bohrung und 130 mm Hub aufgebaut war. Der Zylinder besitzt einen normalen scheibenförmigen Verbrennungsraum, wie er für flüssigkeitsgekühlte Zylinder üblich ist, mit 2 Einlaß- und 2 Auslaßventilen. Die Ventilzeiten sind als normal ohne wesentliche Ventilüberschneidung zu bezeichnen. Der Kraftstoff wurde seitlich in den Zylinder eingespritzt. Das Kraftstoffeinspritzventil befand sich auf der Auslaßventilseite. Der Zusatzstoff für den Zweitstoffbetrieb (Wasser, Wasser-Methanol oder Methanol) konnte wahlweise in den Zylinder, und zwar gegenüber der Kraftstoffeinspritzung oder in das Ansaugrohr etwa 150 mm vor den Einlaßventilen eingespritzt werden. Als Einspritzpumpen und Ventile wurden Boschpumpen (Pz 2/110 V 637/1) und Boschzapfenventile (De 40 N 60 M 6) mit einem Öffnungsdruck von etwa 60 at verwendet. Die Ladeluft, die durch eine elektrische Heizanlage vorgewärmt werden konnte, wurde von einem fremdangetriebenen Kompressor geliefert.

Zur Feststellung der Größe der äußeren Kühlung wurde die an das Kühlwasser des geschlossenen Kühlkreislaufes übergehende Kühlwärme durch Messung der Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt aus dem Motor mit Hilfe eines Thermoelementes, das aus 20 hintereinandergeschalteten Lötstellen besteht, gemessen. Die konstant umlaufende Wassermenge des geschlossenen Kühlkreislaufes wurde so eingestellt, daß sich eine normale Temperaturdifferenz von 6 bis 8°C zwischen Ein- und Austritt ergab. Da die gesamte Wassermenge des geschlossenen Kühlkreislaufes verhältnismäßig klein gehalten werden kann, reagiert die durch die Thermoelemente gemessene Temperaturdifferenz fast augenblicklich auf Änderung der Kühl-

wärme infolge Änderung der Gemischzusammensetzung im Zylinder bzw. der inneren Verteilung durch den Zweitstoffbetrieb und erreicht rasch Beharrungszustand. Die Meßgenauigkeit ist sehr gut reproduzierbar. Auf diese Weise wurde bei jedem Versuch die an das Kühlwasser abgegebene Kühlwärme gemessen, die wieder ein Maß für die Wärmebelastung des Zylinders darstellt. Denn da die umlaufende Kühlstoffmenge konstant gehalten wurde, bedeutet gleiche Erwärmung des Kühlwassers bei zwei Versuchen etwa gleiche Wärmebeanspruchung, eine Zunahme der Erwärmung aber auch eine Zunahme der Wärmebelastung.

Die Abgastemperatur wurde als mittlere Temperatur knapp hinter dem Auslaßventil mit Hilfe eines Pt-PtRh-Elementes gemessen.

Für die Versuche bestanden außerdem folgende Versuchsbedingungen:

- Kühlwasseraustritt: 85°C (mit Hilfe eines Thermostaten konstant gehalten, der auf den äußeren offenen Kühlkreis arbeitete),
- Schmierölaustritt: 65 bis 70°C,
- Kraftstoff: B 4 (OZ 87);
- Schmieröl: Rotring, $s = 6$; Vorzündung: 40°, $n = 2000$ /min.

Versuchsergebnisse

Die Art und Weise der Versuchsdurchführung und die erste Auswertung vermittelt Abbildung 3, deren Versuchspunkte im Zweitstoffbetrieb bei zusätzlicher Einspritzung einer Mischung von 75 vH Methanol + 25 vH Wasser bei 120°C Vorwärmung der Ladeluft und bei Ladedrücken von 1,35, 1,615 und 1,91 at erhalten wurden. Dabei wurde die äußere Kühlung konstant auf einem Wert gehalten, der mit 7,25°C Kühlwassererwärmung der Wärmebelastung des Zylinders bei etwa 1,00 at Ladedruck und $\lambda = 0,9$ entspricht. Mit zunehmendem λ fällt zunächst die stündliche Kraftstoffmenge B_g , während die zusätzlich eingespritzte Methanol-Wassermenge $B_{M(1)}$ zunehmen muß, wenn die durch die Verarmung des Hauptkraftstoffgemisches bedingte höhere Wärmebelastung wieder ausgeglichen werden soll. Die mittleren indizierten

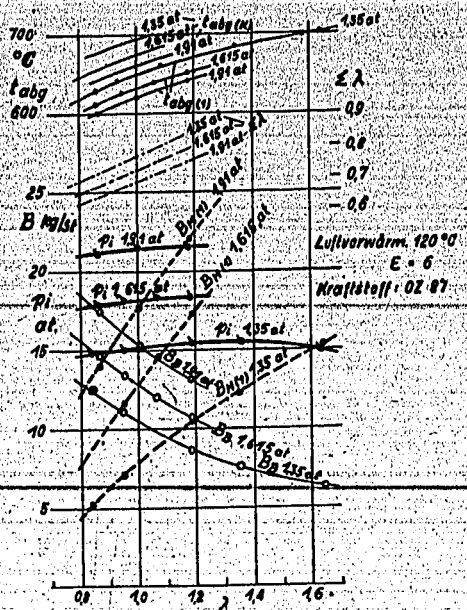


Abb. 3. Innere Kühlung
75 vH CH₃OH + 25 vH H₂O, Einspritzung ins Ansaugrohr

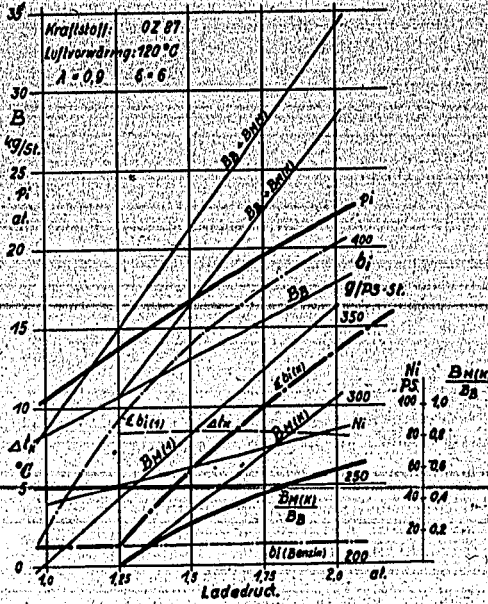


Abb. 4. Innere Kühlung
75 vH CH₃OH + 25 vH H₂O, Einspritzung ins Ansaugrohr

Kolbendrucke p_i erreichen ihre höchsten Werte etwa bei $\lambda = 1,2$, was dem normalen $\sum \lambda$ (bezogen auf Kraftstoff + Zusatzstoff) von $\approx 0,8$ bis $0,9$ entspricht. Im Bilde sind oben auch die gemessenen mittleren Abgastemperaturen $t_{ab}(1)$ eingezeichnet. Sie sind als mittlere Temperaturen des Einzylindermotors wesentlich niedriger als die wirklich auftretenden Gastemperaturen und ergeben so nur ein qualitatives Bild vom Verlauf, das aber für die Beurteilung des Zweistoffbetriebes wichtig ist. Für konstanten Ladedruck nimmt mit der Verarmung des Gemisches natürlich die Abgastemperatur zu. Mit steigendem Ladedruck, also Zunahme der Leistung bei konstantem Mischungsverhältnis, nimmt aber die Abgastemperatur ab, da die vermehrte Menge an Zusatzkraftstoff auch zusätzlich kühlend auf die Abgase einwirkt.

Im vorliegenden Versuchszylinder liegt die Klopfgrenze im Bereich von $\lambda = 0,8$ bis $1,1$ etwa bei $1,25$ at Ladedruck. Die Klopfgrenzkurve zeigt in diesem Bereich einen fast waagerechten Verlauf, steigt erst bei weiterer Verarmung an, während ein Ansteigen im Gebiet des Brennstoffüberschusses nicht festzustellen ist, im Gegensatz beispielsweise zum BMW-132-Zylinder. Bei ihr ergibt sich eine höhere Wärmebelastung, der beim vorliegenden Versuchszylinder eine Kühlwassererwärmung von $8,65^\circ\text{C}$ entspricht. Es wurden für die Klopfgrenze nun in gleicher Weise, wie oben gezeigt, die notwendigen Zusatzstoffmengen festgestellt, wobei sich ein ähnlicher Verlauf mit entsprechend niedrigeren Werten ergab, der nur im Gebiet der großen Verarmung stärker absinkt. Die Werte sind in vorliegender Abbildung nicht eingetragen. Wohl aber finden sich die Abgastemperaturen $t_{ab}(1)$ für die Klopfgrenze im Bereich von $\lambda = 0,8$ bis $1,0$ abhängig vom Ladedruck. Sie liegen selbstverständlich höher als die bei der niedrigeren Wärmebelastung des Zylinders gemessene Temperatur $t_{ab}(1)$; zeigen aber den gleichen Verlauf.

Schneidet man aus dieser Versuchsreihe entsprechende Punkte, z. B. für $\lambda = 0,9$, heraus, so erhält man eine Kurvenschar, die in Abbildung 4 dargestellt ist. Über dem Ladedruck ist für konstantes Luftver-

hältnis $\lambda = 0,9$, die Innenleistung N_i , PS , erhalten durch Berücksichtigung der Schleppleistung, der mittlere indizierte Kolbendruck p_i at, der Kraftstoffverbrauch B_B kg/h, der Verbrauch an Zusatzstoff $B_{M(1)}$ kg/h für eine Wärmebelastung, die der Belastung bei einem Ladedruck von 1 at entspricht, der Verbrauch an Zusatzstoff an der Klopfgrenze $B_{M(2)}$ kg/h, der Summenverbrauch von Kraftstoff und Zusatzstoff $B_M + B_{M(1)}$ und $B_B + B_{M(2)}$ kg/h für die entsprechenden Wärmebelastungen, die spezifischen Summenverbräuche $\sum b_i(1)$ und $\sum b_i(2)$ in g/PS-h und schließlich das Verhältnis von Zusatzstoff zu Kraftstoff aufgetragen. Entsprechend der Zunahme des p_i mit dem Ladedruck steigt die Wärmebelastung, die durch eine gesteigerte Zusatzstoffmenge wieder ausgeglichen werden muß. Im ersten Fall, wo die Wärmebelastung für einen Ladedruck von 1 at konstant gehalten wird, beginnt die zusätzliche Einspritzung beim Ladedruck von 1 at. Der Stundenverbrauch $B_{M(1)}$ steigt schräg nach rechts oben ungefähr geradlinig an. Eine etwa parallel verschobene Linie, die beim Ladedruck von $1,25$ at beginnt, zeigt den Verlauf der stündlich einzuspritzenden Menge an der Klopfgrenze. Der Verlauf der Kurve $\frac{B_{M(2)}}{B_B}$ zeigt, daß die zusätzlich eingespritzte

Methanol-Wassermischung bei 2 at Ladedruck, also bei einer Leistungssteigerung von 60 vH über der normalen Klopfgrenze etwa 60 vH des Hauptkraftstoffes beträgt. Wie sich dieses Verhältnis auf den spezifischen Verbrauch auswirkt, zeigen die Kurven $\sum b_i(1)$ und $\sum b_i(2)$. Es ergibt sich im vorliegenden Fall für $1,75$ at Ladedruck 300 , bei 2 at 330 g/PS-at Gesamtverbrauch. Da im Flugbetrieb normalerweise eine Abgasverwertung in Form von Abgasturbinen oder Abgasstrahl vorhanden sein wird, durch die die Laderleistung voll gedeckt wird bzw. sogar ein Überschuss möglich ist, der mechanische Wirkungsgrad des Triebwerkes allein sehr hoch liegt, dürfte der hier aufgezeigte indizierte Verbrauch ungefähr dem effektiven Verbrauch entsprechen. Bei Berücksichtigung

des Schraubenwirkungsgrades ergibt sich damit ein Vortriebsverbrauch, der etwa in der Größenordnung von 380 bis 420 g/PS-st für 2 at Ladedruck liegt und bis zur Klopfgrenze bei 1,25 at auf den normalen Kraftstoffverbrauch absinkt.

Die Auswertung dieser Versuchsreihen hinsichtlich der äußeren Kühlwärme Q_k und der inneren, den Verdampfungswärmen entsprechenden Kühlwärmern Q_i sind in Abbildung 5 ausgewertet. Es zeigt abhängig von λ die Innenleistung Q_i in kcal/h, die einer konstanten Wärmebelastung entsprechende konstante äußere Kühlwärme Q_k kcal/h entsprechend der Belastung bei einem Ladedruck von 1 at, die den eingespritzten Kraft- und Zusatzstoffmengen entsprechenden Verdampfungswärmen Q_v kcal/h als innere Kühlwärme, die Summe von äußerer und innerer Kühlwärme $Q_k + Q_i$ in kcal/h, das Verhältnis von Gesamtkühlwärme zur Innenleistung $\frac{Q_k + Q_i}{Q_i}$, das etwa in einem Bereich von 0,4 bis 0,6 liegt und als normal zu bezeichnen ist und das Verhältnis von innerer Kühlung zu äußerer Kühlung $\frac{Q_i}{Q_k + Q_i}$, das bei hoher Aufladung und armem Kraftstoffgemisch von $\lambda = 1,2$ etwa 0,4 beträgt, d. h. von der gesamten Kühlwärme werden 40 vH von der inneren Kühlung durch Ausnutzung der Verdampfungswärme übernommen.

Schneidet man die Werte für $\lambda = 0,8, 1,0$ und $1,2$ heraus und trägt sie in Form von Kurvenscharen in einem Schaubild auf, so erhält man die Abbildung 6, in welcher über dem Ladedruck wieder $Q_i, Q_k(1), Q_v(1), \frac{Q_k + Q_i}{Q_i}$ und $\frac{Q_i}{Q_k + Q_i}$ sowie auch die Werte $\sum \lambda$ (Luftverhältnis, bezogen auf Kraftstoff + Zusatzstoff) und die Abgastemperaturen $t_{abg(1)}$ und $t_{abg(\lambda)}$ aufgetragen sind. Der Wert $Q_k(1) = 14100$ kcal/h entspricht einer Wärmebelastung, die, wie schon erwähnt, bei reinem Kraftstoffbetrieb der Belastung bei einem Ladedruck von 1 at entspricht. Hier treten der Verlauf des steigenden Anteils an innerer Kühlung mit wachsender Leistungssteigerung und auch die übrigen Beziehungen noch etwas anschaulicher hervor.

In gleicher Weise wurden die Versuchsreihen für 100 vH Methanol, 50 vH Methanol + 50 vH Wasser, 25 vH Methanol + 75 vH Wasser ausgewertet, und zwar sowohl für Einspritzung dieser Zusatzstoffe im Ansaugrohr (der Einspritzbeginn lag gleich wie beim Kraftstoff bei etwa 100° n. o. T.) wie auch für Einspritzung in den Zylinder, wobei die Einspritzung zeitlich etwa in der Mitte des Kompressionshubes lag. Während 100 vH Methanol und 75 vH Methanol + 25 vH Wasser ganz unempfindlich gegenüber dem Einspritzort ist, ebenso auch die Mischung von 50 vH Methanol + 50 vH Wasser nur verhältnismäßig kleine Unterschiede gegenüber den Ergebnissen der 75 prozentigen Methanalmischung zeigt, gleichgültig ob der Zusatzstoff in das Ansaugrohr oder aber zeitlich später in den Verbrennungsraum eingespritzt wurde — es ergibt sich höchstens eine kleine Leistungsverminderung, weil der während der Kompression eingespritzte Zusatzstoff durch seine Verdampfungswärme nicht mehr während der Ladung temperatursenkend wirkt —, ergeben sich mit weiterer Vergrößerung des Wasserzusatzes stärkere Abweichungen, wobei es nicht mehr gleichgültig war, ob der Zusatzstoff in das Ansaugrohr oder in den Zylinder eingespritzt wurde. Es ist dies einmal darauf zurückzuführen, daß mit fallendem Methanolgehalt und steigendem Wasseranteil der Einfluß der hohen Klopfestigkeit des Methanol abnimmt und schließlich bei reinem Wasser der Einfluß der Verdampfungswärme allein übrigbleibt, andererseits aber seine Ursache in einer mangelhafteren Aufbereitung des Zusatzstoffes durch den wachsenden

Kraftstoff: OZ 87
Luftvorwärmung: 120°C
E = 6

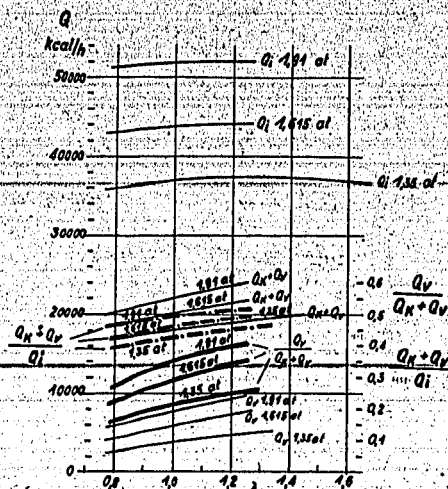


Abb. 5. Innere Kühlung
75 vH CH₃OH + 25 vH H₂O, Einspritzung ins Ansaugrohr

Luftvorwärmung: 120°C
Kraftstoff: OZ 87

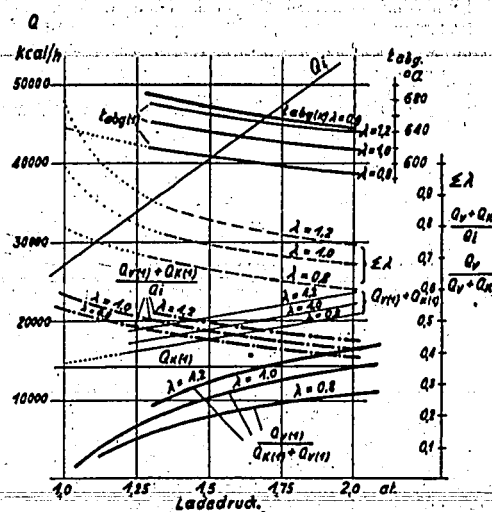
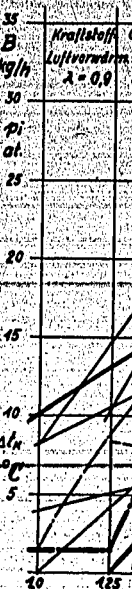


Abb. 6. Innere Kühlung
75 vH CH₃OH + 25 vH H₂O, Einspritzung ins Ansaugrohr

Wasseranteil haben dürfte. Wie Abbildung 7 (25 vH Methanol + 75 vH Wasser im Ansaugrohr) zeigt, ist zunächst ein Unterschied gegenüber den anderen Mischungen nicht zu bemerken, wenn man den Verlauf von $B_{M(1)}$ betrachtet. Der Verbrauch nimmt zwar stärker zu, was eine Folge der schwierigen Aufbereitung sein dürfte. Der Verbrauch an Zusatzstoff an der Klopfgrenze $B_{M(\lambda)}$ nähert sich jedoch mit steigendem Ladedruck der Verbrauchslinie $B_{M(1)}$. Vergleicht man die zugehörigen Wärmebelastungen an der ursprünglichen Klopfgrenze bei 1,25 at Ladedruck mit denen bei höherem Ladedruck, dann ist entgegen dem



25 vH CH₃OH

Verhalten bei dem eine sinkende W in Abbildung 7 r in Abbildung 4). Die den Ladedruck v früher angeführ bzw. sogar leicht Eigenklopfestig dürfte, wie schon mindernden Klopf in der schwierige Gemisches infolge vorliegenden Ein

Diese Überlegu in welcher die E Einspritzung in Verbesserung er

Die Versuche die Abbildung 9 letzten Ausführu dem vorliegenden der trotz der v ratur von 120° b rohr praktisch v Betrieb erst bei ergab sich bei de ein ausgesproche während der Ke spritzbeginn bei lich, auch mit W zutreiben. Aller notwendige einzu höchsten Wertes lich gegenüber fr zusatzmenge zur Der Anteil der i ist verhältnismä der Verlauf von in den schlech Wassers und da Wasserdampfteil

H. Triebnigg: Einzylinderversuche über innere Kühlung

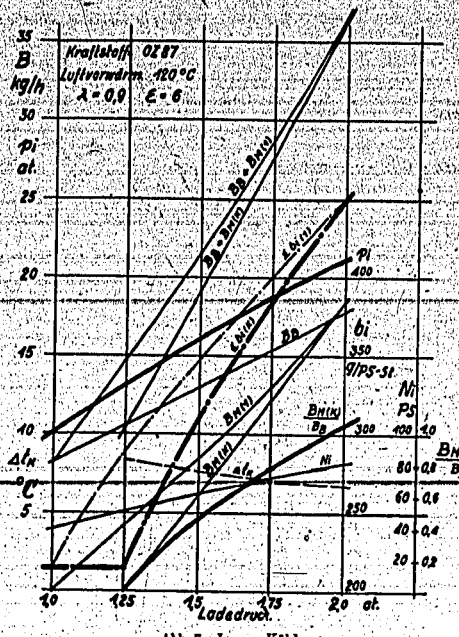


Abb. 7. Innere Kühlung
2% vH CH₃OH + 75% vH H₂O, Einspritzung ins Ansaugrohr

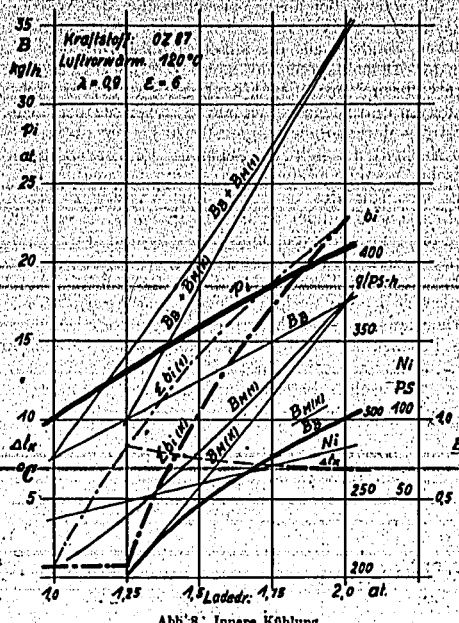


Abb. 8. Innere Kühlung
25% vH CH₃OH + 75% vH H₂O, Einspritzung in den Zylinder

Verhalten bei den hochwertigen Methanolmischungen eine sinkende Wärmebelastung zu erkennen (vgl. Δt_k in Abbildung 7 mit dem entsprechenden Wert der Abbildung 4). Die innere Kühlung muß mit zunehmenden Ladedruck verstärkt werden, während sie bei den früher angeführten Mischungen nahezu konstant blieb bzw. sogar leicht anwachsen konnte infolge der hohen Eigenklopfestigkeit des Zusatzstoffes. Die Ursache dürfte, wie schon oben erwähnt, zunächst in der verminderten Klopfestigkeit des Gemisches, dann aber in der schwieriger zu beherrschenden Aufbereitung des Gemisches infolge des großen Wasseranteils bei den vorliegenden Einspritzverhältnissen zu suchen sein.

Diese Überlegung wird durch Abbildung 8 bestätigt, in welcher die Ergebnisse mit derselben Mischung bei Einspritzung in den Zylinder wiedergegeben sind. Wie aus dem Verlauf der Kurven hervorgeht, ist eine Verbesserung erzielt worden.

Die Versuche mit reinem Wasser als Zusatzstoff, die Abbildung 9 wiedergibt, ergänzen sinngemäß die letzten Ausführungen, als ein geregelter Betrieb mit dem vorliegenden flüssigkeitsgekühlten Versuchszylinder trotz der verhältnismäßig hohen Ladelufttemperatur von 120° bei Wassereinspritzung in das Ansaugrohr praktisch unmöglich war. Möglich wurde der Betrieb erst bei Einspritzung in den Zylinder. Dabei ergab sich bei den vorliegenden Einspritzverhältnissen ein ausgesprochen günstigster Bereich der Einspritzung während der Kompression, der etwa für den Einspritzbeginn bei 150° v. o. T. lag. Dabei war es möglich, auch mit Wasser die Aufladung unbegrenzt hochzutreiben. Allerdings steigt, wie das Bild zeigt, die notwendige einzuspritzende Wassermenge trotz des nun höchsten Wertes an Verdampfungswärme, der eigentlich gegenüber früher eine Verminderung der Einspritzzusatzmenge zur Folge haben müßte, sehr stark an. Der Anteil der inneren Kühlung an der Klopfgrenze ist verhältnismäßig sehr hoch und nimmt stark zu, wie der Verlauf von Δt_k zeigt. Der Grund dürfte wieder in den schlechten Aufbereitungsmöglichkeiten des Wassers und damit der schlechteren Verteilung der Wasserdampfteilchen auf den Verbrennungsraum

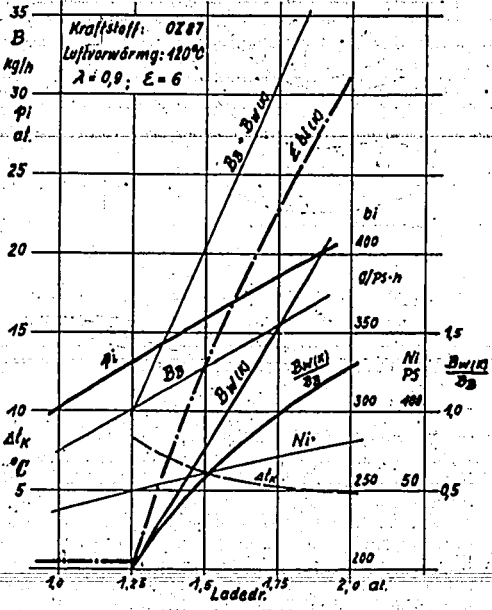


Abb. 9. Innere Kühlung
100% vH Wasser, Einspritzung in den Zylinder

liegen, der gewisse Partien des Verbrennungsraumes wahrscheinlich sehr gut kühlt, andere jedoch weniger beeinflusst, während bei voller Wirkung eine möglichst gleichmäßige Verteilung auf den Verbrennungsraum vorhanden sein müßte. Diese ungleichmäßige Verteilung konnte besonders durch Messung der Kerzenfußtemperaturen festgestellt werden, die voneinander stark verschieden, mit zunehmender Wassereinspritzmenge eine gesetzmäßige Abhängigkeit nicht mehr zeigten. Nur durch die Feststellung der Kühlwärme war die Abhängigkeit aufzuzeigen. Dies war auch der

Grund, warum bei allen Versuchsreihen die Wärmebelastung der Zylinder nicht auf die Kerzentemperaturen, sondern auf die äußere Kühlwärme bezogen wurde. Dementsprechend steigt der spezifische Gesamtverbrauch auf mehr als 500 g/PS-h für 2 at Ladedruck an und ist nun etwa 50 vH. höher als bei hochwertigen Methanalmischungen. Dazu kommt aber noch der Nachteil, der sich auch schon bei der 75prozentigen Mischung zeigte, daß es sich kaum vermeiden läßt, daß ein Teil des eingespritzten Wassers zwischen Kolben- und Zylinder in das Kurbelgehäuse gelangt, sich dort mit dem Schmieröl mischt und die Eigenschaften des Schmieröles ungünstig beeinflusst. (Wenn sich auch für Wasser die Einspritz- und Aufbereitungsverhältnisse noch weitgehend verbessern lassen, ferner auch bei den heißeren luftgekühlten Motoren die Bedingungen nicht so schwierig sind, so kommt Wasser allein wegen seines Gefrierpunktes von 0° für den praktischen Betrieb in Flugmotoren kaum in Frage.)

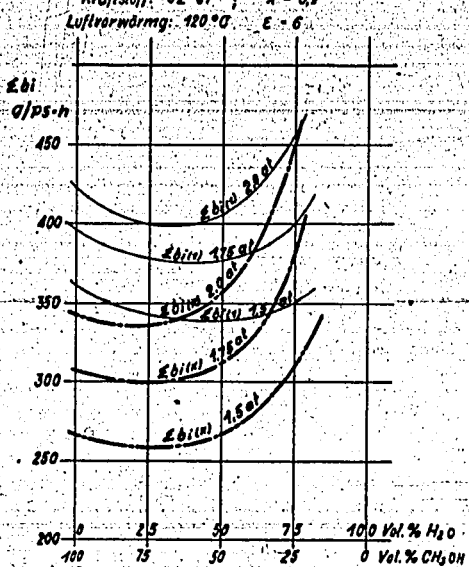


Abb. 10. Innere Kühlung Wasser-Methanol, Einspritzung ins Ansaugrohr

Abbildung 10 zeigt als weitere Auswertung die Gegenüberstellung der spezifischen Gesamtkraftstoffverbräuche der einzelnen Mischungen bei Einspritzung in das Ansaugrohr und $\lambda = 0,9$. Die schwach ausgezogenen Linien beziehen sich auf eine Wärmebelastung, die der bei reinem Kraftstoffbetrieb und 1 at Ladedruck entspricht, die stark ausgezogenen Kurven der Klopfgrenze. Es zeigte sich, daß die optimalen Verhältnisse bei der 75prozentigen Methanalmischung liegen. Methanol allein und die 50prozentige Methanol-Wassermischung liegen etwas darüber. Die 25prozentige Methanalmischung liegt bedeutend höher, während der Wasserbetrieb praktisch unmöglich war.

Abbildung 11 zeigt die gleiche Auswertung bei einer Einspritzung der Zusatzstoffe in den Zylinder. Es ergeben sich für die hochwertigen Mischungen etwa die gleichen Verbrauchszahlen, nur liegen die Werte für die 25prozentige Methanalmischung günstiger, wie auch die für reines Wasser in erreichbarer Höhe liegen.

Diese Wertung vom reinen Methanol bis zum reinen Wasser gilt nicht nur für $\lambda = 0,9$, sondern etwa in einem Bereich von 0,8 bis 1,14. Das Optimum liegt

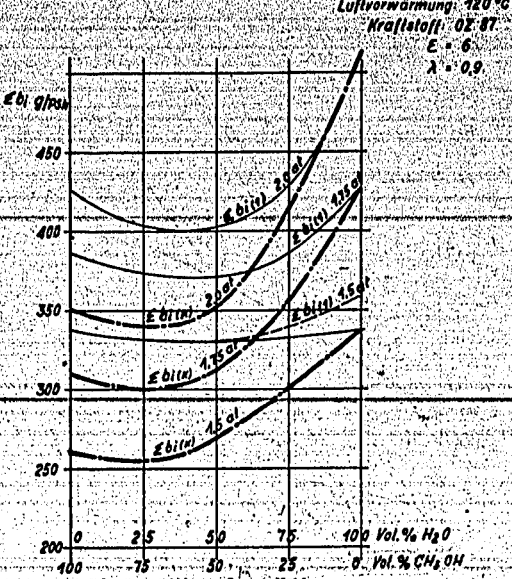


Abb. 11. Innere Kühlung Wasser-Methanol, Einspritzung in den Zylinder

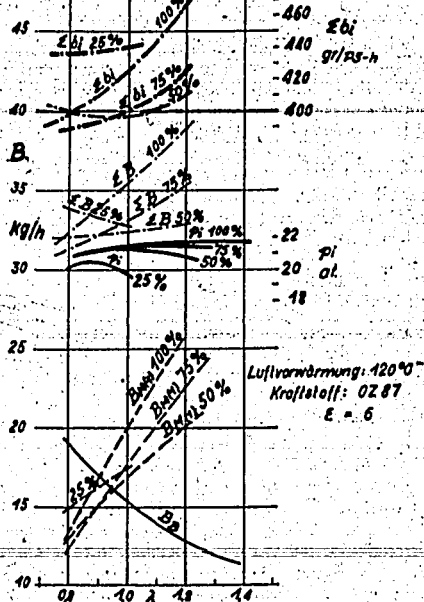


Abb. 12. Innere Kühlung Wasser-Methanol, Einspritzung ins Ansaugrohr

stets zwischen 50 und 75 vH Methanol. Diese Abhängigkeit ist in Abbildung 12 deutlich zu sehen. Es sind über dem Luftverhältnis λ für einen Ladedruck von 1,01 at der stündliche Kraftstoffverbrauch $B_{M(1)}$ für eine Wärmebelastung, die normalem Kraftstoffbetrieb bei 1,0 at entspricht, für die untersuchten Mischungen bei Einspritzung in das Ansaugrohr eingetragen. Aus diesen Werten ist der stündliche Gesamtverbrauch $\Sigma B = B_D + B_{M(1)}$ und unter Berücksichtigung der jeweiligen Leistungen, die den p_f -Kurven entsprechen, der spezifische Gesamtverbrauch Σb_i gebildet. Den geringsten Verbrauch ergibt die 75- bzw. 50prozentige

Mischung. Der günstige Bereich liegt etwa 2% unter dem spez. Verbrauch für den praktischen Bereich unter 0,9, kann zu wünschen übrig lassen. Motor sich durch ein kaum erreichte Gang und ist dann bei weitem die jeweilige Zusammensetzung. Bei 100 vH Methanol, bezogen auf das Verhältnis, bezogen auf das Verhältnis, bezogen auf das Verhältnis des Flüssigkeitsgehalts aus der Abbildung zu

Methanol als Zusatzstoff. Der Bereich noch zu. Die ist bei der 75prozentigen Mischung weniger wünschenswert als das normale Kraftstoffbetriebs beschränkt die erreichten Höchstleistungen. Bei 100 vH drückt sich der Einfluß einer Senkung der Ansaugdruck p_f aus. Bei 25 vH Wasser kann bei der entsprechenden kleineren Wärme für eine Senkung Frage kommen — außerdem, die schlechte sein —, so daß sich Verlauf des p_f ergibt.

Die bisherigen Ergebnisse der Luftvorwärmung von dem Betriebes zu untere Versuchsreihe auch 40° und 80° gefahren schnitt aus diesen zwar für $\lambda = 1$ und über der Ladeluftte Kraftstoffverbräuche $B_{M(1)}$ an der erwärmung Δt_k als

H. Triebnigg: Einzylinderversuche über innere Kühlung

Mischung. Der günstige Bereich des Mischungsverhältnisses liegt etwa zwischen $\lambda = 0,8$ bis $1,1$; darüber nimmt der spezifische Gesamtverbrauch stärker zu. Für den praktischen Betrieb kommt allerdings der Bereich unter $0,9$ kaum in Frage, da er an Gangruhe zu wünschen übrig läßt. Der Bereich, in dem der Motor sich durch eine bei reinem Kraftstoffbetrieb kaum erreichte Gangruhe auszeichnet, liegt über $0,9$ und ist dann bei weiterer Gemischverarmung durch die jeweilige Zusammensetzung des Zusatzstoffes begrenzt. Bei 100 vH Methanol läßt sich das Luftverhältnis, bezogen auf den Kraftstoff, sehr weitgehend verarmen, bis über $\lambda = 4$. Allerdings konnte ein reiner Methanolbetrieb ohne Kraftstoff nicht durchgeführt werden, wohl bedingt durch die Temperaturverhältnisse des flüssigkeitsgekühlten Versuchszylinders. Wie aus der Abbildung zu sehen ist, nimmt bei reinem

sowie das Verhältnis $\frac{B_{M(t)}}{B_B}$ aufgetragen. Zunächst ergaben die Versuche, was in der Abbildung nicht aufscheint, daß der Anteil der Verdampfungswärme an der Temperatursenkung der Ladung beim Ansaugen mit fallender Ladelufttemperatur geringer wird. Die Leistungen nehmen nicht entsprechend den absinkenden absoluten Temperaturen der Ladeluft zu, sondern weniger. Bemerkenswert ist jedoch, daß mit fallender Ladelufttemperatur sich das Verhältnis $\frac{B_{M(t)}}{B_B}$ verkleinert. $B_{M(t)}$ ist an der Klopfgrenze unabhängig von der Ladelufttemperatur und nur abhängig vom Ladedruck. Für die Regelung der Zusatzstoffmenge an der Klopfgrenze ist daher nur der Ladedruck, nicht aber die Ladelufttemperatur von Einfluß.

Kraftstoff: 02 87, $\lambda = 0,9$
Luftvorwärmung: 120°C, $E = 6$
Ladedruck: 1,65 ata

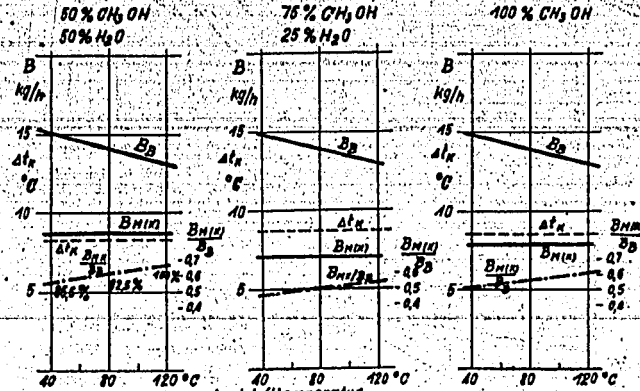


Abb. 13. Innere Kühlung
Wasser-Methanol, Einspritzung ins Ansaugrohr

Methanol als Zusatzstoff die Leistung im dargestellten Bereich noch zu. Die Möglichkeit der Verarmung ist bei der 75prozentigen und der 50prozentigen Mischung weniger weit möglich und ist bei der 25prozentigen Mischung wie auch bei reinem Wasser bereits auf das normal übliche Maß des reinen Kraftstoffbetriebes beschränkt. Hinzuweisen ist auch auf die erreichten Höchstwerte für p_i , abhängig von der Mischung. Bei 100 vH, 75 vH und 50 vH Methanol drückt sich der Einfluß der Verdampfungswärme auf eine Senkung der Anfangstemperatur des Gemisches in einer Steigerung des Ladegewichtes und damit des p_i aus. Bei 25 vH Methanol und auch 100 vH Wasser kann bei der Vorwärmung von 120° nur ein entsprechend kleinerer Anteil der Verdampfungswärme für eine Senkung der Anfangstemperatur in Frage kommen — auch dürfte, wie schon früher erwähnt, die schlechtere Aufbereitung von Einfluß sein —, so daß sich ein entsprechend niedriger Verlauf des p_i ergibt.

Die bisherigen Ergebnisse bezogen sich auf eine Luftvorwärmung von 120°. Um die Empfindlichkeit des Betriebes zu untersuchen, wurden entsprechende Versuchsreihen auch bei Ladelufttemperaturen von 40° und 80° gefahren. In Abbildung 13 ist ein Ausschnitt aus diesen Versuchen wiedergegeben, und zwar für $\lambda = 1$ und einen Ladedruck von 1,65 at. Über der Ladelufttemperatur sind die stündlichen Kraftstoffverbräuche B_B , die stündlichen Zusatzstoffverbräuche $B_{M(t)}$ an der Klopfgrenze, die Kühlwassererwärmung Δt_k als Maß für die Wärmebelastung

Kraftstoff: 02 87
Luftvorwärmg. 120°C
 $\lambda = 0,9$; $E = 6$

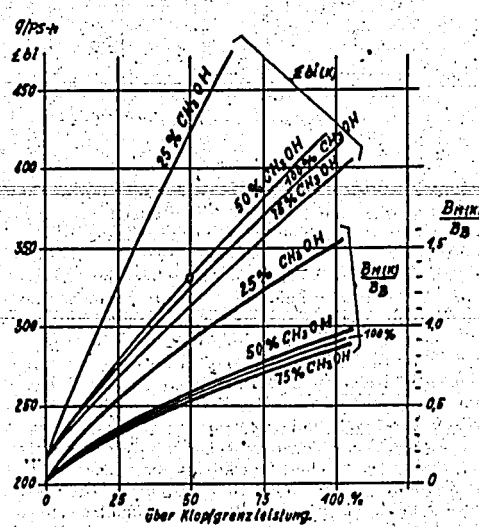


Abb. 14. Innere Kühlung
Wasser-Methanol, Einspritzung ins Ansaugrohr

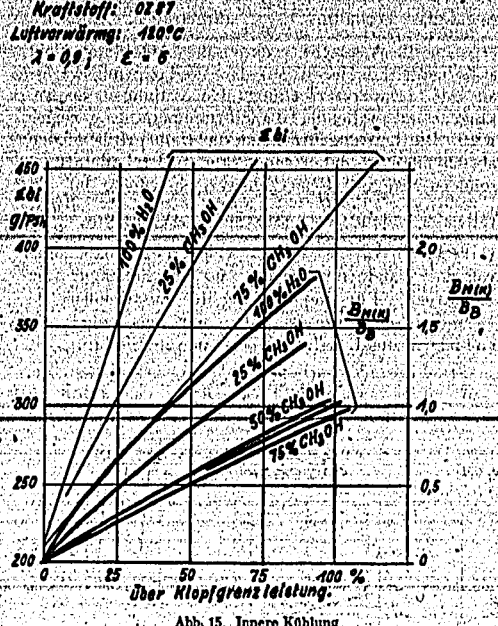


Abb. 15. Innere Kühlung Wasser-Methanol, Einspritzung in den Zylinder

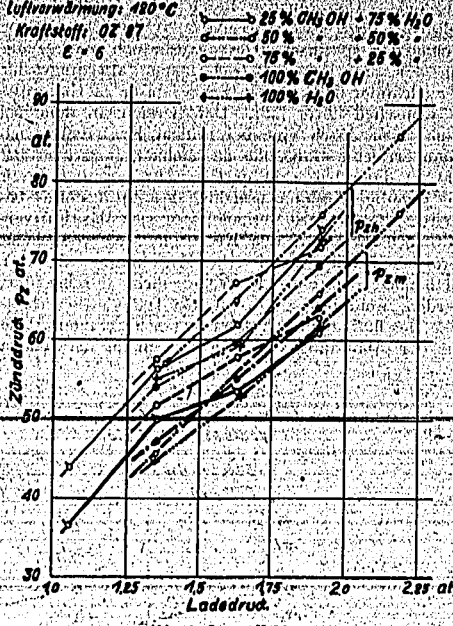


Abb. 16. Innere Kühlung Wasser-Methanol, mittlerer und höchster Zünddruck p_{zm} und p_{zh}

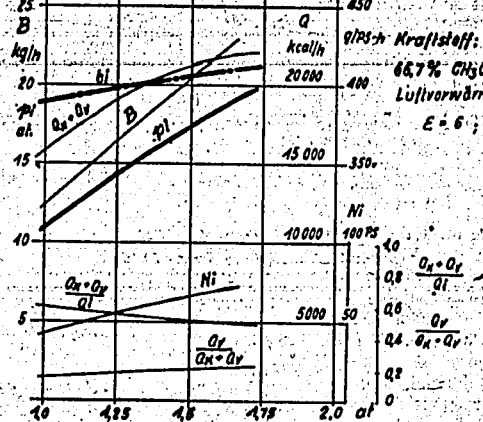


Abb. 17. Innere Kühlung durch Methanolzusatz

Eine Zusammenfassung der Versuchsergebnisse für 120° Luftvorwärmung und $\lambda = 0,9$ zeigen nochmals die Abbildungen 14 und 15 für Einspritzung in das Ansaugrohr und in den Zylinder. Auf der Abszisse ist die Leistungserhöhung in vH über der Klopfleistung, auf der Ordinate die Gesamtverbräuche und das Verhältnis von Zusatzstoff zu Kraftstoff für die untersuchten Mischungen aufgetragen. Wie früher gezeigt wurde, gelten die Werte etwa bis $\lambda = 1,1$. Sinkt die Ladelufttemperatur, dann sinkt bei konstanter Wärmebelastung des Zylinders auch der Anteil an Zusatzstoff und umgekehrt.

Bei allen Versuchsreihen wurden außerdem stets mit einem Quarzgeber Druckdiagramme genommen. In Abbildung 16 sind über dem Ladedruck die mittleren Zünddrücke p_{zm} und die Höchstzünddrücke p_{zh} für die einzelnen Mischungen aufgetragen. Diese Punkte wurden, um brauchbare Werte zu erhalten,

so gewonnen, daß aus mindestens 100 Druckdiagrammen eine Zünddruckhäufigkeitskurve gebildet wurde. Aus dieser wurde dann der Mittelwert p_{zm} und der Höchstwert p_{zh} entnommen. Eine einwandfreie gesetzmäßige Abhängigkeit des Zünddruckverlaufes von der Zusammensetzung des Zusatzstoffes ist kaum feststellbar. Die Zünddrücke nehmen mit wachsendem Ladedruck entsprechend zu. Der aufgezeichnete Streubereich ist für Otto-Verbrennung als normal zu bezeichnen. Vielleicht ist ein Einfluß, der jedoch in dieser Abbildung nicht zum Ausdruck kommt, in der Weise vorhanden, daß mit zunehmender innerer Kühlung und abnehmender Wärmebelastung des Zylinders ein Absinken des Zünddruckes vorhanden ist.

Im Gegensatz zu den bisherigen Versuchen ist in Abbildung 17 eine Versuchsreihe wiedergegeben, bei der das Methanol dem Kraftstoff selbst zugemischt wurde. Die Mischung, die aus 66,7 vH Methanol und

33,3 vH Benzol... Kurven zeigen... des hohen... Andererseits... leichtes Klopf... Die Versuch... Bild der W... stoffbetriebes... Methanol-Wa... so, daß zur... durch die... Mischungen... teile vorhand... Untersuchung... daß der U... technisch w... anderen Kra... aber mit de... mehrte Korre... sein, daß m... sonderes Au...

1. Die Wassermischungen... normalen... allem durch... Verdampfung... Leistungssteigerung... oben zunächst... die Klopfgrenze... Drehzahl... Leistungssteigerung... lichen Klopf...
2. Im Betrieb... der Unempfindlichkeit... mischungen... reines Methanol...
3. Das Verbleib... stoffmenge... steigerung... leistung zu...
4. Die Wärme... der inneren... steigerung...
5. Allerdings... infolge der...
6. Dagegen... zunehmender...

H. Triebnigg: Einzylinderversuche über innere Kühlung

33,3 vH Benzin bestand, war gerade stabil. Die Kurven zeigen den schon früher erwähnten Nachteil des hohen Verbrauches bei kleinen Ladedrücken. Andererseits ergab sich hier aber bereits bei 1,75 at leichtes Klopfen.

Die Versuchsergebnisse geben ein anschauliches Bild der Wirkungen und Möglichkeiten des Zweistoffbetriebes durch zusätzliche Einspritzung von Methanol-Wassermischungen. Die Ergebnisse sind so, daß zunächst, abgesehen vom Mehrverbrauch, durch die Unempfindlichkeit des Betriebes bei Mischungen mit hohem Methanolgehalt fast nur Vorteile vorhanden sind. Es ist aber auf Grund von Untersuchungen an anderen Orten darauf hinzuweisen, daß der Unterschied der Korrosionswirkung von technisch wasserfreien Alkoholgemischen gegenüber anderen Kraftstoffen wohl vernachlässigbar ist, daß aber mit der Zunahme des Wasseranteils eine vermehrte Korrosion zu erwarten ist. Es wird notwendig sein, daß man diesen störenden Einflüssen ein besonderes Augenmerk zuwendet.

Die Möglichkeiten der Anwendung des Zweistoffbetriebes zur Leistungserhöhung von Flugmotoren sind in Abbildung 18 wiedergegeben, das ein schematisches Höhenleistungsschaubild darstellt. Die Grenzleistung des normalen Lademotors ist zunächst durch den Linienzug 1-2-3 gegeben, wobei der Abfall von 2-3 durch das über 2 hinaus nicht mehr steigere Druckverhältnis des Laders entsteht. Wenn genügend Verbrennungsluft vorhanden wäre, könnte die Grenzleistung einen Verlauf von 2-4 nehmen. Durch die zusätzliche Methanol-Wassereinspritzung ist eine beträchtliche Leistungssteigerung bei gleicher Wärmebeanspruchung möglich, die durch die Leistungslinie 1'-2'-4' gegeben sei. Durch die vorhandenen Einrichtungen am Motor (offene Drossel und Laderhöchstdrehzahl) kann zunächst unter Berücksichtigung der günstigen Wirkung der hohen Verdampfungswärme der Methanolgemischen auf das Ladegewicht jedoch nur eine Leistung ausgenutzt werden, die dem Linienzug 1'-2'-3' entspricht. Durch einen Zusatzlader ist eine weitere Ausnutzung mit zunehmender Höhe

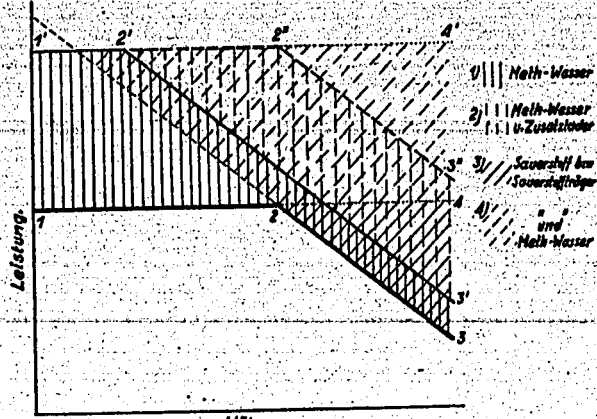


Abb. 18. Anwendungsbereich der zusätzlichen Einspritzung von Methanol-Wassermischungen

Zusammenfassung

1. Die zusätzliche Einspritzung von Methanol-Wassermischungen, aber auch von reinem Wasser zu normalen Kraftstoffen in Otto-Motoren macht vor allem durch die Möglichkeit der Ausnutzung der hohen Verdampfungswärme zur inneren Kühlung gewaltige Leistungssteigerungen möglich, deren Grenze nach oben zunächst nicht festgestellt werden konnte. Ohne die Klopfgrenze zu erreichen, wurden bei konstanter Drehzahl durch Ladedruckerhöhung auf 2,3 at eine Leistungssteigerung von 85 vH über der ursprünglichen Klopfgrenzleistung erreicht.

2. Im besonderen eignen sich für den Zweistoffbetrieb wegen des günstigen Gefrierhaltens und der Unempfindlichkeit des Betriebes Wasser-Methanolgemischungen mit mehr als 50 vH Methanolanteil. Auch reines Methanol verhält sich nur wenig ungünstiger.

3. Das Verhältnis der Zusatzstoffmenge zur Kraftstoffmenge nimmt etwa im Verhältnis der Leistungssteigerung über der ursprünglichen Klopfgrenzleistung zu.

4. Die Wärmebelastung der Zylinder bleibt infolge der inneren Kühlung mit zunehmender Leistungssteigerung annähernd konstant.

5. Allerdings nimmt die mechanische Beanspruchung infolge der Zunahme der Zünddrucke zu.

6. Dagegen nehmen die Abgastemperaturen mit zunehmender Leistung ab.

möglich, die durch den Linienzug 1'-2'-3'' gegeben ist. In gleicher Weise ist aber auch durch Methanol-Wasser eine Aufstockung der Höhenleistung bei Verwendung von Sauerstoff bzw. Sauerstoffträgern im Gebiet über der Vollenleistungshöhe möglich, die allein infolge der Wärmebeanspruchung eine Leistungsgrenze zeigen, die durch die Linie 2-4 gegeben ist.

Für die Bedürfnisse der Luftwaffe ist vor allem die Leistungsaufstockung über der Vollenleistungshöhe, aber auch die Leistungserhöhung beim Start bis zur Vollenleistungshöhe von ausschlaggebender Bedeutung. Sie ist durch die Anwendung eines derartigen Zweistoffbetriebes unter gleichzeitiger Verwendung von Sauerstoffträgern oder Anwendung von Zusatzladern in weitem Maße möglich. Weitere Untersuchungen über die mögliche Dauer derartiger Leistungssteigerungen können auf Grund der Versuchsergebnisse durchgeführt werden.

Die durch die Zusatzstoffe erzielte innere Kühlung soll die äußere Kühlung nicht ersetzen. Es wird auch weiterhin die Entwicklung dahin gehen müssen, die äußere Kühlung weiterhin zu verbessern. Und im entsprechenden Verhältnis, in dem es gelingt, die äußere Kühlung zu verbessern, kann an innerer Kühlung gespart werden oder kann bei gleichem inneren Kühlaufwand die absolute Leistung wieder weiter gesteigert werden. Es ist sicher, daß wir hier noch nicht am Ende der Entwicklung stehen.

Verlagsgesellschaft
1914 12 23

1. Dies ist ein
des...
2. Welche...
bef...
3. Aufbewehr...
Empfänger...

Einleitung
A. Auf...
1.
2.
3.
4.
B. Mot...
1.
3.
3.
C. Stei...
Zusammen...

Einleitung
Der B...
heute no...
mir dah...
Arbeiten...
muß ich...
umgrenz...
Unter...
lich sein...
stehen...
zeug kan...
Entzünd...
schlußfu...
ferner d...
von Bra...
netzung...
zeigt, un...
Das Gas...
höhere...
Aufschla...
ders in...
Schutz...
standteil...
ähnlichen...
St la vor...
dicke B...
gewonne...
laßverha...
sonders...
schutz n...

1) SAE-J...
Safety P...
1911, S. 817

Geheim!

1. Dies ist ein Staatsgeheimnis im Sinne des Reichsverschlussgesetzes.
2. Wert der Luftfahrtforschungen bei Postbeförderung als Geheimsachen.
3. Aufbewahrung unter Verantwortung des Empfängers unter gesichertem Verschluss.

Ellenthal-Gesellschaft
für Luftfahrtforschung

26d/43/48 60 Ausfertigungen
8 9 Ausfertigungen
Geheim!

acc08

30557

Geheim!

0. Bl. Manuskript/Fotografie
Bogen Umbruch
Orig.-Abbildungen
gekl./lose Blaups

Motorbetrieb mit Sicherheitskraftstoffen

O. Holfelder, Berlin-Gatow

13

Gliederung

Einleitung: Eigenschaften der Sicherheitskraftstoffe

A. Aufbereitung der TZ-Stoffe

1. Die Förderung von zähen Kraftstoffen vom Tank bis in die Zylinder
2. Vorwärmanordnung und -gestaltung
3. Düsegestaltung bei Abspritzen hocherhitzter zerfallender Kraftstoffe
4. Zusammensetzung der Zersetzungsprodukte des erhitzten Kraftstoffes

B. Motorbetrieb mit TZ-Stoff bei R-Stoff-Zündung

1. Motorversuche bei 450° C Kraftstofftemperatur im Vorwärmer (Heißeinspritzung)
3. Motorversuche bei weitgehender TZ-Zersetzung und anschließender Kühlung des Kraftstoffes
3. Regelgesetze

C. Steinkohlen-Teer-Mittelöle im Otto-Motor

Zusammenfassung

Einleitung: Eigenschaften der Sicherheitskraftstoffe

Der Begriff eines »Sicherheitskraftstoffes« ist bis heute noch nicht eindeutig definierbar. Wenn ich es mir daher zur Aufgabe gestellt habe, hier über die Arbeiten zur motorischen Verwendung von Sicherheitskraftstoffen einen Sammelbericht zu geben, so muß ich einleitend versuchen, diesen Begriff näher zu umgrenzen.

Unter Sicherheit eines Kraftstoffes ist grundsätzlich seine Beständigkeit gegen Inbrandsetzung zu verstehen. Ein Brand des Kraftstoffvorrates im Flugzeug kann durch verschiedene Ursachen entstehen, wie Entzündung an heißen Abgasrohren, durch Kurzschlußfunken, durch Aufschlag beim Absturz sowie ferner durch Beschuß mit den verschiedensten Arten von Brand- und Sprengmunition. Je weniger Brandneigung ein Kraftstoff gegenüber diesen Initialzündern zeigt, um so mehr wird er ein Sicherheitskraftstoff. Das Gasöl unserer Dieselmotoren bietet durch seine höhere Siedelage bereits einen guten Schutz gegen Aufschlagbrand. Für Otto-Kraftstoffe wurde besonders in Amerika¹⁾ mit dem »safety fuel« ein gleicher Schutz durch Abscheiden der leichtsiedenden Bestandteile sowie durch Gelatinieren angestrebt. Ein ähnlicher Kraftstoff in Deutschland wurde mit dem St Ia von der IG entwickelt. Ferner wurden hier verdickte Benzine, die durch Zusatz von sauren Al-Salzen gewonnen wurden, erprobt. Naturgemäß ist das Anlaßverhalten dieser höher siedenden Kraftstoffe besonders im Winter unbefriedigend und der Brand-schutz nur sehr bedingt vorhanden. Gegen Beschuß

bietet keiner dieser Kraftstoffe eine genügende Sicherheit. Da die Initialzündwirkung beim Beschuß besonders durch Geschoßdetonation, welche starke Zerstörung hervorruft, oder durch den Flüssigkeitsschlag im Behälter wesentlich unterstützt wird, mußte ein wirklicher Sicherheitskraftstoff neben hoher Siedelage und hohem Flammpunkt auch eine möglichst große Zähigkeit haben.

Bei den Arbeiten der IG zur Synthese hochwertiger Otto-Flugkraftstoffe wurde nun ein solcher hochviskoser durch Polymerisation des Isobutylens C₄H₈ entstandener Sicherheitskraftstoff etwa im Jahre 1930 entwickelt und derzeit mit dem Namen TZ 900 bezeichnet. Je nach dem Grad der Polymerisation kann die Zähigkeit beliebig abgestuft werden. Die Zähigkeit in °E bei 100° C des Kraftstoffes wird durch Anhängung eines Index an die Zahl 900 ausgedrückt, so bedeutet z. B. TZ 900/5,0 eine Kraftstoffzähigkeit von 5° E bei 100° C. Diese Zähigkeit wurde durch umfangreiche Beschußversuche, über welche mein Mitarbeiter W. Schmutzler noch gesondert berichten wird, als die vom Standpunkt der Sicherheit im Flugzeugtank betrachtete untere Zähigkeitsgrenze festgelegt. Vom Standpunkt des Förderproblems vom Tank zum Motor stellt diese Zähigkeit jedoch wahrscheinlich die obere beherrschbare Grenze dar. Vergleichsweise sei erwähnt, daß unsere Schmieröle bei 100° C etwa 3,0° E haben.

Je mehr die Kraftstoffe den mit zunehmender Waffenentwicklung stets steigenden Sicherheitsforderungen entsprechen, desto größer werden die Schwierigkeiten einer einwandfreien motorischen Verarbeitung. Da eine Verarbeitung hochsiedender Kraftstoffe im Vergaser von vornherein ausschied, wurde beim Neuaufbau der Luftwaffe vom technischen Amt auf Anregung von H. Sachse speziell im Hinblick auf die kommenden Sicherheitskraftstoffe die Kraftstoffeinspritzung besonders gefördert. Aber auch bei direkter Einspritzung ist die TZ-Verwendung ein recht schwieriges Gemischbildungsproblem. Das bei der IG von Penzig entwickelte Ringverfahren gestattete durch R-Stoff-Zündung die teilweise Überwindung der bekannten Zündungsschwierigkeiten bei Kraftstoffen mit hoher Siedelage, während bisher mit Kerzenzündung des unzersetzten TZ-Stoffes nur völlig unbefriedigende Ergebnisse erzielt wurden. Durch die Verwendung des R-Stoffes gehört daher auch die Behandlung der Arbeiten an Sicherheitskraftstoffen, unter denen hier vor allem die TZ-Kraftstoffe gemeint sind, auf diese Arbeitstagung über Zweikraftstoffbetrieb in Flugmotoren.

Trotz mehrjähriger intensiver Arbeit an der neben dem Technischen Prüfstand der IG in Oppau, mein Institut in Gatow und zeitweilig auch das Maschinenlabor der TH-Dresden sowie die Industrieentwicklung bei BMW, Junkers und Daimler-Benz beteiligt war, sind bisher nur Teillösungen erreicht, die jedoch den zu beschreitenden Weg und den technischen Aufwand

¹⁾ SAE-Journal, Juli 1939, Frank C. Month, Prospects for Use of »Safety Fuels« in Spark-Ignition Aircraft Engines, Ferner: Kraftstoff 1941, S. 81/82.

für die Verarbeitung der TZ-Stoffe im Flugmotor schon klarer erkennen lassen. Im folgenden sei versucht, aus den zahlreichen vorliegenden Berichten¹⁾ und den letzten Ergebnissen unserer Versuche einen Überblick zu geben.

A. Aufbereitung der TZ-Stoffe

Über die physikalischen und chemischen Eigenschaften der TZ-Stoffe gibt die Zahlentafel 1 Aufschluß.

Während Heizwert und spez. Gewicht im üblichen Kraftstoffbereich liegen, sind Flammpunkt und Zähflüssigkeit wesentlich höher. Man sieht auch eine gewisse Abhängigkeit des Flammpunktes und Brennpunktes von der Zähigkeit. Die theoretischen Zerfallsprodukte bei einer thermischen Spaltung zeigt die untere Aufstellung.

In der Abbildung 1 sind die Zähigkeitstemperaturkurven der TZ-Stoffe nach Ubbelohde in Vergleich gesetzt mit einigen anderen Stoffen, wie Schmierölen, Gasöl, dem Diesel-Sicherheitsstreibstoff TZ 100 und Steinkohlenteeröl.

Die ersten von der IG noch vor dem Kriege bis zum Jahre 1937 durchgeführten Fahrzeugmotorversuche haben neben anderen Anordnungen den Kraft-

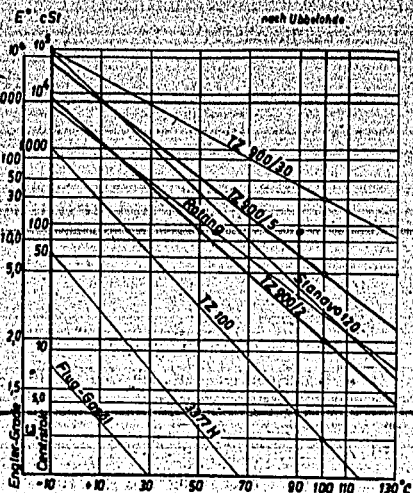


Abb. 1. Zähigkeitstemperaturkurven

Zahlentafel 1
Kennwerte TZ 900

	Kraftstoffart					
			TZ 900/2	TZ 900/5	Gasöl	B 4
Spez. Gewicht bei 20°C	γ	kg/cm ³	086	086	084	075
Molekulargewicht	M	—	400	550	170	102
Heizwert	H _h	kcal/kg	10 300	10 300	10 090	10 450
Flammpunkt	—	°C	175	190	73	unter — 15
Brennpunkt	—	°C	190	210	85	unter — 15
Siedebeginn (Zersetzungsbeginn)	—	°C	300	320	130	42
Viskosität bei 20°C	—	°E	85	275	13	—
Viskosität bei 50°C	—	°E	14	55	1,0	—
Viskosität bei 100°C	—	°E	2,0	5,0	—	—
Zersetzungswärme	—	kcal/kg	300	300	—	—
Dampfdruck Reid	—	kg/cm ²	0	0	0,1	< 0,5
Cetanzahl	CaZ	—	12	12	50	17
Oktanzahl	OZ	—	95	95	20	87

Theoretische Zerfallprodukte von 1 kg TZ bei Zersetzung:

Isobutylene	C ₄ H ₁₀	~ 430 l	H _h = 10 850 kcal/kg	SP = -6° C
oder Di-Isobutylene	C ₈ H ₁₈	~ 215 l	H _h = 10 470 kcal/kg	SP = 102° C
oder Tri-Isobutylene	C ₁₂ H ₂₄	~ 107 l	H _h = 10 410 kcal/kg	SP = 180° C

stoff vor dem Motor durch Wärmezufuhr in großen mit Katalysatoren ausgefütterten Vorwärmern bei etwa 550° C weitgehend zersetzt und gasförmig dem sonst normalen Motor über Gasregler zugeführt. Obwohl Leistung und Verbrauchswerte günstig waren und auch die Regelfähigkeit für den Fahrzeugbetrieb ausreichte, erwies sich der Zersetzer als zu unförmig groß, zudem war die Verkokungsneigung untragbar und die Lebensdauer der Katalysatoren zu kurz.

Kurze Vergleichsversuche der IG mit TZ 900/1,7 im Fahrzeug-Vorkammer-Dieselmotor ergaben bei einer nur auf 100° C erhöhten TZ-Temperatur überraschenderweise trotz der hohen Klopfestigkeit des unzersetzten TZ-Stoffes fast gleiche Betriebswerte wie mit Gasöl. Diese Beobachtung führt zu der Hypothese, daß beim teilweisen Zerfall der höheren Polymeren zündwillige und damit klopfreudige Bestandteile entstehen können. Auf diese Erscheinung wird später noch zurückzukommen sein.

Für den Otto-Flugmotor erschienen mit Rücksicht auf die Regelungsanforderungen große Zersetzervolu-

¹⁾ Siehe Berichtsverzeichnis am Schluß des Berichtes Nr. 500 des Technischen Prüfstandes Oppau der IG vom 1. 9. 1942.

mina nicht trag-
lediglich der
Verbesserung
umfangreichen
festgestellt, die
an den Kraftstoff
das gesamte

Eine Zerstück-
seiner hohen Zä-
wie Abbildung 2
bis zu einer der
erläßlich erschie-
Aber selbst bei
die dem Augens
bildung bei dir
Kerzen- und au
mäßig befriedig
Die Ursache lie
beginnenden Sie
stoff, welcher he
zu einem große
und in Form v
verdünnung den
Eine Einspritzu
des Verdichtun
lag, führte auch
zu homogener
nicht ausreichte,
peraturgefälle z
wurde.

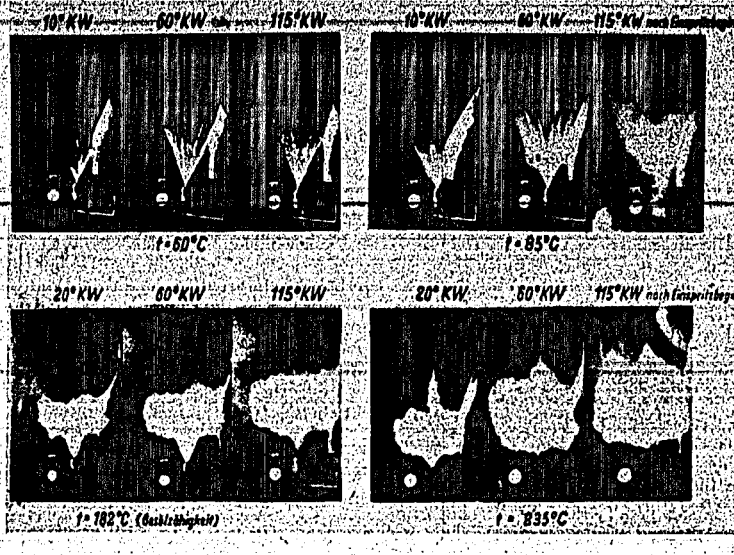
Diese Versuch
zunächst dem K
peratur zu gebe

¹⁾ Bericht Nr. 9 d
Sachbearbeiter: W.
Sicherheitskraftstoffe
Motor.

mina nicht tragbar. So galten unsere ersten Versuche lediglich der thermischen TZ-Stoffaufbereitung zur Verbesserung der mechanischen Gemischbildung. In umfangreichen Arbeiten¹⁾ wurden die Bedingungen festgestellt, die für gute Gemischbildung einerseits an den Kraftstoff und andererseits an die Düse und das gesamte Einspritzsystem zu stellen sind.

also über 300°C lag. Exakt kann man bei TZ 900 nicht von einem Siedebereich sprechen, sondern nur von einem Zersetzungsgebiet, da der Stoff praktisch ohne Siedekurve sich bei hohen Temperaturen direkt zersetzt. Mit der Forderung nach so hoher Vorwärmung zäher Stoffe im Einspritzsystem traten eine Reihe neuartiger Probleme auf, die infolge gegen-

Kraftstoff: TZ 900/5



Konstante Betriebswerte: Düse = 60° Kegeldüsen — Abspritzdruck = 200 at — Gegenruck = 1 at
Fördermenge = 180 mm³/Hub — Motordrehzahl = 1600 u/min

Abb. 2. Zerstäubungsgüte vorgewärmten TZ-Stoffes

Eine Zerstäubung kalten TZ-Stoffes ergibt wegen seiner hohen Zähigkeit völlig ungenügende Aufteilung, wie Abbildung 2 zeigt, so daß Vorwärmung mindestens bis zu einer dem Gasöl entsprechenden Zähigkeit unerlässlich erschien; diese wird bei etwa 180°C erreicht. Aber selbst bei noch höheren Kraftstofftemperaturen, die dem Augenschein nach eine einwandfreie Gemischbildung bei direkter Einspritzung zuließen, war mit Kerzen- und auch mit R-Stoffzündung ein verbrauchsmäßig befriedigender Motorbetrieb nicht zu erreichen. Die Ursache liegt in der hohen erst oberhalb 250°C beginnenden Siedelage, so daß der zerstäubte Kraftstoff, welcher heißer ist als die Luft im Zylinder, sich zu einem großen Teil an den Wänden niederschlägt und in Form von Ruß, etwas Koks und Schmierölverdünnung dem Verbrennungsvorgang verlorengeht. Eine Einspritzung des Hauptkraftstoffes erst am Ende des Verdichtungsdruckes in die heiße Luft, was nahe lag, führte auch nicht zum Erfolg, da dann die Zeit zu homogener Gemischbildung und Verdampfung nicht ausreichte, selbst wenn ein entsprechendes Temperaturgefälle z. B. durch Luftvorwärmung geschaffen wurde.

Diese Versuche führten deshalb zwangsläufig dazu, zunächst dem Kraftstoff durch Vorwärmung eine Temperatur zu geben, die über der unteren Siedegrenze,

¹⁾ Bericht Nr. 9 über die TZ-Versuche der LKA vom 28. 6. 1912. Sachbearbeiter: W. Herbrich. Aufbereitung zäher, hochsiedender Sicherheitskraftstoffe durch Erhitzung und Einspritzung in den Otto-Motor.

seitiger Überschneidung nur schwer einer getrennten Behandlung zugänglich waren. Ich nenne nur die wesentlichsten:

1. Fördergesetz in Einspritzpumpe und Einspritzsystem bei zähen Kraftstoffen.
3. Art und Ort der Vorwärmung, Gestaltung des Vorwärmers.
3. Düsengestaltung bei Abspritzen hocherhitzter, zerfallender Kraftstoffe.
4. Zusammensetzung der Zersetzungsprodukte des erhitzten Kraftstoffes.
5. Abstimmung von Einspritzort und Zeit im Motor in Zusammenhang mit der R-Stoff-Zündung.
6. Ermittlung des optimalen Verdichtungsverhältnisses, der Klopfgrenze und der Betriebswerte für das Regelgesetz von Vorwärmung und Einspritzung.

In sehr umfangreichen Versuchen haben meine Mitarbeiter Todt, Herbrich und Matthes einzelne dieser Probleme geklärt, so daß ich hier zusammenfassend die bisherigen Ergebnisse mitteilen kann.

1. Die Förderung von zähen Kraftstoffen vom Tank bis in den Zylinder

Trotz der großen Zähigkeit konnte der kalte TZ-Stoff mit etwa 20°C in normalen Bosch-Einspritzpumpen wegen seines niedrigen Dampfdruckes einwandfrei dosiert und gefördert werden, sofern ein-

Saugraumvordruck von mindestens 1,5 atü eingestellt wurde. Durch innere Reibung stellt sich die Pumpe von selbst auf eine Betriebstemperatur von etwa 70° C ein und setzt so die Zähigkeit herab.

Mit der hohen Zähigkeit tritt naturgemäß auch das Problem der Zuförderung vom Tank zur Einspritzpumpe auf. Während wir bei Benzin wegen des hohen Dampfdruckes, der keine Saughöhe zuläßt, Tankpumpen brauchen, die als Schleuderpumpen wirken, wird für TZ-Betrieb, besonders bei Höhenflug und im Winter, eine als Volumenpumpe arbeitende Tankpumpe, etwa eine langsam laufende Schrauben- oder Schraubenkolbenpumpe trotz des praktisch zu vernachlässigenden Dampfdruckes unerlässlich sein. In Verbindung mit dieser sind zweckmäßig die Rohrleitungen vom Tank zum Motor mit gegenüber Benzinbetrieb etwa dreifachem Querschnitt, also anstatt z. B. 25 mm IW mit 40 mm IW zu verlegen, um Geschwindigkeit und Förderwiderstand herabzusetzen. Sofern ein direkter Antrieb dieser Pumpen vom Motor möglich ist, wäre schlechter Pumpenwirkungsgrad erwünscht, um dem TZ-Stoff durch Verwirbelungsenergie gleichzeitig eine gewisse Vorwärmung zu geben. Die Firma Bosch hat bei Fahrzeugversuchen mit TZ-Stoff eine derartige mit der Einspritzpumpe gekuppelte Anordnung entwickelt.

Bei dieser Gelegenheit sei erwähnt, daß der TZ-Stoff seinem physikalischen Aufbau nach ein vorzügliches Schmieröl darstellt, das keine Rückstandsbildung zeigt. So ist zu hoffen, daß man in Zukunft wahrscheinlich zu einem Einheitschmier- und Kraftstoff gelangen wird. Dann kann eine als Kraftstoff benötigte Teilmenge jeweils mit etwa 150° C Temperatur dem Schmierstoffkreislauf hinter der Ölrückförderpumpe entnommen werden. Es tritt dann nur in noch verschärfter Form das Problem der Filterung

und Ölentschäumung auf, um einwandfreie Funktion der Einspritzpumpe zu sichern. Da der TZ-Stoff als Kraftstoff bei Erreichen bestimmter Temperaturen sich zersetzt und damit seine Schmiereigenschaften verliert, wird die Belastungsgrenze für TZ als Schmieröl voraussichtlich um ein geringes unter den heutigen Schmierölwerten liegen. Nach umfangreichen Vorversuchen der IG am BMW 132-Ölprüfmotor sollte die Erfahrungsbasis durch Versuche an anderen Motormustern und im Vollmotor verbreitert werden.

Eine gewisse Vorwärmung vor der Pumpe erleichtert natürlich auch die Einspritzung und verhindert zu hohe Pumpenspitzen drücke. An Stelle von Steilnocken werden zur Herabsetzung der Spitzen drücke, wie die Meßwerte der Abbildung 3 erkennen lassen, möglichst Erzenternocken verwendet, besonders bei langen Einspritzleitungen.

Sofern bei höheren Vorwärmtemperaturen überhaupt noch eine durch den Pumpenstempel gesteuerte Abspritzung der Düse möglich ist, setzt sie die Anwendung von geschlossenen Düsen voraus sowie Aufrechterhaltung eines Restdruckes in der Leitung, der mindestens gleich dem Sättigungsdampfdruck der höchsten vorkommenden Vorwärmtemperatur ist. Bei Kraftstoffzersetzung bleibt die Steuerfähigkeit nur so lange erhalten, als bei dem gewählten Restdruck genügend höher siedende Bestandteile da sind, die die Zersetzungsprodukte in Lösung aufnehmen können. Die durch Versuch ermittelte Restdruckabhängigkeit zeigt die Abbildung 4. Neben dem Sicherheitskraftstoff wurden die Werte auch noch für Wasser bis zum kritischen Druck aufgenommen.

Es sei noch kurz erwähnt, daß Schwingungen in den durch die Vorwärmer besonders langen Einspritzleitungen nicht störend auftraten, da die Zähigkeit des Kraftstoffes die Schwingungen sehr stark dämpft.

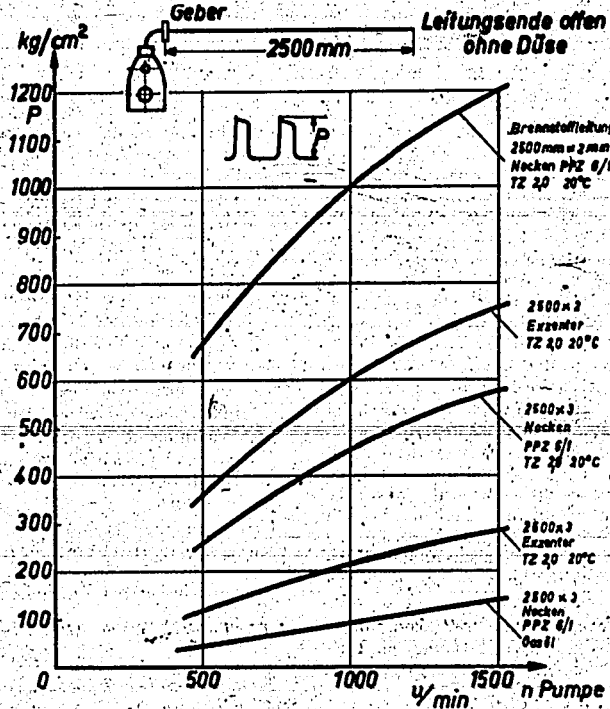


Abb. 3. Förderdruck P von TZ 900/2,0 h. 20° C, gemessen am Pumpenende einer 2500 mm langen offenen Druckleitung



Abb.

2. Vo

Als Wär
vorwärmung
gasenergie
Zersetzung
delt, etwa 5

Eine An
spritzpumpe
des Systems
gehender Z
setzungspro
abgekühlt, w
setzt sonst d
200° C Kraft

Die Vorw
Einspritzpum
gibt sich au
hitzenden G
und eine An

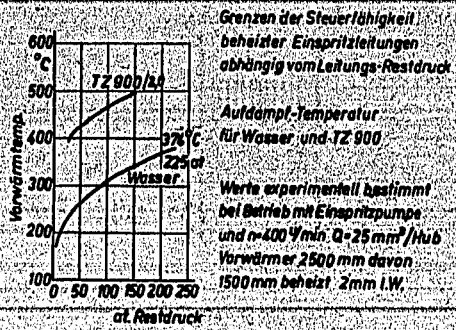


Abb. 4. Restdruckbestimmung bei TZ-Förderung

2. Vorwärmanordnung und -gestaltung

Als Wärmequelle für die eigentliche Kraftstoffvorwärmung kommt im Flugmotor lediglich die Abgasenergie in Frage, da es sich besonders bei voller Zersetzung um recht beträchtliche Wärmemengen handelt, etwa 5 yH des Kraftstoffheizwertes.

Eine Anordnung des Vorwärmers vor der Einspritzpumpe ist wegen mangelhafter Regelfähigkeit des Systems nicht möglich, sofern nicht bis zu weitgehender Zersetzung vorgewärmt wird und die Zersetzungsprodukte dann wieder auf Raumtemperatur abgekühlt werden. Durch Aufdampfen im Saugraum setzt sonst die Pumpe trotz 4 atü Vordruck schon bei 200°C Kraftstofftemperatur aus.

Die Vorwärmung wird daher am besten zwischen Einspritzpumpe und Düse vorgenommen. Damit ergibt sich auch zwangsläufig eine Aufteilung der zu erheizenden Gesamtmenge auf die einzelnen Zylinder und eine Anordnung der Vorwärmer im Abgasstutzen

mit organischem Einbau in diesen unter Berücksichtigung der Forderungen von Rücksößergestaltung und Kabinenheizung. So werden auch die einzigen noch beschußgefährlichen Kraftstoffleitungsstücke, welche aufbereiteten Kraftstoff führen, denkbar kurz und diese Mengen verschwindend klein.

Die Dimensionierung der Vorwärmer ist ein Wärmeübergangsproblem. Hierfür fehlten zunächst ausreichende Unterlagen. Der Wärmeübergang ist abhängig vom Einspritzgesetz mit der auf kurzen Förderstoß folgenden längeren Stillstandszeit des Kraftstoffes im Rohr. Ferner hängt er ab von der Abgastemperatur und Strömungsgeschwindigkeit, den physikalischen Eigenschaften des aufzuheizenden Kraftstoffes, besonders seiner Zähigkeit, und schließlich sehr wesentlich vom Leitungsquerschnitt, der die Fließgeschwindigkeit bestimmt. Die Abbildung 5 zeigt als Beispiel die auf Grund von einigen Versuchen für gleiche Wärmeleistung von 1250 kcal/h ausreichend für den Kraftstoffbedarf eines 2 Liter-Zylinders bei 8 at pe und 2600 U/min sich ergebenden rechnermäßigen Leitungslängen. Zugrunde gelegt sind hier nur 300°C TZ-Endtemperatur und normale zylindrische Einspritzrohre ohne indirekte Heizflächen. Man erkennt, daß bei diesen TZ-Temperaturen kleine Querschnitte vor allem wegen des früheren Umschlages zu turbulenter Strömung im Vorteil sind in bezug auf Rohrlänge und Rohrvolumen.

Die anschließend noch zu behandelnden Motorversuche ließen eine Steigerung der Kraftstofftemperatur bis auf 450°C und schließlich sogar seine völlige Zersetzung bei etwa 600°C wünschenswert erscheinen. Um für die Endtemperaturen von 450°C bei kurzen Vorwärmern das verfügbare Wärmegefälle voll auszunutzen, war die Anordnung von indirekten Heizflächen auf der Gasseite erfolgreich. Eine gleiche Maßnahme auf der für den Wärmeübergang noch ungünstigeren Kraftstoffseite erhöhte den Durchfluß

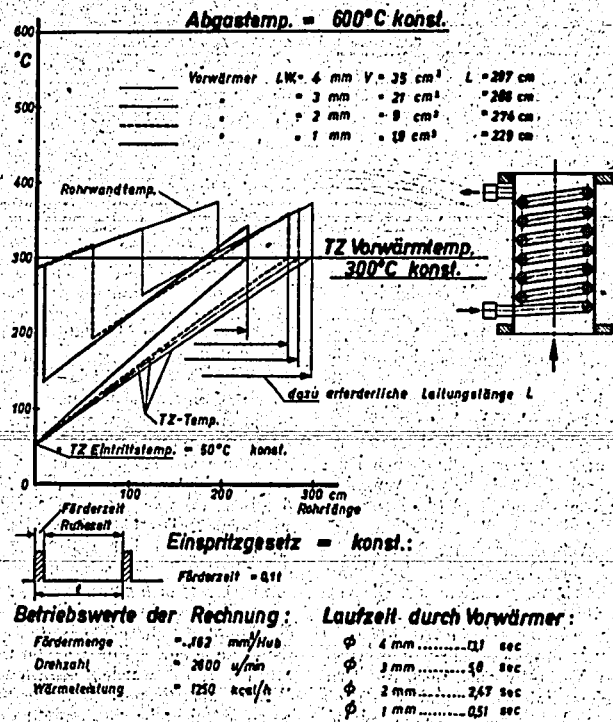


Abb. 5. Berechneter Temperaturverlauf in Vorwärmern gleicher Wärmeleistung

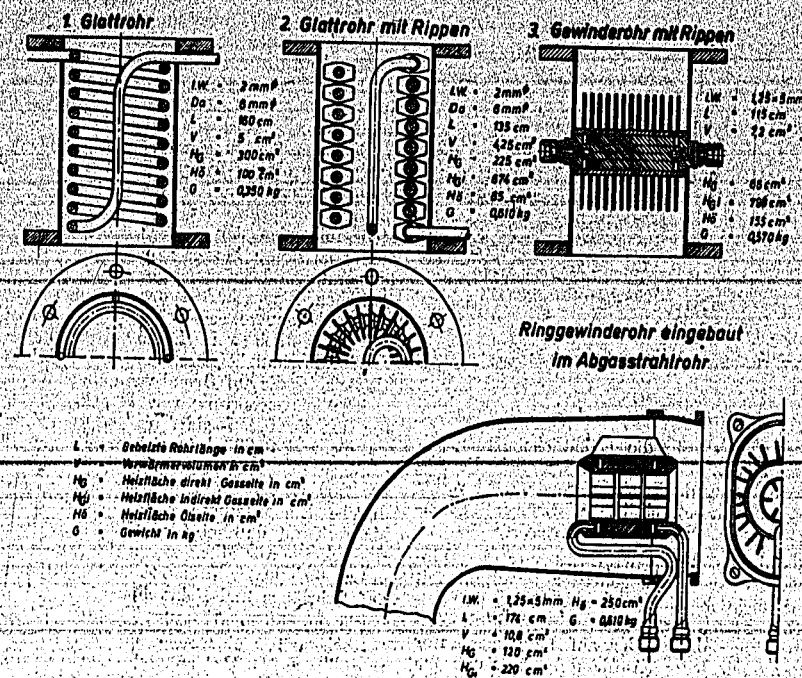


Abb. 6. Bauformen untersuchter Vorwärmer

widerstand unzulässig stark. Die Abbildung 6 zeigt eine Zusammenstellung verschiedener von uns benutzter und entwickelter Vorwärmerformen mit Angabe der Betriebswerte. Die in Gewindeform mit quadratischem Leitungsquerschnitt ausgebildeten Vorwärmer sind nach galvanischer Verkupferung hart gelötet und in Zusammenarbeit mit R. von Linde, München, entstanden. Während diese Vorwärmer sämtlich nur für Endtemperaturen von 450°C vorgesehen sind, müssen die für Zersetzung bestimmten natürlich größer werden, und zwar um etwa 80 vH mit Rücksicht auf Zuführung der Zersetzungswärme von 300 kcal/kg. Aber auch diese Größe dürfte bei geschickter Gestaltung noch in den Abgasstrutten oder bei Abgasturbinenbetrieb in den Sammelleitungen unterzubringen sein. Auf Fragen der Temperaturregelung komme ich noch in Zusammenhang mit den Motorversuchen zu sprechen.

Noch nicht ganz geklärt ist die Frage der Verkokungsneigung der Rohrvorwärmer. Während bei Erhitzungstemperaturen bis zu 475°C uns im Motorbetrieb trotz vieler Dauerläufe noch kein Vorwärmer verkokte, traten am Düsenprüfstand bei Erhitzungstemperaturen auf 600°C und mehr öfters ganz plötzlich durch starken Koksansatz Verstopfungen und damit Betriebsunbrauchbarwerden der Vorwärmer auf. Da eine noch zu besprechende hydraulisch gesteuerte Düse im Gegensatz zur normalen geschlossenen Düse im Vorwärmerkreis auch einen Übergang vom flüssigen zu dampf- und gasförmigen Aggregatzustand zulässt, kann dann bei weiterer Wärmezufuhr auch ein Verkoken des Vorwärmers eintreten. Ebenso können Unsauberkeiten in den Druckrohren die Verkokung katalytisch begünstigen. Nachdem wir alle Vorwärmer vor dem Einsatz innen durch Beizung und anschließendes Bondern gründlich gereinigt haben, ist die Verkokungsneigung etwas geringer geworden. Zweifellos ist für das Verkoken auch noch die Temperaturspanne zwischen Rohrwand und Kraftstoff sowie die Verweilzeit im Vorwärmer ausschlaggebend. Während bei nur Teilzersetzung bei 450°C hohe Rohr-

wandtemperaturen, also große indirekte Heizflächen für Aufbau kurzer Vorwärmer günstig sind, muß bei völliger Zersetzung die Rohrwandtemperatur tiefer gehalten werden, um einem Verkoken vorzubeugen. Hier sind also große indirekte Heizflächen auf der Gassseite nicht zu empfehlen.

3. Düsen-gestaltung bei Abspritzen hocherhitzter, zerfallender Kraftstoffe

Um Unterlagen für die sehr wichtige Düsen-gestaltung bei Abspritzen hocherhitzter oder gar zerfallender Kraftstoffe zu gewinnen, wurden eingehende Untersuchungen mit Funkenphotographie der Strahlbilder durchgeführt. Aufgenommen wurden, wie Abbildung 7 zeigt, die Strahlen in den verschiedenen Phasen eines Einspritzvorganges und vor allem bei verschiedenen Stofftemperaturen. Obwohl man bei Gaslöslichkeit des Stoffes auch eine entsprechende gleiche Zerstäubung erhielt, verringert sich nach der Zerstäubung von TZ die erzielte Tröpfchengröße nicht, da der geringe Dampfdruck und das fehlende Temperaturgefälle von Luft zu Kraftstoff keine weitere Verdampfung bewirken. Die Vorwärmung mußte daher über die untere Siedegrenze erhöht werden, um den Strahlzerfall von innen her zu erzwingen. Hierbei zeigte sich, daß die Strahlform sowohl von der Düsen-gestaltung als besonders auch von der Kraftstofftemperatur abhängig wurde. Die Abbildung 8 läßt dies deutlich erkennen, ebenso eine Abhängigkeit vom Abspritzdruck. Die hier verwendeten Kegelpfendüsen haben sich auch bei TZ-Betrieb gut bewährt. Wird der Kraftstoff über seine untere Siedegrenze erhitzt, so überlagert sich dem mechanischen Strahlzerfall ein thermischer Strahlzerfall infolge des plötzlichen Verdampfens eines Teiles der aus der Düse tretenden Flüssigkeit. Zur Aufklärung des thermischen Strahlzerfalles wurden homogene Flüssigkeiten, wie Wasser und Propan, in ihrem Strahlbild untersucht, wenn sie über den Siedepunkt erhitzt waren. Strahlform und Reichweite wird hierbei mit steigender

Betriebsdaten: Exzenterrücken PA C 61/1x, Einspritzleitung 2500 mm, Motordrehzahl 1750 U/min, Düse 80° Kegelspitz, Abspritzdruck 200 at, Abspritzmenge 180 mm³/Hub
 Kraftstofftemperatur vor Eintritt in den Düsenhalter:
 70° 160° 260° 310° 360° C

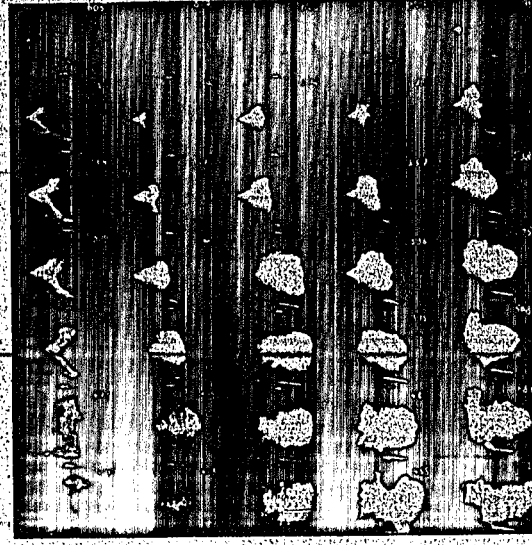


Abb. 7. TZ-Zerstäubung bei mittlerer Vorwärmung und hohem Abspritzdruck sowie großem Zapfenwinkel

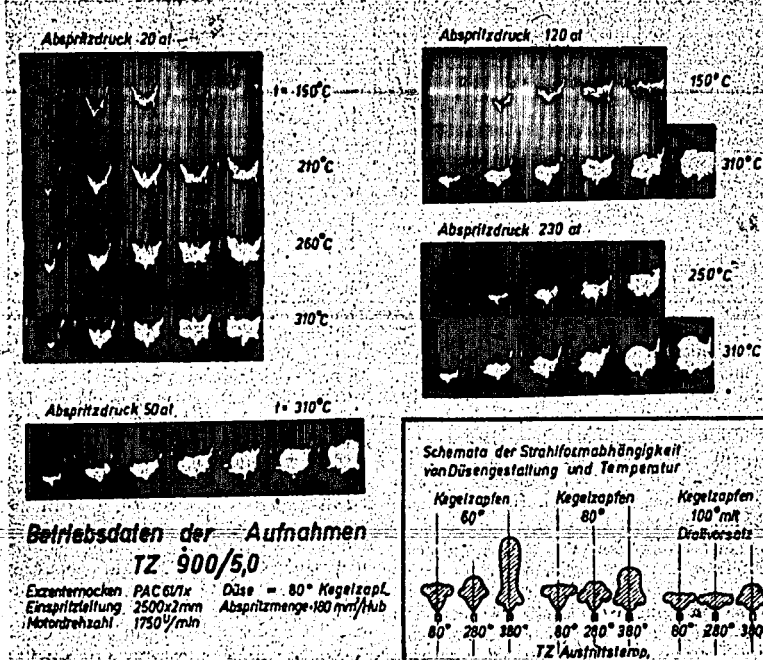


Abb. 8. Strahlform-Abhängigkeit von Abspritzdruck, Temperatur und Düsenform

Temperatur immer mehr unabhängig von der Düsenform und nur noch abhängig vom thermischen Zustand der Abspritzflüssigkeit. Eine gewisse Beeinflussung der Strahlform bleibt jedoch durch Variation des Düsenzapfenschliffwinkels und durch Drahtvorsatz möglich.

Die hohen Kraftstofftemperaturen stellen naturgemäß an die Funktion der federbelasteten, geschlossenen Düse große Anforderungen. Die Steuerfähigkeit zwingt bei ihnen zu etwa 200 at Düsenöffnungsdrücken und damit zu starken Federn, welche bei leckköhlösen Düsen im Kraftstoffstrom liegen und daher

bei Kr
 ihrer
 dann
 mäßig
 gleich
 durch
 spritzv
 hydraul
 entwick
 Zinne
 kers in
 erten I

schtern
 lischen
 und D
 toren.
 im St
 der St
 deutun
 kleiner
 nadel
 welle
 den D
 wärme
 sicht a
 und fü
 Wir
 setzung
 verhin
 zwisch
 steigen
 sichtig
 daß di
 satz zu
 nach j
 ein Rf
 rendem
 bessert
 Überde
 Düsen
 sind h

bei Kraftstofftemperaturen oberhalb 400° C stark in ihrer Federkonstante nachlassen, so daß die Düsen dann durch Aufdampfen des Kraftstoffes unregelmäßig abspritzen. Um hier Abhilfe zu schaffen und gleichzeitig eine völlige Unabhängigkeit von der durch lange Vorwärmerleitungen verursachten Einspritzverzögerung zu erlangen, wurde von uns eine hydraulisch durch kalten TZ-Stoff gesteuerte Düse entwickelt. Nach einem kurzen Versuchsbericht von Zinner hat dieser bei seinen TZ-Versuchen bei Junkers im Jahre 1939 auch mit einer besonders gesteuerten Düse gearbeitet. Die Abbildung 9 zeigt Schalt-

getragene, welche die Verzögerung durch die lange Leitung des Vorwärmers erkennen lassen. Die Entlastung der Einspritzleitung des kalten Stoffes kann auch durch ein besonders konstruiertes Rückschlagventil in der Pumpe so sichergestellt werden, daß die Pumpencharakteristik konstant bleibt; die rechte Bildseite zeigt den Aufbau dieses Ventils. Die Firma Bosch hat uns freundlicherweise bei der Herstellung der Düsen nach unseren Entwürfen sehr unterstützt, so daß es zwischenzeitlich gelungen ist, betriebssichere, hydraulisch gesteuerte Düsen bis zu 600° C Kraftstofftemperatur zu entwickeln.

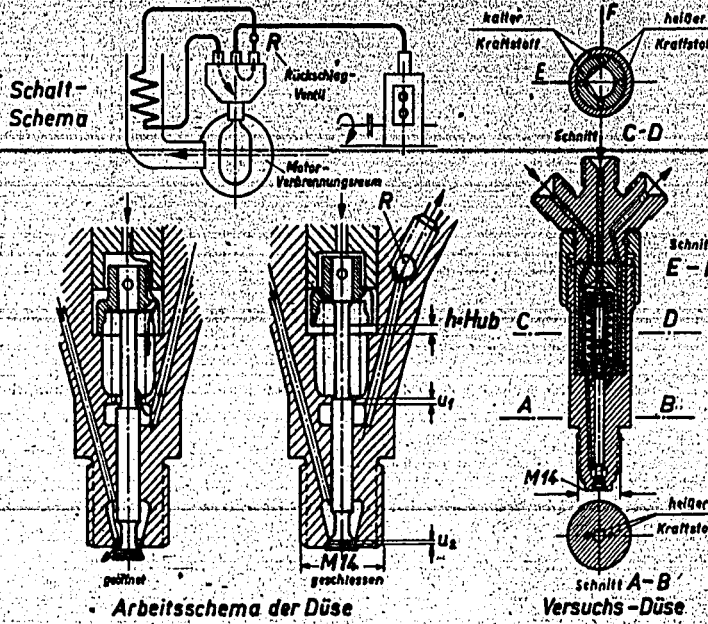


Abb. 9. Hydraulische TZ-Düse

schema und konstruktiven Aufbau unserer hydraulischen Düse. Die Leitungslänge zwischen Pumpe und Düse ist hier nicht länger als bei normalen Motoren. Ferner ist der Stoffdurchlauf durch die Düse im Arbeitsschema angedeutet, wobei der Überdeckung der Steuerquerschnitte u_1 und u_2 eine besondere Bedeutung zukommt. Die Überdeckung u_1 muß stets kleiner gewählt werden als u_2 , da sonst die Düsenadel bereits bei Ankunft der ersten Förderdruckwelle am Ventil öffnet, während diese Druckwelle den Düsenaustritt erst nach Durchlaufen des Vorwärmers erreicht. Als günstige Werte auch mit Rücksicht auf die Abdichtung haben sich für u_1 0,4 mm und für u_2 0,5 mm und mehr ergeben.

Wird die Vorwärmung bis zur teilweisen Zersetzung ohne folgende Abkühlung gesteigert, so muß verhindert werden, daß durch Leckverluste bei u_1 zwischen zwei Einspritzungen der durch Wärmezufuhr steigende Vorwärmerdruck die Düse erneut unbeabsichtigt öffnet. Dies geschieht zweckmäßig dadurch, daß die Leitung zwischen Pumpe und Düse im Gegensatz zu den Forderungen bei mittlerer Vorwärmung nach jeder Einspritzung völlig entlastet wird. Durch ein Rückschlagventil R an dem zum Vorwärmer führenden Stutzen kann die Dichtigkeit von u_1 noch verbessert werden. Die infolge der unterschiedlichen Überdeckungen sich ergebenden Zeitquerschnitte der Düsenöffnung zeigt die Abbildung 10. Gleichfalls sind hier auch die Laufzeiten der Druckwelle auf-

Wird die Erhitzung bis zu völliger TZ-Zersetzung der Gesamtkraftstoffmenge getrieben, so liegt keine Veranlassung mehr vor, den zu Isobutylen rückverwandelten Stoff in diesem heißen Zustand dem Motor zuzuführen. Eine Rückkühlung der Zersetzungsprodukte hinter dem dann als Zersetzer arbeitenden Vorwärmer erleichtert auch die Betriebsweise der hydraulischen Düse ungemein und macht die Leitungsdruckentlastung entbehrlich. Zu dieser Kühlung ist nun nicht noch ein besonderer Kühler als Wärmeaustauscher erforderlich, da ja keine Abkühlung bis zu völliger Verflüssigung der Zersetzungsprodukte nötig ist. Es genügt wahrscheinlich, das Rohrstück zwischen Vorwärmer und Düse mit Kühlrippen zu versehen und dem Kühlluftstrom auszusetzen. Durch die Kühlung wird auch das spez. Kraftstoffvolumen der Zersetzungsprodukte so weit herabgesetzt, daß mit gleichen Düsenquerschnitten wie bei flüssigen Kraftstoffen und mit mäßigen Abspritzdrücken gearbeitet werden kann.

4. Zusammensetzung der Zersetzungsprodukte des erhitzten Kraftstoffes

Bevor nun über die Motorversuche mit Sicherheitskraftstoffen ein Überblick gegeben wird, sei noch kurz auf die Zusammensetzung der Zersetzungsprodukte des erhitzten Kraftstoffes eingegangen. In einer besonderen Vorwärmerversuchsanlage wurden die auf jeweils bestimmte konstante Temperatur erhitzten

durch die n...
Mengen nac...
gefangen, d...
förmigen Be...
Die Abbildun...
nenen Zerset...
Betrachtung...
selbst bei...
450° C die...
ungünstig w...
20 vH des T...
die bis zum...
diesem Gas...
ergibt, zeig...
siedenden u...

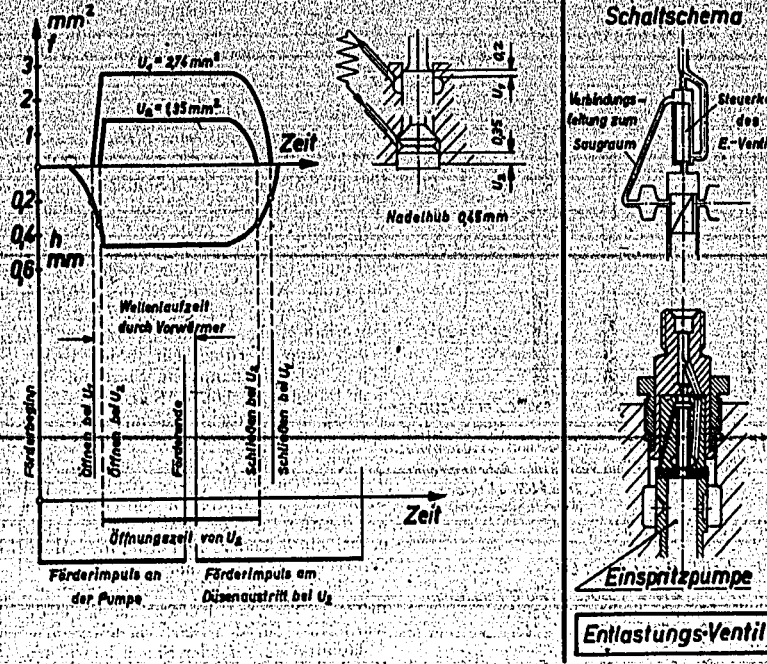


Abb. 10. Zeitverschnitte der hydraulischen Düse und Entlastungsventil

Temperatur-Abhängigkeit der Zersetzungs-Produkte

Betriebswerte: Abspritzdruck 6-10 atü Fördermenge 100 mm³/Hub Drehzahl 2750/min Vorwärmer Rohr 6 mm φ 2 mm l. W. 2,6 m lang 16 Windungen 60 mm φ

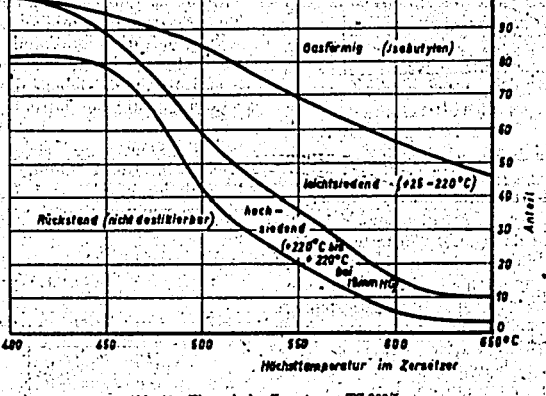


Abb. 11. Thermische Zersetzung TZ 900/5

durch die normale Boshpumpe geförderten TZ 900-Mengen nach dem Auspritzen aus der Düse aufgefangen, durch Kühlung kondensiert und die gasförmigen Bestandteile durch Tiefkühlung verflüssigt. Die Abbildung 11 zeigt die Abhängigkeit der gewonnenen Zersetzungsprodukte von der Temperatur. Nach Betrachtung dieser Darstellung leuchtet es ein, daß selbst bei Vorwärmtemperaturen von 400°C und 450°C die im Motor gemessenen Verbrauchszahlen ungünstig waren, da bei dieser Temperatur erst etwa 20 vH des TZ-Stoffes umgewandelt waren. Während die bis zum Isobutylen getriebene Zersetzung mit diesem Gas einen gleichfalls klopfesten Kraftstoff ergibt, zeigten die im IG-Klopfmotor geprüften leichtsiedenden und hochsiedenden Bestandteile eine MOZ

von 79. Sie sind daher die Ursache des leider noch sehr mangelhaften Klopfverhaltens eines durch Teilzersetzung aufbereiteten TZ-Stoffes. Die leichtsiedenden Fraktionen bestehen aus einer Vielzahl von Olefinen; auch kleine Mengen von Di- und Tri-Isobutylen sind enthalten. Die hochsiedenden Fraktionen setzen sich aus höheren Olefinen und höheren Polymeren des Isobutylen zusammen. Der Rückstand hat etwa gleiche Eigenschaften wie das Ausgangsprodukt TZ 900. Als gasförmig wurden die Bestandteile mit Siedepunkten bis +20°C bezeichnet. Ihre mengenmäßige Zusammensetzung zeigt die Abbildung 12. Siedekurven von den destillierbaren Anteilen sind für drei verschiedene Vorwärmer-Endtemperaturen auf der Abbildung 13 übereinander gezeichnet.

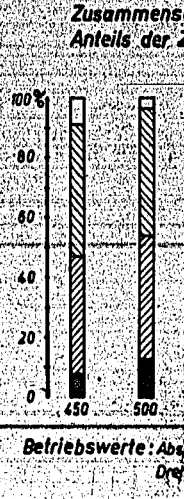


Abb. 12. Thermische Zersetzung

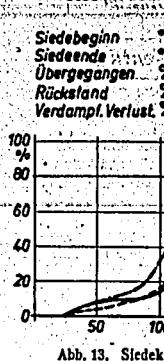
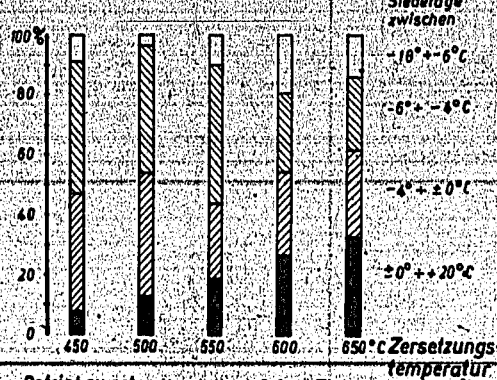


Abb. 13. Siedekurve

Die Zusammensetzung der Zersetzungsprodukte hängt außer von der Vorwärmeranlage mit einer Herabsetzung der Drehzahl auf 20 vH der in Abb. 12 schon bei 585°C der Drehzahl auf 58 vH gesteigert. Verweilzeit des Kraftstoffes in der Vorwärmeranlage, die Schaffung der hydraulischen Bedenken mehr, diese E. Vorwärmervergrößerung. Genauere Analysen der Zersetzungsprodukte von uns noch nicht durchgeführt.

B. Motorbetrieb mit TZ 900/5
Die Maßnahmen zur Verbesserung der Klopfkraftstoffe haben sich als nicht zufriedenstellend erwiesen, da ein Teil der Anwendungsvoraussetzungen nicht darstellbar sind. Selbstverständlich sind parallel dazu physikalische Versuche durchgeführt worden, die zu Anfangszeiten bei Vorwärmtemperaturen von 400°C bis zur Grenze des TZ-Stoffes nur berichtet werden können. Vorwärmtemperaturen von 450°C bis zu den letzten Arbeiten bei 500°C

Zusammensetzung des gasförmigen Anteils der Zersetzungsprodukte



Betriebswerte: Abspritzdruck 5-10 atü Förderung: 100 mm³/Hub
Drehzahl 1750 U/min Vorwärmer: Rohr 6 mm außen
2 mm I.W. 26 m lang
16 Windungen 60 mm φ

Abb. 12. Thermische Zersetzung von TZ 9005

Gesamter, destillierbarer Anteil bei:

	650°C	550°C	500°C Zers.Temp.
Siedebeginn °C	26	26	23
Siedende °C	270	270	244
Übergang %	85	77	62
Rückstand %	8	20	34
Verdampf. Verlust %	9	3	4

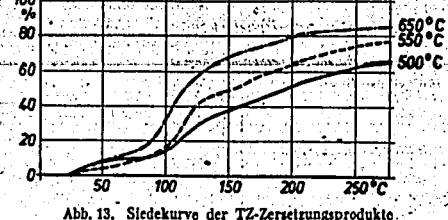


Abb. 13. Siedekurve der TZ-Zersetzungsprodukte

Die Zusammensetzung der so erhaltenen Zersetzungsprodukte hängt außer von der Höchsttemperatur im Vorwärmer sicher auch stark von der Verweilzeit ab. Beispielsweise konnte bei sonst gleicher Versuchsanlage mit einer Herabsetzung der Fördermenge/Hub auf 20 vH der in Abbildung 12 geförderten Menge schon bei 585°C der gasförmige Anteil von etwa 40 vH auf 58 vH gesteigert werden durch die längere Verweilzeit des Kraftstoffes im Vorwärmer. Nach Schaffung der hydraulischen Düse bestehen keine Bedenken mehr, diese Erscheinung durch eine gewisse Vorwärmervergrößerung auszunutzen.

Genaue Analysen der Zersetzungsprodukte wurden von uns noch nicht durchgeführt.

B. Motorbetrieb mit TZ-Stoffen bei R-Stoff-Zündung

Die Maßnahmen zur Aufbereitung der zähen Sicherheitskraftstoffe haben den größeren Teil dieses Berichtes ausgefüllt, da sie ja auch den schwierigsten Teil der Anwendung von hochviskosen Kraftstoffen darstellen. Selbstverständlich wurden bei unseren Arbeiten ständig parallel die motorischen und die physikalischen Versuche durchgeführt. Die Vielzahl der mehr oder weniger erfolglosen Motorversuche der Anfangszeiten bei Vorwärmung bis zur unteren Siedegrenze des TZ-Stoffes bleibe hier unerwähnt. Es soll nur berichtet werden über einige Versuche bei Vorwärmertemperaturen von etwa 450°C sowie über die letzten Arbeiten bei möglichst weitgehender TZ-Zer-

setzung. Als Versuchsmotoren dienten früher der 21-Fiat-DVL-Einzylinder, während jetzt mit dem 21-Jumo 222-Einzylinder und dem 31-BMW-801-Einzylinder, beide mit DVL-Unterteil, gearbeitet wird.

1. Motorversuche bei 450°C-Kraftstofftemperatur hinter Vorwärmer (Heißspritzung)

Wie beim Ringverfahren muß auch für den TZ-Betrieb, sofern er mit R-Stoff-Zündung arbeitet, eine höhere Verdichtung gewählt werden. Untersucht wurden die Gebiete zwischen $\epsilon = 6,5$ und $9,5$ und daraus trotz besserer Verbrauchswerte bei höherer Verdichtung für diese Versuchsreihe mit Rücksicht auf die große Klopfreudigkeit des erhitzten TZ-Stoffes eine Standardverdichtung von $7,5$ gewählt. Das Anlaßverhalten bei Raumtemperaturen unter $+5^\circ\text{C}$ bringt dann allerdings mit R-Stoff bereits Schwierigkeiten, wie überhaupt ein Start mit R-Stoff ähnlich dem Dieselmotor höhere Startdrehzahlen zur Sicherstellung der Verdichtungsstufen erfordert. Hier muß noch eingehende Entwicklungsarbeit geleistet werden. Im übrigen ist gerade für den TZ-Betrieb die Anfahrmöglichkeit mit R-Stoffen günstig, da dann während des Anlaufes in den ersten 2 bis 3 Minuten der TZ-Stoff im Vorwärmer so weit erhitzt wird, daß er bei einsetzender TZ-Förderung sofort vom Motor vorarbeitet werden kann.

Sollte bei voller TZ-Zersetzung auch ein wirtschaftlicher Betrieb mit Kerzenzündung möglich sein, so würde hier für den Start ein mit Benzin beschickter Anlaßhilfsgaser oder Sammeleinspritzung vor dem Lader vorzusehen sein, die dann mit besonderem Anlaßkraftstoff einen Start auch bei tiefen Außentemperaturen ermöglichen. Eine Beschickung der TZ-Stoffleitung mit Benzin dürfte jedoch wegen der zwischengeschalteten Vorwärmer nicht möglich sein, ebenso wie dann der Übergang von Benzin zu TZ-Stoffen kaum störungsfrei sicherzustellen ist.

Zum Leistungsverhalten des Motors bei Vorwärmertemperaturen bis zu 450°C ist grundsätzlich festzustellen, daß die klopfreudigen flüssigen Zersetzungsprodukte, die bei dieser Vorwärmertemperatur in großem Umfang entstehen, die Klopfgrenze des Motors sehr ungünstig herabdrücken. Dieselben Bestandteile haben andererseits wahrscheinlich, wie eingangs erwähnt, einen Dieselmotor mit TZ-Stoff überhaupt ermöglicht. Die Abbildung 14 zeigt zwei am Jumo 222-Einzylinder gefahrene Leistungskurven für die Verdichtungsgrade $7,5$ und $8,0$. Bei der gewählten Auf-

Betriebswerte: TZ-Temp. = 450°C konst. R-Stoff 19 mm³/Hub konst. $p_i = 126 \text{ ata}$ $t_i = 25^\circ\text{C}$ $n = 2750 \text{ U/min}$

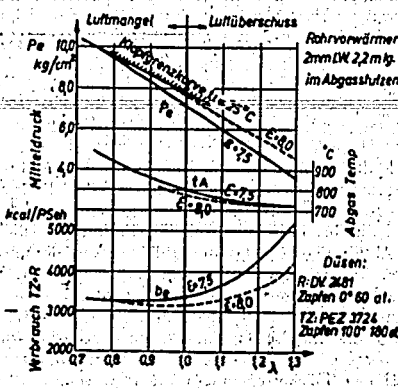


Abb. 14. Jumo 222 E im TZ-R-Betrieb. Einfluß der Verdichtung

*) Siehe LKA-Bericht 6 über TZ-Motorversuche vom 1. 7. 1941.

ladung von 1,26 ata ist und nur 20°C Ansaugluft erreicht. Ohne Aufladungsordnung mit $\epsilon = 7,5$ etwa Gesamtwärmeverbrauch zündung gab der Motor führung frei ansaugend 450°C praktisch noch setzt sind, ist auch der K mäßig hoch und läßt auf schließen.

Hier sei eingeflochten, versuchen in der Überw ches und der Schmieröl fast stets aus den Krafts Olmengenzunahme, nie rates trotz auch äußerlic len festzustellen war. zeigende Schmierölverd nicht zu beobachten, eben Schmierstoffkreislaufes durch verursacht wurde den schon erwähnten gu TZ-Stoffes. Allerdings Verbrennung auch an freien Auspuff

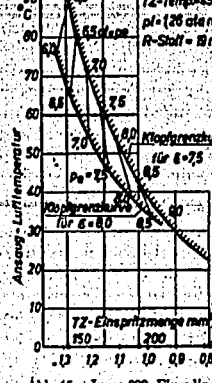


Abb. 15. Jumo 222 Einzylinder. Temperaturabhängigkeit der p_i

Die Abbildung 15 läßt falls 1,26 ata Ladedruck Mitteldruckabfall ist be Die Mitteldruckwerte 1 temperatur für die heute den Lufttemperaturen v tabel tief.

Auch für die Arbeiten sucht, ob die Verbrenn Verbrauch durch Verg bessert werden kann. M der Abbildung 15, daß e von 10 auf 13 Gewichtsp erhöhung und ebenso nu serung des wirtschaftlic Die Hauptversuche sind 10 Gewichtszent R-St Betrieb war ebenso wie wichtsprozent R-Anteil auf Kosten eines starken Interessant ist in der A temperaturabhängigkeit sammenhang mit den Ve offenbar die höheren L bildung des hier wieder TZ-Stoffes mit der Lu

ladung von 1,26 ata ist bereits bei 10 at Mitteldruck und nur 20°C Ansauglufttemperatur die Klopfgrenze erreicht. Ohne Aufladung ließen sich bei gleicher Anordnung mit $\epsilon = 7,5$ etwa 7,5 at bei 2750 kcal/PSch Gesamtwärmeverbrauch erzielen. Mit B 4 und Kerzenzündung gab der Motor bei sonst gleicher Leitungsführung frei ansaugend 9,5 at Mitteldruck her. Da bei 450°C praktisch noch 80 vH des TZ-Stoffes unzeretzt sind, ist auch der Kraftstoffverbrauch noch übermäßig hoch und läßt auf starke Kondensationsverluste schließen.

Hier sei eingeflochten, daß bei unseren Einzylinder- versuchen in der Überwachung des Schmierölverbrauches und der Schmierölbeschaffenheit bei TZ-Betrieb fast stets aus den Kraftstoffniederschlägen eine kleine Ölmengezunahme, nie aber eine Abnahme des Vorrates trotz auch äußerlich vorhandener Ölverlustquellen festzustellen war. Eine in der Viskosität sich zeigende Schmierölverdünnung war dabei jedoch nicht zu beobachten, ebenso wie keine Störungen des Schmierstoffkreislaufes oder Kolbenringstecken dadurch verursacht wurden. Dies rührt wohl her von den schon erwähnten guten Schmiereigenschaften des TZ-Stoffes. Allerdings zeigte sich die mangelhafte Verbrennung auch an dem noch keineswegs rauchfreien Auspuff.

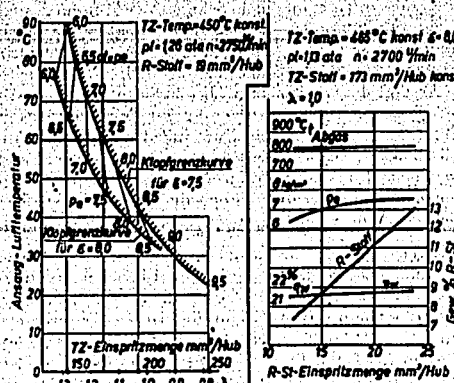


Abb. 15. Juno 222 Einzylinder im TZ-R-Betrieb. Einfluß von Verdichtung, R-St-Menge auf Leistung

Die Abbildung 15 läßt die starke Ansaug-Lufttemperatur-Abhängigkeit der Klopfgrenzkurven bei gleichfalls 1,26 ata Ladedruck erkennen. Der fahrbare Mitteldruckabfall ist bei $\epsilon = 8,0$ besonders auffällig. Die Mitteldruckwerte liegen bei 450°C Kraftstofftemperatur für die heute als Minimum vorauszusetzenden Lufttemperaturen von 80 bis 90°C noch indiskutabel tief.

Auch für die Arbeiten mit TZ 900 haben wir untersucht, ob die Verbrennung und damit Leistung und Verbrauch durch Vergrößerung des R-Anteiles verbessert werden kann. Man sieht aus der rechten Seite der Abbildung 15, daß eine Steigerung des R-Anteiles von 10 auf 13 Gewichtsprozent kaum eine Mitteldruck-erhöhung und ebenso nur eine unwesentliche Verbesserung des wirtschaftlichen Wirkungsgrades brachte. Die Hauptversuche sind daher durchweg mit etwa 10 Gewichtsprozent R-Stoff gefahren worden. TZ-Betrieb war ebenso wie bei Benzin auch mit 5 Gewichtsprozent R-Anteil noch möglich, aber bisher nur auf Kosten eines starken Mitteldruckabfalles.

Interessant ist in der Abbildung 16, welche die Lufttemperaturabhängigkeit nochmals für $\epsilon = 7,5$ in Zusammenhang mit den Verbrauchswerten darstellt, daß offenbar die höheren Lufttemperaturen die Gemischbildung des hier wieder nur auf 450°C erhitzten TZ-Stoffes mit der Luft wesentlich begünstigen, so

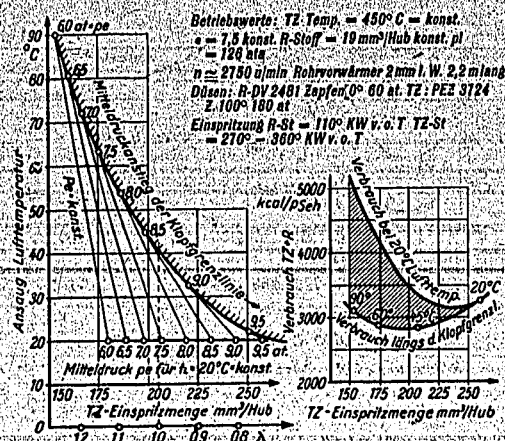


Abb. 16. Juno 222 Einzylinder im TZ-R-Betrieb. Einfluß der Lufttemperatur auf Leistung und Verbrauch

daß sich dadurch längs der Klopfgrenzkurve fast konstante Verbrauchswerte ergeben im Gegensatz zu den für die Abmagerungskurve bei 20°C bestimmten Werten.

Um dem Klopfen bei mittleren Vorwärmtemperaturen entgegenzuwirken, haben wir die verschiedensten Wege eingeschlagen. Ein Verbleien des heißen TZ-Stoffes war wirkungslos, da die klopfhindernde Wirkung von Bleitetraäthyl durch die hohe Vorwärmung fast völlig verlorengeht. Ein Verbleien des R-Stoffes in Höhe von 10‰, was etwa 1‰ Verbleien des Gesamtkraftstoffes entsprach, zeigte zwar eine klopfbremsende Wirkung, setzte zugleich aber die Zündwilligkeit des R-Stoffes, wie zu erwarten, übermäßig herab. Dem Klopfverhalten muß deshalb in erster Linie durch die Behandlung des Hauptkraftstoffes bei der Aufbereitung Rechnung getragen werden, so wie dies bei den Arbeiten zur völligen Zersetzung des TZ zu Isobutylen geschildert wurde. Ebenso ist aber ein weiteres Mitwirken der Chemiker zur Erhöhung der Klopfestigkeit der Sicherheitskraftstoffe dringend erwünscht.

2. Motorversuche bei weitgehender TZ-Zersetzung und anschließender Kühlung des Kraftstoffes

Nachdem es gelungen war, eine weitgehende TZ-Zersetzung bei etwa 600°C im Vorwärmer ohne ständige Verkokungsgefahr zu erzwingen, wurden mit dieser Versuchsanordnung am BMW 801-Einzylinder neue Motorversuche durchgeführt. Die auf Abbildung 17 schematisch angedeutete Versuchsanordnung unterscheidet sich von den bisherigen nur dadurch, daß hinter dem Vorwärmer noch eine Leitungverlängerung als Kühler dem Kühlluftstrom des Zylinders ausgesetzt ist. Sonst wurde auch hier mit der hydraulischen Düse gearbeitet, so daß wie beim Ringverfahren nur 2 Pumpen erforderlich sind und als zusätzliche Bauelemente lediglich Zersetzer und Kühler dazukommen.

Die Abbildung zeigt weiterhin die Ergebnisse von Mitteldruck und zugeordneten Verbrauchswerten. Diese liegen absolut im normalen Gebiet von reinen Benzineinspritzmotoren. Die Versuche sind noch nicht abgeschlossen hinsichtlich der für volle Zersetzung optimalen Vorwärmergröße. Wenn auch die Klopfneigung bei stärkerer Zersetzung wesentlich zurückging, so bleibt sie doch noch zu groß und läßt mit den vorhandenen Motormustern bei $\epsilon = 7,5$ noch keinen Betrieb bis zur Startleistung zu. Ebenso ist der Motor bei relativ kleinen Vorwärmern von etwa 4 m Rohrlänge noch zu labil und nicht ausreichend elastisch.

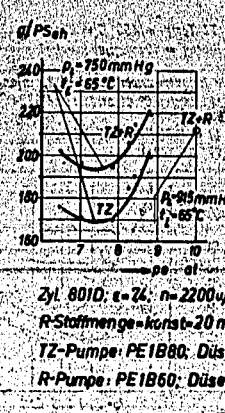


Abb. 17. Verbrauchs- und Leistungskurven (weitgehende Zersetzung)

Verkokungen traten bei 600°C vorwärmern nicht mehr ein, was eine Verkokung beobachtet einwandfrei Erklärung. Jedenfalls zeigen die TZ-Zersetzung, daß das des Motorbetriebes mit TZ-Stoffen gefunden werden können.

Bei der Behandlung des TZ-Stoffes sind schon mehrfach Fragenschnitten. Hier sei die Auslegung der Mengenbereiche und zwangspunkte einzustellen sind. Start: 60 bis 80 mm³/Hub 35° KW voT und im Bereich 14 bis 20 mm³/Hub 100° KW voT benötigt. Normal wie jede Einspritz-erreichbarer Leistungsgrößen auszuliegen und auf einer 360° voT einzustellen sei erfolgt, während bei voll ein fast konstanter Einspritz voT ausreichend ist wegen Kraftstoffaufbereitung, Gemischbildung benötigt.

Besondere Schwierigkeitenstellung, des Regelungsgganges bzw. Zersetzer machen. Die Eigenschaften nur bei je bar sind, andererseits aber geringe weitere Wärmezusetzer führt, ist leider ein Abgaszersetzer so geringen regelnden Eingriff wird hängt auch die Frage, zu des durch den R-Stoffbe-eren Luftüberschußbeir-nutzen können.

Ob bei voller Zersetzung Zündkerzen möglich ist, suchen noch geprüft werden Frage der künftigen Höhen.

C. Steinkohlenteer

Die Anwendung der stoffe bedingt für die ges-unbeträchtliche Umänder-dem gegenwärtigen Sta-längere Versuchsarbeiten.

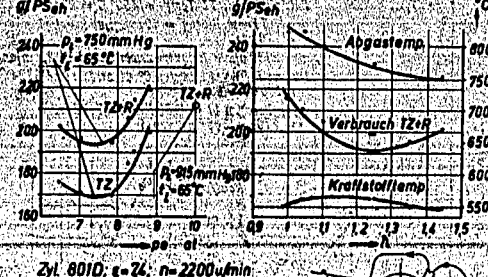


Abb. 17. Verbrauchs- und Temperaturwerte bei R-TZ-Betrieb (weitgehende Zersetzung von TZ)

Zyl. 80/10; $\epsilon = 74$; $n = 2200 \text{ min}^{-1}$
 R-Stammmenge = konst. $20 \text{ mm}^3/\text{Hub}$
 TZ-Pumpe: PE 1860; Düse: Dr 2633
 R-Pumpe: PE 1860; Düse: Einloch $\Delta 3$

Verkokungen traten bei mehrstündigem Betrieb im Vorwärmer nicht mehr ein, während jetzt zeitweise im Kühler eine Verkokung beobachtet wurde, für die noch keine einwandfreie Erklärung abgegeben werden kann.

Jedenfalls zeigen die Versuche bei weitgehender TZ-Zersetzung, daß damit ein Weg zur Erzwingung des Motorbetriebes mit zähflüssigen Sicherheitskraftstoffen gefunden werden kann.

3. Regelgesetz

Bei der Behandlung der vorhergehenden Abschnitte sind schon mehrfach Fragen des Regelungsverhaltens angeschnitten. Hier sei dazu noch erwähnt, daß für die Auslegung der R-Stoffeinspritzpumpen zwei Mengenbereiche und zwei Bereiche der Einspritzzeitpunkte einzustellen sind. Vom R-Stoff werden beim Start 60 bis 80 mm^3/Hub bei Einspritzbeginn etwa 35°KW vor T und im gesamten sonstigen Betriebsbereich 14 bis 20 mm^3/Hub bei Einspritzbeginn etwa 100°KW vor T benötigt. Die TZ-Pumpe würde dagegen normal wie jede Einspritzpumpe mengenmäßig je nach erreichbarer Leistungsgrenze und Verbrauchswerten auszuliegen und auf einen Einspritzbeginn von 270 bis 360°KW vor T einzustellen sein, sofern nur Teilzersetzung erfolgt, während bei voller Zersetzung wahrscheinlich ein fast konstanter Einspritzzeitpunkt von 200°KW vor T ausreichend ist wegen der an sich schon besseren Kraftstoffaufbereitung, die geringere Zeiten zur Gemischbildung benötigt.

Besondere Schwierigkeiten wird noch die Aufstellung des Regelgesetzes für den Vorwärmer bzw. Zersetzer machen. Da wir sahen, daß gute Klopf-eigenschaften nur bei weitgehender Zersetzung erzielbar sind, andererseits aber bei dieser völligen Zersetzung geringe weitere Wärmezufuhr zum Verkokten der Zersetzer führt, ist leider der Temperaturspielraum im Abgaszersetzer so gering, daß man nicht ohne regelnden Eingriff auskommen können. Damit hängt auch die Frage zusammen, ob man den Vorteil des durch den R-Stoffbetrieb an sich möglichen größeren Luftüberschußbetriebes bei Teillast wird ausnutzen können.

Ob bei voller Zersetzung wieder reiner Betrieb mit Zündkerzen möglich ist, muß in weiteren Motorversuchen noch geprüft werden und im Zusammenhang mit der Frage der künftigen Höhenzündung entschieden werden.

C. Steinkohlenteer-Mittelöle im Otto-Motor

Die Anwendung der hochviskosen Sicherheitskraftstoffe bedingt für die gesamte Triebwerksanlage nicht unbedeutliche Umänderungen und erfordert nach dem gegenwärtigen Stand der Entwicklung noch längere Versuchsarbeiten.

Auf Wunsch des RLM sollte daher zunächst einmal durch Stichversuche geprüft werden, ob nicht bei Verzicht auf volle Beschußsicherheit mit dünnflüssigen, aber hochsiedenden Kraftstoffen mit geringen betrieblichen Umänderungen doch bereits ein Fortschritt auf dem Gebiet der Braudsicherheit des Otto-Motors erzielbar wäre. Zu diesen Versuchen wurde ein ungereinigtes Steinkohlenteermittelöl, wie es bei der Hydrierung in der Sumpffphase anfällt, verwandt. Die bisher ergebnislosen Versuche, Steinkohlenteeröl im normalen Dieselmotor zu verarbeiten, ließen beim Otto-Motor von Anfang an große Schwierigkeiten erwarten. Als Kraftstoffaufbereitung diente wiederum ein abgasbeheizter Vorwärmer, der bis zu 500°C Öltemperatur ohne Verkokung betrieben werden konnte.

Infolge der guten Klopf-eigenschaften des Steinkohlenteeröles gelang es hierbei, ohne besondere Anpassungsmaßnahmen im BMW 801 Klopf-frei, Mittel-drücke von 10, at bei 80°C Ladelufttemperatur und Ladedruck $p_1 = 860 \text{ mm HG}$ im Kerzenbetrieb bei dem allerdings schlechten Verbrauch von 260 g/PSch zu erzielen. Selbst wenn man diesen Wert auf 10000 We/kg Kraftstoff zu 235 g/PSch umrechnet, ist daraus noch ein nicht unbedeutlicher Niederschlagsverlust unverdampften Kraftstoffes zu erkennen, der sich auch sofort in einer Schmierölverdünnung und nach etwa 6 Stunden Betrieb in übermäßiger Kolbenringverschmutzung und Ringstecken bemerkbar machte. Bei R-Stoff-Zündung lagen die Verbrauchswerte und die erreichbaren Mittel-drücke etwas günstiger, doch auch hier trat nach kurzer Zeit Ringstecken ein. Zentral angeordnete Düse und Hohlkolben könnten dem Kraftstoffniederschlag entgegenwirken, sind aber beim Flugmotor wegen der hierzu erforderlichen neuen Baumusterentwicklung, um nur eine halbe Sicherheit zu erreichen, wahrscheinlich indiskutabel.

Zunächst sollen die tastenden Versuche mit einem von den harz- und koks-bildenden Phenolen gereinigten, sonst aber gleichen Steinkohlenteermittelöl fortgesetzt werden. Hierbei muß der Brennstoffverdampfung im Zylinder noch mehr Beachtung erwiesen werden als beim TZ-Betrieb wegen der bei Teerölen besonders nachteiligen Schmierölverdünnung. Da die Versuche noch keineswegs abgeschlossen sind, wurden sie im Rahmen dieses Berichtes nur kurz gestreift.

Zusammenfassung

Ich habe versucht, in diesem Bericht einen Überblick zu geben über die Aufgaben, welche für die Verarbeitung von Sicherheitskraftstoffen im Flugmotor der Entwicklung gestellt wurden und über die Wege, die bisher zur Lösung dieser Aufgaben eingeschlagen wurden. Wir sind uns mit der für das Kraftstoffgebiet federführenden Abteilung des RLM einig, daß die Erfolge noch nicht ausreichen, um der Motorenindustrie bereits greifbare Unterlagen für die Anwendung bei bestimmten Motormustern geben zu können. Trotzdem glaubten wir, daß es an der Zeit sei, erstmals einem größeren Kreis von Fachleuten Kenntnis von diesen Arbeiten zu geben und sie hier zur Diskussion zu stellen, um schon jetzt das Verständnis zu erwecken für die bei Einführung der Sicherheitskraftstoffe an die Anpassung der Motormuster zu stellenden Anforderungen. Die Arbeiten zeigen, daß die voraussichtlich benötigten Zusatz-Aggregate in Gewicht- und Bauraumbedarf nicht übermäßig groß sein werden, sicher jedenfalls wesentlich geringer als eine ausreichende Panzerung der Flugzeugtanks.

Der Vorteil der Sicherheitskraftstoffe für unsere militärische und zivile Luftfahrt ist so groß, daß er weitere intensive Entwicklungsarbeit rechtfertigt.

Heinze/Marder
10919 42 23

SONDERDRUCK
OEL UND K
Organ der Deutschen G
Union Deutsche Verlags

Mi
Von Dr. Herbert

L. Verbrauch und Eigenerzeugung
stoffe in Deutschland

Es ist heute zur Gepflogenheit über die deutschen mit einer Gegenüberstellung Erzeugung zu beginnen, um Eigenversorgung gelungen, in noch zu schließen sind. Bei Fragen der Dieselmotorkraftstoff-Gewohnheit um so lieber Gebiete die statistischen Z

Sprache reden.

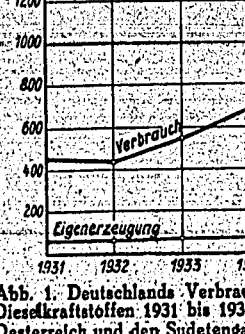


Abb. 1. Deutschlands Verbrauch Dieselmotorkraftstoffen 1931 bis 1937, Oesterreich und den Sudetengau

In der Abb. 1 ist die Verbräufertafel von Heinze und Marder 1937 wiedergegeben. Man sieht die Steigerung der Kraftstoff-gender Verwendung von Dieselmotoren Jahren erfahren hat: vom Jahre 1937 hat sich der Dieselmotoren verdreifacht. Ein besonders in Jahren nach der Machtübernahme Wiederaufstiege zu erkennen. Entwicklung muß jedoch nicht entgegengehalten werden, die Eigenherzeugung an Dieselmotorkraftstoffen Entwicklung in keiner Weise. daß 1937 nahezu 90% des Bedarfs gedeckt werden mußten. Diese Bedarfsdeckung in der allzu rapiden Motorenverwendung, nicht zu den Preislage und Preisbildung, die den Produzenten wenig Anreiz gab, sich die Kraft der Dieselmotorkraftstoffherstellung z. B. der Erzeugung von leichtflüchtigen heimische Erzeugung bestand aus Syntheseverfahren und Zersetzungs-
teer.

¹ Heinze und Marder, Oel und Kraftstoff

OEL UND KOHLE vereinigt mit ERDOEL UND TEER

Organ der Deutschen Gesellschaft für Mineralölforschung, Berlin NW 7, Dorotheenstraße 40
 Union Deutsche Verlagsgesellschaft, Berlin-Roth & Co., Berlin SW 68, Alexandrinenstraße 108

Mischdieselmotoren aus Steinkohlenteeröl

30569

Von Dr. Herbert Köbel, Steinkohlenbergwerk, Rheinpreußen, Homberg-Niederrhein

I. Verbrauch und Eigenherzeugung von Dieselmotoren in Deutschland

Es ist heute zur Gepflogenheit geworden, alle Betrachtungen über die deutsche Kraftstoffversorgung mit einer Gegenüberstellung von Bedarf und eigener Erzeugung zu beginnen, um zu sehen, wie weit die Eigenversorgung gelungen ist oder welche Lücken noch zu schließen sind. Bei einer Betrachtung über Fragen der Dieselmotorenversorgung folge ich dieser Gewohnheit um so lieber, als gerade auf diesem Gebiete die statistischen Zahlen eine eindringliche Sprache reden.

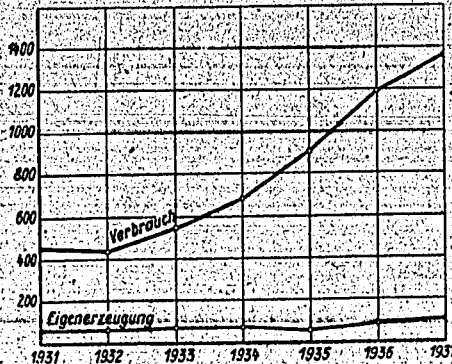


Abb. 1. Deutschlands Verbrauch und Eigenherzeugung an Dieselmotoren 1931 bis 1937, in 1000 t, ohne das Land Oesterreich und den Sudetengau (nach Heinze und Marder)

In der Abb. 1 ist die Verbrauchs- und Erzeugungslinie für deutsche Dieselmotoren nach einer Zahlentafel von Heinze und Marder¹ für die Jahre 1931 bis 1937 wiedergegeben. Man sieht, welche außerordentliche Steigerung der Kraftstoffverbrauch infolge steigender Verwendung von Dieselmotoren in den letzten Jahren erfahren hat: vom Jahre 1931 bis zum Jahre 1937 hat sich der Dieselmotorenverbrauch nahezu verdreifacht. Ein besonders steiler Anstieg ist in den Jahren nach der Machtübernahme und des deutschen Wiederaufstieges zu erkennen. Dieser erfreulichen Entwicklung muß jedoch die bedauerliche Tatsache entgegengehalten werden, daß die deutsche Eigenherzeugung an Dieselmotoren bis 1937 mit dieser Entwicklung in keiner Weise Schritt gehalten hat, so daß 1937 nahezu 90% des Bedarfes durch Einfuhr gedeckt werden mußten. Dieses hat seinen Grund zunächst in der allzu rapiden Entwicklung der Dieselmotorenverwendung, nicht zuletzt aber in der Marktlage und Preisbildung, die bisher dem deutschen Erzeuger wenig Anreiz gab, sich mit der gleichen Tatkraft der Dieselmotorenherstellung zuzuwenden wie z. B. der Erzeugung von leichteren Kraftstoffen. Die heimische Erzeugung bestand 1937 zu 45% aus deutschem Rohöl, zu 34,6% aus Braunkohlenteer, zu 2,8% aus Syntheseverfahren und zu 94% aus Steinkohlenteer.

¹ Heinze und Marder, Oel und Kohle 14, 833 (1938).

II. Steinkohlenteeröl als Dieselmotorenkraftstoff

Von diesen vier Rohstoffquellen hat der Steinkohlenteer im Verhältnis zu seiner Gesamterzeugung den geringsten Anteil, obwohl das Problem der Verwendung von Steinkohlenteeröl als Dieselmotorenkraftstoff fast ebenso alt ist wie der Dieselmotor selbst. Wohl hat sich das Steinkohlenteeröl als Kraftstoff für langsamlaufende Motoren im Laufe der Zeit mit großem Erfolg durchgesetzt. Das Problem der Verwendung für schnelllaufende Motoren kleinerer Leistung — mit dem sich mein heutiger Vortrag ausschließlich befaßt — war jedoch bei Aufnahme unserer Arbeiten technisch noch nicht gelöst. In der Erkenntnis, daß bei dem noch immer steigenden Bedarf auch das Steinkohlenteeröl — anstatt als Heizöl in den Kesselfeuerungen verbrannt zu werden — als Dieselmotorenkraftstoff nutzbar gemacht werden mußte, hat die Gewerkschaft Rheinpreußen sich seit etwa 2½ Jahren, ohne Rücksicht auf wirtschaftliche Erwägungen mit der technischen Herstellung von Mischdieselmotoren aus Steinkohlenteeröl befaßt und als erstes Werk für den schnelllaufenden Fahrzeugdiesel Dieselmotorenkraftstoffe aus Steinkohle auf den Markt gebracht.

Uns liegen heute reiche Erfahrungen vor, sowohl aus wissenschaftlicher Laboratoriumsarbeit als auch aus dem Betrieb und der Motorpraxis, so daß es lohnend erscheint, hier vor fachmännischem Kreise einiges von unserer Arbeit zu berichten, in der Hoffnung, über das allgemeine Interesse hinaus Anregungen für die Durchführung unserer gemeinsamen Anstrengungen um die heimische Kraftstoffversorgung geben zu können.

Die verhältnismäßig geringe Verwendung des Steinkohlenteeröles als Dieselmotorenkraftstoff — besonders für schnelllaufende Motoren — hat zunächst seinen Grund in seiner äußerst geringen Zündwilligkeit, die — wie Zahlentafel 1 zeigt — in der Reihe der heimischen

Zahlentafel 1
 Zündwilligkeit heimischer Dieselmotorenkraftstoffe in Cetanzahlen

Steinkohlenteeröl (Siedekennziffer 300)	20
Braunkohlenteeröl	40—45
Steinkohlenhydrieröl	45
Braunkohlenhydrieröl	45
Erdöl-Dieselmotorenkraftstoff	60—70
Braunkohlenteeröl, Selektiv-Raffinat	60—90
Kogasin II (Fischer-Tropsch-Verfahren)	110—120

Rohstoffe mit einer Cetanzahl von nur 20 den kleinsten Wert aufweist. Daß die Motorenbauer auf einen solchen Stoff nicht allzuviel Liebe verschwendet haben, ist zwar verständlich, jedoch im Interesse der deutschen Kraftstoffversorgung bedauerlich — wie Ihlder² in einem ebenfalls an dieser Stelle gehaltenen Vortrag bereits 1933 mit Nachdruck betont hat. Man hat zwar versucht, durch Brennstoffvorwärmung, Erhöhung des Verdichtungsdruckes, Einbau von Glühkörpern, Kontaktkammern und Kontaktstoffen die Zündgeschwindigkeit von Steinkohlenteeröl zu er-

² Ihlder, Oel und Kohle 1, 127 (1933).

höhen, ohne jedoch für Maschinisten die Schwierigkeit ganz gewissermaßen zu beseitigen. Ein gewisser Erfolg brachte die vorgeschlagene Voreinspritzung von Zündöl in die Brennstoffpumpe. Die Anwesenheit des Zündöls schränkte die Voreinspritzung auf zwei verschiedenen Kraftstoffarten außerordentlich schwierig. Seit hier hat man versucht, die Voreinspritzung in kleineren Mengen leicht explosionsfördernde oxydative Vorbehandlung des Teeröls zu erhöhen, siehe Hartner-Seberich³, Harlner-Seberich⁴, die technische Durchführung die doch meines Wissens auch n-

III. Steinkohlenteeröl als Mischdieselmotorenkraftstoff

Das einfachste Mittel, die Zündwilligkeit des Steinkohlenteeröls zu steigern, ist die Zugabe von leicht zündenden Kraftstoffen, wie Mischdieselmotorenkraftstoffen. Ich will hier den Kernpunkt meines heutigen Vortrages, die Mischungen von Steinkohlenteeröl mit Erdöl, öffentlich machen. Aus den Jahren 1936/37 sind Schutzrechte von Müller und Demann⁵ für die Herstellung von Mischungen von Steinkohlenteeröl im Gemisch mit Erdöl in zwei Jahren wurden von Ullrich⁶ von der Rahrchemie A.-G.⁷ auf den Markt veröffentlicht, die die Herstellung von Mischungen aus Kohleextraktionsrückständen und Steinkohlenteerwasserstoffreichen Kohlenwasserstoffen haben.

Aus den Jahren 1936/37 starb Maercks⁸ über die Verwendung von Erdöl- und Teeröl-Paraffinölen als Dieselmotorenkraftstoff, die näher Beachtung zahlreicher vergleichende Motorenversuche an einem schnelllaufenden 35-PS-Motor mit Teerölen verschiedentlich angestellt, und die Mischung eines hochzündwilligen Teeröls mit Erdöl als Mischdieselmotorenkraftstoff. Die Messung des spezifischen Kraftstoffverbrauches und die Beobachtung der thermischen Wirkungsgrade, die durch Beobachtung der optimalen Mischungsverhältnisse von Erdöl und das motorische Verhalten der Gemische festgestellt. Die Ergebnisse sind sehr anschaulich aus Abbildung 1 der spezifischen Kraftstoffverbr-

³ Vollmer, DRP. 284 406, 220 600.
⁴ Hagemann, DRP. 612 073.
⁵ Hartner-Seberich, Brennstoffe 1937, 10.
⁶ Rappell, Forschungsarbeiten an der RWG, Heft 55 (1908) Berlin.
⁷ Müller und Demann, DRP. 633 989, Fried. Krupp A.-G. über die Teerwertstoffe.
⁸ Ullrich und Pflrmann, F.P. 1936.
⁹ Rahrchemie A.-G., F.P. 818 000.
¹⁰ Maercks, Glückauf 72, 697 (1936).
¹¹ An Stelle des von Maercks als „Paraffinöl“ oder „aliphatisches Kohle-

höhen, ohne jedoch für Maschinen kleinerer Leistung die Schwierigkeit ganz gemeistert zu haben. Einen gewissen Erfolg brachte die von *Vollmer*³ vorgeschlagene Voreinspritzung von Zündöl mit einer zweiten Brennstoffpumpe. Die Anwendung dieser Arbeitsweise blieb aber auch nur auf größere Maschinen beschränkt, da die schnellfolgende Einspritzung von zwei verschiedenen Kraftstoffen in kleinsten Mengen außerordentlich schwierig ist. Von der chemischen Seite her hat man versucht, durch Beimischung geringer Mengen leicht explosibler Stoffe oder durch oxydative Vorbehandlung die Zündwilligkeit der Teeröle zu erhöhen; siehe die Arbeiten von *Hagemann*⁴, *Hartner-Seberich*⁵ und vielen anderen. Zur technischen Durchführung dieser Vorschläge ist es jedoch meines Wissens auch nicht gekommen.

III. Steinkohlenteeröl als Mischdieselmotorenkraftstoff

Das einfachste Mittel, die Zündwilligkeit von Steinkohlenteeröl zu steigern, ist die Beimischung von leichter zündenden Kraftstoffen, die Herstellung von Mischdieselmotorenkraftstoffen; ich komme damit zum Kernpunkt meines heutigen Vortrages. Bereits im Jahre 1908 hat *Rieppel*⁶ Maschinenversuche mit Mischungen von Steinkohlenteeröl und Gasöl veröffentlicht. Aus den Jahren 1928/29 stammen mehrere Schutzrechte von *Müller* und *Demann*⁷ auf die Herstellung lagerbeständiger Dieselmotorenkraftstoffe aus Steinkohlenteeröl im Gemisch mit Gasöl. In den letzten zwei Jahren wurden von *Uhde* und *Pfarrmann*⁸ und von der *Rahrchemie A.-G.*⁹ ausländische Patentschriften veröffentlicht, die die Herstellung von Dieselmotorenkraftstoffen aus Kohleextraktions-, Druckhydrierungsprodukten und Steinkohlenteeröl durch Mischen mit wasserstoffreichen Kohlenwasserstoffölen zum Gegenstand haben.

Aus den Jahren 1936/37 stammen zwei Arbeiten von *Maercks*¹⁰ über die Verwendung von Steinkohlenteerölen und Teeröl-Paraffinöl-Gemischen im Dieselmotor, die nähere Beachtung verdienen. *Maercks* hat zahlreiche vergleichende Motorenversuche in einem schnelllaufenden 35-PS-Mercedes-Benz-Dieselmotor mit Teerölen verschiedener Herkunft und Vorbehandlung angestellt, und zwar mit und ohne Beimischung eines hochzündwilligen Paraffinöles. Durch Messung des spezifischen Kraftstoffverbrauches, des thermischen Wirkungsgrades, der Auspufftemperatur und durch Beobachtung der Auspuffgase wurde das optimale Mischungsverhältnis von Teeröl und Paraffinöl und das motorische Verhalten der verschiedenen Gemische festgestellt. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind sehr anschaulich aus Abb. 2 zu ersehen, in der der spezifische Kraftstoffverbrauch (in g/PS · h) in Ab-

hängigkeit von der Wellenleistung (in PS) dargestellt ist. Die Verbrauchskurven zeigen als allgemeines Merkmal maximale Werte bei Leerlauf, minimalen Verbrauch in einem bestimmten Belastungsbereich und wieder ansteigende Werte bei Vollast bzw. Ueberlast. Teeröl mit dem geringsten Heizwert zeigt den höchsten, Paraffinöl mit dem höchsten Heizwert den

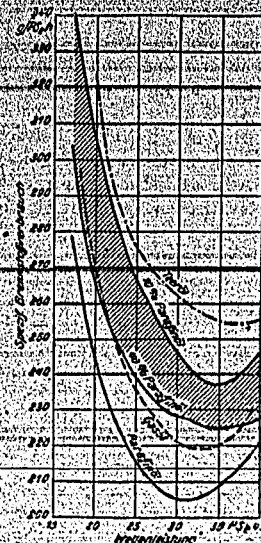


Abb. 2. Spezifischer Brennstoffverbrauch von Teeröl-Paraffinölkohlenwasserstoff-Gemischen (nach Maercks)

niedrigsten Verbrauch, dazwischen liegen die Kurven für Teeröl-Paraffinölgemische und für handelsüblichen Dieselmotorenkraftstoff (Gasöl). Hierbei fällt auf, daß das Verbrauchminimum sich mit fallendem Wasserstoffgehalt des Kraftstoffes nach dem Gebiet der höheren Belastung verschiebt, so daß Teeröl bei höheren Wellenleistungen relativ die beste Kraftstoffausnutzung zeigt. Weiter ist interessant, daß die Verbrauchslinie für Paraffinöl ein scharf ausgeprägtes Minimum in einem engen Belastungsbereich aufweist; die Verbrauchslinie für Teeröl hat dieses ausgesprochene Minimum nicht, der Kraftstoffverbrauch ist über einen weiten Belastungsbereich verhältnismäßig konstant. Wir werden auf diese Erscheinung später noch zurückkommen. *Maercks* stellt als Ergebnis seiner Arbeiten fest, daß ein Zusatz von 10 % Paraffinölkohlenwasserstofföl genügt, um eine vollständige Verbrennung mit klarem Auspuff zu erreichen, für das sichere Anspringen des Motors ist ein Zusatz von 30 bis 40 % erforderlich.

IV. Motorisches Verhalten von Kogasin II

Das von *Maercks* verwendete paraffinische Zusatzöl war Kogasin II, ein über 200° C siedendes, entparaffiniertes Öl, das bei der Benzinsynthese nach *Fischer* und *Tropsch* aus Kohlenoxyd und Wasserstoff erhalten wird. Dieses Kogasin II zeichnet sich — wie allgemein bekannt ist — als Folge seiner rein aliphatischen Struktur bzw. seiner thermischen Unbeständigkeit durch eine von keinem anderen Stoff erreichte Zündwilligkeit aus. Die ersten, die auf die hervorragende Eignung des Kogasin II als Dieselmotorenkraftstoff aufmerksam machten, waren *Hartner-Seberich* und

³ *Vollmer*, DRP. 284 406, 220 659.

⁴ *Hagemann*, DRP. 612 073.

⁵ *Hartner-Seberich*, Brennstoffchemie 14, 141 (1933).

⁶ *Rieppel*, Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ing.-Wesens, Heft 55 (1908) Berlin.

⁷ *Müller* und *Demann*, DRP. 612 810, 617 147, 622 546, 633 989. Fried. Krupp A.-G. übertragen an die Gesellschaft für Teerverarbeitung.

⁸ *Uhde* und *Pfarrmann*, F.P. 819 659, 819 660.

⁹ *Rahrchemie A.-G.*, F.P. 818 056.

¹⁰ *Maercks*, Glückauf 72, 697 (1936); 73, 753 (1937).

¹¹ An Stelle des von *Maercks* gebrauchten irreführenden Ausdrucks „Paraffinöl“ wäre besser „Paraffinölkohlenwasserstofföl“ oder „aliphatisches Kohlenwasserstofföl“ zu setzen.

*Koch*¹² Sie veröffentlichten 1932 bei denen Kogasin II mit gewöhnlichen wurde. Das Ergebnis dieser anschaulichsten der Abb. 3 zu entnehmen thermische Wirkungsgrad und der stoffverbrauch als Funktion der Leistung aufgetragen. Bei Voll- und Ueberlast eine Ueberlegenheit des Kogasin

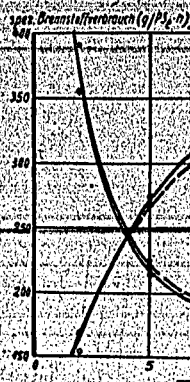


Abb. 3. Motorisches Verhalten von Kogasin II (nach Hartner-Seberich und Koch)

so beträgt bei einer Nutzleistung Wirkungsgrad des Kogasins 0,323, der spezifische Kraftstoffverbrauch 186 g, der des Gasöls 193 g je PS gleichem Heizwert der beiden in Ver- Kraftstoffe. Bei einer Nutzleistung die entsprechenden Werte für d 0,245 gegenüber 0,210, für den spezi- verbrauch 246 g gegenüber 286 g je stätigung dieser Tatsachen ergab sich der Betrachtung der Auspuffgase. In diese schon bei geringer Ueberlast terer Steigerung grau, während sie b Kraftstoff in allen Fällen vollkomm Kogasin II verbrennt also restlos, i Gasöl.

Die Ueberlegenheit des Kogasins erklärlich, wenn man seine chemische

Zahlentafel 2

Eigenschaften von Kogasin II im Vergleich mit handelsüblichen Markendieselmotorenkraftstoffen

Eigenschaften	Kogasin II
d_{40}^0	0,776
Siedebeginn °C	212°
75 % bis °C	295°
Kohlenstoffgehalt	84,8 %
Wasserstoffgehalt	15,2 %
Verkokungsneigung:	
a) Benzinunlöslich	0,00 %
b) Hartasphalt	0,00 %
c) Koks	0,00 %
Cetanzahl	>105
Viskosität °E 20°	1,2
Unterer Heizwert kcal/kg	10 465
Schwefelgehalt	0,00 %
Säurezahl	0,01

¹² *Hartner-Seberich* und *Koch*, Brennstoffchemie 14, 141 (1932).

Koch¹² Sie veröffentlichten 1932 Motorenversuche bei denen Kogasin II mit gewöhnlichem Gasöl verglichen wurde. Das Ergebnis dieser Arbeit ist am anschaulichsten der Abb. 3 zu entnehmen. Hierin ist der thermische Wirkungsgrad und der spezifische Kraftstoffverbrauch als Funktion der motorischen Nutzleistung aufgetragen. Bei Voll- und Ueberlast ist deutlich eine Ueberlegenheit des Kogasin II festzustellen.

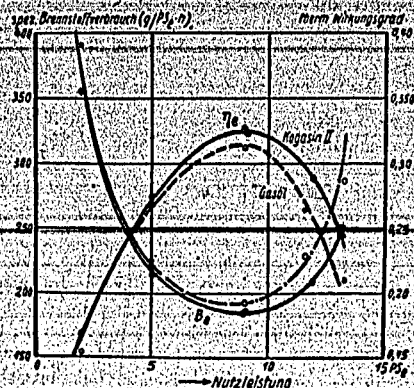


Abb. 3. Motorisches Verhalten von Kogasin II und Gasöl (nach Hartner-Seberich und Koch)

so beträgt bei einer Nutzleistung von 9,04 PS der Wirkungsgrad des Kogasins 0,323, des Gasöls 0,312; der spezifische Kraftstoffverbrauch des Kogasins 186 g, der des Gasöls 193 g je PS · h, und zwar bei gleichem Heizwert der beiden in Vergleich gezogenen Kraftstoffe. Bei einer Nutzleistung von 13,14 PS sind die entsprechenden Werte für den Wirkungsgrad 0,245 gegenüber 0,210, für den spezifischen Kraftstoffverbrauch 246 g gegenüber 286 g je PS · h. Die Bestätigung dieser Tatsachen ergab sich bei vergleichender Betrachtung der Auspuffgase. Bei Gasöl wurden diese schon bei geringer Ueberlast sichtbar, bei weiterer Steigerung grau, während sie beim synthetischen Kogasin II in allen Fällen vollkommen klar blieben. Kogasin II verbrennt also restlos, im Gegensatz zum Gasöl.

Die Ueberlegenheit des Kogasins ist ohne weiteres erklärlich, wenn man seine chemischen und physika-

Zahlentafel 2

Eigenschaften von Kogasin II im Vergleich zu einem ausländischen Markendieselmotorkraftstoff

Eigenschaften	Kogasin II	Ausländischer Markendieselmotorkraftstoff
d_{15}^0	0,776	0,857
Siedebeginn °C	212°	194°
75 % bis °C	295°	305°
Kohlenstoffgehalt	84,8	86,7
Wasserstoffgehalt	15,2	12,5
Verkokungsneigung:		
a) Benzinunlöslich	0,00	0,12
b) Hartasphalt	0,00	0,06
c) Koks	0,00	0,06
Cetanzahl	>105	60
Viskosität °E 20°	1,2	1,3
Unterer Heizwert kcal/kg	10 465	10 110
Schwefelgehalt	0,00	0,21
Säurezahl	0,01	0,28

¹² Hartner-Seberich und Koch, Brennstoffchemie 13, 308 (1932).

lischen Eigenschaften denen eines handelsüblichen Gasöls entgegenhält. An dem hohen Wasserstoffgehalt, der sich in der außerordentlich geringen Dichte des Kogasins II ausdrückt, ist die rein aliphatische Struktur deutlich erkennbar. Dieser hohe Wasserstoffgehalt wirkt sich in fast allen verbrennungstechnischen Daten wie Heizwert, Cetanzahl, Verkokungsneigung gegenüber ausländischem Gasöl in ganz deutlicher Weise aus. Wir haben im Kogasin II einen geradezu idealen Dieselmotorkraftstoff vorliegen, der in sämtlichen Eigenschaften irgendwelche anderen Produkte sei es aus Erdöl, der Kohlenextraktion oder der Hochdruckhydrierung bei weitem übertrifft. Es ist also auch auf dem Gebiete der Dieselmotorkraftstoffe gelungen, einen Kraftstoff zu synthetisieren, der — ähnlich wie das Polymerbenzin — in seinen motorischen Eigenschaften die von der Natur gebotenen Stoffe bei weitem übertrifft. Man kann den Vergleich mit dem Polymerbenzin noch weiter ziehen, mit dem Hinweis darauf, daß das Kogasin II die gleiche Rolle des hochwertigen Zusatzstoffes bei den Dieselmotorkraftstoffen übernehmen wird, wie das Polymerbenzin sie unter den leichten Kraftstoffen heute schon spielt.

V. Mischdieselmotoren aus Steinkohlenteeröl und Kogasin II

Durch die großtechnische Durchführung des Fischer-Tropsch-Verfahrens zog die Kenntnis der überragenden Zündigenschaften des Kogasins II immer weitere Kreise, und so ist es verständlich, daß von vielen Seiten fast gleichzeitig die Anregung kam, durch Mischen von zündträgen Oelen mit Kogasin brauchbare Dieselmotorkraftstoffe herzustellen. Damit war auch das Problem der Verwendung von Steinkohlenteeröl in schnelllaufenden Dieselmotoren in ein entscheidendes Stadium getreten, da jetzt im Kogasin ein Stoff mit genau entgegengesetzten Verbrennungseigenschaften gefunden war, von dem man annehmen mußte, daß er schon in verhältnismäßig geringen Zusätzen die Nachteile des Steinkohlenteeröls ausgleichen konnte.

Alle Vorschläge in dieser Richtung wurden jedoch meistens nicht über Laboratoriums- und Prüfstandsversuche hinaus weiter verfolgt, weil es nicht mit der bloßen Mischung der beiden Komponenten allein getan war. Es stellte sich nämlich bald heraus, daß Kogasin II als rein aliphatisches Kohlenwasserstoffgemisch mehr als irgendein bis dahin bekannter Stoff die Eigenschaft besitzt, aus Teerölen mehr oder weniger schnell Asphaltstoffe auszuschleiden, und zwar in einem solchen Maße, daß eine Lagerung und Verwendung dieser ungereinigten Gemische nicht möglich war. Wenn wir trotz dieser Schwierigkeit die Arbeit auf diesem Gebiete aufgenommen und schließlich erfolgreich durchgeführt haben, so geschah das aus der Erwägung heraus, daß bei einem so großen Bedarf an Kraftstoffen für Dieselmotoren das Kogasin II unter allen Umständen auch trotz seines hohen Preises nicht als Benzin, sondern als Dieselmotorkraftstoff nutzbar gemacht werden mußte. Es erschien uns zumindest unzweckmäßig, aus wirtschaftlichen Gründen einem zum Dieselmotorkraftstoff geradezu prädestinierten Erzeugnis wie dem Kogasin II durch verlustreiches Spalten die genau entgegengesetzten Eigenschaften eines Benzins aufzuzwingen. Wenn nun der hohe Preis des Kogasins II einer

direkten Verwendung als Ersatz für den Teerölbestand und dieser Nachteil weniger teuren Oelen auskam, hierfür nur ein reines Steinkohlenteeröl in Frage, da — wenn auch nur geringe Mengen — die Zündwilligkeit des Teeröls zu erhöhen, der die Zündwilligkeit in dem Mischungsverhältnis vom Steinkohlenteeröl (Cetanzahl 120) aufgetragen

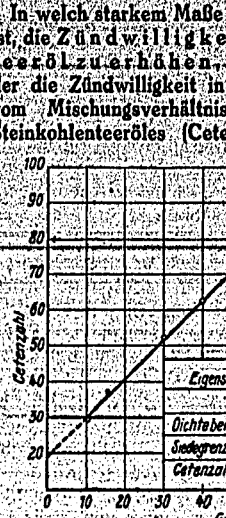


Abb. 4. Zündwilligkeit von Teeröl und Kogasin in Cetanzahl

(Cetanzahl 120) aufgetragen linear infolge Additivität der Komponenten. Diesem Dichtebereich bereits ein Kogasinzusatz die Zündwilligkeit von normal zu erreichen. Bei einem Kogasinzusatz von 50 bis 55 % Kogasin werden, der — bei geeigneter Zündwilligkeit und in allen sonstigen handelsüblichen Dichtebereichen übertrifft. Auf diese Weise können die verschiedensten Teeröle für die verschiedensten Anwendungen verwendet werden, wobei man streng darauf achten muß, daß der Kogasinzusatz möglichst geringen Zusatz von Kogasin wäre — wie schon oft bei den hochzündwilligen Kraftstoffen langsame Dieselmotoren. Ich erwähnte schon, daß die Zündwilligkeit und wirtschaftliche Eigenschaften des Kogasins II mit der Durchföhrung der Versuche das Problem der Mischdieselmotorkraftstoffe aus Kogasin nicht gelöst war. Der bestand weniger in der Schaffung einer Kraftstoffmischung, die den Anforderungen an die Korrosionsneigung,

direkten Verwendung als Dieselmotoren entgegenstand und dieser Nachteil durch Mischen mit anderen, weniger teuren Ölen ausgeglichen werden sollte, so kam hierfür nur ein relativ billiges Öl, das Steinkohlenteeröl in Frage, da nur seine Verwendung eine — wenn auch nur geringe — Aussicht auf Wirtschaftlichkeit bieten konnte.

In welchem Maße nun Kogasin II geeignet ist, die Zündwilligkeit von Steinkohlenteeröl zu erhöhen, geht aus Abb. 4 hervor, in der die Zündwilligkeit in Cetenzahlen als Funktion vom Mischungsverhältnis eines schwerzündenden Steinkohlenteeröles (Cetenzahl 20) mit Kogasin II

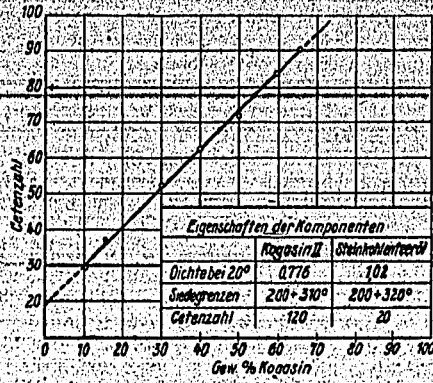


Abb. 4. Zündwilligkeit von Mischungen aus Steinkohlenteeröl und Kogasin in Cetenzahlen, bestimmt im HWA-Motor

(Cetanzahl 120) aufgetragen ist; die Funktion ist linear infolge Additivität der Cetanzahlen der Komponenten. Diesem Diagramm zufolge genügt bereits ein Kogasinzusatz von 38 bis 40%, um die Zündwilligkeit von normalen Dieselmotoren zu erreichen. Bei einem Kogasinzusatz von nur 25% können Kraftstoffe hergestellt werden, die in bezug auf Zündwilligkeit und andere Eigenschaften den Anforderungen des Heereswaffenamtes noch genügen. Auf der anderen Seite kann aus einer Mischung mit 50 bis 55% Kogasin bereits ein Kraftstoff erhalten werden, der — bei geeigneter Herstellung — an Zündwilligkeit und in allen anderen Eigenschaften sonstige handelsübliche Dieselmotoren bei weitem übertrifft. Auf diese Weise können aus den beiden Komponenten Teeröl und Kogasin Dieselmotoren für die verschiedensten Ansprüche hergestellt werden, wobei man streng darauf achten wird, mit einem möglichst geringen Zusatz von Kogasin auszukommen, es wäre — wie schon oft betont wurde — z. B. sinnlos, hochzündwillige Kraftstoffe in großen ortsfesten, langsamlaufenden Dieselmotoren zu verwenden.

Ich erwähnte schon, daß mit der Bestimmung des motorisch und wirtschaftlich tragbaren Kogasinzusatzes und mit der Durchführung von kurzen Motorversuchen das Problem der Herstellung einwandfreier Mischdieselmotoren aus Steinkohlenteeröl und Kogasin nicht gelöst war. Denn die wirkliche Aufgabe bestand weniger in der Herstellung zündwilliger Kraftstoffe aus zündträgem Steinkohlenteeröl als vielmehr in der Schaffung eines Mischdieselmotoren, der den Anforderungen an Lagerfähigkeit, Korrosionsneigung, Mischbarkeit und

Verkokungsneigung in hohem Maße gerecht werden konnte.

Es ist bekannt, daß Steinkohlenteeröle Asphalt, Harz- und Pechstoffe enthalten, die bei empfindlichen, schnelllaufenden Motoren, besonders kleinerer Leistung, zu Verstopfungen der Einspritzdüsen führen. Dieses geht etwa so vor sich, daß an irgendeiner kleinen Stelle der Düsenöffnung sich ein Verkokungskeim bildet, der allmählich zu einem um die Düsenöffnung gelagerten Kranz anwächst, eine einwandfreie Vernebelung verhindert und als Folge davon zu immer weiter steigender Verkokung des Kraftstoffes führt. Die Folge hiervon ist ungleichmäßige Verbrennung, erkennbar am Fallen der Leistung und an stark rauchendem Auspuff, Rückstandsablagerung, Verkleben der Kolbenringe usw. Diese Stoffe mußten also unter allen Umständen auch aus Mischkraftstoffen restlos entfernt werden, da der beschriebene Vorgang unter dem Einfluß der aliphatischen Kohlenwasserstoffe in noch schnellerem Maße vonstatten geht. Die Ausscheidung dieser unerwünschten Stoffe erfolgt nun unter dem Einfluß des Kogasins auch schon bei gewöhnlicher Temperatur, allerdings in einem wesentlich längeren Zeitraum, so daß derartige ungeräucherte Gemische — wie in Fachkreisen ja bekannt ist — nicht lagerfähig sind. Die Hauptschwierigkeit der Entfernung dieser Asphaltstoffe und besonders der Asphaltbildner bestand nun darin, daß diese einerseits zu reaktionsträge sind, um ihre Entfernung in schonender Behandlung ohne große Verluste zu erreichen, daß sie aber andererseits noch reaktionsfähig genug sind, um — besonders unter dem Einfluß des Lichtes — im Laufe der Zeit allmählich zu Asphaltstoffen zu polymerisieren.

Wie kürzlich Moehle¹³ von der Gesellschaft für Teerverwertung berichtete, kann nach den bereits erwähnten Schutzrechten der Friedrich Krupp A.-G. (Müller und Demann) die Lagerfähigkeit von Teeröl-Gasöl-Mischungen durch eine Wärmebehandlung mit und ohne Anwendung von Druck und Katalysatoren erreicht werden. Hinsichtlich der Verkokungsneigung läßt jedoch diese Arbeitsweise nach unseren Erfahrungen besonders für hochbeanspruchte Dieselmotoren noch Wünsche offen.

Ich nehme das Ergebnis unserer Arbeiten vorweg, wenn ich berichte, daß es uns gelungen ist, einige Verfahren ausfindig zu machen, nach denen lagerfähige Dieselmotoren aus Steinkohlenteeröl und Kogasin hergestellt werden können, die sowohl in der Verkokungsneigung als auch in den Verbrennungseigenschaften handelsüblichen Dieselmotoren gegenüber ganz erhebliche Vorzüge aufweisen. Es würde die mir in diesem Vortrag gesetzten Grenzen übersteigen, unsere Verfahren in allen Einzelheiten zu schildern; erwähnt sei nur, daß wir uns mit großem Vorteil das selektive Lösungsvermögen von Kogasin gegenüber Teeröl zunutze gemacht haben. Unsere Verfahren sind nicht nur auf alle Sorten von Steinkohlenteerölen, sondern mit gleichem Erfolg auch auf andere Teeröle, z. B. aus Steinkohlenschwefel und Braunkohlenteer, anwendbar. Die Behandlung ist eine außerordentlich schonende, so daß die ausgeschiedenen Stoffe gewonnen und für andere Zwecke nutzbar gemacht

¹³ Moehle, Technische Mitteilungen, Krupp 5, 38 (1937).

werden können. Die Kosten sind gering. Die behandelten Mischungen sind eine helle, durchsichtige, mit blauer Fluoreszenz, die nicht behandelten Gemische nicht aus. In Abb. 5 ist ein



Abb. 5. Steinkohlenteeröl, nicht behandelt und behandelt

mit einem nicht behandelten Steinkohlenteeröl und Kogasin zeigt die Ausscheidungen nach zwölfmonatiger Lagerung



Abb. 6. Asphaltausscheidung aus behandeltem Teeröl-Kogasin

aus der Flasche hervorgerufen hat. Die Flasche, in der in der g. Kraftstoff aufbewahrt wurde, zeigt ein Bild von der Wirkung und zwar an Hand der

Zahl der Verkokungsneigung von Teerölen vor und nach der Behandlung mit Kogasin

Kogasin Gew. %	vor	nach
40	0,876	0,461
20	0,876	0,415

echt
alt-
ind-
erer
ren-
ner-
nge-
en-
and-
zu
ffes
er-
an
er-
also
ffen
ang
er-
Die
olgt
bei
ent-
igte
der
er-
in
er-
hig
des
alt-
für
eits
-G.
öl-
mit
ren-
ng
Er-
el-
eg,
ge
er-
nd
in
er-
ft-
en.
en
en
vir-
re-
e-
uf
nit
us
d-
ch
e-
ht
7).

werden können. Die Kosten des Verfahrens sind daher gering. Die behandelten Mischdieselmotoren haben eine helle, durchsichtige, gelb- bis rotbraune Farbe mit blauer Fluoreszenz, sie zeichnen sich gegenüber nicht behandelten Gemischen durch schwächeren Geruch aus. In Abb. 5 ist ein Lichtbild von einem behan-



Abb. 5. Steinkohlenteeröl-Kogasin-Mischungen, nicht behandelt und behandelt, nach einjähriger Lagerung

delten und einem nicht behandelten Gemisch von Steinkohlenteeröl und Kogasin wiedergegeben. Abb. 6 zeigt die Ausscheidungen, die das ungereinigte Gemisch nach zwölfmonatiger Lagerung in einer Glas-



Abb. 6. Asphaltausscheidungen von behandelten und nicht behandelten Teeröl-Kogasin-Mischungen nach einjähriger Lagerung

flasche hervorgerufen hat, neben der leeren Lagerflasche, in der in der gleichen Zeit der gereinigte Kraftstoff aufbewahrt wurde. Die Tafel 3 soll Ihnen ein Bild von der Wirkung unserer Arbeitsweise geben, und zwar an Hand der Senkung der Verkokungs-

Zahlentafel 3
Verkokungsneigung von Teeröl-Kogasin-Mischdieselmotoren vor und nach der Raffination (Bestimmung nach Hagemann und Hammerich)

Kogasin Gew. %	40	50	60		
	vor	nach	vor	nach	vor
Benzinlöslich	0,876	0,052	0,743	0,044	0,622
Hartasphalt	0,461	0,030	0,365	0,020	0,301
Koks	0,415	0,022	0,378	0,024	0,321

neigung (nach Hagemann und Hammerich) von Teeröl-Kogasin-Mischungen verschiedenen Mischungsverhältnisses. Man sieht aus diesen Zahlen, daß die Verkokungsneigung der Mischungen nach der Behandlung weniger als den zehnten Teil der Verkokungsneigung vor der Behandlung beträgt. Die einer Cetanzahl von 63 entsprechende Mischung mit 40 % Kogasin hat eine Verkokungsneigung von nur 0,052 % Benzinlöslichem, das sind Werte, wie sie bei gewöhnlichen Braunkohlendieselmotoren überhaupt nicht, bei Erdöldieselmotoren nur in den seltensten Fällen anzutreffen sind.

VL Analytische Daten eines technisch hergestellten Mischdieselmotoren aus Teeröl und Kogasin II

Zahlentafel 4 zeigt die Analysendaten eines solchen nach unserem Verfahren großtechnisch hergestellten Mischdieselmotoren im Vergleich zu den Daten eines ausländischen Markenmotorenkraftstoffes. Die handels-

Zahlentafel 4
Vergleich der Analysendaten von Steinkohlenteeröl-Mischdieselmotorenkraftstoff „R“, (45 zu 55) mit einem ausländischen Markenmotorenkraftstoff

Eigenschaften	Dieselmotorenkraftstoff „R“	Ausländischer Markenmotorenkraftstoff
Spezifisches Gewicht bei 20°	0,860	0,857
Farbe	gelb, blaue Fluoreszenz	braun
Stedekennziffer	260	275
Cetanzahl	82	61,3
Zähigkeit ° E bei 20°	1,20	1,31
Flammpunkt ° C	94	86
Stockpunkt ° C	-20	-30
Filterbarkeit (HWA) bei -8° 20 sek.		
Asche	0,001	0,018
Kohlenstoffgehalt	86,6	86,7
Wasserstoffgehalt	12,2	12,2
Schwefelgehalt	0,22	0,26
Unterer Heizwert kcal/kg	10 080	10 100
Verkokungsneigung (Hagemann und Hammerich):		
a) Benzinlöslich	0,042	0,112
b) Hartasphalt	0,022	0,060
c) Koks	0,020	0,052
Conradsontest	0,004	0,051
Lagerfähigkeit und Mischbarkeit (Marder) Prozentniederschlag (24 Stunden bei 150°)	0,00	0,02
Korrosionsneigung mg Zn (Hammerich)	0,5	1,8

üblichen Kenndaten, wie spezifisches Gewicht, Flammpunkt, Viskosität und Stockpunkt, liegen in beiden Fällen praktisch gleich. Aschegehalt, Schwefelgehalt, Kohlenstoffgehalt, Wasserstoffgehalt und Heizwert bewegen sich ebenfalls in denselben Grenzen. In der Zündwilligkeit ist jedoch eine ganz deutliche Ueberlegenheit des Mischdieselmotorenkraftstoffes zu erkennen, die ihm — wie wir später noch sehen werden — ganz überlegene Verbrennungseigenschaften verleihen. Außerdem liegt die Verkokungsneigung (nach Hagemann und Hammerich) beim Mischdieselmotorenkraftstoff um mehr als 50 % tiefer als bei dem Erdöldieselmotorenkraftstoff, hierdurch ist über das normale Maß hinaus die Sicherheit gegeben, daß an den Einspritzorganen keine Koksansätze gebildet werden und eine einwandfreie Vernebelung des Kraftstoffes stattfindet. Hiermit parallel geht der außerordentlich günstige Conradsontest von nur 0,004 %.

Auf die Lagerfähigkeitseigenschaften näher eingehen. Veranlassung 1. November dieses Jahres veröffentlichte Arbeit, in der nach Koken manche Steinkohlendieselmotoren mit Synthesekraftstoff Maximalfallungswertes nach Ausscheidungen bilden. Bei die nicht nach unserem Verfahren ich dieses auch für doch, um irgendwelchen M beugen, betonen, daß na hergestellte Kraftstoffe aus Kogasin diesen Nachteil n dieselmotorenkraftstoff mit den ober durchaus lagerfähig und n Maximalfallungswertes hervor stimmungsmethode von Ma fähigkeit und Mischbarkeit bestimmt durch Wägung gebildet wird, wenn 5 g des Einwirkung von 200 cm³ K normaler Temperatur ausges chlag soll nicht mehr als 0, von uns beschriebene Mis unter diesen Bedingungen k haben dieselbe Prüfung — Heinze und Marder¹⁾ folgen Temperaturen bis zu 150° unter diesen verschärften B viele andere Dieselmotoren sind keine Ausscheidungen dürfte die Lagerfähigkeit u Kraftstoffe außer Zweifel stehen Schwierigkeiten der Herstellungs aus Steinkohlenteeröl und K

VII. Motorische Eigenschaften des Kraftstoffes aus Teeröl und Kogasin

War schon durch Vergleichsdaten eine gewisse Ueberlegenheit des Kraftstoffes gegenüber dem erkennen, so kann ich die Hand von eingehenden Motorversuchen Herr Dipl.-Ing. Maercks in der Bergschule, Bochum, im ausgeführt hat; bei meinen lege ich die Messungen von Untersuchung gelangten drei zwar Kogasin II, Mischdieselmotorenkraftstoffes R als Motor fand ein Vierzylinder Type OM 65 Verwendung m von 30 bis 35 PS und einer 1450 U/min. Das Gasöl hatte von 0,846 und einen Heizwert Mischdieselmotorenkraftstoff entsprechend 10 075 cal/kg.

Zum Vergleich der Vernebelung wurde der spezifische Kon-

¹⁾ Marder, Öl und Kohle 13,

Auf die Lagerfähigkeits- und Mischbarkeitseigenschaften möchte ich etwas näher eingehen. Veranlassung hierzu gibt mir eine am 1. November dieses Jahres von *Heinze* und *Marder*¹⁴ veröffentlichte Arbeit, in der angegeben wird, daß nach *Roelen* manche Steinkohlenteerkräftstoffe im Gemisch mit Synthesekraftstoffen trotz eines geringen Maximalfällungswertes nach mehrmonatiger Lagerung Ausscheidungen bilden. Bei Mischdieselmotoren, die nicht nach unserem Verfahren behandelt sind, halte ich dieses auch für möglich, ich möchte jedoch, um irgendwelchen Mißverständnissen vorzubeugen, betonen, daß nach unserem Verfahren hergestellte Kraftstoffe aus Steinkohlenteeröl und Kogasin diesen Nachteil nicht zeigen. Der Mischdieselmotoren mit den oben angeführten Daten ist durchaus lagerfähig und mischbar, wie aus dem Maximalfällungswert hervorgeht. Nach dieser Bestimmungsmethode von *Marder*¹⁴ wird die Lagerfähigkeit und Mischbarkeit eines Dieselmotoren bestimmt durch Wägung des Niederschlages, der gebildet wird, wenn 5 g des zu prüfenden Stoffes der Einwirkung von 200 cm³ Kogasin II 24 Stunden bei normaler Temperatur ausgesetzt werden. Der Niederschlag soll nicht mehr als 0,3 Gew.-% betragen. Der von uns beschriebene Mischdieselmotoren bildet unter diesen Bedingungen keinen Niederschlag. Wir haben dieselbe Prüfung — einem Vorschlag von *Heinze* und *Marder*¹⁴ folgend — auch bei höheren Temperaturen bis zu 150° C vorgenommen; auch unter diesen verschärften Bedingungen, unter denen viele andere Dieselmotoren Niederschläge bilden, sind keine Ausscheidungen festzustellen. Hiernach dürfte die Lagerfähigkeit und Mischbarkeit dieser Kraftstoffe außer Zweifel stehen und damit die Hauptschwierigkeiten der Herstellung von Dieselmotoren aus Steinkohlenteeröl und Kogasin II beseitigt sein.

VII. Motorische Eigenschaften eines Mischdieselmotoren aus Teeröl und Kogasin II

War schon durch Vergleich der analytischen Kennzahlen eine gewisse Ueberlegenheit des Mischdieselmotoren gegenüber dem Erdöldieselmotoren zu erkennen, so kann ich die Bestätigung hierfür an Hand von eingehenden Motorenversuchen geben, die Herr Dipl.-Ing. *Maercks* im Maschinenlaboratorium der Bergschule, Bochum, in dankenswerter Weise ausgeführt hat; bei meinen folgenden Ausführungen lege ich die Messungen von *Maercks* zugrunde. Zur Untersuchung gelangten drei Dieselmotoren, und zwar Kogasin II, Mischdieselmotoren R und ein handelsüblicher Dieselmotoren (Gasöl). Da die gute motorische Eignung von Kogasin II bereits eingehend geschildert wurde, kann ich mich auf den Vergleich des Mischdieselmotoren R und Gasöl beschränken. Als Motor fand ein Vierzylinder „Mercedes-Benz“ Type OM 65 Verwendung mit einer Normleistung von 30 bis 35 PS und einer normalen Drehzahl von 1450 U/min. Das Gasöl hatte ein spezifisches Gewicht von 0,846 und einen Heizwert von 10 500 cal/kg, der Mischdieselmotoren entsprechende Werte von 0,846 und 10 075 cal/kg.

Zum Vergleich der Verbrennungseigenschaften wurde der spezifische Kraftstoffverbrauch bei

¹⁴ *Marder*, *Oil und Kohle* 13, 1162 (1937).

steigender Motorleistung gemessen; die Ergebnisse dieser Messungen gehen am anschaulichsten aus der Abb. 7 hervor.

Zunächst ist festzustellen, daß der spezifische Kraftstoffverbrauch beim Gasöl (in g je PS h) trotz des höheren Heizwertes höher liegt als beim Mischdieselmotoren, was auf eine wesentlich schlechtere Verbrennung zurückzuführen ist, die sich auch durch stark rauchenden Auspuff bei Leerlauf und Ueberlast bemerkbar macht. Der Mischdieselmotoren ergab bei allen Belastungen einen

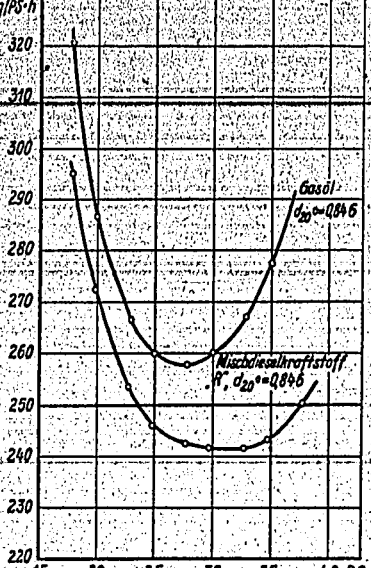


Abb. 7. Spezifischer Kraftstoffverbrauch von Mischdieselmotoren im Vergleich zu einem handelsüblichen Gasöl (nach Messungen von *Maercks*)

klaren, unsichtbaren Auspuff. Der Mehrverbrauch des Gasöls betrug bei Normlast 6,45 %, bei Vollast 13,25 %; bei Ueberlast war ein einwandfreier Betrieb mit Gasöl im Gegensatz zum Mischdieselmotoren nicht mehr möglich. Nichts zeigt aber die Ueberlegenheit des Mischdieselmotoren mehr als die Tatsache, daß der spezifische Kraftstoffverbrauch über den ganzen Belastungsbereich von 25 bis 36 PS beim Mischdieselmotoren wirkt die aromatische Teerölkomponente durch langsamere Verbrennung der allzu heftigen und plötzlichen Verpuffung des Kogasins entgegen; das Ergebnis dieses Ausgleiches der entgegengesetzten motorischen Eigenschaften von Teeröl und Kogasin ist eine sehr weiche Verbrennung, die sich besonders bei hoher Belastung außerordentlich günstig

auswirkt. Dieser, von Komponente hervorgerufen, ist mit der Wirkung des Zins, denn auch hier besteht eine weichere Verbrennung, besonders bei hoher Belastung, die Klopfende Explosion unter den leichten Kraftstoffen. Die Rolle des Ersatzkraftstoffes zum wertvollsten aller Kraftstoffe, dem Steinkohlenteeröl, unter den deutschen Rohstoffen. Als weiteren Indikatoren in Vergleich mit *Maercks* die Temperaturdifferenz der Ersatzkraftstoffe, die um so niedriger ist, desto besser die Verbrennungseigenschaften ergeben — wie Maße das Bild einer

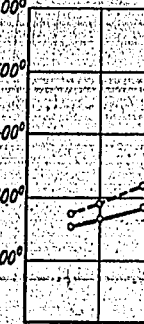


Abb. 8. Vergleich der Auspufftemperaturen von Gasöl und Mischdieselmotoren

Mischdieselmotoren. Die Temperaturdifferenz der Kraftstoffe bis zu 100° C Gasöl bei einer Belastung von 100 PS, beim Mischdieselmotoren proportional, vollkommener Verlauf der beiden Verbrauchskurven. Ein ganz ähnliches Bild ergibt die Messungen der Verbrennungseigenschaften von *Maercks* gemessen an der Auspuffgase.

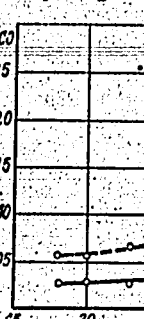


Abb. 9. Vergleich der spezifischen Kraftstoffverbräuche von Gasöl und Mischdieselmotoren

auswirkt. Dieser, von der aromatischen Gemischkomponente hervorgerufene Effekt ist fast vergleichbar mit der Wirkung des Zusatzes von Benzol zu Benzin, denn auch hier bewirkt die aromatische Komponente eine weichere Verbrennung und vermeidet besonders bei hoher Belastung eine vorzeitige, harte und klopfende Explosion. Es ist bekannt, daß das Benzol unter den leichten Kraftstoffen einmal die klägliche Rolle des Ersatzkraftstoffes gespielt hat, um später zum wertvollsten aller leichten Kraftstoffe aufzusteigen — dem Steinkohlenteeröl wäre eine analoge Entwicklung unter den Dieselmotoren im Interesse der deutschen Rohstoffversorgung nur zu wünschen.

Als weiteren Indikator für die Verbrennungseigenschaften der in Vergleich gezogenen Kraftstoffe benutzt Maercks die Temperatur der Auspuffgase, die um so niedriger liegt, je besser die Verbrennung ist. Diese Messungen der Auspufftemperaturen ergeben — wie Abb. 8 zeigt — in gleichem Maße das Bild einer besseren Verbrennung des

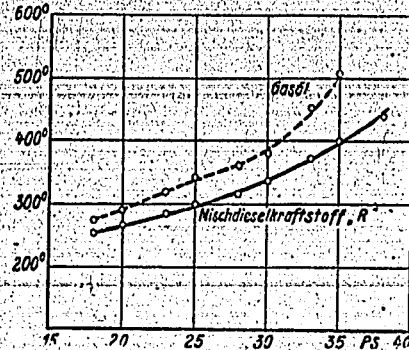


Abb. 8. Vergleich der Auspufftemperaturen von Gasöl und Mischdieselmotoren „R“

Mischdieselmotoren. Bei voller Belastung beträgt die Temperaturdifferenz der Auspuffgase beider Kraftstoffe bis zu 100°C, die Temperatur steigt beim Gasöl bei einer Belastung von 30 PS plötzlich steil an, beim Mischdieselmotoren ist das Ansteigen stetig und proportional, vollkommen entsprechend dem Verlauf der beiden Verbrauchskurven.

Ein ganz ähnliches Bild bekommt man von den Verbrennungseigenschaften beider Stoffe, wenn man die von Maercks gemessenen Kohlenoxydgehalte der Auspuffgase in Abhängigkeit von der Be-

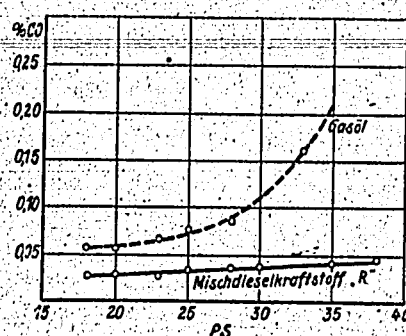


Abb. 9. Vergleich der CO-Gehalte der Auspuffgase von Gasöl und Mischdieselmotoren „R“

lastung aufrägt, wie das in Abb. 9 geschehen ist. Zunächst fällt auf, daß der Kohlenoxydgehalt der Auspuffgase des Mischdieselmotoren um mindestens 45% tiefer liegt als die Werte für Gasöl. Weiter nimmt die Kohlenoxydkurve des Mischdieselmotoren entsprechend der besseren Verbrennung über den ganzen Belastungsbereich hinweg einen geraden, stetigen Verlauf, die Werte liegen zwischen 0,028 und 0,036% CO. Bei der Kohlenoxydkurve der Gasölpuffgase beobachten wir wieder denselben Verlauf wie bei dem Diagramm der Verbrauchszahlen und Auspufftemperaturen: Im Bereich voller Belastung findet auch hier ein plötzlicher Anstieg statt. Minimal- und Maximalwert des Kohlenoxydgehaltes der Auspuffgase liegen beim Gasöl mit 0,055 und 0,16% wesentlich höher als beim Mischdieselmotoren.

VIII. Praktische Erfahrungen aus dem Fahrbetrieb

Die durch die Analysendaten erkennbaren und durch die motorischen Prüfstandversuche gemessenen ausgezeichneten Verbrennungseigenschaften des Mischdieselmotoren haben sich in der nunmehr eineinhalbjährigen Fahrpraxis voll und ganz bestätigt. Mehrere große Autobusgesellschaften fahren seit dieser Zeit ausschließlich mit Mischdieselmotoren aus Steinkohlenteerölen, auch an den Tankstellen unserer Gesellschaft wird im engeren Umkreis der Erzeugungstätte seit eineinhalb Jahren Mischdieselmotoren R mit Erfolg in den Handel gebracht. Von

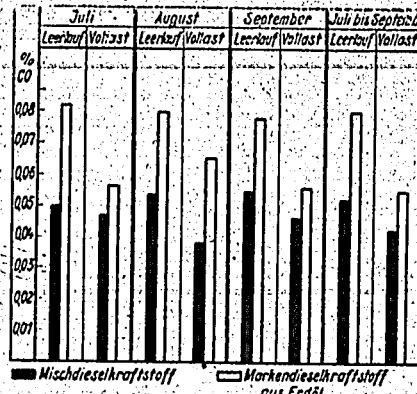


Abb. 10. CO-Gehalt der Auspuffgase von sechs Diesellokomotiven, Durchschnitt über dreimonatige Betriebsdauer (220 Analysen)

den Fahrern wird als besonders vorteilhaft das gute Startvermögen in der Kälte, das leichte Reagieren des Motors bei Geschwindigkeitssteigerungen, die gute Zugkraft und der fast unsichtbare, rauchlose Auspuff gerühmt. Anfang des nächsten Jahres hoffen wir, mit der großtechnischen Erzeugung zu beginnen, da die praktischen motorischen Erfahrungen mit diesem Kraftstoff ausgezeichnet waren.

Mit besonderem Erfolg wird der Mischdieselmotoren R in Diesellokomotiven der Bergwerksbetriebe unter Tage verwendet, wo ein möglichst geringer Kohlenoxydgehalt der Auspuffgase erwünscht ist. Auch hier hat sich in längerer Betriebszeit auf Grund seiner günstigen Verbrennungseigenschaften der Dieselmotoren aus Steinkohlenteer- und Kogasin Erdölkraftstoffen nicht nur als gleichwertig,

sondern in bezug auf die Kohlenoxydpuffgase als durchaus überlegen. Die Zahlen stellen den Durchschnitt der Analysen dar, die während des Dauerbetriebes mit sechs Locomotiven (Benz-Motoren) unter regelmäßigen Abständen gemacht wurden. Ein namhafter Kohlenoxydstoff mit der Dichte von 0,61 verwandt. Der angegebene Kohlenoxydstoff R entstammte mehreren Proben, die die Dichte von durchschnittlich 0,55 bis 0,55% Kogasin ergaben. Der Unterschied im Verlauf des Kohlenoxydgesetzes im laufenden Motor zutage, die Kohlenoxydpuffgase des Mischdieselmotoren R ergaben vom Erdöl-Vergleichsmotoren verkleinert sich der Kohlenoxydträger, aber beim Mischdieselmotoren Durchschnitt 78% des Kohlenoxydtragers. Ein weiterer Vergleich der Kohlenoxydpuffgase in zwei Diesellokomotiven der Maschinenfabrik, DDL, genommen, die etwa vier Wochen lang und dem anderen Kohlenoxydtrager das Ergebnis dieses Vergleiches gegeben. Auch hier ist de-

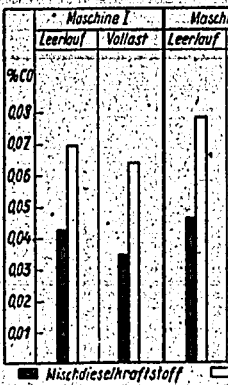


Abb. 11. CO-Gehalt der Auspuffgase von zwei Diesellokomotiven, Durchschnitt je 30-tägigen

Verbrennung des Mischdieselmotoren ist als die des Markendieselmotoren Vollaast beträgt der Kohlenoxydträger nur 60% der Werte des Markendieselmotoren.

Die Bestimmung des Kohlenoxydtragers gibt — wie wir vorgehen — einen guten Anhaltspunkt für den Charakter eines Dieselmotoren. Die Bestimmung des Kohlenoxydtragers gibt — wie wir vorgehen — einen guten Anhaltspunkt für den Charakter eines Dieselmotoren. Die Bestimmung des Kohlenoxydtragers gibt — wie wir vorgehen — einen guten Anhaltspunkt für den Charakter eines Dieselmotoren.

ist. Zu-
er-Aus-
deinsten
Weiter
elkraft-
ng über
eraden,
028 und
Gasöl-
Verlauf
und
elastung
linimal-
er Aus-
0,16 %
ff.

trieb-
en und
essen
des
unmehr
estätigt.
seit
stofften
stellen
eis der
diesel-
ht. Von

2022
last

Diesel-
triebs-

as gute
gieren
n, die
hlose
hoffen
ginnen,
n mit

alkraft-
e r g-
wo ein
ffgase
riebs-
eigen-
er und
wertig,

sondern in bezug auf die Kohlenoxydarmut der Auspuffgase als durchaus überlegen erwiesen, wie aus Abb. 10 zu entnehmen ist. Die hier wiedergegebenen Zahlen stellen den Durchschnitt von 220 Auspuffanalysen dar, die während eines vierteljährlichen Dauerbetriebes mit sechs Diesellokomotiven (Mercedes-Benz-Motoren) unter gleichen Bedingungen in regelmäßigen Abständen gezogen wurden. Als Vergleichsstoff wurde ein namhafter Markendieselmotorenkraftstoff mit der Dichte von 0,857 und einer Cetanzahl von 61 verwendet. Der angewandte Mischdieselmotorenkraftstoff R entstammte mehreren Herstellungsläufen, er hatte die Dichte von durchschnittlich 0,860 und eine Durchschnitzzetanzahl von 80, entsprechend einem Anteil von 50 bis 55 % Kogasin. Am deutlichsten tritt der Unterschied im Verbrennungsgrad bei leerlaufendem Motor zutage, hier enthält der Auspuff des Mischdieselmotorenkraftstoffes nur 66 % des Kohlenoxydanteiles vom Erdöl-Vergleichsdieselmotorenkraftstoff. Bei Vollast verkleinert sich der Unterschied etwas, beträgt aber beim Mischdieselmotorenkraftstoff auch nur im Durchschnitt 78 % des Wertes vom Erdöl-Vergleichsdieselmotorenkraftstoff.

Ein weiterer Vergleich wurde mit den gleichen Diesellokomotiven (Bauart Ruhrtaaler-Maschinenfabrik, DDLS₄ 60 bis 70 PS) unternommen, die etwa vier Wochen abwechselnd mit dem einen und dem anderen Kraftstoff gefahren wurden, das Ergebnis dieses Vergleiches ist in Abb. 11 wiedergegeben. Auch hier ist deutlich sichtbar, daß die

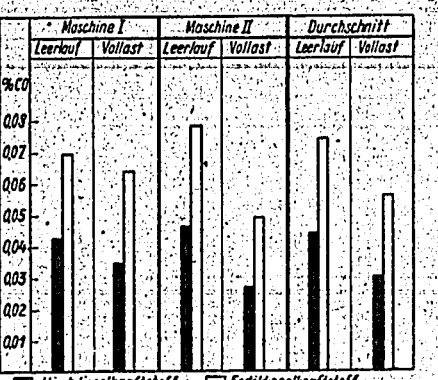


Abb. 11. CO-Gehalt der Auspuffgase zweier 70-PS-Diesellokomotiven, Durchschnitt von 70 Analysen einer je 30tägigen Laufzeit

Verbrennung des Mischdieselmotorenkraftstoffes weitergehend ist als die des Markendieselmotorenkraftstoffes, bei Vollast beträgt der Kohlenoxydanteil des Auspuffgases vom Mischdieselmotorenkraftstoff nur 54,5 %, bei Leerlauf nur 60 % der Werte des Vergleichskraftstoffes.

Die Bestimmung des Kohlenoxydanteiles der Auspuffgase gibt — wie wir vorhin gesehen haben — einen guten Anhaltspunkt für den Verbrennungscharakter eines Dieselmotorenkraftstoffes. Aus den außerordentlich günstigen Werten des Mischdieselmotorenkraftstoffes ist zu schließen, daß die Gefahr der Bildung eines Verbrennungsrückstandes und der als Folge davon häufig auftretenden Kolbenringverklebung und Schmierölverdickung hier weniger zu befürchten ist als bei anderen Kraftstoffen, die eine so weitgehende Verbrennung nicht aufweisen. Diese Eigenschaft ist

um so höher einzuschätzen, als gerade beim Dieselmotor der Verbrennungscharakter des Kraftstoffes ausschlaggebend ist für Leistung und Lebensdauer.

In meinen Ausführungen habe ich die analytischen und motorischen Eigenschaften hochwertiger Mischdieselmotorenkraftstoffe mit einer über dem Durchschnitt liegenden Güte mitgeteilt, um zu zeigen, mit welchem Erfolg und wie weit das bisher zu wenig beachtete Steinkohlenteeröl für Dieselmotoren nutzbar gemacht werden kann. Derartig hochwertige Kraftstoffe werden natürlich nur für Sonderzwecke eingesetzt werden. Es wäre durchaus verfehlt, solche Kraftstoffe für eine allgemeine Verwendung in Motoren jeder Umdrehungszahl zu propagieren, das hieße noch einmal den gleichen Fehler begehen wie bei der Entwicklung der Otto-Motoren, wo durch übersteigerte Qualitätsforderungen an den Kraftstoff dem Bau von hochgezüchteten und empfindlichen Motoren Vorschub geleistet und damit die Rohstoffbasis für Kraftstoffe außerordentlich geschmälert wurde. Man wird also bestrebt sein, zugunsten der Mengensteigerung die Güte der Kraftstoffe dem jeweiligen Verwendungszweck vorsichtig anzupassen, unter Innehaltung der bisher üblichen Qualität. Gerade bei der Herstellung von Mischdieselmotorenkraftstoffen ist diese Möglichkeit der Gütestufung in einfachster Weise gegeben.

Im Rahmen dieses Vortrages und der mir gesetzten Grenzen konnte ich nur einen allgemeinen Ausschnitt und hier und da einige Einzelheiten aus diesem Arbeitsgebiet wiedergeben, ich glaube aber, Ihnen durch Mitteilung einiger Laboratoriumsergebnisse, Prüfstandsversuche und fast zweijähriger Betriebserfahrung den Beweis erbracht zu haben, daß Steinkohlenteeröl als hochwertiger Mischdieselmotorenkraftstoff auch für empfindliche, schnelllaufende Fahrzeugdieselmotoren nutzbar gemacht werden kann. Wir hoffen, damit zu einem kleinen Teil dazu beigetragen zu haben, die Lücke zwischen dem Bedarf und der Eigenherzeugung deutscher Dieselmotorenkraftstoffe zu verkleinern.

Am Schlusse meiner Ausführung möchte ich nicht verfehlen, an dieser Stelle Herrn Generaldirektor Bergassessor Kost für die vielfachen persönlichen Anregungen und die weitsichtige Förderung unserer Arbeiten freundlichst zu danken.

Zusammenfassung

Die Verwendung von Steinkohlenteeröl war bis vor kurzem fast nur in langsamlaufenden Dieselmotoren möglich. Durch Mischung mit hochzündwilligem Kogasin II und einer Behandlung nach eigenem Verfahren werden aus Steinkohlenteeröl Dieselmotorenkraftstoffe für schnelllaufende, empfindliche Maschinen hergestellt, die die höchsten Anforderungen an Zündwilligkeit, Verkokungsneigung, Lagerfähigkeit und Mischbarkeit erfüllen. Nach Prüfstandsversuchen und einer einhalbjährigen Fahrpraxis zeichnen sich Mischdieselmotorenkraftstoffe aus Steinkohlenteeröl und Kogasin II vor Erdölmotorenkraftstoffen aus durch: hohe Zündwilligkeit bzw. leichtes Starten, geringe Verkokungsneigung, restlose Verbrennung über einen weiten Belastungsbereich bzw. gutes Anziehen bei Geschwindigkeitssteigerungen, klare Auspuffgase mit sehr geringem Kohlenoxydanteil und verhältnismäßig niedrigem Kraftstoffverbrauch bei voller Belastung und Ueberbelastung des Motors.

Einheitliches auf d

Bericht aus dem Forschungsbereich

Nach den heutigen
insofern ein eindeutiger
umgekehrt. Dieser

Stand der Erkenntnisse nung im Motor

Bei der motorischen
im Fall der Selbstzündung
unterscheiden:

1. die Vorgänge bei
wozu neben der Aus-
Kraftstoffes auch
2. die Vorgänge nach
die Flammensausbrei-
nungsablauf.

Die zur Zündung füh-
vollziehen sich im motorischen
Wärmereaktion, die pro-
tionen verbunden ist. In
Schwindigkeit, die zum
Zündung größere Werte
durch die Temperatur-
andererseits durch die A-
die Zusammensetzung u-
stoffes, bestimmt.

Bei der Umsetzung de-
verfahren entspricht die
Zündverzögerung, d. h. die
Einspritzung und erster
einflußt mit seiner zeitliche
grad und die Schnelllauf-
harte und damit die Tri-
tors.

Bei der zweiten Ums-
breitung, pflanzt sich vor-
strahlung hoher Temper-
strahlung, durch Diffu-
verbranntes Gas sowie v-
zone in das Frischgas. In
Bei der Verbrennung im
gemeinen keine geschlo-
Die zweite Umsetzungs-
samten Umsatz durch v-
geschwindigkeit erfährt.
wird die Geschwindigkeit
lich von motorischen Ein-
die Einspritzgesetzmäßig-
verfahren. Ferner zeigt
Drucksteigerungsgeschwin-
durch die Länge seines

Einheitliches Prüfverfahren für Diesel- und Ottokraftstoffe auf der Grundlage der Zündverzugsmessung

Von H. Ernst und O. Widmaler

Bericht aus dem Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart

Nach den heutigen Erkenntnissen besteht zwischen der Zündwilligkeit und der Klopfestigkeit eines Kraftstoffes insofern ein eindeutiger Zusammenhang, als mit der Erhöhung der Zündwilligkeit die Klopfestigkeit abnimmt und umgekehrt. Dieser Zusammenhang gibt die Möglichkeit, auf der Grundlage der Zündverzugsmessung ein einheitliches Prüfverfahren für Diesel- und Ottokraftstoffe zu schaffen.

Stand der Erkenntnisse über die Zündung und Verbrennung im Motor

Bei der motorischen Umsetzung des Kraftstoffes sind im Fall der Selbstzündung zwei Umsetzungsstufen zu unterscheiden:

1. die Vorgänge bei der Entwicklung der Zündung, wozu neben der Aufheizung und Verdampfung des Kraftstoffes auch chemische Umsetzungen zählen;
2. die Vorgänge nach der Zündung, im wesentlichen die Flammenausbreitung und der weitere Verbrennungsablauf.

Die zur Zündung führenden chemischen Umsetzungen vollziehen sich im motorischen Betrieb in Form einer Wärmerreaktion, die praktisch immer mit Kettenreaktionen verbunden ist. Demnach ist die Umsetzungsgeschwindigkeit, die zunächst klein ist und erst bei der Zündung größere Werte annimmt, einerseits vor allem durch die Temperatur und den Druck im Brennraum, andererseits durch die Art der Umsetzungsvorgänge, also die Zusammensetzung und die Eigenschaften des Kraftstoffes, bestimmt.

Bei der Umsetzung des Kraftstoffes nach dem Dieselverfahren entspricht die erste Stufe der Umsetzung dem Zündverzug, d. h. dem Zeitraum zwischen Beginn der Einspritzung und erster Zündung. Der Zündverzug beeinflusst mit seiner zeitlichen Ausdehnung den Wirkungsgrad und die Schnellaufeigenschaften; ferner die Ganghärte und damit die Triebwerksbeanspruchung des Motors.

Bei der zweiten Umsetzungsstufe, der Flammenausbreitung, pflanzt sich vom Zündkern aus eine Verbrennungsfreie Front hoher Temperatur durch Wärmeleitung und -strahlung, durch Diffusion von Frischgas in bereits verbranntes Gas sowie von aktiven Teilchen der Brennzonen in das Frischgas, im unverbrannten Gemisch fort. Bei der Verbrennung im Dieselmotor kann sich im allgemeinen keine geschlossene Flammfront ausbilden. Die zweite Umsetzungsstufe wird daher aus dem gesamten Umsatz durch Verfolgen der Drucksteigerungsgeschwindigkeit erfaßt. Im Gegensatz zum Zündverzug wird die Geschwindigkeit der Drucksteigerung wesentlich von motorischen Einflüssen bestimmt, so z. B. durch die Einspritzgesetzmäßigkeit und das Gemischbildungsverfahren. Ferner zeigt sich, daß im allgemeinen die Drucksteigerungsgeschwindigkeit für einen Kraftstoff durch die Länge seines Zündverzugs bereits festliegt.

Grundlagen der Bewertung der Kraftstoffe

Die Eignung eines Kraftstoffes für die motorische Umsetzung im Dieselmotor bewertet man deshalb nach seinem Zündverzug.

Der für den Ottomotor geeignete Kraftstoff wird dagegen allgemein nach seiner Klopfestigkeit bewertet, wobei die Klopfgrenze mit Hilfe eines Springstab-Klopfanzeigers unter festgelegten Bedingungen bestimmt wird. Die Ottokraftstoffe werden heute bekanntlich auf diese Weise nach dem CFR- und IG-Prüfverfahren auf ihre Klopfestigkeit untersucht. Beide Verfahren liefern übereinstimmende Werte.

Da das Klopfverhalten jedoch außer von dem Aufbau des Kraftstoffes auch noch von der Bauart des Motors und den Betriebsbedingungen abhängt, die sehr verschieden sein können, entsprechen die so gefundenen Prüfwerte nicht immer dem Verhalten des Kraftstoffes in der Praxis. Diese mangelnde Übereinstimmung bildet den Anlaß zu weiteren Untersuchungen und Vorschlägen [1].

Für die motorische Untersuchung von Dieselmotoren läßt sich aus dem Schrifttum zwar eine Reihe von Prüfverfahren entnehmen, ein einheitliches Verfahren wurde jedoch noch nicht eingeführt. Der Wunsch nach einem einheitlichen Prüfverfahren für Dieselmotoren ist deshalb besonders dringend.

Zusammenhang zwischen Zündwilligkeit und Klopfestigkeit

Boerlage hat als einer der ersten darauf hingewiesen, daß zwischen Zündwilligkeit und Klopfestigkeit ein Zusammenhang besteht [1a]¹⁾. Diesen Zusammenhang bestätigen auch die neuen Ergebnisse der Forschung auf dem Gebiet des Klopfens [2]. Demnach ist das Klopfen als reiner Selbstzündungsvorgang in Form einer Druckzündung anzusehen. Daraus folgt, daß auch der Ottokraftstoff im Grenzfall des Klopfens, der für seine Bewertung maßgebend ist, unter den Bedingungen der Selbstzündung umgesetzt wird. Die Klopfestigkeit des Kraftstoffes kann deshalb als Umkehrung der Zündwilligkeit angesehen werden. Je klopfester ein Kraftstoff ist, desto größer ist sein Zündverzug, und umgekehrt.

¹⁾ Die in eckigen Klammern eingefügten Zahlen weisen auf die im Schrifttum-Verzeichnis am Schluß dieses Aufsatzes angeführten Veröffentlichungen hin.

Auf Grund d...
auch den Otto...
also unmittelba...
Auch vom pra...
wünscht, für...
Klopfestigkeit...
des Kraftstoffes...
stellen. Es wür...
fachtung bedeu...
Motorenarten...
schaften mit ei...
fassen könnte...
den heutigen E...

An die Stelle...
Prüfverfahren...
stoffe läßt sich...
verfahren setze...
verfahren diese...
diese Weise ist...
hang von Okt...
reinen Kohlenv...
fassen. Währen...
Länge der Kohle...
nimmt die Cetan...
kann nach dies...
stoffe unmittel...
sung des Zündv...
bewerten, wobe...
hohen Klopfes...
chen würde; be...
erhaltene Cetan...
ten Beziehungen...
zurechnen. Bei...
die Oktanzahl...
der Zündverzug...
indem Iso-Oktan...
gleichkraftstoff...

Das Ziel der A...
institut für Kra...

²⁾ Die Untersu...
des Reichsverke...
Über die Ergebni...
Schriftenreihe „I...
berichtet.

2

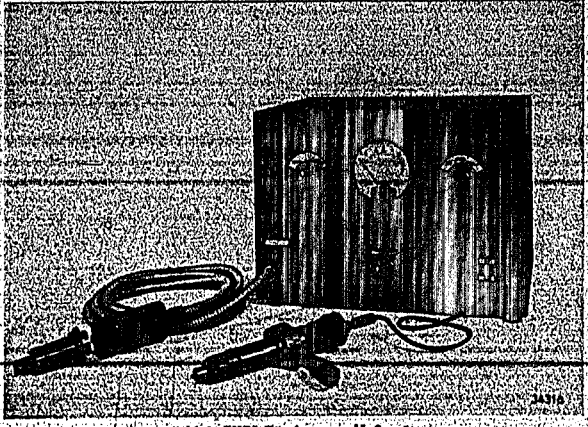


Bild 1. FKFS-Zündverzugs-Meßgerät

Auf Grund dieser Erkenntnisse ist es naheliegend, auch den Ottokraftstoff im Druckzündungsverfahren, also unmittelbar nach seinem Zündverzug, zu bewerten. Auch vom praktischen Gesichtspunkt aus wäre es erwünscht, für Otto- und Dieselkraftstoffe einmal die Klopfestigkeit, das andere Mal die Zündwilligkeit des Kraftstoffes im gleichen Motor festzustellen. Es würde eine wesentliche Vereinfachung bedeuten, wenn man die für beide Motorenarten wichtigen Kraftstoffeigenschaften mit einer einzigen Kenngröße erfassen könnte. Diese Möglichkeit ist nach den heutigen Erkenntnissen gegeben.

An die Stelle der bisherigen verschiedenen Prüfverfahren für Otto- und Dieselkraftstoffe läßt sich damit ein einheitliches Prüfverfahren setzen, indem bei allen Kraftstoffen der Zündverzug gemessen wird. Auf diese Weise ist es möglich, den Zusammenhang von Oktanzahl und Cetanzahl bei reinen Kohlenwasserstoffen genau zu erfassen. Während die Oktanzahl mit der Länge der Kohlenwasserstoffketten zunimmt, nimmt die Cetanzahl entsprechend ab. Man kann nach diesem Verfahren Dieselkraftstoffe unmittelbar nach der aus der Messung des Zündverzugs ermittelten Cetanzahl bewerten, wobei eine niedrigere Cetanzahl einer hohen Klopfestigkeit (Oktanzahl) entsprechen würde; bei Ottokraftstoffen wäre die erhaltene Cetanzahl auf Grund der bekannten Beziehungen in Oktanzahleinheiten umzurechnen. Bei Ottokraftstoffen kann aber die Oktanzahl auch unmittelbar mit Hilfe der Zündverzugsmessung bestimmt werden, indem Iso-Oktan und Normal-Heptan als Vergleichskraftstoffe verwendet werden.

Das Ziel der Arbeiten, die im *Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeug-*

*) Die Untersuchungen werden im Auftrage des Reichsverkehrsministeriums durchgeführt. Über die Ergebnisse wird ausführlich in der Schriftenreihe „Deutsche Kraftfahrtforschung“ berichtet.

motoren an der Technischen Hochschule Stuttgart über diese Zusammenhänge durchgeführt werden, ist die Grundlagen für die Einführung eines einheitlichen Prüfverfahrens für Diesel- und Ottokraftstoffe sowohl von der motorischen Seite als auch von der Kraftstoffseite zu klären.)*

Beschreibung des einheitlichen Prüfverfahrens

Für die Durchführung der Zündverzugsmessungen stand das im Stuttgarter Forschungsinstitut entwickelte Zündverzugsmeßverfahren zur Verfügung. Bei diesem Verfahren werden der Einspritzpunkt mit einem elektrischen Kontakt, der Entflammungspunkt mit einer Photozelle durch ein Quarzfenster erfaßt und als Stromstöße dem

Gerät zugeleitet, an dem der Zündverzug unmittelbar in ¹⁰ KW abgelesen werden kann, Bild 1 (9).

Als Motor dient der FKFS-Dieselprüfmotor mit 1000 cm³ Hubraum bei unmittelbarer Einspritzung (Bild 2). Für die Kraftstoffprüfung werden im allgemeinen folgende Betriebsbedingungen eingestellt:

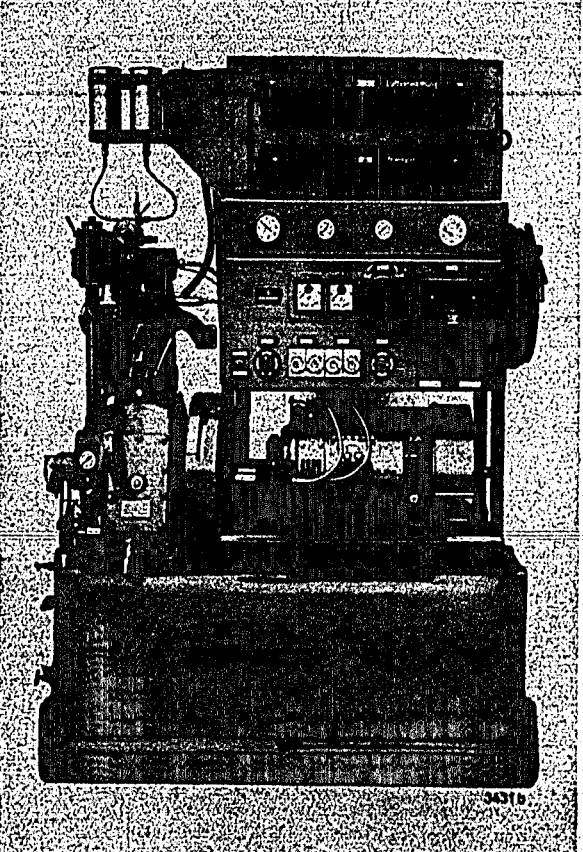


Bild 2. FKFS-Kraftstoffprüfatand

- 1. Drehzahl 1800
- 2. Voreinspritzverhältnis 1,5
- 3. Verdichtungsverhältnis 18
- 4. Temperatur der Zylinderluft vor der Einspritzung 70 °C
- 5. Temperatur des Kühlwassers 70 °C
- 6. Einspritzmenge 100 mg
- 7. Einspritzdruck 100 bar

Bei der Prüfung wird die Drehzahl und die übrigen Betriebsbedingungen im allgemeinen konstant gehalten. Temperatur der Abgasen wird verzichtet, werden eine mit dem Schwachspritzkontakt gesteuerte

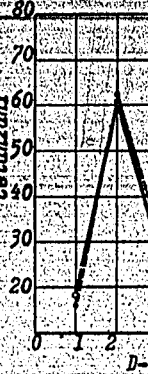


Bild 3. Cetanzahlverlauf

Für das Arbeiten der Einspritzanlage elektrisch vorgeschaltet, um sich gezeigt, daß bei größeren Einspritzmengen Das angeführte Kraftstoffes bereits Bild 3 sind Prüfergebnisse verschiedener Zusammenhänge ist; die zwei Meßergebnisse.

Meßergebnisse an

Mit dem beschriebenen Verfahren wurde an Gemischen Iso-Oktan- und Normal-Heptan an Iso-Oktan- und Normal-Heptan die Zündverzugszeiten bei einer geradlinig verlaufenden Klopfestigkeit und Zündverzugszeiten dieser Zusammenhänge großen Kraftstoffes sowohl die zugehörigen Zündverzugszeiten zu bestimmen. Die Ergebnisse früher ermittelte aufgestellte Beziehungen

Der Zusammenhang zwischen Zündverzugszeiten und Cetanzahl für Kraftstoffe verwendet

1. Drehzahl 1800 U/min
2. Voreinspritzwinkel 18° KW
3. Verdichtungsverhältnis 13
4. Temperatur der Ansaugluft 45° C
5. Temperatur des Kühlwassers und des Schmieröles 70° C
6. Einspritzmenge 35 mm³/Hub
7. Einspritzdruck 180 atü

Bei der Prüfung ist besonders auf genaue Einhaltung der Drehzahl und des Spritzbeginns zu achten, während die übrigen Betriebsgrößen geringeren Einfluß haben. Im allgemeinen kann auf eine genaue Einhaltung der Temperatur der Ansaugluft und des Einspritzdruckes verzichtet werden. Zur genauen Spritzanzeig wurde eine mit dem Schwungrad umlaufende, durch den Einspritzkontakt gesteuerte Glühlampe angebaut.

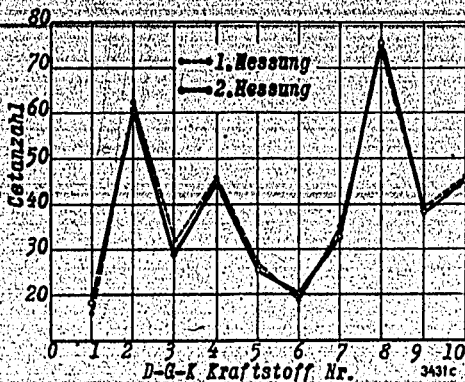


Bild 3. Cetanzahlen von 10 IG-Kraftstoffen und Übersicht über die Meßgenauigkeit.

Für das Arbeiten mit Ottokraftstoffen wurde der Dieseleinspritzanlage eine zusätzliche Kraftstoffförderpumpe vorgeschaltet, um Störungen des Einspritzvorganges durch Dampfblasenbildung zu vermeiden. Weiterhin hat sich gezeigt, daß beim Betrieb mit Ottokraftstoffen eine größere Einspritzmenge notwendig ist.

Das angeführte Prüfverfahren hat sich für Diesekraftstoffe bereits seit längerer Zeit gut bewährt [4]. In Bild 3 sind Prüfergebnisse von 10 Diesekraftstoffen verschiedener Zusammensetzung angeführt. Man erkennt, daß die Wiederholbarkeit der Ergebnisse gut ist; die zwei Meßreihen ergeben nur sehr geringe Abweichungen.

Meßergebnisse an Ottokraftstoffen

Mit dem beschriebenen Zündverzugsmeßverfahren wurde an Gemischen aus Cetan und Alphamethylnaphthalin der jeweilige Zündverzug ermittelt und mit den an Iso-Oktan- und Normalheptanmischungen gemessenen Zündverzügen verglichen (Bild 4). Daraus ergibt sich ein geradliniger Zusammenhang zwischen Klopf-festigkeit und Zündwilligkeit des Kraftstoffes. Auf Grund dieser Zusammenhänge ist es möglich, für einen beliebigen Kraftstoff durch Bestimmung des Zündverzugs sowohl die zugehörige Oktanzahl als auch die Cetanzahl zu bestimmen. Die von Boerlage [1a] und Wilke [2] bereits früher ermittelten Werte ordnen sich gut in die aufgestellte Beziehung ein.

Der Zusammenhang zwischen den ebenfalls als Eichkraftstoffe verwendeten Mischungen aus Reinbenzol und

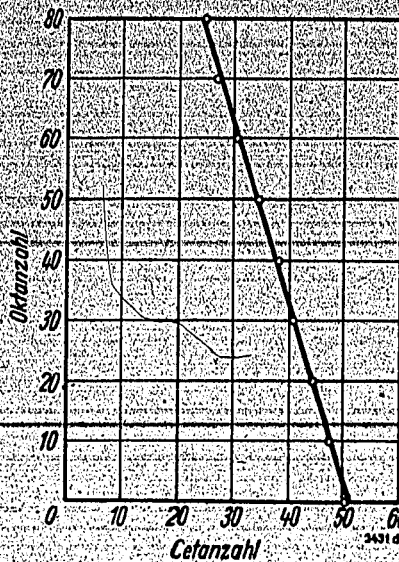


Bild 4. Zusammenhang zwischen Oktan- und Cetanzahl.

IG-Eichbenzin und Mischungen aus Cetan- und Alphamethylnaphthalin ist in Bild 5 dargestellt. Daraus ergibt sich wiederum eine geradlinige Abhängigkeit zwischen der Cetanzahl und dem Benzolwert.

Auf Grund der Zündverzugsmeßergebnisse an Gemischen aus Iso-Oktan und Normalheptan sowie Reinbenzol und IG-Eichbenzin wurde eine Verhältniskurve von Iso-Oktan zu Reinbenzol aufgestellt (Bild 6), die sich ebenfalls als Gerade herausstellte. Die Nachprüfung einzelner herausgegriffener Punkte der Geraden durch Zündverzugsmessungen bestätigte ihre Richtigkeit. Außerdem war hier eine weitere Nachprüfung möglich, weil vom IG-Prüfmotor eine entsprechende Kurve vorhanden war [6]. Diese Kurve ist ebenfalls in Bild 6 eingezeichnet.

Man sieht, daß die beiden Kurven im oberen Bereich der Oktanzahl (50 bis 100) fast übereinstimmen. Die

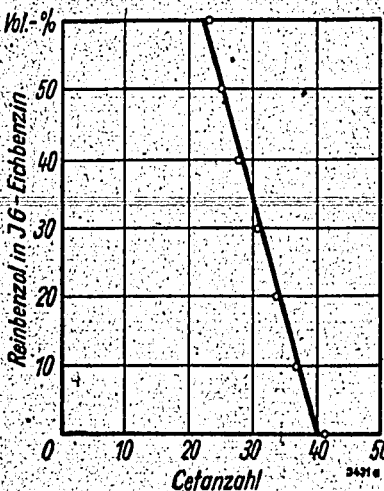


Bild 5. Zusammenhang zwischen Reinbenzol-Eichbenzin-Gemischen und Cetan-Alpha-methylnaphthalin-Gemischen (Cetanzahl).

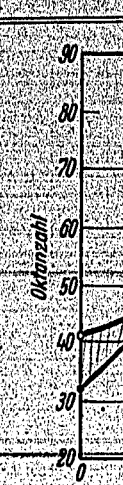


Bild 6. Zusammenhang zwischen Oktanzahl und Cetanzahl.

Unterschiede liegen nach oben ab. Die Art des Springst die Oktanzahlen den [6]. Die starke Einstimmung der weist jedenfalls, Größenordnung mäßigem Zusam Kraftstoffes steht

Schließlich wu lichen Ottokrafts nach dem FKFS mit dem am IG gleichen. Hierbei Kraftstoffen der mit dem entspre mittel und dan (Bild 4) die Ok nähernd eine Üb Verfahren ermitt

Für die Oktan baren Kraftstoffe zugehörige Cetan ermittelt werden, Cetan-Geraden ei bestimmung ein

Beurteilung

Kraftstoff
Cetan-Eichgemisch V 7
Cetan-Eichgemisch V 53
Cetan-Eichgemisch V 20
Cetan-Eichgemisch V 40
Cetan-Eichgemisch

30580

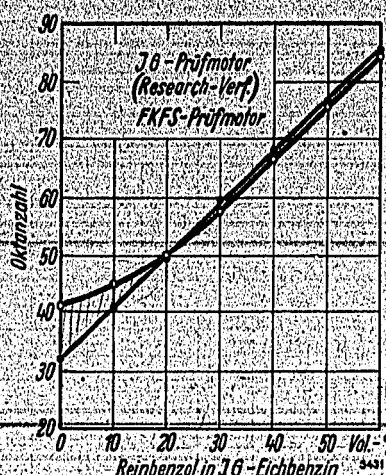


Bild 6. Zusammenhang zwischen Iso-Oktan-Normalheptan-Gemischen (Oktananzahl) und Reindenzol-Eichbenzin-Gemischen

Unterschiede liegen hier innerhalb der Meßfehlergrenzen. Weiter unten biegt die Kurve des IG-Motors nach oben ab. Diese Abweichung ist wohl auf die Eigenart des Springslafs zurückzuführen, mit dessen Hilfe die Oktananzahl am IG-Prüfmotor festgestellt werden (6). Die starke Ähnlichkeit und teilweise sogar Übereinstimmung der beiden Versuchskurven in Bild 6 beweist jedenfalls, daß die Meßergebnisse in der richtigen Größenordnung liegen und der Zündverzögerung in gesetzmäßigem Zusammenhang mit der Klopfintensität des Kraftstoffes steht.

Schließlich wurde noch eine Reihe von handelsüblichen Ottokraftstoffen verschiedener Zusammensetzung nach dem FKFS-Verfahren geprüft und die Ergebnisse mit den am IG-Prüfmotor festgestellten Werten verglichen. Hierbei wurde bei den zu untersuchenden Kraftstoffen der Zündverzögerung gemessen, durch Vergleich mit dem entsprechenden Eichgemisch die Cetanzahl ermittelt und dann mit Hilfe der Cetan-Oktan-Kurven (Bild 4) die Oktananzahl bestimmt. Es ergab sich annähernd eine Übereinstimmung mit den nach dem IG-Verfahren ermittelten Oktanwerten (Zahlentafel 1).

Für die Oktananzahlbestimmung von leicht verdampfenden Kraftstoffen nach dem FKFS-Verfahren muß die zugehörige Cetanzahl mit möglichst großer Genauigkeit ermittelt werden, da bei dem steilen Verlauf der Oktan-Cetan-Geraden einem geringen Fehler in der Cetanzahlbestimmung ein wesentlich größerer Fehler in der Ok-

tanzahl entspricht. Die Meßgenauigkeit der Cetanzahlbestimmung kann dadurch erhöht werden, daß der zu untersuchende Kraftstoff unmittelbar mit den Eichmischungen gleicher Cetanzahl verglichen wird.

Vorteilhaft bestimmt man deshalb die Oktananzahl von Ottokraftstoffen unmittelbar mit Iso-Oktan-Normalheptan-Mischungen.

Zusammenfassung

Wie die durchgeführten Untersuchungen zeigen, ist mit dem FKFS-Zündverzugsprüfverfahren grundsätzlich die Möglichkeit gegeben, in kurzer Zeit sowohl Diesel-, als auch Ottokraftstoffe an einem Prüfmotor auf ihren Zündverzögerung zu prüfen und daraus durch Vergleich mit den Bezugskraftstoffen die Cetanzahl der Kraftstoffe zu bestimmen.

Die Ottokraftstoffe werden hierbei in gleicher Weise wie die Dieseldieselkraftstoffe in den Brennraum eingespritzt, wobei Dampfblasenbildung durch eine Kühlanordnung oder neuerdings eine Benzinzubringerpumpe am Motor verhindert wird. Eine einfache Beziehung zwischen Oktananzahl und Cetanzahl, die für den FKFS-Prüfmotor aufgestellt wurde, ermöglicht es, zu jeder Cetanzahl sofort die Oktananzahl zu ermitteln. Eine größere Genauigkeit bei der Oktananzahlbestimmung wird dadurch erreicht, daß der Prüfkraftstoff unmittelbar mit Gemischen aus Iso-Oktan und n-Heptan verglichen wird.

Das FKFS-Prüfverfahren kommt gegenüber den bisherigen Prüfverfahren mit einem Prüfmotor für alle Kraftstoffe aus und gestattet eine schnellere Bestimmung ihrer Zündwilligkeit oder Klopfintensität. Für Dieseldieselkraftstoffe ist es schon jetzt ausreichend erprobt, so daß es allgemein angewendet werden kann. Für Ottokraftstoffe hat die bisherige Erprobung keine grundsätzlichen Schwierigkeiten gezeigt, so daß es an der Zeit ist, eine Erprobung auf breiterer Grundlage vorzunehmen.

[3431 a—f]

[1] K. Dehn u. H. H. Berg, MTZ Bd. 2 (1940), Heft 9, S. 289.
[1a] G. D. Boerlage und J. J. Broeze, Zündung und Verbrennung im Dieselmotor, VDI-Forsch.-Heft 366, Berlin 1934. Vgl. auch Wa. Ostwald, Z. f. angew. Chem. 1922, S. 278.

[2] W. Wilke, Z. VDI, Bd. 82 (1938), S. 778. — H. Ernst, ATZ, Bd. 42 (1938), S. 213. — H. Weinhart, Das Klopfen im Ottomotor, Luftfahrtforschung, Band 16 (1939), S. 74. — W. Wilke, ATZ, Bd. 43 (1940), Nr. 6, S. 148.

[3] K. Stalger, Deutsche Kraftfahrtforschung, Zwischenbericht 35 (1939).

[4] O. Widmayer, Untersuchung von Kraftstoffen nach verschiedenen Prüfverfahren, Öl und Kohle, Band 41 (1939), S. 761.

[5] W. Wilke, Beiheft zu der Zeitschrift des VDCh, Nr. 33 (1939).

[6] W. Wilke, Z. VDI, Bd. 82 (1938), S. 1135.

Zahlentafel 1

Beurteilung von Ottokraftstoffen nach dem FKFS-Verfahren und dem IG-Verfahren hinsichtlich der Oktananzahl

Kraftstoff	Messung am FKFS-Motor			IG-Prüfmotor Oktananzahl	Unterschied in Einheiten der Oktananzahl
	gemessener Zündverzögerung °KW	Zündverzögerung- Mittelwert °KW	Cetan- zahl		
Cetan-Eichgemisch 30	17,4—17,6	17,5	—	—	—
V 7	18,0—19,1	19,0	25,5	78,0	+4
Cetan-Eichgemisch 20	21,6—21,8	21,7	—	—	—
V 53	18,2—18,3	18,25	27,5	71,0	-4,4
Cetan-Eichgemisch 30	17,4—17,6	17,45	—	—	—
V 20	20,2—20,4	20,3	22,5	87,5	-3,6
V 40	22,5—23,0	22,7	18,5	98,5	+4,5
Cetan-Eichgemisch 20	21,8—22,0	21,9	—	—	—

Druck der Deutschen Verlags-Anstalt Stuttgart

Unte

Forsch

Für Dieseldieselkraftstoff aber erst gebräuchlichen Dieseldieselkraftstoff

Für die motorische Zündwilligkeit in Ottokraftstoff bewerten zu können. Die Abstimmung der physikalischen Kraftstoffes verhältnis mit seinem Verhältnis des Kraftstoffes im verschiedenen Verfahren mehr oder weniger

Die anstrengende fordert, daß Vergleich an möglichst vielen um die verhältnismäßig lernen. Die nächsten ergebnisse des Stuttgarter wesen und Fahrzeug

Zur Bewertung der Zündwilligkeit mit den Kraftstoffen verglichen. Kraftstoff Cetan (C₁₆) Unbeständigkeit durch Träger Bezugskraftstoff. Die Verwendung der stoffe gründet sich stoffe, z. B. Cetan, die stoffe, wie z. B. α-Methylphenol haben. Zwischen gliedern sich die Dieseldieselkraftstoffe ein.

Die Zündwilligkeit von Ottokraftstoffen, die sogenannten „Cetanzahl“ gibt die Zündwilligkeit α-Methylnaphthalin als prüfende Kraftstoff

Zur Untersuchung der Zündwilligkeit sind zur Verfügung, die wurden:

1. Dichtverfahren nach
 2. Motorisches HWA
 3. Motorisches FKFS
- Die einzelnen Prüfverfahren sind beschrieben und die da

1. Dichte-Verfahren
Die Zündwilligkeit von Ottokraftstoffen, die sogenannten „Cetanzahl“ gibt die Zündwilligkeit α-Methylnaphthalin als prüfende Kraftstoff

Comparison of cetane methods

16

Untersuchung von Dieseldieselkraftstoffen nach verschiedenen Prüfverfahren

Von Dr. O. Widmayer,
Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart

Für Dieseldieselkraftstoffe besteht ein starkes Bedürfnis nach einem einheitlichen Prüfverfahren. Eine Entscheidung kann hier aber erst auf Grund eingehender Vergleichsmessungen mit den heute vorhandenen Prüfverfahren und den gebräuchlichen Dieseldieselkraftstoffen getroffen werden. Im folgenden werden die Ergebnisse von Vergleichsprüfungen an 12 Dieseldieselkraftstoffen nach drei verschiedenen Verfahren wiedergegeben.

Für die motorische Eignung eines Dieseldieselkraftstoffes ist seine Zündwilligkeit in erster Linie maßgebend. Um einen Dieseldieselkraftstoff bewerten zu können, muß man demnach seine Zündwilligkeit kennen. Diese Kenntnis kann man sich durch Bestimmung der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Kraftstoffes verschaffen, soweit diese einen Zusammenhang mit seinem Verhalten im Motor haben und soweit dieser Zusammenhang bekannt ist, oder durch unmittelbare Prüfung des Kraftstoffes im Motor. Für beide Arten der Prüfung sind verschiedene Verfahren entwickelt worden, deren Ergebnisse mehr oder weniger miteinander übereinstimmen.

Die anstrebende Vereinheitlichung des Prüfverfahrens erfordert, daß Vergleichsprüfungen nach den einzelnen Verfahren an möglichst vielen Dieseldieselkraftstoffen durchgeführt werden, um die verhältnismäßige Genauigkeit der Verfahren kennenzulernen. Die nachstehend wiedergegebenen Untersuchungsergebnisse des Stuttgarter Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren sind ein Beitrag dazu.

Zur Bewertung der Dieseldieselkraftstoffe wird gewöhnlich ihre Zündwilligkeit mit der eines Gemisches von zwei Bezugskraftstoffen verglichen. Hierzu dient als zündfreundiger Vergleichskraftstoff Cetan (C₁₈H₃₈), das aber neuerdings wegen seiner Unbeständigkeit durch Cetan (C₁₈H₃₄) ersetzt wird. Als zündträger Bezugskraftstoff wird α-Methylnaphthalin verwendet. Die Verwendung der beiden genannten Stoffe als Bezugskraftstoffe gründet sich darauf, daß paraffinische Kohlenwasserstoffe, z. B. Cetan, die höchste und aromatische Kohlenwasserstoffe, wie z. B. α-Methylnaphthalin, die niedrigste Zündwilligkeit haben. Zwischen diesen beiden reinen Kohlenwasserstoffen gliedern sich die Dieseldieselkraftstoffe hinsichtlich ihres Zündverhaltens ein.

Die Zündwilligkeit von Dieseldieselkraftstoffen wird in der sogenannten „Cetanzahl“ (Cetanzahl) ausgedrückt. Diese Zahl gibt die Zündwilligkeit eines Gemisches aus Cetan (Cetan) und α-Methylnaphthalin an, das dieselbe Zündwilligkeit wie der zu prüfende Kraftstoff aufweist.

Zur Untersuchung standen dem Institut 12 Dieseldieselkraftstoffe zur Verfügung, die nach folgenden drei Verfahren geprüft wurden:

- 1. Dichtoverfahren nach Heinze und Marder,
- 2. Motorisches HWA-Verfahren,
- 3. Motorisches FKFS-Verfahren.

Die einzelnen Prüfverfahren werden im Anschluß kurz beschrieben und die damit erhaltenen Werte mitgeteilt.

1. Dichte-Verfahren nach Heinze und Marder

Die Zündwilligkeit von Dieseldieselkraftstoffen läßt sich nach Heinze und Marder¹⁾ in einfacher Weise aus der Dichte (genauer: der Wichte) und der Siedekennziffer des zu untersuchenden Kraftstoffes bestimmen. Früher wurde an Stelle der Dichte der spezifische Parachor²⁾ verwendet. Der spezifische Parachor p

ist ein von Sugden³⁾ aufgestellter physikalischer Stoffwert, der sich aus der Dichte d und der Oberflächenspannung σ folgendermaßen ergibt:

$$p = \frac{\sigma^2}{d}$$

Wie aus der Arbeit von Marder⁴⁾ hervorgeht, genügt es jedoch für die Zwecke der Technik völlig, Dichte und Siedekennziffer zur Zündwilligkeitsbestimmung heranzuziehen.

Nach der Dichtemethode wird die Cetanzahl in folgender einfacher Weise bestimmt⁵⁾:

Mit Hilfe von Aräometern, die nach der in Abbildung 1 dargestellten Cetanzahl-Dichte-Abhängigkeit entwickelt wurden,

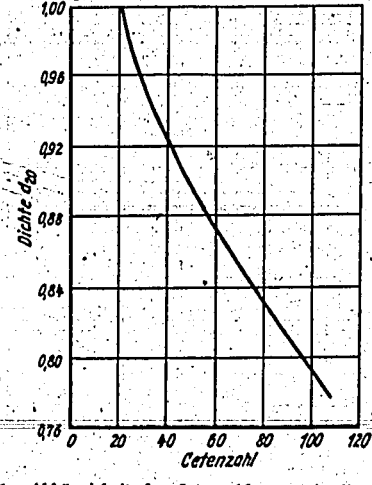


Abb. 1: Abhängigkeit der Cetanzahl von Dieseldieselkraftstoffen von der Dichte bei 20° (d₂₀) b. d. Bezugsiedekennziffer 300.

wird der Rechenwert CZ₃₀₀, der die Cetanzahl von Kraftstoffen der Siedekennziffer 300 angibt, abgelesen und in folgende Gleichung eingesetzt:

$$CZ = CZ_{300} - (300 - KZ) \cdot f$$

1) M. Marder u. P. Schneider, Automob.-techn.: Z. 40, 195 [1937].

2) S. Sugden, Journ. chem. Soc. London 125, 1177 [1924].

3) M. Marder, Oel u. Kohle 11, 1, 41, 75 [1935].

4) M. Marder, Oel u. Kohle 12, 1091 [1936].

In der Gleichung... Zahl, KZ die Siedekennziffer in folgender Weise

Bei einer Steigerung um 0,01. Da die Zahlen zwischen... Faktor f = 0,8 anzuwenden ist. Die mit Deckung nach dem Dichtemethode gestellten Kennwerte

Zahlentafel 1: Z...

Kraftstoffbezeichnung
78
84
90
122
125
140
172
182
188
206
226
255
274
419

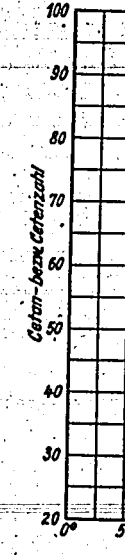


Abb. 2: Zündverzögerung oder Cetanzahl auf...

2. M...

Das Heereswaffenamt... willigkeit das sogenannte (entwickelt). Durch die Ansaugluft eines Motors oder niedrigerer Unterdruck der Verdichtungsdrücke ändert. Die Selbstzündung des Kraftstoffes ist abhängig vom Druck im Motor

In der Gleichung bedeuten CZ die gesuchte motorische Cetanzahl, KZ die Siedekennziffer und f einen von der Siedekennziffer in folgender Weise abhängigen Berichtigungswert:

KZ	f
200	0,40
250	0,85
300	0,90
350	0,25

Bei einer Steigerung um je 10 Kennziffernheiten fällt also f um 0,01. Da die Diesekraftstoffe im Durchschnitt Siedekennziffern zwischen 260 und 320 haben, kann auch ein konstanter Faktor f = 0,8 angenommen werden, um noch gute Vergleichswerte zu erhalten.

Die mit Decknummern versehenen 14 Diesekraftstoffe ergaben nach dem Dichteverfahren die in **Zahlentafel 1** zusammengestellten Kennwerte.

Zahlentafel 1: Zündwilligkeitsbestimmung von Diesekraftstoffen nach Heine und Mayer

Kraftstoffbezeichnung	Dichte bei 20° g/cm³	Siedekennziffer	Cetanzahl n. Aräometer	Cetanzahl berechnet
78	0,868	271,7	66,9	57,0
84	0,838	285,6	77,4	73,4
90	0,8548	269,8	70,5	60,5
122	0,7615	235,9	120,4	97,4
125	0,8577	222,7	68,5	39,1
140	0,8915	278,8	54,1	47,2
172	0,8425	263,7	73,0	63,7
182	0,8338	292,3	80,1	77,7
188	0,8520	278,8	70,3	63,5
206	0,826	254	83,5	67,4
226	0,887	237,7	55,7	33,6
255	0,867	258	64,0	49,7
274	0,877	261,7	60,1	47,1
419	0,7937	202,9	99,2	60,4

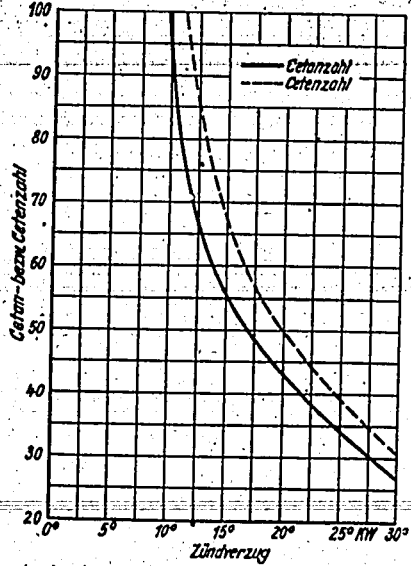


Abb. 2: Zündverzugs-Eichkurve zur Bestimmung der Cetanzahl oder Cetanzahl auf Grund des gemessenen Zündverzugs

2. Motorisches HWA-Verfahren

Das Heereswaffenamt (HWA) hat zur Bestimmung der Zündwilligkeit das sogenannte Anlaß- oder Drosselverfahren entwickelt¹⁾. Durch stärkere oder schwächere Drosselung der Ansaugluft eines Einzylinder-Dieselmotors wird ein höherer oder niedrigerer Unterdruck im Saugrohr erzeugt und dadurch der Verdichtungsdruck im Motor in bestimmten Grenzen verändert. Die Selbstzündung eines in den Motor eingespritzten Kraftstoffes ist abhängig von dem erreichten Verdichtungsdruck im Motor und folglich von dem Unterdruck im Saug-

rohr. Durch die Bestimmung der Unterdruckgrenze, bei der der eingespritzte Kraftstoff gerade noch zündet, ist ein Gradmesser für die Zündwilligkeit der einzelnen Diesekraftstoffe gegeben. Hierbei müssen allerdings die Temperatur der Ansaugluft und des Kühlwassers mit 45° und die Drehzahl des Motors mit 940 U/min gleichgehalten werden. Die Zündwilligkeit eines Kraftstoffes ist dann um so höher, je größer der Unterdruck ist, bei dem er noch zündet.

Die Diesekraftstoffe werden aber nicht nach dem erhaltenen Unterdruck bewertet, sondern es wird auch hier das Verhalten der Kraftstoffe gegenüber den bekannten Bezugskraftstoffen angegeben.

Die Prüfungsergebnisse der 14 Diesekraftstoffe nach dem HWA-Verfahren sind in **Zahlentafel 2** zusammengestellt.

Zahlentafel 2: Bestimmung der Zündwilligkeit von Diesekraftstoffen im HWA-MOTOR

Kraftstoffbezeichnung	mm QS Unterdruck	Cetanzahl	Cetanzahl
78	177	59	44
84	819	78,5	58,5
90	102	56	42
122	449	>100	99
125	87	46	32,5
140	126	60,5	37
172	280	69,5	54
182	374	98	68
188	236	67,5	51,5
206	272	78	55
226	118	49	36
255	99	46	34
274	186	55,5	40
419	228	61,5	49

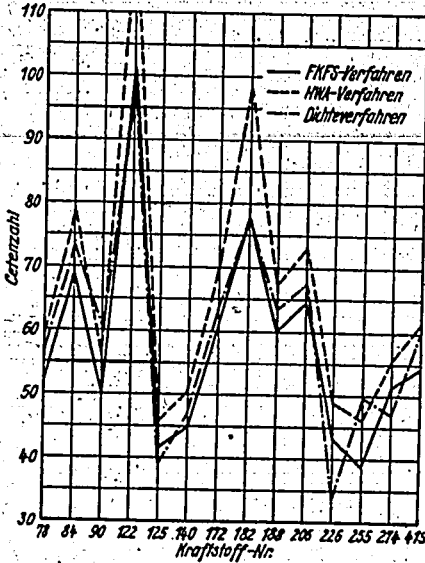


Abb. 3: Cetanzahl von Diesekraftstoffen nach verschiedenen Prüfverfahren

3. Motorisches FKFS-Verfahren

Die Prüfung von Diesekraftstoffen nach dem Verfahren des Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS-Verf.) beruht darauf, daß die Dauer des Zündverzugs bestimmt wird, wobei der übrige Betriebszustand des Motors unverändert bleibt.

Zur Feststellung des Zündverzugs dient das FKFS-Zündverzugs-Meßgerät²⁾. Der Spritzbeginn wird dabei mit einem von der Drosselnadel gesteuerten Kontakt, der Verbrennungsbeginn mit Hilfe einer Photozelle angezeigt. Der Zündverzug kann dann laufend an einem Drehspulgerät abgelesen werden.

¹⁾ Vgl. W. Lindner, Z. Ver. dtsci. Ing. 83, 9 (1939).
²⁾ Vgl. H. Ernst, Automob.techn. Z. 42, 213 (1939).

Die Betriebsbedingungen wurden folgendermaßen

1. Unmittelbare Einspritzung
2. Drehzahl 1800 U/min
3. Voreinspritzwinkel 15°
4. Verdichtungsverhältnis 16
5. Temperatur der Ansaugluft 45°
6. Temperatur des Kühlwassers 45°
7. Einspritzdruck 180 bar
8. Einspritzdruck 180 bar

Nachdem die erforderlichen Betriebsbedingungen eingestellt sind, wird der Kraftstoffproben entnommen. Die Probe wird durch die Eichkurve mit drei verschiedenen Kraftstoffen und α -Methylnaphthalin verglichen. Die Eichkurve kann dann durch die Eichkurve der Kraftstoffproben entnommen werden. Die Cetanzahl der Kraftstoffprobe ist dann $\pm 1,5$ Cetanzahl der Eichkurve. **Zahlentafel 3** zeigt die Cetanzahl der Kraftstoffe im FKFS-Verfahren.

Zahlentafel 3: Bestimmung der Cetanzahl von Diesekraftstoffen im FKFS-Verfahren

Kraftstoffbezeichnung	Cetanzahl
78	44
84	58,5
90	42
122	99
125	32,5
140	37
172	54
182	68
188	51,5
206	55
226	36
255	34
274	40
419	49

4. Vergleich der Ergebnisse

Eine vergleichende Untersuchung aller Prüfverfahren zeigt, daß die Cetanzahlen vorgenommenen Prüfverfahren im allgemeinen die gleiche Zündwilligkeit der Diesekraftstoffe angeben. Das Dichteverfahren zeigt in einigen Ausnahmefällen durchweg niedrigere Cetanzahlen als das Dichteverfahren und

Die Betriebsbedingungen des Motors für die Kraftstoffprüfung wurden folgendermaßen festgelegt:

1. Unmittelbare Einspritzung,
2. Drehzahl 1800 U/min,
3. Voreinspritzwinkel 20° KW v. o. T.,
4. Verdichtungsverhältnis 18,
5. Temperatur der Ansaugluft 45°,
6. Temperatur des Kühlwassers und des Schmieröls 70°,
7. Einspritzte Kraftstoffmenge 85 mm³/Arbeitshub,
8. Einspritzdruck 180 atü.

Nachdem die erforderlichen gleichmäßigen Prüfbedingungen eingestellt sind, wird der Zündverzug der zu untersuchenden Kraftstoffproben ermittelt. Zu dieser Zündverzugsmessung, die je Kraftstoff etwa 5 min in Anspruch nimmt, wird eine Eichkurve mit drei oder vier Mischungen von Cetan (Cetan) und α -Methylnaphthalin aufgestellt (Abbildung 2). Aus der Eichkurve kann dann die Cetanzahl (Cetanzahl) der einzelnen Proben entnommen werden. Die Meßgenauigkeit beträgt ungefähr $\pm 0,25^\circ$ Kurbelwinkel, was einer Genauigkeit von $\pm 1,5$ Cetanzahlen entspricht.

Zahlentafel 3 zeigt die Ergebnisse der Prüfung der 14 Diesekraftstoffe im FKFS-Prüfmotor.

Zahlentafel 3: Bestimmung der Zündwilligkeit von Diesekraftstoffen im FKFS-Prüfmotor

Kraftstoffbezeichnung	Zündverzug ° KW	Cetan-zahl	Cetan-zahl
78	19,2	52	45
84	14,7	69	67
90	20,0	50	43,5
122	11,0	101,5	78,5
125	23,7	41,5	35,5
140	22,0	45	39,5
172	16,5	62	51,5
182	18,1	78	63,5
188	17,0	60	50
206	15,7	64,5	53,5
226	23,0	43	38
255	25,2	39	34,5
274	19,5	51,5	44,5
419	18,5	54,5	46,5

4. Vergleich der Ergebnisse der Prüfung nach den einzelnen Dieselpfprüfverfahren

Eine vergleichende Beurteilung der Diesekraftstoffe nach sämtlichen Prüfverfahren kann nur auf Grund der erhaltenen Cetanzahlen vorgenommen werden, da das Dichteverfahren die Zündwilligkeit der Diesekraftstoffe nur in Cetanzahlen angibt.

Das Dichteverfahren nach *Heinze* und *Marder* ergibt mit einigen Ausnahmen gegenüber dem HWA-Verfahren fast durchweg niedrigere Werte, *Abbildung 3*. Besser stimmen das Dichteverfahren und das FKFS-Verfahren überein. Besonders

gute Übereinstimmung wird hierbei für die Kraftstoffe Nr. 125, 140, 172, 182, 188 und 206 erhalten.

Beim Vergleich der beiden motorischen Verfahren unter sich kann gesagt werden, daß die nach dem HWA-Verfahren ermittelten Cetanwerte der 14 Diesekraftstoffe durchweg höher liegen als die entsprechenden Cetan-Werte des FKFS-Verfahrens.

Eine wesentlich bessere Übereinstimmung der beiden motorischen Verfahren wird erhalten, wenn die Zündwilligkeit der Diesekraftstoffe in „Cetanzahlen“ ausgedrückt wird (*Abbildung 4*).

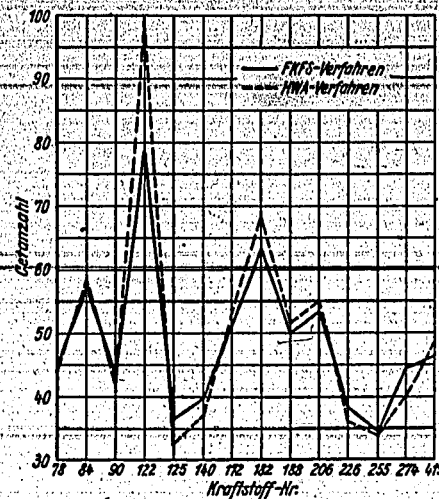


Abb. 4: Cetanzahl von Diesekraftstoffen nach zwei motorischen Prüfverfahren

Besonders gut stimmt die Cetanzahlbewertung von Kraftstoffen mittlerer Zündwilligkeit überein. Die Kraftstoffe niedriger Zündwilligkeit werden auf Grund der Prüfung im HWA-Motor schlechter, die Kraftstoffe höherer Zündwilligkeit dagegen wesentlich besser beurteilt (z. B. Nr. 122) als im FKFS-Prüfmotor. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Prüfergebnisse nach den drei verschiedenen Verfahren zwar im allgemeinen einen eindeutigen Zusammenhang erkennen lassen; jedoch sind die Abweichungen teilweise recht groß. Legt man das FKFS-Verfahren zugrunde, das nach früheren Untersuchungen reproduzierbare Werte in den Genauigkeitsgrenzen $\pm 1,5$ Cetanzahlen ergibt, so stimmt das Dichteverfahren nach *Heinze* und *Marder* in seinen Ergebnissen im allgemeinen besser damit überein als das HWA-Verfahren.