

Bericht Einfluß von Einspritzmenge,
Lufttemperatur, Drehzahl und Zustand
der Auslässe auf den Verbrennungsablauf
in der Dieselmachine.

Technischer Prüfstand Op.

Nr. 386

Verfasser Dipl. Ing. Köhler

Tag 5. Juni 1939

Fach 17
I-107

Gesehen von der Direktion

Zur Kenntnis an:

Empfänger	Ein- gang	Weiter	Unterschrift
25252			

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rh.
Techn. Prüfstand Op 200
Bericht Nr. 386

-0-

B e r i c h t

über

den Einfluß von Einspritzmenge, Kühltemperatur, Drehzahl und Zustand der Ansaugluft auf den Verbrennungsablauf in der Dieselmachine.

29253

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
Zusammenfassung	1
Zweck der Versuche	2
Versuchsdurchführung	2
Versuchsergebnisse	3
Der Einspritzzeitpunkt	3
Die Einspritzmenge	3
Die Kühltemperatur	5
Einfluß der Drehzahl	6
1.) Drehzahl veränderlich, Verdichtung konstant	6
2.) Verdichtung verändert, Drehzahl 700,900 u. 1100 U/min	8
Ansaugluft	10
1.) Vorwärmung der Ansaugluft	10
2.) Druck der Ansaugluft	11

B e r i c h t

über

den Einfluß von Einspritzmenge, Kühltemperatur, Drehzahl und Zustand der Ansaugluft auf den Verbrennungsablauf in der Dieselmachine.Zusammenfassung:

Die im Bericht Nr.363^{*)} begonnenen Untersuchungen über den Einfluß der motorischen Betriebsbedingungen auf den Verbrennungsablauf in Dieselmotor werden fortgesetzt. Der große Einfluß des Einspritzzeitpunktes, des Zündzeitpunktes und der Verdichtung wurde dort bereits festgestellt. Die in diesem Bericht mitgeteilten Versuchsergebnisse prüfen den Einfluß ^{der} von/bei jedem Arbeitsspiel eingespritzten Kraftstoffmenge, von Kühltemperatur, Drehzahl und der Temperatur ^{sowie} ~~und~~ des Druckes der Ansaugluft.

Die je Arbeitsspiel eingespritzte Kraftstoffmenge, entsprechend verschiedenen langer Einspritzzeit, wirkt sich auf Zündverzug, Druckanstieg und Verbrennungsdruck nur unwesentlich aus. Die Auspufftemperaturen ändern sich dagegen ziemlich stark. Die Restgase haben scheinbar keinen wesentlichen Einfluß auf den Verbrennungsablauf, was bei den in Dieselmotor üblichen hohen Verdichtungen nicht überrascht. Die Kühltemperatur hat auf den Verbrennungsablauf wesentlichen Einfluß. Der Zündverzug wächst mit niedriger Kühltemperatur ziemlich stark an. Auch Druckanstieg und Spitzendruck werden hierdurch verändert. Die Laufeigenschaften des Dieselmotors werden günstiger mit höherer Kühltemperatur

Die Drehzahl wirkt sich sehr stark auf den Verbrennungsablauf aus. Der Zündverzug wird in Kurbelgrad gemessen, umso kleiner, je niedriger die

^{*)} "Druckverlauf in der Dieselmachine", von Herrn Dipl.-Ing.Köhler.

die Drehzahl wird und nimmt in linearer Abhängigkeit mit der Drehzahl ab. Zeitlich gemessen ergibt sich der größte Zündverzug bei niederen Drehzahlen, jedoch ist hier der Einfluß nicht so stark ausgeprägt. Druckanstieg und Spitzensteigen-
druck nehmen im allgemeinen mit/der Drehzahl ab; das läßt darauf schließen, daß die Verbrennungsgeschwindigkeit sich nicht/verändert und sich nur wenig wesentlich
der Kolbengeschwindigkeit anpasst. Der Zustand der Ansaugluft wurde gleichfalls untersucht. Durch eine Steigerung der Temperatur können die Laufeigenschaften schlechtzündender Dieselöle etwas verbessert werden. Das gleiche kann erreicht werden durch Aufladen, während durch Drosseln der Ansaugluft der Zündverzug größer wird.

Zweck der Versuche:

Im Bericht Nr. 363 wurden bereits die Ergebnisse von Versuchen mitgeteilt, bei denen der Einfluß von Einspritzzeitpunkt, Zündzeitpunkt und Verdichtung auf den Verbrennungsablauf in der Dieselmachine untersucht wird. In den nachstehenden Versuchen soll der Einfluß von weiteren motorischen Betriebsbedingungen auf den Verbrennungsablauf am I.G.-Prüfdiesel gemessen werden.

Versuchsdurchführung:

Die Versuche wurden am I.G.-Prüfdiesel durchgeführt. Der Druckverlauf wurden mit einem piezo-elektrischen Indikator, der mittels DVI-Druckmesser dynamisch geeicht war, gemessen und der Druckanstieg $dp/d\tau$ aus dem Druckverlauf-Diagramm bestimmt. Die Versuche wurden bei nachstehenden Betriebsbedingungen durchgeführt:

Drehzahl
Einspritzung
Einspritzbeginn
Kühltemperatur

900 U/min
37 mm³/Spiel
20° v.o.T.
100°C.

Bei den Versuchen wurde jedesmal eine Betriebszustandsgröße verändert.

um deren Einfluß messen zu können, und die anderen konstant gehalten.

Es wurden untersucht:

Einfluß von Einspritzmenge,
Kühltemperatur,
Drehzahl und
Zustand der Ansaugluft.

Bei den Versuchen wurden folgende Kraftstoffe verwendet:

Bad. Gasöl D 350	Cetanzahl 61
Amerik. Gasöl D 424	" 46
Steinkohlendieselöl 721 H	" 37
Braunkohlennittelöl D 369	" 28
Steinkohlennittelöl D 349	" 5

Bad. Gasöl und Steinkohlennittelöl, - beide sind Bezugskraftstoffe bei der Cetanzahlmessung - wurden auch in Mischung verwendet.

Die Analysenergebnisse sind aus Blatt 1-4 ersichtlich.

Versuchsergebnisse:

Der Einspritzzeitpunkt.

Es wurde bereits festgestellt, daß kleine Änderungen des Einspritzzeitpunktes von 1 und 2 Kurbelgrad auf die Länge des Zündverzuges praktisch keinen Einfluß haben, solange die Zündung nahe am Totpunkt erfolgt, daß aber Druckenstiege und Spitzendruck stärker verändert werden. Kleine Schwankungen des Einspritzzeitpunktes haben somit noch keinen Einfluß auf die Genauigkeit der Cetanzahlmessung.

Die Einspritzmenge.

Um den Einfluß der eingespritzten Kraftstoffmenge auf den Verbrennungsablauf zu bestimmen, wurde die Pumpe so eingestellt, daß 120 %, 100 % und 86 % der in der Betriebsvorschrift angegebenen Kraftstoffmenge eingespritzt wurden. Die hierbei für Steinkohlendieselöl und Gasöl erhaltenen Werte sind auf Blatt 5 und 6 für den Verdichtungsbereich von $\xi = 25:1$ bis $\xi = 13:1$ aufgetragen.

Der Zündverzug ist bei beiden Kraftstoffen nahezu unabhängig von der eingespritzten Kraftstoffmenge. Beim Steinkohlendieselloil wurde überhaupt kein Unterschied gemessen. Gasöl zeigt eine geringe Abhängigkeit von der Einspritzmenge derart, daß mit größerer Menge der Zündverzug kleiner wird. Der Unterschied beträgt 1 Kurbelgrad. Die Tatsache, daß sich der Zündverzug so wenig von der Einspritzmenge beeinflussen läßt, kommt daher, daß die Einspritzzeit wesentlich länger als der Zündverzug ist. Der zuletzt eingespritzte Kraftstoff gelangt bereits in die Flamme und wirkt sich in der Leistung aus. Es kann sich noch ein kleiner Einfluß auf die Zylinderwandtemperatur und auf die Temperatur der Restgase bemerkbar machen. Diese werden bei ~~größerer~~ ^{längerer} Einspritzung und bei langsamerer Verbrennung des Kraftstoffes stets etwas höher sein und hierdurch den Zündverzug geringfügig verkürzen. Jedoch wirkt sich dies an dem hochverdichtenden Dieselmotor wenig aus.

Der Druckanstieg wird ebenfalls von der eingespritzten Kraftstoffmenge wenig verändert, da der Druckanstieg in der Hauptsache eine sekundäre Erscheinung des Zündverzuges ist, der sich ja kaum verändert hat.

Der Spitzendruck wird ebenfalls wenig von der Kraftstoffmenge beeinflusst. Beim Gasöl konnte eine Abhängigkeit nicht festgestellt werden. Beim Steinkohlendieselloil stieg der Spitzendruck mit größer werdender Einspritzmenge. Im allgemeinen ist die bis zum Totpunkt eingespritzte und verbrannte Kraftstoffmenge für die Höhe des Spitzendrucks maßgebend. Bis zum Totpunkt wurde stets die gleiche Menge eingespritzt, da der Einspritzbeginn fast auf 20° v.c.T. eingestellt war. Der danach eingespritzte Kraftstoff wirkt sich erst nach dem Totpunkt, also im Expansionshub aus und kann den Spitzendruck nur wenig beeinflussen. Beim Steinkohlendieselloil ist, wohl wegen der rascheren Verbrennung, der Einfluß stärker als beim Gasöl.

Die Auspufftemperaturen werden durch die Einspritzmenge jedoch stark ver-

ändert. Der Unterschied beträgt hier über 75°C und ist dem Verhältnis der Einspritzmengen nahezu gleich.

Die Einspritzmenge hat also auf Zündverzögerung, Druckanstieg und Spitzendruck bei den am I.C.-Prüfdiesel angewandten Betriebsbedingungen keinen wesentlichen Einfluß und wirkt sich lediglich in Leistung und Auspufftemperatur aus.

Die Kühltemperatur

Die nächste Versuchsreihe soll die Änderung des Verbrennungsablaufes im Prüfdiesel aufzeigen, wenn die Kühltemperatur sich ändert. Die 3 Kraftstoffe

Gasöl,
Steinkohlendieselöl und
Braunkohlennittelöl

wurden zunächst bei 100°C Kühltemperatur bei gleichem Zündverzögerung gefahren und die hierfür notwendige Verdichtung bestimmt. Bei diesen Verdichtungen wurde dann der Verbrennungsablauf auch bei 60 und 140°C beobachtet. Auf Blatt 7 sind die erhaltenen Ergebnisse aufgetragen.

Die Kühltemperatur hat auf die Verbrennung wesentlichen Einfluß.

Der Zündverzögerung ändert sich im Bereich von 140 bis 60°C um etwa 7 Kurbelgrade, was beträchtlich ist. 10°C Temperaturunterschied verursachen schon eine Änderung des Zündverzögerung um 1°Kw . bei der Cetanzahlmessung. Es ist deshalb die Kühltemperatur möglichst genau einzuhalten. Schwankungen über 5°C sind schon unzulässig. Am zweckmäßigsten ist deshalb die Siedekühlung, da hierbei die Kühltemperatur selbsttätig konstant gehalten wird.

Der Druckanstieg wird gleichfalls mit dem Zündverzögerung von der Kühltemperatur verändert. Der steilste Druckanstieg ist bei 100°C Kühlwassertemperatur, da hierbei die Zündung nahe am Totpunkt erfolgt. Bei höherer Kühltemperatur bleibt er praktisch gleich hoch, während er bei niedriger Kühltemperatur abfällt, da dann die Zündung erst im Expansionshub einsetzt.

Der Spitzendruck wird bei geringerer Kühltemperatur ebenfalls kleiner,

was durch den späteren Zeitpunkt des Zündbeginns nach a.F. bedingt ist. Umgekehrt ist er bei höherer Kühltemperatur geringfügig höher, da die Zündung bereits in Expansionshub einsetzt. Die bei den drei Kraftstoffen verschiedenen hohen Spitzendrücke sind durch die verschiedenen Verdichtungsstellungen bedingt.

Die Auspufftemperatur ist bei hoher Kühltemperatur am höchsten und nimmt bei Kühltemperaturen unter 60°C sehr rasch ab, was auf nur teilweise Verbrennung des Kraftstoffes und auf starke Abkühlung der Verbrennungsgase durch das Kühlwasser schließen läßt.

Einfluß der Drehzahl.

Der Einfluß der Drehzahl auf den Verbrennungsablauf wurde in 2 Versuchsreihen untersucht.

In der ersten wurde bei konstanter Verdichtung $\epsilon = 12:1$ und $\epsilon = 19:1$ die Drehzahl von 600 bis 1100 U/min verändert. Die je Arbeitsspiel eingespritzte Kraftstoffmenge wurde konstant gehalten.

In der zweiten wurde die Verdichtung geändert und mit 700, 900 und 1100 U/min gefahren. Es sollte hierbei beobachtet werden, wie stark sich die Drehzahl auf die Getanzahlmessung auswirkt.

1.) Drehzahl veränderlich, Verdichtung konstant.

Bei der ersten Versuchsreihe wurde die Verdichtung auf $15:1$ und $19:1$ eingestellt und hierbei die auf Blatt 8 aufgerechneten Ergebnisse mit Standardgasöl erhalten.

Der Zündverzug ist sowohl in $^{\circ}\text{Kv}$. als auch in $\frac{1}{1000}$ Sekunde aufgezeichnet. In Kurbelgrad gemessen wird er umso kleiner, je niedriger die Drehzahl wird. Er nimmt in linearer Abhängigkeit mit der Drehzahl ab. Für die Verdichtung $\epsilon = 15:1$ wurden bei $n = 1100$ U/min 28° Zündverzug gemessen, bei $n = 600$ U/min waren es nur noch 17 Kurbelgrad.

Zeitmäßig betrachtet, ist der Zündversug bei niederer Drehzahl größer als bei höherer. Die beiden Zündversugslinien für $\epsilon = 19:1$ und $15:1$, laufen, seitlich in Sekunden gemessen, einander nahezu parallel.

Es besteht heute die Forderung nach Schnellläufigkeit des Dieselmotors. Wie die Versuche auf Blatt 8 zeigen, nimmt mit steigender Drehzahl der Zündversug, gemessen in Kurbelgrad, stetig zu. Um nun mit der Drehzahl möglichst hoch zu gehen, muß der Zündversug in erträglichen Grenzen gehalten werden, was durch hohe Verdichtung, frühere Einspritzung, sünderwilligen Kraftstoff und durch sünderverbessende Mittel, wie Vor- oder Beikammer, oder durch chemische Peitschen erreicht werden kann.

Bei Verdichtung $15:1$ fällt der Druckanstieg, sobald die Zündung nach o.F. einsetzt, also wenn der Zündversug größer als 20° Kw. ist, rasch ab. Das ist zunächst dadurch bedingt, daß der Kolben schon wieder abwärts gleitet, und der Einfluß der Drehzahl braucht sich deshalb noch nicht so stark bemerkbar zu machen. Bei Verdichtung $\epsilon = 19:1$ ist das anders. Die Zündung setzt hier entsprechend dem kleineren Zündversug stets vor o.F. ein. Der Druckanstieg müßte also, entsprechend den früheren Feststellungen, je mehr der Zündzeitpunkt sich dem Totpunkt nähert, langsam ansteigen. Er nimmt jedoch mit Erhöhung der Drehzahl ständig ab. Anscheinend bleibt die Verbrennungsgeschwindigkeit stets gleich und nur die Kurbelgeschwindigkeit der Maschine wird geändert.

Der Spitzendruck wird bei Steigerung der Drehzahl ebenfalls geringer. Bei $\epsilon = 15:1$ nimmt er von über 50 auf nahezu 40 at ab, wenn man die Drehzahl von 800 auf 1000 U/min steigert. Bei $\epsilon = 19:1$ nimmt der Spitzendruck in diesem Bereich langsamer ab. Die Abnahme des Spitzendrucks ist z.T. dadurch bedingt, daß sich die Verbrennungsgeschwindigkeit der größeren Kolbengeschwindigkeit nicht anpasst z.T. aber auch durch die späte Zündung erst im Expansionshub. Wenn dieser Einfluß nicht vorhanden wäre, hätte sich der Spitzendruck über den ganzen Drehzahl-

bereich nur wenig verändern dürfen, da bei jedem Arbeitsspiel die gleiche Kraftstoffmenge eingespritzt wurde.

Die Auspufftemperaturen steigen mit wachsender Drehzahl stetig an, da die Wärmeabführung nicht mit der Drehzahl übereinstimmt.

2.) Verdichtung verändert, Drehzahl 700, 900 und 1100 U/min.

In der zweiten Versuchreihe sollte beobachtet werden, wie der Verbrennungsablauf bei verschiedenen Drehzahlen in Abhängigkeit von der Verdichtung ist. Der Prüfdiesel wurde hierbei bei den zur Cetanzahlbestimmung üblichen Betriebsbedingungen mit 700, 900 und 1100 U/min betrieben. Die bei den Versuchen erhaltenen Kurvenbilder sind aus Blatt 9, 10 und 11 ersichtlich. Der Verbrennungsablauf ist für Gasöl, Steinkohlendieselöl und Braunkohlennittelöl aufgetragen.

Der Zündverzug steigt mit steigender Drehzahl wieder stetig an. Die Zündverzug-Kurven liegen für die einzelnen Drehzahlen nicht parallel nebeneinander, sondern gehen bei geringerer Verdichtung langsam auseinander. Die für die Drehzahlen 700 und 1100 U/min gemessenen Zündverzugslinien schließen zudem beim zündwilligen Gasöl und Steinkohlendieselöl ein engeres Band ein als bei dem zündträgern Braunkohlennittelöl. Für die Einstellung von 18° Zündverzug ist beim Braunkohlennittelöl, wenn die Drehzahl 900 U/min beträgt, eine Verdichtung von $\epsilon = 18:1$ nötig, für den gleichen Zündverzug beträgt die Verdichtung für $n = 700$ U/min etwa $\epsilon = 16:1$ und für $n = 1100$ U/min ist diese etwa $20:1$. Das bedeutet, daß man bei Einhaltung des Zündverzuges von 18° Kw. bei kleinerer Drehzahl noch schlechter zündende Kraftstoffe prüfen kann, während dies bei höherer Drehzahl nicht mehr möglich ist, da dann die höchste einstellbare Verdichtung von $\epsilon = 25:1$ nicht mehr ausreicht. Um die untere Grenze des Betriebsbereiches, bei dem der Prüfdiesel noch mit schlecht zündenden Kraftstoffen laufen kann, noch weiter herabzusetzen, muß also die Drehzahl herabgesetzt werden.

Bei 600 U/min lassen sich dadurch noch Dieselöle mit Cetanzahl 10 untersuchen. Andererseits kann die Zündwilligkeit eines leicht ründenden Kraftstoffes genauer bestimmt werden, wenn die Drehzahl hoch ist, da sich hierbei der Zündversug stärker mit der Verdichtung ändert.

Der Druckanstieg wird ebenfalls bei kleiner Drehzahl höher als bei größerer. Beim Zündversug war es gerade umgekehrt. Die Drehzahl beeinflusst also den Druckanstieg wesentlich mehr als der Zündversug. Bei einer Drehzahlsteigerung von 700 auf 1100 U/min nimmt beim Braunkohlennittelöl und Steinkohlenn^{die}selöl der Druckanstieg um etwa 5 at/^oKw. auf weniger als 2/3 des Ausgangswertes ab. Bei Gasöl sind die entsprechenden Werte ähnlich. Das Band der $dp/d\varphi$ -Kurven ist jedoch nicht so breit wie bei den etwas schlechter ründenden Hydrierölen und erreicht auch nicht deren Höhe, was durch die kleineren Zündversüge bedingt ist.

Der Spitzendruck ist bei geringer Drehzahl etwas höher als bei größerer Drehzahl, wogegen der Kompressionsdruck kaum beeinflusst wird. Bei einer Drehzahlsteigerung von 700 auf 1100 U/min wurde im Prüfdiesel eine Erhöhung des Kompressionsdruckes von 1,5 at gemessen. Da bis zum Totpunkt jedesmal die gleiche Menge Kraftstoff eingespritzt wurde, - Einspritzbeginn wurde konstant auf 20^ov.o.T. gehalten - so sollte man zunächst bei jeder Drehzahl den gleichen Verbrennungsdruck erwarten. Daß bei kleiner Drehzahl der Verbrennungsdruck höher ist als bei größerer Drehzahl, rührt von Zündzeitpunkt her. Bei zu früher Zündung werden die Verbrennungsgase durch den aufsteigenden Kolben noch zusätzlich verdichtet und damit der Verbrennungsdruck noch gesteigert. Bei Gasöl, das den kleinsten Zündversug hat, ergibt sich aus diesem Grund ein breiteres Band der Spitzendrucklinien als beim Braunkohlennittelöl, wo der Zündversug so groß ist, daß die Zündung nahe am Totpunkt erfolgt und deshalb sich der Zündzeitpunkt nur noch wenig geltend machen kann. Bei jedem Kraftstoff läßt sich feststellen, daß

mit steigendem Zündverzug der Spitzendruck kleiner wird.

Die Auspufftemperaturen sind bei kleiner Drehzahl höher, was von der größten je Spiel eingespritzten Kraftstoffmenge herkommt. Bei der Versuchsreihe betrug die eingespritzte Kraftstoffmenge 50 ccm in 3 Minuten.

Aus dieser Versuchsreihe ergibt sich zusammenfassend, daß es für die Meßgenauigkeit nicht wesentlich ist, bei welcher Drehzahl die Diesellole untersucht werden. Bei kleinerer Drehzahl kann jedoch der Meßbereich des Prüfators gegen die schlechten Öle hin um etwas verbessert werden.

Ansaugluft.

Der Einfluß des Zustandes der Ansaugluft auf den Verbrennungsablauf wurde in 2 Versuchsreihen untersucht. In der ersten wurde die Temperatur verändert und in der zweiten der Druck in der Ansaugleitung.

1.) Vorwärmung der Ansaugluft.

Es sollte hierbei vor allem untersucht werden, wie weit sich der Meßbereich bei der Cetanzahlbestimmung am Prüfdiesel nach unten erweitert, wenn die Temperatur der Ansaugluft erhöht wird. Die Ansaugluft-Temperatur wurde zu diesem Zweck von 40 auf 70 und 100°C gesteigert. Auf Blatt 12 sind für Mischungen von den beiden Bezugs-Dieselskraftstoffen Rad.Gasöl (Cetanzahl 61) und Steinkohlennittel 152 (Cetanzahl 5) Druckverlauf und Verdichtungsstellung bei konstantem Zündverzug aufgezeichnet.

Die Verdichtungsstellung bildet in Abhängigkeit von der Mischung, 8 leicht abnehmend der Cetanzahlskala, bei 40 und 70°, parallel ansteigende Geraden. Die Temperatur von 40°C stellt sich von selbst ohne zusätzliche Aufheizung ein. Der gleiche Kraftstoff erfordert bei 40° Ansaugtemperatur eine höhere Verdichtung als bei 70°C. Demzufolge kann bei 70°C im Prüfdiesel bei höchster Verdichtung noch ein Kraftstoff entsprechend Mischung 16:84 mit Cetanzahl 12 untersucht werden, während bei 40°C nur bis 15 Cetanzahlen gemessen werden kann. Der Meß-

bereich kann also um 3 Cetansahlen nach unten erweitert werden. Eine Erhöhung der Ansaugtemperatur auf 100° bringt nicht mehr viel ein, wie die Kurve zeigt. Es kann wohl nach Steinkohlennittelöl rein gefahren werden, aber bei so hoher Vorwärmung ist eine genaue Cetanzahlmessung nicht mehr möglich, da die Maschine wegen Überhitzung nicht mehr genau arbeitet. Von 5 bis 25 Cetansahlen⁺⁾ ergab sich kaum noch ein Unterschied in der Verdichtung. Die Vorwärmung darf also nur bis etwa 80°C betragen, und es können dann Kraftstoffe bis herab zu 10 Cetansahlen untersucht werden. Der Druckanstieg ist bei 70°C höher als bei 40° und 100° Luftvorwärmung. Er wird also etwas von der Temperatur der Ansaugluft beeinflusst. Bei zu großer Vorwärmung wird die Verbrennung schlecht und der Druckanstieg unregelmäßig. Er steigt mit kleiner werdender Cetanzahl langsam an, was durch den größeren Gehalt an aromatischem Steinkohlennöl bedingt ist. Die Verdichtungsstellung muß mit schlechter werdender Cetanzahl höher gewählt werden, um den Zündverzögerung konstant zu halten. Der Kompressionsdruck und der Spitzendruck steigen entsprechend. Bei der Versuchsreihe mit 70° Vorwärmung sind diese wieder höher als bei 40 und 100°C .

Die Auspufftemperaturen sind über den ganzen Cetanzahlbereich gleich geblieben. Nur bei 100° Vorwärmung treten größere Schwankungen auf. Die Auspufftemperaturen werden von der Temperatur der Ansaugluft beeinflusst. Sie steigen etwa in gleicher Weise, wie die Ansaugluft angeheizt wird. Nur bei 100° Vorwärmung sind die etwas höher.

2.) Druck der Ansaugluft.

Die Ansaugleitung des Prüfdiesels wurde an einen großen Pufferbehälter angeschlossen und die notwendige Ansaugluft aus der Druckluftleitung des Werknetzes entnommen. Auf diese Weise war es leicht möglich, von 300 mm Hg Unterdruck auf 300 mm Hg Überdruck, entsprechend 460 bis 1060 mm Hg absoluten Druck, gemessen vor dem Einlaßventil, die Ansaugluft zu verändern. Diese Versuchsreihe⁺⁾ entsprechend 0 bis 35 % bad.Gasöl in Steinkohlennittelöl.

soll die Verbrennungsablauf-Verhältnisse wiedergeben, wie sie beim Drosseln und Überladen des Dieselmotors auftreten.

Die Versuche wurden wieder mit Mischungen von Bad.Gasöl und Steinkohlenmittelöl durchgeführt. Die Ergebnisse sind auf Blatt 13 aufgezeichnet. Auf Blatt 14 sind die Druckverlauf-Diagramme ersichtlich.

Die Zündverzugs-Kurven bilden für die verwendeten Kraftstoffe in Abhängigkeit vom Ansaugdruck eine Schar von Kurven, die mit geringer werdendem Ansaugdruck auseinandergehen. Die Kraftstoffe mit guter Zündwilligkeit werden von der Höhe des Ansaugdruckes verhältnismäßig wenig beeinflusst. Der Zündverzug wächst beim Bad.Gasöl im Bereich von 300 mm Hg. Überdruck bis 300 mm Hg Unterdruck nur um 4° Kw. von 6 auf 10° Kw. Bei den schlechter zündenden Kraftstoffen z.B. Mischung 40:60 mit Cetanzahl 26 steigt der Zündverzug schon viel rascher von $12,5$ auf 25° Kw; die noch zündträgern Mischungen zünden bei 300 mm Hg Unterdruck nicht mehr. Die Mischung 20:80 hatte bei 100 mm Unterdruck bereits 30° Zündverzug und die Mischung 10:90 ging auch bei 100 mm Überladung nicht. Durch Drosseln und Überladung der Ansaugluft ist es also sehr wohl möglich, eine genau arbeitende Meßmethode für die Cetanzahl-Prüfung zu erhalten. Wenn man den Zündverzug konstant auf 20° Kw. beläßt, so könnte man leicht von Cetanzahl 13 ab messen und auch die besseren Kraftstoffe noch genügend genau untersuchen. Der Verbrennungsablauf bei diesem Verfahren entspricht ¹⁰ doch nicht demjenigen bei veränderter Verdichtung.

Der Druckanstieg steigt entsprechend dem größeren Zündverzug an. Ebenso wie die Zündverzugs der besseren Dieselöle näher beieinander liegen als bei den schlechter zündenden Kraftstoffen, ist es auch beim Druckanstieg der Kraftstoffe. Bei den schlechteren Kraftstoffen, z.B. bei Mischung 40:60 und 20:80, ist der Druckanstieg sogar höher, als es nach dem Zündverzug zu erwarten wäre, was durch den größeren Gehalt an aromatischen Steinkohlenmittelöl bedingt ist.

Der Spitzendruck geht dem Kompressionsdruck annähernd parallel. Das Band, das von den Spitzendrucklinien von 100 bis 40:60-Mischung eingeschlossen wird, hat etwa 5 at Breite, was im wesentlichen durch den etwas größeren Heizwert der mehr aromatischen Mischungen bedingt ist. Auffallend ist die große Veränderung des Kompressionsdruckes durch den Ansaugdruck. Bei 300 mm Hg Aufladung beträgt er nahezu 60 at und fällt bis auf 25 at bei 300 mm Hg Drosselung ab.

Die Auspufftemperaturen hängen ebenfalls auffallend stark vom Druck der Ansaugluft ab. Bei 300 mm Drosselung steigen sie auf über 450°C und betragen bei 300 mm Aufladung nur 250°C . Durch Drosseln oder Aufladen wird das Gewicht der Luft im Zylinder stark geändert, die eingespritzte Kraftstoffmenge bleibt dagegen die gleiche. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch ist demgemäß stets ein anderes und damit müssen auch die Auspufftemperaturen andere sein. Bei Veränderung der Verdichtung bleiben die Auspufftemperaturen dagegen nahezu gleich. Die Drosselung und Aufladung sollten deshalb zur genauen Cetanzahlbestimmung nicht verwendet werden.

Anlagen: 4 Blatt Kraftstoff-Analysen
9 Kurvenblätter
1 Blatt Druckverlauf-Diagramme.

Röhler.

Nr. des Kraftstoffes Herkunft:	D 350 bad. Gasöl Op 381	- D 349 Teeröl 762 H Lu
Brennpunkt	183	115
Flammpunkt (o.F.)	148	102
Viskosität b. 20° in est.	12,3	4,96
Kristallisationsbeginn bei °C (Filtrierbarkeit)	- 4	unter -30
Stockpunkt	- 17	-
Asphalt %	0	0,494
Mit RCH-Öl gemischt, Ausscheidung ?	nein	Ja
Asche %	0,005	0,029
Conradsontest %	0,01	0,056
Elementaranalyse:		
% C	86,53	88,64
% H	13,49	9,56
% S	-	0,076
% O	0,03	1,12
Unterer Heizwert H_u	10 246	9 273
Cetenzahl	61	5
Brechung n D/20	1,4767	1,545 ¹⁾
Spez. Gew. 20/4 vor Sulfierung	0,853	0,965
Siedegrenze (5 %- und 95 %-Punkt)	307-375	235-300
Kennziffer + Fraktionenziffer	332+32	263+30
Mittl. Siedepunkt (50 %-Punkt)	327	260
Mittl. Molekulargewicht aus mittl. Siedepunkt	270	200
Allgemeine Formel	$C_n H_{2n+14,2}$	$C_n H_{2n-9,00,16}$
Jodzahl		
1) nach Kanus (40 Min.)	5,60	17,4
2) aus Bromzahl nach Ithney (40 Min.)	0,16	23,4

- 1) wegen der starken Farbe des Öles nicht genau.
 2) einschl. substituierten Br.: 9%

Nr. des Kraftstoffes: Herkunft:	D 350 bad. Gasöl Op. 381	D 349 Teeröl 762 H Lu
Theoret. max. Anilinpunkt ⁴⁾	98	90 (86,5) ⁹⁾
Anilinpunkt (1:1)	85,4	-17 (75,3) ⁹⁾
Gefundener Anilinpunkt ⁵⁾ vor Sulfierung		
Gefundener Anilinpunkt ⁶⁾ nach Sulfierung	89,9	(71,1) ⁹⁾
" " (96%ige Säure)		0,07
Kreosot % (mit NaOH) nach Sulf. (90%-ig)	0	
Olefine %		
aus Sulfierung (90 %) (94 % bei 0°) ⁶⁾	2 (4)	70,5 ⁸⁾ (14)
" Jodzahl u. mittl. Mol. Gewicht		
nach Hamus	6,0	13,7
" Ilhiney	0,2	18,4
Olefine + Aromaten % einschl. Phenolen aus Sulfierung (96 %)	47,8	83
Dimethylsulfat löslich %	3	100
Aromaten % aus Vol.-Differenz d. 90er u. 96er Sulfierung (94% und 96%)	45 ⁷⁾	13 (69) ¹⁰⁾
" % " Anilinpunktdifferenz ⁶⁾ ⁵⁾ nach Sulfierung (90-u. 96%ig)	-	(24) ⁹⁾ ¹⁰⁾
" % vor und nach Sulfierung (96%ig)	11	(55) ¹⁰⁾
" % aus Brechung u. Elementaranalyse	6,5 ¹¹⁾	54 ⁷⁾
" % " Elementaranalyse	10	75
Naphtene % aus Anilinpunkt nach Sulfierung ⁴⁾	36	7
Paraffine % aus 200-% Naphten-% sulf. 96 %	11	10

4) nach Bestushew, Erdöl und Teer 9, 159 ff. Krit. Lösungstemp.

5) eingeklammerte Werte nach Verdünnung 1:1 mit RCE-Oel vom A.P. 86,6 (sulf. 90,0)

6) anschließend Destillation nach Riesenfeld und Bandte.

7) Vgl. die folgenden Werte u. die Elementaranalyse. Die H₂SO₄ scheint tertiäre Kohlenwasserstoffe angegriffen zu haben (paraffinische ²/₄ oder auch naphtenisch).

8) Schon durch 90%-ige Säure wird bei 20° viel Teer abgeschieden. Da dieser auch nicht angegriffene Stoffe zurückhält, dürften sich die hieraus errechneten Wert an Olefinen zu hoch und die an Aromaten zu niedrig ergeben. Die Teerbildung hängt bei D 349 wohl mit dem Sauerstoffgehalt zusammen.

9) Wegen der starken Färbung mit dem doppelten Volumen 425 verdünnt.

10) Der Wert von (69%) ist der wahrscheinlichste nach der Elementaranalyse. Es ist zu beachten, daß die 13-14 % Olefine aromatisch substituierte Olefine sein können.

11) Dispersion $\frac{n_F - n_C}{d} \cdot 10^3 = 102$ für D 350, also Benzolderivate.

Zum Bericht Nr. 386 vom 5.6.39.

Nr. des Kraftstoffes: Herkunft:	D 424 an. (DAPG) Gasöl	727 H Hochdruck Lu (rotbraun)	D 369 Braunk. Leuna schwarabraun
Brennpunkt	123	93	134
Flammpunkt (o.T.)	100	80	108
Viskosität b. 20° in est.	5,5 ¹⁾	2,85	5,27
Kristallisationsbeginn bei 00 (Filterierbarkeit)	-16 (-22)	0	-1 ¹⁾
Stockpunkt			
Asphalt %			ja
Mit RCH-Öl gemischt, Ausscheidung ?	nein	nein	ja
Asche %	0,0	0	0,0305
Conradsontest %	0,014	0,0	0,388
Elementaranalyse:			
% C	86,36	86,80	86,72
% H	13,26	12,66	10,60
% S	0,35	0	0,37
% O	0,13		
Unterer Heizwert H _u	10 212	10 106	9 679
Cetenzahl	46	37	28
Brechung n _D /20	1,4747	1,4800	1,521 ¹⁾
Spez. Gew. 20/4 vor Sulfierung:	0,852	0,870	0,920
Siedegrenze (5 %- und 95 %-Punkt)	235-350	200-300	245-330
Kennsiffer + Fraktionsziffer	280±50	243±50	279±42
Mittl. Siedepunkt (50 %-Punkt)	283	240	275
Mittl. Molgewicht aus mittl. Siedepunkt	215	185	215
Allgemeine Formel	C _n H _{2n} + 1,4	C _n H _{2n} - 3	C _n H _{2n} - 8,5
Jodzahl	4,30	7,7	14,5
1) nach Hanus (40 Min.)	0,16	3,2	30,5
2) aus Bromzahl nach Ilhiney (40 Min.)		6,0 ²⁾ +	0 ²⁾
3) nach Kaufmann (120 Min.) (420 Min.)		8,0	-
+ Dispersion n _F -n _C .10 ³	118	114	-

1) wegen der starken Farbe des Öles nicht genau.
2) einschl. substituierter Br. 191

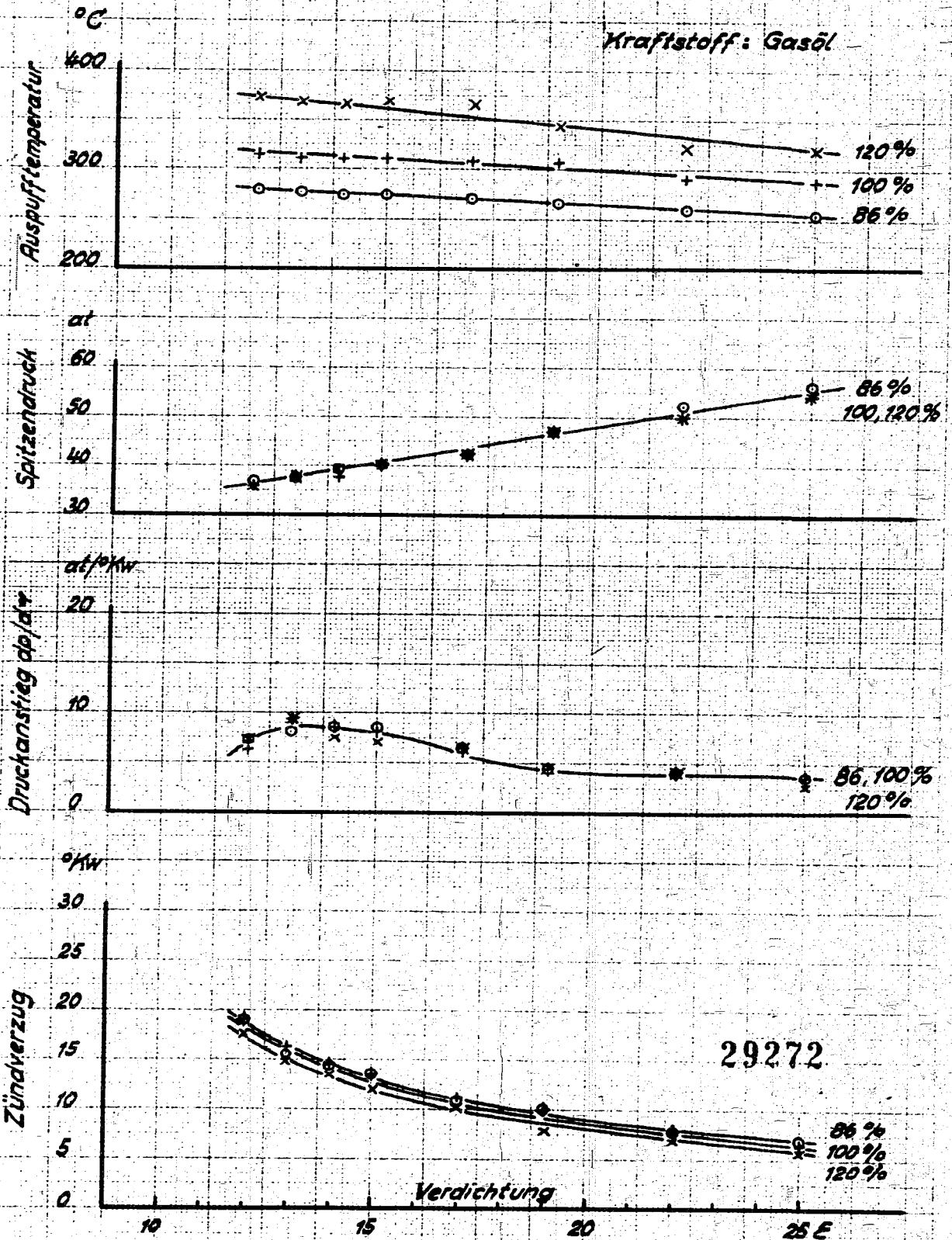
Nr. des Kraftstoffes:	D 424 am. (DAFG)- Gasöl	721 H Hochdruck Lu- rotbraun	D 369 Braunk. Leu- na (schwarz braun)
Theoret. max. Anilinpunkt ⁴⁾	94,5	88	93
Anilinpunkt 1:1	71,5	+ 44	+ 22
Gefundener Anilinpunkt nach Sulfierung (96%-ige Säure)	82,7	61,3	86,5
" " vor Sulfierung ⁵⁾	71,5	44	28,5 (65,6)
Kreosot % (mit NaOH)	2,5	3,5	2,0
Oefine % aus Sulfierung (90 %) (94 % bei 0°)	3,2(5,3)	3,5	29 ⁶⁾ (30,8)
aus Jodsahl u. mittl. Molge- wicht			
nach Manus	3,6	5	11,6
" Ilhiney	0,6	2	23
" Kaufmann	-	4,4	0
Olefine + Aromaten % einschl. Phenolen aus Sulfierung (96 %)	20,5	23,5	66,8
Dimethylsulfat löslich %	5,5	7,5	30
Aromaten % aus Vol.-Differenz d. 90er-u. 96er Sulfierung	17	19	38 ⁶⁾
" " " Anilinpunktdifferenz nach Sulfierung (90- u. 96%-ig)	-	-	-
" " " vor u. nach Sulfierung (96%-ig)	73	28	73
" " " Änderung der Dichte: unsulfert u. 96%-ige Säure sulf. Sulf. 90 ⁷⁾ u. 96%-ige Säure	-	6	84
" " " Dispersion u. Molgew.	-	32 Bo=12 N ⁸⁾	-
" " " Brechg. u. Elementaranalyse	12 Bo	Bo 22/17 N	56 ⁷⁾
" " " Elementaranalyse	10 Bo	25 Bo	75 ^N
Naphtene % aus Anilinpunkt nach Sul- fierung ⁴⁾	48	76,5	17
Paraffine % aus 100-% Naphten- sulf. 96 %	32	0	22

4) nach Bestushew, Erdöl und Teer 9, 159 ff. Krit. Lösungstemp.
5) eingeklammerte Werte nach Verdünnung. 1:1 mit RCH-Öl v.A.P. 86,6 (sulf. 90,0)
6) anschließend Destillation nach Riesenfeld u. Bandte.
7) vgl. d. folg. Werte u. d. Element.-Analyse. Die H₂SO₄ scheint tertiäre K.W. angegriffen zu haben (paraffinische oder auch naphtenische⁴⁾).
8) Bo: Die Aromaten sind als Benzolderivate, N als Naphthalinderivate berechnet.

Verbrennungsablauf in der Dieselmachine

Einfluß der eingespritzten Kraftstoffmenge

Kraftstoff: Gasöl

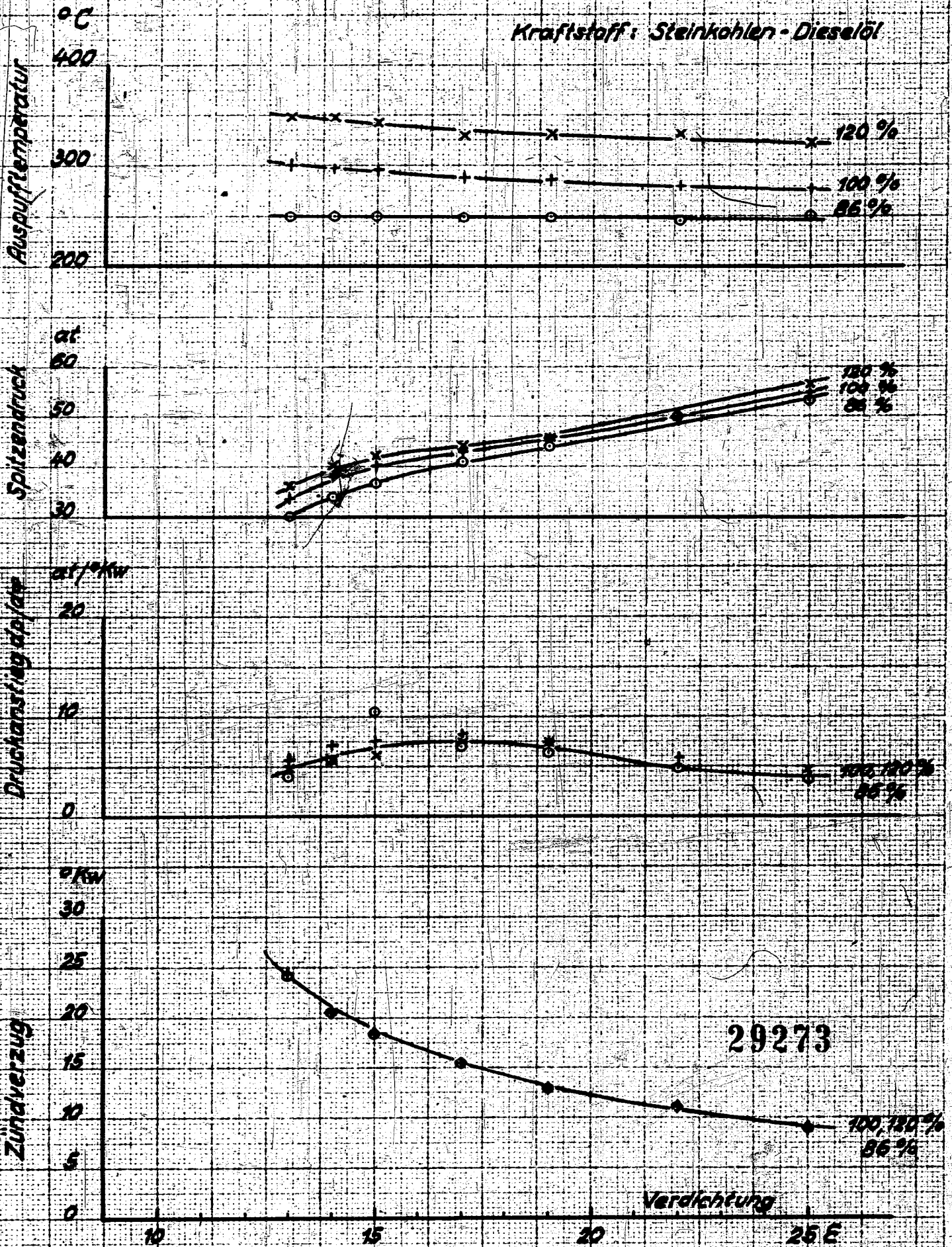


29272

Verbrennungsablauf in der Dieselmachine

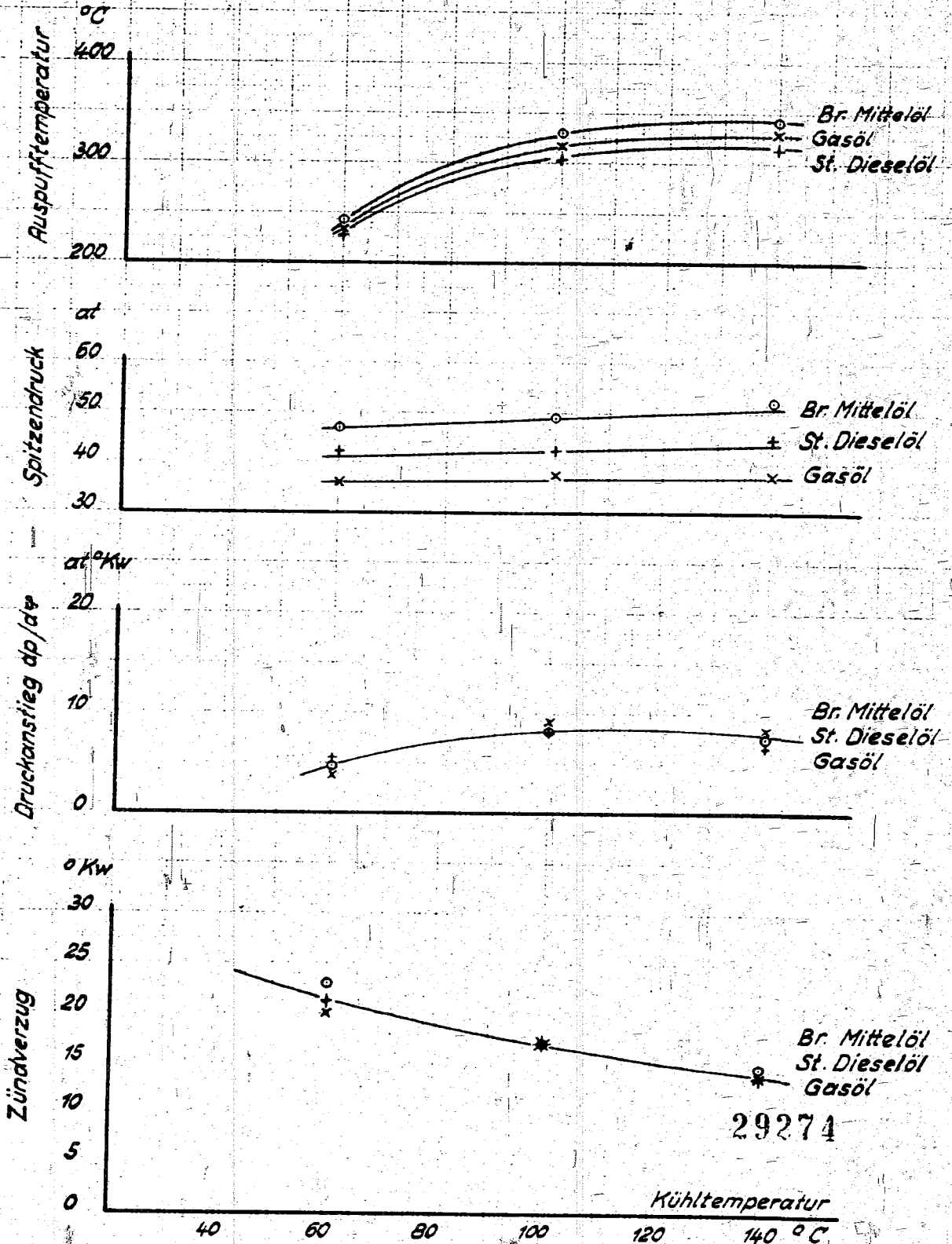
Einfluß der eingespritzten Kraftstoffmenge

Kraftstoff: Steinkohlen-Dieselöl



Verbrennungsablauf in der Dieselmachine

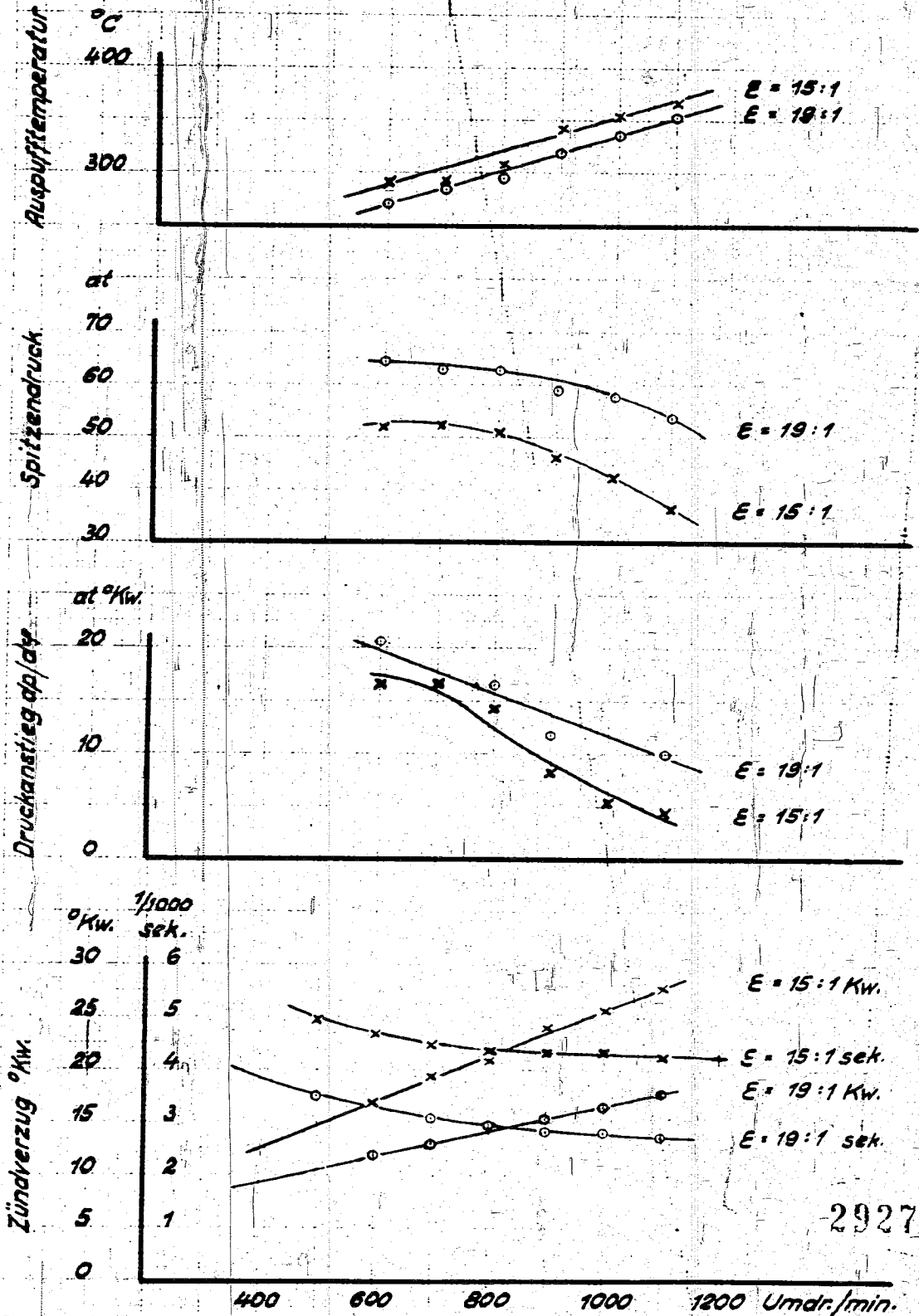
Einfluß der Kühlwassertemperatur



29274

Verbrennungsablauf in der Dieselmachine

1) Einfluß der Drehzahl bei konstanter Verdichtung

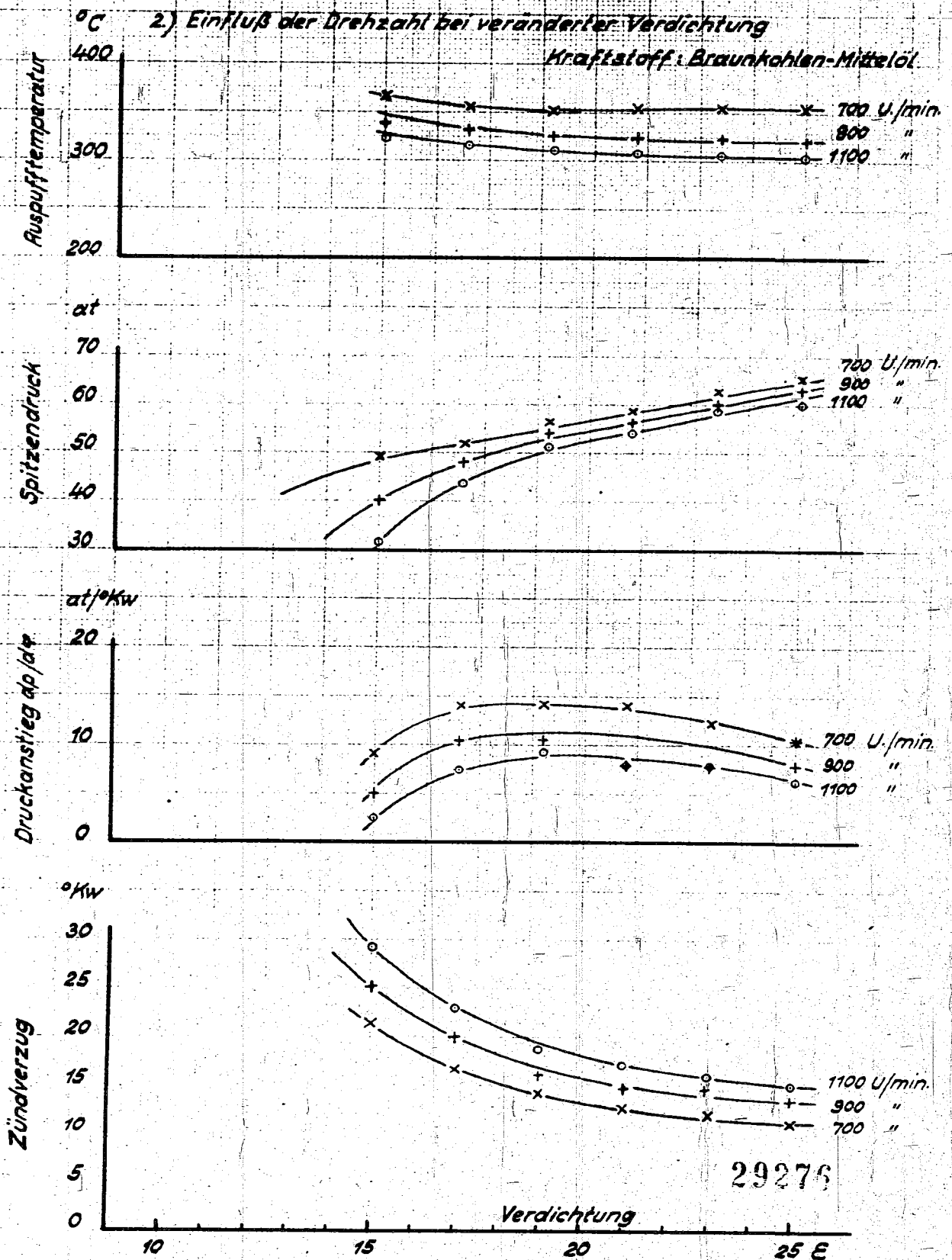


29275

Verbrennungsablauf in der Dieselmachine

2) Einfluß der Drehzahl bei veränderter Verdichtung

Kraftstoff: Braunkohlen-Mittelöl

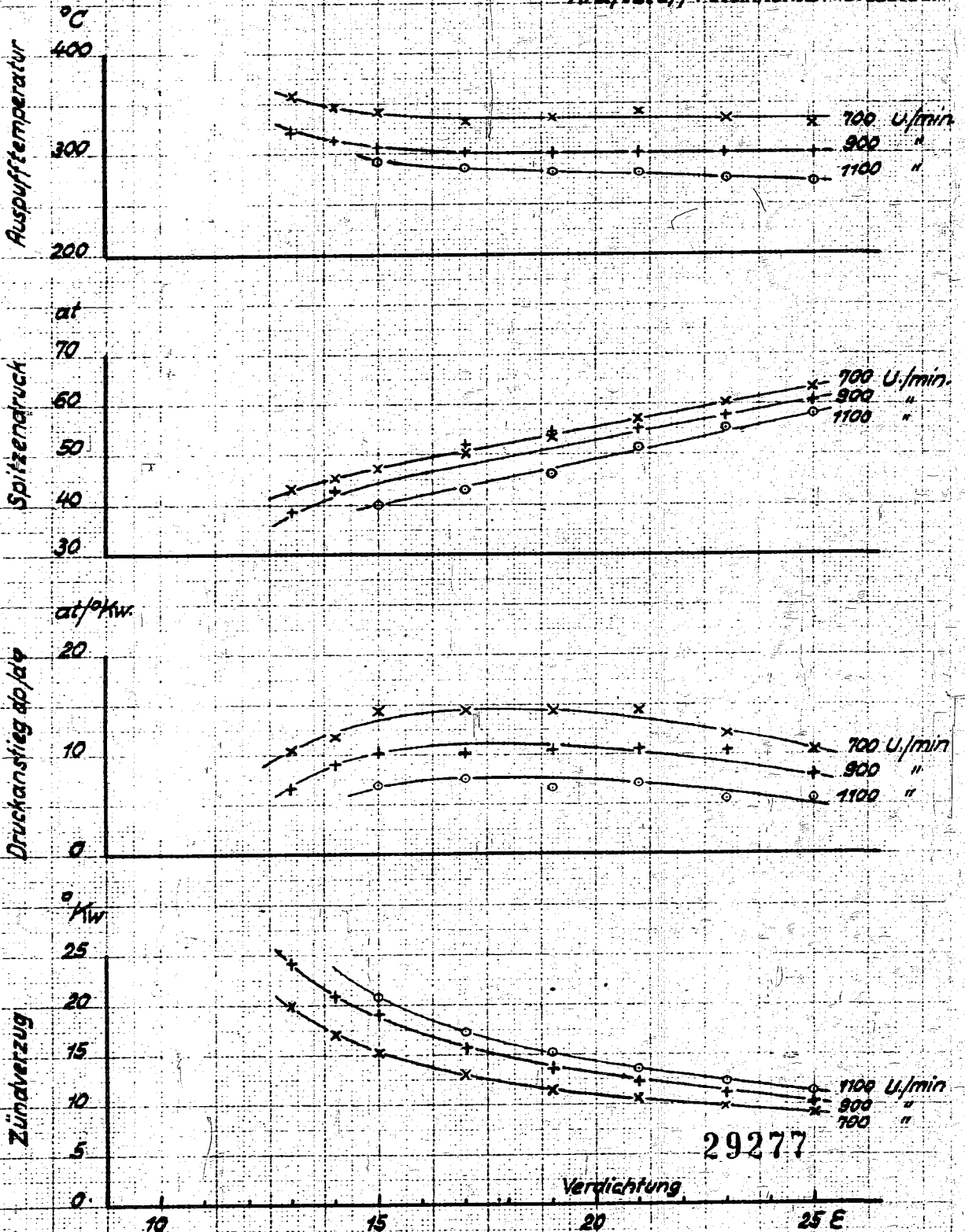


29276

Verbrennungsablauf in der Dieselmachine

2.) Einfluß der Drehzahl bei veränderter Verdichtung

Kraftstoff: Steinkohlen-Dieselöl

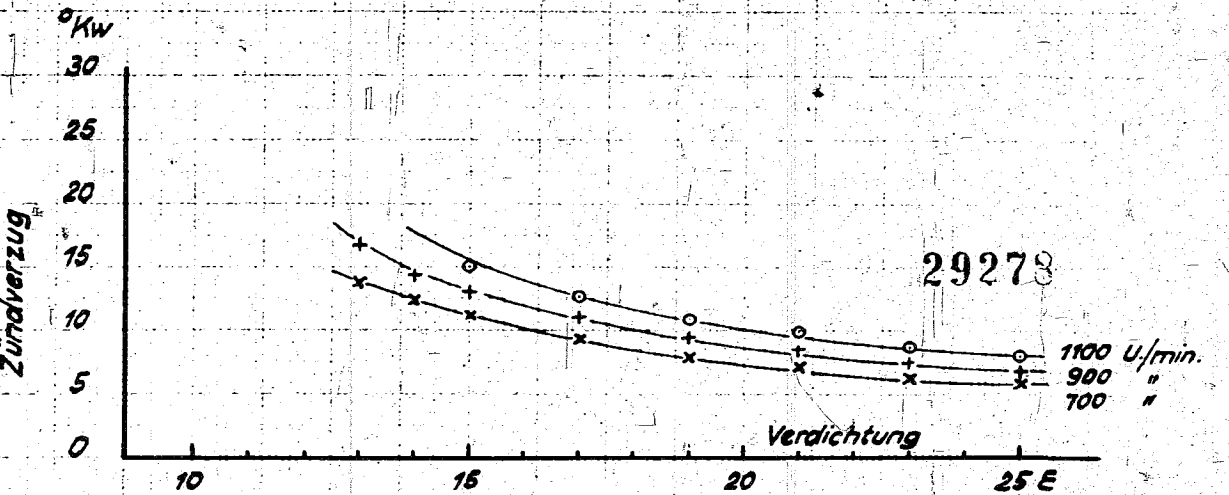
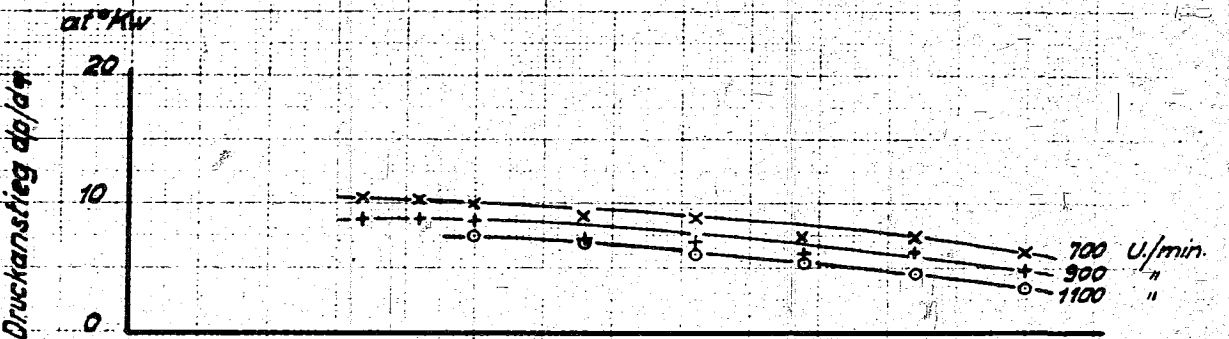
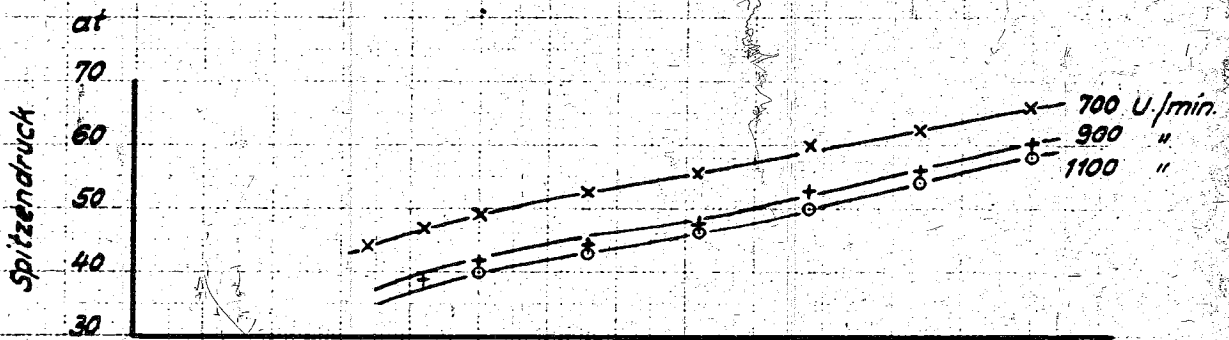
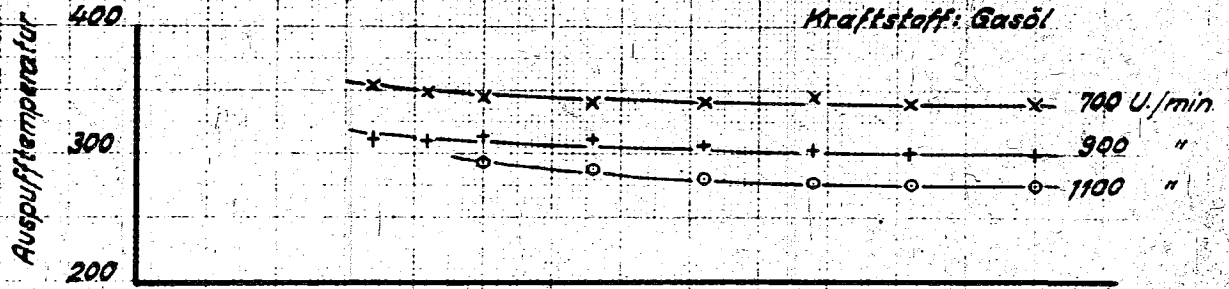


29277

Verbrennungsablauf in der Dieselmachine

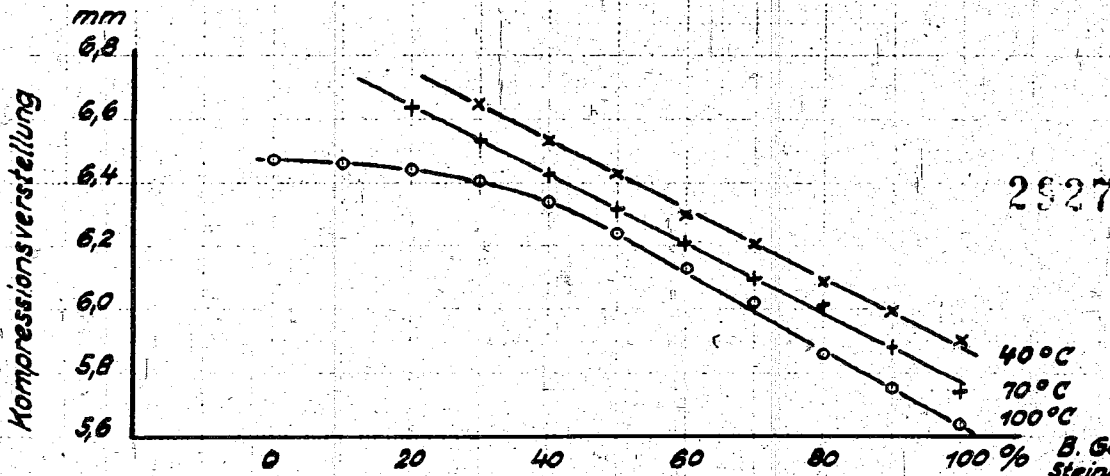
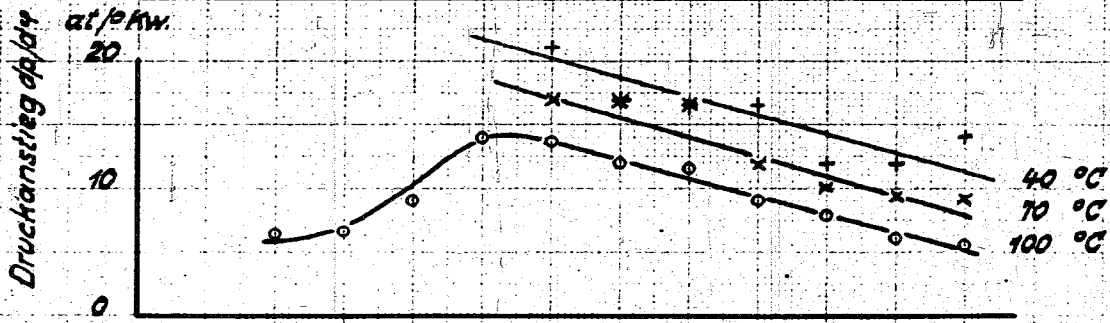
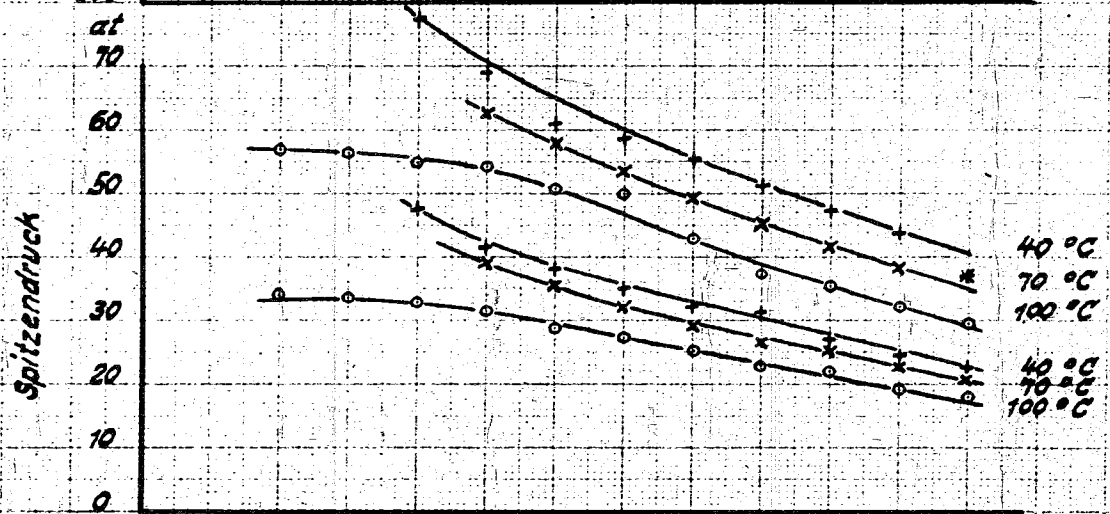
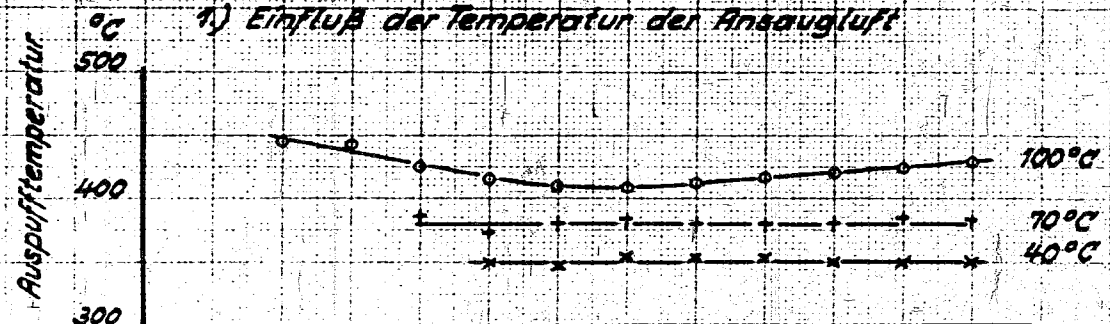
2.) Einfluß der Drehzahl bei veränderter Verdichtung

Kraftstoff: Gasöl



Verbrennungsablauf in der Dieselmachine

1) Einfluß der Temperatur der Ansaugluft

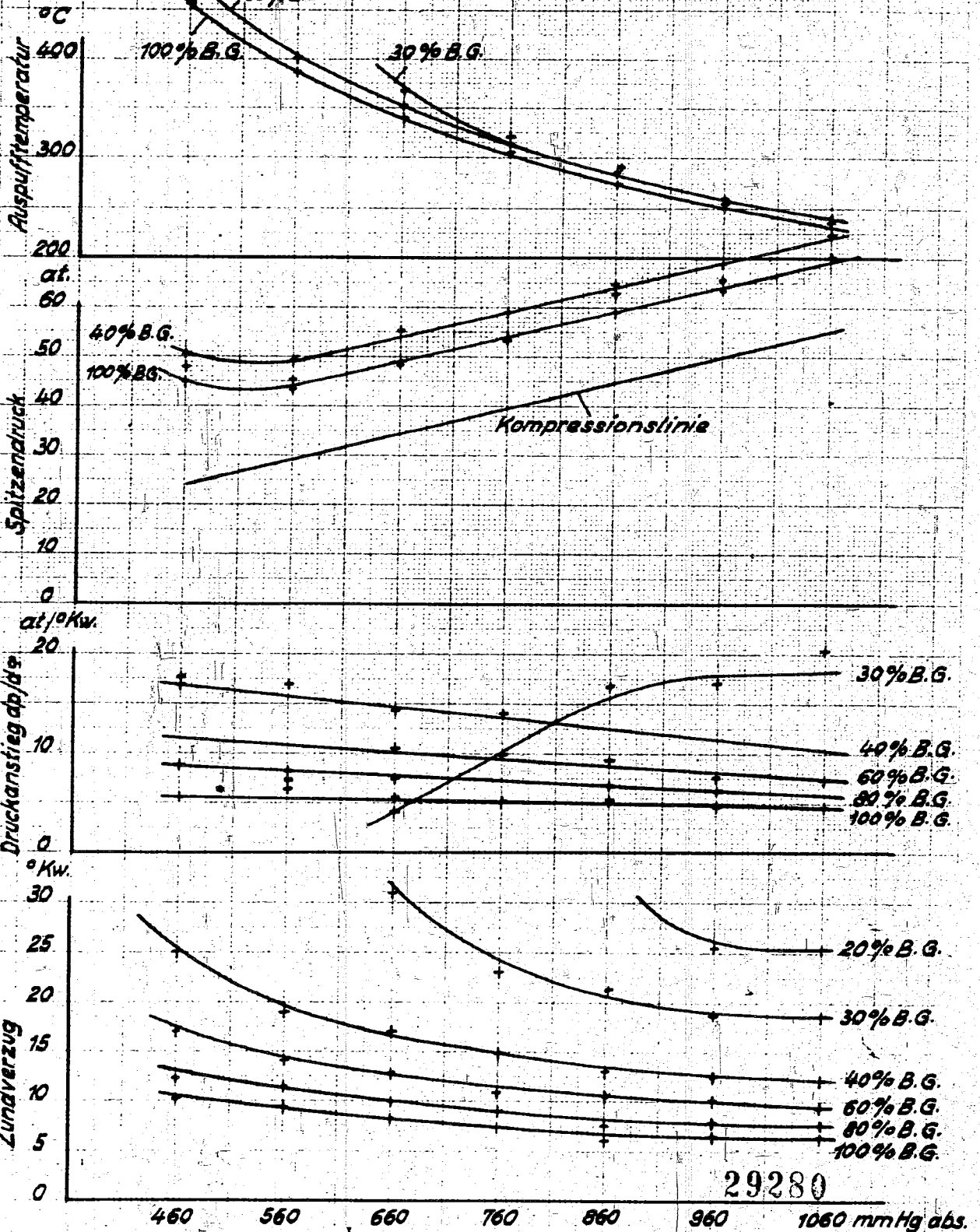


25279

B. Gasöl +
Steink. M.-öl

Verbrennungsablauf in der Dieselmachine

2.) Einfluß des Druckes der Ansaugluft
60% B.G.



29280

Verbrennungsablauf in der Zylindermitte

