

001163

geführt wurden).

Die Prüfläufe wurden in je zwei 10-stündigen Teilläufen nach den Bedingungen des alten Musterprüfprogramms wie folgt gefahren:

1) 1 Std. Dauerleistung	700 PS	2200 UpM	Ladedruck = 1,10 ata
2) 3 Min Startleistung	950 PS	2400 "	" = 1,38 "
3) 30 Min Kampfleistung	770 PS	2250 "	" = 1,17 "
4) 8 Std. Dauerleistung	700 PS	2200 "	" = 1,10 "
5) 30 Min Kampfleistung	770 PS	2250 "	" = 1,17 "
6) 3 Min Startleistung	950 PS	2400 "	" = 1,38 "

Das Ergebnis ist in Tafel 2 zusammengestellt.

In jedem Motor wurde wenigstens einmal der Schmierstoff Rotring D als Bezugsöl geprüft. Einige der Prüfläufe konnten wegen motorseitiger Störungen (verbrannte Aulassventile, Bruch einer Nockenwelle, Defekte am Lader, Ölpumpenschaden) nicht ganz über 20 Std. durchgeführt werden, wurden aber doch zur Auswertung mit herangezogen. Das erscheint zulässig, da die im Ritzel abgelagerte Schlammmenge ungefähr proportional mit der Betriebszeit des Motors zunimmt, die Schlammmenge pro Stunde, aus verschiedenen Betriebszeiten errechnet, also vergleichbar sind. Der mechanische Zustand der verschiedenen für die Prüfläufe verwendeten DB 600 G-Motoren war etwas unterschiedlich, wie aus den erreichten Startleistungen hervorgeht. Die Kampf- und Dauerleistungen aber waren ziemlich gleich. Bei den letzten Prüfläufen lag die stündliche Ölumlaufränge etwas zu niedrig.

Das Hauptuntersuchungsergebnis, d.h. die pro Stunde im Ritzel des Untersetzungsgetriebes ausgeschleuderte Schlammmenge, ist, nach den einzelnen Schmierstoffen zusammengefasst, in Tafel 3 graphisch dargestellt. Daraus geht hervor, dass dasselbe Öl ganz verschiedene Schlammengen abändern kann, obwohl die Versuchsbedingungen so gleich gehalten wurden, wie das bei Vollmotoren-Versuchen möglich ist. Der Schmierstoff Rotring D z.B. ergab Werte, die zwischen 1,55 bis 8,34 g Schlamm pro Stunde schwanken. Bei den meisten anderen Schmierstoffen ergab sich dasselbe Bild. D.h. die Schlammbildungsneigung, soweit sie eine Öleigenschaft ist, wird weitgehend überdeckt durch äußere Einflüsse, über die bisher noch keine Klarheit gewonnen werden konnte.

001164

Ein Faktor, der die Schlammabildung ausserordentlich stark beeinflussen kann, ist zwar bekannt, nämlich das Eindringen von Wasser oder Luftfeuchtigkeit in das Schmieröl. Es treten deshalb erfahrungsgemäss im Winter häufiger Beanstandungen wegen Schlammabildung auf, weil dann Kondenswasser besonders leicht entstehen kann. Es ist weiter bekannt, dass Schmieröle auf den Wassereinfluss ganz verschieden reagieren können; d.h. bei dem einen Öl wird durch Wasserzusatz der Schlammfall nur wenig heraufgesetzt, bei einem anderen Öl dagegen verdoppelt oder verdreifacht.

Bei den vorliegenden Versuchen war aber dieser Wassereinfluss nicht vorhanden oder zum mindesten nicht nachweisbar. Denn weder waren die Lufttemperaturen oder die Luftfechtigkeiten, da es sich um Prüfstandsversuche handelte, sehr unterschiedlich. Noch war etwa durch den Schmierstoffkühler, der besonders auf Dichtigkeit geprüft wurde, Wasser ins Schmieröl gelangt. Auch in den gebrauchten Schmierölen oder im Schlamm selbst waren keine nennenswerte Wassermengen nachweisbar. Zur Ergänzung der 20 Std.-Prüfstandsläufe in den DB 600 G-Motoren sind auf Tafel 3 noch einige weitere Versuchsergebnisse aus Flugprobungen desselben Motormusters angeführt.

Ferner sind in nachstehender Tabelle Schlammessungen aus dem 6. Kurbelzapfen vom Jumo 211 F-Motoren (Prüfstandsversuche) angegeben.

Schmierstoff	Betriebszeit, Std.	Schlamm im 6. Kurbelzapfen g/Std.
SS 980 r	96	0,83
SS 960 Ds	109	0,98--
SS 902 F 25	100	1,08
P 20	99 1/2	0,55

Wenn man in Tafel 3 die Maximalwerte für die gemessenen Schlammengen vergleicht, so ergeben sich für die Mehrzahl der Schmierstoffe keine großen Unterschiede.

Auch das SS 980 r, für das nur 1 Prüflauf im DB 600 G-Motor mit verhältnismässig sehr günstigem Ergebnis vorlag, liegt offensichtlich nicht besser als die meisten übrigen Öle, wenn man die Werte vorstehender Tabelle mit berücksichtigt. Das relativ gute Resultat von SS 2010 ist ebenfalls noch zweifelhaft, da es zu wenig belegt ist.

Reclin E 3 c
Erpr.Nr. 2485

Schlamm- bildung von Flugmotorenölen.

Teilbericht 49

Blatt 7

001165

Dagegen scheint das P 20 übereinstimmend etwa um die Hälfte geringere Schlamm- bildungsneigung zu besitzen. Ob der geringe Oppanolzusatz eine Rolle spielt, ist aber sehr zu bezweifeln.

Bestätigt hat sich das auch in der Praxis immer wieder beobachtete vor- zügliche Schlammhaltungsvermögen des gefetteten Aeroshell mittel \bar{a} , für das durchweg sehr geringe Schlamm- mengen gefunden wurden.

Weiter kann aus den Versuchen geschlossen werden, dass die Inhibitoren p, r und s die Schlamm- ausscheidung weder günstig noch ungünstig beein- flussen.

Schließlich ergibt sich weiter, dass natürliche Mineralöle aus deut- schen und ausländischen Erdölen (Intava 100, bzw. Rotring D und Nerag 95) etwa in derselben Größen- ordnung zur Schlamm- bildung neigen wie die derzeitigen halbsynthetischen Beschaffungsöle (SS 970 r = Rotring L 45).

Tafel 4 enthält die Zusammensetzung der Schlamm- e. Diese be- stehen aus

- 1) festen Fremdstoffen (Benzol- unlösliches)
- 2) Hartasphalt (Normalbenzin- unlösliches)
- 3) Schmieröl (Normalbenzin- lösliches)

Die festen Fremdstoffe umfassen koks- und rußartige Verbrennungspro- dukte des Schmier- und Kraftstoffes, Staub aus der Luft und den me- tallischen Abrieb. Die letzten beiden Bestandteile werden noch einmal besonders durch die Veraschung des Schlammes erfaßt, wobei Metalloxyde entstehen, so dass der Aschegehalt stets größer ist als der Metallgehalt. Um den Koks- und Rußgehalt zu ermitteln, ist es also nicht ganz richtig den Aschegehalt einfach von den festen Fremdstoffen zu subtrahieren. Aber man kann, wie aus Tafel 4 hervorgeht, immerhin erkennen, dass der Koks- und Rußgehalt, an denen im übrigen auch der Kraftstoff stets stark mitbeteiligt ist, das Mehrfache des Aschegehaltes ausmacht. Die Hartasphalte sind die letzten Stufen der Ölalterung, d.h. durch Oxydation und Polymerisation entstandene hochmolekulare, feste Produkte; sie sind nur in relativ geringer Menge vorhanden. Schließlich enthalten die Schlamm- e stets noch größere Mengen an unver- ändertem Schmieröl.

Gruppe

Bearbeiter

Tag

5000 9.41

Fabriknorm Berlin-Friedensau

001166

Zwischen der Zusammensetzung eines Schlammes und seiner Menge besteht nun, wie Tafel 5 zeigt, offensichtlich ein Zusammenhang. Je größer die Menge ist, desto ölhaltiger, also desto weicher ist der Schlamm und umso geringer ist sein Gehalt an festen Fremdstoffen. Und zwar liegen die entsprechenden Werte für die Zusammensetzung und die Menge des Schlammes für alle Ölarten annähernd auf derselben Kurve; der Ölgehalt des Schlammes kann etwa 40 - 75 % betragen. Die meisten der untersuchten Schmierstoffe können die verschiedensten Schlammengen mit entsprechender Konsistenz bilden wie z.B. das Rotring D und die halbsynthetischen Schmierstoffe SS 960 - SS 980. Andere Öle wie Aeroshell mittel bilden stets geringe Mengen eines dichteren Schlammes. Einen verhältnismäßig engen Streubereich scheint auch P 20 zu haben, was aber durch Versuche noch eingehender zu bestätigen wäre.

In Tabl 6 sind noch die Analysendaten der gebrauchten Öle aus dem DB 600 G-Prüfstandsläufen angegeben. Viel ist daraus nicht ersichtlich. Sie bestätigen bekannte Tatsachen, also z.B. dass natürliche Mineralöle wie das Rotring D beim Gebrauch etwas weniger stark eindicken als die meisten der halbsynthetischen Produkte oder daß das gefettete Aeroshell mittel durch Entvoltolisierung eine kleine Viskositätsabnahme erfährt. Zwischen dem Alterungszustand der Öle und der Schlammausscheidung im Motor aber konnten keine Zusammenhänge gefunden werden.

Gruppe

Bearbeiter

Tag

Rechlin E 3 c
Erpr.Nr. 2485

Schlammabildung von Flugmotorenölen

Teilbericht 49

Blatt 9

T a f e l 1: Analysen der frischen Öle.

Schmierstoff	Versuch Nr.	Brechung n _D	Dichte 20°C	Engler 50°C	Verseifungszahl mgKOH/g	Flammpunkt o.T. °C
Rotring D	1,5,6,9,13,18	1,4910	0,890	17,2	0,06	271
Aeroshell mittel	3	1,5045	0,915	18,8	10,66	236
SS 970	7,16	1,4817	0,872	17,8	0,11	226
SS 970 p	17	1,4819	0,872	17,4	0,11	221
SS 970 r	8,15	1,4815	0,871	18,1	0,22	230
Rotring L 45	2	1,4817	0,872	18,3	0,06	229
SS 970 s	10,14	1,4815	0,870	18,0	0,11	228
SS 960 Dr(V6559)	11	1,4870	0,880	17,5	0,06	225
SS 980 r	21	1,4828	0,873	18,1	0	228
P 20(mit Oppanol) 4		1,4835	0,877	17,5	0	226
P 20(ohne ") 20		1,4835	0,875	18,3	0,22	226
SS 902 F 25 s	12	1,4688	0,870	8,4	61,4	230
SS 2010	11	1,4732	0,852	9,1	0,56	240

001167

Gruppe

Bearbeiter

Tag

5000 9.41

Fabriknorm Berlin-Friedenau

T a f e l 2: Prüfläufe in DB 600 G-Motoren.

Ver- such- Nr.	Datum	Schmierstoff	Motor Werk- Nr.	Gesamte Laufzeit Std.	Start- Leistg. PS	Kampf- Leistg. PS	Paner- Leistg. PS	Schmierstoff bei Dauerleistung, Umlauf Verbrauch g/PS-Std.	Schlamm im Hitzel g/Std.	
										Kühlstoff-Eintritts-Temp.-ca. 63° C
1	30.-31.10.41	Rotring D	2021	22 ^h 30'	933	774	704	2,450	7,0	6,11
2	4.-5.11.41	Rotring L 45	"	20 ^h 50'	900	755	694	2,360	6,3	2,91
3	7.-10.11.41	Aeroshell mittel	"	21 ^h 19'	887	753	697	2,365	6,7	0,82
4	12.-13.11.41	P20(mit Oppanol)	"	20 ^h 55'	881	750	695	2,140	6,3	0,86
5	18.-21.11.41	Rotring D	"	17 ^h 25'	846	727	676	2,130	(8,9)	8,34
6	16.-17.12.41	Rotring D	2023	17 ^h 45'	898	768	692	2,250	6,4	4,40
7	7.-8.1.42	SS 970	"	20 ^h 35'	870	788	692	2,060	6,2	1,36
8	10.-13.1.42	SS 970 r	"	19 ^h 45'	870	779	687	2,250	6,3	1,35
9	16.-20.1.42	Rotring D	2021	21 ^h	880	795	703	2,340	6,0	8,11
10	21.1.-26.1.42	SS 970 s	"	20 ^h 45'	885	792	701	2,240	6,8	8,55
11	28.1.-2.2.42	SS 960.Dr (V 6559)	"	21 ^h 15'	882	766	686	2,210	6,1	8,66
12	2.2.-3.2.42	SS 902.F.25 s	"	14 ^h 20'	849	767	679	2,400	7,7	7,08
13	18.2.-23.2.42	Rotring D	2169	21 ^h 55'	910	775	703	2,370	6,1	4,93
14	25.2.-27.2.42	SS 970 s	"	20 ^h 50'	910	770	704	2,260	5,5	4,68
15	2.3.-3.3.42	SS 970 r	"	20 ^h 30'	895	770	700	2,290	5,9	9,46
16	5.3.-6.3.42	SS 970	"	20 ^h 35'	885	775	695	2,240	6,3	8,31
17	9.3.-10.3.42	SS 970 p	"	20 ^h 30'	870	755	685	2,250	6,3	7,46
18	13.5.-18.5.42	Rotring D	50.461	20 ^h 40'	900	777	680	2,310	5,9	1,55
19	20.5.-22.5.42	SS 2010	"	20 ^h 25'	889	758	678	2,150	5,8	2,70
20	27.5.-16.6.42	P20(ohne Oppanol)	"	20 ^h 25'	876	759	670	1,945	5,9	4,26
21	19.6.-22.6.42	SS 980 r	"	17 ^h 10'	860	743	667	1,920	5,8	1,40

001168

001169

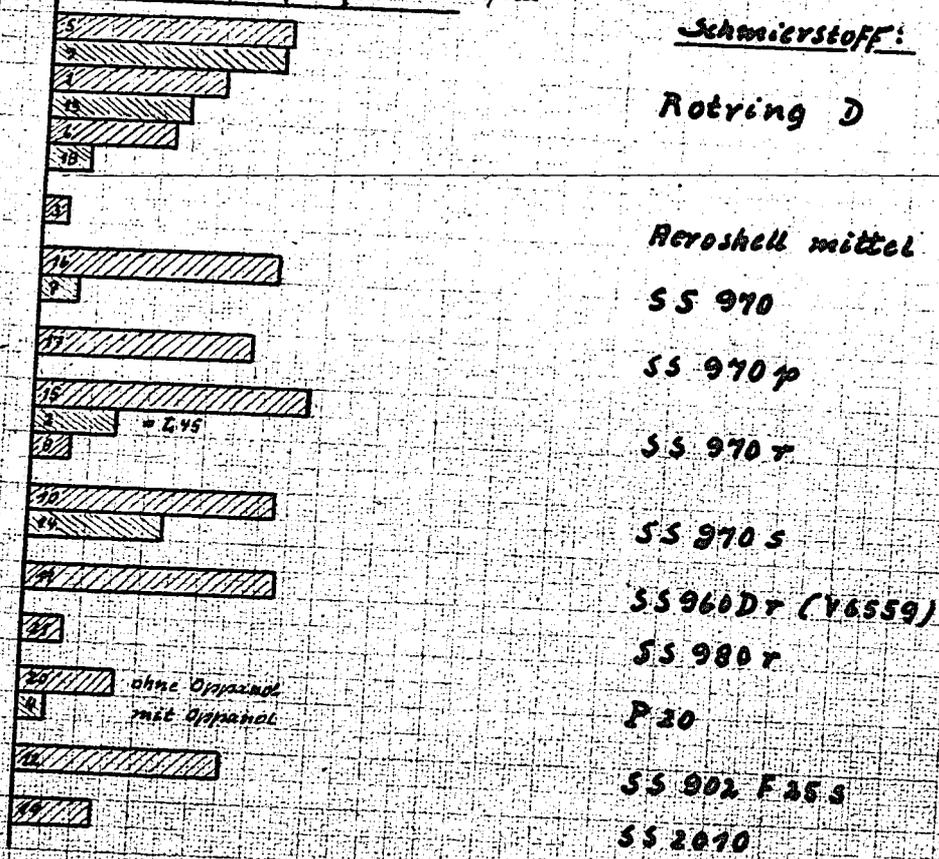
Tafel 3.

Blatt 11.

Ölschlamm im Ritzel des Untersetzungsgetriebes von DB 600 6-Motoren

1) nach ~ 20 stg. Prüfstandslauf

0 2 4 6 8 10 g Schlamm/stg



Schmierstoff:

Rotring D

Peroshell mittel

SS 970

SS 970 p

SS 970 r

SS 970 s

SS 960 D r (V6559)

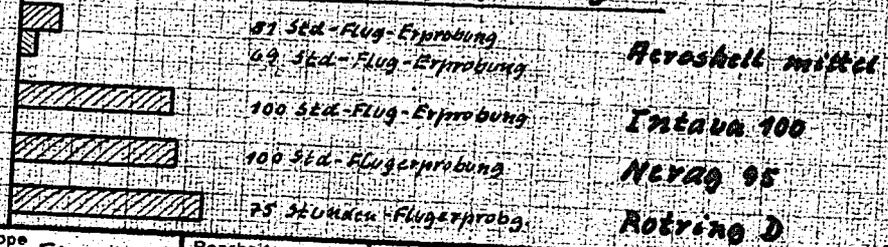
SS 980 r

P 20

SS 902 F 25 s

SS 2010

2) aus Flugertreibungen



Nachdruck oder unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenstypisch

Gruppe E3c6

Bearbeiter Hesse

Tag

Rechlin E 3 o
Erpr.Nr. 2485

Schlammabildung von Flugmotorenölen
001170

Teilbericht 49.

Blatt 12

Tafel 4: Zusammensetzung der Schlämme aus DB 600 G-Motoren.

Versuch Nr.	Schmierstoff	Schlamm g/Std.	Feste Fremdstoffe %	Hartaaphalt %	Ölgehalt %	Asche %
1	Rotring D	6,11	27,46	0,94	71,60	3,90
2	Rotring L 45	2,91	35,22	1,33	63,45	6,50
3	Aeroshell mittel	0,82	60,10	1,70	38,20	22,77
4	P 20 (mit Oppanol)	0,86	56,35	0,85	42,80	23,95
5	Rotring D	8,34	26,12	0,49	73,39	5,71
6	Rotring D	4,40	30,29	0,51	69,20	5,80
7	SS 970	1,36	43,75	1,25	55,00	9,82
8	SS 970 r	1,35	42,13	1,07	56,80	11,15
9	Rotring D	8,11	27,15	0,75	72,10	4,66
10	SS 970 s	8,55	25,55	0,75	73,70	3,40
11	SS 960 Dr	8,66	24,50	0,75	74,75	3,68
12	SS 902 F 25 s	7,08	29,65	1,20	69,15	5,54
13	Rotring D	4,93	29,63	0,77	69,60	4,32
14	SS 970 s	4,68	30,58	0,94	68,48	4,97
15	SS 970 r	9,46	28,06	0,78	71,16	3,38
16	SS 970	8,31	29,02	0,79	70,19	3,35
17	SS 970 p	7,46	29,10	0,84	70,06	3,96
18	Rotring D	1,55	49,42	0,96	49,80	18,90
19	SS 2010	2,70	44,82	1,18	54,00	13,10
20	P 20 (ohne Oppanol)	4,26	39,64	0,86	59,50	8,63
21	SS 980 r	1,40	47,00	0,86	52,14	16,62

Gruppe

Bearbeiter.

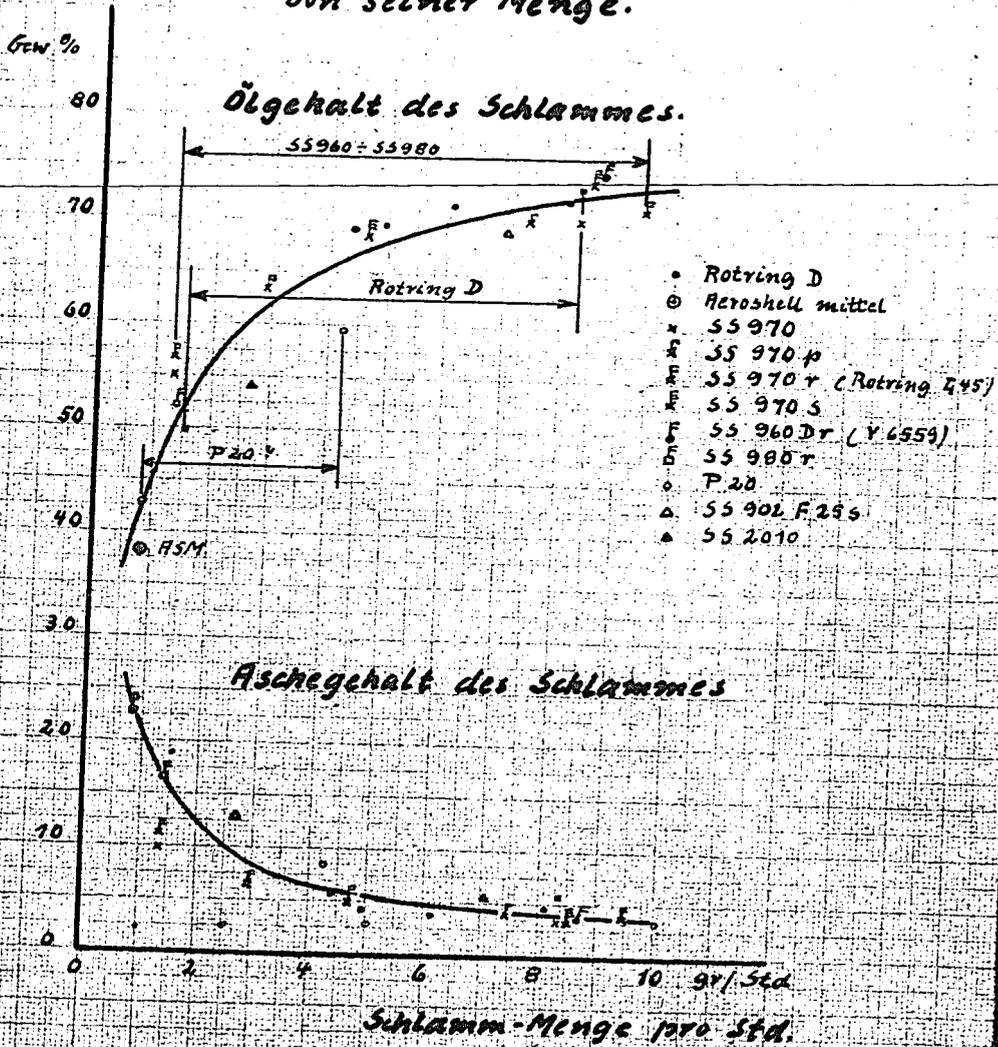
Tag

600.8.41

Fabriknorm Berlin-Friedenau

Ölschlamm im Ritzel des Untersetzungsgetriebes
von DB 600 G-Motoren nach ~ 20 stdg. Prüfstandslauf.

Zusammensetzung des Ölschlammes, abhängig
von seiner Menge.



Nachdruck oder unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenersatzpflichtig

Gruppe **E3C4**

Bearbeiter
Dr. Baier

Tag

Redhlin E 3 o
Erpr.Nr. 2485

Schlamm- bildung von Flugmotorenölen
001172

Teilbericht 49

Blatt 14

Tafel 6: Analysen der gebrauchten Öle aus DB 600 G-Motoren.

Versuch Nr.	Schmierstoff	Brglühung n _D	Dichte 20°C	Engler 50°C	Hartasphalt %	Feste Fremdstoffe %	Gesamtverschm. %	Asche %	Versetzungszahl mgKOH/g
1	Rotring D	1,4915	0,891	17,7	0,140	0,960	1,100	0,134	0,89
2	Rotring L 45	1,4850	0,878	19,4	0,084	1,006	1,090	0,144	1,01
3	Aeroshell mittel	1,5030	0,917	17,7	0,276	1,004	1,280	0,143	11,2
4	P 20 (mit Oppanol)	1,4850	-	20,3	0,204	1,416	1,620	0,156	2,13
5	Rotring D	1,4919	-	17,7	0,178	1,042	1,220	0,161	0,45
6	Rotring D	1,4925	0,895	18,8	0,074	0,740	0,814	0,146	0,89
7	SS 970	1,4830	0,879	19,7	0,104	0,832	0,936	0,115	0,79
8	SS 970 r	1,4830	0,876	19,7	0,172	0,708	0,880	0,136	0,9
9	Rotring D	1,4940	0,896	19,6	0,124	1,306	1,430	0,142	1,34
10	SS 970 s	1,4840	0,876	21,4	0,116	1,204	1,320	0,158	1,12
11	SS 960 Dr	1,4910	0,884	22,6	0,260	1,420	1,680	0,151	1,57
12	SS 902 F 25 s			keine Analyse					
13	Rotring D	1,4948	0,895	18,9	0,080	0,808	0,988	0,120	0,9
14	SS 970 s	1,4835	0,875	19,3	0,100	0,940	1,040	0,122	0,67
15	SS 970 r	1,4835	0,876	19,1	0,100	0,936	1,036	0,117	1,01
16	SS 970	1,4850	0,880	20,1	0,092	0,928	1,020	0,109	1,01
17	SS 970 p	1,4840	0,878	20,0	0,116	0,976	1,092	0,112	0,9
18	Rotring D	1,4920	0,900	17,5	0,116	1,074	1,190	0,120	0,9
19	SS 2010	1,4792	0,865	10,6	0,080	0,200	0,980	0,101	0,9
20	P 20 (ohne Oppanol)	1,4840	0,875	18,8	0,104	0,971	1,075	0,125	0,9
21	SS 980 r	1,4845	0,875	19,9	0,160	0,896	1,056	0,129	0,6

Gruppe

Bearbeiter

Tag

Rechlin E 3 o
Erpr. Nr. 2525

314 *Wintersonne*
Schmierölförderung im Motor bei kältebe-
ständigen Flugmotorenölen.

26 Feb 1943

Teilbericht 25

Blatt

E' Stelle Rechlin
Br. B. Nr. *142*

105

Rechlin, den 12. Februar 1943

Zusammenfassung

001173

Die in der Entwicklung begriffenen kältebeständigeren und deshalb dünn-
flüssigeren Flugmotorenöle erfordern nach den bisherigen Versuchen keine
Abänderung der jetzigen Ölpumpen. Der Öldruck kann bei gleichem Öldurch-
satz durch den Motor etwas niedriger zugelassen werden als bei den bis-
herigen Flugmotorenölen.

Bearbeiter:

Willy (Motor-Versuche)
K. Baier (Schmieröl-Untersuchung)

Gesehen:

H. ...
Major und Kommandeur
...

Verteiler:

- 1 x GL/A-M II B
- 1 x GL/A-M II C
- 1 x GL/C - E 3
- 1 x Ammoniakwerk Merseburg (Dr. Zorn)
- 1 x Intava, Hamburg (Dipl. Ing. Forchert)
- 1 x Ruhrchemie, Oberhausen-Holten (Dr. Schaub)
- 1 x E 3
- 1 x E 3 o
- 3 x Reserve

Dieser Bericht umfasst: 7 Seiten Text,
und 7 Kurventafeln und 2 Zahlentafeln.

Bearbeitet:	Geprüft:	Gelassen:	Gelesen:
E3cl: Möller	E3cl: <i>Langs</i>	E3: <i>...</i>	
E3c4: Dr. Baier	E3c: <i>Dr. ...</i>		J: <i>...</i>
Gruppe	Bearbeiter	Tag	

Rechlin E 3.0
Expr.Nr. 2525

Schmierölförderung im Motor bei kälte-
beständigen Flugmotorenölen.

Teilbericht 25

Blatt 2

A. Aufgabe

001174

Bei den in der Entwicklung begriffenen kältebeständigen Flugmotorenölen muß auch die Viskosität im höheren Temperaturgebiet von bisher ca. 3 Englergrad/100°C auf ca. 2 Englergrad/100°C herabgesetzt werden (vergl. Teilbericht Nr. 22 und 23). Als Teilfrage dieser Entwicklung ist zu klären, welche Folgen sich für Ölpumpen, notwendige Öldrücke usw. ergeben.

B. Ergebnis

Um die Schmierung und Wärmeableitung durch das Öl nicht zu verschlechtern, darf der Öldurchsatz durch den Motor bei dünneren Ölen nicht niedriger werden als bei den bisher üblichen Schmierstoffen. Dafür wurde folgende, für alle Ölarten gültige Beziehung gefunden:

$$Q = K \cdot \frac{P}{\sqrt{\nu}}$$

Darin bedeuten: Q - Öldurchsatz durch Motor in Lit/Std.

P - Öldruck in at.ü

ν - kinematische Zähigkeit des Öles in Centistokes

K - Motorkonstante

Nach dieser Gleichung kann man also für dünnflüssigere Schmierstoffe bei gleichem Öldurchsatz einen niedrigeren Öldruck zulassen.

Nach den bisherigen Versuchen in Vollmotoren wird es bei den üblichen Ölpumpen möglich sein, den Öldruck nur wenig absinken zu lassen und damit mindestens denselben oder sogar einen größeren Öldurchsatz durch den Motor zu erzielen.

C. Durchführung

1.) Schmierstoffe.

Die Schmierstoffe wurden so ausgewählt, dass sie den ganzen bisherigen und für die künftigen Kaltstartöle wahrscheinlich infrage kommenden Viskositätsbereich umfassen:

Gruppe

Bearbeiter

Tag

5000 9.41

Fabriknorm Berlin-Friedensau

Reclin E 3 c
Erpr.Nr. 2525

Schmierölförderung im Motor bei kältebe-
ständigen Flugmotorenölen.

Teilbericht 25

Blatt 3

001175

Schmierstoff	Art	Viskosität Englergrad / 50°C
Grünring	Naturöl	23,2
Aeroshellmittel (ASN)	gefettetes Naturöl	19,5
Rotring D	Naturöl	18,0
SS 2009	Syntheseöl	16,7
Ölmischung 1 (Rotring D + L 15092,3:1)	Naturöl	13,2
Ölmischung 2 (Rotring D + L 15092,1:3)	Naturöl	8,4

Die Analysendaten, insbesondere die Viskositätskurven zwischen 50 und 120°C enthält Tafel 1. Die Darstellung erfolgte absichtlich nicht in der üblichen logarithmischen Weise, und ausserdem nicht in Englergrad, sondern in Centistokes, um die Viskositätswerte maßstäblich richtig abzubilden. Die ersten 3 Öle sind normale Beschaffungs-Flugmotorenöle. Der rein synthetische Schmierstoff SS 2009 zeichnet sich durch einen besonders hohen Viskositätsindex, d.h. eine verhältnismäßig flach verlaufende Viskositätskurve aus. Die Mischungen 1 u. 2 sind durch Zusatz des dünnflüssigen Intava-Öles L 15 092 zu erdölbasischem Rotring hergestellt worden.

2.) Versuchsmotor.

Die Versuche wurden an einem BMW VI-Einzylinder-Motor (Bauart DVL) durchgeführt. Das Ölleitungsschema dieses Motors mit den dazu gehörigen Temperatur- und Druckmessstellen ist in Tafel 2 dargestellt. Druck- und Rückförder-Ölpumpe, die in Wirklichkeit in einem Gehäuse untergebracht sind, sind zwecks besserer Übersichtlichkeit getrennt gezeichnet. Die Überströmleitung der Druckpumpe wurde nicht, wie üblich, zur Saugleitung, sondern zum Ölbehälter rückgeführt, um die durch das Überströmventil ausfließende Menge Q_2 messen zu können. Ferner wurde vom Ölverteiler eine Leitung mit dem regulierbarem Eckventil (Hahnventil ohne Feder) abgezweigt, die als zusätzliche Überströmleitung wirken sollte. Durch verschiedene Einstellung des Eckventiles konnte der Öldruck vor dem Motor (P_2) stärker variiert werden, als das durch Verstellung lediglich der Federspannung des normalen Überströmventiles möglich war.

Gruppe

Bearbeiter

Tag

6000 9.41

Fabriknorm Berlin-Friedensau

001176

Die Messung der einzelnen Ölströme Q_1, Q_2 und Q_3 erfolgte gewichtsmäßig. Um die Unterschiede in den spezifischen Gewichten der Öle auszugleichen, wurden die Fördermengen unter Berücksichtigung der jeweiligen Öltemperatur auf lit/Std. umgerechnet.

Da der Schmierstoff in dem Einzylinder-Motor mit seinem verhältnismäßig massigen Kurbelgehäuse nicht von selbst die bei modernen Vollmotoren üblichen Temperaturen erreicht und das Öl bei höheren Temperaturen sogar kälter austritt als eintritt, mußte das Öl im Vorratsbehälter stark vorgewärmt werden.

3.) Versuchsdurchführung.

Die erste Versuchsreihe wurde bei normalem Motorzustand, d.h. bei geschlossenem Eckventil durchgeführt. Dabei betragen die Öleintrittstemperatur $t_E = 65^\circ\text{C}$, die Ölaustrittstemperatur $t_A = 65^\circ\text{C}$, die mittlere Temperatur des durch den Motor durchgesetzten Öles also $t_m = 75^\circ\text{C}$. In der nachstehenden Tabelle sind die Messwerte für Öldurchsatzmenge, Öldruck und die zu den vorstehenden Temperaturen gehörigen Viskositätswerte der verschiedenen Schmierstoffe angegeben:

Schmierstoff	Druck	Öl durch Pumpe		Öl durch Motor	
	P_2	Visk. bei t_E °C	Q	Visk. bei t_m °C	Q_1
	at.ü	c St	lit/Std.	c St	lit/Std.
Grünring	7,0	38,5	762	56	474
SS 2009	7,0	35	766	47,5	558
ASM	7,0	33	757	47,5	542
Rotring D	7,0	31	704	44,5	573
Mischung 1	7,0	25	705	35	640
Mischung 2	6,4	18	689	24	682

Die Feder des Überströmventiles wurde jeweils soweit vorgespannt, dass sich ein Öldruck von 7 at.ü einstellte. Bei Grünring als dem zähestem Öle war die Federspannung also am niedrigsten, bei der Mischung 1 am höchsten. Bei Mischung 2 war der Öldruck von 7 at.ü nicht mehr zu halten und sank auf 6,4 at.ü ab, wobei das Überströmventil bereits ganz geschlossen war. Von besonderem Interesse ist nun, wie sich dabei der Öldurchsatz Q_1 durch den Motor ändert. Wie man aus der letzten Spalte der vorstehenden Tabelle

Gruppe	Bearbeiter	Tag	
--------	------------	-----	--

Rochlin E 3 c

Erpr.Nr. 2525

Schmierölförderung im Motor bei kälte-
beständigen Flugmotorenölen.

Teilbericht 25

Blatt 5

001177

ersieht, nimmt Q_1 ganz wesentlich zu, je dünnflüssiger der Schmierstoff wird. Die Gesamtölförderung der Pumpe Q läßt zwar bei den dünneren Ölen etwas nach; dafür fließen aber die dickeren Öle, bei denen zur Erzielung desselben Druckes die Feder des Überströmventiles weniger stark vorgespannt ist, in größerer Menge durch das Überströmventil zur Saugseite zurück.

Während in der ersten Versuchsreihe der Öldruck wenigstens annähernd konstant gehalten wurde, sollte in einer zweiten Versuchsreihe der Einfluss der Schmierölviskosität auf den Öldruck bei ungefähr gleicher Fördermenge festgestellt werden. Um möglichst klare Verhältnisse zu verschaffen, wurde sowohl das Eckventil, als auch das Überströmventil ganz geschlossen. D.h. die Ölpumpe förderte das gesamte Öl durch den Motor ($Q = Q_1$). Die Öltemperatur wurde gegenüber Versuch 1 noch erhöht; es betragen die Öleintritts-Temperatur $t_E = 105^\circ\text{C}$ und die Ölaustrittstemperatur $t_A = 80^\circ\text{C}$. Folgende Werte wurden gefunden:

Schmierstoff	Druck	Öl durch Pumpe	
	P_2	Visk. bei t_E °C	Q
	at.ü	c St	lit/Std.
Grünring	6,7	20,5	724
SS 2009	6,2	20	692
ASM	5,7	18	706
Rotring D	5,6	17	660
Mischung 1	5,2	14	679
Mischung 2	4,25	10	679

Der Öldruck beträgt bei der Mischung 2, die nur halb so zähflüssig wie Grünring ist, etwa $2/3$ des Öldruckes von Grünring. Aber gerade diese Druckverminderung kompensiert zum größten Teil die höheren Lässigkeitsverluste innerhalb der Pumpe, die ansich ein dünneres Öl verursacht, so dass die Fördermenge bei den dünneren Schmierstoffen trotz des hohen Druckabfalles nur ganz geringfügig abnimmt.

Die weiter durchgeführten Versuche hatten lediglich den Zweck, den Versuchsbereich zu erweitern. Im Prinzip war die Durchführung die gleiche. Es wurde nur zusätzlich das Eckventil geöffnet und dadurch der Meßbereich auf niedrigere Drücke ausgedehnt.

Gruppe

Bearbeiter

Tag

5000 9.41

Fabriknom Berlin-Friedenau

R echlin E 3 c
Erpr.Nr. 2525

Schmierölförderung im Motor bei kälte-
beständigen Flugmotorenölen.

Teilbericht 25

Blatt 6

001178

Die Ergebnisse der erweiterten Versuche entsprechend Versuchsreihe 1 enthält Tafel 3, entsprechend Versuchsreihe 2 Tafel 4. Man sieht daraus wieder, dass bei konstanter Stellung des Eckventiles der Ölumlau durch den Motor trotz sinkenden Öldruckes zunimmt (Tafel 3) oder annähernd konstant bleibt (Tafel 4), wenn der Schmierstoff dünnflüssiger wird.

Aus den Tafeln 3 und 4 wurden weiter die Kurven auf Tafel 5 entwickelt. Diese stellen allgemein den Zusammenhang zwischen Ölviskosität, Öldruck und Ölfördermenge dar; die Art des Schmierstoffes spielt dabei offensichtlich keine Rolle.

Aus der oberen Kurvenschar der Tafel 5 ist ersichtlich, dass die maximale Förderleistung der Pumpe abnimmt, wenn das Öl bei konstantem Druck dünnflüssiger wird oder der Druck bei konstanter Zähflüssigkeit steigt. Das erklärt sich, wie schon erwähnt, ohne weiteres durch die Lässigkeitsverluste innerhalb der Zahnradpumpe.

Der Öldurchsatz durch den Motor verhält sich umgekehrt. D.h. es wird umso mehr Öl durch den Motor hindurchgepresst, je höher der Druck und je dünnflüssiger das Schmieröl ist (vergl. Tafel 5, untere Kurvenschar).

Bei näherer Betrachtung der Versuchswerte zeigte sich nun, dass zwischen dem Öldurchsatz durch den Motor Q_1 (in Lit/Std.), dem Schmieröl-
druck P_2 (in at.ü) und der Ölviskosität ν (in c St) bei konstanter Drehzahl folgender einfache Zusammenhang besteht:

$$Q_1 = K \cdot \frac{P_2}{\nu} \quad (1)$$

Der Wert der Konstanten K für den BMW-VI-Einzyylinder-Motor beträgt rd. 570.

Nach dieser Funktion sind die in Tafel 5 unten angegebenen Kurven konstanten Druckes errechnet worden. Die eingezeichneten Versuchspunkte stimmen mit dem errechneten Kurvenverlauf recht gut überein. Tafel 6 stellt dieselbe Funktion in Form von Graden konstanter Viskosität dar.

Auf Tafel 7 ist schließlich noch gezeigt, wie sich die Lagertemperatur mit der Ölviskosität ändert. Da die Lagerschmierung den Gesetzen für Flüssigkeitsreibung folgt, nach denen die Reibung mit der Wurzel aus der absoluten Zähigkeit abnimmt, muss die Lagertemperatur bei dünnflüssigeren Ölen wegen der geringeren erzeugten Reibungswärme abnehmen, was auch deutlich aus Tafel 9 ersichtlich ist. Diese verringerte Reibungsleistung wird bei den in Entwicklung begriffenen kältebeständigeren Flugmotorenölen einen Gewinn von etwa 2 - 3 % an effektiver Leistung nach sich ziehen.

Gruppe

Bearbeiter

Tag

Fabriknorm Berlin-Friedens

001179

4.) Versuche in weiteren Motorenmustern.

Anhand bereits vorliegenden Versuchsmaterials wurde geprüft, ob die Gleichung (1) auch für andere Motormuster, insbesondere für Vollmotoren zureichend der Fall ist. Für jedes Motormuster ergibt sich also eine bestimmte Konstante K, die für die in diesem Bericht nachgeprüften Motormuster folgende Werte hat:

BMW VI - Einzylinder-Motor,	n = 1550 UpM,	K = ca. 570
BMW 132- Einzylinder-Motor,	n = ca. 2000 "	K = ca. 1900
Bramo 323 P - Vollmotor,	n = 2250 "	K = ca. 1200
Jumo 211 F - Vollmotor,	n = 2400 "	K = ca. 3500
DB 600 G - Vollmotor,	n = 2200 "	K = ca. 4600

Der reziproke Wert der Konstanten K ist ein Maß für den inneren Durchflusswiderstand eines Motors. Es leuchtet ein, dass Reihentmotoren wegen ihrer vielen Lagerstellen einen geringeren inneren Widerstand, also einen größeren K - Wert besitzen müssen als Sternmotoren. Bzw. der stündliche Ölumlaufl durch einen Reihentmotor muß bei gleichem Öldruck und gleicher Ölviskosität wesentlich höher als bei einem Sternmotor werden. Wie aus Gleichung (1) hervorgeht, kann man bei einem dünnflüssigeren Öle einen niedrigeren Öldruck zulassen, ohne den Öldurchsatz durch den Motor zu verringern. Erniedrigt man z.B. die Ölviskosität auf den halben Wert, so erreicht man bei einer Herabsetzung des Öldruckes auf $\sqrt{0,5} = 0,71$ seines ursprünglichen Wertes immer noch denselben Öldurchsatz.

Die Verwendung dünnflüssigerer Öle wird keine anderen, d.h. größeren Ölpumpen als bisher erfordern, wenn die bisherigen Pumpen bereits so reichlich dimensioniert sind, dass (evtl. durch Nachregelung des Überströmventiles) der Öldruck auf dem etwa 0,7 - 0,8 - fachen des bisher üblichen Wertes gehalten werden kann. Nach den bisherigen Versuchen mit verschiedenen Kaltstartölen scheint das der Fall zu sein (vergl. Tafel 8, Öl SS 902 F 25 im Jumo 211 F - Motor und Tafel 9, Öl SS 902 F 25 s und SS 2010 in DB 600 G-Motoren).

Gruppe

Bearbeiter

Tag

6000 9.41

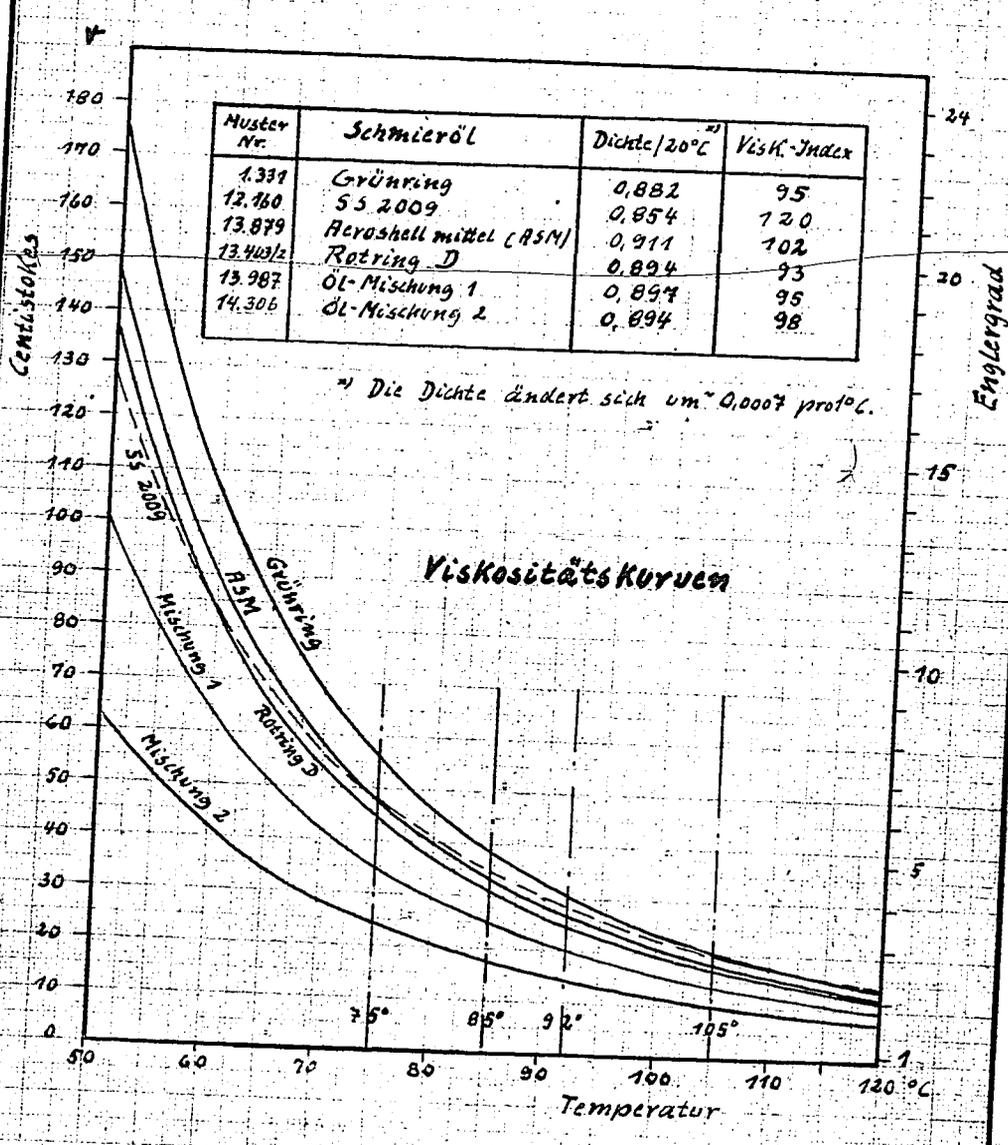
Fabriknorm Berlin-Friedenau

001180

Tafel 1.

Blatt

Analysen der Schmieröle.



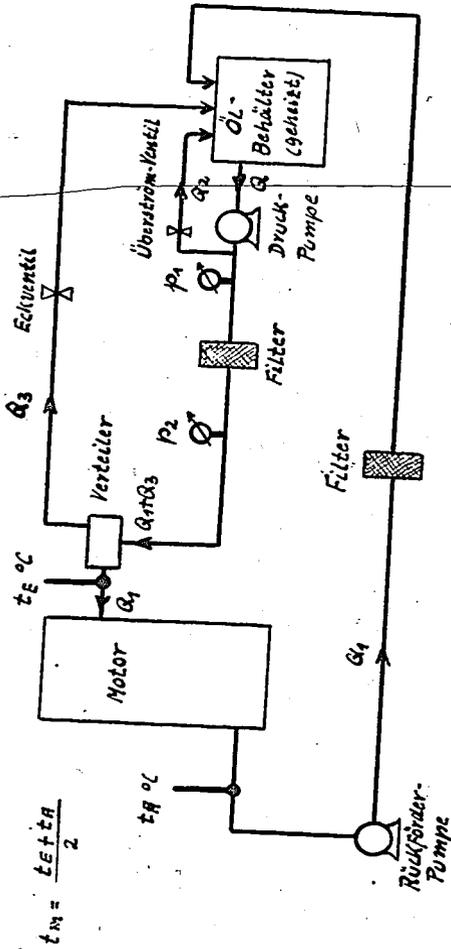
Nachdruck oder unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenersatzpflichtig

Gruppe E3c4

Bearbeiter Dr. Baier

Tag

Ölleitungs-Schema des BMW H-Einzykl.-Motors.



$$t_M = \frac{t_E + t_R}{2}$$

Neidig-Doppel-Zahnradpumpe

$n_{Motor} \approx 1550 \text{ UpM}$; $n_{Pumpe} \approx 775 \text{ UpM}$

G_1 = Umlauföl durch Motor

G_2 = Rücklauföl durch Überström-Ventil

G_3 = Rücklauföl durch Eckventil

G_4 = $G_1 + G_2 + G_3$ = Ges. Pumpenleistung

Gruppe	E3C1	Möller/Seroka	Tag
		Bearbeiter	

Schmieröl durchsatz-Messungen.

Motor: BMW \bar{H} -Einzyl.-Motor, $N_e \approx 50$ PS, $n \approx 1550$ u.p.M

Kühlstoff: Eintrittstemp. $\approx 72^\circ\text{C}$, Austrittstemp. $\approx 80^\circ\text{C}$

Schmieröl: Eintr. Temp. $t_e \approx 85^\circ\text{C}$, Austr. Temp. $\approx 65^\circ\text{C}$, $t_{\text{mittel}} = 75^\circ\text{C}$

lit/Std.

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

0

1

2

3

4

5

6

7 at.ü.

DRUCK P_2

Gesamte Förderleistung der Pumpe (Q_1)
(bei $t_e = 85^\circ\text{C}$)

$Q_0 = \text{Ölumlaufl}$
durch den Motor?
(bei $t_m = 75^\circ\text{C}$)

Öl-Rücklaufmenge
durch Überströmventil (Q_2)
(bei $t_e = 85^\circ\text{C}$)

Schmieröl	Viskosität cSt	
	85°C	75°C
Grünring	38,5	56
SS2009	35	49,5
ASM	33	47,5
Rotring D	31	44,5
Öl-Mischung 1	25	35
Öl-Mischung 2	18	24

0-1-2-3-4
Konstante Stellungen
des Eckventils
(0 = geschlossen)

Überströmventil bei Mischung
2 ganz geschlossen, sonst
Überströmventil bei jedem Öl
neu eingestellt und zwar so,
dass sich bei geschlossenem
Eckventil ein Öl-druck von 7 at.ü. ergab.

Nachdruck oder unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenersatzpflichtig

Gruppe E 3 E₁

Bearbeiter
Möller / Serok

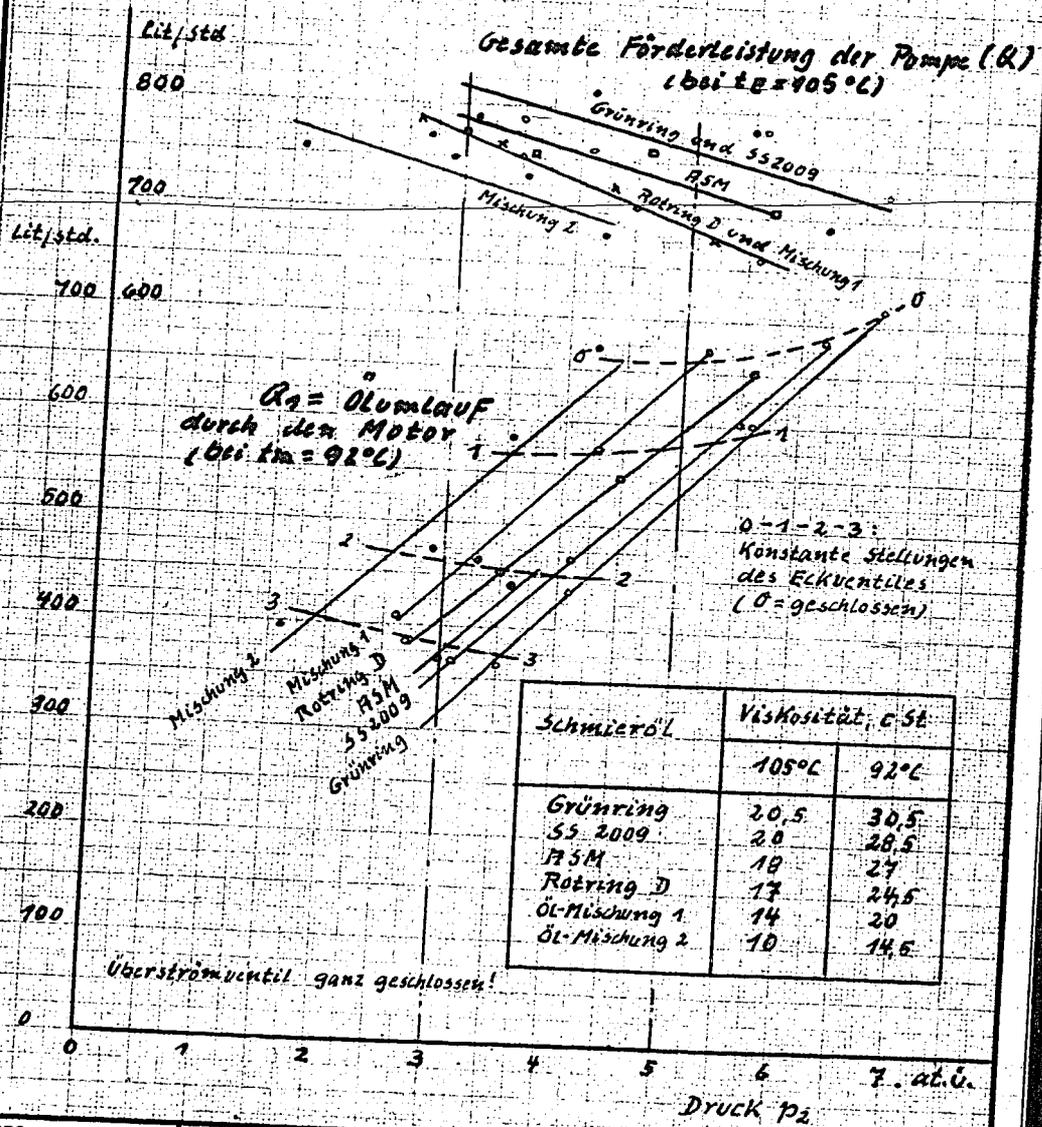
Tag

001183

Tafel 4

Blatt

Schmieröldurchsatz-Messungen.

Motor: BMW II - Einzyl-Motor, $N_e \approx 50 \text{ PS}$, $n = 1550 \text{ U/min}$ Kühlstoff: Eintrittstemp. $\approx 72^\circ\text{C}$, Austrittstemp. $\approx 80^\circ\text{C}$ Schmieröl: Eintr.-Temp. $t_E \approx 105^\circ\text{C}$, Austr.-Temp. $t_A \approx 80^\circ\text{C}$, $t_{\text{mittel}} \approx 92^\circ\text{C}$ 

Nachdruck oder unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenersatzpflichtig

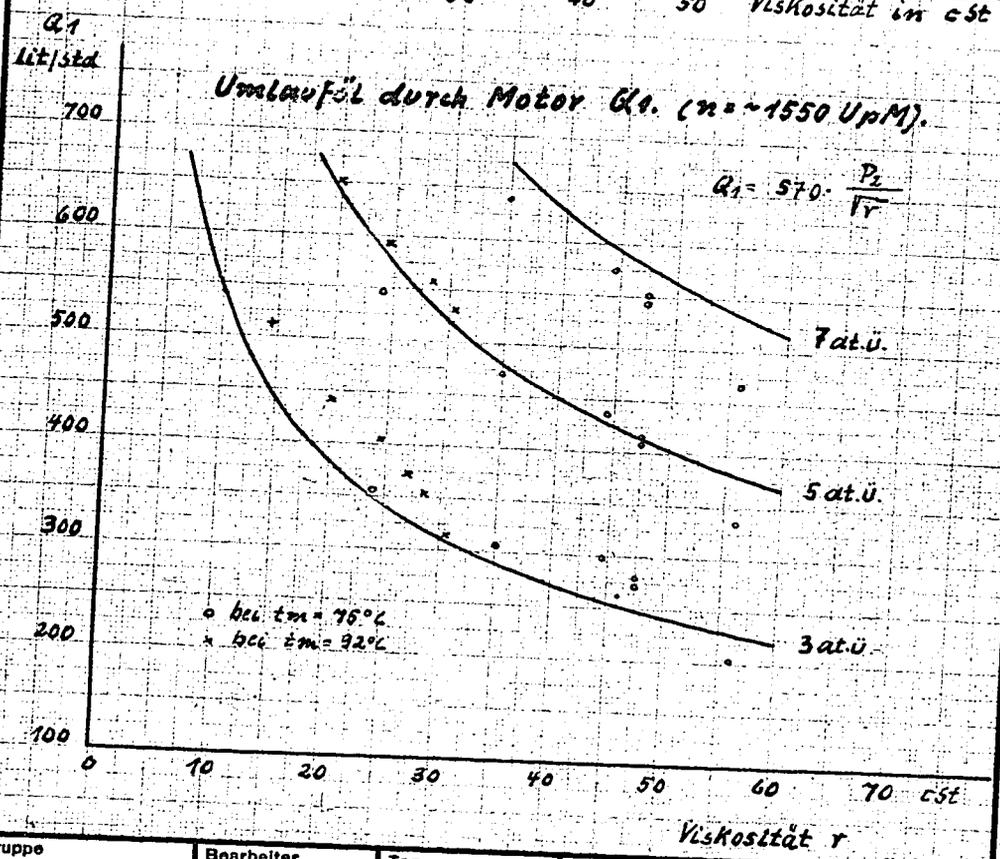
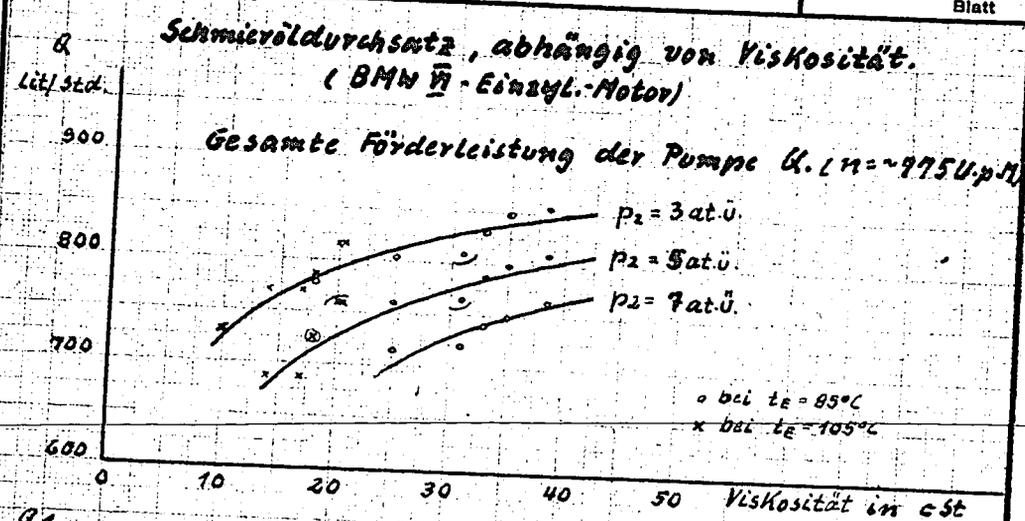
Gruppe E3 E1

Bearbeiter
Müller/Seroka

Tag

2000 G. 41 Millimeter-Stammblatt Größe A4

Fabriknorm Berlin-Friedensau



Nachdruck oder unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenersatzpflichtig

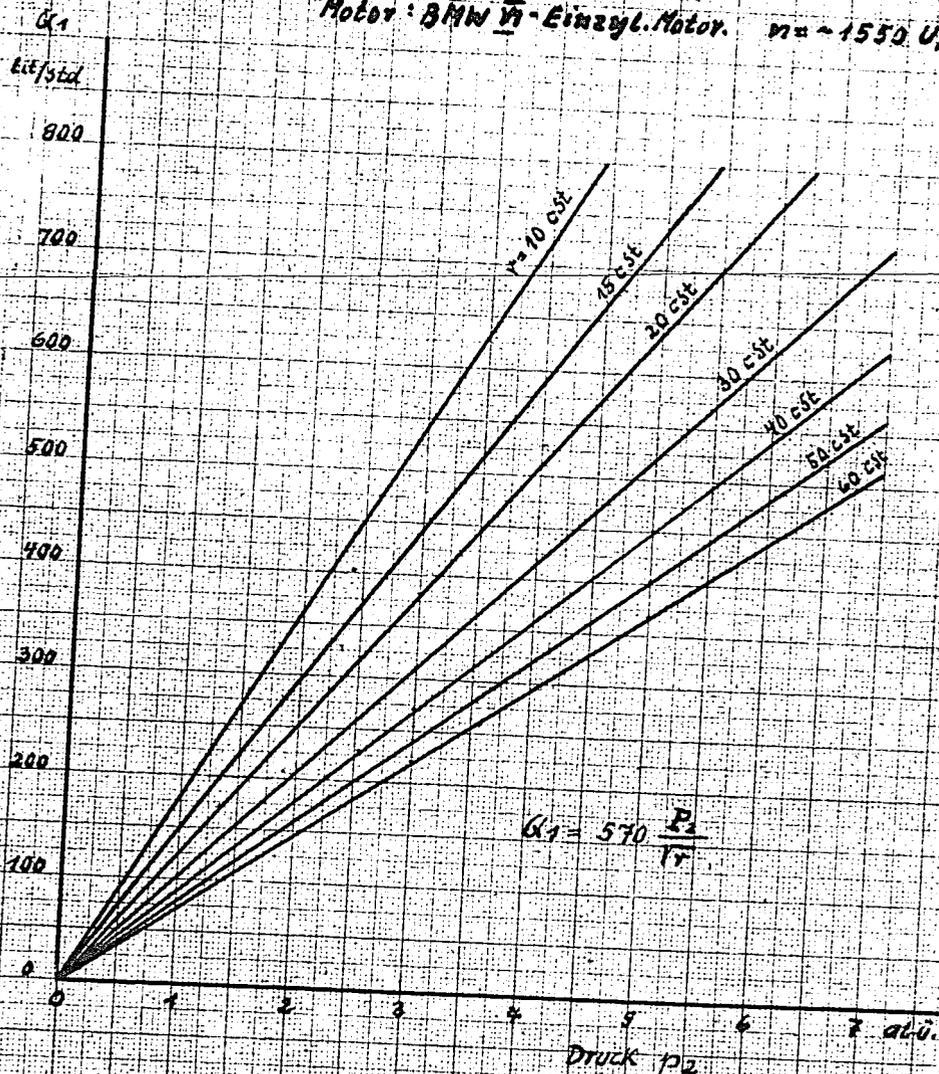
Gruppe	Bearbeiter	Tag		
--------	------------	-----	--	--

001185

Tafel 6.

Blatt

Umlauföl durch Motor G1.

Motor: BMW V-Einzyl. Motor. $n = 1550 \text{ U/min}$ 

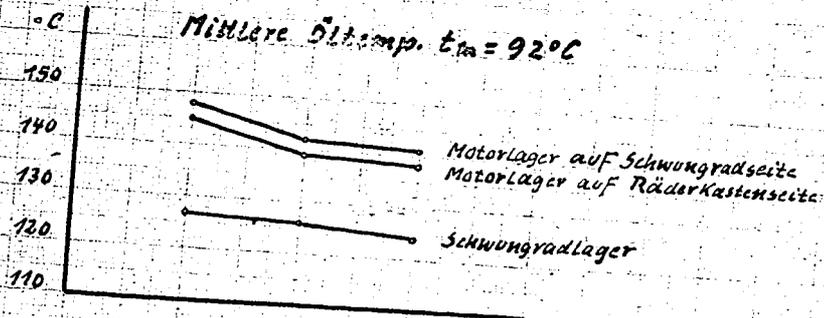
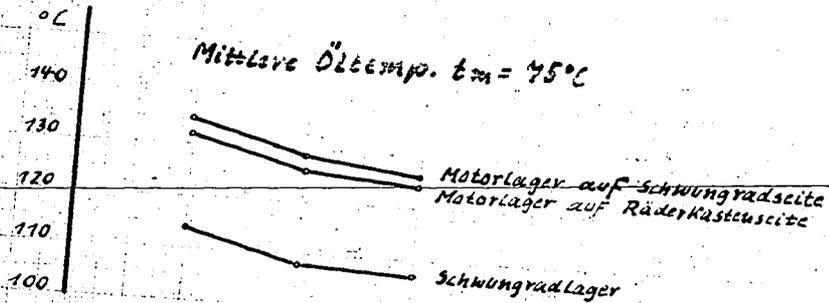
Nachdruck oder unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenersatzpflichtig

Gruppe

Bearbeiter

Tag

Lager-Temperaturen des BMW \bar{M} -Einzyl.-Motors,
abhängig von der Ölviskosität.



Grünung
FSM
Ölmischung 1

Viskosität abnehmend
→

Nachdruck oder unbedingte Verwendung ist strafbar und schadenverursachend

Gruppe

Bearbeiter

Tag

Reclin : 3 c
Erpr.Nr. 2525

Schmierölförderung im Motor bei kältebe-
ständigen Flugmotorenölen.

Tafel 8.

Blatt

Tafel 8: Ölumlauflauf in verschiedenen Motormustern.

Motor- muster	Motor- dreh- zahl	Schmierstoff	Re.H. Nr.	Schmierstoff-Temp.			Öldruck at.ü	Öldichte bei		Ölumlauflauf	Viskos. 10 ⁶ g m C	K = $\frac{Q_1 \cdot \sqrt{P}}{P}$
				t _E °C	t _A °C	t _M °C		20°C d/20	t _M d/t _M			
BMW- 132 A- Einzy- linder Motor	1900	ASM	13111	110	110	110	3,2	0,918	0,855	1308	1530	1875
"	"	SS 1060	13336	110	110	110	3,28	0,893	0,830	1330	1602	1865
"	"	Rotring D	13403	110	110	110	3,33	0,894	0,831	1329	1600	1854
"	"	SS 1080	13337	110	110	110	3,36	0,883	0,820	1315	1604	1804
BMW-132 H-Einzy- linder Motor	2100	Rotring D	13403	118	120	119	2,9	0,894	0,825	1460	1770	2088
"	"	L 15105	13939	116	118	117	2,8	0,895	0,827	1360	1645	1992
"	"	M 43	13940	118	122	120	2,8	0,894	0,831	1300	1565	1870
Bramo 323 P Werk Nr. 14175	2250	SS 980 r	12485	90	119	104,5	5,8	0,873	0,814	1330	1659	1196
Jumo 211 F, Werk Nr. 862	2400	P 20	11673	93	109	101	5,6	0,877	0,820	3750	4572	3652
" 1664	"	SS 902 F 25	11362	100	115	107,5	4,8	0,868	0,807	3700	4587	3445
" 1664	"	SS 960 DS	12220	90	103	96,5	5,2	0,882	0,829	3160	3811	3517

Gruppe
8000 8.41

Bearbeiter

Bef.

A S A K O D A K

Reclin E 3 c
Erpr.Nr. 2525

Schmierölförderung im Motor bei kältebeständigen Flugmotorenölen.

001187

Tafel 9
Blatt

Tafel 9: Ölumlauft in DB 600 G-Motoren bei n=2200 Uphl

Motor- muster: DB 600 G	Schmierstoff	Re.M. Nr.	Schmierstoff- Temp.		Öldruck P atoll	Öldichte bei 20°C t _m °C		Ölumlauft kg/h lit./hlost	Viskos. bei t _m °C	K = $\frac{Q_1 \cdot \sqrt{P}}{P}$
			t _A °C	t _M °C		d/20	d/t _m			
Werk-Nr. 2021	Rotring D	11799	65	93	3,9	0,890	2450	2887	37	4500
"	ASM	12177	65	92	3,6	0,916	2365	2702	40	4748
"	P 20	11673	65	93	3,5	0,877	2140	2560	39	4567
"	Rotring D	11799	64	93	3,6	0,890	2130	2510	37	4240
"	Rotring D	11799	63	92	3,8	0,890	2340	2753	40	4572
"	SS 970 a	11978	63	92	3,7	0,870	2240	2700	44	4839
"	SS902 P25s	12147	63	88	3,2	0,870	2400	2891	25	4320
Werk-Nr. 2023	Rotring D	12057	64	93	3,5	0,890	2250	2651	37	4608
"	SS 970	11975	63	93	3,3	0,871	2060	2482	41	4817
"	SS 970 r	11977	64	92	3,6	0,871	2250	2711	43	4940
Werk-Nr. 2169	Rotring D	12057	63	92	4,1	0,890	2370	2789	40	4300
"	SS 970 a	11978	63	92	4,1	0,870	2260	2722	44	4403
"	SS 970 r	11974	63	93	4,1	0,871	2290	2760	43	4414
"	SS 970 p	12815	62	92	4,2	0,873	2240	2696	45	4295
"	Rotring D	11976	62	92	4,2	0,872	2250	2704	42	4172
"	Rotring D	12057	62	92	4,0	0,890	2350	2766	40	4372
Werk-Nr. 50.461	Rotring D	12057	64	93	3,2	0,890	2310	2721	37	5175
"	SS 2010	12162	63	92	2,8	0,854	2150	2642	27,5	4950
"	P 20	12821	61	93	3,1	0,875	1945	2330	44	4985

E 10 V
Erpr.Nr.2563

Cetanzahlbestimmung von Dieselkraftstoffen (mit Trägheitsgebern nach Dr. Neumann)

Beilbericht 39
Blatt

E'Stelle Rechlin
Br.B.Nr. 281.766.../44

Rechlin, den 1. April 1944
13. April 1944

Prüfstelle
16. APR 1944
Zusammenfassung.

106

Im Rahmen der Bestrebungen, die Cetanzahlbestimmung von Dieselkraftstoffen zu normen und zu vereinfachen, wurde ein Vergleichsversuch mit verschiedenen Prüfstellen, deren Motoren (I.G.-Prüfdiesel, HWA-Motor und CFR-Diesel) einheitlich mit den Trägheitsgebern nach Dr. Neumann (Rhenania-Ossag) zur Bestimmung des Zündverzuges ausgerüstet waren, durchgeführt. Die Übereinstimmung aller Versuchsergebnisse ist gegenüber früher nicht wesentlich verbessert worden; innerhalb einzelner Motorengruppen (insbesondere beim HWA-Motor) ist sie besser, aber auch noch nicht befriedigend. Es muß also eine noch weitere Angleichung der Prüfmotoren und Prüfverfahren durchgeführt werden.

Bearbeiter:
Starke
Fl. Obering.

Gesehen:
[Signature]
Oberstleutnant
und Kommandeur

Verteiler:

- 1 x GL/A-II II
- 1 x E'Stelle Traventinde, E 3 L
- 1 x DVL, Institut für Betriebsstoffforschung
- 1 x O.K.H., Wa Prüf 6/IVe über GL/A-II II
- 1 x Fa. Robert Bosch GmbH., Stuttgart
- 1 x EMFS, Stuttgart-Untertürkheim
- 1 x I.C. Farben, Techn. Prüfstand Oppau
- 1 x Fa. Intava, Hamburg
- 1 x Fa. Juno, Dessau (O.H.W.-Wefo -SSd)
- 1 x Fa. Olex, Berlin
- 1 x Fa. Rheinpreußen, Lomberg/Niederrh.
- 1 x Fa. Rhenania-Ossag, Hamburg
- 1 x Fa. Ruhrchemie, Oberhausen-Volten
- 1 x E 10 I
- 1 x E 10 V
- 2 x Reserve

001188

Dieser Bericht enthält:
6 Blatt Text
1 Zahlentafel
3 Kurvenblätter

Bearbeitet:	Geprüft:	Geprüft:	Gelesen:
E 10 V: <i>Starke</i>	E 10 V: <i>H. Telling</i>	E 10: <i>Dr. Giesemann</i>	J: <i>[Signature]</i>
			J ₃ : <i>[Signature]</i>
Gruppe	Bearbeiter	Tag	

E 10 V
Erpr.Nr.2363

Cetanzahlbestimmung von Dieselkraftstoffen (mit Trägheitsgeber nach Dr. Neumann).

Teilbericht 39

2. Blatt

A. Aufgabe.

001189

Zwecks Fortführung der Normungsarbeiten für die Cetanzahlbestimmung von Dieselkraftstoffen (vergl. Teilbericht 16, Erpr. Nr. 2363) war ein Vergleichsversuch mit verschiedenen Prüfstellen, deren Motoren einheitlich mit dem Trägheitsgeber nach Dr. Neumann (Rhenania-Ossag) ausgerüstet worden waren, durchzuführen.

B. Ergebnis.

Die einheitlichere Versuchsdurchführung und die Verwendung des Trägheitsgebers nach Dr. Neumann hat, wenn man sämtliche Ergebnisse des Vergleichsversuches berücksichtigt, keine wesentlich bessere Übereinstimmung gebracht. Es bleibt selbstverständlich bestehen, dass der besonders einfache und leicht zu bedienende Trägheitsgeber für normale Cetanzahlbestimmungen allen bisher zur Bestimmung des Zündverzuges verwendeten Geräten vorzuziehen ist. Irgendwelche Beanstandungen sind der E-Stelle auch im Rahmen der vorliegenden Vergleichsversuche, bei denen der Trägheitsgeber erstmalig in grösserer Stückzahl Verwendung fand, nicht gemeldet worden.

Besser wird die Übereinstimmung, wenn man die verschiedenen Prüfmotoren für sich betrachtet. Das gilt insbesondere für den HWA-Motor, während die durchschnittliche Streuung der I.G.-Prüfdiesel beträchtlich grösser ist. Es ist also unbedingt erforderlich, dass zuerst die Prüfmotoren der gleichen Gruppe noch wesentlich besser als bisher gegeneinander abgeglichen werden.

Es hat sich das Ergebnis des Teilberichtes 16 bestätigt, dass der I.G.-Motor Cetanzahlen ergibt, die unter denen des HWA-Motors liegen (früher im Mittel 3,4 Cetanzahlen, dieses Mal 2,5 Cetanzahlen). Die Werte des CFR-Dieselmotors liegen dazwischen. Ob diese Unterschiede durch die verschiedenartige Arbeitsweise (Veränderung des Kompressionsverhältnisses gegenüber Drosselung der Ansaugluft) bedingt sind, soll noch untersucht werden. Jedenfalls müssen auch noch die verschiedenen Motorengruppen gegeneinander abgestimmt oder zum mindesten in eine eindeutige Beziehung zu-einander gebracht werden.

Die E-Stelle wird in Zusammenarbeit mit der Rhenania-Ossag versuchen, diese Abstimmung der Prüfmotoren wenigstens bei den Prüfstellen, die mit der Luftwaffe zusammen arbeiten, zu erreichen.

Gruppe

Bearbeiter

Tag

E 10 V
Erpr.Nr.2363

Cetanzahlbestimmung von Diesellost-
stoffen (mit Trägheitsgeber nach
Dr. Neumann).

Teilbericht 39

3. Blatt

C. Durchführung.

001190

Den Teilnehmern des Ringversuches wurden durch die E'Stelle
Rechlin, Abt. E 10 folgende 4 Gasölproben zugestellt:

Probe Nr.	Herkunft
1	Erdöldestillat
2	Braunkohlenschwefel
3	Fischersynthese
4	Genisch Erdöldestillat-Fischersynthese (Fl. Dieselloststoff K 1)

Die Proben wurden an einem Tage in einwandfrei saubere Kanister
gefüllt und zum Versand gebracht. Die Kraftstoffe waren beim
Einfüllen auf über 20°C angewärmt, um Paraffinausscheidungen mit
Sicherheit zu vermeiden.

Ebenso wurden durch die E'Stelle die Vergleichskraftstoffe, näm-
lich

- 1) α -Methyl-Naphthalin (Cetanzahl = 0)
- 2) Ruhrchemie-Cetan (Cetanzahl = 100)

zur Verfügung gestellt. Das Ruhrchemie-Cetan ist kein Cetan,
sondern lediglich ein Kraftstoff mit Cetanzahl 100, der aus
Beschaffungsgründen in Zukunft anstelle des reinen Cetans ver-
wendet werden soll; die Nachprüfung bei verschiedenen Prüfstellen
ergab, dass das Ruhrchemie-Cetan tatsächlich eine Cetanzahl 100
besitzt. Beide Vergleichskraftstoffe sind verhältnismässig billig,
so dass die Einführung weiterer Unterbezugskraftstoffe (wie bei
der Oktanzahlbestimmung) nicht notwendig ist.

Von den 17 Prüfstellen, die an dem Ringversuch teilnehmen wollten,
hatten bis März 1944 erst 11 Stellen mit 13 Motoren die Prüfer-
gebnisse mitgeteilt. Darunter befanden sich:

- 8 HWA-Motoren
- 4 IG-Prüfdiesel
- 1 CFR-Dieselmotor.

Sämtliche Motoren waren mit dem Trägheitsgeber nach Dr. Neumann
(Rhenania-Ossag) ausgerüstet. Geprüft wurde nach dem Verfahren
mit konstantem Zündverzug. Die im übrigen einzuhaltenden Ver-
suchsbedingungen sind nachstehend zusammengestellt:

Gruppe

Bearbeiter

Tag

E 10 V
Erpr.Nr.2363

Cetanzahlbestimmung von Diesellkraftstoffen (mit Trägheitsgeber nach Dr. Neumann).

Teilbericht 39

4. Blatt

001191

	HWA-Motor	I.G. Prüf-diesel
Drehzahl U _{PM}	995	1000
Kühlwasser-Austrittstemp. °C	70 ± 0,5	100
Ansaugluft-Temp. °C	80 ± 0,5	—
Zündverzug °KW	20°	20°
Einspritz-Beginn °KW vor O.T.	20°	20°
Zündbeginn	im o.T.	im o.T.
Einspritz-Druck atü	160	220
Einspritz-Menge	15 cm ³ /30	50 cm ³ /30

Wie aus Tafel I ersichtlich ist, sind die vorgeschriebenen Versuchsbedingungen im grossen und ganzen von den Versuchsteilnehmern eingehalten worden.

Die Bestimmung der Cetanzahlen sollte nun wie folgt vorgenommen werden:

Zuerst sollte an einem Tage eine Eichkurve aufgenommen werden, d.h. beim HWA-Motor der Zusammenhang zwischen Unterdruck in der Saugleitung und Cetanzahl, beim I.G.-Prüfdiesel der Zusammenhang zwischen Verdichtungsverhältnis und Cetanzahl ermittelt werden. Aus den Eichkurven erhält man bereits die ungefähre Grösse der Cetanzahl der Versuchskraftstoffe.

Anschliessend sollten dann die genauen Cetanzahlwerte der Versuchskraftstoffe ermittelt werden, indem diese unmittelbar mit 2 Mischungen der Vergleichskraftstoffe, die sich um nicht mehr als 5 Cetanzahlen unterscheiden, verglichen wurden. Jede Messung war 2 bis 3 Mal zu wiederholen und jedes Mal erst dann durchzuführen, wenn ca. 100 cm Kraftstoff durchgelaufen waren. Leider scheinen diese Vorschriften nicht von allen Stellen genau eingehalten worden zu sein.

Nachstehend sind die Ergebnisse der einzelnen Prüfstellen zusammengestellt:

Lfd.Nr.	Prüfstelle	Motor	Cetanzahl der Probe			
			1	2	3	4
1	R. Bosch Stuttgart	HWA	39,0	56,0	89,5	57,0
2	FKFS "	IG	35,7	54,2	85,0	57,3
3	I.G. Farben, Oppau	HWA	37,6	49,4	85,7	53,1
3a	" "	IG	36,7	52,7	85,0	54,3
4	Intava, Hamburg	CFR	38,5	51,7	89,5	52,0
5	Junkers, Dessau	IG	37,2	49,0	90,2	52,3
6	OLH Berlin	HWA	36,7	53,2	89,5	57,2
7	Glex Berlin	HWA	38,4	52,7	93,3	56,0
8	E' Stelle Rechlin ELO	HWA	39,0	53,4	93,4	58,2
8a	" "	IG	37,5	50,2	90,4	53,9

Gruppe

Bearbeiter

Tag

001192

Lfd.Nr.	Prüfstelle	Motor	Cetanzahl der Probe			
			1	2	3	4
9	Rheinpr. Homberg	HWA	39,3	51,7	88,6	57,6
110	Rhen-Ossag, Hamburg	HWA	38,7	54,0	93,0	57,9
11	Ruhrchemie Oberhausen	HWA	39,0	52,4	92,6	57,4

38,6 53,3 91,4 57,3

Die Ergebnisse sind auf Tafel 2 ausserdem graphisch dargestellt. Sie erscheinen auf den ersten Blick nicht sehr befriedigend. Fasst man jedoch die Ergebnisse der HWA-Motoren für sich zusammen, scheidet man dabei die anscheinend besonders schwierig zu prüfende Kraftstoffprobe 3 und den offensichtlich ganz aus der Reihe fallenden Prüfmotor 3a aus, so liegen immerhin 80% der gemessenen Werte innerhalb einer Versuchsgenauigkeit von ± 1 Cetanzahl. Dass der Prüfmotor 3a von den übrigen HWA-Motoren stark abweichen muss, geht aus der völlig anderen Lage seiner Eichkurve (vergl. Tafel 3) hervor.

Die Streuung der I.G.-Prüpdiesel untereinander ist erheblich grösser, wenn man auch berücksichtigen muss, dass diese Motorenart nur 4 mal vertreten ist, die Vergleichsbasis also schmaler ist. Es zeichnen sich 2 Gruppen von Motoren ab, deren eine zu hohe und deren andere zu niedrige Cetanzahlen ergibt. Leider sind diese Abweichungen auch nicht durch die ebenfalls recht unterschiedliche Lage der Eichkurven (siehe Tafel 4) zu erklären.

Der OPR-Diesel ergab Werte, die mit Ausnahme des besonders niedrigen Wertes für Kraftstoff 4 ungefähr zwischen den Mittelwerten der HWA- und I.G.-Motoren liegen.

Die Einführung der Trägheitsgeber nach Dr. Neumann hat also leider noch nicht die erwartete, wesentlich bessere Angleichung der Versuchsergebnisse auch verschiedener Motoren erbracht.

Da der E-Stelle keine Beanstandungen an diesem Gerät gemeldet wurden, muss angenommen werden, dass es alle Anforderungen hinsichtlich Betriebssicherheit und leichter Bedienbarkeit erfüllt hat. Die Ursachen für die immer noch zu starken Abweichungen bei der Cetanzahlbestimmung dürften folgende Gründe haben:

- 1) Die stark unterschiedliche Lage der Eichkurven gleicher Prüfmotoren deutet darauf hin, dass diese bei weitem noch nicht auf den denselben Zustand gebracht sind. D.h. es muss wenigstens eine annähernd gleiche Eichkurve für Prüfmotoren dergleichen Gattung gefordert werden.
- 2) Es muss untersucht werden, wie der nach dem Drosselverfahren arbeitende HWA-Motor, (auf dessen Weiterverwendung zum mindesten unter den derzeitigen Kriegsverhältnissen auf

Gruppe

Bearbeiter

Tag

E 10 V
Erpr.Nr.2363

Cetanzahlbestimmung von Dieselkraft-
stoffen (mit Trägheitsgeber nach
Dr. Neumann).

Teilbericht 39

6. Blatt

keinen Fall verzichtet werden kann), in eine bestimmte Relation zu dem mit veränderlicher Kompression arbeitenden I.G.-Prüfdiesel zu bringen ist.

- 3) Vermutlich sind ein Teil der Fehlergebnisse darauf zurückzuführen, dass bei der Herstellung der Vergleichsmischungen nicht mit der nötigen Sorgfalt gearbeitet wurde. Das Ruhrchemie-Cetan muss nämlich wegen seines schlechten Stockpunktes (+ 15°C) auf wenigstens 20°C vorgewärmt werden, um Paraffinausscheidungen zu vermeiden; diese Temperatur muss es also auch schon bei der Entnahme aus dem Vorratsbehälter besitzen. Dieselbe Temperatur muss bei der Herstellung einer Vergleichsmischung auch das α -Methyl-Naphthalin haben, weil andernfalls das gewünschte Mischungsverhältnis, das sich auf Vol.-% bei gleicher Temperatur bezieht, nicht erreicht wird.

001193

Gruppe

Bearbeiter

Tag

E 10 V
 Expr.Nr. 2363

Cetanzahlbestimmung von Dieselmotoren
 (mit Trägheitsgeber nach
 Dr. Neumann)

Teilbericht 39

7. Blatt

Anlage 1

Prüfbedingungen der einzelnen Prüfstellen.

Prüfstelle	Drehzahl U/min	Kühlwasser temp. °C	Ansaugluft- temp. °C	Zündverzögerung OKW	Einspritz- beginn OKW	Einspritz- druck at	menge cm/Hub	Einspritz- beginn OKW	Pendelbereich des Zünd- beginns °KW
<u>HWA-Motoren</u>									
1	980 ± 5	70 ± 0,5	80 ± 0,5	20	20	150	ca. 17	± 0,2	± 0,6
3	ca. 995	70 "	80 "	20	20	160	20	0,0 - 0,1	0,5
6	990 ± 5	70 "	80 "	20	20	160	16	0,2	bis 0,5
7	990 ± 5	70 "	80 "	20	20	160	16-17	ca. 0,1	bis 0,4
8	990 ± 2	70 "	80 "	20	20	160	16	0,1 - 0,2	0,3 - 0,5
9	1040	70 "	80 "	19,5	19,5	160	24	0,1	bis 0,5
10	990 ± 2	70 "	80 "	20	20	160	16	0,1 - 0,3	0,3 - 0,5
11	1000	70 "	80 "	20	20	160	16	0,1 - 0,2	bis 0,3
<u>I.G.-Prüfdieselmotoren</u>									
2	1150 ± 10	94	28	18	20	220	ca. 52	± 0,1	± 0,05
3a	1000	100	18 - 20	18	20	220	ca. 50	0,1	0,5-0,6
5	900	(30)	28	18	20	200	50	1	1
8a	900 ± 5	100	28	20	20	220	50	-	-
<u>CFR-Dieselmotor</u>									
4	900	100	60	20	20	130	cm/Hub	-	-

001194

Gruppe

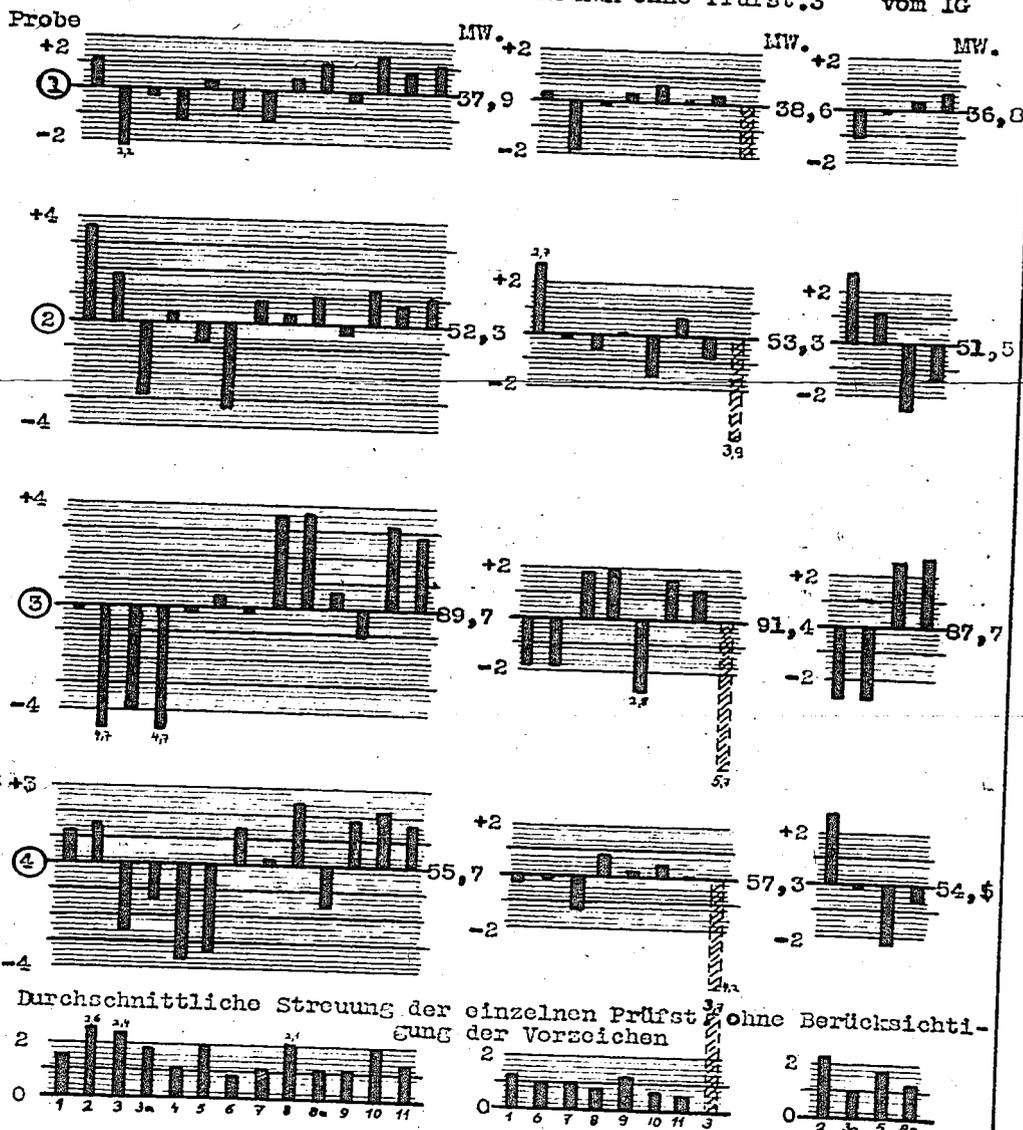
Bearbeiter

Tag

T a f e l 2.

001195

Streuungsgrenzen: von allen Motoren von HWA ohne Prüfst.3 vom IG

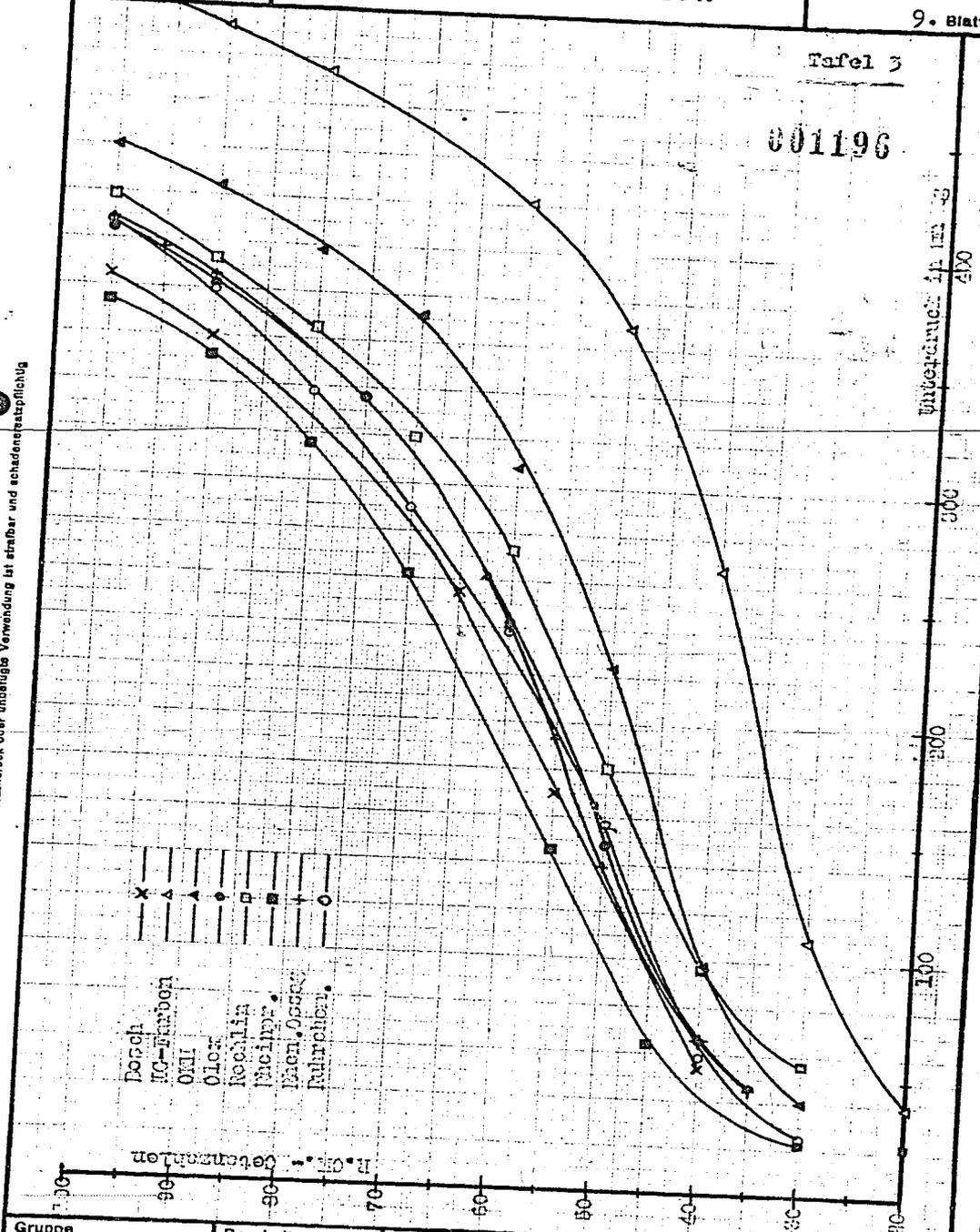


Gruppe	Bearbeiter	Tag	
--------	------------	-----	--

Tafel 3

001196

Nachdruck oder unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenersatzpflichtig



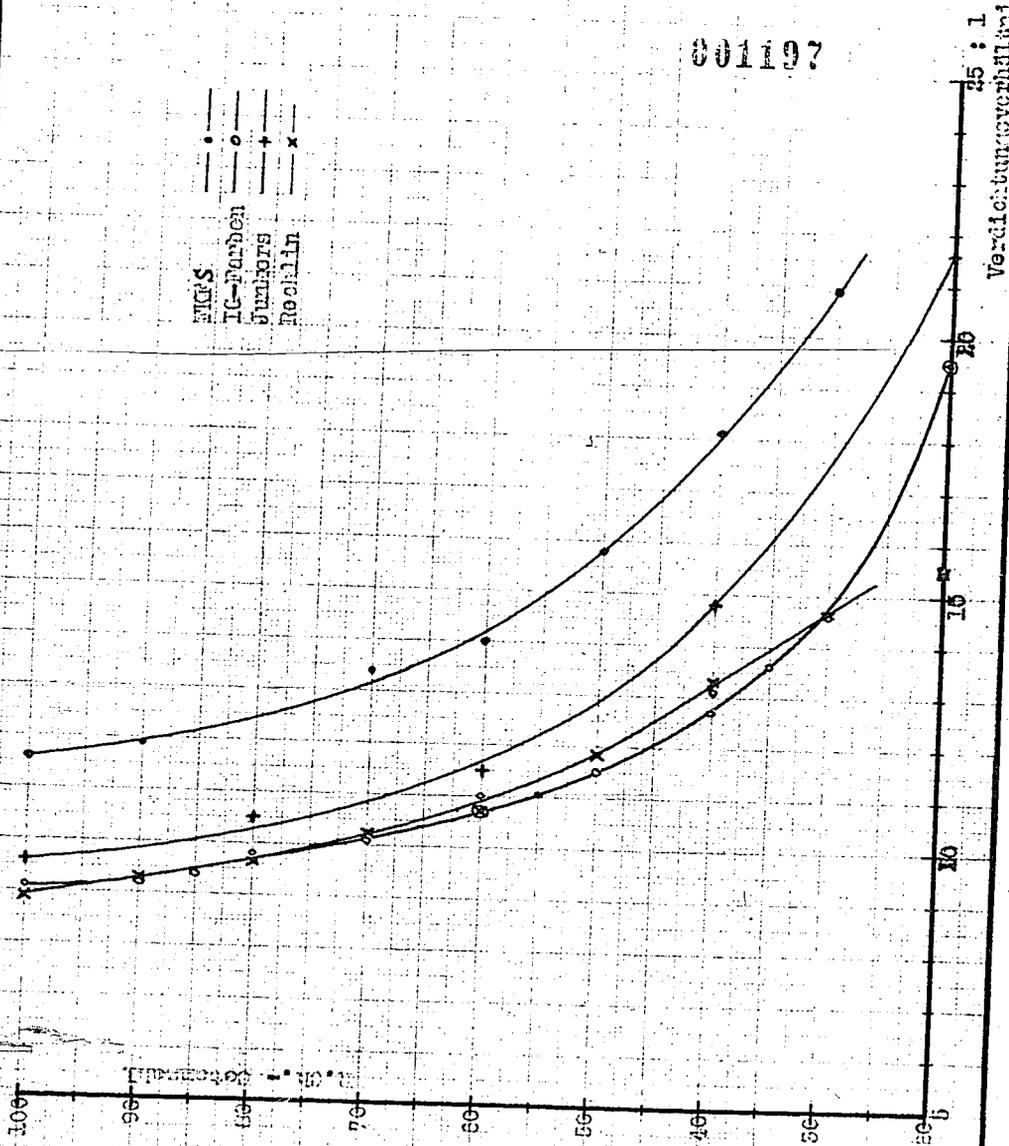
- × Bosch
- △ IG-Farben
- ▲ OMI
- Oloz
- Kocialia
- Meißner
- Eisen-Ossen
- Rulrichow

Gruppe	Bearbeiter	Tag

Tafel 4.

001197

• — MGO'S
 ○ — IC-Parben
 + — Juniors
 x — Hochlin



Nachdruck oder unbefugte Verwendung ist strafbar und schadenersatzpflichtig

(E)

REPORTS BY THE
FRANKFURT-SCH-TECHNISCHEN
REICH ANTA

C105 ITEM NO 107

001198



107

Bericht
der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

Gegenstand:

Entwicklung und Prüfung eines Kälteviskosimeters

im Auftrag des Oberkommando des Heeres

Auftrag Wa Prüf. 6 (IVb) S - 006 - 8821/40

Vorgang:

Dt.Schr. Wa A 85 d 24 Wa Prüf. 6 IV vom 18/3. 41

Der Bericht umfaßt:

12 Blatt Text

Bb.Nr. PTR 13 111.44

1 " Abbildungen

6 " Zeichnungen

Der Sachbearbeiter

Willenbergy

Reg.-Rat Dr.H.Willenbergy

Der Labor.-Vorsteher

W. Fricke

Reg.-Rat Dipl.Ing.W.Fricke



Der Abteilungsdirektor

Henning

Prof.Dr.F. Henning

001199

Inhalt.

A. Ziel der Arbeit.

B. Das Kälteviskosimeter K 2.

I. Beschreibung des Gerätes.

II. Erprobung bei normaler Newton'scher Strömung.

1. Experimentelle Ermittlung der Gerätekonstanten.

2. Berechnung der Gerätekonstanten.

3. Grenzen für die Brauchbarkeit des Gerätes.

4. Meßgenauigkeit bei Newton'scher Strömung.

III. Untersuchung von Stoffen mit "Anomalien".

C. Ergebnis der Untersuchung.

A. Ziel der Arbeit

001200

Zur Untersuchung der Viskosität von Ölen bzw. Fetten bei tiefen Temperaturen sind Geräte erforderlich, die auch im Bereich hoher Zähigkeit zu arbeiten gestatten und die eine mehrmalige Beanspruchung derselben Probe ermöglichen, sodaß auch nicht Newton'sche Öle und Stoffe einer eingehenderen Prüfung und Kennzeichnung zugänglich werden. Bei den bisher bekannten Geräten ist entweder jeweils nur eine einzige störungsfreie Messung an einer Probe möglich (z.B. H ö p p l e r - Konsistometer), oder die Temperatur der Probe läßt sich während des Versuchs nur schwer konstant halten und messen (z.B. Lagergeräte).

In der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt sind daher Kälte-Viskosimeter entwickelt worden, welche diese beiden Nachteile vermeiden. Das erste dieser Geräte ist von Hennenhöfer ¹⁾ - PTR beschrieben worden. Es ist ein Kapillarviskosimeter mit Druckluftantrieb und wird in einem Kühlschrank betrieben. Mit dem Ziel, zu einer handlichen Einrichtung zu kommen, mit welcher man in einem kleinen tragbaren Kältethermostaten messen kann, ist ein weiteres Gerät entwickelt worden (Kurzbezeichnung PTR K 2), das für geringere Genauigkeitsansprüche ausreicht. Es wird im folgenden beschrieben.

1) DVL - Bericht über die Schmierstofftagung in Berlin-Adlershof 1941, Seite 274; noch nicht endgültig veröffentlicht.

B. Das Kälteviskosimeter K 2.

001201

I. Beschreibung des Gerätes.

Das Hauptstück des Gerätes ist in Messing ausgeführt, damit die Temperatur gut ausgeglichen wird; es besteht aus 2 zylindrischen Behältern BB von 25 mm lichter Weite (Abb. 1 und 2), die durch die Meßkapillare C miteinander verbunden sind. Die Anschlüsse sind als Kugeldichtungen ausgeführt.

Abb. 1

Das Kälteviskosimeter K 2 im Thermostaten.

Abb. 2

Das Kälteviskosimeter K 2, rechte Seite geöffnet.
Rechts unten eine zweite Meßkapillare.

Es wurden zwei Kapillaren hergestellt (Innendurchmesser 3,4 und 6,0 mm, Länge 30 mm). Sie sind mit Kühlrippen versehen. Die zu prüfende Flüssigkeit wird nach vorheriger Herausnahme der Kolben in die Behälter BB bis zu etwa halber Höhe eingefüllt. Normale Stoffe, die bei der Versuchstemperatur unter der eigenen Schwere noch etwas fließen, lassen sich ohne Schwierigkeit luftfrei einseitig einfüllen. Auch Stoffe von der Konsistenz weicher Salben können, falls sie keine Erwärmung vertragen, noch mit Hilfe eines Hilfszylinders und eines der beiden Kolben eingefüllt werden: man drückt die Masse in einen beiderseits offenen Zylinder (Hilfszylinder) hinein, der die gleiche lichte Weite hat wie die Versuchszylinder BB. Dann setzt man den Hilfszylinder an einen der beiden geöffneten Versuchszylinder BB an und drückt mit einem der Kolben die Masse aus

dem Hilfszylinder in den Versuchszylinder luftfrei hinein. Bei den Messungen wird die eingefüllte Masse mittels der Kolben GG durch die Kapillare C hin und her gedrückt. Die Kolben haben 0,15 mm Spiel in den Zylindern. Auf eine Führung der Kolben an den Zylinderwänden mittels Führungsnasen (wie z.B. beim Fallkörperviskosimeter von Lawaczeck ²⁾) ist zunächst verzichtet worden. Die Kolbenstangen sind in Lagern FF geführt und mit Tellern versehen zum Auflegen von Antriebsgewichten. Die Bewegung der Kolben und damit der Durchfluß der Masse durch die Meßkapillare C wird an der Teilung T abgelesen. Die Bewegung der Kolben ist durch Anschläge AA begrenzt; der tiefste Stand ist etwa 5 mm oberhalb der Kapillarenachse. Das Gerät ist an einem Gestell befestigt und taucht bis zur Höhe M in das Alkoholbad eines Kegelthermostaten Th ein, der durch Verdampfung flüssiger Luft nach Henning ³⁾ gekühlt wird. Thermometer, Kühl- und Ruhrvorrichtung sind in Abb. 1 nicht gezeichnet. Die aus dem Bad herausragenden Teile sind zum Wärmeschutz in Hartpapierrohr ausgeführt oder damit umkleidet. Durch das völlige Eintauchen der Versuchszylinder BB und der Meßkapillare in das Thermostatenbad ist sowohl die Temperaturkonstanz wie die Möglichkeit der einwandfreien Temperaturmessung gesichert.

²⁾ ZS. d. VDI 63, 677, 1919

³⁾ F. Henning, Z. f. Instr. 33, 33, 1913

001293

Bei der Bewegung der Prüfmassen (Öle oder Fette) durch die Antriebsgewichte wird nicht die gesamte Energie in der Kapillare auf die Masse übertragen; ein geringer Anteil (wenige %) wird in den Spalten zwischen den Kolben und den Zylinderwänden verbraucht. Um zu verhindern, daß an dem aufsteigenden Kolben Luft vorbeitrifft und so in die zu prüfende Substanz gelangt, werden besonders bei Untersuchungen von Fetten beide Kolben mit zusätzlichen Gewichten ZZ vorbelastet. Infolge dieser Vorbelastung wird ständig ein wenig der zu prüfenden Masse auch durch den Spalt am aufsteigenden Kolben hindurchgedrückt. Die hindurchgedrückte Menge ist jedoch so gering, daß trotzdem zahlreiche Messungen mit einer Füllung ausgeführt werden können.

II. Erprobung des Gerätes bei normaler Newton'scher Strömung.

1. Experimentelle Ermittlung der Gerätekonstanten mit Hilfe von Normalölen.

Beim Versuch werden folgende Größen beobachtet: die Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) und die für einen bestimmten Kolbenweg H (cm) verstrichene Zeit t (s). Für die Zähigkeit η (Poise) muß eine Beziehung gelten, wobei $v = \frac{H}{t}$ ($\frac{\text{cm}}{\text{s}}$) die Geschwindigkeit des Kolbens, L (kp) ⁴⁾ die treibende Belastung und C die Konstante des Gerätes bedeuten. Durch Versuche ist festzustellen, ob C wirklich eine Konstante ist, unabhängig von L und v , wie es Gleichung (1) voraussetzt. Diese die praktische Brauchbarkeit des Gerätes entscheidende Prüfung wurde mit Normalölen durchgeführt, deren Zähigkeit η genau bekannt ist. Die Messungen ergeben so gleichzeitig den Zahlenwert für C . Es wurde in der Hauptsache mit der Kapillare II.

4) 1 kp (Kilopond) = 1 Kilogramm-Kraft.

001204

($\varnothing = 6,0$ mm) gearbeitet. In der Tabelle I und Abb. 3 sind eine Reihe von Meßergebnissen zusammengestellt zur Prüfung der Proportionalität von L und v , bzw. $\frac{1}{\eta}$ und v .

Tabelle I
Die Konstante C bei Messungen mit Kapillare II

Öltemp. °C	Zähigkeit Poise	Last L kp	Geschw. v cm/s	$C = \eta \cdot \frac{v}{L}$ Poise $\frac{cm}{s}$	Abweichung $\Delta C = C - C_m$
+ 10,0	65,2	1,0	0,382	24,9	-0,9
		0,2	0,0817	26,6	0,8
+ 5,0	108,6	0,2	0,0473	25,7	-0,1
		0,05	0,0128	26,2	0,4
		1,0	0,230	25,0	-0,8
0,0	188,1	0,5	0,0637	24,0	-1,8
		3,0	0,471	26,2	0,4
		4,0	0,559	26,4	0,6
- 5,0	340,2	0,1	0,00768	26,1	0,3
		0,5	0,0375	25,5	-0,3
		4,0	0,3105	26,4	0,6
- 10,0	645,5	1,0	0,0414	26,7	0,9
		4,0	0,162	26,1	0,3
- 15,0	1295	0,5	0,0102	26,4	0,6
		4,0	0,0832	26,9	1,1
- 20,0	2760	4,0	0,0385	26,6	0,8
		0,5	0,0044	24,3	-1,5
- 25,0	6310	2,0	0,00804	25,3	-0,5
		4,0	0,0164	25,8	0,0

Mittelwert $C_m = 25,85$ $\sum |\Delta C| = 12,7$
(für Kap. II)

durchschnittliche Abweichung
 $|\Delta C|_m = 12,7 : 19 = 0,67$
 $|\Delta C|_m : C_m = 2,6\%$

Abb. 3 zeigt in der oberen Figur die Kolbengeschwindigkeit v in Abhängigkeit von der Zähigkeit η und der Kolbenbelastung L , in der unteren Figur die Schwankungen von C , aufgetragen über L . (Dabei sind die Mittelwerte "0" der Übersicht wegen etwas seitlich versetzt eingetragen.)

Bei 8 verschiedenen Temperaturen zwischen $+10^\circ$ und -25°C , was einem Zähigkeitsbereich von 65 bis 6310 Poise entspricht, wurde die Kolbengeschwindigkeit v für mehrere Belastungen L gemessen und jeweils der entsprechende C -Wert nach Gl. (1) ermittelt. Ist C wirklich eine Konstante, so muß nach (1) die Beziehung

$$v = \frac{C}{\eta} \cdot L \quad (2)$$

für jeden Wert $\eta = \text{const}$ eine Gerade durch den Nullpunkt in Abb. 3 liefern. Innerhalb der Versuchs-Streuung ist dies der Fall. Die Schwankungen von C sind aus der letzten Spalte der Tabelle 1 zu ersehen. Als Mittelwert erhält man

$$C_{II} = 25,8 \frac{\text{Poise} \cdot \text{cm}}{\text{kp} \cdot \text{s}}$$

2. Berechnung der Konstanten C aus den Abmessungen des Gerätes.

Bei der Berechnung von C aus den Geräteabmessungen kann man nur eine rohe Übereinstimmung mit dem aus den Versuchen ermittelten C -Wert erwarten, da der Strömungsverlauf außerhalb der Kapillaren sich der Berechnung entzieht. Die Zähigkeit η (Poise) einer untersuchten Probe ergibt sich aus den Abmessungen des Gerätes in erster Näherung nach dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz zu

$$\eta = \frac{1}{8 \pi l} \cdot \left(\frac{r}{R}\right)^4 \cdot \frac{L}{v} = C \cdot \frac{L}{v} \quad (3)$$

Hierbei ist

l = wirksame Länge der Kapillaren (in cm) unter Berücksichtigung der Verbindungsstrecken zu den Versuchszyklindern BB

r = Radius der Kapillaren (cm)

R = Radius der Kolben (cm)

(An dieser Gleichung sind noch geringfügige Korrekturen anzubringen wegen der Scherkräfte, die in den Spalten zwischen den Kolben und den Zylinderwänden auftreten; ferner wegen des Einsinkens der belasteten Kolben in die Prüfmasse)

001206

Die Berechnung der Konstanten C_{II} aus den Geräteabmessungen nach Gl. 3 ergibt den Wert $30,6 \frac{\text{poise} \cdot \text{cm}}{\text{kp} \cdot \text{s}}$. Er weicht von der durch Messungen ermittelten Konstante

$$C = 25,8$$

um 16 % ab. Dieser Unterschied beruht, wie gesagt, in der Hauptsache auf den Strömungswiderständen außerhalb der Kapillaren, die bei der Rechnung nicht berücksichtigt werden konnten, oder mit anderen Worten darauf, daß man die "wirksame" Länge l der Kapillaren nicht genau angeben kann. Maßgebend ist allein die aus den Messungen ermittelte Konstante

$$C = 25,8$$

3. Grenzen für die Brauchbarkeit des Gerätes.

Der Bereich, innerhalb dessen die Größe C wirklich konstant bleibt, läßt sich auf Grund der Versuchserfahrungen folgendermaßen abgrenzen:

a) Anlauf und Auslauf.

Als Meßstrecke kann fast der gesamte Kolbenweg von der höchsten Stellung bis zum unteren Anschlag A ausgenutzt werden, wie Abb. 4 an 4 Messungen zeigt. Aufgetragen ist der Kolbenstand über der Laufzeit. Man erhält gerade Linien, das heißt konstante Kolbengeschwindigkeit und damit konstantes C für den gesamten Kolbenweg

b) Symmetrie des Gerätes.

Bei Auswertung einer größeren Anzahl von Messungen ergaben die Ablesungen auf der rechten Seite des Gerätes im Mittel etwa um 1 bis 2 % geringere Kolbengeschwindigkeiten als links.

c) Reibungswärme.

Die höchste praktisch vorkommende Belastung des Gerätes ist etwa 5 kp bei einer Laufzeit von etwa 100 s. Die Fallhöhe des Antriebsgewichtes L ist etwa 6 cm, die Energiezufuhr demnach $5 \text{ kp} \cdot 6 \text{ cm} = 0,3 \text{ m} \cdot \text{kp} = 0,7 \text{ cal}$. Für die Ölfüllung (etwa 35 cm^3 , Dichte $\sim 0,9$, spez. Wärme $\sim 0,5$) ergäbe sich daraus, wenn keine Wärme abgeführt würde, eine Temperaturerhöhung von

$$\frac{0,7}{35 \cdot 0,9 \cdot 0,5} = 0,045^\circ$$

während einer Messung. Das bedeutet bei einer Meßdauer von 100 s etwa $0,1^\circ$ Temperaturanstieg in 4 min. Diese Änderung liegt innerhalb der normalen Schwankungen der Badtemperatur.

Die mittlere Erwärmung der Masse durch die Messungen kann daher stets unberücksichtigt bleiben; (ebenso die örtlichen Erwärmungen, die nach Überschlagsrechnungen etwa höchstens den 1,5 fachen Betrag der mittleren Erwärmung annehmen). Berücksichtigt man die Wärmeableitung durch die Kapillarwand, so ergibt die Rechnung noch um etwa 8 % geringere Temperaturerhöhungen.

d) Zulässige Mindestlast und Höchstlast.

Bei geringen Belastungen fallen die veränderlichen Reibungswiderstände an den Gleitflächen stärker ins Gewicht. Daher sind in der Regel mit Lasten $L < 100$ p keine brauchbaren Meßergebnisse zu erhalten:

Abb. 5

Abb.5 zeigt als Beispiel eine Versuchsreihe von 4 Messungen 1, 2, 3, 4 bei sehr geringer Last ($L = 50$ p). Aufgetragen ist wieder der Kolbenstand über der Laufzeit wie in Abb.4. Diesmal werden aber keine Geraden, also keine konstanten Strömungsgeschwindigkeiten erhalten; gegenüber der geringen Belastung von 50 p fallen die schwankenden Reibungswiderstände schon zu stark ins Gewicht.

Die obere Belastungsgrenze für das Gerät in der vorliegenden Ausführung liegt bei etwa 5 kp. Für noch höhere Belastungen müßten u.a. die Kolbenstangen stärker ausgeführt werden.

4. Meßgenauigkeit bei Newton'scher Strömung
(Versuche mit Normalölen).

Die Unsicherheit, mit welcher man bei der Ermittlung der Zähigkeit eines normalen Stoffes mit dem vorliegenden Gerät rechnen muß, ist z.B. aus Tabelle 1 zu entnehmen ($\pm 2,6$ %); ferner auch aus den 4 Meßbeispielen der Abb.4 nach Umrechnung der gemessenen Geschwindigkeiten $v = \frac{\Delta H}{4t}$ auf eine einheitliche Temperatur ϑ_0
= - 5,3° : Tabelle 2.

Tabelle 2. Durchschnittlicher Meßfehler.

Meßg. Nr.	λ °C	v_s cm/s	Korr. \sqrt{v} x) %	cm/s	$v_{s,0}$ °) cm/s	$\Delta v = v - v_m$ cm/s
9	-5,49	0,0363				
10 x)	-5,39	0,0381 + 0,55 %	= 0,0363	0,0372	0,0372	-0,0006
11 x)	-5,22	0,0375 + 0,55 %	= 0,0383	0,0388	0,0388	+0,0010
12	-5,05	0,0393	= 0,0377	0,0373	0,0373	-0,0005
			= 0,0393	0,0380	0,0380	+0,0002
			Mittel $v_m =$	0,0378	0,0378	+0,00058

Durchschnittliche relative Abweichung: $\frac{|\Delta v|_m}{v_m} = \pm \frac{5,8}{378} = \pm 1,5 \%$

Tabelle 3 gibt die entsprechende Auswertung einer ähnlichen Reihe von 8 Einzelmessungen:

Tabelle 3-

Meßgen. Nr.	v cm/s	$\Delta v = v - v_m$ cm/s
1	0,02644	
2	2747	- 0,00004
3	2671	+ 99
4	2656	+ 23
5	2596	+ 8
6	2626	- 52
7	2611	- 22
8	2634	- 37
	Mittelwert $v_m = 0,02648$	- 14
		$ \Delta v _m = 0,00033$

Durchschnittliche relative Abweichung $\frac{\Delta v_m}{v_m} = \pm \frac{33}{2648} = \pm 1,25 \%$

Im Durchschnitt kann somit die Zähigkeit eines normalen Stoffes mit dem neuen Gerät innerhalb der Unsicherheitsgrenzen $f = \pm 2 \%$ bis $\pm 3 \%$ ermittelt werden.

III. Messungen an Stoffen mit "Anomalien."

Wie in Abschnitt II gezeigt wurde, genügt das Gerät bei Messungen mit normalen Flüssigkeiten der Hauptbedingung, daß

x) Bei Messung 10 und 11 Ablesung am aufsteigenden Kolben, daher eine Korrektur

o) $\frac{d \ln \eta}{d S} = - 0,13 \frac{1}{\text{Grad}}$

die gemessenen Zähigkeiten unabhängig sind von der Belastung L und der Kolbengeschwindigkeit v . Also kann man jetzt umgekehrt aus dem mit dem Gerät gemessenen Verlauf der Zähigkeit bei mehrfacher Beanspruchung schließen auf das Fließverhalten des untersuchten Stoffes.

Wie dies praktisch durchgeführt werden kann, ist an Hand eines Versuchsbeispiels aus Abb.6 zu ersehen. Bei dieser Versuchsreihe wurde ein Öl, das ausgeprägte "Anomalien" zeigt, d.h. nicht mehr dem Newton'schen Ansatz gehorcht, einem Dauerversuch mit mehrfachen Hin- und Hergang der Kolben unterworfen. In Abb.6 ist die "scheinbare Zähigkeit" über der Zeit aufgetragen. Die oberste Versuchsreihe ist bei der Temperatur $\vartheta = -22^{\circ}\text{C}$ mit der Belastung $L = 2$ kp durchgeführt; der erste Kurvenast gibt die Veränderung der scheinbaren Zähigkeit beim erstmaligen Absinken des linken Kolbens in Abhängigkeit von der Zeit wieder. Der zweite Kurvenast stellt die Werte der scheinbaren Zähigkeit dar, die man beim Zurückdrücken des Öls durch die Kapillare nach Wechsel der Belastung (Absinken des rechten belasteten Kolbens) erhält u.s.f.

Man erkennt, daß das bei diesen Versuchen benutzte Öl stark thixotrop ist und daß nach den durch den Lastwechsel bedingten kleinen und den absichtlich dazwischen geschalteten großen Pausen (-1 - 2 Stunden) eine Art Erholung, eine Rückbildung der Struktur des Öles stattfindet. Nach genügend starker mechanischer Bearbeitung des Öles (mehrfacher Hin- und Hergang) nähert sich die scheinbare Zähigkeit einem stationären Endwert. Die beiden folgenden Versuchsreihen sind mit dem gleichen Öl bei $\vartheta = -22^{\circ}\text{C}$, $L = 2$ kp und bei $\vartheta = -25^{\circ}\text{C}$, $L = 3$ kp durchgeführt; sie bestätigen die bereits gezogenen Schlüsse. Man kann also auch ein nicht-normales Öl mit dem neuen Gerät charakterisieren: nämlich durch Angabe des nach genügend häufigen Hin- und Hergängen des Kolbens erreichten stationären Endwertes der scheinbaren Zähigkeit und der zugehörigen Belastung.

Die z.T. erhebliche Streuung der Meßpunkte ist hauptsächlich bedingt durch die Ablesung sehr kleiner Weg- und Zeitabschnitte.

001209

C. Ergebnis der Untersuchung.

Der vorliegende Bericht zeigt, daß das beschriebene Kälteviskosimeter K 2 geeignet ist zur Untersuchung der Viskosität sehr zäher Stoffe bei tiefen Temperaturen. Ferner kann auch das Fließverhalten von Stoffen, die nicht mehr dem Newton'schen Ansatz gehorchen, mit diesem Gerät in einfacher Weise untersucht werden; besonders bei tiefen Temperaturen. Die bei einem solchen Stoffe mittels der Gerätekonstanten für Newton'sche Flüssigkeiten errechnete scheinbare Zähigkeit ist dann aber nicht mehr eine konstante Stoffeigenschaft, sondern eine von der Belastung und Versuchsdauer abhängige Größe (mechanische und thermische Vorbehandlung). In vielen Fällen erhält man bei genügender langer Versuchsdauer (mehrfacher Hin- und Hergang der Kolben) für eine bestimmte Beanspruchung einen stationären Endwert, der auch das nichtnormale Öl in gewisser Weise zu charakterisieren gestattet.

Der Arbeitsbereich des Gerätes erstreckt sich bis zu Temperaturen von etwa -70°C . Mit dem Gerät können Messungen ausgeführt werden in einem Zähigkeitsbereich von etwa 10^1 bis 10^5 Poise.

Abb. 7 zeigt z.B. Messungen mit einem Normalöl im Bereich von $2 \cdot 10^1$ bis $3 \cdot 10^4$ Poise.

Bei einer anderen Prüfung wurde mit dem Gerät K 2 und einem normalen Kapillar-Viskosimeter zusammen die η, ρ -Kurve eines Öls im Temperaturbereich von $+100^{\circ}\text{C}$ bis -70°C aufgenommen. Dabei stieg η von 10^{-2} bis 10^5 Poise, und die Ergebnisse der beiden verschiedenen Geräte schlossen mit guter Übereinstimmung aneinander an.

Die Untersuchung wird fortgesetzt.

001210

001211

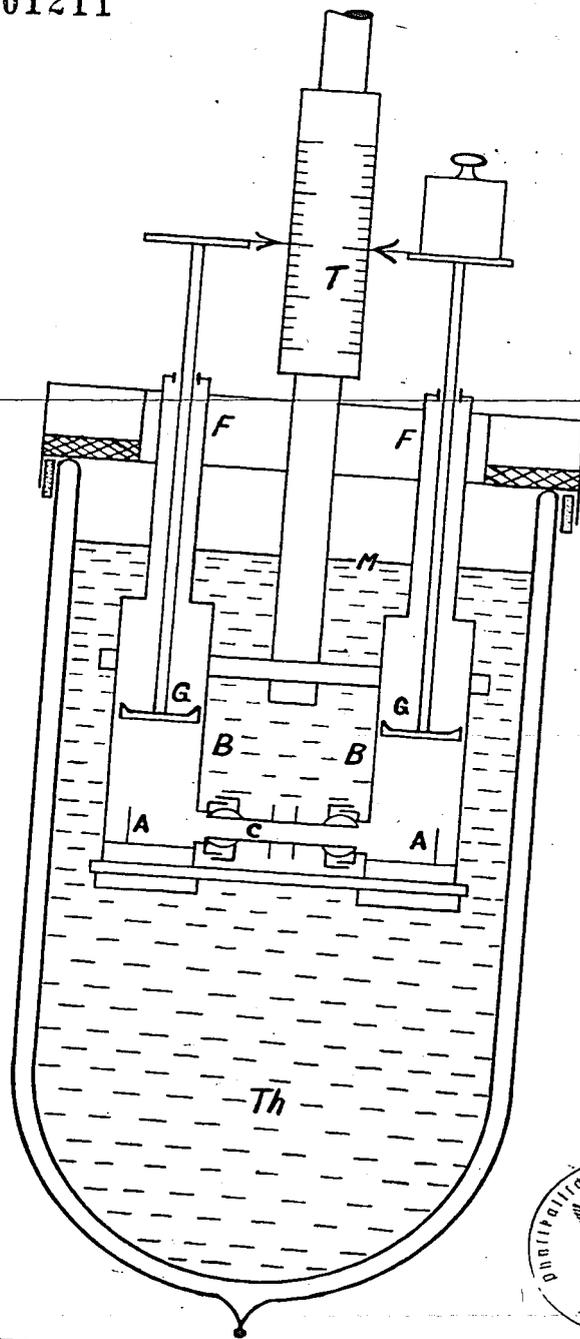


Abb. 1 Das Kälteviskosimeter K₂ im Thermostaten

001212

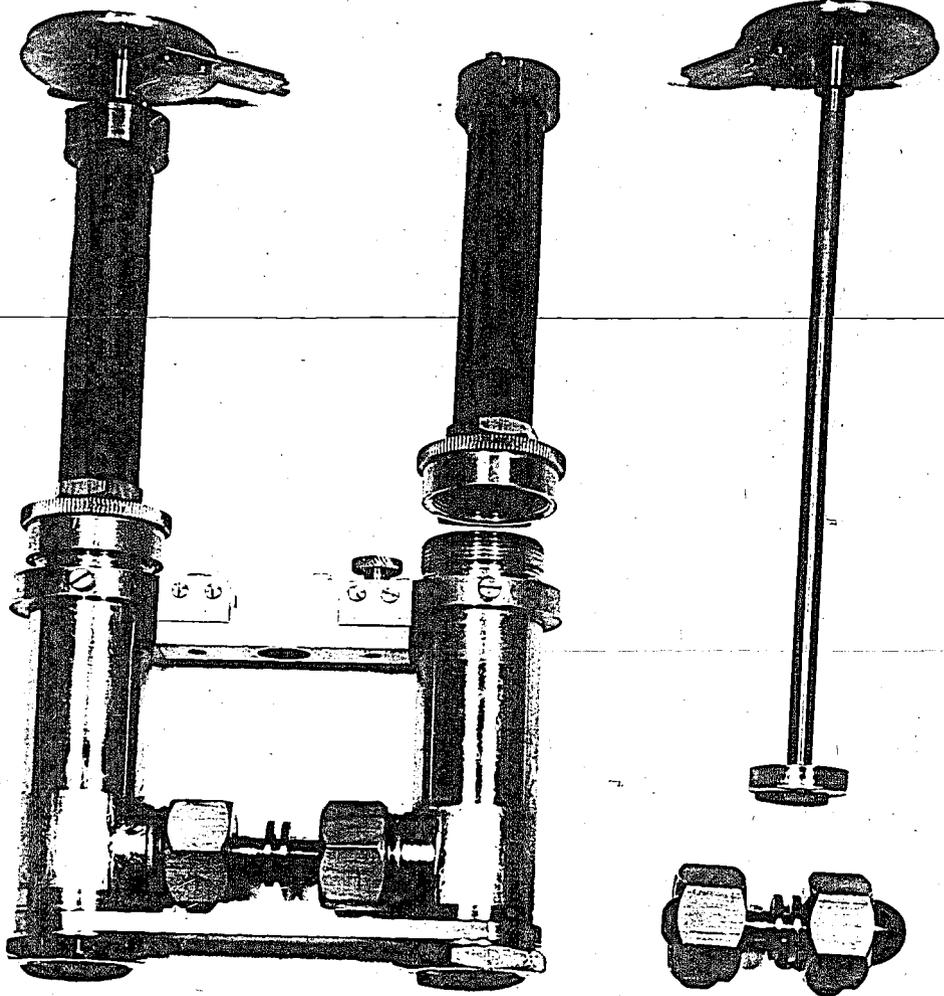


Abb. 2



001214

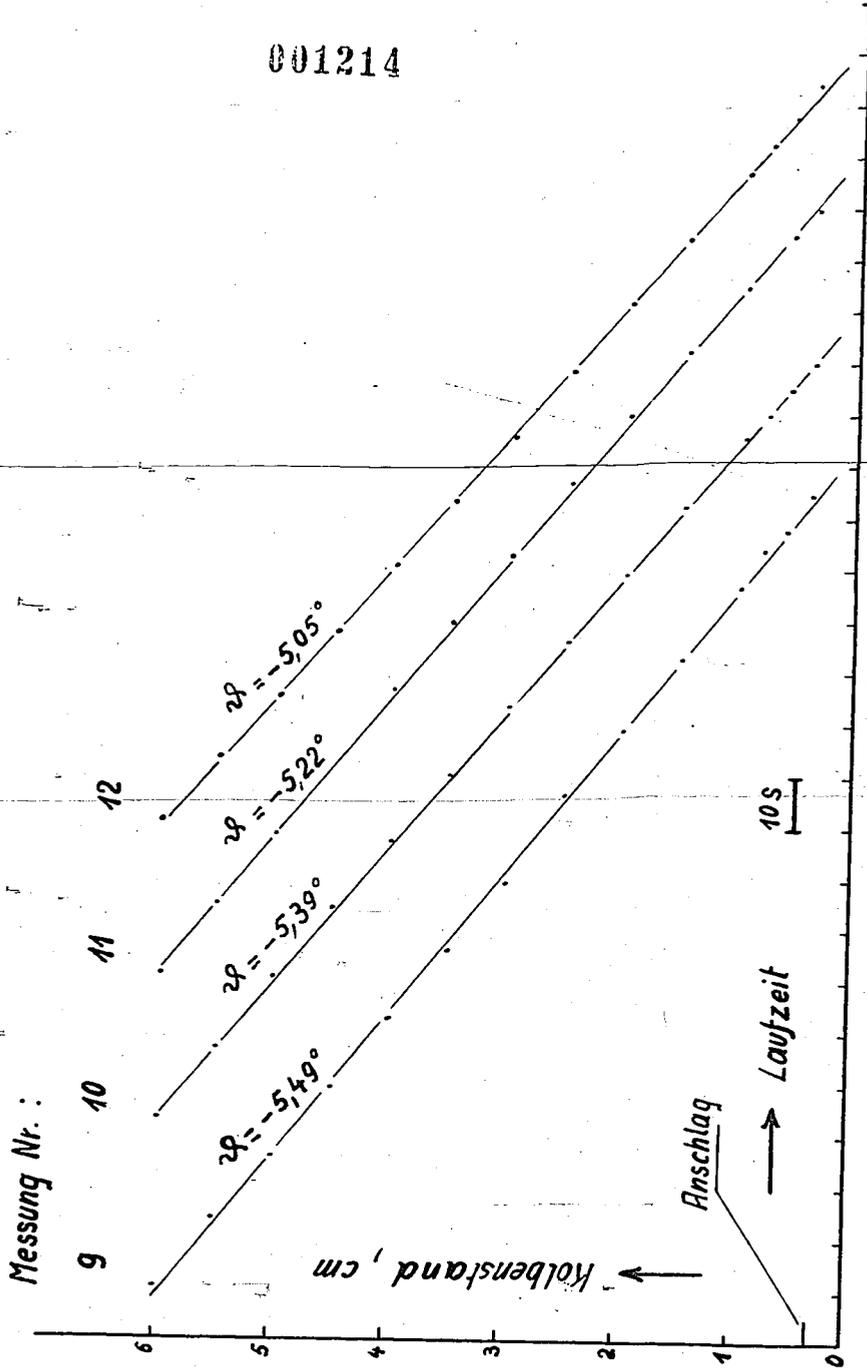


Abb. 4 Meßserie mit einem normalen Öl

A S A K O D A K S

Heftzahl- Marke

001215

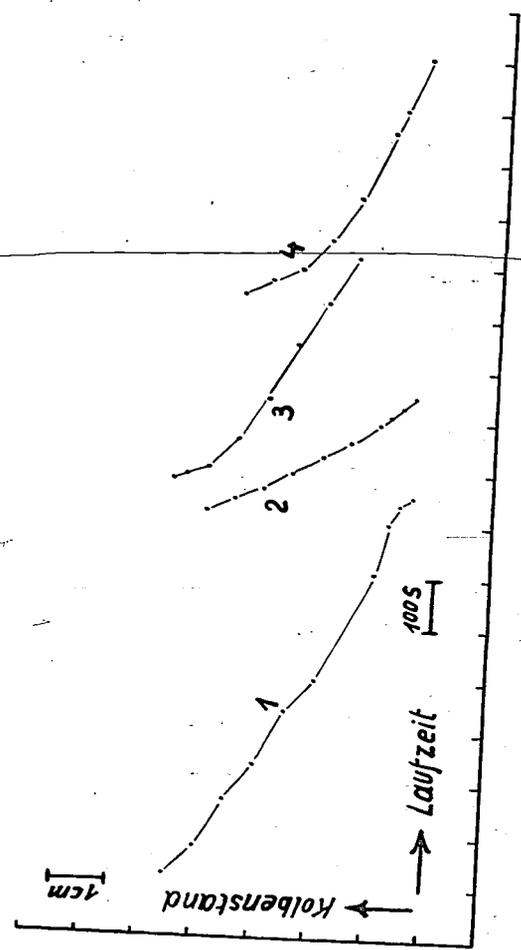


Abb. 5
 Schwankungen der Strömungsgeschwindigkeit
 bei zu geringer Last L (50p)



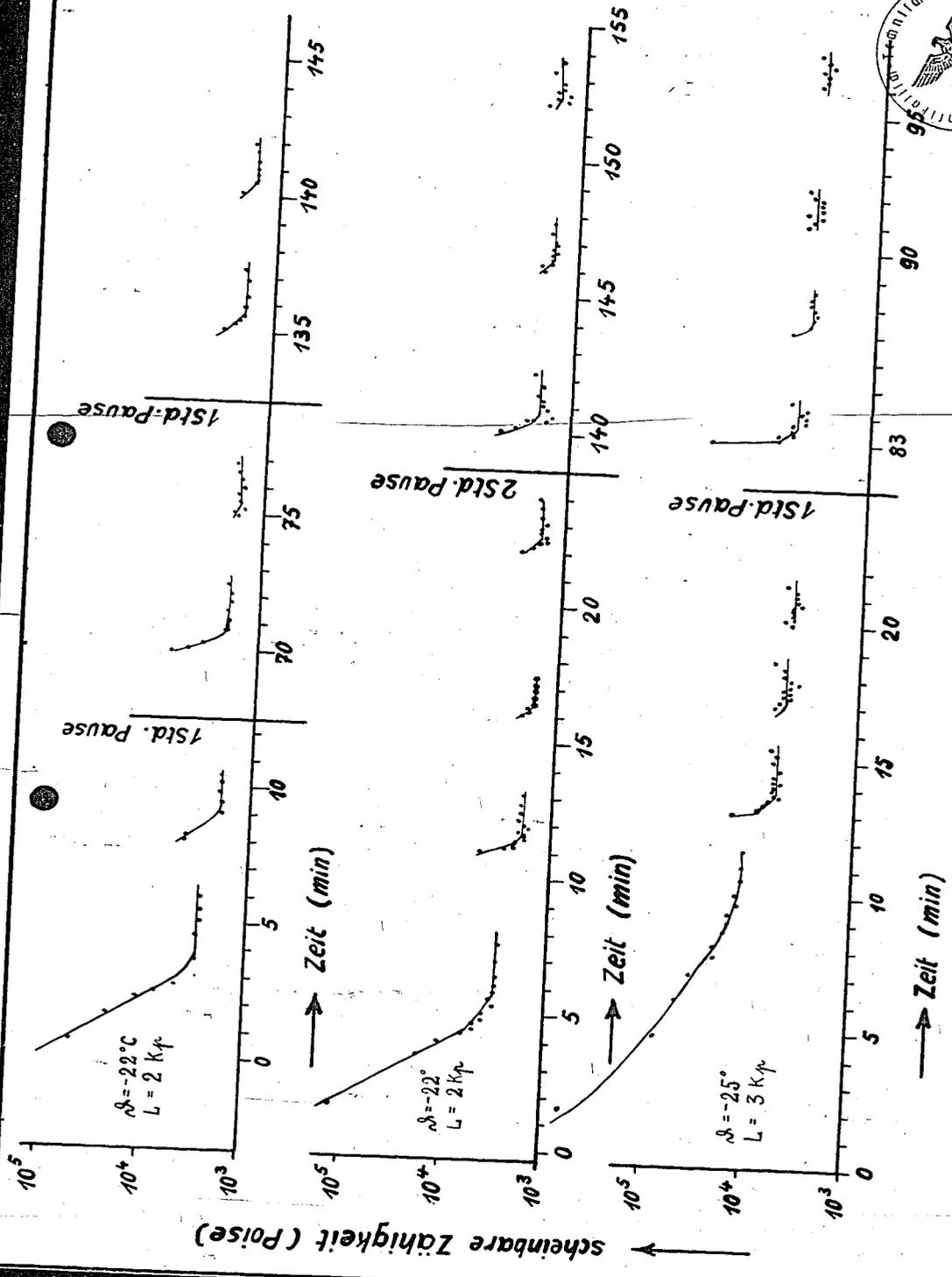
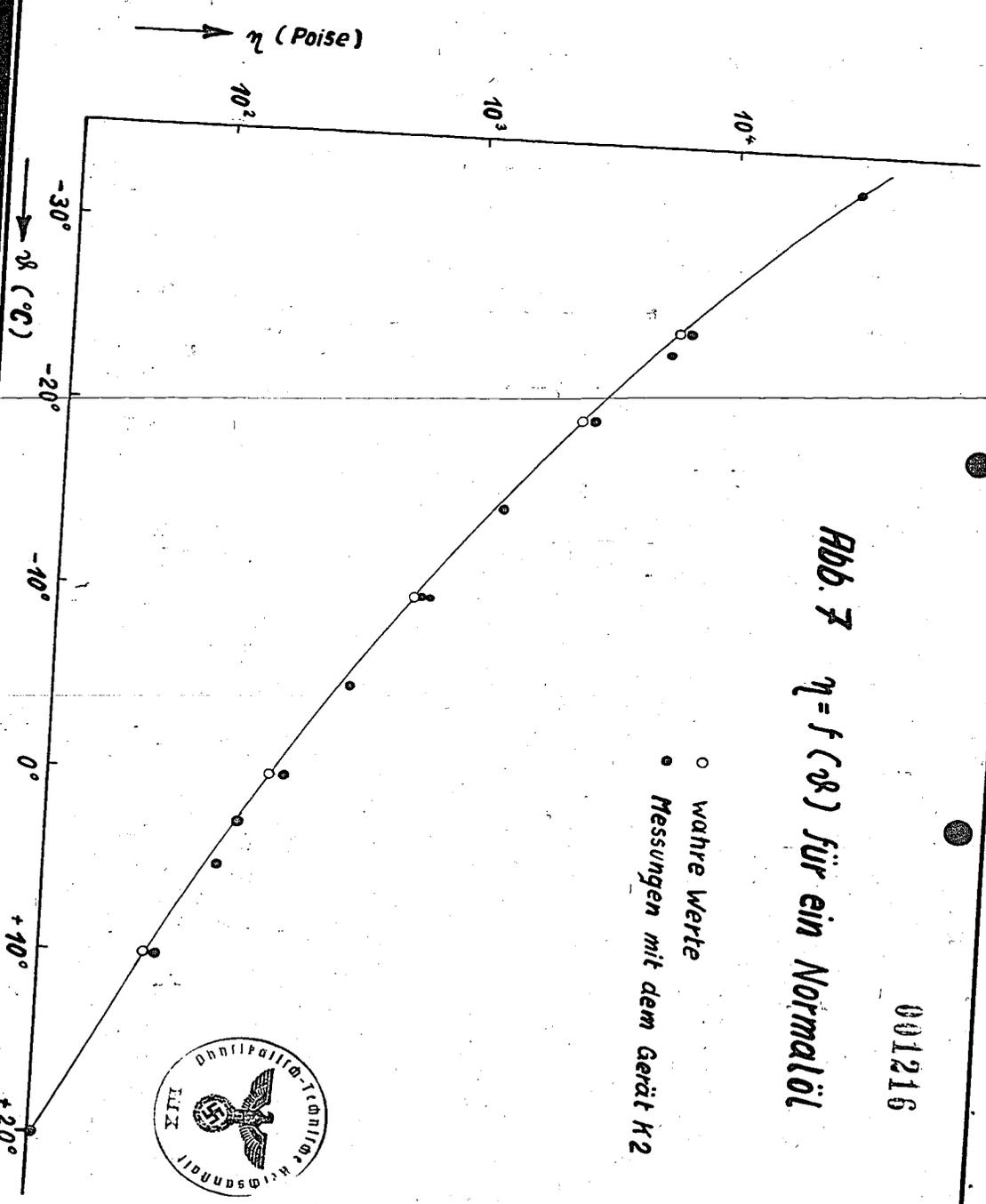


Abb. 6 Messungen an einem Öl mit Anomalien

001216

Abb. 7 $\eta = f(\vartheta)$ für ein Normalöl



○ wahre Werte
● Messungen mit dem Gerät K 2



(F.)

DVL REPORT

(CLOS ITEMS

Nos 108 & 109)

001217

1108

Vorschläge für die Beschlußfassung.
=====

1. Grundsätzliches: Unter Alterung von Ölen versteht man einerseits die wesenseigene Veränderung des Öles unter dem Einfluß von Sauerstoff und Temperatur (gegebenenfalls in Anwesenheit von Katalysatoren), wie sie im Laboratorium vorgenommen wird, andererseits aber auch die komplexe Veränderung des Öles, wie sie im Gebrauch in Maschinen eintritt. Die Veränderung beim Gebrauch umfaßt nun sowohl die wesenseigene Veränderung des Öles (wobei auch Verbrennungsprodukte des Kraftstoffes chemisch miteinwirken können) als auch die Verschmutzung durch mehr oder weniger zufällige Bestandteile, wie Restbenzin, Wasser, Bleioxyd, Abrieb, Staub, Ölkohle usw. Die unterschiedslose Gleichsetzung von Alterung im Sinn der wesenseigenen Veränderung und im Sinne der komplexen Veränderung des Öles im Gebrauch hat viel Verwirrung angerichtet, sodaß es zweckmäßig erscheint, zwischen beiden Vorgängen streng zu unterscheiden. Deshalb wird vorgeschlagen, die Begriffe in Zukunft in folgendem Sinne anzuwenden:

- a) Alterung als die wesenseigene Veränderung des Öles (vor allem thermisch oxydativer Art), gleichgültig, ob sie im Laboratorium oder im Motor erfolgt.
- b) Veränderung des Öles im Gebrauch als Summe der wesenseigenen Veränderung (Alterung) und der wesensfremden Veränderung (Verschmutzung).

Bei genauer Kenntnis der motorischen Vorgänge sollte theoretisch eine Vorhersage des Verhaltens von Schmierölen auf Grund von Laboratoriumsversuchen möglich sein. Wie gezeigt, müßte aber eine solche Laboratoriumsprüfung eine große Zahl von Einzeluntersuchungen umfassen, deren praktische Bedeutung für den Motor dann wieder sowohl im einzelnen, wie auch im Zusammenhang mit den anderen Prüfergebnissen des chemisch-physikalischen Verhaltens für jeden Einzelfall bekannt sein müßte. Eine solche Untersuchung muß den praktisch interessierenden Vorgang der Alterung einerseits nach rein wissenschaftlichen Verfahren erforschen, andererseits

001218

ihn auf möglichst einfache Weise laboratoriumsmäßig nachahmen. Alle diese Untersuchungen laufend vorzunehmen, ist unmöglich - sogar für einen einzelnen Fall erscheint dies schwierig - sodaß man laboratoriumsmäßig vor allem jene Einflüsse wird untersuchen müssen, die sich am allerstärksten auswirken. Dies erfordert 1) eine gründliche Analyse der motorischen Schmierölveränderung und der dabei herrschenden Bedingungen, 2) die Auswahl geeigneter Prüfverfahren, 3) die Kenntnis der für den motorischen Einzelfall in den Prüfdiagrammen maßgebenden Punkte, um eine richtige Beurteilung vornehmen zu können.

2. Motorische Ölveränderung: Der wesentlichste Vorgang im Motor ist die Alterung des Öles, d.h. die wesenseigene Veränderung vor allem unter dem Einfluß von Sauerstoff und/oder Temperatur. Dazu kommen noch eine Reihe von anderen Einflüssen, die für den motorischen Vorgang eine so große Bedeutung erlangen können, daß sie die nach der rein thermisch-oxydativen Alterung vorgenommene Einreihung der Öle ändern, z.T. sogar umkehren können. Bei Flugmotoren hat der Vorgang der Alterung wegen der verhältnismäßig kurzen Betriebszeit des Öles wohl weniger praktische Bedeutung für die Gesamtumlaufmenge des Öles als bei Automobilen. Bei der Veränderung des Öles im Verbrennungsraum, in den Kolbenringnuten und an der Unterseite des Kolbens wirkt neben der Alterung in verschieden hohem Maße eine Reihe anderer Einflüsse mit, sodaß bisher keine einwandfreie Beziehung zwischen Laboratoriumsalterung und Laufzeiten bis zum Ringstecken gefunden wurde. Außer der Asphalt- und Rückstandsbildung spielen wohl die Abhängigkeit der Asphaltlöslichkeit von der Temperatur, sowie die Flüchtigkeit, das Suspensionsvermögen usw. eine wesentliche Rolle. Dabei ist zu berücksichtigen, daß Asphalt kein wissenschaftlicher, sondern ein rein konventioneller Begriff ist. Für die Veränderung des Öles im Umlauf sind alle Temperaturen von Einfluß, die hier auftreten; sie können also bis zur Temperatur der Kolbeninnenseite ansteigen. Für das Ringstecken sind hingegen die Temperaturen der Kolbenaußenseite (beson-

001219

ders der Ringnuten) maßgebend, während für die Rückstandsbildung im Verbrennungsraum die Temperaturen der abgrenzenden Bauteile in Frage kommen.

3. Wahl geeigneter Laboratoriums-Prüfverfahren: Eine Universallösung für sämtliche Zwecke gibt es nicht. Zur Prüfung der Alterungsneigung kann man entweder die Menge verschiedener Oxydationsprodukte wählen, die bei einer Temperatur innerhalb bestimmter Zeit entstehen, die Zeit, innerhalb derer bei einer Temperatur eine bestimmte Menge von Oxydationsprodukten auftritt oder - seltener - die Temperatur, bei der sich innerhalb einer gegebenen Zeit bestimmte Mengen von Oxydationsprodukten bilden. Für Alterungsprüfungen empfiehlt es sich vor allem, die zeitliche Abhängigkeit zu untersuchen, für Untersuchungen des Ringsteckens dagegen die Abhängigkeit von der Temperatur. Die übermäßige Abkürzung der Versuchszeit durch übersteigerte Bedingungen (Temperatur oder Sauerstoffkonzentration) ist bedenklich. Reproduzierbarkeit ist wie immer die erste Voraussetzung der Eignung eines Prüfverfahrens, sie wird bestimmt durch einfache Verhältnisse und Beherrschung des gesamten Alterungsvorganges. Die Verwendung von praktisch in Frage kommenden Katalysatoren ist zulässig, sofern sie nach ihren Eigenschaften genügend genau festgelegt werden können. Der Einfluß der Mengenverhältnisse, des Verteilungsgrades des Öles, sowie der Art der Ölzugabe ist bisher wenig bekannt, obwohl er vielleicht eine Rolle spielt.

Zur Beurteilung erscheinen derzeit zwei verschiedene Verfahren der Alterung aussichtsreich: Luftdurchleiten durch das Öl (Indiana, Air Ministry) für die Prüfung der Alterung im Kurbelgehäuse, Schalenoxydation bei verschiedenen Temperaturen für die Ringsteckneigung (DVL, Wright).

Die Vorschrift für die Asphaltbestimmung nach BVM hat sich nach Versuchen der Ruhr-Chemie als unverläßlich erwiesen und muß deshalb baldigst abgeändert werden.

001220

4. Wahl des Bezugspunktes im Prüfdiagramm: Um eine Charakteristik der Öle für verschiedene Verwendungszwecke geben zu können, muß man Diagramme über die Temperatur und die Zeit aufnehmen. Die Zuordnung des Prüfwertes zu dem praktischen Einzelfall ist dann so vorzunehmen, daß man jene Temperatur oder Betriebszeit des Motors zu Grunde legt, die für den betreffenden Fall in Frage kommt. Dabei ist Voraussetzung, daß diese Motortemperaturen bekannt sind.

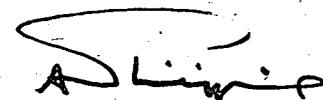
5. Motorische Prüfung: Der Vollmotor bezw. der Flugversuch bleiben nach wie vor die entscheidende Instanz für die Beurteilung der Öle. Zur Vereinfachung muß man aber Einzylinder-Motoren wählen, die entweder einen Zylinder des Flugmotors verwenden oder sich bezüglich des zu untersuchenden Vorganges dem Flugmotor ähnlich verhalten. Zahlenmäßige Beziehung zwischen Vollmotor und Einzylindermotor muß angestrebt werden; dazu muß aber zuerst einmal die zahlenmäßige Bewertung des Vollmotors für die Öle vorliegen, sei es, daß sie die Schlammmenge oder die Zahl der festen Ringe unter bestimmten Bedingungen angibt oder ein summarisches Maß verwendet, wie es z.B. Nutt erwähnt; Unterlagen in dieser Richtung sind dringendst nötig, da sie ja das Maß der Arbeit bestimmen, die in die Öluntersuchung gesteckt wird. Versuche mit einer größeren Zahl von kleineren Motoren dürften eine gewisse Aussicht auf Erfolg bieten. Die Anwendung der Überladung erscheint solange unnötig, als nicht Übereinstimmung bei den Versuchen ohne Überladung erreicht wird. Alle Motorversuche sollten die Charakteristik über die Temperatur erstreben. Da die Betriebsbedingungen größeren Einfluß haben können als die Bauart der Motoren, müssen sie sorgfältig ausgewählt werden! Automatisierung der Bedienung erscheint für Beschleunigung der Arbeit sehr notwendig. Die Neigung der Öle zur Verschlämmung, sowie der Verschleiß der Kolbenringe (als Maß der Schmiereignung) sollten bei den Einzylinderläufen miterfaßt werden. Dazu erscheint der Einbau eines schlammabscheidenden Elementes in den Motor oder die einheitliche Verwendung einer Zentrifuge zweckmäßig.

001221

Zur besseren Überwachung der Betriebsbedingungen ist die laufende Messung der Kolbentemperaturen und der in den Teilkreisläufen umlaufenden Ölmengen anzustreben.

Die Untersuchungsergebnisse der I.G., Ruhrchemie und Intava mit kleinen Motoren sollen innerhalb von 6 Monaten miteinander und mit den Ergebnissen des 132-Motors verglichen und auf ihre Zuverlässigkeit geprüft werden, um eine Entscheidung über die allgemeine Verwendung eines dieser Motoren zur Ölprüfung fällen zu können.

6. Grenzwertlegung: Da die motorische Charakteristik der Öle über Brauchbarkeit oder Unbrauchbarkeit entscheidet, muß sie auf Grund eines überprüfbaren Grenzwertes erfolgen, gleichgültig, ob es sich um die Schlammbildung oder das Ringstecken handelt. Dieser Grenzwert müßte nach genügender Bewährung dann auch in den Lieferbedingungen erscheinen. Zahlenmäßige Ergebnisse von Firmen in der angedeuteten Richtung sollten dem RLM über die DVL (BS) zugeschickt werden.



A. v. Philippovich

v. Ph. Bn.
13.5.42

Zusammenfassung

der Aussprache über Kraftstoffprobleme der Luftfahrt
in der DVL am 16. und 17. Juni 1941

A. Erfassung der Klopffestigkeit:

Allgemeine Richtlinien zur Messung der Klopffestigkeit.

- 1) Sowohl die Motor- wie die Laboratoriumsverfahren sind danach zu unterscheiden, ob sie für die Herstellungs(Gleichmäßigkeits)kontrolle von Kraftstoffen oder für die Beurteilung des Klopffverhaltens unbekannter Herkunft oder Zusammensetzung dienen sollen.
- 2) Dementsprechend würden sich die Motor- und Laboriumsverfahren einteilen lassen, sodaß eine allgemeine Richtlinie für die Anwendung der Verfahren gegeben werden könnte. Bis auf weiteres genügt die Laboratoriumscharakteristik nur zur Herstellungs-kontrolle. Auch die Octanzahl und der I.G.- bzw. CFR-Motor genügen bei normaler Anwendung nur diesem Zweck; vorteilhafter erscheint wegen der geringeren Kosten, leichteren Bedienung und - besonders für teure Entwicklungskraftstoffe - kleinen Versuchsmengen die Verwendung eines kleinen Motors mit Überladung, der baulich nicht allzu große Verschiedenheiten vom Flugmotor aufweist; die bisherigen Versuche sind erfolgversprechend. Ob ein solcher Motor allerdings den derzeit verwendeten BMW 132-Einzyliermotor voll-kommen ersetzen kann, wird noch weiter zu prüfen sein. Der 132-Einzyliermotor stellt derzeit den letzten Schritt vor dem Vollmotorenversuch dar. Seine teure und umständliche Wartung verhindern eine allgemeine Verwendung im Sinne des CFR-Motors, sodaß man erwarten kann, daß er nur an verhält-nismäßig wenigen Stellen als Abnahme- und Überwachungsgerät in Frage kommt.
- 3) Es ist dringendst erforderlich, die Beurteilung von Kraftstoffen auch nach anderen als dem DVL-Verfahren vorzunehmen u. hierfür Grundlagen für eine motorische Prüfung mit den ent-sprechenden Betriebsbedingungen auszuarbeiten.

- 4) Vollmotorenversuche, auch im Fluge, sind zur endgültigen Bestätigung der Einzylinderversuche nicht zu umgehen, vor allem, wenn Ansaug- und Auspuffverhältnisse besonderen Einfluß besitzen können. Eine grundlegende Festlegung der für Vollmotorenversuche zur Kraftstoffbeurteilung nach dem Klopfverhalten einzuhaltenden Betriebsbedingungen ist notwendig.
- 5) Bei allen zur Beurteilung von Kraftstoffen und Motoren durchgeführten Motorversuchen ist auf die Vermeidung von Resonanzen mit der Motordrehzahl in Ansaug- und Auspuffleitung besonders zu achten, unabhängig davon, ob der praktisch eingebaute Motor unter anderen Bedingungen arbeitet oder nicht.
- 6) Zur Kontrolle des Motorzustandes sind auf jeden Fall aromatenreiche Kraftstoffe erwünscht. Bei einwandfreiem Motorzustand des Klopfmotors kann die Octanzahl auch von hocharomatischen Kraftstoffen für Zwecke der Herstellungskontrolle mit Gemischen aus paraffinischen und isoparaffinischen Bezugskraftstoffen bestimmt werden. Soll sie allerdings nicht nur diesem Zwecke, sondern auch der motorischen Bewertung dienen, so sind noch eingehendere Untersuchungen erforderlich, die in anderem Rahmen besprochen werden müßten.

Durchführung weiterer Versuche.

- 1) Zur Bewertung der verschiedenen neu vorgeschlagenen Untersuchungsverfahren (adiabatische Zündverzugsmessung nach Jost, Berechnung der Klopfgrenzkurve aus Motorversuchen nach Fromherz und Jost und Mitarbeitern; Überladeversuche im I.G.-Motor und im NSU-Motor) wird die DVL einen Ringversuch anstellen, dessen Einzelheiten besonders festgelegt werden.
- 2) Zur weiteren Verbesserung der Ergebnisse mit dem DVL-Überladeverfahren werden vorerst die Betriebsbedingungen der einzelnen Prüfstellen von der DVL erneut angeglichen.

Zur besseren Überwachung ist die laufende Messung der Kolbentemperatur vorzusehen und vorzubereiten. Die DVL verschiebt nach der Angleichung der Betriebsbedingungen erneut Versuchskraftstoffe an die Prüfstellen.

3) Für die Messung des Motorzustandes ist einheitlich derselbe Kraftstoff zu nehmen. Es empfiehlt sich die Verwendung eines aromatenreichen Benzins oder Bezugskraftstoffes. Die I.G. stellt zur Vermeidung vor verschiedenen Ergebnissen infolge Verwendung von wechselnden Bezugskraftstoffen synthetischer Herkunft ein Gemisch aus reinen Aromaten her, das im Verhältnis 40:60 Vol. % mit einem chemisch definierten aliphatischen Kohlenwasserstoffgemisch vermischt und dann bei der Prüfstelle mit 0,12% Blei versetzt wird. Bis zur Einführung dieses Bezugskraftstoffes ist VT 702+0,12% Blei und CV 2b + 0,12% Blei zu verwenden.

4) Bei motorischen Vergleichsversuchen mit Kraftstoffen sind Dichte, Refraktion und Siedekurve, bei gebleiten Benzinolen auch der Bleigehalt auf Übereinstimmung mit den gemachten Angaben zu überprüfen.

B. Erfassung der Lagerbeständigkeit und chemischen Eigenschaften der Kraftstoffe.

Allgemeine Richtlinien für die Erfassung der Lagerbeständigkeit und die chemische Prüfung.

- 1) Auf die Art der Probenahme und der Aufbewahrung der Probe ist besonders bei gebleiten Benzinolen größtes Gewicht zu legen. Genaue Vorschriften hierüber sind notwendig und sollten baidmöglichst, gegebenenfalls entsprechend den DIN-Blättern des DVM, in den BVM niedergelegt werden.
- 2) Die Laboratoriumsverfahren sind ebenso, wie bei der Prüfung der Klopfestigkeit danach zu unterscheiden, ob sie zur Herstellungs(Gleichmäßigkeits)kontrolle oder zur Prüfung auf praktische Eignung dienen sollen.

- 3) Die Bombenalterung der Benzine ist weiter in ihren Einzelheiten derart festzulegen, daß reproduzierbare Werte erhalten werden. Die normalen Prüfbedingungen (4 h Alterung bei 100°C und 7 atm O₂) sind für die Untersuchung solcher Benzine ungenügend, die unter tropischen Verhältnissen 1 Jahr lang lagern müssen.
- 4) Da die Luftfahrt nur mit den größten Schwierigkeiten bestimmte Kraftstoffe in bestimmten Gebieten verwenden kann, müssen alle Kraftstoffe auch bei den schärfsten Alterungsbedingungen einheitlich lagerbeständig sein.
- 5) Als zulässige Grenze des vorgebildeten Harzes hat sich der Wert von 10 mg/100 ccm bewährt. Ob eine Erhöhung dieser Grenz-Legung bei der Verwendung der Einspritzmotoren möglich ist, steht dahin. Bei Zahlenwerten von 20 mg Harz traten in einem Falle Störungen auf, während besondere Versuche in dieser Richtung mit 40 mg keine Beanstandungen zur Folge hatten.
- 6) Da in kleinen Lagerbehältern die stärksten Veränderungen auftreten, sind sie zu den Versuchen praktischer Lagerung zu verwenden.
- 7) Vor Verbleiung mit einer neuen Probe Ethylfluid ist sie auf gleichmäßige Zusammensetzung zu prüfen. Die Frage, ob die Lagerbeständigkeit desselben Benzines bei Zusatz der gleichen Menge Blei aus verschiedenen Lieferungen gleichmäßig ausfällt, wäre in diesem Zusammenhang zu untersuchen.

Durchführung weiterer Versuche.

- 1) Für die Bombenalterung werden die Vorschriften der BVM von der DVL ergänzt; dann wird ein neuer Ringversuch durchgeführt, bei dem sowohl die Probenahme und Verschickung als auch die Versuchsdurchführung einheitlich geregelt ist.

- 2) Zur Ermittlung der Brauchbarkeit der Aromatenbestimmung nach BVM werden die BVM von der DVL überarbeitet (Temperatur, Schüttelweise usw.); dann wird ein Ringversuch durchgeführt, der auch andere Verfahren zur Aromatenbestimmung (wie Anilinpunktsverfahren der I.G.) umfassen soll.
- 3) Für die Jodzahlbestimmung werden geeignete Verfahren ausgewählt und damit ebenfalls von der DVL Ringversuche angestellt.
- 4) Zur Prüfung der Hemmstoffe werden folgende Versuche durchgeführt:
 - a) Zweck der Versuche soll die Herstellung eines besonders lagerbeständigen Hochleistungskraftstoffes mittels eines geeigneten Hemmstoffes sein. Gleichzeitig soll der Angriff des inhibierten Kraftstoffes auf Behälterbaustoffe geprüft und die gegenseitige Beeinflussung der inhibierten Kraftstoffe untersucht werden.
 - b) Als Behälter kommen in Frage: Eisen, verzinktes Eisen, Sonderbehälter¹⁾ und zementierter Behälter.
 - c) Die Herstellerfirmen schicken je 200 Ltr. unverbleites, nicht inhibiertes Benzin nach Rechlin und Travemünde zu den Erprobungsstellen. Die Wahl der Inhibitoren erfolgt durch die Firmen, gegebenenfalls im Einvernehmen mit der DVL, die auch je 200 Ltr. nicht inhibiertes unverbleites Benzin erhält. Die Menge Inhibitor soll unter 0,01 Gew.% liegen, jedenfalls aber so niedrig, daß der Harztest weniger als 10 mg/100 ccm ergibt. Der Zusatz erfolgt 1 bis 2 Tage nach Herstellung des Kraftstoffes. Menge und Art des Hemmstoffes sind dem RLM (Dr. Beyer) zu treuen Händen so rechtzeitig bekanntzugeben, daß es die Wahl eines anderen Hemmstoffes veranlassen kann, falls verschiedene Stellen denselben vorgesehen haben.

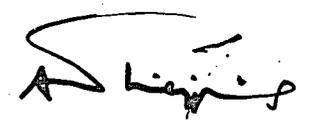
1) Leichtmetall

Institut für Betriebstofforschung

001227

- d) Die Versuchskontrolle erfolgt in Rechlin und Travemünde nach normaler Benzinuntersuchung, DVL-Bestimmung und durch Aufschneiden der Behälter.
- e) Als Termin der Verschickung der Kraftstoffe ist der 5.7.1941 festgelegt.

Berlin-Adlershof, den 21. Juni 1941



v. Ph./Bn.
21.6.41

Geheim!
Geheim!

Institut f. Betriebstofforschung

D i s k u s s i o n
der Vorträge am 16.6.41

001228

Allgemeine Gesichtspunkte.

Öfters tritt die Notwendigkeit auf, technische Aufgaben zu lösen, die wissenschaftlich noch nicht klar sind. Wegen der Kompliziertheit der Verhältnisse ist es dabei notwendig, mit Fingerspitzengefühl weiter zu kommen. Außerdem ist engste Zusammenarbeit der verschiedenen Fachrichtungen untereinander grundsätzliche Voraussetzung. Die Bedeutung der Frage der einwandfreien Bestimmung brauchbarer Kraftstoffe geht aus der Tatsache hervor, daß die neuen synthetischen Anlagen Milliardenwerte erfordern, die natürlich zweckmäßig angelegt werden müssen.

Der wesentlichste Einfluß auf den Klopfvorgang sind Wärmestauungen; aus diesem Grunde ist es notwendig, daß die Temperaturen der Motoren unbedingt so niedrig als möglich gelegt werden. Für das Klopfverhalten des Motors ist ja die Stelle mit der höchsten Temperatur ausschlaggebend, sodaß konstruktiv viel durch entsprechende Maßnahmen erzielt werden könnte. Die Versuchsmethode zur Bestimmung der Klopfestigkeit muß sich den praktischen Verhältnissen möglichst anpassen. Das Prüfverfahren (DVL-Überladeverfahren) hat verschiedene Schwächen, von denen die Kompliziertheit eine der wesentlichsten ist. Eine Vereinfachung des motorischen Klopfprüfverfahrens wäre notwendig und könnte wohl im Zusammenhang mit theoretischen Betrachtungen erzielt werden.

Bisher wurde der Weg der Aromaten besprochen, weil weitere Neuanlagen für Iso-Paraffin-Herstellung unmöglich gebaut werden können. Man kann sagen, daß nur 20% des Gesamtbedarfes an Iso-Paraffinen hergestellt werden können, die restlichen 80% des Bedarfes müssen aber nach Möglichkeit ebenso klopfest sein wie Iso-Octan. Ein grundsätzlicher Nachteil der Aromaten ist die Temperaturempfindlichkeit, die theoretisch auch er-

Institut BS

001229

faßt ist; sie könnte allerdings durch Veränderung der Siedekurve und der Konstitution der Aromaten beeinflusst werden. Ventilüberschneidung und Teileinspritzung erbringen Fortschritte, durch die eine Ausgleichung der Nachteile möglich ist; deshalb wäre es notwendig, daß der Motor sich praktisch den Kraftstoffen anpaßt. (Pier).

Der motorische Zustand muß einwandfrei geprüft werden, erst dann können mit einem Motor richtige Ergebnisse mit verschiedenen Kraftstoffen erhalten werden. Allerdings müßten sie auch mit dem Vollmotor übereinstimmen; deshalb müßten die Vollmotoren in ähnlicher Weise wie die Einzylinder-Motoren auf einwandfreien Zustand geprüft werden. ~~Dazu ist die Verwendung eines lagerbeständigen Kraftstoffes notwendig.~~ (v. Philippovich)

Zu II. Chemisch-physikalische Erfassung des Klopfverhaltens.

Für die chemisch-physikalische Erfassung des Klopfverhaltens wird nun außer der adiabatischen Verdichtung auch ein Wert auf motorischer Erfahrungsgrundlage vorgeschlagen. Zwei Einflüsse wirken sich motorisch besonders stark aus, die bei dem Zündverzugsverfahren von Jost nicht erfaßt werden und zwar das Kraftstoffluftverhältnis und der Spülvorgang, d.h. die Menge Restgas, die im Zylinder verbleibt. Dementsprechend erscheint es wünschenswert, auf die Untersuchung dieser beiden Vorgänge bei der adiabatischen Verdichtung weiter einzugehen. Die Möglichkeit mit motorischen Erfahrungswerten und chemisch-physikalischen Eigenschaften der Kraftstoffe im voraus die Berechnungen der Klopfgrenzkurve vorzunehmen, erscheint interessant, müßte aber noch weiter untersucht werden. (v. Philippovich)

Die Mitarbeiter von Prof. Jost, Teichmann u. Rögener, haben ähnliche Überlegungen wie Fromherz und seine Mitarbeiter angestellt. Auf Grund der Formel

$$\sigma = \frac{\text{Const.} \cdot e}{p^n} - \frac{E}{E_{Te}}$$

wurde der Einfluß von Druck und Luftüberschuß erfaßt. Bei

n-Heptan wird durch diese beiden Einflüsse der Zündverzug umso viel geändert, als durch eine Änderung der Temperatur nur um wenige Grade. Theoretisch müßte zunehmender Luftüberschuß im Gegensatz zum Motor-Versuch ansteigende Werte für die Klopfgrenze ergeben. Der Druck ist reaktionsmäßig nur in reziproker Potenz wirksam. (Jost)

Auch wurden Einflüsse motorischer Art auf ihre reaktionskinetische Bedeutung hin untersucht und es konnte gezeigt werden, daß theoretische Klopfgrenzkurven herauskommen müssen, wie sie bei Ventilüberschneidung und anderen Ansatztemperaturen motorisch gefunden werden.

Bezüglich der Frage, ob die Klopfestigkeitskurve bei der Ventilüberschneidung nur durch die Temperatur oder auch durch Beeinflussung des Reaktionsablaufes derartig verändert wird, wurde darauf hingewiesen, daß man eigentlich nur eine Funktion von der Temperatur annehmen kann. (Fromherz)

Eine starke Begrenzung der Ventilüberschneidung liegt darin, daß bei großer Ventilüberschneidung der Luftbedarf in der Höhe sehr stark zunimmt, weil die Lader sehr groß werden müssen. Andererseits ist auch bei großer Ventilüberschneidung der Leerlauf sehr schlecht. (Kohlfelder)

Die Verhältnisse der Ventilüberschneidung können sich auch klopfördernd auswirken, wie z.B. infolge der Vergrößerung des Füllungsgrades. (Jost)

Was die Unterschiede der Richtung der Klopfgrenzkurve bei Ventilüberschneidung anbelangt, die zwischen DVL und I.G.-Versuchen auftreten, ist es möglich, daß sie auf verschiedene Versuchstemperaturen zurückzuführen sind. (v. Philippovich)

Zu III. Motorprüfung auf Klopfestigkeit.

Bei der Übertragung der Ergebnisse vom Einzylinder-Motor auf den Vollmotor muß man Vorsicht walten lassen. Die Unterschiede zwischen Klein- und Vollmotor sind entschieden wesentlich größer als zwischen einem Flugmotoren-Einzylinder und dem Vollmotor. Der Vollmotorenversuch ist aber auch für Einzylindermotoren-Ergebnisse noch immer zur endgültigen Beurteilung

Institut BS

notwendig. Welche Betriebsbedingungen für den Vollmotor allerdings eingehalten werden müssen, müßte grundsätzlich festgelegt werden. Die Verwendung von Kleinmotoren ist sicher sehr interessant. Die Frage, wie verschiedene Vollmotoren Kraftstoffe bewerten, soll heute nicht im einzelnen besprochen werden, obwohl sie von grundlegender Bedeutung ist. (v. Philippovich)

Ähnliche Versuche, wie I.G. Oppau, führte die DVL 1937 im CFR-Motor bei konstanter Verdichtung mit veränderlichen Ladedrücken durch, wobei sich zeigte, daß bei einigen bestimmten Kraftstoffen bei $\lambda = 0,9$ dieselbe Reihenfolge auftrat, wie im BMW 132 (DVL-Bericht BSf 260/1). Versuche, im CFR-Motor mit Einspritzung zu arbeiten, zeitigen keine günstigen Ergebnisse. Versuche, im NSU-Motor, Klopfgrenzkurven von Hochleistungskraftstoffen (C 2 usw.) selbst bei sehr scharfen Prüfbedingungen zu bestimmen, führten bei der DVL deswegen nicht zum Ziel, weil der Kraftstoff nicht über den ganzen Luftüberschusszahlbereich zum Klopfen gebracht werden konnte. Die Arbeiten der DVL im Kleinmotor wurden damals deshalb nicht fortgesetzt, weil das RLM sich bei seiner Bewertung für Flugkraftstoffe, sowie bei Entwicklungsstoffen auf die Untersuchungen im Flugmotoren-Einzyylinder stützen wollte. (Seeber)

Die Frage, ob Messungen bei Klopfbeginn und starkem Klopfen (Ausschlag 50) die gleichen Ergebnisse zur Folge hätten, ist nach Versuchen von Stansfield positiv zu beantworten, andere Versuche sprechen wiederum dagegen. (Klein)

Die Auftragung über dem Ladedruck ist in der Industrie gebräuchlicher, weil die dort verwendeten Bord- und Prüfstandsgeräte sämtlich für die Anzeige des Ladedruckes ausgelegt sind. (Franke)

Zum Vorschlag der I.G. Farbenindustrie (Oppau), einen elektromagnetischen Geber zu verwenden, wird auf das DVL-Verfahren der zweiten Abteilung (s. Veröffentlichung "Kraftstoff" 17. Jahrgang 1941, Heft Juni/Juli) hingewiesen.

Nach Erfahrungen von Penzig genügt eine rein optische Anzeige nicht. Der Indikator ist prinzipiell der gleiche, wie

Institut BS

001232

er von A.W.Schmidt, München, verwendet worden ist, d.h. benötigt keine Extra-Bohrung.

Zu IV. Eich- und Bezugsstoffe.

Der Vorschlag der DVL zur Kontrolle des Motorzustandes, Mischungen von Benzin und Benzol zu verwenden, brachte kein positives Ergebnis, auch wenn eine Mischung gebraucht wurde, die einem Gemisch aus 80% Iso-Octan und 20% n-Heptan gleichwertig war. (Singer)

Wegen der starken Zunahme des Volumenanteils Benzol gegenüber von Benzin bei hohen Octanzahlen könnten sich bei Verwendung eines Gemisches von der OZ 87 Unterschiede ergeben, die bei weniger kloppfesten Aromatenmischungen (OZ 80) nicht zu Tage treten würden. (v.Philippovich)

Es wurde vorgeschlagen, daß anstelle von Eich C 3- und sonstigen hocharomatischen Kraftstoffen aus der Produktion ein synthetisches Gemisch von Aromaten verwendet würde, das sich aus Benzol, Xylol und Äthylbenzol zusammensetzt. Dieses soll zu 40% mit 60% Bezugsbenzin vermischt werden und mit 0,12 Vol.% Blei aufbleit werden. (Pier) Denlow (RLM) erklärt diesen Vorschlag für aussichtsreich und interessant.

A

(G)

REPORTS FROM
TENNESSEE HOLDINGS

CID: T-10-11-11
HE T-10-11-11

JFK

Archiv Nr B-93-I

Seite 1

Dieser Bericht umfasst
5 Blätter
Sowie Zeichnungen
und Abbildungen

110

23 Ausfertigung

001233

Bericht
Kraftstoffbewertung
hinsichtlich Dampfblasenstörung

**Institut für Kraftfahrwesen
der
Technischen Hochschule
Dresden**

Leiter: Prof. Dr.-Ing. R. v. Eberan
Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Hager
Forschungsarbeit im Auftrag
des Reichsverkehrsministerium

Dresden, den 30. März 1944

Weitergabe und Veröffentlichung dieses Berichts, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Auftraggebers und Zustimmung des Instituts für Kraftfahrwesen

Kraftstoffbewertung hinsichtlich Dampfblasenstörung.

Die Benzinförderpumpen für Fahrzeug-Ottomotoren sind im allgemeinen mit Rücksicht auf die möglichen Störungen der Kraftstoff-Förderung u.a. durch die Benzindampfbildung in ihrer Förderleistung reichlich überdimensioniert. Tritt Dampf Bildung in der Kraftstoffsaugleitung ein, so muß die Pumpe Kraftstoff mit einem vergrößerten spezifischen Volumen fördern, nämlich flüssiges Benzin, das mit Dampfbläschen durchsetzt ist. So lange der geförderte flüssige Kraftstoffanteil größer ist als der augenblickliche Kraftstoffbedarf des Motors, ist der Motorbetrieb nicht infrage gestellt. Bei weiterer Volumenvergrößerung der angesaugten Kraftstoffmenge durch Dampfblasen tritt jedoch Kraftstoffmangel im Vergaser ein, der eine Leistungs-minderung, Überhitzung, Vergaserrückschläge o. dergl. und schließlich Stillstand des Motors verursacht.

Der Dampf-Flüssigkeitsszustand eines Kraftstoffs ist bedingt durch Druck und Temperatur, sowie die Zusammensetzung des Kraftstoffs aus mehr oder minder flüchtigen Bestandteilen. Der absolute Druck in der Saugleitung, (der während jedes Pumpenhubes je nach der Pumpenbauart Schwankungen unterliegt) hängt vom Querschnitt der Kraftstoffleitung, ihren Widerständen und der sekundlichen Durchflußmenge ab. Die Temperatur des Kraftstoffs in der Saugleitung ist von der durch Wärmeleitung oder Strahlung zugeführten Wärmemenge abhängig, außerdem ebenfalls von der sekundlichen Durchflußmenge. Bei dieser Vglzahl von Einflüssen ist es verständlich, daß die Abreißtemperatur^{x)} in einer Kraftstoff-Förderanlage zu keiner eindeutigen Bewertung von Kraftstoffen hinsichtlich ihrer Neigung zur Dampfblasenbildung führt. Die physikalischen Eigenschaften des Kraftstoffs (Druck, Temperatur, Volumen) scheinen hierzu besser geeignet.

Kennt man für eine Kraftstoffpumpe das Fördervolumen V in l/h und für den dazu gehörigen Motor den Kraftstoffverbrauch V' in l/h, so kann man den Sicherheitsfaktor der Pumpe bzw. das Volumenverhältnis $K = V : V'$ berechnen, das auch angibt, in welchem Maße der Dampfblasen durchsetzte Kraftstoff sein Volumen gegenüber dem flüssigen Kraftstoff vergrößern darf, bis die Dampfblasenstörung einsetzt. Wenn z.B. die Pumpe bei Normaltemperatur das zehnfache Volumen des Motorverbrauchs fördern kann, also $K = 10$ ist, dann können bei Erwärmung und teilweiser Verdampfung des Kraftstoffs auf der Saugseite 90% des Volumens in Dampf Form durchgefördert werden (im Vergaser unwirksamer Anteil). Die restlichen 10% Volumen des flüssigen Kraftstoffs reichen eben noch aus, um den Kraftstoffbedarf des Motors zu decken. Eine weitere Vergrößerung des spezifischen Kraftstoffvolumens durch Dampfblasen würde zu Kraftstoffmangel im Motor führen.

Der Sicherheitsfaktor der Pumpe bestimmt neben den physikalischen Zustandsgrößen des Kraftstoffs jenen Betriebszustand, in dem die Dampfblasenstörung einsetzt. Ein Vergleich und eine Bewertung von Kraftstoffen hinsichtlich ihrer Dampfblasenneigung kann demnach eindeutig schon auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften erfolgen, wenn dem Vergleich derselbe Sicherheitsfaktor der Pumpe zugrunde gelegt wird. Auf Grund dieser Überlegung wurde folgende Meßapparatur zur Bestimmung der Zustandsgrößen von Kraftstoffen entwickelt, um die Eignung von Kraftstoffen beurteilen zu können.

Die Apparatur besteht aus einem Glas-U-Rohr (s. Bild 1), dessen Schenkel mit einer Millimeteinteilung versehen sind. Der eine Schenkel ist oben trichterförmig erweitert, um eine Quecksilberfüllung einzubringen. Unten hat das U-Rohr einen eingeschlifften Glas-

x)

s. Schrifttumsverzeichnis auf S. 4

hahn zum Ablassen des Quecksilbers bei der Messung. Auf dem anderen Schenkel ist eine mit Glashahn abschließbare, geeichte Meßpipette aufgeschmolzen. Sie dient zum Abmessen der Benzinmenge, deren Volumenvergrößerung bei verändertem Druck und verschiedener Temperatur gemessen werden soll. Um diesen Schenkel liegt ein gläserner Heizmantel, der mit einem Thermostaten in Verbindung steht, durch den die Wassertemperatur im Heizmantel geregelt wird. 2 Thermometer im Heizmantel dienen zur Kontrolle der Temperatur des Wasserbades.

Vor der Messung wird das Volumen des U-Rohr-Schenkels auf der Meßpipettenseite geeicht, sodann das U-Rohr bis über den Hahn an der Meßpipette mit Quecksilber gefüllt. Durch den unteren Hahn wird soviel Quecksilber wieder abgelassen, bis der Spiegel im Pipettenschenkel genau unter dem Hahnküken steht, die Pipette dann durch den Hahn abgeschlossen und bis zur Eichmarke mit der zu untersuchenden Benzinprobe gefüllt. Öffnet man den Hahn wieder, so fällt der Benzinspiegel etwas unter die Eichmarke und im anderen Schenkel steigt das Quecksilber, da die Benzinsäule einen Überdruck erzeugt. Hierauf wird soviel Quecksilber am unteren Hahn abgelassen, bis das gewünschte Anfangsvolumen V_0 des flüssigen Kraftstoffs im U-Rohr steht. Sodann wird der Hahn an der Pipette geschlossen und ein paar Tropfen Quecksilber in die Pipette eingefüllt, um das U-Rohr völlig sicher abzudichten. Bei leichtsiedendem Benzin muß die Probe erst tief gekühlt werden (Butan -30°), damit sich nicht schon beim Einfüllen die niedrig siedenden Bestandteile verflüchtigen. Danach kann die Druckvolumenmessung für eine bestimmte Temperatur durchgeführt werden.

Wird bei höherer Temperatur gemessen, so muß erst die Füllung bei Raumtemperatur vor sich gehen und erst dann darf der Heizmantel auf die gewünschte Temperatur gebracht werden, da sonst bereits beim Einfüllen die Benzinprobe teilweise verdampft. Ist die geforderte Temperatur $t_p = t_a$ erreicht, so wird der Anfangszustand abgelesen. Die gemessenen Größen sind:

- 1) Quecksilberhöhe im linken Schenkel Hg_l (mm),
- 2) Quecksilberhöhe im rechten Schenkel Hg_r (mm),
- 3) Höhe des Benzinspiegels H (mm).

Von 50 zu 50 mm wird nun das Quecksilber durch den unteren Hahn abgelassen und dadurch der Druck, unter dem die Benzinprobe steht, abgelesen. Das diesem Druck zugeordnete Gesamtvolumen des flüssigen und verdampften Kraftstoffs wird auf Grund der Volumeneichung aus Hg_l ermittelt. Die Ablesungen erfolgen zweckmäßig nach einer gewissen Wartezeit, bis der Gleichgewichtszustand im U-Rohr eingetreten ist. Die Messungen sind gut reproduzierbar, wenn auf gleiche Zeitintervalle geachtet wird. Aus der Differenz der beiden Quecksilberspiegel

$$\Delta Hg = Hg_l - Hg_r$$

und dem Barometerstand B wird der absolute Druck ermittelt,

$$P_{abs} = B - \Delta Hg$$

Bei einem Anfangsvolumen V_0 flüssigen Benzins steht über dem Quecksilber im Pipettenschenkel eine Benzinsäule von H mm. Diese Druckhöhe kann bei der Ermittlung des absoluten Druckes P_{abs} berücksichtigt werden. Weiterhin wird bei den Messungen bei höheren Temperaturen eine Seite des Quecksilberfadens im Heizmantel erwärmt, während die andere Seite auf Zimmertemperatur bleibt. Das unterschiedliche spezifische Gewicht des Quecksilbers in beiden Schenkeln kann bei der Auswertung ebenfalls berücksichtigt werden. Da jedoch beide Fehler entgegengesetztes Vorzeichen haben, kann ihre Korrektur unterbleiben, zumal, da das Gleichgewicht der beiden Quecksilbersäulen im U-Rohr durch das Sieden und Verdampfen des Benzins etwas labil ist und schon

durch Klopfen an das U-Rohr gestört werden kann, da dann aus dem flüssigen Benzin neue Gasblasen in den Gasraum aufsteigen. Die Genauigkeit der Messung ist nicht zu hoch einzuschätzen, sodaß der Meßfehler von höchstens 1-2% belanglos wird. Das Gesamtvolumen V der Kraftstoffprobe (flüssiger Anteil + verdampfter Anteil) wird auf Grund der Eichung aus der Millimeterteilung bestimmt.

Das Volumen V ist für die dazu gehörigen Drücke P_{abs} für konstante Temperaturen, für Gemisch Tel, Tel + 10% Butan und Gembo-Sprit in den Diagrammen 2-4 dargestellt. "Tel" als ein Gemisch von hochsiedenden Anteilen erreicht einen niedrigen Druck bei der Ausdehnung auf das Mehrfache des Ausgangsvolumens. Anders verhält sich Tel + 10% Butan, da Butan ein sehr niedrig siedender Anteil ist. Die Druckvolumenkurven bei Tel wurden bei abfallendem Druck und bei ansteigendem Druck gemessen. Es ergeben sich zwei Kurven, da beim ansteigenden Druck nicht wieder so viel einkondensiert, als beim abfallenden Druck verdampft ist. Der Kondensationsverzögerung ist demnach größer als der Siedeverzug, der sich bei der Messung mit abfallendem Druck deutlich bemerkbar macht. Der Abstand beider Kurven wächst mit steigender Temperatur, da dort das Gleichgewicht der beiden Phasen am labilsten ist, und außerdem mit der Entfernung des Druckumkehrpunktes vom Ausgangsvolumen V_0 , also mit dem Verhältnis

$$K = V : V_0$$

Dieses Volumenvergrößerungsverhältnis K ist ein Maß, um verschiedene Benzine in Abhängigkeit von Druck und Temperatur vergleichen zu können. Das Schaubild 5 zeigt die Drucktemperaturkurven für alle drei Gemische bei $K = \text{konstant}$, also bei einer bestimmten Volumenzunahme. Die drei Kraftstoffe zeigen grundsätzlich verschiedenes Verhalten. Bemerkenswerterweise können die Kennlinien der Kraftstoffe bei jedem beliebigen Wert von K ($K = 4-12$) ohne nennenswerten Einfluß auf die Bewertung verglichen werden.

Für eine Kraftstoffpumpe, deren Förderleistung mit zehnfacher Sicherheit ausgelegt ist ($K = 10$), wird beispielsweise bei einem absoluten Druck von $P_{abs} = 500$ mm Hg auf der Saugseite der Pumpe die Dampfblasenstörung theoretisch bei folgenden Temperaturen auftreten:

Gemisch Tel + 10% Butan	35 °C.
Gembo-Sprit	46,5 °C.
Gemisch Tel	66,5 °C.

Gemisch Tel + 10% Butan wird demnach am stärksten zur Dampfblasenstörung neigen. Das Gemisch Tel ist demgegenüber bei hohen Außentemperaturen und Erwärmung der Kraftstoff-Förderanlage am unempfindlichsten. Die Ergebnisse dieser Messungen werden derzeit in einer beheizten Kraftstoff-Förderanlage nachgeprüft.

Dresden, den 30. März 1944

Institut für Kraftfahrwesen

Schaub

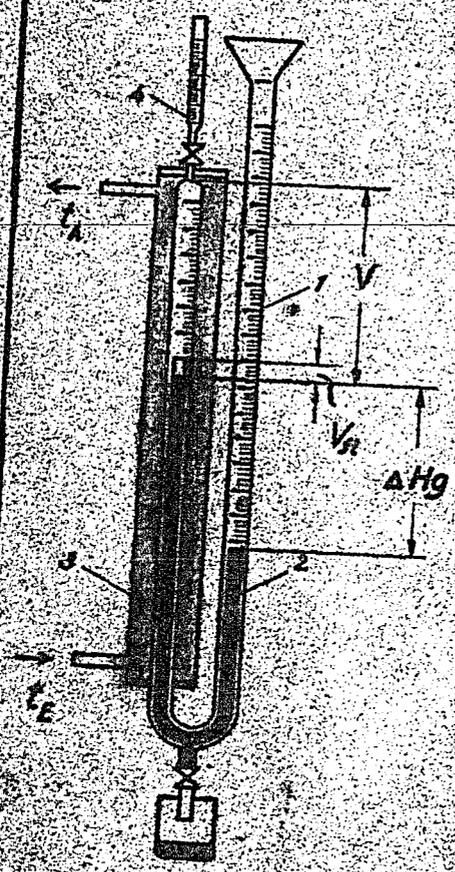
x) Schrifttumsverzeichnis:

- Th. Hammerich: Die Bewertung von Leichtkraftstoffen hinsichtlich ihrer Neigung zur Dampfblasenbildung - Öl und Kohle 1939, Heft 29 - ZVDI 1940, Heft 17 (Ausz.)
 Koch: Beitrag zur Frage der Dampfblasenbildung - Kraftstoff 1940, Juliheft.
 F. Schaub u. H. Velde: Zur Beurteilung von Kraftstoffen hinsichtlich der Dampfblasenstörungen am Motor - ATZ 1941, Heft 22.

001237

Bild 1

Druck - Volumen Meßapparatur
für Kraftstoffe



- 1 Manometer U-Rohr
- 2 Quecksilberfüllung
- 3 Heizmantel
- 4 Meßpipette

V_{fl} = Volumen des flüssigen
Anteils der Probe
 $V - V_{fl}$ = Volumen des gasförmigen
Anteils der Probe
 V = Gesamtvolumen
 B = Barometerstand
 ΔHg = Differenz der Queck-
silbersäulen
 $B - \Delta Hg$ = Absoluter Druck P_{abs}
 $t_A = t_B$ = Temperatur im Heiz-
mantel

Volumen - Druck - Kurven von Gemisch „Tel“ bei konstanten Temperaturen

$K = \frac{V}{p}$ $V_0 = 2 \text{ cm}^3$

001238

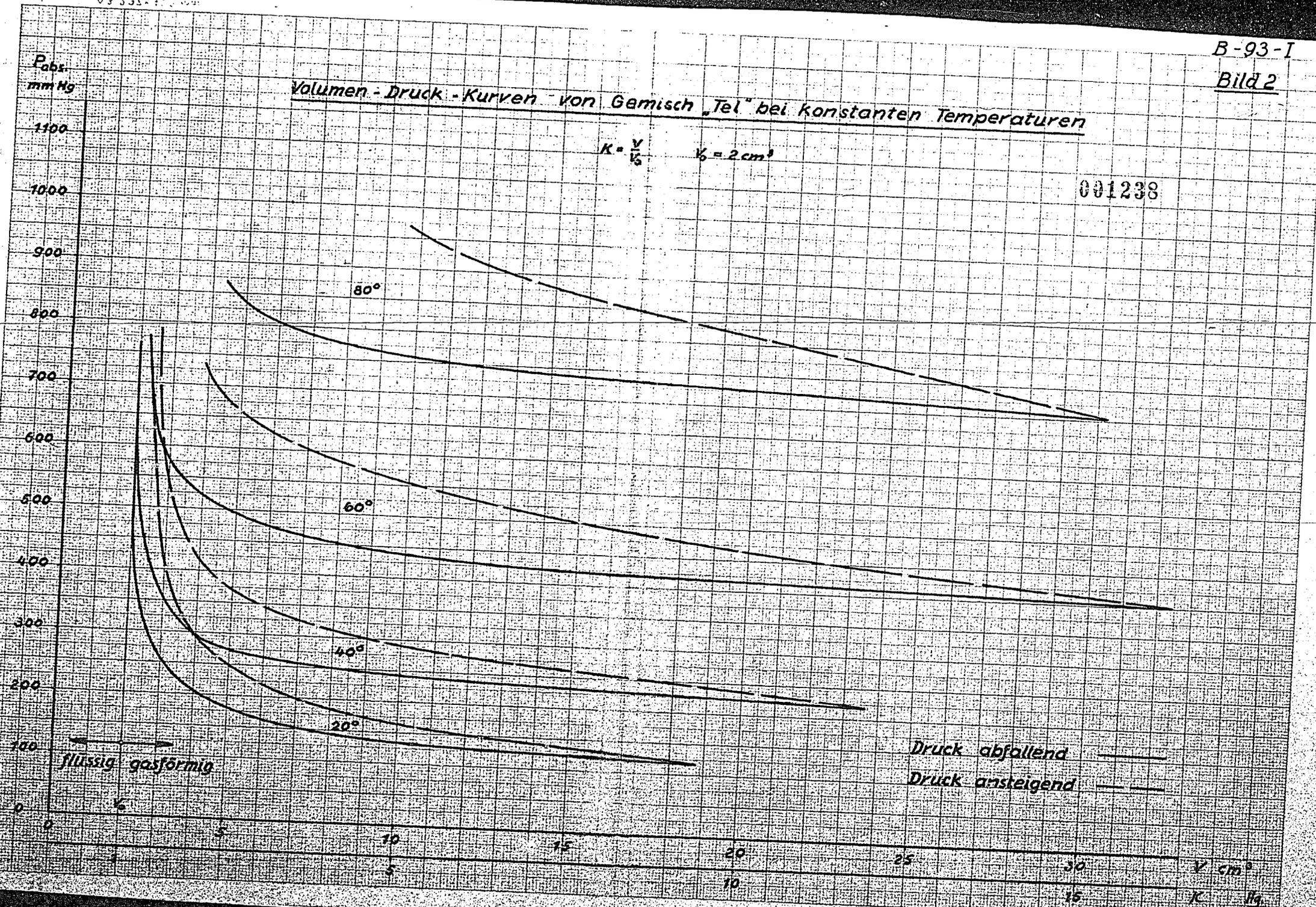
P_{abs}
mm Hg

1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0

flüssig gasförmig

0 5 10 15 20 25 30 $V \text{ cm}^3$
10 15 $K \text{ cm}^3$

Druck abfallend
Druck ansteigend



S A F K O D A K

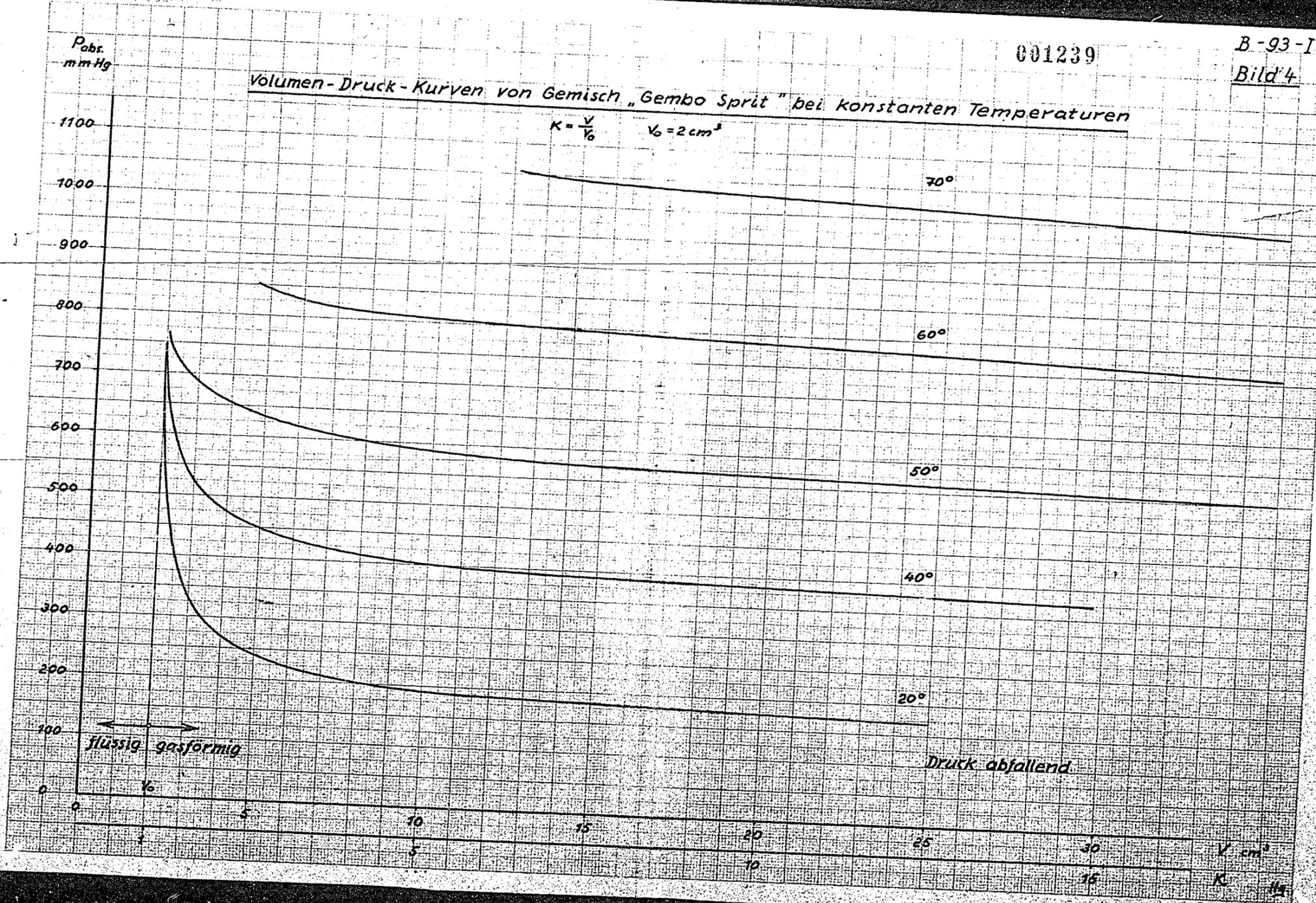
001239

B-93-I

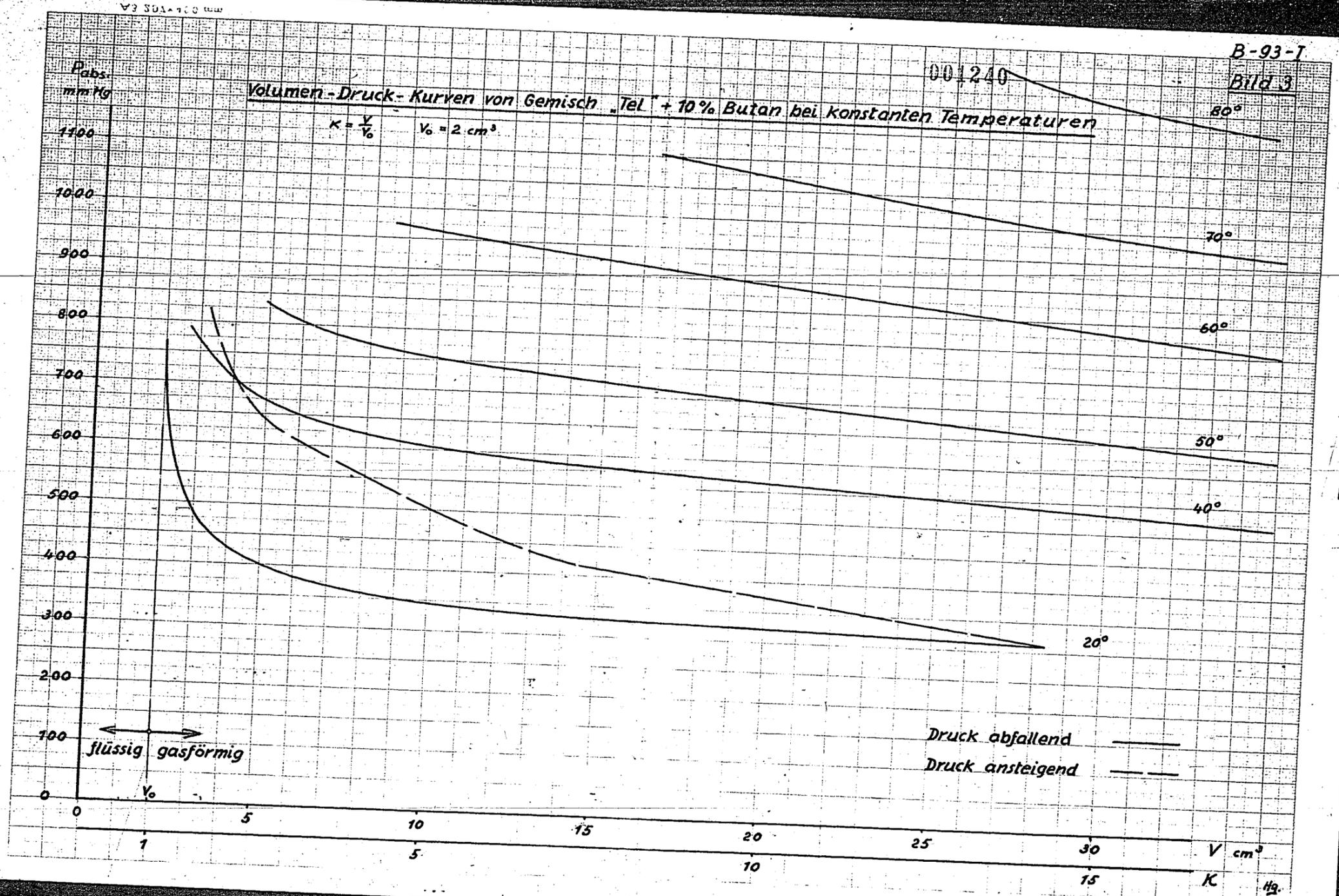
Bild 4

Volumen-Druck-Kurven von Gemisch „Gembo Sprit“ bei konstanten Temperaturen

$K = \frac{v}{V_0}$ $V_0 = 2 \text{ cm}^3$



93-G-500



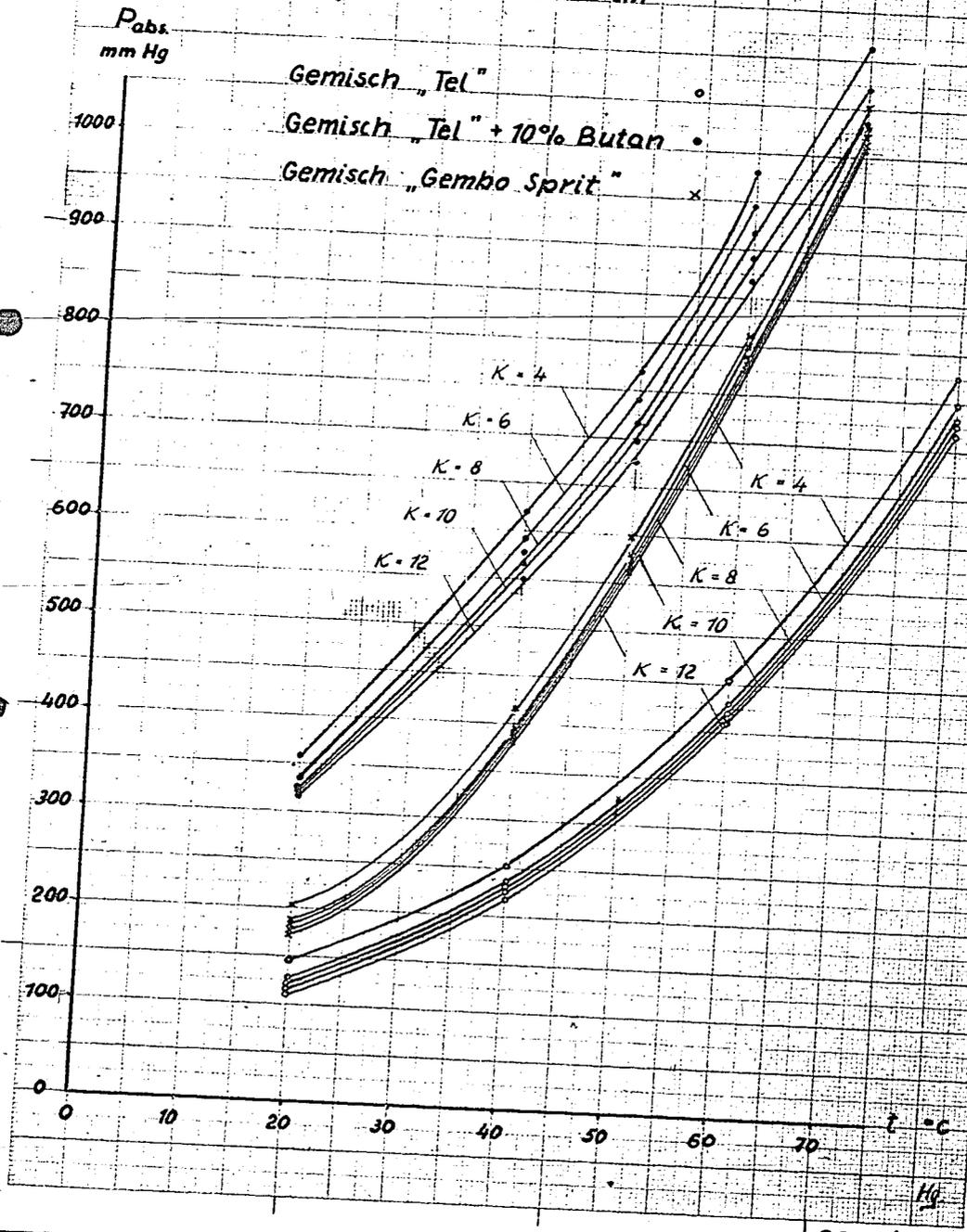
001241

B-93-7

Bild 5

Druck-Temperatur-Abhängigkeit von Benzin

$K = \frac{y_1}{y_2} = \text{konst.} \quad V_0 = 2 \text{ cm}^3$



93-G-497

J.F.K.

Archiv Nr B-176-I

Seite 7
Dieser Bericht enthält
36 Blatt
SOWIE Zeichnungen
und 14 Abbildungen

111

001242

21. Ausfertigung

1. Bericht
Gemischbildung im Otto-Motor
beim Anlassen,
Kraftstoff-Dampfspannung und Anlaß-
verfahren bei Tieftemperaturen

Institut für Kraftfahrwesen
der
Technischen Hochschule
Dresden

Leiter: Prof. Dr.-Ing. R. v. Eberan

Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. E. Werninghoff Absch. I, II
Dipl.-Ing. K. v. Schlieszl
Dr.-Ing. W. Hadske Absch. III, IV

Auftraggeber: OKH Ja Prüf 6

Dresden, den 1. 12. 1943

Weitergabe und Veröffentlichung dieses Berichts, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Auftraggebers und Zustimmung des Instituts für Kraftfahrwesen.

Institut für Kraftfahrwesen der Techn. Hochschule Dresden Arb. Nr. 176

B 17 - 3 - 351

001243

Gemischbildung im Otto-Motor beim Anlassen,
Kraftstoff-Dampfspannung und Anlaßverhalten
bei Tieftemperaturen.

Zweck der Versuche:

Nach einem Auftrag des OKH, Wa Prüf 6, Nr. IVa-SS-006-8519/II/42 sollte durch Kaltstartversuche ursprünglich mit verschiedenen Vergasern das Anlaßverhalten eines PKW-Otto-Motors (Opel 2,5-l Kapitän) bei tiefen Temperaturen und bei Verwendung von Kraftstoffen mit verschiedener Dampfspannung untersucht werden. Das Ziel der Versuche war die grundlagenmäßige Klärung der Zusammenhänge zwischen Dampfspannung der Kraftstoffe und Bildung zündfähiger Gemische bei Tieftemperaturen einerseits und zwischen dem Gemischbildungsvorgang im Vergaser bzw. der Startvorrichtung und dem Anspringverhalten bei Kälte andererseits. Bei den Tieftemperatur-Startversuchen sollte außerdem noch der Einfluß des Schmieröles auf die Anlaßleistung bzw. das Losbrechmoment ermittelt werden.

Die Untersuchung gliedert sich in folgende Abschnitte:

- I) Untersuchungen und motorische Versuche über die Gemischbildung beim Anlassen (Vorversuche).
- II) Motorische Versuche über das Anlaßverhalten bei Tieftemperaturen mit verschiedenem Kraftstoff und Mischungsverhältnis (Kältekammer - Startversuche).
- III) Dampfspannungsuntersuchungen an verschiedenen Kraftstoffen, insbesondere bei Tieftemperaturen.
- IV) Anwendung der Dampfspannungsscharakteristik des Kraftstoffes auf den Kaltstart, Eignung der Startvorrichtungen und Kraftstoffe für den Kaltstart.

Da für das Anlaßverhalten des Otto-Motors bei Kälte in der Praxis sehr viele Faktoren, wie beispielsweise Vergaser-Leerlaufstimmend sind, konnten grundlagenmäßige Erkenntnisse nur erwartet werden, wenn die hier nicht interessierenden Einflußgrößen planmäßig bei den Versuchen ausgeschaltet wurden. Die Versuche bedurften deshalb umfangreicherer Sondereinrichtungen; die Versuchsreihen selbst waren und sind z.T. noch sehr zeitraubend und mußten auf längere Vorversuche aufgebaut werden.

Der nachstehende Bericht kann noch kein abschließendes Bild über Anlaßverhalten und Dampfspannung bei Tieftemperaturen vermitteln, da die Versuche noch im Gange sind und insbesondere für Abschnitt IV die vorhandenen Unterlagen noch nicht ausreichen. Der Stand der Arbeiten rechtfertigt jedoch diesen, einem größeren Interessentenkreis zugänglichen Vorbericht, weil bisher schon für den Motoren- und Vergaserbau und die Beurteilung von Anlaßkraftstoffen nützliche Erkenntnisse angefallen sind.

001244

I. Motorische Versuche über die Gemischbildung beim Anlassen.

A) Die Füllung im Drosselbetrieb.

Das Anlassen der Otto-Motoren geschieht im allgemeinen bei nahezu geschlossener Drosselklappe (Leerlauf-Stellung des Vergasers), wobei eine Gemischanreicherung durch eine Startvorrichtung, insbesondere bei tiefen Temperaturen, notwendig wird. Der fremdangetriebene Motor arbeitet mit geringer Füllung. Die angesaugte Luftmenge ist von der Drosselöffnung, der Größe der Zusatzluftöffnungen für die Leerlauf- und Starteinrichtung und dem Unterdruck im Saugrohr abhängig.

Das angesaugte Luftgewicht läßt sich auch bei überkritischem Druckverhältnis am Drosselorgan für eine beliebige Drehzahl angeben. Näher theoretisch wie folgt vorausberechnen. Nach der Ausflußformel ist:

$$G_L = \psi \cdot F \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{2g P_a}{v_a}} = \psi \cdot F \alpha \sqrt{\frac{2g}{R T_a}} \cdot P_a$$

wobei der Faktor ψ den Wert hat:

$$\psi = \sqrt{\frac{K}{K-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{P_1}{P_a}\right)^{\frac{2}{K}} - \left(\frac{P_1}{P_a}\right)^{\frac{K+1}{K}}}$$

- G_L = Luftgewicht kg
- F = Querschnittsfläche m^2
- R = Gaskonstante Luft $m/Grad$
- α = Durchflußbeiwert
- T_a = Temperatur außen $^{\circ}K$
- P_a = Außendruck kg/m^2
- v_a = spezif. Volumen außen $\frac{m^3}{kg}$
- P_1 = Saugrohrdruck kg/m^2
- K = Adiabaten-Exponent. (Luft 1,40)

ψ läßt sich somit als Funktion des Druckverhältnisses P_1/P_a darstellen. ψ erreicht bei einem Innendruck von $P_1 = 5280 \text{ kg/m}^2$ mit dem Wert $\psi = 0,485$ sein Maximum. Dies besagt, daß bei noch kleineren absoluten Saugrohrdrücken (größeren Unterdrücken!) das angesaugte Luftgewicht nicht mehr zunimmt.

Das Ansaugvolumen des Motors ist

$$V = \frac{V_H \cdot n \cdot K}{2 \cdot 60}$$

- V_H = Hubvolumen m^3
- n = Drehzahl $U/min.$
- $K = \frac{K_s}{S}$ Korrekturfaktor

001245

Da das Einlassventil erst nach dem unteren Totpunkt schließt, wird bei niedriger Drehzahl ein Teil der eingesaugten Luft wieder ausgeschoben; es wird nur $K_s \cdot V_H$ des Hubvolumens angesaugt. Der wirksame Hub K ist vom $\frac{1}{2}$ Einlaß-Nachschlußwinkel und Pleuelstangenverhältnis λ abhängig.

$$K_s = \frac{S}{2} \cdot (1 - \cos \alpha + \lambda \sin^2 \alpha)$$

Für den Versuchsmotor gilt

- $S = 82 \text{ mm}$
- $\alpha = 51^\circ + 180^\circ$ (nach Opel-Angabe)
- $\lambda = 0,36$
- $K_s = 71,4 \text{ mm}$
- $K = 0,87$

Unter Benutzung der Gasgleichung

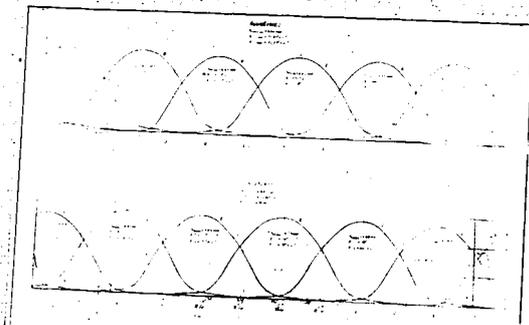
$$\frac{P_1 \cdot V_1}{P_2 \cdot V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{wird}$$

$$\frac{P_1 \cdot V_H \cdot n \cdot K}{P_2 \cdot 2.60} = \psi \cdot \alpha \cdot F \cdot \sqrt{\frac{2F}{RT_a}} \cdot P_a \cdot R \cdot T_1$$

$$T_1 = T_a$$

$$\frac{n}{\alpha \cdot F} = 120 \cdot \sqrt{2gRT_a} \cdot \frac{1}{V_H \cdot K} \cdot \frac{P_a}{P_1} \cdot \psi$$

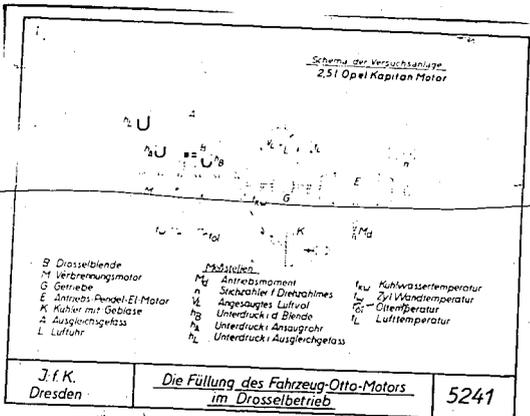
Daraus kann für verschiedene Drosselquerschnitte bei Annahme eines bestimmten Druckverhältnisses P_a nach Ermittlung des zugehörigen Wertes ψ die Drehzahl berechnet werden, sodaß auch G als Funktion von n bekannt ist. Auch der Einfluß der Ventilüberschneidung kann in der Rechnung berücksichtigt werden. Das Saugrohr steht zeitweise



JFK
Dresden 1943
Ventilerhebung des Opel 2.5l
Kaltstartversuchsmotors
5310

infolge der Ventilüberschneidungen mit der Ausströmung über die Auslassventile in Verbindung. Die Ventilerhebungskurven Bild 5310 und Ventilabmessungen (mittlerer Ventildurchmesser: Auslaß $d_A = 30,80 \text{ mm}$; Einlaß $d_E = 33,10 \text{ mm}$; Sitzwinkel Auslaß und Einlaß $\alpha = 45^\circ$) gestatten die Ermittlung des Zeitquerschnittes der Überschneidung, der sich wie eine Vergrößerung des Drosselquerschnittes F um einen Betrag $F' = 1,67 \text{ mm}^2$ auswirkt und den absoluten Innendruck P_1 steigert bzw. die bei F durchgesetzte Luftmenge verringert.

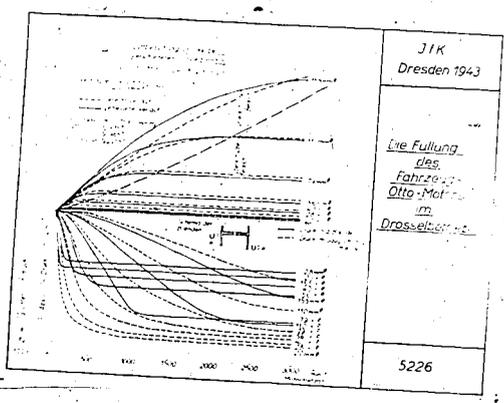
Beim Beginn des Anlaßvorganges bedeutet die bei F' eingeströmte Luftmenge eine Verarmung des Startgemisches (s.a. Seite 4/9).



Der Aufbau für die Vorversuche über die Füllung des Otto-Motors im Drosselbetrieb ist schematisch dargestellt im Bild 5241 und war folgender: Durch einen Elektromotor wurde über ein PKW-Dreigang-Getriebe - dieses war notwendig zum Erreichen niedriger Drehzahlen - der Opel-Kapitän-2,5 l-Motor angetrieben. Über ein Ausgleichsgefäß saugte der Motor durch eine Luftuhr Luft an. Zur Regulierung des Wärmestandes war der Motor mit dem Originalkühler versehen, der durch einen Ventilator angeblasen wurde. Die Kühlwassertemperatur wurde auf etwa 55°C gehalten.

Durchmesser entsprach etwa der Leerlaufstellung, die größte von 15,5 mm Durchmesser bei Berücksichtigung des verschiedenen Durchflußkoeffizienten etwa 30% des Lufttrichterquerschnittes. Zwischen diesen Werten waren die Durchmesser in einer geometrischen Reihe gestuft.

Um eindeutig definierte Drosselquerschnitte zu haben wurde der Vergaser durch Blenden verschiedener Durchmesser ersetzt. Die kleinste von 2 mm



In Bild 5226 sind sowohl die gemessenen, als auch die errechneten Luftmengen mit dem Blendendurchmesser als Parameter über der Drehzahl aufgetragen. Man erkennt, daß besonders bei kleinen Blendendurchmessern (der Leerlaufstellung der Drosselklappe entsprechend) bereits bei Drehzahlen, die in der Nähe der Anlaßdrehzahl liegen, die angesaugten Luftmengen und Unterdrücke in den Blenden konstant, also drehzahlunabhängig werden, und daß somit das kritische Druckverhältnis an den Blenden erreicht ist. Die Punkte für die verschiedenen Blendendurchmesser, bei denen das überkritische Gebiet erreicht wird, liegen auf einer strichpunktierten Kurve, die fast linear mit der Drehzahl ansteigt.

001240

Zum Vergleich sind die nach dem eingangs angeführten Rechnungsgang ermittelten Luftmengen eingetragen. Obwohl durch einen Sonderversuch der Durchflußbeiwert jeder Blende einzeln bestimmt wurde, zeigen sich besonders bei den kleinsten Durchmessern die relativ größten Abweichungen. In der folgenden Tabelle sind die Durchflußbeiwerte für alle Blenden zusammengestellt

D mm \varnothing	G _L kg/h	G _{theor} kg/h	P ₁ /P _a	α	α mittel
2,0	2,13	2,67	0,237	0,799 ^{*)}	0,805
2,8	1,56	5,23	0,282	0,871 ^{*)}	0,870
4,0	9,43	10,64	0,420	0,887 ^{*)}	0,878
5,6	17,60	19,07	0,644	0,923	0,931
7,9	34,97	38,95	0,557	0,8975 ^{*)}	0,896
11,0	56,96	65,48	0,749	0,870	0,868
15,5	94,15	105,80	0,859	0,889	0,856

^{*)} Meßpunkt liegt im überkritischen Bereich.

Die hier angegebenen Versuchswerte α sind aus der Versuchreihe für jede Blende beliebig herausgegriffen. Die Druckverhältnisse P₁/P für die Blenden von 2,0 - 5,6 mm Durchmesser entsprechen etwa einer Drehzahl des Opel-Versuchsmotors von n = 400 U/min, die der Blenden von 7,9 - 15,5 mm Durchmesser einer Drehzahl von n = 1000 U/min. Die Versuche haben ergeben, dass der Durchflußbeiwert α jeder Blende unabhängig von dem herrschenden Druckverhältnis und damit vom Durchsatz ist. Die gefundenen Mittelwerte sind in der letzten Spalte der Tabelle angegeben.

Die untere Hälfte des Bildes 5226 stellt den Verlauf der absoluten Drücke in der Blende und im Ansaugrohr hinter der Blende dar. Die Druckmeßstelle in der Blende für P_{u1} war nach Art des Leerlaufkanales im engsten Luftquerschnitt angeordnet. Die Meßstelle für P_{u2} entsprach dem an Leerlaufeinrichtungen üblichen zweiten hinter der Drosselklappe mündenden Kanal.

Aus den gemessenen Drücken und Luftdurchsätzen läßt sich die Leerlaufgemischzusammensetzung errechnen, die sich unter diesen Verhältnissen bei reiner Kraftstoffförderung der Leerlaufkanäle ergeben würde. Es sind dabei die beiden möglichen Anordnungen des Leerlaufkanales zu betrachten.

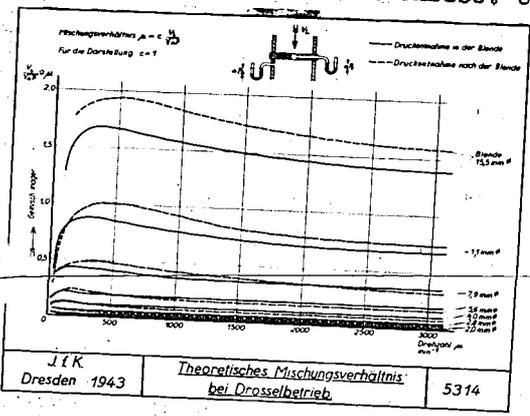
- 1) Druckentnahme p_{u1} zur Kraftstoff-Förderung in dem engsten Strömungsquerschnitt an der Drosselklappe.
- 2) Druckentnahme P_{u2} hinter der Drosselklappe.

001247

001248

Da die Versuchsbedingungen den Betriebsverhältnissen im Vergaser nur prinzipiell entsprechen, erübrigt sich die absolute Berechnung der Mischungsverhältnisse. Um deren Verlauf aufzuzeigen, genügt die Darstellung der für das Mischungsverhältnis maßgebenden Größe $V_L/\Delta P$. Alle anderen Größen, wie spezifisches Gewicht, Brennstoffdüsenquerschnitt usw., seien in einer Konstanten c zusammengefaßt:

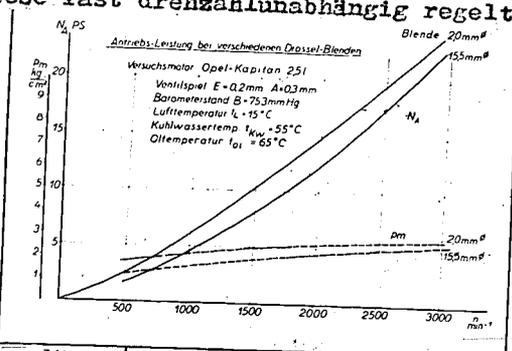
$$\mu = c \cdot \frac{V_L}{\sqrt{\Delta P}}$$



JIK Dresden 1943 Theoretisches Mischungsverhältnis bei Drosselbetrieb 5314

Für die Darstellung in Bild 5314 ist $c = 1$ gesetzt. Die gestrichelten Kurven zeigen den Verlauf des Mischungsverhältnisses über der Motordrehzahl bei Druckentnahme ΔP_2 hinter der Blende, die ausgezogenen Kurven das Mischungsverhältnis in dem von den beiden Kurven eingeschlossenen Bereich liegen die Mischungsverhältnisse, die durch Kombination der beiden Grenzfälle erreicht werden können.

Das Gemisch wird umso fetter, je kleiner die Blenden sind, da mit sinkendem Blendendurchmesser die für den Kraftstoffdurchsatz wirksamen Unterdrücke sich weniger ändern als der Luftdurchsatz. Bei großen Blendendurchmessern gibt die Druckentnahme hinter der Blende durchwegs ein ärmeres Gemisch als bei Druckentnahme in der Blende. In der Nähe des kritischen Punktes beginnt allerdings das Mischungsverhältnis bei Druckentnahme hinter der Blende fetter als das bei Druckentnahme in der Blende zu werden, da der Saugunterdruck zwar größer wird, Geschwindigkeit und Durchsatz in der Blende aber konstant bleiben. Bei den Blenden 2 und 2,8 mm Durchmesser tritt dieser Fall von vornherein ein. Bemerkenswert ist der bedeutende Einfluß des Blendendurchmessers auf das Mischungsverhältnis. Übertragen auf die Verhältnisse im Vergaser bestätigen die Kurven die bekannte Tatsache, daß die Leerlaufeinrichtung nur bei kleinsten Drosselöffnungen an der Gemischbildung maßgeblich beteiligt ist und diese fast drehzahlunabhängig regelt.



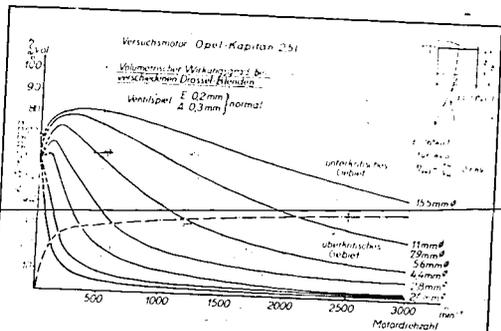
JIK Dresden 1943 Fremdantriebsleistung des Fahrzeug-Opel-Motors im Drosselbetrieb (ohne Zündung) 5225

In Bild 5225 sind die zugehörigen Antriebsleistungen bzw. deren Bereich im Drosselbetrieb mit Blenden dargestellt.

Der Unterschied in den Antriebsleistungen bei den verschiedenen Blendendurchmessern ist insbesondere bei höherer Drehzahl nur gering, woraus ersichtlich ist, daß der Hauptanteil der Antriebsleistung zur Überwindung der mechanischen Widerstände benötigt wird und von der Vergaser-LeerlaufEinstellung

001249

weniger abhängt. Die Gaswechselerheit vergrößert die Verluste bei hohen Saugrohrunterdrücken bzw. bei kleinen Blenden oder Drosselquerschnitten.



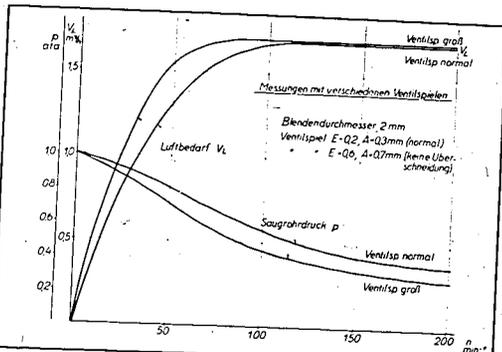
Jf.K. Die Füllung des Fahrzeug-Otto-Motors im Drosselbetrieb. 5224
Dresden 1943

Aufschlußreich sind die sich ergebenden volumetrischen Wirkungsgrade, die in Bild 5224 über der Drehzahl aufgetragen sind. Danach hat der volumetrische Wirkungsgrad bei einer bestimmten Drehzahl, die von dem Blendendurchmesser bzw. der Drosselklappenstellung abhängt, ein Maximum. Der volumetrische Wirkungsgrad

$$\eta_{vol} = \frac{V_L}{V_{geom}} = \frac{V_L \cdot 100}{V_H \cdot n \cdot 30}$$

muß bei der Drehzahl Null unabhängig von der Blendengröße bei dichten Kolbenringen und Ventilen kleiner sein als 1,

weil die Steuerzeiten des Einlaßventils nicht in den Totpunkten liegen und dadurch der wirksame Kolbenhub verringert wird. Die Aufnahme der Ventilerhebungskurven (Bild 5310) zeigte, daß sowohl die Ventiltihrbe als auch die Steuerzeiten der einzelnen Zylinder voneinander stark abweichen. Für die Ermittlung des wirksamen Kolbenhubes bzw. Ansaugvolumens V_H' (s. Bild 5224) wurden die Mittelwerte der Steuerzeiten zugrunde gelegt. Diese ergaben für V_H'/V_H ein Verhältnis von 0,589, das dem volumetrischen Wirkungsgrad bei der Drehzahl Null entsprechen muß. Tatsächlich verlaufen die versuchsmäßig gefundenen Kurven nach einem tieferen Punkt wegen der Undichtigkeitsverluste. Die Wirkungsgradkurven geben somit auch Aufschluß über



Jf.K. Die Füllung des Fahrzeug-Otto-Motors im Drosselbetrieb. 5223
Dresden 1943

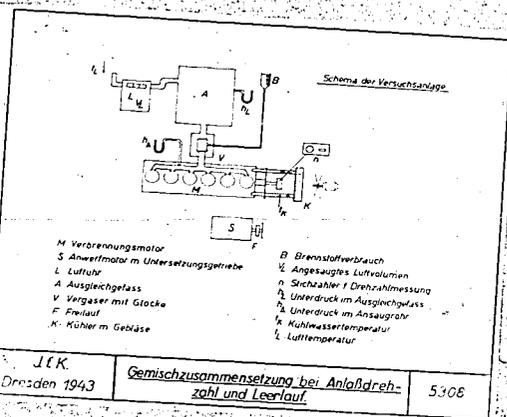
Weiterhin mußte im Rahmen dieser Vorversuche der Einfluß der Ventilüberschneidung auf die Füllung geklärt werden, weil die Ventilüberschneidung durch den Zutritt von Frischluft zum Startgemisch seine Zusammensetzung verändert. Bild 5223 zeigt den Unterschied in der Füllung bei Betrieb mit und ohne Ventilüberschneidung. Diese wurde durch abnormales Ventilspiel ausgeschaltet, da die Öffnungszeiten der Ventile dadurch verkürzt werden (s. Bild 5310, Ventilerhebung). Durch Wegfall der Ventilüberschneidung kann sich der Unterdruck eines saugenden Zylinders nicht mehr über die Saug-

001250

leitung und zwei gleichzeitig offen stehende Ventile eines anderen Zylinders mit der Außenluft ausgleichen, sodaß mit dem Unterdruck die Zunahme rund 20%, in der gleichen Größe dürfte die Abmagerung angesaugte Luftmenge liegen. Im überkritischen Gebiet entspricht die Motors sollte demnach stets so hoch liegen, daß das überkritische Druckgefälle an Drosselorgan erreicht und die Drehzahlabhängigkeit des Gemisches ausgeschaltet wird. Beim vorliegenden 2,5 l-Kapitän-Opel-Motor ist dies bei $n = 120$ U/min der Fall.

B) Leerlaufversuche - Eigenlauf.

Da die Leerlaufeinstellung des Vergasers von Einfluß auf das Startverhalten des Motors ist, wurden Brennstoff- und Luftmessungen bei verschiedenen Leerlaufeinstellungen des Versuchsmotors durchgeführt. Es wurden die sich ergebenden Mischungsverhältnisse für Startbenzin und Gemisch-teil am betriebswarmen Motor im Eigenlauf



Der allgemeine Versuchsaufbau und die Meßstellen gehen aus Bild 5308 hervor. Der Vergaser befand sich zur Luftmessung in einer Glocke, von der die Luftzuleitung zum Ausgleichgefäß und zur Luftuhr ging, dadurch wurde auch der Luftbedarf der Leerlauf- und Starteinrichtung mitgemessen.

Da der Motor bei geöffnetem Startvergaser und normaler Leerlaufeinstellung nicht betriebsfähig war (wegen Überfettung des Gemisches), wurden mit beiden Benzinarten je eine Versuchsreihe mit geschlossenem Startvergaser und 1 1/2 Umdrehungen geöffneter Leerlauf-Gemisch-Regulierschraube durchgeführt.

Unter Normaleinstellung ist auch für weitere Versuche folgende Einstellung des Solex-Vergasers 32 FAJP zu verstehen:

- | | |
|-----------------------|---|
| Lufttrichter 24 | Leerlaufdüse g 55 |
| Hauptdüse 0125 | Leerlaufluftdüse 1,5 |
| Korrekturluftdüse 190 | Starterbrennstoffdüse 150 |
| Mischrohr 100 | Starterluftdüse Luft -4 |
| Teillastdüse 50 | Gemischregulierschraube 1 1/2 Umdrehungen offen |
| Zusatzdüse 70 | Drosselklappe 6° geöffnet |

Dieser Einstellung entsprach eine Leerlaufdrehzahl von $n_L = 330$ U/min bei Gemisch-teil und $n_L = 550$ U/min bei Startbenzin.

001251

Archiv N. 175-I Seite 10

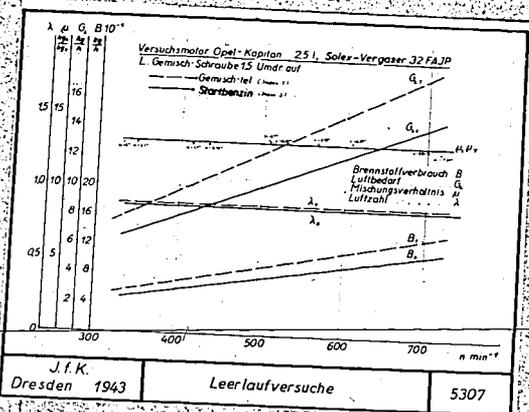
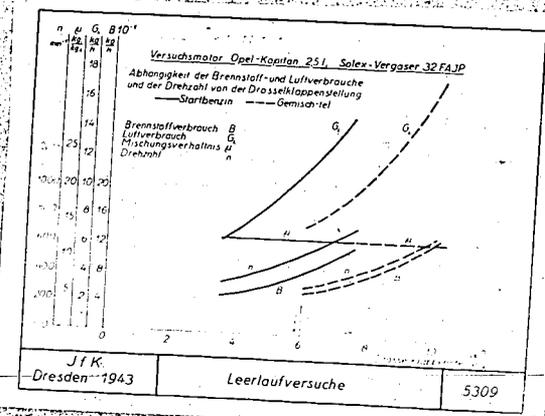


Bild 5307 zeigt die Messergebnisse für Gemisch-tel und Startbenzin über der Leerlaufdrehzahl aufgetragen. Luft- und Kraftstoffbedarf steigen linear mit der Leerlaufdrehzahl, die durch Verstellen der Drosselklappen-Anschlagschraube verändert wurde. Davon unabhängig ist das Mischungsverhältnis und damit auch die Luftüberschusszahl λ . Der Luft- und Kraftstoffverbrauch ist bei Startbenzin für die gleiche Leerlaufdrehzahl geringer als bei Gemisch-tel, die Luftüberschusszahlen sind jedoch bei beiden Kraftstoffen praktisch gleich. Das entspricht der Erwartung, da nur das Druckgefälle im Vergaser für die Kraftstoffförderung maßgebend ist und sich die Zähigkeit der Kraftstoffe kaum bei tiefen Temperaturen, muß hierüber noch Klarheit geschaffen werden. (Es liegen Beobachtungen vor, daß für gewisse Kraftstoffe die Düsen bei -40°C sich zusetzen sollen.) Der geringe Unterschied in den Luftüberschusszahlen ist durch die Unterschiedlichkeit der Elementaranalyse bedingt.

Erwartung, da nur das Druckgefälle im Vergaser für die Kraftstoffförderung maßgebend ist und sich die Zähigkeit der Kraftstoffe kaum bei tiefen Temperaturen, muß hierüber noch Klarheit geschaffen werden. (Es liegen Beobachtungen vor, daß für gewisse Kraftstoffe die Düsen bei -40°C sich zusetzen sollen.) Der geringe Unterschied in den Luftüberschusszahlen ist durch die Unterschiedlichkeit der Elementaranalyse bedingt.

Elementaranalyse für Gemisch-tel:
 $c = 86,24\%$; $h = 15,59\%$; $o = 0,37\%$
 Elementaranalyse für Startbenzin:
 $c = 84,07\%$; $h = 15,69\%$; $o = 0,24\%$

Die Luftüberschusszahl ist mit $\sim 0,9$ für den Leerlauf über Erwärmen hoch, sodaß erklärlich ist, daß der Motor nur im betriebswarmen Zustand ohne Betätigung des Startvergasers anspringt.



In Bild 5309 sind die Ergebnisse derselben Leerlaufversuche über der Drosselklappenstellung aufgetragen. Man erkennt hierin deutlicher den Grund des geringen Kraftstoff- und Luftbedarfes bei Startbenzin: die gleiche Drehzahl wird bei Startbenzin mit weniger geöffneter Drossel erreicht als bei Gemisch-tel. Die Ursache ist darin zu suchen, daß die Aufbereitung des leichtsiedenden Startbensins eine bessere ist und daß offenbar der Verbrennungsvorgang vollkommener abläuft als bei dem schwerer siedenden Gemisch-tel, das im Zylinder mit höheren Luftüberschusszahlen und daher langsamer durch

001252

brennt.

C) Gemischzusammensetzung bei Anlaßdrehzahl (Fremdtrieb).

Durch diese Versuche sollte das Kraftstoff-Luft-Verhältnis während des Anlaßvorganges bestimmt werden. Das Anspringen des Motors während dieser Versuche nicht. Da einmal die Startzeiten in der Kältekammer zu kurz sind, um genaue Brennstoff- und Luftmessungen durchzuführen und um andererseits diese Messungen bei tiefen Temperaturen zu umgehen, wurden in dieser Versuchsreihe durch Messung des Brennstoff- und Luftbedarfes bei konstanter Anlaßdrehzahl $n_A = 72 \text{ U/min}$ die Mischungsverhältnisse für die drei Startvergaserstellungen und für verschiedene Stellungen der Drosselklappe bestimmt. Aus diesen Eichkurven läßt sich für die Startversuche bei tiefen Temperaturen bei bekannter Vergasereinstellung und unveränderter Anlaßdrehzahl das zu erwartende Mischungsverhältnis ablesen.

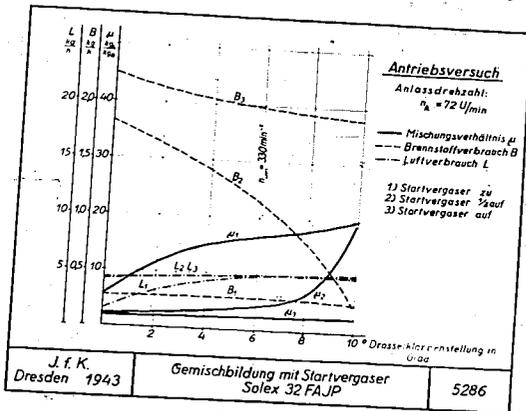
Der Motor wird durch die für die Startversuche vorgesehene Anwerfvorrichtung mit konstanter Drehzahl bei ausgeschalteter Zündung angetrieben. Luft- und Brennstoffmessung erfolgte bei zuvorhergehenden Leerlaufversuchen.

Es wurden drei Versuchsreihen bei veränderlicher Drosselklappenstellung gefahren: Startvergaser zu, halb geöffnet und ganz geöffnet. Als Kraftstoff wurde nur Startbenzin verwendet.

Bild 5285 zeigt die gemessenen Kraftstoff- und Luftverbräuche, sowie die sich daraus ergebenden Mischungsverhältnisse. Mischungsverhältnis μ und Luftüberschuszahl λ stehen hierbei in folgender Beziehung

$$\mu = 15,1 \cdot \lambda$$

Die Luftmenge L , bei geschlossenem Startvergaser nimmt mit der Öffnung der Drosselklappe zu, der Brennstoffverbrauch B , dagegen etwas ab, entsprechend dem kleiner werdenden Wirkdruck infolge des Abnehmens der Strömungsgeschwindigkeit. Gemäß dem Verlauf von L und B nimmt das Mischungsverhältnis



J. f. K. Dresden 1943 Gemischbildung mit Startvergaser Solex 32 FAJP 5286

verhältnis ziemlich gleichmäßig mit dem Drosselklappenwinkel zu. Bei normaler Leerlaufstellung von 6° geöffneter Drosselklappe beträgt μ etwa $16,5 \text{ kg}$ Luft pro kg Kraftstoff, was einem Luftüberschuß von $1,11$ entspricht. Die Anlaßdrehzahl $n_A = 72 \text{ U/min}$ erzeugt demnach unter sonst gleichen Verhältnissen ein wesentlich ärmeres Gemisch als der Eigenlauf des Motors in derselben Leerlaufeinstellung. Das Gemisch beim Starten ist außerordentlich mager, sodaß ein Anspringen des kalten Motors ohne Betätigung des Startvergasers nicht stattfindet.

Bei halb und ganz gezogenem Startvergaser ist der Luftverbrauch L_2 und L_3 anfänglich bei geschlossener Drosselklappe rund dreimal so hoch wie bei geschlossenem Startvergaser (L_1), da durch die Startverluftdüse zusätzliche Luft gefördert wird. Bei der normalen Leerlaufstellung (Drosselklappe 6° geöffnet) ist der Luftbedarf in allen Startvergaserstellungen praktisch derselbe. Der Brennstoffver-

brauch bei halboffenem Startvergaser B₂ liegt anfänglich etwa fünfmal so hoch wie der der Leerlaufeinrichtung B₁, fällt dann allerdings auf Normalverbrauch ab. Entsprechend klein ist das Mischungsverhältnis μ_2 und die Luftüberschusszahl, die bei größeren Öffnungen ebenfalls Normalwerte erreichen. Bei 6° Drosselstellung (Normaleinstellung) beträgt $\mu_2 \approx 4,5$ kg L./kg Br., $\lambda \approx 0,29$. Bei voll offenem Startvergaser steigt der Kraftstoffverbrauch B_2 auf den 5,5 bis 6,5-fachen Wert des Leerlaufverbrauches. Mischungsverhältnis und Luftüberschusszahl sind entsprechend niedrig und nehmen nur wenig mit der Drehzahl zu. Bei 6° Drosselöffnung ergeben sich folgende Werte:

$\mu_3 \approx 2,5$ kg L./kg Br., $\lambda \approx 0,17$.
Die Wirkungsweise des Startvergasers beruht also auf einer außerordentlich starken Anreicherung des Gemisches, die besonders bei der "1/2 auf"-Stellung abhängig ist von der Drosselklappenstellung bzw. Leerlaufdrehzahl, auf die der Motor eingestellt wurde. Durch leichtes Öffnen der Drosselklappe auf die Leerlaufstellung (6°) hinaus, kann somit bei der "1/2 auf"-Stellung des Startvergasers ein normales Mischungsverhältnis $\approx 13,5$ wiederhergestellt werden und damit verhindert werden, daß der Motor "ersäuft".

001253

001255

Weiter werden folgende Größen gemessen: Zeit bis zur ersten Zündung, Zeit bis zum Eigenlauf, Saugrohrtemperatur, Öltemperatur, Temperatur an der äußeren Zylinderwand, Druck im Saugrohr, Öldruck, Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit und Barometerstand. Die Anzeigeräte sind möglichst außerhalb der Kältekammer untergebracht, um Anzeigefehler auszuschalten.

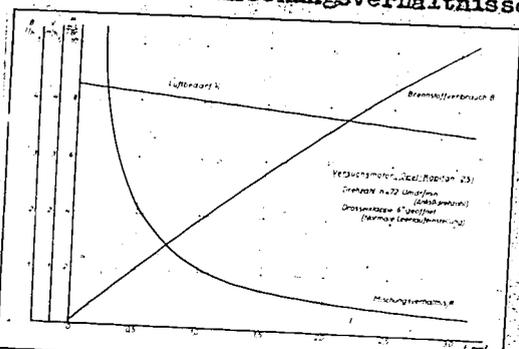
Die ersten Startversuche in der Kälte wurden mit Startbenzin bei ganz geöffnetem Startvergaser in einem Temperaturbereich von Null bis -30° durchgeführt. In keinem Fall konnte ein Anspringen innerhalb einer tragbaren Anlaufzeit (60 sec) erzielt werden.

Die Ergebnisse dieser Vorversuche haben deutlich die Tatsache erkennen lassen, daß der Startvergaser in der ausgeführten Form nur für einen engumgrenzten Temperaturbereich ein Gemisch liefert, das ein günstiges Startverhalten zur Folge hat; bei höheren Temperaturen ist das Gemisch zu fett (die Drosselklappe muß geöffnet werden, um ein zündfähiges Gemisch zu erhalten), bei tieferen Temperaturen zu arm (Motor springt nicht an, da zu wenig verdampfungsfähige Kraftstoffmengen in die Zylinder gelangen).

Auf dieser Erkenntnis fußend, wurde die zweistufige Startvergaser-scheibe durch eine neue ersetzt, die anstelle der beiden einrastenden Regelbohrungen (Stellung "1/2 auf", $D_1 = 1,2 \text{ mm } \varnothing$; Stellung "ganz auf" $D_2 = 30 \text{ mm } \varnothing$) einen Keilschlitz trug, der eine kontinuierliche Regelung des Mischungsverhältnisses zwischen den Stellungen "Startvergaser zu" und "Startvergaser auf" ermöglichen sollte. Es wurde dadurch angestrebt, für jede Raumtemperatur eine optimale Startvergaserstellung zu finden, bei der der Motor in kürzester Zeit anspringt, indem der erforderliche Kraftstoffüberschuß seinen Verdampfungsverhalten entsprechend geregelt wird.

Obwohl diese Art der Regelung in mehreren und in immer feiner regelnden Ausführungen angefertigt wurde, ergab die Eichung dieses Startvergasers (Mischungsverhältnis als Funktion der Startvergaserstellung) keine befriedigende Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses.

Aus diesem Grunde wurde eine regelbare Startvergaser-Brennstoffdüse angefertigt, deren Durchflußquerschnitt durch eine kegelförmige Düsennadel kontinuierlich von 0 bis 3 mm verändert werden kann. Diese Düse kann anstelle der Originalstarterdüse in den Vergaser eingeschraubt werden. In einem Eichversuch, bei dem der Motor ohne Zündung durch die Anlaufvorrichtung angetrieben wurde, wurde die Abhängigkeit des Mischungsverhältnisses zum Durchflußquerschnitt bzw.

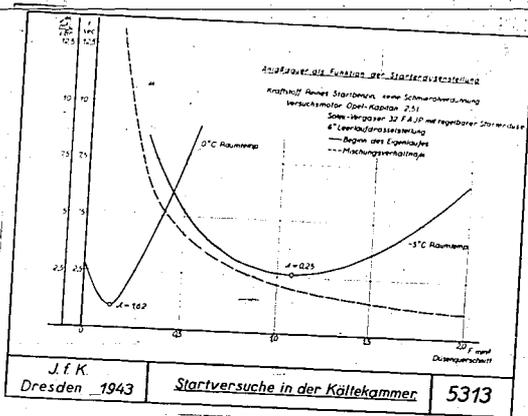


JIK Dresden 1943 Gemischbildung mit regelbarer Starterdüse für Solex-Vergaser 32 FA J P 5311

der Stellung der Düsennadel bei konstanter Drosselklappenstellung bestimmt. Der Versuchsaufbau entsprach den früheren Versuchen dieser Art (Bild 5308). Das Ergebnis dieser Eichung ist in Bild 5311 dargestellt. Es sind aufgetragen der Brennstoff- und Luftverbrauch und das daraus resultierende Mischungsverhältnis, das über der Düsenfläche einen hyperbolischen Verlauf hat. Die mit dieser Anordnung erreichte Regelmäßigkeit der Zusammensetzung des Anlaufgemisches ist für die Kaltstartversuche ausreichend.

001256

Mit dieser Starterdüse wurden die ersten Versuchsreihen in der Kältekammer mit Startbenzin dergestalt durchgeführt, daß bei einer konstanten Raumtemperatur (0°C und -5°C) der Düsenquerschnitt systematisch verändert und die Anlaßdauer bis zum Eigenlauf bei jeder Düsenstellung gemessen wurde. Zwischen jeder Messung wurde der Motor wieder vollständig auf die Raumtemperatur abgekühlt. Nach den ersten Umdrehungen im Eigenlauf wurde die Drosselklappe geöffnet, um ein Weiterlaufen des Motors zu gewährleisten.



Wie nach den Vorversuchen zu erwarten, ergaben die Versuche eine starke Abhängigkeit der Anlaßzeit von der Öffnung der Startvergaserdüse und damit vom Mischungsverhältnis (Bild 5313). Besonders die 0°-Reihe zeigt bei einem Düsenquerschnitt von 0,15 mm² ein ausgeprägtes Minimum in der Anlaßzeit (Anlaßdauer 1 sec). Aus der Eichkurve der regelbaren Starterdüse, die mit dem zugehörigen Mischungsverhältnis auch im Bild 5313 eingetragen ist, ergibt sich als günstigstes Mischungsverhältnis $\mu = 12,8 \text{ m}^3 \text{ Luft/l Brennstoff}$, was der auffallend hohen Luftüberschusszahl von $\lambda = 1,62$ eines sehr mageren Gemisches entspricht. Es sei hier darauf hingewiesen, daß in der Darstellung des Mischungsverhältnisses die Dimension $\text{m}^3 \text{ Luft/l Brennstoff}$ statt der üblichen Dimension $\text{kg Luft/kg Brennstoff}$ gewählt wurde, um auf diese Weise unabhängig vom Luftzustand und vom spez. Gewicht des Brennstoffes zu werden. Im Gegensatz zur Anlaßzeit ist die Zeitdauer bis zur ersten Zündung praktisch unabhängig vom Mischungsverhältnis und beträgt hier etwa 1 - 2 sec. Aus dem Kraftstoffverbrauch in der Kältekammer wird noch versucht, die Richtigkeit der Eichkurve für das Anlaßgemisch zu überprüfen.

Bei einer Raumtemperatur von 5° C streuen die Meßpunkte stärker, doch läßt sich auch hier die gleiche Abhängigkeit der Anlaßzeit vom Mischungsverhältnis feststellen. Das Optimum mit etwa 3 sec Anlaßdauer liegt bei dem Düsenquerschnitt von etwa 1,1 mm², der ein Mischungsverhältnis von $\mu = 1,9 \text{ m}^3 \text{ Luft/l Brennstoff}$ liefert. Das Gemisch mit der entsprechenden Luftüberschusszahl $\lambda = 0,25$ ist somit sehr fett. Auch hier ist die Zeit bis zur ersten Zündung nahezu unabhängig von der Startvergaserstellung. Die Meßpunkte streuen um einen Mittelwert von etwa 3 sec. Entsprechend diesen beiden Versuchsreihen werden derzeit die Versuche bei tieferen Temperaturen fortgesetzt. Als Modellmischung findet als nächste Gemisch-teil mit niedrigen Butanzusätzen Verwendung, weil hierfür bereits ausreichende Dampfspannungsuntersuchungen vorliegen (s. Abschnitt III).

III. Dampfspannungsuntersuchungen an verschiedenen Kraftstoffen.

A. Die Dampfspannung der gesättigten Kohlenwasserstoffe $C_n H_{2n+2}$.

Die Satteldampfspannungen der reinen n-Kohlenwasserstoffe $C_n H_{2n+2}$ sind bekannt^{x)} und in Abhängigkeit von der Temperatur im Schaubild S. 24 dargestellt. Die Tabelle auf S. 17 gibt die für verbrennungsvorgänge wichtigsten Kenngrößen an. Die Dampfspannungskurven sagen aber unmittelbar noch nichts über die Temperaturabhängigkeit zündfähiger Kraftstoff-Luftgemische aus. Folgende Überlegungen führen jedoch zu diesen Zusammenhängen.

In einem abgeschlossenen Gefäß befindet sich flüssiger Kohlenwasserstoff KW , der darüber befindliche Gasraum hat das Volumen V . Er wird ausgefüllt von Luft mit dem Partial-Druck p_L und von Dampf des Kohlenwasserstoffes mit dem Partial-Druck = Dampfdruck: p_{KW} . Der Partialdruck des Sauerstoffes sei p_{O_2} , die Temperatur des gesamten Systems sei T . Dann gelten folgende Gleichungen:

$$1.) \text{ Für den Kohlenwasserstoff: } p_{KW} \cdot V = n_{KW} \cdot R \cdot T$$

$$2.) \text{ Für den Sauerstoff: } p_{O_2} \cdot V = n_{O_2} \cdot R \cdot T$$

Hierbei bedeuten n die Anzahl der Mole in g , die vom betreffenden Stoff im Gasraum verdampft vorliegen. Da V und T gleich sind und R für alle Gase denselben Wert hat, ergibt die Division der beiden Gleichungen:

$$\frac{p_{KW}}{p_{O_2}} = \frac{n_{KW}}{n_{O_2}} \quad \text{oder}$$

$$p_{KW} = p_{O_2} \cdot \frac{n_{KW}}{n_{O_2}}$$

Da für Luft $\frac{p_{O_2}}{p_{Luft}} = 0,2099$ gilt, können wir schreiben:

$$p_{KW} = 0,2099 \cdot p_{Luft} \cdot \frac{n_{KW}}{n_{O_2}}$$

Soll die Verbrennung vollständig verlaufen, also die Luftzahl $\lambda = 1$ sein, dann ergibt sich das Verhältnis N_{KW} Mole Kohlenwasserstoff n_{KW} Mole Sauerstoff = n_{O_2} aus folgenden Gleichungen:

$$N_{KW} = \frac{n_{KW}}{n_{O_2}}$$

x) Nach Landolt-Börnstein

001258

Tabelle

Gesättigte Kohlenwasserstoffe

Name	Formel	Mol.-Gew.	Siedepunkt	Dichte	R	Luftbedarf n cbm/kg	Luftbedarf = l kg L/kg K	Heizwerte H _o H _u Kal/kg Kal/kg
Methan	CH ₄	16,03	-164	0,7168 (g)	52,9	14,45	18,70	13270 11920
Äthan	C ₂ H ₆	30,05	-93	1,1791 (g)	28,21	13,48	17,42	12400 11330
Propan	C ₃ H ₈	44,06	-45	2,0200 (g)	19,25	13,11	16,93	12040 11060
n-Butan	C ₄ H ₁₀	58,08	+0,6	(2,6726 (g) (0,60/0°(fl))	14,60	12,92	16,73	11840 10920
n-Pentan	C ₅ H ₁₂	72,09	+36	0,626 (fl)	11,76	12,82	16,60	11720 10830
n-Hexan	C ₆ H ₁₄	86,11	+69	0,660/20°(fl)	9,85	12,75	16,50	11550 10680
n-Heptan	C ₇ H ₁₆	100,13	+98	0,730/20°(fl)	8,47	12,70	16,41	11490 10630
n-Oktan	C ₈ H ₁₈	114,14	+126	0,702/20°(fl)	7,43	12,65	16,38	11440 10600
n-Nonan	C ₉ H ₂₀	128,16	+149,5	0,718/20°(fl)	6,62	12,62	16,33	11410 10570
n-Dekan	C ₁₀ H ₂₂	142,18	+173	0,745/0°(fl)	5,37	12,58	16,28	11380 10560

g = gasförmig
fl = flüssig

1. Propan: $C_3H_8 + 5O_2 = 4H_2O + 3CO_2$	$N_{Propan} = \frac{n_{Propan}}{n_{O_2}} = \frac{2}{10}$
2. Butan: $C_4H_{10} + 6\frac{1}{2}O_2 = 5H_2O + 4CO_2$	$N_{Butan} = \frac{n_{Butan}}{n_{O_2}} = \frac{2}{13}$
3. Pentan: $C_5H_{12} + 8O_2 = 6H_2O + 5CO_2$	$N_{Pentan} = \frac{n_{Pentan}}{n_{O_2}} = \frac{2}{15}$
4. Hexan: $C_6H_{14} + 9\frac{1}{2}O_2 = 7H_2O + 6CO_2$	$N_{Hexan} = \frac{n_{Hexan}}{n_{O_2}} = \frac{2}{19}$
5. Heptan: $C_7H_{16} + 11O_2 = 8H_2O + 7CO_2$	$N_{Heptan} = \frac{n_{Heptan}}{n_{O_2}} = \frac{2}{22}$
6. Oktan: $C_8H_{18} + 12\frac{1}{2}O_2 = 9H_2O + 8CO_2$	$N_{Oktan} = \frac{n_{Oktan}}{n_{O_2}} = \frac{2}{25}$
Allgemein: $C_nH_{2n} + 2 + \frac{3n+1}{2} O_2$	$N_n = \frac{n}{n_{O_2}} = \frac{2}{3n+1}$

Für $\lambda = 1$ ergeben sich dann nach der allgemeinen Formel

$$P_{KW} = 0,2099 \cdot P_{Luft} \cdot N_{KW}$$

1. Propan: $P_{Propan} = 0,04193 \cdot P_{Luft}$
2. Butan: $P_{Butan} = 0,0323 \cdot P_{Luft}$
3. Pentan: $P_{Pentan} = 0,0252 \cdot P_{Luft}$
4. Hexan: $P_{Hexan} = 0,0221 \cdot P_{Luft}$
5. Heptan: $P_{Heptan} = 0,0191 \cdot P_{Luft}$
6. Oktan: $P_{Oktan} = 0,0168 \cdot P_{Luft}$

001259

In der folgenden nur für Butan wiedergegebenen Tabelle sind für verschiedene Luftdrucke (ganze Vielfache von 76 mm Hg) die entsprechenden Kohlenwasserstoffdrucke p_{KW} berechnet. In den Spalten $t^{\circ}C$ sind dazu aus der Dampfdruckkurve des Butans diejenigen Temperaturen angegeben, bei denen der Kohlenwasserstoff diesen Dampfdruck besitzt. Der Mischdruck p_M setzt sich aus dem jeweiligen Luftdruck p_L und Dampfdruck des Kohlenwasserstoffes zusammen

$$p_M = p_L + p_{KW}$$

Soll die Luftüberschubzahl nicht den Wert $\lambda = 1$ besitzen sondern den Wert $1 + a$, dann gilt die allgemeine Gleichung

$$P_{KW} = 0,2099 \cdot P_{Luft} \cdot N_{KW} / (1 + a)$$

Für die Luftüberschubzahlen 0,8, 0,9, 1,1, 1,2 ($a = -0,2; -0,1; +0,1; +0,2$) errechnen sich danach die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Temperaturen aus den verschiedenen Luftdrücken p_L 76 mm.

Tabelle für Butan-Luftgemisch.

001260

Luft- druck	$\lambda = 0,8$		$\lambda = 0,9$		$\lambda = 1,0$		$\lambda = 1,1$		$\lambda = 1,2$	
	mm Hg	p	mm Hg	t						
760	30,6	- 65	27,2	- 67	24,5	- 68,5	22,2	- 70	20,4	- 71
684	27,6	- 67	24,4	- 68,5	22	- 70	19,8	- 71,5	17,6	- 73,5
608	24,4	- 68,5	21,8	- 70,5	19,5	- 72	17,7	- 73,5	16,2	- 75
532	21,2	- 71	19	- 72,5	17	- 74	15,4	- 75,5	14,2	- 77
456	18,7	- 73	16,6	- 74	15	- 76	13,6	- 77	12,5	- 78,5
380	15,6	- 76	13,9	- 77	12,5	- 78,5	11,3	- 80	10,4	- 81
304	12,5	- 78,5	11,1	- 80	10	- 81	9,1	- 82	8,5	- 83,5
228	9,4	- 82	8,34	- 83,5	7,5	- 83,5	6,8	- 86	6,25	- 87,5
152	6,25	- 87,5	5,55	- 88	5	- 89	4,55	- 90	4,15	- 91
76	3,13	- 92,5	2,78	- 94	2,5	- 94	2,27	- 94	2,08	- 95

Drucke in mm Hg, Temperaturen in °C

Der Mischdruck, welcher sich beispielsweise im Saugrohr unter der Bedingung restloser Verdampfung des Kraftstoffes und einer Luftüberschußzahl λ einstellt, kann als Funktion der Temperatur dargestellt werden (s. Bild, S. 25). Aus den Kurven ist zu erkennen, daß Mischungen mit höherer Luftüberschußzahl (magere Gemische) bei tieferen Temperaturen beständig sind und dass niedrigere Absolutdrücke p_m im Saugrohr ebenfalls für die Beständigkeit bei Tieftemperaturen vorteilhaft sind.

B. Die Dampfdruck-Bestimmungsapparatur für Mischbenzine bei niedrigen Temperaturen

Bei Mischbenzinen liegen die leichtsiedenden Bestandteile in Lösung vor. Die Partialdrücke die von diesen Bestandteilen herrühren sind für die Kaltstarteignung eines Mischbenzines entscheidend. Sie entsprechen jedoch nicht den Partialdrücken, die von der gleichen verdampften Menge eines reinen Kohlenwasserstoffes erzeugt werden, sondern sind erheblich niedriger. Da für den Kaltstart Kraftstoffe hoher Flüchtigkeit also mit hohem Dampfdruck bei niedrigen Temperaturen erwünscht sind, die Gemischbildner der Motoren aber nur die Zumessung der flüssigen Kraftstoffmenge zur Luftmenge ohne Rücksicht auf ihr Verdampfungsverhalten besorgen, muß zur Beurteilung der Kaltstarteignung eines Kraftstoffes die Dampfspannung in Beziehung zur Temperatur und Kraftstoffmenge gebracht werden. Eine hierfür entwickelte Bestimmungsapparatur ist schematisch im umstehenden Bild veranschaulicht. Ihre Handhabung ist folgende: Die Meßpipette P wird mit Benzin gefüllt und mit dem Stopfen S durch den eine Kapillare nach außen führt, geschlossen. Bei geöffnetem Hahn H₂ wird durch eine Hochvakuumpumpe Gefäß G mit dem Ansatz A und dem angeschlossenen Manometer M evakuiert. Nach Schließen von H₂ kontrolliert man über einen Zeitraum von 20 Min. daß der an M abgelesene Druck völlig konstant bleibt, die Apparatur also dicht ist. G stellt man dann in ein mit Alkohol gefülltes