

Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 1610

Einfluß verschiedener Kraftstoffe und Ventilüberschneidung
auf Motoren

Franke

Verfaßt bei

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

6467

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

Das Eigentumsrecht an dem Bericht behält sich die
Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen
der Luftfahrtforschung des Generalluftzeugmeisters*
(ZWB)

vor. Eine Veröffentlichung, auch von Auszügen oder
Teilen des Berichts bedarf der vorherigen Genehmigung.

Einfluss verschiedener Kraftstoffe und Ventilüberschneidung
.....
auf Motoren.
.....

Übersicht: Kraftstoffe mit verschiedenem Heizwert, C/H-Verhältnis und spezifischem Gewicht wurden im BMW 132 N und DB 601 A Zylinder auf ihr Verhalten untersucht und die auftretende Beeinflussung der Leistungs-, Verbrauchs- und Luftdurchsatzwerte festgestellt. Die neben dem Siedeverhalten ermittelte Verdunstungsgeschwindigkeit der Kraftstoffe ließ eine Bewertung der Eignung für leichtes Anspringen beim Start zu. Mit denselben Kraftstoffen wurde im DB 601 Zylinder die Wirkung geänderter Ventilüberschneidung geprüft. Die erhaltenen Ergebnisse erlaubten die Untersuchung der Beeinflussung von Messwerten der Klopfgrenzkurve, die nach dem DVL-Überladeverfahren in Einheiten des Ladedruckes oder effektiven Mitteldruckes über der Luftüberschusszahl, der Einspritzmenge je Arbeitstakt oder dem spezifischen Verbrauch aufgetragen wird. Festgestellte Unterschiede in der Gemischaufbereitung ermöglichten eine Erklärung des Klopfereinsatzes beim DB 601 Zylinder.

Gliederung:

- I. Einleitung
- II. Versuchsdurchführung
 - 1. Allgemeines
 - 2. Motorische Bedingungen
 - 3. Versuchskraftstoffe
- III. Ergebnisse
 - 1. Untersuchung der Kraftstoffeigenschaften
 - 2. Über das Verhalten verschiedener Kraftstoffe in den Motoren BMW 132 und DB 601 bei gleichen Betriebsbedingungen
 - 3. Einfluss geänderter Ventilüberschneidung auf verschiedene Kraftstoffe im Motor DB 601
- IV. Zusammenfassung.

Der Bericht umfaßt:

67 Seiten mit
34 Abbildungen und
4 Zahlentafeln.

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

Der Bearbeiter:

K. Franke
K. Franke

Berlin-Adlershof, den 17.6.1942

BSf 460/8a

6469

I. Einleitung.

Die heute wohl allgemein übliche und in den BVM 1940 vorgeschriebene Prüfung von Flugmotorenkraftstoffen nach dem DVL-Überladeverfahren bewertet dieselben nach ihrem Verhalten an der Klopfgrenze. Die Darstellung der Klopfgrenze selbst erfolgt meist als Ladedruck oder effektiver Mitteldruck über der Luftüberschusszahl, der je Arbeitsspiel eingespritzten Kraftstoffmenge oder dem effektiven spezifischen Verbrauch.

Bei sämtlichen vorgenannten Arten der graphischen Darstellung spielt die Natur des verwendeten oder zu prüfenden Kraftstoffes eine Rolle, da verschiedene Stoffe je nach ihrem Aufbau und ihrer Zusammensetzung verschiedenen Luftbedarf, Heizwert oder spezifisches Gewicht besitzen und dementsprechend sonst an der Klopfgrenze gleichwertige Stoffe verschiedener Konstitution Verschiebungen der einzelnen Kurven gegeneinander ergeben können.

Die im Rahmen dieser Aufgabe durchgeführten Versuche sollen daher Aufklärung in der Richtung bringen, wie sich die einzelnen Werte einer Kurve, je nach der Art der gemachten Darstellung mit der Zusammensetzung des Kraftstoffes ändern, z.B. der Kraftstoffverbrauch mit dem Heizwert des betreffenden Stoffes, die Einspritzmenge in mm^3/Takt mit dem Gewicht oder die Leistung mit der Verdampfungswärme.

Von der Seite des Motors her waren im Zusammenhang mit der Frage, wie weit von einer Übertragbarkeit der Klopfgrenzkurve auf Typen ein und desselben Baumusters, jedoch unter verschiedenen Betriebsbedingungen, gesprochen werden kann, Unterlagen beizubringen. Die Untersuchungen erstreckten sich auf den Einfluß zunehmender Ventilüberschneidung und sollten Aufschluss über Luftdurchsatz, Leistungs- und Verbrauchsänderungen bringen, die sich aus einer Veränderung der Steuerzeiten und damit der Überschneidung ergeben. Die Änderung der thermischen Beanspruchung des Motors durch die Totraumpülung und ihr Einfluß auf die Klopfneigung war festzustellen.

II. Versuchsdurchführung.

1. Allgemeines.

Die Versuche selbst wurden so ausgeführt, dass die für die Klopf-

grenzuntersuchung an verschiedenen Motoren verwendete Drehzahl von 1900 U/min beibehalten wurde; die für die Bestimmung von Klopfgrenzkurven nach dem DVL-Überladeverfahren vorgeschriebene Drehzahl von 1600 U/min erwies sich als unzweckmäßig. Es liegt erstens einmal bei neueren Vollmotoren fast keine Betriebsdrehzahl mehr in den Bereich von 1600 U/min, so daß bei der manchmal ziemlich beträchtlichen Drehzahlabhängigkeit der Klopfgrenzkurve Bewertungen des Motors oder des Kraftstoffes vorgenommen werden, die den tatsächlich auftretenden Betriebsbedingungen nicht entsprechen. Die Drehzahl von 1900 U/min kommt den Betriebsdrehzahlen näher und wurde daher für sämtliche Versuche zur Charakterisierung der Motoren angewandt, zumal bei dieser Drehzahl weder irgendwelche Schwierigkeiten im Abhören des Klopfens bestehen, noch der Prüfstand selbst trotz hoher Aufladung eine unzulässige Beanspruchung erfährt. Schliesslich soll darauf hingewiesen werden, 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 Ladedruck entsprach ungefähr den im Serienbetrieb bei Vollmotoren auftretenden Größen bei Reize- und Dauerleistung. Wegen der Art der verwendeten Kraftstoffe liess sich deshalb beim Fahren der Kraftstoffschleifen nicht immer das Erreichen des Klopfgebietes vermeiden. Mit Rücksicht darauf wurde die Ladelufttemperatur auf 80°C festgesetzt und der höchste Ladedruck so gewählt, daß noch kurze Messungen im Klopfgebiet ohne zu starkes Klopfen und damit verbundene Schädigung des Motors ausgeführt werden konnten.

Schwierigkeiten verursachte die Festlegung der Zündzeit. Es bestand entweder die Möglichkeit, sämtliche Kraftstoffe bei sonst gleichen Motorverhältnissen oder unter den verschiedenen Betriebsbedingungen der geänderten Steuerseiten mit ein und derselben Zündung zu fahren, oder jedem Kraftstoff die für die jeweiligen Betriebsbedingungen optimalste Zündung zu geben. Die durchgeführten Vorversuche und Überlegungen in dieser Richtung ergaben folgendes Bild:

Beim DB 601 ergibt VT 702 seine beste Leistung bei einer Zündung von ungefähr 35° v.o.T. über dem kleinen Ladedruckbereich, der für die Versuche vorgesehen war. Si/Bo und Toluol liegen mit ihren besten Werten für die Zündung bei Bestleistung in der Nähe der für VT 702 gefundenen Werte.

Bi-Alkoholgemisch wird mit steigendem Alkoholgehalt gegen Zündungseinflüsse unempfindlicher, doch ist eine Vorverlegung der Zündung zur Erzielung der Bestleistung nötig. Der maximale Wert der Vorverlegung der Zündung wird bei einem Alkoholgehalt von 30% im Gemisch erreicht; mit weiter steigendem Alkoholgehalt wird eine Zurücknahme der Zündung möglich.

Die Zündung kann nicht nur mit Rücksicht auf Bestleistung, sondern unter Zugrundelegung eines anzustrebenden minimalen Verbrauches eingestellt werden. Jedoch ist hierbei der Einfluß der einzelnen Kraftstoffe sowie der geänderten Betriebsbedingungen auf den Zündzeitpunkt noch größer.

Deshalb wurde zur Vereinfachung der Versuche auf variable Zündung verzichtet und der für VT 702 gefundene Wert von 35° v.o.T. beibehalten, obwohl dadurch in der Bewertung einzelner Größen Unterschiede in Kauf zu nehmen waren. Auch erwies es sich als unbedingt vorteilhaft, die Zündung konstant zu halten, wenn die Frage der Abhängigkeit des Verbrauches vom Heizwert geklärt werden sollte, da nämlich sonst nicht nur der Heizwert, sondern auch der durch Zündzeitpunktverlegung geänderte Verbrauch in den Ergebnissen aufgetreten wäre.

Für die Versuche am BMW 132 N gelten die gleichen Überlegungen. Hier ergaben die Vorversuche eine Zündung von 30° v.o.T. für die Bestleistung.

2. Motorische Bedingungen.

Der erste Teil der Versuche, die Feststellung der Kraftstoffeigenschaften bei sonst gleichen Betriebsbedingungen wurde an den Motoren BMW 132 N und DB 601 A durchgeführt, beide mit ungefähr 40° Ventilüberschneidung im oberen Totpunkt. Für die Verwendung des luftgekühlten BMW 132 N Zylinders war maßgebend, dass er zur Zeit als Prüfmotor für das DVL-Überladeverfahren vorgesehen ist und deshalb Untersuchungen verschiedener Kraftstoffe einen unmittelbaren Rückschluss auf die nach den DVL-Vorschriften gefahrenen Klopfgrenzkurven zulassen würden. Im Verlauf der Versuche zeigte es sich, dass der DB 601 Zylinder für die Weiterführung der Versuche besser geeignet war als der BMW 132 N Zylinder. Zur Erfassung eines möglichst großen Bereiches der Luftüberschusszahl ($\lambda = 0,7 \div 1,2$) mußte der Motor auch in den extremen Arm- und

Reichgebieten gefahren werden. Wie in den Versuchsergebnissen noch gesondert darauf hingewiesen wird, zeigte es sich, daß der BMW 132 N Zylinder gegen Verarmung oder Anreicherung des Gemisches empfindlicher ist als der DB 601 und vor allem im Gebiete des Luftmangels einen starken Leistungsabfall, verbunden mit unruhigem Lauf des Motors, aufweist. Unter diesen Umständen war es angezeigt, zur möglichst exakten Versuchsdurchführung vorläufig den DB 601 Zylinder zu verwenden, um Streuungen der Messpunkte nach Tunlichkeit zu vermeiden. Ausserdem ist die Konstanthaltung der Zylindertemperatur leichter einzuhalten beim flüssigkeitsgekühlten Motor als beim luftgekühlten.

Die Gesamtanordnung des Prüfstandes und der Aufbau der Anlage erfolgten in bekannter Weise, so daß sich eine gesonderte Beschreibung erübrigt. Einzelheiten der untersuchten Motoren mit ihren Daten, Messeinrichtungen, Zubehörteilen und Bremsanlagen sind für beide Motore getrennt aus den Tafeln 1 und 2 zu entnehmen.

Während der Versuche selbst wurde der Zustand des Motors überwacht durch Fahren eines Kontrollpunktes bei 1,0 ata Ladedruck und 80° Ladelufttemperatur bei Einstellung des Gemisches auf Bestleistung. Ein die Versuchsgenauigkeit beeinträchtigender Leistungsabfall wurde während der Gesamtdauer der Versuche an beiden Motoren nicht festgestellt. Die Zündzeit wurde laufend am Motor durch den angebauten Zündzeitgeber kontrolliert; Steuerzeiten und Ventilspiel zu Beginn und Ende der einzelnen Versuche mit verschiedenen Überschneidungen nachgemessen. Zur Erzielung größerer Messgenauigkeit wurden bei Versuchsläufen sowohl Luft- als auch Kraftstoffverbrauchsmessungen zur möglichsten Vermeidung von Messfehlern über mehrere Minuten ausgedehnt. Unstimmigkeiten, die sich bei Luftmengenmessungen besonders leicht ergeben, wurden nach Tunlichkeit durch öfteres Abdrücken der Leitungen und Kontrolle auf Gasdichtheit vermieden. Ausserdem wurden, da die Luftdurchsätze beider Motore Sonderheiten aufweisen, sogar die Drehkolbengasmesser untereinander vertauscht. Es zeigte sich jedoch hierbei keine Änderung in den Messresultaten, da die Stoppzeiten bei der Luftmengenmessung mit vertauschten Luftuhren bei Messzeiten von über 100 Sekunden nur um Zehntel Sekunden differierten.

Die Weiterführung der Versuche zur Untersuchung des Einflusses der Überschneidung auf Luftdurchsatz, Leistung und Verbrauch erfolgte für die verschiedenen Kraftstoffe nur mehr im DB 601 Zylinder. Die An-

derung der Ventilüberschneidung erfolgte durch Austausch entsprechender Nockenwellen im Einzylinderaggregat, sowie durch passendes Abstimmen der Schwinghebel sowie der Böckchen zur Erzielung ganzzahlig-gerader Werte der Überschneidung. Durch die zuletzt genannten Maßnahmen konnte der Abstand zwischen Nockenwelle und Rolle der Schwinghebel entsprechend verändert und damit die Gesamtsteuerzeit in kleinen Grenzen beeinflusst werden.

3. Versuchskraftstoffe.

Entsprechend dem Versuchsprogramm wurden folgende Kraftstoffe mit möglichst verschiedenen Daten des Heizwertes, des spezifischen Gewichtes und des Luftbedarfes genommen. In der Reihenfolge, fallend nach ihrem unteren Heizwert, lauten die verwendeten Stoffe wie folgt:

C ₁ + 0,08 Blei	H _u = 10479 Kal/kg
VT 702 + 0,12 Blei	" = 10457 "
Bi/Bo-Gemisch	" = 9849 "
Toluol	" = 9739 "
Bi/Alkohol-Gemisch	" = 8502 "
Äthylalkohol	" = 6436 "
Methylalkohol	" = 4748 "

Von diesen Stoffen wurde nach ihrer Untersuchung im BMW 132 N Zylinder C₁, sowie Methylalkohol ausgeschieden. Wie die Versuche ergaben, unterscheiden sich die gefundenen Werte von C₁ und VT 702 nur um geringfügige Beträge; Methylalkohol ergab infolge seines geringen Heizwertes Kraftstoffverbräuche, denen die verwendete Einspritzpumpe mit einer Maximalfördermenge ungefähr von 870 mm³/Takt nicht gewachsen war; ausserdem war der Lauf des Motors ziemlich unruhig, verbunden mit einzelnen Aussetzern der Zündung bei Gemischverarmung.

III. Ergebnisse.

1) Untersuchung der Kraftstoffeigenschaften.

Die für die Durchführung des Versuchsprogrammes benötigten und vorgesehenen Kraftstoffe wurden vor Beginn des Laufes eingehend auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften untersucht. Von diesen Daten war von besonderer Wichtigkeit die Bestimmung des unteren Heizwertes, der Elementaranalyse, sowie des spezifischen Gewichtes; ferner wurden

die sonst bei der Untersuchung von Kraftstoffen üblichen Werte ermittelt. Sie sind in der Tabelle 3 enthalten, einzelne Daten als Mittelwerte verschiedener Stellen, an denen die Untersuchung der Kraftstoffe vorgenommen wurde. Richtungsweisend für die Analyse der Kraftstoffe waren die Bauvorschriften für Flugmotoren, Ausgabe Oktober 1940.

Sämtliche an mehreren Stellen untersuchten Stoffe zeigten eine gute Übereinstimmung der Werte. Die Abweichungen in der Größe des gefundenen Heizwertes waren gering, ebenso die Streuungen bei der Elementaranalyse. Lediglich die gefundenen Werte für das Benzin/Alkohol-Gemisch zeigten für die Elementaranalyse größere Abweichungen. Vor allem konnte keine Übereinstimmung erzielt werden, je nach der Art, in der die Elementaranalyse und damit der theoretische Luftbedarf ermittelt wurde. Die Analyse eines fertigen Bi/Alk-Gemisches ergab einen Wert für den theoretischen Luftbedarf L_0 von 11,5 kg/kg, während die Bestimmung derselben Größe aus den einzelnen Komponenten des Gemisches einen Wert L_0 von 12,1 kg/kg ergab. Es ist leider bis zum heutigen Tage nicht gelungen, diese Unstimmigkeiten restlos zu klären. Mit Rücksicht darauf, dass der Wert L_0 von 12,1 kg/kg mit verschiedenen Versuchsauswertungen einwandfreie Resultate erbrachte, sowie die bei diesen Versuchen mit aufgenommenen Eichkurven für den DVL-Abgasprüfer für den Wert 12,1 kg/kg sprachen, wurde diese Zahl beibehalten zur Auswertung der vorliegenden Versuchsergebnisse. Die Werte des Bi/Alk-Gemisches sind daher mit einem gewissen Vorbehalt zu gebrauchen.

Die gefundenen Leistungsdifferenzen des Maximalwertes derselben bei sonst gleichen Betriebsbedingungen, die von der Art des verwendeten Kraftstoffes abhängig waren, haben ihre Ursache in dem nicht genau gleichen Luftbedarf, der zur Erzeugung der gleichen Kalorienmenge und damit ihres Arbeitsäquivalentes nötig ist, ferner in der durch die Verdunstungsgeschwindigkeit und den Siedeverlauf bedingten Art der Gemischbildung, dem unterschiedlichen Gemischheizwert und schließlich als wesentlichsten Faktor in der voneinander stark abweichenden Verdampfungswärme der Stoffe. Verschiedenheiten in der Form der Kraftstoffschleifen und in der Folge davon Unterschiede in der Größe des Leistungsabfalles bei den einzelnen Stoffen bei gleichen λ -Werten lassen den Schluss auf die Abhängigkeit der Schleifenform von der Zündfähigkeit und der Verbrennungsgeschwindigkeit zu, die bei den einzelnen Kraftstoffen ausser von sonstigen Ma-

ständen von der Verdampfbarkeit derselben, die sich auf die Gemisch-
aufbereitung auswirkt, abhängt. Ein kurzer Überblick über die Art und
die Größenordnung der genannten Beeinflussung soll im folgenden gege-
ben werden.

Eine schematische Gegenüberstellung einiger auf den Heizwert der
verschiedenen Kraftstoffe bezugnehmender Größen ist in Abb. 1 aufgeseich-
net. Es sind zunächst die Werte des unteren Heizwertes für 1 kg des
betreffenden Stoffes, sowie die entsprechenden Werte für 1 Ltr. auf-
getragen. Gemäß den unterschiedlichen spezifischen Gewichten treten
hierbei Verschiebungen in der Reihenfolge der Bewertung der Stoffe
nach ihrem Heizwert auf. Weiter ist der theoretische Luftbedarf L_0
für 1 kg Kraftstoff aufgetragen, sowie der Luftbedarf, der zur Er-
zeugung von 10000 Kal. nötig ist. Aus der letzten Darstellung ist er-
sichtlich, dass der Heizwert an und für sich für die Leistung keine
größere Rolle spielt, denn es ist praktisch der Luftbedarf für gleiche
Kaloriensahl bei allen Stoffen fast derselbe. Zur Vervollständigung
dessen, dass der Heizwert an und für sich praktisch ohne nennens-
werten Einfluss auf die Motorleistung ist, wurde endlich noch der
Gemischheizwert von 1 kg Luft mit Kraftstoffdampf bei $\lambda = 1,0$ errech-
net und eingezeichnet, wobei ebenfalls kein wesentlicher Unterschied
festzustellen ist. Der Gemischheizwert von 1 kg Luft, die den zur
theoretischen Verbrennung nötigen Kraftstoff aufgenommen hat, beträgt
ungefähr 700 Kal.

Die Frage der Leistungsdifferenzen einzelner Kraftstoffe, bedingt
durch die Gemischbildung als Folge von Siedeverhalten und Verdunstungs-
geschwindigkeit, konnte wegen des Ausmasses der hierfür nötigen Ver-
suche nicht exakt beantwortet werden. Dabei wird das Siedeverhalten
charakterisiert durch eine Destillation nach vorgeschriebenen Bedingun-
gen, von denen die wesentlichste eine Übergangsgeschwindigkeit von zwei
Tropfen je Sekunde ist. Dementsprechend muß die zugeführte Wärmemenge
über den Siedebereich so verändert werden, daß die vorgeschriebene
Destillationsgeschwindigkeit eingehalten wird. Im Gegensatz dazu bezieht
sich die Verdunstungsgeschwindigkeit auf die Verdampfung bei konstanter
Wärmezufuhr, entspricht also mehr den im Motor herrschenden Bedingungen.
Siedeverhalten im ausgeführten Sinn und Verdunstungsgeschwindigkeit sind
daher keine austauschbaren Begriffe.

Für die Verdunstungsgeschwindigkeit ist nun ausser der Flüchtigkeit des betreffenden Stoffes die Temperatur maßgebend, bei der die Verdunstung stattfindet; beim Motor daher die Ladeluft- und Kompressionsendtemperatur, sowie die Temperatur der Zylinderinnenwände und des Kolbens. Eine genaue Feststellung des Einflusses der Verdunstungsgeschwindigkeit auf die Gemischaufbereitung würde daher eine Versuchsreihe über den ganzen in Betracht kommenden Temperaturbereich erfordern. Es war jedoch anzunehmen, dass die bei einer Temperatur gefundenen Werte einen ungefähren Rückschluss auf die Güte der Gemischaufbereitung zulassen, soweit sie durch die Verdunstungsgeschwindigkeit beeinflusst ist. Die Versuche über die Verdunstungsgeschwindigkeit von Kraftstoffen verfolgten aber nicht nur den Zweck, einen Anhaltspunkt über die Frage der Gemischaufbereitung unter Berücksichtigung der verwendeten Stoffe zu geben, sondern auch die Eignung eines Stoffes für leichtes Anspringen beim Start festzustellen. Sie wurden in der Art durchgeführt, dass mittels einer geeichten Pipette von jedem Stoff die genau gleiche Menge in Raumteilen auf eine auf einer empfindlichen Waage befindliche offene Schale aufgebracht wurde. Die Auslaufzeit des Kraftstoffes aus der Pipette betrug 3 bis 5 sec. und ist in den Werten für die Zeitangabe mit enthalten. Die Temperatur, sowohl der Schale und des Kraftstoffes, sowie der umgebenden Luft wurde genau auf 20°C gehalten. Eine entsprechende Abfuhr der Dämpfe war vorgesehen, ohne dass durch entstehende Luftströmungen eine Beeinflussung der Verdampfung entstehen konnte. In Zeitabständen von 1/2 Minute wurde die in der Schale befindliche Menge des zur Verdunstung aufgebrauchten Stoffes gewogen. Das Ergebnis dieser Versuche für die verwendeten Stoffe bei der Versuchsdurchführung zeigt Anlage 2. Der Vollständigkeit halber, und um eine Vergleichsmöglichkeit der gefundenen Werte mit bekannten Stoffen zu geben, wurden auch Wasser und Äther nach derselben Methode verdunstet. Erwartungsgemäß zeigten einheitliche Stoffe mit ausgeprägtem Siedepunkt einen fast geradlinigen Verlauf, d.h. je Zeiteinheit verdunstet für jeden Stoff prozentual dieselbe Menge. Eine geringe Durchbiegung der gefundenen Abhängigkeit bei den homogenen Stoffen hängt damit zusammen, dass geringste Mengen des verdunsteten Stoffes an der Gefäßwand kondensierten, nochmals in den Flüssigkeitsspiegel zurückkehrten und abermals verdunsteten. Die stärkere Krümmung der Kurve bei Äther ist darauf zurückzuführen, dass infolge der großen Verdunstungsgeschwindigkeit und der hohen Verdampfungswärme eine Konstanthaltung der Temperatur der Versuchsanordnung unmöglich war.

Die Gemische zeigen infolge ihrer Siedekurve einen wesentlich anderen Verlauf als die zuerst untersuchten homogenen Stoffe. Man ist deutlich das ziemlich rasche Verdunsten des Anteiles mit dem niedrigen Siedebereich zu erkennen, gegen Ende des Versuches blieben schwer flüchtige, von den Anteilen mit hohem Siedepunkt herrührende Reste, die äusserst langsam verdunsteten. Es soll bei der Beurteilung der Verdunstungsgeschwindigkeit der Gemische darauf hingewiesen werden, dass Alkohol rein und VT 702 rein in ihren Verdunstungseigenschaften beträchtlich auseinander liegen. Das Gemisch von 53% VT 702 und 47% Alk. verhält sich jedoch fast genau so wie reines VT 702, d.h. es verdunstet genau so rasch wie dieses. Es ist möglich, dass dieses Verhalten mit der sonst festgestellten Eigenschaft des Alkohols, azeotrope Gemische zu bilden, zusammenhängt.

Einen Anhalt für die Verdunstungsgeschwindigkeit der einzelnen Stoffe geben verschiedene Faktoren. Einmal ist der Dampfdruck zu nennen, jener Druck, der bei gewöhnlicher Temperatur den Druck der auf der Flüssigkeit ruhenden Luft überwinden muss, um das Verdampfen zu ermöglichen. Die Grösse dieses Dampfdruckes gibt einen ungefähren Anhaltspunkt für die Flüchtigkeit des Kraftstoffes. Die Übereinstimmung der Werte für den Dampfdruck (nach Reid bei 38°) mit den gefundenen Werten der Verdunstungsgeschwindigkeit des Kraftstoffes ist relativ gut. Unstimmigkeiten in der Reihenfolge der Bewertung dürften daher rühren, dass die Verdunstungsversuche selbst bei 20° vorgenommen wurden, der Dampfdruck in der Zusammenstellung auf Tafel 4 jedoch für eine Bezugstemperatur von 38° gilt.

In der Literatur⁺) wurde darauf hingewiesen, dass neben dem Dampfdruck des Kraftstoffes noch sein Molekulargewicht für die Verdunstungsgeschwindigkeit von Bedeutung sein könnte; je größer es ist, desto kleiner ist das Volumen von 1 kg Brennstoffdampf und desto leichter kann die Dampfbildung vor sich gehen. Die bei den Verdunstungsversuchen gefundene Reihenfolge der Bewertung zeigte jedoch ziemliche Abweichungen in Bezug auf die Reihenfolge der Grösse der Molekulargewichte der einzelnen Stoffe, deren Werte gleichfalls in Tafel 4 zu finden sind. Allgemein wird angenommen⁺⁺⁾, dass das Siedeverhalten der Kraftstoffe einen Anhalt für die Verdampfungswilligkeit gibt. Eine besondere gute Übereinstimmung zwischen den Kurven für die Verdunstungsgeschwindigkeit und dem Siedeverhalten der verschiedenen Stoffe, das in Abb. 3 zu sehen ist, konnte nicht gefunden werden. Es kann daher in diesem Zusammenhang die Frage aufgeworfen werden,

⁺) Literatur 3, ⁺⁺⁾ z.B. Literatur 6

ob es nicht zweckmäßiger ist, die Bewertung von Kraftstoffen für leichteren Start, besonders bei niedrigen Temperaturen, besser nach ihrer Verdunstungsgeschwindigkeit als nach ihrem Siedeverhalten vorzunehmen. Für die Klärung der Leistungsdifferenzen waren jedoch, wie die Versuche zeigten, sowohl unterschiedlicher Heizwert als auch die verschiedene Verdunstungsgeschwindigkeit der einzelnen Stoffe ohne wesentliche Bedeutung und es bestätigte sich die Vermutung, dass fast allein die Unterschiede in der Verdampfungswärme dafür massgebend sind, indem sie die Ladung des Motors beeinflussen. Durch die Verdampfungswärme tritt eine Abkühlung der angesaugten Luft während des Einspritzvorganges des Kraftstoffes ein, die sich in einer Volumensverminderung der Ladeluft und damit in einer gewichtsmäßigen Füllungserhöhung auswirkt. Abbildung 1 zeigt die Verdampfungswärme der einzelnen Stoffe für 1 kg Kraftstoff und für 10000 Kal. Es ist erkennbar, dass schon unter Berücksichtigung gleicher Gewichtsmenge wesentliche Unterschiede in der Verdampfungswärme bestehen, die sich unter Berücksichtigung der niedrigen Heizwerte der einzelnen Stoffe und der daher zur gleichen Arbeitsleistung nötigen größeren Kraftstoffmenge noch beträchtlich vermehren, sobald die Werte auf gleiche Kalorienzahl bezogen sind.

2. Über das Verhalten verschiedener Kraftstoffe in den Motoren BMW 132 und DB 601 bei gleichen Betriebsbedingungen.

Im folgenden sollen die Versuche in der Reihenfolge besprochen werden, dass zuerst die Einflüsse des Kraftstoffes auf verschiedene Motoren unter sonst gleichen Betriebsbedingungen erörtert, dann die Wirkung verschiedener Betriebsbedingungen, in diesem Falle geänderter Steuerzeiten, an ein und demselben Motor diskutiert werden. Zur Art der Auswertung ist folgendes zu bemerken. Die Feststellung sämtlicher im vorliegenden Bericht vorkommender Leistungs- und Verbrauchswerte erfolgte aus den am Motor in Form von Verbrauchsschleifen gefahrenen Messpunkten, die, ausgehend vom Reichgebiet, durch ständiges Vermagern bis zur Bestleistung und darüber hinaus bis ungefähr 25% Leistungsabfall ermittelt wurden.

Für den Motor BMW 132 N mit 40° Ventilüberschneidung sind diese Kraftstoffverbrauchsschleifen in Abb. 4, für den Motor DB 601 A mit gleicher Überschneidung in Abb. 5 aufgezeichnet. Betriebsbedingungen und die verwendeten Kraftstoffe sind in Tabellenform ebenfalls in die beiden Abbildungen eingetragen. Eine Umrechnung der gefundenen Werte der effek-

tiven Leistung und des Verbrauches in die indizierten Bezugsgrößen konnte für den Vergleich beider Motore unterbleiben, da bei beiden Prüfständen die Schleppleistung, sowie die Antriebsleistung der Nebenaggregate bei sonst gleichen Betriebsbedingungen, wie gleiche Drehzahl, Ladedruck, Öleintrittstemperatur usw. als fast identisch gefunden wurde. Aus beiden Abbildungen ist der verschiedene spezifische Kraftstoffverbrauch im Minimumpunkt für die einzelnen Kraftstoffe erkennbar. Bedingt wird er durch den verschiedenen Heizwert der Stoffe, sowie bei Stoffen mit annähernd gleichem Heizwert durch die unterschiedlichen spezifischen Gewichte, evtl. durch verschiedene Verdampfbarkeit.

Die für die weitere Auswertung der Versuchsergebnisse gewählte Darstellung der gefahrenen Werte ist für beide Motoren in den Abb. 6 bis 9 aufgetragen. Es ist hier über der je Arbeitstakt eingespritzten Kraftstoffmenge der spezifische Verbrauch, die Luftüberschusszahl, der Luftdurchsatz, sowie die effektive Leistung eingetragen und zwar in den Abbildungen 6 und 7 für den Motor BMW 132 N bei einem Ladedruck von 1,0 und 1,3 ata, sowie für den Motor DB 601 für die gleichen Ladedrücke in den Abbildungen 8 und 9.

Bei Betrachtung der Abbildungen für beide Motore und denselben Ladedruck fällt zunächst die recht unterschiedliche Form der Verbrauchsschleifen auf. Die Kurven für irgendeinen Kraftstoff zeigen beim BMW 132 N-Zylinder einen wesentlich stärkeren Leistungsabfall im Reichgebiet als diejenige des DB 601 bei Verwendung desselben Kraftstoffes und bei gleicher Anreicherung. Diese Empfindlichkeit des BMW-Motors gegenüber dem DB-Zylinder bei Gemischveränderung dürfte folgende Ursache haben. Die für die Zuleitung der Ladeluft und die Abfuhr der Verbrennungsgase benötigten Verbindungs- und Zuführungsleitungen konnten wegen der Verschiedenheit der Lage der entsprechenden Ein- und Auslassöffnungen an den Motoren nicht gleichartig hergestellt werden. Untersuchungen, die von anderer Seite über den Einfluss verschiedener Leitungslängen und Formen der obengenannten Teile angestellt wurden, ergaben deren beträchtlichen Einfluss auf Füllungs- und Gaswechsellvorgang im Zylinder. Vor Beginn der Versuche in der DVL wurde nun dieser Einfluss an den beiden genannten Motoren ebenfalls festgestellt. Insbesondere ergab sich dabei, dass der Prüfstand mit dem aufgebauten BMW-Zylinder im gefahrenen Drehzahlbereich von 1900 U/min stark in seiner Füllung durch die von anderer Seite festgestellten Schwingungsvorgänge beeinflusst wurde. Bei der Besprechung der Versuchsergebnisse wird auf diese Tatsache und ihren Einfluss auf Leistungs- und Luftmengenmessungen gesondert hingewiesen.

wiesen, jedoch muß ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht werden, daß eine Verallgemeinerung der auf den hiesigen Einzylinderprüfständen gewonnenen Ergebnisse, sowie eine Übertragung oder Bewertung der Motore nach diesen Gesichtspunkten absolut unzulässig erscheint.

Es besteht jedoch darüber hinaus die Möglichkeit, dass die Strömungsvorgänge in den Ventilkäulen beider Motore unterschiedlich sind, infolge davon auch die Gaswechsel- und Spülvorgänge im Zylinder. Wenn nun bei den hier betrachteten Vorgängen auf den Prüfständen der DVL beim 304-Motor die Füllung des Zylinders durch Schwingungsvorgänge in den Leitungen ungünstig beeinflusst und dadurch ein größerer Anteil von Restgasen verblieben ist, dann kann beim Einströmen von Frischluft der Fall eintreten, dass ein Teil derselben den noch zündfähigen Gemischanteilen im Restgas zur Verbrennung verhilft und damit als gewichtsmäßiger Anteil für die Füllung verloren geht. Die Folge hiervon wäre eine Minderleistung des Motors im betreffenden Zustandsgebiet. Für die Anwesenheit brennbarer Gemischreste spricht die Tatsache, dass unter bestimmten Betriebsbedingungen Rückzündungen in die Ansaugleitung beobachtet werden kann. Eine zweite Möglichkeit wäre, dass ebenfalls unter Annahme eines verbliebenen größeren Restgasanteiles die eintretende Frischluft nicht mit diesem verbrennt, sondern nur eine verhältnismäßig höhere Aufheizung erfährt, als sonst bloss an den Zylinderwänden, und damit infolge ihrer Volumenvergrößerung eine schlechtere Füllung des Zylinders zulässt. In der Praxis werden diese beiden Vorgänge unter Umständen gemeinsam auftreten. Ihre präzisere Erfassung ist für die Deutung und Erklärung einiger weiterer Vorgänge jedoch angezeigt gewesen. Im einzelnen finden sich bereits in den weiteren Ausführungen, die sich mit der Diskussion der Abb. 6 bis 9 beschäftigen, Hinweise auf die oben gemachte Annahme der Beeinflussung der Füllung durch Restgasanteile, worauf im einzelnen noch zurückzukommen ist.

Die von den Motoren angesaugte Luftmenge zeigt abhängig von der Verdampfungswärme des Kraftstoffes Unterschiede im Durchsatz, ausserdem ändert sich der Liefergrad mit der Luftüberschusszahl und dementsprechend in der hier gewählten Darstellung mit der Einspritzmenge. Geringe Unterschiede des Luftdurchsatzes bei Kraftstoffen mit annähernd derselben Verdampfungswärme, C₁, VT 702, Bi/30 und Toluol sind erstens durch die Unterschiede der einzelnen Stoffe im spezifischen Gewicht bedingt, indem bei den schwereren Kraftstoffen zur Erzielung derselben Arbeitsleistung für das gleiche Hubvolumen eine geringere Menge in mm³/Takt eingespritzt wer-

den muß, die dementsprechend der Ladeluft weniger Wärme während des Einlaßvorganges entzieht. Ferner ist diese Abweichung in der Luftmenge durch geringe Unterschiede im Gemischheizwert der einzelnen Stoffe bedingt. Der größere Luftdurchsatz bei Bi/Alk und Alkohol rührt von der wesentlich höheren Verdampfungswärme dieser Stoffe her; ausserdem haben diese Stoffe einen geringeren Heizwert, sodass zur Erzeugung der gleichen Energiemenge eine größere Kraftstoffmenge notwendig ist. Beides zusammen wirkt sich in einer stärkeren Abkühlung der Ladeluft im Zylinder während des Einspritzvorganges und dementsprechend infolge Volumensverminderung derselben in einer Erhöhung der Füllung aus, solange das Einlassventil geöffnet bleibt. Diese Erhöhung der Füllung bewirkt nicht nur eine Steigerung der effektiven Leistung, sondern auch eine Änderung des thermischen Wirkungsgrades des Motors. Bei der weiteren Besprechung der Abbildungen wird auf diese Punkte noch gesondert eingegangen.

Die stärkere Abkühlung der Ladeluft bei Kraftstoffen mit höherer Verdampfungswärme und damit des ganzen Zylinders konnte beim luftgekühlten BM-Motor einwandfrei festgestellt werden. Zu den Temperaturmessungen wurde die seriennäßige Zylinderkopfstelle unterhalb des Auslassstutzens mit dem eingeschraubten Thermoelement benutzt. Die Werte der Zylinderkopftemperatur für die einzelnen Kraftstoffe, abhängig von der Gemischzusammensetzung und damit der Einspritzmenge, sind in Abb. 10 zu sehen. Es ist deutlich die mit der steigenden Verdampfungswärme der Kraftstoffe sinkende Zylinderkopftemperatur zu erkennen. Eine Ausnahme bildet das Gemisch Benzin-Benzol, das den von verschiedenen Seiten bereits festgestellten Temperaturanstieg des Zylinders bei Betrieb mit aromatenhaltigen Kraftstoffen zeigt.

Eine Erklärung dieser Erscheinung, die auf eine höhere Brennraumtemperatur zurückzuführen ist, wird von einer Stelle⁺⁾ mit dem bei Benzol und Benzin verschiedenen C/H-Verhältnis gegeben. Der zur vollkommenen Verbrennung benötigte theoretische Luftbedarf ist für Benzol geringer als für Benzin, ebenso ist die Menge und Zusammensetzung der gebildeten Verbrennungsprodukte verschieden. Rechnerisch wurde nachgewiesen, dass unter Berücksichtigung obiger Tatsachen eine höhere Brennraumtemperatur erhalten wird. Eine andere recht interessante Erklärung⁺⁺⁾ der Temperaturzunahme der Zylinderkopftemperatur bei Aromaten lautet, dass der bei der

⁺⁾ Literatur 7, ⁺⁺⁾ Private Mitteilung von H. Reichmann

Verbrennung derartiger Kohlenwasserstoffe auftretende Ruß als schwarzer Körper die maximale Strahlungsintensität hat, die für den Temperaturanstieg als verantwortlich anzusehen ist.

Bei Betrachtung der Änderung des Luftdurchsatzes über der Luftüberschusszahl ist vom Reichgebiet bis in die Gegend von $\lambda = 1,05$ eine Abnahme des Luftdurchsatzes bei konstantem Ladedruck und konstanter Ladelufttemperatur festzustellen. Als Grund dafür kann die mit geringer werdender Einspritzmenge auch kleiner werdende Wärmemenge, die bei der Verdampfung des Kraftstoffes der Ladeluft entzogen wird, angesehen werden. Durch den geringeren Entzug an Wärme ist eine schlechtere Abkühlung, geringere Volumensverminderung und damit eine unter sonst gleichen Betriebsbedingungen schlechtere Füllung festzustellen. Im extremen Reichgebiet ist die Zunahme des Luftdurchsatzes weniger stark, da wahrscheinlich der Kraftstoff in diesem Gebiete bei der Einspritzung nicht mehr restlos verdampft und damit seine ganze Verdampfungswärme bei noch offenem Einlassventil noch nicht abgegeben hat. Von dem Punkte des stöchiometrischen Mischungsverhältnisses ab ist abermals ein langsames Ansteigen des Luftdurchsatzes festzustellen, da wegen der immer geringer werdenden thermischen Belastung des Zylinders eine Aufheizung der einströmenden Luft nur mehr im beschränkten Maße stattfindet.

Bei der Gegenüberstellung der Leistungen und der Luftdurchsätze, die an beiden Motoren bei einem Ladedruck von 1,3 und 1,0 ata gemessen wurden, ergeben sich nachstehende Werte bei Kraftstoff VT 702.

Tabelle.

	BMW 132		DB 601	
	pl = 1,30 ata	1,00 ata	pl = 1,30 ata	1,00 ata
Ne PSe	71,6	46,1	66,0	44,0
Luftmenge kg/h	202,5	140,5	206,0	154,5
Luftmenge kg/PSH	2,83	3,05	3,12	3,52
λ	0,8	0,8	0,8	0,8
Kraftstoff- verbrauch in mm ³ /Spiel	418	290	423	320
Kraftstoff- verbrauch in kg/h	17,2	11,9	17,4	13,15

Hieraus ist folgendes ersichtlich: Bei einem Ladedruck von 1,5 ata sind die Leistungen beider Motoren entsprechend den Unterschieden ihrer Hubvolumina, um rund 10% verschieden trotz fast gleicher Luftverbräuche. Beim Ladedruck von 1,0 ata ist der Leistungsunterschied auf rund 5% zurückgegangen, während die Luftmenge um ungefähr 10% zu Gunsten des Motors mit dem kleinen Hubraum, des DB 601, differiert. Unter Berücksichtigung der Beeinflussung des Gaswechselforganges durch die Ansaug- und Abgasleitungen kann daher für die Motoren in Verbindung mit ihren Prüfständen vermutet werden, dass der DB-Motor bei 40° K. Überschneidung bei seinem kleinen Hubraum und der trotzdem absolut größeren Luftmenge bereits einen Teil der Ladeluft infolge Spülung verliert. Einen Hinweis hierauf bietet auch der Luftbedarf pro PSh, der beim DB höher ist. Hingegen ist beim BMW 132 ein größerer Anteil an verbleibendem Restgas anzunehmen, der auch als eine mögliche Erklärung des relativ stärkeren Leistungsabfalles dieses Motors im Reichgebiet herangezogen wurde und aus den Kraftstoffschleifen aus den Abb. 6 und 7 ersichtlich ist. Es zeigt sich, dass bei Anreicherung um denselben Betrag vom Punkte bester Leistung weg der prozentuale Abfall an Leistung beim BMW stärker ist als bei DB-Motor. Es wurde bereits erwähnt, dass ein größerer Anteil an Restgas, der im Reichgebiet noch zündfähige Gemischanteile enthält, beim Einströmen von Frischluft ausser einer allgemeinen Aufheizung derselben einen Teil zur Verbrennung aufbraucht; dieser Anteil wäre umso größer, je reicher das Gasgemisch und damit der verbleibende Gemischrest war und geht damit für die Füllung des Motors und infolge davon für die Leistung verloren.

Eine weitere Ursache der schlechteren Füllung des BMW-Motors wäre dadurch gegeben, dass er als luftgekühlter Motor einen höheren Gesamttemperaturzustand aufweist als der flüssigkeitsgekühlte DB-Zylinder. Während des Ansaugtaktes wird die einströmende Ladeluft an heißen Teilen vorbeigeführt und erwärmt. Dieser Erwärmung bedingt eine Verminderung der Ladung und eine Abnahme des Liefergrades und tritt umso mehr in Erscheinung, je höher der Temperaturzustand des Motors ist.

Unter Annahme der Füllungsverschlechterung beim BMW und einer bereits auftretenden Spülung beim DB-Motor müsste eigentlich mit einer geringeren Leistung beim BMW 132 gerechnet werden. Ein Blick auf die Tabelle zeigt jedoch die bereits erwähnte Tatsache, dass beide Motore bei denselben Betriebsbedingungen Leistungsunterschiede aufweisen, die dem Unterschied ihrer Hubvolumina ungefähr entsprechen. Wenn man sich hierzu die Ausführun-

gen über die Einstellung der Zündung für Bestleistung in Erinnerung ruft, so wurde dort darauf hingewiesen, dass der BMW-Motor bei einer Zündung von 30° v.o.T. seine beste Leistung bei den vorliegenden Betriebsbedingungen abgibt, während der DB-Motor zur Erzielung der Bestleistung eine Vorverlegung des Zündzeitpunktes auf 35° v.o.T. benötigt. Es ist nun das Ausmaß der Vorzündung von der Geschwindigkeit der Flammenfortpflanzung im Gemisch abhängig, die wieder neben anderen Umständen durch die Güte der Gemischaufbereitung bedingt ist. Daraus kann man den Schluss ziehen, daß die Gemischaufbereitung im BMW-Motor eine bessere ist als im DB, dementsprechend auch infolge Verbesserung des Wirkungsgrades die Leistung. Diese Annahme kann durch eine an späterer Stelle folgende Erklärung über die Erstreckung des Klopfgebietes in Abhängigkeit der Luftüberschusszahl nochmals belegt werden.

Für das Gebiet des Luftüberschusses kommt dann bei Annahme eines größeren Restgasanteiles nur die infolge Aufheizung der Ladeluft als Füllungsverlust auftretende Erscheinung in Betracht, die unter Zugrundelegung obiger Annahme eine Leistungsminderung rechtfertigen würde. Die Unterschiede in den Leistungsabfällen bei sonst gleichen Betriebsbedingungen und Luftüberschusszahlen sind in den Abb. 11 und 12 gut zu erkennen. Er ist hier für beide Motore und die untersuchten Kraftstoffe bei $p_1 = 1,0$ und $1,3$ ata der Abfall der Leistung in Prozent bei den einzelnen Werten des Luftüberschusses aufgetragen.

Für einen Ladedruck wurden beim DB 601 die Steigerungen des Luftdurchsatzes und der entsprechende Zuwachs an Leistung in Prozenten, die durch Kraftstoffe mit höherer Verdampfungswärme bedingt sind, in Abb. 13 gesondert herausgehoben. Als Bezugspunkt der Darstellung wurde Leistung und Luftdurchsatz bei VI 702 gewählt, davon ausgehend zeigt sich eine gewisse Zunahme der Luftmenge und ein im Verhältnis dazu größerer Zuwachs an Leistung. Diese Erscheinung einer prozentual höheren Leistungszunahme, als dem gesteigerten Luftdurchsatz entspricht, hängt mit folgenden Umständen zusammen. Die Leistungsänderung ist proportional dem Luftdurchsatz, sobald sie auf M_1 bezogen wird und keine Änderung des theoretischen Wirkungsgrades eintritt. Da die mechanischen Verluste (Gaswechselerbeit und Reibung) fast konstant bleiben, so verschiebt sich bei Leistungssteigerung das prozentuale Verhältnis zu Gunsten von M_e , d.h. die effektive Leistung steigt im Verhältnis stärker an als die indizierte Leistung. Ausser dieser durch die Art der Auftragung bedingten Erhöhung der effektiven Leistung ergibt sich aber noch ein tatsächlicher Zuwachs, welcher durch die höhere

Verdampfungswärme des Kraftstoffes, der die Luftmengen und Leistungssteigerung bewirkt, bedingt ist, sowie den etwas höheren Heizwert von Kraftstoffdampf mit Luft, auf kg bezogen. Letzteres ist aus der zu Beginn erwähnten Abb. 1 ersichtlich. Infolge der höheren Verdampfungswärme des Alkohols und der damit verbundenen Temperaturerniedrigung der Ladeluft ergibt sich eine geringfügige Verbesserung des theoretischen Wirkungsgrades durch die Änderung der spezifischen Wärmen beim Beginn des Verbrennungsvorganges, da die Endtemperatur der Kompression bei Alkohol etwas niedriger ist als bei Benzin. Andererseits ist die Verbrennungsendtemperatur von Alkohol höher als die von Benzin, dementsprechend auch der mittlere indizierte Druck und der indizierte thermische Wirkungsgrad.

Diese Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades ist recht anschaulich aus den Abbildungen 14 und 15 zu sehen, in denen abhängig von der Leistung der Kalorienverbrauch je PSh für die verschiedenen Kraftstoffe beim BM7 132 W und beim DB 601 Motor dargestellt ist. Es zeigt sich hier eine Abnahme des Wertes der benötigten Kal/PSh mit zunehmender Verdampfungswärme der Stoffe.

Ein im Zusammenhang mit der Problemstellung dieser Versuchreihe gemachte Auswertung ist in den Abbildungen 16 und 17 zu sehen. Hier ist der Verbrauch in kg je Stunde für die einzelnen Stoffe, abhängig von ihrem Heizwert, im Bereich der Luftüberschusszahlen von $\lambda = 0,8 \div 1,2$ aufgetragen. Es ist selbstverständlich, dass in dieser Darstellung nicht nur der verminderte Heizwert, z.B. des Alkohols, eine Erhöhung der Kraftstoffmenge bedingt, sondern auch sein durch die Verdampfungswärme bedingter höherer Luftdurchsatz. Eine Umrechnung der gefundenen Werte auf gleichen Luftdurchsatz hätte trotzdem wenig Sinn gehabt, da dieser Zustand bei sonst gleichen Betriebsbedingungen in der Praxis nicht auftritt. Anschaulicher ist daher in dieser Hinsicht die Abbildung 18, in der der Kraftstoffverbrauch in Gramm, bezogen auf 1 kg Luft pro Stunde, zu finden ist. Es sind für beide Motore die Werte eingetragen. Die Streuungen der Punkte sind ziemlich geringfügig, sodass anzunehmen ist, dass die erzielten Messergebnisse in Bezug auf Luftmengen- und Kraftstoffmessungen als einwandfrei zu bezeichnen sind.

Die Vermutung, dass aus den durchgeführten Versuchen über die Verdunstungsgeschwindigkeit der Kraftstoffe ein einwandfreier Schluss auf die Art ihrer Gemischaufbereitung gezogen werden kann, bestätigte sich nicht vollkommen. Unter der Annahme, dass vor allem im Gebiet des Luftüber-

schusses der Motor empfindlich sei auf die Gemischaufbereitung, wurden für die einzelnen Ladedrücke und beide Motore der Leistungsabfall in Prozenten über der Luftüberschusszahl λ in den bereits früher erwähnten Abbildungen 11 und 12 aufgetragen. Es ist wohl VT 702, dessen Verdunstungsgeschwindigkeit, wie Abbildung 2 zeigte, am grössten ist, wegen seines geringsten Leistungsabfalles als der Stoff mit den besten Gemischaufbereitungseigenschaften anzusprechen; die anderen Stoffe zeigen jedoch in dieser Hinsicht keine einheitliche Tendenz. Aus dieser Darstellung geht aber hervor, dass sich die Natur des verwendeten Kraftstoffes auf die Art der Bewertung desselben an der Klopfgrenze auswirkt. Gesezt den Fall, es sind zwei Kraftstoffe mit gleicher Klopfempfindlichkeit, jedoch ziemlich verschiedenem Verhalten bei Leistungsabfall an der Klopfgrenze zu bewerten. Sobald die Bewertung nach der angeblichen Innenbelastung des Motors in Einheiten des effektiven Mitteldruckes vorgenommen wird, ergeben sich ziemliche Unterschiede. Es ergibt z.B. VT 702 beim DB Motor und einem Ladedruck von 1,3 ata bei $\lambda = 1,05$ einen Leistungsabfall von rund 5%, Toluol hingegen einen in der Grösse von rund 9%. Da ja nun die einzelnen Werte der Klopfgrenze nach dem DVL-Überladeverfahren bei verschiedenen Ladedrücken entsprechend der Luftüberschusszahl als Klopf einsatzpunkte auf den Kraftstoffschleifen mit mehr oder weniger Leistungsabfall gefahren werden, ist immerhin die Möglichkeit vorhanden, daß Stoffe mit schlechter Gemischaufbereitung gegenüber solchen mit guter ungünstiger bewertet werden bei sonst gleichen Klopfseigenschaften, einfach deswegen, weil bei gleichen Luftkraftstoffverhältnissen der Motor bei Betrieb mit dem einen Kraftstoff weniger Leistung bringt. Ob diese Minderleistung durch einen höheren Ladedruck ohne Veränderung der Klopfgrenze kompensiert werden kann, konnte im Rahmen der durchgeführten Versuche nicht beantwortet werden.

Die Art der Auftragung der Klopfgrenze über der Einspritzmenge/Takt oder über dem spezifischen Verbrauch bringt Verschiebungen der Klopfgrenzkurven in Abhängigkeit des Heizwertes. Die bei den durchgeführten Versuchen ermittelten Beziehungen zwischen Kraftstoffverbrauch und Heizwert würden eine entsprechende Umrechnung und damit bessere Vergleichsmöglichkeit zu lassen, wobei allerdings die Verbrauchsubhängigkeit vom Heizwert über den bei Klopfgrenzuntersuchungen in Betracht kommenden Ladedruckbereich gemacht werden müste. Es wurde bereits bei Erwähnung der Abbildung 18, die den Kraftstoffverbrauch, bezogen auf 1 kg Luft pro Stunde, bringt,

daraufhingewiesen, dass die Werte des DB- und BMW-Motors gute Übereinstimmung zeigen. Die Auswertung der Versuchsergebnisse bei verschiedener Überschneidung für die obengenannte Abbildung brachte ebenfalls übereinstimmende Werte, sodass die allgemeine Gültigkeit der gefundenen Abhängigkeit des Verbrauches vom Heizwert, sobald er auf kg Luft je Stunde bezogen wird, angenommen werden kann.

3. Einfluß geänderter Ventilüberschneidung auf verschiedene Kraftstoffe im Motor DB 601.

Vor Schilderung der Ergebnisse, die bei den Versuchen zur Bestimmung des Einflusses der geänderten Ventilüberschneidung bei einem Motor und verschiedenen Kraftstoffen erhalten wurden, soll ein kurzer Überblick über die Wirkung der Ventilüberschneidung gegeben werden. ^{†)}

Während bei Vergasermotoren der Größe der Ventilüberschneidung wegen beginnender Durchspülung und der damit verbundenen Kraftstoffverluste Grenzen gesetzt sind, ist es bei Kraftstoffeinspritzung möglich, weitgehende Überschneidung der Steuerzeiten anzuwenden und dadurch eine starke Ausspülung des Totraumes zu erreichen. Das Ausmaß der Totraumausspülung ist ausser von der Überladung sehr stark von der Größe der Ventilüberschneidung abhängig. Bei geringer Ventilüberschneidung wird nur sehr wenig Luft durchgespült, da die Zeitquerschnitte für gleichzeitige Öffnung des Saug- und Auslassventiles ziemlich klein sind. Trotzdem ist auch bei kleiner Überschneidung die Füllungsvermehrung erheblich, da die ohne Überschneidung durch Drosselung verursachte Verdichtung am Ende des Ausschubhubes wegfällt. Eine teilweise Auffüllung des Totraumes mit Luft und eine nennenswerte Durchspülung tritt erst bei ungefähr 80° Ventilüberschneidung ein. Bei noch größerer Überschneidung erfolgt neben einer wesentlichen Durchspülung bereits eine Kühlwirkung auf die heißen Auslassorgane. Diese genannten Effekte bewirken eine Vergrößerung der effektiven Leistung des Motors am Einzylinderprüfstand, sobald die verdichtete Ladeluft von einem nicht vom Motor selbst angetriebenen Aggregat entnommen wird. Beim Vollmotor mit selbst angetriebenem Lader ist die Leistungssteigerung geringer, da mit zunehmendem Luftdurchsatz eine Erhöhung der Ladertriebsleistung und damit eine Verminderung der Nutzleistung erfolgt.

Die Änderung der thermischen Beanspruchung des Motors durch die Totraumschpülung infolge der an den heißen Ein- und Auslassorganen vorbeistreichenden Luft ist von großem Einfluss auf die Klopfneigung. Eine ein-

^{†)} Literatur 4

gehende Behandlung dieser Frage ist bei den hier durchgeführten Versuchen nicht vorgesehen. Es soll darauf hingewiesen werden, dass umfangreiche Versuche über das Klopfverhalten des DB 601-Motors bei geänderter Ventilüberschneidung mit verschiedenen Kraftstoffen gleicher und unterschiedlicher Oktanzahl bereits im Institut für Betriebsstofforschung der DVL durchgeführt wurden und die Ergebnisse für einen demnächst erscheinenden Bericht über dieses Thema in Ausarbeitung sind. Die bei diesen Versuchen mit VT 702 + 0,12 % Blei gefahrenen Klopfgrenzkurven in Abhängigkeit der Ladelufttemperatur bei einer Ventilüberschneidung wurden bereits in diesem Bericht mitverwendet und boten damit die Möglichkeit für die Erklärung des Klopfverhaltens des DB 601-Motors.

Die Auswertung der bei den Versuchsläufen erhaltenen Messwerte wurde unter Berücksichtigung der im vorhergehenden kurzen Überblick gewonnenen Erkenntnisse vorgenommen. Die bei einem Ladedruck von 1,15 und 1,3 ata gefahrenen Kraftstoffschleifen sind für 5 verschiedene Kraftstoffe in den Abbildungen 19 bis 21 zu sehen. Bei der Ventilüberschneidung von 40° KW in Abbildung 19 ergibt sich das bereits bekannte Bild der Leistungszunahme mit steigender Verdampfungswärme der Kraftstoffe. Klopfen des Motors konnte bei den gewählten Betriebsbedingungen nicht festgestellt werden. Die beiden Abb. 20 und 21 zeigen eine ähnliche Leistungszunahme dieser Kraftstoffe bei gleichen Ladedrücken mit steigender Verdampfungswärme. Über den Anstieg der Leistung und das Verhältnis zur Steigerung des Luftdurchsatzes in Abhängigkeit von der Überschneidung bei den einzelnen Kraftstoffen findet sich an späterer Stelle eine Erwähnung. Es fällt bei der Abbildung 20 bei 80° Ventilüberschneidung auf, dass bei einem Ladedruck von 1,3 ata der Motor in ein ziemlich ausgedehntes Klopfgebiet gekommen ist, welches bei 120° Überschneidung an Ausdehnung zugenommen hat und hier sogar bis zum Ladedruck von 1,15 ata reicht, wie Abbildung 21 zeigt. Diese Erscheinung stünde eigentlich im Widerspruch mit der Erkenntnis, dass durch eine gesteigerte Ventilüberschneidung eine bessere Restgasauspülung und bessere Innenkühlung des Motors und damit eine Herabsetzung seines Gesamtwärmezustandes hervorgerufen wird, der ja teilweise als maßgebend für das Klopfverhalten anzusehen ist. Es ist daher die thermische Belastung auf denselben Mitteldruck zu beziehen, wobei im Hinblick auf die vermehrte Füllung des Motors zur Erhaltung des gleichen Mitteldruckes eine entsprechende Reduktion der Aufladung vorzunehmen ist. Dadurch tritt aber infolge der Spülwirkung und der damit verbundenen Erniedrigung der thermischen Bean-

spruchung, bezogen auf dieselbe Leistung, eine Steigerung der Klopfgrenze auf. Die entsprechenden Werte des effektiven Mitteldruckes beim vorliegenden Motor lauten mit steigender Überschneidung 8,95; 11,4 und 12,2 kg/cm² für Bestleistung bei einem Ladedruck von 1,15 ata und 80° Ladelufttemperatur. Es ergibt sich daher, dass bei Berücksichtigung der eingetragenen Klopfgrenzen bei 80° Überschneidung ein Mitteldruck von 11,4 kg/cm² noch klopfrei zu fahren ist, während bei 40° Überschneidung ein geringerer Mitteldruck, nämlich 10,9 kg/cm², allerdings bei einem Ladedruck von 1,3 ata, bereits im Klopfgebiet liegt.

Im Zusammenhang mit der Betrachtung des Klopfgebietes soll auf eine Eigentümlichkeit des DB 601-Motors hingewiesen werden, die nach den bisherigen Erfahrungen wohl im geringen Masse von der Ventilüberschneidung abhängig ist, hingegen durch die Ladelufttemperatur stark beeinflusst wird. Bei der größeren Zahl der bisher untersuchten Motore zeigte sich der Tiefstpunkt der Klopfgrenzkurve bei einem Luftkraftstoffverhältnis von ungefähr $\lambda = 1,05$, entsprechend dem in diesem Punkte herrschenden Maximum der Temperatur des unverbrannten Gemischrestes. Dieser Punkt entspricht auf den Kraftstoffschleifen einem Leistungsabfall von rund 5% im Luftüberschussgebiet. Es lag auch tatsächlich bei entsprechend gewähltem Ladedruck ein zuerst beginnendes und sich nur über einen kleinen Bereich erstreckendes Klopfen in der Nähe dieser Stelle. Betrachtet man hingegen den erstmalig bei 80° Überschneidung und einem Ladedruck von 1,3 ata auftretenden Klopfbereich bei DB 601, so zeigt sich, daß erst bei einem $\lambda = 0,87$ das Klopfen beginnt und sich über das Gebiet des Luftmangels bis $\lambda = 0,6$ hinzieht. Diese Erscheinung⁺⁾ trat beim DB-Motor bei allen Kraftstoffen mit Ausnahme des Bi/Bo- und Bi/Alk-Gemisches auf, sobald eine entsprechende Anreicherung und ein mit der Sicherheit des Betriebes noch vertretbarer Ladedruck den Motor an die Klopfgrenze im Reichgebiet brachte. Sie kann damit als unabhängig von der Art des verwendeten Kraftstoffes und nur durch den Motor bedingt angesehen werden. Sie verlor sich immer mehr mit zunehmender Temperatur. Unter Berücksichtigung der bei der Besprechung der Leistungsunterschiede an beiden Motoren gemachten Annahme der schlechteren Gemischaufbereitung am DB 601 kann dafür folgende Erklärung gegeben werden. Als Einleitung wird eine entsprechende Stelle aus dem Buch von Lindner⁺⁺⁾ zitiert.

"Callendar konnte bei Gegenwart von unverdampften Brennstofftröpfchen im Gemisch eine starke Steigerung der Peroxydbildung und dabei gleich-

^{+) diese Stelle bringt eine Vorwegnahme eines Teilergebnisses aus den s.Z. abgeschlossenen Versuchen über Beeinflussung der Klopfgrenze verschiedener Kraftstoffe durch die Überschneidung.}

^{++) Literatur 10}

zeitig eine Verminderung der Umsetzungstemperatur gegenüber dem entsprechenden Gemisch mit vollkommen verdampften 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 ist, desto höher wird der Anteil unverdampfter Tröpfchen zu Beginn der Kompression sein".

Mit dieser von anderer Seite gemachten Feststellung und der von der DVL getroffenen Annahme einer schlechten Gemischaufbereitung beim DB 601-Motor, sowie des Zurücktretens der Erscheinung bei steigender Temperatur bei den durchgeführten Versuchen lässt sich folgende Erklärung abgeben. Vorweggenommen aus dem in Ausarbeitung befindlichen Bericht ist ein Kurvenblatt, als Abbildung 22 diesem Bericht beigelegt, welches die Temperaturabhängigkeit von VT 702 an der Klopfgrenze beim DB 601 mit 40° Überschneidung zeigt. Die schlechtere Gemischaufbereitung beim DB 601-Motor, die durch Einspritzvorgang, Verwirbelung und Gestaltung des Verbrennungsraumes bedingt ist, wirkt sich besonders im Reichgebiet aus. Trotzdem der Motor an der sonst empfindlichsten Stelle des Mischungsverhältnisses bei $\lambda = 1,05$ und gegebenem Ladedruck noch gar nicht zum Klopfen angeregt wurde, tritt infolge der schlechteren Gemischaufbereitung, die im Reichgebiet durch unverdampfte Brennstoffteilchen gekennzeichnet ist, Klopfen durch die in der zitierten Literaturstelle begründeten Ursachen ein. Es ist selbstverständlich, dass sich mit zunehmender Ladelufttemperatur die Gemischaufbereitung verbessert und damit der Anteil an unverdampften Brennstoffteilchen zurückgeht. Dementsprechend würden auch die Vorbedingungen für das Klopfen nachlassen. Die durchgeführten Versuche (Abb. 22) bestätigen diese Annahme, da sich erstens der für das Eintreten des Klopfens notwendige Ladedruck immer höher schiebt, andererseits das Minimum der Klopfgrenzkurve im Reichgebiet immer mehr gegen größeren Luftmangel hin abwandert. Daraus ist abzuleiten, dass sich mit steigender Ladelufttemperatur die Gemischaufbereitung verbessert und damit der Anteil unverbrannter Kraftstoffteilchen an und für sich mehr und mehr zurückgeht und sich ausserdem gegen das Gebiet größten Luftmangels verschiebt.

Die für die weitere Auswertung gewählte Darstellung zeigt in den Abbildungen 23 bis 28, wieder über der Einspritzmenge in $\text{mm}^3/\text{Arbeitstakt}$, die effektive Leistung, den Luftdurchsatz, den spezifischen Verbrauch, sowie die Luftüberschusszahl. Die Auswertung dieser Unterlagen erfolgte haupt-

sächlich in Hinblick auf die mit dem erhöhten Luftdurchsatz erfolgte Leistungssteigerung infolge zunehmender Überschneidung, sowie den Leistungsabfall bei Verarmung. Hierbei trat nun die Schwierigkeit auf, Punkte gleichen Luftkraftstoffverhältnisses zu finden. Es zeigt sich, wenn z.B. die Bestleistung auf den Verbrauchsschleifen für die einzelnen Kraftstoffe betrachtet wird, eine Verschiebung der Luftüberschusszahl gegen das Gebiet des Luftüberschusses mit steigender Überschneidung. Diese Tatsache hängt damit zusammen, dass bei der geübten Art der Auswertung die gesamte, vom Motor verbrauchte Luftmenge zum Kraftstoffverbrauch ins Verhältnis gesetzt wurde. Dabei ist aber zu bedenken, dass mit zunehmender Überschneidung ein erheblicher Teil der Ladeluft den Motor als Spülluft passiert, ohne an der Verbrennung im Zylinderinneren teilzunehmen. Es herrscht daher im Motor ein anderes Luftkraftstoffverhältnis, als die Rechnung unter Zuzurechnung der Gesamtluftmenge ergibt. Eine Überprüfung der aus der Rechnung erhaltenen Werte mit der Anzeige des Abgasröhrs ergab dieselben Größen, da auch dieses Gerät durch die Mischung der Spülluft mit den die Anzeige bewirkenden Abgasen in seiner Funktion beeinflusst wird. Ohne umständliche Untersuchung und Berücksichtigung des Spülluftanteiles wurde der Ausweg gefunden, dass bei Vergleich der Leistungen die Werte des Bestleistungspunktes genommen werden, beim Vergleich der Leistungsabfälle jeweils vom Punkte bester Leistung um die gleiche Anzahl λ - Einheiten weitergezählt wurde und diese erhaltenen Punkte verglichen sind.

Die unter Berücksichtigung obiger Umstände aus den Kurvenblättern entnommenen Steigerungen der Leistung und des Luftdurchsatzes sind in Prozenten in Abbildung 29 für VI 702, Bi/Alk und Alkohol über der Ventilüberschneidung aufgetragen. Es zeigt sich wieder wie bei der Leistungserhöhung durch die Verdampfungswärme ein größerer Leistungszuwachs, als der Luftdurchsatzsteigerung entspricht, bis zu etwa 100° Ventilüberschneidung. Die Gründe dafür sind dieselben, wie sie für die Leistungserhöhung durch die Verdampfungswärme des Kraftstoffes angeführt wurden. Über 100° Ventilüberschneidung tritt ein Teil der Ladeluft infolge der großen Zeitquerschnitte als bloße Spülluft durch den Motor, ohne an der Verbrennung teilzunehmen. Dementsprechend ist auch die Steigerung der Leistung von hier an geringer, als der Erhöhung des Luftdurchsatzes entsprechen würde. Der Kurvenverlauf lässt übrigens erkennen, dass bei weiterer Erhöhung der Ventilüberschneidung ein merklicher Leistungszuwachs nicht mehr zu erwarten ist, da ab ungefähr 100° Ventilüberschneidung eine weitere Steigerung bei bereits

völliger Totraumspülung nur mehr eine abkühlende Wirkung des Zylinderinnern durch durchströmende Ladeluft erzielt und damit ein geringer Leistungszuwachs erbracht wird.

Der vollständig konforme Verlauf der Leistungs- und Luftdurchsatzkurven für die einzelnen Stoffe fällt auf. Einer größeren Steigerung der Leistung bei VP 702 entspricht ein entsprechend gesteigerter Luftdurchsatz bei demselben Kraftstoff, während die anderen Stoffe mit Zunahme der Verdampfungswärme in selber Maße geringere Erhöhungen der Leistungen und der Luftmenge erkennen lassen. Die Erklärung hierfür ist, dass bei 40° Ventilüberschneidung die Mehrfüllung des Motors bei Alkohol und seinem Gemisch durch die höhere Verdampfungswärme zustande kam. Mit steigender Ventilüberschneidung wirkt sich infolge des höheren Luftdurchsatzes an und für sich die fast gleichbleibende Mehrfüllung durch die Verdampfungswärme in Prozenten nicht mehr in selber Maße aus, sofern gemäß der hier gebrachten Darstellung der Unterschied der Füllung bei den einzelnen Stoffen auf die Werte bei 40° Überschneidung als Nullpunkt bezogen wird.

Bei Vergleich sämtlicher Leistungswerte war die für die Aufladung aufzuwendende Arbeit nicht enthalten. Unter Berücksichtigung der vom Motor aufgebrauchten Lademtriebsleistung ergibt sich ein mit steigender Überschneidung etwas geringerer Leistungszuwachs, da die Lademtriebsleistung mit zunehmendem Luftdurchsatz bei gleichem Ladedruck wächst und normalerweise vom Motor selbst aufgebracht werden muss. Unter Berücksichtigung eines Wirkungsgrades von 0,6 des Ladegebläses sind die bei einem bestimmten Ladedruck, aber verschiedenem Luftdurchsatz aufzuwendenden mittleren Kolbendrucke in Abbildung 30 dargestellt. Unter Berücksichtigung dieser Leistungsaufnahme des Gebläses bei vom Motor angetriebenem Lader ergeben sich die in Abbildung 31 ersichtlichen Werte in Gegenüberstellung mit den an Zylinderprüfstand bei fremd-angetriebenem Gebläse erhaltenen Leistungen. Es ist die mit steigender Ventilüberschneidung größer werdende Differenz zwischen den beiden Leistungswerten gut zu erkennen.

Beim Vergleich der Motore BMW 132 und DB 601 in Bezug auf die Art ihrer Durchspülung und dem dabei verbleibenden Restgasanteil bei gleicher Ventilüberschneidung wurde die Annahme gemacht, dass bei der verwendeten Prüfstandsordnung eine schlechtere Spülung des BMW 132 Motors auftritt und damit ein größerer Restgasanteil zurückbleibt. Eines der damals für diese Annahme herangezogenen Argumente befasste sich mit dem bei gleicher

Gemischänderung größeren Leistungsabfall des BSM-Motors am DVL-Prüfstand und führte ihn auf die bereits erwähnte unvollständigere Spülung mit ihren Folgen auf die Füllungsverschlechterung zurück. Es war an Hand der bei verschiedenen Steuerzeiten gefahrenen Versuche die Möglichkeit gegeben, diese Annahme auf ihre Stichhaltigkeit zu überprüfen, da mit wachsender Überschneidung eine immer bessere Durchspülung des Motors auftritt. Mit dieser verbesserten Spülung und dem damit kleiner werdenden Kostgasanteil müßten die Leistungsabfälle bei Gemischveränderung um denselben Betrag geringer werden. In der Abbildung 32 sind in analoger Form für die verschiedenen Kraftstoffe über der Luftüberschusszahl die Leistungsabfälle in Prozenten bei 40° , 80° und 120° Ventilüberschneidung aufgetragen. Es wurde bereits erwähnt, dass infolge der mit steigender Überschneidung durch den Motor tretenden und an der Verbrennung nicht teilnehmende Spülluft eine fälschliche Errechnung des Luftkraftstoffverhältnisses vorgenommen wird. Die einzelnen Punkte der Luftüberschusszahl werden durch die zu hoch genannten Luftmengen gegen das Armpobiet verschoben. Diese Tatsache ist in der Abbildung 32 deutlich zu erkennen, da der Punkt bester Leistung mit zunehmender Überschneidung gegen das Gebiet größeren Luftüberschusses abwandert. Unter Berücksichtigung der mit dem tatsächlichen Betriebszustand nicht übereinstimmenden Luftüberschusszahlen sind die Leistungsabfälle für die einzelnen Punkte des Luftkraftstoffverhältnisses durch Weiterzählen gleicher λ - Einheiten vom Leistungspunkt weg zu vergleichen. Werden auf diese Art Punkte der Luftüberschusszahl im gleichen Abstand von der Bestleistung verglichen, so ergibt es sich tatsächlich, dass mit steigender Überschneidung und damit mit verbesserter Kostgasauspülung der Leistungsabfall geringer wird. Er beträgt z.B. bei VT 702 und einem Ladedruck von 1,15 ata im Abstand 0,35 λ von der Bestleistung gegen Luftüberschuss mit steigender Ventilüberschneidung 13,4, 14,0 und 11%. Bei anderen Stoffen gelegentlich auftretende Streupunkte konnten das Gesamtbild einer Verringerung des Leistungsabfalles mit steigender Überschneidung nicht beeinträchtigen. Nach wie vor muss jedoch betont werden, dass diese Art der Erklärung der Leistungsunterschiede für die unter den herrschenden Umständen auf den DVL-Prüfständen gefahrenen Versuchswerte angenommen wurde und eine Übertragung ohne an den entsprechenden Vollmotoren durchgeführte Untersuchung unzulässig erscheint.

Bei der Betrachtung des Leistungsabfalles bei verschiedenen Kraftstoffen in der Abbildung 32 zeigt es sich auch hier über den ganzen gefahrenen Bereich, dass VT 702 bei demselben Luftkraftstoffverhältnis den ge-

ringsten Leistungsabfall von den untersuchten Stoffen hat. Diese Berechnung wurde bereits früher mit der bei den DVL-Versuchen festgestellten größten Verdunstungsgeschwindigkeit dieses Kraftstoffes erklärt. Im Zusammenhang damit soll darauf hingewiesen werden, dass bei Flugzeugen für Reichweitenflüge die Auswahl des Kraftstoffes unter Berücksichtigung des Leistungsabfalles des Stoffes im Armgebiet vorgenommen werden sollte. Die Motore dieser Maschinen sind im Reiseflug zur Erzielung großer Reichweiten stets für entsprechenden Leistungsabfall und dementsprechenden kleinsten spezifischen Kraftstoffmindestverbrauch eingeregelt. Durch Wahl eines Kraftstoffes, der im Vergleich zu anderen Stoffen den geringsten Leistungsabfall und damit eine bei sonst gleichen Betriebsbedingungen höhere Leistung des Motors bewirkt, liesse sich eine kleine Steigerung der Vortriebsleistung der Maschine ermöglichen.

An sonstigen noch interessierenden Auswertungen wurde noch der Kraftstoffverbrauch in Abhängigkeit vom Heizwert bei konstanter Luftüberschusszahl für 80° und 120° Ventilüberschneidung gemessen und in Abbildung 33 und 34 aufgetragen. Die Auswertung dieser Ergebnisse auf den Kraftstoffverbrauch für 1 kg Luft je Stunde, die bereits in Abb. 18 vorgenommen wurde, brachte Übereinstimmung mit deren Werten. Es kann daher die Abb. 18 für die Berechnung von Verbräuchen für Kraftstoffe verschiedenen Heizwertes bei bekanntem Luftdurchsatz allgemein herangezogen werden.

IV. Zusammenfassung.

Die durchgeführten Versuche über die Feststellung der Kraftstoffeigenschaften, die Beeinflussung verschiedener Motoren durch Kraftstoffe unter denselben Betriebsbedingungen, sowie eines Motors mit geänderter Ventilüberschneidung ergaben nachstehende Ergebnisse.

Die Leistung wird hauptsächlich durch den gesteigerten Luftdurchsatz bei Kraftstoffen mit hoher Verdampfungswärme beeinflusst. Geringe Abweichungen in der Leistung sind durch den nicht genau gleichen Luftbedarf, der zur Erzeugung derselben Kalorienmenge nötig ist, bedingt, ferner durch die Änderung des inneren Wirkungsgrades, der sich durch Verschiebung der Kreisprozeßtemperaturen ergibt und schliesslich durch die Güte der Gemisch-aufbereitung.

Über die Gemischbildung wurden Versuche angestellt unter der Annahme, daß sie ausser durch Verwirbelung und sonstige Aufbereitung zum Teil durch die Verdunstungsgeschwindigkeit der Kraftstoffe beeinflusst wird. Bei Stoff-

fen mit hoher Verdunstungsgeschwindigkeit konnte infolge ihres günstigeren leistungsmäßigen Verhaltens bei Änderung der Gemischzusammensetzung der Schluß auf gute Gemischbildung gezogen werden.

Verdunstungsgeschwindigkeit und Siedeverhalten der Kraftstoffe bilden keine austauschbaren Begriffe. Eine zweckmäßigerer Bewertung der Eignung eines Kraftstoffes für sein Verhalten beim Start ergäbe sich daher aus seiner Verdunstungsgeschwindigkeit. Ebenso wurde darauf hingewiesen, daß bei Sparbetrieb des Motors zur Erzielung großer Reichweiten die Kraftstoffauswahl unter Berücksichtigung seines geringsten Leistungsabfalles bei Verarmung vorgenommen werden sollte.

Der Luftdurchsatz ist vor allem von der Verdampfungswärme der Kraftstoffe abhängig, die infolge der damit verbundenen Abkühlung der Ladeluft eine Mehrfüllung des Zylinders ergibt. Zusätzlich wirkt sich noch aus, dass die Kraftstoffe mit der hohen Verdampfungswärme einen niedrigeren Heizwert besitzen, sodass zur Erreichung derselben Arbeitsleistung eine größere Menge eingespritzt werden muß.

Der Einfluss des Heizwertes auf den Verbrauch unter den einzelnen Betriebsbedingungen wurde ermittelt und daraus eine allgemein gültige Abhängigkeit des Kraftstoffverbrauches je kg Ladeluft vom Heizwert errechnet.

Der Vergleich des BMW 132 und DB 601 Zylinders auf VWL-Motorsylindern prüftänden unter gleichen Betriebsbedingungen ergab, dass der DB 601-Motor trotz seines kleineren Hubvolumens einen größeren Luftdurchsatz besitzt. Dieser Unterschied ist zum Teil dadurch bedingt, dass die Ladeluft im BMW 132 als luftgekühltem Motor stärker aufgeheizt wird während des Einlaßvorganges und damit infolge Volumsvergrößerung eine schlechtere Füllung des Zylinders bedingt. Ausserdem war anzunehmen, dass durch die Verschiebenheit im Prüfstandsaufbau eine Beeinflussung der Füllung durch Schwingungsvorgänge in den Ladeluft- und Abgasleitungen auftrat, die sich in einer verringerten Totraumenspülung beim BMW 132 Motor äußerte. Durch den höheren Restgasanteil war ein stärkerer Leistungsabfall bei Verarmung oder Anreicherung gegeben als beim DB 601 Motor. Der Einfluss des Restgases auf den Leistungsabfall bei Änderung der Gemischzusammensetzung konnte bei den Versuchen mit geänderter Ventilüberschneidung festgestellt werden, da mit steigender Überschneidung und damit geringerer werdendem Restgasanteil der Leistungsabfall bei Änderung der Gemischzusammensetzung entsprechend geringer wurde.

Unterschiede in der Bestleistung beider Motore bei gleichen Betriebsbedingungen unter Berücksichtigung ihrer verschiedenen Hubvolumina werden auf schlechtere Gemischaufbereitung beim DB 601-Motor zurückgeführt.

Die schlechtere Gemischaufbereitung beim DB 601, die wahrscheinlich noch unverdampfte Kraftstofftröpfchen am Ende des Kompressionstaktes vor allem im Gebiet des Luftmangels zur Folge hat, ermöglichte die Erklärung des Klopfeinsatzes bei diesem Motor. Gegenüber anderen Motoren befindet sich der Tiefpunkt der Klopfgrenzkurve beim DB 601 über einen ziemlich großen Bereich der Ladelufttemperatur im Reichgebiet. Mit steigender Ladelufttemperatur nimmt die Güte der Gemischaufbereitung zu, damit sinkt der Anteil der unverdampften Kraftstoffteilchen in Reichgebiet. Der Tiefpunkt der Klopfgrenzkurve verschiebt sich daher immer mehr gegen das Gebiet des extremen Luftmangels unter gleichzeitiger Erhöhung des zulässigen Ladedruckes.

Bei steigender Ventilüberschneidung tritt infolge der mit vergrößerter Spülung geringer werdenden thermischen Belastung eine Beeinflussung der Klopfgrenze ein. Es kann daher entweder eine gewisse Leistung bei zugehörigem Ladedruck, die bei kleiner Ventilüberschneidung im Klopfgebiet liegt, durch Erhöhung der Überschneidung und Zurücknahme des Ladedruckes klopfrei gefahren werden oder eine ausserhalb des Klopfgebietes liegende Leistung durch Beibehaltung des Ladedruckes mit zunehmender Ventilüberschneidung erhöht werden, ohne dass der Motor zum Klopfen kommt.

Verbesserte Totraumauspülung und damit verbundene Leistungssteigerung konnte bis ungefähr 100° K. Ventilüberschneidung festgestellt werden. Darüber hinaus bringt eine weitere Vergrößerung der Überschneidung infolge zusätzlicher Spülung nur mehr eine stärkere Innenkühlung des Motors und einen geringen Leistungszuwachs.

Schrifttum.

- 1) K. Shimojama, Transact of Soc. of Mech. Eng. Japan 1940 Nr. 22
- 2) F. Spausta, Treibstoffe für Verbrennungsmotoren, Wien 1939, Verlag Springer
- 3) W. Wilke, Methanol als Kraftstoff, Oel und Kohle 1937
- 4) F. A. F. Schmidt, Verbrennungsmotoren, Berlin 1939, Verlag Springer
- 5) Scheffler, Untersuchung des Druckverlaufes im Lade- und Auspuffrohr und dessen Einfluß auf den volumetrischen Wirkungsgrad eines Einzylinder-Motors.
EA III-Bericht Nr. 149 der BMW Spandau
- 6) Franz Jantsch, Leuna Kraftstoffhandbuch, I. G. Farbenindustrie A. G.
3. Auflage 1941
- 7) Report of the Empire Motor Fuels Committee, Band 18, London 1928
- 8) Bauvorschriften für Flugmotoren, BVM Oktober 1940
Prüfvorschriften für Flugmotorenkraftstoffe
- 9) Max Kuhn, Der Einfluß der Zylinderbaugröße auf die motorischen Kennwerte und die Baugewichte. Dissertation Januar 1939, T. F. Stuttgart
- 10) W. Lindner, Entzündung und Verbrennung von Gas- und Brennstoffdampfmaschinen. VDI-Verlag 1931 Berlin
- 11) H. L. Callendar, Engineering 123 (1927) Seite 147, 182, 210.
zitiert im Buch von W. Lindner
- 12) D. R. Pye, Die Brennkraftmaschinen; übersetzt von Wettstedt, Berlin 1933
Verlag Springer
- 13) F. Seeber, Neuere Verfahren der Kraftstoffprüfung, Luftfahrtforschung 1939
Band 16.

Tafel 1

Motordatenblatt

Motor-Type: BMW 132 N

Daten: Hub = 162 mm
 Bohrung = 155,5 mm
 Verdichtung ϵ = 6,5:1
 Hubraum = 3,074 Liter
 Kompressionsraum = 559 cm³

Steuerzeiten: E 0 E s A 0 A s
 °v.o.T. °n.u.T. °v.u.T. °n.o.T.
 20 77 76 21

Gemischauferbereitung:

Pumpe Bosch PZ 2/120 V 1024 a3 (Exzenterpumpe)
Düse Bosch DE 40 N60 M6

Zündvorrichtung :

Kerzen Bosch W 225 T 1
Magnet Bosch FI 1R 36
 FI 1L 36

Ladeluft :

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

Kühlstoff

Luft

Gebälse Hermil 22 K 2900 U/min

Auspuffanlage

DVL; über Ausgleichbehälter - Absauggebläse

Bremsmittel

AEG - Generator Typ A.1 PD 99

Tab.1: Zusammenstellung der Daten des Prüfstandes und BMW 132 Motors.

Tafel 2

Motordatenblatt

Motor-Type: DB 601 A

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

Steuerzeiten:	E ö	E s	A ö	A s
	° 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

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

Zündvorrichtung :
 Kerzen Bosch W 260 T 1
 Magnet Bosch FI 1R 36
 Bosch FI 1L 36

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

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

Auspuffanlage DVL, über Schalldämpfer, Absauggebläse
 Bremsmittel Siemens - Generator Typ A 6 247

Tab.2: Zusammenstellung der Daten des Prüfstandes und DB 601 Motors.

Tabelle 3

Bezeichnung	VT 702 0,12% BTA		2% Bi unverbleit 7% Flieger-Bo		5% Bi unverbleit 47% Äthyl-Alkohol		Äthyl-Alkohol		Methyl-Alkohol		C. 1 + 0,06% BTA	
	405/40	120/41	gemischt bei O.M.K.	gemischt bei O.M.K.	122/41	166/41	46/42	Reichsanopolverwaltg. Min.-Lichtenberg	Schering Kahlbaum Min.-Adlerhof	212/41	Wifo Brochwitz (Bontaght)	
Kingsge-Br.												
Lieferart von	Ammoniakwerk Harroburg	gemischt bei O.M.K.	Benzolvertrieb Berlin									
Spezifisches Gewicht bei 20°	0,7206	0,8285	0,8670	0,7495	0,7990	0,7920	0,7146					
Refraktion n_{20}	1,4021	1,4696	1,4940	1,3004	1,3608	1,3302	1,4010					
wasserl. Bestandt. %	0	0	0	46	100	100	0					
Dampfdruck bei 20°	0,435	0,215	0,0749	0,485	0,160	0,323	0,365					
Siedeverhalten	s. Abb. 3	s. Abb. 3	s. Abb. 3	s. Abb. 3	s. Abb. 3	s. Abb. 3	s. Abb. 3					
korrod. Eigenschaften Cu, Al-Nieten 5 Std. 50°C	unverändert	unverändert	unverändert	unverändert	unverändert	unverändert	unverändert					
Verharrung mg/100 cm ³	2,4	9,8	0	2,6	0	0	1,4					
Kristallpunkt °C	unter -60	-19	unter -60	unter -60	unter -60	unter -60	unter -60					
Bläufigkeit nach Jodv.	0,12	0	0	0	0	0	0,08					
Jodzahl (Nunne)	3,2	2,6	-	1,61	-	-	4,58					
Akzilinpunkt II	60,2	58,4	-	59,4	-	-	65,8					
Arz. + Ungez. Gew. % Kattweil	U 2,3 Ar-19,7	U 3,0 Ar-82,3	100	U 3,2 Ar-23,3	-	-	11					
Kapitene %	25,5	5,7	0	26,0	-	-	12,5					
Paraffine %	52,5	9,0	0	47,5	-	-	76,5					
C Gehalt %	85,20	90,38	91,24	67,97	52,11	37,46	85,13					
H ₂ Gehalt %	14,73	9,68	8,76	13,17	13,14	12,99	14,87					
O ₂ Gehalt %	0	0	0	16,86	34,75	49,95	0					
C/N Verhältnis	5,78	9,34	10,42	5,16	3,97	2,98	5,74					
I ₀ theor. Luftbedarf	14,85	13,7	13,46	12,1	8,98	6,46	14,89					
Unterer Heizwert	10457	9849	9759	8502	6456	4748	10479					
Oktanzahl N.H.	92	88,5	109	88	93,0	99,0	97,0					

Tab. 3: Zusammenstellung der Kraftstoffdaten.

Tafel 4

Kraftstoff	Dampfdruck nach Reid bei 38°C in		Molekulargewicht
	mm Hg	atm	
Wasser (dest.)	49	0,067	18,016
Toluol (rein)	55	0,0749	92,06
Äthyl-Alkohol	118	0,160	46,05
Benzol (rein)	166	0,226	78,05
Bi/Bo	208	0,215	82,2
C 1	268	0,365	
VT 702/1	309	0,435	125
Bi/Alk	345	0,485	87,75
Aether	850	1,155	74,08

Tab.4: Dampfdruck und Molekulargewicht verschiedener Stoffe.

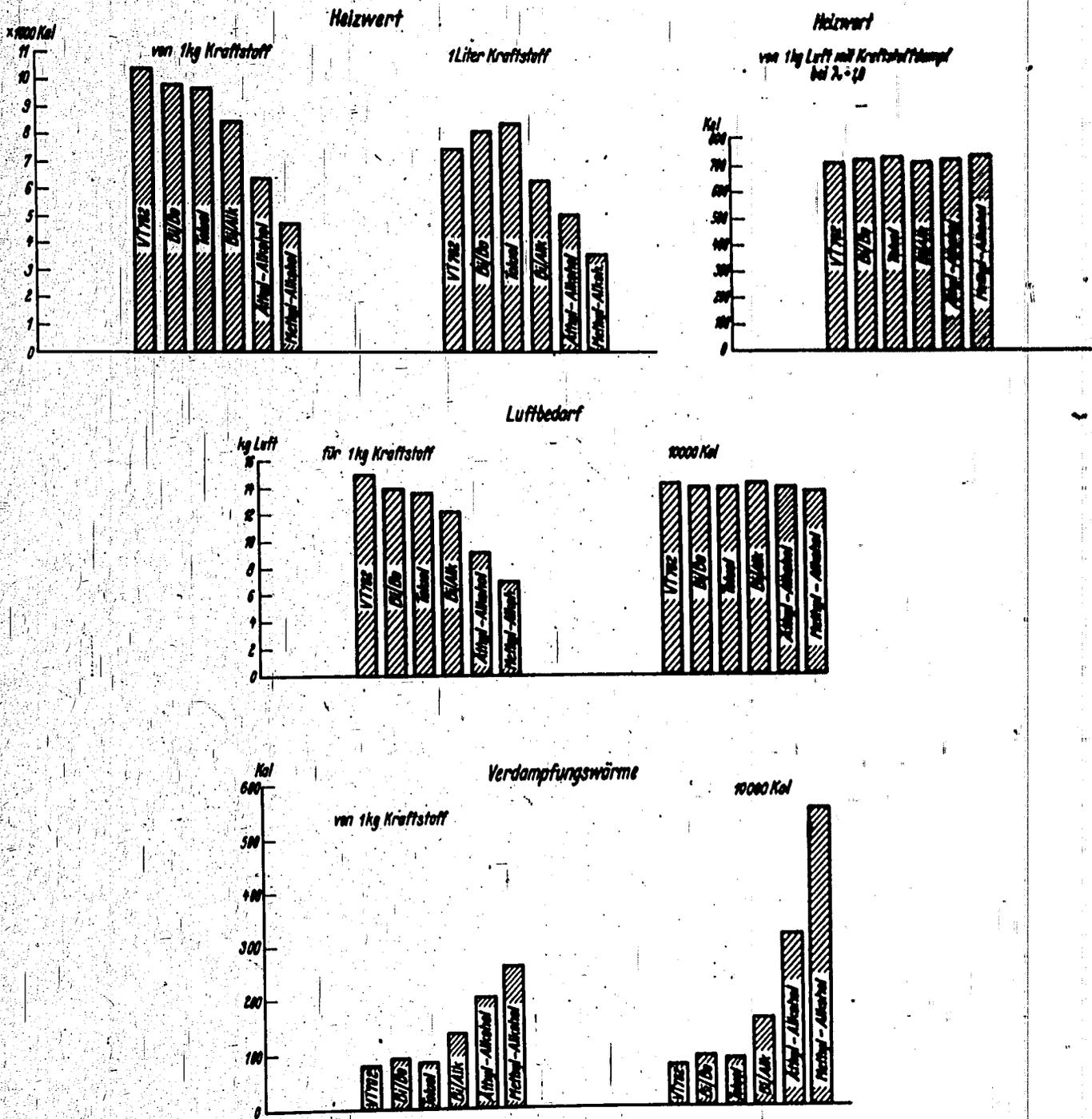


Abb.1: Heizwert, Luftbedarf und Verdampfungswärme verschiedener Kraftstoffe für gleiche Mengen und gleiche Kalorienzahl.

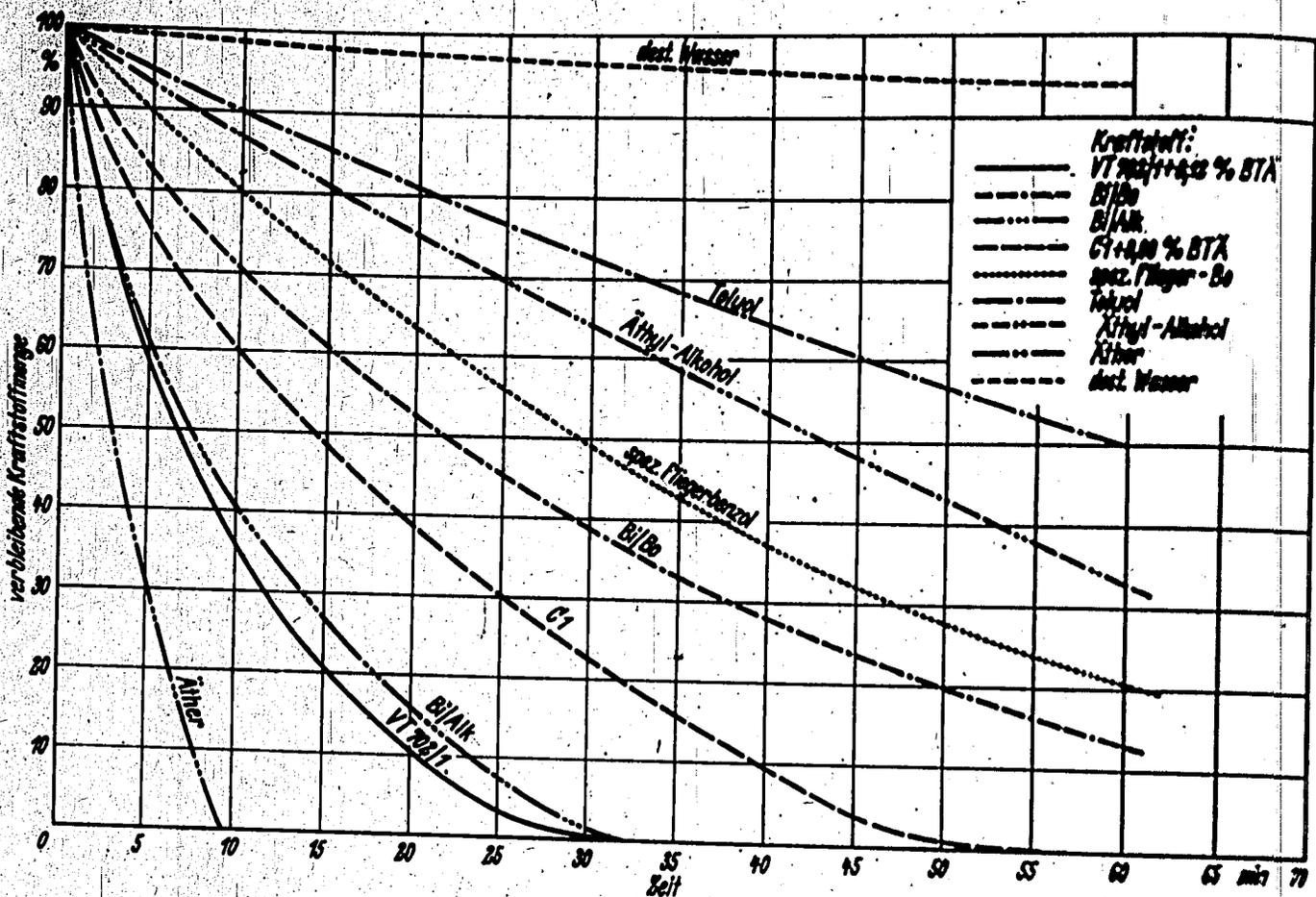


Abb. 2: Verdunstungsgeschwindigkeit verschiedener Stoffe bei 20°C und 760 mm Hg.

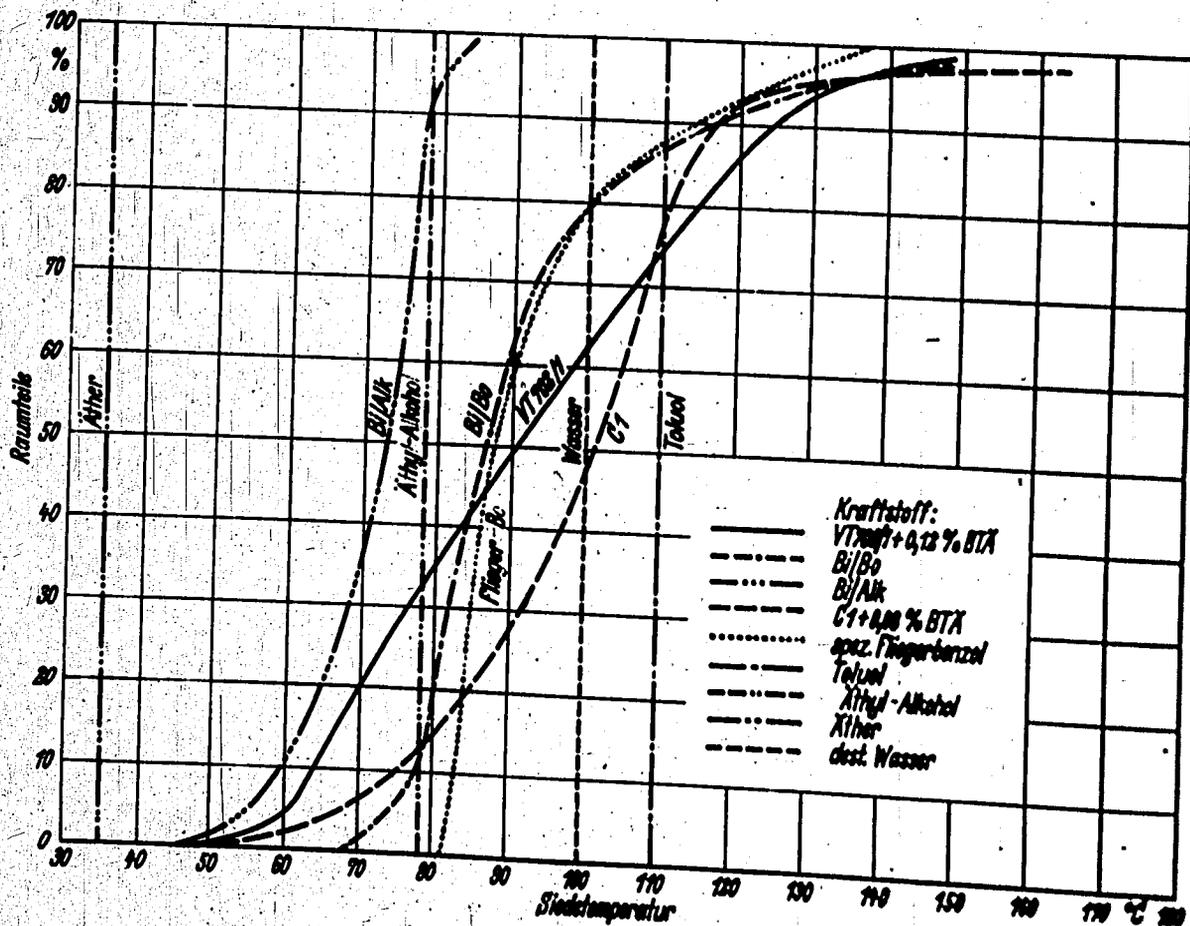


Abb. 3: Siedekurve verschiedener Kraftstoffe.

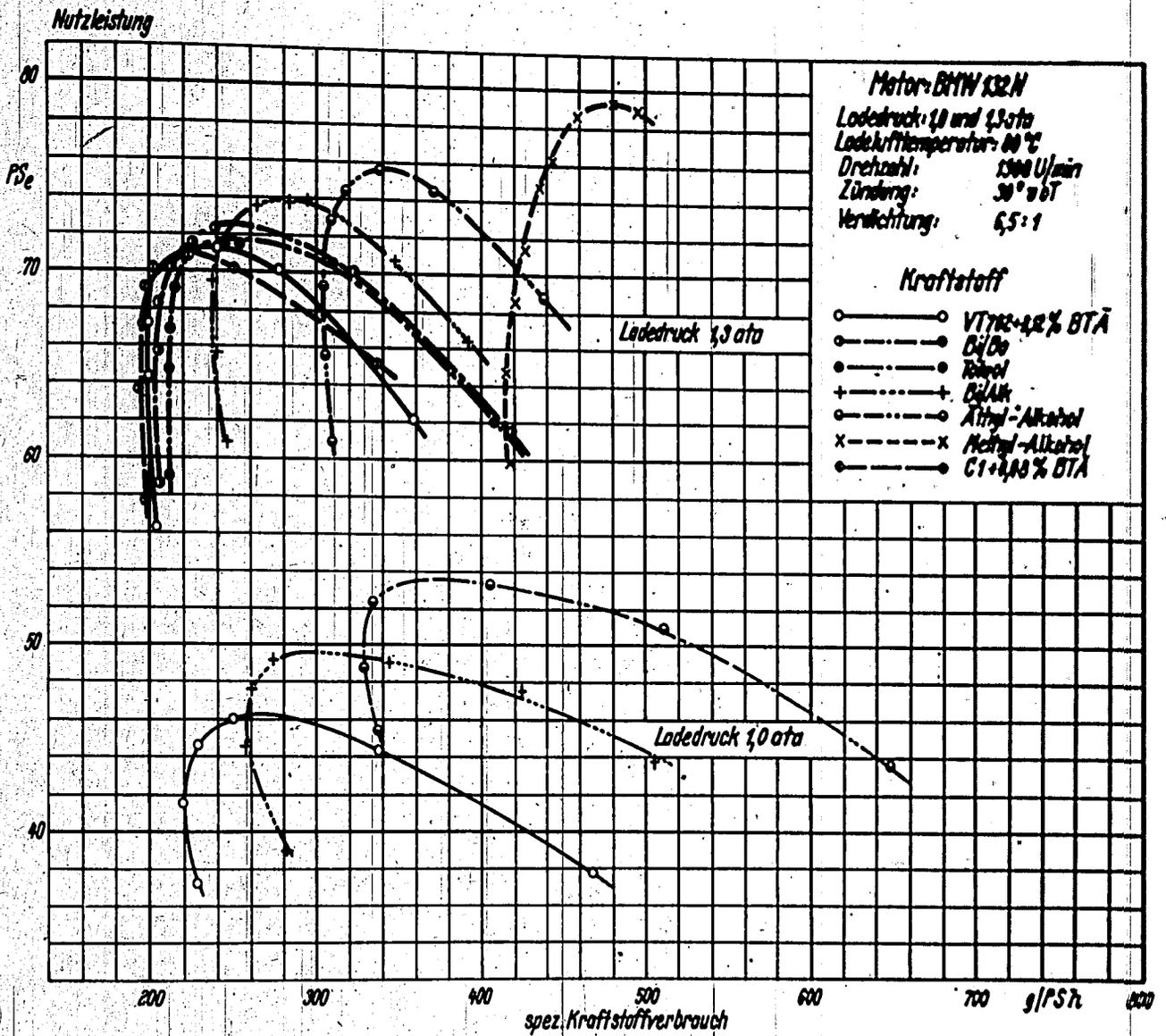


Abb. 4: Abhängigkeit der Leistung vom Kraftstoffverbrauch beim BMW 132 H bei 1,0 und 1,3 ata Ladedruck für verschiedene Kraftstoffe.

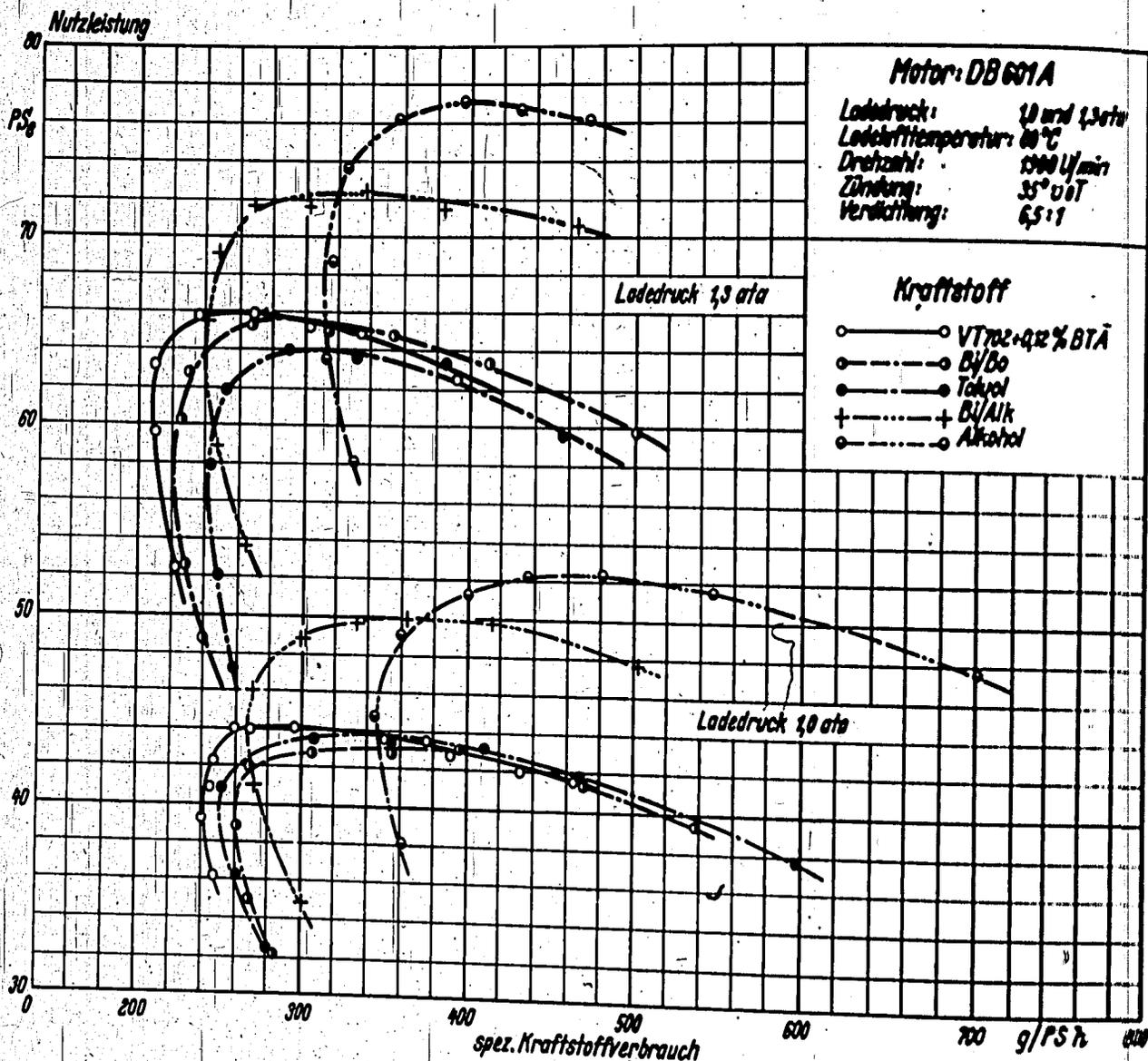


Abb. 5: Abhängigkeit der Leistung vom Kraftstoffverbrauch beim DB 601 bei 1,0 und 1,3 ata Ladedruck für verschiedene Kraftstoffe.

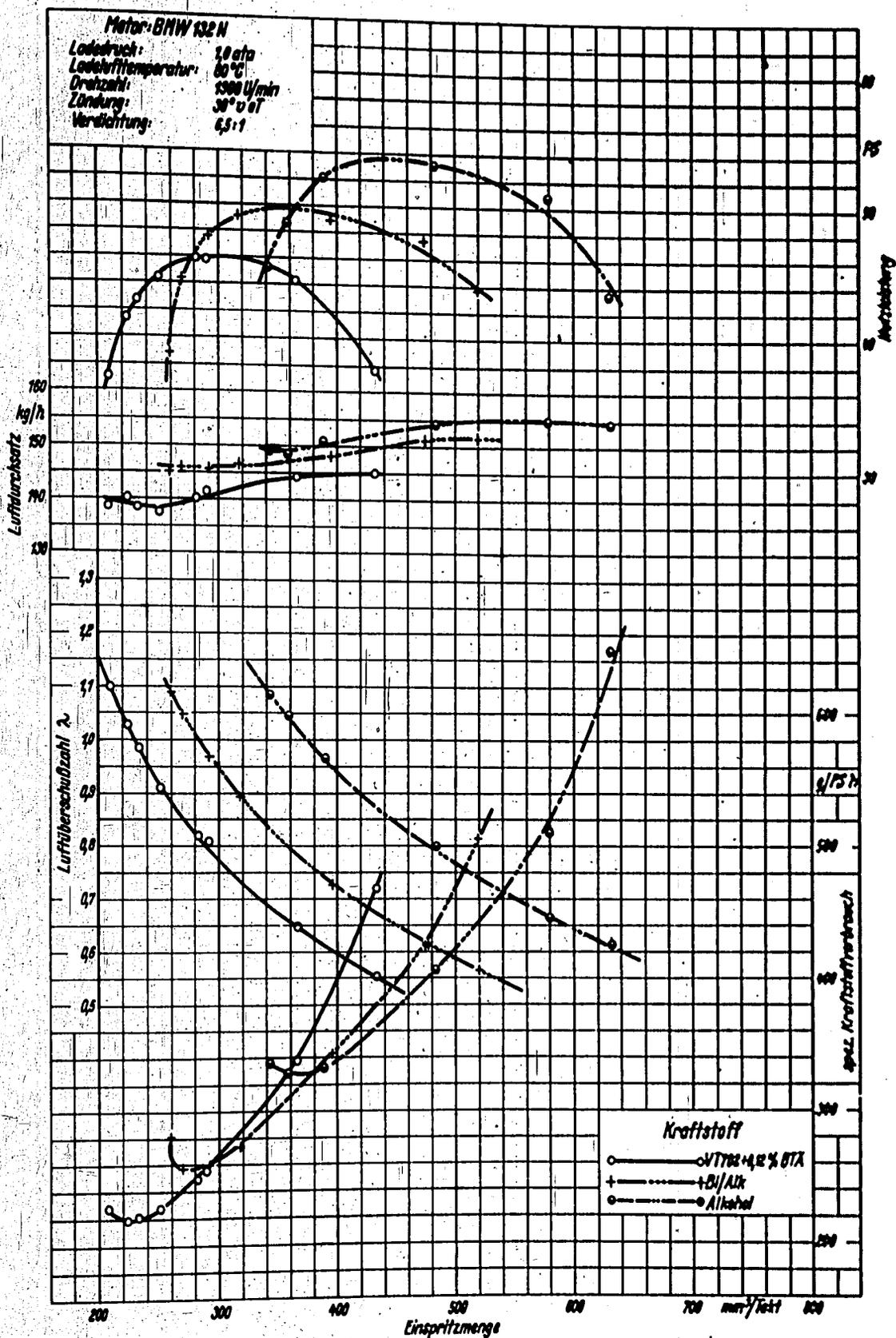


Abb. 6: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschusszahl und spezifischer Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge, für BMW 132 N bei 1,0 ata Ladedruck.

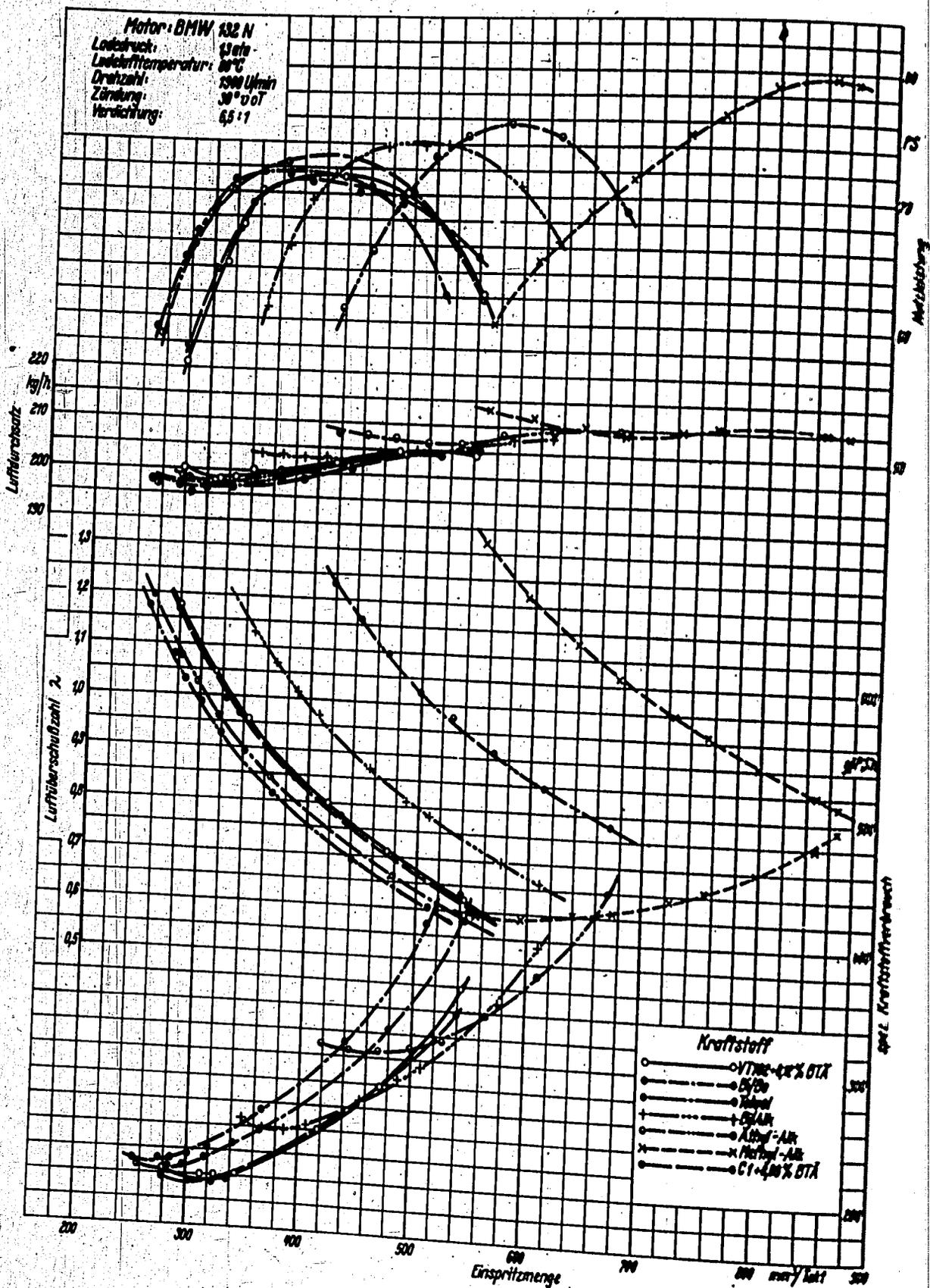


Abb. 7: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschußzahl und spezifischer Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge, für BMW 132 N bei 1,3 ata Ladedruck.

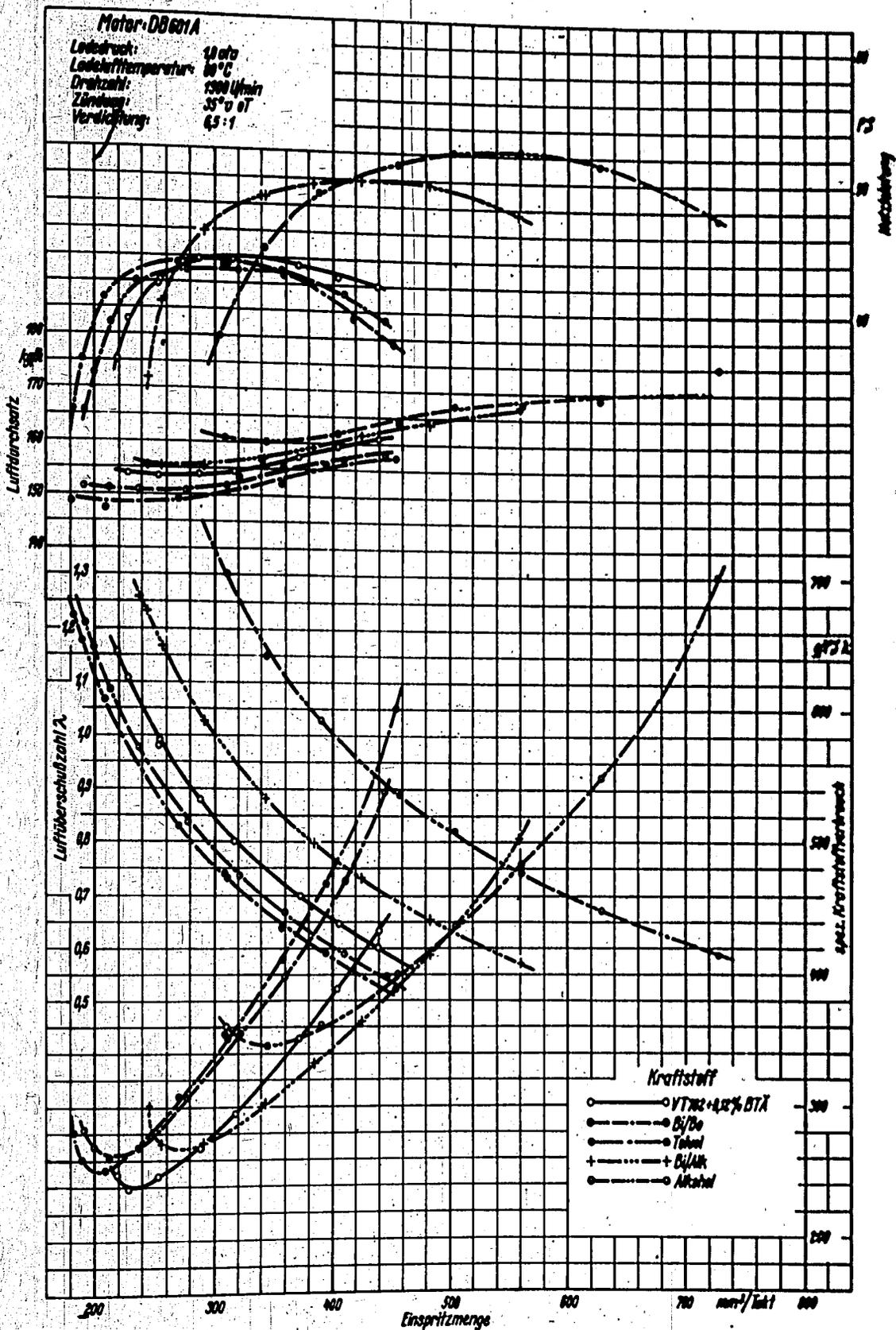


Abb. 8: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschusszahl und spezifischer Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge, für DB 601 A bei 1,0 ata Ladedruck.

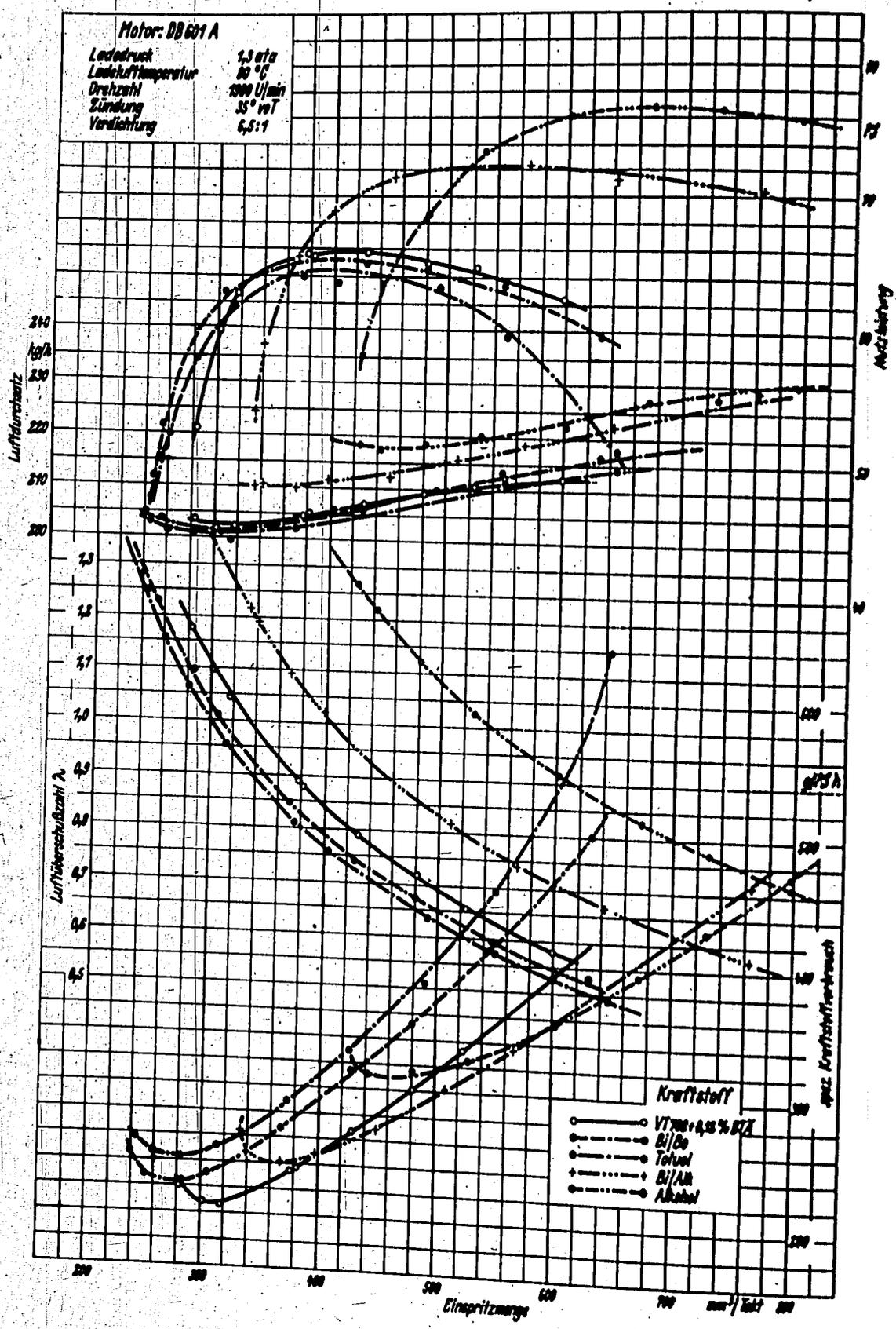


Abb.9: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschußzahl und spezifischer Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge, für DB 601 A bei 1,3 ata Ladedruck.

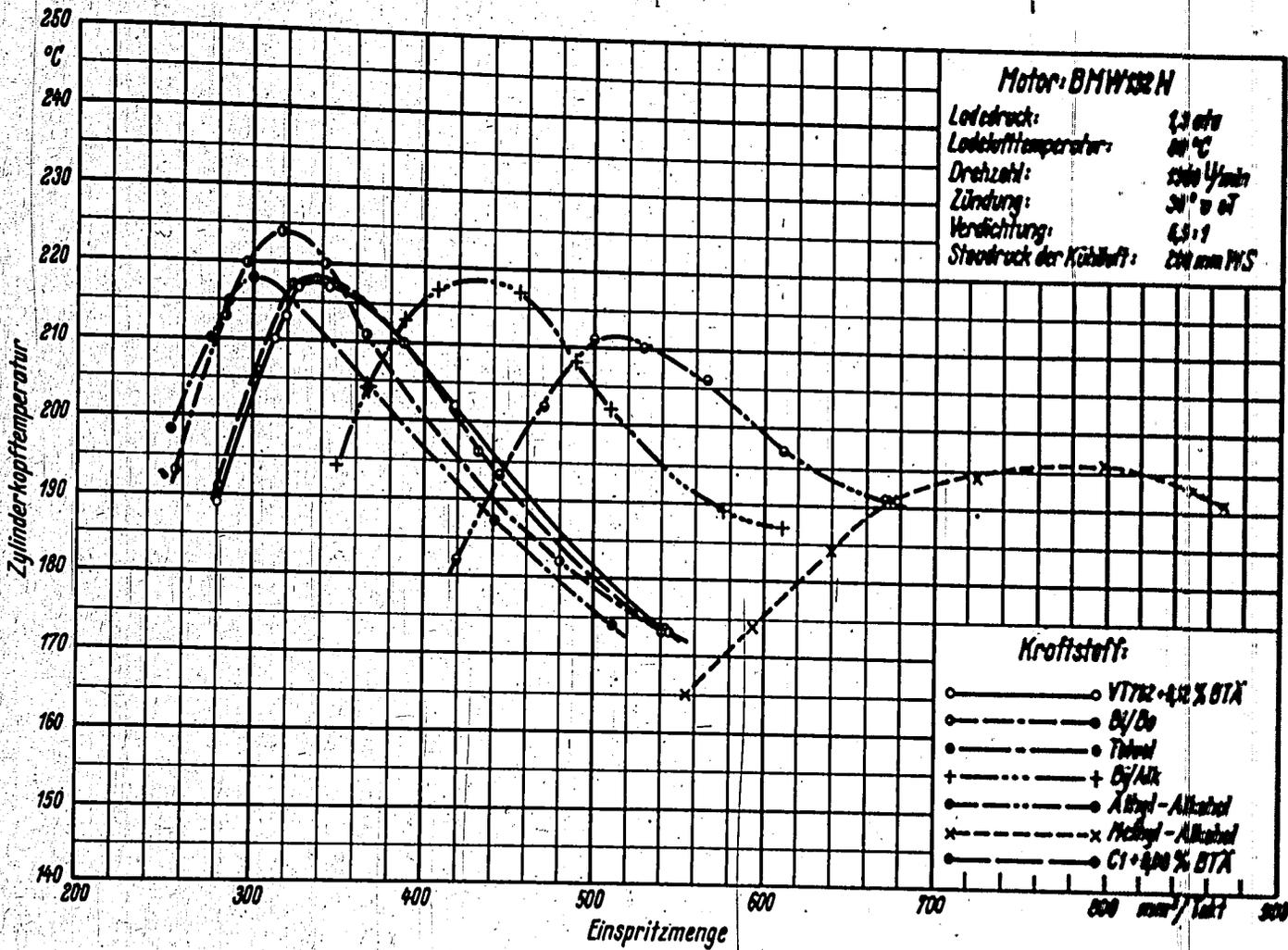


Abb. 10: Einfluß verschiedener Kraftstoffe auf die Zylinderkopftemperatur beim BMW 132 N.

Luftüberschußzahl

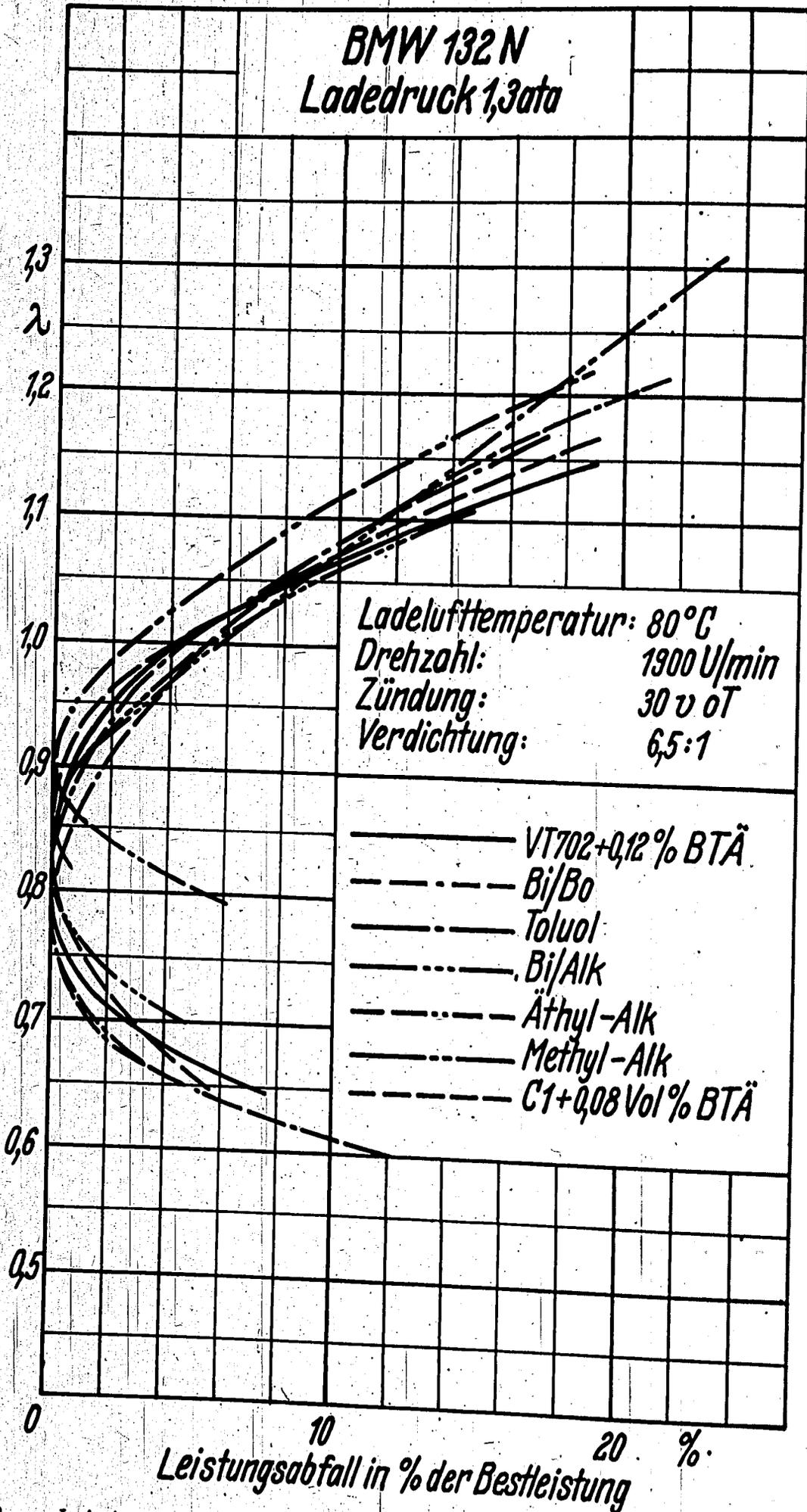


Abb.11: Leistungsabfall, abhängig von der Luftüberschußzahl, beim BMW 132 N bei verschiedenen Kraftstoffen und 1,3 ata Ladedruck.

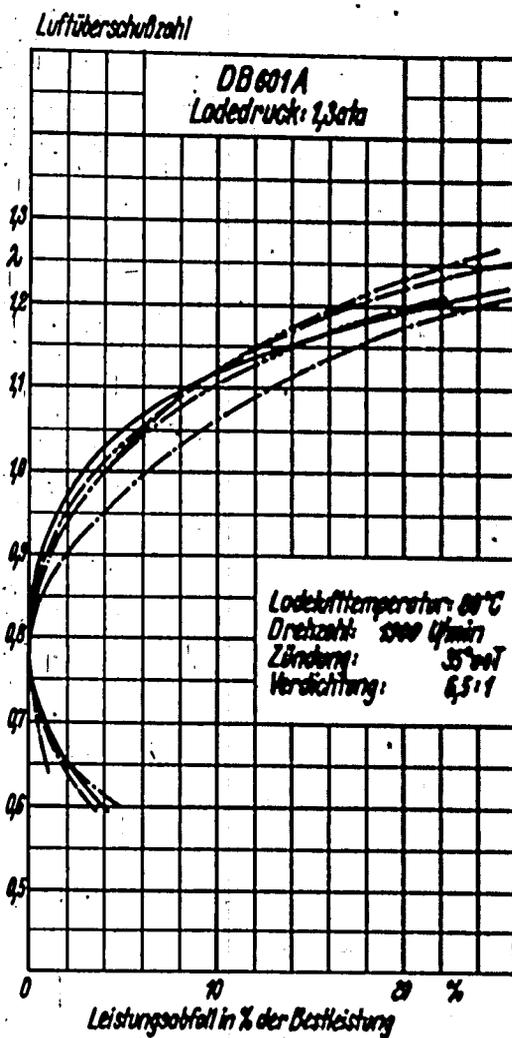
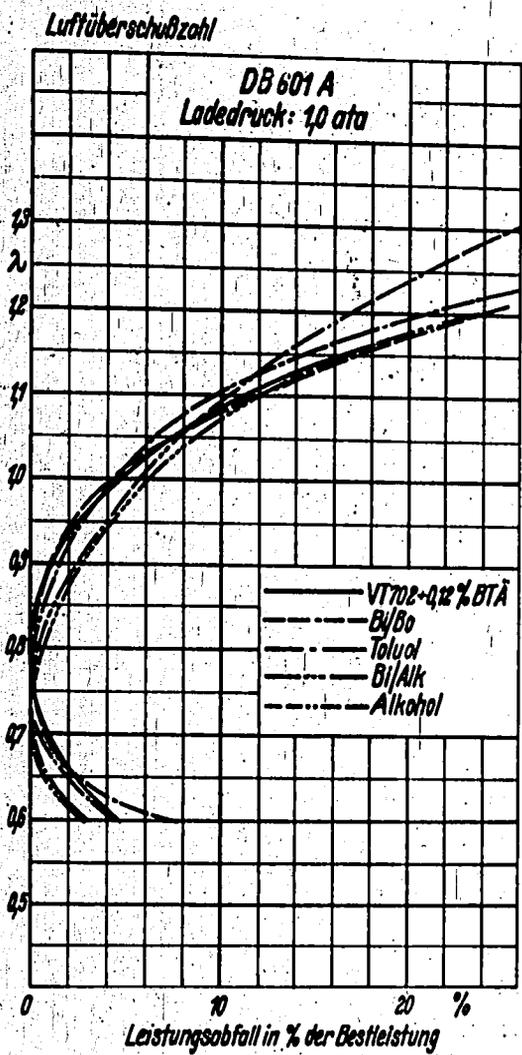


Abb.12: Leistungsabfall, abhängig von der Luftüberschußzahl, beim DB 601 A bei verschiedenen Kraftstoffen und 1,0 und 1,3 ata Ladedruck.

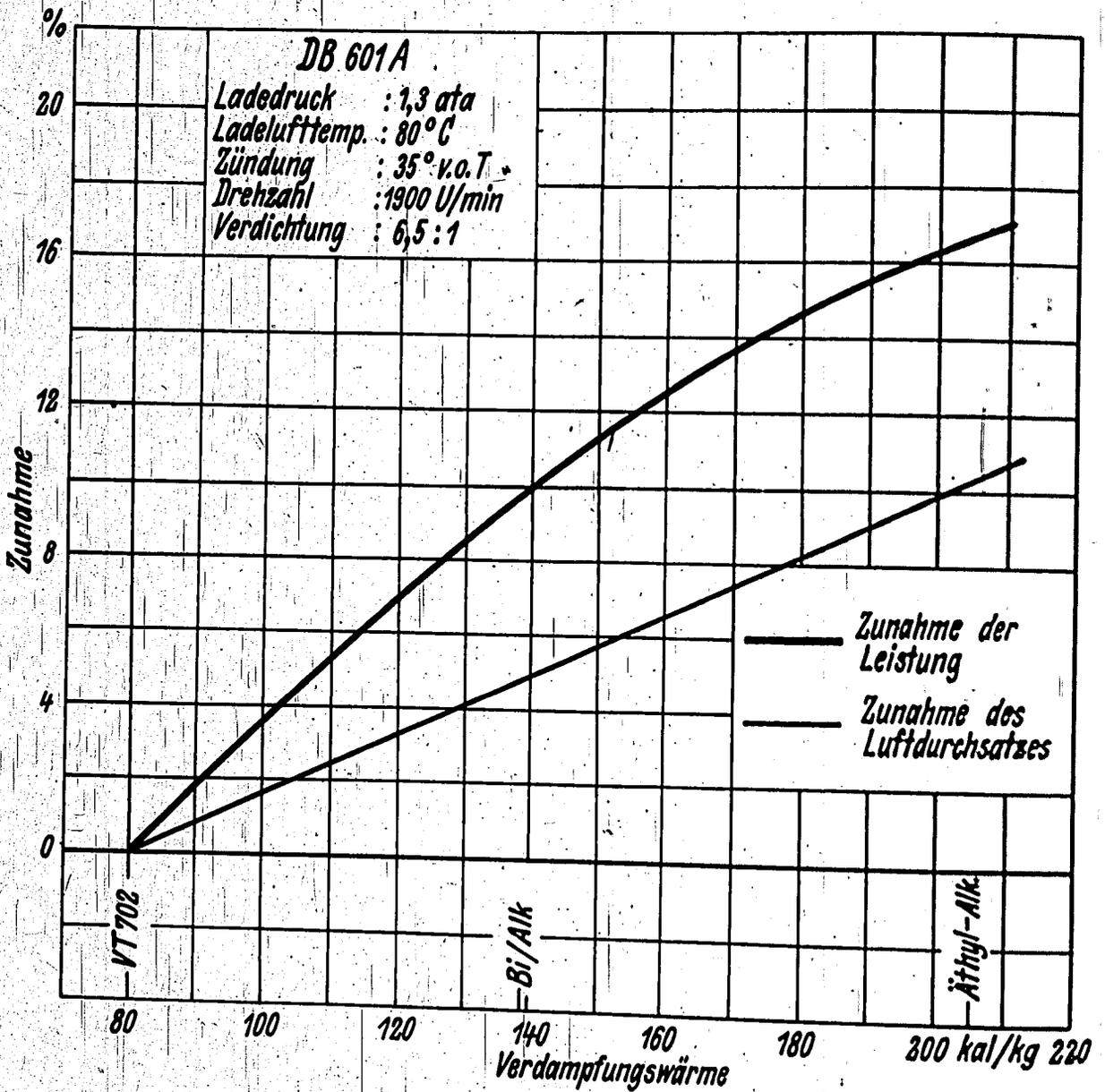


Abb.13: Zunahme des Luftdurchsatzes und der Leistung, abhängig von der Verdampfungswärme.

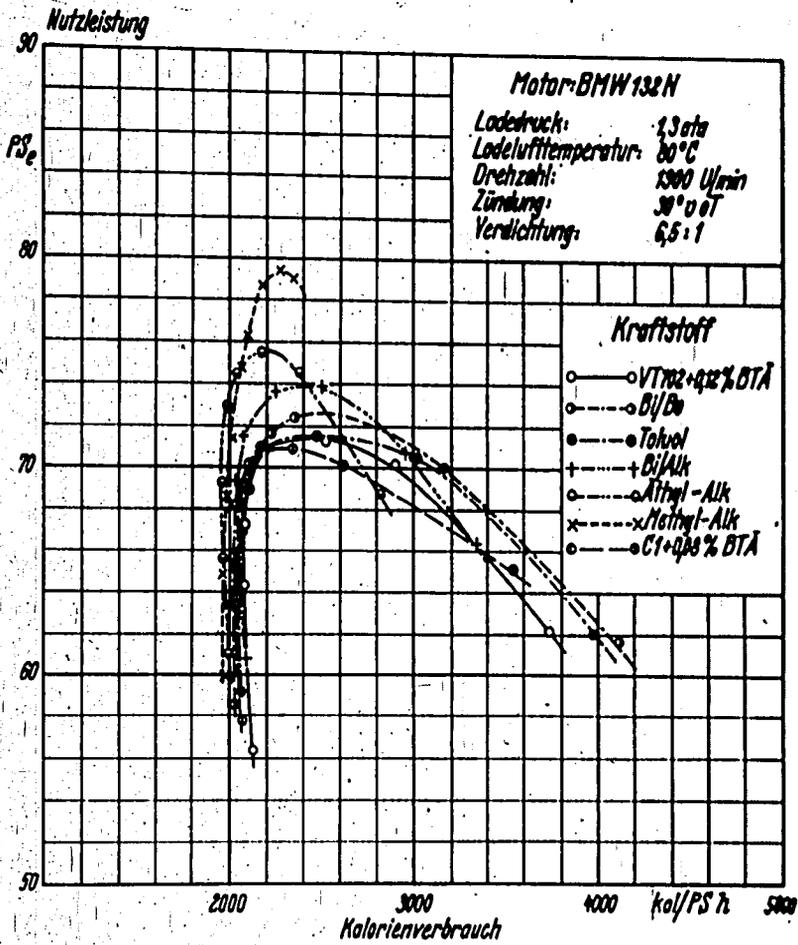


Abb.14: Abhängigkeit der Nutzleistung vom Kalorienverbrauch beim BMW 132 N bei 1,3 ata Ladedruck.

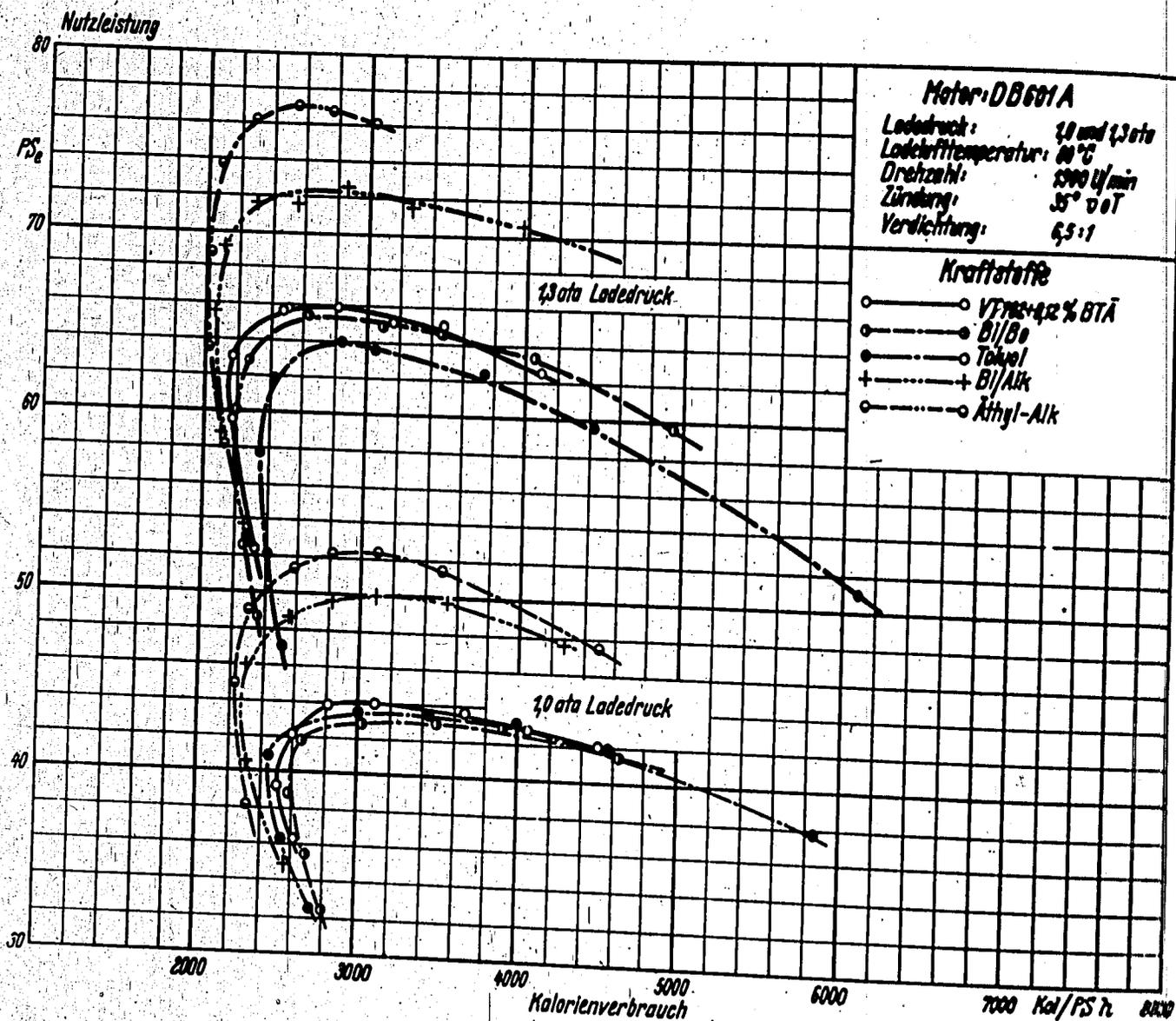


Abb.15: Abhängigkeit der Nutzleistung vom Kalorienverbrauch beim DB 601 A bei 1,0 und 1,3 ata Ladedruck.

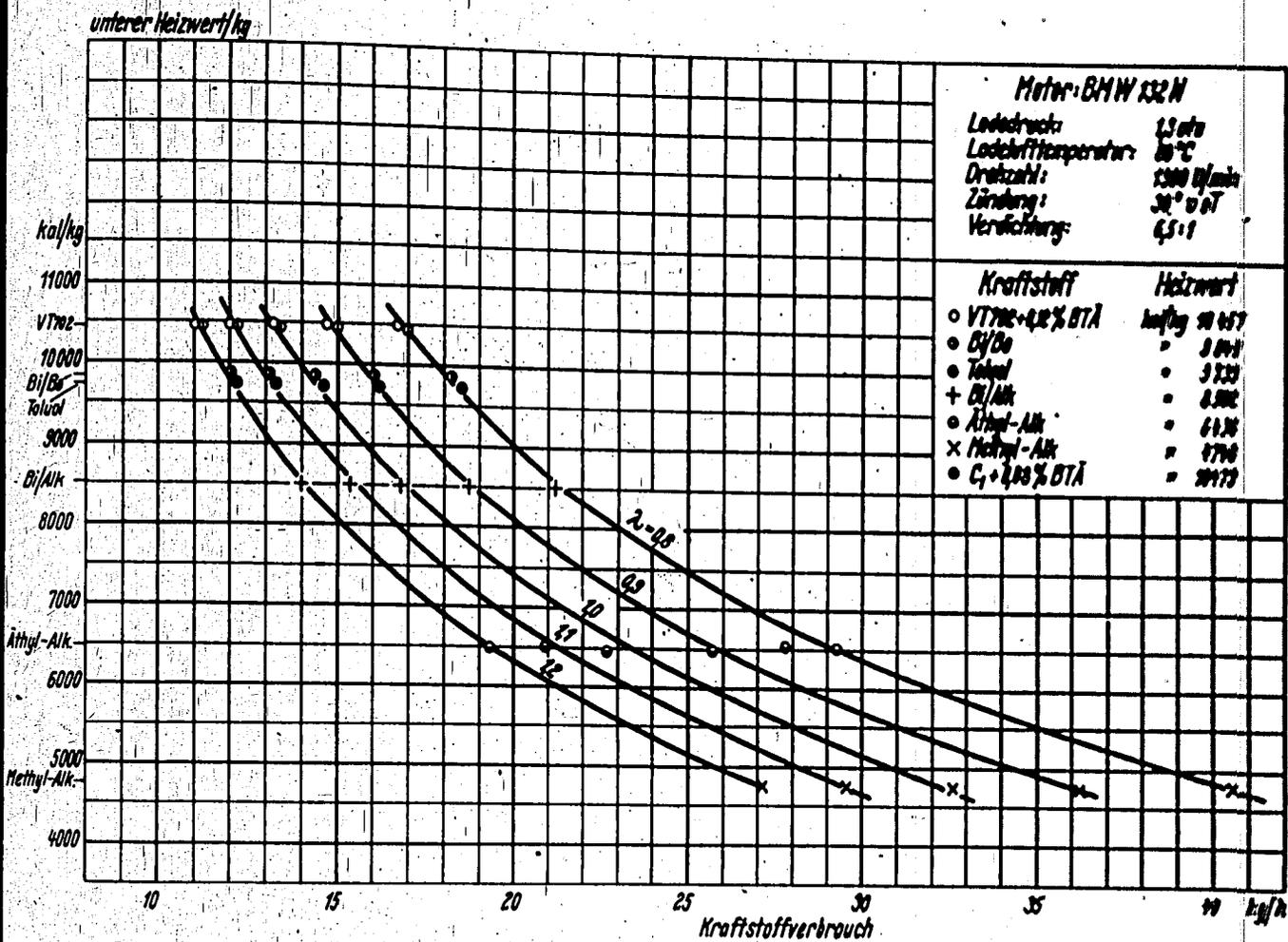


Abb.16: Einfluß des unteren Heizwertes von Kraftstoffen auf den Verbrauch beim BMW 132 N bei 1,3 ata Ladedruck.

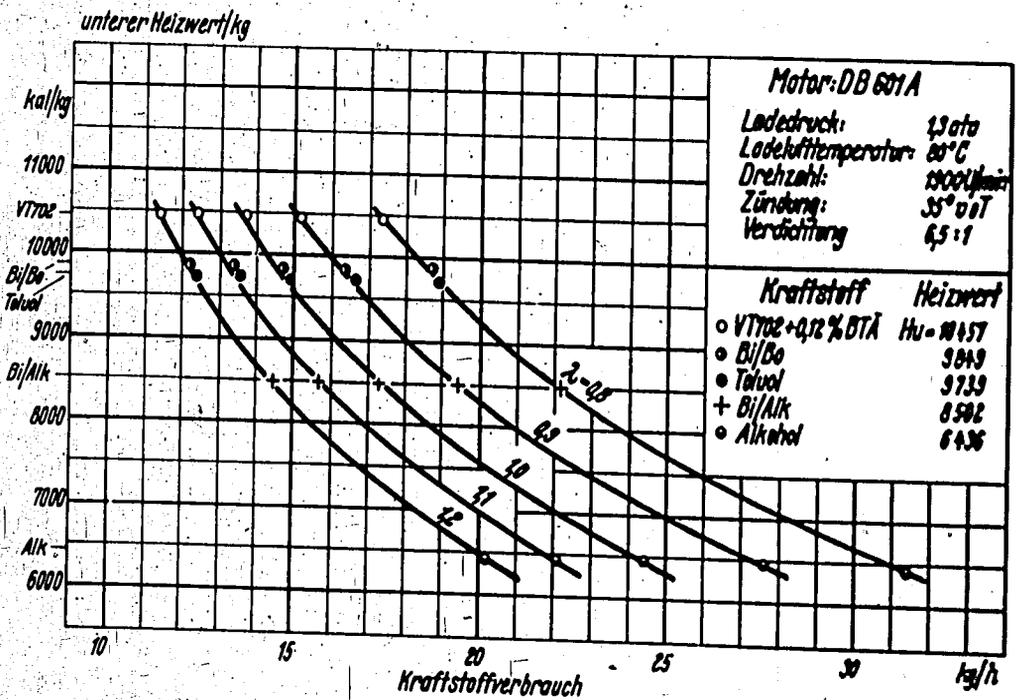
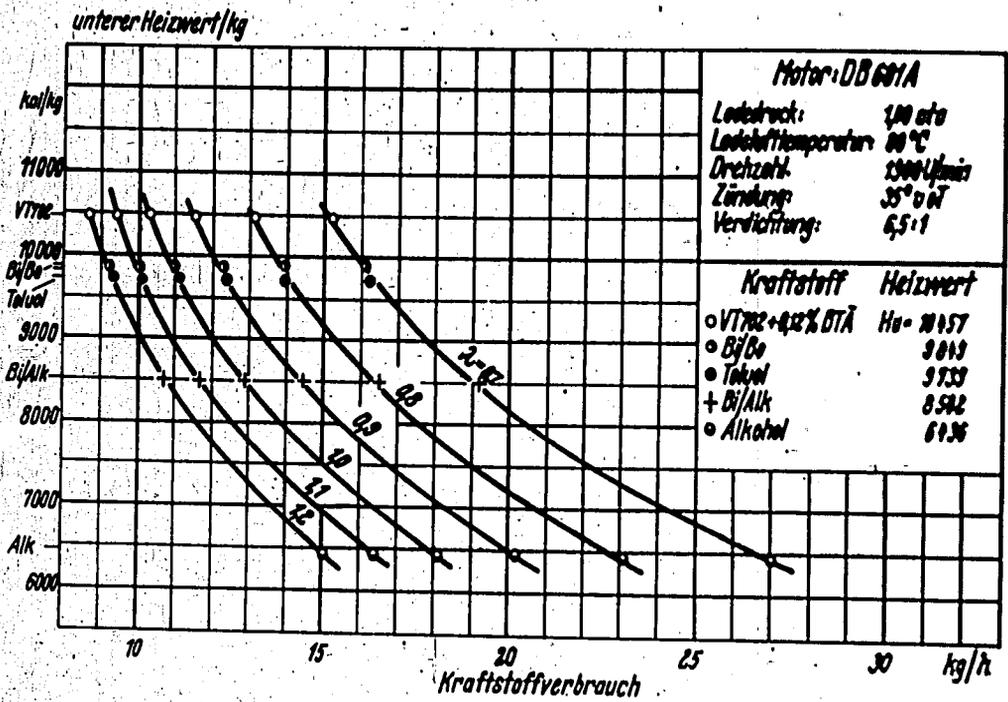


Abb.17: Einfluß des unteren Heizwertes von Kraftstoffen auf den Verbrauch beim DB 601 A bei 1,0 und 1,3 ata Ladedruck.

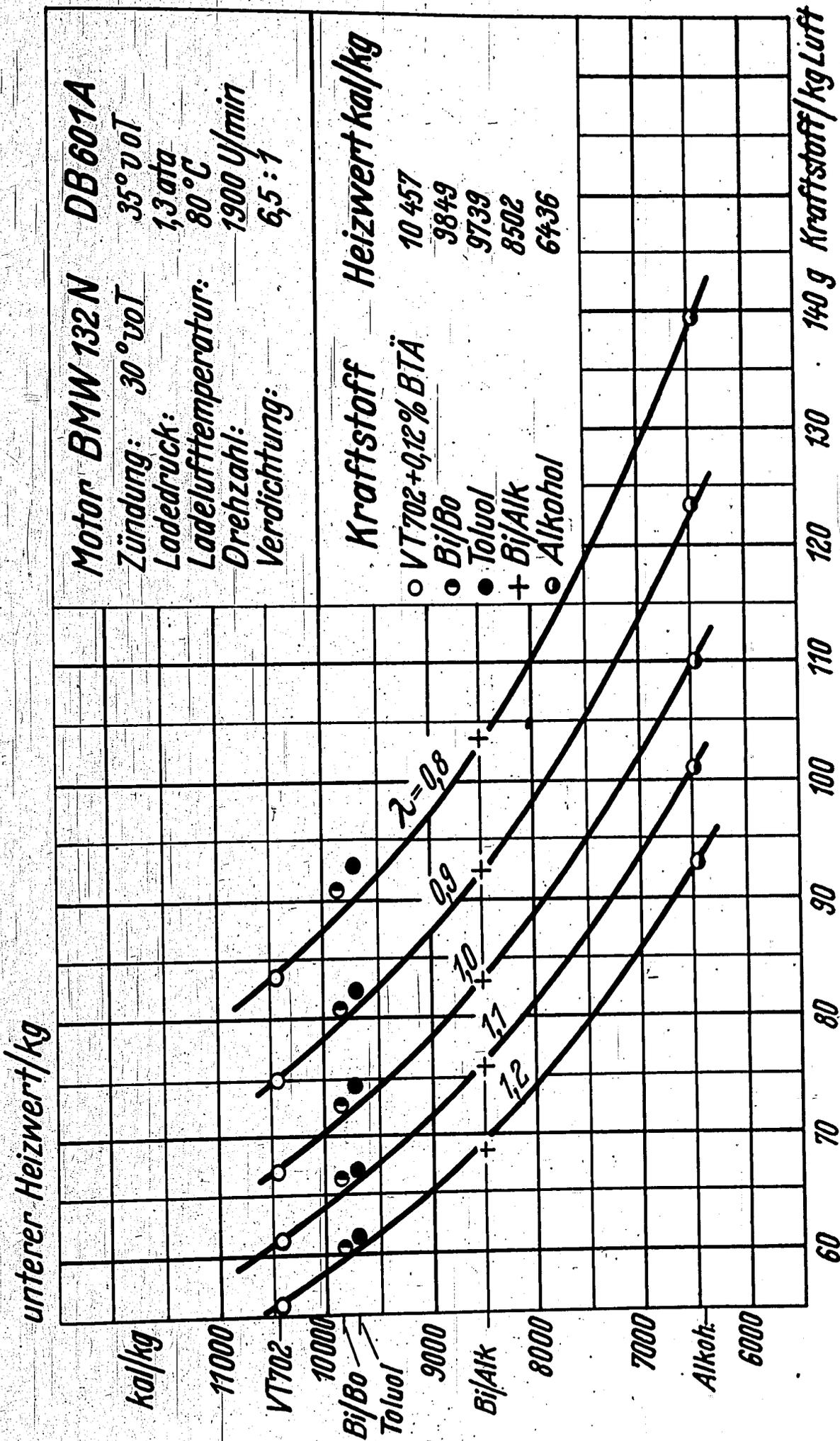


Abb.18: Kraftstoffverbrauch je kg Ladeluft, abhängig vom unteren Heizwert.

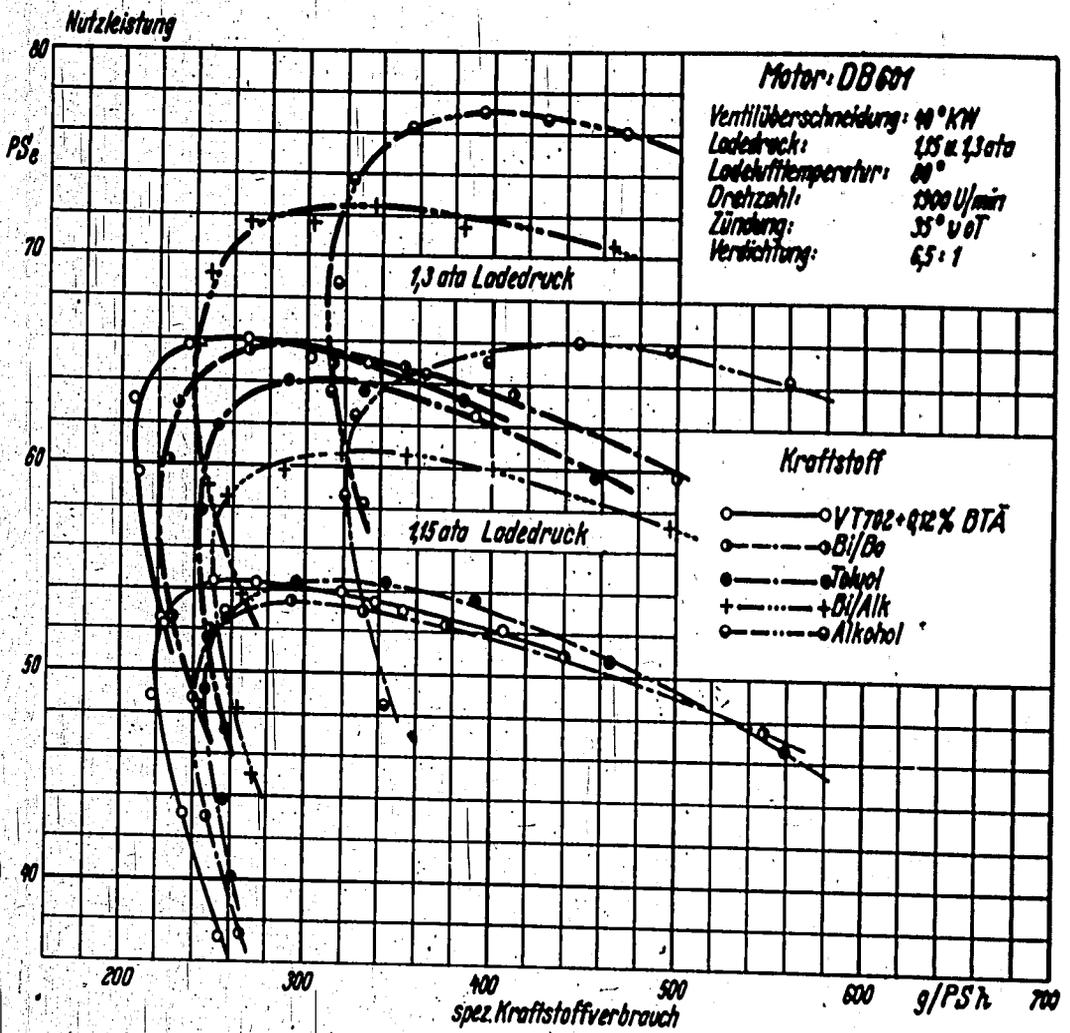


Abb.19: Abhängigkeit der Leistung vom Kraftstoffverbrauch beim DB 601 mit 40°KW Ventilüberschneidung für verschiedene Kraftstoffe.

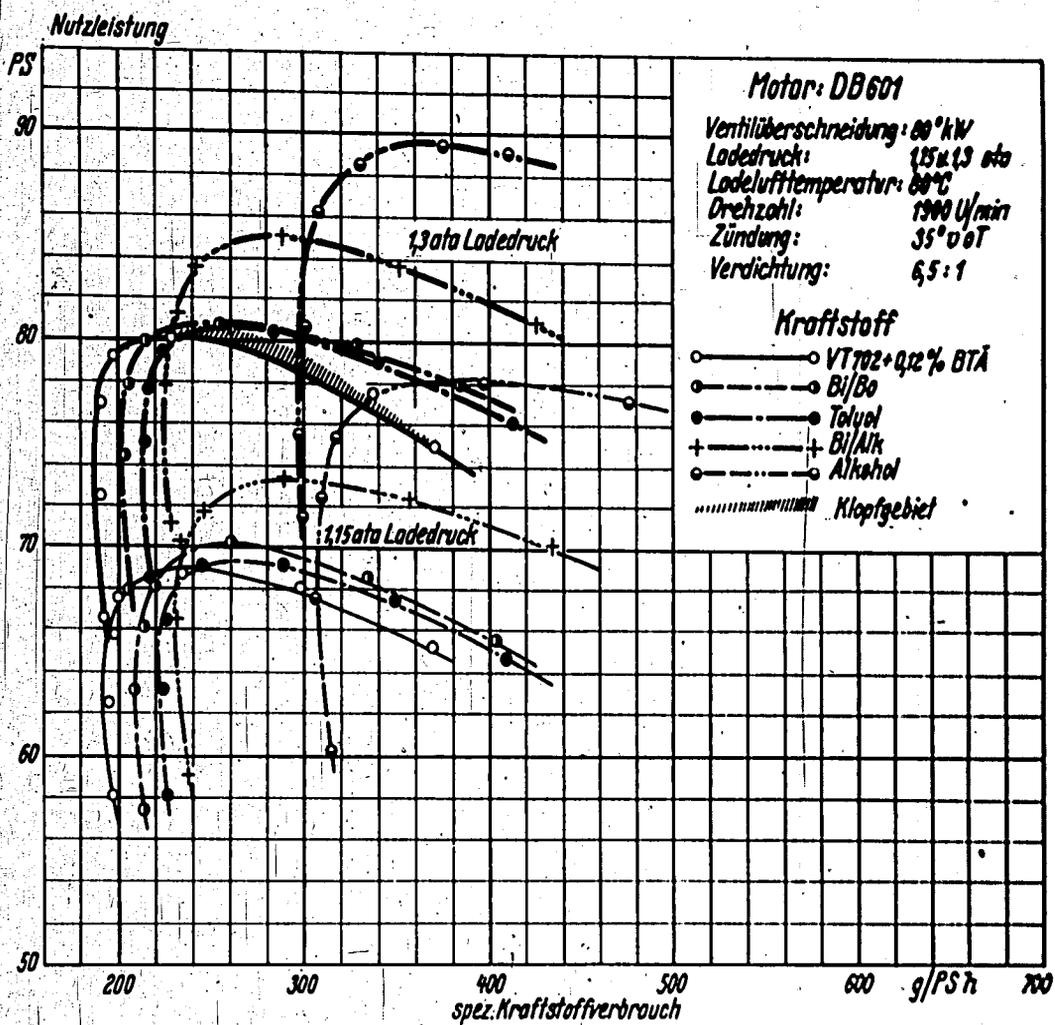


Abb.20: Abhängigkeit der Leistung vom Kraftstoffverbrauch beim DB 601 mit 80°KW Ventilüberschneidung für verschiedene Kraftstoffe.

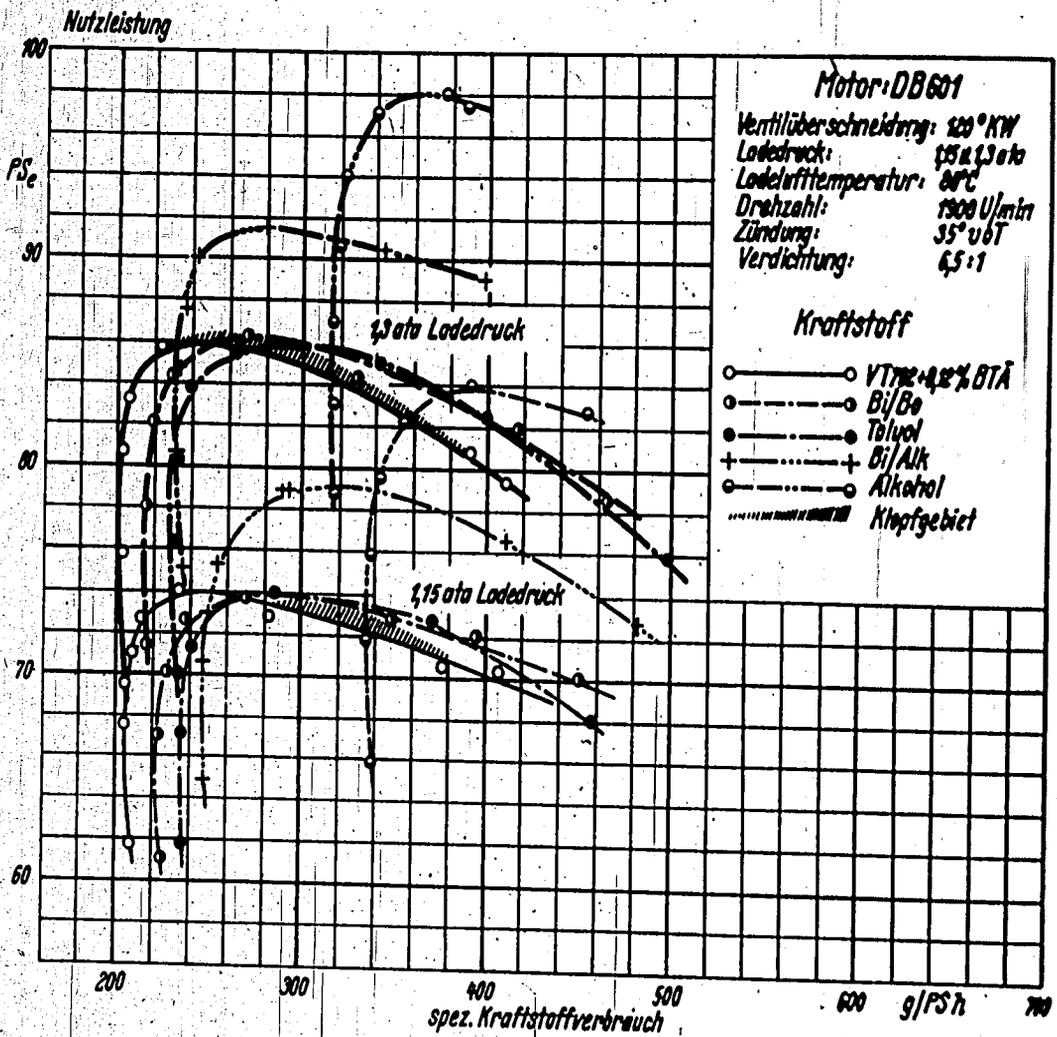


Abb.21: Abhängigkeit der Leistung vom Kraftstoffverbrauch beim DB 601 mit 120°KW Ventilüberschneidung für verschiedene Kraftstoffe.

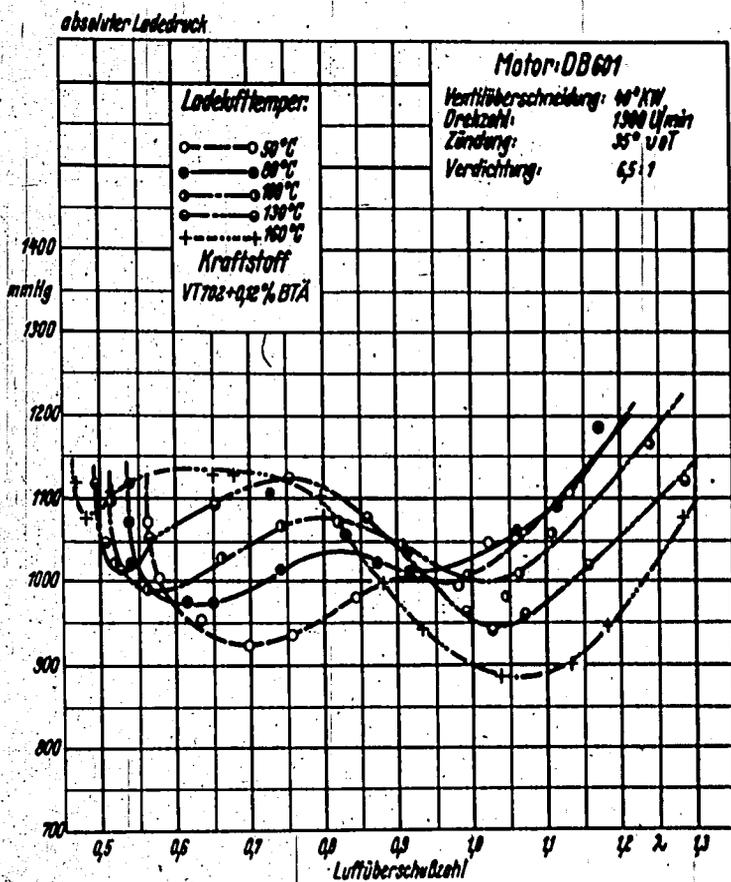


Abb.22: Klopfgrenzkurven des DB 601 A für VT 702 + 0,12 Blei bei Ladelufttemperaturen von 50 = 160°C.

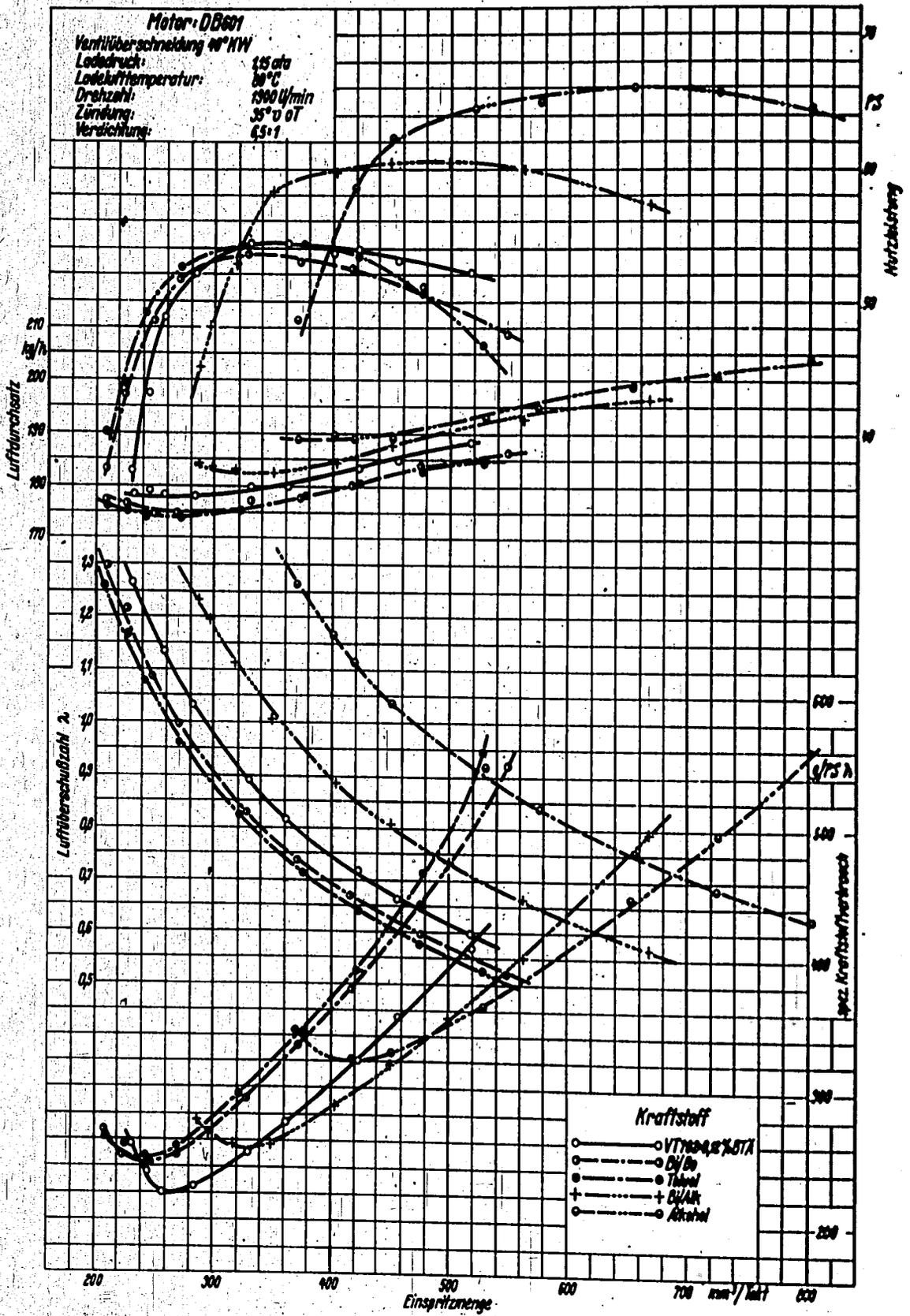


Abb. 23: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschußzahl und spezifischer Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge für DB 601, 40°KW Ventilüberschneidung und 1,15 ata Ladedruck.

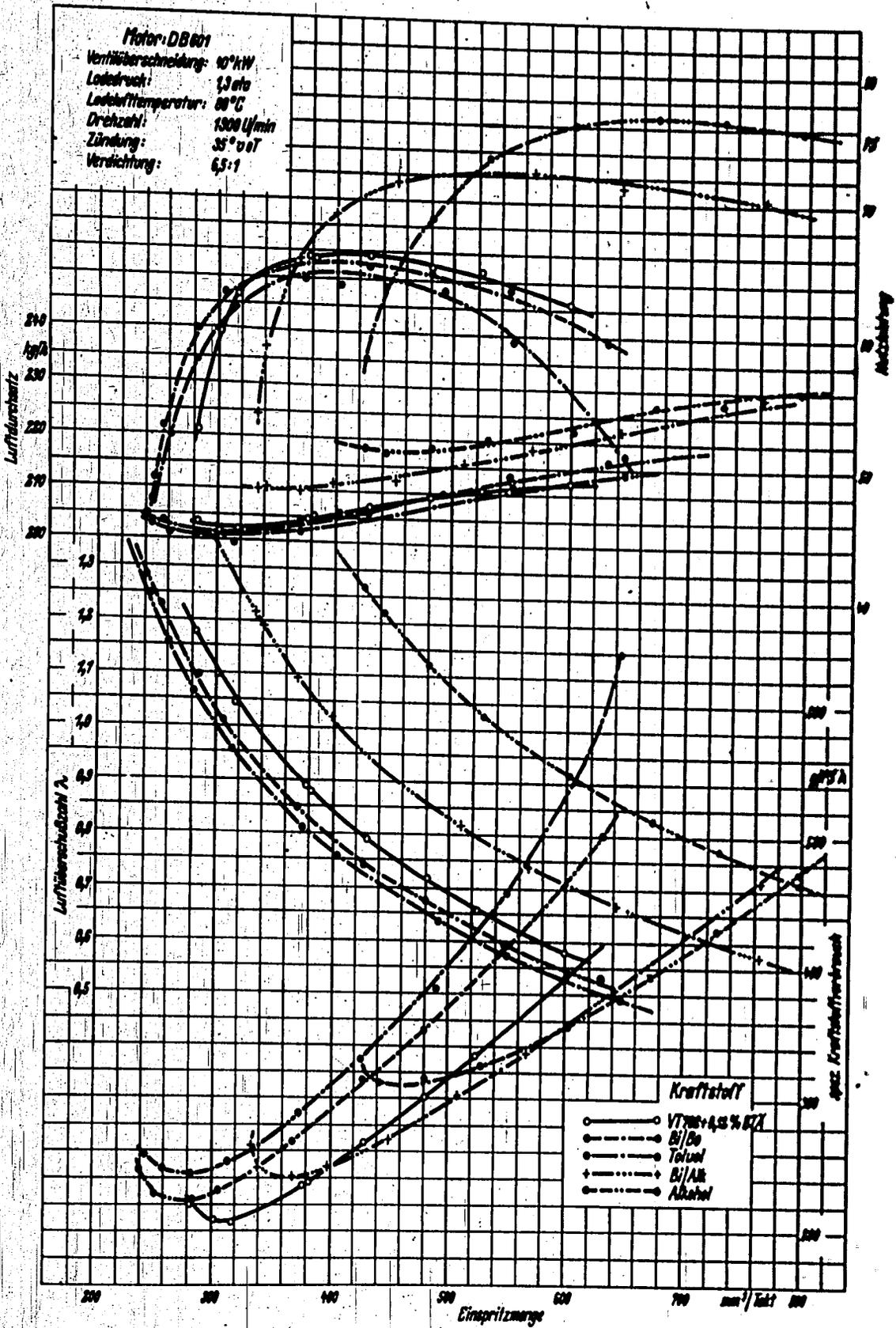


Abb.24: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschußzahl und spezifiacher Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge für DB 601, 40°KW Ventilüberschneidung und 1,3 ata Ladedruck.

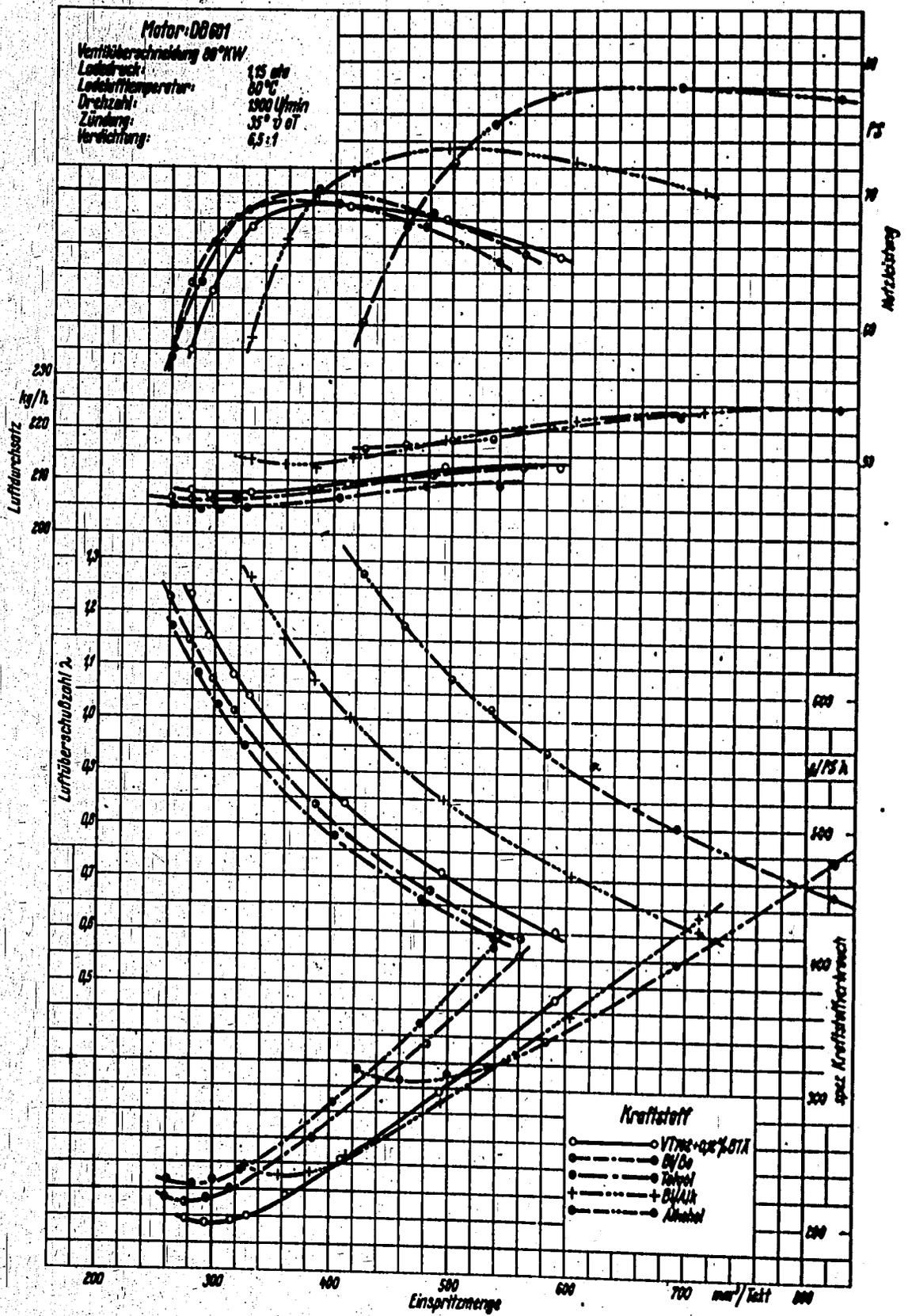


Abb.25: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschußzahl und spezifischer Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge für DB 601, 80°KW Ventilüberschneidung und 1,15 ata Ladedruck.

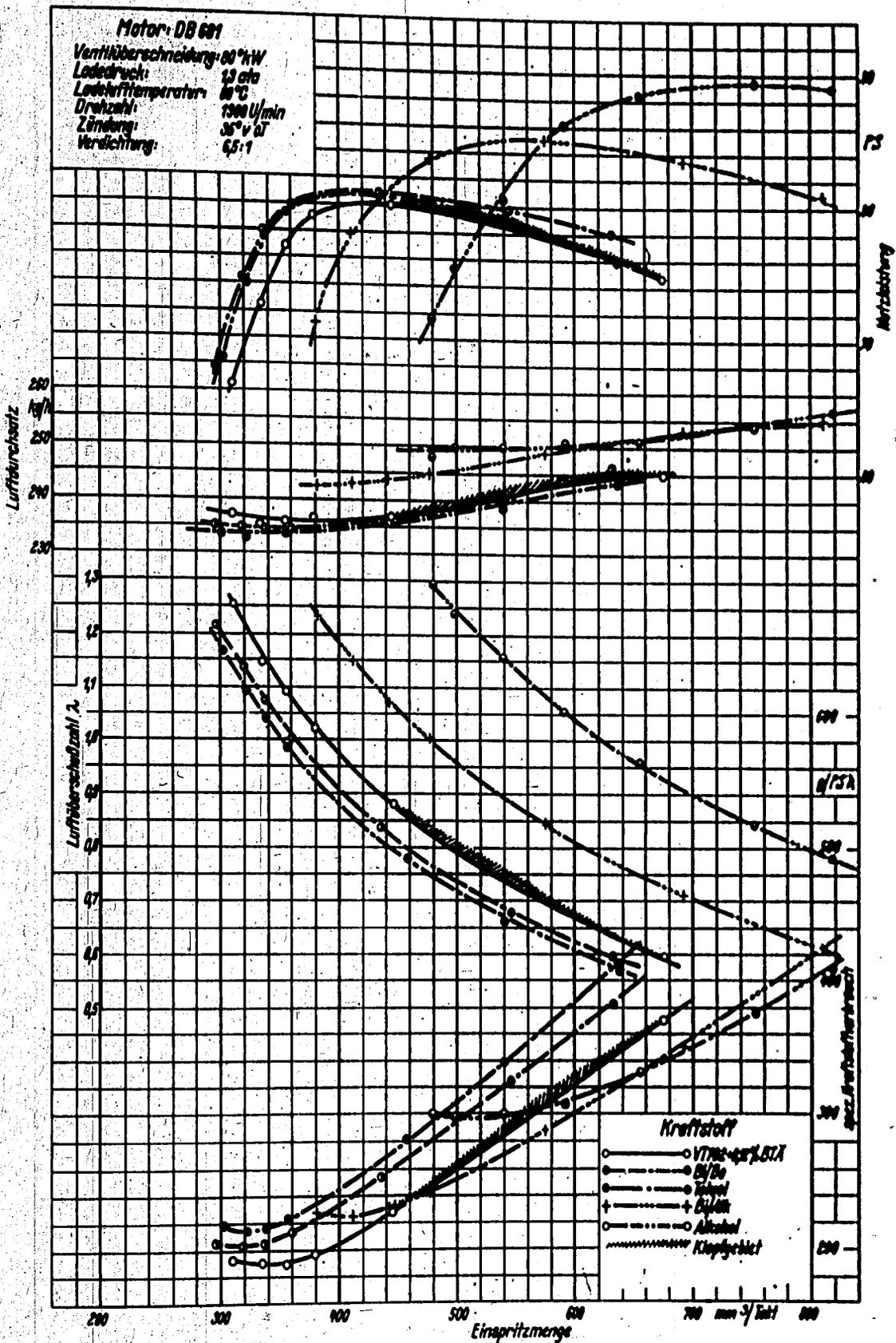


Abb.26: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschusszahl und spezifischer Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge für DB 601, 80°KW Ventilüberschneidung und 1,3 ata Ladedruck.

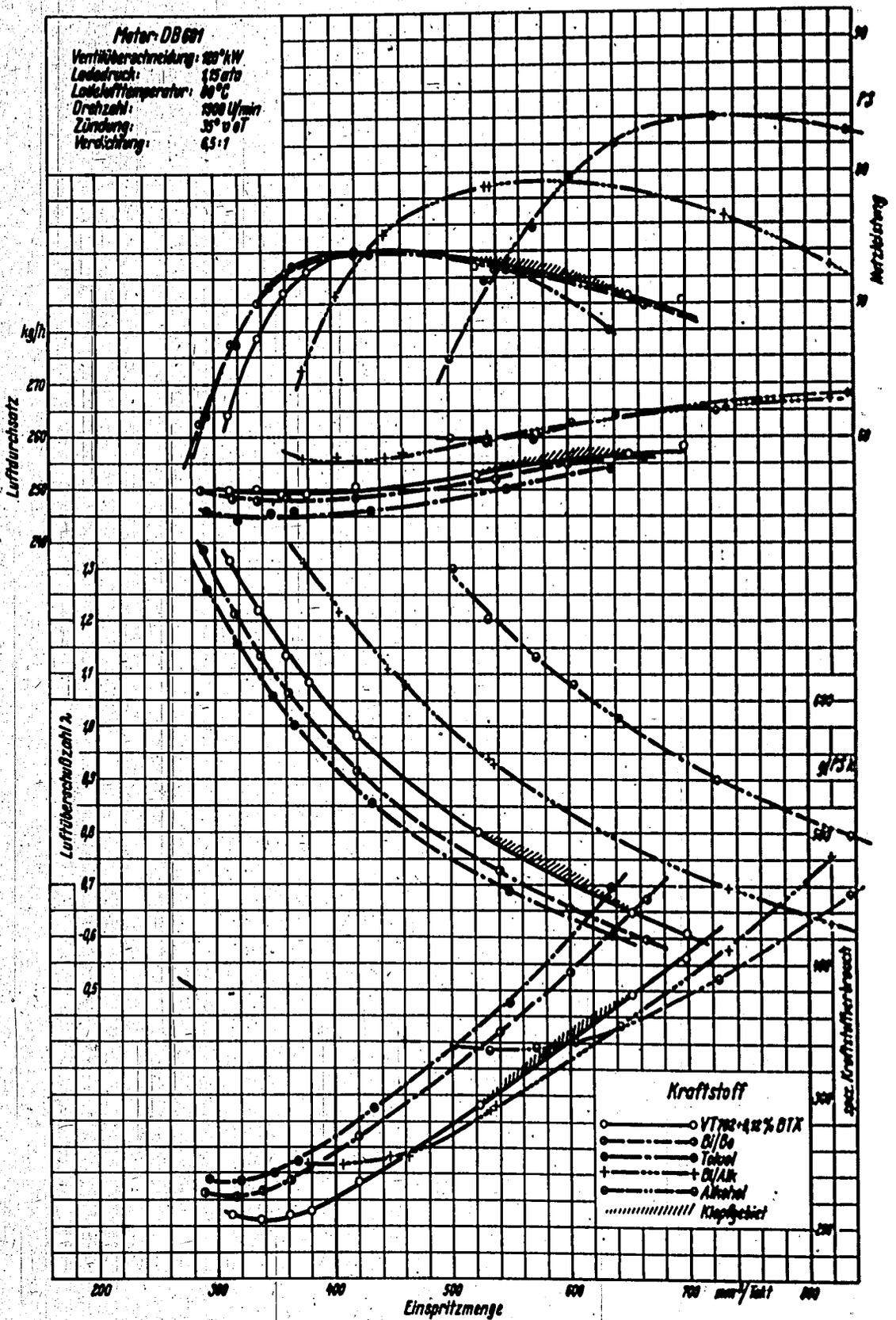


Abb.27: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschusszahl und spezifischer Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge für DB 601, 120°KW Ventilüberschneidung und 1,15 ata Ladedruck.

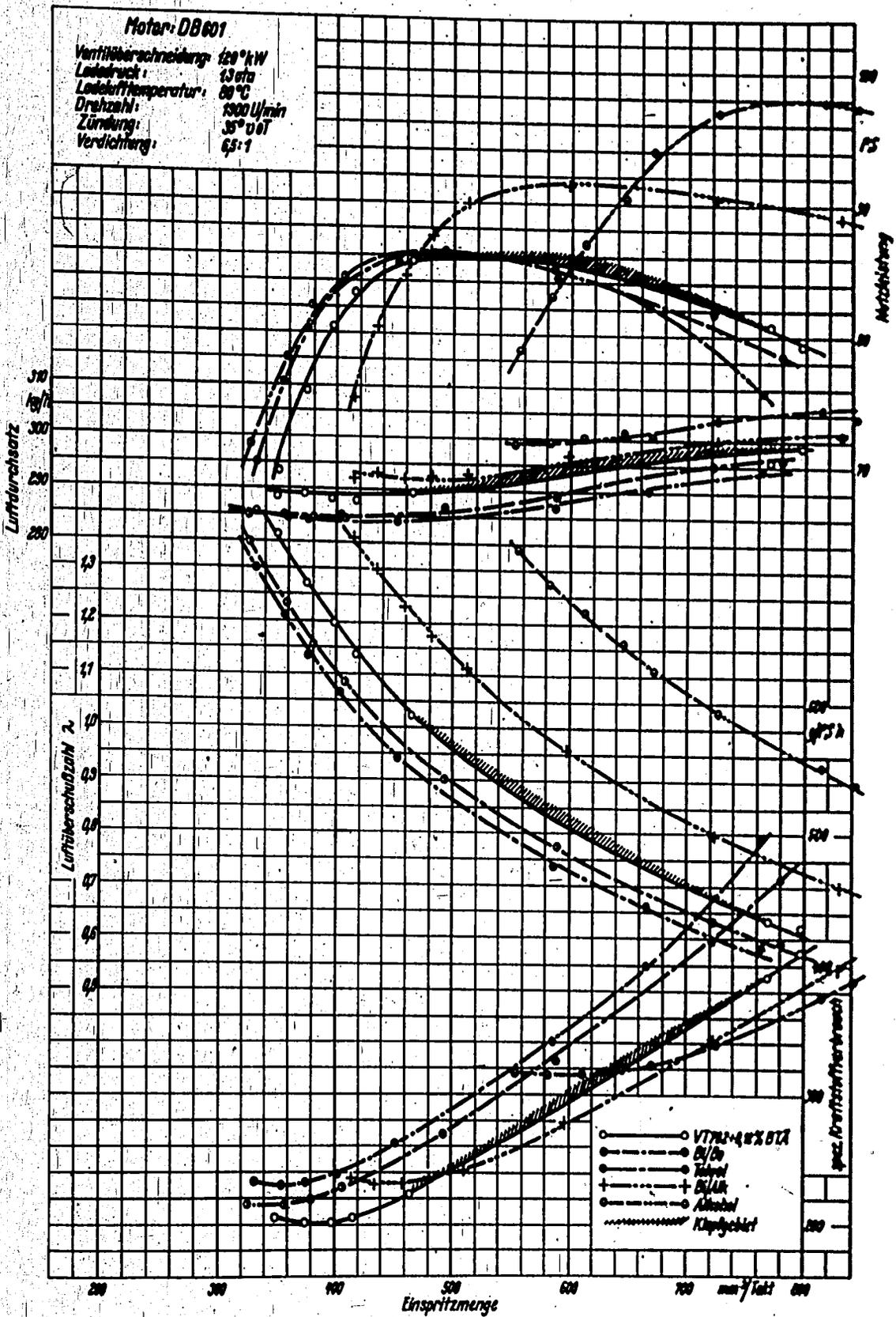


Abb.28: Leistung, Luftdurchsatz, Luftüberschußzahl und spezifischer Kraftstoffverbrauch, abhängig von der Einspritzmenge für DB 601, 120°KW Ventilüberschneidung und 1,3 ata Ladedruck.

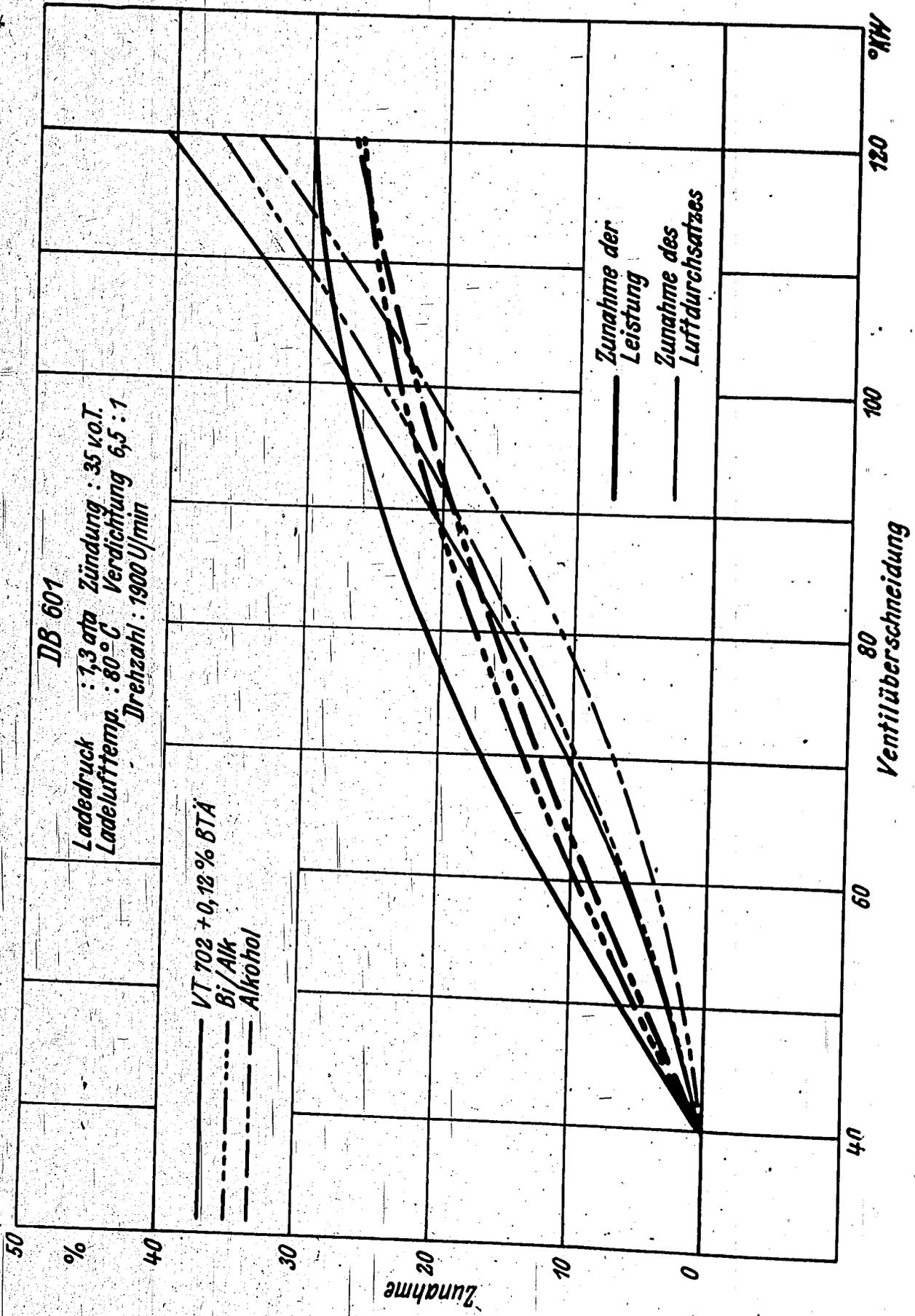


Abb. 29: Zunahme der Leistung und des Luftdurchsatzes, abhängig von der Ventilüberschneidung, bei DB 601 für verschiedene Kraftstoffe.

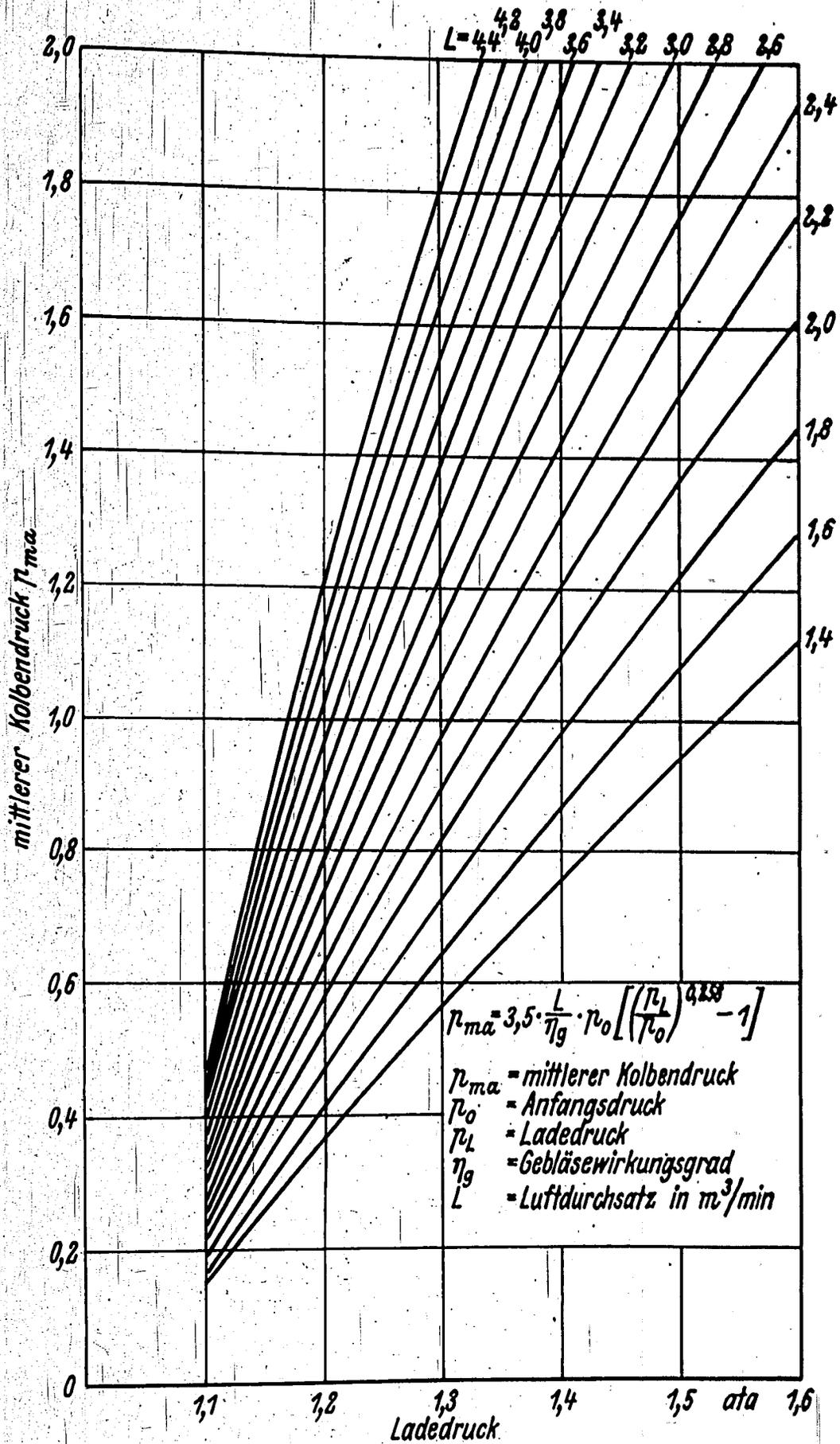


Abb.30: Die der Laderleistung verhältnigen mittleren Kolbendrücke.

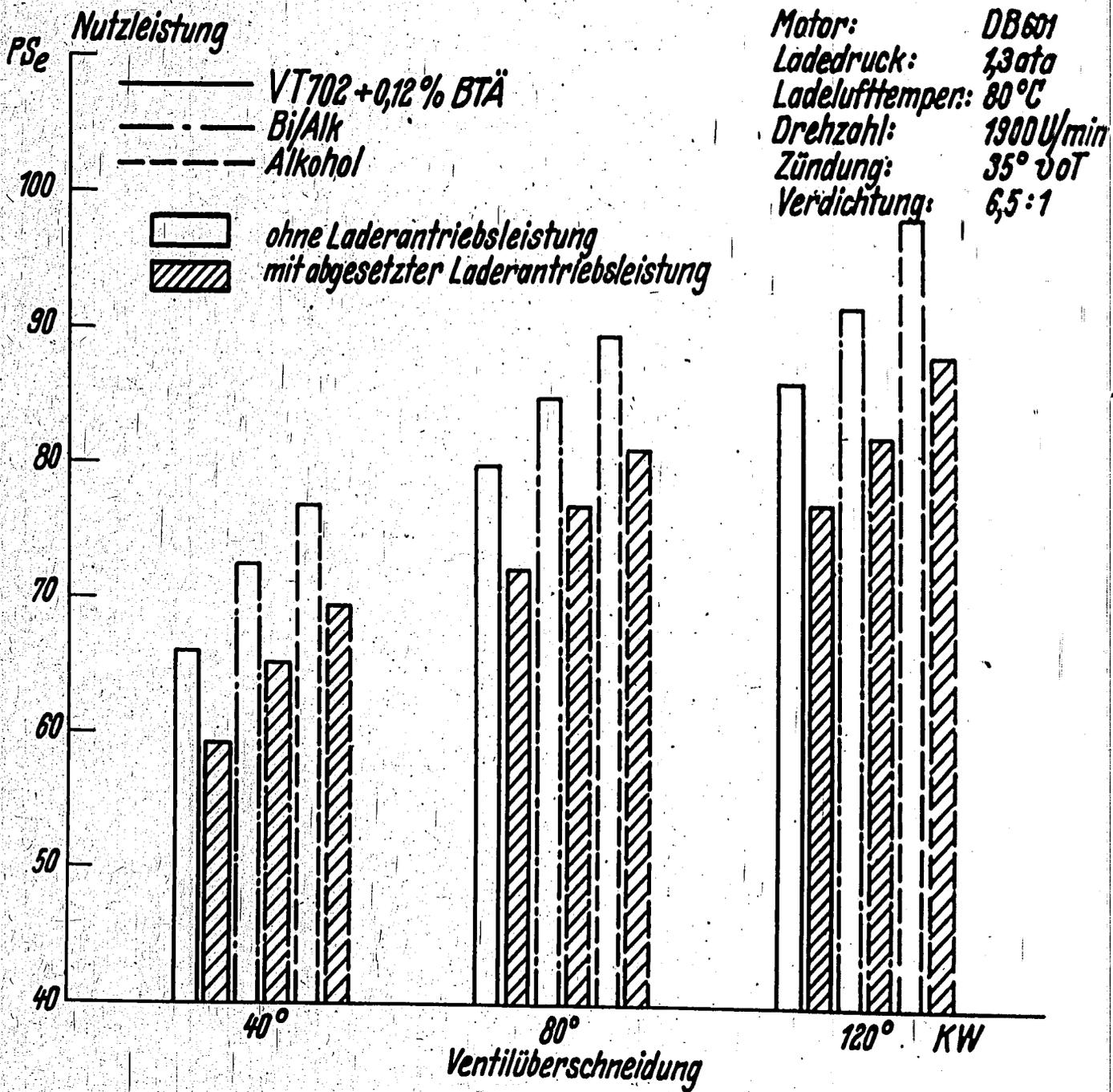


Abb. 31: Nutzleistung des DB 601 mit und ohne abgesetzter Laderleistung, abhängig von der Ventilüberschneidung für verschiedene Kraftstoffe.

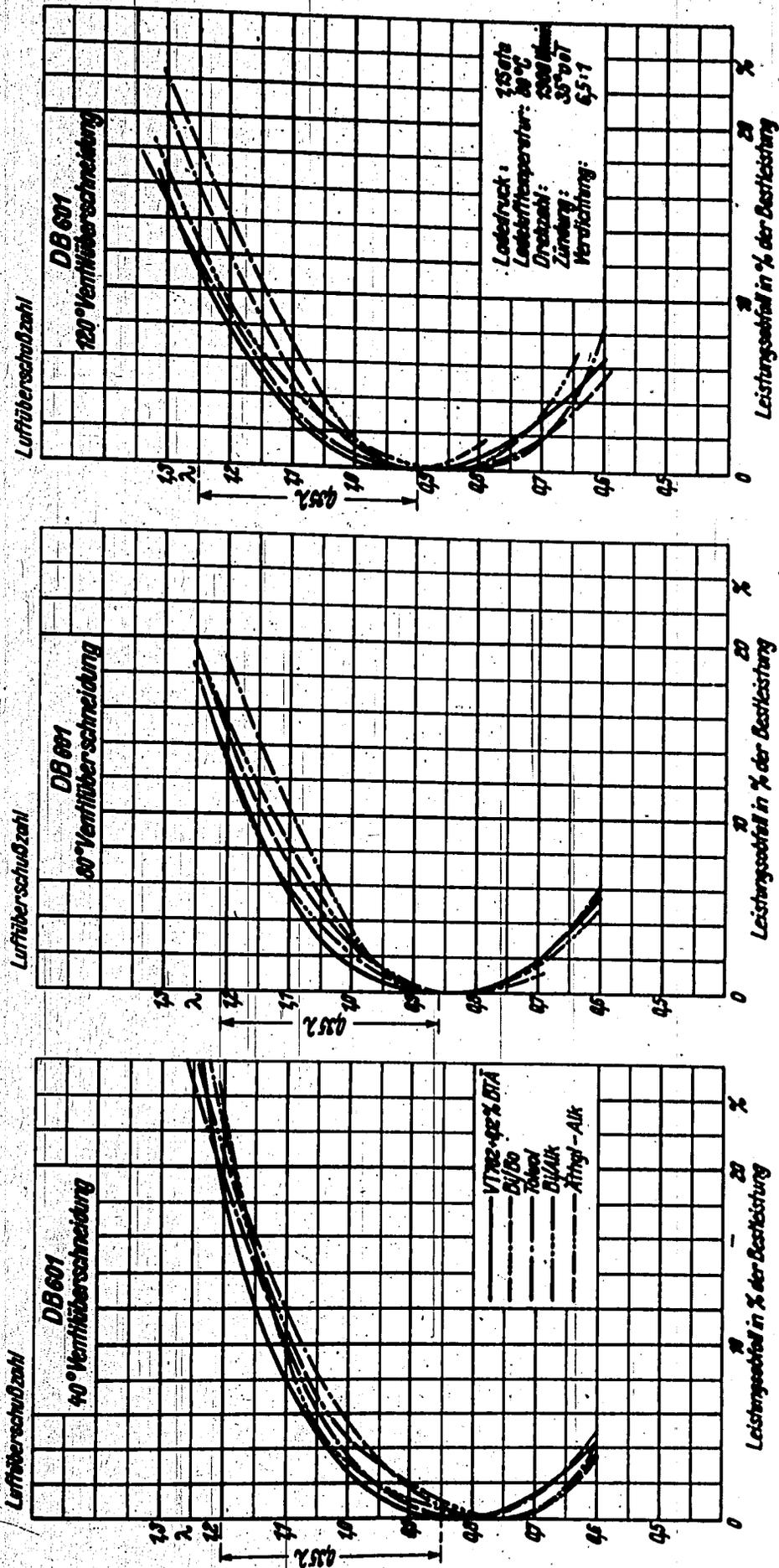


Abb. 32: Leistungsabfall, abhängig von der Luftüberschußzahl beim DB 601 mit verschiedener Überschneidung bei 1,15 ata Ladedruck.

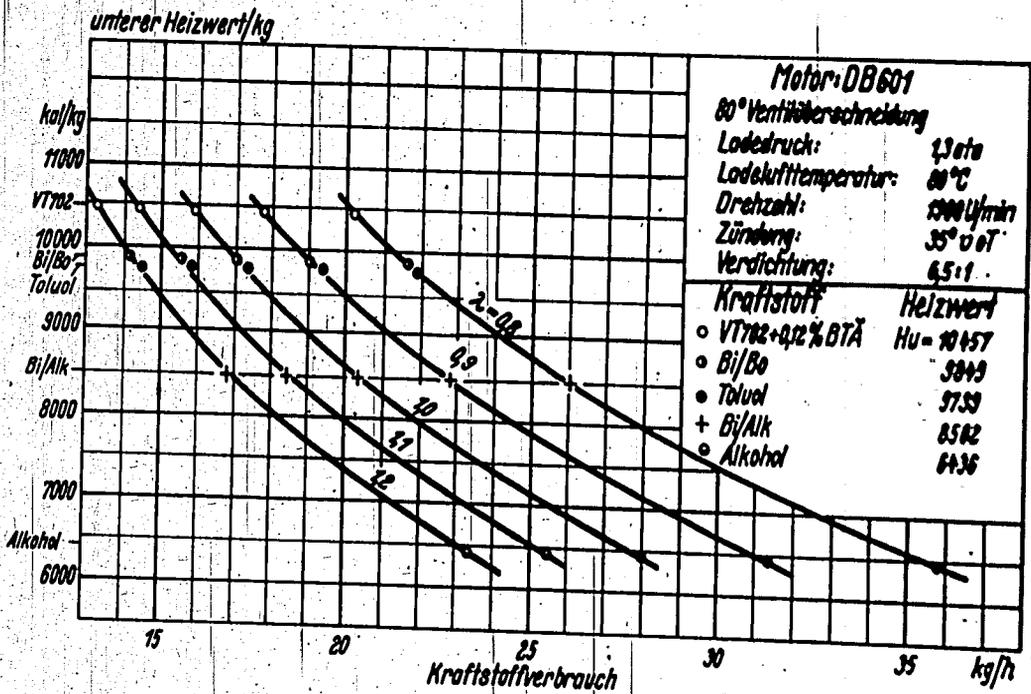
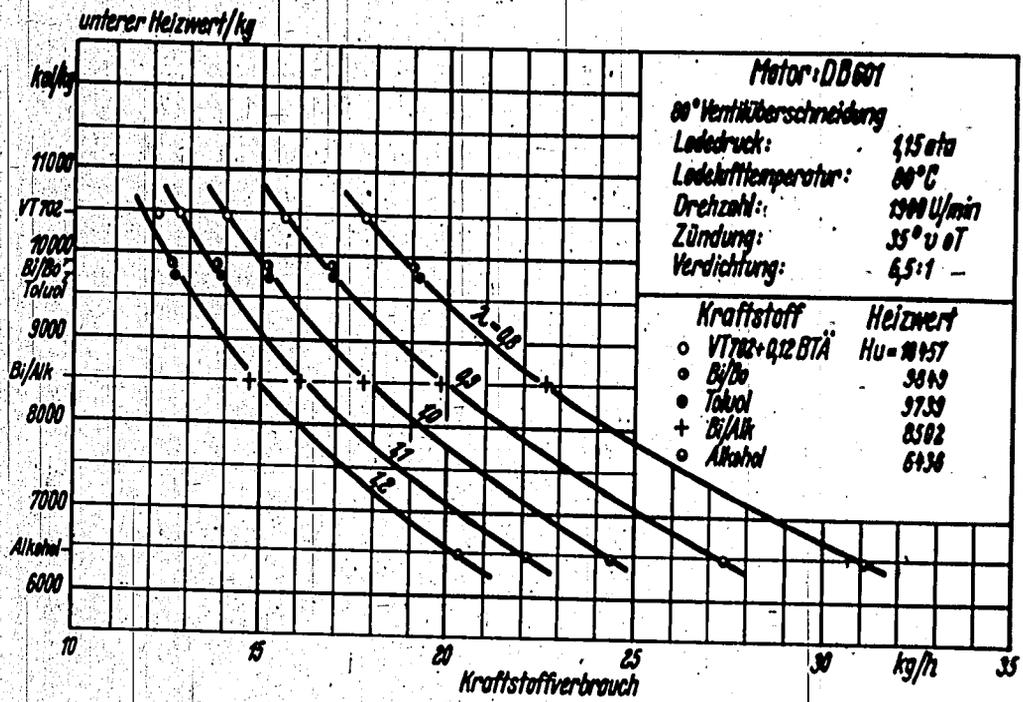


Abb. 33: Einfluß des unteren Heizwertes von Kraftstoffen auf den Verbrauch beim DB 601 mit 80° Ventilüberschneidung bei 1,15 und 1,3 ata Ladedruck.

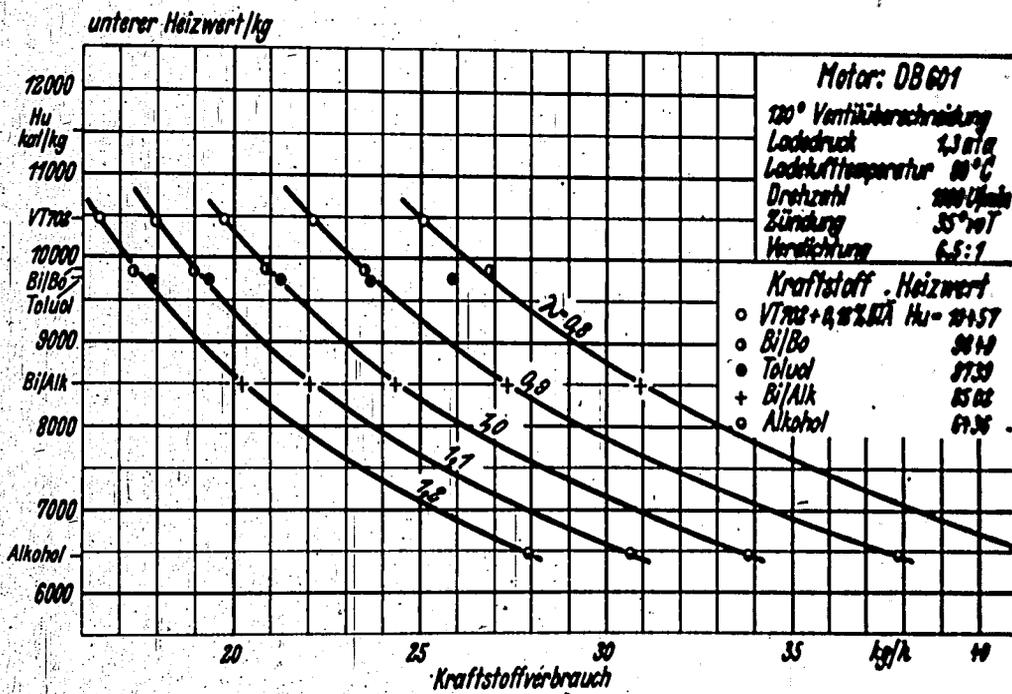
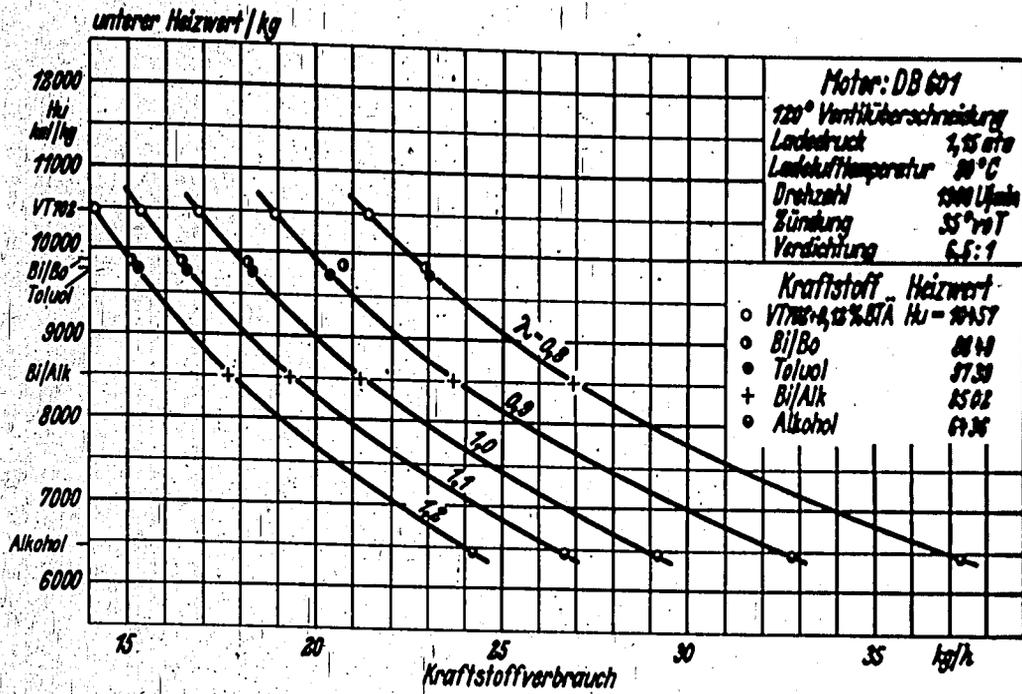


Abb. 34: Einfluß des unteren Heizwertes von Kraftstoffen auf den Verbrauch beim DB 601 mit 120° Ventilüberschneidung bei 1,15 und 1,3 ata Ladedruck,