

Bericht *Die Bedeutung der Lebenszahl*
(Vorbemerkung über die Lebenszahlprüfung.)

Technischer Prüfstand Op.

Nr. 385.

F. 17

Verfasser *Lipl.-Ing. Köhler*

Tag *3. Juni* 1939.

I-106

Gesehen von der Direktion _____

Zur Kenntnis an:

Empfänger	Ein- gang	Weiter	Unterschrift
-----------	--------------	--------	--------------

29233

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rhein
Techn. Prüfstand Op 200
Bericht Nr. 385
-0-

B e r i c h t

über:

Die Bedeutung der Cetanzahl.

(Verbrennungsablauf bei der Cetanzahlprüfung).

Inhaltsverzeichnis.

	<u>Seite:</u>
Zusammenfassung	1
Allgemeines	2
Zweck der Versuche	2
Versuchseinrichtung	3
Versuchsdurchführung	3
1. Verdichtung konstant, Zündverzug veränderlich	4
2. Zündverzug konstant, Verdichtung verändert	6

B e r i c h t:

Die Bedeutung der Cetanzahl.

Zusammenfassung:

Die Cetanzahl ist ein Wertmesser für die Zündwilligkeit des Kraftstoffes und für die Kraftstoffempfindlichkeit des Dieselmotors. Für Kraftstoffmischungen von 90 bis 20 Cetanzahlen wird der Verbrennungsablauf in zwei Versuchsreihen untersucht:

- 1.) Verdichtung konstant, Zündverzug veränderlich.
- 2.) Zündverzug konstant, Verdichtung verändert.

Es werden Zündverzug, Druckanstieg, Spitzendruck, Anspufftemperatur und Leistung gemessen. Bei konstanter Verdichtung wird der Verbrennungsablauf, insbesondere Zündverzug und Druckanstieg von den Kraftstoffen hoher Cetanzahl über 60 kaum, dagegen von Kraftstoffen geringerer Cetanzahl stark beeinflusst. Bei veränderter Verdichtung kann man dagegen stets bei der Maschineneinstellung arbeiten, wo die Cetanzahl des Kraftstoffes den Verbrennungsablauf im Motor stark beeinflusst. Hierdurch läßt sich bei der motorischen Bewertung des Kraftstoffes die Genauigkeit und der Meßbereich wesentlich verbessern. Die Versuche lassen die nicht lineare Abhängigkeit zwischen Cetanskala und Verbrennungsablauf erkennen. 1 Cetaneinheit wirkt sich bei Kraftstoffen um Cetanzahl 20 etwa fünfmal so stark aus als bei solchen von der Cetanzahl 60. Wie insbesondere die Versuche bei konstantem Zündverzug zeigen, ist der Druckanstieg beim Entzünden des Kraftstoffes von der Cetanzahl abhängig. Der Druckanstieg ist bei niederen Cetanzahlen höher, bei den höheren Cetanzahlen niedriger.

Weiterhin kann festgestellt werden, daß die Kraftstoffe niedriger Cetanzahl eine geringfügig höhere Leistung ergeben als diejenigen mit hoher Cetanzahl.

Allgemeines.

Die Cetanzahl ist im allgemeinen eine Kenngröße für die Zündwilligkeit eines Kraftstoffes im Dieselmotor. Sie soll das praktische Verhalten des Kraftstoffes im Motor beurteilen. Aus Erfahrung weiß man, daß ein Dieselmotor in Fahrzeug-Dieselmotor heute eine Cetanzahl von über 40 haben soll, welcher Wert auch von den üblichen Gasölen, die alle etwa eine Cetanzahl von 45 bis 50 aufweisen, erreicht wird. Die Cetanzahl von etwa 40 bildet ein Unterscheidungsmerkmal, ob ein Kraftstoff für den schnellaufenden Dieselmotor geeignet ist, oder nicht. Es läßt sich aber aus der Cetanzahl noch mehr über einen Kraftstoff aussagen, was in der nachstehenden Versuchsreihe geschehen soll.

Die Cetanzahl ist jedoch nicht nur eine Charakteristik des Kraftstoffes, sie kann auch für die Beurteilung des Dieselmotors herangezogen werden. Direkte Einspritzmaschinen, z.B. der Zweitaktmotor von Junkers, oder die Viertaktmaschine der MAN benötigen Kraftstoffe über Cetanzahl 45, und man kann deshalb sagen, der Motor hat die Cetanzahl 45, wie man es in ähnlicher Weise auch bei den Otto-Motoren macht. Die Vorkammer-Maschinen dagegen kommen noch mit Dieselmotoren von etwa Cetanzahl 30 bis 40 aus und haben also CZ 30 bis 40. Der Konstrukteur hat mittels der Cetanzahl die Möglichkeit, den Dieselmotor auf seine Empfindlichkeit für den Kraftstoff zu beurteilen und ihn, entsprechend den heute verlangten Forderungen, weiterzuentwickeln.

Zweck der Versuche:

Es soll der Einfluß der Cetanzahl des Kraftstoffes auf den Verbrennungsablauf im Dieselmotor untersucht werden. Es sollen hierbei für die Betriebsbedin-

gungen, wie sie auch zur Cetanzahlbestimmung verwendet werden, Zündverzug, Druckanstieg, Spitzendruck und Anspufftemperatur gemessen werden. Von Interesse ist auch, zu untersuchen, ob und welchen Einfluß die Cetanzahl auf die Leistung des Motors, insbesondere auf dessen Wirkungsgrad hat.

Versuchseinrichtung:

Die Versuche wurden am I.G.-Prüfdiesel 1 durchgeführt. Die angewandten Betriebsbedingungen sind:

Drehzahl	900 U/min
Einspritzmenge	37 cm ³ /Spiel
Einspritzbeginn	20° Kw.v.o.T.
Kühltemperatur	100°C

Zur Messung des Druckverlaufes wird ein piezo-elektrischer Indikator verwendet. Zündverzug, Druckanstieg, Kompressionsdruck und Spitzendruck werden aus dem dynamisch geeichten Druckverlauf-Diagramm unmittelbar vom Leuchtschirm der Braun'schen Röhre abgelesen. Die Druckeichung erfolgte mittels eines DVL-Druckmessers. Es sind weiterhin noch Anspufftemperatur hinter dem Anlaßventil und die Leistung gemessen worden.

Die chemisch-physikalischen Daten der verwendeten Kraftstoffe sind in Blatt 1 und 2 mitgeteilt.

Versuchsdurchführung:

Die Versuche wurden in zwei Versuchsreihen nach den beiden zur Cetanzahlbestimmung verwendeten Zündverzug-Verfahren durchgeführt.

Bei der ersten Versuchsreihe wird die Verdichtung konstant gehalten und der Zündverzug in Cetanzahlen geeicht. Dieses Verfahren ist das ursprüngliche Zündverzug-Meßverfahren.

Bei der zweiten Versuchsreihe wird die Verdichtung verändert und der Zündverzug konstant gehalten. Dieses Verfahren wird am I.G.-Prüfdiesel und an der

CFR-Maschine angewandt.

1.) Verdichtung konstant, Zündverzug veränderlich.

Die Versuchsreihe wurde mit Mischungen von RCH-Diesöl (Fischer-Gasöl) und technischem α -Methylnaphthalin durchgeführt. Es konnte damit bei der eingestellten Verdichtung von $\xi = 15:1$ im Bereich von 90 bis 30 Cetanzahlen gefahren werden. Die erhaltenen Ergebnisse sind auf Blatt 3 aufgezeichnet.

Der Zündverzug steigt mit geringer werdender Cetanzahl zunächst langsam, dann immer rascher an und wird schließlich so groß, daß keine Zündung mehr erfolgt und die Dieselmachine stehen bleibt. Bei Cetanzahl 90 beträgt der Zündverzug 12° Kw. und ist bis CZ 60 erst um 4° auf 16° Kw. angestiegen. Bei Cetanzahl 30 beträgt er mehr als 30° . Es herrscht also keine lineare Abhängigkeit zwischen Zündverzug und Cetanzahl. Nimmt man an, daß der Zündverzug nur auf $1/2^\circ$ Kw. gemessen werden kann, was übrigens schon recht gut ist, so ist die Meßgenauigkeit im oberen Cetanzahlbereich nicht befriedigend, denn ein Kraftstoff mit CZ 80 kann zwischen den Grenzen CZ 70 und 90 gemessen werden. Es besteht also die Möglichkeit, sich um ± 10 CZ zu täuschen. Der günstigste Meßbereich liegt zwischen 40 und 60 CZ. Das ist annähernd der Bereich, in dem alle handelsüblichen Dieselkraftstoffe liegen. Der Zündverzug ändert sich in dieser Spanne von $15,5^\circ$ Kw. bei 60 CZ auf $22,5^\circ$ bei 40 CZ, also um 7° Kw., wodurch man auf etwa 1 CZ genau messen kann. Bei Cetanzahlen unter 40 läuft die Maschine zu ungleichmäßig, da der Zündverzug schon zu groß wird. Der Zündbeginn fällt bereits in den Expansionshub und kann mittels Quarzindikators nicht mehr genau genug bestimmt werden.

Die Cetanzahlbestimmung beim Verfahren mit dieser Verdichtung und veränderlichen Zündverzug kann also nur dort angewandt werden, wo man lediglich die heute auf dem Markt üblichen Kraftstoffe prüfen will. Kraftstoffe, die unter 40 oder über CZ 60 liegen, können nach diesem Verfahren nicht mehr befriedigend un-

tersucht und beurteilt werden.

Der Druckanstieg $dp/d\phi$ ändert sich mit dem Zündversug und erreicht seinen höchsten Wert, wenn die Zündung in der Nähe des oberen Totpunktes stattfindet, das ist um CZ 50 herum. Bei den leichtzündenden Kraftstoffen steigt er in gleicher Weise wie der Zündversug langsam an von 6 at/^oKw. bei CZ 90 bis auf 2,5 at/^oKw. bei CZ 50 und fällt dann, da die Zündung schon im Expansionshub stattfindet, wieder ab. Aus dem Druckanstieg allein die Cetanzahl zu bestimmen, ist damit bei feststehender Verdichtung unmöglich. Damit sind die Meßmethoden, die aus dem Druckanstieg die Cetanzahl messen wollen, z.B. mittels Springstab, nicht befriedigend.

Der Spitzendruck ändert sich mit kleiner werdender Cetanzahl nur wenig, solange die Zündung vor oder noch kurz hinter dem Totpunkt erfolgt. Der Spitzendruck ist im wesentlichen ^{an} durch die bis zum Totpunkt verbrannte Kraftstoffmenge bestimmt, die sich nur wenig geändert hat. Der Heizwert der bis zum Totpunkt eingespritzten Kraftstoffmenge erhöht sich mit fallender Cetanzahl etwas, da das zum Fischeröl hinzugemischte α -Methylnaphthalin um etwa 17 % höheren Heizwert hat, was sich naturgemäß im Spitzendruck auswirken muß. Der Spitzendruck ist mit 35 bis 40 at wegen des geringen Verdichtungsdruckes von 25 at bei $\epsilon = 13:1$ verhältnismäßig niedrig.

Die Auspufftemperaturen ändern sich verhältnismäßig ^{stärker} ~~niedriger~~ und steigen im Bereich von CZ 90 bis CZ 35 von 300 bis 350^oC. Die Auspufftemperaturen sind verhältnismäßig niedrig, da die Maschine nur mit halber Last läuft.

Auf dem gleichen Blatt 5 sind noch die Bremsleistungen während des Versuches aufgetragen. Die Leistung steigt mit fallender Cetanzahl und betrug bei CZ 90 etwa 2 PS und bei CZ 40 etwa 3 PS. Aus diesen großen Unterschieden ergibt sich, daß eine schlechtere Cetanzahl bzw. ein größerer Zündversug wesentlich bessere Leistung bei konstanter Verdichtung ergeben kann, was auch im praktischen Fahrbetrieb mit einem Lastwagen schon öfter festgestellt wurde.

2.) Zündverzög konstant, Verdichtung verändert.

Diese Versuche wurden mit Mischungen unserer Bezugskraftstoffe Badisches Gasöl und Steinkohlennittelöl und zum Vergleich mit der ersten Versuchsreihe wieder mit Mischungen von RCH-Dieselöl und techn. α -Methylnaphthalin durchgeführt.

Aus Blatt 4,5,6 und 7 sind die Ergebnisse dieser Versuche und aus Blatt 8 einige Druckverlauf-Diagramme ersichtlich. Da die Versuche mit RCH-Dieselöl ziemlich das gleiche ergeben wie diejenigen mit bad.Gasöl, werden nachstehend nur die letzteren hier ausführlich behandelt. Die Mischungen von bad.Gasöl und Steinkohlendieselöl sind auf Blatt 4 in Cetanzahlen aufgetragen, und es ist weiterhin noch die Verdichtungskurve aufgezeichnet. Die Verdichtungskurve gibt für konstanten Zündverzög die Abhängigkeit zwischen Verdichtungsstellung und der entsprechenden Mischung von bad.Gasöl und Steinkohlennittelöl wieder. Diese Verdichtungskurve ist ebenso wie die Cetankurve mit großer Annäherung eine gerade Linie, da zwischen Cetanzahl und der Verdichtungsstellung in mm Zylinderkopfverstellung praktisch eine lineare Abhängigkeit besteht. Dies ist mechanisch eine große Erleichterung und hilft die Messgenauigkeit zu steigern. Die lineare Abhängigkeit ergibt sich, wenn die Cetanzahl-Skala und der Betriebszustand des I.G.-Prüfdiesels aufeinander abgestimmt sind. Der Zusammenhang zwischen Verdichtung, ausgedrückt in mm Zylinderkopfverstellung und in Verhältniszahlen ist auf Blatt 5 aufgezeichnet.

Blatt 6 gibt die weiteren bei den Messungen erhaltenen Werte wieder.

Der Druckanstieg steigt ziemlich gleichmäßig mit geringerer Cetanzahl an und erreicht etwa 20 at/^oKw. bei 20 CZ gegenüber 10 at/^oKw. bei 60 CZ. Bei gleichem Zündverzög ist damit wegen des steileren Druckanstieges der Beginn der Zündung von den niederen Cetanzahlen leichter zu bestimmen als von den Kraftstoffen hoher Cetanzahl.

Es kann aber auch der Druckanstieg bei gleichbleibendem Zündverzögerung als Maß für die Güte eines Kraftstoffes verwendet werden, wobei sich unter Umständen eine andere Bewertungsfolge ergeben kann als bei der Cetanzahl-Prüfung auf Grund des Zündverzögerunges. Für eine genaue Bewertung des Kraftstoffes ist es notwendig, sowohl eine Cetanzahl für die Beurteilung nach dem Zündverzögerung als auch nach dem Druckanstieg anzugeben. Wie groß die Unterschiede zwischen beiden auf diese Weise gemessenen Cetanzahlen sind, soll in einem späteren Bericht noch näher untersucht werden.

Kompressionsdruck und Spitzendruck ändern sich verhältnismäßig stark bei der Cetanzahlmessung. Der Verdichtungsdruck steigt von 20 at bei CZ 60 auf etwa 40 at bei CZ 20, was einem großen Verdichtungsgebiet von $\epsilon = 11:1$ bis $\epsilon = 22:1$ entspricht und für unsere Messungen sehr erwünscht ist. Für die besser zündenden Kraftstoffe ist eine kleinere Drucksteigerung und damit auch eine geringere Temperaturerhöhung der Verdichtungsluft notwendig, als bei den schlechter zündenden Kraftstoffen, um z.B. 10 Cetanzahlen Unterschied zu messen. Im Bereich von 60 zu 50 CZ ändert sich hierbei der Verdichtungsdruck nur um 2 at im Bereich von 20 bis 30 CZ dagegen bereits um 10 at bei einer entsprechenden Temperaturerhöhung. Der Zustand der Kompressionsluft errechnet sich bekanntlich nach folgenden Formeln:

$$T_c = T_1 \cdot \epsilon^{n-1} \quad \text{und}$$

$$p_c = p_1 \cdot \epsilon^n,$$

worin T_1 und p_1 den Zustand der Ansaugluft zu Beginn der Verdichtung bedeuten.

Die Cetanzkala ist, wie sich hieraus ergibt, nicht linear, sondern bei den hohen Cetanzahlen sind die Abstände der Cetanzahlen wesentlich kleiner als im niederen Bereich. Ein Unterschied von 1 CZ bei CZ 20 entspricht, bezogen auf gleiche Kompressionsdruckerhöhung, etwa 5 Cetanzahlen Unterschied bei CZ 60. Es ist deshalb leichter, im tieferen Bereich ^{bis} auf eine Cetanzahl genau zu mes-

sen als im oberen. Allerdings kommt den hohen Cetanzahlen im Motor auch keine so große Bedeutung zu wie den niederen Cetanzahlen, so daß es wesentlich wertvoller ist, im unteren Bereich genau zu messen.

Der Spitzendruck liegt nahezu parallel über dem Verdichtungsdruck. Er steigt gegen die niederen Cetanzahlen nur deshalb etwas rascher an als der Verdichtungsdruck, da bei jenen der Heizwert der eingespritzten Kraftstoffmenge etwas höher ist. Der Heizwert von Steinkohlenmittelöl ist räumlich um $\frac{3}{4}$ % höher als der von badischem Gasöl.

Die Auspufftemperaturen ändern sich bei konstantem Zündversug und veränderlicher Verdichtung praktisch nicht.

Die Leistung fällt linear mit der Cetanzahl etwas ab, was zum Teil darauf zurückgeführt werden kann, daß die Mischungen mit geringerer Cetanzahl, wie bereits erwähnt, einen höheren Heizwert haben. Aber da die Leistung mehr ansteigt als der geringen Erhöhung des Heizwertes entspricht, so folgt auch hier wieder, daß eine geringere Cetanzahl eine etwas günstigere Leistung ergibt als eine hohe Cetanzahl. Dies wird auch bestätigt durch die etwas niederen Auspufftemperaturen bei niederen Cetanzahlen. Daß Kraftstoffe geringer Cetanzahl eine etwas höhere Leistung ergeben, kommt von der höheren Temperatur der Verbrennungsgase im Zeitpunkt der Entzündung im Totpunkt her. Die höhere Temperatur drückt sich auch im steileren Druckanstieg aus. Wie aus dem Wärmediagramm bekannt, steigt der thermische Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine mit der Temperatur der Verbrennungsgase zu Beginn der Expansion. Um guten Wirkungsgrad des Dieselmotors zu haben, ist es demnach notwendig, mit hohem Druckanstieg, d.h. mit verhältnismäßig langen Zündversug zu arbeiten. Das bedeutet, daß ein Dieselmotor möglichst mit Kraftstoffen derjenigen Cetanzahl betrieben werden soll, für die er gebaut wurde.

Bei einem Vergleich der in den zwei Versuchsreihen angewandten Zündversug-

Verfahren zur Cetanzahlbestimmung ergibt sich:

Beim Verfahren mit fester Verdichtung und veränderlichem Zündverzug ist die Meßgenauigkeit nur auf einen verhältnismäßig kleinen Meßbereich zufriedenstellend. Kraftstoffe von niedriger und hoher Cetanzahl unter 30 und über 70 können nicht mehr gemessen werden.

Beim Verfahren mit festem Zündverzug und veränderlicher Verdichtung muß am Motor die Verdichtung ständig verstellt werden, jedoch ist dadurch die Meßgenauigkeit über einen wesentlich größeren Cetanzahlbereich noch zufriedenstellend. Es können Kraftstoffe mit Cetanzahl unter 20 noch gemessen werden.

Anlagen: 2 Blatt Analysen
5 Kurvenblätter
1 Blatt Druckverlauf-Diagramme.

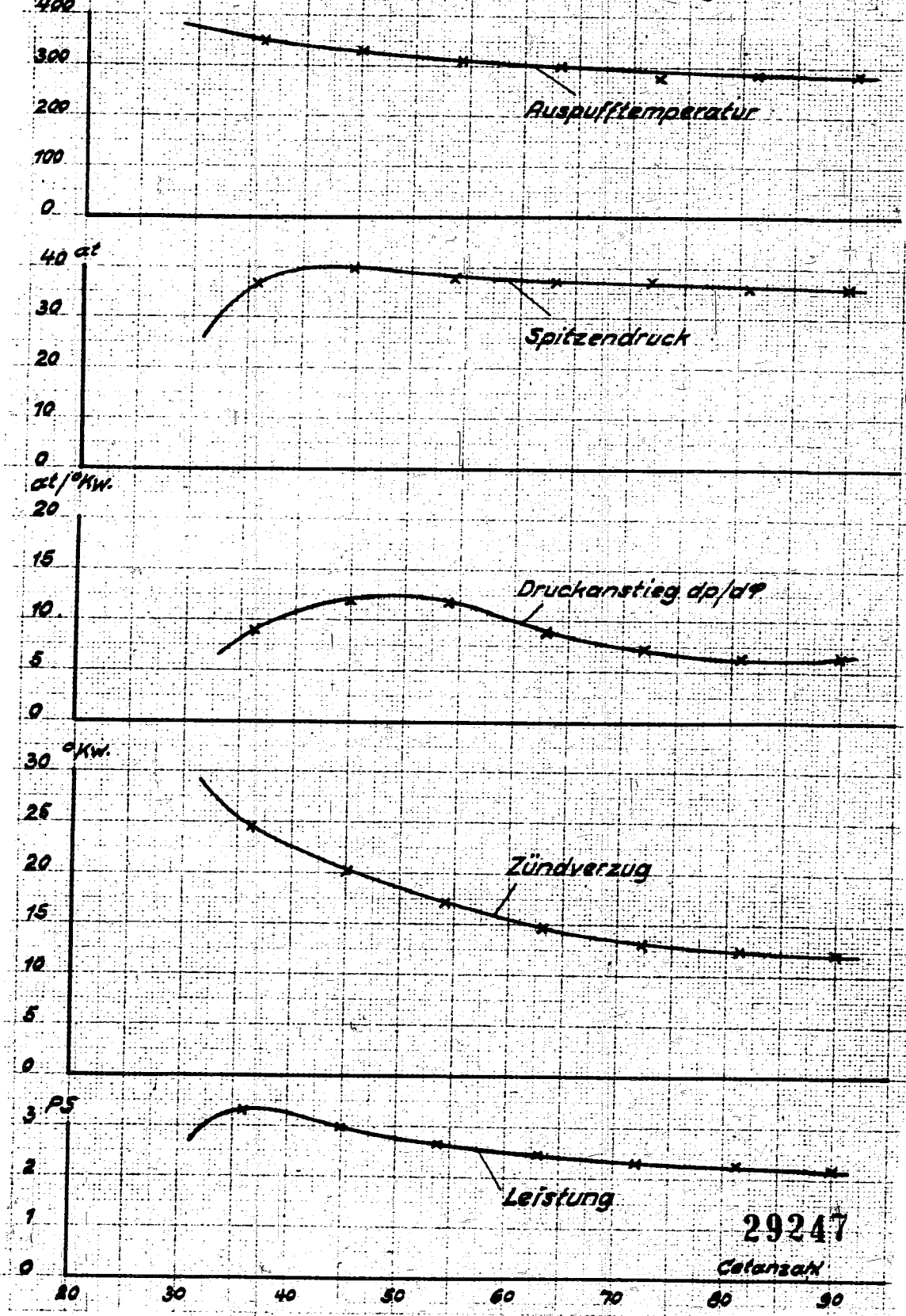
M/1

Röhler,

Kraftstoff:	425 RCH - Dieselöl	Techn. α -Methyl- naphthalin
Spez. Gewicht	0,776	1,020
Viskosität bei 20°C in ost.	2,86	3,12
Siedegrenze (5 % und 95 %-Punkt)	218-318	244-247
Kennziffer + Fraktionsziffer	257±49	245± 1
Kristallisationspunkt °C	-8	<-30
Flammpunkt °C	91	116
Brennpunkt °C	102	132
Elementaranalyse:		
% C	84,29	92,3
% H	15,10	(7,1)
% S	0,01	-
Heizwert H_u	10 500	9300
Cetanzahl CZ	90	0
Conradsontest ‰	0,0	0,002
Asche ‰	0,0	0
Phenole ‰	0	0
Anilinpunkt	86,6	-48
Jodzahl (Hanus)	13,1	1,0

Kraftstoff:	D 350 Bad.Gasöl	D 349 Steinkohlen- mittelöl
Spez.Gewicht	0,853	0,965
Viskosität bei 20°C in est.	12,3	4,96
Siedegrenze (5 %- und 95 %-Punkt)	307-375	235-300
Kennziffer ± Fraktionsziffer	332±32	263±30
Kristallisationspunkt °C	-14	unter -30
Flammpunkt °C	148	102
Brennpunkt °C	183	115
Elementaranalyse:		
% C	86,53	88,64
% H	13,49	9,56
% S	-	0,076
Heizwert H _u	10 246	9 273
Cetanzahl CZ	60	5
Conradsontest ‰	0,011	0,056
Asche ‰	0,005	0,029
Phenole ‰	0	0,4
Anilinpunkt	85,4	-17
Jodzahl (Hanus)	5,60	17,4

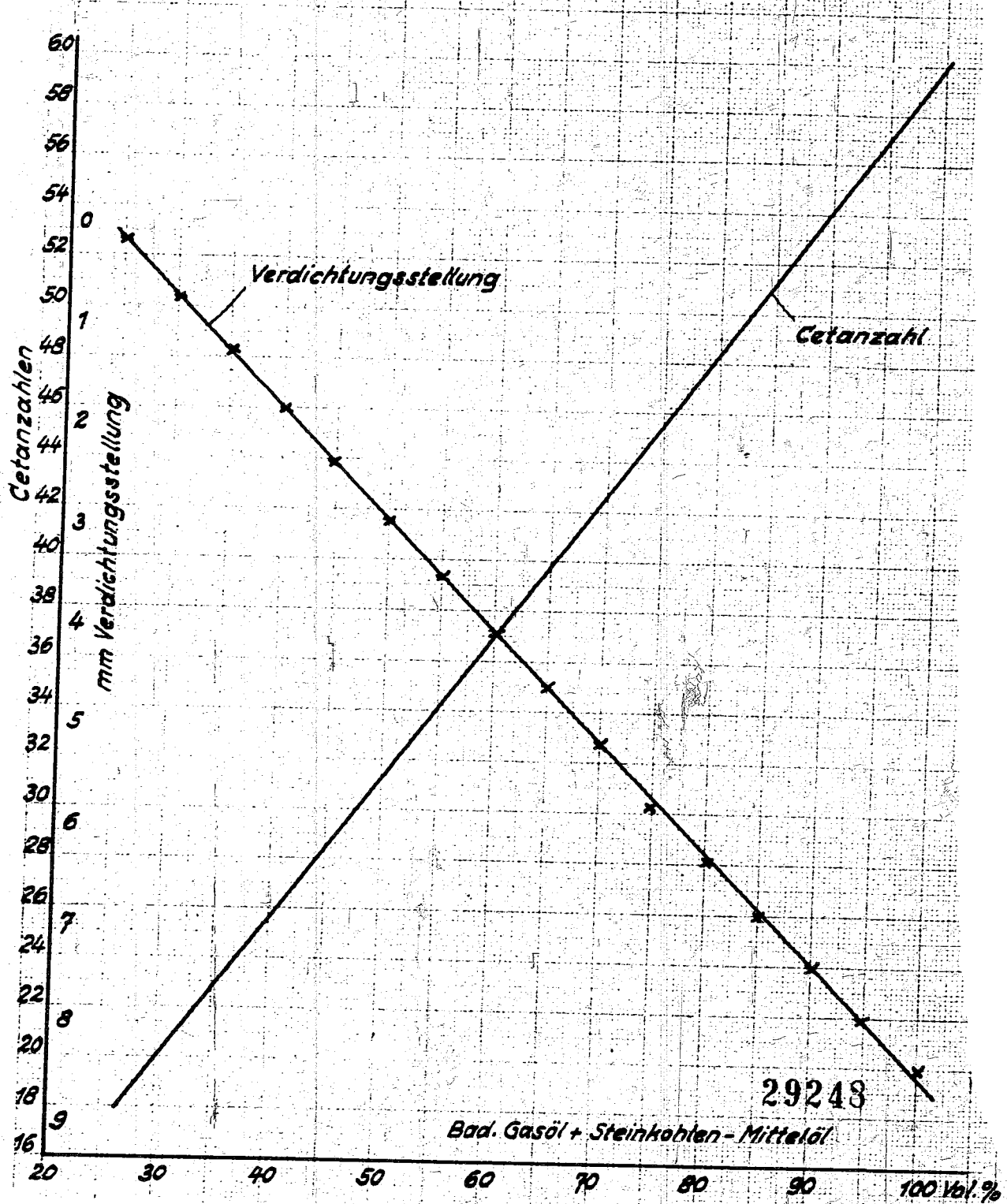
1.) Verbrennungsablauf bei konst. Verdichtung



29247

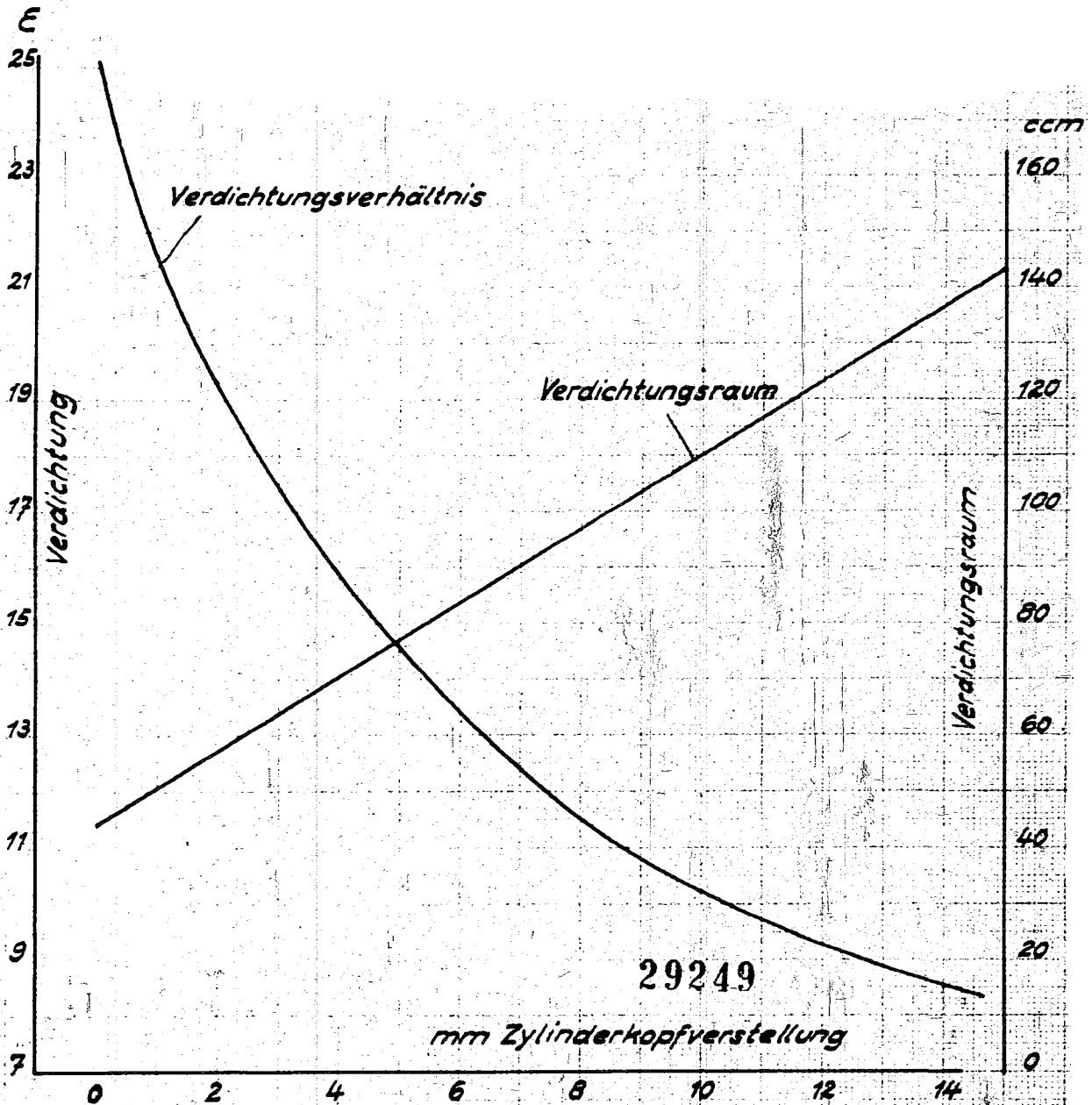
Cetanzahl

Die Bedeutung der Cetanzahl Eichkurven am J.G. Prüfdiesel I.

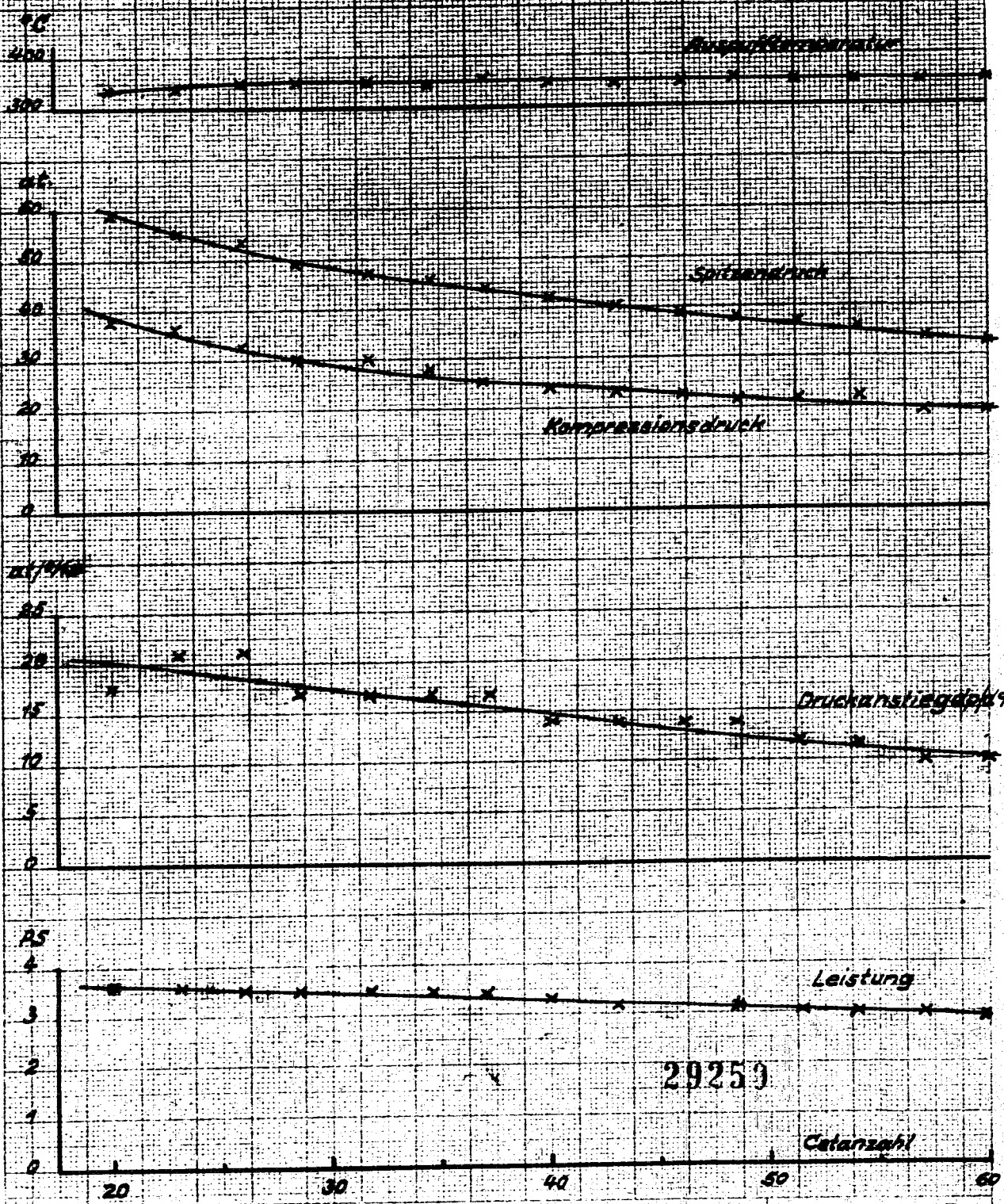


Die Bedeutung der Cetanzahl

Verdichtungskurven am J. G. Prüfdiesel I

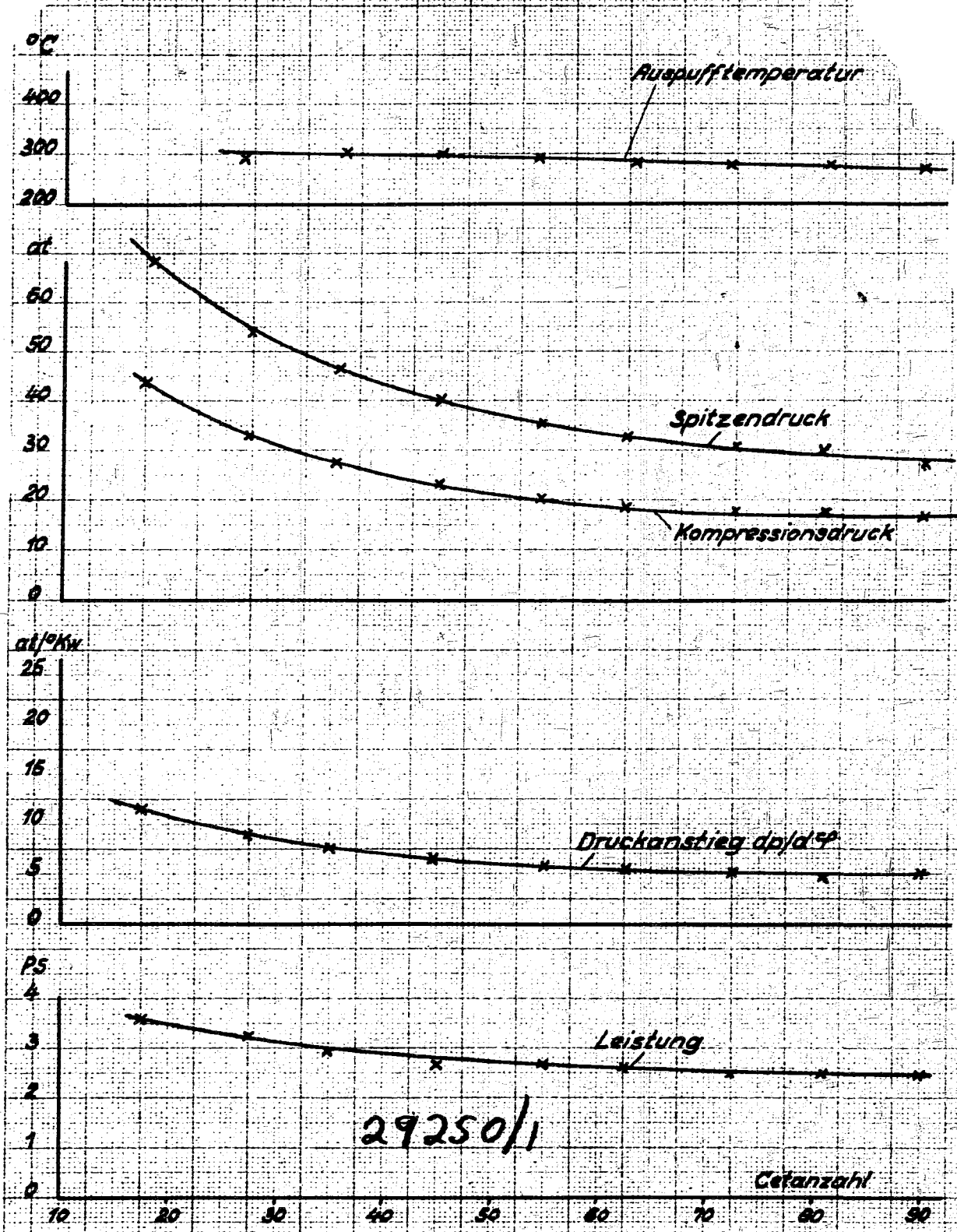


2) Verbrennungsablauf bei konst. Zündverzögerung
Verdichtungsverhältnis
v. Ben. Gem. u. Nennwert - Mittelwert



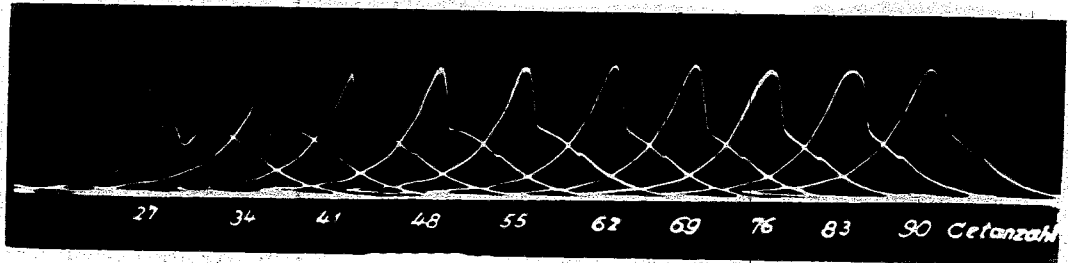
29259

2.) Verbrennungsablauf bei konst. Zündverzug
b.) Verdichtung verändert
für RCH Dieselöl u. techn. Methyl-Naphtalin

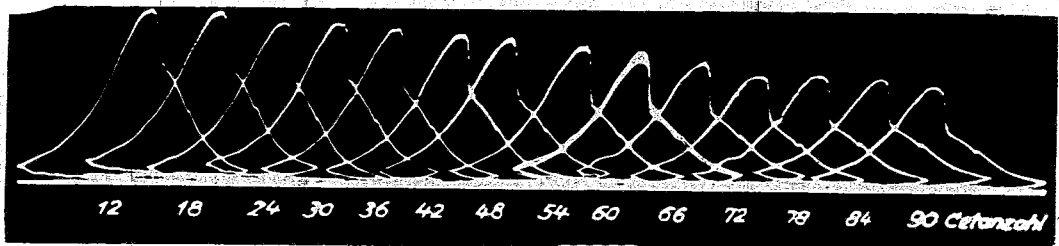


29250/1

Bedeutung der Cetanzahl



Druckverlauf bei konstanter Verdichtung,
Zündverzögerung veränderlich



Druckverlauf bei konstantem Zündverzögerung,
Verdichtung veränderlich

29251/2