

Grundsätzliches zur Bestimmung des Klopfverhaltens von Kraftstoffen,

Von Dr. phil.A.v.Philippovich, DVL, Berlin-Adlershof.

Gliederung: I. Zweck der Untersuchung des Klopfverhaltens

II. Wege der Klopfwertbestimmung

- a) Chemisch-physikalisch
- b) Motorische Prüfung von Kraftstoffen
- c) Oktanzahl und ihre Abwandlung
- d) Überladbarkeit
- e) Einflüsse auf das Ergebnis der Überladeprüfung
- f) Eichstoffe und Bezugskraftstoffe

III. Folgerungen

1. Laboratoriumsuntersuchungen
2. Motorverfahren
3. Motorcharakteristik und Betriebsbedingungen.

I. Zweck der Untersuchung des Klopfverhaltens.

Wie das Klopfen selbst rein empirisch in dem Augenblick entdeckt wurde als man mit den thermischen Beanspruchungen der Motoren höher ging, hat sich auch die Notwendigkeit zur Bestimmung der Klopfestigkeit der Kraftstoffe rein empirisch aus praktischen Gründen ergeben. Das erste Ziel war dabei die Bewertung der Kraftstoffe nach der maximal erreichbaren Leistung, um zu wissen, ob man gegebene Motoren mit diesem oder jenem Benzin betreiben könnte. Sehr bald hat sich aber ein zweites Ziel als nicht minder wichtig erwiesen, nämlich die Klärung der "besten" Zusammensetzung von Kraftstoffen; es war ja ein neues Qualitätsmaß für die Herstellung aufgetaucht. Schon die ersten Untersuchungen Ricardos gingen in beiden Richtungen; alle späteren Arbeiten anderer Forscher haben mehr oder weniger denselben Zweck. Aus der Praxis entstanden, ist also die Untersuchung des Klopfverhaltens auch wieder rein auf praktische Zwecke abgestellt, sodass sie zuerst auf die Forderungen der Praxis eingehen muss, wenn sie berechnete Wünsche erfüllen soll.

II. Wege der Klopfwertbestimmung.

a) chemisch-physikalisch:

Das Klopfen ist als chemische Reaktion durch die Natur der Kraftstoffe und durch die herrschenden Reaktions- bzw. Betriebsbedingungen bestimmt. Kennt man also beide genau, so müsste sich der Klopfvorgang eindeutig erfassen lassen, ohne dass man besondere Motorversuche durchführt; andernfalls wird man mehr oder weniger starke Streuungen oder

Abweichungen der theoretischen von den wirklichen Ergebnissen bekommen. Es ist deshalb die Frage, ob diese Voraussetzung erfüllt ist oder nicht.

Was die Natur der Kraftstoffe anbelangt, so muss man die Eigenschaften unterteilen in reine Stoffeigenschaften (Materialkonstanten) und in solche, die komplexer Natur sind. Beispiele für die ersten sind spezifisches Gewicht, Refraktion, Molekulargewicht, spez. Wärme, Verdampfungswärme, Zähigkeit, Oberflächenspannung, Dipolmomente, usw., während als komplexe Eigenschaften die Flüchtigkeit, das Kälteverhalten, die Selbstzündungseigenschaften, die Oxydierbarkeit usw. bezeichnet werden können. Die ersten sind die einzigen Eigenschaften die man als Konstanten bezeichnen kann, weil ihre Werte vom Versuchsgerät unabhängig sind. Dagegen haben Zahlenwerte für die komplexen Eigenschaften nur einen Sinn, wenn man das Versuchsgerät mitnennt - und gerade diese Eigenschaften sind es, die praktisch die größte Bedeutung besitzen. Überdies sind die Kraftstoffe stets Gemische verschiedener Bestandteile, sodass die Konstanten den arithmetischen Mittelwert der Einzeleigenschaften darstellen; man kann solche additiven Eigenschaften auch als integrale bezeichnen. Im Gegensatz hierzu gibt es im komplexen Verhalten, besonders bei der Selbstzündung, der Schmierung und der Korrosion, Eigenschaften, die man nur als differentielle bezeichnen kann, weil sie im Gesamtgemisch auch dann merklich werden, wenn nur ein ganz kleiner Bestandteil sie aufweist. Man sieht, dass schon die genaue Charakteristik der Kraftstoffe schwer ist, kann aber immerhin annehmen, dass sie weitgehend möglich wäre, ohne den erforderlichen Zeitaufwand überhaupt zu berücksichtigen.

Die Charakteristik der Kraftstoffe wird also dann aus zwei verschiedenen genauen Gruppen bestehen: der exakten Messung meist physikalischer Werte sowie der weniger genauen Bestimmung komplexer (mehr chemischer) Eigenschaften. Es ist gut, sich dabei zu erinnern, dass auch eine weitgehende Übereinstimmung physikalischer Daten keine Gewähr für chemisch gleiches Verhalten gibt, wie die folgende Gegenüberstellung von Langmuir (zitiert nach Schlenk und Bergmann, Lehrbuch der org. Chemie, Wien und Leipzig, Franz Deuticke, 1932, S. 369) zeigt. (Zahlentafel 1.) Dieses Beispiel betrifft allerdings einen extremen Fall, soll aber davor warnen, mit der Auswertung rein physikalischer Kenndaten zu unvorsichtig zu sein.

Liegt die chemisch-physikalische Kennzeichnung der Kraftstoffe vor, so müsste man ihre praktische Bewährung vorausbestimmen, d.h. man muss

Zahlentafel 1.

Eigenschaft	Stickstoff (N_2)	Kohlenoxyd
Molekulargewicht	28.0	28.0
Gasdichte ($O_2=1$)	0.8751	0.8749
Flüssigkeitsdichte b. Siedepunkt	0.796	0.793
spez. Wärme C_p bei 20°	0.250	0.250
Schmelzpunkt	-210°C	-210°C
Siedepunkt	-195 "	-190 "
Krit. Druck (Atm)	33.5	34.6
Krit. abs. Temperatur	127°	134°
Wärmeleitfähigkeit b. 0°C	56×10^{-6}	53×10^{-6}

angeben können, wie sich die Stoffe der gegebenen Charakteristik im Motor verhalten werden, Dazu ist aber die Kenntnis des Motorvorganges unerlässlich. Ohne eine solche müsste man dermassen umfangreiche Berechnungen mit sovielen Annahmen durchführen, dass die Verlässlichkeit nur sehr unbefriedigend wäre. Es ist deshalb zu überlegen, welche Unterlagen man zur Kenntnis des Motorbetriebszustandes besitzt, bzw. welcher Art die verschiedenartigen Betriebsbedingungen der Motoren sind.

Für chemische Reaktionen sind Druck, Temperatur und Zeit bestimmend¹⁾. Die Auswertung der Kenndaten von Kraftstoffen für die Beurteilung des Verbrennungsablaufes ist also an die genaue Kenntnis dieser Grundbedingungen geknüpft. Dies ist aber derzeit nicht erreichbar, weil die Messmöglichkeiten für den interessierenden klopfenden Gemischrest nicht ausreichen, sodass man summarisch Motordaten, wie z.B. Indikatorgramme verwenden muss, um unter verschiedenen Annahmen die Temperaturen zu errechnen, die auf das Restgas einwirken. Für jeden Betriebszustand ändern sich aber die Temperaturen, sodass man die Aussagen über den Klopfvorgang nur für jeweils gleiche Betriebsbedingungen machen kann. Krass ausgedrückt kann man jene Kurven genau berechnen, die man vorher bestimmt hat! Die Empfindlichkeit gegenüber Temperaturen und gegenüber Vermagerung (die nebenbei bemerkt nicht in einer einfachen Beziehung⁺ stehen), kann man nun zu einem gewissen Grade berücksichtigen, wenn man von einem Motorenzustand auf einen anderen schliessen will. Aber man muss sich dabei im Klaren sein, dass die Motor-Betriebsbedingungen in zwei verschiedene Gruppen unterteilt werden müssen: solche, die sich bei allen Motoren in gleicher Weise auswirken und solche, die gewissermassen individuell berücksichtigt werden müssen. Die bisher durchgeführten Versuche ermöglichen eine solche Zweiteilung, die offenbar darin begründet ist, dass die Temperaturen des Restgases in einem Fall gleichmässig in allen Motoren beeinflusst werden,

1) Auf die Möglichkeiten von kalten Reaktionen wird in diesem Zusammenhang nur verwiesen.

+) zueinander

während sie im zweiten Falle verschieden je nach den Verhältnissen des Einzelmotors und Motoreinbaues ausfallen. Eine Übersicht ergibt folgendes Bild¹⁾:

Allgemeingültige Einflüsse	Besondere(individuelle)Einflüsse
Verdichtungsverhältnis (-enddruck)	Drehzahl
Ladelufttemperatur	Ventilüberschneidung
Kühlmitteltemperatur	Auspuffgegendruck
Zündung	Gestaltung von Ansaug- und Auspuffleitung
Volumen des Zylinders	Gemischbildung.

Ob in den individuellen Einflüssen ausser Temperatureinflüssen noch rein chemische (kettenabbrechende oder -einleitende Bestandteile im verbrannten Gas) enthalten sind, bleibe dahingestellt.

Die chemisch-physikalische Beurteilung der Kraftstoffe nach Zündwert und Zündverzug wurde zu motorischen Ergebnissen, wie Oktanzahl oder DVL-Überladekurven in Beziehung gesetzt. Während bei der Oktanzahlprüfung ein Punkt bei festgelegten Bedingungen bestimmt wird, (Luft-Kraftstoffverhältnis, Zündung, Kühltemperatur und Ansaugtemperatur,) zieht das Überladeverfahren eine kurvenmässige Darstellung vor, bei der sowohl Luftüberschusszahl, als auch Ansauglufttemperaturen berücksichtigt werden. Von den Laboratoriumsverfahren seien nur zwei erwähnt: die bekannte Methode von Jentzsch, die bisher noch die besten Übereinstimmungen zwischen Laboratorium und Motor²⁾ gab, und die Messung des Zündverzuges bei adiabatischer Verdichtung nach Jost und Teichmann. Das Ergebnis der Zündwertuntersuchung für 5 typisch verschiedene Benzine zeigt Abbildung 1. -33045- Man sieht, dass Benzin 4 (nach dem Zündwert oder der Blasenahl bestimmt) vollkommen falsche Werte liefert und viel zu günstig beurteilt wird, dass aber auch die anderen Benzine derart grosse Streuungen der Werte ergeben, dass das Verfahren als Abnahmeprüfung nicht in Frage kommt. Immerhin ist die Gleichläufigkeit der Zündwerte und der Grenzleistungen beachtenswert, sodass man für ein auf gesunder Basis aufbauendes Verfahren der Zündverzugs-messung noch bessere Ergebnisse erwarten kann.

¹⁾ Hierfür sind bisherige Versuchsergebnisse nach dem DVL-Überladeverfahren zugrunde gelegt.

²⁾ Neuordings ist die Tatsache der Zündlücke in USA wieder Gegenstand der Untersuchung gewesen. Sailman, Beathy, Heron, Selbstzündung von Kohlenwasserstoffen u. die Gebiete von Zündlücken. B.C. 22, 118 (1941).

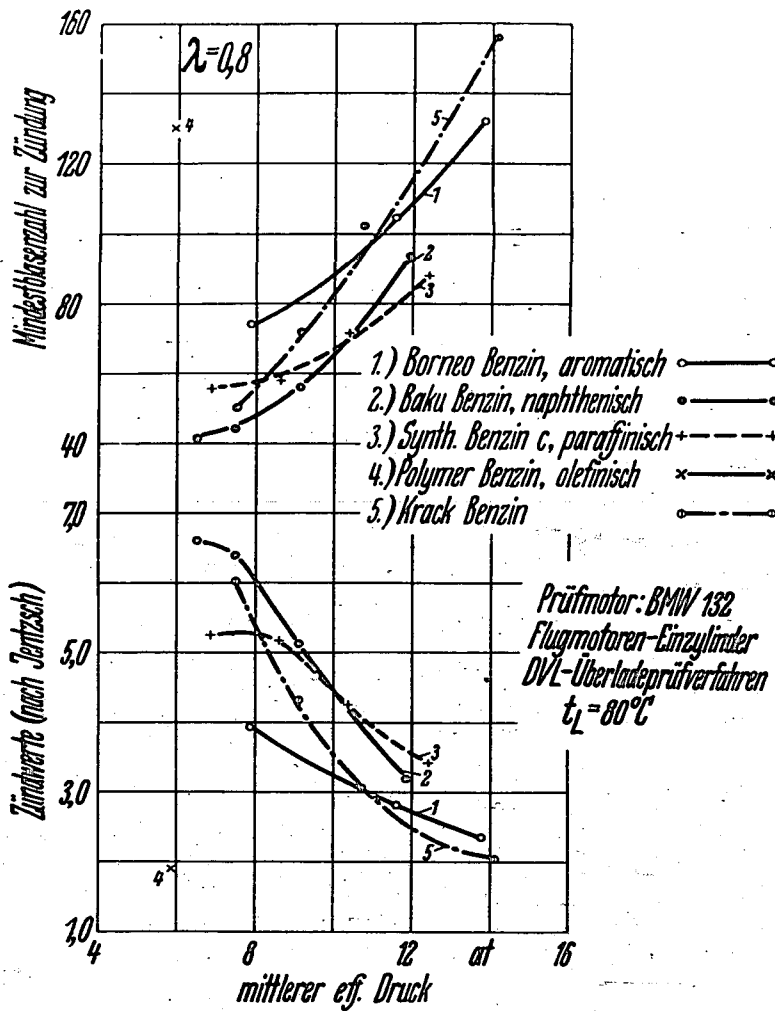


Abb.1: Motorleistung und Zündverhalten (nach Jentzsch) von 5 Benzin mit verschiedenen Bleizusätzen.

Jost und Teichmann haben die Laboratoriumscharakteristik in der Weise vorgenommen, dass sie Kraftstoff-Luftgemische in einem Zylinder mit Schaufenster adiabatisch verdichteten und den Zündverzug massen, der bei verschiedenen Verdichtungsendrücken, d.h. auch Endtemperaturen auftrat. Sie sehen in diesem Verfahren die Voraussetzung für eine endgültige Lösung des Problems der Klopfmessung, zum mindesten was die laboratoriumsmäßige Erfassung anlangt. Die Ergebnisse einer solchen Untersuchung sind in der Abbildung 2 - - den Ergebnissen der motorischen Prüfung gegenüberstellt, und zwar sowohl der Oktanzahlbestimmung als auch der Überladeprüfung. Man erkennt eine recht brauchbare Charakteristik, vor allem der Temperaturempfindlichkeit der Kraftstoffe. Es scheint, als ob auf diese Weise tatsächlich eine Möglichkeit bestände, eine Klopfcharakteristik der Kraftstoffe zu erhalten. Allerdings fehlt die Erfassung

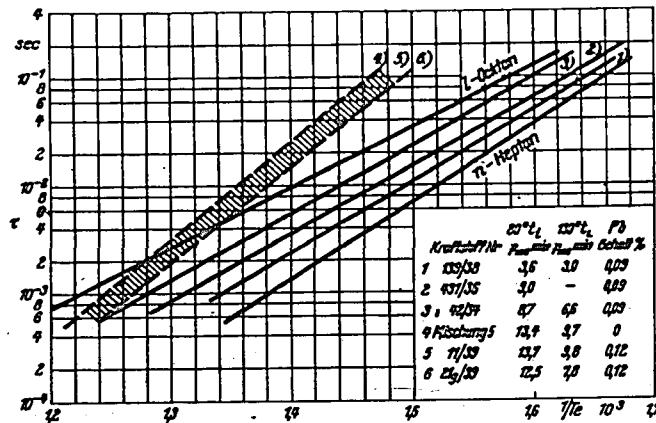


Abb.2: Zündverzögerungen bei adiabatischer Verdichtung für 6 Kraftstoffe nach Jost und Teichmann.

noch zweier wesentlicher Einflüsse, die sich im Motor stark auswirken: die der Restgasspülung und des Luft-Kraftstoffverhältnisses. Beide spielen ja eine wesentliche Rolle, wie sich besonders bei den sehr unterschiedlichen Kurven der Grenzklopffestigkeit, über die Luftüberschuss zeigt, wenn man die Ventilüberschneidung ändert. Man kann sich demnach durch eine chemisch-physikalische Charakteristik dieser Art eine gewisse Erfassung des Motorverhaltens versprechen, die aber nur Gültigkeit besitzt, sofern nicht der Motorbetrieb zusätzliche Bedingungen schafft, die durch eine solche Bewertung nicht mit einbezogen werden. Dieser Vorbehalt wird klarer, wenn die Eigenheiten der Motorprüfung von Kraftstoffen näher besprochen worden sind.

b) motorische Prüfung von Kraftstoffen:

Die verschiedene Bedeutung des Klopfens für den Autobetrieb und für die Luftfahrt sind der Grund, warum die Prüfung für Auto- und Flugkraftstoffe nach verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen werden muß. Denn das Klopfen im Auto ist mehr oder weniger ein Schönheitsfehler, der nur in krassen Fällen etwas verringerte Geschwindigkeit oder Leistung bewirkt, durch Zurückstellen der Zündung aber behoben werden oder vermindert werden kann. Im Flugzeug dagegen führt Klopfen schon in kürzester Zeit zum Versagen des Motors und damit zur Notlandung oder sogar zum Absturz mit allen seinen Folgen. Deshalb kann man die Beurteilung der Autokraftstoffe nach einem Verfahren vornehmen, das ungefähr dem

Mittelwert des in Automobilen festgestellten Verhaltens entspricht, auf die Gefahr hin, den einen oder anderen Kraftstoff falsch zu beurteilen. Diese Tendenz wird dadurch verstärkt, dass die Konstruktion der Automobilmotoren sehr verschieden ist und dass die Herstellerfirmen eine Grundlage dafür besitzen wollen, welche Art von Kraftstoffen dem Durchschnitt der verwendeten Motorarten am besten entspricht. Die Beurteilung der Flugkraftstoffe kann solche Streuungen wegen der schwerwiegenden Folgen nicht zulassen; sie muss unbedingt dafür sorgen, dass die Prüfung eine verlässliche Grundlage und genügende Sicherheit gegen Vorkommnisse dieser Art schafft. Anstelle eines Mittelwertes muss eine einwandfreie Motorprüfung für Flugkraftstoffe deshalb auch den ungünstigsten Verwendungsfall berücksichtigen und die Versuchsdurchführung entsprechend gestalten. Ein kurzer Rückblick auf die bisherige Klopfmessung ist hier angebracht.

c) Oktanzahl und ihre Abwandlung:

Wie schon lange bekannt, sind Gemische von Benzin mit Alkohol und Benzol, sowie Benzine mit vielen leichtflüchtigen Bestandteilen nach der Oktanzahl schlecht zu bewerten¹⁾. Auf die verschiedene Beurteilung der Kraftstoffe nach der Oktanzahl und nach anderen Verfahren ist ebenfalls schon oft hingewiesen worden. Vor allem war es die Bestimmung der Oktanzahl bei einer einzigen Vergasereinstellung (jener für stärkstes Klopfen), die bei anderen Mischungsverhältnissen zu Unstimmigkeiten führte vgl. Abbildung 3 - 28989-.

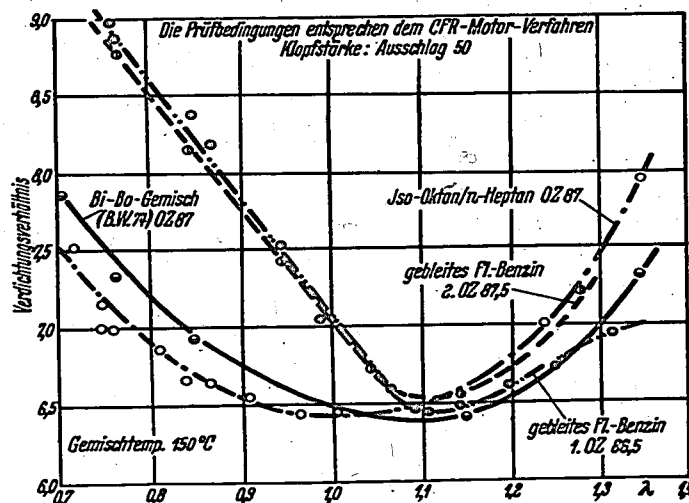


Abb. 3: Bestimmung der Klopfintensität bei verschiedenen Luftüberschusszahlen.

¹⁾ Vgl. Graham Edgar, SAE-J.1938(43) Heft 3, S.12 der Vereinsmitteilungen.

Die zweite Störung trat dadurch ein, dass bei der Oktanzahl nur eine einzige Temperatur des Gemisches eingehalten wird, sodass die vielfältigen Einflüsse des praktischen Betriebes nicht genügend berücksichtigt werden können. Versuche zur Abhilfe sind von verschiedenen Seiten gemacht worden. In der DVL wurde sowohl die Abhängigkeit der Oktanzahl von dem Luft-Kraftstoffverhältnis, als auch von der Temperatur des Gemisches geprüft. Die Prüfung von Kraftstoffen im fetten Bereich ist sehr zeitraubend und ungenau, da sie ausserdem keine unmittelbare Beziehung zu der Temperaturabhängigkeit besitzt, muss diese selbst für sich geprüft werden Abbildung 4 - 33056-.

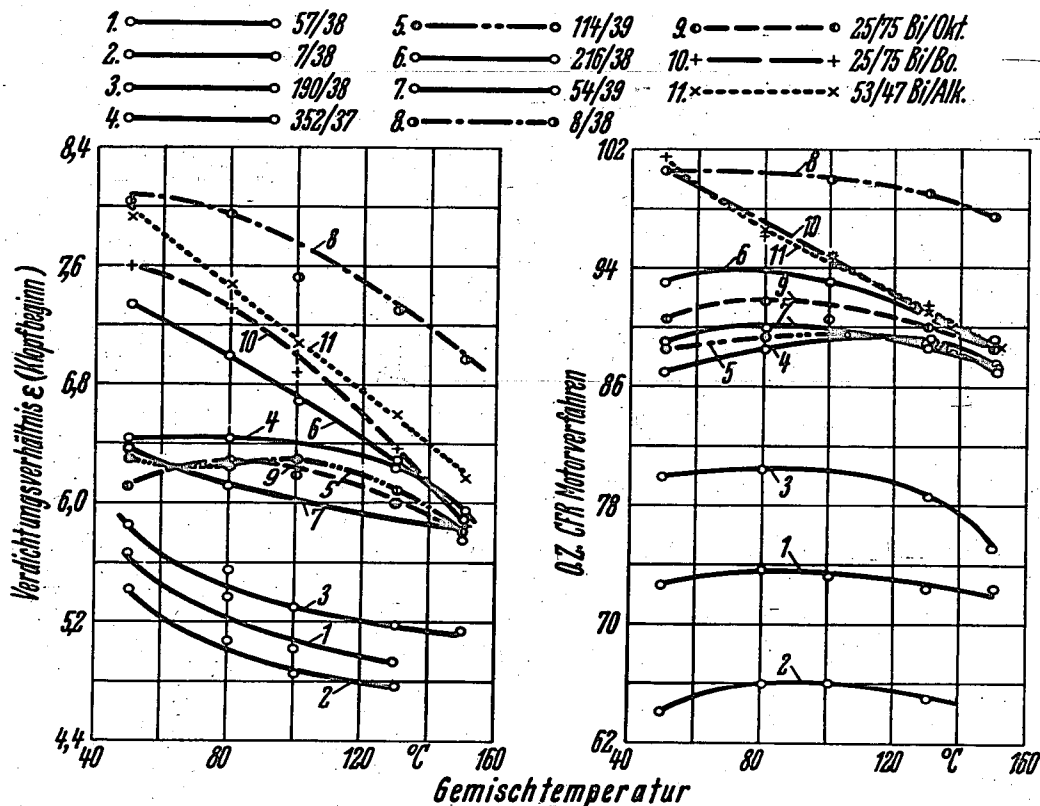


Abb.4: Oktanzahlbestimmung bei verschiedenen Gemischtemperaturen (CFR-Motor).

Man sieht, dass entgegen den praktischen Erfahrungen im Flugmotor kein gleichmäßiger Abfall oder Anstieg der Oktanzahlen mit der Temperatur erfolgt, sondern dass z.T. Maxima vorhanden sind. Deshalb ist nach Ansicht der DVL eine Abwandlung der Oktanzahlmessung nicht sehr aussichtsreich. Auch die Messung der Klopfgrenzverdichtung über der Temperatur ergab unwahrscheinliche Ergebnisse: Wie Abbildung 4 zeigt, trat nämlich bei einem sehr viel verwendeten Benzin synthetischer Art ebenfalls ein Maxi-

mum auf; im Flugmotor gibt es keine solchen Erscheinungen. Aus diesen Gründen muss man wohl nicht allzu hoffnungsvoll sein, was die Verwendungsmöglichkeit des CFR-Motors für die exakte Erfassung der Klopfelgenschaft von Flugmotorenkraftstoffen anbelangt.

Von der I.G. wurde vorgeschlagen, eine Abänderung der Oktanzahlmessung zu treffen, die durch Kombination mit einer entsprechenden Charakteristik der Flugmotoren auf jeden Fall Sicherheit gegen die Verwendung ungeeigneter Kraftstoffe in Flugmotoren schaffen soll. Grundlage des Vorschlages ist die Annahme, dass die CFR-Motorprüfung auf jeden Fall schärfer prüfe, als den Bedingungen des Flugmotors entspricht. Auf die Möglichkeit einer solchen Kraftstoffprüfung soll hier nicht weiter eingegangen werden; es sei nur auf Abb.5 - 34079 - verwiesen, die zeigt, wie von zwei

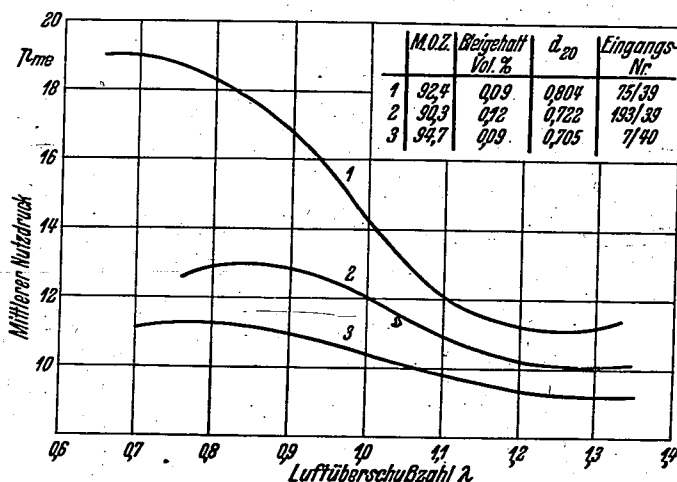


Abb. 5: Klopfgrenze dreier Kraftstoffe (DVL-Grundverfahren).

Bleibenzinen (1 und 2), dass eine (1) trotz wesentlich besserer Oktanzahl eine erheblich schlechtere Überladbarkeit besitzt, obwohl beide keinen nennenswerten Gehalt an Aromaten besitzen. Da 1 ein viel verwendetes Benzin von normaler Zusammensetzung d.h. auch normaler Temperatur-Vermagerungs-Empfindlichkeit ist, muss man für das Benzin 2 folgern, dass hier die Prüfbedingungen der CFR-Motorenprüfung im Vergleich zu dem praktischen Verhalten entweder nicht genügend scharf sind (wogegen die Oktanzahlen der beiden anderen Benzine sprechen) oder dass überhaupt keine einfache Beziehung zwischen diesen beiden Messergebnissen besteht. Deshalb ist offenbar eine brauchbare Unterlage in der Oktanzahl selbst schlecht zu finden. Von der Abwandlung der Oktanzahl nach dem Luftüberschuss sollte man Aufschluss über die Vermagerungsempfindlichkeit der Kraftstoffe erwarten. Das Bild 6 - 33066- zeigt, dass diese beiden Ei-

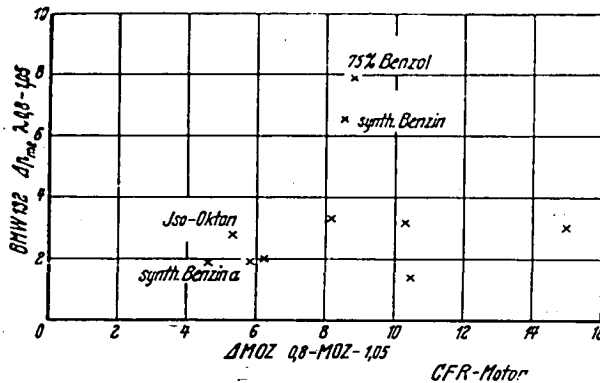


Abb. 6: Unterschiede der Grenzleistungen im BMW 132 und der Oktanzahl im CFR-Motor.

enschaften im BMW 132 und im CFR-Motor nicht streng gleichläufig sind. Man müsste also im kleinen Prüfmotor bei der Oktanzahlmessung sowohl auf die Temperaturempfindlichkeit als auch die Vermagerungsempfindlichkeit weiter eingehen - ein recht umfangreiches Programm - das praktisch nur in wenigen Fällen erfüllbar ist. Die Prognose für die weitere Anwendung der Oktanzahl ist also auch von dieser Seite aus betrachtet nicht sehr günstig.

d) Überladbarkeit:

Die Überladbarkeit bis zum Eintritt des Klopfens ist als Mass der zulässigen Motorleistung neuerdings überall in Anwendung gekommen. Abb. 7 - 34080 - soll einen Überblick über die damit bei der DVL gewonnene Charakteristik der verschiedenen Kraftstoffqualitäten geben; man kann sagen, dass auf diese Weise eine wirklich befriedigende Bewertung ermöglicht wird, falls zwei Bedingungen erfüllt sind: Reproduzierbarkeit und allgemeine Übertragbarkeit auf alle Motoren, Kraftstoffe und Betriebsbedingungen. Diese Punkte sollen in der Folge nur soweit besprochen werden, als es im Hinblick auf andere Beiträge nötig erscheint. Die Folgerungen gehen alle vom Betrieb des BMW 132 Motors bei Normalbedingung aus. Die Abbildung 8 - 34077 - beweist, dass eine brauchbare Charakteristik im Überladeverfahren sowohl auf die Vermagerungs- als auch die Temperaturempfindlichkeit eingehen muss. Bei geeigneter Auswertung der Ergebnisse eröffnen sich anscheinend auch gewisse weitere innere Zusammenhänge zwischen Motorverhalten und chemischen Aufbau, wie Abbildung 9 - 33044 - beweist.

In dieser Richtung wird noch viel Material zusammengetragen worden müssen, aber es ist die Frage, ob die Beziehungen auch für andere Betriebsverhältnisse gelten. Inwieweit dieser Vorbehalt berechtigt ist,

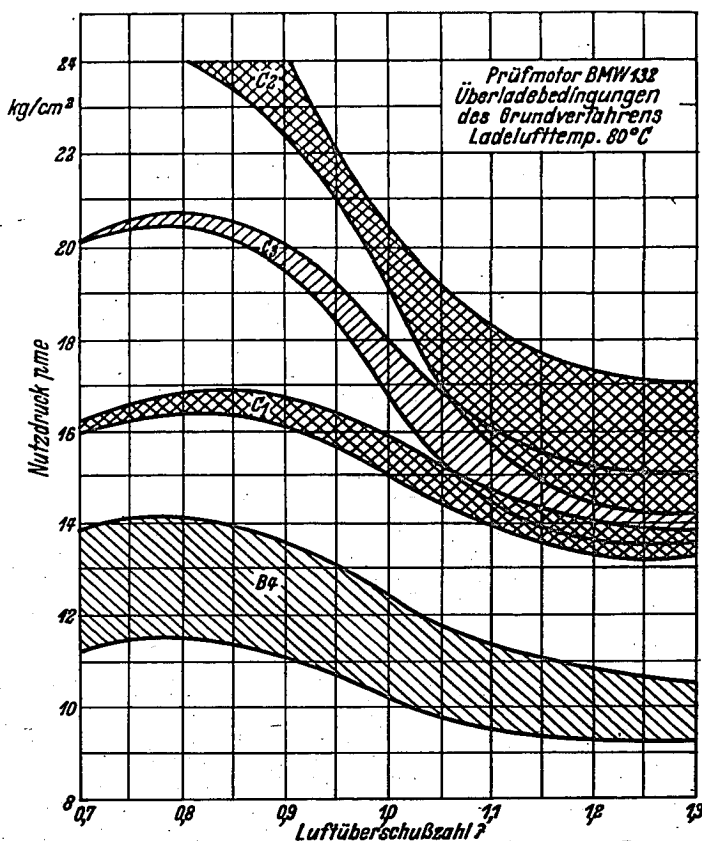


Abb.7: Bandbreiten von B 4-und Hochleistungskraftstoffen.

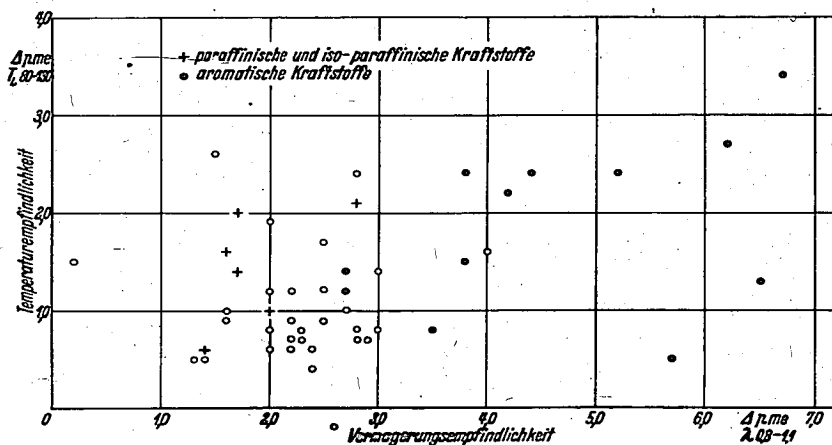


Abb.8: Vermagerungs- und Temperaturempfindlichkeit verschiedener Kraftstoffe im BMW 132 N (Grundverfahren).

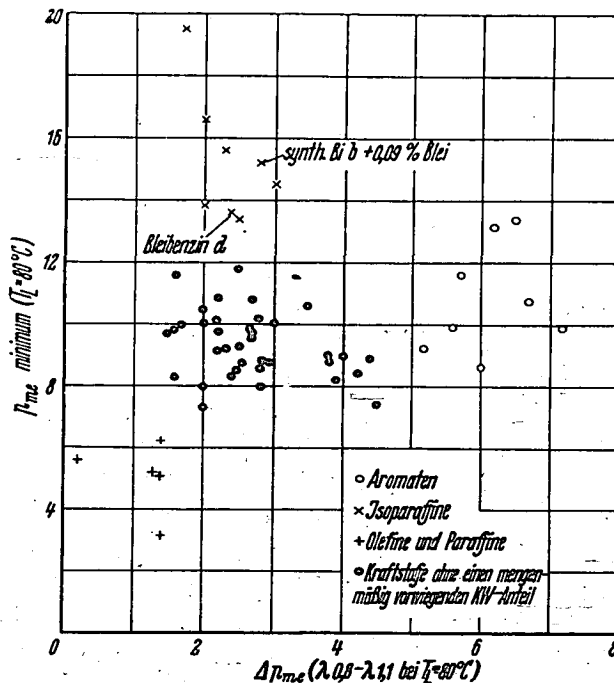


Abb.9: Zulässige Maximalleistung und Empfindlichkeit gegen Vermagerung verschiedener Kraftstoffe.

soll die Besprechung über die Auswirkung der verschiedenen Einflüsse zeigen.

e) Einflüsse auf das Ergebnis der Überladeprüfung:

Die allgemeingültigen Einflüsse sollen zuerst besprochen werden, d.h. also jene, deren Auswirkung in allen Motoren die gleiche ist. (Auch hier sind Ergebnisse zu Grunde gelegt, die mit der DVL-Überladepfung erhalten wurden).

Vordichtungserhöhung ergibt allgemein stärkeres Klopfen (Abb.10-34022-)

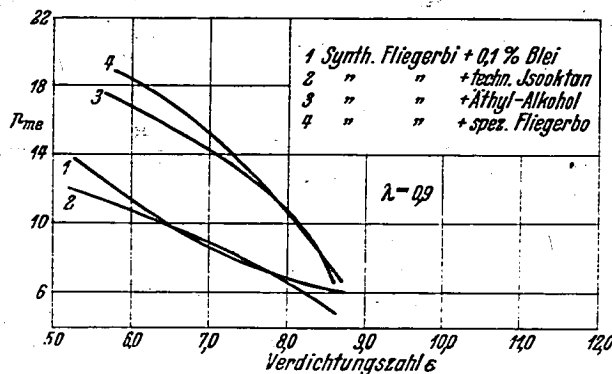


Abb.10: Fiat A 30 RA mittlerer Nutzdruck bei veränderter Verdichtung.

Temperaturerhöhung (Abbildung 11 - 34023 -)

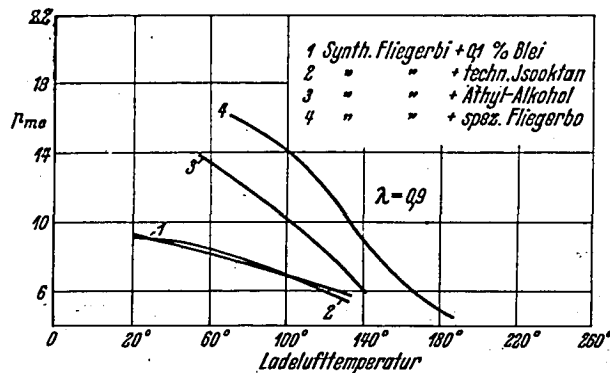


Abb.11: Fiat A 30 RA mittlerer Nutzdruck bei veränderter Ladelufttemperatur.

Zündungsvorverlegung (Abbildung 12 - 34026 -) und

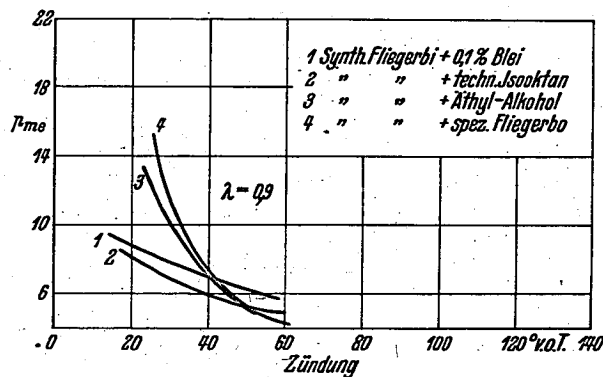
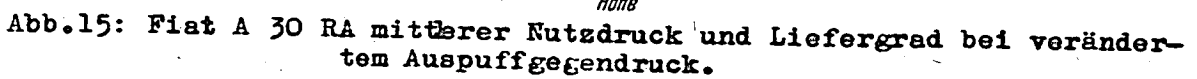
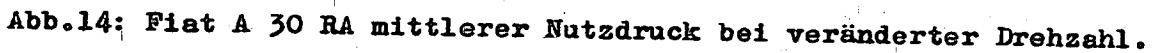
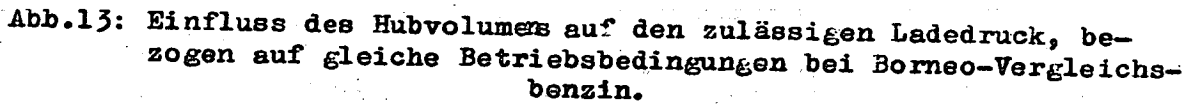


Abb.12: Fiat A 30 RA mittlerer Nutzdruck bei veränderter Zündung.

Volumenvergrößerung (Abbildung 13 - 34020 -) obwohl nur wenig Unterlagen vorhanden sind. Das Luftkraftstoffverhältnis hat bei Verwendung ein und desselben Arbeitsverfahrens (annähernd gleiche Steuerzeiten) auch die gleiche Auswirkung bei verschiedenen Motoren. Unangenehmer in ihrer Auswirkung sind die besonderen Einflüsse, weil sie die Ergebnisse der Überladeprüfung in verschiedenen Motoren in unkontrollierbarer Weise beeinflussen.

Dies gilt sowohl für die Drehzahl (Abbildung 14 - 34025 -) den Auspuffgedruck (Abbildung 15,) die Ventilüberschneidung (Abbildung 16 - 34019 -) als auch für Schwingungen im Ansaug- und Auspuffsystem. Es ist nicht unmöglich, dass man diese starken Ungleichmäßigkeiten dadurch auf einen gemeinsamen Nenner bringen kann, dass man den volumetrischen Wir-



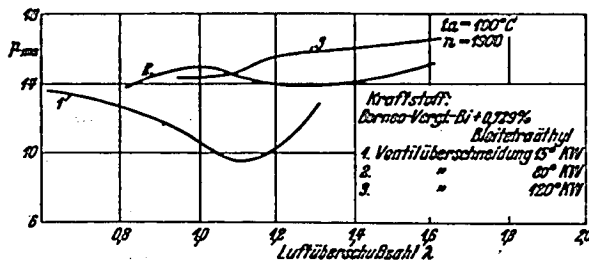


Abb.16: Fiat A 30 RA mittlerer Nutzdruck bei verschiedener Ventilüberschneidung.

kungsgrad näher untersucht; denn man muss annehmen, dass vor allem dieser durch die angeführten Einflüsse verändert wird.

Eine ganz andere Bedeutung hat aber der Wechsel des Arbeitsverfahrens. Mit der Teileinspritzung, die vom Institut W der DVL ausgearbeitet wurde, ändert sich die Beurteilung der Kraftstoffe nach ihrer Grenzleistungskurve grundlegend, ohne dass es bisher möglich ist, irgendwelche Vorschläge zur chemisch-physikalischen Deutung des Vorganges in quantitativer Hinsicht zu machen. In Abbildung 17 - 34021 - ist zu sehen, wie sich durch die Teileinspritzung die Grenzleistung gegenüber normaler Einspritzung erhöht. Das gesamte Verhalten der Kraftstoffe ist grundle-

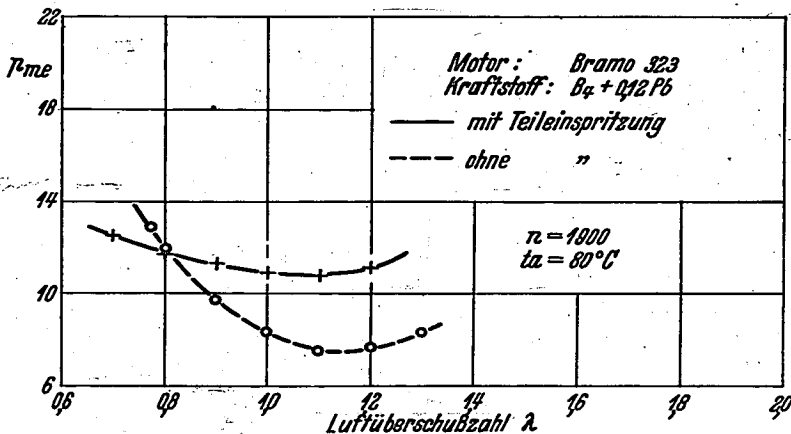


Abb.17: Mittlerer Nutzdruck verändert durch Teileinspritzung.

gend anders geworden und muss deshalb in seinen vielfältigen Zusammenhängen erneut untersucht werden. Auf Einzelheiten des Verfahrens kann in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden.

f) Eichstoffe und Bezugskraftstoffe:

Bei der schwierigen Überwachbarkeit des Motorenzustandes ist es notwendig, einen Eichkraftstoff zu verwenden, um Abweichungen vom Normal-

zustand an seinem abweichenden Verhalten feststellen zu können; die Oktanzahlmessung muss wieder Bezugskraftstoffe verwenden, um Klopfestigkeiten der Kraftstoffe angeben zu können. In beiden Fällen ist es fraglich, ob man Eich- und Bezugskraftstoffe verwenden soll, die ihrem Wesen nach den Prüfkraftstoffen möglichst entsprechen, oder ob man unabhängig von dem wechselnden Charakter der Prüfkraftstoffe stets temperaturunempfindliche Kraftstoffe wählt. Die größere Empfindlichkeit aromatischer Kraftstoffe, gegenüber Änderungen des Motorenzustandes spricht dafür, daß man sie zu dessen Kontrolle heranzieht. Für die Feststellung des Dauerbetriebsverhaltens muss ein einheitlicher, lagerbeständiger Stoff mit gleicher Zusammensetzung zur Verfügung stehen.

III. Folgerungen.

1. Laboratoriumsuntersuchungen:

Zwischen den Eigenschaften, die für den Identitätsnachweis (Gleichmässigkeitskontrolle) und jenen, die zur praktischen Charakteristik der Kraftstoffe erforderlich sind, muss eine Unterscheidung getroffen werden. Ebenso muss eine Unterscheidung getroffen werden, welche Konstanten physikalisch-chemischer Art wirklich von Bedeutung sind und welche nicht, sowie, welche komplexen Eigenschaften zur Beurteilung der Kraftstoffe mit herangezogen werden können. Die Zündverzugsmessung nach Jost erscheint hierzu aussichtsreich. Die Auswertung der Laboratoriumsergebnisse hat zwei Umstände zu berücksichtigen: Sie muss aus der Vielzahl der Eigenschaften wenige, für die motorische Bewährung ausschlaggebende, auswählen und die Summe aller dieser Eigenschaften zu dem komplexen Verhalten im Motor in Beziehung setzen, kann also nicht irgend eine einfache Zahl als Mass nehmen. Ebenso muss der praktische Vorgang im Motor - abgesehen von dem später erwähnten Zusammenhängen - nicht als eine einfache Ein-Punktbewertung, sondern zum mindesten über eine Variable (z.B. Temperatur oder Luftüberschuss, vorteilhaft aber beide) bestimmt werden. Welche Betriebsweise des Motors verwendet wird, muss je nach der Lage auf anderen Gebieten entschieden werden. Für die praktische Beurteilung von Laboratoriumsverfahren ist der jeweils nötige Zeitaufwand wesentlich.

2. Motorverfahren:

Derzeit ist die Motorprüfung an einen Flugmotorenzylinder gebunden, wenn auch vielleicht später ein kleinerer Motor wird verwendet werden können. Dadurch werden Fehlerquellen ausgeschaltet, die bei kleinen Zylindern vom Flugmotorenzylinder abweichende Ergebnisse verursachen. Wie jede Motoruntersuchung, muss auch die Überladeprüfung bei strengster

Einhaltung gleichartiger Bedingungen durchgeführt, werden, wenn man reproduzierbare Ergebnisse erhalten will. Die Einflüsse auf die Lage der Klopfgrenzkurve werden weiter untersucht werden müssen, vor allem beim Übergang zu anderen Ventilüberschneidungen und besonders zur Teileinspritzung.

3. Motorcharakteristik und Betriebsbedingungen:

Den Schwierigkeiten ganz aus dem Wege zu gehen, ist auch durch genaue Erfassung der Motoreigenschaften und Betriebsbedingungen nicht möglich. Aber man kann annehmen, dass die Erfassung der Einflüsse von Motorbau und von Betriebsbedingungen auf die Kraftstoffe leichter möglich sein wird, wenn man sie mit neuen Mitteln versucht. Die Motorcharakteristik ist schon vor 15 Jahren zum ersten Male vorgeschlagen worden und es wäre endlich an der Zeit, sie ernsthaft zu versuchen. Als Möglichkeiten kann man folgende ansehen: (wobei die Betriebsweise des einzelnen Motors allerdings mit erfasst wird;)

- A) Messung des Wärmeüberganges als Mass (bei verschiedenen Betriebszuständen)
- B) Verwendung eines Bezugskraftstoffes als Mass (Grenzleistungskurve)
- C) Verwendung zweier Bezugskraftstoffe als Mass (Grenzleistungskurven)
 - a) Erfassung des Wärmezustandes des Motors mittels Luftüberschuss, Temperatur, Verdichtung, Zündung.
 - b) Messung der "Motor-Oktanzahl" bei Start - und Reisebedingungen.