

Oppau, 25. 1. 41.

Nr. 395

I-113A

Bestimmung der Klopfestigkeit von Ottokraftstoffen

(Auto- und Flugkraftstoffen)

nach dem Zündverzugsverfahren.

29364

Teil 1: Oktanzahlbestimmung von Autokraftstoffen nach dem Zündverzugsverfahren (Einpunkt-Verfahren).

A. Allgemeines über die Oktanzahlbestimmung nach dem Klopfmessverfahren und nach dem Zündverzugsverfahren.

Das gegensätzliche Verhalten der Bestimmung der Oktanzahlen nach Klopfen und Zündverzug wird durch folgende Gegenüberstellung am besten wiedergegeben: ||

1.) Die motorischen Eigenarten, wie Ausbildung des Verbrennungsraumes, Zylinderabmessungen usw. und die Untersuchungsbedingungen, wie Drehzahl, Belastung, Luftüberschuss, Kühlung usw., beeinflussen die Oktanzahlbestimmung nach dem Klopfverhalten sehr stark, nach dem Zündverzugsverfahren dagegen nur wenig.

2.) Die Folge ist eine Vielzahl von Prüfmotoren und Untersuchungsbedingungen bei der Oktanzahlbestimmung nach dem Klopfverhalten, die wenig übereinstimmende Ergebnisse liefern und mit der Praxis nicht im Einklang stehen (Blatt 4 oben.)

Bei der Oktanzahlbestimmung am CFR-Motor¹⁾ angewandte Prüfverfahren.⁴⁾

Prüfmethode	Research Motor ²⁾ ait ASTM	Flieger LT ³⁾	L ³⁾	Research A.A.C. ⁴⁾ neu
Anwendung in Deutschland	Autobi	Flugbi	keine	
Anwendung im Ausland	Italien: Flugbi	England: Flugbi	U.S.A. teilw. Autobi	U.S.A. teilw. Autobi
Drehzahl	600	900	900	900
Kühltemp.	100	100	100	100
Gemischvorwärmung	keine	150	127	127
Vorzündung bei $\alpha = 5:1$	veränderlich 22,5°	veränderlich 26°	veränderlich 26°	veränderlich 16°
				fest 13°
				fest 30°

- 1) CFR - Cooperative Fuel Research.
- 2) ASTM - American Society for Testing Materials.
- 3) LT - Low Temperature.
- 4) A.A.C. - Army Air Corps. Zu diesem Verfahren wurde am CFR-Motor der Hubraum und die Steuerzeiten geändert und der Springatiftapparat durch eine Temperaturmesskerze ersetzt.

+) aus der "Anleitung und Betriebsvorschrift für den I.G.-Prüfmotor".

Im Gegensatz dazu haben alle nach dem Zündverzugsverfahren ermittelten Oktanzahlen (und damit auch die Cetanzahlen) ohne Rücksicht auf Motor und Betriebsbedingungen praktisch die gleichen Werte.

Bei der Cetanzahlmessung nach der Zündverzugsmethode angewandte Prüfverfahren.^{*)}

Bauart	A.W. Schmidt und Slowak	I.G.	Kamm
Drehzahl U/Min.	750	1000	1600
Bohrung d (mm)	110	95	100
Hub s (mm)	170	150	130
Hubvolumen V _h (Ltr.)	1,62	1	1
Einspritzdruck (atü)	140	220	170
Veränderl. Verdichtung	1:5 = 20	1:7 = 25	1:5 = 25
Kühlwassertemperatur	60°	Verdampf. Kühlung	60°
Ansauglufttemperatur	Raumtemp.	Raumtemp.	Raumtemp.

Untersuchungsergebnisse.

Mehrpunkt-Verfahren
Zündverzug veränderlich, Verdichtung veränderlich.

Einpunkt-Verfahren
Fester Zündverzug, Verdichtung veränderlich.

Probe	Slowak-Motor	I.G.-Diesel	Kamm-Motor	I.G.-Diesel	Kamm-Motor	Mittelwert
1	88	88	87,5	87,5	88	87,6
2	61	61	60	62	61	61
3	59,5	59	59	59,5	59	59,2
4	48	48	48	47	46	47,4
5	47	47,5	47	48	47,5	47,5
6	47	47	46	48	46,5	46,9
7	38	38	39	38	38	38,2
8	37	39	37	38,5	37	37,7
9	35	34	-	35	34	34,5
10	32	32	-	33	32,5	32,3

*! aus einem Bericht der T.H. München.

3.) Da der Verbrennungsablauf im Otto-Motor infolge ungleichmässiger Gemischbildung; und Zündungseinleitung sehr unregelmässig verläuft, ist auch das Klopfen sehr unterschiedlich und kann nur durch Mittelwertbildung gemessen werden. Beim Diesel-Motor dagegen ist der Verbrennungsablauf gleichmässig und damit ein genaueres Messen der Zündwilligkeit (Zündverzug) möglich.

4.) Die Instrumente zur Messung des Klopfvorgangs (Beginn des Klopfens, Klopfstärke, Anzahl der Klopfschläge, der Klopfrequenz usw.) können leicht zu fehlerhafter Oktanzahlbestimmung führen. Beim Springstiftindikator beispielsweise ist das einwandfreie Arbeiten von folgenden Grössen abhängig:

- Elastizität der Membrane¹⁾
- Elastizität der Stabfeder
- Elastizität der Schraubenfeder
- Vorspannung der Stabfeder
- Vorspannung der Schraubenfeder
- Beschaffenheit der Kontaktoberfläche
- Kontaktbestand
- Einwandfreie Stromabgabe der Lichtmaschine
- Reibungslose Bewegung des Springstiftes in seiner Führung.

Der Zündverzug dagegen ist in eindeutiger Weise als eine leicht messbare Strecke auf dem Braunschens Rohr des Piezo-Quarzindikators abzulesen.

5.) Beide, Klopfvorgang und Zündwilligkeit, werden im wesentlichen durch die Druck- und Temperaturverhältnisse der Verbrennungsluft, also durch das Verdichtungsverhältnis, durch die Überladung und durch die Luftvorsättigung, bestimmt.

Die Vorteile der Oktanzahlbestimmung nach dem Zündverzugsverfahren sind danach folgende:

- a) Wesentliche Ausschaltung der motorischen Eigenarten und Betriebsbedingungen.
- b) Eindeutige Bestimmung der Oktanzahlen.
- c) Vergleichsmöglichkeit aller nach dem Zündverzugsverfahren gemessenen Oktanzahlen.

Aufgrund der vorstehenden Vorteile ist man berechtigt, die Oktanzahlbestimmung nach dem Zündverzugsverfahren, als den üblichen Prüfverfahren vollkommen gleichwertig ^{und sogar überlegen} anzusehen. Der Einwand, dass die Oktanzahlbestimmung bei höheren Druck- und Temperaturverhältnissen als im Otto-Motor erfolgt, ist für die Deutung der erhaltenen Oktan-Heptan-Werte belanglos.

B. Oktanzahlbestimmung nach dem Zündverzugsverfahren am I.G.-Prüfdiesel.

1.) Untersuchung des Einflusses von Motoreigenart und verschiedener Betriebsbedingungen auf die Oktanzahlbestimmung nach dem Zündverzugsverfahren.

2.) Aufstellung der Eichkurven für Oktan-Heptan-Gemische und Benzol-I.G.7-Gemische (den Substandards für den I.G.-Prüfmotor).

Wie wir bereits gezeigt haben, ist der Einfluss der Motoreigenart auf die Oktanzahlbestimmung nach dem Zündverzugsverfahren praktisch unbedeutend. Um dies auch bei unseren Untersuchungen nachzuweisen, wurden Vergleichsversuche am Prüfdiesel I (Kolben mit Hochverdichtung) und am Prüfdiesel III (Normalkolben) gemacht.

In Anlehnung an die beim CFR-Motor angewandten Prüfverfahren zur Oktanzahlbestimmung wurden die Messungen bei den Drehzahlen $n = 600, 700, 900$ und 1300 , bei den Kühlstofftemperaturen 100 und 140° , ausserdem bei drei verschiedenen Zündverzügen ($18, 25$ und 30° K.), um das unterschiedliche Klopfen im Otto-Motor nachzuahmen, durchgeführt.

1. Versuchsreihe.

Einfluss der Motoreigenart.

Prüfdiesel I, $n = 700,$	Zündverzug $25^\circ,$	Kühlstofftemp. 100°
Prüfdiesel III, $n = 900,$	Zündverzug $18^\circ,$	Kühlstofftemp. 100°

	Prüfdiesel I	Prüfdiesel III
CaZ 35	02 62	02 63
30	73.5	73
25	85	82
20	94.5	92
15	100	100

2. Versuchsreihe.

n = 600
t = 100°
z_v = 18°

CaZ	35	OZ	61,5
	30		72,5
	25		85
	20		94
	15		101

3. Versuchsreihe.

n = 700
t = 100°
z_v = 18, 25 und 30°

CaZ	35	OZ	-	62	63
	30		71,5	73,5	74
	25		85	85	85
	20		95	94,5	94
	15		101	100	100

4. Versuchsreihe.

n = 900
t = 100°
z_v = 18, 25 und 30°

CaZ	35	OZ	61,5	62,5	64
	30		72,5	73	74,5
	25		84	85	84,5
	20		95	94	93
	15		102	100	101

5. Versuchsreihe.

n = 1300
z_v = 18, 25 und 30°

Kühlmitteltemperatur 100°

CaZ	35	OZ	62	64
	30		73	74
	25		85	84
	20		95	93
	15		101,5	100

Kühlmitteltemperatur 140°

CaZ	35	OZ	65,5	64,5	66
	30		75	74,5	75,5
	25		85	84	84,5
	20		94	92,5	92
	15		101	99	98

5. Versuchsreihe.

Prüfdiesel III Prüfdiesel I
 Vol. % Benzol in Mischg. mit I.G. 7-Bi.

CaZ 35	OZ 63,5	Vol. % 22,5	22
30	73,5	40	39
25	84,5	52	51
20	94	63	62,5
15	100	72	73

Die Versuchsergebnisse sind in folgenden Schaublättern wiedergegeben:

1. Abhängigkeit der Oktan- und Cetanzahlen vom Verdichtungsverhältnis für verschiedene Betriebsbedingungen (um die Übersicht nicht zu verschlechtern, wurden nicht alle Versuchsergebnisse aufgetragen). (Blatt 1)
2. Das Streuband der Oktanzahl-Eichkurve, hervorgerufen durch die Messungenauigkeiten (Blatt 2 oben).
3. Die ausgemittelte Oktanzahl-Eichkurve.
4. Die Substandard-Eichkurve, Benzol- und I.G. 7-Benzin (Blatt 2 unten).

Die Übereinstimmung bei all diesen Versuchen ist bei der Vielheit der Untersuchungsbedingungen als gut zu bezeichnen. Motoreigenart und Betriebsbedingungen üben danach auf die Oktanzahlbestimmung nach dem Zündverfahrsverfahren im Gegensatz zu der im Klopfmotor kaum einen Einfluss aus.

Teil 2: Bestimmung der Klopfestigkeit von Flugkraftstoffen bei Überladung nach dem Zündverzugsverfahren (Mehrpunkt-Verfahren).

A. Messung des Klopfverhaltens im Flugmotor nach dem D/L-Überladeverfahren.

Bei dem D/L-Überladeverfahren beurteilt man die Flugkraftstoffe anhand von Klopfgrenzkurven, die aus einem normalisierten Einzylinder-Prüfmotor, (der aus dem BMW-Vollmotor hervorgegangen ist) unter bestimmten Betriebsbedingungen aufgenommen werden. Solche Klopfgrenzkurven sind in Blatt 3 für verschiedene Kraftstoffe bei einem Verdichtungsverhältnis von 1:8 und bei einer Ladelufttemperatur von 80°C wiedergegeben. Zu diesem Mehrpunkt-Verfahren ist man übergegangen, da ein Einzelpunktverfahren, wie die Oktanzahlbestimmung, mit den praktischen Anforderungen nicht im Einklang steht. Aber auch dieses Überladeverfahren ist sehr stark von den Untersuchungsbedingungen abhängig, damit ist aber die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit wie bei der Oktanzahlbestimmung in Frage gestellt.

Bei der Betrachtung der Klopfgrenzkurven fällt auf, dass die Kurven für C 2 und C 5 (es handelt sich um aromatische Kraftstoffe) einen anderen Verlauf haben als die von YT 702 und ET 100. Das unterschiedliche Verhalten wird noch deutlicher, wenn man bei gleichem Verdichtungsverhältnis und für irgendeinen Wert von λ (beispielsweise $\lambda = 1,0$) den Nutzdruck in Abhängigkeit von verschiedenen Ladelufttemperaturen (80, 130 und 160°) aufträgt. Bei dieser Art der Auftragung zeigen die aromatischen Kraftstoffe im Gegensatz zu paraffinischen eine ausserordentlich starke Temperatur-Abhängigkeit.

B. Messung des Klopfverhaltens nach dem Zündverzugsverfahren im T.G.-Prüfdiesel.

Wir haben bereits gezeigt, dass die Betriebsbedingungen bei der Oktanzahlbestimmung nach dem Zündverzugsverfahren von geringem Einfluss sind.

Es lag daher der Gedanke nahe, solche Klopfgrenzkurven auch nach dem Zündverzugsverfahren, d.h. bei einem festen Zündverzug von beispielsweise 25° am Prüfdiesel aufzunehmen. Dieses Verfahren lässt sich zunächst dadurch vereinfachen, dass der Zündverzug im Gegensatz zum Klopfverhalten wenig von der Luftüberschusszahl λ abhängig ist, wie in dieser Richtung hin durchgeführte Versuche ergaben (Blatt 4 unten). Die Änderung der Einspritzmenge kommt also in Wegfall.

Die nach dem Zündverzuverfahren aufgenommenen Überladekurven haben daher ein ganz anderes Aussehen, wie Blatt 5 zeigt, wo für verschiedene Ladelufttemperaturen die Überladedrucke (für einen festen Zündverzug von 25°) in Abhängigkeit vom Verdichtungsverhältnis aufgetragen sind. Diese Überladekurven konvergieren bei hohem Verdichtungsverhältnis, bei Raumtemperatur und Atmosphärendruck ergibt sich für jeden Kraftstoff ein bestimmtes Verdichtungsverhältnis, das der entsprechenden Oktanzahl nach dem Zündverzugsverfahren zugeordnet ist.

Bei niedriger Verdichtungsverhältnis divergieren die Kurven infolge der Temperaturabhängigkeit. Um diese Temperaturabhängigkeit noch deutlicher zu erhalten, wurde die auf Blatt 6 wiedergegebene Darstellung gewählt, wo die Überladedrucke über der Ladelufttemperatur aufgetragen sind. Folgende Untersuchungsbedingungen wurden dabei konstant gehalten:

1. Zündverzug,
2. Einspritzmenge,
3. Verdichtungsverhältnis,
4. Drehzahl,
5. Kühlstofftemperatur.

Diese Art der Darstellung zeigt in ganz eindeutiger Weise, das unterschiedliche Verhalten der aromatischen und paraffinischen Kraftstoffe. Die Kurve für VT 706 verläuft viel steiler und schneidet die von ET 100 bei einer bestimmten Temperatur. Bei niedrigen Überladedemperaturen wäre demnach VT 706, bei hohen dagegen ET 100 überlegen. Diese Beurteilung der Kraftstoffe deckt sich aber vollkommen mit der durch Klopfgrenzkurven am DVL-Überlademotor erhaltenen Bewertung.

Auch die Bleiempfindlichkeit und das Verhalten von Kraftstoff-

Die Vorteile der Kraftstoffbeurteilung nach dem Zündverzugsverfahren dürften darin liegen,

1. dass es möglich ist, diese Überladekurven mit ganz geringen Kraftstoffmengen (1 - 2 Liter) zu erhalten und
2. dass die Reproduzierbarkeit infolge der Unabhängigkeit von den Betriebsbedingungen viel besser ist.

~~W. H. H. H. H.~~
H. H. H. H.