

000377

Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 1657

**Einfluß der Ventilüberschneidung auf die Klopfgrenze
verschiedener Kraftstoffe beim Motor DB 601**

Franke

Verfaßt bei

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V.
Institut für Betriebsstoffforschung
Berlin-Adlershof

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen
der Luftfahrtforschung des Generalluftzeugmeisters (ZWB)
Berlin-Adlershof

000378

Dieser Bericht ist geheim zu behandeln.
Wer diese Geheimhaltungspflicht verletzt,
setzt sich der Gefahr strafrechtlicher Ver-
folgung und schwerer Bestrafung aus.

Panzerverschluß erforderlich!

ZENTRALE FÜR WISSENSCHAFTLICHES BERICHTSWESEN

DER LUFTFAHRFORSCHUNG DES GENERALLUFTZEUGMEISTERS (ZWM)

VERWALTET DURCH LILIENTHAL-GESELLSCHAFT FÜR LUFTFAHRFORSCHUNG & V.

Berlin-Adlershof, Refektorium Chemico

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen, Berlin-Adlershof

Einschreiben!

000379

Herrn
Dr. Roelen
Ruhr - Chemie A.-G.
Oberhausen - Holten

Ihre Zeichen

Ihre Nachricht vom

ZWB-Zeichen

Tag 3.3.43.

Betr.

Ergänzung zu Bericht FB 1657. Nr. 43

Do/Kn
16665/43

Die Zentrale übersendet die untenstehende Ergänzung mit der Bitte, diese in den obgenannten Bericht einzukleben.

Heil Hitler!

i. V.


Dominko

Hier abtrennen und in den Bericht einkleben!

Ergänzung zu FB 1657

Die in dem obgenannten Bericht erwähnten drei Motoren Argus As 10 C, Hirth HM 508 D und FKFS 0,6 Ltr. wurden im Auftrage der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) beim Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren der Technischen Hochschule Stuttgart (FKFS), die zwei Motoren Bristol Pegasus XC und Wright Cyclone G 100 von der Prüfstation Delft (Holland) der Baataaf'schen Petroleum Maatschappij untersucht.

000380

Einfluß der Ventilüberschneidung auf die Klopfgrenze
verschiedener Kraftstoffe beim Motor DB 601.

Übersicht: Kraftstoffe unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung sowie verschiedener Oktanzahl wurden im DB 601 Zylinder bei 40° , 80° und 120° KV Ventilüberschneidung auf ihr Verhalten an der Klopfgrenze untersucht. Die Versuche ergaben, daß sowohl die Charakteristik von Klopfgrenskurven, als auch die Klopfsteigkeit von Kraftstoffen durch geänderte Steuerzeiten weitgehend beeinflußt werden. Maßgebend hierfür sind die veränderte thermische Innenbelastung, sowie der verschiedene Restgasanteil, deren Wirkung auf die Kraftstoffe unterschiedlich ist gemäß ihrer Zusammensetzung. Die von dem gewohnten Bild von Klopfgrenskurven abweichende Form derselben beim DB 601 unter gewissen Betriebsbedingungen konnte durch mangelhafte Gemischaufbereitung in den betreffenden Gebieten erklärt, sowie deren Zusammenhang mit Ladelufttemperatur und Ventilüberschneidung festgestellt werden. Die Wirkung verschiedener Ventilüberschneidung auf die Form der Klopfgrenskurve von Kraftstoffen konnte durch entsprechende Änderung der Ladelufttemperatur kompensiert werden. Die Möglichkeit der Übertragbarkeit von Klopfgrenskurven an ein und demselben Motor bei veränderter Ventilüberschneidung wird erwähnt. Die Rückwirkung der Versuche auf die Prüfung von Kraftstoffen nach dem DVL-Überladeverfahren sowie die Möglichkeit einer Verbesserung desselben sind angedeutet.

Der Bericht umfaßt:

67 Seiten mit
35 Abbildungen und
3 Zahlentafeln.

Institut für Betriebsstoffforschung
der
Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt, E.V.

Der Bearbeiter:

K. Franke

K. Franke

Berlin-Adlershof, den 15.9.42.
BSf 460/8b

Gliederung

- I. Einleitung
- II. Allgemeines zur Prüfung von Flugmotorenkraftstoffen
- III. Versuchsdurchführung
 - 1) Allgemeines
 - 2) Motorische Bedingungen
 - 3) Betriebsstoffe
- IV. Versuchsergebnisse
 - 1) Übersicht
 - 2) Klopfbereich beim Motor DB 601
 - 3) Beeinflussung der Charakteristik der Klopfgrenskurve durch die Überschneidung
 - 4) Beeinflussung der Klopfbarkeit von Kraftstoffen durch die Überschneidung
 - 5) Allgemeine Wirkung der Überschneidung auf das Klopfverhalten
- V. Zusammenfassung.

I. Einleitung.

Neben anderen Maßnahmen, die der Leistungssteigerung an Flugmotoren dienen, ist zur Zeit die Vergrößerung der Ventilüberschneidung durchgeführt worden. Sie verfolgt den Zweck, bei Überladung durch eine bessere Totraum-ausspülung den Anteil der Restgase zu verringern. Damit erhöht sich die im gleichen Zylindervolumen unterbringbare Luftmenge, andererseits nimmt die thermische Innenbelastung des Motors bei gleichbleibendem Mitteldruck ab. Neben der damit erzielten Leistungssteigerung ist ein verändertes Verhalten des Motors in Bezug auf den verwendeten Kraftstoff zu erwarten.

Untersuchungen über die großmässige Beeinflussung der Luftdurchsatz-Änderung sowie der Änderung der Nutzleistung sind in ziemlichem Umfange bereits durchgeführt worden; hingegen war das Verhalten von Kraftstoffen verschiedener chemischer Konstitution, vor allem an der Klopfgrenze, nicht eindeutig festgelegt.

000381

Die zur Zeit vorgeschriebene Prüfung von Flugmotorenkraftstoffen nach dem DVL-Überladeverfahren erfolgt im DMF 152 N Zylinder bei einer Ventilüberschneidung von 40°KH . Eine Ventilüberschneidung in der genannten Größenordnung findet sich bei keinem ausgeführten Vollmotor mehr vor. Neuere Motoren zeigen als geringste Werte der Ventilüberschneidung solche von über 80°KH und gehen zum Teil schon beträchtlich darüber hinaus bis ungefähr 120°KH . Sobald nun eine wesentliche Beeinflussung der Klopfgrenze durch die Ventilüberschneidung gegeben ist, ist es klar, daß nach dem DVL-Überladeverfahren eine Bewertung von Kraftstoffen vorgenommen wird, die sich auf die praktisch vorkommenden Fälle nicht ohne weiteres übertragen läßt.

Es war die Aufgabe der vorliegenden Versuchsreihe, festzustellen, wie weit eine Übertragung der nach dem DVL-Überladeverfahren erhaltenen Klopfgrenzkurven bei Betrieb mit geringer Ventilüberschneidung auf Vollmotoren mit höherer Überschneidung der Steuerzeiten durchführbar ist. Neben einer eventuell zu erwartenden Steigerung der Klopfgrenze durch die abnehmende thermische Innenbelastung war die Änderung der Charakteristik der Klopfgrenzkurven durch die Ventilüberschneidung bei sonst gleichen Betriebsbedingungen zu untersuchen.

Die Versuche sollten ausserdem Aufschluß darüber bringen, wie durch die Änderung der Ladelufttemperatur die Form der Klopfgrenzkurve beeinflusst wird, und sich im Zusammenhang damit die Gemischaufbereitung der verschiedenen Kraftstoffe im Motor auf die Charakteristik der Kurve auswirkt.

Um einen möglichst großen Bereich chemisch unterschiedlicher Kraftstoffe zu erfassen, wurden 6 Kraftstoffe verschiedenster Zusammensetzung für die Versuche vorgesehen. Der Temperaturbereich der Ladeluft wurde mit Rücksicht auf die in der Praxis vorkommenden extremen Fälle sehr groß gewählt. Die Ventilüberschneidung von 40°KH , wie sie bei den Prüfmotoren für das DVL-Überladeverfahren vorhanden ist, diente als Ausgangspunkt der Versuche. Sie wurde bis 120° Überschneidung der Steuerzeiten verändert. Größere Werte sind zur Zeit für Vollmotoren nicht zu erwarten, da sich bei weiterer Steigerung bereits beträchtliche Schwierigkeiten betrieblicher Art ergeben. Ausserdem steht der geringe Zuwachs an indizierter Leistung bei weiterer Erhöhung der Überschneidung in keinem Verhältnis mehr zur Vergrößerung des Laders und des damit vermehrten Gewichtes sowie der ge-

steigerten Antriebsleistung.

II. Allgemeines zur Prüfung von Flugmotorenkraftstoffen.

Die unmittelbare Verwendung der bei der Verbrennung von Kraftstoffen entstehenden heißen Gase zur Arbeitsleistung bildet die Grundlage für das Arbeitsverfahren von Otto-Motoren. Die zur Verfügung stehenden Kraftstoffe bereiteten den Motorenkonstruktoren früherer Jahre in ihrem betrieblichen Verhalten geringe Sorgen. Die nach und nach einsetzenden Verbesserungen des Arbeitsverfahrens, Erhaltung des Vorrichtungsverhältnisses, Steigerung der Füllung durch Aufladung und Ventilüberbreitung, Zündungsverlegung usw. bezwecken ein Hinaufsetzen des Wirkungsgrades, eine Senkung des Kraftstoffverbrauches sowie eine Steigerung der Leistung. Durch diese Maßnahme erhöhte sich die thermische Innenbelastung des Motors und es zeigte sich, daß die zur Verfügung stehenden Kraftstoffe den Anforderungen des Motors in vielen Fällen nicht mehr genügen. Neben der normalen Verbrennung des Luftkraftstoffgemisches trat eine andere Art der Umsetzung auf, die als detonative Verbrennung oder als Klopfen bezeichnet wird.

Rein äußerlich bereitet das Erkennen des Klopfvorganges am Motor, der sich in einem harten metallischen Geräusch äußert, bei Anwendung geeigneter Klopfanzeigergeräte keine großen Schwierigkeiten. Umso schwieriger war es hingegen, die Klopferscheinung mit einiger Sicherheit physikalisch-chemisch zu erklären. Langwierige Versuche verschiedenster Bearbeiter, die sich mit diesem Problem beschäftigten, brachten immerhin soweit Aufklärung, daß das Wesen des Klopfvorganges und seine Abhängigkeit von den Kraftstoffen und den Betriebsbedingungen mit einiger Sicherheit gedeutet werden konnte. Es war eine der ersten gewonnenen Erkenntnisse, daß das Gemisch im Motor von einer anfänglich geregelten und langsamen Verbrennung zu einer praktisch momentanen Abreaktion des noch unverbrannten Gemischrestes übergeht. Die bei Bombenversuchen festgestellten Geschwindigkeiten der Flammfortpflanzung von wenigen m/sec. erfahren im Motor infolge der Durchwirbelung des Gemisches eine Steigerung auf 20 : 40 m/sec. Vor der mit dieser Geschwindigkeit den Brennraum durchlaufenden Flammenfront befinden sich die unverbrannten Gemischteile, die durch Ausdehnung der verbrannten Gase sowie durch Strahlung und Wärmekonvektion der Flammenfront und des verbrannten Gemischanteiles eine Temperatur- und Drucksteigerung erfahren. Diese Umstände können

bei gegebenen Bedingungen zu einer plötzlichen Umsetzung des unverbrannten Gemischanteiles führen. Die hierbei gemessenen Verbrennungsgeschwindigkeiten gehen bis 900 m/sec.

Die Beantwortung der Frage, wieso es zu dieser plötzlichen Umsetzung des Ladungsrestes kommt, ist bis heute noch nicht endgültig gelungen. Verschiedene Theorien sind hierüber aufgestellt worden. Die Vermutung, daß örtlich auftretende Überhitzung des Motors für die momentane Umsetzung des Gemischrestes in Betracht kommt, scheint sich nicht zu bestätigen. Aufnahmen des Verbrennungsablaufes klopfender Motoren zeigten, daß bei aufeinander folgenden Arbeitstakten die Zündherde des klopfend verbrennenden Ladungsrestes nicht immer an der gleichen Stelle auftreten. Dies müßte aber der Fall sein, wenn überhitzte Landteile diese Zündherde hervorriefen und somit die spontane Verbrennung des Ladungsrestes einleiteten. Heisse Stellen werden wohl den Klopfvorgang begünstigen, sind jedoch nicht als Urheber des Klopfens anzusehen.

Ferner besteht die Annahme, daß die von der Flammenfront ausgehenden Druckwirkungen bei immer kleiner werdendem Gemischrest zu Stoßwellen führen, denen die Gelegenheit des abklingens und Sichausbreitens im Gesamtverbrennungsraum fehlt. Mit wachsender Flammengeschwindigkeit und steigendem Druck kann es dahin kommen, daß die Amplitude einer der nun größer gewordenen Stoßwellen genügt, um das von der Verbrennung selbst her immer wärmer gewordene Restgemisch zur Selbstentzündung zu bringen. Die Beobachtungen lassen allerdings Zweifel aufkommen, dass Schwingungserscheinungen die wesentliche Ursache für den Klopfvorgang sind.

Eine dritte Erklärung geht von der Annahme aus, daß die Hauptursache für die plötzliche Umsetzung in einer langsamen Reaktion im unverbrannten Teil des Gasgemisches zu suchen ist, das durch die fortschreitende Flammenfront verdichtet und erhitzt wird. Die Untersuchungen von Masswiler und Jithrow sind in dieser Hinsicht sehr aufschlußreich gewesen. Sie zeigten, daß im Gasrest vor der Flammenfront neue Zündzentren auftreten, die durch Entflammung nach allen Richtungen die Restladung zur fast momentanen Entzündung bringen. Man kann sich demnach folgende Vorstellung über die Entstehung des Klopfens im Motor machen: Die von der Zündkerze ausgehende Flammenfront, die mit einer von der Güte der Gemischaufbereitung, dem Luftüberschuß, dem Druck und der Temperatur abhängigen Geschwindigkeit fortschreitet, erhöht Druck und Temperatur der

unverbrannten Gemisches. Dadurch wird in diesen Teile des Gemisches eine langsame Reaktion oder Verbrennung eingeleitet, die mit zunehmendem Druck und Temperatur gesteigert wird und zu einer Selbstzündung des Gemisches führen kann. Durch diese plötzliche Verbrennung entsteht ein Gebiet hohen Druckes, dessen momentane Expansion im Verbrennungsraum beim Auftreffen der Gasmassen auf die Zylinderwände die schlagartigen Klopfgeräusche verursacht.

Diese plötzliche Umsetzung des Restgemisches mit der entstehenden Druckspitze wirkt sich schädlich auf den Betrieb des Motors aus. Durch die starke Zunahme des Wärmeüberganges tritt eine thermische Überbeanspruchung des Zylinders, des Kolbens und der Ventile auf. Die Folgen davon sind ein allmählicher Leistungsabfall mit steigender Erwärmung; bei längerem Klopfbetrieb Zerstörungen am Kolben, an den Kolbenringen, der Lauffläche des Zylinders und an den Ventilen. Zusätzlich zur thermischen Überbeanspruchung kommt noch die schlagartige, mechanische Beanspruchung der Druckspitze mit ihren Folgen auf die Triebwerksteile.

Der wesentlichste Gesichtspunkt für die Bewertung von Kraftstoffen ist aus dem angeführten Grunde ihre Klopfneigung. Es ist daher durchaus verständlich, daß die Erforschung und Klärung des Klopfvorganges sowie die Messung der Klopfestigkeit das Um und Auf der Untersuchung von Kraftstoffeigenschaften bilden. Während es gelungen ist, über den Klopfvorgang und die ihn erzeugenden Betriebsbedingungen zu einer gewissen Klärung zu kommen, sowie die Klopfestigkeit an einem speziellen Motor, z.B. Oktanzahl, DVL-Überladeverfahren usw. zu bestimmen, bereitet die Messung der Klopfestigkeit von Kraftstoffen in einem allgemein gültigen Wert große Schwierigkeiten.

Ein großes Interesse der Kraftstoffhersteller an der Lösung des Problems der Bewertung von Flugmotoren-Kraftstoffen an betriebsmäßig ausgeführten Flugmotoren ist verständlich. Das Interesse des Motorenherstellers ist natürlich ebenso stark, da die Motorenleistung für Verwendung eines Kraftstoffes mit einem Mindestklopfwert angegeben und gewährleistet wird. Die Größenordnungsmäßige Festlegung des Klopfwertes nach der CFR-Methode mit Hilfe der Oktanzahl bewährt sich für Kraftwagenmotoren verhältnismäßig gut. Die Übereinstimmung ist von verschiedenen Stellen mit Hilfe umfangreicher Versuche festgestellt worden. Für den Flugmotor fehlt jedoch ein einwandfreier Zusammenhang zwischen der Oktanzahl (nach der CFR-

Methode) und dem tatsächlichen Klopfwert im jeweiligen Motorenzylinder.

Die Nachteile einer ungenügend exakten Klopfwertbestimmung für Kraftwagentreibstoffe sind nicht besonders groß. Kommt ein Fahrzeug bei Verwendung eines Kraftstoffes mit ungenügender Klopfestigkeit ins Klopfgebiet, so sind zweifellos bei länger dauerndem Betrieb Schädigungen am Motor zu erwarten. Im zivilen Betrieb sind dieselben jedoch nur für den Geldbeutel des betroffenen Wagenbesitzers infolge auftretender Reparaturen unangenehm. Im militärischen Einsatz können allerdings die Folgen weittragender sein. Nicht nur wegen der sich zusätzlich anhäufenden Reparaturarbeiten, sondern auch durch Ausfall bei Nachschub, Kampfhandlungen, Transport usw.

Gänzlich anders geartet liegen die Verhältnisse beim Flugmotor. Haben wir einen Flugmotor vor uns, der seine Höchstleistung beim Start bei einer gewissen Einstellung des Luftkraftstoffverhältnisses unter Berücksichtigung klopfreien Betriebes bei einer bestimmten Oktanzahl abgibt und ein Kraftstoff hat zwar nach der CFR-Methode die geforderte Oktanzahl, bei den Verhältnissen des vorliegenden Motors jedoch keine entsprechende Klopfestigkeit, so sind ernste Schädigungen des Motors wahrscheinlich. In dem verhältnismäßig kurzen Zeitraum, in dem beim Start die Höchstleistung verlangt wird, während welcher bei den leistungsmäßig hochgezüchteten Motoren ohnehin fast die Grenze der thermischen Belastbarkeit erreicht ist, kann die zusätzliche Detonationsverbrennung genügend stark sein, den Ausfall des Motors zu verursachen.

Der größte Nachteil der Bestimmung des Klopfwertes von Kraftstoffen nach der CFR-Methode mit Hilfe der Oktanzahl liegt darin, daß der Kraftstoff nach einer Einpunktbewertung geprüft wird. Bei den im Betrieb vorkommenden Kraftstoffen verschiedenartigster chemischer Konstitution und ihrem teilweise recht unterschiedlichen Verhalten gegen Betriebsbedingungen ist es erklärlich, daß zwischen der gefundenen Oktanzahl im CFR-Motor und der tatsächlichen Klopfestigkeit im Flugmotorenzylinder beträchtliche Unterschiede bestehen.

Ein Verfahren, das auf die jeweiligen Betriebsverhältnisse zum Teil Rücksicht nimmt, vor allem auf die Gemischeinstellung, ist im DVL-Überladeverfahren gefunden worden. Die Bestimmung des Klopfgebietes des Kraftstoffes erfolgt hierbei über einen größeren Bereich der Luftüberschußzahl in Abhängigkeit des Ladedruckes, der zum beginnenden Klopfen führt. Die Untersuchung findet im Einzylinderprüfstand mit einem B.E. 152 N-Flugmo-

torenzylinder bei genau festgelegten Prüfbedingungen statt und läßt erkennen, wie einzelne Kraftstoffe im EMZ Zylinder in ihrer Klopfgrenze zueinander liegen.

Bei der verschiedenen Abhängigkeit einzelner Kraftstoffe von den Betriebsbedingungen - Kromaten sind sehr empfindlich dagegen - ist es verständlich, daß geringe Abweichungen der Motoren selbst gleicher Bauart, des Prüfstundsaufbaues und der Betriebsbedingungen bereits merkliche Verschiebungen der Klopfgrenzkurve geben. Die Reihenfolge der Bewertung der Kraftstoffe pflegt jedoch an ein und demselben Motorenzylinder dieselbe zu bleiben. Es lassen sich daher aus der Lage der Klopfgrenzkurven der einzelnen Kraftstoffe immerhin gewisse Rückschlüsse auf ihr allgemeines Verhalten ziehen. Es kann festgestellt werden, daß dieser oder jener Kraftstoff in seinem Klopfverhalten anders als ein Vergleichskraftstoff bei derselben Luftüberschusszahl und denselben Betriebsbedingungen liegt. Nicht möglich ist es jedoch, ausser einem ungefähren Verhalten des Stoffes die exakte Lage seiner Klopfgrenzkurven für einen anderen Motor anzugeben. Zur Klarstellung dieser Verhältnisse wurden in der DVL eine größere Anzahl von Flugmotorensinzylindern auf ihr Klopfverhalten mit einigen verschiedenen temperaturempfindlichen Kraftstoffen untersucht. Aus den vorliegenden Versuchsergebnissen sind die Klopfgrenzkurven bei 130° Ladetemperatur in Abb. 4 zusammengefaßt für 12 verschiedene Motoren. Eine eingehende Erklärung der Versuchsdurchführung und Anordnung sowie eine Stellungnahme zu den Ergebnissen kann an dieser Stelle nicht erfolgen. Die in Ausarbeitung befindlichen Teilberichte sowie der vorgesehene Abschlußbericht werden sich damit befassen. Eine vorläufige Betrachtung der in der Abb. 4 dargestellten Versuche zeigt, daß die Reihenfolge der Bewertung der Kraftstoffe sich teilweise umkehrt, ganz abgesehen davon, daß die allgemeine Lage einer Klopfgrenzkurve, deren höchster und tiefster Punkt sowie der Abstand der beiden voneinander von Motor zu Motor verschieden ist. Bei einer ersten Betrachtung der Ergebnisse der Versuche zur Feststellung des Klopfverhaltens von Kraftstoffen an verschiedenen Motoren sehen die erhaltenen Resultate nicht gerade sehr erfreulich aus, sobald man die Frage der Übertragbarkeit von Klopfgrenzkurven ein und desselben Kraftstoffes auf Motoren verschiedener Bauart prüft.

Welche Vorteile sich daraus ergeben würden, wenn die Übertragbarkeit der nach dem DVL-Überladeverfahren erhaltenen Klopfgrenzkurven auf beliebige Motorenbaumuster vorhanden wäre, sei an Hand eines Beispiels kurz erwähnt. Für einen Kraftstoff sei nach dem DVL-Überladeverfahren bei bestimmten Temperaturen und Zündungseinstellungen sowie sonst genau festgelegten Betriebsbedingungen die Klopfgrenzkurve in eindeutig reproduzierbarer Form erhalten worden. An Hand der Koppelkurve des Motors, d.h. seiner Ladedruck- und Drehzahlzuordnung, sowie der durch Aussenlufttemperatur und die Ladedrehzahl gegebenen Temperaturen der Ladeluft und eventuell noch verschiedener Einstellung der Zündung könnte aus der Lage der Klopfgrenzkurve des Kraftstoffes und bei Übertragbarkeit derselben auf einen beliebigen Motor unter zu Grundelegung der über der Luftüberschusszahl des Motors aufgetragenen Koppelkurve geprüft werden, ob der Motor unter den gegebenen Umständen klopfrei betrieben werden kann oder nicht. Dies wäre aus mancherlei Gründen durchaus begrüßenswert. So verhältnismäßig einfach, mit wenig Kosten und vor allem geringstem Zeitaufwand die Feststellung einiger Klopfgrenzkurven am Einzylindermotor erfolgen kann, umso schwieriger wird dies für den Vollmotor. Vor allem aber deswegen, weil beim Vollmotor das gerade einsetzen der Klopfen, das die Grundlage der Klopfbewertung des Überladeverfahrens bildet, mit den bisher zur Verfügung stehenden Mitteln kaum in geeigneter Form festgestellt werden kann.

Die bei der Bestimmung von Klopfgrenzkurven am Einzylinderprüfstand angewandte Methode, den Klopfereinsatz akustisch festzustellen, hat sich bis jetzt bestens bewährt und ist vor allem, was Einfachheit der Methode selbst betrifft, nicht so leicht zu überbieten, da keinerlei Um- oder Zubauten am Motor selbst vorzunehmen sind. Aus verständlichen Gründen versagt diese Methode am Vollmotor ganz und gar, da abgesehen von der ziemlich bedeutenden Lärmentwicklung eines am Prüfstand laufenden Motors ein eventuell zu hörendes Klopfgeräusch von irgendeinem der Zylinder herrühren kann. Die sehr einwandfreie Feststellung des Klopfereinsatzes nach dem DVL-Verfahren der zweiten Ableitung stößt insofern auf Schwierigkeiten, als ausser dem erforderlichen Einbau des Quarzgebers, wozu eine weitere Bohrung am Zylinder notwendig ist, auch die Vielzahl der zu untersuchenden Zylinder in Betracht zu ziehen ist. Solange jedoch keine einwandfreie, einfachen Prüfstandsanordnungen vollauf genügende Methode zur Bestimmung des Klopfereinsatzes jedes einzelnen Zylinders vorhanden ist, bleibt die

Festlegung von Klopfgebieten am Vollmotor eine immerhin nicht ganz einfache und geübte Bearbeiter erforderliche Angelegenheit. Dabei ist immerhin noch zu bedenken, daß selbst bei genauester Beobachtung der an das Klopfmeßgerät angeschlossenen Zylinder noch ein anderer dabei sein kann, der nicht beobachtet, vielleicht schon im stärkeren Klopfgebiet liegt. Erfahrungsgemäß ist dann bis zum Kolbendurchbrönnen oder ähnlichen bei starken Klopfen eintretenden Begleitumständen kein weiter Weg mehr. Wesentlich aussichtreicher ist für die Zwecke der Feststellung des Klopf-einsatzes am Vollmotor das in Ausarbeitung befindliche Verfahren von A. N. Schmidt, den gesamten Geräuschspiegel des Motors in einem Mikrophon aufzunehmen und sämtliche nicht von Klopf-schwingungen herrührenden Frequenzen auszuschließen, sodaß die übrigbleibenden Impulse nach entsprechender Verstärkung auf einem Kathodenstrahl-Oszillographen festgestellt werden können.

Diese Schwierigkeiten beständen nicht, wenn es nicht nötig wäre, Vollmotoren auf ihr Klopfverhalten bei Festlegung der Regelkurve unter Verwendung eines bestimmten Kraftstoffes zu untersuchen. Dazu müßte man allerdings aus der Klopfgrenzkurve des für den Betrieb vorgesehenen Kraftstoffes und der Regelkurve des Motors seine betriebliche Lage in Anbetracht des Klopfgebietes feststellen können.

Wenn man nun die Ursachen betrachtet, welche die Verschiebungen und die unterschiedliche Lage der Klopfgrenzkurven bedingen, so sind hierfür verschiedene maßgebend. Hierbei muß unterschieden werden zwischen den rein betrieblichen Einflüssen und den durch die Triebwerksgestaltung des Motors bedingten. Zu den Betriebsbedingungen, die die Lage der Klopf-grenzkurve verändern und deren Einfluß recht verschieden ist, zählen Luft-überschußzahl, Verdichtung, Ladelufttemperatur, Zündung, Drehzahl usw. und endlich die Steuerzeiten. Dieser letzte Punkt führt hinüber zu den durch die Triebwerksgestaltung bedingten Einflüssen, wozu Form und Ausbildung des Verbrennungsraumes, Ventilordnung und -anzahl, Verwendung von Ventilsteuerung oder Schieber, Lage von Kerzen und Düsen, Ausbildung der Kühlfläche usw. gehören. Eine klare und eindeutige Trennung der im einzelnen angeführten Einflüsse ist im praktischen Betrieb schwer zu erreichen, da oft eine Änderung einer der angeführten Größen zwangsläufig, die Mit-änderung einer anderen bedingt.

Es liegt nun durchaus im Bereich der Möglichkeit, durch die systematische Erfassung des Einflusses der einzelnen Größen soweit zu gelangen, daß innerhalb eines begrenzten Rahmens von nicht zu unterschiedlichen Motoren eine für einen Kraftstoff vorliegende Klopfgrenzkurve bei Berücksichtigung der den anderen Motor kennzeichnenden Daten und seiner Betriebsverhältnisse auf denselben übertragen werden kann. Im einfachsten Falle kann man sich die Übertragung so vorstellen, daß für einen beliebigen Prüfmotor, z.B. den BMW 132 Zylinder, die Klopfgrenzkurve eines Kraftstoffes nicht nur der Lage und der Erstreckung nach bekannt ist, sondern auch die Ursachen, die die Lage der Kurve bedingen. Für einen anderen Motor wäre dann mit demselben Kraftstoff ebenfalls die Klopfgrenzkurve zu bestimmen. Sobald es nun gelingt, aus diesen Klopfgrenzkurven beider Motore die Unterschiede in ihrer Lage und Form eindeutig durch die den jeweiligen Motor charakterisierenden Betriebsbedingungen und ihre Einflüsse auf das Klopfverhalten zu erklären, ist die Möglichkeit der Übertragbarkeit der Kurven gegeben. Es kann dann, wenn im BMW 132 Zylinder die Klopfgrenzkurve eines anderen Kraftstoffes vorliegt, durch entsprechende Berücksichtigung der gefundenen Einflüsse auf diesen Kraftstoff die Lage für den anderen Motor festgestellt werden.

Bei der ständigen Weiterentwicklung der Flugmotoren in dem Bestreben, im selben Hubvolumen eine größere Leistung zu erzielen, ist in letzter Zeit neben anderen Maßnahmen auch die Vergrößerung der Ventilüberschneidung mit Erfolg durchgeführt worden. Als die entsprechenden Umbauten an einem Motor des Baumusters DB 601 am Einzylinderprüfstand der DVL durchgeführt waren und die ersten Klopfgrenzen bekannter Kraftstoffe bei größerer Ventilüberschneidung gefahren wurden, ergaben sich Kurvenformen, die von den bisher erhaltenen ganz beträchtlich abwichen und zum Teil mit dem gewohnten Bild von Klopfgrenzkurven überhaupt keine Ähnlichkeit mehr hatten. Es war naheliegend, unter diesen Umständen eine größere Versuchsreihe durchzuführen, um den Einfluß der Ventilüberschneidung auf die Lage und Form der Klopfgrenzkurven festzustellen. Bevor auf die durchgeführten Versuche näher eingegangen wird, schied es zweckmäßig, einen Überblick über die Wirkung der Ventilüberschneidung auf das Verhalten eines Motors im nicht klopfenden Gebiet zu geben.

Bei einem Motor, dessen Steuerzeiten im oberen Totpunkt so bemessen sind, daß keine Überschneidung vorkommt, ist bei Beginn des Einlaßvorganges der gesamte, über dem Kolben befindliche Totraum mit Restgas aus-

gefüllt. Selbst unter der Annahme, daß dieses Restgas keinerlei Einfluß auf die eintretende Ladeluft beim Füllvorgang ausübt, ist der davon im Zylinder eingenommene Volumenteil für die Füllung und damit für die Arbeitsleistung verloren. Im praktischen Betrieb kommt zu diesem Verlust noch hinzu, daß das Restgas eine Aufheizung der eintretenden Ladeluft bewirkt, womit durch deren Volumvergrößerung eine weitere gewichtsmäßige Füllungsver schlechterung gegeben ist. Unter Umständen kann sogar bei Betrieb des Motors im Hochgebiet den im Restgas enthaltenen noch stündfähigen Gemischanteilen bei Zutritt der Ladeluft zur Verbrennung verholpen werden, wobei abermals ein Teil derselben für die Arbeitsleistung im Motor verloren geht. Es war naheliegend, durch eine Vergrößerung der Steuerzeiten für den Ein- und Auslaßvorgang ein gleichzeitiges Offenhalten der Ventile im oberen Totpunkt herbeizuführen und während dieser Periode der Ventilüberschneidung bei aufgeladenem Motor einen Gaswechsellvorgang herbeizuführen, der von einer teilweisen bis vollständigen Entfernung der Restgase bis zu einer Durchspülung des Motors reicht. Während bei Vergasermotoren der Überschneidung ziemlich bald Grenzen durch die Kraftstoffverluste bei eventueller Durchspülung gesetzt sind, ist es möglich, bei Einspritzmotoren weitgehende Ausspülung des Totraumes zu erreichen. Versuche ergeben, daß bei den heute üblichen Ladedrücken von Motoren eine ziemliche vollständige Totraumauspülung bei ungefähr 100° K_W erreicht ist. Darüber hinaus bringt eine weitere Steigerung der Überschneidung nur mehr eine Spülung des Motors ein.

Die Wirkung der Überschneidung auf den Motor mit Aufladung äußert sich vor allem in einer Leistungssteigerung. Es kann beim selben Ladedruck und vergrößerter Überschneidung ein höherer effektiver Mitteldruck durch das größere, im selben Zylindervolumen enthaltene Füllungsgewicht der Ladeluft erzielt werden. Sobald die Totraumauspülung vollständig ist, bringt eine weitere Zunahme der Überschneidung infolge der Durchspülung des Motors und der damit verbundenen Herabsetzung der thermischen Beanspruchung nur mehr geringen Leistungszuwachs.

Für die Klopfgrenze ist die thermische Beanspruchung insofern von Bedeutung, als heiße Stellen im Zylinder die Klopfneigung beeinflussen. Es wird daher durch die an den heißen Ein- und Auslassventilen vorbeiströmende Luft bei beginnender Totraumspülung eine Abkühlung dieser Teile und damit eine Verminderung der Klopfneigung eintreten. Ausserdem entfällt bei beginnender Totraumspülung und damit kleiner werdendem Restgasanteil

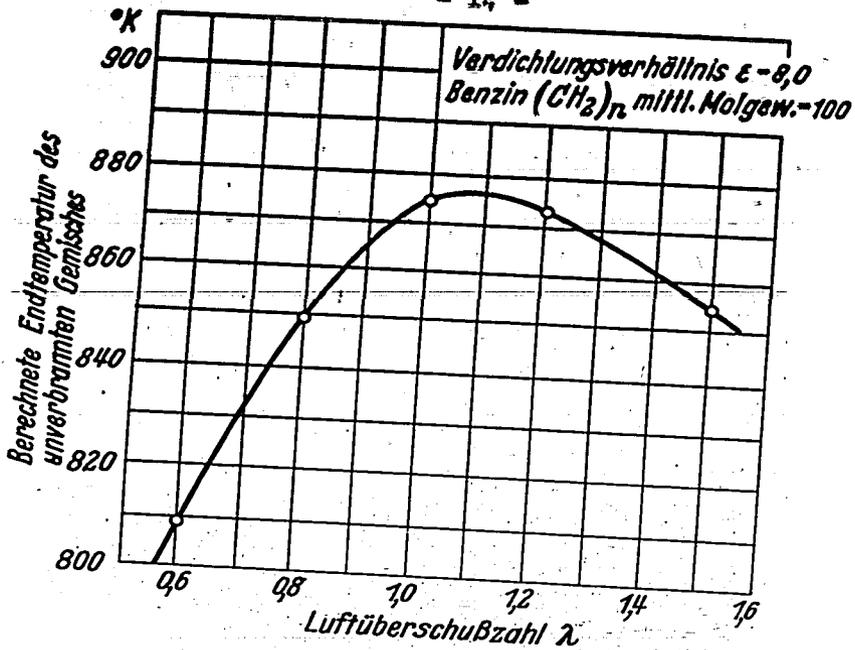
immermehr die aufheizende Wirkung desselben auf die Ladeluft, sodaß auch unter diesem Gesichtspunkte ein Einfluß auf die Klopfgrenze festzustellen sein wird. Schliesslich ist noch der reaktionskinetische Einfluß der in den Lastgasen enthaltenen Einzelbestandteile zu berücksichtigen. Hierbei sind sowohl stabile Anteile wie etwa CO_2 , H_2O , H_2 und CO als auch kurzlebige Verbrennungsprodukte zu berücksichtigen, die in irgendeiner Form katalysierend oder abbrechend wirken können und damit von Einfluß auf die Klopfgrenze sind^{*)}.

Für die Deutung und Erklärung der beim DB 601 Motor unter gewissen Betriebsbedingungen auftretenden Klopfgrenzkurven und deren von den üblichen Klopfgrenzkurven gänzlich abweichenden Form dürften einige Hinweise über die Ursachen, die die Gestalt der Klopfgrenzkurven bedingen, am Platze sein.

Von den in dem vorübergehenden Abschnitt gegebenen Darstellungen über die wahrscheinlichen Ursachen, die den Klopfereinsatz beim Motor bedingen, kommt nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse am ehesten die Verdichtungstheorie in Frage. Es ist in diesem Falle für das Einsetzen des Klopfens der thermodynamische Zustand des unverbrannten Kraftstoff-Luft-Gemischanteiles maßgebend. Die Größen, welche die zur Selbstzündung des Kraftstoffes im unverbrannten Gemisch führende Temperaturgrenze bedingen, sind: Dichte und deren zeitliche Änderung, die Temperatur und deren zeitliche und örtliche Änderung sowie die Gemischzusammensetzung und deren Schwankungen.

Wenn gleiche Betriebsbedingungen angenommen werden, so ist die Gemischzusammensetzung als wesentlichster Einfluß auf die Klopfgrenze anzunehmen. Bei Unterschieden der Gemischzusammensetzung ergibt sich eine andere Endtemperatur sowohl durch die Änderung des Quotienten c_p/c_v als auch durch die Änderung der Verbrennungstemperatur. Berechnungen über die Höhe der auftretenden Temperaturwerte wurden von Jost und Mitarbeitern ausgeführt. Für ein Benzin mit einem mittleren Molekulargewicht von 100 und der Zusammensetzung $(\text{CH}_2)_n$ wurden die erreichten Endtemperaturen unter Berücksichtigung der Dissoziation der Verbrennungsgase und des genauen Verlaufes der spezifischen Wärme durchgeführt. Es ergaben sich in Abhängigkeit der Luftüberschusszahl die in folgender Skizze ersichtlichen Werte für die Endtemperatur des unverbrannten Gemisches.

*) Literatur 9



Skizze

Berechnete Endtemperatur in Abhängigkeit von der Luftüberschußzahl.

In dieser Berechnung, die einen Anhaltspunkt für die weitere Besprechung der Erstreckung des Klopfgebietes geben soll, sind nicht alle Veränderungen berücksichtigt, die mit einer Änderung der Gemischzusammensetzung zwangsläufig gekoppelt sind.

Die für die Einleitung des Klopfens höchste Temperatur des unverbrannten Gemischanteiles liegt, wie in der Abbildung erkenntlich ist, in der Gegend von $\lambda = 1,05$. Übereinstimmend damit zeigen auch eine Anzahl von Motoren beim Fahren von Kraftstoffschleifen in dieser Gegend ein erstmalig einsetzendes Klopfen, sobald der Ladedruck, die Zündung oder sonstige den Klopfen begünstigende Betriebsbedingungen eingehalten werden. Die Temperaturniedrigung im Gebiete des Luftmangels ist wesentlich höher als jene im Luftüberschußgebiet, daher sollte das Klopfverhalten im Reichgebiet günstiger sein als bei Verarmung. Die mit wachsendem

Luftüberschuß sinkende Verbrennungsgeschwindigkeit führt bei sonst konstanten Betriebsbedingungen über die direkte Wirkung des Mischungsverhältnisses (Wärmeinhalt) hinaus zu immer niedrigeren Spitzendrücken und damit Spitzentemperaturen des unverbrannten Restes. Vielleicht erklärt sich daraus, - immer unter der Annahme, daß die Temperatur im Unverbrannten für den Klopfvorgang entscheidend ist -, die günstige Wirkung der Gemischverarmung auf das Klopfverhalten.

Die Klopfgrenzkurve nach dem DVL-Überladeverfahren wird nun allerdings nicht wie eine Kraftstoffschleife bei konstantem Ladedruck gefahren, sondern bei verschiedenen Ladedrücken, die bei der jeweiligen Gemischeinstellung zum Klopfen führen. Man kann sich jedoch die Klopfgrenzkurve nach dem DVL-Überladeverfahren auch so entstanden denken, daß aus einer Anzahl Kraftstoffschleifen bei verschiedenen, aber konstanten Ladedrücken die Punkte des Klopf-Ein- und Austrittes herausgenommen und über der Luftüberschußzahl aufgetragen, den Kurvenzug einer Klopfgrenzkurve nach dem DVL-Überladeverfahren ergeben. Der Tiefpunkt liegt analog dem ersten Klopfereinsatz auf der Kraftstoffschleife bei $\lambda = 1,05$, wovon nach beiden Seiten ansteigend, entsprechend den bei höheren Ladedrücken früher einsetzenden Klopfgebieten, der weitere Kurvenzug ausgeht und das bekannte Bild einer Klopfgrenzkurve ergibt. Die davon abweichenden Formen der Kurven beim DB 601 unter gewissen Betriebsbedingungen sowie die mutmaßlichen Ursachen werden bei der Besprechung der Versuchsergebnisse unter Berücksichtigung der angeführten Ursachen, die die Form der Klopfgrenzkurve bedingen, im Abschnitt über Versuchsergebnisse erklärt.

III. Versuchsdurchführung.

1) Allgemeines:

Die Festlegung der Betriebsdrehzahl von 1900 U/min des Motors erfolgte unter denselben Gesichtspunkten, die für die Untersuchungen allgemeiner Natur, wie Leistungs- und Verbrauchsänderung, Zunahme des Luftdurchsatzes usw. am DB 601 Motor vorgenommen wurde. Die für die Messung von Klopfgrenzkurven nach dem DVL-Überladeverfahren vorgeschriebene Drehzahl von 1600 U/min liegt ausserhalb des Bereiches der Betriebsdrehzahlen von neueren Motoren. Die gewählte Drehzahl von 1900 U/min kommt den Betriebsdrehzahlen bereits näher. Schwierigkeiten im Abhören des Klopfereinsatzes bei dieser Drehzahl wegen zu großer Lärmentwicklung des Motors ergaben

sich noch nicht. Auch die mechanische Beanspruchung des Prüfstandes hielt sich in zulässigen Grenzen. Ein weiterer Gesichtspunkt für die Wahl der höheren Drehzahl lag darin, daß die Wirkung der Ventilüberschneidung auf die Zylinderfüllung stark von der Drehzahl abhängig ist und umso eher ein nur von den Zeitquerschnitten bedingter Einfluß auf die Füllung festzustellen ist, je höher die Drehzahl genommen wird.

Der Bereich der Ladelufttemperatur zwischen $+30^{\circ}$ bis $+190^{\circ}\text{C}$ war genügend groß, sämtliche in der Praxis vorkommenden Temperaturgebiete zu erfassen. Bei Betrieb eines Motors mit niedrig übersetztem Bodenzylinder dürfte auch in Bodennähe bei größeren Minimumabweichungen der Aussentemperatur von der CIMA Atmosphäre die Ladelufttemperatur diesen Betrag von $+30^{\circ}\text{C}$ Ladelufttemperatur nicht unterschreiten. Im anderen Falle ist auch bei stärker übersetztem Höhen- oder 2-Stufenladern selbst unter der Voraussetzung, daß der Motor wegen Defektes an den Schaltkupplungen des Laders oder sonstigen Störungen in Bodennähe im Höhengang geflogen wird, eine Steigerung der Ladelufttemperatur über $+190^{\circ}\text{C}$ nicht zu erwarten.

Die Festsetzung der Zündzeit erfolgte um sämtliche zusätzlichen Einflüsse auf die Klopfgrenzkurven fernzuhalten, die sich aus einer Veränderung der Zündung ergeben. Mit 35° v.o.T. wurde sie für den ganzen Bereich der Ventilüberschneidung und sämtliche Kraftstoffe konstant gehalten.

VT 702 als Bezugsstoff für die Klopfgrenzuntersuchungen ergibt bei dieser Vorzündung seine beste Leistung bei einem Ladedruck von 1,3 ata. Die anderen Kraftstoffe mit Ausnahme des Alkohol-Gemisches liegen mit ihren Werten für die Zündung bei Bestleistung in der Nähe der für VT 702 gefundenen Werte. Bi-Alkohol bedingt eine Vorverlegung der Zündung zur Erzielung der Bestleistung. Die Änderung der Betriebsbedingungen beeinflusst ebenfalls die Lage des Zündzeitpunktes, im vorliegenden Falle wäre dies der Ladedruck, die Ladelufttemperatur sowie die Ventilüberschneidung und die Gemischzusammensetzung. Abgesehen davon, daß es über den Rahmen der vorliegenden Versuchsarbeit hinausgegangen wäre, sämtliche vorgenannten Einflüsse in ihrer Auswirkung auf die Zündzeit zu untersuchen, hätte sich eine derartige Vielfältigkeit von Zündeneinstellungen ergeben, daß praktisch für jeden einzelnen Meßpunkt die Einstellung einer eigenen Zündzeit nötig gewesen wäre.

2) Motorische Bedingungen:

Die Versuche wurden im DB 601 Einzylinder-Motor bei einer Verdichtung von $c = 6,5$ durchgeführt. Die Änderung der Steuerzeiten und damit der Ventilüberschneidung erfolgte durch Austausch entsprechender Böckchen, sowie durch geeignete Auswahl verschiedener Schwinghebel und Böckchen. Während die einzelnen Nockenwellen die großen Unterschiede in der Ventilüberschneidung erbrachten, wurde durch Verändern des Abstandes zwischen Nocken und Rolle vom Drehpunkt der Schwinghebel die Steuerzeit in kleinen Grenzen variiert und damit die ganzzahlig geraden Werte der Überschneidung erzielt.

Die Wahl des DB 601 Zylinders für die Durchführung der Versuche kann in mancher Beziehung eine glückliche genannt werden. Es zeigte sich, daß die Klopfgrenzkurven im Reichgebiet bis an die Nähe der Zündgrenzen der Kraftstoffe gefahren werden konnten, sobald es die Betriebsbedingungen oder die von der Einspritzpumpe gelieferte maximale Fördermenge zuließen. Auch in diesem extremen Reichgebiet konnte ein Aussetzen des Motors trotz manchmal starken Leistungsabfalles noch nicht beobachtet werden. Damit war die Möglichkeit gegeben, einige interessante Feststellungen über das Klopfverhalten in diesen Gebieten als Folge von Gemischaufbereitung zu treffen. Ebenso zeigte der Motor beim Verarmen über einen ziemlich großen Bereich des Luftüberschusses noch ruhigen Lauf, der eine einwandfreie Messung sämtlicher benötigter Werte ermöglichte.

Die Konstanthaltung der Zylinderkopftemperatur ist an und für sich beim flüssigkeitsgekühlten Motor wesentlich einfacher als beim luftgekühlten Motor. Durch geringe Veränderungen der Umlaufmenge des Kühlmittels sowie geringe Veränderungen der Eintrittstemperatur konnte eine fast gleichbleibende Kühlwasseraustrittstemperatur erreicht werden. Damit ergab sich der Vorteil einer sonst nicht erreichbaren günstigen Reproduzierbarkeit der Klopfgrenzkurven. Es lagen nachgefahrte Punkte der Klopfgrenze mit einer Toleranz von ± 10 mm Hg Ladedruck auf der Kurve.

Die gesamte Laufzeit des Motors für sämtliche Versuche betrug annähernd 200 Stunden. Während dieser Zeit aufgetretene Störungen rührten zum überwiegenden Teil von den Zusatzapparaten und Nebengeräten her. Nach dem Ausbau der jeweiligen Nockenwelle wurde der Zylinder abgezogen, der Kolben und die Ringe nachgesehen, sowie die Ventile neu eingeschliffen. Ein Austausch irgendwelcher Teile mit Ausnahme der Zündkerzen erfolgte nicht.

Nach Abschluß der Versuche zeigten sämtliche Motor- und Prüfstandteile guten Befund, sämtliche Kolbenringe waren frei ohne wesentlichen Ölkohle- ansatz in den Nuten. In der Hauptsache dürfte das auf die Verwendung von P 16 als Schmieröl zurückzuführen sein. Dieses synthetische Öl zeichnet sich durch besondere Rückstandsfreiheit aus. Eine Aufnahme des Kolbens nach beendeten Gesamtprogramm zeigt Abb. 1.

Während der Versuche selbst wurde der Zustand des Motors überwacht durch öfteres Fahren eines Kontrollpunktes bei gleichem Laderuck und gleicher Ladelufttemperatur sowie bei Gemischeinstellung auf Bestleistung. Ein die Versuchsgenauigkeit beeinträchtigender Leistungsabfall konnte während der Gesamtdauer der Versuche nicht festgestellt werden. Die Zündzeit wird beim DVL-Prüfstand durch den angebauten Zündzeitgeber laufend kontrolliert. Steuerzeiten und die eingestellten Ventilspiele wurden zu Beginn und am Ende jeder Versuchsreihe mit einer bestimmten Überschneidung nachgemessen. Öfteres Abdrücken der Ladeluftleitungen und deren Kontrolle auf Gasdichtheit ergaben die Gewähr für einwandfreie Luftmengenmessungen.

Die Gesamtanordnung des Prüfstandes und der Aufbau der Anlage erfolgte in bekannter Weise. Sie ist in Abb. 2 zu sehen, sodaß sich eine gesonderte Beschreibung erübrigt. Einzelheiten des Motors mit seinen Daten, Messeinrichtungen, Zubehöerteilen und Bremsanlagen sind aus Tafel 1 zu entnehmen.

3) Betriebsstoffe:

Die Erfassung möglichst verschiedenartiger Klopfgrenzkurven durch Verwendung von Kraftstoffen unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung sowie verschiedener Klopfestigkeit war erwünscht. Es wurden daher die verwendeten Stoffe in 2 Gruppen unterteilt. Die erste enthielt Kraftstoffe mit annähernd gleicher Oktanzahl und möglichst verschiedener chemischer Zusammensetzung, wie sie in der DVL auch bei anderen Versuchen Verwendung finden. Sie bestand aus folgenden Stoffen:

VT 702 + 0,12 Blei	02
Bi/Bo Gemisch	92
Bi/Alk Gemisch	88,5
	88,0

Die zweite Gruppe enthielt Stoffe, die sich in der Oktanzahl um ungefähr ± 10 Einheiten unterscheiden. Mit dieser Forderung war allerdings eine

Gleichartigkeit des chemischen Aufbaues unvereinbar, jedoch konnten größere Anteile an Aromaten, die sehr beeinflussbar durch die Betriebsbedingungen sind, durch entsprechende Auswahl der Stoffe vermieden werden. Nachstehende Stoffe standen zur Verfügung:

	OZ
VT 706 b/707 Gemisch	75
VT 702/1 + 0,12 Blei	88
C ₁ + 0,08 Blei	97

Die vorgesehenen Kraftstoffe wurden vor Beginn der Versuche eingehend auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften untersucht. Von besonderer Wichtigkeit war die Bestimmung der Elementaranalyse und des daraus ermittelten theoretischen Luftbedarfes L₀. Die Daten der Kraftstoffe sind in Tabelle 2 enthalten, die Siedekurve in Abb. 3. Richtungsweisend für die Analyse der Kraftstoffe waren die Bauvorschriften für Flugmotoren; Prüfvorschriften für Flugmotorenkraftstoffe, Oktober 1940.

Die Daten des für die Durchführung der Versuche verwendeten synthetischen Bleis P 16 sind in Tabelle 3 enthalten.

IV. Versuchsergebnisse.

1) Übersicht:

Die unter Berücksichtigung der in der Versuchsdurchführung aufgezählten Gesichtspunkte gefahrenen Klopfrenzkurven bildeten die Grundlage für die weitere Auswertung der Versuche. Für sämtliche untersuchten Kraftstoffe und alle Ladelufttemperaturen, bei denen Klopfen des Motors noch unter vertretbaren Belastungen desselben erreicht werden konnte, sind die erhaltenen Klopfrenzkurven in den folgenden Abbildungen aufgetragen. Der in der DVL verwendete Hauptkraftstoff VT 702 + 0,12 Blei und die damit erhaltenen Klopfrenzkurven für die Ventilüberschneidung mit 40°, 80° und 120° sind in den Abb. 5 bis 7 zu sehen. Um einen besseren Vergleich der Wirkung der Überschneidung zu bekommen, ist jeweils in einer Abbildung die gleiche Auftragsart der Klopfrenzkurve für die verschiedenen Überschneidungen gewählt worden. So zeigt z.B. die Abb. 5 den höchstzulässigen Ladedruck über der Luftüberschneidung für die einzelnen Ladelufttemperaturen, Abb. 6 den effektiven mittleren Nutzwirkdruck und endlich Abb. 7 den Ladedruck über der Einspritzmenge des Kraftstoffes in mm³/Spiel. Für die beiden stark

temperaturempfindlichen Kraftstoffgemische gleicher Oktanzahl sind die erhaltenen Klopfgrenzkurven in derselben Auftragungsform in den Abb. 8 bis 10 für das Bi/Do-Gemisch, in den Abb. 11 bis 13 für das Alkohol-Gemisch zu sehen.

Die Klopfgrenzkurven der Kraftstoffe mit den verschiedenen Oktanzahlen sind in den Abb. 14 bis 16 für das Gemisch VT 706b/707, in den Abb. 17 bis 19 für VT 702/1 und für C₁ in den Abb. 20 bis 22 aufgetragen.

Die in einigen Abbildungen eingetragen und nicht durch einen Kurvenzug verbundenen Messpunkte müssen erwähnt werden. Es handelt sich hierbei um Punkte, die sich einmal während der Durchführung des betreffenden Versuches ergaben, jedoch nicht wiederholen ließen oder sonst Unstimmigkeiten gegen den normalen Kurvenverlauf zeigten. Diese Erscheinung tritt allerdings nur auf beim Bi/Bo-Gemisch bei hohen Ladedrücken sowie bei VT 702 bei den höchsten gefahrenen Ladelufttemperaturen und großer Überschneidung. In der Abb. 8 z.B. sind die Klopfgrenzkurven für das Bi/Bo-Gemisch bei 160 und 190°C Ladelufttemperatur eingetragen für 80° Ventilüberschneidung. Die Klopfgrenzkurve für 190°C Ladelufttemperatur ergab sich aus eindeutig reproduzierbaren Messpunkten. Bei 160°C Ladelufttemperatur kam der Motor während einer Versuchsreihe ins Klopfgebiet und ergab die ziemlich unwahrscheinlich liegenden Messpunkte. Als dieselbe Kurve am nächsten Tag wiederholt werden sollte, war der Motor unter keinen Umständen bei 160°C Ladelufttemperatur ins Klopfgebiet zu bringen. Bei Verlegung der Zündung oder Erhöhung der Ladelufttemperatur trat prompt Klopfen ein, welches allerdings jedesmal verschwand, sobald die für die Feststellung der Klopfgrenzkurve nötigen Bedingungen wieder hergestellt wurden. Dasselbe wiederholte sich, als die Klopfgrenzkurve des Bi/Bo-Gemisches bei 120° Ventilüberschneidung und 160° Ladelufttemperatur ermittelt werden sollte. Es ergaben sich hierbei Messpunkte, die an verschiedenen Tagen gefahren, an einer Stelle des Luftkraftstoffverhältnisses eine gute Übereinstimmung zeigten, dazwischen jedoch große Lücken eines klopfreien Gebietes aufweisen. Die Lage der Messpunkte sowie die Art, wie sie zustandekamen, liess ein Durchziehen einer Klopfgrenzkurve als nicht vertretbar erscheinen. Es soll an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, daß Stoffe mit hohem Benzolgehalt auch bei anderen Versuchen Schwierigkeiten bei der Feststellung ihres Klopfesatzes bereiteten. Teilweise ergaben sich weit auseinander liegende Streupunkte, die Repro-

duzierbarkeit derselben war gering. Ebenso konnte bereits beobachtet werden, daß ein derartiger Kraftstoff, der bei einer Versuchsreihe unter gewissen Betriebsbedingungen zum Klopfen gebracht werden konnte, bei Wiederholung des Versuches unter denselben äußerlich eingestellten Betriebsverhältnissen nicht mehr ins Klopfgebiet kam. Eingehende Untersuchungen über das Ausbleiben der Klopferscheinung konnten leider nicht angestellt werden, da die mechanische Beanspruchung des Motors infolge der hohen Überladung eine derartige war, daß sie im Interesse einer Erhaltung des Kräftezustandes und des Zylinders nur über kurze Zeitspannen ausgedehnt werden konnte. Unstimmigkeiten bei VT 702 ergaben sich nur bei 120° Ventilüberschneidung und 160° Ladelufttemperatur. Die jetzt in den Abbildungen eingezeichneten Kurven stammen von 3 Versuchsreihen, die völlige Übereinstimmung der Messpunkte innerhalb eines sehr engen Streubereiches zeigten und deshalb als zu Recht bestehend angesehen werden. Die außerhalb der Klopfgrenze liegenden Messpunkte ergaben sich bei VT 702 und VT 702/1 in gleicher Weise. Sie konnten nur dann erhalten werden, wenn die Anzahl der Klopfschläge eine geringere war, als sonst der Durchschnitt für die Bewertung des Klopfansatzes ist, und der Motor aus dem Klopf-freien Gebiet an die Klopfgrenze gebracht wurde. Mit diesen beiden Ausnahmen waren jedoch die Unstimmigkeiten für die Versuchsdurchführung erschöpft. Alle anderen Kurven und Messpunkte liessen sich jederzeit einwandfrei wiederholen.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse selbst erfolgte derart, daß zuerst Untersuchungen angestellt wurden, welche die Erklärung der Form der Klopfrenzkurven beim DB 601 zum Ziele hatten. Anschliessend ergab sich die Möglichkeit, die Wirkung der Ventilüberschneidung auf die Form der Klopfrenzkurven festzustellen und schliesslich wurde die Änderung der thermischen Belastung sowie die Verringerung des Metallanteiles bei zunehmender Überschneidung in ihren Auswirkungen auf das Klopfverhalten im allgemeinen untersucht.

2) Klopfbereich beim DB 601.

Bei der allgemeinen Betrachtung der Ursachen, die für den Einsatz des Klopfens maßgebend sind, wurde darauf hingewiesen, daß bei sonst gleichen Betriebsbedingungen und gleicher Luftüberschneidung, wie es beim Fahren der Kraftstoffschleife der Fall ist, der erwartliche Einsatz des Klopfens in der Gegend von $\lambda = 1,05$ zu erwarten ist. Es liegt auch tat-

sächlich bei einer großen Zahl von Versuchen an verschiedenen Motoren unter entsprechend gewählten Betriebsbedingungen der erstmalige Einsatz des Klopfens an dieser Stelle, dementsprechend auch der Tiefstpunkt der Klopfgrenzkurve. Demgegenüber ergeben die Klopfgrenzkurven des DB 601-Motors einen Tiefstpunkt, der wesentlich weiter weg vom Bereich $\lambda = 1,05$ liegt und sich zum Teil in die extremsten Reichgebiete erstreckt. Als besonders kennzeichnende Fälle konnten bei den Versuchen Klopfgrenzkurven erhalten werden, die ihren tiefsten Punkt im Reichgebiet bei $\lambda = 0,6$ haben und von da an eine nahezu lineare Zunahme der Klopfintensität mit steigendem Luftüberschuß aufweisen.

Im Zusammenhang mit einer früher durchgeführten Versuchsreihe zur Feststellung der Beeinflussung verschiedener Motore durch Kraftstoffe bot die vorliegende Versuchsreihe die ausreichenden Unterlagen, um eine einwandfreie Erklärung dieser Erscheinung zu geben. Beim Vergleich verschiedener Motore war nämlich festgestellt worden, daß der flüssigkeitsgekühlte DB 601 Zylinder eine schlechtere Gemischaufbereitung besitzt.

Schlechtere Gemischaufbereitung beim DB 601, die durch Einspritzvorgang, Verwirbelung und Gestaltung des Verbrennungsraumes sowie den Gesamttemperaturzustand des Motors bedingt ist, wirkt sich besonders im Reichgebiet aus. Es kann der Fall eintreten, daß unverdampfte Kraftstoffteile in Tröpfchenform vorhanden sind. Zur Erklärung des Klopfverhaltens des DB 601 Motors sei eine Stelle aus dem Buch von Lindner zitiert:

"Callendar konnte bei Gegenwart von unverdampften Brennstofftröpfchen im Gemisch eine starke Steigerung der Peroxydbildung nachweisen und dabei gleichzeitig eine Verminderung der Umsetzungstemperatur gegenüber dem entsprechenden Gemisch mit vollkommen verdampftem Brennstoffgehalt feststellen. Infolge Anreicherung des Gemisches in der unmittelbaren Umgebung der Tröpfchen sind Zonen vorhanden, in denen die Bildung von Peroxyden bevorzugt eintreten wird. Je niedriger die Ansaugtemperatur einer Maschine ist, desto höher wird der Anteil unverdampfter Tröpfchen zu Beginn der Kompression sein. Paraffinische Kraftstoffe werden hierbei am stärksten, Aromaten am wenigsten beeinflusst. Als Produkte der Umwandlung entstehen in der Hauptsache Aldehyde und Säuren. Peroxydbildung bei Benzol kommt wegen seiner hohen Widerstandsfähigkeit gegen Aufspaltung nicht in Frage. Bei Alkohol ist der Molekularverband durch den Einschluss von Sauerstoff gelockert, und die weitere Oxydation bedarf nur geringer aktivie-

...ungsenergie, wobei die entstehenden Oxydationsprodukte infolge ihrer niedrigen Zerfallenergie nicht zu rasch verlaufenden Reaktionen führen, die den Klopfvorgang hervorzurufen vermögen".

Diese von anderer Seite gemachten Feststellungen und ihre Übertragung auf die Ergebnisse, wie sie beim DB 601 beim Fahren von Klopfgrenzkurven erhalten wurden, ermöglichen eine Erklärung der beobachteten Erscheinung. Die schlechtere Gemischaufbereitung, beim DB 601 wirkt sich besonders im Reichgebiet aus, es sind unverdampfte Kraftstoffteilchen in Tröpfchenform vorhanden. Eine sonst an Motoren gefundene Klopfgrenzkurve geht aus den Gebieten des Luftüberschusses mit einer gewissen Neigung, die von der Art des Kraftstoffes, dem Motor und den Betriebsbedingungen abhängig ist, bis in die Gegend von $\lambda = 1,05$, um dann von hier aus wieder anzusteigen. Betrachtet man dagegen eine Klopfgrenzkurve des DB 601 bei niedriger Ladelufttemperatur, so ist der abfallende Ast der Klopfgrenzkurve im Gebiet des Kraftstoffmangels vorhanden. Durch die ständig zunehmende Gemischanreicherung steigt der Anteil unverdampfter Kraftstoffteilchen im Gemisch und damit die Möglichkeit der Peroxybildung. Die Klopfgrenzkurve nimmt daher vom Gebiete des sonstigen Tiefpunktes keinen normalen Anstieg, wie es durch die sinkende Temperatur des unverbrannten Gemischrestes bedingt wäre, sondern fällt weiterhin ab. Nach dem Erreichen des zugehörigen tiefsten Punktes erfolgt einheitlich ein fast senkrechter Anstieg der Klopfgrenzkurve. Bei der nächsten höheren Ladelufttemperatur ist der abfallende Ast vom Reichgebiet wieder vorhanden; die Gemischaufbereitung ist etwas verbessert. Damit ist der Anteil unverdampfter Kraftstoffteilchen zurückgegangen durch die höhere, im Zylinder herrschende Temperatur, dementsprechend rückt der tiefste Punkt der Klopfgrenzkurve weiter gegen das Reichgebiet. Bei weiter ansteigender Temperatur der Ladeluft und damit des Zylinderinneren kommt es soweit, daß nach dem abfallenden Ast im Gebiet des Luftüberschusses sogar ein Anstieg der Klopfgrenzkurve vom Punkt $\lambda = 1,05$ erfolgt, da über einen gewissen Bereich der Luftüberschusszahl infolge der zunehmenden Temperatur keine unverdampften Kraftstoffteilchen mehr vorhanden sind. Erst bei weiterer Gemischanreicherung treten sie wieder auf, es ist abermals ein Absinken der Klopfgrenzkurven im extremen Reichgebiet zu bemerken bis zu einem zweiten Tiefpunkt, von wo aus dann der senkrechte Anstieg im extremen Reichgebiet erfolgt. Die Verschiebung des Tiefpunktes mit der Ladelufttemperatur für VT 702/1 und C₁ ist für

einen Bereich, der über das ganze gefahrene Gebiet den Zustand zeigt, nämlich bei 80° und 120° Ventilüberschneidung, in Abb. 23 aufgetragen. Bei Berücksichtigung der Schwierigkeit, den zugehörigen tiefsten Punkt der Klopfgrenzkurve am Motor einwandfrei feststellen zu können, sind die Streuungen der einzelnen Punkte, die aus den bezeichneten Kurven entnommen sind, als gering zu bezeichnen.

Aus der Anzahl der gefahrenen Klopfgrenzkurven, bei denen die Tiefstpunktvorschiebung infolge der Gemischaufbereitung sowie die Veränderung der Gestalt der Klopfgrenzkurve gut zu sehen ist, wurde eine Kurvenschar für den ganzen Bereich der Ladelufttemperatur in räumlicher Darstellung in Abb. 24 aufgezeichnet: Es sind hier die Klopfgrenzkurven für den Kraftstoff $C_1 + 0,08$ Blei bei 40° Ventilüberschneidung zu sehen. Bei den Ladelufttemperaturen von 30° und $50^\circ C$ kommt nach einem fast geradlinigen Verlauf von $\lambda = 1,2$ an bis zum Tiefstpunkt im Gebiet des Luftmangels der senkrechte Anstieg im extremen Reichgebiet. Die 80° Klopfgrenzkurve zeigt erstmalig einen geringen Knick bei $\lambda \sim 1,05$, worauf nach einer geringen Unstetigkeit, die bereits die Tendenz des Anstieges ahnen läßt, der weitere Abfall der Klopfgrenze bis zum tiefsten Punkt im Reichgebiet mit darauffolgendem Anstieg erfolgt. Bei der Klopfgrenzkurve bei 100° Ladelufttemperatur ist erstmalig ein deutlicher Tiefstpunkt bei $\lambda \sim 1,05$ zu sehen, worauf nach kurzem Anstieg ein fast geradliniger Teil mit langsamen Absinken zu einem zweiten Tiefstpunkt führt. Es ist hierbei besonders gut zu erkennen, daß dem bereits durch die sonstigen Verhältnisse bedingten Anstieg der Klopfgrenze nach $\lambda = 1,05$ eine immer noch vorhandene Unregelmäßigkeit in der Gemischaufbereitung durch die Anwesenheit von unverdampften Kraftstoffteilchen entgegenwirkt. Es kommt nochmals zu einem zweiten Tiefstpunkt der Klopfgrenze im Reichgebiet, anschliessend daran folgt der steile Anstieg. Ab 130° Ladelufttemperatur zeigen die Klopfgrenzkurven das sonst gewohnte Bild eines Anstieges nach beiden Seiten vom Tiefstpunkt in der Gegend von $\lambda \sim 1,05$. Der nach dem Maximalwert der Klopfgrenze im Reichgebiet nochmals einsetzende Abfall ist ebenfalls durch die zunehmende Anwesenheit unverdampfter Kraftstoffanteile infolge der starken Gemischanreicherung zu erklären. Wenn auch diese eine Darstellung in Abb. 24 die Abhängigkeit der Gemischaufbereitung von der Ladelufttemperatur und ihren Einfluß auf die Klopfgrenzkurve besonders deutlich zeigt und wegen ihrer besonderen Augenfälligkeit als Beispiel herausgezeichnet wurde, so ist aber auch bei den übrigen Kraftstoffen mit Ausnahme des Bi/Bo- und Bi/Alk-Gemi-

sehen die gleiche Erscheinung zu beobachten.

In den zitierten Literaturstellen war darauf hingewiesen worden, daß das Verhalten der Aromatenkraftstoffe bei Vorhandensein von Kraftstoffteilchen im Gemisch am wenigsten beeinflusst wird. Es zeigt sich auch tatsächlich, daß unter den für die Betriebssicherheit des Motors zulässigen Mischungen der tiefste Punkt von Klopfgrenzkurven des Bi/Do-Gemisches, eines sehr stark aromatischen Kraftstoffes, immer in der Gegend des sonst beobachteten Tiefstpunktes bei $\lambda = 1,05$ liegt. Damit wäre allerdings noch nicht der Beweis dafür erbracht, daß aromatenhaltige Kraftstoffe bei entsprechender Anreicherung und Steigerung des Ladedruckes nicht doch noch irgendwo im Gebiet großen Kraftstoffüberschusses einen zweiten Tiefstpunkt zeigen. Die für die Durchführung der Versuche verwendeten Kraftstoffe hatten nach der Analyse ihrer Daten verschiedenen Aromatengehalt, der bei C_1 mit 11% am geringsten ist und in der Reihenfolge VT 702, über das Gemisch VT 706/707 bis Bi/Do mit einem Aromatengehalt von 65% steigt. Es bestand daraufhin die Möglichkeit, die Lage des tiefsten Punktes der Klopfgrenzkurven bei konstanter Ladelufttemperatur in Abhängigkeit vom Aromatengehalt zu untersuchen. Für die Ladelufttemperaturen sind bei sämtlichen Ventilüberschneidungen für die genannten Stoffe die Werte der Luftüberschusszahl des jeweiligen Tiefstpunktes der Klopfgrenzkurve in Abhängigkeit vom Aromatengehalt in Abb. 25 aufgetragen. Während die Punkte für den Kraftstoff C_1 entsprechend seinem niedrigsten Aromatengehalt am weitesten im Reichgebiet liegen, verschieben sie sich mit zunehmendem Anteil an Aromaten immer mehr gegen das Gebiet geringen Kraftstoffüberschusses, um bei dem Bi/Do-Gemisch mit seinem hohen Aromatengehalt den sonst gewohnten Tiefstpunkt bei $\lambda = 1,05$ zu erreichen. Damit kann angenommen werden, daß tatsächlich die Peroxybildung bei Anwesenheit unverdampfter Kraftstoffteilchen vom Gehalt des Stoffes an Aromaten abhängig ist und mit zunehmendem Gehalt derselben immer weniger in Erscheinung tritt, um bei fast rein aromatenhaltigen Kraftstoffen gänzlich zu unterbleiben.

Für Alkohol sind die Umstände, die sein Klopfverhalten bestimmen, bereits erwähnt worden; trotz Anwesenheit unverdampfter Kraftstoffteilchen kann ihre Einwirkung auf die Klopfgrenze ebenfalls als nicht maßgebend angesehen werden. Es zeigt sich auch bei sämtlichen erfahrenen Klopfgrenzkurven, daß der tiefste Punkt nur in geringem Maße von der Temperatur der Ladeluft abhängig ist und immer in der Gegend von $\lambda \sim 1,05$ liegt.

In den vorhergehenden Betrachtungen war bereits mehrere Male ein im extremen Reichgebiet steil ansteigender Ast der Klopfgrenzkurve erwähnt worden, der bei einigen Kraftstoffen auftrat. Bei Betrachtung einer beliebigen Abbildung, in der über der Luftüberschneidzahl die Klopfgrenze als Ladedruck in mm Hg aufgetragen ist, z.B. des Kraftstoffes VT 702, wandert dieser steile Ast mit zunehmender Temperatur immer weiter gegen das Gebiet des Kraftstoffüberschusses ab. Für denselben Kraftstoff, aber in der Auftragung der Klopfgrenzkurve über der Einspritzmenge in mm^3/Spiel , liegen die analogen Punkte für sämtliche gefahrenen Ladelufttemperaturen auf einer Kurve zusammen. Es bedeutet dies, daß der Motor in diesem Teil des Reichgebietes, unabhängig von der Ladelufttemperatur, jeweils immer bei demselben Ladedruck und der gleichen Einspritzmenge in das Klopfgebiet kommt; dementsprechend verschiebt sich mit steigender Ladelufttemperatur und der dadurch verringerten Füllung des Zylinders die Klopfgrenze immer mehr in das Reichgebiet. Sobald der Motor in diesem ansteigenden Ast der Klopfgrenzkurve gefahren wurde, zeigte es sich, daß eine verhältnismäßig geringfügige weitere Anreicherung zu fast momentan einsetzenden starken Leistungsabfall, der mit weitweiligen Aussetzern der Zündung verbunden ist, führt. Aus diesen beiden Erscheinungen kann man schliessen, daß bei dem steil ansteigenden Ast der Kurve im Reichgebiet Klopfgrenze und Zündgrenze des Kraftstoffes im Motor ziemlich nahe beisammen liegen und fast zusammenfallen. Eine weitere Stütze dieser Annahme bildet die Beobachtung, daß sich die Zündgrenzen mit steigender Anfangstemperatur des Systems erweitern. Im vorliegenden Fall verschiebt sich mit steigender Ladelufttemperatur der als Zündgrenze angesehene steile Ast der Klopfgrenzkurve mehr und mehr gegen das Reichgebiet.

3) Beeinflussung der Charakteristik der Klopfgrenzkurve durch Überschneidung

Bei der folgenden Betrachtung der Ergebnisse, die sich mit der allgemeinen Form der Klopfgrenzkurven befassen, soll eigentlich nur auf die Änderung der Charakteristik der Kurve selbst Bezug genommen werden. Die Verschiebung der allgemeinen Lage der Kurve, in diesem Falle der frühere oder spätere Eintritt in das Klopfgebiet, ist einem besonderen Abschnitt dieses Berichtes vorbehalten. Trotzdem ließ es sich nicht immer vermeiden, zur Erklärung gewisser Vorgänge bereits Einzelheiten vorwegzunehmen.

Aus den Betrachtungen über die allgemeine Form der Klopfgrenze beim DJ 601 ergab sich die weitgehende Abhängigkeit derselben von der Ladelufttemperatur mithin vom Temperaturzustand des Gemisches und der dadurch bedingten Gemischaufbereitung bei sonst gleichen Betriebsbedingungen. Andererseits war bei früheren Untersuchungen die Feststellung gemacht worden, daß die Ventilüberschneidung bei Berücksichtigung gleichen effektiven Mitteldrucks die thermische Innenbelastung des Motors ändert. Es war nun naheliegend, eine Beziehung zwischen diesen beiden verschiedenen Betriebsbedingungen und ihrer Einwirkung auf den Motor zu suchen. In einem Falle wird durch die Erhöhung der Ladelufttemperatur die Kompressionsendtemperatur und damit die Temperatur des zum Klopfen neigenden Anteiles des unverbrannten Gemisches vor der Flammeifront erhöht, sodaß z.B. bei sonst gegebenen, konstanten Betriebsbedingungen das Klopfen früher einsetzt. Die mit steigender Ventilüberschneidung besser werdende Totraumauspülung, der verringerte Restgasanteil und eine eventuell vorhandene Durchspülung des Zylinders erniedrigen jenen gesamten Temperaturzustand. Dadurch wird bei gleicher Ladelufttemperatur gegenüber dem gering überschrittenen Motor die Kompressionsendtemperatur erniedrigt. Mithin sind die Vorbedingungen für das Einsetzen der klopfenden Verbrennung nicht mehr dieselben und die Form der Klopfgrenze ändert sich.

Es ist eine bekannte Erscheinung, daß sich bei Veränderung der Ladelufttemperatur um eine gewisse Größe die Charakteristik der Klopfgrenzkurve verändert. Andererseits kann durch eine Änderung der Ventilüberschneidung um einen gewissen Betrag eine ähnliche Formänderung der Klopfgrenzkurve erzielt werden. Wenn es nun gelingt, diese beiden, die Form der Klopfgrenze beeinflussenden Größen zueinander in Beziehung zu bringen, könnte man die Aussage machen, daß sich die Ventilüberschneidung durch geeignete Änderung der Ladelufttemperatur kompensieren läßt. Mit anderen Worten ausgedrückt, würde das bedeuten, daß eine Veränderung der Ventilüberschneidung um einen gewissen Betrag und die dadurch resultierende Beeinflussung der Form der Klopfgrenze durch eine entsprechende Änderung der Ladelufttemperatur kompensiert werden kann, um wieder die ursprüngliche Form der Klopfgrenzkurve zu erhalten.

Bei diesen Überlegungen war der Einfluß des Restgases infolge Aufheizung der Füllung wohl in Betracht gezogen. Ausserdem ist aber noch an einen

reaktionskinetischen Einfluß zu denken, wobei sowohl die stabilen Festgasbestandteile, wie etwa CO_2 , H_2O , CO , als auch kurzlebige Produkte des Verbrennungsprozesses zu berücksichtigen sind, die in irgendeiner Form ketteneinleitend oder abbrechend wirken können. Es ist aber anzunehmen, daß die allgemeine Form der Klopfgrenzkurve, wie in vorhergehenden Ausführungen dargestellt wurde, zum großen Teil durch die Art der Verdampfung des Kraftstoffes und ihre Folgen auf die Gemischaufbereitung beeinflusst wird. Der reaktionskinetische Einfluß des Restgasanteiles dürfte daher die Form der Klopfgrenzkurve weniger stark verändern und nur auf die allgemeine Höhenlage derselben von Einfluß sein.

Die Versuche wurden daraufhin in dieser Richtung ausgewertet. Es wurden ohne Rücksicht auf die Höhenlage der Klopfgrenzkurven diejenigen ähnlichen Formen herausgesucht und miteinander in Beziehung gesetzt, die in ihrer allgemeinen Charakteristik übereinstimmten. In Abb. 26 sind bei den gefahrenen Ventilüberschneidungen für den Kraftstoff VT 702/1 + 0,12 BTÄ die ähnlichen Kurven herausgezeichnet. Es ist hierbei außer auf den Verlauf der Klopfgrenzkurven auf die Lage der beiden tiefsten Punkte zueinander sowie des dazwischen liegenden Linienzuges Bedacht genommen worden. Aus dieser Abbildung ist ersichtlich, daß fast die gleiche Kurvenform bei folgenden Werten erreicht wird.

Ventilüberschneidung	Ladelufttemperatur
40° KW	80°C
80° KW	160°C
120° KW	190°C

Es würde demnach die Steigerung der Ventilüberschneidung von 40° KW auf 80° KW einer Erhöhung der Ladelufttemperatur um ungefähr 80°C äquivalent sein. Die weitere Steigerung von 80° KW auf 120° KW könnte durch eine Temperaturänderung von rund 30°C kompensiert werden.

Der ungleichmäßige Temperatursprung bei Erhöhung der Überschneidung um jeweils denselben Betrag ist damit zu erklären, daß die Wirkung der Änderung der Überschneidung von 40° KW auf 80° KW wesentlich größer ist als die bei weiterer Steigerung von 80° KW auf 120° KW. Dieselbe Tatsache, daß eine weitere Erhöhung einer schon großen Überschneidung verhältnismäßig wenig einbringt, konnte bereits bei den Versuchen zur Untersuchung der

Leistungs- und Luftdurchsatzänderung bei Verwendung verschiedener Kraftstoffe bemerkt werden. Es zeigt sich auch hierbei, sobald jener Wert der Ventilüberschneidung erreicht ist, der eine fast völlige Totraumauspülung ergibt, daß eine weitere Steigerung der Überschneidung mit beginnender Darmspülung die thermische Innenbelastung nicht mehr in selben Maße herabsetzt.

Für die weiterhin noch untersuchten Kraftstoffe wurde dieselbe Auswertung vorgenommen, um die zahlenmäßige Änderung der Ladelufttemperatur, welche die Vergrößerung der Steuerzeiten in ihrer Auswirkung auf die Klopfgrenze kompensiert, festzustellen. Abb.27 zeigt die Klopfgrenzkurven für verschiedene Überschneidung der Steuerzeiten mit den zugehörigen Ladelufttemperaturen für den Kraftstoff $C_1 + 0,08\%$ STA. Für diesen Stoff sind diejenigen Kurven eingetragen, die bei der jeweiligen Temperatur als letzte Klopfgrenzkurve einen geradlinigen Verlauf über den ganzen Bereich der Luftüberschneidung zeigen mit Ausnahme des Steilanstieges im Reichgebiet. Die Darstellung von einander entsprechenden Kurven mit ähnlicher Lage der höchsten und tiefsten Punkte konnte nicht vorgenommen werden, da dieser Kraftstoff mit seiner hohen Klopfbarkeit mit Rücksicht auf die Beanspruchung des Motors stellenweise nicht mehr über den ganzen Bereich gefahren werden konnte.

Für das Gemisch VT 706b/707 sind in Abb.28 wieder jene Klopfgrenzkurven aufgetragen, die einander in ihrer Charakteristik ähnlich sind. Bei dieser Darstellung ist erstmalig ein größerer Abstand der erzielten Klopfgrenzkurven zu bemerken, ausserdem ist die die Überschneidungsänderung von $40^\circ K$ auf $80^\circ K$ kompensierende Ladelufttemperatursteigerung von $80^\circ C$ auf $60^\circ C$ zurückgegangen.

Die beiden noch übrig bleibenden Stoffe, die Gemische aus Bi/Bo und Bi/Alk, sind in den Abb.29 und 30 aufgezeichnet. Hierbei war es nun allerdings nicht möglich, die Kurven auf Grund ähnlichen Aussehens miteinander in Beziehung zu bringen. Ein Blick auf die Abb.8 und 11, auf denen sämtliche gefahrenen Klopfgrenzkurven der obigen Stoffe aufgetragen sind, zeigt deutlich eine Form von Klopfgrenzkurven, die von der Überschneidung fast unabhängig ist. Diese Tatsache ist an und für sich nichts Neues. Vergleicht man damit Klopfgrenzkurven, die bei verschiedener Ladelufttemperatur gefahren sind, so ist wohl ein großer Unterschied in der Höhenlage der einzelnen Kurven festzustellen, ob sie nun über P_L oder P_{me} aufgetragen sind.

Die Form dieser Klopfgrenzkurve, in diesem Falle die Änderung ihrer Steilheit, ist gegenüber der Höhenverschiebung, als gering anzusehen. Bei den durchgeführten Versuchen kommt noch eins hinzu, daß bei den großen Überschneidungen Werte der Luftüberschneidung errechnet werden, die mit den tatsächlich im Motor herrschenden Verhältnissen nicht übereinstimmen, und daher die Steilheit der Klopfgrenzkurven als Maßstab der Temperatureinflussung überhaupt nicht mehr in Betracht zu ziehen ist. Für diese beiden stark von der Temperatur abhängigen Stoffe, das Bi/Bo- und das Bi/Alk-Gemisch, wurde daher die Bewertung auf Grund ihrer zueinander passenden Höhenlage vorgenommen und in den Abb. 29 und 30 aufgetragen. In dem kleinen, für die Vergleiche zur Verfügung stehenden Gebiet der Versuchsergebnisse zeigte sich auch hier, daß die Ventilüberschneidung in ihrer Wirkung auf die Klopfgrenze durch eine entsprechende Änderung der Ladelufttemperatur kompensiert werden kann.

4) Beeinflussung der Klopfestigkeit von Kraftstoffen durch die Überschneidung.

Während im vorigen Abschnitt Betrachtungen darüber angestellt wurden, wie sich die Form einer Klopfgrenzkurve mit der gesteigerten Ventilüberschneidung ändert, soll in diesem Absatz die Verschiebung der Klopfgrenze selbst besprochen werden.

Wenn man sich nochmals die Gründe vorlegt, die bei der geänderten Ventilüberschneidung die Beeinflussung der Lage der Klopfgrenze bewirken, so waren es in unserem Falle Ladelufttemperatur, Totraumspülung, Änderung der thermischen Innenbelastung sowie der Restgasanteil mit seinem thermischen und reaktionskinetischen Einfluß. Es ist natürlich ausserordentlich schwierig, eine Trennung der Einflüsse vorzunehmen und zu sagen, diese Größe beeinflusst die Höhenlage, jene die Form der Klopfgrenzkurve, da meistens eine Überschneidung der genannten Ursachen auftritt und die Änderung einer Größe zwangsläufig die Mitänderung einer oder mehrerer anderer Einflussgrößen nach sich zieht. Es kann daher die Auswertung der Versuchsergebnisse nur in der Art vorgenommen werden, daß die Größenordnungsmäßig am meisten wirksamen Einflüsse zur Betrachtung herangezogen werden mit dem Hinweis, daß andere Einflüsse mitwirken. Daher wird es auch kaum möglich sein, eine für alle Kraftstoffe gültige Größe anzugeben, die die Änderung der Klopfgrenze mit der Überschneidung eindeutig zum Ausdruck bringt.

Zur Untersuchung des Einflusses der Überschneidung auf die Klopfgrenze wurde die Auswertung in folgenden Arten vorgenommen. Es wurde für die einzelnen Punkte der Luftüberschusszahl der zugehörige Wert des Ladedruckes an der Klopfgrenzkurve und der dabei herrschende effektive Mitteldruck in gegenseitiger Abhängigkeit aufgetragen. Ein Vergleich der Punkte gleicher Luftüberschusszahl kann dann Aufschluß darüber geben, wie sich die Klopfgrenze mit der Überschneidung ändert.

Eine Erklärung des gedachten Vorganges am Hand der Abb. 31, in der für sämtliche Kraftstoffe die erwähnte Auswertung dargestellt ist, dürfte zweckmäßig sein. Für die Ladelufttemperatur von 130°C , die Bezugstemperatur des DVL-Überladeverfahrens, sind für sämtliche gefahrenen Steuerzeiten und alle Kraftstoffe aus den Klopfgrenzkurven die Punkte gleicher Luftüberschusszahl mit den zugehörigen Ladedruck- und Mitteldruckwerten aufgetragen. Diese Art der Auswertung hat natürlich den Nachteil, daß die entnommenen Punkte gleicher Luftüberschusszahl den im Motor tatsächlich herrschenden Zustand der Gemischzusammensetzung nicht richtig wiedergeben. Es tritt einmal die bei zunehmender Überschneidung größer werdende Spülluftmenge infolge der Art des Messvorganges des Luftdurchsatzes mit in Erscheinung. Die Luftüberschusszahl wird daher gegenüber dem tatsächlichen Zustand der Gemischzusammensetzung zu groß angegeben, die Punkte liegen in das magere Gebiet verschoben. Dazu kommt noch ein zusätzlicher Fehler, der durch die Art gegeben ist, wie die Klopfgrenzkurven gefahren werden. Es ändert sich nämlich beim Durchfahren einer derartigen Kurve ständig der Ladedruck, somit auch die Spülluftmenge, sodaß die einzelnen Messpunkte verschieden falsch gerechnet werden. Der Versuch, die Auswertung über den Punkten gleicher Einspritzmenge vorzunehmen, führte auf ähnliche Schwierigkeiten. Hierbei ändert sich nämlich bei gleicher Einspritzmenge und verschiedener Ventilüberschneidung die Gemischzusammensetzung entsprechend dem im Zylinder verbleibenden Restgasanteil. Dadurch wären wiederum Punkte verschiedenen Leistungsabfalles verglichen worden.

Unter Berücksichtigung der oben angedeuteten Mängel ergibt die Auswertung der Abb. 31 folgendes Bild. Die Zunahme der Ventilüberschneidung von 40°KW auf 80°KW bringt einheitlich und bei sämtlichen Kraftstoffen eine beträchtliche Steigerung der Klopfgrenze, selbst unter Berücksichtigung falsch gerechneter Luftüberschusszahlen. Eine weitere Erhöhung der Ventilüberschneidung auf 120°KW bringt bei einigen Stoffen noch eine ge-

ringförmige Zunahme der Klopfestigkeit der Kraftstoffe im Motor, andere hingegen ändern sich in ihrem Klopfverhalten überhaupt nicht mehr oder zeigen sogar ein Absinken der Klopfgrenze. Bei dem Kraftstoff VT 702/1 läßt sich die Veränderung des Klopfverhaltens in Abhängigkeit der Ventilüberschneidung gut verfolgen. Es ist hier gelungen, Punkte fast gleichen Luftkraftstoffverhältnissen durch eine in die Abbildung 31 eingezeichnete Gerade zu verbinden. Bei der Ventilüberschneidung von 40° KW kann bei konstant gehaltenem Ladedruck von 1020 mm Hg ein effektiver Mitteldruck von 10 kg/cm^2 an der Klopfgrenze gefahren werden, während bei 80° KW $12,3 \text{ kg/cm}^2$ und bei 120° KW Überschneidung $13,5 \text{ kg/cm}^2$ zu erreichen sind.

Die gleiche Auswertung ist in Abb. 32 für dieselben Kraftstoffe bei der Ladelufttemperatur von 160°C gemacht worden. Auch hier zeigt ein Blick auf die einzelnen Klopfgrenzen der Kraftstoffe eine beachtliche Zunahme bis 80° Ventilüberschneidung, darüber hinaus geringe Steigerung, Gleichbleiben oder sogar Abnahme der Klopfestigkeit des betreffenden Kraftstoffes.

Um diese an sich nicht ganz erwartete Erscheinung klären zu können, wurde versucht, tatsächlich vorhandene Punkte gleicher Gemischzusammensetzung zueinander ins Verhältnis zu setzen. Es erwies sich dabei am zweckmäßigsten, die jeweiligen Tiefpunkte der Klopfgrenzkurven bei den hohen Ladelufttemperaturen zu vergleichen. In früheren Abschnitten war einiges über die Lage des Tiefpunktes der Klopfgrenzkurven und die Abhängigkeit seiner Lage über der Luftüberschusszahl von Ladelufttemperatur und Ventilüberschneidung gesagt worden. Diese Betrachtungen hatten als Ergebnis, daß der erstmalige Klopfeinsatz bei hohen Ladelufttemperaturen unabhängig von der Natur des Kraftstoffes in der Nähe des stöchiometrischen Mischungsverhältnisses auftritt. Damit ist der Leistungsabfall infolge Gemischverarmung bei diesen Punkten prozentual nahezu derselbe, sodaß sie ohne weiteres miteinander verglichen werden können.

Die nach obigen Gesichtspunkten vorgenommene Auswertung zeigt in Abb. 33 für 160°C , in Abb. 34 für 190°C Ladelufttemperatur die Veränderung der Klopfgrenze mit der Überschneidung. Es ist bei sämtlichen Kraftstoffen eine Steigerung der Klopfgrenze bis ungefähr 80° Ventilüberschneidung festzustellen. Darüber hinaus ist die Tendenz der einzelnen Stoffe nicht mehr einheitlich. Die Kraftstoffe VT 702 und VT 702/1 zeigen noch eine

merkliche Zunahme der Klopfestigkeit. Wenn auch die Zunahme des Ladedruckes nur mehr gering ist oder derselbe schon abfällt, so ist immerhin noch eine Steigerung des an der Klopfgrenze fahrbaren effektiven Mitteldruckes feststellbar. Bei dem Gemisch 706/707 ist eine merkliche Zunahme nicht mehr feststellbar. Die Gemische aus Bi/Bo und Bi/Alk hingegen zeigen ein deutliches Absinken der Klopfestigkeit dieser Stoffe bei der hohen Überschneidung.

Die Erklärung dieser Erscheinung ist in Anbetracht des nicht sehr großen Versuchsmaterials, das vor allem erst für einen Motor vorliegt, nicht ganz einfach und in Anbetracht der begrenzten Unterlagen mit einer gewissen Vorsicht zu gebrauchen. Die allgemeine Feststellung für die Beeinflussung der Klopfgrenzkurve durch die zunehmende Ventilüberschneidung war, daß sich die geänderte thermische Innenbelastung sowie der reaktionskinetische Einfluß der Restgase bemerkbar machen. Die Versuche zeigen, daß bei Änderung der Überschneidung von 40° auf 80° KW eine weitgehende Abnahme der thermischen Innenbelastung erfolgen muß, da beim selben Ladedruck eine entsprechende Erhöhung des effektiven Mitteldruckes möglich ist, um an der Klopfgrenze zu bleiben. Unter Umständen kann sogar der Ladedruck noch gesteigert werden, ohne daß die Klopfgrenze überschritten wird. Der geringer werdende Anteil an Restgasen macht sich in diesem Gebiet der Ventilüberschneidung durch die geringere Aufheizung der Ladeluft bemerkbar, hinzu kommt die kühlende Wirkung der Spülluft. Wie weit sich der reaktionskinetische Einfluß der Restgase auf das Klopfverhalten in diesem Bereich bemerkbar macht, kann nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Die Erhöhung der Klopfestigkeit mit Zunahme der Überschneidung bis 80° KW trat bei allen Kraftstoffen auf, wenn auch der Betrag der Zunahme der Klopfestigkeit verschieden ist. Da die geänderte Ventilüberschneidung durch eine entsprechende Ladelufttemperaturänderung kompensiert werden kann, ist es erklärlich, daß weniger temperaturempfindliche Stoffe eine geringere, stark temperaturempfindliche eine größere Steigerung ihrer Klopfestigkeit erfahren.

Die weitere Vergrößerung der Steuerzeit auf 120° KW bringt naturgemäß eine nochmalige Abnahme der thermischen Innenbelastung mit sich. Es müßte sich daher bei sämtlichen untersuchten Stoffen eine abermalige Erhöhung der Klopfestigkeit ergeben. Ein Blick auf die Abb. 33 und 34 zeigt jedoch, daß die Wirkung der Überschneidung recht unregelmäßig ist. Die

wenig temperaturempfindlichen Stoffe zeigen noch eine Zunahme der Klopf-
festigkeit entsprechend der abnehmenden thermischen Innenbelastung. Hin-
gegen sind die Kraftstoffgemische, die stark temperaturempfindlich sind
und dementsprechend von einer Abnahme der thermischen Innenbelastung am
meisten profitieren müßten, wider Erwarten in ihrer Klopfestigkeit zu-
rückgegangen. Es bleibt daher nur mehr die Möglichkeit, daß der reak-
tionskinetische Einfluß des Restgases doch von einigermaßen größerer
Wirkung im günstigen Sinne auf das Klopfverhalten ist und Stoffe, die
stark temperaturempfindlich sind, auch davon stark beeinflusst werden.
Im vorliegenden Falle, bei einer Ventilüberschneidung von 120° KW, kann
von noch vorhandenen Restgasanteilen in merkbarer Größenordnung nicht
mehr gesprochen werden. Es müßte daher der angenommene günstige Einfluß
auf die Klopfgrenze wegfallen und zwar in umso stärkerem Maße, als die
Stoffe dafür empfindlich sind; vor allem daher bei den stark temperatur-
empfindlichen Stoffen. VT 702 mit geringem Aromatengehalt zeigt noch eine
Zunahme der Klopfestigkeit bei 120° KW Ventilüberschneidung, das Gemisch
706/707 mit höherem Aromatengehalt ist in seinem Klopfverhalten fast gleich
geblieben, und das Bi/Bo-Gemisch mit dem höchsten Aromatengehalt unter
den verwendeten Kraftstoffen läßt das Absinken der Klopfgrenze deutlich
erkennen. Gegenüber der Steuerzeit von 80° KW Überschneidung, wo ausser
durch die geringere thermische Innenbelastung noch durch den Restgasan-
teil mit seinem reaktionskinetischen Einfluß eine Erhöhung der Klopf-
festigkeit stattfand, ist bei der Ventilüberschneidung von 120° KW die
Veränderung der Klopfgrenze durch die weiterhin zurückgehende thermische
Innenbelastung sowie das Fehlen von Restgas bedingt, wobei nur nach der
Art des verwendeten Kraftstoffes eine Steigerung oder Herabsetzung der
Klopfgrenze erfolgen kann.

5) Allgemeine Wirkung der Überschneidung auf das Klopfverhalten.

In diesem Abschnitt soll ein kurzer Überblick gegeben werden, wie sich
bei Zusammenfassung der einzelnen Einflüsse auf das Klopfverhalten das all-
gemeine Bild von Kraftstoffen in ihren Klopf Eigenschaften ergibt, sobald
die Ventilüberschneidung geändert wird. Dann sollen noch einige Hinweise
folgen über die Möglichkeit, das DVL-Überladeverfahren den bei modernen
Vollmotoren auftretenden Betriebsbedingungen anzupassen.

Es muß jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen werden, daß sämtliche vorstehenden Untersuchungen an einem flüssigkeitsgekühlten Motor vorgenommen wurden und daher eine genaue Übertragung der gefundenen Ergebnisse auf luftgekühlte Motoren nicht möglich sein wird. Wenn auch zu erwarten ist, daß in großen Zügen das Bild der hier gewonnenen Erkenntnisse erhalten bleibt, ist es immerhin denkbar, daß infolge des wesentlich höheren Temperaturzustandes des luftgekühlten Motors Verschiebungen oder Abweichungen einzelner Teilergebnisse auftreten. Die zur Zeit durchgeführten Versuche zur Feststellung des Einflusses der Ventilüberschneidung an einem luftgekühlten Motor bilden die einigemäße Fortsetzung der abgeschlossenen Versuche am DB 601, nach deren Vollendung die genaue Feststellung möglich sein wird, wie weit sich die gefundenen Ergebnisse deuten.

Die zur Ermittlung der Wirkung der Ventilüberschneidung auf das Klopfverhalten von Kraftstoffen durchgeführten Versuche ergaben einen bedeutenden Einfluß derselben. Die geänderte thermische Innenbelastung im Zusammenwirken mit den unterschiedlichen Restgasanteilen verändert nicht nur die Charakteristik von Klopfgrenzkurven, sondern auch die allgemeine Höhenlage, mithin die Klopfestigkeit eines Kraftstoffes. Es ist gelungen, die Charakteristik der Klopfgrenzkurven von nicht stark temperaturempfindlichen Stoffen, die vom Temperaturzustand und von der Gemischaufbereitung abhängig ist, in ihrer Beeinflussung durch die geänderte Ventilüberschneidung in einwandfreier Weise zu bestimmen. Es kann daher, wenn für einen Kraftstoff und eine Ventilüberschneidung die Klopfgrenzkurven für einen großen Temperaturbereich der Ladeluft gefahren worden sind, für eine geänderte Ventilüberschneidung die Form der Klopfgrenzkurve bei gegebener Ladelufttemperatur, allerdings ohne Berücksichtigung ihrer Höhenlage, vorausgesetzt werden.

Für stark temperaturempfindliche Stoffe, Gemische mit hohem Aromaten- oder Alkoholgehalt, wurde eine befriedigende Lösung nicht gefunden. Da bei diesen Stoffen die Gemischaufbereitung als Folge der Ladelufttemperatur fast ohne Einfluß auf die Charakteristik der Kurve ist, läßt sich die erwähnte Kompensation der veränderten Ventilüberschneidung gegen geänderte Ladelufttemperatur nicht durchführen. Bei diesen Stoffen bewirkt eine Veränderung der Steuerzeiten lediglich eine Änderung ihrer Klopfestigkeit durch andere Höhenlage der Klopfgrenzkurve.

Für die Veränderung der Klopfestigkeit verschiedener Kraftstoffe durch die Ventilüberschneidung ergab sich, daß die einzelnen Stoffe in Abhängigkeit von ihrem chemischen Aufbau kein einheitliches Verhalten zeigen. Bei Erhöhung der Überschneidung von 40° KV auf 80° KV tritt durchwegs eine Steigerung der Klopfestigkeit ein, wobei es gleichgültig ist, ob die Klopfgrenzkurve über dem höchstzulässigen Ladedruck oder über dem dabei erzielten effektiven Mitteldruck aufgetragen wird. Durch die allgemeine Erhöhung der Klopfestigkeit aller Kraftstoffe bleibt auch die sogenannte Reihenfolge der Bewertung der einzelnen Stoffe bei ein und derselben Ladelufttemperatur wenigstens ungefähr erhalten, sobald die Überschneidung im Bereich zwischen 40° und 80° KV variiert wird.

Gänzlich verschieden davon ist die Veränderung der Klopfestigkeit von Stoffen bei weiterer Erhöhung der Überschneidung. Das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Stoffe in Bezug auf ihre Klopfestigkeit, das abhängig von ihrer Zusammensetzung, von einer Erhöhung über Gleichbleiben bis zum Absinken hinüberspielt, erlaubt vorläufig keine eindeutigen Schlüsse über die auftretende Reihenfolge der Bewertung.

Bei den weniger temperaturempfindlichen Stoffen kommt noch hinzu, daß die Verringerung der Füllung mit zunehmender Ladelufttemperatur und die erhöhte thermische Innenbelastung sich bei großer Überschneidung über einen ziemlichen Temperaturbereich und das für den praktischen Betrieb in Betracht kommende Gebiet der Luftüberschusszahl die Wage halten, sobald der erzielte Mitteldruck an der Klopfgrenze als Bewertungsmaßstab genommen wird. In Abb. 35 ist eine diesbezügliche Auswertung für die Kraftstoffe C₁ und VT 702/1 vorgenommen worden, indem der Abstand der p_{me} Klopfgrenzkurven aus den Abbildungen 18 und 21 bei 30 und 130°C Ladelufttemperatur für die jeweilige Überschneidung aufgetragen wurde. Die mit den dazwischen liegenden Werten der Ladelufttemperatur 50° , 80° und 100°C gefahrenen Klopfgrenzkurven der genannten Kraftstoffe liegen in der Auftragung über p_{me} innerhalb dieses Temperaturbereiches. Man sieht, daß mit zunehmender Überschneidung der Unterschied der erzielbaren p_{me} Werte immer geringer wird und daß die Kurven über den Bereich der Luftüberschusszahl, der für den praktischen Betrieb in Frage kommt, bei 120° Ventilüberschneidung fast zusammenfallen. Damit hätte bei der großen Überschneidung die Messung von weniger temperaturempfindlichen Kraftstoffen nach dem an der Klopfgrenze erzielbaren Mitteldruck bei verschiedenen Ladelufttemperaturen keinen Sinn mehr.

Die stark temperaturempfindlichen Stoffe scheinen nach den bisher vorliegenden Versuchsergebnissen die Eigenschaft zu besitzen, ab einer gewissen Ventilüberschneidung, die bei ungefähr 100° K. liegen dürfte, eine Verschlechterung ihrer Klopfestigkeit zu zeigen. Sie sind allerdings noch immer klopfester bei 120° Überschneidung als bei ihrer Prüfung nach dem DVL-Überladeverfahren bei 40° Überschneidung. Jedoch erscheint es unter diesen Umständen nicht günstig zu sein, Aromatenkraftstoffe bei geänderten Überladeprüfbedingungen, z.B. 80° Ventilüberschneidung zu untersuchen, da bei ihrer Verwendung in höher überschrittenen Motoren mit einem früheren Erreichen der Klopfgrenze gerechnet werden kann. Ein abschliessendes Urteil darüber läßt sich zur Zeit noch nicht geben, da bei modernen Vollmotoren ausser der Erhöhung der Überschneidung auch eine Steigerung der Verdichtung stattgefunden hat und die Versuche zur Feststellung des Verdichtungseinflusses bei grossen Steuerzeiten zur Zeit erst durchgeführt werden.

Ein weiterer Grund, der gegen die Veränderung der Überschneidung beim DVL-Überladeverfahren auf 80° K_V unter Beibehaltung der übrigen Betriebsbedingungen spricht, ist die Prüfung von aromatenhaltigen Kraftstoffen bei Ladelufttemperaturen, die den der Praxis vorkommenden entsprechen. Sie führt zu derartig hohen Aufladedrücken, um den Motor an die Klopfgrenze zu bringen, daß durch die gesteigerte mechanische Beanspruchung ein einwandfreier, länger dauernder Betrieb des Prüfstandes zweifellos in Frage gestellt ist.

Unter diesen Gesichtspunkten könnte man die Frage aufwerfen, ob es nicht zweckmäßiger ist, die Prüfung von Flugmotorenkraftstoffen, vor allem für den Serienbetrieb, im Einzylinder des betreffenden Baumusters unter den jeweils geforderten Betriebsbedingungen vorzunehmen. Wie die Versuchsergebnisse zeigten, ist vorderhand an eine einigermaßen exakte Übertragbarkeit der Klopfgrenzkurven noch nicht zu denken, wenn man darunter die Möglichkeit versteht, auf Grund der Untersuchung eines Kraftstoffes in einem bestimmten Einzylindermotor sein Verhalten in einem beliebigen Vollmotor bei beliebigen Betriebsbedingungen vorauszusagen. Die nach dem DVL-Überladeverfahren erhaltenen Ergebnisse sind zweifellos für die allgemeine Bewertung von Kraftstoffen äusserst aufschlußreich; die Verwertbarkeit der Ergebnisse für den praktischen Vollmotorenbetrieb ist jedoch ziemlich in Frage gestellt, sobald hierbei Betriebsbedingungen auf-

treten, die sich von denen des DVL-Überladeverfahrens weitgehend unterscheiden und deren beträchtlicher Einfluß auf das Klopfverhalten von Kraftstoffen festgestellt ist.

Die allgemeine Betrachtung von Klopfgrenzkurven weniger temperaturempfindlicher Kraftstoffe bei hoher Überschneldung, die aus dem Reichgebiet bei niedrigen Ladedrücken bei ständiger Vermagerung des Gemisches ein Ansteigen der Klopfestigkeit zeigen, weist auf Folgendes hin. Während bisher eine Abhilfe gegen einsetzendes Klopfen bei Startleistung in einer entsprechenden Gemischanreicherung bestand, würde diese Maßnahme bei hoch überschrittenen flüssigkeitsgekühlten Motoren das Gegenteil bewirken. Der Verlauf der Klopfgrenzkurven z. B. von VT 702/1 in Abb. 16 zeigt eindeutig, daß bei 120° Ventilüberschneidung bis 160° Ladelufttemperatur ein Anreichern des Gemisches, sobald der Motor sich in der Nähe des Klopfgebietes befindet, nur zu verstärktem Klopfen führen wird. In diesen Fällen könnte eine Vermagerung des Gemisches, sobald ein unzulässiger Leistungsabfall nicht überschritten wird, als Abhilfe angesehen werden.

Die ausgedehnten Versuche und die vorliegenden Versuchsunterlagen dürften ausserdem einen Beitrag zu den von einigen Stellen unternommenen Arbeiten geben, welche die Klopfgrenzkurven und ihre Beeinflussung von den Betriebsbedingungen, sowie ihre Übertragbarkeit rechnerisch ermitteln wollen.

V. Zusammenfassung.

Die Versuche zur Feststellung des Einflusses der Ventilüberschneidung auf das Klopfverhalten von Kraftstoffen verschiedener chemischer Zusammensetzung ergaben folgende Ergebnisse:

Beim DB 601 Motor ergab sich unter gewissen Betriebsbedingungen, z. B. hoher Überschneldung oder niedriger Ladelufttemperatur und bei wenig temperaturempfindlichen Kraftstoffen ein eigenartiger Klopfbereich. Die Kurven zeigen von ihrem Tiefpunkt im Reichgebiet einen kontinuierlichen Anstieg der Klopfestigkeit und weichen damit von dem sonst gewohnten Bild von Klopfgrenzkurven nach dem DVL-Überladeverfahren erheblich ab. Diese Erscheinung ist durch die Gemischaufbereitung bedingt. Die Anwesenheit von unverdampften Kraftstoffteilchen in Tröpfchenform und die damit ver-

bedeutsame Steigerung der Peroxybildung konnten in ihrer Abhängigkeit von der Ladelufttemperatur und der Ventilüberschneidung nachgewiesen werden. Mit zunehmender Ladelufttemperatur oder abnehmender Ventilüberschneidung trat eine Verbesserung der Gemischaufbereitung ein, womit ein langsames Verschwinden des tiefsten Punktes im Reichgebiet verbunden war und die Klopfgrenzkurven die bei sonstigen Motoren übliche Gestalt annehmen. Bei temperaturempfindlichen Stoffen, Gemischen aus Benzol und Alkohol, konnte diese Erscheinung nicht beobachtet werden, da die Voraussetzungen für im Reichgebiet erstmalig einsetzendes Klopfen nicht gegeben sind.

Die Charakteristik der Klopfgrenzkurven, die vom Temperaturzustand des Gemisches und der dadurch bedingten Gemischaufbereitung abhängig ist, und ihre Beeinflussung durch die veränderte Ventilüberschneidung konnte größenordnungsmäßig festgestellt werden. Die mit Vergrößerter Überschneidung abnehmende thermische Innenbelastung kann in ihrer Wirkung auf die Form der Klopfgrenzkurve durch eine entsprechende Ladelufttemperaturerhöhung kompensiert werden. Die Steigerung der Ventilüberschneidung von 40° auf 80° KW kann durch eine Erhöhung der Ladelufttemperatur von rund 80°C kompensiert werden. Die weitere Vergrößerung der Überschneidung von 80° auf 120° K. ist einer Temperatursteigerung der Ladeluft von ungefähr 30°C äquivalent. Die Veränderung der Höhenlage der Klopfgrenzkurve blieb hierbei ohne Beachtung.

Die Beeinflussung der Klopfbarkeit von Kraftstoffen ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung und von der Größe der Überschneidungsänderung. Stoffe mit geringem Gehalt an temperaturempfindlichen Anteilen zeigten über den ganzen Versuchsbereich eine Zunahme der Klopfbarkeit. Gemische mit hohem Benzol- oder Alkoholgehalt, die dementsprechend stärker temperaturempfindlich sind, reagieren nicht mehr einheitlich. Bei Änderung der Überschneidung von 40° auf 80° K. ergab sich noch durchwegs eine beachtliche Steigerung der Klopfbarkeit. Weitere Erhöhung der Ventilüberschneidung auf 120° KW blieb zum Teil ohne Einfluß auf die Klopfbarkeit, zum Teil konnte bereits ein Absinken derselben beobachtet werden, je nach dem Gehalt an temperaturempfindlichen Anteilen des Gemisches.

Die Möglichkeiten der Anpassung des DVL-Überladeverfahrens an die bei neuzeitlichen Vollmotoren auftretenden Betriebsbedingungen sind in begrenztem Maße vorhanden. Bei geringer Änderung der Ventilüberschneidung scheint

es möglich, daß die Reihenfolge der Bewertung von Kraftstoffen erhalten bleibt. Eine weitgehende Abänderung des DVL-Überladerverfahrens in Anlehnung an die geänderten Betriebsverhältnisse neuzeitlicher Vollmotoren, wie große Überschneldung, höhere Verdichtung usw. muß bis zur Klärung aller genannten Einflüsse zurückgestellt werden.

Schrifttum.

- 1) F.A.F.Schmidt, Verbrennungsmotoren. Thermodynamische und versuchsmäßige Grundlagen unter besonderer Berücksichtigung der Flugmotoren. Verlag Springer, Berlin 1939
- 2) C.B.Veal, Die Bewertung von Flieger Brennstoffen an betriebsmäßig ausgeführten Flugmotoren. SAE Journal Bd.Nr.5
- 3) w.wilke und F.Jantsch, Die Eigenschaften der Flugkraftstoffe und ihre Prüfung. Ringbuch der Luftfahrtforschung IV. C 12
- 4) F.Dreyhaupt, Der Stand der Forschung über das Klopfen der Ottomotoren. ATZ 1941, Heft 21 und 23
- 5) J.Jost, Explosions- und Verbrennungsvorgänge in Gasen. Verlag Springer Berlin 1939
- 6) A.W.Schmidt u. K.Generlich, Untersuchung der Klopfgeräusche von Ottomotoren mit elektro-akustischen Meßgeräten. Deutsche Kraftfahrtforschung, Heft 33
- 7) H.Rögener, Bemerkungen zur Frage der Charakterisierung von Treibstoffen. Bericht des Physik.Chem.Institutes der Universität Leipzig, 1940
- 8) K.Franke, Einfluß verschiedener Kraftstoffe und Ventilüberschneidung auf Motoren, DVL-Bericht
- 9) H.Rögener und v.Weber, Versuche über Selbstzündung und Verbrennung von Kohlenwasserstoffen. Bericht des Physik.Chem.Institutes der Universität Leipzig 1941.
- 10) F.A.F.Schmidt, Theoretische Untersuchungen und Versuche über Zündverzögerung und Klopfvorgang. VDI Forschungsheft 392
- 11) W.Lindner, Entzündung und Verbrennung von Gas- und Brennstoffdampfgemischen. VDI Verlag, Berlin 1931
- 12) H.L.Callendar, Engineering 123 (1927) zitiert im Buch von W.Lindner
- 13) D.R.Pye, Die Brennkraftmaschinen; übersetzt von Wettstädt, Verlag Springer, Berlin 1933
- 14) Bauvorschriften für Flugmotoren BVM Oktober 1940
Prüfvorschriften für Flugmotorenkraftstoffe.
- 15) F.Seeber, Neuere Verfahren der Kraftstoffprüfung, Luftfahrtforschung 1939 Band 16.

Tafel 1

Motordatenblatt

Motor-Type: DB 601

Daten: Hub - 160 mm
Bohrung - 150 mm
Verdichtung c = 6,5
Hubraum - 2,828 Liter
Kompressionsraum = 517 cm³

Steuerzeiten:	E 8	E 8	A 8	A 8
	°v.o.T.	°n.u.T.	°v.u.T.	°n.o.T.
Ventilüberschneidung:				
40°KW	24	56	52	16
80°KW	39	72	53	41
120°KW	71	56	69	49

Gemischaufbereitung: Einspritzung: Förderbeginn 26°n.o.T.

Pumpe: Bosch PZ 2/100 V 402 (Nockenpumpe)
Düse: L'Orange 6/38 9 - 2029 A

Zündvorrichtung :

Kerzen: Bosch J 260 F 1
Magnet: Bosch FI 1R 36
Bosch FI 1L 36

Ladeluft

Gebälse: Klein, Schanzlin & Becker 1,5 atü 450 m³/h
Lufterhitzer: DVL 24,5 kW

Kühlstoff :

Pumpe: Wasser
Maschinenfabrik Odessa Typ S 30/160 135 1/min

Auspuffanlage :

DVL, über Schalldämpfer, Absauggebläse

Bremsmittel :

Siemens - Generator Typ A 6 247

Tabelle 2
Kennzeichen der Krieffstoffe.

Beseizhung	VF 702 • 0,12 DTI 405/40	25% BI unverbleit 75% Flieger-2e 120/41	35% BI unverbleit 47% Kthp-Alibab. 25% VF 707 122/41	VF 702/1 • 0,12 DTI 196/41	51% Broderfils (Beckert)
Eingangs-Nr.					
Colloiert von	Ammolawerk Harzburg	gemischt bei ORE	gemischt bei ORE	51% Mittschab	
Spez.Gewicht bei 20°C	0,7206	0,8285	0,7495	0,7760	0,7216
Refraktion n _{D20}	1,4021	1,4696	1,3804	1,4358	1,4038
Viskosität, dyn. §	0	0	46	0	0
Dampfdruck bei 20°C	0,435	0,215	0,495	0,385	0,385
Siederverhalten	e. Abb. 3	e. Abb. 3	e. Abb. 3	e. Abb. 3	e. Abb. 3
Zerred. Eigenschaften	unverändert	unverändert	unverändert	unverändert	unverändert
Cu, Al-Nisten 3 314,50°C	2,4	9,8	2,6	1,2	0,6
Verharung mg/100 cm ³	unter -60	-19	unter -60	unter -60 (etwas trüb)	unter -60
Kristall-Punkt °C	0,12	0	0	0	0,118
Blasgehalt n-Jodverfahren	3,2	2,6	1,62	1,90	2,24
Jodzahl (Kamm)	60,2	59,4	59,4	51,0	56,6
Amilignanz II	U. 2,5 - Ar. 19,7	U. 3,0 - Ar. 82,3	U. 3,2 - Ar. 23,3	44	10,7
Ar. + Daps. Gr. §	25,5	5,7	26	35,4	11
Leitwert	52,5	9,0	47,5	20,6	29,9
Ephthone §	65,20	90,38	69,70	49,4	12,5
C-Gehalt §	14,75	9,68	14,0	12,55	16,5
H ₂ -Gehalt §	0	0	16,30	0	85,15
O ₂ -Gehalt §	5,78	9,34	4,39	7,11	14,67
O/In-Verhältnis	14,95	15,7	12,1	5,77	0
% theo. Antikollat	10457	9049	9502	14,3	5,76
Unterer Molwert	92	88,5	88	1035	14,99
Oktanol N.R.				75	1037
				88	97

000402

Tabelle 3
.....

Kennzeichen des Schmieröles

Bezeichnung	P 16
Eingangs-Nr.	399/40
Geliefert von	I.G.Farbenindustrie Ludwigshafen
Spez.Gewicht bei 20°C	0,885
Refraktion n_{D20}	1,4897
Viskosität bei 20°C	239
50°C	28,3
100°C	3,76
Polhöhe	1,97
Flammpunkt °C	230
Brennpunkt °C	266
Stockpunkt °C	-12
Säurezahl mg. KOH	0,08
Verseifungszahl mg KOH	0,013
Asphalt %	0
Asche %	0,002

000403

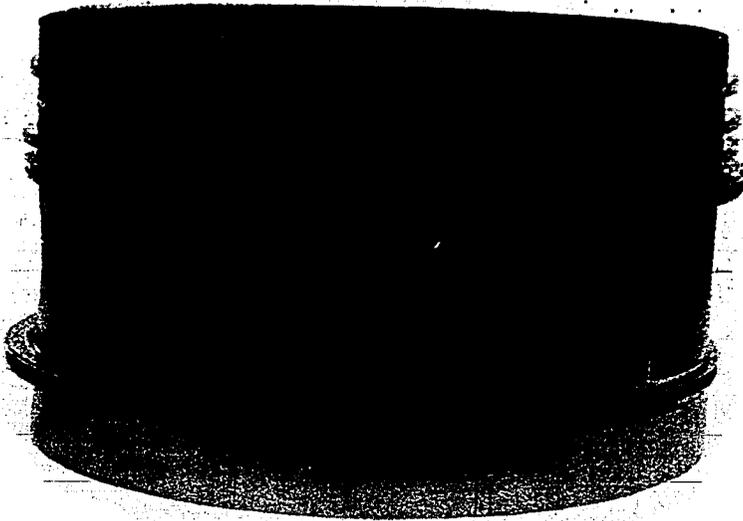


Abb. 1: Ansicht des Kolbens nach Beendigung der Versuche (Laufzeit ungefähr 200 Stunden).

000404

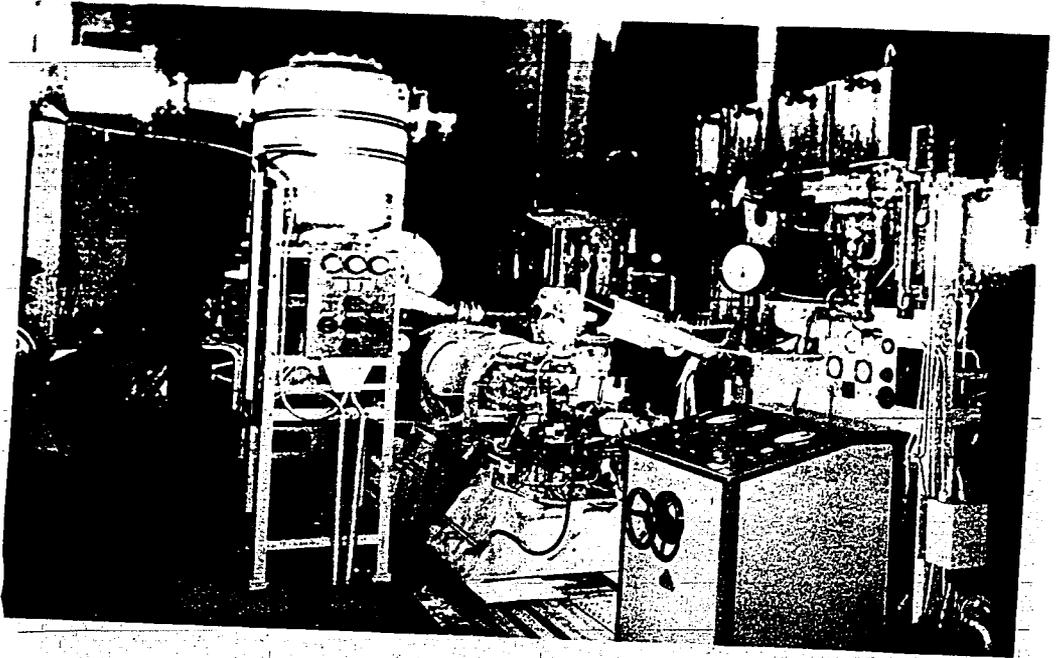


Abb.2: Gesamtansicht des Prüfstandes mit dem DB 301 Zylinder.

000405

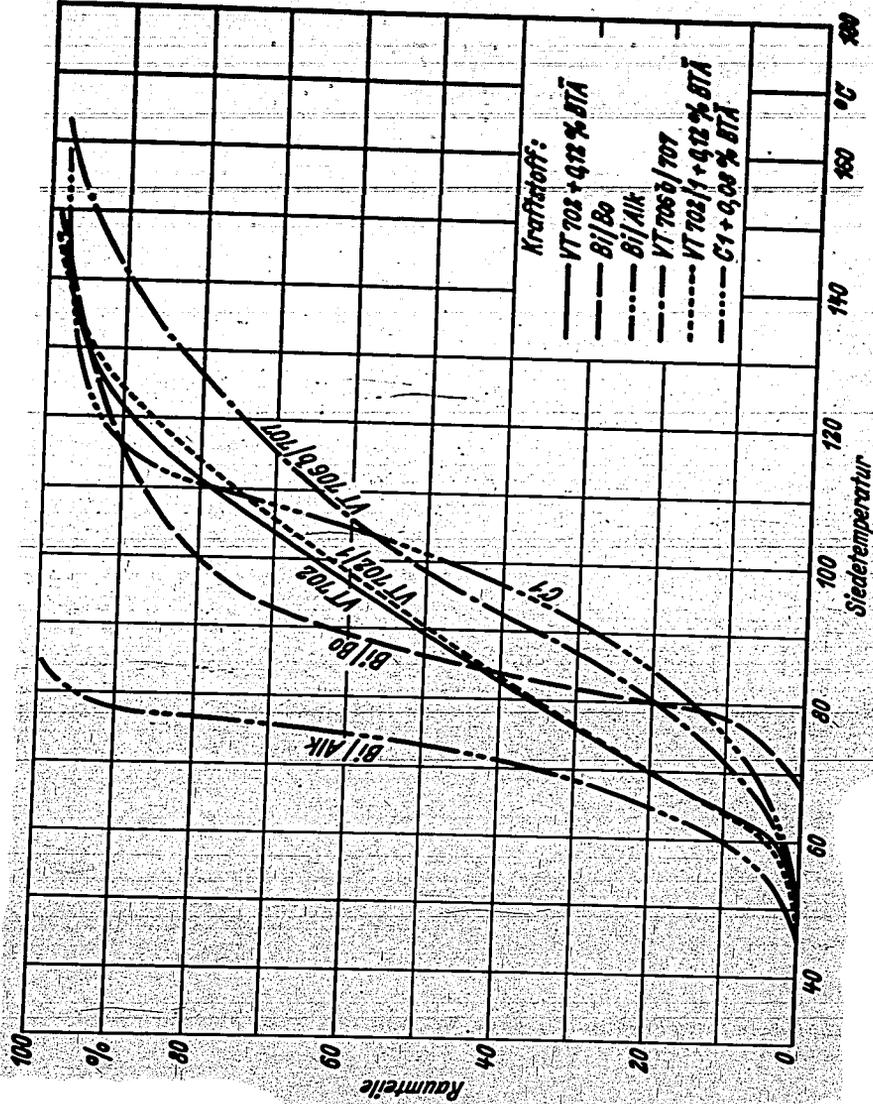


Abb. 3: Siedeverhalten der Kraftstoffe.

Klopfgrenzkurven verschiedener Motoren mit verschiedenen Kraftstoffen.

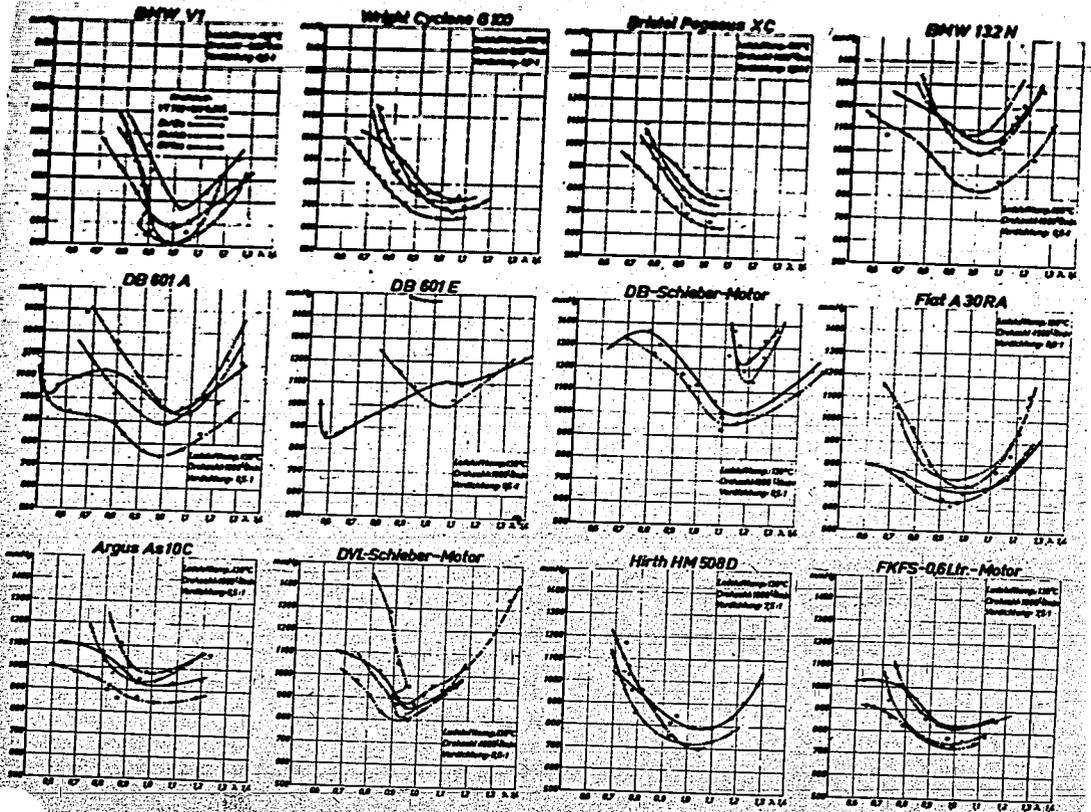


Abb. 4: Klopfgrenzkurven verschiedener Motoren mit verschiedenen Kraftstoffen.

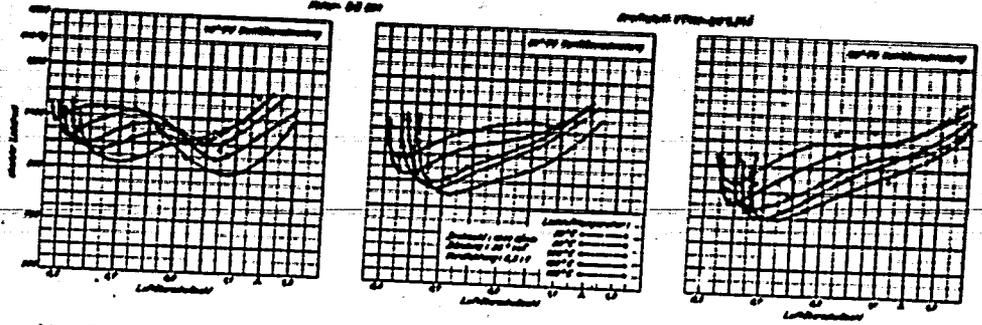


Abb.5: Klopfgrenzkurven von VT 702 + 0,12 Blei in Abhängigkeit von Ladedruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

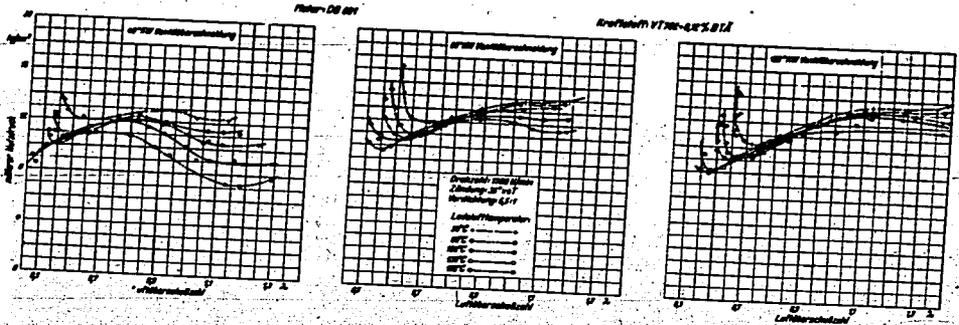


Abb.6: Klopfgrenzkurven von VT 702 + 0,12 Blei in Abhängigkeit von effektivem Mitteldruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

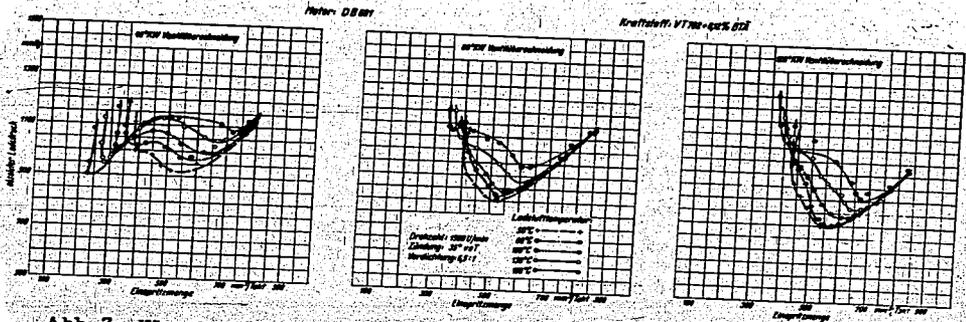


Abb.7: Klopfgrenzkurven von VT 702 + 0,12 Blei in Abhängigkeit von Ladedruck und Einspritzmenge/Spiel für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

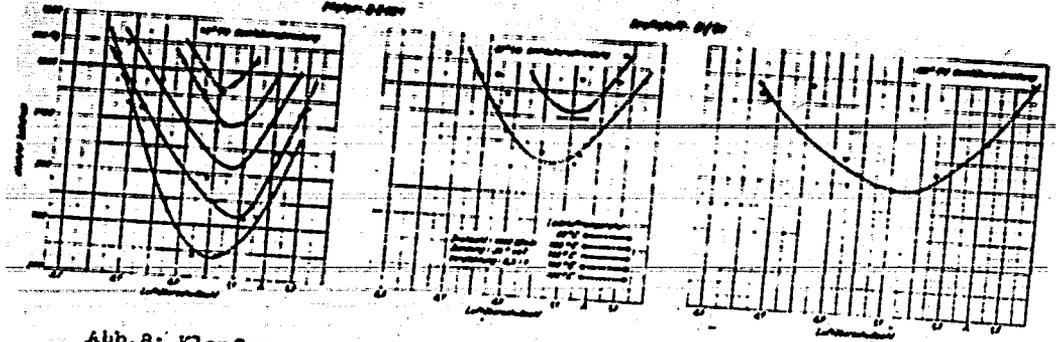


Abb. 8: Klopfgrenzkurven von Bi/Bo Gemisch in Abhängigkeit von Ladedruck und Luftüberschußzahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

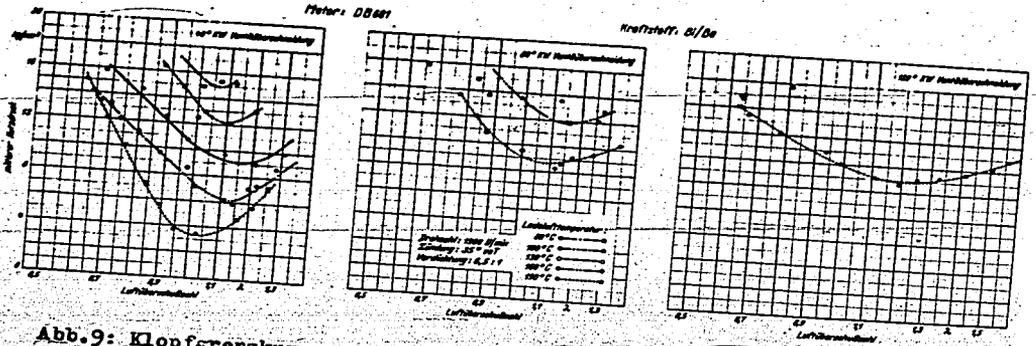


Abb. 9: Klopfgrenzkurven von Bi/Bo Gemisch in Abhängigkeit von effektivem Mitteldruck und Luftüberschußzahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

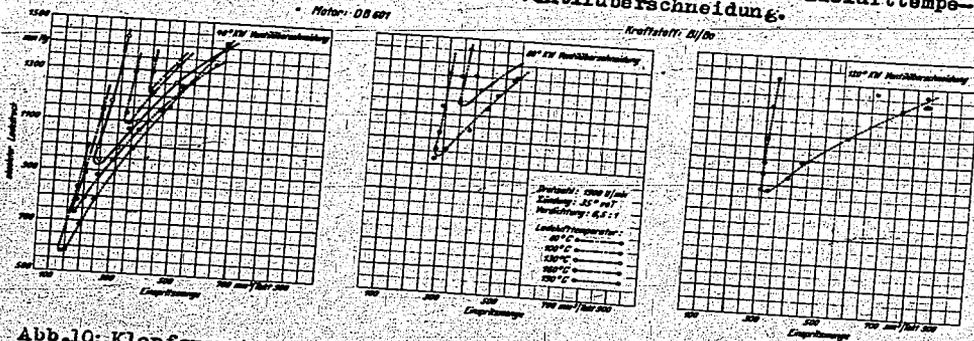


Abb. 10: Klopfgrenzkurven von Bi/Bo Gemisch in Abhängigkeit von Ladedruck und Einspritzmenge/Spiel für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

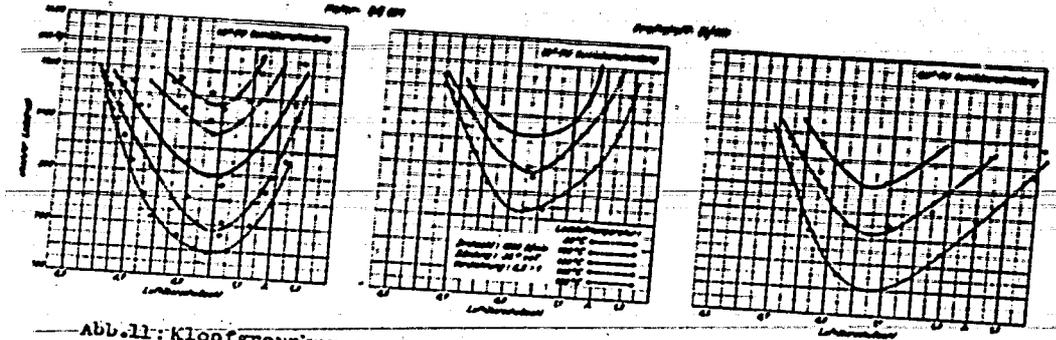


Abb.11: Klopfgrenzkurven von Bi/Alk Gemisch in Abhängigkeit von Ladendruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperatur und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

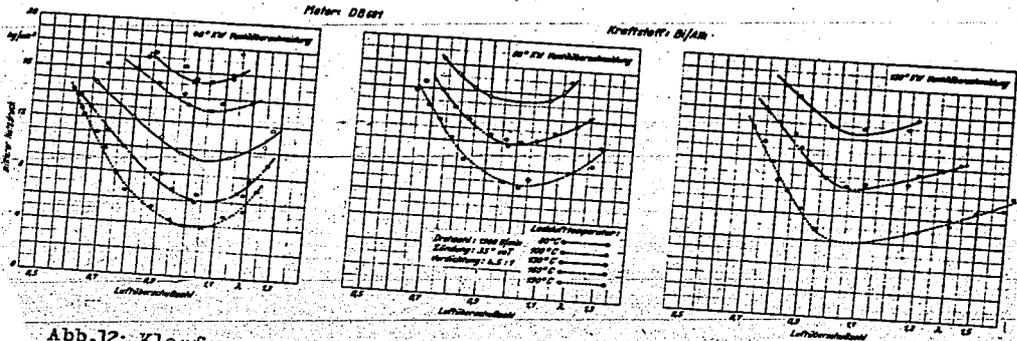


Abb.12: Klopfgrenzkurven von Bi/Alk Gemisch in Abhängigkeit von effektivem Mitteldruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperatur und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

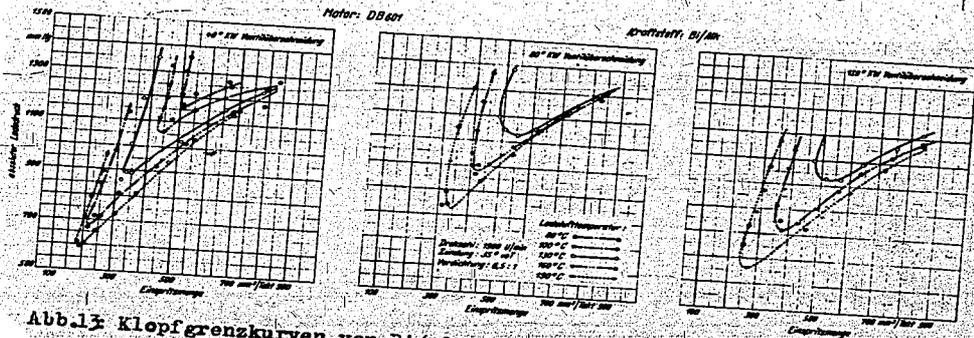


Abb.13: Klopfgrenzkurven von Bi/Alk Gemisch in Abhängigkeit von Ladendruck und Einspritzmenge/Spiel für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

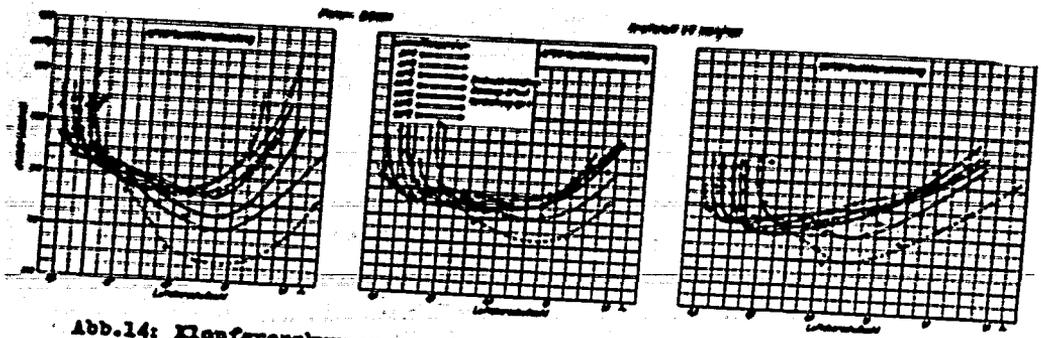


Abb.14: Klopfgrenzkurven vom Gemisch 706b/707 in Abhängigkeit von Ladedruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

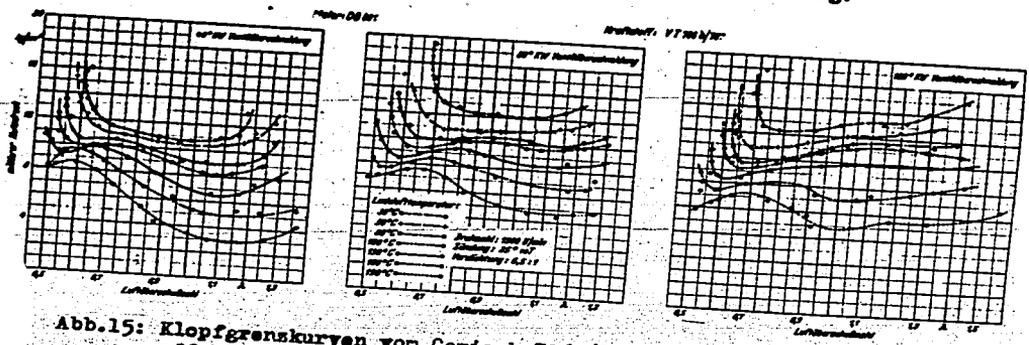


Abb.15: Klopfgrenzkurven vom Gemisch 706b/707 in Abhängigkeit von effektivem Mitteldruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

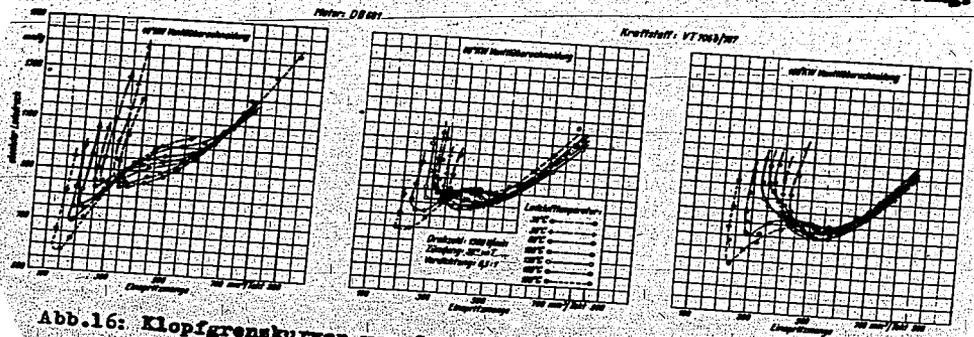


Abb.16: Klopfgrenzkurven vom Gemisch 706b/707 in Abhängigkeit von Ladedruck und Einspritzmenge/Spiel für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

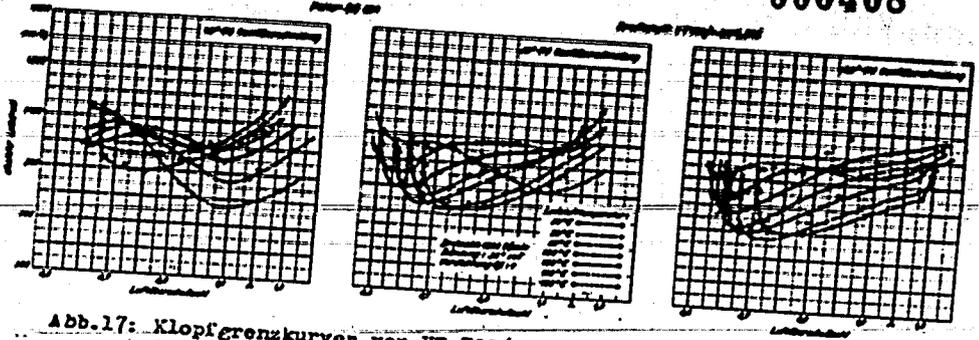


Abb.17: Klopfgrenzkurven von VT 702/1 + 0,12 Blei in Abhängigkeit von Ladedruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

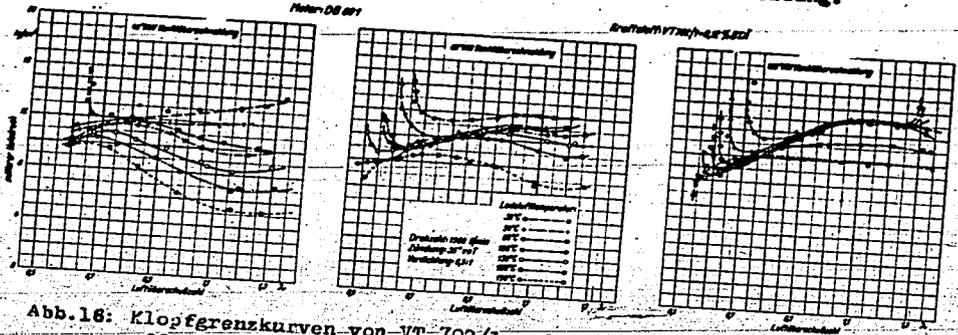


Abb.18: Klopfgrenzkurven von VT 702/1 + 0,12 Blei in Abhängigkeit von effektivem Mitteldruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

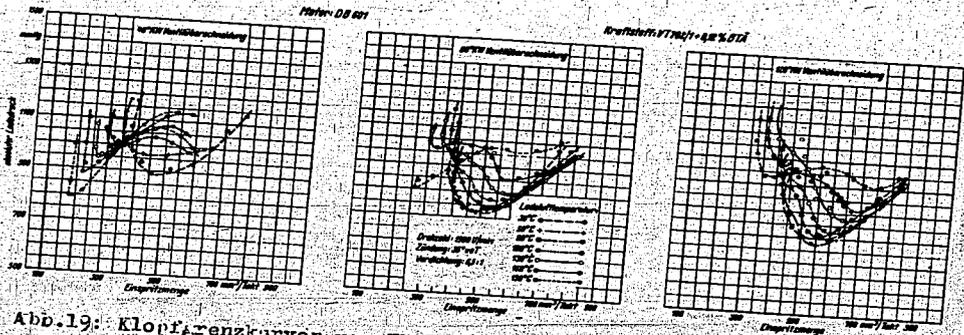


Abb.19: Klopfgrenzkurven von VT 702/1 + 0,12 Blei in Abhängigkeit von Ladedruck und Einspritzmenge/Spiel für verschiedenen Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

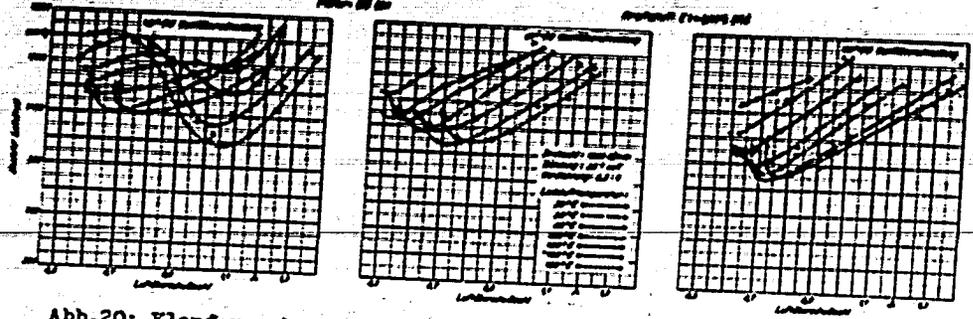


Abb.20: Klopfgrenzkurven von C₁ + 0,08 Blei in Abhängigkeit von Ladedruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

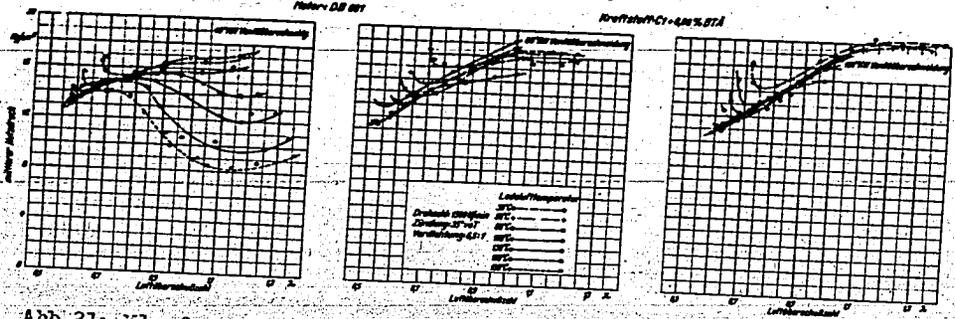


Abb.21: Klopfgrenzkurven von C₁ + 0,08 Blei in Abhängigkeit von effektivem Mitteldruck und Luftüberschusszahl für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

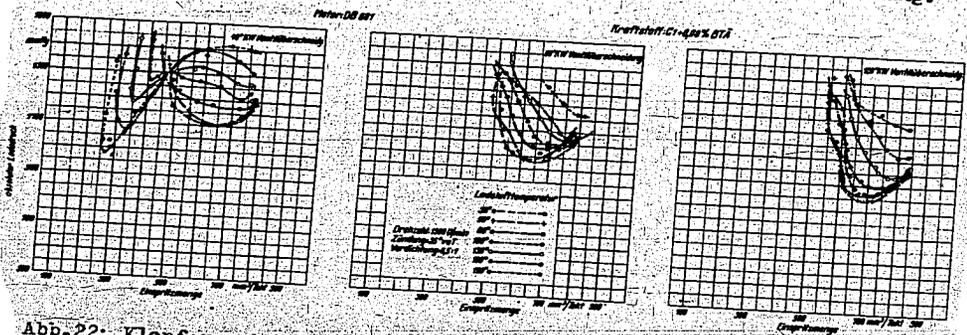


Abb.22: Klopfgrenzkurven von C₁ + 0,08 Blei in Abhängigkeit von Ladedruck und Einspritzmenge/Spiel für verschiedene Ladelufttemperaturen und 40°, 80° und 120° Ventilüberschneidung.

000409

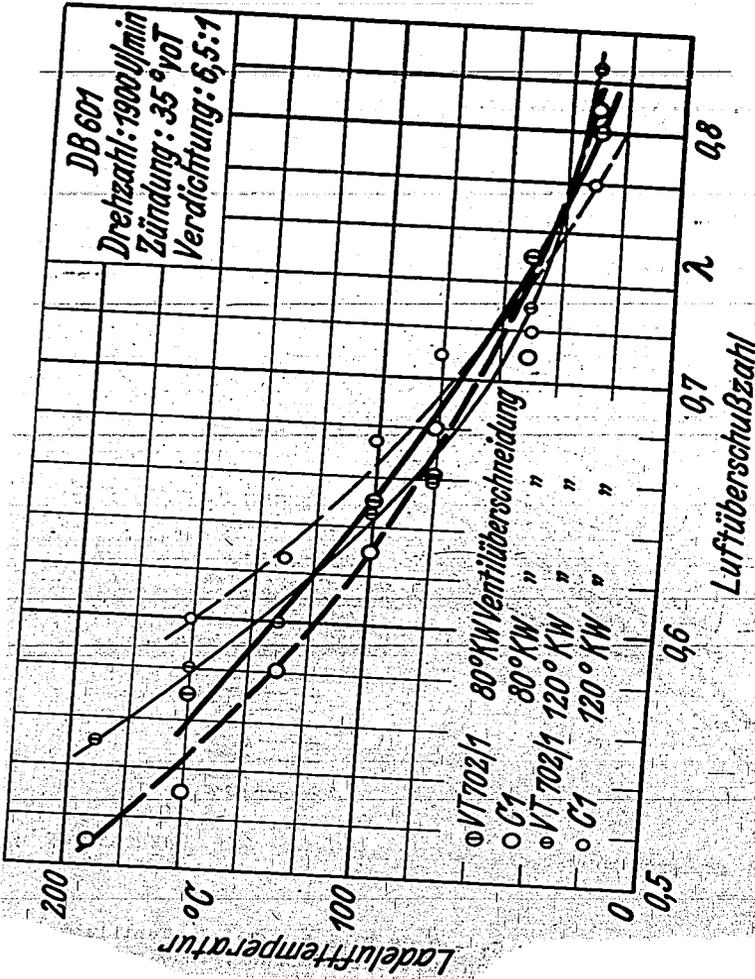


Abb. 23. Verschiebung des Tiefpunktes der Klopfgrenzkurve in Folge-
dies für VT 702 und C1 mit der Ladelufttemperatur.

Verschiebung des Tiefpunktes der Klopfgrenzkurven ins Abzählgebiet mit abnehmender Ladelufttemperatur.

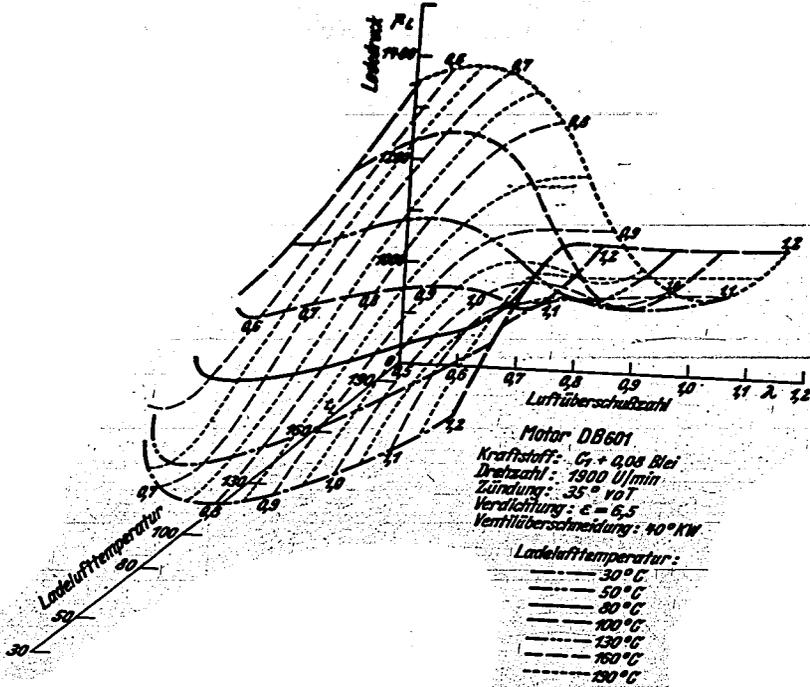


Abb.24: Klopfgrenzkurven von $C_1 + 0,08$ Blei bei 40° KW Ventilüberschneidung in Abhängigkeit von Luftüberschusszahl, Ladedruck und Ladelufttemperatur.

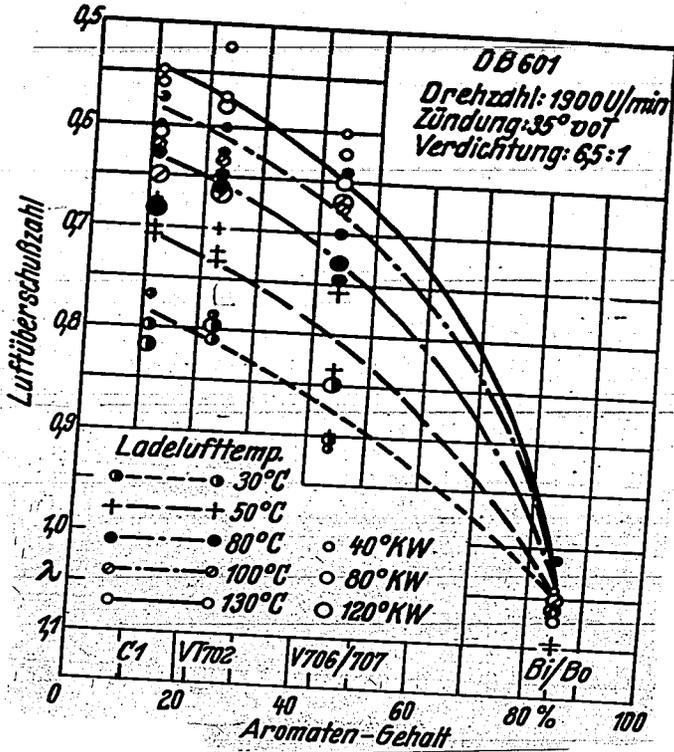


Abb. 25: Verschiebung des Tiefpunktes der Klopfgrenzkurven im Reichgebiet mit dem Aromatengehalt der Kraftstoffe.

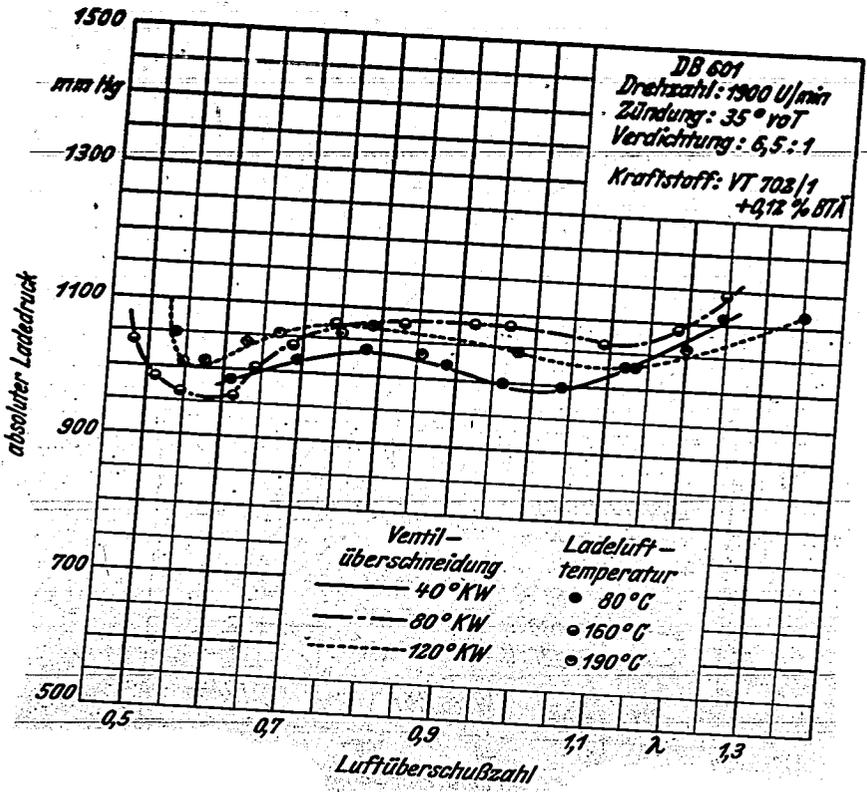


Abb. 26: Kompensation der Wirkung der Ventilüberschneidung auf die Klopf-
 grenzkurve von VT 702/1 + 0,12 Blei durch geänderte Ladelufttem-
 peratur.

000411

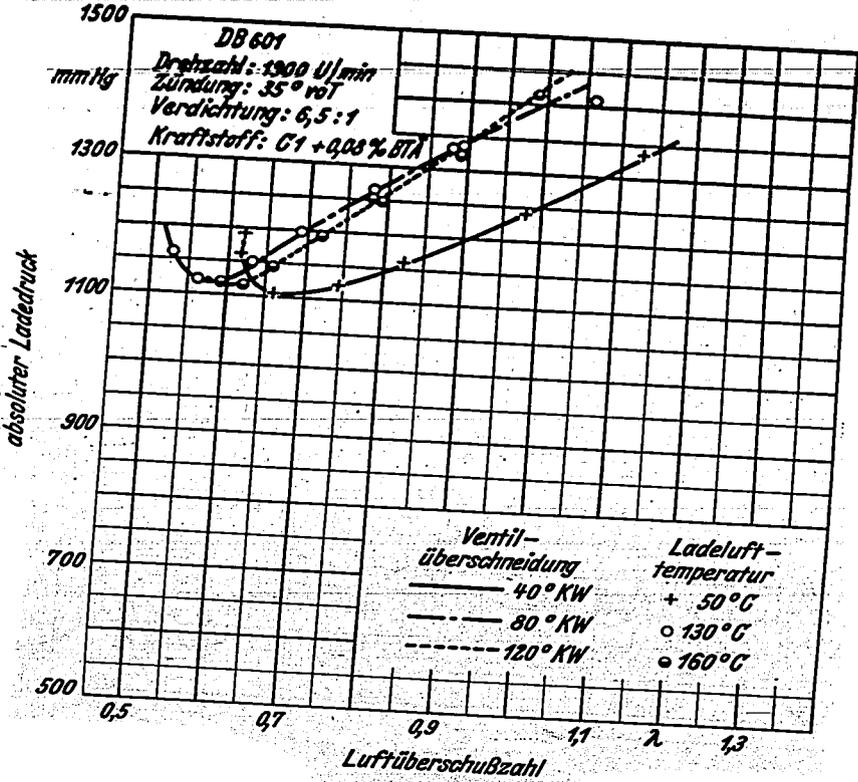


Abb. 2/1: Kompensation der Wirkung der Ventilüberschneidung auf die Klopf-
grenzkurve von C1 + 0,08 Blei durch geänderte Ladelufttemperatur.

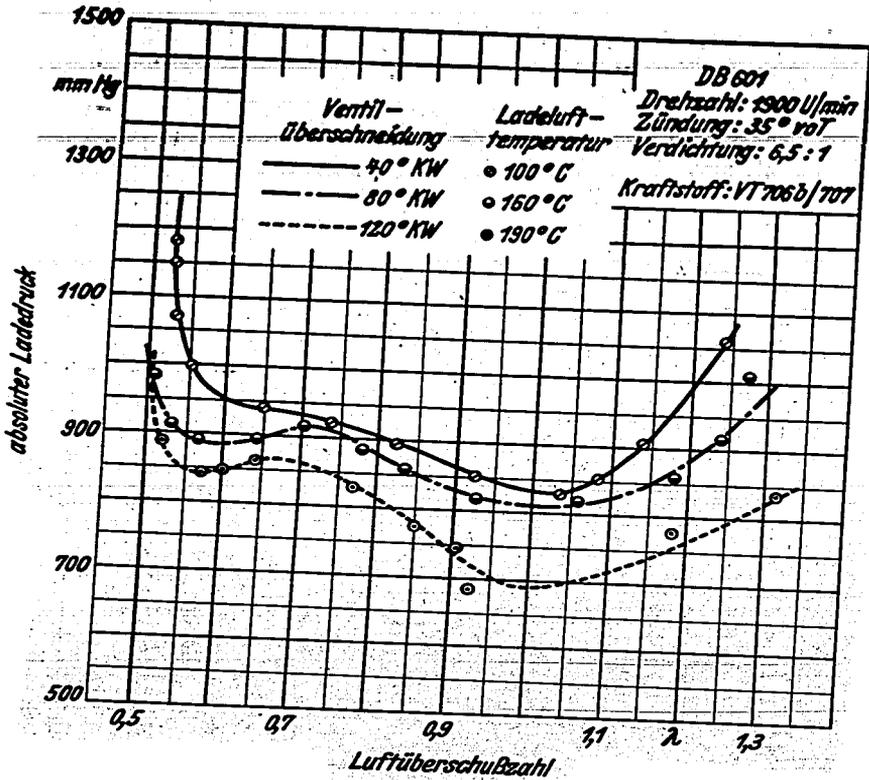


Abb.28: Kompensation der Wirkung der Ventilüberschneidung auf die Klopfgrenzkurve des Gemisches 706b/707 durch geänderte Ladelufttemperatur.

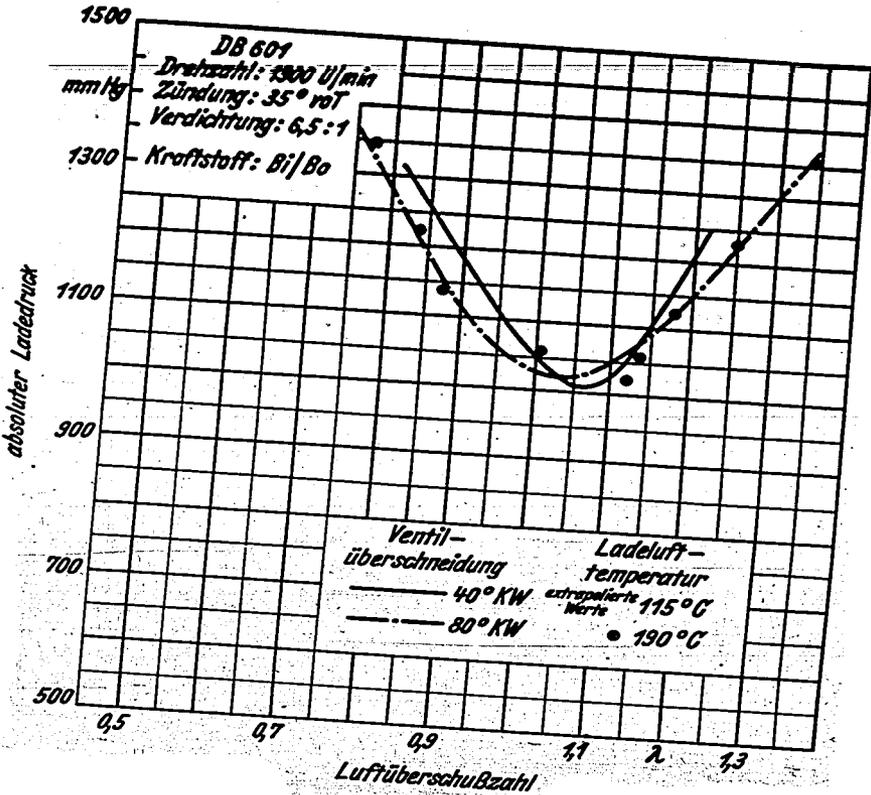


Abb.29: Kompensation der Wirkung der Ventilüberschneidung auf die Klopf-
grenzkurve des Bi/Bo Gemisches durch geänderte Ladelufttemperatur.

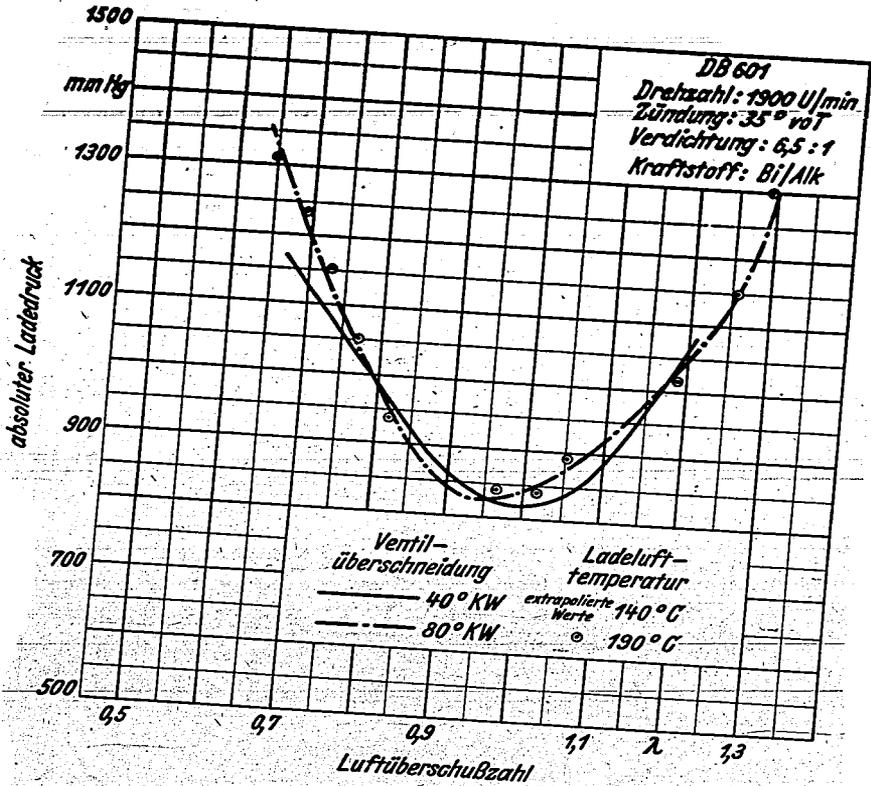


Abb. 30: Kompensation der Wirkung der Ventilüberschneidung auf die Klopf-
grenzkurve des Bi/Alk Gemisches durch geänderte Ladelufttemperatur.

000413

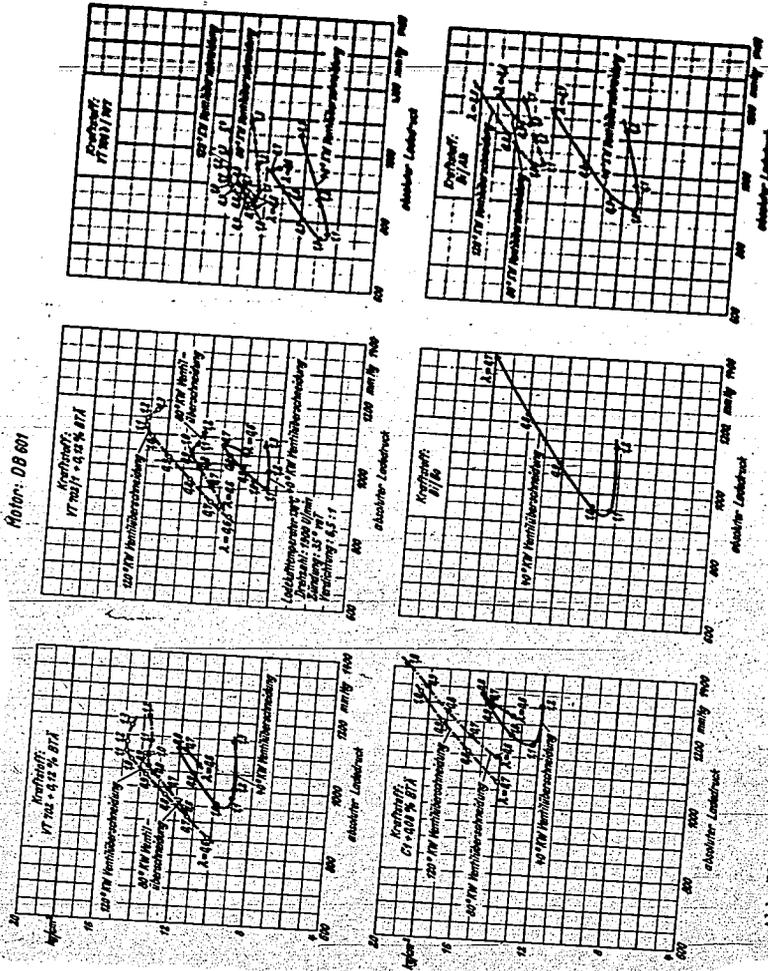


Abb. 31: Ladedruck und zugehöriger effektiver Mitteldruck an der Klopfgrenze für verschiedene Kraftstoffe bei 130°C. Lufttemperatur.

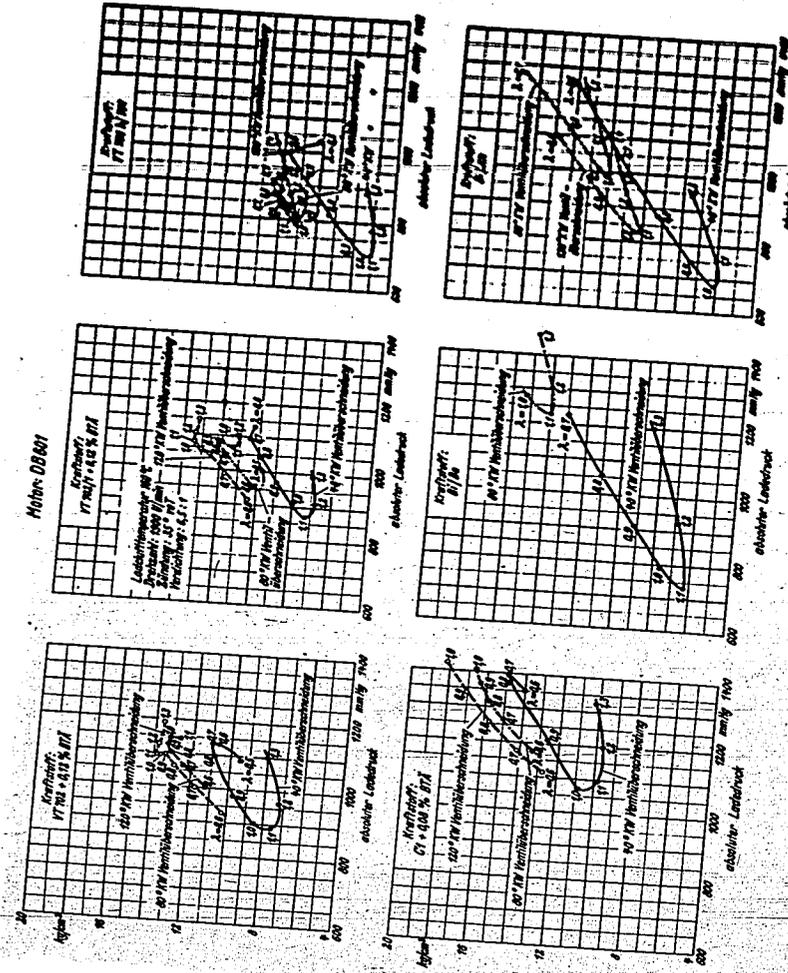


Abb. 32: Ladedruck und zugeführter effektiver Mitteldruck an der Klopfgrenze für verschiedene Kraftstoffe bei 160°C Ladelufttemperatur.

000414

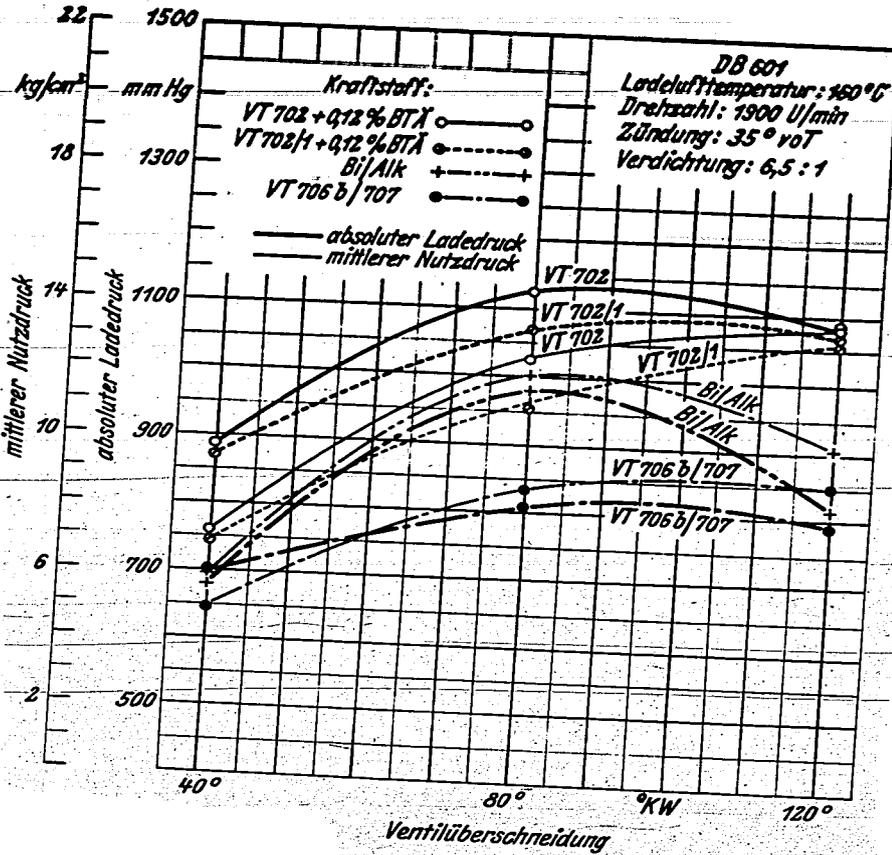


Abb. 33: Änderung der Klopfestigkeit im Tiefpunkt der Klopfgrenzkurven ($\lambda \sim 1,05$) durch die Ventilüberschneidung bei 160° Ladelufttemperatur.

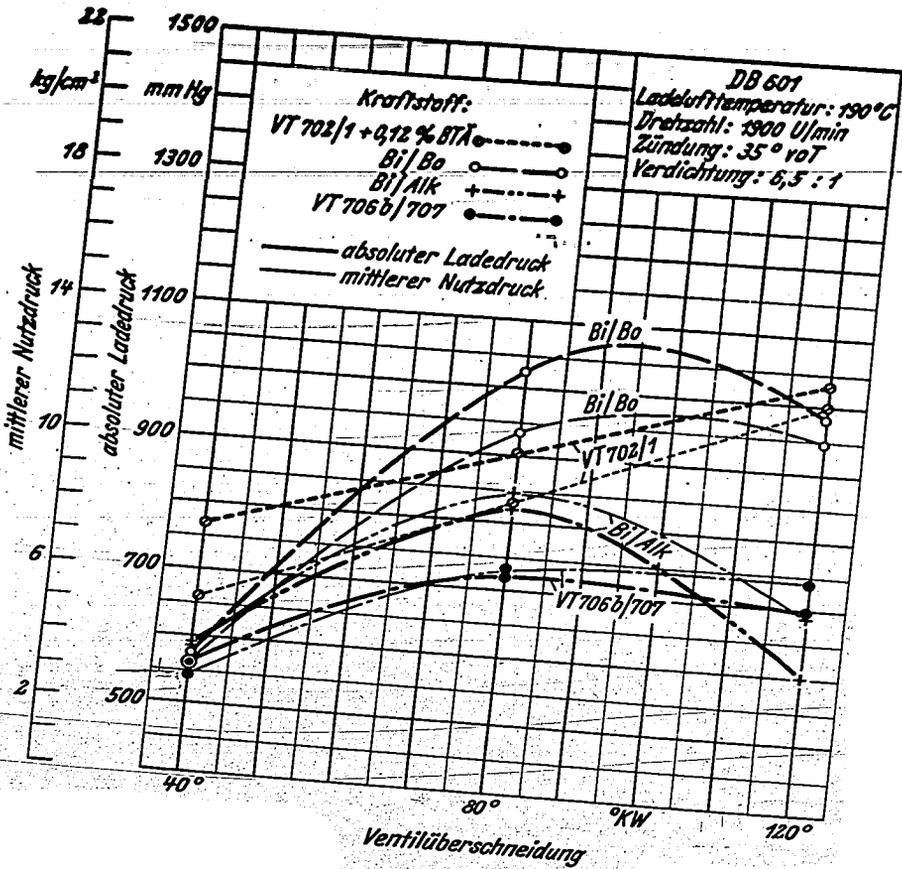


Abb. 34: Änderung der Klopfestigkeit im Tiefpunkt der Klopfgrenzkurven ($\lambda \sim 1,05$) durch die Ventilüberschneidung bei 190°C Ladelufttemperatur.

000415

Motor DB601

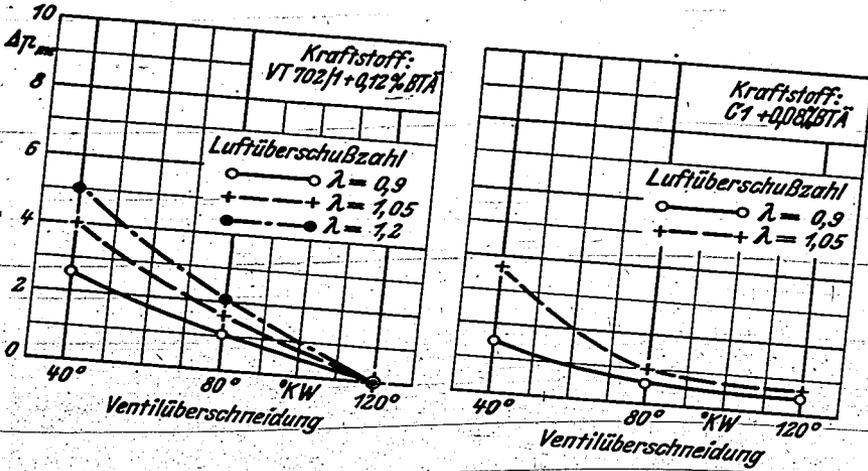


Abb. 35: Verringerung des Abstandes der P_{me} Klopfgrenzkurven im Bereich von 30° bis 130° Ladelufttemperatur mit zunehmender Überschneidung für wenig temperaturempfindliche Kraftstoffe.