

~~000001~~

Deutsche Luftfahrtforschung

Bericht

über die

„Klopferverhalten und Lagerung von Kraftstoffen“
am 16. und 17. Juni 1941
in Berlin-Adlershof

zusammengestellt und überarbeitet von

Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt E. V.

Institut für Betriebsstoffforschung

Berlin-Adlershof

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

000002

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

Panzerverschluß erforderlich!

000003

B E R I C H T

über die

Tagung "Klopffverhalten und Lagerung von Kraftstoffen"
am 16. und 17. Juni 1941
in Berlin-Adlershof.

zusammengestellt und überarbeitet vom
Institut für Betriebspforschung der Deutschen Versuchsanstalt
für Luftfahrt, e.V., Berlin-Adlershof.

Einleitend begrüßte Dr. v. Philippovich die erschienenen Teilnehmer der Tagung und wies darauf hin, daß der Zweck der Zusammenkunft die Erzielung einheitlicher Anschauungen auf dem Gebiete der Überladeprüfung und der Untersuchung des Alterungsverhaltens sein sollte. Wegen der vielfachen sich in beiden Fällen auswirkenden Einflüsse sind die Untersuchungsverfahren weitgehend empirischer Natur; gerade bei solchen Verfahren ist aber die genaueste Abstimmung der Untersuchungsbedingungen dringendste Voraussetzung zur Erzielung gleichmäßiger Ergebnisse.

Fenn durch die Zusammenkunft eine solche gegenseitige Abstimmung der einzelnen Prüfbedingungen und eine Abgleichung der Auffassung über das Klopffverhalten und das Lagerungsverhalten der Kraftstoffe auch nicht in allen Punkten erreicht werden kann, dürfte doch der Versuch, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, die aufgewendete Mühe lohnen und damit den Zweck der Tagung erfüllen.

Anwesenheitsliste
der Teilnehmer am 17.6.1941

Ammoniakwerk Merseburg GmbH., Leunawerke/Merseburg	Dr. Ester
Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, Institut für Betriebsstofforschung, Berlin- Adlershof, Rudower Chaussee	Dr. v. Philippovich, Dr. Seeber, Dr. Mayer-Bugström, Dr. Morghen, Dipl.-Ing. Glaser, Dipl.-Ing. Krienke, Dipl.-Ing. Hesse, Ing. Klein
Erprobungsstelle der Luftwaffe Rechlin	Dr. Werner, Dipl.-Ing. Lange
Erprobungsstelle " " " Travemünde	Dipl.-Ing. Wallner
Forschungsinstitut f. Kraftfahrwesen u. Fahrzeugmotoren an der Techn. Hochschule Stuttgart, Stuttgart-Untertürkheim	Dr. Widmaier
Gelsenberg-Benzin A.-G., Gelsenberg	Dr. Rudolph
Gewerkschaft Mathias Stinnes, Essen	Dr. Ibing
Heereswaffenamt, Bln.-Charlottenburg	Dipl.-Ing. Weber
Hydrierwerk Pölitz A.-G., " Scholven A.-G., Buer- Scholven	Dr. Montfort, Dr. Stümbke Dr. Schönfelder
I.G. Farbenindustrie A.-G., Ludwigshafen, Hochdruckhydrierung	Dr. Dehn, Dr. Hirschberger, Dr. Lajus, Dr. Rächle
Intava, Arbeitsgemeinschaft, Forschungs- u. Versuchsabteilung, Prüffeld Wedel/Holstein	Dr. Wenzel, Ing. Schökel
Olex Dt. Benzin und Petroleum GmbH., Berlin-Rummelsburg	Dipl.-Ing. Knaffl
	Obering. Ostwald, Heppenheim, a.d. Bergstraße
Reichsluftfahrtministerium Berlin	Dr. Beyer, Dr. Dehmlow, Dipl.-Ing. Reußner, Dipl.-Ing. Geh
RIM-Untersuchungsstelle Derben/Elbe	Dr. Schultze
Rhenania-Ossag Mineralölwerke A.-G., Hamburg 1	Dr. Rumpf
Ruhrbenzin A.-G., Oberhausen-Holten	Dr. Velde
Wirtschaftl. Forschungsgesellschaft m.b.H., Berlin W 8	Dr. Kiemstedt, Dipl.-Ing. Bubel

Anwesenheitsliste
der Teilnehmer am 16.6.1941

<u>Ammoniakwerk Merseburg GmbH,</u> <u>Leunawerke/Merseburg</u>	<u>Dr. Ester, Dipl.-Ing. Scholz,</u> <u>Ing. Pflingsten</u>
<u>Deutsche Versuchsanstalt für</u> <u>Luftfahrt, Institut für</u> <u>Betriebstofforschung, Berlin-</u> <u>Adlershof, Rudower Chaussee</u>	<u>Dr. v. Philippovich, Dr. Seeber,</u> <u>Dr. Mayer-Bugström, Dr. Morghen,</u> <u>Dipl.-Ing. Glaser, Dipl.-Ing.</u> <u>Krienke, Dipl.-Ing. Franke,</u> <u>Dipl.-Ing. Hesse, Ing. Broicher,</u> <u>Ing. Klein</u>
<u>DVL, Institut für Triebwerk-</u> <u>gestaltung</u>	<u>Dipl.-Ing. Caroselli.</u> <u>Ing. Wende</u>
<u>" , Inst. f. motor. Arbeitsverf.</u> <u>und Thermodynamik</u>	<u>Dr. Scheuermeyer, Dr. Kornacker</u>
<u>Erprobungsstelle der Luftwaffe</u> <u>Rechlin</u>	<u>Dipl.-Ing. Lange, Dr. Werner,</u> <u>Ing. Möller</u>
<u>Erprobungsstelle " "</u> <u>Travemünde</u>	<u>Dipl.-Ing. Bormann</u>
<u>Forschungsinstitut f. Kraftfahr-</u> <u>wesen u. Fahrzeugmotoren an der</u> <u>Techn. Hochschule Stuttgart,</u> <u>Stuttgart-Untertürkheim</u>	<u>Dr. Widmaier</u>
<u>Gewerkschaft Mathias Stinnes,</u> <u>Essen</u>	<u>Dir. Dr. Broche, Dir. Dr. Winkler,</u> <u>Dr. Ibing, Dr. Koch</u>
<u>Heereswaffenamt, Bln.-Charl'bg.</u>	<u>Dipl.-Ing. Weber</u>
<u>Hydrierwerk Pölitz A.-G.,</u> <u>Stettin-Pölitz</u>	<u>Dr. Stümbke</u>
<u>I. G. Farbenindustrie A.-G.,</u> <u>Ludwigshafen/Rh.</u> <u>Hochdruckhydrierung</u>	<u>Dir. Dr. Pier, Dr. Dehn, Dr. Fromherz,</u> <u>Dr. Hirschberger, Dr. Lajus,</u> <u>Obering. Raichle</u>
<u>I. G. Farbenindustrie A.-G.,</u> <u>Ludwigshafen/Rh.</u> <u>Techn. Prüfstand Oppau</u>	<u>Dipl.-Ing. Penzig, Ing. Singer,</u> <u>Dipl.-Ing. Witschakowski</u>
<u>Intava, Arbeitsgemeinschaft,</u> <u>Forschungs- u. Versuchsabteilung,</u> <u>Prüffeld-Wedel /Holstein</u>	<u>Dr. Wenzel, Ing. Schökei</u>
<u>Luftkriegsakademie Gatow</u>	<u>Prof. Dr. Holfelder</u>
<u>Olex Dt. Benzin u. Petroleum GmbH.,</u> <u>Berlin-Rummelsburg</u>	<u>Dipl.-Ing. Knaffl, Ing. Weise</u> <u>Obering. Wa. Ostwald, Heppenheim a.d.B.</u> <u>Dr. Kranepuhl</u>
<u>Sonderfragen "Chemie", General-</u> <u>bevollmächtigter, Berlin W 9</u>	<u>Dr. Dehmlow, Dipl.-Ing. Adam, Dr. List,</u> <u>Dipl.-Ing. Reußner, Dipl.-Ing. Geh</u>
<u>Reichsluftfahrtministerium</u> <u>Berlin</u>	<u>Dr. Reichel</u>
<u>Rhenania Ossag, Hamburg 1</u>	<u>Dr. Schaub, Dr. Velde</u>
<u>Ruhrbenzin A.-G., Oberhausen-Holten</u>	<u>Prof. Dr. Jost</u>
<u>Universität Leipzig</u>	<u>Dr. Kiemstedt</u>
<u>Wirtschftl. Forschungsges. Berlin</u>	

Inhaltsübersicht.

Begrüßung

- Dr. v. Philippovich: Grundsätzliches zur Bestimmung des Klopfverhaltens von Kraftstoffen.
- Prof. Dr. Jost: Physikalisch-chemische Gesichtspunkte zur Klopfwertbestimmung von Kraftstoffen.
- Dr. Fromherz: Chemisch-physikalische Erfassung des Überladeverhaltens von Treibstoffen.
- Dr. Seeber : Klopfmessungen nach dem DVL-Überladeprüfverfahren.
- Dr. Wenzel : Zur Frage der Wiederholbarkeit der Ergebnisse bei dem DVL-Überladeprüfverfahren.
- Dipl.-Ing. Witschakowski: Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit beim Überladeverfahren.
- Dipl.-Ing. Penzig: Versuche mit flüssigkeitsgekühlten Zylindern.
- Ing. Wende : Das DVL-Klopfmeßverfahren der Druckbeschleunigung.
- Dr. Kornacker: Das Klopfverhalten bei Motoren mit grosser Überschneidung der Ventilsteuerzeiten und beim DVL-Einspritzverfahren mit aufgeteilter Einspritzung.
- Dr. Schaub: Die Überladeprüfung im NSU-Motor der Ruhrbenzin A.-G., Oberhausen-Holten.
- Ing. Singer: Kraftstoffbewertung im kleinen Einzylindermotor.
- Dr. v. Philippovich: Eichstoffe (Bezugskraftstoffe).
- Dipl.-Ing. Knaffl: Temperaturempfindlichkeit von Bezugskraftstoffen bei der Octanzahlbestimmung.
- Dr. v. Philippovich: Anwendung der Überladung für die Ölprüfung.

Diskussion

- Dr. v. Philippovich: Praktisches Lagerverhalten u. seine chemische Charakteristik.
- Dr. Morghen: Bildung schwerflüchtiger Stoffe bei der Lagerung von Flugkraftstoffen.
- Dr. Velde: Lagerungsverhalten von Kraftstoffen.
- Dipl.-Ing. Wallner: Lagerbeständigkeit von Kraftstoffen.
- Dr. Morghen: Hemmstoffe.

- Dr. Velde: Erfahrungen bei der Aromatenbestimmung und der Jodzahl.
-
- Dr. Mayer-Bugström: Zur Aromatenbestimmung nach den Bauvorschriften für Flugmotoren. (BVM 1940)
- Dr. Hirschberger: Über die Aromaten- und Olefinbestimmung in Benzinien gemäß den Bauvorschriften 1940.
- Dr. Hirschberger: Bestimmung des Aromatengehaltes von Benzinien nach der Anilinpunktmethode.
- Dr. Widmaier: FKFS-Schnellverfahren zur Bestimmung des Bleigehaltes in Flugmotoren-Kraftstoffen.

Diskussion

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
Gesdichte (O ₂ =1)	0.8751	0.8749
Flüssigkeitsdichte b. Siedepunkt	0.796	0.793
spez. Wärme C _p bei 0°	0.250	0.250
Schmelzpunkt	-210°C	-210°C
Siedepunkt	-195 "	-190 "
Krit. Druck (Δtm)	53.5	34.6
Krit. abs. Temperatur	127°	154°
Wärmeleitfähigkeit b. 0°C	56x10 ⁻⁶	55x10 ⁻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 bestimmend.¹⁾ 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.
+) zu einander

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

Allgemeingültige Einflüsse	Besondere (individuelle) Einflüsse
Verdichtungsverhältnis (—enddruck)	Drehzahl
Ladelufttemperatur	Ventilüberrechnung
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 Zündverzögerung 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 allbekannte Methode von Jentsch, 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 Blasenzeit 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 Zündverzögerungsmessung noch bessere Ergebnisse erwarten kann.

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

2) Neuerdings 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).

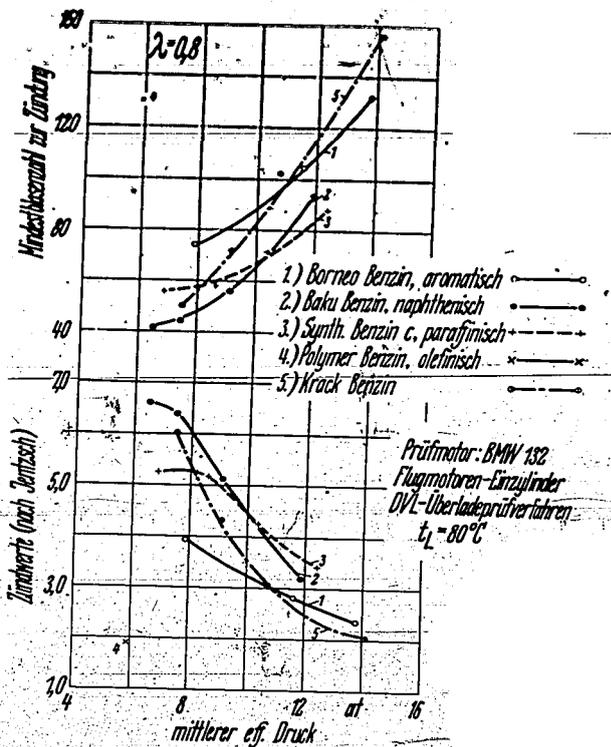


Abb. 1: Motorleistung und Zündverhalten (nach Jentsch) von 5 Benzinarten mit verschiedenen Bleizusätzen.

Jost und Teichmann haben die Laboratoriumscharakteristik in der Weise vorgenommen, dass sie Kraftstoff-Luftgemische in einem Zylinder mit Schaufenster adiabatisch verdichteten und den Zündverzögerungsmassen, der bei verschiedenen Verdichtungsdruck, d. h. auch Endtemperaturen auftrat. Sie sehen in diesem Verfahren die Voraussetzung für eine endgültige Lösung des Problems der Klopfmessung, zum mindesten was die laboratoriumsübige Erfassung anlangt. Die Ergebnisse einer solchen Untersuchung sind in der Abbildung 2 - - den Ergebnissen der motorischen Prüfung gegenübergestellt, 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

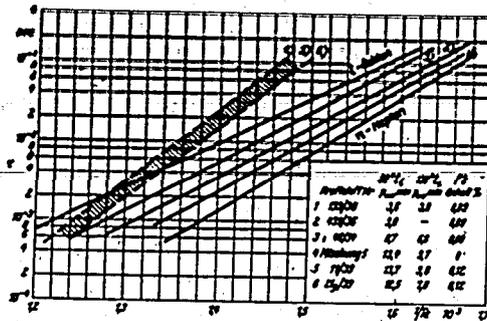


Abb. 2: Zündverzögerung bei adiabatischer Verdichtung für 6 Kraftstoffe nach Jost und Teichmann.

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.

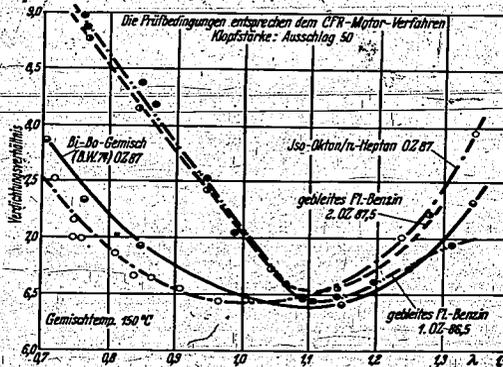


Abb. 3: Bestimmung der Klopfestigkeit bei verschiedenen Luftüberschusszahlen.

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

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-.

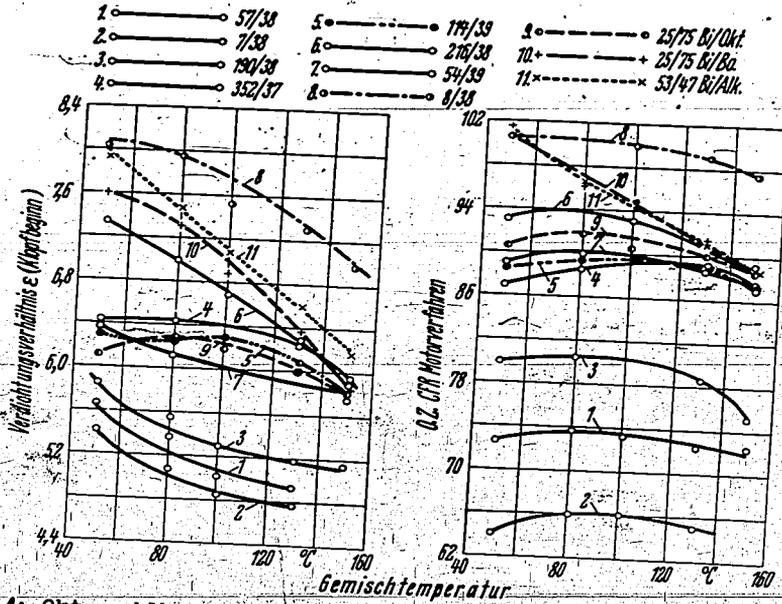


Abb.4: Oktanzahlbestimmung bei verschiedenen Gemischtemperaturen (CFM-Motor).

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-

man 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 Klopfintensität von Flugmotorenkraftstoffen anbelangt.

Von der I.C. 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

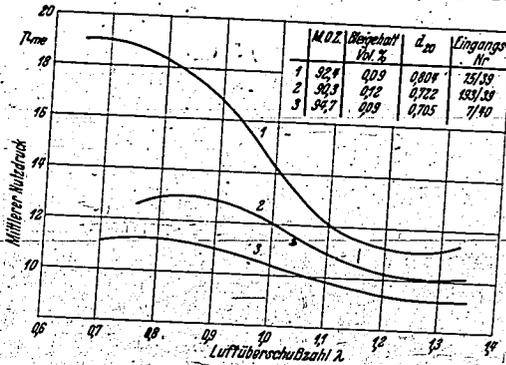


Abb. 5: Klopfgrenze dreier Kraftstoffe (DVL-Grundverfahren).

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-

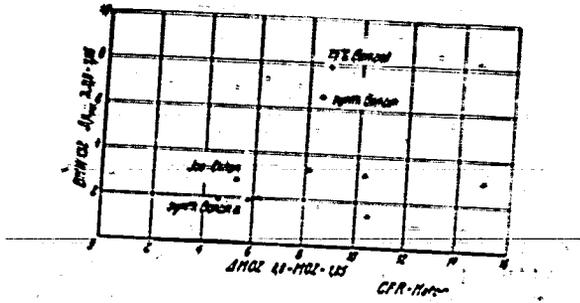


Abb. 6: Unterschiede der Grenzleistungen im BMW 132 und der Oktanzahl im CFR-Motor.

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.

a) Überladbarkeit:

Die Überladbarkeit bis zum Eintritt des Klopfens ist als Mass der sukzessigen 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 werden müssen, aber es ist die Frage, ob die Beziehungen auch für andere Betriebsverhältnisse gelten. Inwieweit dieser Vorbehalt berechtigt ist.

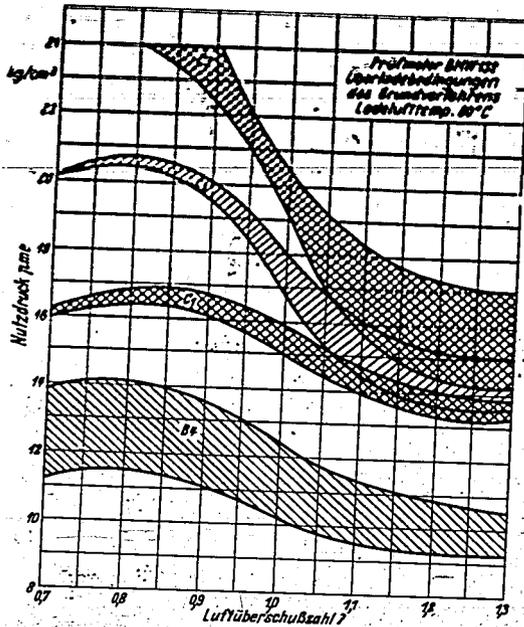


Abb. 7: Bandbreiten von B 4- und Hochleistungskraftstoffen.

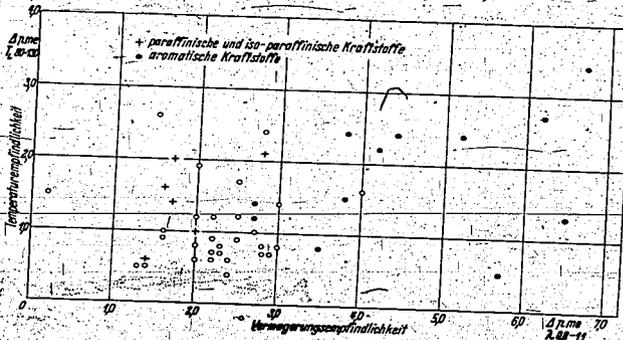


Abb. 8: Vermagerungs- und Temperaturempfindlichkeit verschiedener Kraftstoffe im BMW 132 N (Grundverfahren).

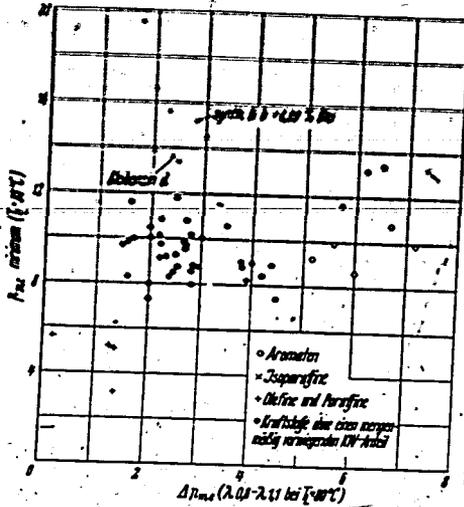


Abb. 9: Zulässige Maximalleistung und Empfindlichkeit gegen Vermagerung verschiedener Kraftstoffe.

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-Überladeprüfung erhalten wurden).

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

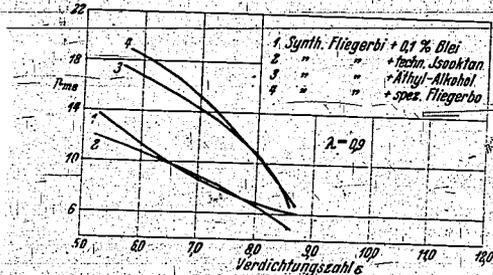


Abb. 10: Fiat A 30 RA mittlerer Nutzdruck bei veränderter Verdichtung.

Temperaturerhöhung (Abbildung 11 - 34023 -)

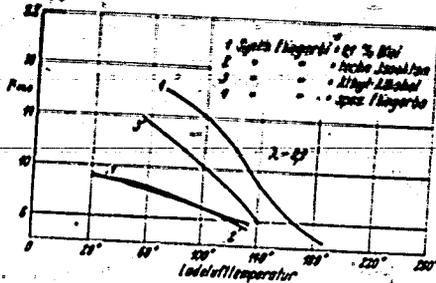


Abb.11: Fiat A 50 RA mittlerer Nutzdruck bei veränderter Ladelufttemperatur.

Zündungsvorverlegung (Abbildung 12 - 34026 -) und

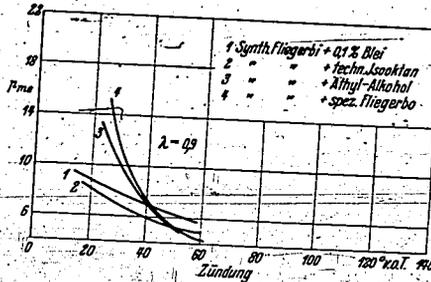


Abb.12: Fiat A 30 RA mittlerer Nutzdruck bei veränderter Zündung.

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-

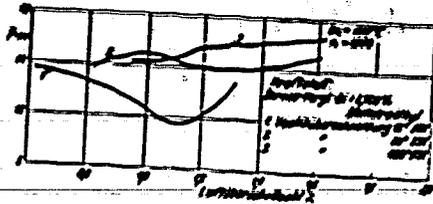


Abb.16: Fiat A 30 RA mittlerer Nutzdruck bei verschiedener Ventil-Überschneidung.

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 grund-

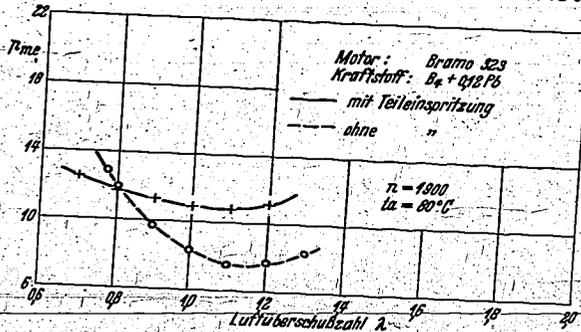


Abb.17: Mittlerer Nutzdruck verändert durch Teileinspritzung.

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-

sustand an seinem abweichenden Verhalten feststellen zu können; die Oktanzmessung muss wieder Jesugkraftstoffe 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 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.

5. 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.

Physikalisch-chemische Gesichtspunkte zur Klopffwertbestimmung von Kraftstoffen.

Von Prof. Dr. W. Joest, Universität Leipzig.

I. Grundsätzliche Betrachtungen.

Die Frage, ob man die Klopffwertbestimmung von Kraftstoffen durch die Messung einfacher physikalischer Größen ersetzen könne, läßt sich grundsätzlich verneinen; denn es besteht keinerlei direkter Zusammenhang zwischen solchen Größen und der Klopffreaktion.

Umgekehrt ist die Frage, ob es möglich ist, das Klopffverhalten aus allgemeinen physikalisch-chemischen, insbesondere reaktionskinetischen Untersuchungen zu ermitteln, grundsätzlich zu bejahen. Vorauszusetzen für ein derartiges Verfahren wäre:

- 1) daß der Klopffvorgang als solcher geklärt ist,
- 2) daß es für einen gegebenen Kraftstoff möglich ist, die "Klopffreaktion" in einer beliebigen Motor oder in einer Laboratoriumsanordnung hinreichend genau zu ermitteln,
- 3) daß es für einen gegebenen Motor möglich ist, die Variablen genügend zu ermitteln, welche auf das Klopffverhalten eines beliebigen Kraftstoffes in diesem Motor von Einfluß sind.

Diese drei Punkte sollen hier zunächst kurz diskutiert werden. Dabei führen die Überlegungen automatisch auf die Frage, ob und wie es möglich ist, Klopffwertbestimmungen von einem Motor auf einen anderen zu übertragen.

Zu 1): können wir uns kurz fassen; die Ergebnisse der Arbeiten aus den letzten Jahren zwingen übereinstimmend zu dem Schluß, daß das Klopfen in einem praktisch momentanen Abreagieren des letzten Gemischrestes im Motor besteht. Solange man Ungleichmäßigkeiten in der Temperatur und in der Gemischzusammensetzung vernachlässigt, bleibt der zeitliche Unterschied für das Abreagieren verschiedener Teile des unverbrannten Gemisches sehr klein, von der Größenordnung Lineardimensionen: Schallgeschwindigkeit, also einige 10^{-5} sec; für die üblichen Anzeigeeinstrumente bedeutet dies Gleichzeitigkeit. Der

Unterschied rührt daher, daß eine Störung in dem Gas sich nur mit Schallgeschwindigkeit bzw. bei endlichen Amplituden mit zwar darüber liegender, aber nicht größenordnungsmäßig verschiedener Geschwindigkeit ausbreitet, wie z.B. von E. Schmidt diskutiert. Daß das Restgemisch im Motor nahezu momentan abreagiert, wird einerseits aus unmittelbaren Beobachtungen am Motor geschlossen, folgt andererseits aus Messungen über das Selbstzündungsverhalten adiabatisch verdichteter Kraftstoff-Luftmischungen. Diese zünden bei Temperaturen und mit Zündverzügen, wie sie gerade den im Motor herrschenden Verhältnissen entsprechen. Die beim Klopfen beobachteten Stoßwellen sind im allgemeinen eine Folge des Klopfens; es bleibt noch zu untersuchen, ob in einzelnen Fällen Stoßwellen, die ja schon bei der Kompression entstehen könnten, für die Einleitung des Klopfens eine Rolle spielen.

Beim Motor bedingen die Schwankungen in Gemischzusammensetzung und im Strömungszustand, sowie der endliche Wärmeübergang Modifikationen, auf die zurückzukommen sein wird.

Zu 2: Die Ermittlung der Klopfreaktion eines gegebenen Kraftstoffes in einem beliebigen Motor ist noch nicht erledigt durch die Bestimmung der Klopfgrenze des Kraftstoffes in diesem Motor in Abhängigkeit von den in Frage kommenden Variablen, wie Gemischstärke (Luftüberschuß), Ansaugtemperatur, Ansaugdruck, Kompressionsverhältnis, Drehzahl, Kühlmitteltemperatur usw.

Die übliche Klopfwertbestimmung im Prüfmotor kommt darauf hinaus, daß man eine aus Brennstoff- und Motoreigenschaften kombinierte Größe mißt. Diese Größe hat praktischen Wert, sowie man dafür sorgt, daß die gewonnene Klassifizierung der Kraftstoffe sich im Mittel der Klassifizierung im praktischen Motor hinreichend anpaßt, und solange die Verhältnisse von Motor zu Motor nur soweit variieren, daß die Abweichungen des Klopfverhaltens vom Mittel nicht zu groß werden. Das trifft z.B. für die CFR-Motor-Methode und ihre Anwendung auf Automobil-Motoren zu.

Die Schwierigkeiten, die einer so einfachen Klassifizierung für die Anwendung in Flugmotoren entgegenstehen,

sind hinreichend bekannt.

Das allgemeine Rezept, dieser Schwierigkeiten Herr zu werden, ist so einfach, wie eine praktische Ausführung z. Zt. schwierig ist: man eliminiere die Faktoren, die bei der Klopfwertbestimmung von dem zufälligen Prüfmotor herrühren und berücksichtige statt dessen die Faktoren, die für den zu verwendenden Motor charakteristisch sind. Die praktische Seite werden wir später erörtern; zunächst noch einige grundsätzliche Bemerkungen. Eliminiert man die von dem Prüfmotor herrührenden Faktoren, so muß eine reine Brennstoffeigenschaft zurückbleiben; diese reine Brennstoffeigenschaft ist dann natürlich auch genau so gut ohne Verwendung irgend eines Motors, also z. B. nach unserer Methode der Zündung durch adiabatische Verdichtung und Bestimmung der Zündverzögerung in Abhängigkeit von den in Frage kommenden Variablen zu bestimmen. In letzterem Falle verbleiben gar keine grundsätzlichen Schwierigkeiten. Im ersterem Falle - Verwendung eines Prüfmotors - müßte man von der Charakterisierung der Bedingungen durch Motor- und Betriebsangaben (wie Ansaugtemperatur, Überladedruck, Kühlmitteltemperatur) zu klaren physikalischen Kennzahlen übergehen. Dies führt auf

3) die Ermittlung der Variablen, die in einem Motor auf das Klopfen von Einfluß sind, nämlich in erster Linie Druck und Temperatur des unverbrannten Gemisches in ihrer zeitlichen und (bei der Temperatur) ihrer räumlichen Verteilung. Die Diskussion der zusätzlichen praktischen Schwierigkeit, des Einflusses von zufälligen Unregelmäßigkeiten in Strömungszustand, Gemischzusammensetzung und Temperatur werde wieder zurückgestellt. Der Druckverlauf ist grundsätzlich mittels Indikatoren erhältlich, wenn auch die Genauigkeitsansprüche vielleicht etwas höher sind, als sie an die üblichen Meßmethoden gestellt werden. Für die Ermittlung der Temperaturen ist noch viel grundsätzliche Arbeit zu leisten, wofür von Wert sind Messungen mittlerer Temperaturen, von Kolben- und Zylindertemperaturen und aller den Wärmeübergang betreffenden Größen, in Abhängigkeit von allen in Frage kommenden Variablen, ferner natürlich alle Versuche zu direkten

(lokalen und momentanen) Temperaturmessungen und schließlich Druckmessungen in Kombination mit Messungen des Füllungsgrades, für Betrieb ohne und mit Zündung.

Dies ist natürlich ein Programm auf lange Sicht. Hier wird man die grundsätzliche Einwendung machen, daß es so noch keinesfalls möglich sei, die unregelmäßigen Schwankungen innerhalb des Motors mit zu erfassen, und daß deshalb an eine praktische Nutzbarmachung derartiger Messungen und Überlegungen nicht zu denken sei. Demgegenüber ist festzustellen, daß man solche Einflüsse tatsächlich nicht durch einfache physikalische Messungen wird festlegen können, daß man aber im allgemeinen schon sehr weitgehende Angaben darüber besitzen wird, wenn man an dem interessierenden Motor das Klopfverhalten eines einzigen Kraftstoffes in Abhängigkeit von allen in Frage kommenden Variablen durchgemessen hat.

II. Praktische Gesichtspunkte.

Die Folgerung für die Praxis aus dem Vorangehenden dürfte sein: man muß hier, wie in sehr vielen anderen Fällen, gleichzeitig auf zwei Wegen vorgehen. Den größtmöglichen Fortschritt, aber erst auf lange Sicht und mit viel Aufwand, wird man erzielen durch systematische Verfolgung der vorstehend skizzierten Gedanken; deshalb wird dieser Weg unbedingt nötig sein. Zur Erfüllung der Forderung der Praxis nach schnellen, wenn auch begrenzten Fortschritten, bleibt der Weg des Probierens, wobei die theoretischen Überlegungen wenigstens Fingerzeige für die einzuschlagende Richtung und für die Vermeidung überflüssiger Arbeit liefern können.

Wir sind hier einer Anregung von Dr. v. Philippovich gefolgt und haben versucht, ob es möglich ist, als erste Annäherung die Charakterisierung des Motorzustandes (d.h. die Angabe seines Zustandes durch definierte physikalische Größen) zu ersetzen durch eine Eichung des Motors durch mindestens zwei Kraftstoffe hinreichend verschiedener Charakteristik. Die Behandlung dieser Frage durch Herrn Dr. Rögner hat ergeben, daß von einem bestimmten Näherungsstandpunkt aus tatsächlich so eine Charakterisierung des Motors mög-

lich sein sollte.

Es ist schon darauf hingewiesen worden, daß man zur Berücksichtigung der im praktischen Motorbetrieb auftretenden Schwankungen (des Strömungszustandes, der Gemischzusammensetzung, der Temperatur), sowie des Wärmeüberganges einen jeden Motor mit mindestens einem Bezugskraftstoff-eichen muß. Man kann nun fragen, ob sich nicht wenigstens ein Teil der Messungen physikalischer Größen am Motor ersetzen läßt durch Eichung des Motors mit mehr als einem Bezugskraftstoff. Dieser Weg erscheint tatsächlich nicht aussichtslos, wenn man bestimmte Annäherungen als zulässig betrachtet. Ob man so zu praktisch brauchbaren Resultaten gelangt, kann natürlich nur der Versuch zeigen und wir hoffen, in absehbarer Zeit in der Lage zu sein, an Hand von Versuchen der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt hier genauere Aussagen zu machen.

Falls es gelingt, den Zustand eines Motors durch Eichmessungen mit mindestens zwei Bezugskraftstoffen wesentlich verschiedener Charakteristik hinreichend genau zu charakterisieren, dann scheint es sinnvoll zu fragen, ob man unter Benutzung dieser Daten Klopfwertbestimmungen eines Kraftstoffes an einem Motor auf einen anderen Motor übertragen kann. Diese auf Herrn Dr. v. Philippovich zurückgehende Fragestellung ist bei uns auf Grund des vorhandenen Materials eingehend diskutiert worden. Es scheint - auf Grund des immerhin sehr beschränkten Materials - daß eine Übertragung der Klopfgrenzkurve im p - ξ -Diagramm von einem Motor auf einen anderen möglich ist; dies wäre natürlich an weiterem Material zu überprüfen und das benutzte heuristische Verfahren gegebenenfalls zu modifizieren. Es sei aber bemerkt, daß die Übertragung der praktisch wichtigsten λ -Überladungs-Grenzkurve von einem Motor auf den anderen zunächst noch nicht gelingt. Dies hängt vermutlich u.a. damit zusammen, daß die Zusammensetzung des klopfenden Anteils von Motor zu Motor infolge wechselnder Restgaszumischung, ungleichmäßiger Gemischbildung usw. stark schwankt und man gar nicht entsprechende λ -Werte miteinander vergleicht. Hier kann erst weiteres experimentelles Material eine Entscheidung bringen.

Chemisch-physikalische Erfassung des Überlade-
verhaltens von Treibstoffen.

Von Dozent Dr. Hans Frommherz,
I.G. Farbenindustrie A.-G., Ludwigshafen /Rh. (Hochdruckversuche)

Der Inhalt des Vortrages stellt eine kurze Übersicht über zwei Arbeitsrichtungen der I.G. Ludwigshafen, Hochdruckversuche, dar.

I. Zur theoretischen Deutung von Klopfgrenzkurven. 1)

Das Ziel war, die inneren Zusammenhänge, die die Lage, Form und Temperatur-Abhängigkeit der Klopfgrenzkurven verschiedener Kraftstoffarten bedingt, theoretisch verstehen zu lernen.

Um den charakteristischen Verlauf der Klopfgrenzkurven theoretisch zu erklären, wurde von der bekannten Vorstellung ausgegangen, daß für das Eintreten des Klopfens die höchste im unverbrannten Teil der Zylinderladung erreichte Temperatur verantwortlich ist. Diese ändert sich bei Änderung der Ladelufttemperatur und der Luftüberschuszahl λ in einer Weise, die sich aus der Kompressions- und Verbrennungstemperatur berechnen läßt. Bei der Aufnahme der Klopfgrenzkurven wird die Änderung der Maximaltemperatur in Abhängigkeit von λ durch eine entsprechende Ladedruckänderung so kompensiert, daß gerade wieder Klopfen einsetzt. Kennt man nun die Temperatur und Druckabhängigkeit der hierfür maßgebenden chemischen Reaktionen, so kann man auf Grund dieser Überlegung Klopfgrenzkurven berechnen. In dieser Weise wurden aus der Temperatur- und Druckabhängigkeit der Selbstzündungsreaktion für zwei in ihrem motorischen Verhalten stark verschiedene Kohlenwasserstoffe, Isooktan und Benzol, in Abhängigkeit von der Luftüberschuszahl λ Klopfgrenzkurven für verschiedene Ladelufttemperaturen berechnet. Die berechneten Kurven zeigen eine Reihe von Gesetzmäßigkeiten.

1) Gemeinsam mit Dr. v. Kuffling und Dr. Nonnenmacher

- 1) Beim Benzol verlaufen die Klopfgrenzkurven wesentlich steiler als beim Isooktan.
- 2) Bei Erhöhung der Ladelufttemperatur nehmen die Ladedrücke beim Benzol stärker ab als beim Isooktan.
- 3) Das Minimum der Klopfgrenzkurven liegt bei einer Ladelufttemperatur von 80°C in der Umgebung von $\lambda = 1,1$ und zwar bei Isooktan bei höheren λ -Werten als bei Benzol. Es verschiebt sich bei Erhöhung der Ladelufttemperatur bei Benzol nach kleineren λ -Werten, bei Isooktan ist eine schwache Verschiebung nach höheren λ -Werten zu erkennen.
- 4) Die Klopfgrenzkurven verlaufen allgemein bei Erhöhung der Ladelufttemperatur steiler, d.h. die Grenzdrücke verschieben sich im Luftüberschußgebiet stärker als im fetten Gebiet.

Darnach stimmt also der charakteristische Verlauf der berechneten Kurve mit den experimentellen Kurven weitgehend überein. Obgleich zur Gewinnung eines ersten Einblicks bei der Berechnung verschiedene vereinfachende Annahmen gemacht wurden, weist die Übereinstimmung doch darauf hin, daß die zugrunde gelegte Theorie die wirklichen Verhältnisse annähernd richtig beschreibt. Demnach lassen sich die charakteristischen Eigenschaften der Klopfgrenzkurven chemisch verschiedener Kraftstoffe in ihrer Abhängigkeit vom Mischungsverhältnis Kraftstoff-Luft und von der Ladelufttemperatur, in erster Näherung allein aus dem Verlauf der Temperatur in Kraftstoff-Luftgemisch bei der Kompression und Verbrennung ableiten, ohne besondere Zusatzannahme über unterschiedliche Reaktionsmechanismen der einzelnen Kraftstoffe. Mit diesen Vorstellungen lassen sich auch die Unterschiede der Klopfgrenzkurven mit veränderlicher und konstanter Zündung und die Klopfgrenzkurven mit großer Ventilüberschneidung verstehen.

II. Berechnung der Klopfgrenzkurven von Treibstoffen aus der Oktanzahl des Restbenzins und aus dem Aromatengehalt (und Naphthengehalt).

Aus Abschnitt I geht die Möglichkeit hervor, die wesentlichen Gesetzmäßigkeiten der Klopfgrenzkurven durch reine Temperaturbetrachtungen ohne Annahme spezieller Reaktionsmechanismen zu erklären. Dies legt nahe, das Überladeverhalten von Treibstoffgemischen additiv aus dem Verhalten der einzelnen Komponenten mittels einer Mischungsregel zu berechnen. Dies läßt sich in der Tat mit einer Genauigkeit von ± 1 at in p_{me} für das Maximum und für das Minimum der Klopfgrenzkurven durchführen.

Die allgemeine Regel dieser Berechnung läßt sich in folgenden zusammenfassen:

1) Die Maxima und Minima der Klopfgrenzkurven, insbesondere von Aromatentreibstoffen setzen sich in erster Näherung additiv nach der Mischungsregel zusammen aus einer Einheitsklopfgrenzkurve für Aromaten und der Klopfgrenzkurve des Restbenzins (gegebenenfalls des Restbenzins einschl. Isooktan).

2) Die Maxima und Minima der Klopfgrenzkurve des Restbenzins geht mit seiner Motoroktanzahl parallel nach einer durch eine Kurve gegebene empirische Beziehung.

Diese allgemeine Regeln lassen feinere Einflüsse wie die Wirkung des Naphthengehaltes im Restbenzin oder das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Aromaten unberücksichtigt.

Einfluß des Naphthengehaltes. Ersetzt man in einem Benzin (bezw. Restbenzin) einen gewissen Prozentsatz des darin enthaltenen Naphthens durch den gleichen Prozentsatz an paraffinischem Benzin mit einer dem herausgenommenen Naphthen gleichen Oktanzahl (Motormethode), so ändert sich an der Klopfgrenzkurve folgendes:

- a) das $p_{me}(\text{Min.})$ (bei $\lambda = 1,2$) ändert sich in erster Näherung nicht.

- b) das p_{ne} (Max.) (bei $\lambda = 0,8$) wird für je 10 Vol.-% herausgenommen und durch paraffinisches Benzin der gleichen Oktanzahl ersetzt. Naphthens näherungsweise um 0,65 at erniedrigt.

Unterschiedliches Verhalten der Aromaten.

Ein sorgfältiger Vergleich einer sehr großen Anzahl entsprechender Klopfgrenzkurven zeigte, daß gewisse höher als Toluol siedende Aromaten ein besseres Überladeverhalten als niedrigere Aromaten haben.

Eine eingehende Untersuchung ließ erkennen, daß Aromaten, die Seitenketten mit mindestens 2 C-Atomen in der Kette besitzen, ein besonderes günstiges Überladeverhalten aufweisen. Bekanntlich ist die C-C-Bindung zwischen dem ersten und zweiten C-Atom der Seitenkette am schwächsten. Das Vorhandensein einer derartig schwachen Stelle wirkt sich offenbar, ähnlich wie bei den Olefinen die Doppelbindung, für das Klopf- und Überladeverhalten günstig aus.

Das oben auseinandergesetzte Verfahren zur angenäherten Vorausberechnung von Klopfgrenzkurven aus Aromatengehalt und Oktanzahl des Restbenzins kann auch mit Erfolg benutzt werden, um die praktisch sehr wichtige Frage quantitativ zu beantworten, in welcher Menge man geeignete Stoffe (von Isooktan, Alkyloktan, Alkoholbenzin, Leichtbenzin oder Aromaten) zu einem gegebenen Benzin zugeben muß, um es auf C_3 oder C-Qualität zu bringen.

Es möge zum Schluß noch besonders betont werden, daß es sich bei dieser Ausführung um erste, noch keineswegs fest fundierte Ansätze handelt, die mehr den Charakter von Arbeits-hypothesen haben.

Trotzdem stellen sie für uns jetzt im Kriege eine wertvolle Hilfe dar, wo es heißt, bei plötzlich auftretenden kriegswichtigen Fragen schnell eine Übersicht zu gewinnen und schnell zu entscheiden und zu handeln, ohne daß die Möglichkeit besteht, noch langwierige Untersuchungen anzustellen.

Klopfmessungen nach dem DVL-Überladeprüfverfahren.
Von Dr.-Ing. F. Seeber, DVL, Berlin-Adlershof

- Gliederung:
- I. Einleitung
 - II. Streugrenzen von Überladekurven an einem Prüfmotor
 - a) Überwachung der Maschinenanlage
 - b) Beeinflussung von Gestalt und Lage der Klopf-grenzkurven durch verschiedene Fehlerquellen
 - 1. Kraftstoffseitig
 - 2. Versuchstechnisch
 - c) Untersuchungen zur Ermittlung von Streugrenzen.
 - 1. Paraffinische bzw. isoparaffinische Kraftstoffe
 - 2. Aromatische Kraftstoffe
 - III. Reproduzierbarkeit von Klopf-grenzkurven an mehreren Prüfmotoren mit identischen Kraftstoffen
 - a) Ergebnisse der ersten Vergleichsversuche (1940)
 - b) Ergebnisse der zweiten und dritten Vergleichsversuche (1. Halbjahr 1941)
 - IV. Folgerungen aus Einzel- und Vergleichsversuchen für die praktische Überladeprüfung

I. Einleitung.

Über das DVL-Überladeprüfverfahren wurde erstmalig vor einem größeren Zuhörerkreis auf der Kraftstoff-Sondertagung der Lillenthal-Gesellschaft in Hamburg im Februar 1939 berichtet. In den Bauvorschriften für Flugmotoren (BVK), Ausgabe Oktober 1940, ist der derzeit vorgeschriebene Prüfmotor mit dem Prüfzylinder BAW 132 N, sowie die Bedingungen der Prüfverfahren (vereinfachtes- und Grundverfahren) niedergelegt. Eine erste Ergänzung zu diesen Prüfvorschriften, die im Mai 1941 herauskam, war zur weiteren Vereinheitlichung der Überladeprüfung notwendig geworden. Sollte dieser Ergänzungsteil noch nicht allen daran interessierten Anwesenden zugänglich gemacht worden sein, so sei hier nur kurz bemerkt, daß es sich hauptsächlich um folgende Punkte handelt:

- 1) noch genauere Beschreibung des Prüfmotors
- 2) Notwendigkeit der Verwendung eines Hochleistungseichkraftstoffes und

3) Einschränkung der bisher angegebenen Fehlergrenzen für vorwiegend paraffinische wie isoparaffinische Kraftstoffe

Das Überladeprüfverfahren wurde zunächst ausschließlich an Hand von zahlreichen Versuchen der DVL aufgebaut. Bisher wurden an dem Prüfstand des Institutes weit über 850 Überladekurven gefahren. Im Laufe der Zeit konnten sich weitere vier Prüfstellen und zwar

der technische Prüfstand Oppau der I.G. Farbenindustrie,
die B'stelle Rechlin,
die Intava, Hamburg und
das Ammoniakwerk Merseburg

mit der Überladeprüfung von Kraftstoffen eingehendst beschäftigen. Bei der Angleichung der einzelnen Prüfstände ergaben sich die verschiedensten Schwierigkeiten, die jedoch im Laufe der Zeit z.T. behoben werden konnten, sodaß im Herbst 1940 die ersten Vergleichsversuche vorgenommen wurden. Über den Erfolg dieser, wie neuerer Vergleichsversuche wird später kurz berichtet.

Bei der gemeinsamen Arbeit, das DVL-Überladeprüfverfahren für Zwecke der Forschung, wie zur Abnahmeprüfung zu stabilisieren, haben sich im besonderen zwei Punkte herausgestellt:

- 1) Die genaue Überwachung der gesamten Prüfanlage (dies ist als Vorarbeit für den in Vorbereitung befindlichen Kraftstoffprüfstand außerordentlich wichtig).
- 2) Die genaue Festlegung des gesamten Meßvorganges. Damit soll die Möglichkeit gegeben werden, genauere Streugrenzen ein und desselben Kraftstoffes an verschiedenen Tagen an einem Prüfstand, sowie weiterhin die Reproduzierbarkeit an mehreren Prüfständen festzulegen.

II. Streugrenzen von Überladekurven an einem Prüfmotor.

Die folgenden Ausführungen sollen sich zunächst mit den Streugrenzen von Überladekurven an einem Motor befassen.

a) Überwachung der Maschinenanlage:

Hierzu erst einige Worte über die Überwachung der Maschinenanlage.

Daß vor einer Überladeprüfung eines Kraftstoffes sich der Prüfmotor in einwandfreiem Zustande befinden muß, soll als

Selbstverständlichkeit nur kurz erwähnt werden. Aus den Prüfverschriften, Abs. 7234, Teil c, 1 bis 4, geht hervor, was zur Prüfung des einwandfreien Zustandes des Prüfmotors notwendig ist.

Die übliche Kontrolle des Maschinenzustandes mit B 4-Kraftstoff im "klopfreien" Gebiet ohne Aufladung Abb.1, -34086- hat sich ebenso wie auch bei der Festlegung der Klopfneigung des Prüfmotors mit dem gleichen Kraftstoff als Zustandsprüfung für eine nachfolgende Untersuchung eines Hochleistungskraftstoffes als ungenügend herausgestellt.

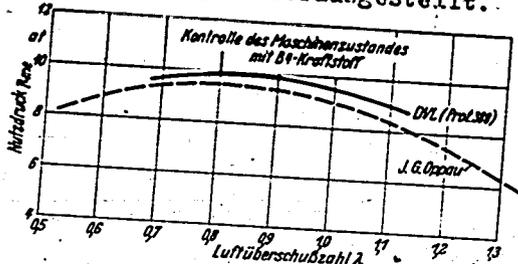


Abb.1: Kontrolle des Maschinenzustandes mit B 4-Kraftstoff.

Die Klopfneigung des Prüfmotors muß für Hochleistungskraftstoffe, also für hohe Überladungen (ab $P_L = \sim 1500$ mm Hg, $P_{me} = 17$ atm) ausschließlich mit einem ebenfalls hochklopf-festen Eichstoff erfolgen. Erst wenn mit diesem Eichstoff die früher gefundene Klopfempfindlichkeit bestätigt wird, kann die eigentliche Hochleistungskraftstoffprüfung beginnen.

Als weiterer wichtiger Punkt ergab sich die Tatsache, daß Überladeprüfungen erst nach genügender Einlaufzeit des Prüfaggregates und zwar nicht nur nach einer erfolgten Grundüberholung, sondern auch nach einem notwendig gewordenen Kolbenwechsel stattfinden dürfen. Wird auf diesen Einlauf zu geringe Aufmerksamkeit verwendet, so läuft man Gefahr, nicht einwandfreie Überladekurven zu erhalten. Beispiele darüber werden später gezeigt.

Die infolge der zur Zeit herrschenden Verhältnisse oft nur schwer einzuhaltenden Überholungs- und Kontrollarbeiten des gesamten Prüfstandes müssen, wie die BVM-Vorschrift unter 7932 angibt, trotzdem unbedingt eingehalten werden, da sonst nur allzu leicht Fehlmessungen auftreten.

Daß sämtliche augenblicklich zur Überladeprüfung herangezogenen Prüfmotoren, besonders bei der Verwendung des meist aus Gresetz- und Ausschussteilen zusammengebauten DM7 132-Prüfaggregates mit Sterngehäuse, aufeinander abgestimmt sein müssen, ist Grundvoraussetzung für eine einwandfreie Kraftstoffprüfung. Beispiele hierfür gibt die Geschichte der Octanzahlmessung in genügender Auswahl.

b) Beeinflussung von Gestalt und Lage der Klopfgrenzkurven durch verschiedene Fehlerquellen:

In welchem Maße die Gestalt und Lage einer Klopfgrenzkurve durch verschiedene, oft nicht genügend beachtete Einflüsse verändert werden kann, zeigen die folgenden Ausführungen.

1. Kraftstoffseitig bedingte Einflüsse:

Voraussetzung für jede exakte Kraftstoffprüfung ist die Garantie einer tatsächlich einwandfreien Probeentnahme des Kraftstoffes. Schon hier schleichen sich die verschiedensten Fehlermöglichkeiten ein. Auch die Wahl nicht geeigneter Transportgefäße kann, wenn z.B. eine Probe längere Zeit lagern muß, zu dem schon öfters beobachteten Bleiausfall führen. Deshalb sollten Kraftstoffproben soweit möglich, grundsätzlich unverbleit angeliefert werden, wobei jedoch dann beachtet werden muß, daß bei der später zu erfolgenden Aufbleiung (kurz vor der Überladeprüfung) eine genaue Gesamtmengenabmessung notwendig ist. Welche Verschiebung der Klopfgrenzkurve - z.B. bei einem B 4-Stoff - eintreten kann, wenn der Bleitetraäthylgehalt nicht genau eingehalten wird, zeigt das folgende Bild 2 - 34087 -.

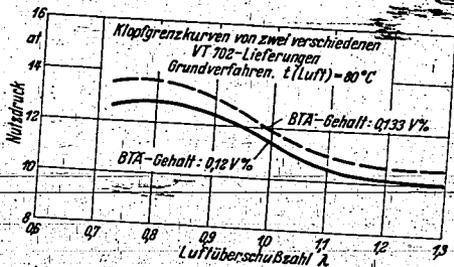


Abb. 2: Einfluß verschiedenen BTA-Gehaltes. Klopfgrenzkurven von zwei verschiedenen VT 702-Lieferungen.

Beide Kraftstoffe wurden der DVL vom Herstellerwerk als mit 0,12 Vol.-% BTÄ versetzt angeliefert. Die Überprüfung des BTÄ-Gehaltes ergab nach mehreren Verfahren und wiederholten Messungen einmal 0,12, das andere Mal 0,131 Vol.-% BTÄ. Bei 20% Kraftstoffüberschuß beträgt die Hebung der Kurve 0,8 kg/cm² Nutzdruk, bei 10% Luftüberschuß 0,5 kg/cm². Diese Feststellungen mußten auch bei verschiedenen C 3-Produkten, die der DVL verbleit zur Prüfung angeliefert wurden, gemacht werden.

Ferner hat sich im Laufe der Zeit die Sitte eingebürgert, bei laufenden Qualitätsmessungen an Hand der Beziehung zwischen spezifischem Gewicht und dem H₂-Gehalt das theoretische Mischungsverhältnis L₀ aus einer Tafel abzulesen. Dieses Verfahren ist jedoch bei hocharomatischen Kraftstoffen, wie dies in Bild 3 - 34085 - gezeigt wird, mit Vorsicht anzuwenden.

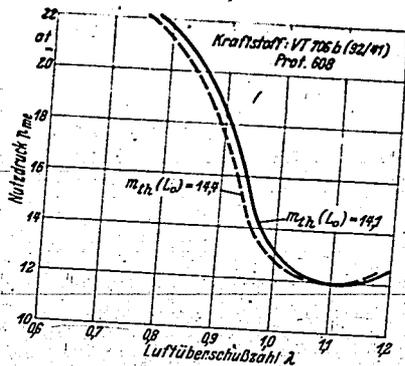


Abb. 3: Verschiebung der Klopfgrenzkurve durch Änderung des theoretischen Mischungsverhältnisses.

Wird der rechnerischen Auswertung z.B. statt 14,1 kg Luft/kg Kraftstoff "14, 4" zu Grunde gelegt, so verlagert sich die Kennkurve um einen merklichen Betrag. Bei 10% Kraftstoffüberschuß kam z.B. eine Hebung bzw. Senkung des Nutzdrukkes von ca. 0,9 kg/cm² eintreten (dieser Wert liegt schon außerhalb der Fehlergrenze). Deshalb ist besonders bei Entwicklungstoffen, sowie bei Produkten, deren fabrikationsmäßiger Anfall Schwankungen unterworfen sind, die Beziehung H₂-Gehalt - spez. Gewicht mit Vorsicht anzuwenden.

2. Versuchstechnisch bedingte Einflüsse:

Die Gestalt und Lage einer Klopfgrenzkurve wird naturgemäß auch dann beeinflusst, wenn verschiedene Hilfegeräte nicht genau den Prüfvorschriften entsprechen. Ferner sollen die nachfolgend angeführten Beispiele Unterlagen dafür geben, inwieweit sich die Streugrenzen von Klopfgrenzkurven einengen lassen.

Die Prüfbedingungen der BVI schreiben Magnetzündung vor. Soweit mir bekannt ist, arbeiten jedoch einige Prüftellen mit Batteriezündung. Es interessiert daher, welchen Einfluß beide Zündungsarten auf die Klopfgrenzkurve haben.

Bild 4 - 34090 - zeigt diesen Einfluß für einen B 4-Kraftstoff und für einen Hochleistungskraftstoff. Die Versuche wurden hintereinander gefahren und jeweils die gleichen Kerzen verwendet.

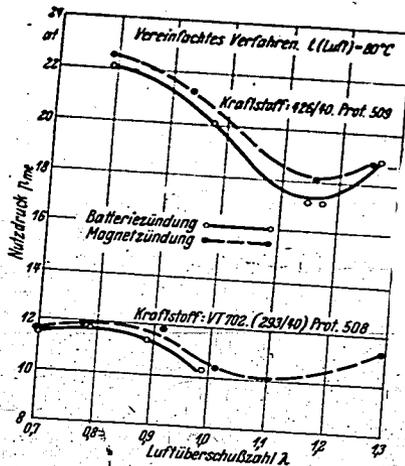


Abb. 4: Einfluß von Batterie- und Magnetzündung auf die Klopfgrenzkurven.

Die Tatsache des Einflusses der verschiedenen Zündungsarten könnte damit erklärt werden, daß bei der Batteriezündung ein stärkerer, intensiver Zündfunke gebildet wird, dessen Zündintensität sich bei hohen Drücken stärker auswirkt als bei niedrigeren. Daher ist der Einfluß bei einem

B 4-Kraftstoff weniger groß als bei dem Hochleistungskraftstoff. Die gemessene Abweichung beträgt im Umkehrpunkt der Kurve ungefähr $0,7 \text{ kg/cm}^2$.

Eine weitere Beeinflussung der Klopfgrenzkurve z.B. eines C 3-Kraftstoffes erfolgt durch Änderung des Elektrodenabstandes der Zündkerze. Die in den Prüfvorschriften angegebene Zündkerze W 260 T mit einem normalen Elektrodenabstand von $0,7 \text{ mm}$ führte bei höheren Überladungen sehr oft zu Zündungsschwierigkeiten (Aussetzer). Diese traten nicht mehr auf, nachdem der Elektrodenabstand auf $0,4 \text{ mm}$ herabgesetzt wurde. Mit dieser Änderung wurde ein besseres Überspringen des Zündfunken bewirkt und ein evtl. Ausblasen des zu schwachen Funken verhindert. Der Einfluß des verschiedenen Elektrodenabstandes auf die Verlagerung der Klopfgrenzkurve zeigt Bild 5 - 34092 - . In den Prüfvorschriften wurde unter 7236 o der entsprechende Zusatz aufgenommen.

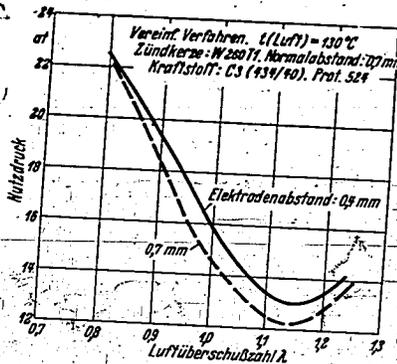


Abb. 5: Änderung der Klopfgrenzkurve durch verschiedenen Elektrodenabstand der Zündkerze.

Werden abweichend von den Prüfvorschriften andere Verbindungsleitungen zwischen Ausgleichbehälter und Einlaß des Prüfmotors verwendet, so können besonders im Umkehrpunkt starke Verschiebungen der Klopfgrenzkurve eintreten. Bis zur endgültigen Einführung des kommenden Kraftstoffprüfstandes muß das in den Prüfvorschriften angegebene Verbindungsstück zur Überladeprüfung verwendet werden, auch wenn dasselbe vom schwingungstechnischen Standpunkt aus gesehen, nicht voll befriedigen sollte.

Die Nichteinhaltung des vorgeschriebenen Kuhlluftdruckes von 200 mm Hg führt bei dem mit 132 mm Innendurchmesser erst bei sehr starken Änderungen zu meßbaren Unterschieden Bild 6 - 34093 -.

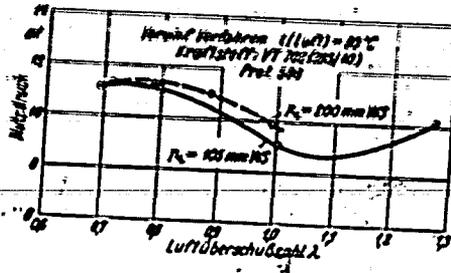


Abb. 6: Einfluß des Kuhlluftdruckes.

Erwähnt sei hier noch, daß ein Schließen der Drosselklappe um 10° , sowie die Änderung des Öldruckes zwischen 5 und 7 kg/cm^2 sich bei der Aufnahme einer Klopfgrenzkurve nicht genügend bemerkbar macht. Inwiefern Änderungen des Öldruckes außerhalb dieser Grenzen eine Veränderung der Klopfgrenzkurven bedingen, wurde bisher nicht untersucht.

Gelegentlich der Durchführung der ersten Vergleichsversuche nach dem Überladeprüfverfahren zeigte sich bei der Klärung der Frage, warum die Klopfgrenzkurve der DVL und der I.G. Oppau nicht übereinstimmten, daß infolge der Verwendung von Einbauteilen die von verschiedenen Lieferanten bezogen wurden, Bauteile nicht gleicher Art verwendet worden waren. Die Hauptöldüse in der Kurbelwelle war bei der DVL geöffnet, bei dem technischen Prüfstand geschlossen. Welchen Einfluß die offene bzw. die geschlossene Öldüse bei Verwendung identischer Kraftstoffe besitzt, zeigt Bild 7 - 34091 -. In der BVM-Vorschrift wurde auf die Verwendung der offenen Hauptdüse besonders hingewiesen.

Von großer Bedeutung ist ferner für die Verlagerung der Klopfgrenzkurve die Kolbeneinlaufzeit. Bild 8 - 34093 - zeigt die Klopfgrenzkurve eines CV 2b-Kraftstoffes bei einer ungenügenden Kolbeneinlaufzeit von 4 Std. Die gestrichelte Kurve zeigt ihrerseits die nach genügender Einlaufzeit des

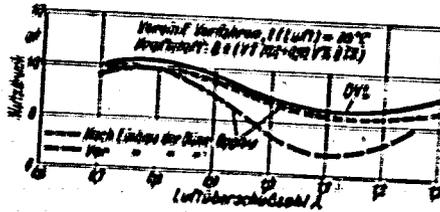


Abb. 7: Hebung der Klopfrenzkurve durch Einbau der Düse in die Kurbelwelle.

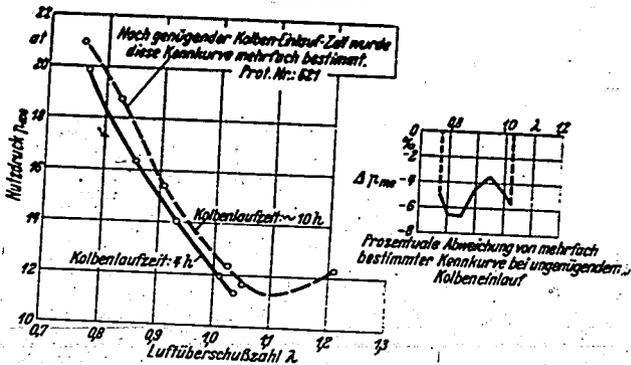


Abb. 8: Einfluß der Kolbeneinlaufzeit.

Kolbens mehrmals bestimmte Klopfrenzkurve. Durch die Nichteinhaltung einer Mindestkolbeneinlaufzeit von ca. 8 Std. können daher Fehler bis zu etwa 6% auftreten.

c) Untersuchungen zur Ermittlung von Streugrenzen:

Nachdem nun einige der wichtigsten Einflußmöglichkeiten auf die Lage der Klopfrenzkurve kurz gestreift werden konnten, soll nun an Hand einiger weniger Beispiele gezeigt werden, welche Streugrenzen bei typischen Kraftstoffen gleicher Lieferung bzw. verschiedener Lieferung sich ergeben, wenn die Prüfbedingungen so genau wie möglich eingehalten werden. Bemerkenswert sei zuvor noch, daß die in den Prüfbedingungen angegebenen Fehlergrenzen sich fast ausschließlich auf Versuchunterlagen stützen, die in der DVL mit paraffinischen und iso-paraffinischen Stoffen bzw. Kraftstoffen mit einem Aromatengehalt von nicht mehr als 30% gemacht wurden.

1. Paraffinische und isoparaffinische Kraftstoffe:

Nach Durchführung mehrfacher Messreihen konnte auf neue festgestellt werden, daß die Streugrenzen für paraffinische bzw. iso-paraffinische Kraftstoffe sich innerhalb des bisher angegebenen Wertes von $\pm 2\%$ Nutzdruck halten. Diese Feststellung wird mit dem Bilde 9 - 34084 - belegt.

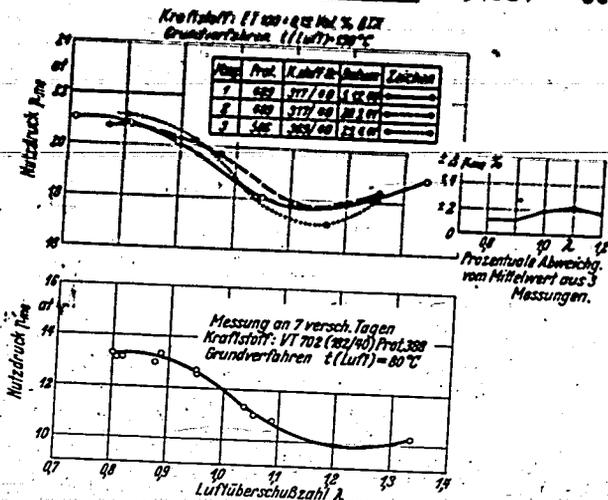


Abb. 9: Streugrenze von ET 100 + 0,12 Vol. % BTÄ u. B 4 an einem Prüfmotor.

An dieser Stelle muß nun noch folgendes eingefügt werden: Neben der Feststellung der prozentualen Abweichung des Nutzdruckes an der Klopfgrenze vom Mittelwert aus den verschiedenen Messungen interessiert vor allem auch die bei den einzelnen Messungen bestehende Abhängigkeit zwischen dem Ladedruck und der gemessenen Kraftstoffmenge Q in $\text{mm}^3/\text{Arbeitspiel}$.

Diese Abhängigkeiten werden in einigen nun folgenden Bildern neben der sonst gewohnten Darstellung der Klopfkurven gezeigt. Damit soll belegt werden, daß bei gleichem Ladedruck, der stets einwandfrei eingestellt werden kann, die je Arbeitspiel geförderte Kraftstoffmenge bei Wiederholungsmessungen um bis zu $\pm 4\%$, bezogen auf den Mittelwert, schwanken kann. Diese Fehler können herrühren:

- (a) von ungenauer Dosierung der Kraftstoffmengen
- (b) von bisher nicht kontrollierten Leckverlusten
- (c) von ungleichmäßiger Zerstäubung
- (d) von verschiedenem Füllungsgrad und des damit veränderten thermodynamischen Zustandes während der Klopfprüfung.

2. Aromatische Kraftstoffe:

Nach neueren DVL-Versuchen mit Kraftstoffen von mehr als 35 Vol.-% Aromaten und Ungesättigten ist nun die bisher in den Prüfvorschriften angegebene Fehlergrenze von $\pm 2\%$ des Nutzdruckes für derartige Stoffe nicht einzuhalten.

Bild 10 - 34088 - zeigt für einen Hochleistungskraftstoff 92/41 (VT 706) die an 6 verschiedenen Tagen aufgenommene Klopfgrenzkurven.

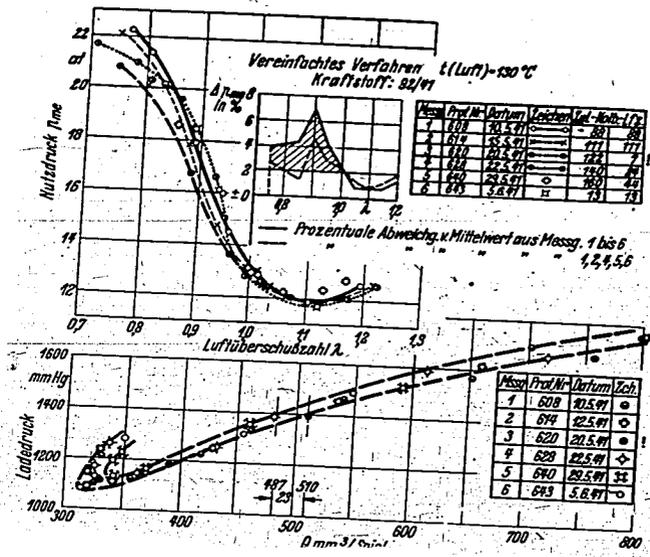


Abb. 10: Streuungen der Klopfgrenzkurven eines VT 706 Kraftstoffes an einem Prüfmotor.

Wie aus der Nebenfigur hervorgeht, ergeben sich über dem gesamten geprüften Luftüberschusszahlbereich Abweichungen vom Mittelwert der 6 Messungen bis zu $\pm 7\%$. Wie jedoch aus der Zylinder- und Kolbenlaufzeitenangabe zu ersehen ist, muß die Messung 3 aus dem Gesamtbild herausgenommen werden, da die Klopfgrenskurve infolge zu geringer Einlaufzeit des Kolbens zu tief bestimmt wurde. Es ergibt sich dann im Höchstfalle eine Abweichung von ca. $\pm 4\%$. Ferner sind auf diesem Bilde die für verschiedene Meßpunkte erhaltenen Ladedrücke in Abhängigkeit von den Q-Werten aufgezeichnet. Sämtliche hier durchgeführten Messungen wurden mit derselben Düse, Pumpe und den gleichen Pumpenstempeln durchgeführt. Bei einem Ladedruck von 1400 mm Hg wurden bei 2 aufeinanderfolgenden Tagen Q-Werte gefunden, die um ca. $23 \text{ mm}^3/\text{Spiel}$ voneinander abweichen. Dies entspricht einer Abweichung von $\pm 2,3\%$, bezogen auf den mittleren Q-Wert, dies bedeutet andererseits wiederum eine λ -Verschiebung von 0,885 auf 0,93 bei gleichem Ladedruck.

Ähnliche Ergebnisse zeigt Bild 11 -34081 - für einen CV 2b-Kraftstoff. Auch hier gilt dasselbe wie das für das vorhergehende Bild Gesagte.

Diese Tatsachen gaben Veranlassung, in den Prüfvorschriften folgenden Zusatz bei der Fehlergrenzenangabe hinzuzufügen: Für vorwiegend aromatische Kraftstoffe, d.h. solche mit 35% und mehr Aromaten sind die Fehlergrenzen mit der Prüfstelle zu vereinbaren.

III. Reproduzierbarkeit von Klopfgrenzkurven an mehreren Prüfmotoren mit identischen Kraftstoffen.

a) Ergebnisse der ersten Vergleichsversuche (1940):

Nachdem außer der DVL weitere 3 Prüfstellen über einen Überladeprüfmotor mit dem Prüfzylinder BMW 132 verfügten, die ersten Vorversuche beendet waren, wurden die ersten Vergleichsversuche mit identischen Kraftstoffen, die von der DVL zum Versand gebracht wurden, verabredet. Und zwar sollten die Prüfungen mehrmals nach jeweils ca. 20 Betriebs-

000027

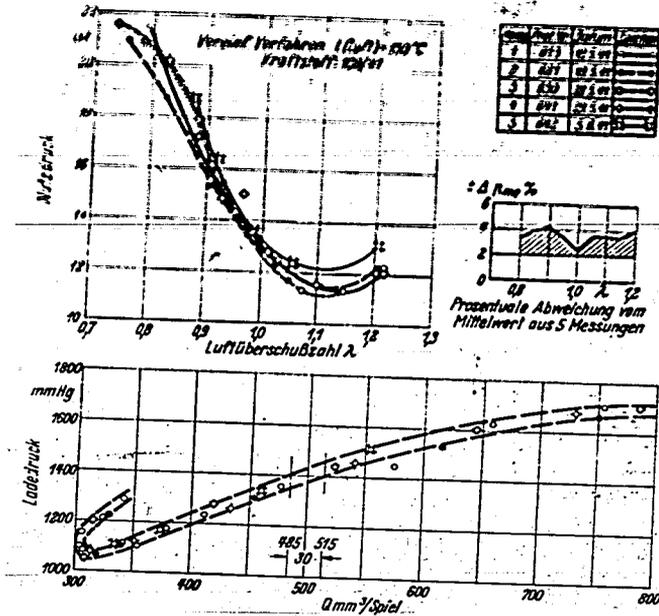


Abb. 11: Streuungen der Klopfgrenzkurven eines CV 2b-Kraftstoffes an einem Prüfmotor.

stunden vorgenommen werden. Außer der Angabe der einzuhaltenden Prüfbedingungen erfolgten keine weiteren Verabredungen. Bemerkt sei noch, daß der Prüfstand Merseburg nicht mit einem Sterngehäuse, wie die anderen Prüfstellen arbeitete, sondern mit einem DVL-Einzylindergehäuse. Die Prüfbedingungen wurden nach Angabe der einzelnen Prüfstellen überall innegehalten mit Ausnahme einer geringeren Umdrehungszahl des Prüfstandes Merseburg, der mit 1500 U/Min. arbeitete.

Die Versuche wurden mit den Kraftstoffen C 3 und VT 706 von allen 4 Prüfstellen mit B 4 und ET 110 nur von den techn. Prüfstand Oppau und der DVL durchgeführt. Das Bild 12 - 34089 - zeigt zunächst die Ergebnisse der Prüfungen mit den beiden Hochleistungskraftstoffen. Die Messungen mit VT 706 und C 3 konnten nicht befriedigen.

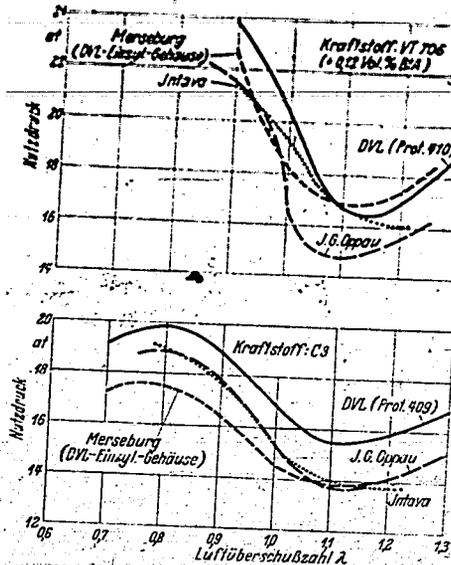


Abb. 12: Vergleichsversuche im SZP BMW 132 N (Stern).
1. Versuchsreihe.

Bild 13 - 34082 - zeigt die Klopfgrenzkurven für den Kraftstoff ET 110, und B 4. Diese Kurven für ET 110 weisen einen immerhin parallelen Verlauf auf.

Nach diesen ersten Vergleichsversuchen fand ein reger Gedankenaustausch zwischen den einzelnen Prüfstellen statt; so konnte z.B. durch einen praktischen Versuch die schon früher erwähnte Hebung der Kennkurve der I.G. Oppau durch die Öffnung der Öldüse in der Kurbenwelle ermöglicht werden.

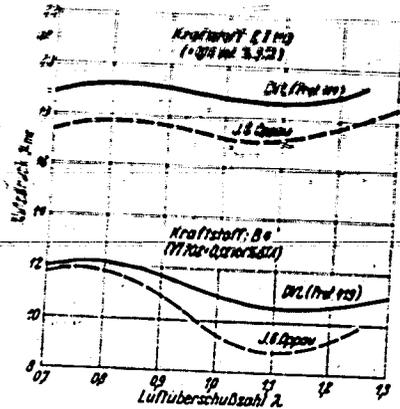


Abb.13: Vergleichsversuche im SZP BMW 132 N (Stern).
1.Versuchsreihe

Es erfolgten ferner die verschiedensten Abgleichungen hinsichtlich des Aufbaues der Prüf- und Hilfsgeräte. Erwähnenswert ist noch die Tatsache, daß die wenigsten Unstimmigkeiten bei der Aufstellung der Kennkurven auf die verschiedenen Prüfer zurückzuführen waren.

b) Ergebnisse der zweiten und dritten Vergleichsversuche (1.Halbjahr 1941):

Die zweite Vergleichsversuchsreihe wurde von allen 5 Prüfstellen im April und Mai dieses Jahres unter den Bedingungen des vereinfachten Verfahrens bei 130°C Ladelufttemperatur mit den Hochleistungskraftstoffen CV 2b und C 3 durchgeführt. Die Stoffe wurden schon verbleit von der Wifo einheitlich versandt.

Bild 14 - 34095 - zeigt die Ergebnisse der Prüfung des Kraftstoffes CV 2b. Der Kurvenverlauf von 4 Prüfstellen ist im Luftüberschußzahlbereich von ca. 0,9 bis 1,2 ziemlich einheitlich. Wie dies auch aus der Auftragung des Nutzdrukkes über der Kraftstoffmenge zu ersehen ist. Da von den auswärtigen Prüfstellen nur Oppau Überladewerte in mm Hg angab,

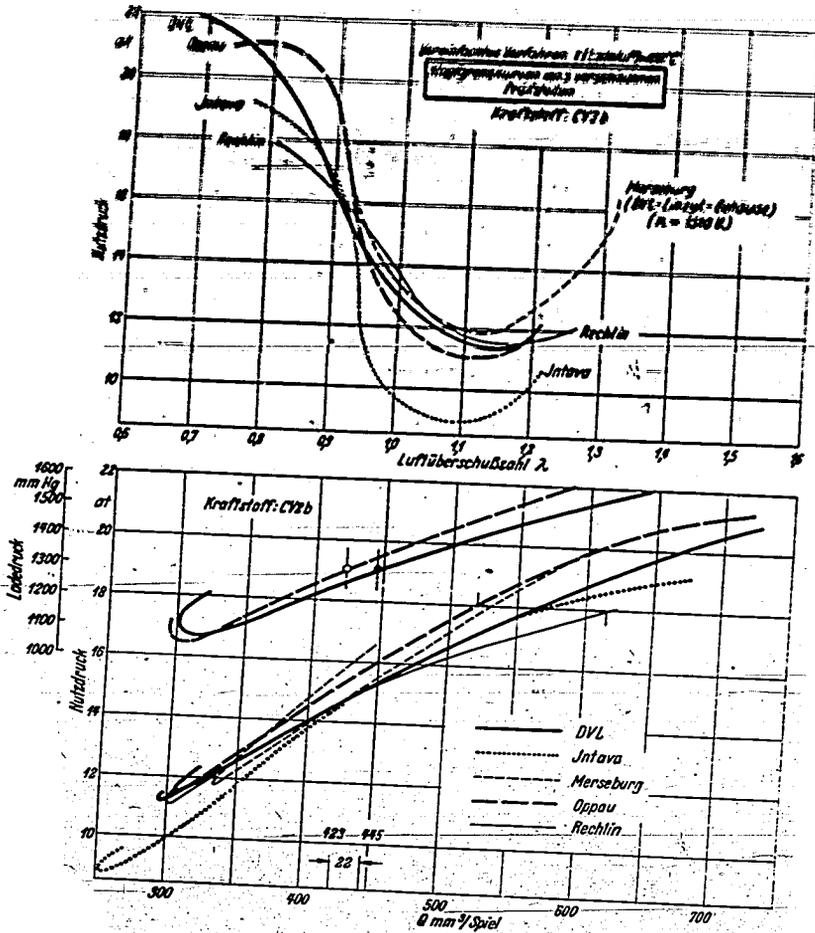


Abb. 14: Vergleichsversuche im EZP BMW 132 N (Stern)
2. Versuchsreihe

mußte die Auftragung über dem Nutzdrehmoment und nicht über dem Ladedruck erfolgen. Das Abweichen der Kennkurven im stark überfetteten Gebiet ist ziemlich erheblich und muß z.B. bei 18 kg/cm² Nutzdrehmoment auf die nicht einheitliche

Kraftstoffverteilung oder Aufbereitung zurückgeführt werden (Unterschied zwischen Kurve von Oppau und Rechlin beträgt $95 \text{ mm}^3/\text{Spiel}$). Bei der Bestimmung der Kennkurve CV 2b von der Intava muß offensichtlich eine Fehlmessung vorliegen. Die Kraftstoffaufbereitung ist für das Gebiet von $\lambda = 0,9$ bis $1,3$ nach der Darstellung p_m über Q eine von den anderen 4 Prüfstellen vollständig abweichende. - Zusätzlich wurde für die Ergebnisse der DVL und Oppau die Darstellung Nutzdruck in Abhängigkeit von Q eingezeichnet.

Das nächste Bild 15 - 34096 - zeigt die Ergebnisse der Prüfung des C 3-Kraftstoffes, die im Gegensatz zur CV 2b-Prüfung als "durchaus befriedigend" angesprochen werden kann. Die Kennkurven der drei Prüfstellen DVL, Rechlin und Intava stimmen gut überein, dies wird auch durch die Darstellung p_m über Q zum Ausdruck gebracht. Mehr oder weniger parallel dazu verschoben und um ca. 1 kg/cm^2 Nutzdruck höher liegen die Kennkurven von Oppau und Merseburg. Auch diese Feststellung findet ihre Bestätigung bei der Darstellung p_m über Q . Eigentümlich ist bei dieser Prüfung jedenfalls, daß der technische Prüfstand Oppau z.B. bei einer Kraftstoffmenge von $500 \text{ mm}^3/\text{Spiel}$ um ca. 1 kg/cm^2 Nutzdruck höhere Werte findet als alle übrigen Prüfstellen.

Ergänzend sei noch mitgeteilt, daß bei der Prüfung des C 3-Kraftstoffes bei 18 kg/cm^2 Nutzdruck der Unterschied zwischen Oppau und Rechlin in diesem Falle nur rund $55 \text{ mm}^3/\text{Spiel}$ betrug, bei CV 2b ergab sich bei demselben Nutzdruck ungefähr $95 \text{ mm}^3/\text{Spiel}$.

Das letzte Bild 16 - 34094 - zeigt Ergebnisse der dritten Versuchsreihe mit zwei C 3-Kraftstoffen der Prüfstände DVL und Oppau. Die Kraftstoffe wurden von der DVL dem technischen Prüfstand zugesandt. Die Klopfgrenzkurve der beiden Prüfstellen wurde für den C 3-Kraftstoff 83/41 in der gleichen Größenordnung bestimmt. Die Übereinstimmung ist, verglichen mit der C 3-Prüfung der zweiten Versuchsreihe zwischen DVL und Oppau, weitaus günstiger und zufriedenstellend. Die p_m -Abweichung beträgt im Umkehrpunkt im Höchsthalle von der gedachten Mittellinie $\pm 3\%$.

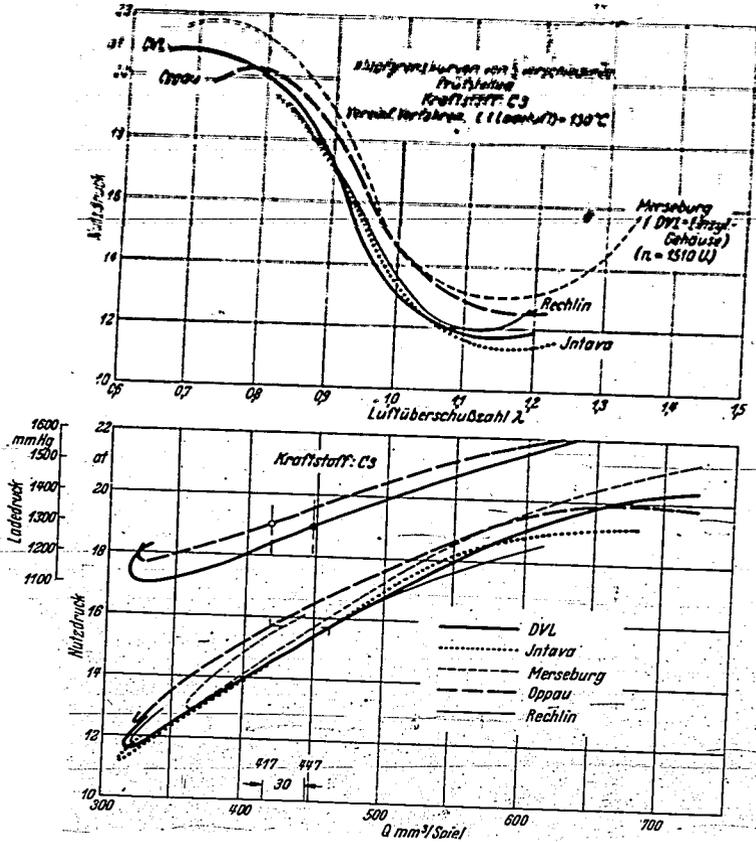


Abb. 15: Vergleichsversuche im ZEP BMW 132 N (Stern)
2. Versuchsreihe

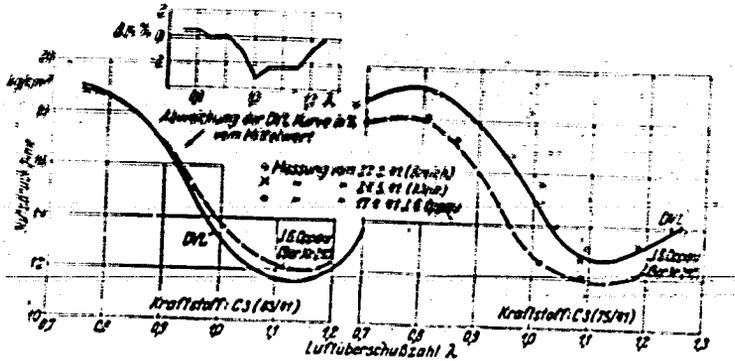


Abb.16: Vergleichsversuche im EZP BMW 152 N (Stern)
3. Versuchsreihe.

Schließlich sei noch bemerkt, daß bei der Prüfung dieses C 3-Kraftstoffes (83/41) die Kraftstoffverteilung bzw. Aufbereitung in beiden Motoren die gleiche war, nur im Tiefstpunkt der Kennkurve lag entsprechend der Klopfgrenzkurve auch die Kennlinie von p_m bzw. p_1 über Q etwas tiefer und zwar um $0,5 \text{ kg/cm}^2$ Nutzdruk.

Ferner zeigt das Bild 16 noch eine Messung eines anderen C 3-Kraftstoffes (75/41).—In diesem Falle liegt die Kurve des Oppauer Prüfstandes unterhalb der DVL-Kennkurve. Die DVL-Kurve wurde im Februar und Mai von verschiedenen Bearbeitern gefahren und zeigt denselben Verlauf. Nutzdruk und Ladedruck über den Q -Werten aufgetragen, liegen auf einer gemeinsamen Kurve; die des Oppauer Prüfstandes jedoch entsprechend der tiefer gefundenen Kennlinie zum Koordinatenanfangspunkt verschoben. Ergänzend sei noch bemerkt, daß bei der Bleibestimmung in Oppau statt $0,12$ der Wert $0,105 \text{ V.}\%$ BTA gefunden wurde.

IV. Folgerungen aus Einzel- und Vergleichsversuchen
für die praktische Überladeprüfung.

Aus den angeführten Einzel- und Vergleichsversuchen im Zylinderprüfaggregat M 132 II sind, um eindeutige Ergebnisse für B 4, sowie Hochleistungskraftstoffe nach dem DVL-Überladeprüfverfahren zu erzielen, folgende Punkte zu beachten:

- 1) Die Probenentnahme und der Versand der Kraftstoffe, sowie die Auswahl zweckmäßiger Gebinde muß unter einheitlicher Kontrolle stehen.
- 2) Es wird vorgeschlagen, den zu prüfenden Kraftstoff zweckmäßig erst kurz vor der Prüfung bei der betreffenden Prüfsteile zu verbleien; sollte dies nicht möglich sein, so ist eine Kontrollbestimmung des SFX-Gehaltes des verbleit angelieferten Kraftstoffes zweckmäßig.
- 3) Solange Sterngehäuse anstelle des Zylinderblockes Verwendung finden, sollten Ersatzteile möglichst einheitlich bezogen werden.
- 4) Genaue Überwachung des Gesamtprüfaggregates, im besonderen stete Kontrolle der Kraftstoffaufbereitung, Einhaltung der vorschriftsmäßigen Überholungszeiten, sowie besonders genaue Beachtung des Kolbeneinlaufes tragen zur Erhöhung der Versuchsgenauigkeit bei.
- 5) Als einhaltbare Fehlergrenzen sind nach den erwähnten Versuchen möglich:
Für paraffinische bzw. isoparaffinische Kraftstoffe wie bisher $\pm 2\%$ des Nutzdruckes.
Für Kraftstoffe mit mehr als 35% aromatischen und ungesättigten Anteilen $\pm 4\%$ des Nutzdruckes.
- 6) Unter den obengemachten Voraussetzungen müßten diese Fehlergrenzen bei der Überladeprüfung auch an mehreren Prüfmotoren einzuhalten sein.
- 7) Sollten trotz aller Kontroll- und Versuchsmaßnahmen dennoch Abweichungen bei den einzelnen Prüfstellen sich einstellen, so wären Messungen mit Hilfe des DVL-Druck-

beschleunigungsverfahrens bei der Suche der Fehlerquellen zu empfehlen.

- 8) Zur weiteren Angleichung der Prüfstände schlägt die DVL die Durchführung einer 4. Versuchsreihe vor.

Zur Frage der Wiederholbarkeit der Ergebnisse bei dem
DVL-Überladepförfverfahren.

Von Dr.-Ing. H. Jenschel, Intava-Hamburg.

Sir haben uns bei der Durchführung unserer Untersuchungen am Überlademotor lediglich auf die Feststellung der Wiederholbarkeit der Ergebnisse beschränkt, sodass wir hier nur auf diesen Punkt eingehen möchten. Die Durchführung der Prüfung erfolgt nach den Prüfvorschriften für Flugmotorenkraftstoffe BVM, Ausgabe 1940, in denen als Fehlergrenze für $p_{me} \pm 2\%$ und für den Ladedruck $\pm 1,5\%$ angegeben worden sind. Eine solche Genauigkeit konnte bei uns bisher leider nicht erzielt werden.

Sir haben in der Abbildung 1 bei einem beliebigen Kraftstoff die

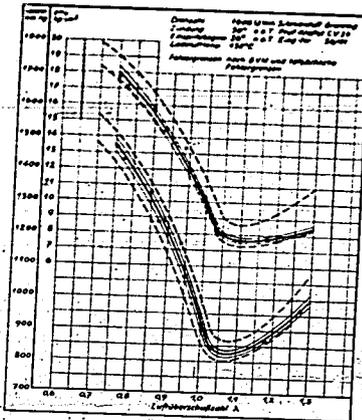


Abb.1: Prüfung des Kraftstoffes CV 2b (Eichkraftstoff von Wifo Nienburg) im BMW-Überlademotor.

Versuchspunkte aufgezeichnet und danach die entsprechende Klopfgrenzkurve aufgestellt (in dem Bild die mittlere stark ausgezogene Linie). Die beiden dünn ausgezogenen Linien, die parallel zu dieser gefundenen Kurve laufen, geben die Fehlergrenzen auf Grund der Prüfvorschriften an, d.h. sämtliche Versuchspunkte müssten innerhalb dieser beiden Linien liegen. Das ist leider nicht der Fall.

Wird der Versuch mit dem gleichen Kraftstoff an verschiedenen Tagen wiederholt, so sind die Abweichungen noch beträchtlich größer. Die äußeren gestrichelten Linien geben für den untersuchten Kraftstoff die Streugrenze

der Einzelwerte an.

Für besseres Überblick sind in der Abbildung 2 noch einmal diese Grenzkurven, also die gestrichelten Linien der Abbildung 1 herausgezeichnet und statliche Versuchspunkte, die in einem Zeitraum von 2 Monaten gewonnen wurden, eingetragen. Auf Grund dieser Untersuchung er-



Abb.2: Prüfung des Kraftstoffes CV 2b (Eichkraftstoff von Wifo Nienburg) im BMW-Überlademotor.

gaben sich Fehlergrenzen für die Leistung von $\lambda = 0,7 \div 1,3$ von $\pm 5\%$ bis $+ 10\%$ steigend und für den Ladedruck ein durchschnittlicher Fehler von etwa $\pm 5\%$. Als Ergänzung möge noch Abbildung 3 gezeigt werden, in dem

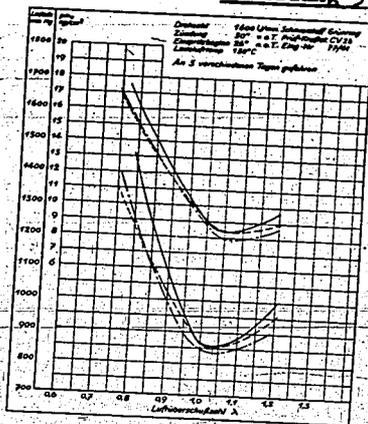


Abb.3: Prüfung des Kraftstoffes CV 2b im BMW-Überlademotor.

die mit einem anderen Kraftstoff erhaltenen Versuchswerte eingetragen werden sind, der innerhalb von 14 Tagen an 3 verschiedenen Tagen untersucht wurde. Die Abweichungen betragen in diesem Falle etwa $\pm 5\%$ von einem gedachten Mittelwert.

Alle Versuche wurden nach dem vereinfachten Prüfverfahren bei 30° Vorsündung und 130°C Ladelufttemperatur durchgeführt. Als Folgerung aus diesen Versuchen müssen wir bei sorgfältiger Durchführung noch mit einer Fehlergrenze von wenigstens $\pm 5\%$ rechnen.

Wir begrüssen es, wenn weitere Vergleichsversuche durchgeführt werden, um die Übereinstimmung der verschiedenen Überlademotoren zu überprüfen. Voraussetzung ist jedoch, dass die Kraftstoffe von einer Stelle aus möglichst am gleichen Tage verschickt werden und dass die Prüfung so schnell wie möglich erfolgt; denn es hat sich gezeigt, dass eine Übereinstimmung der Überladekurve selbst dann noch nicht gegeben ist, wenn die Proben an verschiedenen Tagen aus einem sehr grossen Tank gezogen werden.

Bezüglich der durchgeführten Vergleichsversuche können wir erfreulicherweise feststellen, dass die Übereinstimmung beim C 3 Kraftstoff eine sehr gute ist. Die mangelnde Übereinstimmung beim CV 2b Kraftstoff kann in Anbetracht der hohen Abweichungen unseres Erachtens nur auf eine Fehllieferung zurückgeführt werden.

Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit beim Überlade-Verfahren^{*)}

Von Dipl.-Ing. Witschakowski, I.G. Farbenindustrie Ludwigshafen, Technischer Prüfstand.

Die Brauchbarkeit und Anwendungsmöglichkeit eines Prüfverfahrens ist abhängig:

1. von der Wiederholbarkeit
2. von der Vergleichbarkeit

Es ist also zu fordern, dass sich Ergebnisse unter Voraussetzung gleicher Untersuchungsbedingungen beliebig oft wiederholen lassen.

Für den Austausch von Erfahrungen unter verschiedenen Stellen ist die Vergleichbarkeit von Wichtigkeit. Es müssen also an verschiedenen Orten befindliche Prüfstände gut übereinstimmende Ergebnisse liefern.

Beide Forderungen sind als Ergebnis jahrelanger Bemühungen vom Prüfmotor zur Oktanzahlbestimmung befriedigend erfüllt. Für die Durchführung der Versuche im BMW-Einzylinder sind Anweisungen in den Bauvorschriften niedergelegt, deren Erweiterung zur Erhöhung der Versuchsgenauigkeit zweckmäßig erscheint.

1. Wiederholbarkeit beim Überladeverfahren.

Die Entwicklung von Flugmotoren-Kraftstoffen ist nur möglich, wenn die motorische Prüfung in ihrer Genauigkeit zuverlässige Unterlagen für die Arbeit des Chemikers liefert. Bei laufenden Untersuchungen im Technischen Prüfstand Oppau wurde nun beobachtet, dass die Ergebnisse von Untersuchungen ein und desselben Stoffes bei Wiederholungen erheblich voneinander abwichen. Zu Vergleichsversuchen wurden die wichtigsten Kraftstofftypen (B 4, ET 100, C 3 und C 2) verwendet. Die hierbei beobachteten Bandbreiten einiger dieser Stoffe sind in Bild 1 und 2 dargestellt. In den Bildern sind gleichzeitig die in den B.V.M. angegebenen zulässigen Fehlergrenzen von $\pm 2\%$ für den Nutzdruck eingezeichnet. Während bei ET 100 die

^{*)} s.a. Bericht Nr. 565 des Techn. Prüfstandes Oppau, I.G. Ludwigshafen.

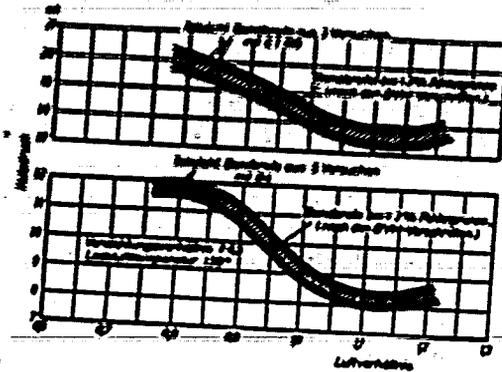


Abb.1: Bandbreite eines 34 und ST 100 Kraftstoffes

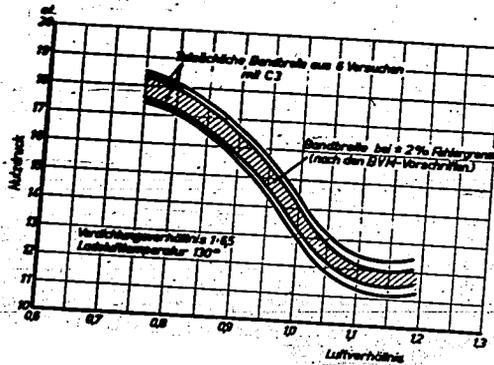


Abb.2: Bandbreite eines C3-Kraftstoffes

Bandbreite noch innerhalb der angegebenen Fehlergrenze von + 2% liegt, wird diese Grenze bei B 4 schon etwas überschritten. Noch mehr trifft dies beim C 3-Kraftstoff zu, wie dies Bild 2 zeigt. Die Erfahrung hat ergeben, dass Klopfgrenzkurven, die einen flachen Kurvenverlauf zeigen, wie B 4 und ET 100, sich besser wiederholen lassen, als solche mit steilem Verlauf, wie etwa C 3. (Dr. Seeber hat in seinem

Vortrag ausgeführt, dass diese Fehlergrenze nicht für Hochleistungskraftstoffe gilt.)

Bei der Durchführung der Untersuchungen muß sehr sorgfältig verfahren werden, da die Ergebnisse leicht durch mangelnde Erfahrung des Beobachters oder auch durch den Kraftstoff verfälscht werden können. Beim Kraftstoff muß beispielsweise sehr darauf geachtet werden, dass Proben von gebleitem Benzin nicht unter dem Einfluß des Lichts unklare gewisse Wartung des Motors, der durch die Untersuchungen sehr stark beansprucht wird. Da der Beobachter bei der Durchführung der Versuche auch mit der Überwachung sehr vieler Einzelheiten stark belastet ist, soll darauf geachtet werden, die Untersuchungen auf möglichst einfachem Wege durchzuführen. Wir haben aus diesem Grunde es stets vorgezogen, das vereinfachte Überladeverfahren anzuwenden, also mit unveränderlicher Zündung von 30° zu fahren. Um aber zu klären, welchen Einfluß das Fahren mit Bestzündung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurven hat, haben wir diese Frage eingehender untersucht.

In den B.V.M. ist eine Bestzündkurve in Abhängigkeit vom Luftverhältnis angegeben, die bei 760 mm Hg und 80° Ladelufttemp. aufgenommen wurde. Die Vorzündung für beste Leistung ist aber beim Überlademotor nicht nur vom Luftverhältnis, sondern auch vom Ladedruck abhängig, wie Bild 3 zeigt. Es ist

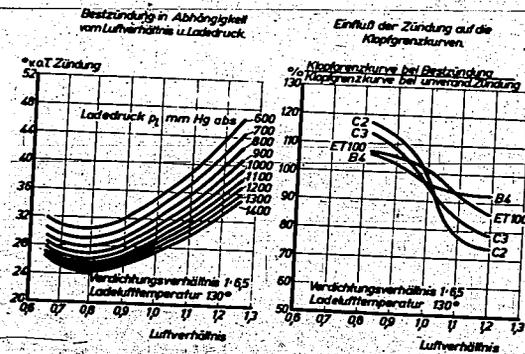


Abb. 3: Zündungs- und Klopfgrenzkurven

hier in Abhängigkeit vom Luftverhältnis die für Bestleistung erforderliche Vorzündung für Ladedrücke von 600 bis 1400 mm Hg abs. angegeben. Diese Bestzündkurven wurden mit zwei klopf-festen Kraftstoffen und zwar einem aromatischen und einem isoparaffinischen aufgenommen. Die Ergebnisse waren mit diesen beiden grundsätzlich verschiedenen Kraftstoffen so wenig unterschiedlich, dass ohne weiteres eine Mittelwertbildung möglich ist. Die dargestellten Kurven sind deshalb für alle Kraftstoffe hinreichend genau. Es ist also nicht nötig, mit dem betreffenden Kraftstoff eine Bestzündkurve aufzunehmen, wie dies in der B.V.M. unter 7232 gesagt ist. Die in der B.V.M.-Vorschrift ungegebene Bestzündkurve mußte sich zwischen unseren Kurven 700 und 800 mm Hg einordnen. Tatsächlich schneidet sie jedoch die gesamte Kurvenschar. Vermutlich ist dies darauf zurückzuführen, dass diese Kurve bei einer anderen Ladelufttemperatur aufgenommen wurde. Klopfgrenzkurven nach Bestzündwerten der B.V.M. wurden nicht aufgenommen.

In weiteren Bildern sind Klopfgrenzkurven, die mit Hilfe der von uns gefundenen Bestzündwerte aufgenommen wurden, solchen gegenüber gestellt, bei denen die Zündung unverändert liegt. In den Bildern 4-6 ist die aufgrund unserer Unterlagen benutzte Zündeneinstellung, sowie die Bestzündkurve aus der B.V.M. Vorschrift dargestellt. Die Vorschrift hierüber ist unklar. Unter 7232 ist gesagt, dass eine Bestzündkurve bestimmt werden soll, die für die jeweilige Lufttemperatur aufgestellt ist. Unter 7234/c 4 ist dagegen nur von 80° die Rede. Unter 7236/p ist schliesslich gesagt, dass für das Grundverfahren eine Bestzündkurve nach Abb. 17 zu verwenden ist, für die jedoch nicht angegeben wurde, bei welcher Temperatur sie aufgenommen ist. Aus Bild 4 geht hervor, dass bei B 4-Kraftstoff der Unterschied zwischen den beiden Klopfgrenzkurven verhältnismäßig gering ist. Auch die Einstellung der Zündung unterscheidet sich wenig von der Bestzündkurve nach B.V.M.-Vorschrift.

Bei C 2-Kraftstoff, vergl. Bild 5, werden die Unterschiede schon größer, auch die beiden Zündungskurven weichen etwas mehr voneinander ab. Man sieht ferner, dass die mit unseren Bestzündwerten aufgenommene Klopfgrenzkurve im Luft-

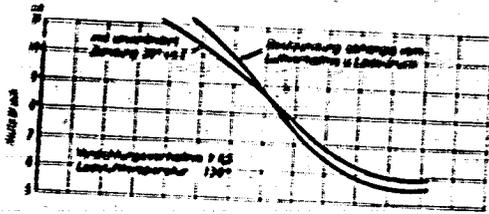


Abb.4: Einfluß der Zündung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurve von B4-Kraftstoff

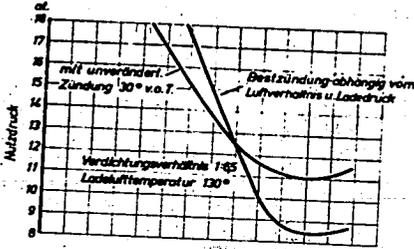
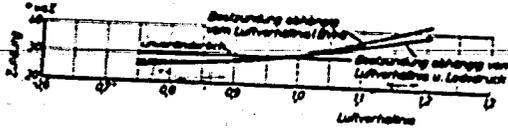


Abb.5: Einfluß der Zündung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurve von C 2-Kraftstoff

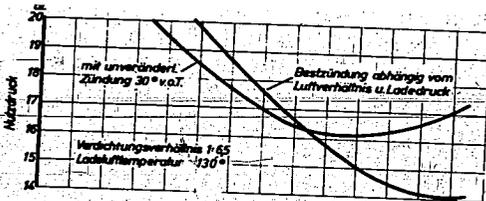
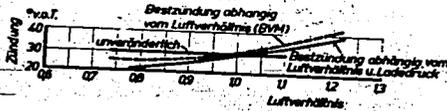
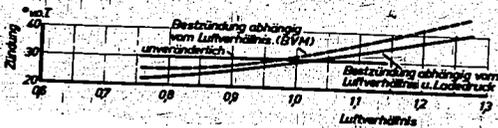


Abb.6: Einfluß der Zündung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurve von ET 100-Kraftstoff



Überschussgebiet tiefer liegt als die Kurve, die mit unveränderter Zündung aufgenommen wurde. Die Ursache liegt darin, daß im Luftüberschussgebiet die Bestzündwerte größer, im Kraftstoffüberschussgebiet jedoch kleiner sind als die unveränderliche Vorzündung von 30° . In Bild 6 sind die Klopfgrenzkurven von ET 100 dargestellt, bei denen unsere Bestzündkurve erheblich von der der B.V.M. angegebenen abweicht. Der Einfluß des Ladedruckes ist deshalb sehr deutlich erkennbar.

Sinen guten Überblick über die Verhältnisse gewinnt man, wenn man die Klopfgrenzkurven beider Zündeneinstellungen zueinander in Beziehung bringt, indem man das Verhältnis der Nutzdrücke für entsprechende Luftüberschusswerte darstellt, wobei die Werte, die bei unveränderter Zündung gefunden wurden, gleich 100 gesetzt sind. Aus Bild 3 ist erkennbar, dass man bei Luftverhältnissen über 0,9 mit Bestzündung stets niedere Werte, bei geringerem Luftüberschuss stets höhere Nutzdrücke erzielt als bei der Anwendung unveränderlicher Zündung. Man erkennt, dass die Kraftstoffe sich hierbei unterscheiden und dass beispielsweise C 3-Kraftstoffe zündempfindlicher sind als B 4 und ET 100.

Für eine genaue Untersuchung ist also zweifellos das sogenannte Grundverfahren mit jeweiliger Bestzündung vorzuziehen. Es darf hierbei jedoch nicht eine von Ladedruck und Ladelufttemperatur unabhängige Kurve benutzt werden, wie sie bisher in der Bauvorschrift angegeben war. Wir sind aber der Ansicht, dass für die üblichen Kraftstoff-Erprobungen das vereinfachte Verfahren völlig ausreichend ist und der Vorteil, der durch Veränderungen der Zündung in der Beurteilung gewonnen werden kann, sehr wahrscheinlich aufgehoben wird durch schlechtere Wiederholbarkeit.

2. Vergleichbarkeit beim Überladeverfahren.

Bei den Versuchen des Technischen Prüfstandes Oppau wurden zunächst im Vergleich zu anderen Prüfstellen, dann aber auch im Vergleich verschiedener eigener Motoren, erhebliche Abweichungen in den Klopfgrenzkurven beobachtet. Wir haben uns deshalb näher mit den Ursachen dieser Abweichungen befasst.

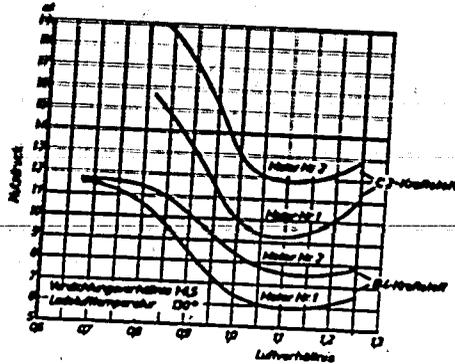


Abb.7: Vergleich zweier Überlademotoren des Technischen Prüfstandes

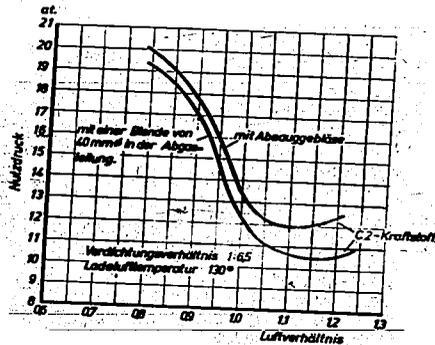


Abb.8: Einfluß des Druckes in der Abgasleitung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurven

Als ein zweiter BK 132-Zylinder-Motor für Klopf-Untersuchungen in Betrieb genommen wurde, fanden wir, dass seine Ergebnisse von denen des älteren Motors erheblich abweichen, wie dies in Bild 7 für zwei Kraftstoffe, C 2 und B 4, dargestellt ist. Beide Prüfstände unterscheiden sich im wesentlichen nur durch die Art der Abgasabführung. Während der ältere Motor in der üblichen Weise auf einen Schallkammer arbeitete, wurde der neuere mit einer Abgas-Abmündung betrieben, die bei 1500 mm Überladedruck nur noch etwa einen Gegendruck von 300 bis 400 mm WS ergab. Die gleiche Erscheinung konnte durch den Einbau einer Drosselstelle über die Abgasleitung erreicht werden, wie Bild 8 darstellt.

Diese Verlagerung der Klopfgrenzkurve dürfte von der Höhe des Gegendruckes abhängig sein, da bei geringeren Druckunterschieden Verlagerungen in der Klopfgrenzkurve nicht auftraten. Wesentlicher scheint die Güte der Ausspülung zu sein. Auch auf die Abmessungen der Abgasleitungen muss geachtet werden, da Schwingungen der Abgassäule zu schlechter Zylinder-Auffüllung führen, wodurch wiederum das Klopfverhalten beeinflusst wird. Bei Vergleichsversuchen, die wir mit der D.V.L. durchführten, ergab sich, dass unsere Klopfgrenzkurven von denen der DVL abwichen, wie dies aus Bild 9 für zwei Kraftstoffe hervorgeht. Eingehende Untersuchungen der ver-

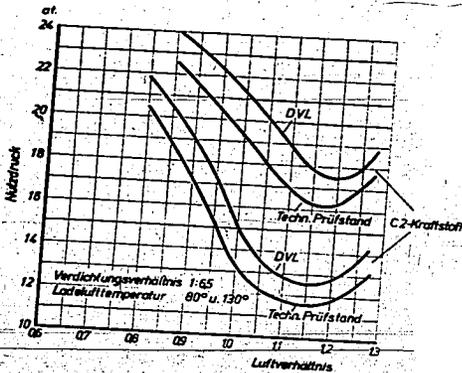


Abb. 9: Vergleich zweier Überladedmotoren von der DVL und von Technischen Prüfstand

schiedenen Betriebsbedingungen ergaben, dass dieser Unterschied nur auf unzureichende Kühlung des Kolbens zurückzuführen war. Es wurde deshalb eine zusätzliche Ölspritzdüse vorgesehen.

Bei einer Besprechung mit der DVL ergab sich nun, dass bei den Motoren des Technischen Prüfstandes eine Ausführung der Pleuellwelle ohne Ölspritzdüse verwendet wird, während bei der DVL die beim Vollmotor übliche Ölspritzdüse mit einer Bohrung von 3,9 mm eingebaut ist. Nachdem wir an unseren Pleuellwellen die gleiche Anordnung getroffen hatten, ergab sich eine merkliche Verschiebung der Pleuellgrenzkurve, wie aus Bild 10 hervorgeht. Bei diesen Versuchen wurde

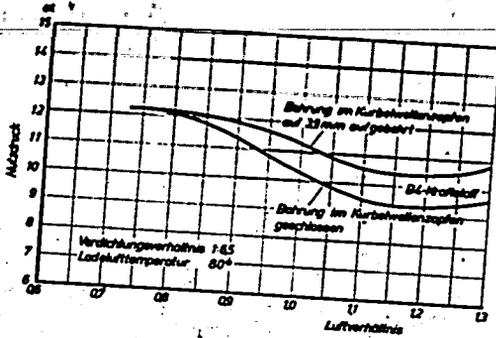


Abb.10: Einfluss der Pleuellkühlung auf den Verlauf der Pleuellgrenzkurven

auch der Einfluss der Pleuellkühlung beobachtet und dabei festgestellt, dass der Pleuelldruck die Lage der Pleuellgrenzkurve beeinflusst. Aus dem Bild 11 ist zu ersehen, dass klei-

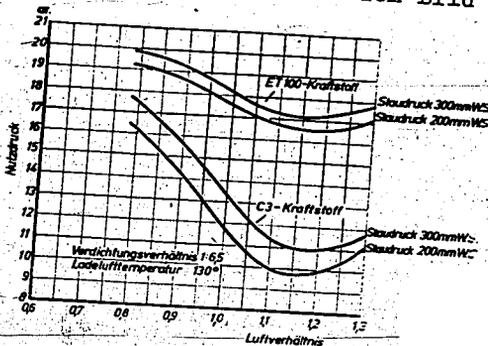


Abb.11: Einfluss des Pleuellluft-Staudruckes auf den Verlauf der Pleuellgrenzkurven

ne Abweichungen im Pleuelldruck sich auf die Lage der Pleuellgrenzkurve kaum auswirken, denn die dargestellten Unterschiede wurden durch eine Steigerung des Pleuelldruckes um 50% erreicht. Immerhin soll der Einfluss der Pleuellung keineswegs vernachlässigt werden. Es steht ausser Zweifel, dass durch ungenügende Führung der Pleuellluft heisse Stellen im Pleuell entstehen, die die Pleuellgrenze stark beeinflussen können.

Wir hatten dies in der ersten Zeit unserer Versuche sehr stark bemerkt, als wir noch von Hand getriebene Luftleitbleche verwendeten. Durch Verbiegen dieser Leitbleche treten erhebliche Unterschiede im Wärmezustand des Zylinders auf. Wir sind deshalb schon seit langem zur Verwendung von Leitblechen übergegangen, wie sie für den Vollmotor serienmäßig hergestellt werden.

3. Schlussfolgerungen.

Die Übereinstimmung verschiedener Motoren ist vorläufig noch recht unbefriedigend. Es ist aber trotzdem möglich, Kraftstoffe eindeutig zu bewerten, sofern hierzu stets die gleichen Vergleichskraftstoffe benutzt werden. Nach unseren Erfahrungen können verschiedene Motoren in gewissem Umfang in der Lage der Klopfgrenzkurven abweichen, ohne dass eine Umbewertung stattfindet. Die Abweichung darf allerdings 2 at keinesfalls überschreiten.

Unsere Versuche haben gezeigt, dass die in der Vorschrift angegebenen Fehlergrenzen offensichtlich zu eng sind. Nach unseren Erfahrungen muss man je nach der Art des Kraftstoffes mit Bandbreiten bis zu 2 at rechnen. Kraftstoffe können deshalb erst dann mit Sicherheit als unterschiedlich bezeichnet werden, wenn ihre Klopfgrenzkurven um die Bandbreiten des Vergleichskraftstoffes voneinander abweichen. Dabei ist vorausgesetzt, dass die Bandbreite des Prüfkraftstoffes etwa gleich der des Vergleichskraftstoffes ist. Um die Vergleichbarkeit verschiedener Prüfstände zu verbessern, wird es nötig sein, die bisherigen Vorschriften erheblich zu erweitern. So sind, wie schon ausgeführt wurde, die Art der Abgasabsaugung sowie die Länge und Weite der hierbei verwendeten Leitungen und sicher auch die Abmessungen des Schalldämpfers von großer Bedeutung. Sehr wichtig ist auch die Frage der Kolbenkühlung, die eine sehr genaue Festlegung aller Einzelheiten, die das Schmier-system betreffen, bedingt.

Versuche mit flüssigkeitsgekühlten Zylindern. +)

Von Dipl.-Ing. Pensig, Techn. Prüfst. Oppau,
I.G. Farbenindustrie A.-G., Ludwigshafen/Rh.

Die Vorträge der Herren Dr. Seeber und Witschakowski haben wohl mit aller Deutlichkeit erkennen lassen, daß sowohl die Wiederholbarkeit von Klopfversuchen als auch die Möglichkeit, verschiedene Prüfstände zu einer gleichmäßigen Beurteilung von Kraftstoffen zu bringen, noch sehr im Rückstande sind. Es ist uns wohl durch mühevollen Arbeit, bei der uns zeitweise auch Herr Dr. Seeber in dankenswerter Weise behilflich war, gelungen, eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung mit der DVL zu erreichen. Andere Stellen aber, die zudem noch mit der Abnahme von Hochleistungskraftstoffen betraut sind, messen Werte, die ständig erheblich von denen der DVL und uns abweichen.

Die Ursache kann man zunächst auf den starken Einfluß selbst scheinbar unerheblicher Abweichungen im Prüfstandsaufbau suchen. Wir empfinden dies gerade jetzt besonders deutlich, da wir unsere alten Prüfstände verlassen und die Motoren in schalldichten Räumen aufstellen.

Wir haben den Eindruck, daß die bis jetzt bestehenden Vorschriften noch unzureichend sind und der Gesamtaufbau des Prüfstandes noch sehr viel genauer festgelegt werden müßte. Trotzdem wird wegen der Anpassung an die jeweils gegebenen Verhältnisse nicht, immer die genaue Einhaltung aller Maße möglich sein und die dann erforderliche mühsame Abstimmung durch Umbau der Rohrleitungen macht außerordentlich große Kosten.

Als weiterer Grund für die Abweichung der Motoren und die Erscheinung, daß sie oft von Tag zu Tag stark voneinander abweichende Werte ergeben, ist sicher die hohe Wärmebelastung des verwendeten Zylinders anzusehen.

Bereits an kleinen Motoren zeigt es sich, daß der Wärmezustand des Zylinders von großer Bedeutung für das Klopfverhalten ist. Bei größeren Zylindern, bei denen die Wärmebelastung sehr viel höher ist, können sich bereits kleine Unre-

+): s. a. Bericht Nr. 565 des Techn. Prüfstandes Oppau. I.G. L'hafen

gelmäßigkeiten, etwa in der Abdichtung des Auslassventils, sehr stark auf das Klopfen auswirken.

Es wurde deshalb im Technischen Prüfstand Oppau damit begonnen, mit flüssigkeitsgekühlten Motoren zu arbeiten, da diese Bauart gegen Überlastung der Kühlung weniger empfindlich ist. Zugleich aber sollte festgestellt werden, wie sich die in Frage stehenden Kraftstoffe in den Motoren verhalten, in denen sie gebraucht werden. Es kam daher in erster Linie der DB 601 in Frage, dessen Einzylinder als DB 6001 bezeichnet wird. In Bild 12 ist der I.C.-Versuchsmotor, ausgerüstet mit diesem Zylinder, zu sehen. Als Nockenwelle wurde diejenige der Baureihe 3 mit etwa 40° Ventilüberschneidung verwendet. Als weiterer flüssigkeitsgekühlter Motor wurde aus Teilen des Vollmotors ein Einzylinder-Jumo 211 zusammengebaut (Bild 13). Der Aufbau des Zylinderkopfes ist aus Bild 14 zu ersehen. Der Betrieb der flüssigkeitsgekühlten Motoren ist viel einfacher, als der mit luftgekühltem Zylinder. Es fällt nicht nur das Kühlgebläse fort, sondern auch die Absaugung, sofern man hierzu nicht das Absauggebläse für die Abgase verwendet; ferner die für genauere Versuche erforderliche Regelung der Kühllufttemperatur.

Es wurden nun alle drei Baumuster, also BMW 132, DB 6001 und Jumo 211 unter möglichst gleichen Bedingungen mit verschiedenen Kraftstoffen untersucht.

Die Versuchsbedingungen waren:

Verdichtungsverhältnis	1: 8
Ladelufttemperatur	130°C
Motordrehzahl	$n = 2000/\text{min.}$
Schmierstoffaustritt	70°C
Kühlstoffaustritt	80°C
Abgas-Absaugung, Gegendruck	3 - 400 mm WS bei Betrieb mit 1500 mm Hg Ladedruck

Als Kraftstoffe wurden B 4, CV 2b-RLM und ET 100 benutzt.

Um das Verhalten der drei Motoren-Muster bei gleicher Überladung festzustellen, wurden die sogenannten Maschinenzustandskurven bei 760 mm Hg Ladedruck und 80°C Ladelufttemperatur aufgenommen (Bild 15). Die geringere Leistung des BMW ist of-

000039

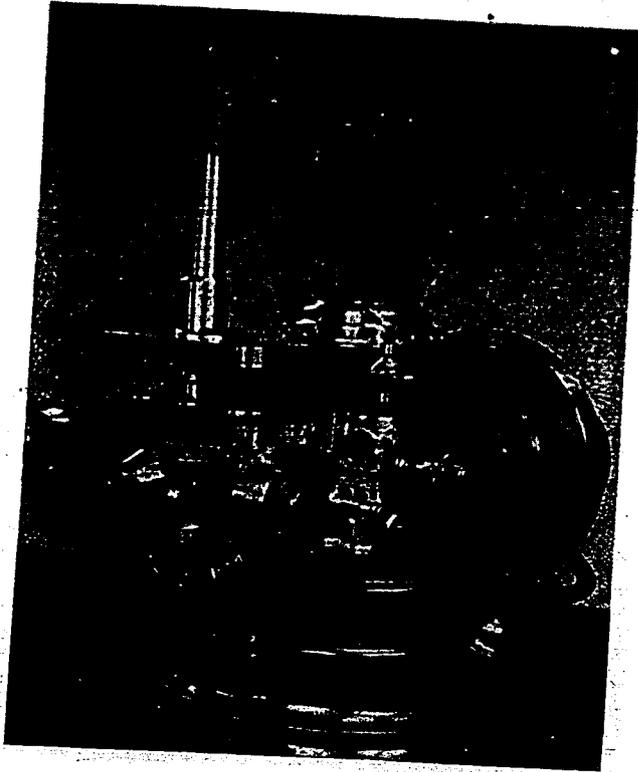


Abb. 12: I.C.-Versuchsmotor mit Daimler-Benz 6001-Zylinder



Abb.13: I.C.-Versuchsmotor mit Jumo-211 a-Zylinder

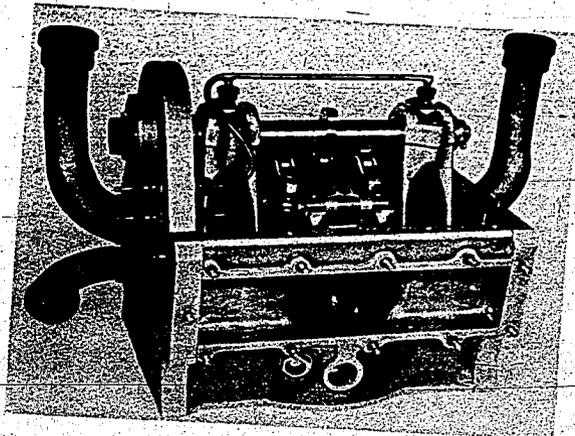


Abb.14: Zylinderkopf des I.C.-Versuchsmotors mit Jumo-211 A-Zylinder

000040

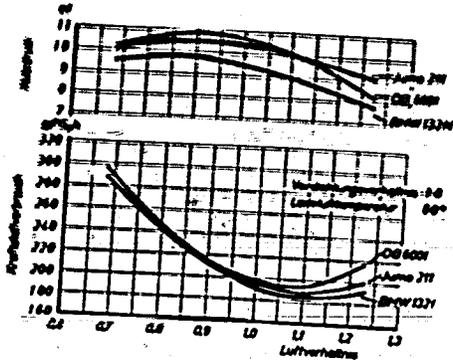


Abb.15: Vergleich von Nutzdruck u. Kraftstoffverbrauch des BMW 132 N, DB 601 u. Jumo 211 Überlademotors

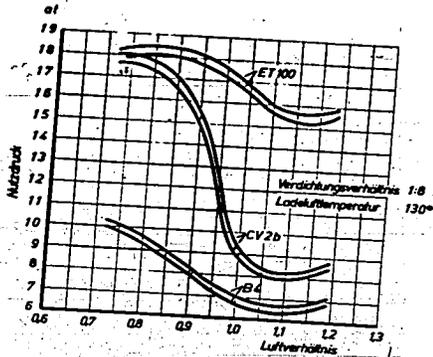


Abb.16: Bandbreite eines B4, CV 2b und ET 100 Kraftstoffes am DB 601

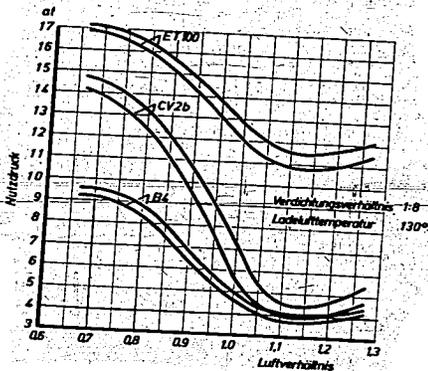


Abb.17: Bandbreite eines B4, CV 2b und ET 100 Kraftstoffes am BMW 132 N

fensichtlich auf geringeren Füllungsgrad zurückzuführen. Der Verbrauch ist dagegen sehr gut. Bild 16 zeigt die Wiederholbarkeit der drei Kraftstoffe im DB 6001. Zum Vergleich dienen die entsprechenden Kurven im BMW 132 N (Bild 17), bei denen die Fehlergrenze von $\pm 2\%$ überschritten wurde. Es ist also hieraus zu sehen, daß bei Verwendung flüssigkeitsgekühlter Zylinder mit geringeren Streuungen gerechnet werden kann.

Es wurden nun die Klopfgrenzkurven nach den Kraftstoffen geordnet (Bild 18 u. 19). Es geht daraus hervor, daß die verschiedenen Baumuster die Kraftstoffe recht verschieden bewerten. Um dies deutlich zu machen, ist in Bild 20 die Mohrbzw. Minderleistung des DB und des Jumo gegenüber dem BMW-Zylinder dargestellt. Der DB 148t sehr viel höhere Leistungen zu als der BMW 132 und zwar bewertet er besonders günstig die aromatischen Kraftstoffe. Umgekehrt hat der Jumo überraschenderweise eine geringere Überladbarkeit gezeigt und zwar zeigt die umgekehrte Reihenfolge der Kraftstoffe, daß die Ursache in höheren Temperaturen im Zylinder liegen muß⁺). Dieses Beispiel zeigt also, daß motorseitig viel getan werden kann, um die Klopfneigung herunter zu drücken, und es ist selbstverständlich zweckmäßiger, zunächst alle motorischen Möglichkeiten zu erschöpfen, bevor man daran geht, erhöhte Anforderungen an den Kraftstoff zu stellen. Das hier gewählte Beispiel zeigt überdies, wie aufschlußreich Versuche mit verschiedenen Kraftstoffen sein können, da hierdurch Mängel aufgedeckt werden können, die man selbst durch langwierige Temperaturmessungen kaum wird feststellen können.

Hatte Bild 20 gezeigt, daß günstige Kühlung des Zylinders sich gerade bei aromatischen Kraftstoffen sehr vorteilhaft auswirkt, so zeigten einige tastende Versuche mit größerer Ventilüberschneidung (Bild 21), daß auch auf die

+) Es sei nochmals ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß das anfangs beobachtete ungünstige Abschneiden des Jumo-Zylinders keinesfalls zu einem Werturteil über dieses Baumuster benutzt werden darf, da die Wasserzuführung zum Zylinderkopf bei dem vom Techn. Prüfstd. hergestellten Einzylinder vom Vollmotor erheblich abwich. Die Versuche wurden später mit einer verbesserten Zylinderkopfkühlung wiederholt mit dem Ergebnis, daß die Klopfgrenzkurven für B 4- und CV 2b-Kraftstoff sich erheblich nach oben verlagerten und sich damit nur noch wenig von denen des DB6001 unterscheiden. Man ersieht daraus, wie stark das Klopfverhalten eines wassergekühlten Zylinders durch unzureichende Kühlung verfälscht werden kann. (s. Abb. 20)

000041

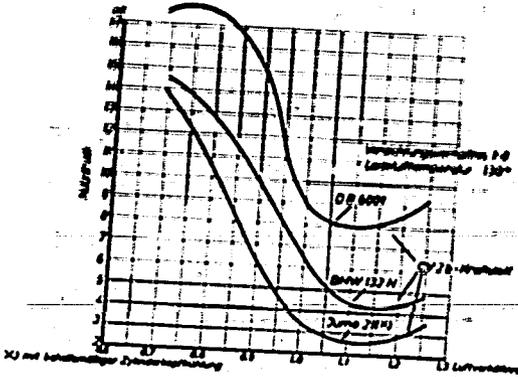


Abb.18: Vergleich der Klopfrenz-
kurven des BMW 132 N,
DB 6001 u. Jumo 211 über-
lademotors

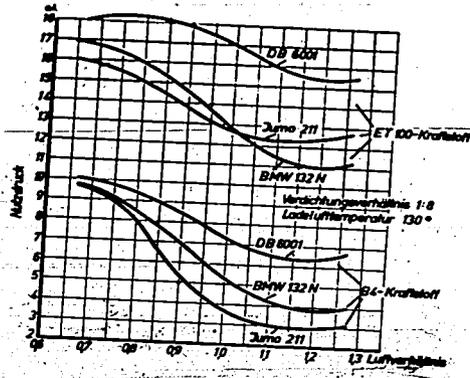


Abb.19: Vergleich der Klopfrenz-
kurven des BMW 132 N,
DB 6001 und Jumo 211 über-
lademotors

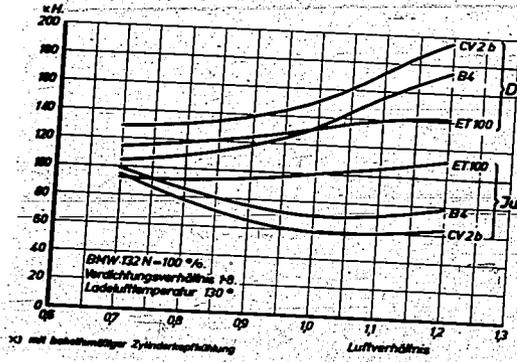


Abb.20: Bewertung von Kraftstoffen
am DB 6001 u. Jumo 211 im
Vergleich zu BMW 132 N

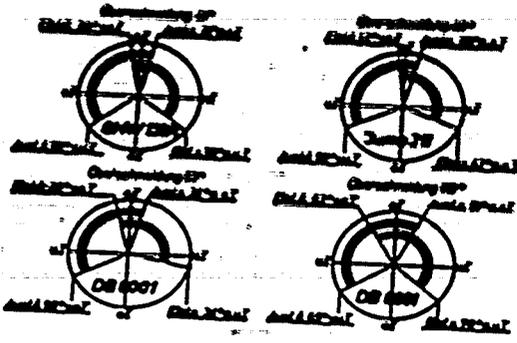


Abb.21: Steuerzeiten beim
BMW 132 H, Juno 211 u.
DB 6001 Überlademotor

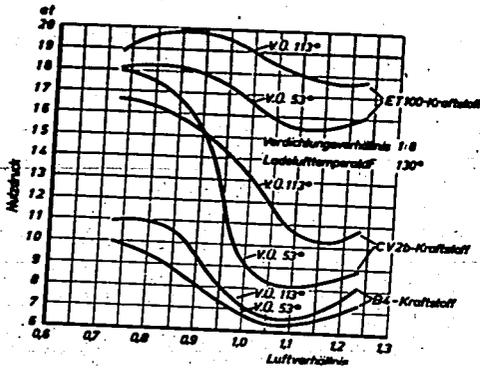


Abb.22: Vergleich der Klopf-
grenzkurven des DB 6001
Überlademotors bei ver-
schiedener Ventilüber-
schneidung



Abb.23: Verschiedene
Klopfstärken
aufgenommen
mit magnetischem
Geber

dem Wege offensichtlich beträchtliche Verschiebungen in der Bewertung der Kraftstoffe möglich sind. Aus Bild 22 ist zu ersehen, daß beim DB 6001 durch steigende Ventilüberschneidung die Klopfgrenzkurven grundsätzlich höher gelegt werden und daß dies besonders auffällig bei den /romaten hervortritt. Die Ursache ist in besserer Kühlung des Zylinders durch erhöhte Ausspülung zu suchen. Die von anderer Stelle beobachtete Senkung der Klopfgrenzkurven im fetten Gebiet als Folge der großen Ventilzeitenüberschneidung wurde von uns nicht in gleichem Ausmaß beobachtet. Weitere Untersuchungen müßten auch den Grund einer solchen überraschenden Erscheinung klären. Es müßte dem richtigen Motorenbau überlassen werden, festzustellen, ob es grundsätzlich richtig ist, Motoren mit derartigen Steuerzeiten auszuführen.

Ein weiteres Beispiel dafür, wie das Klopfverhalten durch motorische Maßnahmen, wenn auch in diesem Falle indirekt, beeinflußt werden kann, ist folgendes: Es konnte nachgewiesen werden, daß durch Auswechseln einer bisher verwendeten Einspritzdüse gegen eine mit anderer Strahlform die Neigung zur Schmierölverdünnung bei einem Vollmotor wesentlich vermindert werden konnte. Hierdurch wurde eine größere Freiheit in der Lage des oberen Endes der Siedekurve gewonnen, sodaß es möglich wurde, die Klopfestigkeit des Kraftstoffes durch Beimischen von besonders klopfesten Stoffen zu verbessern. Da die durch Änderung der Einspritzdüse erreichte Verbesserung der Einspritzung sich auf das gesamte Verhalten des Motors günstig auswirken wird, so ist auch durch dieses Beispiel gezeigt, daß bei derartigen Untersuchungen Fortschritte sowohl für den Motor als auch für den Kraftstoff gewonnen werden können.

Durch einen weiteren Vortrag wird gezeigt werden, daß es möglich ist, laufende Untersuchungen von Kraftstoffen auf ihr Überladeverhalten auch im I.G.-Prüfmotor durchzuführen. Die hierfür notwendigen Betriebsbedingungen sind auf die Ergebnisse des jetzt üblichen BMW 132 N abgestimmt. Es wird aber stets notwendig sein, die Konstanten

dieser Gleichung zu überwachen und von Zeit zu Zeit abzuwandeln, wenn dies Fortschritte auf motorischem Gebiet erforderlich machen. Es wird auch notwendig sein, in besonders wichtigen Fällen Kraftstoff-Vergleichsversuche im großen Zylinder durchzuführen. Die besprochenen Untersuchungen haben gezeigt, daß motorische Maßnahmen sehr großen Einfluß auf das Klopfverhalten haben können. Eine eingehende Beschäftigung mit diesen Fragen im Einzylinderversuchsmotor ist unbedingt erforderlich, um die für die Entwicklung der Kraftstoffe notwendigen Richtlinien erkennen zu können.

Unsere Prüfstände werden jetzt in schalldichten Räumen aufgestellt und von einem Schaltpult aus gesteuert. Es hat sich dies als notwendig erwiesen, da die starke Lärm-entwicklung des Motors bei ständigem Betrieb zweifellos gesundheitsschädlich wirkt. Hierdurch ergibt sich aber die Frage, wie man das Klopfen erfassen soll. Der einfachste Weg besteht darin, am Zylinder einen etwa 3mm starken Draht zu befestigen und ihn durch die Wand nach außen zu leiten, wo er in einem kleinen Blechteller endet. Dieses Verfahren genügt beim Einzylinder durchaus, um das Klopfen hören zu können.

Da Klopfversuche an Vollmotoren noch fehlen, haben wir uns auch mit anderen Verfahren befaßt, das Klopfen unter Ausschaltung des übrigen Maschinenlärms beobachten zu können. Hierbei war Bedingung, daß keine Indikatorbohrung am Zylinder vorhanden sein darf. Diese Frage wurde mit Hilfe eines magnetischen Gebers, der auf den Körperschall anspricht, in recht befriedigender Weise gelöst. Unsere Versuche haben zu etwa denselben Anordnungen geführt, wie sie von Prof. A.W.Schmidt 1) benutzt werden. Eine Besonderheit unserer Anordnung besteht vielleicht darin, daß der Geber nur durch einen längeren dünnen Stahldraht mit dem Motor verbunden ist.

1) Vgl. A.W.Schmidt, Untersuchungen über das Klopfverhalten von Kraftstoffen mit dem Prüfstand und im Fahrbetrieb, Öl- und Kohle 34 (1940) Nr. 37, S. 350.

Man hat sich nicht als zweckmäßig erwiesen, lediglich das Bild auf der Braun'schen Nöhre ab betrachten, auf der die Klopfstöße so sichtbar werden, wie dies Bild 23 zeigt. Wesentlich zweckmäßiger ist es, das Klopfgeräusch mit einem kleinen Lautsprecher, oder mit Kopfhörer abzuhören. Der Beobachter ist dadurch, ohne besonders auf die Beobachtung eines Instrumentes angewiesen zu sein, ständig über den Betriebszustand des Motors unterrichtet. Der mit diesem Gerät herausgehörte Klopfston hebt sich recht klar und deutlich von den übrigen geringeren Geräuschen ab und ermöglicht auch am Einzylinderprüfstand eine bessere Erfassung des Klopfens als dies mit dem erwähnten Drahttelefon möglich ist. Es ist zu erwarten, daß das Gerät auch zum Abhören des Klopfens am Vollmotor brauchbar ist.

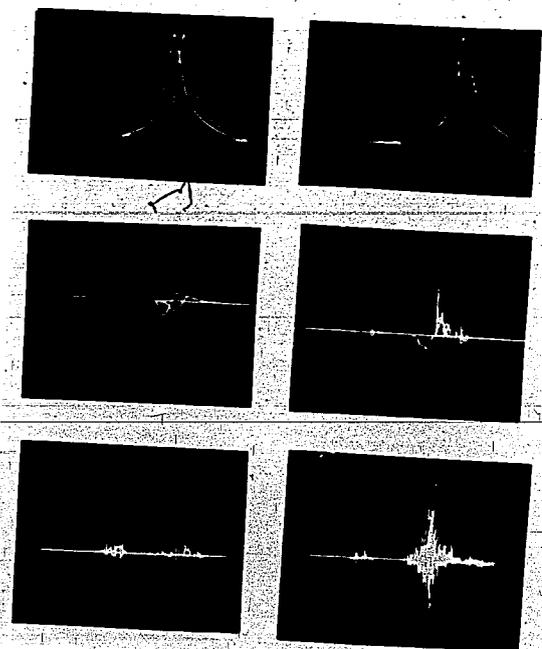
Das DVL-Klopffmeßverfahren der Druckbeschleunigung.

Von Ing. Heinz Wende, DVL, Adlershof,
(Der Vortrag wurde anstelle des erkrankten Herrn
Dr.-Ing. F. Lichtenberger gehalten)

Das Verfahren geht von der exakten Grundlage des Druckverlaufes im Zylinder aus, der vorteilhaft mit einem Quarzindikator gemessen wird. Bei diesem Diagramm ist nun noch kein großer Unterschied zwischen Klopfen und Nichtklopfen zu sehen, insbesondere sind die Höchstdrücke kaum verschieden, deshalb wird nun der in der Dimension at bzw. kg/cm^2 gemessene Druck p nach der Zeit elektrisch differenziert, d.h. es wird seine Ableitung dp/dt dargestellt, wodurch schon eine größere Empfindlichkeit des Ausschlages auf das Klopfen erreicht wird. Diese einmalige Differentiation ist schon öfters zur Klopfanzeige benutzt worden, sie reicht aber in ihrer Empfindlichkeit noch nicht ganz aus. Eine noch größere Empfindlichkeit erhält man nun durch eine zweite Differentiation d^2p/dt^2 .

klopf frei

klopfend



p

Abb.1-3: Aufnahmen am
EVL-Zeiß-Ikon-
Klopfanzeiger

$\frac{dp}{dt}$

$\frac{d^2p}{dt^2}$

Die physikalische Erklärung dafür ist folgende: Die zweite Differentiation stellt eine Krümmungsmessung dar, da der Krümmungsradius der Diagrammspitze von Nichtklopfen zu Klopfen außerordentliche Änderungen erfährt, muß sich diese Klopfempfindlichkeit auch in der zweiten Ableitung auswirken. Durch die Abb. 1-3-34029-, die nachgezeichnete Diagramme des DVL-Zeiss-Ikon-Klopfanzeigers wiedergeben, soll diese Empfindlichkeitssteigerung von p über dp/dt zu d^2p/dt^2 qualitativ veranschaulicht werden.

Das Neue an dem DVL-Verfahren ist nun weiterhin die Art der Auswertung, die nicht die Amplitudenausschläge zweier Motoreinstellungen vergleicht, sondern in einer ganzen Betriebskurve den Klopfbeginn als ausgezeichneten Punkt ermittelt. Zu diesem Zweck trägt man die Ausschläge von d^2p/dt^2 , die mit einer beliebigen, nur eben konstanten Empfindlichkeit gemessen sein können, als Ordinate auf, als Abszisse einen Motorbetriebswert, dessen Steigerung das Klopfen herbeiführt. Alle anderen Motordaten müssen dabei genau konstant gehalten werden. Man erhält nun einen Verlauf von d^2p/dt^2 über diesem Betriebswert, der durch einen deutlichen Knick gekennzeichnet ist. Dieser Knick, der den Klopfbeginn darstellt, ist in mehrjährigen Versuchen bei allen Kurven gefunden worden. Als veränderlicher Abszissenwert wurde der Ladedruck, sowie das Verdichtungsverhältnis gewählt. Aber auch bei solchen Motoren, bei denen die Änderungen des Ladedruckes oder des Verdichtungsverhältnisses nicht so einfach möglich ist, wie es die Kraftstoffprüfmotoren gestatten, bewährt sich das Klopfanzeigeverfahren der Druckbeschleunigung ausgezeichnet. Man kann in diesem Falle den Verlauf der Klopfamplitude über dem Kraftstoffverbrauch verfolgen. Das Klopfgebiet ist dann durch 2 Knick im Verlauf der Klopfamplitude gekennzeichnet (s. Abb. 4 - 34035 -). Diese Art der Aufnahme ist bei Vollmotoren ohne weiteres anzuwenden und hat in Versuchen, die die DVL zusammen mit der Flugmotoren-Industrie durchgeführt hat, zu einwandfreien Meßergebnissen geführt. Dieses Klopfanzeigeverfahren wird am besten mit dem DVL-Zeiss-Ikon-Klopfanzeiger ausgeführt.

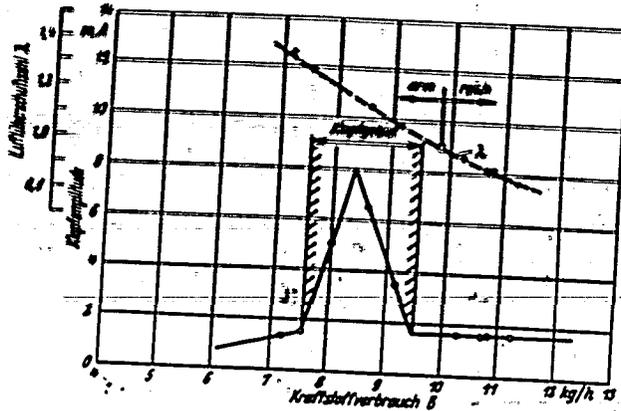


Abb. 4: Meßergebnis des Klopfanzeigers bei Gemischänderung.

Beschreibung des DVL-Zeiss-Ikon-Klopfanzeigers.

1. Indikator:

Als Druckgeber wird ein Quarzindikator der DVL verwendet, der das Ergebnis jahrelanger Untersuchungen und Verbesserungen darstellt. Im Gegensatz zu anderen Indikatoren besitzt der DVL-Indikator keinen Luftkanal vor dem druckempfindlichen Element, der die Messung verfälschen könnte, sondern die Kolbenfläche schließt mit dem Einschraubgewinde glatt ab. Die Eigenschwingung des Quarzsystems liegt zwischen 35 000 und 50 000 Hertz. Der Geber arbeitet ohne Wasserkühlung, da es gelungen ist, die Temperaturabhängigkeit durch geeignete konstruktive Maßnahmen auszuschalten. Besonders hervorzuheben, sind die guten mechanischen Eigenschaften, auch bei den höchsten Frequenzen, und die große Betriebsdauer. Die kleine gedrungene Form (Schlüsselweite 22 - 24 mm, Höhe ohne Elektrode 43 mm) macht ihn auch für enge Raumverhältnisse noch brauchbar, wie sie an luftgekühlten, verrippten Zylindern auftreten.

Das Verbindungskabel ist nahezu erschütterungsunempfindlich, die Kabelendverschlüsse sind entsprechend dem Prüfstandsbetrieb möglichst robust ausgeführt.

2. Verstärker:

Die von dem Indikator abgegebenen Impulse werden über das erwähnte Kabel dem eigentlichen Gerät zugeleitet, das in Abb. 5 - 34028 - dargestellt ist.

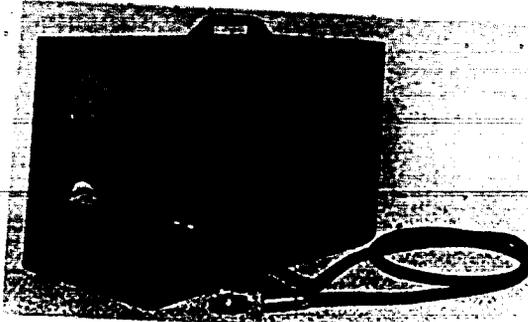


Abb. 5: Ansicht des DVL-Zeiss-Ikon-Klopfanzeigers.

Dort werden die Impulse zunächst verstärkt, dann je nach Wunsch ein- oder 2mal differenziert und schließlich in dem eingebauten großen Kathodenstrahlrohr zur Anzeige gebracht. Gleichzeitig wird von den Amplitudenspitzen der d^2p/dt^2 -Impulse - ebenfalls elektrisch - ein zeitlicher Mittelwert gebildet, den das in der Frontplatte eingebaute Ausschlagsinstrument anzeigt. Dieser Mittelwert kann zur zeitlichen Registrierung auch noch auf ein Schreibgerät (Punktschreiber) gegeben werden, und zwar mit Hilfe von 2 Buchsen, die sonst mit Kurzschlußstecker überbrückt sind. Bei der äußeren Gestaltung des Gerätes¹⁾ wurde auf Handlichkeit und Übersichtlichkeit großer Wert gelegt, damit der Klopfanzeiger leicht befördert, aufgestellt und auch durch angelernte Kräfte bedient werden kann. Von den beiden großen Schaltern in der Frontplatte ermöglicht der rechte mit einem Schaltgriff das p-, dp/dt- oder d^2p/dt^2 -Diagramm einzustellen, während der linke die Anpassung der Verstärkung an die jeweilige Indikator-Empfindlichkeit bzw. Motorklopfstärke gestattet.

1) Die Konstruktion übernahm die Zeiss-Ikon A.-G., Dresden.

000046

Die Bedienungsschrauben auf der rechten Längswand, deren Zahl auf das Mindestmaß beschränkt ist, sollen möglichst nur 1x eingestellt und dann nicht mehr verändert werden. In Abb. 6 - 34034 - ist die erwähnte rechte Seitenwand dargestellt, wobei zu jeder Betätigungsschraube oder Buchse der entsprechende Zweck hinzugeschrieben ist.

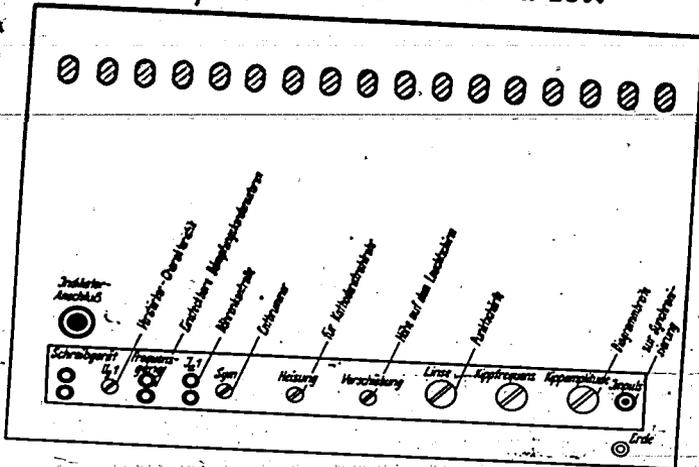


Abb. 6: Seitenwand des DVL-Zeiss-Ikon-Klopfanzeigers.

Das Klopfverhalten bei Motoren mit großer Überschneidung der Ventilsteuerzeiten und beim DVL-Einspritzverfahren mit aufgeteilter Einspritzung.

Von Dr.-Ing. P. Kornacker, DVL, Berlin-Adlershof.

Gegenüber dem Motor ohne große Überschneidung der Steuerzeiten, wie er dem DVL-Überlade-Prüfverfahren für Kraftstoffe zugrunde gelegt ist, sind durch die neuere Motorenentwicklung Änderungen eingetreten, die auch auf die Gestalt der Klopfgrenze erheblichen Einfluss haben. Der Übergang zu Motoren mit großer Überschneidung der Steuerzeiten ergibt wegen der möglichen Füllung des Totraumes und der Kühlung des Verbrennungsraumes, insbesondere der Auslaßventile, eine Leistungssteigerung bzw. eine relativ geringere thermische Belastung des Motors. Bezogen auf das Klopfverhalten des Motors ergibt sich durch die Änderung des Restgaseinflusses und durch die wahrscheinlich andere Temperaturverteilung im Verbrennungsraum gegenüber dem Motor ohnedes mit nur geringer Überschneidung der Steuerzeiten eine wesentlich andere Gestalt der Klopfgrenzkurve. Im allgemeinen verläuft beim Motor mit großer Überschneidung der Steuerzeiten die Klopfgrenzkurve flacher als beim Motor ohne Überschneidung der Steuerzeiten. Diese Abflachung der Klopfgrenzkurve kann soweit gehen, dass insbesondere bei kleineren Ladelufttemperaturen und Kraftstoffen mit einer an sich flachen Charakteristik der Klopfgrenzkurve diese durchgehend eine mit Anreicherung des Gemisches abfallende Tendenz aufweist. Bei Kraftstoffen mit sehr steiler Charakteristik der Klopfgrenzkurve, also insbesondere bei aromatenreichen Kraftstoffen, wird der Verlauf ebenfalls erheblich flacher, bleibt jedoch in seiner normalen Form mit einem Minimum bei geringem Luftüberschuss (λ etwa 1,1) erhalten. Der Motor mit großer Überschneidung der Steuerzeiten zeigt insbesondere bezogen auf die Verwendung der aromatenreichen Kraftstoffe ein etwas günstigeres Klopfverhalten als der Motor ohne wesentliche Überschneidung der Steuerzeiten, lediglich in dem Betriebsbereich des Motors bei gedrosseltem Betrieb können, falls der Druck hinter dem Motor größer wird als vor dem Motor, bei höheren Ladelufttemperaturen infolge der zusätzlichen Aufheizung durch rückströmende Auspuffgase u.U. Schwierigkeiten auch bezüglich des Klopfverhaltens auftreten, jedoch werden diese Betriebszustände im praktischen Motorbetrieb voraussichtlich kaum vorkommen.

Ein weiteres in der DVL entwickeltes Arbeitsverfahren, das Verfahren der aufgeteilten Einspritzung, befasst sich mit der Ver-

Einlagerung der Klopfneigung von Ottomotoren.

Auf Grund der in der DVL im Institut für motorische Arbeitsverfahren und Thermodynamik durchgeführten Untersuchungen über Selbstzündungs- und Klopfvorgänge und der daraus abgeleiteten Erkenntnisse ergab sich im wesentlichen, dass für die Selbstzündung eine bestimmte Anlaufzeit erforderlich ist, deren Größe von einem Exponentialgesetz der Temperatur und von einer Potenz des Druckes des noch nicht verbrannten Gemischteiles im Verbrennungsraum abhängt. Weiterhin besteht beim Ottomotor noch eine Abhängigkeit des Klopfvorganges vom Mischungsverhältnis. Bei der normalen Gemischbildung mit Einspritzung des Kraftstoffes in den Saughub ist die Aufbereitungszeit und die Anlaufzeit bis zum Eintreten der Selbstzündung mit zunehmender Überladung sehr schnell erreicht, sodass Klopfen eintritt. Um den Motor auch bei höheren Überladungen noch kloppfrei betreiben zu können, wurde die Gemischbildung in der Weise abgeändert, dass während der Einspritzung in den Saughub nur eine geringe Menge Kraftstoff eingespritzt wird, so dass das Gemisch infolge des hohen Luftüberschusses nur geringe Klopfneigung aufweist. Der zweite Teil des Kraftstoffes zur Erzielung des verlangten Gesamtmischungsverhältnisses wird zum Teil während der Verdichtungshubes und zum Teil sogar erst während der Verbrennung eingespritzt, wodurch die Zeit bis zum Ablauf der Verbrennung im Zylinder kleiner wird als die zur Auslösung des Klopfvorganges erforderliche Anlaufzeit.

Mit diesem Verfahren wurden an verschiedenen Motormustern umfangreiche Versuche durchgeführt, die zeigten, dass insbesondere bei Betrieb des Motors mit Luftüberschuss die Klopfgrenze je nach Motormuster und Kraftstoff zwischen 2 - 4 kg/cm² Mitteldruck gehoben wurde. Der Verlauf der Klopfgrenze ist bei diesem Verfahren ebenfalls erheblich flacher als bei normaler Gemischbildung.

Die Überladeprüfung im NSU-Motor der Ruhrbenzin A.G.
Oberhausen-Holteln.

Von Dr.-Ing. Fr. S c h ä u b
Ruhrbenzin Aktiengesellschaft, Oberhausen-Holteln.

Vor 2 1/2 Jahren wurde bei der Ruhrbenzin der Aufbau eines Kleinmotoren-Überladeprüfstandes in Angriff genommen. Es sollte dadurch die Möglichkeit geschaffen werden, mit einer geringen, für die Laboratoriumsherstellung tragbaren Probemenge die Überladbarkeit von Flugkraftstoffen zu ermitteln. Die Bewertung sollte soweit als möglich mit der DVL-Prüfung im B.M.-Motor übereinstimmen, da diese heute für die Beurteilung der Flugkraftstoffe in Deutschland maßgebend ist. Seit etwa einem Jahr ist der Überladeprüfstand der Ruhrbenzin im Betrieb und es wurden bisher mehr als 600 Überladekurven aufgenommen. Ein 2. Prüfstand der gleichen Art wurde vor kurzem fertiggestellt.

Der Aufbau dieser Prüfstände ist grundsätzlich der gleiche wie der des DVL-Überladeprüfstandes und die Prüfung erfolgt nach dem gleichen Verfahren wie dort. Unsere Entwicklungsarbeit an diesen Prüfständen ist zwar nicht abgeschlossen, aber ich komme der Aufforderung der DVL gerne nach, hier über die jetzt vorliegenden Erfahrungen und Ergebnisse zu berichten.

Als Versuchsmotor wählten wir den NSU 501 OSL-Motor. Dies ist ein im Viertakt arbeitender luftgekühlter Kraftradmotor mit einem Hubvolumen von etwa 500 ccm. Die Bohrung beträgt 80 mm, der Hub 99 mm.

Die Luft wird durch Filter und Gasuhr von einem Kompressor angesaugt und verdichtet. Von dort geht sie durch einen Glabscheider und an elektrischen Heizelementen vorbei zum Motor. Zwischen Druck- und Saugseite des Kompressors ist eine Verbindung durch ein regelbares Ventil hergestellt. Mit diesem wird der Ladedruck und die dem Motor zugeführte Luftmenge eingestellt.

Der Kraftstoff wird ins Ansaugrohr eingespritzt. In diesem Punkt besteht ein Unterschied gegenüber dem BMW-132-Einsylinder, bei welchem die Einspritzung direkt in den Zylinder erfolgt. Der Kraftstoffeinspritzbetrieb musste erst entwickelt werden, da der Motor normalerweise mit Vergaser arbeitet. Einspritzpumpe und Düse lieferten die Firma Bosch. Aus den recht günstigen Kraftstoffverbrauchs- und Luftüberschusszahlen, die erzielt werden, kann geschlossen werden, dass die Gemischbildung und die Kraftstoffverteilung und -Ausnutzung gut sind. Im mageren Gebiet liegt der Verbrauch zwischen 180 und 190 gr/PSH und bei Luftüberschusszahlen von 1,3 bis 1,5 ist der Überladebetrieb noch ohne weiteres möglich.

Es wurden auch Versuche mit direkter Einspritzung in den Verbrennungsraum und zwar bei verschiedenen Anordnungen der Einspritzdüse und mit verschiedenen Strahlformen durchgeführt. Die Überladekurven waren bei den günstigsten Anordnungen der direkten Einspritzung ins Ansaugrohr, wie die Abb. 1 zeigt. Dort sind für 5 verschiedenartige Kraftstoffe die Überladekurven, die bei Einspritzung ins Saugrohr und bei direkter Einspritzung erzielt wurden, aufgetragen. Die beim Kraftstoff H und G angedeuteten grösseren Abweichungen entsprechen den grösseren Streuungen, die sich bei diesen Stoffen ergeben hatten. Die Kraftstoffverbräuche waren - eigentlich gegen die Erwartung - nicht nennenswert niedriger und bei ungünstiger Abstimmung von Ventilsteuer und Einspritzzeiten eher ungünstiger als bei der Einspritzung in das Saugrohr. Da sich also bei der Einspritzung in den Zylinder keine wesentlichen Vorteile gezeigt haben und mit Rücksicht auf die Unannehmlichkeit, die das nachträgliche Anbringen der Bohrung für die Einspritzdüse in den verrippen Zylinderkopf bedeutet, bevorzugen wir heute die Einspritzung ins Ansaugrohr.

Die Kühlung des Motors erfolgt durch ein Zentrifugalgebläse. Die Motorleistung wird von einer Wasserwirbelbremse aufgenommen und in der üblichen Weise gemessen. Bei der nicht wesentlich verschieden von denen bei Einspritzung

Überladeprüfung wird das gleiche Verfahren wie das der pVz angewandt. Ich setze voraus, dass dieses bekannt ist und brauche nicht weiter darauf einzugehen.

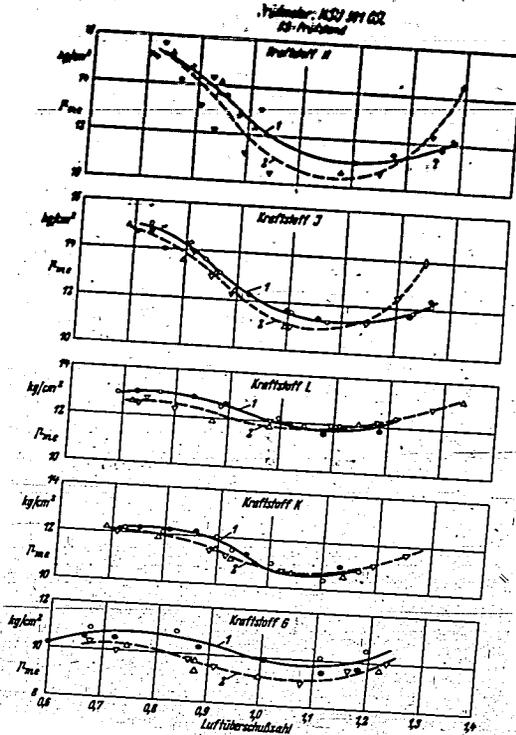


Abb.1. Vergleich der Überladekurven bei Einspritzung in das Ansaugrohr und Einspritzung in den Zylinder (BS-Standardkraftstoffe)

- | | | |
|-----------------------------------|-----|-------------------|
| 1. Einspritzung in das Ansaugrohr | --- | Prüfdatum 27.2.41 |
| 2. Einspritzung in den Zylinder | --- | " 2.3.41 |
| | | 14.1.41 |
| | | " 22.1.41 |

Im Laufe der Entwicklung stellte sich eine Reihe von Änderungen am Motor als für den Überladebetrieb notwendig oder zweckmäßig heraus. Mit solchen Änderungen konnte von vornherein gerechnet werden, wenn man bedenkt, dass bei der Prüfung moderner Flugkraftstoffe die mittleren effektiven Drücke das 2-3fache gegenüber der Belastung betragen, für die die Maschine von Haus aus vorgesehen und konstruktiv gezüchtet war. Neben den Bemühungen zur Schaffung ausreichender Betriebssicherheit beschäftigen uns die Ermittlung der Streugrenze und deren Einengung und der Versuch, die Ergebnisse an die des BMW 132-Zylinders anzugleichen.

Von der Grösse der Streuungen geben schon die Werte der Abb. 1 einen Begriff, da jede Kurve durch je 2 Messreihen ermittelt wurde. Es scheint, dass die Abweichungen bei aromatischen oder alkoholhaltigen Kraftstoffen grösser sind als bei paraffinischen. Zur Erläuterung der Streugrenzen zeige ich noch Bild 2, wo wesentlich mehr Messungen mit gleichem Kraftstoff vorlagen und aufgetragen sind. Hier wird der Streubereich etwas weiter. Bei ihrer Betrachtung ist zu berücksichtigen, dass sich unsere Betriebserfahrungen am NSU-Überlademotor heute erst auf eine verhältnismässig kurze Zeit erstrecken. — Denn heute die Streuungen am NSU-Motor vielleicht noch etwas grösser sind als im BMW 132-Zylinder, so glaube ich doch, dass dies grundsätzlich nicht der Fall zu sein braucht.

Im allgemeinen wird man bei der Überladeprüfung mit ähnlichen Schwierigkeiten in Bezug auf Streuungen zu rechnen haben, wie sie von den Klopfmotoren her hinreichend bekannt sind, und die wohl darauf zurückgeführt werden müssen, dass Druck und Temperatur im Kraftstoffluftgemisch am Ende der Verdichtung geringe Abweichungen erfahren können, ohne dass dies nach aussen erkenntlich wird.

Neben der selbstverständlichen Voraussetzung, dass die motorischen Bedingungen ausreichend konstant bleiben müssen, erscheint es für eine befriedigend enge Streugrenze wichtig, dass der Betriebszustand des Motors einwand-

000050

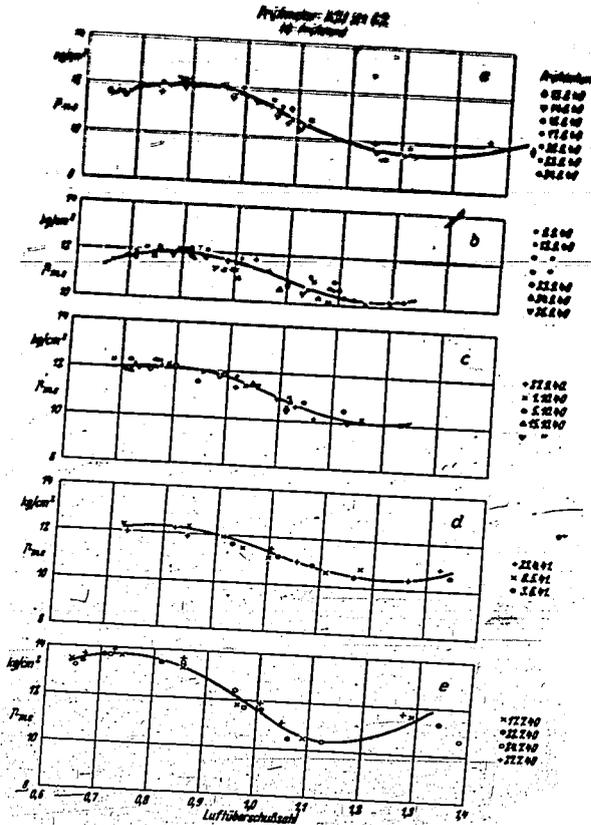


Bild 2. Beispiele für wiederholt unter gleichen Bedingungen gefahrene Überladekurven zur Beurteilung der Streugrenzen.

- a) - d) Kraftstoff VT 702
- e) " " VT 705

frei ist, Hier ist nach unseren Erfahrungen besonders auf die Güte der Ventilsitze zu achten.

Besondere Schwierigkeiten bietet die Forderung, die Bewertung verschiedenartiger Kraftstoffe im NSU-Motor mit

der eines anderen - in unserem Falle des BMW 132-Zylinders - im Sinklang zu bringen. Es ist von den Flugmotoren her bekannt, dass die zulässigen Lade- und mittleren effektiven Drücke verschiedenartiger Kraftstoffe nicht bei jedem Motortyp im gleichen Verhältnis zueinander stehen und dass sie im gleichen Motor wieder von den Betriebsbedingungen in verschiedenem Maße abhängen. Die Bewertung in einem Prüfmotor, wie z.B. dem BMW 132, kann somit zunächst willkürlich erscheinen. Die Wahl desselben und die der Prüfbedingungen erfolgen jedoch in erster Linie nach dem Gesichtspunkt, eine Bewertung der Kraftstoffe zu erhalten, die deren Verhalten im praktischen Flugbetrieb der Vollmotoren möglichst sicher und zuverlässig wiedergibt. Im Zuge der Weiterentwicklung der Motoren und Kraftstoffe muss damit gerechnet werden, dass eines Tages andere Bewertungen notwendig erscheinen als es heute der Fall ist. Dann müssen auch im Kleinmotor wieder andere Überladebilder angestrebt werden.

Bei dem Versuch, die Bewertung des NSU-Überlademotors an die des BMW 132-Zylinders unter den gegenwärtig gültigen Bedingungen soweit als möglich anzugleichen, und um auch in Zukunft vielleicht nötigen Änderungen der Bedingungen gerecht werden zu können, erscheint es erforderlich, festzustellen, in welchem Sinne und in welchem Maße die Überladekurven durch Änderung der Betriebsgrößen beeinflusst werden können. In dieser Absicht wurden zahlreiche Versuche bei der Ruhrbenzin-durchgeführt. Für eine Reihe von Vorversuchen verwendeten wir zunächst einen B 4 Kraftstoff und später für die Hauptversuche 5 vom Institut für Betriebsstoffforschung der DVL gelieferte Stoffe, die folgende Zusammensetzung haben:

- G) 75% ET 100 + 25% Fliegerbi.
- H) 75% Mot.Bo. + 25% Fliegerbi.
- I) 47% Athanol + 53% Fliegerbenzin
- K) Flieger -B1 + 1,2 ccm³/ltr. BTA
- L) ET 100, rein.

Wie verschiedenartig die Kraftstoffe auf die Ansauglufttemperatur, den Zündzeitpunkt und das Verdichtungsverhält-

000051

nis reagieren, geht aus den Abbildungen 3 und 4 hervor.

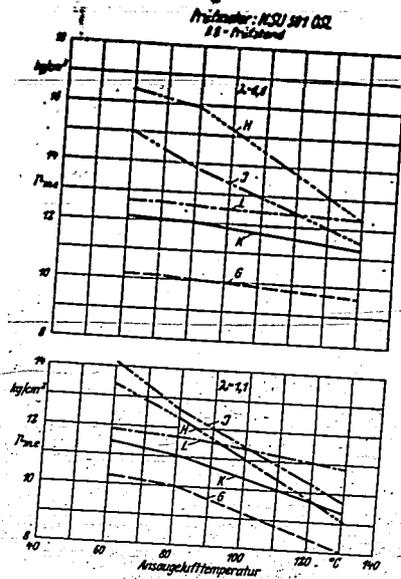


Abb. 3. Abhängigkeit der Ladedrücke von der Ansauglufttemperatur für λ 0,8 und 1,1 (5 BS-Standardkraftstoffe)

Hier sind für die 5 genannten Kraftstoffe die mittleren effektiven Drücke für die Luftüberschusszahlen 0,8 und 1,1 abhängig vom Zündzeitpunkt, Verdichtungsverhältnis und der Ansauglufttemperatur aufgetragen. Die Linien stellen Mittelwerte aus mehreren Kurven dar. Ähnliche Abhängigkeiten für den BMW-Motor sind schon durch das Institut für Betriebstoffor-

schung der SVL bekannt geworden. Es ist erkennbar, dass die aromaten- und alkoholhaltigen Kraftstoffe H und I auf Änderung dieser Betriebsgrößen verhältnismäßig empfindlich sind, während G, K und L bei denen es sich um Stoffe mehr paraffinischer Natur handelt, wesentlich schwerer zu beeinflussen sind.

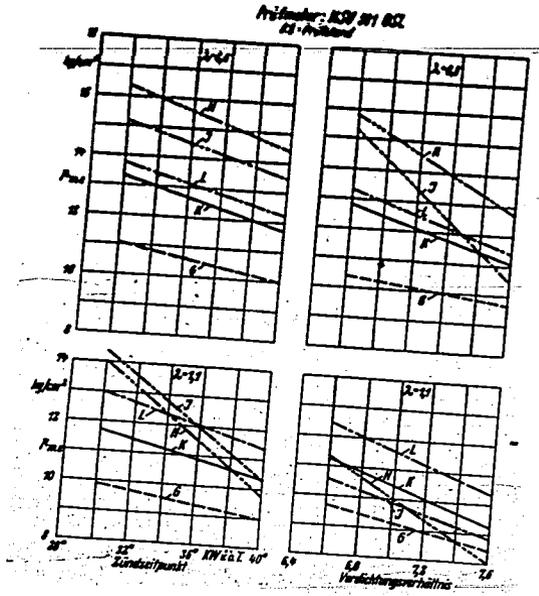


Abb.4. Abhängigkeit der Ladedrücke vom Zündzeitpunkt und Verdichtungsverhältnis für $\lambda = 0,8$ und $1,1$ (5 BS-Standardkraftstoffe)

Aeben den oben angeführten Einflüssen ändern auch die Kühlung des Zylinderkopfes und des Auslassventiles und der Ort der Einspritzung die Überladekurven der einzelnen Kraftstoffe in verschiedenem, wenn auch bei manchen Kraftstoffen geringem Maße. Auch hier waren verständlicherweise die aromaten- und alkoholhaltigen Stoffe am empfindlichsten.

Die Einflüsse der Drehzahl und der Ventilsteuerzeiten, wurden an einzelnen Kraftstoffmustern ebenfalls beobachtet. Es liegen aber noch nicht genügend Ergebnisse vor, um nähere Angaben zu machen.

Der Zeitpunkt der Kraftstoffeinspritzung war von geringfügiger Bedeutung für die Höhe der Überladekurven. Er liegt bei uns am Anfang des Saughubes, in der Nähe der oberen Totlage des Kolbens. Wesentlich spätere Einspritzung erhöht die Verbräuche. Ausserdem kann durch ungünstige Einspritzzeiten bewirkt werden, dass Kraftstoff durch das Auspuffventil infolge der Ventilüberschneidung verloren geht und dadurch die Überladekurven vorwiegend in waagerechter Richtung verlagert werden. Durch Änderung der Ventilüberschneidung können die Ladedrücke in hohem Maße beeinflusst werden, während die mittleren effektiven Drücke dabei wesentlich geringere Änderungen erfahren. Aus diesem Grunde betrachten wir die erzielbaren mittleren effektiven Drücke als günstigere Vergleichsgrundlage zur Beurteilung der Kraftstoffe als die Ladedrücke.

Da die Arbeiten über den Einfluss der motorischen Bedingungen noch im Gange sind, kann jetzt noch nichts Endgültiges über die erzielbare Annäherung der Ergebnisse an die eines anderen Motors gesagt werden. Als Beispiel für schon erzielte Übereinstimmung zwischen NSU- und BMW-Motor sind in Abb. 5 die Überladekurven der 5 genannten Kraftstoffe aus dem NSU-Motor denen des BMW-Motors gegenübergestellt. Man sieht, dass die Angleichung zwar noch nicht vollkommen ist, dass aber eine immerhin ähnliche Bewertung erfolgt. Ich zeige noch als weiteres Beispiel in Abb. 6 die Überladekurven von 3 Flugkraftstoffen, die von der DVL im BMW-Motor und von uns gefunden wurden. Die Bedingungen, unter denen diese Werte erzielt wurden, sind in der Zahlentafel einander gegenübergestellt. Beim NSU - Motor verlaufen die Über -

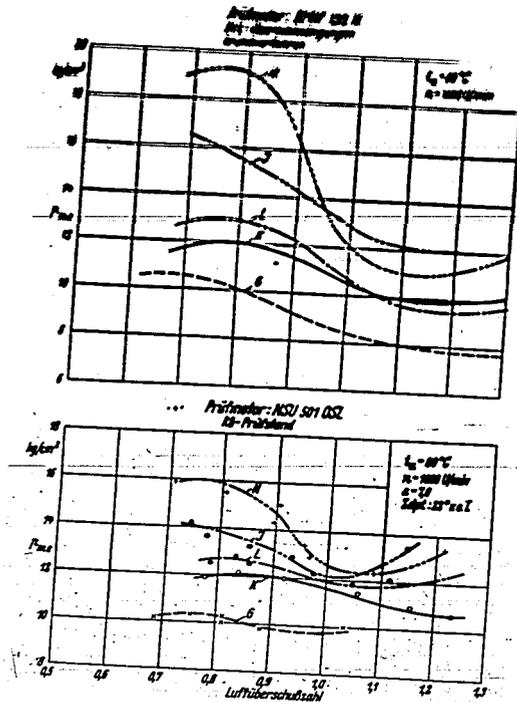


Abb.5. Vergleich der Überladekurven für 5 BS-Standardkraftstoffe aus BMW 132 N und NSU 501 OSL.

ladeladekurven im allgemeinen etwas flacher und liegen enger beieinander als beim BMW-Motor.

Dass die Höchstwerte der mittleren effektiven Drücke im NSU-Motor niedriger liegen, wurde von uns zunächst bewusst angestrebt, um das Triebwerk des für ganz andere Zwecke bestimmten Motors zu schonen. In Verbindung mit den von uns am Motor vorgenommenen kleinen Änderungen konnten so Betriebs-

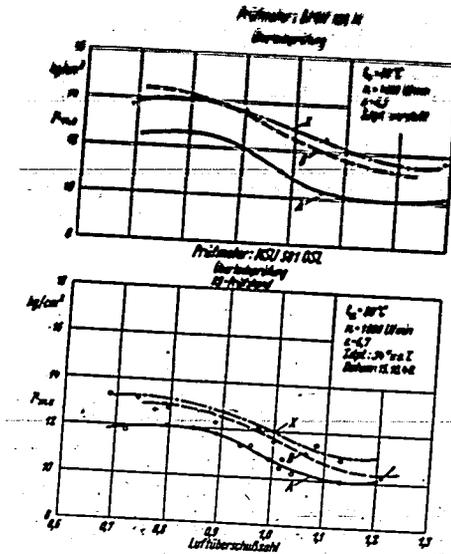


Abb.6. Vergleich der Überladekurven für 3 Flugkraftstoffe, sonst wie 5.

perioden bei ständigem Überladebetrieb von etwa 200 Stunden ohne nennenswerte motorische Störungen erzielt werden. Natürlich erfolgte das Einschleifen der Ventilsitze in kürzeren Abständen und zwar von etwa 20-30 Überladebetriebsstunden. Es erscheint durchaus möglich, durch weitere konstruktive Maßnahmen den Motor auch bei höheren mittleren Drücken mit gleicher Sicherheit zu betreiben. Solche Maß-

nahmen, die am zweckmäßigsten durch die Herstellerfirma erfolgen würden, wären insbesondere dann zu erwägen, wenn sie für eine grössere Anzahl von Motoren in Frage kämen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der NSU-Überladeprüfstand auf dem vorgesehenen Anwendungsgebiet den von una gestellten Forderungen gerecht geworden ist. Die Entwicklung synthetischer Flugkraftstoffe wurde wesentlich dadurch gefördert, dass es im NSU-Motor möglich gewesen ist, die Überladbarkeit von Laboratoriums-Proben festzustellen, deren Herstellung in Mengen von 20-30 ltr., wie sie in Flugmotoren-Einsylinder benötigt werden, praktisch unmöglich gewesen wäre. Neben der geringen Probemenge von 2-3 ltr. ergeben sich als weitere Vorzüge gegenüber dem Flugmotoren-Einsylinder, die niedrigen Anlagekosten, die bei uns etwa RM 10-12.000 pro Prüfstand betragen, sowie die einfachere Handhabung bei Montage und Betrieb.

Zahlentafel

Vergleich der Betriebsgrößen bei der Überladeprüfung im BMW 132-(DVL) und NSU 501 OSL-Motor (Ruhrbenzin.)

	DVL		RB
Motor	BMW 132		NSU 501 OSL
Zylinderzahl	1		1
Bohrung	mm	155	80
Hub	mm	160	99
Hubvolumen	ltr.	3,076	0,494
Verdichtungsverhältnis	1:6		1:7
Kühlung	Luftkühlung		Luftkühlung
Gemischbildung	Einspritzung in den Zylinder		Einspritzung in das Ansaugrohr
Einspritzbeginn	25° n.o.T.		10°KW n.o.T. (Saugbeginn)
Zündpunkt	veränderlich		konstant, 22° v.o.T.
Drehzahl	1600		1600
Ansauglufttemperatur °C	80		80
Bewertungsgrößen	P _{mg} , Ladedruck bei Klopfbeginn (10 Schläge/min)		P _{mg} , Ladedruck bei Klopfbeginn (10 Schläge/min)
Bezugsgröße	Luftüberschusszahl		Luftüberschusszahl
Klopfmessung	Abhören		Abhören

Kraftstoffbewertung im kleinen Einzylindermotor.*)

Von Ing. Singer, I.G.-Farbenindustrie Ludwigshafen, Technischer Prüfstand.

Das Klopfverhalten von Flugkraftstoffen wird in Deutschland laufend an kleinen Einzylindermotor untersucht und in Oktanzahlen ausgedrückt. Der verwendete Klopfactor, seine Prüfbedingungen und der Bewertungsmaßstab wurden vorwiegend in Amerika entwickelt. Die für Flugkraftstoffe angewandte Prüfweise ist unter der Bezeichnung "Motor-Methode" überall in der Welt bekannt geworden.

Ursprünglich sollten mit diesem Verfahren nur Flugkraftstoffe mit vorwiegend paraffinischem Aufbau mit und ohne Bleizusatz bewertet werden. Die Einhaltung dieser Einschränkung sollte durch einen Sonderversuch nachgeprüft werden. Hierbei wurde die Probe mit Schwefelsäure gemischt. Blieb die Erwärmung unter einem Grenzwert, so war die Kraftstoffbewertung nach der Motor-Oktanzahl noch zulässig. Insbesondere sind es Aromaten und Olefine bei denen die Motor-Methode nicht angewandt worden sollte. Tatsächlich lehnten dann auch alle größeren Staaten, wie England, Frankreich, Italien und teilweise sogar auch Amerika die scharfen Betriebsbedingungen, die der Motor-Methode zugrunde liegen, ab und bewerten nunmehr ihre Flugkraftstoffe nach mehr oder weniger milderen Prüfweisen. Nur in Deutschland wird die Motor-Methode unverändert bei der Untersuchung von Flugbenzinen angewandt, und es ist somit weiter nicht verwunderlich, wenn mit der steigenden Verwendung von sehr verschiedenartigen Stoffen (Aromaten) die Stimmen sich mehrten, die auf einen Widerspruch zwischen dem Prüfstantergebnis und der Erfahrung der Praxis hinwiesen. Deshalb wurden auf dem Technischen Prüfstand schon frühzeitig Versuche durchgeführt mit dem Ziel, einen I.G.-Prüfmotor so zu betreiben, dass mit ihm die gleiche Bewertungsfolge erreicht werden könnte wie an einem großen Einzylinder-Prüfstand für das DVL-Überladeverfahren.

Seit 1937 bis jetzt wurden etwa 700 Kraftstoffe untersucht, wobei im Zuge der Entwicklung des Verfahrens die Prüfbedingungen wiederholt gewechselt worden sind. In besonderen Versuchsreihen wurden die Einflüsse des Ladedruckes, der Drehzahl, der Gemisch- und Kühltemperatur und der Vorzündung geklärt, verschiedene Bauarten von Vergasern und Klopfmeßgeräten erprobt und die in Frage kommenden Bewertungsmaßstäbe auf ihre Brauchbarkeit miteinander verglichen. So entstanden schliesslich Motor und

*) s. a. Bericht Nr. 565 des Techn. Prüfstandes Oppau, I.G. Ludwigshafen/Rh.

Verfahren, wenn dann im Vergleich mit dem BNF 132 gegen 300 Flugkraftstoffe untersucht werden sind. Um Verwechslungen vorzubeugen, wurde diese neue Untersuchungsmethode am I.G.-Prüfmeter als das "Oppauer-Verfahren" bezeichnet.

Das Bild 24 zeigt die Versuchsanlage. Gegenüber der üb-

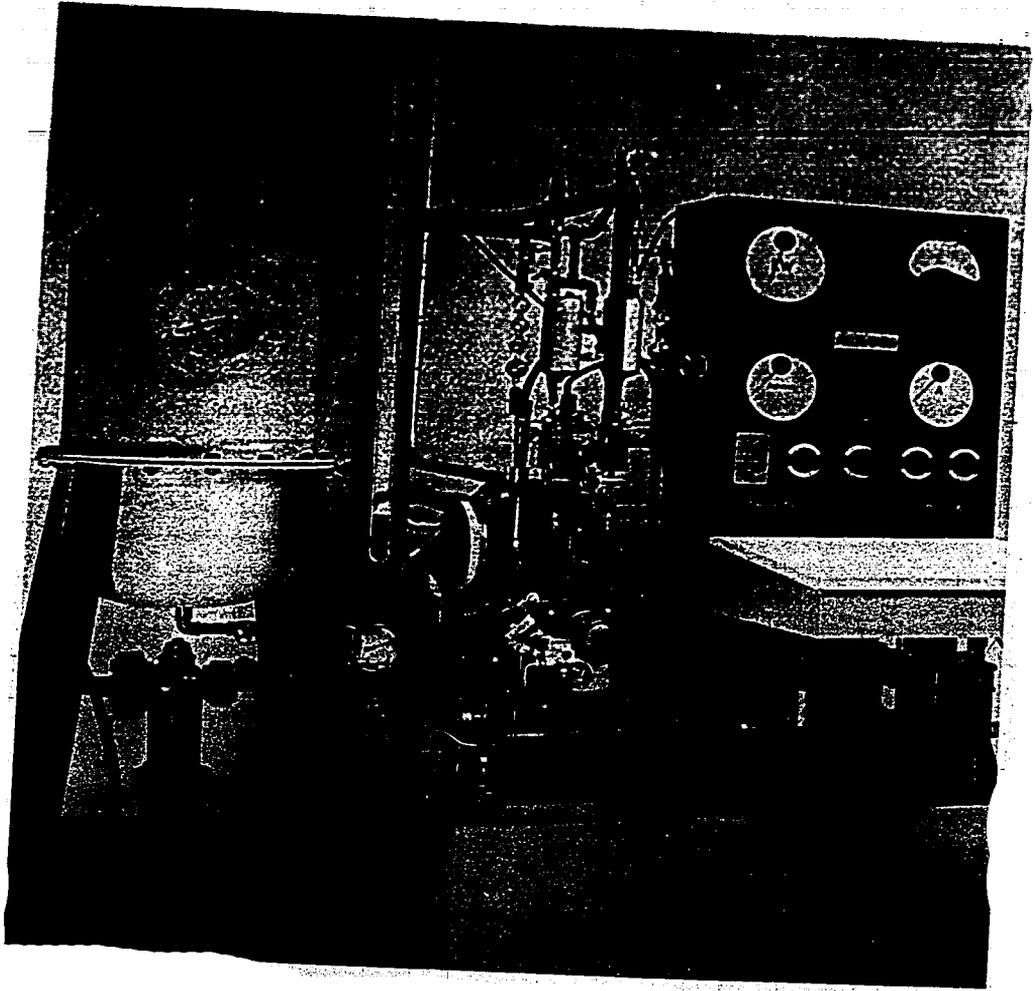


Abb.24:

Versuchsanlage für das Oppauer-Verfahren

lichen Ausführung des I.C.-Prüfmotors wurden folgende Änderungen bzw. Ergänzungen vorgenommen:

- 1.) Anbau eines Windkessels mit Luftuhr und Druckminderventil zum Anschluss an das Werkdruckluftnetz.
- 2.) Anbau eines druckdichten Vergasers mit Meßkugel zur Kraftstoffmessung.
- 3.) Klopfanzeige durch eine Quarzdose statt durch einen Springstiftapparat.
- 4.) Austausch der Zündkerze gegen eine solche mit höherem Glühwert.
- 5.) Neueichung der Oktanzahlscheibe am Motor entsprechend den geänderten Verhältnissen.
- 6.) Anbau der notwendigen Thermometer und Manometer.

Zu weitergehenden Messungen wurde der Motor noch mit einer Gleichstrom-Pendelmaschine ausgerüstet, die aber zu Untersuchungen nach dem Oppauer-Verfahren allein nicht benötigt wird. Die Meßgeräte auf der rechten Seite der Schalttafel dienen dieser zusätzlichen Einrichtung.

Diese Anlage ist auf Bild 25 schematisch dargestellt. Gegen-

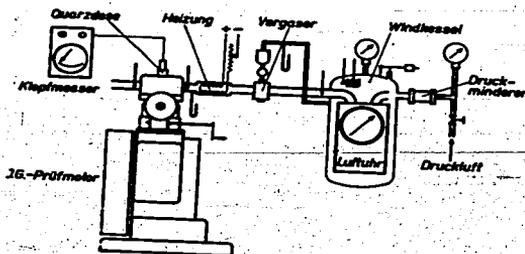


Abb.25: Versuchsanlage für das Oppauer-Verfahren

Materialdaten

Bohrung 65mm, Hub 100mm, Hubraum 332ccm, Verdichtung 4,0:1 - 15,0:1
n = 600, Zündung 22°, Kühitemperatur 100°, Gemischtemperatur 125°
Einlaßdruck 1000mm Q.S. konstant

über den Betriebsbedingungen bei der üblichen OZ-Bestimmung nach der Motor-Methode wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- 1.) Drehzahl 600/min (wie bei R.M.)
- 2.) Vorzündung 22° - unverändert
- 3.) Kühitemperatur - 100°C (wie bei R.M.)
- 4.) Gemischtemperatur - 125°C
- 5.) Einlaßdruck - 1000 mm Q.S.
- 6.) Vergasereinstellung veränderlich zwischen $\lambda = 0,7$ und 1,2.

Die Bedingungen liegen also zwischen denen der Motor- und der Research-Methode.

Das Meßverfahren lehnt sich stark an die Klopfwertbestimmung mit Hilfe der Oktanzahlscheibe an und ist folgendes:

Durch Einstellen des Verdichtungsverhältnisses wird die Probe auf leichte Klopfstärke (wie bei der Oktanzahlbestimmung) gebraucht, sodass der Zeiger des Klopfmessers die Zahl 50 erreicht. Hierbei ist der Vergaser auf größte Klopfstärke eingestellt, also etwa $\lambda = 1$. Das Klopfverhalten der Probe kann an der Oktanzahlscheibe abgelesen werden. Zur Bestimmung des Luftverhältnisses wird der Kraftstoffverbrauch an einer 25-ccm-Meßkugel abgestoppt und der zugehörige Luftverbrauch über die Luftuhr abgelesen.

Dann wird fetteres Gemisch eingestellt. Demzufolge vermindert sich die Klopfstärke und der Zeiger des Klopfmessers geht zurück. Man erhöht nun das Verdichtungsverhältnis so lange, bis der Zeiger des Klopfmessers wieder die Zahl 50 erreicht und liest dann die zweite Oktanzahl an der Scheibe ab. In üblicher Weise wird das Luftverhältnis bestimmt.

Auf diese Weise bestimmt man etwa 6 bis 8 Oktanzahlen in den Grenzen von etwa $\lambda = 0,7$ bis 1,2. Ihre Auftragungen in ein Schaubild ergeben die Beziehung $OZ : \lambda$. Das Aufstellen eines solchen Kurvenzuges dauert etwa $\frac{1}{4}$ Stunden. Man benötigt hierzu etwa 500 ccm Kraftstoff und kann die Meßgenauigkeit zu etwa ± 1 OZ annehmen. Mit der gleichen Meßanlage lassen sich dann auch noch Änderungen der Betriebsbedingungen Oktanzahlen nach der Research- oder Motor-Methode bestimmen.

Da die Meßwerte über die Oktanzahlscheibe abgelesen werden, ist es wichtig, deren Anzeige etwa halbtägig auf ihre Richtigkeit nachzuprüfen. Es ist dies leicht möglich und geschieht ohne nennenswerten Zeitverlust dadurch, dass man durch einen Umschaltbahn von der Probe umschaltet auf ein geeignetes Einstellbenzin von bekannter Oktanzahl, z.B. mit der OZ 100, und auch jetzt das Verdichtungsverhältnis auf einen Zeigerausschlag - 50 einstellt. Im Bedarfsfalle ist die Oktanzahlscheibe nach dem gewählten Beispiel auf OZ 100 nachzustellen.

Es ist auch möglich, und wurde früher von uns durchgeführt, die Oktanzahl statt durch Ablesen durch Einklammern zwischen zwei

bekannte Benzinkraftstoffe zu erhalten. Das Meßergebnis wird hiernach zwar etwas genauer, aber die Versuchsdauer unverhältnismäßig größer.

Zu dem Verfahren ist noch folgendes zu bemerken:

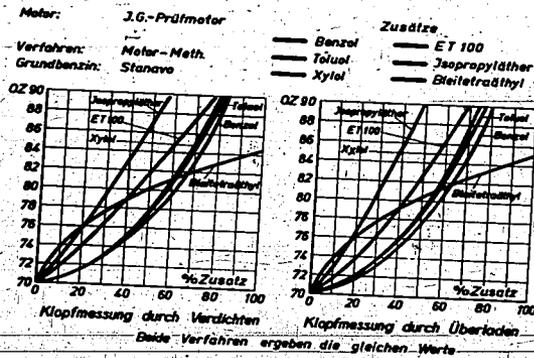
1.) Die Oktanzahl als Maßeinheit ist leicht verständlich und stellt die Verbindung her zwischen dem Oppauer-Verfahren und den üblichen Prüfweiten nach der Kesselnroh- und Motor-Methode. Ihre Vorteile gegenüber einer Motorengröße als Maßeinheit sind bekannt, sodass darauf nicht näher eingegangen zu werden braucht.

2.) Die Prüfbedingungen der Vorsündung, Kühl- und Gemischtemperatur sowie der Drehzahl wurden gewählt, um die richtige Reihenfolge der Kraftstoffbewertung für den unteren Scheitel der Klopfkurve sicherzustellen.

3.) Die Prüfbedingungen hinsichtlich des gleichbleibenden Einlassdruckes von 1000 mm QS wurde gewählt, um den Meßbereich nach oben nicht zu beschränken. Können nur Kraftstoffe bis etwa 100 OZ, also vom C 3-Typ zur Untersuchung, so könnte ohne Überdruck und damit mit einer einfacheren Versuchsanlage gearbeitet werden.

Auf das Meßergebnis selbst hat die Größe des Einlassdruckes keinerlei Einfluß, wie frühere Untersuchungsergebnisse (vgl. Bild 26) gezeigt haben.

Abb. 26: Kraftstoffbewertung durch Verdichten u. Überladen



Es wurde hier ein Stanavo-Flugbenzin mit sehr verschiedenartigen Stoffen, wie Benzol, Toluol, Xylol, ET 100, Isopropyläther und Bleitetraäthyl, versetzt und von diesen Mischungen das Klopfverhalten bestimmt. Das eine Mal wurde in üblicher Weise die Klopfstärke erreicht durch Ändern des Verdichtungsverhältnisses, wobei also der Einlassdruck unverändert blieb. Das andere Mal blieb das Verdichtungsverhältnis konstant und die Klopfstärke wurde durch entsprechende Einstellung des Einlassdruckes erzielt. Selbstverständlich blieben alle anderen Einflüsse, wie Drehzahl, Kühltemperatur,

Gemischtemperatur, Verdünnung und Vergasereinstellung auf größte Klepfstärke völlig unverändert. Das Ergebnis zeigt, dass beide Verfahren zur gleichen Bewertung der Kraftstoffe gekommen sind, womit also ein Einfluss der Ladehöhe auf das Messergebnis nicht nachzuweisen war.

Aus der Vielzahl der Vergleichsversuche zwischen dem I.G.-Prüfmotor und dem BMW 132 bei 130°C seien nun einige charakteristische Ergebnisse gezeigt.

Bild 27 zeigt nach beiden Verfahren die Bewertung von recht unterschiedlichen Kraftstoffen wie ET-100, C2, C3 und B4. Man erkennt, dass die Übereinstimmung in der Bewertung sehr gut ist und zwar sowohl hinsichtlich der Reihenfolge der einzelnen Proben als auch hinsichtlich des Einflusses der Vergasereinstellung. Im allgemeinen wirkt sich der Einfluss des Luftmangelbetriebes im BMW-Motor etwas stärker aus als am I.G.-Prüfmotor.

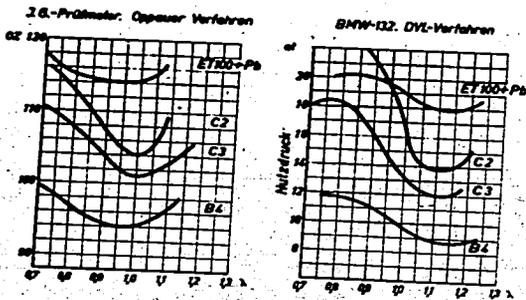


Abb.27: Kraftstoffbewertung nach dem Oppauer- u. DVL-Verfahren

Beide Verfahren bewerten die Kraftstoffe ähnlich

Auch das nächste Bild 28 zeigt eine sehr gute, übereinstimmende Bewertung von verschiedenartigen Kraftstoffen. Es wurde hierbei die Frage gestellt, ob und inwieweit ein Benzin E durch Mischung mit einem anderen Benzin F einem C 3-Kraftstoff angenähert werden kann. Wie man sieht, haben beide Prüfverfahren in gleichem Sinne entschieden, dass innerhalb der Messgenauigkeit beide Stoffe zwar gleichwertig, aber der C 3-Kraftstoff der etwas überlegene ist.

Wurden bisher Beispiele mit verschiedenartigen Kraftstoffen ausgewählt, so zeigt das nächste Bild 29 drei Kraftstoffe von gleichem Aufbau, aber von verschiedener Herkunft. Auch hier werden die Benzine im gleichen Sinne bewertet.

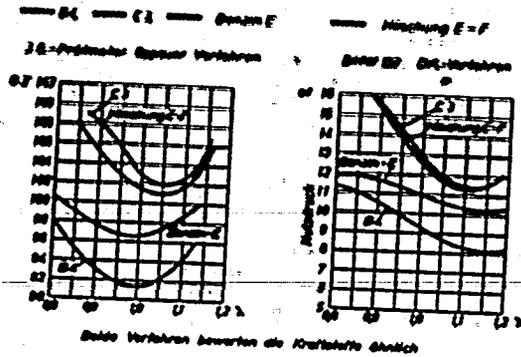


Abb.28: Kraftstoffbewertung nach dem Oppauer- und DVL-Verfahren

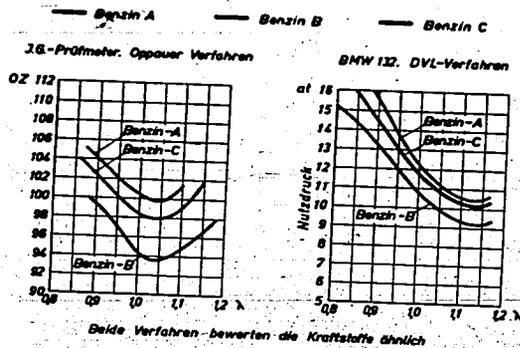


Abb.29: Kraftstoffbewertung nach dem Oppauer- und DVL-Verfahren

Mitentscheidend für die Brauchbarkeit eines Verfahrens ist seine Wiederholbarkeit. Deren Größe zeigt die folgende Darstellung Bild 30 wobei am I.G.-Prüfmotor und am BMW-Motor die gleichen Kraftstoffe B 4 und C 3 jeweils fünfmal untersucht worden sind. Das so erhaltene Streuband ergibt für das Oppauer Verfahren eine höchste Abweichung beim C 3-Kraftstoff von + 1 OZ, beim B 4-Kraftstoff eine solche von nur + 0,5 OZ. Die entsprechenden Werte für den BMW-Motor sind + 0,7 bzw. + 0,4 p_{me}-Einheiten. Die am I.G.-Prüfmotor beobachteten Streugrenzen decken sich damit gut mit den bekannten Unterschieden bei der üblicher Oktanzahlbestimmung.

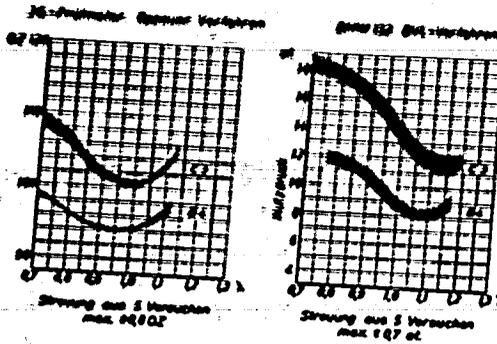


Abb. 10: Streuungen beim Oppauer- und B.M.-Verfahren

Bei laufenden Untersuchungen von Proben, die gleichzeitig am B.M.-Motor und am I.C.-Prüfmotor durchgeführt wurden, konnte festgestellt werden, dass die Messungen am I.C.-Prüfmotor eine zum Teil erhebliche Einsparung an der benötigten Probemenge, am Versuchspersonal und auch an der Versuchsdauer brachten. Da die ganze Anlage einfacher und übersichtlicher gehalten ist, sind die Messungen am I.C.-Prüfmotor leichter und damit auch sicherer durchzuführen. Aufgrund der Messergebnisse sind wir zu der Ansicht gelangt, dass die laufende Kraftstoffprüfung im B.M.-Motor auch von einem kleinen Motor, der entsprechend abgestimmt ist, übernommen werden kann.

Wir stellen unsere Erfahrungen gerne zur Verfügung und halten es für zweckmäßig, dass ein kleiner Kreis das Verfahren aufnimmt, um es weiter zu erproben. Durch die bestehende Anlehnung an bereits eingeführte Meßverfahren dürften gute Ergebnisse zu erwarten sein.

Wenn es auch selbstverständlich erscheint, so soll zum Schluss doch noch darauf hingewiesen werden, dass die an einem kleinen Motor erzielten Werte nur so lange und mit den gleichen Vorbehalten auf die Praxis anwendbar sind, als es die Ergebnisse des Einzylinderprüfstandes bleiben, auf welchen der kleine Motor zunächst abgestimmt worden ist. Aufgabe des großen Einzylinderprüfstandes bleibt es also nach wie vor, den Zusammenhang zwischen seinen Messwerten und den Ergebnissen der Praxis sicherzustellen. Ihn für diese Aufgabe freizumachen, bildete, wie schon erwähnt, das Ziel der von uns durchgeführten Messungen.

Nichtstoffe (Bezugskraftstoffe).

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

Für die verschiedenen Zwecke der Luftfahrt ergibt sich etwa folgendes Bild:

- a) Oktanzahlmessung: dient zur Herstellung und Identitätskontrolle, sagt für sich nichts über die Überladbarkeit aus. Die Kontrolle des Motorzustandes mit einer hocharomatischen Mischung ist notwendig; bei einwandfreier Lage der Oktanzahl wird die Prüfung mit (iso)paraffinischen Bezugskraftstoffen durchgeführt. Mit der Verwendung von Stoffen der Klasse 100 wird die Bezugskala n-Heptan/Iso-Oktan zu knapp, sodass man zu einer anderen Skala übergehen müßte. Es ist zu überlegen, ob man nicht Iso-Oktan und Blei verwenden sollte. Verwendet man die Oktanzahl als einziges Merkmal der motorischen Brauchbarkeit (d.h. also nicht nur zur Herstellungs- und Gleichmäßigkeitskontrolle) wie z.B. bei den Autokraftstoffen, so muss man bei der Prüfung benzolhaltiger Gemische allerdings vorsichtig mit der Festlegung auf einen bestimmten Bezugskraftstoff sein.
- b) Überladung: dient zur Herstellungs- und zur Qualitätsprüfung. Für die Charakteristik der Kraftstoffe nach ihrer Überladbarkeit muss man den Motorzustand besonders genau festlegen oder auf Gleichmäßigkeit prüfen können; auch hierzu erscheinen Aromaten wegen ihrer größeren Empfindlichkeit angeraten. Dagegen nützt die Kontrolle mit (iso)paraffinischen Kraftstoffen der Klasse 87 wenig, weil manche bei höheren Überladungen auftretenden Unterschiede des Motorenzustandes bei geringeren Überladungen verschwinden. Eine unbedingte Voraussetzung der Brauchbarkeit solcher Bezugskraftstoffe ist Gleichmäßigkeit und Haltbarkeit (Hemmstoffe).
- c) Dauerversuche:
- Auch für die Untersuchung des Dauerverhaltens von Kraftstoffen und Ölen muss ein Bezugskraftstoff vorliegen, der stets gleichmäßig und unverändert bleibt. In die Qualität der Bezugskraftstoffe geprüft werden muss, wird noch weiter geklärt.

Als Benzin kraftstoffe der Luftfahrt ersehen I.C.-Benzin und Z-Stoff, bzw. Z-Stoff für Oktanzahlen über 100 geeignet. Die Frage der Streuungen bei Verwendung von Benzol und ZI ist allerdings noch zu prüfen.

Für das Dauerverhalten müssen noch genauere Unterlagen der möglichen Benzin kraftstoff-Eigenschaften beschafft werden.

Temperaturempfindlichkeit von Bezugskraftstoffen
bei der Octanzahlbestimmung.

Von Dipl.-Ing. Knaffl, OLEX, Rln.-Rumelsburg.

Infolge ihrer gleichen Temperaturempfindlichkeit sollten bei der Octanzahlmessung aromatenhaltige Kraftstoffe mit aromatenhaltigen Bezugsstoffen verglichen werden, denn beim Vergleich chemisch stark verschiedener Stoffe müssen Fehlmessungen infolge von Streuungen auftreten, wie dies hinsichtlich der mit Benzol aufgestellten Eichkurve allgemein zugegeben wird. Streuungen der Eichkurve können erfaßt und ausgeschaltet werden (s. Mitteilungen des Olex-Prüfstandes vom 21.5.41, S. 4 f), Streuungen bei der Prüfung von Kraftstoffmustern unter Verwendung paraffinischer Unterbezugskraftstoffe sind dagegen schwer bzw. nicht zu erfassen, weil das Ausmaß der Streuung vom Gehalt an Aromaten abhängt und sich außerdem kurzfristig ändern kann.

Die Temperaturabhängigkeit der mit Z 1 und Reinbenzol ermittelten Octanzahlen wurde dadurch bestimmt, daß bei der Motormethode die Octanzahlen mit Gemischvorwärmungstemperaturen von 150, 127 und 95°C gemessen wurden. Dabei ergaben sich für einen Kraftstoff der Zusammensetzung

55 Vol.-% Fliegerbenzin
45 " Benzol
0,12 " Bleitetraäthyl

folgende Vergleichswerte:

Temperatur	Oct mit Z 1 ermittelt	Diff.	Oct mit Reinbenzol ermittelt	Diff.
150°C	93,6	1,4	95,1	0,2
127	95,0		95,3	
95	97,0		96,0	

Eine Temperaturänderung wirkt sich also beim Arbeiten mit Z 1 bedeutend stärker aus als beim Arbeiten mit Reinbenzol.

Bei einem benzolfreien Grundbenzin wirkte sich eine Temperaturänderung bei Verwendung von Z 1 und Reinbenzol praktisch im gleichen Maße aus:

Temperatur	OZ mit Z 1 ermittelt	Diff.	OZ mit Reibenzol ermittelt	Diff.
150°0	59,7	0,3	59,8	0,5
127	59,4		59,3	

Da beim Betrieb eines Prüfmotors mit Schwankungen seines thermischen Zustands gerechnet werden muß, so würde bei der Prüfung von aromatenhaltigen Kraftstoffen durch die Verwendung von paraffinischen Bezugekraftstoffen von vornherein eine mögliche Fehlerquelle heringetragen. Da dies vor allem für Abnahmestellen ausgeschlossen sein muß, erscheint die Verwendung eines zweiten paraffinischen Unterbezugskraftstoffen, wie Z 1, unzulässig.

Anwendung der Überladung für die Ölprüfung.

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

Die Aussprache über die notwendige Voraussetzung für reproduzierbare Ergebnisse der Überladeprüfung hat gezeigt, dass bis zu einer vollkommenen, befriedigenden Lösung noch viel Arbeit geleistet werden muss. Will man nun das Überladeverfahren zur Sicherung von Schmierölen heranziehen, so werden die gleichen Schwierigkeiten wie bei der Kraftstoffprüfung auch bei der Schmierölprüfung vorkommen. Es ist deshalb wohl derzeit noch nicht möglich, irgendwelche Vorschläge in dieser Richtung zu machen. Dies umso mehr, als ausser der erhöhten Schwierigkeit der Überladeprüfung noch ein anderer Umstand grundsätzlich gegen die Anwendung der Überladung zur Schmierölprüfung spricht. Die bisherigen Erfahrungen der DVL ebenso wie anderer Stellen haben nämlich gezeigt, dass die Veränderung des Schmieröles weitgehend eine Folge der Betriebstemperatur ist. Die Überladung wird daher im wesentlichen nur einer Temperaturerhöhung bei den bisher üblichen Ölprüfbedingungen gleichkommen. Wenn diese Annahme tatsächlich zutrifft, lässt sich das Überladeverhalten von Schmierölen auf wesentlich einfachere Weise dadurch erfassen, dass man eine höhere Versuchstemperatur anwendet. Sollte sich jedoch das Schmieröl bei Anwendung der Überladung im Ölmotor grundsätzlich anders verhalten, so wäre wegen der grossen Verschiedenheit im Schmierölssystem des Einzylinders und des Vollmotors ja doch der Vollmotorversuch unerlässlich. Es scheint deshalb angezeigt, an Hand des vorhandenen Materials zu prüfen, ob bei der Bewertung von Schmierölen nach dem bisher üblichen Verfahren und beim Überladebetrieb in Vollmotoren dieselbe Reihenfolge vorhanden ist. Erst wenn genügende Unterlagen beschafft sind, wird es notwendig sein, auf die Frage einer Schmierölprüfung bei höheren Temperaturen oder, wenn es nicht anders geht, bei Überladung einzugehen.

Diskussion der Vorträge am 16.6.1941.
 =====

Allgemeine Gesichtspunkte.

Ofters tritt die Notwendigkeit auf, technische Aufgaben zu lösen, die wissenschaftlich noch nicht klar sind. Wegen der Kompliziertheit der Verhältnisse ist es dabei notwendig, mit Fingerspitzengefühl weiter zu kommen. Außerdem ist engste Zusammenarbeit der verschiedenen Fachrichtungen untereinander grundsätzliche Voraussetzung. Die Bedeutung der Frage der einwandfreien Beurteilung brauchbarer Kraftstoffe geht aus der Tatsache hervor, daß die neuen synthetischen Anlagen Millionenwerte erfordern, die natürlich zweckmäßig angelegt werden müssen.

Der wesentlichste Einfluß auf den Klopfvorgang ist die Temperatur; aus diesem Grunde ist es notwendig, daß die Temperaturen der Motoren so niedrig als möglich gelegt und Wärmestauungen vermieden werden. Für das Klopfverhalten des Motors ist ja die Stelle mit der höchsten Temperatur ausschlaggebend, sodaß konstruktiv viel durch entsprechende Maßnahmen erzielt werden könnte. Die Versuchsmethode zur Bestimmung der Klopfestigkeit muß sich den praktischen Verhältnissen möglichst anpassen. Das Prüfverfahren (DVL-Überladeverfahren) hat verschiedene Schwächen, von denen die Kompliziertheit eine der wesentlichsten ist. Eine Vereinfachung des motorischen Klopfprüfverfahrens wäre notwendig und könnte wohl im Zusammenhang mit theoretischen Betrachtungen erzielt werden.

Bisher wurden bei der Beschaffung von Hochleistungskraftstoffen hauptsächlich die aromatischen Kraftstoffe herangezogen, weil weitere Neuanlagen für Iso-Paraffin-Herstellung in gleich kurzer Zeit unmöglich gebaut werden können. Man kann sagen, daß nur 20% des Gesamtbedarfes an Iso-Paraffinen hergestellt werden können, die restlichen 80% des Bedarfes müssen aber nach Möglichkeit ebenso klopfest sein wie Iso-Octan. Ein grundsätzlicher Nachteil der Aromaten ist die Temperaturempfindlichkeit, die theoretisch auch erfaßt ist; sie könnte allerdings durch Veränderung der Siedekurve und

der Konstitution der Aromaten beeinflusst werden. Ventilüberschneidung und Teileinspritzung erbringen Fortschritte, durch die eine Ausgleichung der Nachteile möglich ist; deshalb wäre es notwendig, das der Motor sich praktisch den Kraftstoffen anpaßt. (Pier)

Der motorische Zustand muß einwandfrei geprüft werden, erst dann können mit einem Motor richtige Ergebnisse mit verschiedenen Kraftstoffen erhalten werden. Allerdings müßten sie auch mit dem Vollmotor übereinstimmen; deshalb müßten die Vollmotoren in ähnlicher Weise wie die Einzylinder-Motoren auf einwandfreien Zustand geprüft werden. Dazu ist die Verwendung eines lagerbeständigen Kraftstoffes notwendig.
(v. Philippovich)

Zu II. Chemisch-physikalische Erfassung des Klopfverhaltens.

Für die chemisch-physikalische Erfassung des Klopfverhaltens wird nun außer der adiabatischen Verdichtung auch ein Wert auf motorischer Erfahrungsgrundlage vorgeschlagen. Zwei Einflüsse wirken sich motorisch besonders stark aus, die bei dem Zündverzugsverfahren von Jost nicht erfaßt werden und zwar das Kraftstoffluftverhältnis und der Spülvorgang, d.h. die Menge Restgas, die im Zylinder verbleibt. Dementsprechend erscheint es wünschenswert, auf die Untersuchung dieser beiden Vorgänge bei der adiabatischen Verdichtung weiter einzugehen. Die Möglichkeit mit motorischen Erfahrungswerten und chemisch-physikalischen Eigenschaften der Kraftstoffe im voraus die Berechnungen der Klopfgrenzkurve vorzunehmen, erscheint interessant, müßte aber noch weiter untersucht werden. (v. Philippovich)

Auf Grund der Formel

$$\zeta = \frac{\text{Const.} \cdot e^{-\frac{E}{RT}}}{p^n}$$

wurde von Fromherz und anderen Mitarbeitern Dr. Pier's der Einfluß von Druck und Luftüberschuß erfaßt.

Auch wurden Einflüsse motorischer Art auf ihre reaktionskinetische Bedeutung hin untersucht, und es konnte gezeigt werden, daß theoretische Klopfgrenzkurven herauskommen müssen, wie sie bei Ventilüberschneidung und anderen Ansaugtemperaturen motorisch gefunden werden. (Fromherz)

Die Mitarbeiter von Prof. Jost, Teichmann u. Rügner versuchten, in dem Ausdruck für den Zündversag

$$\zeta = f(p, \lambda, \dots) e^{\frac{E}{RT}}$$

die Funktion $f(p, \lambda, \dots)$ experimentell zu ermitteln. Dabei ergab sich bei n-Heptan nur eine außerordentlich geringe Abhängigkeit von p u. λ nicht größer als den verbleibenden Unsicherheiten entspricht. (Von Druck könnte ζ also höchstens wie eine niedrige negative Potenz von p abhängen.) Könnte man bei zunehmendem Luftüberschuß die Temperatur im Motor unverändert halten, so sollte nach allen Erfahrungen über die Oxidation von Kohlenwasserstoffen die Klopfneigung über ein weites Gebiet monoton abnehmen; die abweichende Erfahrung am Motor ist nur durch Temperatureffekte zu deuten. (Jost)

III. Motorenprüfung auf Klopfestigkeit.

Bei der Übertragung der Ergebnisse vom Einzylinder-Motor auf den Vollmotor muß man Vorsicht walten lassen. Die Unterschiede zwischen Klein- und Vollmotor sind entschieden wesentlich größer als zwischen einem Flugmotoren-Einzylinder und dem Vollmotor. Der Vollmotorenversuch ist aber auch für Einzylindermotoren-Ergebnisse noch immer zur endgültigen Beurteilung notwendig. Welche Betriebsbedingungen für den Vollmotor allerdings eingehalten werden müssen, müßte grundsätzlich festgelegt werden. Die Verwendung von Kleinmotoren ist sicher sehr interessant. Die Frage, wie verschiedene Vollmotoren Kraftstoffe bewerten, soll heute nicht im einzelnen besprochen werden, obwohl sie von grundlegender Bedeutung ist. (v. Philippovich)

Seeber bemerkt zu seinem Vortrag ergänzend, daß die Fehlmessungen der Intava bei der 2. Versuchsreihe mit dem Kraftstoff CV 2b auf eine Verwechslung von Proben zurückzuführen sein könnte, da der zweite geprüfte Vergleichskraftstoff C 3 in ähnlicher Größenordnung bestimmt wurde wie von den übrigen Prüfstellen.

Wenzel ist der Ansicht, daß auch bei einem Vergleichsversuch mit CV 2b-RLM zwischen der I.G. und der Intava (Intava Bericht 89) eine Verwechslung von Kurven vorgelegen

habe.

Dagegenüber führt Witschakowski aus, daß in dem von Seeber erwähnten Falle eine Verwechslung wohl vorliegen könnte, daß aber bei den Vergleichsversuchen zwischen der Intava und dem Technischen Prüfstand eine Verwechslung von Kurven nicht vorläge. Durch diesen Vergleichsversuch wurde also, ähnlich der zuletzt durchgeführten zweiten Vergleichsreihe, ebenfalls festgestellt, daß die Klopfgrenzkurven des Überlademotors der Intava tiefer liegen. Es habe sich auch bei der Prüfung von Hochleistungsbenzinen stets ergeben, daß die Intava eine um etwa 3 at tiefere Lage der Klopfgrenzkurve mißt als der Technische Prüfstand.

Fromherz berichtet von einer Aussprache bei BMW, München. Man sei dort der Meinung, daß die zu niedrigen Werte der Intava auf hohe Zylindertemperaturen zurückzuführen seien.

Ähnliche Versuche, wie I.G. Oppau, führte die DVL 1937 im CFR-Motor bei konstanter Verdichtung mit veränderlichen Indrücken durch, wobei sich zeigte, daß bei einigen bestimmten Kraftstoffen bei $\lambda = 0,9$ dieselbe Reihenfolge auftrat, wie im BMW 132-Zylinder-Prüfmotor (DVL-Bericht FB 859/1). Versuche, im CFR-Motor mit Einspritzung zu arbeiten, zeitigen keine günstigen Ergebnisse. Versuche, im NSU-Motor Klopfgrenzkurven von Hochleistungskraftstoffen (C 2 usw.) selbst bei sehr scharfen Prüfbedingungen zu bestimmen, führten bei der DVL deswegen nicht zum Ziel, weil der Kraftstoff nicht über dem ganzen Luftüberschubsbereich zum Klopfen gebracht werden konnte. Die Arbeiten der DVL im Kleinmotor wurden damals deshalb nicht fortgesetzt, weil das RLM sich bei seiner Bewertung für Flugkraftstoffe, sowie bei Entwicklungstoffen allein auf die Untersuchungen im Flugmotoren-Einzyylinder (BMW 132) stützen wollte. (Seeber)

Bei den Versuchen des Technischen Prüfstandes ist nur in einem Falle beobachtet worden, daß durch höhere Ventilüberschneidung die Klopfgrenzkurve im fetten Gebiet gesenkt wurde. (Penzig)

Was die Unterschiede der Richtung der Klopfgrenzkurve bei Ventilüberschneidung anbelangt, die zwischen DVL- und I.G.-Versuchen auftreten, ist es möglich, daß sie auf verschie-

gene Versuchstemperaturen (130 bzw. 80°C) zurückzuführen sind. (v. Philippovich)

Die starke Begrenzung der Ventilüberschneidung liegt darin, daß bei Ventilüberschneidung über 100 bis 110° der Luftbedarf in der Höhe sehr stark zunimmt, weil die Lader sehr groß werden müssen. Andererseits ist auch bei großer Ventilüberschneidung der Laderlauf sehr schlecht. (Holfelder)

Bezüglich der Frage, ob die Klopfestigkeitskurve bei der Ventilüberschneidung nur durch die Temperatur oder auch durch Beeinflussung des Reaktionsablaufes derart verändert wird, wurde darauf hingewiesen, daß man eigentlich nur eine Funktion von der Temperatur annehmen kann. (Fromherz)

Die Verhältnisse der Ventilüberschneidung können sich auch klopfördernd auswirken, wie z.B. infolge der Vergrößerung des Füllungsgrades. (Jost)

Die Frage, ob Messungen bei Klopfbeginn und starkem Klopfen (Ausschlag 50) die gleichen Ergebnisse zur Folge hätten, ist nach Versuchen von Stansfield positiv zu beantworten, andere Versuche sprechen wiederum dagegen. (v. Philippovich)

Die Auftragung über dem Ladedruck ist in der Industrie gebräuchlicher, weil die dort verwendeten Bord- und Prüfstandsgeräte sämtlich für die Anzeige des Ladedruckes ausgelegt sind. (Franke)

Zum Vorschlag der I.G. Farbenindustrie (Oppau), einen elektromagnetischen Geber zu verwenden, wird auf das DVL-Verfahren der zweiten Ableitung (s. Veröffentlichung "Kraftstoff" 17. Jahrgang 1941, Heft Juni/Juli) hingewiesen. (Wende)

Nach Erfahrungen von Penzig genügt eine rein optische Anzeige nicht. Der Indikator ist prinzipiell der gleiche, wie er von A.W. Schmidt, München, verwendet worden ist, d.h. er benötigt keine Extra-Bohrung.

Zu IV. Eich- und Bezugskraftstoffe.

Aromatenhaltige Kraftstoffe sollten bei der Octanzahlbestimmung mit aromatenhaltigen Bezugskraftstoffen verglichen werden, um das Auftreten von Fehlmessungen zu vermeiden, da sich der verschiedene Zustand der Prüfmotoren stark auswirkt,

wenn nicht gleichartige Kraftstoffe bei der Oktanzahlbestimmung miteinander verglichen werden. Deshalb gibt das paraffinisch-isoparaffinische Gemisch aus Bezugsbenzin und Z 1 bei der Untersuchung von Benzinen mit höheren Aromatengehalten größere Streuungen als bei der Prüfung mit einem paraffinisch-aromatischen Gemisch (Reinbenzol). Die Verwendung von Z 1 ist infolge der sich daraus ergebenden Schwierigkeiten bei der Abnahmeprüfung abzulehnen. (Knaffl)

Der Vorschlag der DVL zur Kontrolle des Motorenzustandes, Mischungen von Benzin und Benzol zu verwenden, brachte kein positives Ergebnis, auch wenn eine Mischung gebraucht wurde, die einem Gemisch aus 80% Iso-Octan und 20% n-Heptan gleichwertig war. Die I.G. ist grundsätzlich anderer Meinung als Knaffl, weil ja die Oktanzahl-Bestimmung selbst auch eine Messung gegenüber paraffinisch- bzw. isoparaffinischen Kraftstoffen darstellt. (Singer)

Singer stellt zu den Ausführungen von Knaffl fest, daß in den Beispielen die Begriffe "Temperaturempfindlichkeit" und "Meßgenauigkeit" verwechselt werden.

Allgemein versteht man unter der "Temperaturempfindlichkeit" eines Stoffes den Oktanzahlunterschied, der sich beim Wechsel der Betriebsbedingungen des Klopfmotors ergibt. Je nach Wahl der Prüfbedingungen und Kraftstoffart können hierbei Unterschiede bis zu 10 und mehr Oktanzahlen auftreten, also wesentlich mehr als aus den Beispielen des Knaffl hervorgeht. Wiederholt man jedoch, ohne die Betriebsbedingungen zu ändern, die Untersuchung eines Kraftstoffes, so läßt sich aus der Streuung der Meßwerte die Meßgenauigkeit angeben. Nach den Erfahrungen von rund 50 Prüfstellen ist die Meßgenauigkeit unabhängig von der Art der untersuchten Benzine; denn solche große Schwankungen in den Betriebsbedingungen, wie sie den Beispielen des Knaffl zu Grunde gelegt sind, kommen bei der Oktanzahlbestimmung nicht vor (z.B. 150° bis 95°C Gemischtemperatur). Aus diesem Grunde war es bis jetzt noch nicht möglich, aus dem Mischungsverhältnis von zwar klopfgleichen, aber sehr artverschiedenen Mischungen, wie es Oktan/Heptan- und Benzol/Heptangemische sind, irgendwelche Vorhersagen über den Motorenzustand und damit über die Meßgenauigkeit bei der Oktanzahlbestimmung machen zu können. Die Verwendung von pa-

raffinischen Unterbezugskraftstoffen bei der Klopfwertbestimmung ist somit gerechtfertigt, besonders auch deshalb, weil ja die Octanzahlbestimmung selbst auch eine Messung gegenüber rein paraffinischen Urbezugskraftstoffen darstellt. (Singer)

Weiter der starken Zunahme des Volumenanteiles Benzol gegenüber dem Benzin bei hohen Octanzahlen könnten sich bei Verwendung eines Gemisches von der OZ 87 Unterschiede ergeben, die bei weniger klopfesten Aromatenmischungen (OZ 80) nicht zu Tage treten würden. (v. Philippovich)

Gegen die Verwendung des Reinsbenzols als Unterbezugskraftstoff wird eingewendet, daß es bei praktisch vorkommenden niedrigen Temperaturen erstarre. (Lange)

Es wurde vorgeschlagen, daß für die Kontrolle des Überladeprüfmotors anstelle von Rich C 3 und sonstigen hocharomatischen Kraftstoffen aus der Produktion ein synthetisches Gemisch von Aromaten verwendet wurde, das sich aus Benzol, Xylol und Äthylbenzol zusammensetzt. Dieses soll zu 40% mit 60% Bezugsbenzin vermischt werden und mit 0,12 Vol.% Blei aufbleit werden. (Pier) Dehmlow (RLM) erklärt diesen Vorschlag für aussichtsreich und interessant.

Praktisches Lagerverhalten und seine chemische Charakteristik.

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

I. Grundsätzliche Anforderungen an die Kraftstoffe der Luftfahrt:

Die praktische Bedeutung der verschiedenen Kraftstoffeigenschaften ergibt sich aus den Anforderungen, die von der Luftfahrt gestellt werden. Für die Lagerbeständigkeit sind zwei dieser Forderungen von ganz wesentlicher Bedeutung: die gleichmäßige und einheitliche Beschaffenheit der Kraftstoffe und die Lagerungsmöglichkeit unter den verschiedensten praktischen Bedingungen. Die erste Forderung verlangt, dass unabhängig von der Herstellungsart die Kraftstoffe sich auch in Gemischen aus den verschiedenen Produktionen lagermäßig gut verhalten. Die zweite Forderung umfasst alle Betriebsverhältnisse, denen die Kraftstoffe unterworfen sein können, sodass die Prüfung bei den ungünstigsten Bedingungen erfolgen muss, um wirkliche Gewähr gegen Versagungen zu bieten.

II. Voraussetzungen einer genauen Beurteilung der Lagerbeständigkeit.

Während früher bei den ungleitenden Benzinischen Schwierigkeiten infolge ungenügender Lagerbeständigkeit nur auftraten, wenn Olefine in größerer Menge oder besonders unbeständige Diolefine anwesend waren (insbesondere Harzbildung), verhielten sich gesättigte Kohlenwasserstoffe fast ausnahmslos gut. Anders wurde es mit der Verwendung gebleiteter Benzine. Es zeigte sich, dass Gemische mit Motorenbenzol oder Kraftstoffe, die viele Aromaten enthielten, in unkontrollierbarer Weise schlechter waren als reine Benzine. Der Chemismus des Vorganges war unklar, es war aber wahrscheinlich, dass die Art des Kraftstoffes bzw. seiner Verunreinigungen eine verstärkte Zersetzung der Bleitetraäthyls und Harzbildung verursachte. Zur Klärung des Vorganges wurden eine Reihe von Versuchen bei der DVL durchgeführt, über die noch berichtet wird. Ähnlich wie bei den Verbrennungseigenschaften besteht aber auch hier die Schwierigkeit der Übertragung der Laboratoriumsergebnisse auf die praktischen Vorgänge. Man kann sagen, dass für genau definierte Kraftstoffe die laboratorienmäßige Erfassung bestimmter Zusammenhänge gewisse Rückschlüsse auf die praktischen Verhältnisse zulässt, soweit die dabei herrschenden Bedingungen bekannt sind. Während aber manche dieser Umstände einfach feststellbar sind, wie das Volumen der Flüssigkeit oder das Volumenverhältnis der Flüssigkeit zum Dampf im Behälter, ist es schwierig, andere Umstände genau zu erfassen, wie den Gasaustausch und die Beschaffenheit der Gefäßwände. Dazu kommt,

das vielfach während der Lagerung von Kraftstoffen Zusammmenungen von anderen Kraftstoffen vorkommen, deren mengenmäßiger Anteil nicht festgestellt wird oder werden kann. Überdies besteht nicht nur Unklarheit über die Bedingungen der Lagerung, sondern auch über den Zustand der Benzprobe, die jeweils zur Untersuchung gelangt. Wie weiter gezeigt werden wird, ist nämlich die Veränderung der gebleiten Benzine selbst in reinen gut verschlossenen Glasflaschen im Dunklen unter Umständen so groß, dass die Reproduzierbarkeit nicht einmal an ein und derselben Prüfstelle sicher gewährleistet ist, geschweige denn bei verschiedenen Laboratorien, die die Proben in verschiedenartigen Gefäßen nach verschieden langen Zeiten zur Untersuchung erhalten. Aus diesem Tatbestand ergibt sich, dass eine einwandfreie Vorhersage, wie ein Kraftstoff bei der Lagerung unter diesen oder jenen Bedingungen sich verhalten wird, nur möglich ist, wenn diese Bedingungen eindeutig festliegen. Da dies nie möglich sein wird, so wird sich die Aussage darauf beschränken müssen, dass der eine Kraftstoff unter ungünstigen Umständen versagen wird, bei denen ein zweiter beständiger bleiben wird. Inwiefern eine Grenzlegung der zulässigen Werte für die Lagerbeständigkeit möglich ist, muss sich erst durch weitere Laboratoriums- und Lagerungsversuche erweisen.

Aus diesen Gründen sind die Beziehungen zwischen Bombenalterung und praktischer Lagerung auch so schlecht; ganz abgesehen von dem anderen Temperaturgebiet des Vorganges sind aber auch die gesamten Bedingungen in einem Falle in der Praxis milder, im anderen schärfer als bei dem Laboratoriumsversuch. Diese Schwierigkeit der Übertragung von Laboratoriumsergebnissen der Alterungsprüfung auf praktische Verhältnisse beschränkt sich nun nicht nur auf den Bombentest, sondern besteht bei allen Laboratoriumsverfahren. Will man deshalb herstellungsmäßig Sicherung gegen unerwünschte Veränderungen von Kraftstoffen erzielen, so muss man auch für den ungünstigsten Fall Vorkehrung treffen. Dies ist durch geeignete Raffination der Kraftstoffe und durch Hemmstoffe möglich.

Hemmstoffe:

Hemmstoffe haben sich schon bei dem Schutz olefinischer Kraftstoffe gegen Oxydation bewährt, während sie bei gesättigten Benzinen keine Bedeutung besitzen. Bei den verbleiten Kraftstoffen ist die Verwendung von Hemmstoffen wiederum sehr wichtig geworden, besonders bei solchen mit höherem Aromatengehalt. Nach den bei der DVL angestellten Versuchen ist es offenbar möglich, durch geeignete Zusätze die Beständigkeit der Benzine

weitgehend zu verbessern. Denkt man an die Verwendung gebleiteter Besaugkraftstoffe für Motorenversuche, so drängt sich die Notwendigkeit eines Zusatzes von Hamstoffen zu lagerungsempfindlichen Kraftstoffen auf. Sie erübrigt sich nur dann, wenn die Verbleiung an Ort und Stelle durchgeführt und das gemischte Benzin bald verbraucht wird.

Bildung schwerflüchtiger Stoffe

bei der Lagerung von Flugkraftstoffen.

Von Dr.-Ing. I. Morghen DVL, Berlin-Adlershof.

Bei der Besprechung der Lagerbeständigkeit der Kraftstoffe soll hier - ohne daß man sich in allgemeine Betrachtungen verliert - hauptsächlich ein Bild über den jetzigen Stand der laboratoriumsmäßigen Prüfung der Lagerbeständigkeit verbleiteter Kraftstoffe gegeben werden. Dazu ist es zweckmäßig, vorerst kurz die prinzipiellen Ursachen der zur Bildung von schwerflüchtigen Stoffen führenden Unbeständigkeit der Kraftstoffe zu streifen.

Bei der Bildung der harzartigen Stoffe selbst, sind allgemein zwei Fälle zu unterscheiden: 1) Veränderungen des Kraftstoffes, welche unmittelbar durch bereits vorhandene Gruppen - für normale Kraftstoffe kommen hauptsächlich ungesättigte Bindungen in Frage - bedingt sind. Die Gegenwart von Sauerstoff kann sowohl verzögernd als auch durch Aktivierung der einzelnen Grundmoleküle stark beschleunigend wirken. Es handelt sich hier um Polymerisationsvorgänge.

2) Veränderungen des Kraftstoffes, hervorgerufen durch Bildung neuer Gruppen, die entweder zu Polymerisationen oder Kondensationen führen können oder aber auch als solche den Dampfdruck einzelner Kraftstoffbestandteile so stark herabsetzen, dass diese bei der Harzbestimmung mit erfasst werden.

Das im Kraftstoff vorhandene BTÄ selbst erleidet bei Abwesenheit von Licht, Sauerstoff und Fremdstoffen praktisch keine Veränderung. Z.B. zeigte ein unter Reinstickstoff in einem Glasrohr eingeschmolzener gebleiteter Kraftstoff nach 5 Std. Erhitzung auf 180°C nur eine ganz geringe Bildung einer Triäthylbleiverbindung. Anders verhalten sich verbleitete Kraftstoffe bei Gegenwart von Luft und Licht. Über die Lichteinwirkung soll hier nicht gesprochen werden, da sie für die Praxis kaum von Bedeutung ist. Das BTÄ wird durch Sauerstoff - insbesondere in bestimmten Kraftstoffen - über Triäthyl-, Diäthylblei- u. Blei(2)verbindungen - wie man

mittels der DVI-Methode zeigen kann - zerstört. Die sich primär bildenden basischen Bleiverbindungen werden dabei durch die Kohlensäure der Luft und die im Kraftstoff vorhandenen oder gebildeten Säuren zum großen Teil in die entsprechenden Salze übergeführt. Diese Zerstörung des BTX ist im allgemeinen von einer weitgehenden Beschleunigung der Oxydation des Kraftstoffes begleitet. Es handelt sich hier um eine wechselseitige Oxydationsbeschleunigung. Ausser der bei Gegenwart von BTX bedeutend erhöhten Unbeständigkeit bestimmter Kraftstoffe gegen Sauerstoff und dadurch im allgemeinen bewirkte Harzbildung machen sich die Bleizersetzungsprodukte als solche, da sie z.T. im Kraftstoff unlöslich und schwerflüchtig sind, unangenehm bemerkbar.

Dazu kommen noch naturgemäß die Wandeinflüsse der Kraftstoffbehälter und der Einfluß gelöster Metallsalze.

Was hier interessiert, ist, wie man das Verhalten der Kraftstoffe unter natürlichen Bedingungen laboratoriumsmäßig vorausbestimmen kann. Dazu bedient man sich allgemein des Bombenverfahrens. Dieses Verfahren gab brauchbare Hinweise auf das Lagerungsverhalten unverbleiteter Kraftstoffe und wurde ohne eine Änderung auf verbletete Kraftstoffe übertragen. Bei einem so komplexen Vorgang, wie er bei diesem Verfahren vorliegt, wo Oxydation, Polymerisation und Kondensation z.T. bei einem höheren Energieniveau durchgeführt wird, ist es prinzipiell nicht möglich, wirklich befriedigende Resultate zu erhalten. Bei 100°C, also bei der Temperatur, bei welcher die Bombenalterung durchgeführt wird, kann sich - um nur ein Beispiel zu nennen - die Oxydationsgeschwindigkeit stark zu Ungunsten der Kondensations- und Polymerisationsgeschwindigkeit verschieben; d.h. daß z.T. die vorhandenen oder gebildeten zur Polymerisation- und Kondensation neigenden Gruppen - bevor sie mit einander reagieren können - vom Sauerstoff so weiter oxydiert werden, dass sie ihre Polymerisations- und Kondensationsfähigkeit ganz oder teilweise einbüßen, sodass manche Kraftstoffe nach der Bombenalterung relativ gut befunden werden können, ohne es in der Praxis wirklich zu sein. Dieser Sachverhalt wird durch die Gegenwart von BTA noch wesentlich unübersichtlicher.

Hölte man sich ein wirklich klares Urteil machen, müßte man die einzelnen Phasen der Bildung von schwerflüchtigen Stoffen getrennt erfassen - eine Aufgabe, deren Lösung in allerhöchster Zeit nicht zu erwarten ist. Eine andere Frage von Bedeutung ist die Verfolgung eines Teilvorganges und zwar der Oxydation mittels Stoffen, welche im Gegensatz zum molekularen Sauerstoff durch vorhandene Hemmstoffe nicht beeinflusst werden. Es sind deshalb Versuche beabsichtigt, die Oxydation der Kraftstoffe durch ein sonst ähnlich wie Sauerstoff wirkendes Oxydationsmittel auszuführen, welches es erlaubt, in homogener Phase unter beliebigen Bedingungen zu arbeiten. Die DVL behält sich vor, auf die Ergebnisse zu gegebener Zeit zurückzukommen.

Wie wichtig die Frage der Hemmstoffe ist, geht daraus hervor, dass manche heute zur Erprobung kommenden Flugkraftstoffe z.T. eine beträchtliche Menge von Stoffen enthalten (mehrere zehntel Prozent), die eine gewisse Hemmwirkung zeigen. Diese Kraftstoffe zeigen in der Bombe ein relativ günstiges Verhalten. Nach der Entfernung des Hemmstoffes verschlechtern sich die Eigenschaften des Kraftstoffes (bezgl. Bombenalterung) wesentlich, wie das Beispiel der Zahlentafel 1 zeigt.

Zahlentafel 1

Entfernung des Hemmstoffes.

Vers. Nr.	Gehalt an V.% BTA	Gehalt an gel. zerst. BTA V%	Temp.wäh. rend der Alterung °C	Harzgehalt mg/100 konvent. Anfarbeitung	Gehalt an V.% zerst. BTA Gesamt Gelöst Ausgesch.	Einleitungszeit Min.
1	0,1185	0,0006	100,8	9,4	0,0090 0,0070 0,0020	> 240
2	0,1210	0,0009	100,5	23,1	0,0355 0,0305 0,0050	> 240

Aus Kraftstoff 2 wurde vor der Verbleiung der "natürliche" Hemmstoff entfernt. Beide Kraftstoffe wurden frisch verbleit gealtert.

enthaltene andere Kraftstoffe zufällig diese Hemmstoffe nicht, bzw. nicht in genügendem Ausmaße, so werden sie von der betreffenden Prüfstelle - entsprechend dem heutigen Prüfverfahren - als unbrauchbar zurückgewiesen. Ein bewußter Zusatz von geringen Mengen bestimmter besonders wirksamer Hemmstoffe wurde bereits im Dezember 40 von der DVL vorgeschlagen und ist noch in praktischer Erprobung begriffen. Doch darüber soll in der später erfolgenden Aussprache über Hemmstoffe gesprochen werden.

Nach dieser kurzen Skizzierung der allgemeinen Sachlage soll jetzt die Durchführung des Bombentestes selbst und die möglichen Fehlerquellen desselben, die zu verschiedenen Ergebnissen bei den einzelnen Prüfstellen führen, an Hand von einigen Beispielen erläutert werden. Im Frühjahr dieses Jahres wurde durch die DVL auf Vorschlag des RLM ein Ringversuch bei sieben Stellen veranlaßt, welcher zeigen sollte, inwieweit bei Prüfung eines an einer Stelle verbleibenden Kraftstoffes übereinstimmende Werte erhalten werden können. Zu diesem Zweck wurde ein erweitertes Prüfverfahren vorgeschlagen, welches erlaubte, die Gesamtheit der gebildeten Harze, also auch die im Bleischlamm vorhandenen, und die eintretende Bleierzersetzung für sich getrennt zu erfassen, da es sehr fraglich ist, ob bei der Bombenalterung die Menge und Verteilung des zerstörten BTA und der Harzartigen Stoffe im Bleischlamm und Kraftstoff mit der Praxis übereinstimmt. Ausserdem sollte, falls die so vielen wechselnden, schwer kontrollierbaren Einflüssen ausgesetzte Harzbestimmung selbst nicht zu reproduzierbaren Werten führen sollte, an den erhaltenen Bleiwerten die Reproduzierbarkeit der Bombenalterung selbst ersehen werden.

Das Prinzip ist kurz zusammengefaßt folgendes:

Der aus der Bombe kommende Kraftstoff wird samt dem ausgetriebenen Blei in zwei Hälften geteilt. Die eine Hälfte wird abfiltriert und die Bleibestimmung durchgeführt. Dies ergibt die Menge der in Lösung verbliebenen Bleiverbindungen. Die zweite Hälfte des Kraftstoffes wird mit 1/2%iger Salpetersäure und Wasser vom zerstörten, gelösten Bleitetraäthyl quantitativ befreit und von dem so behandelten Kraftstoff

ebenfalls die Bleibestimmung durchgeführt. Dies gibt die Menge des unverändert gebliebenen BTX an. Die Differenz der so erhaltenen Bleiwerte ergibt die Menge des gelösten, zerstörten BTX, welches hauptsächlich als eine Triäthylbleiverbindung vorliegt. Die Harzbestimmung wurde sowohl von filtriertem Kraftstoff, entsprechend der üblichen Aufarbeitung als auch von dem nach DVL behandelten, -also das gesamte "Harz" bzw. "die Harzbildner und kein zerstörtes BTX enthaltenden Kraftstoff - durchgeführt.

Das Ergebnis der Ringversuche bezüglich Reproduzierbarkeit war nicht erfreulich. Die starken Unterschiede der gefundenen Bleiwerte zeigten, dass es sich nicht oder nicht nur um einen Fehler bei der Harzbestimmung handeln konnte. Es wurden deshalb auch Versuche über Einflüsse, die sich bei der Bombenalterung selbst auswirken können, durchgeführt. Aus der Abb. 1 ist der Einfluß der Temperatur bei zwei synth. Kraft-

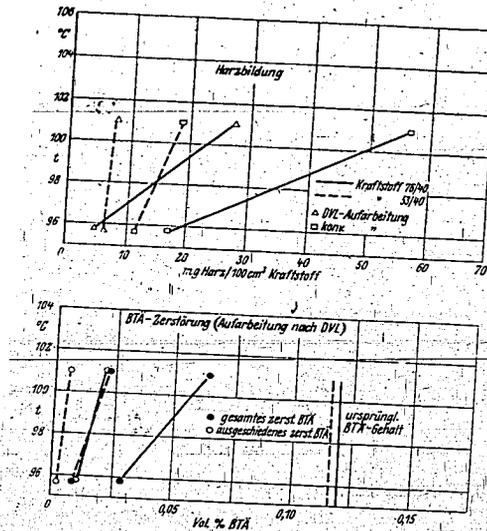


Abb. 1 Einfluß der Temperatur auf die Bombenbehandlung zweier verbleiter Kraftstoffe.

stoffen gleicher Herkunft, aber verschiedener Lieferung zu sehen. Die Temperaturdifferenzen, welche unter Berücksichtigung der Höhen und Wetterlage zwischen verschiedenen Prüfstellen eintreten können, betragen 3 bis 4°C. Im Durchschnitt dürften sie jedoch kaum mehr als 1-3°C ausmachen, sodaß der Temperatureinfluß nur soweit berücksichtigt werden sollte, als der jeweils herrschende Luftdruck anzugeben ist, wie dies bereits einmal von der DVL vorgeschlagen wurde.

Der vermutete Einfluß der Beschaffenheit und Art der Glaseinsätze zeigt sich nur etwas bei einem labilen Kraftstoff, wie aus der Zahlentafel 2 (Versuch 5-8) zu ersehen ist.

Zahlentafel 2

Zusatz von verschiedenen Glassorten.

Vers. Nr.	Zusatz v. versch. Glassorten	Harzgehalt mg/100		Gehalt an			Einleitungszeit Min.
		DVL Aufarbeitung	Kovent. Aufarbeitung	Vol. % zerst. BTA	Gesamt Gelöst	Ausgesch.	
1	-	7,8	18,2	0,0215	0,0150	0,0065	> 240
2	Jenaer-Glas	9,1	19,2	0,0205	0,0140	0,0065	"
3	Gundelach-glas	8,4	21,8	0,0230	0,0165	0,0065	"
4	Maschinen-glas	7,9	19,8	0,0230	0,0160	0,0070	"
5	-	10,8 3,8 ⁺	15,9 ⁺	0,0490	-	-	~ 185
6	Maschinen-glas	33,2 3,5 ⁺	16,1 ⁺	0,0525	-	-	~ "
7	Jenaer-Glas	14,8 3,6	16,8 ⁺	0,0555	-	-	~ 170

Zu Versuch 1, 2, 3 und 4 wurde der Kraftstoff 53/40 mit einem Gehalt von 0,1155 Vol.-% BTA verwendet und frisch verbleit gealtert.
Zu Versuch 5, 6 u. 7 wurde der Kraftstoff 76/40 mit einem Gehalt von 0,1200 Vol.-% BTA verwendet und 3 Tage nach der Verbleitung gealtert.

⁺) Die Werte beziehen sich auf 50 cm³ Kraftstoff.

Das Glas wurde bei Versuch 1 bis 4 in Form von Glasröhren,

bei Versuch 6 bis 8 in Form von grobem Glasschrott, welcher 1/2 Std. mit einem stark alkalischen Reaschmittel und dann mit Chromschwefelsäure behandelt wurde, zugesetzt.

Von geringem Einfluß scheint der Sauerstoffdruck in der Bombe zu sein, wie aus der Zahlentafel 3 zu entnehmen ist.

Zahlentafel 3

Abhängigkeit der Alterung vom Sauerstoffdruck.

Vers. Nr.	Sauerstoff Atü	Temp. während der Alterung °C	Harzgehalt		Konv. Aufarbeitung mg/50	Gehalt an		Ausgeschied.	Eh-leitung seit Min
			mg/50 DVL-Aufarbeitung	mg/100		V. %	serat. BTA Gesamt Gelöst		
1	5	100,8	7,2	33,0	19,0	0,0580	0,0405	0,0175	195
2	8	100,8	5,8	19,6	20,6	0,0575	0,0400	0,0175	190
3	5	101	10,8	146,0	28,3	0,0790	0,0555	0,0235	170
4	7	101	11,5	100,5	30,4	0,0760	0,0515	0,0245	160

Bei Versuch 1 und 2 enthielt der Kraftstoff 76/40 0,1195 Vol% BTA, davon angegriffen 0,0010 Vol%; gealtert wurde 1 Tag nach der Verbleiung.

Bei Versuch 3 und 4 enthielt der Kraftstoff 76/40 0,1175 Vol% BTA, davon angegriffen 0,0097 Vol%; gealtert wurde 29 Tage nach der Verbleiung.

Man sieht, dass die mit niedrigem Sauerstoffdruck behandelte Probe bei der Aufarbeitung nach der DVL-Methode eine Erhöhung der Harzbildung zeigt. Dies würde hier dafür sprechen, dass bei einem geringeren Sauerstoffdruck die Oxydation zu polymerisations- und kondensationsfähigeren Stoffen führt.

Die größten Fehlermöglichkeiten kann die zeitliche Veränderung eines Kraftstoffes verursachen, wie Abb. 2 zeigt. Hier handelt es sich um einen verbleiten Kraftstoff, welcher jeweils mit Korken verschlossen in einer braunen Flasche und außerdem unter Lichtabschluß aufbewahrt wurde. Von diesem Kraftstoff wurde nach verschiedenen Zeiten der Bombentest durchgeführt. Man sieht - nach anfänglichem anscheinenden Absinken der Harzwerte - eine starke Vermehrung der Harzbildung nach ungefähr 5 Tagen. (Die Streuungen, die hier zu sehen sind, beruhen

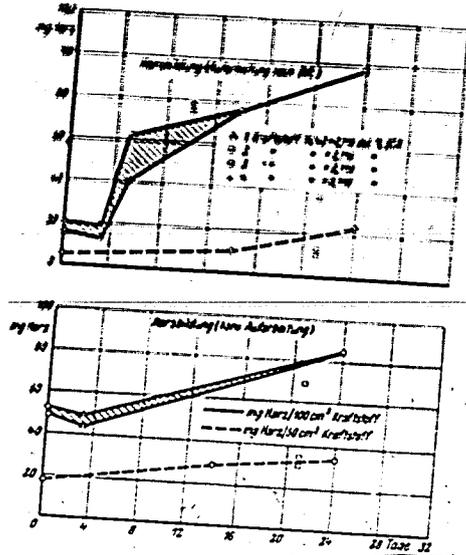


Abb.2 Einfluß des Alters eines verbleiben Kraftstoffes auf das Verhalten in der Bombe.

z.T. auch darauf, dass die Abblasezeit aus technischen Gründen nicht immer gleichgehalten werden konnte ⁺⁾ . Abb.3 zeigt die Menge des zerstörten BIA in Funktion vom Alter des verbleiten Kraftstoffes. Aus Abb.2 ist auch die starke Abhängigkeit des gealterten Kraftstoffes von der Art des Eindampfens ersichtlich. Dieser Einfluß ist bei den nach DVL aufgearbeiteten Proben wesentlich stärker als bei den konventionell aufgearbeiteten. Die starke Abhängigkeit von der Eindampfart und der Aufarbeitung spricht dafür, dass die eigentlicher Polymerisation und Kondensation insbesondere bei der DVL-Aufarbeitung hauptsächlich erst beim Abblasen am Wasserbad eintritt. Bei den nach DVL aufgearbeiteten

⁺⁾ Die Aufarbeitung der Kraftstoffe erfolgte im allgemeinen am gleichen Tage wie die Bombenalterung, das Abblasen am folgenden Tag. Die Werte sind natürlich auch von der Stärke der Atmung in den Glasflaschen abhängig. Vom gealterten Kraftstoff 2 (21 Tage alt) standen zum Abblasen nur 85 cm³ zur Verfügung. Das Abblasen erfolgte hier erst 3 Tage nach der Aufarbeitung.

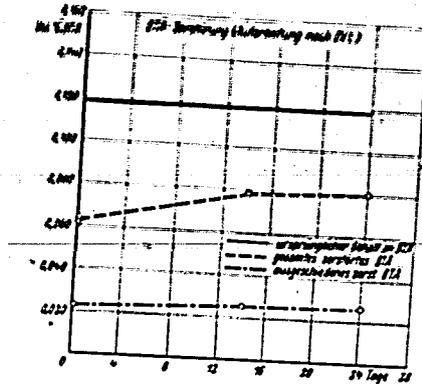


Abb. 3 Einfluß des Alters eines verbleiten Kraftstoffes auf das Verhalten in der Bombe.

gealterten Kraftstoffen sind alle reaktionsfähigen Gruppen - soweit sie nicht schon zu Polymerisationen und Kondensationen geführt haben - frei, sodaß trotz Entfernung des zerstörten BTÄ (und Berücksichtigung der beim Zersetzen des ausgeschiedenen Bleischlammes erhaltenen Harzbildner) die Harzwerte höher ausfallen können als bei der konventionellen Aufarbeitung. Von Einfluß ist naturgemäß auch die p_H -Verschiebung, welche durch die DVL-Aufarbeitung eintritt. Eine Beeinflussung der Ergebnisse der nach DVL aufgearbeiteten Proben durch die bei der Aufarbeitung verwendete 0,5%ige Salpetersäure tritt nach den vorliegenden Erfahrungen nicht ein. Eine rasche Entfernung der reaktionsfähigen Stoffe aus dem Gemisch (50 ccm Kraftstoff und rasches Abblasen) verhindert jedenfalls weitgehend eine Harzbildung. Man sieht, wie wesentlich eine genaue Festlegung der Bedingungen beim Abdampfen ist. Für die Praxis ist die DVL-Aufarbeitung insoweit maßgebender, als bei natürlichen gealterten Kraftstoffen nur bis max. ungefähr 0,005 Vol% (abs. gerechnet) an zerstörtem BTÄ im Kraftstoff gelöst bleibt (das zerstörte BTÄ fällt neben Triäthyl- und Blei(2)verbindungen hauptsächlich als Diäthylbleicarbonat aus), während bei der Bombenalterung die 10-fache Menge und mehr in Lösung bleiben kann. Die Menge des an Blei gebundenen Harzes scheint sehr gering zu sein, wie eine Bleischlammuntersuchung jedenfalls zeigte. Zahlentafel 4 bringt ein Beispiel über die Ab-

+) (bei "natürlich" gealterten Kraftstoffen).

Zahlentafel 4

Einfluss der Abblasezeit.

Vers. Nr.	Wasserbad	Harzgehalt konv. Aufarbeitung mg/50	wirkliche t/Min	Abblasezeit	Gesamte t/Min
1	stark kochend	40,0	ca. 12		20
2	nicht kochend	78,5	ca. 30		40

Der Kraftstoff 53/40 wurde 5 Tage nach der Verbleiung 6 1/2 Std. bei 100°C in der Bombe gealtert.

Hängigkeit der Harzwerte von der Abblasezeit (stark und sehr schwach siedendes Wasserbad). Ein Vergleich der Bleizerstörung und Harzbildung zeigt die Zahlentafel 5. Man sieht, dass bei

Zahlentafel 5

Verhältnis des Harzgehaltes zur Bleiausscheidung.

Vers. Nr.	Kraftstoff- Eing.- Nr.	Harz- gehalt DVL mg/100	Gehalt an Vol.-% zerstörtem Bleitetraäthyl		
			Gesamtes	Gelöstes	Ausgeschiedenes
1	76/40	20,9	0,0635	0,0405	0,0230
2	108/41	16,0	0,0178	0,0166	0,0012
3	137/41	2,3	0,0175	0,0155	0,0020
4	151/41	2,7	0,0085	0,0075	0,0010

verbleiten Kraftstoffen bei der Bombenbehandlung keine einfache Beziehung zwischen Harzbildung und Bleizerstörung besteht.

An einigen Beispielen wurden Fehlermöglichkeiten beim Bombentest aufgezeigt. Um konkrete Einflußwerte zu erhalten, mußte man unter Berücksichtigung der gewonnenen Gesichtspunkte unter vollkommener Konstanzhaltung aller anderen Bedingungen in einer größeren Versuchsreihe die Größe einzelner Einflüsse an mehreren typischen Kraftstoffen bestimmen. Es ist aber sehr fraglich, ob solch ein Aufwand an Arbeit und Zeit für diese Methode gerechtfertigt erscheint. Folgendes kann man aus den

gewählten Versuchen unmittelbar mit Sicherheit entnehmen und zwar, daß unter Umständen schon ein Altersunterschied von wenigen Tagen zweier sonst vollkommen identischer verbleiteter Kraftstoffe eine sehr große Rolle spielt. Verstärkt werden kann dieser Altersinflus noch wesentlich durch den Transport, abgesehen von den Einflüssen der Behälterwände. Weiter ist der Einfluß der Art der Eindampfung klar ersichtlich, ebenso wie der weniger starke Einfluß der Temperatur bei der Alterung. Das Verhältnis von Harzbildung und Bleizerstörung streut stark, sodaß besonders die Bestimmung des gesamten zerstörten Bleitetraäthyls für eine Beurteilung herangezogen werden sollte.

Es wird daher zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit der bisher üblichen Bombenalterung vorgeschlagen:

- 1) Das Alter des verbleiteten zu untersuchenden Kraftstoffes ist nach Möglichkeit festzustellen und anzugeben. Evtl. ist innerhalb von 14 Tagen die Bombenbehandlung zu wiederholen. Zur praktischen Beurteilung sollten nur Kraftstoffe herangezogen werden, deren Verbleitung mindestens einen Monat zurückliegt.
- 2) Der Luftdruck ist bei der Angabe der Harz- und Bleiwerte anzugeben.
- 3) Die Abdampfung ist zwecks besserer Reproduzierbarkeit mit 50 ccm Kraftstoff vorzunehmen. Inwieweit die DVL-Werte von 50 oder 100 cm³ abgeblasenem Kraftstoff der Praxis näher kommen, bleibt noch dahingestellt. Die mit 100 cm³ erhaltenen sind augenblicklich jedenfalls aufschlussreicher.
- 4) Das Wasserbad muß vor und nach dem Abblasen wallend kochen; die Eintauchtiefe der Glasschalen ist genau festzulegen.
- 5) Die Menge (Ltr./Std.) der zum Abdampfen verwendeten Luft muß konstant sein und immer gleichartig aufgeblasen werden. Außerdem muß die verwendete Luft genügend rein sein.
- 6) Die verwendeten Glaseinsätze sollen alle aus gleichem Material (Jenaer Glas) sein und dürfen nicht mit alkalischen Waschnitteln gereinigt werden.

7) Die DVL-Aufarbeitung sollte zumindest in allen nicht eindeutigen Fällen, insbesondere bei der Untersuchung von neu einzuführenden synthetischen Kraftstoffen zur Beurteilung mitherangezogen werden.

Auf diese Art und Weise durchgeführte Bombenteste dürften eine genügende Reproduzierbarkeit ergeben. Voraussichtlich wird dann die Reproduzierbarkeit dieser Methode, insbesondere für den bei Flugkraftstoffen interessierenden Bereich besser sein als ihre wirkliche Brauchbarkeit. Es ist notwendig, noch weitere Beziehungen zwischen dem Bombentest und der Praxis unter genauer Kennzeichnung der für die Lagerung verwendeten Kraftstoffbehälter zu sammeln.

Was sonst noch untersucht werden muß, ist klar: Erfassung des Alterungsmechanismus und Erfassung der Stoffe, welche sich lagerungsmäßig ungünstig auswirken. Vorläufig jedoch ist es notwendig, vorhandenen Schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen, indem man Hemmstoffe anwendet, bezw. ihr Wirksamkeit bei der natürlichen Lagerung überprüft.

Lagerungsverhalten von Kraftstoffen.

Von Dr. H. Volde, Ruhrbensin A.-G., Oberhausen-Holteln.

Ich möchte in folgendem über Erfahrungen berichten, die wir bei der Lagerung von Primärprodukten des Syntheseverfahrens und Spaltprodukten gewonnen haben. Wenn es sich hierbei auch nicht um Flugkraftstoffe bzw. Bestandteile von Flugkraftstoffen handelt, so glaube ich doch, daß ein Teil dieser Erfahrungen von Interesse sein wird.

Bei der Lagerung von Kraftstoffen sind es besonders 2 Eigenschaften, deren Veränderungen zu überwachen sind:

1. Oktanzahl
2. Harzgehalt

Von den verschiedenen Ursachen, die speziell eine Verringerung der Oktanzahl bewirken, möchte ich diejenigen außer Acht lassen, die rein physikalischer Natur sind, also auf einer Vergasung oder einer Verdampfung der leicht siedenden Anteile beruhen, und nur von denen sprechen, die chemische Ursachen besitzen.

Unter den Kohlenwasserstoffgruppen, die in Kraftstoffen enthalten sind, sind für eine chemische Veränderung im wesentlichen nur diejenigen verantwortlich zu machen, die olefinische Doppelbindungen enthalten, da diese besonders reaktionsfähig sind und vor allem Sauerstoff leicht anlagern. Es kommen hierbei in Frage sowohl aliphatische als auch cyclische Olefine. Besonders unangenehm machen sich bemerkbar Kohlenwasserstoffe mit 2 Doppelbindungen, speziell diejenigen, bei denen die beiden Doppelbindungen konjugiert sitzen, z.B. Cyclopentadien. Es ist daher verständlich, daß Kraftstoffe, die vorwiegend Krackbenzin enthalten, bei der Lagerung besonders empfindlich sind. Die Primärprodukte der Benzinsynthese enthalten ebenfalls beträchtliche Anteile geradkettiger Olefine, doch treten hier, da es sich um fast reine Monoolefine handelt, ganz spezielle Verhältnisse auf, sodaß sie sich grundsätzlich von Krackbenzin unterscheiden.

Da zunächst auf Grund der von den Spaltbenzinen her bekannten Eigenschaften der Olefine zu vermuten war, daß bei den Primärprodukten der Synthese die gleichen Verhältnisse auch auftreten, wurde bei uns schon frühzeitig mit Versuchen begonnen, um die Einwirkung der Lagerungszeit auf das Verhalten von vorwiegend aus Primärprodukten der Synthese zusammengesetzten Kraftstoffen zu untersuchen. Nach verschiedenen Vorversuchen wurde von uns im Jahre 1938 eine ganze Serie angesetzt, um die Lagerbeständigkeit der Primärprodukte, der aus den höhersiedenden Primärprodukten hergestellten Spaltbenzine und der Mischung beider, sowohl im Original als auch mit Zusatz von Inhibitoren, Treibstoffsprit und Blei zu klären. Wir haben die Benzine dabei in 200 Ltr.-Fässern eingelagert und folgende Zusätze gewählt:

- 1) Kresol als Inhibitor 0,2 g/l
- 2) Treibstoffsprit 11,5 Vol.-%
- 3) TEL 0,5 cm³/l

Jeweils die Proben 4 bis 7 bestanden aus Mischung 1,2; 1,3; 2,3 und 1, 2, 3. Als Lagerungsgefäße wurden sowohl verzinkte Eisenfässer als auch reine Eisenfässer gewählt, um festzustellen, inwieweit das Gefäßmaterial auf die Veränderungen bei der Lagerung einen Einfluß ausübte.

Nach zweijähriger Lagerungszeit wurden die Benzine im Jahre 1940 wieder untersucht und einige sehr interessante Beobachtungen dabei festgestellt, von denen die wichtigsten hier mitgeteilt werden sollen.

1. Veränderung der Oktanzahl.

Die Oktanzahl war bei den Originalproben stark abgefallen. Bei Primärbenzin beispielsweise von 58 auf ~ 40 und bei Spaltbenzin von 66 auf ~ 43. Der Zusatz von Inhibitor hat diesen Oktanzahlabfall praktisch vollständig verhindert. Die Veränderungen liegen hier nur in der Größenordnung von 3 bis 4 Oktanzahleinheiten und können z.T. durch eine wenn auch geringe Verdampfung erklärt werden. Auch Treibstoffsprit hat bei Primärbenzin inhibierend gewirkt, sodaß die Oktanzahl konstant blieb, während bei Spaltbenzin ein Ab-

fall von 4 bis 6 Oktanzahleinheiten eintrat. Erstaunlicherweise hat auch der TEL-Zusatz, sowohl bei Primärbenzin als auch bei Spaltbenzin, so stark inhibierend gewirkt, daß die Oktanzahl unverändert bei 72 im Falle von Primärbenzin und bei 80 bis 81 im Falle von Spaltbenzin blieb, mit einer Einschränkung allerdings: diese inhibierende Wirkung des TEL trat nur im verzinkten Eisengefäß in Erscheinung, während in dem reinen Eisengefäß ein Abfall von 7 Einheiten für Primärbenzin und 12 Einheiten bei Spaltbenzin beobachtet wurde. Da die Einzelkomponenten im wesentlichen inhibierende Eigenschaften haben, ist es verständlich, daß ihre Mischungen gleichfalls die Oktanzahl auf der ursprünglichen Höhe hielten.

Die Ursache für den in einigen Fällen beobachteten Abfall der OZ, speziell bei den Originalprodukten, ist durch eine starke Neubildung von Peroxyden begründet. Aus der Literatur her ist es ja bekannt, daß Peroxyde die Oktanzahl ganz wesentlich beeinflussen können. Ich verweise hier z.B. auf die Arbeit von Schildwächter in der Brennstoffchemie 1938, der bei seinen Versuchen für eines der untersuchten Benzine die Abhängigkeit der Oktanzahl vom Peroxydgehalt darstellt. Er findet hierbei, daß ein Peroxydgehalt von 700 die Oktanzahl um 11 Punkte erniedrigt. Die Zunahme des Peroxydhaltes ist auch bei unseren Proben z.T. recht beträchtlich, z.B. in dem Originalprimärbenzin 600 bis 700 und in dem Originalspaltbenzin 1000 - 1400 mg aktiver Sauerstoff/Ltr. Durch die erwähnten Zusätze ist allerdings die Peroxydneubildung weitgehend gehemmt worden. Sie liegt z.B. bei Primärbenzin in fast allen Proben mit den obengenannten Zusätzen nach zweijähriger Lagerzeit unterhalb 10 mg/Ltr. Lediglich die Probe mit dem Bleizusatz hat eine stärkere Erhöhung erfahren auf 160 mg im verzinkten Eisengefäß und auf 460 mg im Eisengefäß, liegt aber immer noch wesentlich unterhalb der Originalprodukte. Es ist aber bemerkenswert auch hier wieder der Unterschied zwischen reinem Eisengefäß und verzinktem Eisengefäß, da die Probe in dem reinen Eisengefäß eine höhere Peroxydzunahme zeigt. Bei dem Spaltbenzin ist die inhibierende Wirkung der Zusätze erwartungsgemäß nicht so gut wie bei Primärbenzin. Sie liegt allerdings in allen mit Kresol

versetzten Proben in der Größenordnung von 30 bis 60 mg/Ltr., bei Zusatz von Kresol und Treibstoffsprit liegt sie sogar nur in der Größenordnung von 10 bis 20 mg. Treibstoffsprit und TEL allein und in Mischung haben keine so gute Wirkung wie im Falle des Primärbenzins; die Zunahme des Peroxydgehaltes liegt in diesen Fällen über 100 mg und geht bei reinem TEL-Zusatz bis auf 1000 mg im Eisengefäß, während wieder das verzinkte Eisengefäß eine geringere Zunahme ergab.

2. Harzgehalt.

Zur Bestimmung des Harzgehaltes wurde sowohl der Abblasetest bestimmt, als auch der Bombentest mit 7 atü Sauerstoff durchgeführt, allerdings in der durch den BV modifizierten Form bei 70°.

Nach zweijähriger Lagerungszeit war das Primärbenzin in allen Fällen stabil geblieben. Die Abblaseteste liegen sämtlich höchstens bei 6 mg/100 cm³ und nach dem Bombentest bei 7 mg. Die Induktionszeiten sind selbstverständlich in allen Fällen mehr als 4 Stunden, d.h. also daß die durch Oxydation bewirkte Zunahme des Peroxydgehaltes auf bis über 700 mg Sauerstoff/Ltr. zwar die Oktanzahlen beeinflusst, aber keinerlei Harzabscheidungen hervorruft. Das Benzin ist auch absolut wasserhell geblieben. Bei Spaltbenzin sind die Ergebnisse für sämtliche mit Inhibitoren versehenen Proben gleich-günstig, während die Originale Abblaseteste bis 385 mg aufweisen und Induktionszeiten von 100 bzw. 120 Minuten haben. Von den mit TEL versetzten Proben ist wieder die im verzinkten Eisengefäß stabil geblieben, während im reinen Eisengefäß die Induktionszeit stark abgefallen ist. Auch die mit Treibstoffsprit versetzten Proben haben Abblaseteste über 10 mg und beim Bombentest zwar noch Induktionszeiten von über 4 Std., aber Abblaseteste über 20 mg.

3. Sonstige Analysendaten.

Von den sonstigen Analysendaten ist besonders erwähnenswert, daß die NZ sich nur in den wenigen Fällen, in denen der Peroxydgehalt angestiegen ist, in gewissem Umfange

erhöht hat, allerdings auch nicht in allen Fällen, während in den anderen Fällen, in denen keine Peroxyderhöhung eingetreten ist, auch bei der NZ keine eindeutige Veränderung zu erkennen ist.

Eine Verdampfung leichtsiedender Anteile ist im Laufe der zweijährigen Lagerungszeit nur in sehr geringem Umfange eingetreten. Der Dampfdruck beispielsweise hat sich im Mittel um etwa $0,05 \text{ kg/cm}^2$, gemessen nach Reid, erniedrigt. Ebenso ist die Siedekennziffer, entsprechend dem mittleren Siedeverhalten, nur um zwei Einheiten in die Höhe gegangen.

Zusammenfassung.

Zusammenfassend ist über das Verhalten von Primär- und Spaltbenzin bei der Lagerung folgendes festzustellen: Das vorwiegend Monoolefine enthaltende Primärbenzin hat bei der Lagerung eine erhebliche Zunahme des Peroxydgeshaltes erfahren, die eine Verringerung der Oktanzahl bewirkt hat, dagegen auf den Harzgehalt keinen Einfluß ausübte. Zusatz von Inhibitor, Treibstoffsprit und in gewissem Umfange auch TEL haben die Peroxydbildung und damit den Oktanzahlabfall weitgehend unterdrückt.

Bei den raffinierten Spaltbenzinen ist in der Originalprobe durch die Zunahme des Peroxydgeshaltes außer einer Erniedrigung der Oktanzahl auch eine Erhöhung des Harzgehaltes eingetreten. Auch hier wurde durch den Zusatz von Inhibitor, Treibstoffsprit und in gewissem Umfange auch TEL sowohl die Erniedrigung der Oktanzahl aufgehalten als auch die Harzzunahme erniedrigt.

Verwendet man das Primärbenzin als Mischungskomponente, so ist auch bei längerer Lagerungszeit keine Einwirkung zu erwarten, da die Oxydationsgeschwindigkeit durch die Verdünnung sehr stark zurückgedrängt wird.

In diesem Zusammenhang ist noch erwähnenswert, daß sämtliche olefinhaltigen Benzine, wie es aus der Literatur teilweise bekannt ist, außerordentlich lichtempfindlich sind. Bei einigen von mir durchgeführten Versuchen nach dieser

Richtung, bei denen Primärbenzin in fest verschlossenen Flaschen dem Tageslicht ausgesetzt wurde, erfolgte eine außerordentlich rasche Zunahme des Peroxydgehaltes, die in 30 Tagen ~ 350 mg betrug. Aber auch hier konnte wieder durch Inhibitorszusatz die Oxydationswirkung fast vollständig unterdrückt werden, da z.B. in Parallelproben mit Inhibitor versetztes Primärbenzin in 30 Tagen am Tageslicht nur eine Zunahme von 40 mg Sauerstoff/Ltr. ergab. Auch bei diesen Versuchen war durch die Peroxydnahme eine Erniedrigung der Oktanzahl eingetreten, während sich der Harzgehalt nicht veränderte.

Lagerbeständigkeit von Kraftstoffen.

Von Dipl.-Ing. Jallner, Erprobungsstelle Travemünde.

Bei der E'stelle der Luftwaffe Travemünde wurden eine Reihe von Kraftstoffen im verbleiten und unverbleiten Zustand eingelagert, um einerseits die praktische Lagerfähigkeit dieser Kraftstoffe zu überprüfen, andererseits festzustellen, welche Beziehung zwischen praktischer Lagerfähigkeit und Verhalten in der Alterungsbombe besteht.

Zu den Versuchen wurden folgende Benzingruppen herangezogen:

1. Flugkraftstoffe
2. Katalytisches Krackbenzin rein und in Mischung mit Flugbenzol.
3. Tschechisches Flugbenzin rein und in Mischung mit tschechischem Flugbenzol.
4. Leuna-Autobenzin in Mischung mit Autobenzol, Bleitetraäthyl und Eisenkarbonyl.

Zur Einlagerung wurden die von der E'stelle schon mehrfach benutzten 30-Ltr.-Einheitsbehälter verwendet. Sie bestehen aus einem zylindrischen Eisenblechgefäß ohne inneren Schutzanstrich, das zum Zweck der Belüftung mit einem Ansatzrohr versehen ist. Am Ende dieses Rohres ist ein mit Kieselsäuregel gefüllter Topf angesetzt. Das Kieselsäuregel hat den Zweck, die bei Temperaturschwankungen in den Behältern eingesaugte Luft zu trocknen.

Die Einlagerung erstreckte sich über einen Zeitraum von 2 Jahren. Bei Beginn der Lagerung, nach einjähriger Lagerzeit und schliesslich bei Beendigung des Versuches, also nach 2 Jahren, wurden die Benzine chemisch vollständig untersucht. In der Zwischenzeit - ca. alle 3 Monate - wurde durch Kurzuntersuchungen die Veränderung der Kraftstoffe bezüglich ihrer wichtigsten Eigenschaften, die entscheidend für die spätere Verwendung sind, überprüft und zwar sind dies Oktanzahl, Bleigehalt und Verdampfungsrückstand. Bei Beurteilung der Lagerfähigkeit sind auch nur diese Punkte herangezogen worden. Veränderungen bezüglich Spez. Gewicht, Brechung, Siedeverhalten usw. blieben bei der Beurteilung der Lagerfähigkeit der Kraftstoffe unberücksichtigt, da deren Veränderung nur auf Verdunstung der leichtsiedenden Bestandteile zurückzuführen ist.

Als Ergebnis der Einlagerung konnte folgendes festgestellt werden: Alle unverbleiten Kraftstoffe und verbleite Kraftstoffe mit geringem Aromatengehalt verhalten sich bei der Lagerung günstig. Verbleite hocharomatische Kraftstoffe sind als instabil anzusehen, jedoch sind klare Gesetzmäßigkeiten zwischen Höhe des Aromatengehaltes und Alterungsneigung nicht erkennbar. Die Höhe des Bleitetraäthylgehaltes hat ohne Zwei-

fel maßgebenden Einfluß auf die Stabilität. Kraftstoffe mit hohem Bleitetraäthylgehalt zeigen eine geringere Lagerbeständigkeit als solche mit wenig Bleitetraäthyl.

Um die Beziehung, die zwischen Verhalten in der Bombe und praktischer Lagerbeständigkeit besteht, zu klären, wurden die Kraftstoffe vor der Einlagerung einer Stabilitätsprüfung in der Bombe unterworfen.

Ein Vergleich zwischen praktischer Lagerfähigkeit und Alterung in der Bombe ergab dabei folgendes Bild: Bei 16 zur Betrachtung gezogenen Kraftstoffen konnte nur in 3 Fällen eine klare Übereinstimmung zwischen Bombentest und praktischer Lagerung beobachtet werden. In den anderen Fällen wurden die Kraftstoffe bei der Stabilitätsprüfung wesentlich ungünstiger beurteilt, als sie sich bei der Lagerung verhielten. In einem Fall sogar verhielt sich der Kraftstoff bei der Bombenprüfung stabil, während bei der Lagerung eine bedeutende Erhöhung des Harzgehaltes bzw. Trübung infolge von Bleiausfall eintrat. An Hand des vorliegenden Untersuchungsmateriales ^{deshalb} scheint es ~~es~~ nicht zweckmäßig zu sein, die Beurteilung der Lagerfähigkeit eines Kraftstoffes nach der bisher durchgeführten Alterungsprüfung vorzunehmen.

Es ist beabsichtigt, auch bei weiteren Einlagerungen die bisherige Alterungsprüfung durchzuführen, um an Hand eines größeren Untersuchungsmateriales bessere Schlußfolgerungen ziehen zu können.

Hemmstoffe.
=====

Von Dr.-Ing. I. Morphen DVL, Berlin-Adlershof.

Die Gegenwart von BTÄ beschleunigt im allgemeinen die Oxydation von Kraftstoffen durch Luft bei gleichzeitigem Zerfall des BTÄ. Diese Oxydationsbeschleunigung hängt sehr stark von der Art des Kraftstoffes ab, woraus man zwangsläufig auf eine wechselseitige Oxydation schließen kann.

Der Oxydationsmechanismus selbst ist bis ins einzelne noch nicht erfaßt, er konnte jedoch z.T. klargestellt werden. Auf Grund der gemachten Untersuchungen wurden im Winter 1940 von der DVL bestimmte Stoffe bzw. Stoffklassen als für verbleite Kraftstoffe speziell geeignete Hemmstoffe vorgeschlagen. Die Stabilitätsprüfung in der Bombe der mit diesen Stoffen versetzten verbleiten Kraftstoffe zeigt sehr gute Resultate, wie am Beispiel der Zahlentafel zu sehen ist.

Zahlentafel

Einfluss der Hemmstoffe.
=====

Gehalt an BTÄ Vol.%	Alter d. Kraftstoffes Tage	Aussehen d. verbleiten Kraftstoffes	Zusatz Vol.%	Harzgehalt mg/100 DVL Konv. Aufarbeitung		Gehalt an ges. zerst. BTÄ Vol.%
				nach der Alterung in der Bombe		
0,1190	0	klar	-	19,2	47,4	0,0630
0,1170	9	leichte Trübung gel. serst. BTÄ 0,0040 Vol.%	0,0040 Stoff 1	2,3	8,3	0,0145
0,1170	9	"	0,0055 Stoff 2	2,7	7,2	0,0137

Bei dieser Gelegenheit ist zu bemerken, dass Kohlensäure ebenfalls zur Hemmung der Alterung verbleiter Kraftstoffe geeignet ist, sodaß von diesem Gesichtspunkt aus die Bleizerstörung in der Bombe an und für sich stärker vor sich geht.

Über das Korrosionsverhalten der in Frage kommenden Stoffe kann nicht viel gesagt werden. Ein Laboratoriumsversuch mit dem korrosionsgefährlichsten Hemmstoff ergab folgendes: Ein Kraftstoff wurde mit 0,0075 Vol.-% Hemmstoff versehen und 4 Std. in einer Bombe unter Reinstickstoff und Zusatz von Eisen-, Zink-, Aluminium- und Elektronstreifen bei 100°C belassen. Alle Metalle blieben unverändert bis auf das Zink, welches allerdings eine Gewichtsabnahme von 4,5 mg zeigte. Andere von der DVL vorgeschlagene Hemmstoffe dürften sich jedoch wesentlich günstiger verhalten. Die Menge der anzuwendenden Stoffe ist von mehreren Faktoren abhängig, (beträgt bei frisch von der Herstellung kommenden Kraftstoffen durchschnittlich 0,001 bis 0,005 %). Da von zwei Erprobungsstellen Versuche mit einigen dieser Stoffe angestellt wurden, können diese vielleicht über ihre Ergebnisse berichten.

Erfahrungen bei der Aromatenbestimmung
und der Jodzahl.

Von Dr. H. Velde, Ruhrbenzin A.-G., Oberhausen-Holten.

Von den zur Diskussion stehenden Prüfverfahren möchte ich einiges über unsere Erfahrungen bei der Aromatenbestimmung und der Jodzahl mitteilen. Es handelt sich hierbei um ein Gebiet, das von außerordentlich vielen Seiten schon bearbeitet worden ist, ohne daß aber eine endgültige Klärung über die absolute Sicherheit der einen oder anderen Methode erzielt werden konnte. Ich möchte mich daher in meinen Ausführungen darauf beschränken, mich mit den Methoden auseinanderzusetzen, die bei uns angewendet bzw. geprüft worden sind.

Die Aromatenbestimmung ist zwar für unsere Primärprodukte ohne Bedeutung, da diese frei von Aromaten sind. Wir haben uns aber bei Untersuchung unserer Spaltbenzine und gewisser anderer Produkte mit der Bestimmung des Aromatengehaltes auseinandergesetzt. Man kann hierbei unterscheiden zwischen einem Kraftstoff, der sich aus vielerlei Einzelkohlenwasserstoffen zusammensetzt und gewissen eng geschnittenen Fraktionen. Hat man ganz eng geschnittene Fraktionen, so lassen sich schon auf Grund physikalischer Daten, z.B. Dichte, Refraktion usw., Aussagen über den Aromatengehalt machen. Bei Kraftstoffen dagegen versagen diese Bestimmungen natürlich und man muß andere Untersuchungsmethoden anwenden. Das Schwe-

Schwefelsäureverfahren hat sich hierbei nicht bewährt. Ich bezeichne hier mit Schwefelsäureverfahren die Methode, bei der der Olefingehalt mit 90%iger Schwefelsäure und Olefine + Aromaten mit dem Kattwinkel-Reagens bestimmt werden sollen. Speziell das Kattwinkel-Reagens ist wenig geeignet, den wahren Aromaten- und Olefingehalt zu ermitteln, insbesondere, wenn größere Mengen sauerstoffhaltiger Produkte in den zu untersuchenden Fraktionen enthalten sind. Wir sind daher bisher noch intern dazu übergegangen, bei der Untersuchung mit dem Kattwinkel-Reagens überhaupt nicht mehr von Olefinen oder Aromaten zu sprechen, sondern bezeichnen die gefundene Volumenverminderung als SPL, Schwefelsäure-Phosphorsäure-Lösliches.

Ich möchte aber darauf hinweisen, daß sich das Kattwinkel-Reagens in besonders gelagerten Fällen bei uns sehr gut bewährt hat, vor allem erhält man gut reproduzierbare Werte bei allen Benzinen, die nur aliphatische Olefine enthalten; man kann hierbei auch recht gute absolute Werte bekommen, muß allerdings das Verhältnis von Säure zu Produkt nicht 3:1 nehmen, sondern 4:1, da sonst bei hoch olefinischen Produkten ausgesprochen zu wenig gefunden wird. Bei eng geschnittenen Fraktionen des genannten Benzins wird auch gute Übereinstimmung mit dem durch die Jodzähl und Molegewicht bestimmten Olefingehalt erreicht. Nach unseren Erfahrungen würde ich vorschlagen, die Bestimmung des Aromatengehaltes neben Olefinen nur in eng geschnittenen Fraktionen vorzunehmen, da man dann auch physikalische Untersuchungsmethoden heranziehen kann.

Bei der Jodzähl liegen die Verhältnisse ähnlich; die Hauptschwierigkeit liegt, wie allgemein bekannt ist, bei der Jodzählbestimmung darin, daß kein scharfer Haltepunkt auftritt, sondern durch Substitution die Jodanlagerung immer weiter geht. Besonders empfindlich sind hierbei diejenigen Olefine, die verzweigter Natur sind. Ich verweise hier auf die Arbeiten von Grosse-Oetringhaus, Kaufmann, Richter und Koch, die sich neben vielen anderen mit diesen Jodzählmethoden kritisch auseinandersetzen.

Grundsätzlich muß man feststellen, daß die Auswahl einer Jodzählmethode nach folgenden Gesichtspunkten zu erfolgen hat:

1. Erforderliche Genauigkeit
2. Die Leichtigkeit der Durchführung
3. Die Beschaffbarkeit der Reagenzien

Bezüglich der erforderlichen Genauigkeit muß man sich stets darüber im klaren sein, welche Art von Olefinen zu erwarten ist. Wenn ich also ein Polymerbenzin beispielsweise untersuchen will, so kann ich keine Jodzählmethode anwenden, von der ich weiß, daß Substitutionen zu erwarten sind. Habe ich dagegen andererseits z.B. ein Benzin vorliegen, wie das Primärbenzin der Synthese, in dem nur wenig verzweigte Olefine vorkommen, so kann ich schon eine Methode anwenden, die unter anderen Umständen Substitutionen ergäbe.

Zu Punkt 2 kann man sagen, daß man in vielen Fällen darauf angewiesen ist, verhältnismäßig schnell Ergebnisse zu erhalten und infolgedessen keine Methode anwenden kann, die voraussetzt, daß das Jodzählreagenz mehrere Stunden einwirkt.

Zu Punkt 3 wäre generell zu sagen, daß man speziell heute, während des Krieges, auch an die Beschaffung der Reagenzien denken sollte und möglichst solche Bestimmungen anwenden sollte, bei denen der Verbrauch an Jod und Jodverbindungen nicht allzu groß ist, besonders wenn es sich um Reihenuntersuchungen mit großem Materialverbrauch handelt.

Unter Berücksichtigung der obigen Gesichtspunkte haben wir sehr gute Erfahrungen mit folgenden Methoden gemacht: Bei den Primärprodukten arbeiten wir nach der Methode von Rosenmund und Kuhnhehn, die jetzt auch vom ZB vorgeschrieben worden ist. Sie ergibt für nicht allzu stark verzweigte Benzine einen scharfen Haltepunkt und hat den besonderen Vorzug, daß man nur eine Einwirkungszeit von 2 Minuten braucht. Ihre Durchführung ist ebenfalls sehr einfach, da man zur Anlagerung eine Lösung von Brom in Pyridin-Sulfat benutzt und mit arseniger Säure zurücktitriert. Jod wird bei der Bestimmung überhaupt nicht gebraucht.

Für Benzin mit stärker verzweigten Olefinen haben wir uns bisher überhaupt noch nicht auf eine endgültige Methode festgelegt, da die sämtlichen bisher bekannten Jodzählmethoden gewisse Mängel aufweisen. Recht gute Erfahrungen haben wir mit der Kaufmann'schen Methode gemacht. Die Jodrhodanzahl und die Jodzahl nach Wijs sind nur in beschränktem Umfange anwendbar, da häufig bei der normalerweise vorgeschriebenen Einwirkungszeit noch keine vollständige Addition eingetreten ist. Auch die Hanus-Jodzahl hat sich hier nicht besonders gut bewährt, einerseits ebenfalls wegen der Neigung zu Substitutionen, andererseits auch weil das Hanus Reagenz außerordentlich empfindlich ist gegen äußere Einflüsse, z.B. Spuren von Wasser, eine Eigenocht, die es allerdings mit Jodrhodan teilt.

Eines unserer Laboratorien ist daher zur Zeit damit beschäftigt, noch eine weitere Jodzahlmethode auszuarbeiten, die auch für stärker verzweigte Benzine anwendbar ist.

Auch bei Schmieröl haben wir bisher nach Rosenmund u. Kuhnern bezw. nach Kaufmann gearbeitet, sind uns aber noch nicht restlos im klaren, ob die dabei erhaltenen Werte ganz exakt sind.

Meine bisherigen Ausführungen betreffen allerdings nur Benzine mit mittleren und hohen Jodzahlen. Handelt es sich um die Bestimmung von Olefinen in Flugkraftstoffen, d.h. also von Produkten mit Jodzahlen in der Größenordnung von 5, so kann man meines Erachtens die Auswahl der Methode nach anderen als den bisher genannten Gesichtspunkten treffen. Da die Genauigkeit in den meisten Fällen nicht größer als etwa 1/2 Jodzähleinheit zu sein braucht, spielt die Substitution nicht mehr die entscheidende Rolle wie vorher, und man kann sich nach der leichten Durchführbarkeit der Methode richten. Ich schlage nach dem bisherigen Stande unserer Untersuchungen daher vor, auch in diesem Falle die bereits vom ZB für die Untersuchungen vorgeschriebene Methode von Rosenmund und Kuhnern anzuwenden, die den Vorzug hat, sehr leicht durchführbar zu sein, bei einer Einwirkungsdauer von nur wenigen Minuten. Zur endgültigen Klärung wäre vielleicht noch ein Versuch durchzuführen, in dem wenige Kraftstoffe an einigen Untersuchungsstellen zu prüfen wären.

Zur Aromatenbestimmung nach den Bauvorschriften

für Flugmotoren (BVM) 1940.

Von Dr. Sayer-Bugström (DVL, Bln.-
Adlershof)

In die Bauvorschriften wurde auf Vorschlag der DVL eine Vorschrift zur Bestimmung der Aromaten und Ungesättigten aufgenommen. Diese unterscheidet sich in einigen Punkten von dem früher in der DVL üblichen Verfahren.

Früheres Verfahren der DVL (Riesenfeld u. Bandte):

Schüttelgefäße: Eggertz-Röhren von 50 ccm Inhalt
Säure : ca. 38 ccm Monohydrat
Kraftstoff : " 12 " "
Angabe : Vol. %

Jetziges Verfahren (BVM):

Schüttelgefäß: Phenolanalysator nach Kattwinkel
Säure : 50 ccm Kattwinkel-Säure
Kraftstoff : 15 " "
Angabe : Gew. %

Die Einführung des jetzigen Verfahrens erfolgte in Anlehnung an das holländische Standard-Analysen-Verfahren der Shell; dieses schreibt vor:

Schüttelgefäß: Eingeteilter Scheidetrichter
Säure : 75 ccm 98%ige Schwefelsäure
Kraftstoff : 25 " "
Angabe : Gew. %

Die Gründe für die Abänderung des bisherigen Verfahrens der DVL waren:

- 1) Zu geringe Reproduzierbarkeit, verursacht durch schwankende Zusammensetzung des Monohydrats. Die einzelnen Lieferungen des Monohydrats schwanken schon bei der Anlieferung in ihrer Zusammensetzung um mehrere Zehntel %, beim Gebrauch wird infolge von Wasseraufnahme der H_2SO_4 -Gehalt noch geringer und man arbeitet praktisch mit Säuren, deren Gehalt an H_2SO_4 zwischen 99 und 100% schwankt, sodaß das Ergebnis nur bei Feststellung des H_2SO_4 -Gehaltes der Säure praktischen Wert hat. Zehntel %-Schwankungen spielen für den Aromatengehalt schon eine große Rolle. Wegen der schlechten Reproduzierbarkeit

war auch die Übereinstimmung mit anderen Untersuchungsstellen schlecht.

- 2) Man wollte die Angabe der Aromaten + Ungesättigten, entsprechend der Angabe der Naphthene, in Gew.% machen und hatte so für die Bestimmung des spez. Gewichtes etwas mehr von dem Rest des Kraftstoffes, der oft (bei hocharomatischen) sehr gering ist und auch für Anilinpunkts-Bestimmung Verwendung finden muß, übrig.
- 3) Früher wurde nur einmal ausgeschüttelt. Die hocharomatischen Kraftstoffe machten zweimaliges Ausschütteln erforderlich. Dies läßt sich besser im Phenolanalysator durchführen, da beim Umfüllen der Eggertz-Röhren immer etwas verloren geht.
- 4) Im Phenolanalysator läßt sich ein größerer Säureüberschuß anwenden, wie er ebenfalls bei den hocharomatischen Kraftstoffen angebracht erscheint.

Zahlentafel 1 zeigt für 5 Benzine den Vergleich der beiden Verfahren, und zwar zunächst ohne Umrechnung in Gew.%. Es ist ersichtlich, daß die Werte beim 2. Verfahren sowohl nach der 1. wie nach der 2. Ausschüttelung höher liegen.

Ein weiteres Ansteigen der Werte beim neuen gegenüber dem alten Verfahren findet beim Umrechnen in Gew.% statt (Zahlentafel 2). Die Reproduzierbarkeit ist gut, wie ebenfalls Zahlentafel 2 zeigt.

Zehrentafel 1

Ausschüttelung von Kraftstoff mit Monohydrat (1) und Kattwinkel-Säure (2).
 1) Angewandt ca. 38 ccm Monohydrat (99,5 %ig) und ca. 12 ccm Kraftstoff. Schüttel-
 Gefäß: Eggerts-Röhre von 50 ccm Inhalt.
 2) Angewandt 50 ccm Kattwinkel-Säure (30 g P₂O₅+100 ccm konz. H₂SO₄) u. 15 ccm Kraftstoff.
 Schüttel-Gefäß: Phenolanalysator von Kattwinkel.

Kraftstoff Verfahren	265/40		268/40		267/40		272/40		270/40	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ccm Kraftst. vor 1. Schütteln	12,5	15,0	12,5	15,1	12,2	15,1	12,5	15,0	12,3	15,0
" " nach 1. "	11,7	14,0	11,1	13,0	11,1	13,2	10,3	12,1	8,7	9,9
Verlust (Vol.%)	6,4	6,7	11,2	13,9	9,0	12,6	17,6	19,3	29,3	34,0
ccm Kraftst. vor 2. Schütteln	11,5	14,0	11,0	13,0	11,1	13,2	10,3	12,1	8,6	9,9
" " nach 2. "	11,2	13,7	10,7	12,2	10,4	12,3	9,8	11,2	7,8	8,6
Verlust (Vol.% d. Ausgangsmenge)	2,4	2,0	2,4	5,3	5,7	6,0	4,0	6,0	6,5	8,7
Gesamtverlust(" ")	8,8	8,7	13,6	19,2	14,7	18,6	21,6	25,0	35,8	42,7

Zehllentafel 2

Reproduzierbarkeit der Bestimmung von Aromaten + Ungesättigten nach dem BYM - Verfahren.

Kraftstoff Bestimmung	10/41		11/41		16/40		17/41		18/41	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
com Kraftst. vor 1. Schütteln	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
" " nach 1.	5,1	5,2	6,5	6,4	14,1	14,1	8,5	8,4	13,8	13,8
Verlust (Vol.%)	66,0	65,3	56,7	57,3	6,0	6,0	43,3	44,0	8,0	8,0
com Kraftst. vor 2. Schütteln	5,1	5,2	6,5	6,4	-	-	8,5	8,4	-	-
" " nach 2.	4,5	4,6	6,0	5,9	-	-	7,8	7,8	-	-
Verlust (Vol.% d. Ausgangsmenge)	4,0	4,0	3,3	3,3	-	-	4,7	4,0	-	-
Ges. Verl. (" ")	70,0	69,3	60,0	60,6	6,0	6,0	48,0	48,0	8,0	8,0
Gew.% Arom. + Unges.	74,0	73,4	65,2	65,8	5,9	5,9	53,0	53,1	8,6	8,5

! 11 11 11

Über die Aromaten- und Olefinbestimmung in Benzin
gemäß den Bauvorschriften 1940.

Von Dr. W. Hirschberger, I.G. Farbenindustrie A.-G., Ludwigshafen/Rh.
Hochdruckversuche.

In den Bauvorschriften 1940 ist als offizielle Methode zur Bestimmung der Aromaten die Arbeitsweise nach Kattwinkel vorgeschrieben. Hiernach wird nach der Volumenabnahme des eingesetzten Benzins nach Ausschüttelung mit Kattwinkelsäure (conc. H₂SO₄ mit Phosphorpentoxyd) die Summe der Aromaten + ungesättigten KW bestimmt. Die Aromaten allein werden als Differenz der Ungesättigten gegen diese Summe errechnet, nachdem die Ungesättigten durch Ausschüttelung mit 90%iger Schwefelsäure ermittelt wurden.

Es hat sich nun an Hand einer großen Anzahl Untersuchungen gezeigt, daß die nach der vorgeschriebenen Arbeitsweise erhaltenen Olefinwerte weit über den überhaupt möglichen bzw. aus anderen Methoden (z. B. Jodzahl) ermittelten Werten liegen und zudem noch stark streuen.

Beispiel 1) Sechs verschiedene Prüfstellen fanden in einem Ringversuch bei der gleichen Probe 3,5; 5,0; 11,8; 3,4; 19,3; 16% Olefine.

Beispiel 2) In olefinfreien (ausraffinierten) Modellmischungen wurden nach dieser Methode folgende Werte für Olefine erhalten:

Mischung	80% Aromaten + 20% Normalbenzin	14,5 Vol. % Olefine
	50% " + 50% "	8,9 " "
	20% " + 80% "	4 " "

d. h. fast 20% dieser Aromaten wurden als scheinbare Ungesättigte ermittelt. Diese Beispiele dürften genügend die vollständige Unzulänglichkeit dieser Arbeitsweise für Olefinbestimmung gezeigt haben. Weiterhin ergibt sich hieraus, daß durch derartig falsche Werte auch die Bestimmung der Aromaten als Differenz beeinträchtigt wird. Es kann deshalb für die Beurteilung der Kattwinkelmethode nur die Summe Aromaten + Olefine herangezogen werden.

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen daß in der Beschreibung der Arbeitsweise in den Bauvorschriften mehrere Faktoren, deren großer Einfluß bekannt ist, nicht genügend im einzelnen festgelegt sind. So sind z.B. über Temperaturhaltung während der Destillation, über Art und Intensität der Schüttelung keine bzw. nur sehr allgemeine Angaben gemacht. Ferner kann der Satz: "Beträgt die Volumenabnahme mehr als 10 vom Hundert, so ist die Säure abzulassen, neue Säure aufzufüllen und anschließend nochmals zu schütteln" verschieden ausgelegt werden, je nachdem ob man unter der Volumenabnahme die Kontraktion oder den Übergang der Aromaten in die Säure versteht. Weiterhin ist eine Schwäche der Methode, daß bei der kleinen Menge des angewendeten Benzins kleine Ablesefehler und das Anhaften von Tropfen an Gefäßwänden schon erhebliche Fehler bedingen.

Es ist unter diesen Umständen nicht zu erwarten, daß die bei verschiedenen Untersuchungsstellen ausgeführten Analysen befriedigende Übereinstimmung aufweisen. Tatsächlich wurden auch bei 6 verschiedenen Untersuchungsstellen mit 3 Benzin-Proben folgende Werte für die Summe Aromaten+Olefine erhalten:

Probe	Werte	max.Differenz
1:	17; 12,5; 21,6; 15,5; 18; 13;	9
" 2:	61; 60; 65,6; 66; 65; 61;	6
" 3:	39; 37; 44; 43; 43; 36;	8

Die Abweichungen sind bei niederen Aromatenkonzentrationen größer als bei hohen.

Es erscheint durchaus denkbar, daß durch eine bis ins Einzelne gehende Arbeitsvorschrift eine wesentlich bessere Übereinstimmung der Resultate erzielt werden kann.

Es ist jedoch auch dann noch fraglich, ob und wie weit die so erhaltenen und reproduzierbaren Werte dem tatsächlichen Aromatengehalt entsprechen.

Nach den bisher vorliegenden Unterlagen kann man sagen, daß die Kattwinkel-Methode zu hohe Werte ergibt.

Es wurden 3 Gemische von olefinfreien Aromaten und

Normalbenzin untersucht und dabei gefunden:

Bei 80% Aromaten eingesetzt	81% gefunden
" 50% " " "	52,2 % "
" 20% " " "	23,3 % "

In anderen Proben mit bekannten Aromatengehalten und anderen Restbenzinen waren die Differenzen noch größer:

Bei 35% Aromaten + Ungesättigte	47% gefunden
" 45% " + "	50% "
" 64% " + "	67% "

Ein weiterer Hinweis dafür, daß die Kattwinkel-Methode keine exakte Trennungsmethode sein kann, ist daraus zu folgern, daß bei mehrmaligem Ausschütteln immer wieder neue Anteile des Benzins in die Schwefelsäure überführt werden.

So wurden z. B. aus einem Benzin beim erstmaligen Behandeln mit Kattwinkel-Säure 51% herausgelöst, beim zweiten Mal weitere 5%, beim dritten Mal noch 3%.

Zusammenfassend läßt sich sagen:

- 1) Die in den Bauvorschriften gegebene Fassung der Kattwinkel-Methode genügt nicht den Ansprüchen, die man an eine technische Analysen-Methode stellen muß.
- 2) Es bleibt zu prüfen, ob durch eine genaue Festlegung des Arbeitsganges übereinstimmende und reproduzierbare Resultate erzielt werden können.
- 3) Es bleibt dann noch zu prüfen, ob die Abweichung vom theoretischen Wert innerhalb tragbarer Grenzen liegt.

Bestimmung des Aromatengehaltes von Benzinen nach der Anilin-
punktmethode.

Von Dr. W. Hirschberger, I.G.-Farbenindustrie, Ludwigshafen a/Rh.
Hochdruckversuche.

Die Aromaten aus der Anilinpunktsdepression zu berechnen ist eine seit langem bekannte^{*)}, jedoch verhältnismäßig wenig verbreitete Methode. Da diese Methode sich für betriebstechnische Zwecke besonders eignet, wird sie bei uns schon seit mehreren Jahren angewandt, und ist zunächst in ihrer Anwendbarkeit auf Benzintypen, wie sie heute in der Grossproduktion unserer Hydrierwerke anfallen, d.h. für Benzine mit Siedegrenzen von etwa 40-165°C und etwa 30-50% bis 100° siedender Anteile, von uns genau untersucht und ausgearbeitet worden. Wie weit sich die gefundenen Beziehungen zwischen Anilinpunktsdepression und Aromatengehalt für Benzine anderer Siedebereiche oder für Fraktionen anwenden lassen, bedarf noch der Untersuchung.

Für unsere Versuche verwandten wir Gemische von reinen Einzelaromaten in Mengenverhältnissen, wie sie ähnlich in der Grossproduktion (CV₂b, VT 706b, DHD) vorkommen; z.B. 20% Reibenzol, 41% Toluol, 27% Xylol, 3% Äthylbenzol und 9% höhere Aromaten. Von diesen Aromatengemischen gaben wir steigende Prozentsätze zu verschiedenen Restbenzinen, die jeweils durch scharfe Raffination mit Schwefelsäure von Aromaten und Olefinen befreit waren. Für diese Mischungen wurden die Anilinpunkte festgestellt. Sodann wurden für sämtliche Mischungen die Anilinpunkte II (d.h. Anilinpunkt nach Entfernung der Aromaten und Ungesättigten) bestimmt. Werden nun die Differenzen aus AP. II und AP I gegenüber dem bekannten Aromatengehalt aufgetragen, so ergibt sich eine schwach gekrümmte Kurve (vgl. Kurvenblatt I). Anders ausgedrückt bedeutet das, dass für die Abhängigkeit der Anilinpunkts-Depression vom Aromatengehalt nicht ein konstanter Faktor, sondern ein gleitender

^{*)} Vgl. Journ. Soc. Chem. Ind. 40. Bd. (1921) S. 20. T. Tizzard und Marshall.

angenommen werden muss. Er beträgt z.B. bei 10° Depression etwa 1,2, bei 50° ca. 1,0 und bei 70° ca. 0,9. Eine bestimmte AP.-Depression entspricht also einem bestimmten Aromatengehalt, unabhängig von der absoluten Lage der Anilinpunkte, d.h. unabhängig von der chemischen Zusammensetzung der Restbenzine.

Bei der Untersuchung von Benzinen mit hohem Aromatengehalt (50% und mehr) ergab sich die Notwendigkeit, den Anilinpunkt in Mischung mit Normalbenzin zu bestimmen, da die normalen Anilinpunkte unter 0° liegen (Schmelzpunkt des Anilins = -6°C). Hierbei stellte sich heraus, dass der aus der Mischung mit Kahlbaumbenzin errechnete Anilinpunkt um einige Grade (bis etwa 7) höher lag als der direkt bestimmte, zum Beispiel:

	Anilinpunkt I direkt bestimmt	errechnet aus Mi- schung
1) 50 Gew.% Aromaten AP.II = 61,5°:	+ 11,6	+ 14,2
2) 50 " " " AP.II = 57,5°:	+ 7,7	+ 11,7
3) 50 " " " AP.II = 52,5°:	+ 3,0	+ 7,9
4) 50 " " " AP.II = 47,5°:	- 2,3	+ 2,4

Der Grund hierfür liegt darin, dass die Anilinpunkte von Mischungen nicht der Mischregel folgen.

Muß der Anilinpunkt I' aus der Mischung mit Kahlbaumbenzin errechnet werden, dann läßt sich die Beziehung zwischen Anilinpunktsdepression und Aromatengehalt nicht einheitlich durch eine Kurve ausdrücken, da der aus der Mischung mit Kahlbaumbenzin errechnete Anilinpunkt I vom tatsächlichen abweicht (nicht der Mischregel folgt) und der Grad der Abweichung ausserdem noch von der Zusammensetzung des Restbenzines abhängt. Wir haben für 4 verschiedene Restbenzine anhand der gleichen synthetischen Aromatenmischungen die Beziehungen zwischen den errechneten Anilinpunkten und den theoretischen Aromatengehalten empirisch ermittelt und kurvenmässig festgelegt. (Siehe Kurvenblatt 2).

Es liesse sich allerdings auch hierfür eine Arbeitsweise anwenden, die es gestattet, die oben ermittelte allgemeingültige Beziehung zwischen Anilinpunktsdepression und Aromatenge-

halt zu benützen, wenn nämlich sowohl für die Bestimmung des Anilinpunktes I sowie des Anilinpunktes II gleicherweise eine Mischung im Verhältnis 1:1 Gewichtsteile mit aromatischem Benzol (z.B. Normalbenzol) verwendet wird. Der aus der Anilinpunktdepression ermittelte Aromatengehalt ergibt mit 2 multipliziert den Aromatengehalt des zu untersuchenden Benzins.

Als Beispiel für die Übereinstimmung der nach den 3 beschriebenen Arbeitsweisen ermittelten Ergebnisse läßt sich anführen: Eine Mischung, bestehend aus 60,5 % reinem Aromatengemisch und 39,5 Gew.% eines Restbenzins vom AP. 62,2° wurde nach den 3 Methoden untersucht und ergab:

a) nach der ersten Arbeitsweise

AP. I direkt bestimmt	= - 2,7°	
" II	= + 62,2	
Anilinpunktdepression	= 64,9°	entspricht
nach Kurve I abgelesen	<u>60,3 Gew.% Aromaten.</u>	

b) nach der zweiten Arbeitsweise

AP. I errechnet aus Mischung 1:1 Vol. mit Normalbenzol	= + 2,4°
AP. II	= + 62,2°
Nach Kurvenblatt II entspricht einem errechneten AP. I = + 2,4° bei AP. II = 62,2° ein Aromatengehalt von	
<u>60,7 Gew.%</u>	

c) nach der dritten Arbeitsweise

Probe + Normalbenzol (1:1 Gewichtsteile) ergibt	
" " " " " "	AP. I = + 32,7°
" " " " " "	AP. II = + 59,9°
Anilinpunktdepression	= 27,2°
entspricht nach Kurvenblatt I abgelesen einem Aromatengehalt von 30,2 Gew.% multipliziert mit 2 = <u>60,4 Gew.%</u> .	

Neben wesentlich anders zusammengesetzten synthetischen Aromatenmischungen wurden mit gutem Ergebnis auch aus CV₂b durch Extraktion gewonnene Aromatengemische verwendet.

Beispiel:

Zusammensetzung der Mischung.		Aromaten		aus CV 2b extrahierte Aromaten	
		15% Benzol + 31% Toluol + 20% Xylol + 8,5% Athylbenzol + 25,5% höhere			
		gefunden nach Ap.-Methode	Abweichungen v. theoretischen Wert	gefunden nach Ap.-Methode	Abweichungen v. theoretischen Wert
5%	Aromaten + 95% Restbi	5	0	-	-
10%	" + 90% "	9,8	- 0,2	-	-
15%	" + 85% "	14,5	- 0,5	-	-
20%	" + 80% "	19,4	- 0,6	-	-
25%	" + 75% "	24,2	- 0,8	-	-
30%	" + 70% "	29,1	- 0,9	-	-
40%	" + 60% "	39,2	- 0,8	29,5	-0,5
50%	" + 50% "	49,3	- 0,7	39,5	-0,5
60%	" + 40% "	59,0	- 1,0	49,2	-0,8
				59,5	-0,5

Aus unseren Aromatenextraktionen ist bekannt, dass das spezifische Gewicht des aus den Hochleistungsbenzinen extrahierten reinen Aromatengemisches mit nur sehr geringen Abweichungen $0,872/15^{\circ}$ ist.

Die Umrechnung der nach der Anilinpunktmethode in Gewichtsprozent ermittelten Aromatengehalte in Volumprozent kann also nach folgender Formel vorgenommen werden:

$$\text{Vol.}\% \text{ Aromaten} = \frac{\text{Gew.}\% \text{ Arom.} \times \text{spez. Gew. des Benzines}}{0,872}$$

Einfluß der Olefine auf die Aromatenbestimmung nach der Anilinpunktmethode.

Es sollte zunächst grundsätzlich festgestellt werden, ob und wie weit bei Aromatenbenzinen, die Ungesättigte enthalten, in dem durch die Anilinpunktdifferenz ermittelten Aromatengehalt die Ungesättigten mitenthalten sind. Die Un-

Untersuchung von Vertretern der zwei Haupttypen, der aliphatischen und naphthenischen Ungesättigten - Oktylen und Cyklohexan - ergab, dass die Einwirkung sehr verschieden sein kann, je nach dem eignen Anilinpunkt des betr. Olefins.
Beispiel:

Ein Aromatenbenzin hat einen Anilinpunkt =	+ 4,4°	
Dasselbe Benzin + 5% Cyklohexan =	+ 3,0°	Differenz
" " + 5% Oktylen =	+ 6,0°	" - 1,4
" " + 5% Decylen =	+ 7,5°	" + 1,6
" " + 5% (Cyklohexan + Oktylen + Decylen 2:1:1) =	+ 4,8°	" + 3,1
(Anilinpunkt v. Cyklohexan = ca. -19°; Oktylen = + 34,8; Decylen = + 49,9).		

Um den Aromatengehalt olefinhaltiger Benzine nach der Anilinpunktmethode zu ermitteln, ist es erforderlich, die Olefine herauszunehmen. Dieses gelingt anscheinend in genügendem Maße, soweit es sich um niedere Ungesättigten-Konzentrationen handelt (bis ca. 5%), durch Behandlung mit 80%iger Schwefelsäure. Von diesem vorbehandelten Benzin wird der Anilinpunkt (genannt AP. Ia) bestimmt. Dieser Anilinpunkt dient als Grundlage für die Ermittlung des Aromatengehaltes nach Kurvenblatt I resp. II. Der so gefundene Aromatengehalt bezieht sich auf das olefinfreie Benzin und ist auf das Originalbenzin umzurechnen. Aus der Differenz zwischen AP. I und AP. Ia kann, wie aus obiger Tabelle ersichtlich, auf den Gehalt des Benzines an Ungesättigten kein Schluß gezogen werden. Er muß vielmehr durch eine gesonderte Bestimmung ermittelt werden.

Folgende Tabelle zeigt anhand synthetischer Mischungen, wie der Ungesättigtgehalt sich bei der Aromatenbestimmung auswirkt, wenn die Berechnung statt aus dem Anilinpunkt Ia mit dem Anilinpunkt I vorgenommen wird:

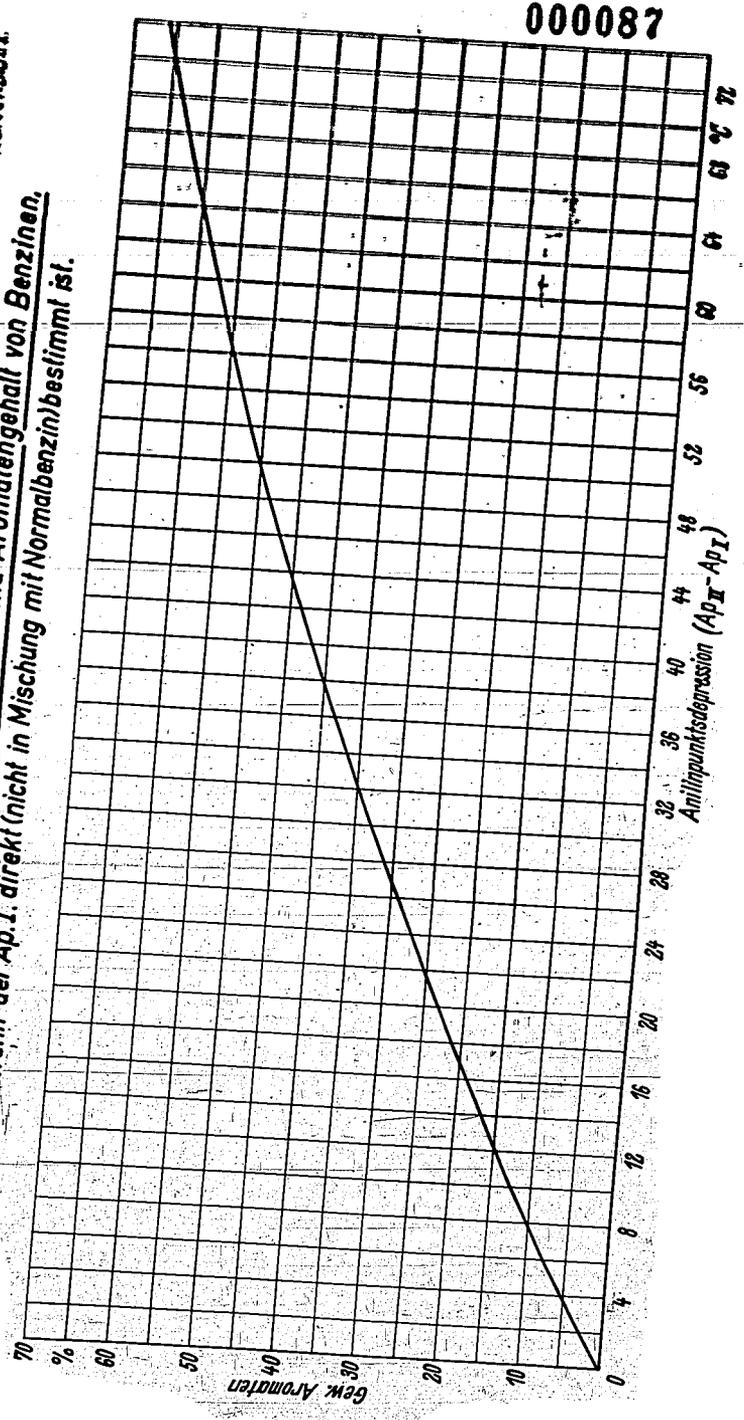
Beispiel:

Zusammensetzung in Gew.%			AP.I	AP.Ia	AP.II	Aromaten aus AP.II-AP.I		Aromaten aus (AP.II-AP.Ia) (100 Olefine)	
Aro- maten	Rest- ben- zin	Olefine				ge- fun- den	Abwei- chungen v. theor. Wert	gefun- den	Abwei- chungen v. theor. Wert
50	47	3 Cyklohexan	2,4	2,8	56,4	52,9	+ 2,9	49,9	- 0,1
50	45	5 "	0,6	2,2	56,0	54,0	+ 4,0	49,9	- 0,1
50	40	10 "	3,7	2,7	55,6	56,5	+ 6,5	50,4	- 0,4
40	45	5 Oktylen	6,7	5,7	58,8	51,5	+ 1,5	49,7	- 0,3
50	45	5 (Cyklohexan+ Oktylen+Decy- len 2:III)	5,2	4,1	58,5	52,4	+ 2,4	50,3	+ 0,3

Wir glauben hierdurch gezeigt zu haben, dass die An-
 linpunktmethode nach vorstehend beschriebener Arbeitsweise
 für die Zwecke der Untersuchung technischer Benzine mit den
 angegebenen Einschränkungen zu praktisch brauchbaren Ergeb-
 nissen führt.

Beziehung zwischen Anilinpunktsdepression und Aromatengehalt von Benzinen,
wenn der Ap.I. direkt (nicht in Mischung mit Normalbenzin) bestimmt ist.

Kurvenblatt I.

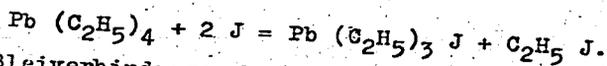


PKPS-Schnellverfahren zur Bestimmung des
Bleigehaltes in Flugmotoren-Kraftstoffen.

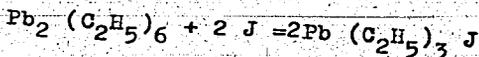
Von Dr.-Ing.O. Idemier, PKPS Stuttgart-Untertürkheim

Bekanntlich gibt es eine ganze Reihe von Verfahren zur Pb-Bestimmung in Kraftstoffen, so z.B. das Chromatverfahren von Calingaert¹⁾-Ausfällung mit Brom als $Pb Br_2$ und Bestimmung als $PbCrO_4$ - das $PbSO_4$ - Verfahren von W.Ulrich²⁾, das HCl-Verfahren von Calingaert und Gambrill³⁾ und noch andere. Alle diese Verfahren haben den Nachteil, daß sie entweder nicht immer gut reproduzierbare Werte liefern oder aber große Zeitaufwand in Anspruch nehmen.

Das schon vor längerer Zeit entwickelte PKPS-Verfahren zur Bleibestimmung in Kraftstoffen beruht auf der jodometrischen Analyse, wobei Bleitetraäthyl in Bleitriäthyljodid und Äthyljodid übergeführt wird.



Andere Bleiverbindungen brauchen kein Jod oder nur sehr wenig. Das zu einigen Zehntel-Prozent anwesende Hexaäthylplumban verbraucht je Bleiatom nur die Hälfte Jod. Es tritt dabei folgende Reaktion ein:



Die gravimetrische Bestimmung ergibt deshalb gegenüber der jodometrischen Methode einen um 0,2 bis 0,5% höheren Gehalt an Bleitetraäthyl, sofern das Grundbenzin kein Jod aufnimmt.

Anfänglich wurde eine wässrige Jodlösung verwendet. Hierbei traten zwei Schwierigkeiten in Erscheinung:

- 1) Edgar u. Calingaert: Analytical Reactions of Tetraethyl Lead, Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. Bd.1(1929) S.321 u. D.Holde, Kohlenwasserstoffe und Fette, 7.Aufl. (1933) S.215
- 2) W.Ulrich, Über eine Schnellmethode zur Bestimmung des Bleitetraäthylgehaltes in Kraftstoffen, Öl und Kohle Bd.14. (1938), S.131
- 3) Calingaert und Gambrill, Eine verbesserte Methode zur Bleibestimmung in Benzin, Öl und Kohle, Bd.15 (1939) S.782

- 1) Die ungesättigten Verbindungen werden von der wässrigen Jodlösung angegriffen.
- 2) Die Reaktion ist licht-empfindlich.

Deshalb wurden Versuche angestellt, die ungesättigten Verbindungen entweder abzutrennen oder durch Anlagerungsprodukte wie Essigsäure, Oxalsäure und Trichloressigsäure abzusättigen. Die Abtrennung dieser Kohlenwasserstoffe konnte mit Dimethylsulfat erreicht werden. Wegen der großen Giftigkeit wurde aber von der Verwendung des Dimethylsulfats abgesehen. Die Absättigung kann durch Trichloressigsäure bis zu einem gewissen Gleichgewichtszustand bewerkstelligt werden, verläuft aber nicht quantitativ. Außerdem wird bei längerer Einwirkung das Bleitetraethyl angegriffen. Bei genauer Einhaltung der Analysenvorschrift konnte eine Bleibestimmung mit einer Genauigkeit von 5 bis 10% durchgeführt werden.

Eingehende Versuche mit organischen Lösungsmitteln haben ergeben, daß eine Äthylalkoholische Jodlösung in erster Linie mit dem Bleitetraethyl eine Reaktion eingeht und erst beim Vorhandensein größerer Mengen von Ungesättigten auch an das Grundbenzin etwas Jod anlagert. Letztere Möglichkeit kommt bei Flugkraftstoffen praktisch nicht vor. Der maximal auftretende Fehler beträgt 3 bis 4%, was für ein Schnellverfahren - wie es das FKFS-Verfahren darstellt - wenig bedeutet.

Das FKFS-Schnellverfahren wurde an mehreren Kraftstoffen erprobt, unter anderem an:

- | | | |
|---------------------------------------|---|------------------|
| 1) VT 702 | } | Flugkraftstoffe |
| 2) VT 707 | | |
| 3) VT 802 | | |
| 4) VHT 302 | | |
| 5) 80 Vol.-% VT 810+20 Vol.-% VHT 302 | | |
| 6) Leuna-Benzin | } | Auto-Kraftstoffe |
| 7) Fischer-Tropsch-Benzin | | |

Bei den Kraftstoffen Nr. 1 bis 5 handelt es sich ausschließlich um Flugmotoren-Kraftstoffe, die Kraftstoffe 6 und 7 stellen Auto-Kraftstoffe dar.

Die oben erwähnten Kraftstoffe wurden zuerst mit alkoholischer Jodlösung behandelt, um die Jodaufnahme und damit die von vornherein auftretende Fehlergrenze feststellen zu können. Dann wurden die einzelnen Kraftstoffe mit verschiede-

nen Mengen Bleitetraäthyl versetzt. Auf Grund der gemachten Erfahrungen wurde folgende Vorschrift für die Bleibestimmung in Flugmotorkraftstoffen ausgearbeitet:

In einem 100 cm³ fassenden Jodzählkolben werden 25 cm³ des zu untersuchenden Kraftstoffes mit 5 cm³ n/10 äthylalkoholischer Jodlösung 5 bis 10 Minuten (bei niederverbleiten 5 Minuten, bei hochverbleiten 10 Minuten) geschüttelt. Der Jodüberschuß wird mit n/10 Natriumthiosulfatlösung zurücktitriert. Zur Herstellung der Jodlösung werden 1 ltr. 98%iger Äthylalkohol und 12,7 g Jod pro analysi etwa 1/2 Stunde geschüttelt und das nicht in Lösung gegangene Kaliumjodid als Bodensatz belassen.

Die verbrauchte Menge an n/10 alkoholischer Jodlösung, mit 0,0391 multipliziert, ergibt den Bleitetraäthylgehalt in Volumenprozent.

Zur Feststellung der Jodempfindlichkeit wurden die Grundkraftstoffe nach der angegebenen Vorschrift für die Bleibestimmung untersucht. Aus Zähl.t. 1 ist zu ersehen, daß der Jod-

Zahlentafel 1

Jodaufnahme bei Grundkraftstoffen und der daraus errechnete Bleitetraäthylwert.

Schüttelzeit :	5 min		10 min	
	Verbrauch an n/10 alkoholischer Jodlösung (cm ³)		Bleitetraäthylgehalt (Volumprozent)	
Kraftstoff				
VT 702	0	0	0	0
VT 707	0,02	0,025	0,0008	0,001
VT 810	0,02	0,02	0,0008	0,0008
VHT 302	0	0	0	0
80 vH VT 810 + 20 vH VHT 302	0,03	0,04	0,0012	0,0016
Leuna-Benzin	0	0	0	0
Fischer-Tropsch-Benzin	0,026	0,04	0,001	0,0016

verbrauch für die einzelnen Kraftstoffe zwischen 0 und 0,04 cm³ liegt, wobei 0,04 cm³ n/10 Jodlösung eines Bleigehalt von 0,0016 Vol.-% entsprechen. Die Jodaufnahme ist also verhältnismäßig gering und ruft demzufolge nur einen kleinen Fehler hervor.

Zahlentafel 2

Gefundene Bleiwerte bei einem theoretischen Gehalt von 0,0326 Volumprozent.

Schüttelzeit :	5 min	10 min	5 min	10 min
	Verbrauch an n/10 alkoholischer Jodlösung (cm ³)		Bleitetraäthylgehalt (Volumprozent)	
Kraftstoff				
VT 702	0,835	0,835	0,0326	0,0326
VT 707	0,83	0,83	0,0325	0,0325
VT 810	0,84	0,85	0,0328	0,0332
VHT 302	0,83	0,835	0,0325	0,0326
80 vH VT 810 + 20 vH VHT 302	0,80	0,81	0,0313	0,0317
Leuna-Benzin	0,83	0,83	0,0325	0,0325
Fischer-Tropsch-Benzin	0,835	0,84	0,0326	0,0328

Die Zahlentafel 2 stellt die nach dem FKFS-Verfahren enthaltenen Bleiwerte der Kraftstoffe mit einem theoretischen Gehalt von 0,0326 Vol.-% Bleitetraäthyl dar. Der niederste Bleiwert wurde mit 0,0313 Vol.-%, der höchste mit 0,0332 Vol.-% gefunden.

Die 7 Grundkraftstoffe wurden noch auf 0,1306 Vol.-% Bleitetraäthyl aufgebleit. Die erhaltenen Bleiwerte sind aus der Zahlentafel 3 ersichtlich, wobei der niederste Bleitetraäthylgehalt mit 0,1275, der höchste mit 0,1302 Vol.-% gefunden wurde. (Zahlent. 3 s. folgende Seite)

Das FKFS-Verfahren ist sehr einfach, schnell durchführbar und besitzt alle Vorteile einer maßanalytischen Bestimmungswiese. Filtrieren, Glühen, Wägen und das Arbeiten mit Brom, Salpeter- und Schwefelsäure fallen fort. Apparativ wird benötigt: 1 Mikrobürette, 1 Pipette, 3 Flüssigkeitsflaschen, 1 Meßzylinder, 1 Jodzählkolben

Gefundene Bleiwerte bei einem theoretischen Gehalt von 0,1306 Volumprozent.

Schüttelzeit:	5 min		10 min	
	Verbrauch an $\frac{n}{10}$ alkoholischer Jodlösung (cm ³)		Bleitetraethylgehalt (Volumprozent)	
Kraftstoff				
VF 702	3,26	3,33	0,1275	0,1302
VF 707	3,28	3,30	0,1282	0,1290
VT 810	3,285	3,32	0,1284	0,1298
VHT 302	3,32	3,33	0,1298	0,1302
80 vH VT 810 + 20 vH VHT 302	3,3	3,32	0,1290	0,1298
Leuna-Benzin	3,29	3,32	0,1287	0,1298
Fischer-Tropsch-Benzin	2,28	3,33	0,1282	0,1302

Die Bestimmungszeit beträgt allerhöchstens 15 Minuten, wobei diese Zeit noch wesentlich verkürzt werden kann, wenn eine geeignete Schüttelmaschine und eine größere Anzahl von Kraftstoffen zur Bleibestimmung vorliegen. 6 Kraftstoffe können nach dem FKFS-Verfahren ohne weiteres in einer 1/2 Stunde hinsichtlich ihres Bleigehaltes untersucht werden.

Das Jod-Schnellverfahren bereitet dann Schwierigkeiten, sofern sehr viel ungesättigte Verbindungen und Peroxyde in den zu untersuchenden Kraftstoffen vorliegen.

Demzufolge wurde ein weiteres Verfahren entwickelt, mit Hilfe dessen der Bleigehalt sämtlicher Kraftstoffe mit größter Genauigkeit ermittelt werden kann.

Die schon früher zur Absättigung der Benzinkohlenwasserstoffe benutzte Trichloressigsäure ist befähigt, unter bestimmten Versuchsbedingungen in 2 Minuten das Bleitetraethyl quantitativ aus dem Benzin herauszuholen. Je nach Temperatur werden voraussichtlich 2, 3 oder 4 Äthylgruppen durch die Trichloressigsäure ersetzt. Wahrscheinlich liegt bei der Bleibestimmung Blei-trichloracetat vor (4-wertiges Blei). Nähere Untersuchungen über die Zusammensetzung der einzelnen Bleiver-

bindungen sind in Gange. Das in Bleitrichloracetat enthaltene Blei wird mit $n/10$ Kaliumdichromatlösung als Bleichromat gefällt und das überschüssige Kaliumdichromat mit Natriumthiosulfat zurücktitriert.

Auf Grund der bis jetzt gesammelten Erfahrungen wurde folgende Vorschrift für die quantitative Bleibestimmung in Kraftstoffen ausgearbeitet:

10 cm³ Kraftstoff werden in einem mit Scheidetrichter versehenen Siedekolben (Bild 1) mit 5 cm³ 50 %iger Trichloressigsäure 3 Minuten am Rückflußkühler gekocht.

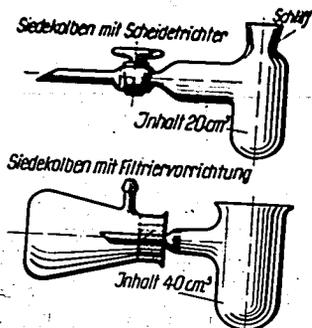


Abb. 1:

Die Trichloressigsäurelösung wird mit Hilfe des am Siedekolben angebrachten Scheidetrichters abgetrennt und der Kraftstoff zweimal mit je 5 cm³ 50 %iger Trichloressigsäure nachgewaschen. Die gesamte Waschflüssigkeit wird in einem zweiten Siedekolben mit Filtriervorrichtung (Bild 1) etwa 5 Minuten stark erhitzt und eingengt, bis weiße Nebel von Trichloressigsäure entweichen. Nach Zugabe von 5 cm³ $n/10$ Kaliumdichromatlösung wird mit Ammoniaklösung neutralisiert. Der $PbCrO_4$ -Niederschlag wird durch das am Siedekolben angebrachte 1 G 4-Filter filtriert. Die in einer Saugflasche aufgefangene Kaliumdichromatlösung wird mit $n/20$ Natriumthiosulfat zurücktitriert. Die verbrauchte Menge, umgerechnet auf $n/20$ Kaliumdichromatlösung, mit 0,0324 multipliziert,

ergibt den Gehalt an Bleitetraäthyl in Volumenprozent.

Die Bleibestimmung dauert 30 Minuten, die Genauigkeit beträgt für sämtliche bisher untersuchten Benzine 1 - 2%. Apparativ wurden die bei dem DVL-Verfahren gemachten Erfahrungen zu Grunde gelegt. 4)

Außer den üblichen Flugkraftstoffen wurden hauptsächlich olefinreiche und peroxydhaltige Benzine nach diesem Schnellverfahren untersucht. Die beiden erwähnten Schnellverfahren zur Pb-Bestimmung ergänzen sich also sehr schön.

Während das erste Verfahren besonders für fahrbare Laboratorien geeignet ist - seine Brauchbarkeit wurde bereits schon im Kriege bewiesen - dient das zweite Verfahren für exakte Laboratoriums-Untersuchungen.

Zum Schluß darf ich noch darauf hinweisen, daß im Institut Kamm durch Herrn Dipl.-Ing. Gross ein Schnellverfahren gefunden wurde, wonach der Pb-Gehalt in Kraftstoffen mit Hilfe der Absorption von Röntgenstrahlen sehr schnell und exakt bestimmt werden kann.

Die nachstehende nachträgliche Änderung des Verfassers ging der DVL noch zu:

Der Vortrag ist ab S.5, vorletzter Absatz, wie folgt zu ändern:

Demzufolge wurde ein weiteres Verfahren ermittelt, mit Hilfe dessen der Bleigehalt sämtlicher Kraftstoffe genau ermittelt werden kann.

- 4) I. Morghen, Ein exaktes Schnellverfahren zur Bestimmung von Blei in Kraftstoffen. Deutsche Luftfahrtforschung
FB 1292

Die schon früher zur Abmättelung der Benzinkohlenwasserstoffe benutzte Trichloressigsäure ⁴⁾ ist befähigt, in etwa 2 Minuten das Bleitetraäthyl quantitativ umzusetzen, was durch Versuche von Owens, Broome und T. Smart - Reid ⁵⁾ bestätigt wird. Eine derartige Zersetzung des Bleitetraäthyls wurde auch schon von B. Carli ⁶⁾ mit Schwefelchlorid festgestellt, wobei als Umsetzungsprodukt Blei(2)chlorid entstand.

Die Überführung von Bleitetraäthyl in Diäthylbleichlorid wird bei der DVL ⁷⁾ mit Sulfurylchlorid quantitativ erreicht; das Blei wird hierbei mit Ethison titrimetrisch bestimmt.

Ein ähnlicher Vorgang spielt sich mit der Trichloressigsäure ab; auch hier werden zuerst Äthylbleichloridverbindungen und schließlich Blei(2)chlorid gebildet, worin das Blei als Bleichromat bestimmt werden kann.

Auf Grund der bis jetzt gesammelten Erfahrungen wurde folgende Vorschrift für die quantitative Bleibestimmung in Kraftstoffen mittels Trichloressigsäure ausgearbeitet:

10 cm³ Kraftstoff werden mit 5 cm³ 20%iger Trichloressigsäure in einem 30 cm³ fassenden Siedekölbchen (Bild 1a)



Abb. 1a: Siedekölbchen zur Bleitetraäthyl-Zersetzung.

4) FB 1194

5) Journ. of the American Chemical, Soc. (1927) S. 830

6) B. Carli Ann. Chem. applicata 25 (1935), S. 634/38

7) I. Morghen FB 1292

an Rückflußkühler 5 Minuten erhitzt. Das Siedekölbchen wird mit Inhalt sodann in den mit Schliff versehenen Scheidetrichter (Bild 2a) gesteckt, wobei mit Hilfe des Scheidetrichterhahnes kurz zu lüften ist. Nach kurzem Durchschütteln wird das Siedekölbchen vorsichtig abgenommen, die trichloressigsäure Bleilösung abgetrennt und in einen 100 cm³ fassenden Weithals-Erlenmeyer oder ein Becherglas gebracht.

Das Siedekölbchen mit Scheidetrichter wird zweimal mit je 3 cm³ 20%iger Trichloressigsäure nachgewaschen und die Gesamtwaschflüssigkeit in dem 100 cm³ Weithals-Erlenmeyer oder Becherglas vereinigt.



Abb. 2a: Scheidetrichter zur Abtrennung der wässrigen Bleilsg.

Die Flüssigkeit wird bis zur Trockene verdampft, wobei am Schluß weiße Dämpfe von Trichloressigsäure - die vollständig zu entfernen sind - entweichen. Um ein Spritzen zu verhüten, wird der Erlenmeyer mit einer Stativklammer gehalten und dauernd in kreisförmige Bewegung gehalten. Die Trichloressigsäuredämpfe werden durch leichtes Abblasen entfernt, wobei die Temperatur wegen der Zersetzung von Trichloressigsäure und Bleioxydbildung nicht zu hoch sein darf. Der so erhaltene Rückstand wird zur Entfernung der u.U. in Spuren noch vorhandenen Trichloressigsäure mit einigen Tropfen Ammoniak versetzt und mit höchstens 3 cm³ 5%iger Essigsäure unter Zugabe von etwa Natriumacetat kurz aufgeköcht. Aus der heißen Lösung wird mit 5 cm³ n/20 Kaliumbichromatlösung das vorhandene Blei als Bleichromat gefällt und nach der Fällung nochmals kurz aufgeköcht.

Die Flüssigkeit mit dem Bleichromatniederschlag ist rasch abzukühlen und durch einen 1 G 4-Glasfiltertiegel in eine etwa 250 cm³ fassende Saugflasche zu filtrieren. In der Saugflasche wird das überschüssige Kaliumbichromat nach Versetzen mit etwa 0,2 g Kaliumjodid und 5 cm³ analytischreiner Salzsäure mit n/20 Natriumthiosulfatlösung zurücktitriert.

Die Menge der verbrauchten n/20 Kaliumbichromatlösung in cm³ ergibt, mit 0,0324 multipliziert, den Gehalt an Bleitetraäthyl in Volumenprozent.

Aus Zahlentafel 4 ist die Genauigkeit des FKPS-Trichloressigsäure-Verfahrens ersichtlich.

Der Schluß des Vortrages bleibt unverändert.

D i s k u s s i o n
der Vorträge am 17. Juni 41

Lagerung und chemische Charakteristik.

Zu I: Grundsätzliches und

II: Chemische Charakteristik der Lagerungseigenschaften.

Die schlechte Reproduzierbarkeit des Bombentestes kann schon in der Art der Probenaufbewahrung vor dem Test begründet liegen. So zeigten zwei aus demselben Faß in zwei ganz gleiche Flaschen gefüllte verbleite Benzinproben einen ganz verschiedenen Bombentest. Vermutlich findet trotz der scheinbar gleichen Behandlung der Proben ein verschiedenes "Atmen" statt, das zu den Unterschieden führt. Aus diesem Grunde ist der Probenahme und der Aufbewahrung der Proben größte Aufmerksamkeit zu widmen.

Über die Reproduzierbarkeit liegen auch günstigere Urteile vor. So erhält die I.G. (Dr. Ester) reproduzierbare Werte auch bei Bleikraftstoffen bei höchstens 15 Minuten Abdampfzeit (meistens 10 bis 13 Min.). Nicht gealtertes CV 2b ergab folgende Harzmengen: unverbleit 5 bis 6 mg, verbleit (mit 0,12% BTÄ) 9 mg; gealtertes verbleites 59 bis 63 mg nach der konventionellen, 13 bis 14 mg nach der DVL-Aufarbeitung. Die Wifo (Dr. Kiemstedt) findet den Bombentest als relativen Maßstab brauchbar, nicht aber zur Voraussage über die Lagerzeit eines Kraftstoffes. Ob die Bleizersetzung als Maßstab zu verwenden ist, ist noch fraglich. Eine einmonatige Lagerung der Kraftstoffe vor dem Versuch läßt sich praktisch nicht durchführen.

Betr. der Versuchsbedingungen beim Bombentest wird er-sucht, sie genau in den BVM festzulegen. Die Alterungstemperatur und -zeit (100°C, 4 Std.) beurteilt die Kraftstoffe mit 1- bis 2-jährigen Lagerungszeiten im allgemeinen zu scharf, doch ist auch das Gegenteil vorgekommen. Für tropische Verhältnisse mit hohen Lagerungstemperaturen und -Zeiten erwiesen sich die Versuchsbedingungen bei der Alterung gekrackter Kraftstoffe noch als zu milde. Dieser Gesichtspunkt gewinnt praktische Bedeutung,

da die Möglichkeit einer Verwendung von Krackbenzinen auch in tropischen Gegenden in Betracht gezogen werden muß.

Die Abdampftemperatur beträgt bei der I.C. (Dr. Oster) 150°C, um die vorgeschriebene Abdampfzeit auch für höhersiedende Kraftstoffe beibehalten zu können. Die Temperatur des siedenden Wasserbades wird aber von den übrigen Stellen als ausreichend gefunden. Zur Sinhaltung wird vorgeschlagen, als abzudampfende Menge nur 50 ccn zu nehmen. Auch eine höhere Trockentemperatur als 110°C wird empfohlen.

Die Beschaffenheit des Rückstandes muß berücksichtigt werden. Man soll angeben, ob es sich um harzigen Rückstand oder solchen mit öligen Beimengungen handelt. Bei Nachweis einwandfreier Beschaffenheit des Rückstandes könnte eine höhere Rückstandsmenge zugelassen werden als die Lieferbedingungen vorschreiben. Vom RLM (Dr. Dehmlow) wird darauf hingewiesen, daß Kraftstoffe mit hohem Rückstand öligter Natur soweit mit rückstandsparmen Kraftstoff verdünnt werden, daß der Rückstand des Gemisches den Lieferbedingungen entspricht. Dies ist aber unzulässig, wenn der hohe Rückstand ein Harz ist. Auch unter den Harzen ist zwischen mehr und weniger schädlichen zu unterscheiden. Neugebildetes Harz schadet weniger als vorgebildetes.

Eine Milderung der Lieferbedingungen, die von einer Stelle vorgeschlagen und mit der Vieldeutigkeit von Bombentest-Ergebnissen begründet wurde, kann derzeit vom RLM nicht zugelassen werden, da die Lieferbedingungen möglichst scharf sein sollen (Dr. Dehmlow). Es wird auf die große Bedeutung hingewiesen, die bei der praktischen Lagerung von Krackbenzinen Polysulfide hatten, die durch Behandlung mit Natriumplumbitlösung entstanden waren. Bleitetraäthyl kann, wie sich bei der Lagerung olefinischer Kraftstoffe herausstellte, auch als Inhibitor wirken. Dies ist auch theoretisch durchaus verständlich, da ja sogar Sauerstoff auf bestimmte Stoffe inhibierend wirken kann (z.B. bei höheren Drucken). Schwefelkohlenstoff zersetzt Bleiverbindungen auch im Dunkeln. Für die Kontrolle der Peroxydbestimmungen kann das Verfahren von Yule und Wilson nur als Anhaltspunkt dienen, da die danach gefundenen Werte

*) der Zeit

ungenau sind. Die Lagerung in kleinen Behältern ergibt wegen der verhältnismäßig größeren Oberfläche ungünstigere Werte als in großen und ist deshalb für die Beurteilung des Lagerverhaltens vorzuziehen. Werden Lagerungskannen oft geöffnet, so ist mit erhöhter Harzbildung zu rechnen. Zwischen dem Logarithmus der Harzbildungszeit und dem reziproken Wert der Temperatur besteht für Proben mit gleichen Harzgehalten eine geradlinige Beziehung.

Die Zusammensetzung des Ethylfluids schwankt etwas. Frisch geöffnete Gefäße mit Ethylfluid sollten daher stets auf ihren Bleigehalt untersucht werden. Ob aus dem verschiedenen Verhalten gebleiter Benzine Schlüsse auf den BTÄ-Gehalt des Ethylfluids gezogen werden können, ist noch zu prüfen.

Als Erfahrungswert wurde von Travemünde (Dr. Wallner) berichtet, daß ein Kraftstoff mit 20 mg Harzrückstand vor Bombenalterung bereits praktische Schwierigkeiten in He 109-Maschinen ergab. Versuche in Mecklin mit Zusatz von 60 mg Harz ergaben keine Störungen des Betriebes bei 50 Stundenläufen. In USA waren Benzine mit 120 mg neugebildetem Harz ohne Schwierigkeiten verwendbar.

Die praktische Auswertung der Harzbestimmung beruht auf Erfahrungswerten, die vom Vergasermotor und vom unverbleiten Benzin übernommen worden sind. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß sich Harz im Einlaßsystem nur dann besonders ungünstig auswirkt, wenn die Temperatur dort über dem Taupunkt liegt. Anderenfalls werden harzartige Bestandteile, in Benzin gelöst, in den Verbrennungsraum gelangen und verbrennen. Störungen durch das Harz sind beim Einspritzbetrieb zu erwarten:

- 1) an der Einspritzdüse (es müßte noch geklärt werden, ob es sich bei diesem Vorgang um physikalische oder chemische Rückstandsbildung handelt);
- 2) an den Kolbenringen durch Verkokung und Kolbenringstecken.

Der Begrenzung der zulässigen Harzmenge mit 10 mg wird allgemein zugestimmt. Es wird jedoch empfohlen, Versuche zur genaueren Grenzfestlegung der zulässigen Harzmenge bei Einspritzbetrieb durchzuführen.

Zu III: Praktische Lagerung.

Die I.G. (Dr. Ester) gelangt nicht zu einer so schlechten Beurteilung des Bombentestes wie der Vortragende. Wenn ein unverbleites Benzin beim Bombentest schlecht ist, kann man auf schlechtes Lagerungsverhalten schließen, nicht aber bei einem verbleiteten hocharomatischen Benzin. So zeigten drei verschiedene verbleite, hocharomatische Kraftstoffe nach zweijähriger Lagerung überhaupt keine Veränderung. Allerdings fand die Lagerung in vollgefüllten Fässern statt, die während der Lagerzeit nicht geöffnet wurden. Bei den praktisch verwendeten Kraftstoffen sind die Bedingungen wohl ungünstiger, da sie viel mit Luft in Berührung kommen; vor allem beim Weg vom Hersteller zum Verbraucher ist mit etwa 10maligem Umfüllen zu rechnen.

Praktische Versuche mit Kraftstoffen, denen Harze (bis zu 40 mg) zugesetzt wurden, sind in Reclin an Einspritzmotoren durchgeführt worden (Lange). Schädliche Wirkungen, wie Ablagerungen, wurden in keinem Falle festgestellt. Allerdings waren die verwendeten Harze wohl nicht identisch mit den natürlich im Kraftstoff gebildeten. Wesentlich für die praktische Auswirkung großer Harzmengen ist ihre Löslichkeit in dem Kraftstoff.

Zu IV: Hemmstoffe.

Auf die Bedeutung natürlicher Hemmstoffe wird hingewiesen. So sind in den Kraftstoffen oft 0,01 bis 0,02% Phenole oder auch andere Hemmstoffe enthalten, die durchaus vorteilhaft sind. Trotzdem ist eine Änderung der Lieferbedingungen, die diese Hemmstoffe zuließe, nicht vorgesehen. Es könnte vorkommen, daß unter den in Frage kommenden Körperklassen nicht nur Hemmstoffe, sondern auch Beschleuniger sind. Daher wendet man besser Hemmstoffe bekannter Zusammensetzung an (Wifo, Dr. Klemstedt). Man könnte sich allerdings auch auf den Standpunkt stellen, einen Wettbewerb zwischen natürlichen und zugesetzten Hemmstoffen zuzulassen in der Form, daß die Verbraucher beide Arten von Kraftstoffen

erhalten und dann selbst prüfen, welche besser ist (Rechlin, Dr. ernar).

Die Wasserlöslichkeit der Hemmstoffe darf nicht zu groß sein, da die Kraftstoffe praktisch mit großen Mengen Wasser in Berührung kommen können. Es stehen jedoch genügend Hemmstoffe, besonders stickstoffhaltige, zur Verfügung, die wasserunlöslich sind und auch keine starke Verfärbung des Kraftstoffes verursachen. Eine Verfärbung könnte von den Lieferbedingungen zugelassen werden, wenn sie nachweislich auf den Hemmstoff zurückgeht.

Korrosionsversuche mit inhibierten Kraftstoffen sollten nicht in zu kleinem Maßstabe durchgeführt werden, da Versuche mit kleinen Blechstreifen ein schlechtes Bild geben; besser ist es, die Lagerungskannen nach einiger Lagerzeit aufzuschneiden und zu beobachten. Bei Mischungen von inhibierten Kraftstoffen miteinander ist zu prüfen, inwieweit sich die Hemmstoffe gegenseitig beeinflussen.

Beschlußfassung:

Es sollen Lagerversuche mit inhibierten Kraftstoffen vorgenommen werden, deren Zweck folgender ist:

- 1) Erzielung lagerbeständiger Kraftstoffe durch Zusatz von Hemmstoffen;
- 2) Feststellung der Wirkung der inhibierten Kraftstoffe auf den Tank;
- 3) Feststellung der gegenseitigen Beeinflussung von Hemmstoffen.

Untersuchungsstellen sind Travemünde und Rechlin.

Die zu prüfenden hocharomatischen Kraftstoffe werden von den Herstellern selbst mit Hemmstoffen versehen. Die Menge des Zusatzes soll nicht über 0,01% betragen (der Schalentest 10 mg/100 ccm darf nicht überschritten werden). Der Zusatz erfolgt 1 bis 2 Tage nach Herstellung des Kraftstoffes. Je 200 Ltr. inhibierter und nicht inhibierter Kraftstoffe werden an die Untersuchungsstellen versandt, außerdem 200 Ltr. nicht inhibierter

Kraftstoff an die DVL. Sämtliche Kraftstoffe sind unverbleit zu verschicken. Menge und Art des Kraftstoffes sind dem RLM (Dr. Deyer, OL 5 II) zu treuen Händen so rechtzeitig bekanntzugeben, daß es die Wahl eines anderen Kraftstoffes veranlassen kann, falls verschiedene Stellen denselben Kraftstoff vorgesehen haben. Der letzte Termin für die Versendung ist der 5. Juli 1941.

Das Material für die Versuchsbehälter ist: Eisen, verzinktes Eisen, zementiertes Eisen und ein noch vom RLM bekanntzugebendes Material.

Die Beurteilung der Kraftstoffe erfolgt auf Grund der normalen Laboratoriumsuntersuchung.

Zu V: Sonstige Prüfverfahren.

Zweck der Bauvorschriften ist die einheitliche Anwendung gleicher Verfahren. Abänderungsvorschläge lassen sich nicht ohne weiteres durchführen, meistens werden Ringversuche vorhergehen müssen. An Ringversuchen der Industrie können sich RLM-Stellen nur beteiligen, wenn das RLM davon Kenntnis erhalten hat. Der Personalmangel verhindert die Durchführung einer grossen Zahl von Versuchen.

+) Die Laboratoriumsverfahren sind zu unterscheiden in solche, die der Prüfung auf praktische Eignung dienen sollen.

Für die Probenahme soll, da ein entsprechendes DIN-Blatt noch fehlt, eine RLM-Vorschrift herausgegeben werden.

Dr. Velde gibt an, daß sich H_2SO_4 -Verfahren zur getrennten Bestimmung von Olefinen und Aromaten nicht bewährt haben. Das Kattwinkelreagens versagte besonders bei Anwesenheit grösserer Mengen von sauerstoffhaltigen Verbindungen. Das durch dieses Reagens Herausgelöste wird nicht als "Aromaten", sondern als "Schwefelsäure-Phosphor-Lösliches" (SPL) bezeichnet. Das Verhältnis Säure:Kraftstoff ist 4:1.

Für die Jodzahlbestimmung von Primärprodukten wird das Verfahren von Rosenmund und Kuhnemann empfohlen. Reinxylol ergab nach dem Verfahren von Hanus eine Jodzahl von ca. 7. Es wird

+) die der Herstellungskontrolle und in solche

vorgeschlagen, erstens mit Rücksicht auf die praktische Bedeutung der aus der Jodzahl zu ziehenden Folgerungen (z.B. erforderliche Nachhydrierung nicht entsprechender Beugine) für die Jodzahlbestimmung vorläufig wieder die in DVL 1938 enthaltene Fassung des Manus-Verfahrens zu verwenden, zweitens zur Beseitigung praktischer Lieferungsschwierigkeiten infolge Nichteinhaltung der Jodzahl-Nächstgrenze diese zwischenzeitlich aus den Lieferungsbedingungen zu streichen, bis Klarheit geschaffen ist. Dem 1. Vorschlag wird vom RLM zugestimmt, dem zweiten nicht. Die I.G. soll ihre Prüfvorschriften für die Jodzahlbestimmung bekanntgeben, wies jedoch darauf hin, daß sie noch nicht veröffentlichungsreif sind. Für den Vergleich soll auch das Verfahren des Zentralbüros herangezogen werden.

Das eine der beiden Bleibestimmungsverfahren (mittels Trichloressigsäure) von Dr. Widmaier ähnelt im Aufbau dem von Dr. Morghen in der DVL vorgeschlagenen. Auch die verwendete Apparatur ist die gleiche wie in der DVL (DVL-FB 1292). Ob die eine oder die andere Arbeitsweise günstiger ist, wird wohl erst die Zukunft erweisen können.

Beschlußfassung:

Die Fassung der Vorschriften zur Aromatenbestimmung und zur Bombenalterung soll von der DVL geändert werden. Für die Jodzahlbestimmung gilt die Fassung von 1938.

Es sind Ringversuche für die Aromaten- und Jodzahlbestimmung, sowie für die Bombenalterung vorgesehen. Welche Stellen sich hieran beteiligen, wird der DVL vom RLM bekanntgegeben.

Die DVL schlägt den einzelnen Stellen die zu prüfenden Verfahren vor und übernimmt sodann die Versendung der Proben.