

A 32-A

Bericht Nr. 490

**Die Auswertung
von Oktanzahlbestimmungen
nach dem Oppauer Verfahren**

8719



Geheim

Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 490

Die Auswertung von Oktanzahlbestimmungen nach dem

Oppauer Verfahren

Übersicht: Mit Hilfe der beiden Veränderlichen: Luftverhältnis und Oktanzahl lässt sich die Klopfgrenzkurve nach dem Oppauer Verfahren angeben. Die Messgenauigkeit dieser beiden Grössen wird besprochen. Vereinfachungen zur Bestimmung des Luftverhältnisses werden beschrieben.

Das Untersuchungsergebnis lässt sich in der "Oktanzahl nach dem Oppauer Verfahren" (OOZ) und dem Wert für die Vermagerungsempfindlichkeit ausdrücken. Hierbei gibt die Oktanzahl die geringste Klopfestigkeit, die Vermagerungsempfindlichkeit den Einfluss des Luftverhältnisses auf das Klopfverhalten des untersuchten Kraftstoffes an. An einem Beispiel wird die Auswertung erklärt.

Abgeschlossen am: 17. Februar 1942 Gr.

Bearbeiter: Ing. E. Singer

E. Singer

Die vorliegende Ausfertigung enthält

25 Textblätter

1 Bildblätter

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1		Ammoniakwerk Merseburg	15		Ruhrchemie
2		Brabag Böhlen	16		RLM
3		DVL Berlin	17		TH. Wien
4		E'stelle Travemünde	18		Dir. Dr. Schunck, Me.
5		E'stelle Rechlin	19		Dir. Dr. Sauer, Me.
6		FKFS Stuttgart	20		Dir. Dr. Pier, Lu.
7		Gelsenberg Benzin AG.	21		Dir. Dr. Müller-Cunradi
8		Gewerkschaft M. Stinnes	22		Ing. Singer
9		Hydrierwerk Scholven	23-30		Techn. Prüfstand Op.
10		Hydrierwerk Pöhlitz			
11		Hochdruck Lu.			
12		Intava Wedel			
13		Junkers Dessau			
14		Oberschl. Hydrierwerke			

8720

Die Auswertung von Oktanzahlbestimmungen
nach dem Oppauer Verfahren.

Inhaltsverzeichnis:

<u>I. Bestimmung des Luftverhältnisses</u>	Seite 3
a) Grundlagen zur Berechnung	3
b) Unmittelbare Anzeige des Luftverhältnisses	7
c) Der Rechenring	8
d) Fehlermöglichkeiten bei der Versuchsdurchführung	10
<u>II. Angabe der Oktanzahl</u>	11
a) Erweiterung der Oktanskala	11
b) Fehlermöglichkeiten bei der Oktanzahlbestimmung	13
<u>III. Auswertung der Klopfgrenskurven</u>	14
a) Auftragen der Klopfgrenskurven	14
b) Begriff der Verzögerungsempfindlichkeit	17
c) Bestimmung der Verzögerungsempfindlichkeit	19
d) Angabe des Klopfverhaltens	21

Die Auswertung von Oktanzahlbestimmungen

nach dem Oppauer Verfahren

Die betriebsmässige Durchführung von Oktanzahlbestimmungen nach dem Oppauer Verfahren, deren Auswertung im vorliegenden Bericht beschrieben wird, ist in ihren Einzelheiten aus dem vorangegangenen Bericht Nr.489 zu ersehen. Im nachfolgenden Bericht Nr.491 werden die Ergebnisse am Prüfmotor nach dem Oppauer Verfahren verglichen mit den Werten des grossen Einzylinderprüfstandes nach dem DVL Überladeverfahren. Ergebnisse von Vergleichsmessungen an zwei Prüfmotoren nach dem Oppauer Verfahren enthält der Bericht Nr.492.

I. Bestimmung des Luftverhältnisses

a) Grundlagen zur Berechnung.

Das Oppauer Verfahren gibt die Oktanzahl von Flugbenzin, abhängig vom Luftverhältnis, an. Die Oktanzahl wird unmittelbar an der OZ-Scheibe abgelesen. Das zugehörige Luftverhältnis errechnet sich in üblicher Weise aus dem verbrauchten Kraftstoff- und Luftgewicht. Zu diesem Zweck wird die Luftmenge gemessen, die zum Verbrennen von 20 cm³ Kraftstoff nötig ist. Der Luftverbrauch wird am einfachsten an einer Luftpuhr abgelesen; er kann auch über den Hubraum und über die Drehzahl des Motors errechnet werden, wobei dann die zum Durchfliessen von 20 cm³ Kraftstoff nötigen Umdrehungen des Motors abgestoppt werden. Für die beim Arbeiten nach dem Oppauer Verfahren vorliegenden Verhältnisse ist der Rechnungsgang in der Anlage durchgeführt. Hiernach ergibt sich:

$$\text{Luftverhältnis } \lambda = \frac{23,3}{T \cdot \gamma_k \cdot L_{th}} \cdot V_L$$

T abs. Temperatur der Luft °K L_{th} theor. Luftbedarf

γ_k Wichtedes Kraftstoffes V_L Luftverbrauch

Im Zuge der Untersuchung eines gegebenen Kraftstoffes, ist der Ausdruck $\frac{23,3}{\gamma \cdot L_{th}}$ unveränderlich. Für diesen Fall ist der an der Luftuhr angezeigte Verbrauch proportional dem Luftverhältnis. Es kann also unter gewissen Voraussetzungen die Literkala der Luftuhr umgekehrt werden in Luftverhältniszahlen, sodaß das eingestellte Kraftstoff-Luft-Gemisch unmittelbar abgelesen werden kann (vgl.S.7).

Die Errechnung der Luftmenge über die Drehzahl des Motors mit Hilfe der Durchflußzeit von 20 cm^3 Kraftstoff bzw. der dazu nötigen Motorumdrehungen ist etwas weniger genau als ihre unmittelbare Messung durch die Luftuhr, weil sich der volumetrische Wirkungsgrad mit dem Motorenzustand ändert. Die beiden Formeln zur Luftmengenmessung ohne Luftuhr sind ebenfalls in der Anlage angegeben.

Der theoretische Luftbedarf L_{th} der Kohlenwasserstoffe ist vom H/C-Verhältnis abhängig. Der Zusammenhang ist aus Bild 1 ersichtlich. Die Darstellung gilt nicht für sauerstoffhaltige Kraftstoffmischungen (Alkohol, Äther, Ketone usw.)

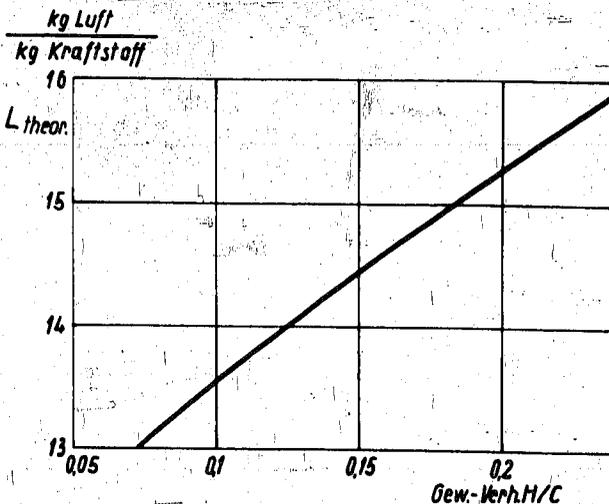


Bild 1:
H/C - Verhältnis
und theor.Luftbedarf

Für die wichtigsten Kraftstoffarten, die beim Betrieb nach dem Oppauer Verfahren in Frage kommen, ist der Luftbedarf und die Wichte in der Zahlentafel 1 angegeben.

Zahlentafel 1
Theoretischer Luftbedarf und Wichte

	Angabe bei Lieferung		λ mit 140 ltr. 25°	Aus Bild 2 und 3 errechnet	
	L _{th} kg/kg	γ 20°		L _{th} = 22,1-10γ	$\frac{\lambda}{140 \text{ ltr}}$
Handelsübliche Flugbenzine					
B 4	14,87	0,719	1,03	14,91	0,00736
CV2b	14,14	0,797	0,98	14,13	0,00700
C ₂	14,30	0,786	0,98	14,24	0,00700
C ₃	14,44	0,767	0,99	14,43	0,00707
Handelsübliche Zumischungen					
ZT 110	15,10	0,708	1,03	15,02	0,00736
Benzol	13,30	0,875	0,94	13,35	0,00671
I.G.Eicnbenzin	15,00	0,715	1,03	14,95	0,00736
Technisch reine Stoffe:					
Toluol	13,45	0,890			
Xylol	13,60	0,860			
Oktan	15,06	0,690			
Heptan	15,10	0,680			
Atnylalkohol	8,90	0,795			
Methylalkohol	6,40	0,795			
Diisopropyläther	12,70	0,733			

Trägt man für die üblichen Flugkraftstoffe nach Bild 2 den

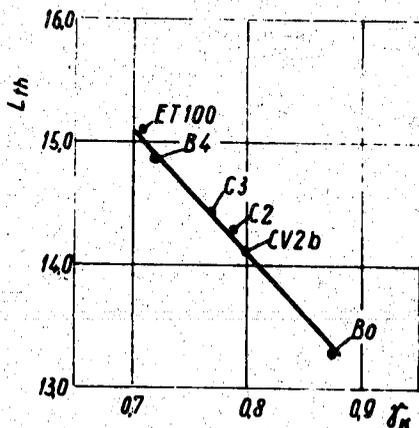


Bild 2 :
Spez.Gewicht und theor.Luftbedarf

theoretischen Luftbedarf abhängig von der Dichte auf, so ergibt sich eine lineare Beziehung⁺

Es ist selbstverständlich, dass diese Beziehung nicht grundsätzlich gilt, da sich bekanntlich bei gleichem theoretischen Luftbedarf das spezifische Gewicht mit der Molekülverzweigung ändert. Ebenso gilt diese Beziehung nicht für Alkoholgemische und dergleichen. Für die Verhältnisse der Praxis, wo nur siedegerechte Kraftstoffe ohne sauerstoffhaltige Zusätze vorkommen, können jedoch diese Bedenken vernachlässigt werden. Damit kommt man zu einer erheblichen Vereinfachung bei der Bestimmung des Luftverhältnisses. Wie ein Vergleich der Spalten "L-Angabe" und "L-errechnet" in der Zahlentafel 1 zeigt, stimmen diese beiden Werte sehr gut miteinander überein. Der größte dort beobachtete Unterschied ist 0,08 Einheiten, also weniger als 1%.

⁺Diese Beziehung stimmt praktisch mit der Abb.9 in den Bauvorschriften für Flugmotoren überein. Vgl.auch TPrBericht Nr.511

b) Unmittelbare Anzeige des Luftverhältnisses

Durch den in Bild 2 festgestellten Zusammenhang zwischen L_{th} und γ_K vereinfacht sich die auf der Seite 3 angegebene Gleichung für das Luftverhältnis insofern, als nunmehr das theoretische Luftverhältnis durch die Dichte ersetzt werden kann. Zu bestimmen sind nur noch die Lufttemperatur T , die Dichte γ_K und die gebrauchte Luftmenge V_L . Zur weiteren Vereinfachung wurde für die in der Tafel 1 aufgeführten handelsüblichen Kraftstoffe das Luftverhältnis errechnet, wenn 140 ltr Luft zum Verbrennen des Messkugelinhaltes von 20 cm³ Kraftstoff benötigt werden. Die bei einer Lufttemperatur von 25° erhaltenen Werte für das Luftverhältnis sind ebenfalls in der Tafel 1 enthalten. Teilt man diese Werte durch 140 ltr, so kommt man zu den in der letzten Spalte der Tafel 1 aufgeführten Verhältniszahlen, die je nach der Dichte um ein Geringes voneinander abweichen. Aus der Beziehung zwischen der Dichte und den Verhältniszahlen, die in Bild 3 dargestellt ist, erkennt man, dass für die üblichen Flugkraftstoffe C 2, C 3 und CV2b diese Verhältnisszahl um 0,007 liegt. Für diese Stoffe beträgt also unter den früher erwähnten Vorbehalten das Luftverhältnis rund das 0,007-fache der verbrauchten Luftmenge in Liter, während die Verhältnisszahl für Benzol kleiner, für B 4 grösser als 0,007 ist.

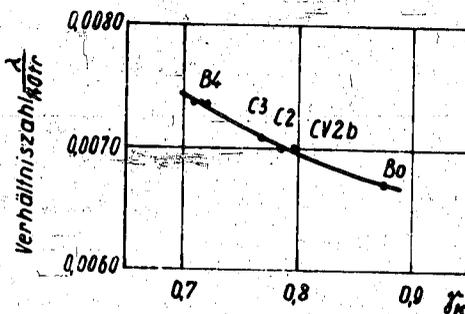


Bild 3:
Dichte und Verhältnisszahl

Um eine entsprechende Beziehung auch für diese und andere gebräuchliche Flugkraftstoffe aufzustellen, wurde der praktisch vorkommende Dichte-Bereich in fünf Gruppen unterteilt und für jede Gruppe aus Bild 3 die Verhältnisszahl abgelesen. Man erhält so:

1. Gruppe:	Dichte von 0,700 bis 0,725	Verhältnisszahl 0,00735
2. Gruppe:	0,725 0,750	0,00722
3. Gruppe:	0,750 0,775	0,00710
4. Gruppe:	0,775 0,800	0,00700
5. Gruppe:	0,800 0,825	0,00690

Für jede dieser fünf Gruppen ist das Luftverhältnis in den Grenzen von 0,6 bis 1,2 auf einem Skalenring aufgetragen, der nachstellbar vor die Literkala der Luftuhr gesetzt wird. Bei der Einstellung dieses Skalenringes ist ausser dem Wichtebereich auch die Lufttemperatur wie folgt zu berücksichtigen:

Lufttemperatur in der Luftuhr	Nullmarke des Skalenringes auf
17,5 - 22,5 ^o	998 ltr.
22,5 - 27,5 ^o	1000 bzw. 0 ltr.
27,5 - 32,5 ^o	2 ltr.
32,5 - 37,5 ^o	4 ltr.

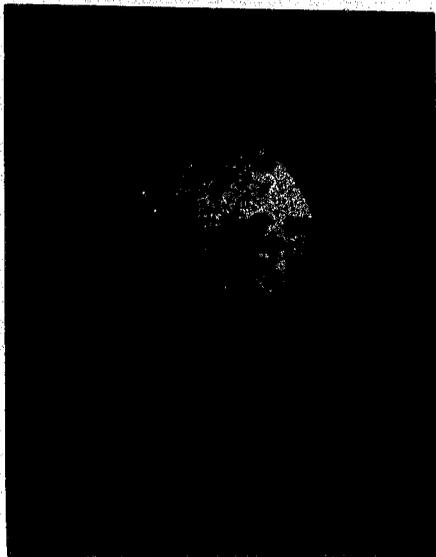


Bild 4:

Unmittelbare Anzeige des
Luftverhältnisses

Bild 4 zeigt die Einstellung für ein Benzin mit einer Wichte von 0,708 und bei einer Lufttemperatur von 26^o. Ausser der zum Verbrennen von 20 cm³ Kraftstoff benötigten Luftmenge zeigt die Uhr jetzt unmittelbar das eingestellte Luftverhältnis des Vergasers an. Wie eingangs erwähnt, gilt dieses Verfahren nur für die s.Zt. handelsüblichen Flugkraftstoffe ohne sauerstoffhaltige Zusätze. Der grösste Fehler, der durch diese Ver-

einfachung begangen werden kann, beträgt rd.4%. Dies ist so zu verstehen, dass beispielsweise der Scheitelpunkt der Verlagerungskurve anstatt bei 1,06 auch bei dem Luftverhältnis 1,04 oder 1,08 liegen kann. Da während einer Untersuchungsreihe diese Abweichung stets in gleicher Grösse nach der gleichen Richtung auftritt, so wird durch diese kleine Ungenauigkeit die Form der Kurve, und damit auch die Bewertung des Kraftstoffes, in keiner Weise beeinflusst, weil nur eine Verlagerung der Kurve hinsichtlich der λ -Achse eintritt (vgl.Abschn.III "Auswertung").

c) Rechenring.

Für diejenigen Fälle, bei denen die λ -Skala an der Luftuhr nicht verwendet werden darf, weil die Voraussetzungen nicht vorhanden sind, wurde nach Art eines Rechenschiebers ein Rechenring entwickelt, Bild 5. Der Rechenring ist in seinem Aufbau so gehalten, dass mit ihm rasch und genau gearbeitet werden kann.

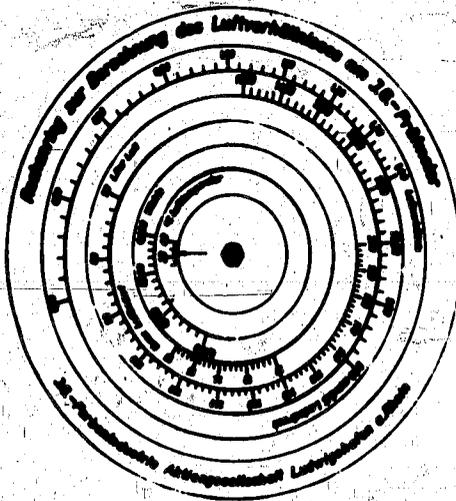


Bild 5:
Rechenring

Folgende Veränderliche können auf dem Ring eingestellt werden: Lufttemperatur, Wichte, Luftbedarf, Luftmenge und Luftdruck. Da üblicherweise mit einem gleichbleibenden Luftdruck von 1000 mm QS gearbeitet wird, können die beiden letzten Ringe gekuppelt werden. In gewohnter Weise wird die Anfangsmarke der inneren Skala eingestellt auf die ge-

gebene Zahl in der nächstärteren Skala. Da sich während der Untersuchung einer Benzinprobe die Größen Lufttemperatur, Dichte und Luftbedarf nicht ändern, braucht hier nur die Literkala (und die mit ihr fest verbundene Druckkala) nachgestellt zu werden, worauf man sofort das Luftverhältnis ablesen kann. Bild 5 zeigt in Anlehnung an das erste Beispiel der Zahlentafel I die Einstellung mit folgenden Betriebsgrößen:

Lufttemperatur	25°C
Spez. Gewicht	715 bei 25°
Luftbedarf	14,87 kg/kg
Luftmenge	140 ltr
Luftdruck	1000 mm Hg

und als Ergebnis das Luftverhältnis = 1,03.

d) Fehlermöglichkeiten bei der Bestimmung des Luftverhältnisses

Die Anlage ist in angemessenen Zeiträumen nachzuprüfen auf Dichthalten der Luft- und Kraftstoffleitung zwischen der Messstelle und den Lasstutzen. Weiter ist darauf zu achten, dass keine Falschlucht durch ausgeschlagene Ventile und dergl. eintreten kann, dass die Ventile ein vorgeschriebenes Spiel aufweisen und dass weiter die Luftuhr und Spindel in Ordnung ist. Von den Herstellern wird die Messgenauigkeit der Luftuhr mit $\pm 0,5\%$, die der Spindel mit etwa $\pm 0,1\%$ angegeben.

Bei der Bestimmung des Luftverhältnisses ist noch zu achten auf:

1.) Änderung der Dichte ρ der Kraftstoffprobe mit der Raumtemperatur. Deshalb soll die Kraftstoffprobe vor Beginn der Untersuchung die Raum (Luft-) Temperatur aufweisen, und erst dann gespindelt werden. Diese gespindelte Wichte wird zur Berechnung herangezogen. Zur Angabe der Wichte auf eine einheitliche Bezugstemperatur rechnet man mit einer Abnahme der Wichte von rund $0,001 \text{ g/cm}^3$ pro Grad Temperaturzunahme.

Für jeden Grad Unterschied zwischen der Kraftstofftemperatur beim Spindeln und beim Verbrauch ist mit einem Fehler von rund $0,1\%$ zu rechnen.

2.) Änderung des Barometerstandes gegenüber der vorgenommenen Einstellung am QS-Manometer. Für jede Änderung des Barometerstandes um 1 mm QS beträgt der Messfehler $0,1\%$.

Bei der Verwendung der Skala der Luftuhr zur Angabe des Luftverhältnisses ergeben sich Fehlermöglichkeiten, die durch die nur angenäherte Erfassung der Wichte und der Lufttemperatur der Probe bedingt sind. Es ist hierbei mit fol-

genden Abweichungen zu rechnen:

a) Wichte $\rho_K = 0,750 \text{ g/cm}^3$

Hierbei kann die Skala entweder auf den Bereich 0,725 bis 0,750 (Rechenwert 0,7375) oder auf den Messbereich 0,750 bis 0,775 (Rechenwert 0,7625) eingestellt werden. Bei beiden Einstellungen beträgt die Abweichung $0,0125 \text{ g/cm}^3$ von der Wichte des Kraftstoffes. Fehlergrösse = $\frac{0,0125 \cdot 100}{0,750} = 1,7\%$.

b) Lufttemperatur $t = 22,5^\circ$.

Hierbei kann die Skala entweder auf 20° oder auf 25° eingestellt werden. Bei beiden Einstellungen beträgt die Abweichung vom Sollwert $2,5^\circ$.

Fehlergrösse = $\frac{2,5 \cdot 100}{273 + 25} = 0,9\%$

c) Luftverhältnis:

In den bisher beobachteten Fällen beim Untersuchen von handelsüblichen Flugkraftstoffen (vgl. Tafel 1) liegt der Fehler, den man bei der Errechnung des Luftbedarfs über die Wichte begeht, unter 1%.

In ungünstigsten Falle kann beim Eintreffen aller Fehlermöglichkeiten nach einer Richtung ein Fehler von unter 4% auftreten, d.h. das Luftverhältnis von 1,00 würde durch die Verwendung der ρ_K -Skala mit 1,04 angegeben. Durch diesen Fehler wird aber nicht der Charakter der Kurve geändert, sondern diese nur in ihrer Lage verschoben. Im allgemeinen dürften sich die Fehler gegenseitig aufheben.

II. Angabe der Oktanzahl

a) Erweiterung der Oktanskala

Bei denjenigen Klopfwerten, die unter der Klopfestigkeit von Octan liegen wird die Oktanzahl in bekannter Weise durch Octan/Heptan-Mischungen gemessen. Da jedoch bei Messungen nach dem Oppauer Verfahren sehr viele Klopfwerte über 03 100 liegen, muss die Oktanskala über 100 hinaus verlängert werden, was am zweckmässigsten durch Zusatz von Bleitetraäthyl zur Benzolmischung geschieht.

Während der Entwicklung des Oppauer Verfahrens wurden Oktanzahlen über 100 mit Hilfe der für Untersuchungen nach der Motor-Methode aufgestellten Eichkurve errechnet; die Bezugskraftstoffe hierfür sind aufgebleites Octan/Heptan mit 1 cem TEL/ltr.

Die später vorgenommene Nachprüfung ergab dann die Werte nach Bild 6, 7 und 8, aus denen sich übereinstimmend für das aufgebleite Octan

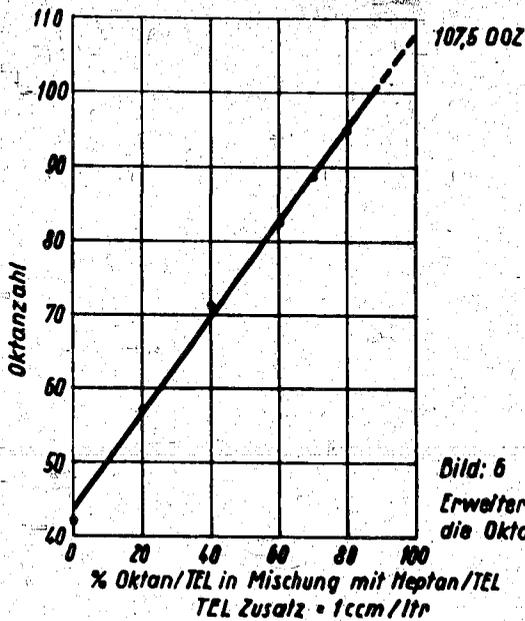


Bild: 6
Erweiterung der Oktanskala über die Octan/Heptan/TEL-Eichkurve.

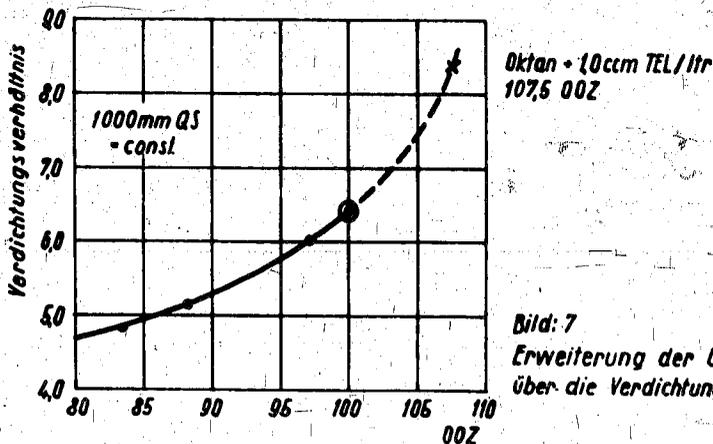


Bild: 7
Erweiterung der Oktanskala über die Verdichtungskurve.

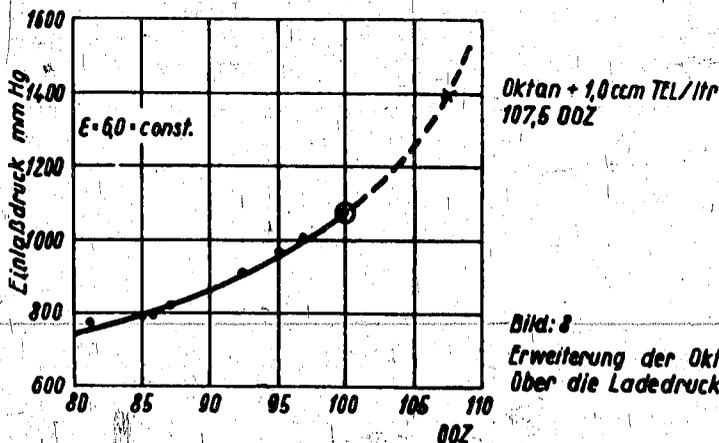


Bild: 8
Erweiterung der Oktanskala über die Ladedruckkurve.

nur der Wert 107,5 errechnet⁺⁾ gegenüber 115 bei Untersuchungen nach der Motor-Methode. Das aufgeblickte Oktan wird also nach dem Oppauer Verfahren schlechter bewertet als nach der Motor-Methode.

Die in Bild 7 dargestellte Beziehung zwischen dem Verdichtungsverhältnis und der Oktanzahl nach dem Oppauer Verfahren wurde dazu benützt, um die Oktanzahlscheibe des I.G.-Prüfmotors neu zu eichen. Entsprechend der Häufigkeit des Arbeitsgebietes wurde als Einstellpunkt der Scheibe auf 00Z 100 das Verdichtungsverhältnis von 6,40 bei einer Klopfstärke entsprechend einem Zeigerausschlag am Klopfmesser = 50 gewählt. Diese Grundeinstellung ist häufig nachzuprüfen. Hierauf wurde im Bericht Nr.489 ausführlich hingewiesen. Die Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit von Messungen mit Hilfe der Oktanzahlscheibe ist von den üblichen Klopfwertbestimmungen her bereits bekannt. Die Messgenauigkeit im Gebiet der Oktanzahl 100 kann mit $\pm 0,5$ 00Z angenommen werden.

Bei Versuchen mit dem Einlassdruck als Veränderliche gelten dann die Beziehungen nach Bild 8, wobei als Einstellpunkt für 0Z 100 ein Verdichtungsdruck von 1080 mm QS bei einem Verdichtungsverhältnis von 6,0 : 1 gewählt wird. Die Oktanskala wird dann mit der Ladedruckskala verbunden.

b) Fehlermöglichkeiten bei der Bestimmung der Oktanzahl

Bei der Angabe der Oktanzahl mit Hilfe der Skalenscheibe können in der Hauptsache dann Fehler vorkommen, wenn

- 1.) die Vergasereinstellung auf grösste Klopfstärke und
- 2.) die Verdichtungseinstellung auf richtige Klopfstärke ungenau durchgeführt werden.

Zu 1) ist im Bericht Nr.489 bereits ausführlich auf die sorgfältige Bestimmung des Klopfmaximums hingewiesen worden.

^{+) Die Kurven ergeben in der logarithmischen Darstellung Gerade, wodurch sie sich leicht extrapolieren lassen (vgl. Bild 7 im Bericht Nr.489).}

Zu 2) Hier ist besonderes Augenmerk auf die folgenden Punkte zu richten:

- a) Die Einstellung des Springstiftapparates bei der Oktanzahlbestimmung soll die gleiche wie beim Aufstellen der Oktanskala sein.
- b) Der Ausschlag am Klopfmesser bei der Oktanzahlbestimmung soll der gleiche wie beim Aufstellen der Oktanskala sein.
- c) Der Motor soll keine Kompression verlieren (Kolben, Ventile undicht).
- d) Nach dem Überholen des Motors ist die Verdichtungs- und Oktanzahlscheibe nachsprüfen.
- e) Die Oktanzahlscheibe soll sich nicht verstellen.
- f) Der Ladedruck soll sich nicht ändern.
- g) Die Zündstellung soll sich nicht ändern (Abbrand der Kontakte).

III. Auswertung der Klopfkurven

a) Auftragen der Klopfkurven

Bild 9, 10 und 11 zeigen die verschiedenen Auswertungen einer Untersuchungsreihe mit den vier Kraftstoffen ET 110, C 2, C 3 und B 4, wobei als Ordinate jeweils die Oktanzahl, das Verdichtungsverhältnis und der Einlassdruck gewählt worden sind. Bild 10 und 11 ist aus Bild 9 mit Hilfe der Eichlinien nach Bild 7 und 8 entstanden.

Es ist bekannt, dass der Oktanzahl im oberen Messbereich eine grössere Bedeutung zukommt wie im unteren Messbereich. Für die Verhältnisse beim Untersuchen nach dem Oppauer Verfahren ist dieser Unterschied sehr gross. So entsprechen nach Bild 8 im Gebiet der OZ 90 100 mm Druck-

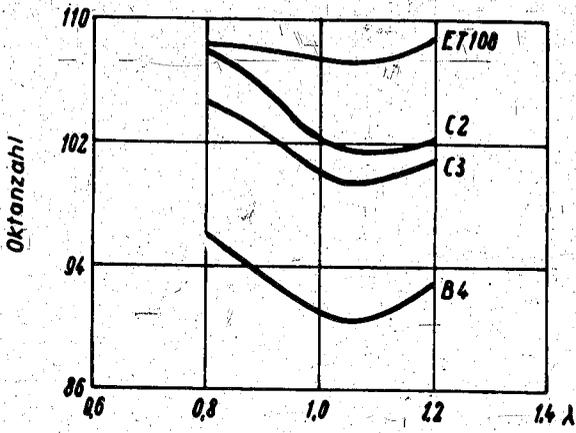


Bild: 9
Auswertung der Klopfwerte über die lineare Oktanskala

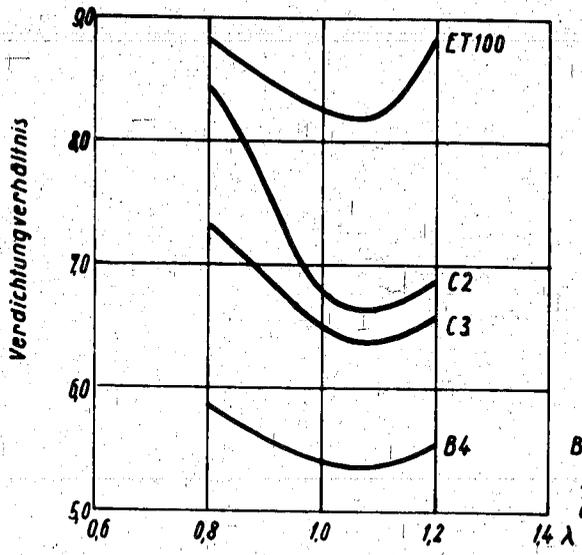


Bild: 10
Auswertung der Klopfwerte über die lineare Skala des Verdichtungsverh.

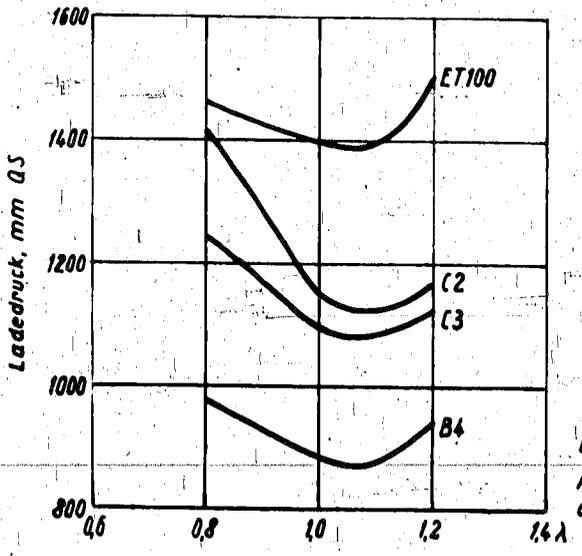


Bild: 11
Auswertung der Klopfwerte über die lineare Ladedruckskala

steigerung etwa 5 OZ, im Gebiet der OZ 110 jedoch nur 1 OZ, d.h. im Gebiet der ET 110-Kraftstoffe hat eine Oktanzahl etwa die fünffache Wirkung wie im Gebiet der B 4 - Kraftstoffe. Diese unterschiedliche Wirkung wird durch Bild 12 ausgedrückt. Diese Darstellung setzt die Bewertung im Oktanzahlbereich 100 mit der Zahl 100 fest und gilt in

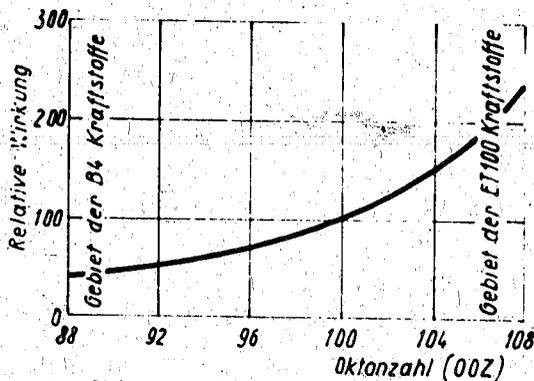


Bild 12:
Wirkung der Oktanzahl

ähnlicher Grösse sowohl für die Verhältnisse beim Verdichten wie auch beim Überladen. Die Kurve selbst gibt die relative Steilheit der beiden Linienzüge in Bild 7 und 8 an.

Diese Verschiedenheiten in der Auswirkung der Oktanzahl - steigerung äussert sich bei den verschiedenen Darstellungen gemäss Bild 9, 10- und 11 durch verschiedene Steilheit der Klopfgrenzkurven beim Vermagern, wie auch in verschieden grossem Abstand der einzelnen Kurven voneinander. Hierbei gleichen sich die beiden Darstellungen nach Bild 10 und 11, was aus der Ähnlichkeit der entsprechenden Eichkurven gemäss Bild 7 und 8 zu erwarten war. Dies beweist, dass der Einfluss von Verdichtungsänderung und Ladedruckänderung auf einen gegebenen Kraftstoff von ähnlicher Art ist.

Um den Beschauer der Klopfgrenskurven auf das verschiedene Gewicht der Oktanzahl nachdrücklich hinzuweisen, empfiehlt es sich, die Oktanzahl in einem verzerrten Masstab aufzutragen, wobei der Abstand im oberen Messbereich grösser ist als im unteren OZ-Bereich. Bild 13 zeigt ein solches Liniennetz.

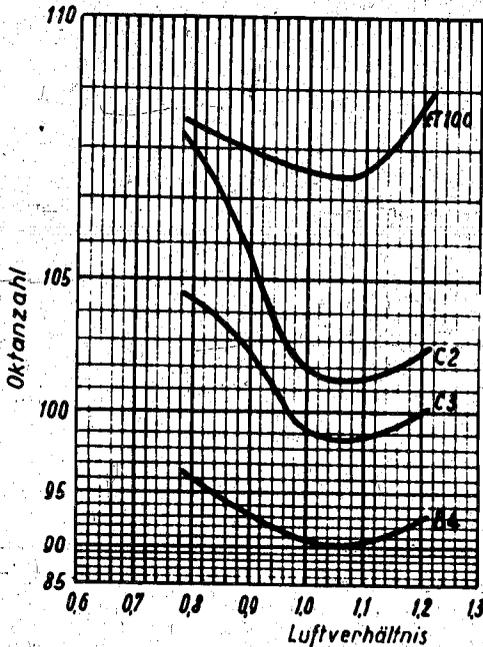


Bild 13:
Klopfgrenskurven in der verzerrten Oktanzkala

Hier ist die Beziehung Luftverhältnis:Oktanzahl aus der Beziehung Verdichtungsverhältnis:Oktanzahl (Bild 10) hervorgegangen. Im Vergleich zur Darstellung nach Bild 9 (linearer Masstab) kommt in Bild 13 die verschieden grosse Steilheit der einzelnen Kraftstoffe besser zum Ausdruck, und die Kurven haben einen ähnlichen Verlauf wie sie von den Überladekurven her bekannt sind.

b) Begriff der Verzögerungsempfindlichkeit

Ein grosser Vorzug der herkömmlichen Klopfwertbestimmung ist es, dass der erhaltene Messwert, nämlich die Oktanzahl, eindeutig und leicht verständlich ist. Demgegenüber ist ein Vergleich zwischen Klopf-

grenskurven nicht so einfach, weil diese dem Beschauer stets vorliegen müssen, und der Verlauf der Kurven nur mit Hilfe eines Liniennetzes angegeben werden kann. In den meisten Fällen interessiert jedoch für die Verhältnisse der Praxis nicht der gesamte Kurvenverlauf, sondern außer dem Minimalwert nur der Anstieg der Kurve im Gebiet des Luftverhältnisses unter 1,0. Dieser Anstieg der Klopfgrenskurven drückt die relative Empfindlichkeit auf Änderungen im Luftverhältnis aus und wird allgemein als "Vermagerungsempfindlichkeit" bezeichnet.

Zur zahlenmäßigen Erfassung der Vermagerungsempfindlichkeit wird vorgeschlagen, zwei besonders ausgezeichnete Punkte der Klopfgrenskurve heranzuziehen. Dies dürfte einmal der Punkt der geringsten Klopfbarkeit und dann diejenige Oktanzahl sein, die sich ergibt, wenn man, vom Punkt der geringsten Klopfbarkeit ausgehend, durch Verfetten das Luftverhältnis um 0,25 erniedrigt. Dieser Unterschied bedeutet einen Übereinkommenswert, der sich den praktischen Verhältnissen möglichst anpaßt. Es liegt nämlich in allgemeinen das Klopfmaximum der Motoren bei etwa $\lambda = 1,05$. Durch Verfetten wird dann der Wert $\lambda = 0,80$ erreicht, und dies ist auch das Luftverhältnis, das die Motoren unter Startverhältnissen aufweisen. Auf eine zahlenmäßig genaue Festlegung der beiden Grenzwerte, z.B. 0,80 und 1,05 wurde verzichtet, um Fehlbewertungen zu vermeiden, die dadurch entstehen können, daß an sich der Kurvenverlauf zwar richtig, aber in Bezug auf die λ Achse etwas versetzt aufgenommen worden ist (Bild 14).

Diese mit der Änderung des Luftverhältnisses verbundene Klopfwertsteigerung ist ein Maßstab für die Vermagerungsempfindlichkeit. Ähnlich wie bei der Bestimmung der Bleiempfindlichkeit ist auch hier das verschiedene Gewicht des Oktanzahlbereiches zu berücksichtigen. Dies geschieht durch Einführen eines Berichtigungswertes entsprechend der relativen Bedeutung der Oktanzahl (Bild 12). Dadurch werden alle Oktanzahlen auf die gleiche Grundlage, nämlich OZ 100, zurückgeführt und lassen sich so einwandfrei vergleichen.

Um jedoch auch hier vom zufälligen Verhalten des Prüfmotors möglichst unabhängig zu werden, ist es zweckmässig, die so errechnete Klopfwertsteigerung zu vergleichen mit derjenigen einer Bezugsmischung. Der Technische Prüfstand Oppau verwendet hierzu den Urbezugskraftstoff iso - Oktan, diesem Kraftstoff wird also willkürlich die Vermagerungsempfindlichkeit = 1 zugelegt. Aus dem Vorhergesagten ergibt sich also folgendes:

"Die Vermagerungsempfindlichkeit eines Kraftstoffes wird durch eine Verhältniszahl ausgedrückt. Diese vergleicht die Klopfwertsteigerung der Kraftstoffprobe mit der Klopfwertsteigerung von iso-Oktan. In beiden Fällen wird die Klopfwertsteigerung gemessen als der Unterschied der Oktanzahl zwischen dem Luftverhältnis für grösste Klopfstärke und dem von hier aus um 0,25 erniedrigten Luftverhältnis. Die Auswirkung der Oktanzahl ist hierbei durch einen Berichtigungswert zu berücksichtigen."

c) Bestimmung der Vermagerungsempfindlichkeit

In einfachster Weise wird die Vermagerungsempfindlichkeit aus der Klopfgrenzkurve wie folgt bestimmt (vgl. Bild 14):

Als Grundlage dient die Klopfgrenzkurve mit dem Kraftstoff iso - Oktan. Von dieser wird der Punkt A der geringsten Klopfestigkeit, sowie Punkt B bestimmt, der ein um 0,25 geringeres Luftverhältnis aufweist als Punkt A. Durch den Zahlenwert 1,0 in der Skala der Vermagerungsempfindlichkeit wird eine Parallele zu A B gezogen, die dann die obere λ Achse des Liniennetzes in Punkt S schneidet. Wenn dieser Punkt S für eine Maschine aus mehreren Untersuchungen mit Sicherheit ermittelt worden ist, braucht er nicht immer aufs Neue bestimmt zu werden, sondern es genügt eine gelegentliche Nachprüfung.

Von den Klopfgrenzkurven der Benzinproben werden in ähnlicher Weise die Punkte A_1 und B_1 bestimmt, und durch Punkt S die Parallele gezogen.

Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren. Bild 14

Motor Nr. 13 Umdr./min. 600 Kühlt. °C 100 Verdichtungsverh. ν
 Tag 6.2.42 Vorzündung 22° Gemischt. °C 12.5 Einlaßdruck 1000 mm B.F.

OHlan rein $\nu = 1.0$

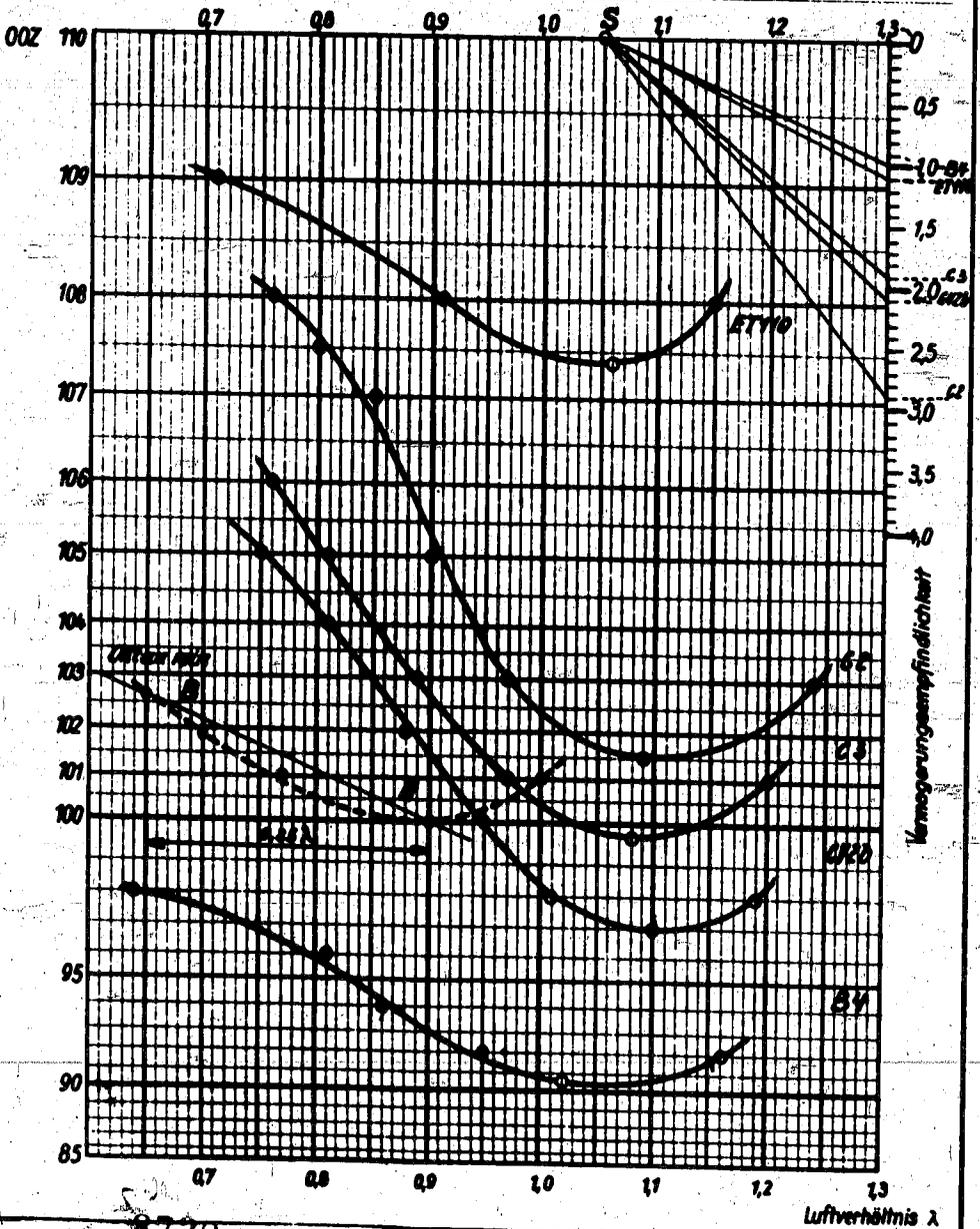
B4 = 1.0

C12b = 2.1

C3 = 1.9

C2 = 2.9

ET 110 = 1.1



8739

Im Schnittpunkt mit der Skala für die Vermagerungsempfindlichkeit kann dann sofort der Vergleichswert abgelesen werden. Für die in Blatt 14 enthaltenen Klopfgrenskurven ergibt sich somit folgende Bewertung:

Zahlentafel 2

Kraftstoff (aufgebleit)	Vermagerungs- empfindlichkeit VE
ET 110	1,1
C 2	2,9
C 3	1,9
CV2b	2,1
B 4	1,0

Mit diesen beiden Werten für die Klopfestigkeit und Vermagerungsempfindlichkeit lässt sich der Verlauf einer Klopfgrenskurve weitgehend charakterisieren.

Die Genauigkeit bei der Bestimmung der Vermagerungsempfindlichkeit hängt in besonderem Masse ab von der genauen Erfassung des Klopfmaximums. Während hier ein Fehler im Luftverhältnis mit 0,1 für die Oktanzahl kaum von Bedeutung ist, wirkt sich der gleiche Fehler im fetten Gebiet, vor allem bei den steiler verlaufenden Kurven, sehr stark aus, er beträgt ungefähr $\pm 0,5$ Ooz.

Auf Grund von diesen Darlegungen erscheint es nicht unbedingt notwendig, von einem Kraftstoff die ganze Klopfgrenskurve zu fahren. Es ist vielmehr möglich, die Oktanzahl und Vermagerungsempfindlichkeit durch drei Ver-

aushepunkte zu bestimmen, wovon der erste Punkt die Mindest-Oktanzahl und das Luftverhältnis, der zweite Punkt die Oktanzahl bei einer Änderung von etwas mehr als 0,25 λ -Einheiten, der dritte Punkt die Oktanzahl bei einer Änderung von etwas weniger als 0,25 λ -Einheiten angibt. Aus Punkt 2 und 3 kann dann die Oktanzahl bei einer Änderung von genau 0,25 λ -Einheiten interpoliert werden, woraus sich dann weiter der Wert für die Verzögerungsempfindlichkeit errechnet. Wegen der grösseren Fehlermöglichkeit ist dieses Verfahren jedoch nicht zu empfehlen, besonders auch deshalb, weil das Aufstellen der gesamten Klopfgrenskurve keinen besonders grossen Zeitaufwand erfordert.

d) Angabe des Klopfverhaltens

Das Klopfverhalten eines Flugbenzins kann durch eine Untersuchung nach dem Oppauer Verfahren angegeben werden mittels der Oktanzahl und dem Wert für die Verzögerungsempfindlichkeit (Tafel 2).

Während die Oktanzahl den Klopfwert der Benzinprobe angibt bei dem Luftverhältnis, bei dem das stärkste Klopfen auftritt, wird die durch Ändern des Gemisches mögliche Klopfwertsteigerung angegeben durch die Verzögerungsempfindlichkeit unter genau vereinbarten Bedingungen.

Bei den beiden Eigenschaften Klopfverhalten und Verzögerungsempfindlichkeit wird nicht die unmittelbar gemessene Maschinengrösse (Verdichtungsverhältnis) als Massstab gewählt, sondern ein Bezugskraftstoff (Oktan). Dadurch wird eine weitgehende Unabhängigkeit vom zufälligen Motorzustand erreicht, die sich in guter Wiederholbarkeit der Messwerte auswirkt.

Es ist auch denkbar, von einem Kraftstoff zwei Oktanzahlen, z.B. eine "Start-OZ" und eine "Flug-OZ" anzugeben. Eine solche Doppelbezeichnung für den Kraftstoff wäre vielleicht für manche Verhältnisse der Praxis leichter verständlich als die zahlenmäßige Erfassung der Veragerungsempfindlichkeit. Die Begriffe Start-OZ und Reiseflug-OZ beruhen ebenfalls auf Vereinbarungen. Es wird vorgeschlagen, zur Bestimmung der Start- und Flug-OZ die gleichen Punkte der Klopfgrenzkurve heranzusehen, die schon zur Bewertung der Veragerungsempfindlichkeit benutzt worden sind. Nach diesem Vorschlag bedeutet die

Flug-OZ den niedersten Klopfwert in der Klopfgrenzkurve,
Start-OZ den Klopfwert in der Klopfgrenzkurve, der sich ergibt, wenn das Luftverhältnis um 0,25 Einheiten kleiner gewählt wird als bei der Flug-OZ.

Für die in Blatt 14 aufgeführten Stoffe erhält man dann die folgende Bewertung:

Zahlentafel 3

Kraftstoff aufgebleit	Start-OZ	Flug-OZ
ET 110	108,6	107,4
C 2	106,9	101,5
C 3	104,5	99,7
CV2b	103,0	97,0
B 4	96,0	90,5

Während für die in Bild 14 dargestellten Klopfgrenskurven die Verhältnisse sehr übersichtlich sind, ist dies bei dem Beispiel nach Bild 15 weniger der Fall.

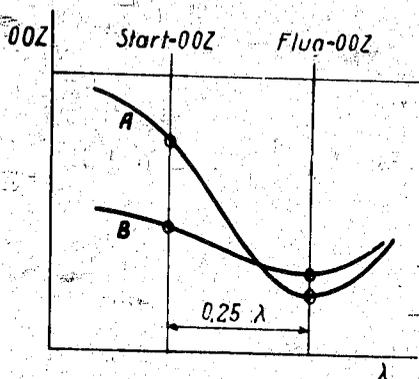


Bild 15:

Bewertung von Flugkraftstoffen

Kraftstoff A hat beim Starten, Kraftstoff B hat beim Reiseflug das bessere Klopfverhalten.

Hier können die beiden Kraftstoffe A und B nicht in einem besseren und in einem schlechteren unterteilt werden, wie dies bei den fünf Benzinben nach Bild 14 ohne weiteres der Fall ist. Es kann möglich sein, dass der Kraftstoff A für die Startverhältnisse genügt, jedoch beim Reiseflug versagt, während beim Kraftstoff B das umgekehrte der Fall sein kann. Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass eine abschliessende Kraftstoffbewertung durch Prüfstandsversuche nur dann vorgenommen werden kann, wenn die Anforderungen der Vollmotoren an das Klopfverhalten der Kraftstoffe bekannt sind.

Eine Gegenüberstellung der heute möglichen Klopfwertangaben für die Flugbenzine nach Bild 14 ergibt

Zahlentafel 4

Kraft - stoff	Oppauer Verfahren		Motor-Methode MOZ c	Research-Methode ROZ d
	Start-00Z a	Flug-00Z b		
C 2	106,9	101,0	89,9	107,0
C 3	104,5	99,7	90,9	104,0
CV2b	103,0	97,0	88,9	102,2
B 4	96,0	90,5	87,8	92,0

Während die heute noch übliche Motor-Methode alle vier Flugbenzine in ähnlicher Größenordnung bewertet, ergibt die Doppelbewertung nach dem Oppauer Verfahren eine von der Motor-Methode abweichende Reihenfolge, die aber in Einklang steht mit den Messungen nach dem Überladeverfahren am grossen Einzylinderprüfstand. Auch die Research-Methode findet einen Unterschied im Klopfverhalten der vier Flugbenzine. Die unterschiedliche Bewertung dieser Kraftstoffe, die am gleichen Klopfmotor untersucht worden sind, ist durch Ändern der Betriebsbedingungen erreicht worden. Der Unterschied zwischen den Prüfverfahren b, c und d liegt in der Drehzahl und Temperatur, während sich die Prüfweisen a und b durch das Luftverhältnis unterscheiden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch Angabe von zwei Klopfwerten, die unter genau bestimmten Verhältnissen ermittelt worden sind, eine für die Praxis ausreichende Charakterisierung der Kraftstoffe möglich ist. Zur zahlenmässigen Angabe des Klopfverhaltens hat sich die Weiterverwendung der Oktanskala als zweckmässig erwiesen.

Errechnung des Luftverhältnisses nach dem Oppauer Verfahren

- Es ist: V_k = Kraftstoffmenge in der Messkugel = 20ccm = konstant
 V_l = Luftmenge zum Verbrauch von 20ccm Kraftstoff in Liter
 G_k = Kraftstoffgewicht in der Messkugel in g
 G_l = Luftgewicht zum Verbrauch von 20ccm Kraftstoff in g
 γ_k = Wichte des Kraftstoffes bei der Verbrauchstemperatur in g/ccm
 γ_l = Wichte der Luft bei der Verbrauchstemperatur in g/ltr
 T = Temperatur der Luft nach dem Luftmesser in °K
 Z = Durchflußzeit des Kraftstoffes durch die Messkugel in sec
 V_H = Hubraum des Motors = 0,332 ltr = konstant
 n = Umdrehungen / Minute = 600 = konstant
 η_v = Volumetrischer Wirkungsgrad des Motors ~ 0,72
 U = Motorumdrehungen beim Verbrauch von 20ccm Kraftstoff
 L_m = theoretischer Luftbedarf des Kraftstoffes in g
 L = tatsächlicher Luftverbrauch des Kraftstoffes in g
 λ = Luftverhältnis = $\frac{L}{L_m}$

a) Bestimmungen mit Hilfe der angezeigten Luftmenge (Luftuhr)

$$\gamma_l = 1,3 \text{ bei } 0^\circ \text{ und } 760 \text{ mm QS}$$

$$\gamma = \frac{1,3 \cdot 1000 \cdot 273}{760 \cdot T} = \frac{467}{T} \text{ bei } 0^\circ \text{ und } 1000 \text{ mm QS}$$

$$G_l = V_l \cdot \gamma_l = \frac{V_l \cdot 467}{T}$$

$$G_k = V_k \cdot \gamma_k = 20 \cdot \gamma_k$$

$$L = \frac{G_l}{G_k} = \frac{V_l \cdot 467}{T \cdot 20 \cdot \gamma_k} = \frac{233 \cdot V_l}{T \cdot \gamma_k}$$

$$\lambda = \frac{L}{L_m} = \frac{233}{T \cdot \gamma_k \cdot L_m} \cdot V_l \quad \text{bei } 20 \text{ ccm Kraftstoff und } 1000 \text{ mm QS}$$

b) Bestimmungen mit Hilfe der Durchflußzeit von 20ccm Kraftstoff (Stoppuhr)

$$V_l = \frac{V_H \cdot \eta_v \cdot n \cdot Z}{60} = \frac{0,332 \cdot 300 \cdot 0,72 \cdot Z}{60} = 12Z$$

$$G_l = V_l \cdot \gamma_l = \frac{12 \cdot 467 Z}{T} = \frac{558 \cdot Z}{T}$$

$$L = \frac{G_l}{G_k} = \frac{558 Z}{T \cdot 20 \cdot \gamma_k} = 2,79 \cdot \frac{Z}{T \cdot \gamma_k}$$

$$\lambda = \frac{L}{L_m} = \frac{2,79}{T \cdot \gamma_k \cdot L_m} \cdot Z \quad \text{bei } 20 \text{ ccm Kraftstoff und } 1000 \text{ mm QS, } \eta_v = 0,72$$

c) Bestimmungen mit Hilfe der Motorumdrehungen für 20ccm Kraftstoff (Drehzähl.)

$$V_l = V_H \cdot \eta_v \cdot \frac{U}{2} = \frac{0,332 \cdot 0,72 \cdot U}{2} = 0,12 \cdot U$$

$$G_l = V_l \cdot \gamma_l = \frac{558 \cdot U}{T}$$

$$L = \frac{G_l}{G_k} = 2,79 \cdot \frac{U}{T \cdot \gamma_k}$$

$$\lambda = \frac{L}{L_m} = \frac{2,79}{T \cdot \gamma_k \cdot L_m} \cdot U \quad \text{bei } 20 \text{ ccm Kraftstoff und } 1000 \text{ mm QS, } \eta_v = 0,72$$