

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 26 (1948)

Heft: 5

Artikel: Versuche mit Motorenschmierölen im Automobilbetrieb der PTT-Verwaltung

Autor: Künzler, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-874038>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON DER SCHWEIZERISCHEN POST-, TELEGRAPHEN- UND TELEPHONVERWALTUNG

BULLETIN TECHNIQUE/BOLLETTINO TECNICO

PUBLIÉ PAR L'ADMINISTRATION DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES SUISSES

PUBBLICATO DALL'AMMINISTRAZIONE DELLE POSTE, DEI TELEGRAFI E DEI TELEFONI SVIZZERI

Versuche mit Motorenschmierölen im Automobilbetrieb der PTT-Verwaltung

Von H. Künzler, Bern

621.892.097

1. Einleitung

Während des zweiten Weltkrieges war die Schweiz von den überseeischen Mineralölmärkten abgeschnitten und musste deshalb auf die von dort stammenden Qualitätsschmieröle verzichten. Was an Schmierölprodukten in unser Land gelangte, war im allgemeinen qualitativ nicht sehr hochstehend. Kurz nach dem Kriege, als der Welthandel sich der Schweiz wieder zu öffnen begann, sah sich der Automobildienst der PTT-Verwaltung gezwungen, auch der Schmierung der Fahrzeugmotoren besondere Aufmerksamkeit zu schenken und die damit zusammenhängenden Fragen wissenschaftlich zu untersuchen. Im besondern musste abgeklärt werden, welche Arten von Schmierölen für den Automobilbetrieb am geeignetsten seien. Dabei war vor allem zu prüfen, ob sich die während des Krieges besonders in Amerika entwickelten Hochleistungsöle (Heavy Duty-Schmieröle) für Fahrzeugmotoren, wie sie die Post verwendet, bewähren oder nicht.

Aus administrativen Gründen strebte der Automobildienst der PTT-Verwaltung ausserdem an, alle Motorfahrzeuge mit einem Einheitsöl zu schmieren, und zwar Sommer und Winter mit dem gleichen.

Es ist eine Erfahrungstatsache, dass es nicht möglich ist, aus den im Laboratorium ermittelten Kennziffern eines Oeles *allein* auf dessen Verhalten im Motor zu schliessen. Für die eindeutige Beurteilung eines Schmieröles sind deshalb ausgedehnte Betriebsversuche in den Motoren notwendig, für die ein Schmiermittel ausgewählt werden soll.

Unter Berücksichtigung der angeführten Gesichtspunkte wurde anfangs 1947 ein Versuchsprogramm ausgearbeitet, in dem vorgesehen war mit, drei verschiedenen Schmierölartern lange dauernde Versuche durchzuführen. Um vergleichbare Ergebnisse zu er-

halten, mussten alle Versuchsbedingungen, mit Ausnahme der Schmieröle, gleich gehalten werden. Nur auf diese Weise war es möglich, am Ende des Versuches die Unterschiede im Zustande der Versuchsmotoren den verschiedenen Schmiermitteln zuzuschreiben.

2. Die Versuchsbedingungen

Für die Versuche wurden drei in allen Teilen gleiche Fahrzeuge benötigt, da geplant war, drei verschiedene Typen von Motorenschmierölen auszuprobieren. In der Fig. 1 ist einer der Versuchswagen abgebildet. Es handelt sich um einen Postkurswagen, Typ 4 CH 1D, mit 32 Sitz- und 23 Stehplätzen. Die Versuchswagen waren mit 8-Zylinder-Dieselmotoren (V-Form) in Verbindung mit einem 8-Ganggetriebe ausgerüstet. Eine Aussenansicht dieses Motorentyps ist in der Fig. 2 wiedergegeben. Motortriebwerk und Steuerung werden zwangsläufig durch Druck geschmiert, wobei der Schmieröldruck mindestens 1,5 Atü betragen soll. Eine doppelte Zahnradpumpe, die im tieferen Teil der Oelwanne in den Oelsumpf eintaucht, besorgt den Oelkreislauf. Die Pumpe befördert das Oel unter Druck durch einen Spaltfilter zu den Schmierstellen. Zylinder und Kolben werden durch das aus den Lagern der Pleuelstangen ausspritzende Oel geschmiert. Für eine Füllung benötigt der Versuchsmotor 25 l Schmieröl.

Ueber die Leistungsverhältnisse des CH 1D-Motors, den Treibstoffverbrauch und zwei damit zusammenhängende Grössen unterrichtet die Fig. 3, in der einige Durchschnittswerte bzw. Streubereiche, gemessen auf dem Motorenprüfstand, eingezeichnet sind.

Die drei Versuchsmotoren, die der gleichen Fabrikationsserie entstammen, wurden vor Versuchsbeginn einer Revision unterzogen. Dabei wurden neue

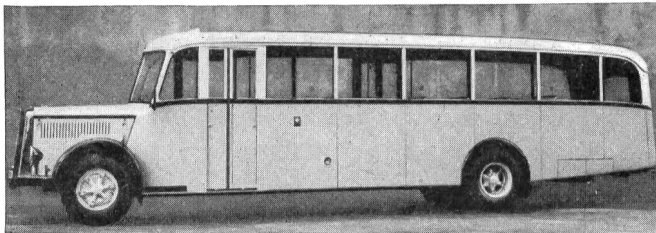


Fig. 1. Einer der Versuchswagen

Kolbenringe und neue Zylinderbüchsen gleicher Qualität und Dimensionen eingebaut. Vor dieser Revision legten die Versuchswagen folgende Fahrstrecken zurück: P 1327: 23 050 km, P 1332: 16 720 km und P 1331: 25 058 km. Sie konnten demnach auch in dieser Beziehung als praktisch gleichwertig bezeichnet werden.

Die Versuchswagen waren in der Postgarage Nesslau stationiert. Hier wurde während der Versuchszeit das Betriebsbuch nachgetragen, der Ölwechsel und die Treibstoffversorgung vorgenommen und der übliche Wagenunterhalt besorgt.

Die Betriebsversuche wurden im Februar 1947 begonnen und im Juni 1948 abgebrochen, nachdem jeder Wagen in dieser Zeit rund 50 000 km zurückgelegt hatte. Die Wagen P 1327, P 1332 und P 1331 wurden auf der Postkursstrecke Nesslau—Wildhaus—Buchs (St. G.) eingesetzt und versahen dort den normalen Kursverkehr, teilweise mit Personentransportanhängern. In der Fig. 4 sind die geographischen Daten der Versuchsstrecke eingezeichnet. Die Gesamtlänge beträgt 30 km. Davon sind 8 km noch Staubstrasse, während 20 km der Strasse mit einem Teerbelag versehen sind. Der staubige Teil der Strasse liegt zwischen Wildhaus und Gams, wo sich zugleich auch die grösste Steigung bzw. das grösste Gefälle von 7,7 % befindet. An dieser Stelle wurden die Motoren demnach in doppelter Weise am stärksten beansprucht. Der höchste Punkt der Strecke befindet sich

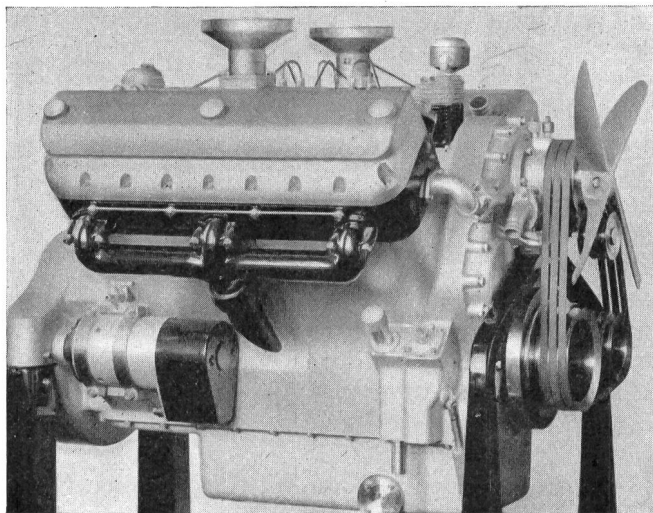


Fig. 2. Motor eines Versuchswagens

in Wildhaus (1098 m/M.), der 339 m höher als Nesslau und 651 m höher als Buchs (die beiden Endstationen der Route) liegt.

Zur Beurteilung der klimatischen Verhältnisse während der Versuchszeit konnte uns die schweizerische Meteorologische Zentralanstalt in Zürich Angaben über Temperatur, Regenmenge und Bewölkung zur Verfügung stellen. Die Messungen stammen für

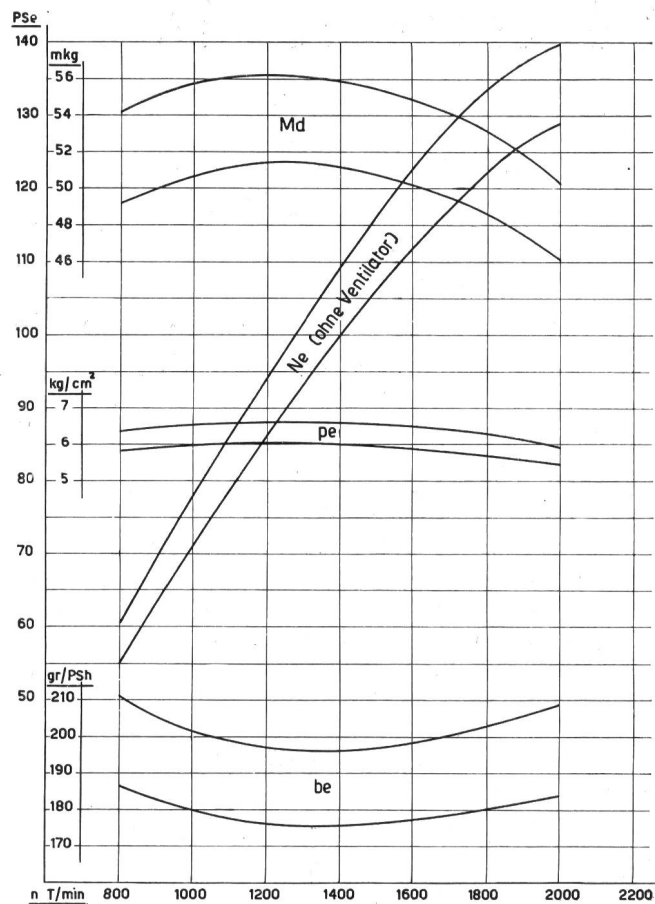


Fig. 3. Streubereich der Leistung und des Treibstoffverbrauches des CH 1 D-Motors.

(8 Zyl. 110 × 140—10,64 l)

Ne = Effektive Leistung in PSe

Md = Drehmoment in mkg

pe = Mittlerer Verbrennungsdruck in kg/cm²

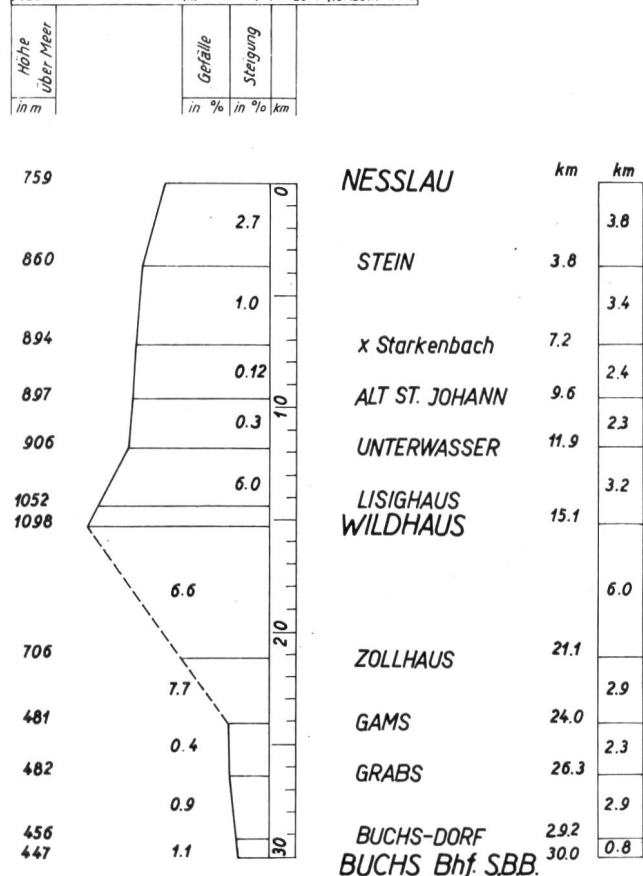
be = Brennstoffverbrauch in g/PSh

das Toggenburg aus Ebnat-Kappel und Starkenbach, für das Rheintal aus Altstätten und Haag. Die Angaben sind in der Tabelle I als Monatsmittel zusammengestellt, wo in einer besonderen Kolonne auch die Normalwerte für die Meßstationen zum Vergleich angeführt sind. Man kann der Tabelle 1 entnehmen, dass es im Winter zu Beginn des Jahres 1947 kälter als normal war. In den Sommermonaten des gleichen Jahres stieg die mittlere Monatstemperatur an beiden Meßstationen bis zu 2 ½° C über den Normalwert. Der Winter 1947/48 war dagegen ausserordentlich milde. Auch die Niederschlagsmengen und Bewölkungsverhältnisse wichen während der Versuchsdauer an beiden Meßstellen stark von den entsprechenden Durchschnittswerten ab. Es ist besonders darauf hin-

zuweisen, dass der Sommer 1947 ausserordentlich trocken war und eine sehr geringe Bewölkung aufwies. Bedeutende Regenfälle setzten erst wieder im November ein.

Der bessern Uebersicht wegen sind die Temperaturen und Niederschlagsmengen (Monatsmittel), welche während der Versuchsdauer gemessen wurden, in der Fig. 5 als Säulen eingezeichnet. Es ist leicht

Massstäbe: 5"m = 1km 1"m = 20m Horizont = 300m



— ASPHALTSTRASSE
- - - - - STAUBIGE STRASSE

Fig. 4. Geographische Daten der Versuchsstrecke

zu erkennen, dass im Toggenburg ein um etwa 2° C kälteres, jedoch nasseres und im Rheintal ein entsprechend wärmeres, aber trockeneres Klima herrschte. Diese klimatischen Unterschiede bedeuten für die Motoren eine Verschärfung der Betriebsbedingungen, die uns für die Versuche als erwünscht erschien. Da die drei Versuchswagen zur gleichen Zeit und auf derselben Strecke eingesetzt wurden, waren somit auch die äusseren Versuchsbedingungen dieselben.

Es ist bekannt, dass jeder Chauffeur seine eigene Fahrweise hat. Um nun auch in dieser Hinsicht vergleichbare Verhältnisse zu bekommen, wurde darauf geachtet, dass alle elf Wagenführer, die auf der Route Nesslau—Buchs im Dienst stehen, auf jedem der drei Versuchswagen ungefähr gleich viele Kilometer zurücklegten. Auf diese Weise konnte vermieden wer-

Tabelle I

Klimatische Angaben der Meteorologischen Zentralanstalt Zürich (Monatsmittel)

Monat	Temperatur in °C			Regenmenge in mm			Bewölkungsmittel in Zehnteln		
	Ebnat-Kappel 650 m ü. M. (Toggenburg)			Starkenbach 900 m ü. M. (Toggenburg)			Ebnat-Kappel 650 m ü. M. (Toggenburg)		
	1947	1948	Normalwert	1947	1948	Normalwert	1947	1948	Normalwert
I	-5.3	1.6	-3.1	110	211	146	6.1	6.9	6.5
II	-3.3	-0.5	-0.7	25	184	112	7.4	6.9	6.0
III	3.9	5.8	1.9	213	98	138	6.8	3.4	5.9
IV	9.4	7.8	6.8	120	88	167	4.9	4.9	6.0
V	13.3		10.8	115	112	170	5.4		6.0
VI	16.1		14.4	196		227	4.5		5.8
VII	18.5		16.5	170		240	4.4		5.4
VIII	17.4		15.5	79		230	3.1		5.0
IX	14.5		12.5	60		173	3.4		5.4
X	7.5		6.8	74		150	5.4		5.9
XI	4.9		2.4	432		126	6.9		6.3
XII	-0.4		-2.2	169		151	8.2		6.2
Altstätten 470 m ü. M. (Rheintal)				Haag 450 m ü. M. (Rheintal)			Altstätten 470 m ü. M. (Rheintal)		
I	-4.2	3.3	-1.7	65	85	64	7.0	7.9	6.8
II	-2.7	0.9	0.8	22	102	52	8.4	7.7	6.2
III	6.0	7.3	4.0	114	49	63	7.8	3.7	6.0
IV	11.3	10.3	9.0	38	49	88	5.5	5.4	5.7
V	15.4		12.9	106	86	117	6.0		5.6
VI	18.2		16.3	144		154	5.0		5.7
VII	19.8		18.2	155		178	4.7		5.3
VIII	19.9		17.3	94		171	3.3		5.1
IX	17.0		14.5	64		127	3.9		5.0
X	9.0		8.9	68		97	5.6		6.1
XI	5.5		3.8	297		73	8.0		7.0
XII	0.8		-0.9	110		78	9.2		7.0

den, dass die Versuchsergebnisse durch die individuelle Fahrweise eines einzelnen Wagenführers beeinflusst wurden.

Endlich sei noch erwähnt, dass sämtliche drei Motoren mit dem gleichen Treibstoff betrieben, das Ge-

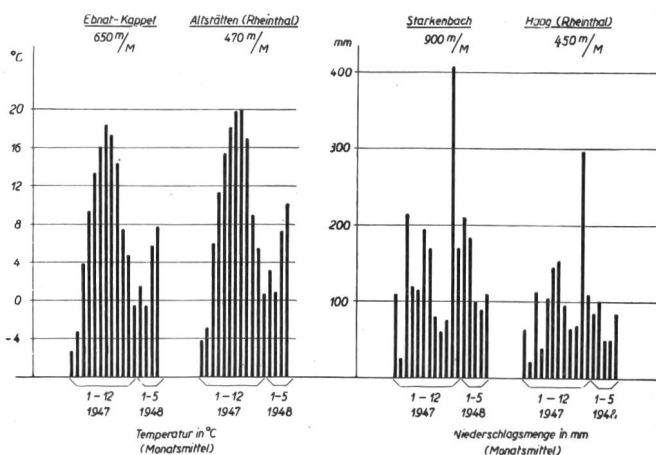


Fig. 5. Klimatische Daten

triebe mit dem gleichen Getriebeöl und die Fettschmierstellen mit dem gleichen Fett geschmiert wurden, das heisst, dass der Wagenunterhalt für alle drei Fahrzeuge derselbe war.

3. Die Versuchsschmieröle

In die Versuche wurden drei verschiedene Schmieröle einbezogen:

- a) ein gemischtbasisches Schmieröl (P 1327), welches bei der PTT gebräuchlich ist,
- b) ein elektrisch veredeltes Schmieröl (P 1332) und
- c) ein Hochleistungsschmieröl mit HD-Zusätzen (P 1331).

Während der Versuche wurde die Viskosität der Schmieröle konstant gehalten. Es wurde absichtlich unterlassen, im Sommer mit entsprechenden Ölen höherer Viskosität zu schmieren. Das ganze Jahr hindurch diente demnach das Winteröl als Schmiermittel.

Ueber die Eigenschaften der drei Versuchsschmieröle orientiert die *Tabelle II*. Es wurde bei der Aus-

flache Viskositäts-Temperaturkurve. Ferner sollen sie eine gute Schmierfähigkeit (oiliness) aufweisen und Schlamm und andere Alterungsprodukte weitgehend aufzulösen vermögen.

Die neuen Hochleistungsschmieröle (Heavy-Duty-Schmieröle oder kurz HD-Oele genannt) wurden während des Krieges entwickelt und vor allem bei der amerikanischen Armee verwendet. Sie enthalten organische und metallorganische Zusätze, die dem Öl eine erhöhte Lösungs- und Dispergierungsfähigkeit für seine Alterungsprodukte (Lacke, Schlamm und sehr hohe Oxydationsprodukte), eine grössere Festigkeit gegen Oxydation und eine grössere Benetzungsfähigkeit (oiliness) geben sollen. In vielen Fällen sind ausserdem noch korrosionsverhindernde Zusätze beigelegt. Im allgemeinen dürfen HD-Oele nicht mit beliebigem Mineralöl verschnitten werden, da die Gefahr besteht, dass dabei die Zusätze ausgefällt werden. Ferner muss der Uebergang vom gewöhnlichen Schmieröl zur HD-Schmierung fachgemäss durchgeführt werden, damit keine Störungen eintreten. Dies gilt vor allem für Automobile, die schon grosse Fahrleistungen hinter sich haben, ohne dass der Motor gründlich revidiert worden ist. In unsere Versuche wurde ein HD-Schmieröl einbezogen, weil die Erfahrungen mit diesen neuen Schmiermitteln noch sehr gering sind und man sich aus den sich widersprechenden Meinungen über diese Produkte kein zuverlässiges Bild machen konnte.

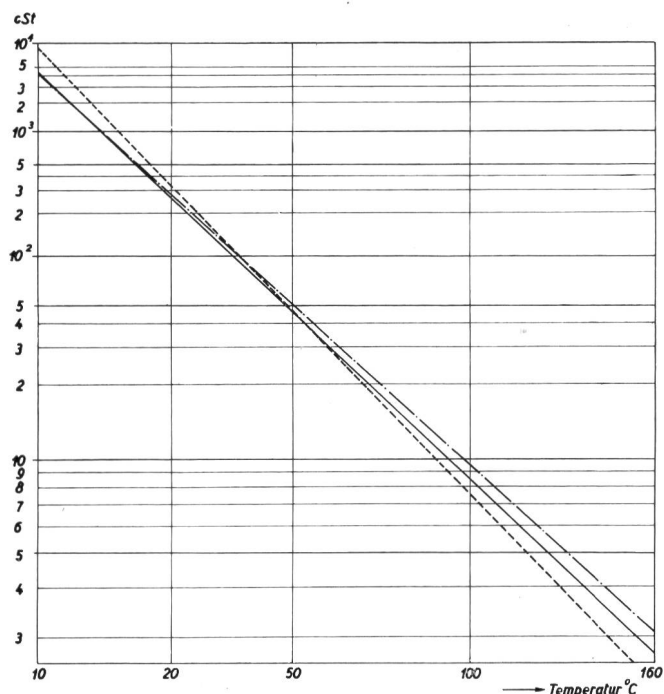
Tabelle II
Kennzeichnung der Versuchsschmieröle

Kennziffer	Gemischtbasisches Schmieröl der PTT-Verwaltung P 1327	Elektrisch veredeltes Schmieröl P 1332	Hochleistungsschmieröl mit HD-Zusatz P 1331
Dichte bei 20° C . . .	0,917	0,882	0,872
Viskosität in cSt			
bei 20° C	360	290	260
bei 50° C	47,9	51,8	46,1
bei 80° C	13,7	16,7	14,5
Viskositätspolhöhe . .	3,4	2,0	2,25
Flammpunkt oT . . .	218° C	224° C	234° C
Brennpunkt oT . . .	254° C	259° C	272° C
Stockpunkt	-17° C	-41° C	-35° C
Neutralisationszahl in mgKOH/g	0,13	0,22	0,23
Anilinpunkt	84° C	99° C	110° C
Brechungsindex n _D 20 .	1,5091	1,4854	1,4820
SAE-Klasse	20	30	20
SNV-Klasse	4	4	4

wahl darauf geachtet, dass die drei Schmiermittel weitgehend ähnliche physikalische Eigenschaften aufwiesen.

Im allgemeinen kann gesagt werden, dass es sich beim Öl P 1327 um kein besonders sorgfältig raffiniertes Spezial- oder Markenöl handelt. Das hohe spezifische Gewicht, der hohe Brechungsindex, der verhältnismässig hohe Stockpunkt, der tiefe Anilinpunkt und die grosse Viskositätspolhöhe deuten auf ein gemischtbasisches Öl hin. Die beiden andern Schmierflüssigkeiten sind dagegen als Spezialöle zu werten.

Den elektrisch veredelten Ölen (P 1332) werden schmiertechnisch besonders günstige Eigenschaften zugeschrieben. So besitzen sie eine verhältnismässig



Öl Nr.	d	ν in cSt	VP	Fl. P	St. P	NZ	SAE Kl.	VSM Kl.
P 1327	20° 0,917	50° 47,9	3,4	218 °C	-17°	0,13	20	4
P 1332	20° 0,882	50° 51,8	2,0	224 °C	-41°	0,22	30	4
P 1331	20° 0,872	50° 46,1	2,25	234 °C	-35°	0,23	20	4

----- P 1327
——— P 1332
——— P 1331

Fig. 6. Das Viskositäts-Temperaturverhalten der drei Versuchsöle

Die Abhängigkeit der Viskosität der drei Versuchsschmieröle von der Temperatur kann aus der Fig. 6 abgelesen werden. Trägt man nämlich die bei verschiedenen Temperaturen gemessenen Viskositätswerte eines Oeles in das Viskositäts-Temperaturblatt nach *Ubbelohde* ein, so liegen die Messpunkte auf einer Geraden, die von links oben nach rechts unten fällt. Ist der Winkel, den sie mit der Abzisse bildet, klein, so verändert sich die innere Reibung der Flüssigkeit nur wenig mit der Temperatur. Bei grossem Winkel dagegen ist das umgekehrte der Fall. In der Viskositätspolhöhe (VP) ist die Steilheit der Viskositäts-Temperaturgeraden enthalten. Man gibt daher in den letzten Jahren gerne den VP-Wert eines Oeles an, da dieser mit zunehmender Steilheit der Geraden ebenfalls steigt.

Die Fig. 6 lässt nun erkennen, dass die Viskositäts-Temperaturgeraden der drei Versuchsschmieröle weitgehend übereinander liegen. Mit Bezug auf die innere Reibung kann man also mit grosser Annäherung sagen, dass sich die Öle gleich verhalten. Eingehend auf Feinheiten muss immerhin festgestellt werden, dass das gemischtbasische Motorenöl (P 1327) die steilste Gerade und damit auch die grösste Viskositätspolhöhe besitzt. Beim elektrisch veredelten Öl sind dagegen die entsprechenden Werte am geringsten. Es sei jedoch betont, dass diese geringen Unterschiede nicht von praktischer Bedeutung sind. Ganz besonders gilt dies für die Verhältnisse über 100° C (rechts unten in der Fig. 6). Da dort die Geraden beachtlich divergieren, ist man rein gefühlsmässig versucht, hier auch von grossen Viskositätsunterschieden zu sprechen. Infolge des doppelt logarithmischen Massstabes aber, in dem die Viskosität eingezeichnet ist, haben wir es in diesem Temperaturbereich nur mit Unterschieden von weniger als 2 cSt zu tun, was im allgemeinen ohne massgebenden Einfluss ist.

Die Verhältnisse werden übersichtlicher, wenn man das Viskositätstemperaturverhalten der Öle in linearem Maßstabe aufzeichnet. Da die Kurven der drei Versuchöle bei dieser Darstellungsweise praktisch aufeinander zu liegen kommen und deshalb nicht mehr getrennt eingezeichnet werden konnten, wählten wir als Beispiel die Kurven des Sommeröles und des Winteröles, welche die PTT-Verwaltung im Jahre 1946 benützte. Die Fig. 7a zeigt, dass beide Kurven bei tiefen Temperaturen sehr steil nach rechts abfallen, von etwa 30° C an rasch flacher werden und über 130° C beinahe waagrecht verlaufen. Oberhalb 150° C ist demnach mit keiner Viskositätsverminderung von Bedeutung mehr zu rechnen. Mit zunehmender Temperatur wird auch die Viskositätsdifferenz der beiden Öle immer geringer, was eindrucklich an den senkrechten Verbindungsgeraden der beiden Kurven bei den Temperaturen 20, 50, 80 und 120° C festgestellt werden kann.

Es muss an dieser Stelle mit Nachdruck darauf hingewiesen werden, dass die Betriebstemperaturen in den Zylindern, sowohl bei Diesel- als auch Benzin-

motoren, zu jeder Jahreszeit über 130° C liegen. Es ist daher gleichgültig, welches der beiden Öle beim laufenden Motor eingesetzt wird, da sie sich in der Viskosität bei der Betriebstemperatur nur unwesentlich unterscheiden.

Anders liegt jedoch die Sache beim Anfahren. Im Winter sinken die Aussentemperaturen je nach Landesgegend sehr tief. In dieser Jahreszeit würde

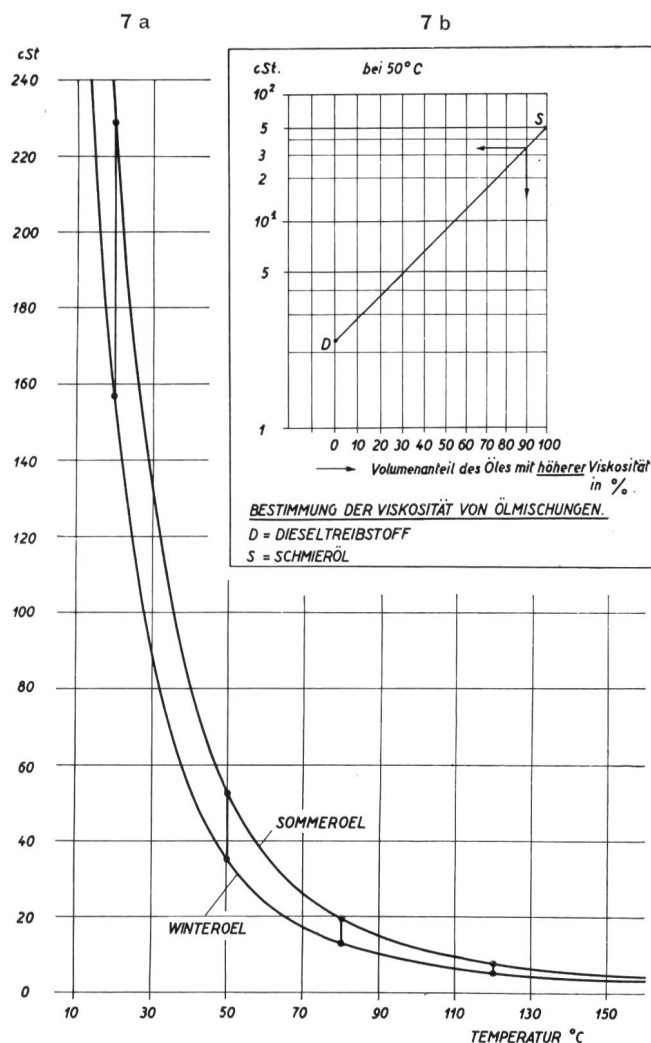


Fig. 7a. Viskositätsverlauf von Sommer- und Winteröl in Abhängigkeit der Temperatur

Fig. 7b. Bestimmung der Viskosität von Ölmischungen

das Anlaufenlassen und das Anfahren mit dem dickeren Sommeröl schwierig, wenn nicht gar gefährlich sein, weil die innere Reibung des Oeles sehr hoch geworden ist und die Bildung eines tragenden Schmierfilmes dadurch verzögert wird.

Aus diesen Ueberlegungen heraus erschiene es uns als zweckmässig, wenn die PTT-Verwaltung zukünftig ihre Automotoren das ganze Jahr hindurch nur mit einem Schmieröl von der Viskosität der Winteröle schmierte. Dies würde organisatorisch und verwaltungstechnisch bedeutende Vereinfachungen mit sich bringen. Wir können uns zu dieser Auffassung um so leichter bekennen, als die im folgenden zu be-

schreibenden Versuche das ganze Jahr hindurch mit Winteröl erfolgreich durchgeführt wurden.

Im allgemeinen besteht auf Grund von Vorurteilen die Tendenz, zu dick zu schmieren. Solche vorgefasste Meinungen müssen einmal überwunden werden.

Der Einwand, die Schmierölverdünnung, verursacht durch Treibstoffspuren, könnte die Viskosität des dünneren Winteröles so weit herabsetzen, dass eine einwandfreie Schmierung nicht mehr gewährleistet sei, ist nicht stichhaltig. Einmal ist die Viskosität beider Öle bei der Betriebstemperatur praktisch gleich, so dass sich gegebenenfalls die Schmierölverdünnung in beiden Fällen gleich auswirken müsste. Zum andern ist diese bei einem sich in gutem Zustand befindenden Motor im allgemeinen so gering, dass daraus keine Schäden zu erwarten sind. Die Schmierölverdünnung steigt bei einwandfrei arbeitenden Motoren in der Regel nicht über 4 %, liegt aber meistens tiefer. In der Fig. 7b ist ein Diagramm dargestellt, das erlaubt, die Viskosität von Oelmischungen graphisch zu ermitteln. Bei 50° C würde die Viskosität eines Schmieröles von 50 cSt durch Beimischung von 10 % Dieseltreibstoff (2,3 cSt) um etwa 17 cSt herabgesetzt (siehe Pfeile in der Fig. 7b). Bei 4 %iger Schmierölverdünnung macht die Abnahme der inneren Reibung nur noch etwa 7 cSt aus. Eine solche Veränderung der Viskosität bei 50° C macht sich bei der Betriebstemperatur von 150 bis 180° C (bei den Kolben) kaum bemerkbar. Der Viskositätsunterschied zwischen Frischöl und 4 %ig verdünntem Öl wird in diesem Temperaturbereich nicht einmal 1 cSt ausmachen und auf alle Fälle geringer sein als derjenige von Winter- und Sommeröl bei 150° C (vgl. Fig. 7a). Aus diesen Erwägungen heraus darf der normalen Schmierölverdünnung nicht allzu grosse Bedeutung beigemessen werden, besonders da sie im allgemeinen unter 4 % liegt.

Endlich sei noch darauf hingewiesen, dass das Winteröl auch im Sommer genügend viskos ist, um beim Anlaufen eine gute Schmierung zu gewährleisten. In der heissen Jahreszeit ist die innere Reibung des Winteröles bei kaltem, stillstehendem Motor immer noch 10...20mal grösser als diejenige des Sommeröles bei Betriebstemperatur (ungefähr 150° C).

Bei der Schmierung von Fahrzeugmotoren muss nicht nur die Viskosität, sondern in gleichem Grade auch die Benetzungsfähigkeit des Schmiermittels berücksichtigt werden. Dieser Eigenschaft wird sehr oft zu wenig Beachtung geschenkt, weil sie verhältnismässig schwierig experimentell zu erfassen ist.

4. Die Betriebsdaten

Während der Versuche wurde über die zurückgelegten Fahrkilometer, den Treibstoffverbrauch, den Ölverbrauch und den Ölverschleiss der drei Wagen genau Buch geführt.

Unter Ölverbrauch versteht man die Menge des beim Ölwechsel ersetzten und des während des Betriebes nachgefüllten Schmiermittels. Als Ölver-

schleiss kann indessen nur diejenige Ölmenge bezeichnet werden, die im laufenden Motor verbraucht wird und in kurzen Zeitabständen und kleinen Mengen wieder ersetzt werden muss. Das beim Ölwechsel abgelassene Öl, das durch den Betrieb schmutzig geworden ist, ist ja nicht verloren, sondern wird nur gegen Frischöl ausgewechselt. Für die Beurteilung des Motorenzustandes ist deshalb nur der Ölverschleiss von Interesse.

Bei den drei Versuchsmotoren wurde nach je 3000 Fahrkilometern ein Ölwechsel vorgenommen. Insgesamt wurde bis zum Versuchsende bei jedem Motor das Öl 16mal gewechselt.

In der *Tabelle III* sind die erwähnten Betriebsdaten für jeden Monat zusammengestellt. Der bessern Uebersicht wegen sind dort in der vierten Kolonne die zurückgelegten Kilometer auch noch fortlaufend eingetragen. In den drei letzten Kolonnen sind die Monatsmittel für den Treibstoffverbrauch, den Ölverbrauch und den Ölverschleiss, berechnet als Liter/100 km, zu finden.

Graphisch sind die Betriebsdaten in der Fig. 8 dargestellt. Es wurde angestrebt, die Fahrleistungen der drei Wagen über die ganze Versuchsdauer möglichst gleichmässig zu verteilen. Dies wurde auch annähernd erreicht. Dass die Kilometer-Kurven (1) in der Fig. 8 nicht ganz linear verlaufen, hängt mit den Betriebsverhältnissen zusammen. Bei allen drei Wagen wurden die Versuche nach rund 50 000 Fahrkilometern abgebrochen.

Entsprechend den Kilometer-Kurven verlaufen auch die Kurven (2), die den Treibstoffverbrauch darstellen. Es fällt auf, dass die drei Endpunkte praktisch gleich hoch liegen.

Anders liegt die Sache beim Ölverbrauch und Ölverschleiss. Da bei jedem Wagen insgesamt 16 Ölwechsel vorgenommen wurden, sind die Unterschiede der Kurven (3) durch den verschiedenen Ölverschleiss bedingt. Unser Interesse wendet sich deshalb mehr den Ölverschleisskurven (4) zu.

Beim Wagen P 1327, der mit dem gemischtbasischen Öl geschmiert wurde, waren die Verluste an Schmiermittel am grössten, während der mit HD-Öl geschmierte Motor P 1331 den weitaus geringsten Ölverschleiss aufwies. Während der Versuche wurden bei P 1327 insgesamt 271 Liter, bei P 1332 (elektrisch veredeltes Öl) 219 Liter und bei P 1331 (HD-Öl) nur 104 Liter Schmieröl verbraucht (Verschleiss). Die Kurve (4) des Wagens P 1327 ändert im Monat November deutlich die Richtung; sie wird beachtlich steiler, was auf einen grösseren Ölverschleiss und damit auf eine Verschlechterung des Motorenzustandes von diesem Zeitpunkte an hindeutet. Ähnliche Erscheinungen sind bei den entsprechenden Kurven der beiden andern Wagen nicht festzustellen. Beim Versuchswagen P 1331 verläuft die Ölverbrauchskurve (3) am oberen Ende zackig. Dies hat seine Ursache darin, dass im Monat Mai zwei Ölwechsel, im vorangegangenen Monat dagegen keiner vorgenommen wurde.

Tabelle III
Betriebsdaten während der Versuchsdauer

Wagen	Monat	km/Monat	km-Stand Ende Monat	Brennstoffver- brauch in Liter	Ölverbrauch in Liter	Ölverschleiss in Liter	Brennstoff in l/100 km	Ölverbrauch in l/100 km	Ölverschleiss in l/100 km
P 1327 (gemischt- basisches Öl)	III 1947	2 895	2 895	1 012	40	10	35,0	1,38	0,34
	IV	2 906	5 801	883	35	10	30,4	1,20	0,34
	V	3 132	8 933	1 052	34	9	33,6	1,09	0,29
	VI	1 876	10 809	716	32	7	38,1	1,70	0,37
	VII	3 408	14 217	1 139	36	11	30,5	1,06	0,32
	VIII	3 572	17 789	1 257	42	15	35,2	1,18	0,42
	IX	3 394	21 183	1 153	40	15	34,1	1,18	0,44
	X	2 968	24 151	1 053	35	9	35,5	1,18	0,30
	XI	3 608	27 759	1 086	40	15	30,1	1,11	0,42
	XII	4 104	31 863	1 651	75	27	40,2	1,83	0,66
	I 1948	3 945	35 808	1 503	49	26	38,1	1,24	0,66
	II	3 914	39 722	1 363	51	26	34,9	1,30	0,66
	III	4 720	44 442	1 428	82	33	30,3	1,76	0,70
	IV	4 756	49 198	1 582	67	42	33,3	1,40	0,88
	V	1 343	50 541	380	40	16	28,3	3,02	1,19
	Total bzw. Mittelwert	50 541		17 258	698	271	34,1 *	1,44 *	0,53 *
P 1332 (elektrisch veredeltes Öl)	I 1947	150	150	97	29	17	26,7	1,77	0,69
	II	2 457	2 607	856	38	13	37,6	1,55	0,53
	III	2 450	5 057	921	37	12	33,2	1,33	0,43
	IV	2 778	7 835	923	39	14	30,8	1,06	0,38
	V	3 688	11 523	1 139	37	12	30,6	1,21	0,39
	VI	3 048	14 571	931	40	15	34,3	1,22	0,46
	VII	3 277	17 848	1 127	40	15	33,7	1,10	0,41
	VIII	3 644	21 492	1 229	37	12	31,3	1,30	0,42
	IX	2 834	24 326	887	39	14	32,9	1,36	0,49
	X	2 868	27 194	946	38	13	29,4	1,82	0,62
	XI	2 080	29 274	611	39	14	41,5	1,58	0,57
	XII	2 466	31 740	1 026	36	12	36,6	1,26	0,42
	I 1948	2 857	34 597	1 046	36	12	32,9	1,17	0,39
	II	3 066	37 663	1 010	37	14	28,6	0,80	0,30
	III	4 632	42 295	1 322	38	14	29,4	0,83	0,30
	IV	4 702	46 997	1 384	40	16	33,2	0,99	0,39
	Total bzw. Mittelwert	51 049		16 803	600	219	33,0 *	1,27 *	0,45 *
P 1331 (HD-Öl)	III 1947	264	264	238	33	1	40,1	1,63	0,38
	IV	2 186	2 450	743	6	6	35,0	1,13	0,27
	V	2 736	5 186	958	31	6	30,5	1,02	0,21
	VI	2 938	8 124	896	32	7	34,1	1,10	0,24
	VII	2 902	11 026	993	32	7	35,7	1,13	0,25
	VIII	2 799	13 825	999	28	3	34,5	0,92	0,10
	IX	3 049	16 874	1 052	33	8	33,3	1,25	0,30
	X	2 640	19 514	880	30	5	34,4	0,80	0,13
	XI	3 734	23 248	1 281	30	5	38,9	0,81	0,13
	XII	3 712	26 960	1 446	59	11	36,4	1,25	0,23
	I 1948	4 706	31 666	1 711	32	8	36,7	0,70	0,18
	II	4 548	36 214	1 666	61	10	30,4	0,94	0,22
	III	4 504	40 718	1 369	6	6	29,4	0,87	0,23
	IV	2 635	43 353	775	59	11	28,1	0,87	0,22
	V	4 995	48 348	1 202	5	5			0,22
	VI	2 288	50 636	824					
	Total bzw. Mittelwert	50 636		17 033	507	104	33,6 *	1,04 *	0,22 *

*) Die Mittelwerte wurden aus den Totalwerten der Kolonnen links berechnet

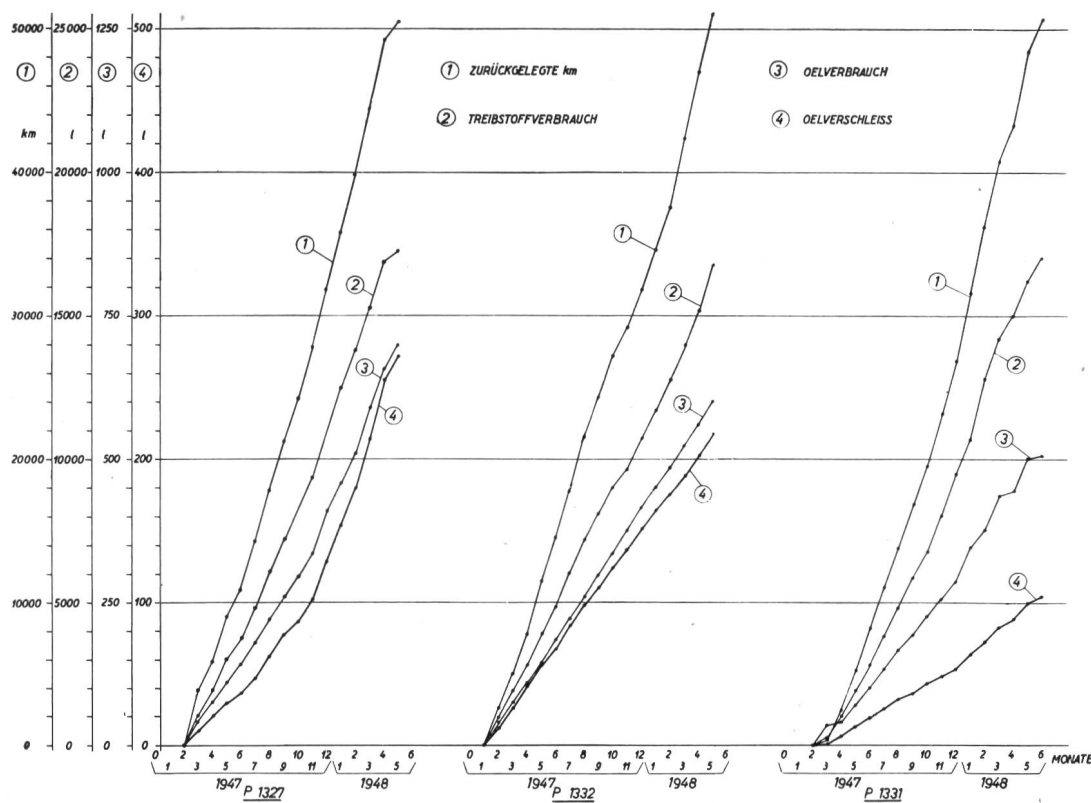


Fig. 8. Betriebsdaten während der Dauer des Versuches

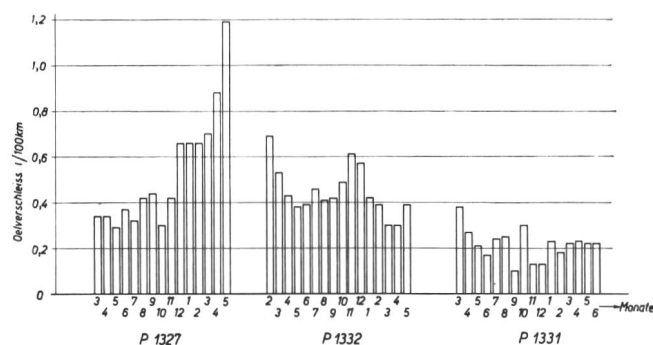
Auf den Ölverschleiss war dies jedoch praktisch nicht von Einfluss.

In der Fig. 9 sind die Monatsmittel des Ölverschleisses, berechnet als $l/100\text{ km}$, in Säulenform dargestellt. Auf diese Weise wird noch deutlicher, dass der Ölverschleiss beim Wagen P 1327 vom November 1947 an abnormal stark anzusteigen begann und im Mai 1948 einen extrem hohen Wert von $1,2\text{ l/100 km}$ erreichte. Es ist mit gutem Grund anzunehmen, dass im November die Kolbenringe nicht mehr frei spielen konnten und die Abnützung der Zylinderbüchsen schon beachtlich weit fortgeschritten war. Eine Revision des Motors P 1327 wäre also zu jenem Zeitpunkte schon notwendig gewesen. Der Tabelle III entnehmen wir, dass P 1327 Ende November 1947 erst $27\,759\text{ km}$ zurückgelegt hatte. Diese Feststellung zeigt, dass die Praxis des Automobildienstes der PTT, die Motoren nach einer Fahrleistung von $25\,000\text{ km}$ einer sogenannten Kolbenkontrolle zu unterziehen, durchaus berechtigt ist, wenn die Fahrzeuge mit gemischt-basischem Schmieröl (P 1327) geschmiert werden.

Bei den andern beiden Motoren liegt der Ölverschleiss niedriger. Ein Ansteigen der Monatsmittel gegen das Versuchsende hin konnte hier nicht festgestellt werden. In beiden Fällen war der Ölverschleiss zu Versuchsbeginn am grössten, was verständlich wird, wenn man bedenkt, dass neue Kolbenringe zufolge ihrer rauen Oberfläche nicht sehr gut abdichten. Die Verhältnisse werden jedoch mit zunehmender Fahrleistung besser, weil Ring und Zylinder-

büchse sich gegenseitig einschleifen. Der Einschleifvorgang macht sich darin bemerkbar, dass die Monatsmittel des Ölverschleisses bei den Motoren P 1332 und P 1331 in den ersten vier Monaten ständig abnahm (Fig. 9). Die Gesamtmittelwerte für den Ölverschleiss sind unten in der Tabelle III eingetragen. Man findet dort, dass vom HD-Öl weitaus am wenigsten verbraucht wurde, was darauf hindeutet, dass sich als Folge der einwandfreien Schmierung der Motor P 1331 im besten Zustande befand.

In gleicher Weise wie beim Ölverschleiss wurden auch die Monatsmittel für den Treibstoffverbrauch als $l/100\text{ km}$ berechnet und in der Fig. 10 dargestellt. Der Treibstoffverbrauch schwankte, wie die verschiedene Höhe der Säulen (Fig. 10) zeigt, von Monat zu Monat beachtlich. Die Schwankungen verliefen jedoch bei allen drei Wagen ähnlich, so dass der Schluss

Fig. 9. Monatsmittel des Ölverschleisses auf 100 km

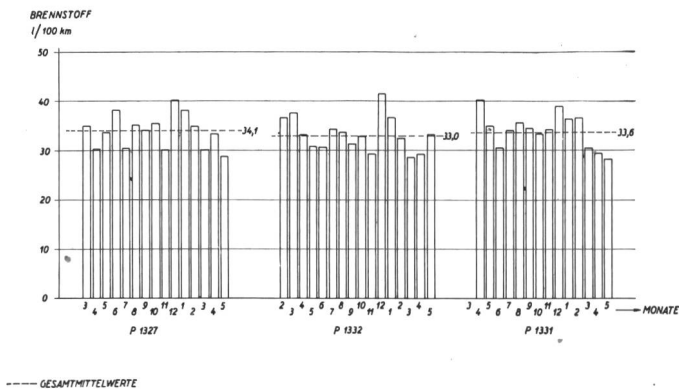


Fig. 10. Monatsmittel des Brennstoffverbrauches auf 100 km

zulässig ist, sie seien betriebsbedingt. In der Tat stieg der spezifische Treibstoffverbrauch in den Wintermonaten, in denen die Strasse mit Schnee bedeckt war und die Wagen infolge des Sportbetriebes stark besetzt waren. Im Dezember erreichte er bei den drei Versuchsautomobilen ein Maximum. Ein Anstieg wurde ebenfalls in den Sommermonaten beobachtet, während derer die Anhänger in Betrieb standen. In der Zwischensaison war der Treibstoffverbrauch jeweils am geringsten, weil dann die Motoren am wenigsten beansprucht wurden.

In der Fig. 10 sind noch die Gesamtmittelwerte des Treibstoffverbrauches (l/100 km) für jeden Wagen als gestrichelte Waagrechte eingezeichnet. Sie liegen alle zwischen 33,0 und 34,1 l/100 km, woraus hervorgeht, dass die chemische Zusammensetzung des Schmieröles ohne Einfluss auf den Treibstoffverbrauch blieb. Dies wurde auch erwartet, da die drei Versuchsöle praktisch von der gleichen Viskosität waren.

5. Der Zustand der Versuchsmotoren nach 50 000 km Fahrleistung

Nach rund 50 000 km Fahrleistung wurden die Versuche abgebrochen, die Motoren auseinandergenommen und ihr Zustand miteinander verglichen. Wenn die Zahl der Kilometer der einzelnen Wagen nicht ganz genau gleich gehalten werden konnte, so sind die Betriebsverhältnisse Schuld daran. Die Streuungen liegen jedoch innerhalb 1 %, was ohne Bedenken vernachlässigt werden kann.

Wo exakte Messungen nicht möglich waren, wurde zur Bewertung des Motorenzustandes ein Punktsystem, umfassend die Skala 1...10, angewendet, wobei 1 die geringste und 10 die beste Note war. Die Noten wurden von einem Automobilfachmann und dem Verfasser unabhängig voneinander gegeben und von den beiden Werten nachher der Mittelwert genommen. In den meisten Fällen waren jedoch die beiden Noten gleich. Ferner zeigte es sich, dass die auf diese Weise erhaltene Bewertung des Zustandes der Versuchsmotoren durch das Verhältnis der genau messbaren Grössen bestätigt wurde.

5.1 Ventile, Zylinderkopf und Kurbelgehäuse

Ventile, Zylinderköpfe und Kurbelgehäuse wurden auf den Verschmutzungsgrad hin untersucht. Die gemachten Feststellungen sind in der *Tabelle IV* angegeben. Mit Bezug auf die Verschmutzung verhielt sich das gemischtbasische Schmieröl (P 1327) weit aus am schlechtesten, während das Hochleistungsöl (P 1331) in dieser Hinsicht am günstigsten war. Es vermochte die Alterungsprodukte und unvollständig verbrannten Treibstoffteile in Suspension zu halten, wodurch verhindert wurde, dass sie sich auf den verschiedenen Motorteilen niederschlugen. Die Metallteile des Motors P 1331 konnten ohne Schwierigkeit

Tabelle IV
Zustand einiger Motorenteile nach 50 000 km

Wagen	Ventile	Note	Zylinderkopf (aussen)	Note	Kurbelgehäuse, Kurbelwelle, Lagerböcke	Note
P 1327 M	Viel Rückstände, Ventilsitze stark angeschlagen	3	Rückstände nicht mehr vollständig abreibbar (Metall wird nicht mehr blank bei der Reinigung)	4	Sehr stark verschmutzt, Rückstände nicht mehr vollständig entfernbar	2
P 1332 E	Wenig Rückstände, Ventilsitze weniger angeschlagen	7	Rückstände durch kräftiges Reiben mit Stahlbürste entfernbar (Metall wird allmählich wieder blank bei der Reinigung)	6	Schwarz, ölig; Rückstände mit Stahlbürste entfernbar	8
P 1331 HD	Sehr wenig Rückstände, Ventilsitze wenig angeschlagen (wie P 1332)	9,5	Rückstände leicht entfernbar (Metall wird sofort blank bei der Reinigung)	9	Schwarz, ölig; Rückstände leicht mit Lappen entfernbar. Metall wird sofort blank	10

M = gemischtbasisches Oel

E = elektrisch veredeltes Oel

HD = HD-Oel

10 = die beste, 1 die geringste Note

mit einem Lappen blank gerieben werden. Das elektrisch veredelte Oel (P 1332) nahm eine Zwischenstellung ein, was auch aus den zugeteilten Bewertungsnoten hervorgeht.

5.2 Kolben und Kolbenringe

Anhand der *Tabelle V* kann man sich ein Bild vom Zustand der Kolben der drei Motoren bei Versuchsende machen. Jeder Kolben wurde einzeln beurteilt. Dabei wurde festgestellt, ob die verschiedenen Kolbenringe lose oder festgeklemt waren. Ausserdem wurde der Schaft auf Anfreßspuren hin und die Pleuelstange auf den Verschmutzungsgrad hin untersucht. Die Krustenbildung auf dem Kolbenboden dürfte für die Beurteilung des Schmieröles weniger wichtig sein, da sie hauptsächlich durch den Treibstoff verursacht wurde.

In der *Tabelle V* sind die ganz oder teilweise festgeklemtten Ringe und die Anfreßspuren aufweisen den Kolbenschaften durch Fettdruck hervorgehoben.

Beim Motor P 1327, der mit dem gemischtbasischen Oel geschmiert wurde, sassen nach 50 000 km an jedem Kolben 2...3 von 5 Ringen fest. Ferner konnten an 5 von 8 Kolben Anfreßspuren festgestellt werden.

Die 8 Pleuelstangen waren schwarz und kaum mehr zu reinigen. Die Bewertung der Kolben dieses Motors musste demnach entsprechend ungünstig ausfallen, indem nur Noten zwischen 2,5 und 4,5 zugeteilt werden konnten.

Wesentlich günstiger war das Ergebnis beim Motor P 1332, für den als Schmiermittel das elektrisch veredelte Oel benützt wurde. Mit Ausnahme von drei leicht verklemtten Ringen, waren die übrigen alle lose, das heisst, sie konnten mit leichtem Fingerdruck bewegt werden. Doch mussten auch hier an vier Kolben leichte Anfreßspuren festgestellt werden. Die Pleuelstangen waren nur noch bräunlich angelauten. Unter Berücksichtigung dieser Beobachtungen wurden die Kolben des P 1332 mit den Noten 8...9 bewertet.

Bei P 1331, dem mit HD-Oel geschmierten Motor, waren sämtliche Kolbenringe spielend frei. Darunter wird verstanden, dass die Ringe beim langsamen Schwenken des Kolbens um 180° (um den Kolbenbolzen) von selbst und mit leisem Klirren in die tiefste Lage fallen. Dies war bei den Kolben des mit elektrisch veredeltem Oel geschmierten Motors P 1332

Tabelle V
Zustand der Kolben nach 50 000 km

Wagen	Kolbenteile	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8
P 1327 M	Ring 1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ring 2	1	½ f	1	1	½ f	1	1	1
	Ring 3	f	f	f	f	f	½ f	f	f
	Ring 4	1	1	½ f	½ f	½ f	½ f	½ f	1
	Ring 5	f	f	f	f	f	f	½ f	f
	Schaft	ö	IA	ö	½ ö IA	½ ö IA	ö IA	ö IA	ö
	Pleuelstange	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz
	Boden	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr
	Note	4,5	3	4	3	2,5	3,5	3,5	4,5
P 1332 E	Ring 1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ring 2	1	1	1	vk1	1	vk1	1	1
	Ring 3	1	1	1	1	1	1	1	vk1
	Ring 4	1	1	1	1	1	1	1	1
	Ring 5	1	1	1	1	1	1	1	1
	Schaft	ö	ö IA	ö IA	ö IA	ö IA	ö	ö	ö
	Pleuelstange	braun	braun	braun	braun	braun	braun	braun	braun
	Boden	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr
	Note	9	8,5	8	8	8	8,5	9	8,5
P 1331 HD	Ring 1	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp
	Ring 2	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp
	Ring 3	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp
	Ring 4	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp
	Ring 5	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp	sp
	Schaft	ö	ö	ö	ö	ö	ö	ö	ö
	Pleuelstange	blank	blank	blank	blank	blank	blank	blank	blank
	Boden	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr	lKr
	Note	10	10	10	10	10	10	10	10

Es bedeuten: f = festsitzend
vk1 = verklemt
1 = lose
sp = spielend frei

ö = ölig
IA = leichte Anfreßspuren
lKr = leichte Kruste
10 = die beste, 1 die geringste Note

M = gemischtbasisches Oel
E = elektrisch veredeltes Oel
HD = HD-Oel

nicht der Fall. Anfreßspuren konnten bei den Kolben des P 1331 keine beobachtet werden. Alle Pleuelstangen waren nach 50 000 km Fahrleistung noch vollkommen blank. Die Kolben dieses Motors befanden sich bei Versuchsende weitaus in bestem Zustande und mussten sämtliche mit dem Maximum, das heisst mit der Note 10, begutachtet werden.

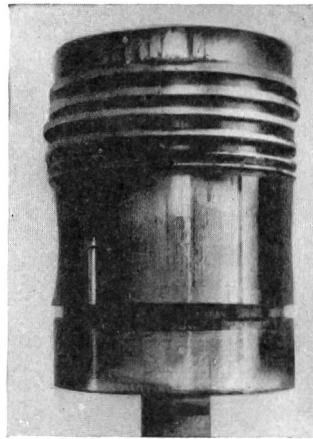
Nachdem die Motoren abgedeckt und die Kolben herausgenommen waren, wurden diese sofort photographiert. Von den erhaltenen Bildern wurde in der Fig. 11 eine Auswahl nebeneinander gestellt. In der Fig. 11a sind die Laufseiten oder belasteten Seiten der Kolben abgebildet, in der Fig. 11b die unbelasteten. Man erkennt, dass beim Wagen P 1327 (gemischtbasisches Schmieröl) ein grosser Teil der Ringe festsass. Zwischen den Ringen und über dem 1. Ring hafteten grosse Mengen von Rückständen und beim 5. Ring (Oelrücklauftring) waren die Schlitzte zum grössten Teil verklebt. Alle Kolben waren mit einer schwarzen, dünnen Schicht überzogen und auf dem Kolbenschaft konnte man bei 5 Kolben Anfressungen feststellen. Die Aufnahmen beweisen, dass das gemischtbasische Oel des Wagens P 1327 Alterungsprodukte und Rückstände nicht genügend aufzulösen bzw. zu dispergieren vermochte. Demzufolge wurde auch die Schmierung mangelhaft, was mit der Zeit zu Anfressungen am Kolbenschaft führen musste.

Die mit elektrisch veredeltem Oel geschmierten Kolben des P 1332 sahen bedeutend besser aus. Rückstände in dickeren Schichten waren nur noch über dem 1. (obersten) Ring vorhanden. Zwischen den Ringen, die bis auf deren drei lose waren, befanden sich nur unwesentliche Mengen von schwarzen Ablagerungen; insbesondere waren die Schlitzte im Oelrücklauftring nicht verstopft. An 4 Kolbenschaften befanden sich leichte Anfreßspuren und an den übrigen konnte man die Gleitrichtung in Form von unschädlichen Längskratzen auf der Schaftfläche erkennen. Der Schaft aller Kolben war zum grössten Teil blank.

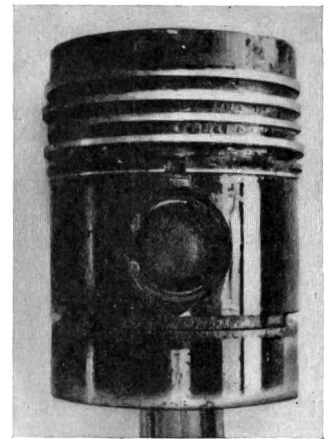
Bei den Kolben des Motors P 1331 waren alle Ringe spielend frei, wie dies bereits im Zusammenhang mit der *Tabelle V* erwähnt wurde. Durch Abkratzen konnten nur noch äusserst geringe Mengen an Rückständen gewonnen werden, weil sozusagen alles während des Betriebes vom HD-Oel schon entfernt worden war. Die Oelrücklaufschlitze am 5. Ring befanden sich ebenfalls in sauberem Zustand. An dem ganzen Kolben haftete noch nach der Demontage ein einwandfreier Schmierfilm, der bei allen Aufnahmen der untersten waagrechten Bilderserie durch Lichtreflexionsstreifen und Schlieren angedeutet wird. Anfreßspuren fehlten vollständig. Selbst die Gleitrichtung konnte auf der Schaftfläche kaum mehr erkannt werden (s. Fig. 11a). Von den drei Versuchölen vermochte das HD-Oel demnach die Kolben am saubersten zu halten und den besten Schmierzustand zu gewährleisten.

Zu Beginn und nach dem Abschluss der Versuche wurden alle Kolbenringe auf 0,01 Gramm genau

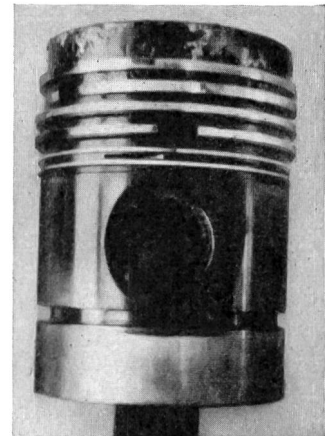
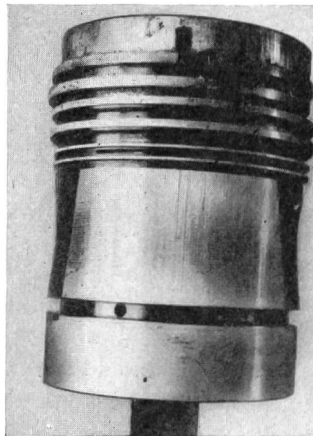
a. belastete Seite



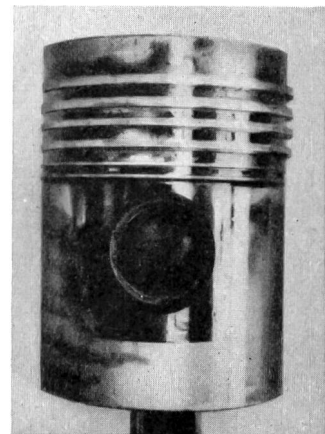
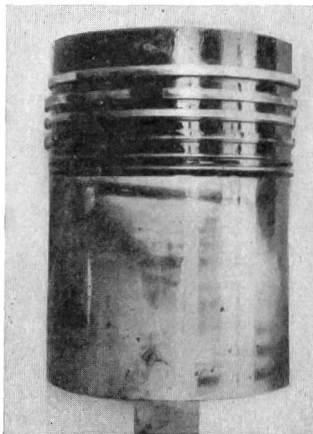
b. unbelastete Seite



P 1327 (gemischtbasisches Oel)



P 1332 (elektrisch veredeltes Oel)



P 1331 (HD-Oel)

Fig. 11. Kolben von drei verschiedenen geschmierten CH 1 D-Motoren nach 50 000 km

gewogen, um in der Gewichtsabnahme ein genaues Mass für die Ringabnützung zu bekommen. Selbstverständlich wurden die Ringe vor den Wägungen sorgfältig gereinigt. In der Fig. 12 ist die Gewichtsabnahme für jeden einzelnen Ring aller Kolben der drei Versuchsmotoren in Säulenform eingezeichnet.

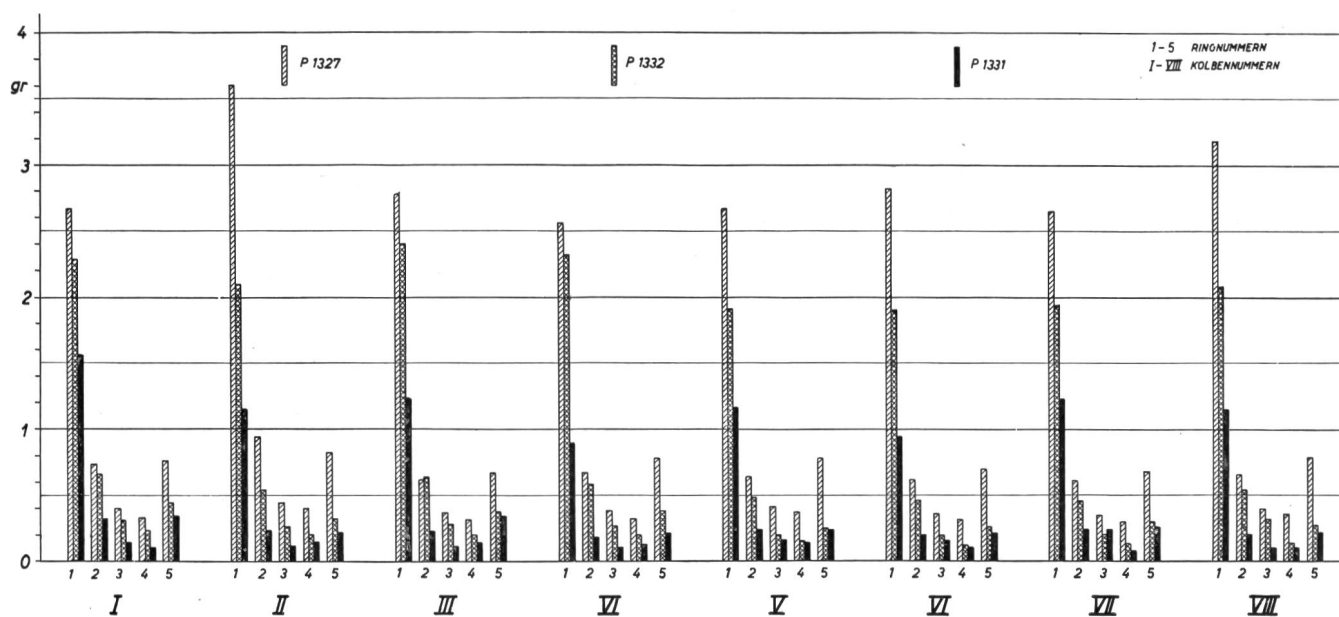


Fig. 12. Abnutzung der Kolbenringe nach 50 000 km

Die Abnutzung ist dort in Gramm angegeben. Die Säulen sind für den Motor P 1327 schraffiert, für P 1332 kreuzschraffiert und für P 1331 schwarz ausgefüllt.

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass der 1. (oberste) Kolbenring weitaus am stärksten abgenutzt wurde. Die Gewichtsabnahme wurde bis zum 4. Ring kleiner. Der Oelrücklaufring, der noch durch einen sogenannten Novixring gespreizt wurde, verlor während des Betriebes wieder etwas mehr an Gewicht.

Betrachten wir die Unterschiede der einzelnen Motoren, so ist sofort ersichtlich, dass die schwarzen

Säulen, die der Abnutzung der mit HD-Oel geschmierten Kolbenringe entsprechen, weitaus am niedrigsten sind. Dort, wo das gemischtbasische Oel als Schmiermittel diente (P 1327), war die Ringabnutzung am grössten, während bei der Schmierung mit elektrisch veredeltem Oel (P 1332) die entsprechenden Werte eine mittlere Lage einnahmen. Am deutlichsten kommt dies zum Ausdruck bei den Gewichtsabnahmen für die 1. (obersten) Kolbenringe.

Die genauen Messwerte sind in der *Tabelle VI* zusammengestellt. Ihr kann man auch entnehmen, dass im Mittel der oberste Kolbenring bei P 1327

Tabelle VI
Abnutzung der Kolbenringe nach 50 000 km

Wagen Nr.	Ring Nr.	Abnutzung in g								Abnutzung	
		K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6	K 7	K 8	Mittelwert in g	Mittelwert in %
P 1327 M	1	2,67	3,60	2,77	2,56	2,67	2,82	2,65	3,18	2,86	7,35
	2	0,74	0,94	0,62	0,67	0,64	0,62	0,61	0,66	0,69	1,77
	3	0,40	0,44	0,37	0,38	0,41	0,36	0,35	0,40	0,39	1,00
	4	0,33	0,40	0,31	0,32	0,37	0,31	0,30	0,36	0,24	0,64
	5	0,76	0,82	0,67	0,78	0,78	0,70	0,68	0,79	0,75	2,20
P 1332 E	1	2,28	2,09	2,40	2,32	1,89	1,89	1,94	2,08	2,11	5,29
	2	0,67	0,53	0,64	0,58	0,48	0,46	0,46	0,54	0,54	1,36
	3	0,31	0,26	0,28	0,26	0,19	0,19	0,20	0,23	0,24	0,66
	4	0,23	0,20	0,19	0,20	0,15	0,12	0,14	0,14	0,17	0,47
	5	0,44	0,32	0,37	0,38	0,25	0,25	0,30	0,28	0,32	0,92
P 1331 HD	1	1,56	1,14	1,22	0,89	1,15	0,94	1,22	1,13	1,16	2,98
	2	0,31	0,23	0,23	0,18	0,24	0,19	0,24	0,20	0,23	0,59
	3	0,14	0,11	0,14	0,11	0,16	0,15	0,24	0,10	0,14	0,38
	4	0,10	0,14	0,14	0,13	0,14	0,10	0,08	0,10	0,12	0,32
	5	0,34	0,21	0,34	0,21	0,24	0,21	0,26	0,22	0,25	0,73

M = gemischtbasisches Oel

E = elektrisch veredeltes Oel

HD = HD-Oel

K = Kolben

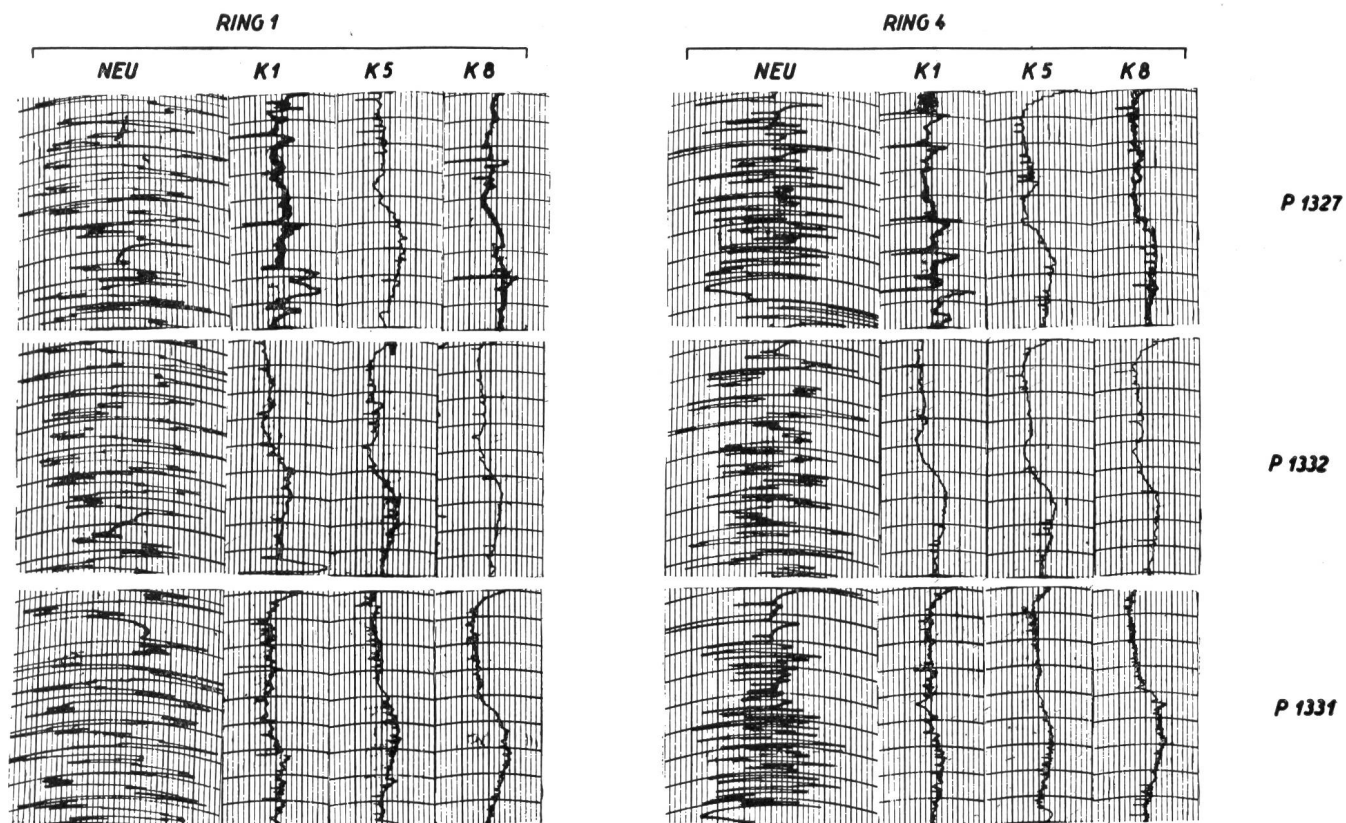


Fig. 13. Oberflächengüte der Kolbenringe, neu und nach 50 000 km
 Netzlinienabstand quer = $0,25 \mu$, Länge der Messkurven = 1,6 mm auf dem Kolbenring

(gemischtbasisches Schmieröl) 2,86 g oder 7,35 %, bei P 1332 (elektrisch veredeltes Öl) 2,11 g oder 5,29 % und bei P 1331 (HD-Öl) nur 1,16 g oder 2,98 % abnahm. Durch die HD-Ölschmierung wurde also bewirkt, dass die mittlere Abnutzung des 1. (obersten) Kolbenringes bei P 1331 1,70 g bzw. 0,95 g geringer war als bei den beiden andern Wagen. Entsprechend liegen die Verhältnisse auch bei den übrigen Kolbenringen.

Mit dem Brush-Surface-Analyzer, mit dem es möglich ist, Oberflächenrauigkeiten bis unter $1/10\,000$ mm zu erfassen, wurde die Oberflächengüte der Kolbenringe vor und nach dem Versuch quer zur Bewegungsrichtung des Kolbens untersucht. In der Fig. 13 ist eine Auswahl der erhaltenen Messkurven zusammengestellt. Es wurden aus Platzrücksichten nur die Oberflächenbilder des 1. (obersten) und des 4. Ringes der Kolben 1, 5 und 8 der drei Motoren in diesen Bericht aufgenommen. Diese Vereinfachung ist insofern zulässig, als die nichtreproduzierten Aufnahmen prinzipiell das gleiche Bild ergaben. Das einzelne abgebildete Oberflächenstück entspricht auf der Lauffläche des Kolbenringes einer Länge von 1,6 mm.

Die neuen Ringe besaßen, wie die Fig. 13 zeigt, eine sehr raue Lauffläche. Mit dem Einlaufvorgang wurden jedoch diese Unebenheiten weitgehend abgetragen und damit die Ringe eingeschliffen. Die Ringoberflächen der Motoren P 1332 und P 1331 wiesen

nach 50 000 km nur noch sehr geringe Rauigkeiten von etwa $0,5 \mu$ und darunter auf. Die Aufnahmen deuten darauf hin, dass in diesen beiden Fällen das Schmieröl den Einschleifvorgang günstig beeinflusste. Nebst dieser Feinstruktur kann man auf den Oberflächenbildern noch langwellige größere Unebenheiten, herrührend von der Materialbearbeitung (Drehen), feststellen, die noch nicht ganz abgeschliffen worden sind. Immerhin handelt es sich hier um unebene, wellenförmige Oberflächen, deren Amplitude nur noch etwa $1/1000$ mm gross ist, während die Grösse der Wellenlänge etwa 1,6 mm beträgt.

Es ist in die Augen springend, dass die mit gemischtbasischem Öl (P 1327) geschmierten Kolbenringe bedeutend ungleichmässiger Oberflächen, mit vielen tiefen Kratzern, besaßen. Zum Teil hat man es mit größeren Störungen (s. Fig. 13, Ring 1 des K₁, untere Hälfte) zu tun, die vermuten lassen, dass an diesen Stellen Material ausgebrochen ist. Die Fig. 13 zeigt erneut, dass beim Motor P 1327 die Schmierung schlecht war, da sich sonst die erwähnten Erscheinungen auf den Ringoberflächen nicht hätten bilden können.

5.3 Die Zylinderbüchsen

Von den zu Beginn des Versuches ausgemessenen Zylinderbüchsen wurde nach 50 000 Fahrkilometern an mehreren Stellen der Durchmesser auf $1 \cdot 10^{-2}$ mm genau bestimmt. In der Fig. 14a ist gezeigt, wie im Motor die Zylinder angeordnet sind. Die fünf Mess-

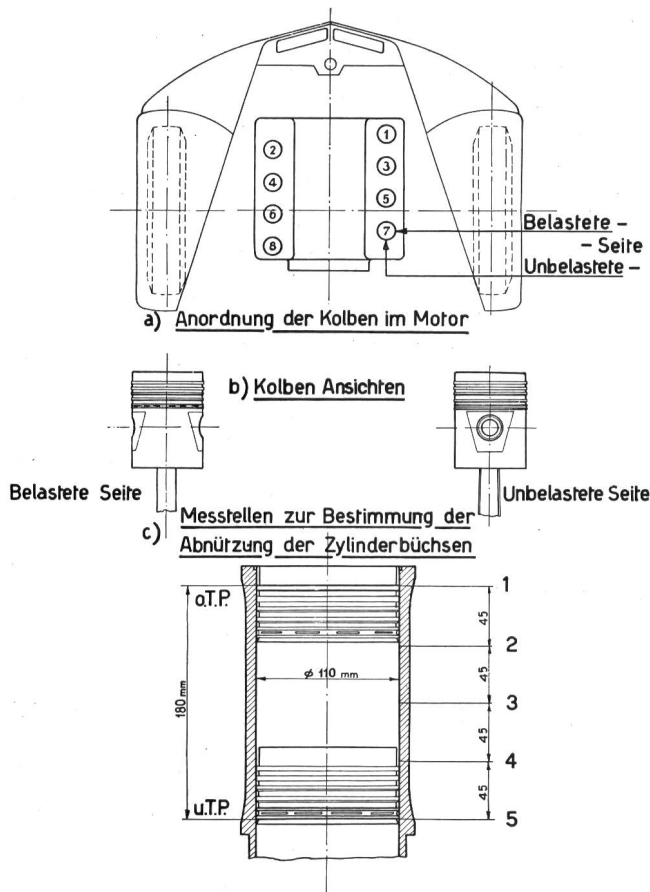


Fig. 14. Orientierungsskizze

stellen liegen in der Zylinderbüchse, wie in Fig. 14c angegeben ist, 45 mm auseinander. Die oberste (Nr. 1) befindet sich dort, wo der 1. Kolbenring in der oberen Totpunktlage des Kolbens steht, die unterste (Nr. 5) auf der Höhe des Oelrücklauftringes im untern Totpunkt. Alle 5 Durchmesser wurden quer zur Fahrriichtung (belastete Seite) und längs derselben (unbelastete Seite) gemessen (s. auch Fig. 14a).

Die Ergebnisse sind für die belastete Seite (Durchmesser quer zur Fahrriichtung) in der Fig. 15 graphisch dargestellt. Die römischen Ziffern bedeuten die Zylinder, die arabischen die Meßstellen. Die Anordnung ist so getroffen, dass die Abnützungsbilder in der Fig. 15 gleich liegen wie die Zylinder im Motor und somit die Richtung von unten nach oben der Fahrriichtung des Wagens entspricht (vgl. Fig. 14a).

Ganz allgemein kann gesagt werden, dass die Zylinderbüchsen im oberen Totpunkt in der Nähe des 1. (obersten) Kolbenringes am stärksten beansprucht und damit auch am meisten abgenützt werden. Dies ist auch verständlich, denn an dieser Stelle sind die Temperaturen am höchsten und der Zugang für das Schmiermittel am schwierigsten. Um eine gute Schmierung auch so hoch oben am Zylinder noch zu erreichen, muss das Schmieröl eine grosse Benetzungsfähigkeit besitzen und ausserdem fortwäh-

rend allfällige Alterungsprodukte oder sonstige Ausscheidungen wegzuführen vermögen. Trifft dies zu, so wird auch die Abnützung der Zylinderbüchsen gering bleiben.

Die Abnützung, das heisst die Vergrösserung des Durchmessers gegenüber dem Ausgangszustand, ist in der Fig. 15 mit 10^{-2} mm eingezeichnet. Man erkennt, dass die mit HD-Oel geschmierten Büchsen (ausgezogene Kurven) am geringsten abgenützt wurden. Das ist besonders deutlich an der Meßstelle 1, wo bei den andern Motoren (P 1332 und P 1327) die entsprechenden Werte mehr als doppelt bzw. dreifach so hoch liegen. Das Hochleistungsöl vermochte also selbst an der obersten Meßstelle (1) einen so guten Schmierfilm zu erhalten, dass die Zylinderbüchsen dort im Mittel um nur $7,9 \cdot 10^{-2}$ mm weiter wurden. Der entsprechende Wert für den mit elektrisch veredeltem Oel (P 1332) geschmierten Motor beträgt $19,8 \cdot 10^{-2}$ mm, und für P 1327 (gemischt-basisches Oel) gar $27,5 \cdot 10^{-2}$ mm. Entsprechend liegen die Mittelwerte auch für die andern Meßstellen. Im einzelnen sind die Messdaten, welche die Zylinderabnützung charakterisieren, in der *Tabelle VII* zusammengestellt.

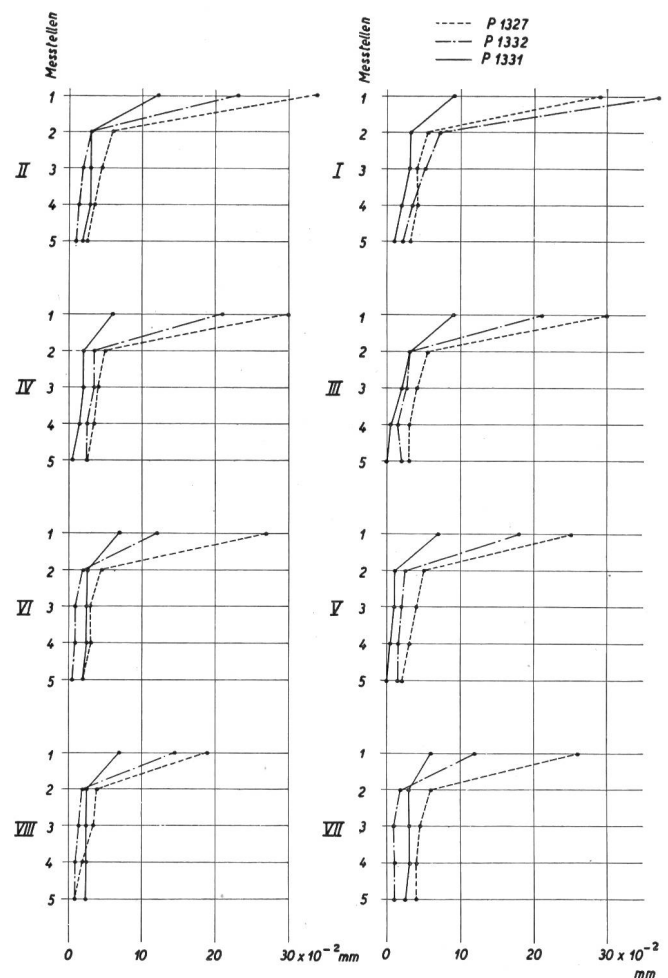


Fig. 15. Abnützung der Zylinderbüchsen nach 50 000 km (belastete Seite)

Tabelle VII

Abnützung der Zylinderbüchsen

Wagen	Meßstellen	Durchmesserergrößerung der Zylinderbüchsen in $\frac{1}{100}$ mm																Mittelwert	
		1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
		belastete Seite								unbelastete Seite								belastete Seite	unbelastete Seite
P 1327 M	1 (oTP)	29	34	30	30	25	27	26	19	22	25	20	16	20	17	18	12	27,5	18,7
	2	5,5	6	5,5	5	5	4,5	6	4	8	7	4	4	5	4	3,5	3	5,2	4,8
	3	4	4,5	4	4	4	3	4,5	3,5	5	6	3,5	4	3,5	4	2,5	2	3,9	3,8
	4	4	3,5	3	3,5	3	3	4	2	4	4	2,5	3	3	3	2	2	3,3	2,9
	5 (uTP)	3	2,5	3	2,5	2	2	4	1	3	3	1	2,5	3	2	2	2,5	2,5	2,4
P 1332 E	1 (oTP)	37	23	21	21	18	12	12	14,5	15	17	17	17	19	19	21	19	19,8	18,0
	2	7	3	3	3,5	2,5	2	2	2	4	4	3,5	4	3	2,5	2,5	2	3,1	3,2
	3	5	2	2,5	3,5	2	1	1	1,5	3	4,5	3	2	3,5	2	1,5	2	2,3	2,7
	4	3	1,5	1,5	2,5	1,5	1	1	1	2	3	2	2	3	1	0,5	1,5	1,6	1,9
	5 (uTP)	2	1	2	2,5	1,5	0,5	1	1	2	3	1,5	2,5	2	1	0,5	1	1,4	1,7
P 1331 HD	1 (oTP)	9	12	9	6	8	7	6	7	22	15	17	13	14	11	14	15	7,9	15,1
	2	3	3	3	2	1	2,5	3	2,5	1,5	1	3	1	2	2	1,5	2	2,5	1,7
	3	3	3	2	2	1	2,5	3	2,5	1,5	1	3	1	1	2	1,5	1	2,4	1,5
	4	2	3	0,5	1,5	0,5	2,5	3	2,5	1,5	1	2	1	1	2	2	1	1,9	1,4
	5 (uTP)	1	2	0	0,5	0	2	2,5	2,5	1	0,5	1,5	1	1	2	0,5	1	1,3	1,1

oTP = oberer Totpunkt M = gemischtbasisches Oel uTP = unterer Totpunkt E = elektrisch veredeltes Oel HD = HD-Oel

Die Unterschiede in der Abnützung der Zylinderbüchsen sind, wie die Fig. 16 beweist, nicht mehr so krass, wenn man die Durchmesser der Büchsen in der unbelasteten Richtung (längs der Fahrriichtung) misst. Die Abnützung in dieser Richtung war bei den Wagen P 1331 und P 1332 teilweise grösser als senkrecht dazu. Besonders fällt dies wieder an der obersten Meßstelle (1) auf. Die erwähnte Beobachtung wird verständlich durch den Umstand, dass es sich bei den Versuchsmotoren um eine Konstruktionsart mit sogenannten nassen Büchsen handelt, die einzeln in das Motorgehäuse eingesetzt werden müssen. Dabei ist es nicht immer möglich, dass alle Büchsen genau senkrecht zur Kurbelwelle zu stehen kommen. (Die Verschiebungen liegen indessen in der Regel innerhalb der Toleranz.) Diese kleinen Ungenauigkeiten spielen jedoch in bezug auf die Büchsenabnützung auf der belasteten Seite (quer zur Fahrriichtung) keine Rolle, weil sich der Kolben anpassen kann, da er ja um den Bolzen drehbar ist. Anders ist es in der Richtung senkrecht dazu. Hier wird der Kolben starr geführt und ist somit jeder Ausweichmöglichkeit beraubt. Auf solche Weise entstehen, bis sich die Verhältnisse ausgeglichen haben, grössere Flächenbeanspruchungen, was dann, trotz des einwandfreien Schmieröles, zu grösserer Abnützung der Büchse führen kann als quer zur Fahrriichtung. Immerhin kann festgestellt werden, dass auch hier die Büchsen bei dem mit HD-Oel geschmierten Wagen P 1331 trotz der erwähnten Umstände im Mittel bei allen Meßstellen am wenigsten abgenutzt wurden. An der obersten Meßstelle (1) waren die Mittelwerte: für P 1331

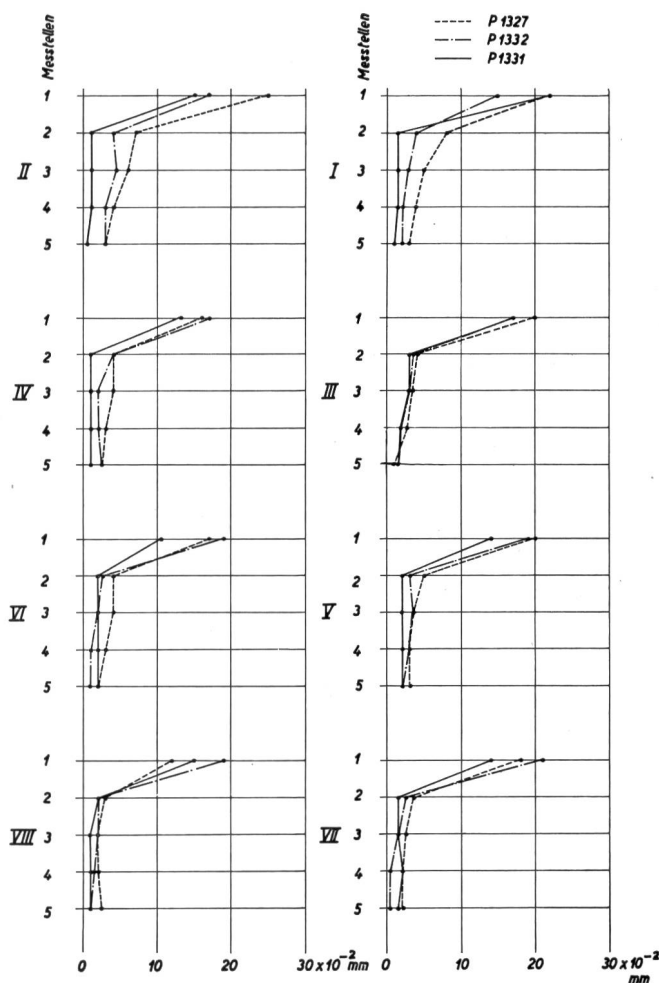


Fig. 16. Abnützung der Zylinderbüchsen nach 50 000 km (unbelastete Seite)

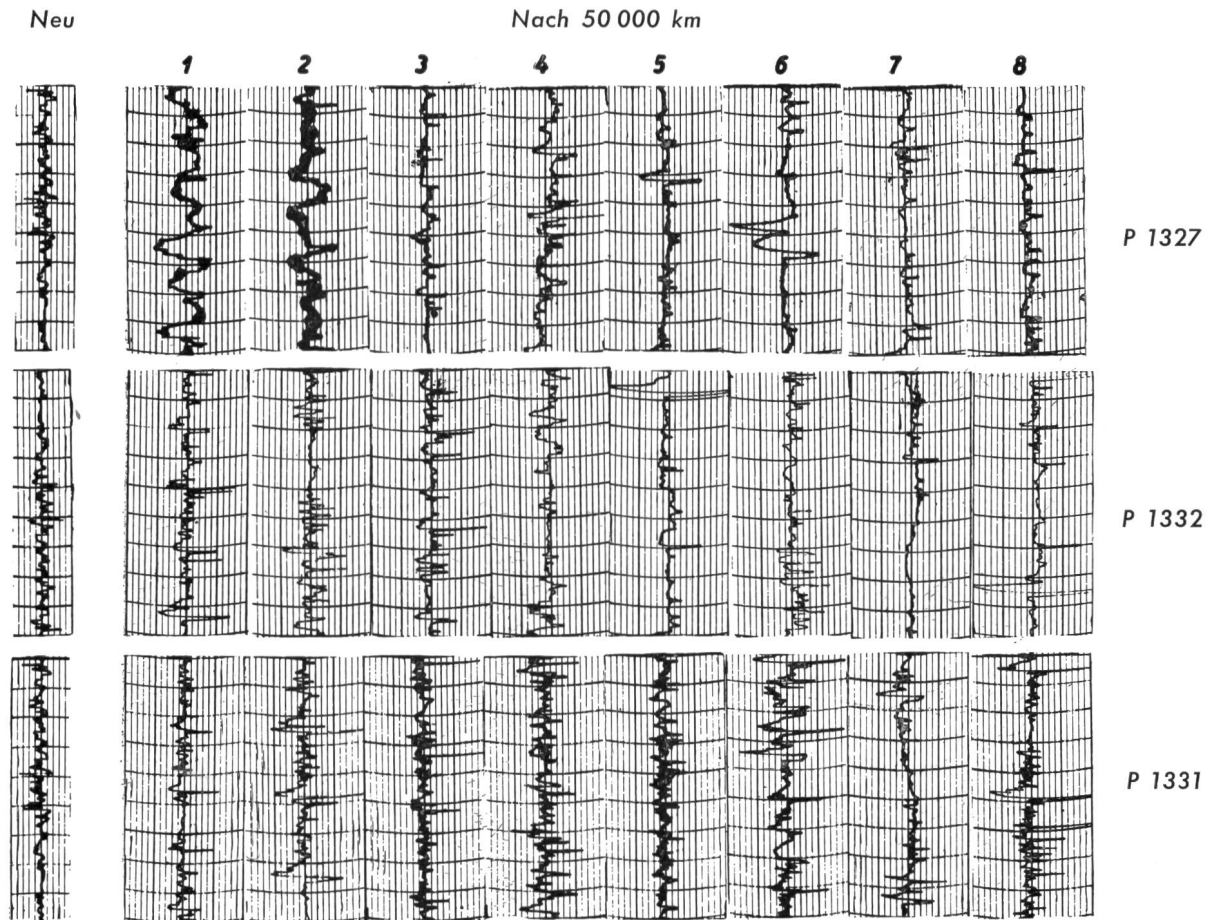


Fig. 17. Oberflächengüte der Zylinderbüchsen, neu und nach 50 000 km
 Netzlinienabstand quer = $0,25 \mu$, Länge der Messkurven = 1,6 mm auf der Büchsenoberfläche

$15,1 \cdot 10^{-2}$ mm, P 1332 $18,0 \cdot 10^{-2}$ mm und für P 1327 $18,7 \cdot 10^{-2}$ mm (vgl. Tabelle VII).

Auch von den Zylinderbüchsen wurde die Oberflächengüte vor und nach den Versuchen bestimmt. Aus technischen Gründen war es nur möglich Aufnahmen von der Gegend der Meßstelle 1 (s. Fig. 14c) herzustellen, und zwar in einem Winkel von 45° zur Bewegungsrichtung des Kolbens. Die erhaltenen Messkurven sind in der Fig. 17 wiedergegeben. Bei den Oberflächenbildern, die von Zylinderbüchsen des P 1327 stammen, sind zum Teil grobe (breite) Strukturen angedeutet (zum Beispiel Büchse 1, 2, 4 und 6), die wohl als Materialausbrüche gedeutet werden dürfen. Gegenüber dem Ausgangszustand sind die erwähnten Oberflächen durch den Betrieb rauher geworden.

Eine ähnliche Grobstruktur der Oberfläche konnte bei den beiden andern Motoren (P 1331 und P 1332)

nicht beobachtet werden. Wohl sind in beiden Fällen gegenüber dem Ausgangszustand auf den Aufnahmen tiefere Kratzer festzustellen, breite, ausgebrochene Stellen aber, wie im Falle P 1327, fehlen indessen hier überall.

Bei den entsprechenden Oberflächenbildern des P 1331 (mit HD-Oel geschmiert) erkennt man, dass die Kratzertiefe im allgemeinen in der Fig. 17 nach rechts hin zunimmt. Diese Feststellung findet die Erklärung darin, dass die Abnützung der Zylinderbüchsen dieses Motors, wie die *Tabelle VII* lehrt, von links nach rechts geringer wird. Kratzer, die nun beim Einlaufvorgang durch den Abrieb in das Büchsenmaterial geritzt wurden, konnten zufolge der geringeren Abnützung bei den Büchsen rechts (6...8) nicht in dem Masse ausgeebnet werden, wie dies bei den Büchsen (links) mit grösserer Abnützung der Fall war.

(Fortsetzung folgt.)