

# DVM

**DEUTSCHER VERBAND FÜR DIE MATERIALPRÜFUNGEN DER TECHNIK**

POSTANSCHRIFT: DV MATERIALPRÜFUNG BERLIN NW 7  
DOROTHEENSTRASSE 46

DRAHTANSCHRIFT  
PROFVERBAND  
BERLIN

FERNRUUF  
11 00 35

POSTSCHECK  
BERLIN Nr. 29 44

An die

Herren Mitglieder und Gäste des  
Sonderausschusses zur Normung der  
motorischen Prüfung von Diesel-  
kraftstoffen des D V M

IHR ZEICHEN

IHRE NACHRICHT VOM

UNSER ZEICHEN

TAG

BETRIFFT

DVM B/Ro

19.10.1942

Sonderausschuss zur Normung der motorischen  
Prüfung von Dieselkraftstoffen des D V M

Im Auftrage des Obmannes, Herrn Oberreichsbahnrat K e S l e r ,  
überreichen wir Ihnen in der Anlage die Niederschrift über die  
Sitzung des Sonderausschusses zur Normung der motorischen Prüfung  
von Dieselkraftstoffen des D V M am 14. und 15. April 1942 in  
Oppau zur gefl. Kenntnisnahme.

Heil Hitler!

Deutscher Verband für die  
Materialprüfungen der Technik  
Geschäftsstelle:

gez. B r ä u t i g a m

Anlage

29614

**Sonderausschuß zur Normung der  
motorischen Prüfung von Dieselkraft-  
stoffen beim DVM**

Berlin, den 22.9.42

**Obmann: Oberreichsbahnrat Keßler  
Reichsbahn-Zentralamt Berlin  
Köllnischer Fischmarkt 5-6**

**Niederschrift über die Besprechung am 14.u.15.4.42  
in Oppau**

**Anwesend waren:**

|                                    |                     |
|------------------------------------|---------------------|
| Keßler, Oberreichsbahnrat, Vorsitz | RZA Berlin          |
| Bokemüller, Dipl. Ing.             | Daimler-Benz        |
| Bräutigam, Dipl. Ing.              | DVM                 |
| Bubel, Dipl. Ing.                  | Wifo Berlin         |
| Charpentier, Dr. Ing.              | ZB Berlin           |
| Dannefelser, Dr. phil.             | Rheinpreußen        |
| Gießmann, Dr., Fl.Stabsing         | E-Stelle Rechlin    |
| Heinrich, Dr. Ing                  | Bosch GmbH          |
| Hetsch, Dipl. Ing.                 | Klöckner Humb Deutz |
| Kneule, Dozent                     | TH München          |
| Köhler, Dipl. Ing.                 | IG.-Farbenindustrie |
| Lange, Dipl. Ing.                  | E-Stelle Rechlin    |
| Meyer, Chemotechn.                 | Heereswaffenamt     |
| Neumann, Dr. Ing.                  | Rhenania-Ossag      |
| Penzig, Dipl. Ing.                 | IG.-Farbenindustrie |
| von Philippowich, Dr. phil         | DVL Berlin          |
| Reichel, Dr. Ing.                  | Rhenania-Ossag      |
| Rohloff                            | Wifo Berlin         |
| Schaub, Dr. Ing.                   | Ruhrbenzin          |
| Schmidt, Dr. Ing.                  | Klöckner Humb Deutz |
| Staiger, Dr. Ing.                  | FKFS                |
| Stoll, Dipl. Ing.                  | Bosch GmbH          |
| Weber, Dipl. Ing.                  | Heereswaffenamt     |
| Widmaier, Dr. Ing.                 | FKFS                |
| Wilke, Prof. Dr. Ing.              | IG.-Farbenindustrie |
| Zinner, Dr. Ing.                   | MAN Augsburg        |
| <b>Schriftführung:</b>             |                     |
| Bauer, Reichsbahn-Oberinspektor    | RZA Berlin          |

Tagesordnung am 14.4.42.

- 1) Vortrag über die Meßverfahren.
- 2) Vortrag über die Meßgeräte:
  - a) Anlaßverfahren,
  - b) Zündverzugsverfahren.
- 3) Vortrag über die Motoren und ihre Handhabung.
  - a) HWA-Motor,
  - b) IG-Prüfdiesel.
- 4) Besichtigung und Vorführung der Motoren auf dem Prüffeld.

Tagesordnung am 15.4.42.

Diskussion und Beschlußfassung.

OR Kessler: eröffnet die Sitzung und gibt der Hoffnung Ausdruck, daß die Vorträge und die anschließende Besichtigung der verschiedenen Motoren auf dem Prüfstand allen Beteiligten ein klares Bild von den Vorteilen der einzelnen Verfahren und Geräte geben werden, sodaß die Diskussion dadurch erheblich abgekürzt und wenn möglich sofort anschließend dem DVM der Vorschlag für die Normung unterbreitet werden könne. Er bittet sodann Herrn Dr Widmaier den Vortrag über die Meßverfahren zu halten.

Dr Ing Widmaier: Während für die motorische Vergaserkraftstoffbewertung schon seit längerer Zeit eine genormte Prüfmethode in Form der Oktanzahl besteht, ist es an der Zeit auch zur Normung der Dieselmotorkraftstoffprüfung zu schreiten. Zu diesem Zweck wollen wir uns zunächst nochmals den bisherigen Entwicklungsgang der Dieselmotorkraftstoffprüfung nach der sogenannten Cetanzahl vor Augen führen.

Die ersten Versuche zur Prüfung der Dieselmotorkraftstoffe auf ihre Zündeigenschaften wurden in Verbrennungsbomben in den Versuchslaboratorien von Prof Nägel, Neumann und Nußelt durchgeführt. Sie brachten, wie u.a. die Arbeiten von Prof Holfelder zeigten, Klarheit in den bestehenden Wechselbeziehungen zwischen der Zündeigenschaft des Kraftstoffes und Druck und Temperatur der Verbrennungsluft. Für diese Bombenversuche waren umfangreiche Einrichtungen notwendig, außerdem fehlte die unmittelbare Beziehung zum Gebrauchsmotor, sodaß die Zündwilligkeitsmessungen auf einen Prüfmotor, wie er bereits für die Otto-Kraftstoffe vorhanden war, übertragen wurden. Es entstand die motorische Prüfung der Dieselmotorkraftstoffe nach dem Anlaßverfahren. Für diese Prüfungsart wurde zunächst ebenfalls

die Bombe verwendet, da der Motor beim Startvorgang sich weitgehend wie eine Bombe verhält, z.B. hat er geringe Drehzahl, niedrige Lufttemperaturen und Drücke und keine Wirbelung. Ein Prüfmotor ist jedoch unvergleichlich viel einfacher und erleichtert die Messung. Das Anlaßverfahren wurde in Amerika von Pope und Murdock als CCR-Verfahren in der Weise angewendet, daß an einem fremd angetriebenen CFR-Dieselmotor, durch Verändern der Verdichtung das Verdichtungsverhältnis gesucht wurde, bei dem der Dieselkraftstoff noch zündete.

In Europa haben Le Mesurier und Stansfield in Delft im Laboratorium von Boerlage und Broeze das Anlaßverfahren in der Form angewendet, daß an dem fremd angetriebenen Dieselmotor die Ansaugluft so weit gedrosselt wird, daß der Kraftstoff sich gerade noch entzündet. In Deutschland, das bislang noch keine Meßgeräte zur Dieselkraftstoffprüfung besaß, hat das HWA 1936 bei der Schaffung des HWA-Motors sich für das Drosselverfahren entschieden und das Anlaßverfahren mit Luftdrosselung eingeführt, da das Zündverzugsverfahren noch in der Entwicklung war.

Bei der im Jahre 1938 in München stattgefundenen Sitzung und bei Besprechungen mit Fachgenossen ist man sich aber klar gewesen, daß das HWA-Drosselverfahren nicht befriedigt, da es mit dem praktischen Betrieb nicht übereinstimmt. Während der HWA-Motor nichts anderes wie eine Bombe darstellt, kommt hinzu, daß bei der Prüfung die Luftüberschußzahl sich laufend durch die Drosselung ändert und der Verbrennungsablauf dadurch beeinflußt wird. Weiter ist nicht berücksichtigt, daß das Schmieröl sich im Verbrennungsraum ansammeln und den Selbstzündungspunkt herunterdrücken kann.

Aus diesen Erwägungen heraus ist das Zündverzugsverfahren entstanden. Dieses prüft die Kraftstoffe bei den üblichen Betriebsbedingungen und hat sich heute allgemein in der ganzen Welt wegen seiner größeren Meßgenauigkeit und des größeren Meßbereiches durchgesetzt. Amerika und Holland, die das Anlaßverfahren früher zur Anwendung gebracht haben, benutzen heute nur noch das Zündverzugsverfahren.

Im Januarheft 1929 des SAF-Journals ist vom ASTM ein Normentwurf enthalten, der die Anlage und die Richtlinien zur Messung der Dieselkraftstoffe nach dem Zündverzugsverfahren vorschlägt.

An sich wäre es kein Nachteil, wenn man einerseits das Anlaßverhalten und andererseits das Betriebsverhalten der Diesel-

kraftstoffe prüfen würde. Leider ist jedoch das Anlaßverfahren kein Meßverfahren, das die Kraftstoffe bei den üblichen Anlaßbedingungen prüft, während hingegen beim Zündverzugsverfahren die üblichen Betriebsverhältnisse des Gebrauchsmotors gut wiedergegeben werden. Das Anlaßverfahren mißt in einem Grenzzustand, wo der Kraftstoff gerade noch oder nicht mehr zündet. Es ist offensichtlich, daß in diesem Grenzzustand, wo eine große Menge unbeherrschbarer Motoreinflüsse sich auf das Meßergebnis wesentlich auswirken können, die Reproduzierbarkeit der Meßwerte von vornherein beeinträchtigt wird.

Das Zündverzugsverfahren besitzt dagegen, da die Kraftstoffe nicht in einem Grenzzustand, sondern in einem Betriebszustand, wo der Motor stets in Beharrung ist, geprüft werden, die größere Meßgenauigkeit. Da der Motor stets aus eigener Kraft läuft, treten keine unbeherrschbaren Motoreinflüsse, z.B. wechselnde Verschmutzung und verschiedene Wärmeabstrahlung auf. Gerade über die erreichte Meßgenauigkeit mit beiden Verfahren sind eine große Reihe von Untersuchungen angestellt worden.

Die schon erwähnten deutschen Ringversuche der Arbeitsgemeinschaft für Kraftfahrwesen vom Jahre 1938 haben gleichfalls gute Übereinstimmung der Meßergebnisse nach dem Zündverzugsverfahren ergeben, obwohl die verwendeten Motoren nach Bauart, Betriebszustand und der verwendeten Meßeinrichtung verschieden waren. Zu dem ist zu erwähnen, daß gegenüber dem HWA-Verfahren eine Überbewertung der Dieselkraftstoffe praktisch nicht zu Stande kommt, denn die seit einigen Jahren aufgestellten Vergleiche haben das bereits erwiesen. Im Allgemeinen stimmen die Cetanzahlen beider Verfahren in den unteren Grenzen überein; zündwillige Kraftstoffe ergeben dagegen nach dem HWA-Verfahren meistens höhere Cetanzahlen.

Ein weiterer großer Vorteil des Zündverzugsverfahrens ist sein großer Meßbereich. Insbesondere, wenn mit veränderlicher Verdichtung und gleichem Zündverzug gefahren wird, können alle Kraftstoffe vom Steinkohlenteeröl bis zu sehr zündwilligen Dieselkraftstoffen mit ausreichender Genauigkeit geprüft werden.

Außerdem wird bei einem geeigneten gleichbleibenden Zündverzug ein einwandfreier Verbrennungsverlauf bezw Motorlauf gewährleistet. Nur bei äußerst zündwilligen Kraftstoffen, die nicht mehr das Verdichtungsverhältnis für einen bestimmten Zündverzug zulassen, wird es notwendig bei kleinerem Zündverzug mit Cetan-Alpha-Methylnaphtalin-Eichmischungen zu vergleichen. Oder umgekehrt kön-

nen sehr zündtrübe Kraftstoffe vorliegen, die trotz hoher Verdichtung einen größeren Zündverzugs ergeben; in diesem Fall müßte der Kraftstoff ebenfalls im Grenzzustand also bei nicht gleichem Zündverzugs geprüft werden.

Gegen das Zündverzugsverfahren machte man anfangs den Einwand, daß die Meßeinrichtung zu umfangreich sei und von einem Laien nicht bedient werden könnte. Dieser Einwand hat zweifellos früher seine Berechtigung gehabt und war auch die Ursache, warum man z.B. in Amerika immer wieder auf das Anlaßverfahren zurückkam. Inzwischen sind jedoch die Meßgeräte so betriebssicher geworden und es gibt neuerdings so einfache Zündmesser zur Bestimmung des Zündverzugs, daß heute sogar die Messung nach dem Zündverzugsverfahren einfacher und bequemer ist. Sie ist für den Laboranten bestimmt anschaulicher und betriebssicherer als die labile Messung nach dem Anlaßverfahren. Beim Zündverzugsverfahren wird lediglich der Motor auf den vorgeschriebenen Einspritzbeginn und auf den vorgeschriebenen Zündbeginn eingestellt. Kühltemperatur und Drehzahl bleiben bei bestimmtem Motor von selbst konstant; Schwankungen der Einspritzungen haben auf das Meßergebnis einen unwesentlichen Einfluß. Es kann daher die Cetanzahl des Probekraftstoffes sofort über die Verdichtungsstellung aus einer Eichkurve abgelesen werden. Einspritzzeitpunkt und Verbrennungsbeginn werden durch einfache und betriebssichere Kontaktvorrichtungen erfaßt und im einfachsten Fall an einer mit dem Schwungrad umlaufenden Glimmlampe abgelesen. Für Laboratoriumsbetrieb steht außerdem ein einfaches, elektrisches Steuergerät zur Verfügung, das aus dem FKFS-Photozellenverfahren entwickelt wurde und den Zündverzug an einem Zeigerinstrument abzulesen gestattet.

Während für die normale Cetanzahlbestimmung der Trägheitsgeber von Dr. Neumann als das einfachste Meßgerät den unbedingten Vorzug verdient, sind für wissenschaftliche Untersuchungen auch weiterhin die umfangreicheren Einrichtungen des Druckindikators und der Photozelle angebracht, da sie die Messung in einem weiten Arbeitsbereich des Motors ermöglichen. In diesem Falle interessiert ja der Zündverzug nicht nur im Vergleich zu einer Eichmischung sondern auch als absoluter Wert und in seinem Einfluß auf den Verbrennungsablauf. In dieser Richtung wurden bereits eingehende Versuche bei Prof. A.W. Schmidt, München, der IG Farben und im Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen Prof. Kamm durchgeführt.

Zusammenfassend darf man wohl sagen, daß nach dem vorliegen-

den Versuchsmaterial in allen Ländern übereinstimmend dem Zündverzugsverfahren der Vorzug gegeben werden muß.

Der Obmann dankt Herrn Dr Widmaier für seine Ausführungen und bittet Herrn Dipl Ing Köhler, den Vortrag über das Zündverzugsverfahren zu übernehmen. Da über das Anlaßverfahren nur wenig zu berichten ist, wird Herr Dipl Ing Weber diese Erläuterungen bei seinem Vortrag über den HWA-Motor mitbringen.

Dipl Ing Köhler: Das Zündverzugsverfahren kann, wie Herr Dr Widmaier bereits ausführte, auf zwei Arten zur Cetanzahlbestimmung verwendet werden.

- 1) bei konstanter Verdichtung, wobei aus der verschiedenen Größe des Zündverzugs sich die Zündwilligkeit des Kraftstoffs ergibt,
- 2) bei konstantem Zündverzug, wobei die verschiedene Höhe der Motorverdichtung das Maß für die Zündwilligkeit ist.

Beide Male werden, wie neben anderen auch die Versuche im Labor von Prof A.W.Schmidt gezeigt haben, die gleichen Cetanzahlen gemessen. Die Cetanzahlmessung bei konstantem Zündverzug hat jedoch meßtechnisch wesentliche Vorteile.

- 1) Die Meßgenauigkeit ist besser. Bei konstanter Verdichtung werden für Kraftstoffe höherer Cetanzahl die Zündverzüge unmeßbar klein. Bei veränderlicher Verdichtung geht man in den Bereich, wo sich größere Unterschiede ergeben.
- 2) Der Meßbereich ist größer, da jeweils die Verdichtung entsprechend so eingestellt wird, daß der Motor mit dem Kraftstoff noch läuft.
- 3) Die Kraftstoffprüfung kann bei dem Zündverzug durchgeführt werden, der im praktischen Fahrbetrieb wirklich vorhanden ist.
- 4) Die Cetanzahl-Messung ist wesentlich bequemer.

Für die Cetanzahl-Messung kommt daher heute allgemein nur das Zündverzugsverfahren mit konstantem Zündverzug in Betracht, das wir am IG-Prüfdiesel anwenden. Als Zündverzug ist die Zeitspanne zwischen dem Beginn der Dieseleinspritzung und dem Druckanstieg bei der Entzündung angenommen. Diese Definition wird allgemein für den Zündverzug gebraucht und hat auch in einem Normentwurf des RLM in dieser Weise Eingang gefunden.

Wir haben den IG-Prüfdiesel je nach dem, ob er für genaue Prüfung der Kraftstoffe, wie es für die Kraftstoffherzeuger und die Kraftstoff-Forschungsstellen notwendig ist, oder ob er für Abnahmeprüfungen beim Verbraucher verwendet werden soll, in zwei Aus-

führungen vorgesehen.

Ich will Ihnen zunächst die erste Ausführung des IG-Prüfdiesels für die laboratoriumsmäßige Prüfung der Kraftstoffe erläutern. Das wesentliche Merkmal dieser Ausführung ist die Verwendung eines piezoelektrischen Indikators. Der Prüfdiesel arbeitet mit direkter Einspritzung und veränderlicher Verdichtung unmittelbar gekuppelt mit einem Drehstrom-Kurzschlußläufer, der den Dieselmotor stets auf konstanter Drehzahl hält. Auf einer Schalttafel ist die Braunsche Röhre des Piezo-Quarz-Indikators eingebaut.

An Meßgeräten bezw. Regeleinrichtungen für den Motor sind vorhanden:

am Diesel

- a) Einspritz-Einstellvorrichtung
  - b) Mengeneinstellung
  - c) Verstellhandrad für Verdichtungsänderung
- an <sup>der</sup> Schalttafel

- a) Druckknopfschalter zum Anlassen und Abstellen des Dieselmotors <sup>Sowie</sup>
- b) ein Kilowattmesser.

Zur Messung des Zündverzugs, der auf dem Leuchtschirm der Braunschen Röhre sichtbar ist, dienen der Einspritzkontakt zur Messung des Einspritzbeginns, die Quarzdruckkammer zur Messung des Druckes im Zylinder und das Seitenablenkgerät, das am Wellenende angebaut ist.

Im Zylinderkopf des Prüfdiesels ist die Quarzdruckkammer in einer Bohrung eingebaut. Der Einspritzkontakt, ein gewöhnlicher Bosch-Unterbrecher, sitzt auf dem Düsenhalter und wird durch die Bewegung der Düsennadel betätigt.

Über die Wirkungsweise der Druckverlaufmessung mit dem Piezo-Quarz-Indikator brauche ich mich hier nicht auszulassen. Es ist bekannt, daß sie trägheitsfrei erfolgt und der Piezo-Quarz-Indikator ein genau arbeitendes Meßgerät ist. Der Einspritzbeginn-Anzeiger arbeitet ebenfalls trotz seiner großen Einfachheit sehr genau. Das Seitenablenkgerät dient zur Erzeugung der KW-Basis auf dem Leuchtschirm der Braunschen Röhre. Es ist nichts anderes als ein Spannungsteiler, dessen beide Äste einen Kreis bilden. Die Spannung klingt in dem kürzeren Ast von nur  $45^\circ$  schneller ab als in dem anderen von  $315^\circ$ . Dieser elektrische Leiter, der praktisch aus einem Ringkörper aus destilliertem Wasser besteht, rotiert mit der Kurbelwelle des Motors mit und ein feststehender Fühlstift tastet an ihm die jeweilige Spannung, die gerade der augenblicklichen Kurbelstellung entspricht, ab und überträgt sie auf die Braunsche Röhre. Um die Genauigkeit der Arbeit des Geräts zu prüfen, haben wir



die vom Seitenablenkgerät auf die Braunsche Röhre übertragenen Spannungen mittels Trommel photographisch aufgenommen. Es ergibt sich ein sägeblattähnlicher Linienzug mit völlig geraden Linien und scharfen Spitzen. In einem üblichen Druckverlauf-Diagramm von 180° KW wäre der Zündverzug im Verhältnis zum gesamten Diagramm sehr klein. Er könnte aus diesem Diagramm nur mit geringer Genauigkeit bestimmt werden. Wir ziehen deshalb die 45 KW<sup>o</sup>, die den Zündverzug einschließen, mittels des soeben gezeigten Seitenablenkgerätes soweit auseinander, daß der Zündverzug wesentlich genauer beobachtet werden und die Cetanzahlbestimmung damit genauer bestimmt werden kann.

Die Cetanzahl des Kraftstoffs kann aus der Eichkurve, die für den Motor gefahren wurde, oder am Cetanzahl-Messer unmittelbar abgelesen werden. Die Cetanzahl-Bestimmung ist also hiermit bei größter Meßgenauigkeit sehr leicht und sehr bequem gemacht. Der Piezo-Quarz-Indikator bietet für den Laboranten vor allem aber auch den Vorteil, daß er in anschaulicher Weise den Motor überwachen kann, z.B. ungleichmäßiges Einspritzen der Düse, starke Schwankung im Druckanstieg können aus dem Druckverlaufdiagramm sofort erkannt und damit die Angaben von unzuverlässigen Cetanzahlen verhindert werden. Für die Laboratorien bietet der Piezo-Quarz-Indikator aber außerdem noch den großen Vorteil, daß zugleich neben der Cetanzahl von jedem Kraftstoff noch die weiteren Verbrennungseigenschaften, die sich im Druckanstieg und im Spitzendruck bei der Verbrennung kundtun, gemessen werden können. Von dieser Möglichkeit machen wir bei unseren Messungen ständig Gebrauch.

Erwähnen möchte ich hier noch den Photozellen-Indikator von FKFS, bei dem die Leuchterscheinung der Flamme zur Anzeige des Zündbeginns dient. Von FKFS wurden Untersuchungen angestellt, die ergaben, daß zwischen Photozelle und Druckindikator in vielen Fällen gute Übereinstimmung herrscht.

Neben dieser Prüfdieselanlage, die für die genaue laboratoriumsmäßige Untersuchung des Diesel-Kraftstoffes gedacht ist, haben wir eine vereinfachte Ausführung des IG-Prüfdiesels entwickelt, die insbesondere für Abnahmeprüfungen von Kraftstoffen bestimmt ist. Der vereinfachte IG-Prüfdiesel ist vollkommen unabhängig von jedem Stromnetz, Wasserleitungsnetz und Luftnetz. Er kann also überall aufgestellt werden, ohne daß besondere Anschlußarbeiten nötig

sind. Der Dieselmotor läßt sich von Hand anwerfen und wird durch einen selbsterregenden Gleichstrom-Generator belastet. Zur Zündverzugs-messung wird der Trägheitsgeber von Dr. Neumann (Rhenania-Ossag) verwendet.

Wir haben früher bereits zur Vereinfachung der Meßeinrichtung eingehende Versuche mit einer Ionisierungsstrecke und mit einem Druckanstiegmesser zur Bestimmung des Zündbeginns durchgeführt, die uns jedoch nicht befriedigt haben. Der Zündmesser von Rhenania-Ossag hat sich dagegen bisher gut bewährt, sodaß wir ihn für den IG-Prüfdiesel vorgesehen haben.

Durch diesen Zündmesser wird ein mit dem Schwungrad sich drehendes Glimmlämpchen gesteuert. Es leuchtet beim Einspritzbeginn, der durch den Düsenkontakt angezeigt wird, sowie beim Zündbeginn auf und gibt den Zündverzug an. Von FKFS wird ein Zündverzug-Anzeigergerät in Verbindung mit dem Zündmesser von Rhenania-Ossag verwendet, sodaß man den Zündverzug an einem Zeigergerät einstellen kann.

Die Cetanzahl-Bestimmung erfolgt auch beim vereinfachten IG-Prüfdiesel in der gleichen Weise wie vorhin beschrieben. Es wird auf konstanten Zündverzug eingestellt und die Cetanzahl am Cetanzahl-Messer abgelesen.

Zum Schluß möchte ich noch kurz über die Betriebsbedingungen bei der Cetanzahl-Messung sprechen, da von deren Einhaltung die Meßgenauigkeit wesentlich abhängt. Die Drehzahl des Gerätes wird durch den Drehstrom-Kurzschlußläufer stets konstant auf 1000 U/min gehalten. Die Kühltemperatur stellt sich ebenfalls von selbst stets auf 100° C Siedetemperatur des Wassers ein. Schwankungen der Einspritzmenge sind, wie Versuche von FKFS und eigene bestätigt haben, ohne Einfluß auf das Meßergebnis. Der Einspritzzeitpunkt läßt sich durch die Einstellmarken bequem und genau auf den vorgeschriebenen Wert einstellen. Der Zündbeginn ist dadurch, daß mit sehr steilem Druckanstieg gearbeitet wird, ebenfalls leicht feststellbar.

Um den gewünschten steilen Druckanstieg zu erhalten, haben wir den Zündverzug ziemlich groß gewählt. Kleiner Zündverzug gibt bekanntlich flacheren Druckanstieg. Der Druckanstieg ist ebenfalls sehr steil, wenn die Zündung im Totpunkt erfolgt. Der Druckanstieg ist hier auch am leichtesten meßbar, da die Kompressionslinie horizontal verläuft. Andere Maßnahmen zur Erreichung des steilen Druckanstieges sind noch die Ausbildung des Verbrennungsraumes als an-

genäherter Kugelbrennraum - kleine Durchbrennwege - und die Erhöhung des Einspritzdruckes auf 200 at. Man erreicht dadurch einen Druckanstieg, der bei der Cetan-Zahl-Messung am IG-Prüfdiesel zwischen 5 und 20 at/°KW beträgt. Die üblichen Motoren haben im allgemeinen unter 3 at/°KW. Bei niedriger Cetanzahl ist der Druckanstieg am steilsten. Diese Kraftstoffe sind daher im allgemeinen auch etwas leichter zu messen.

Wir können praktisch vom Teeröl bis zu den zündwilligsten Kraftstoffen weit oberhalb des Cetans untersuchen. Dies erscheint notwendig, da sich aus Mischungen die wirkliche Cetanzahl der Proben im allgemeinen nicht bestimmen läßt. Die Meßgenauigkeit liegt im mittleren Teil bei etwa  $\pm 0,5$  Cetanzahl, nach oben und nach unten nimmt sie etwas ab auf etwa  $\pm 1$  Cetanzahl.

Die Eichkurve verändert sich von Tag zu Tag etwas, je nach den atmosphärischen und motorischen Einflüssen. Wir haben über lange Zeiträume beobachtet, daß die Eichkurve sich hierbei lediglich parallel zu sich selbst verschiebt. Dieser Umstand hat uns bewogen, einen Cetanzahl-Messer zu verwenden. Auf diesem Anzeigegerät, dessen Zeiger durch das Heben und Senken des Zylinderkopfes verdreht wird, ist die Eichkurve des Motors außen aufgezeichnet. Innen sind Zylinderkopfverstellung und Verdichtungsverhältnis des Motors angegeben.

Die Eichung des Cetanzahl-Messers erfolgt mittels eines Einstellkraftstoffes bekannter Cetanzahl, zweckmäßig etwa 45. Es brauchen nun die Kraftstoffe, die untersucht werden sollen, lediglich auf konstantem Zündverzug eingestellt zu werden und man kann auf diese Weise, wie vorhin schon angegeben, die Cetanzahl unmittelbar bequem ablesen.

Oberreichsbahnrat Keßler spricht Herrn Dipl Ing Köhler seinen Dank für den Vortrag aus und erteilt Herrn Dipl Ing Weber vom Heereswaffenamt das Wort zu seinem Vortrag über den HWA-Motor und das Anlaßverfahren.

Dipl Ing Weber: Die Bestimmung der Cetanzahl nach dem Anlaßverfahren des Heereswaffenamtes erfolgt in einem handelsüblichen Motor der Firma Humboldt-Deutz. Der Motor läuft mit einer konstanten Umlaufgeschwindigkeit von 960 U/Min, die Ansaugluft wird auf 80°C und das Kühlwasser auf 70°C erwärmt. Die Messung wird so durchgeführt, daß in Abständen von 1 bis 2 Sek 3 Einspritzungen von 100 cmm Kraftstoff erfolgen. Die Einspritzung wird durch Hand ausge-

löst. Hat eine Zündung des Kraftstoffes stattgefunden, so wird die Ansaugluft gedrosselt und erneut festgestellt, ob Zündung des Kraftstoffes bei 3 Einspritzungen erfolgt. Die Drosselung der Ansaugluft wird so lange geändert, bis gerade noch Zündung des Kraftstoffes erfolgt. Die Zündgrenze wird durch Messung des bei der Drosselung im Ansaugrohr entstehenden Unterdruckes festgelegt und in Beziehung zu einem Gemisch von Cetan und  $\alpha$ -Methylnaphthalin gesetzt.

Der HWA-Motor ist in seinem Aufbau äußerst einfach gehalten und besitzt als zusätzliche Geräte nur ein Quecksilbermanometer zur Messung des Unterdruckes im Ansaugrohr und eine Vorwärm-Vorrichtung für die Ansaugluft. Das Meßverfahren setzt keine besonderen Kenntnisse für die Durchführung voraus und kann ohne weiteres von einer ungelernten Arbeitskraft durchgeführt werden.

Der Meßbereich des Verfahrens liegt zwischen 20 und 100 Cetan. Der in Veröffentlichungen gegen das Verfahren wiederholt gemachte Vorwurf, daß ein Verschmutzen des Verbrennungsraumes eintritt und Schmieröl in den Verbrennungsraum gelangt, wurde in der Praxis nicht beobachtet.

Das Verfahren wurde vom Heereswaffenamt gewählt, da es, wie Versuche in der Techn Hochschule Berlin zeigten, in Beziehung zum praktischen Anlaßverhalten des Kraftstoffes im Motor steht. Die Versuche wurden an 3 Motoren der Praxis in der Kältekammer durchgeführt. Da das Heereswaffenamt bei der Beurteilung von Kraftstoffen den größten Wert auf die Bestimmung des Startverhaltens der Dieselkraftstoffe legen muß, kann das Heereswaffenamt nur der Normung eines entsprechenden Untersuchungs-Verfahrens zustimmen. Das HWA-Meßverfahren entspricht dieser Forderung, wie es auch weiterhin den Anforderungen genügt, die an ein zur Normung gelangendes Prüfverfahren zur Bestimmung der Gütezahl der Cetanzahl im HWA-Motor nach dem Drosselverfahren in Beziehung zum praktischen Verhalten der Kraftstoffe steht, reproduzierbare Werte liefert, eine genügende Übereinstimmung der in verschiedenen Motoren gemessenen Werte (etwa 1,5 Cetanzahlen Streuung) hat und in seiner Durchführung äußerst einfach gehalten ist.

Der HWA-Motor hat weiterhin den Vorteil, daß bei Anbringung des Neumann-Indikators die Zündverzugszahl bestimmt werden kann.

Der Vorsitz dankt Herrn Dipl Ing Weber für seine Ausführun-

gen und bittet Herrn Dipl. Ing. Penzig den Vortrag über den IG-Prüfdiesel zu übernehmen.

### Dipl. Ing. Penzig:

Als der Technische Prüfstand im Jahre 1934 begann, sich eingehender mit der Bewertung von Dieselmotoren zu befassen, bestanden bereits mehrere Verfahren, die den gleichen Zweck verfolgten. Das bekannteste war das Anlaßverfahren, das an einem hierfür umgebauten CFR-Motor durchgeführt wurde. Da das Verfahren nicht befriedigte, ging man zum Zündverzugsverfahren über, wozu es allerdings notwendig war, den Zylinder und Zylinderkopf völlig neu durchzubilden. Der Zündverzug wurde mit Hilfe eines primitiven optischen Indikators oder eines Springstiftes gemessen, der die Ablesung des Zündverzugs auf dem Klopfmesser gestattete. Da diese Meßeinrichtungen nicht befriedigten, versuchte man, ein elektromagnetisches Gebersystem, das auf eine mit dem Schwungrad umlaufende Neonröhre arbeitete, und so die Ablesung des Zündverzugs in stark vergrößertem Maßstab erlaubte. Da die hierfür notwendige Einrichtung keine Besserung der Meßgenauigkeit brachte, wofür freilich auch Mängel des Motors selbst verantwortlich sind, ging man schließlich dazu über, ein Springstiftgerät als mechanischen Indikator zu benutzen und mit dessen Hilfe den Druckverlauf mühselig abzutasten. Dieses Verfahren war 1940 noch üblich und es ist auffallend, daß die Amerikaner nicht den einfachsten Weg wählten, der in der Sichtbarmachung des Druckverlaufs mit Hilfe der Braunschen Röhre besteht.

Der Technische Prüfstand hat von Anfang an für die Messung der Zündwilligkeit einen besonderen Motor entwickelt, und hierfür das Baumuster KD 15 der Motoren-Werke Mannheim benutzt. Mit einem Liter Hubvolumen ist dieser Motor so klein, daß eine Untersuchung auch kleiner Kraftstoffproben möglich ist, andererseits ist die allzu-gedrückte und unbefriedigende Ausbildung des Verbrennungsraumes wie beim CFR-Motor vermieden. Ähnlich wie der IG-Prüfmotor zur Oktanzahlbestimmung, so war auch der IG-Prüfdiesel ursprünglich nur für eigene Untersuchungen bestimmt. Da der Motor aber überall großes Interesse fand, war es notwendig, ihn in größeren Stückzahlen herstellen zu lassen. Hierbei erwies es sich als sehr nützlich, daß viele Teile des Motors aus der laufenden Serie verwendet werden konnten und die Beschaffung von Ersatzteilen sehr erleichtert wurde.

Um die Zündwilligkeit bei unveränderlichem Zündverzug messen

zu können, war es notwendig, die Maschinen mit veränderlicher Verdichtung auszurüsten. Hierzu war lediglich notwendig, Zylinderkopf und Zylinder miteinander zu verbinden und den Kühlwassermantel außen mit einer Gewinde zu versehen, sodaß Kopf und Zylinder während des Betriebes in der Höhe verstellt werden können. Hierzu ist eine in der Höhe festliegende Mutter, die von einer Schnecke angetrieben wird, vorgesehen. Durch die vom IG-Prüfmotor her schon bekannte Hebeleinrichtung bleibt die Ventileinstellung während der Verstellung des Zylinders unverändert.

Der Kraftstoff wird unmittelbar in den Verbrennungsraum eingespritzt. Um nun Kraftstoffe mit der Cetanzahl 0 nachprüfen zu können, ist es notwendig, den Verbrennungsraum sehr gedungen auszubilden. Es ist deshalb im Kolben eine Mulde vorgesehen, die bei den höchsten Verbrennungsgraden den gesamten Verbrennungsraum darstellt.

Der Kraftstoff wird durch eine Bosch-Einspritzpumpe der Düse zugeführt, die als geschlossene Zapfendüse durchgebildet ist. Auf dem Düsenstock ist ein Kontakt vorgesehen, der von der Düsennadel gesteuert wird, und zum Anzeigen des Einspritzbeginns dient. Wir haben Wert darauf gelegt, daß das gesamte Gerät so aufgebaut ist, daß es von einem Mann bedient werden kann. Auf dem Schaltpult, das über dem zugleich als Anlaßmotor wie auch als Belastung dienenden Drehstrommotor aufgebaut ist, ist außer dem Druckknopfschalter für diesen Motor sowie einem Ampèremeter als wesentlichster Teil der elektrische Indikator angebracht, der von Dr Nier geliefert wird. Der Beobachter hat den Schirm der Braunschen Röhre unmittelbar vor sich, sodaß er sich ständig vom einwandfreien Arbeiten des Motors überzeugen kann. Diese Tatsache halten wir für außerordentlich wichtig. Mit der linken Hand kann das Handrad zur Zylinderverstellung bedient werden, um den Druckanstieg genau in den Totpunkt zu verlegen. Mit einer darunter liegenden kleinen Kurbel wird der Einspritzzeitpunkt auf die verlangten  $18^{\circ}$  v.o.T. eingestellt. Wie in den Ausführungen über das Meßverfahren dargelegt wurde, sind die Sollwerte für Einspritzung und Druckanstieg durch Marken im Diagramm auf der Braunschen Röhre erkenntlich, sodaß die Aufgabe lediglich darin besteht, durch Drehen des Handrades bezw der kleinen Handkurbel die tatsächlichen Werte mit den Sollwerten zur Deckung zu bringen. Ist dies geschehen, so wird die Stellung des Zylinders an einer kleinen Schiebelehre am Zylinderkopf, oder an einem Instrument mit kreisfö-

miger Skala abgelesen. Da aus einer Eichkurve der Zusammenhang zwischen Cetanzahl und Zylinderstellung bekannt ist, ist damit die Messung der Cetanzahl beendet.

Zur Ausrüstung des Motors ist im übrigen noch zu sagen, daß sich vorn am freien Ende der Kurbelwelle das vom Technischen Prüfstand entwickelte Kurbelwinkel-Ablenkgerät befindet. Mit seiner Hilfe wird das stehende Bild auf der Braunschen Röhre erzeugt. An ihm sind weiterhin auch Kontakte angebracht, die die Sollwerte für Einspritzung und Druckanstieg im Diagramm anzeichnen.

Zur Kraftstoffzuführung ist noch zu bemerken, daß hierfür zwei kleine Behälter vorgesehen sind, die auch Verbrauchsmessungen erlauben und die durch einen Kraftstoffhahn mit der Einspritzpumpe in Verbindung stehen. Die Kraftstoffmenge wird durch eine Mikrometerschraube eingestellt.

Die Kühlung ist als Verdampfungskühlung durchgebildet. Zu diesem Zweck ist oben am Zylinderkopf ein kleiner Behälter angeordnet, über dem sich eine Kühlschlange für den Wasserdampf befindet. Die Kühltemperatur entspricht dem Siedepunkt des Wassers. Die Kühlvorrichtung ist aber so eingerichtet, daß sie lediglich durch höheres Einstellen des Wasserspiegels für beliebige Kühltemperaturen eingestellt werden kann. Die zur Bedienung der Kühlvorrichtung notwendigen Hähne sind zu einem Block zusammengebaut, in dem sich auch noch ein Feinfilter für das Kühlwasser der Quarzdose befindet. Bei der Cetanzahlmessung wird im allgemeinen mit einer ungekühlten Quarzdose gearbeitet. Bei höheren Belastungen jedoch, wie sie bei anderen Versuchen auftreten können, kann es zweckmäßig sein, mit einer gekühlten Quarzdose zu arbeiten und die Erfahrung hat es als zweckmäßig gezeigt, besonders sorgfältig gereinigtes Wasser zu verwenden.

Beim IG-Prüfdiesel handelt es sich, wie Sie wohl wissen, nicht um ein Gerät, das etwas neuartiges darstellt, denn im Laufe einer nunmehr sechs-jährigen Entwicklung wurden zahlreiche Erfahrungen gesammelt, die in dem jetzt vorliegenden Baumuster zusammengefaßt sind. Auf dem Prüfstand werden Sie die bisher übliche Ausführung sehen und daran die erzielten Fortschritte selbst eressen können.

Wie bereits erwähnt, sehen wir im elektrischen Indikator ein sehr wichtiges Hilfsmittel bei der Bestimmung der Cetanzahl. Das stehende Bild des Druckverlaufs gestattet, den Zündverzug unmittelbar abzulesen. Weiterhin wird jede Störung am Motor, sei es Störung

gen an der Einspritzung durch Luftblasen oder Festhängen der Düsen, schlechter Ablauf der Verbrennung durch mangelnden Zustand des Kolbens und der Ventile, sofort durch die Braunsche Röhre erkennbar. Der elektrische Indikator, der früher vielleicht als Instrument für ausgesprochen wissenschaftliche Untersuchungen galt, tatsächlich aber doch nicht schwieriger zu bedienen ist als ein Radio-Apparat, hat sich bei uns und auch bei den zahlreichen Stellen, die mit unserem Gerät arbeiten, bewährt. Der einzige Einwand, den man gegen den elektrischen Indikator machen kann, ist die Abhängigkeit von einem Starkstromnetz. Diese Abhängigkeit kann in solchen Fällen lästig werden, wo es darauf ankommt, an beliebiger Stelle möglichst rasch Untersuchungen vorzunehmen. Für solche Fälle haben wir den IG-Prüfdiesel in einer besonders einfachen Form gebracht, bei der der Drehstrommotor durch einen selbsterregenden Gleichstrommotor ersetzt wird. Der Motor wird durch eine Handkurbel in Gang gesetzt und kann dann noch als Gleichstromquelle dienen. Anstelle des Indikators wird ein von Dr. Neumann angegebener Trägheitsgeber verwendet, der mittels einer Anodenbatterie und einer umlaufenden Neonröhre am Schwungrad unmittelbar den Zündverzug anzeigt. Dieses Gerät ist in seiner Einfachheit und Unabhängigkeit von der Umgebung wohl kaum zu übertreffen.

Ich möchte Ihnen nur noch kurz andeuten, daß der IG-Prüfdiesel ein außerordentlich wandlungsfähiges Gerät darstellt, wie sich bereits dadurch erwiesen hat, daß viele Stellen nicht nur die Cetanzahl messen, sondern den Prüfdiesel sich sogar mit der ausdrücklichen Absicht beschaffen, mit diesem Gerät allgemeine Untersuchungen durchzuführen.

Der Bedarf an einem kleinen handlichen Motor für allgemeine Untersuchungen ist nun außerordentlich groß. Wir dürfen nicht vergessen, daß derartige Geräte nicht nur zur Abnahme, sondern vor allem zur laufenden Überwachung der Erzeugung dienen. Diese Überwachung besteht keineswegs nur in einer Nachprüfung von Proben aus der laufenden Herstellung. Erfahrungsgemäß treten bei der Herstellung ständig Fragen auf, die durch eingehende Untersuchungen geklärt werden müssen, bevor eine in Aussicht genommene Umstellung der Erzeugungsmöglichkeit möglich ist. Auch Wechsel des Ausgangsstoffes kann Fragen aufwerfen, die nur durch gründliche Untersuchungen zu klären sind. Es sind also nicht allein Forschungsinstitute und Hochschulen, sondern auch die Erzeuger, die einen Bedarf an einem Prüfstand haben, der, ohne allzu umfangreich zu sein, doch Kraftstoffuntersuchungen verschiedenster Art ermöglicht. Da nun Anfragen nach



einem derartigen Gerät sich häufen, haben wir uns veranlaßt gesehen, einen Prüfstand zu entwerfen, mit dem alle Untersuchungen vorgenommen werden können, die mit Ausnahme der Oktanzahl in Frage kommen. Dieser Prüfstand besteht aus einem Prüfdiesel, der mit einer Wasserbremse abgebremst werden kann und durch einen Drehstrommotor angeworfen wird. Mit diesem Prüfstand können Cetanzahlmessungen durchgeführt werden, wobei die Wasserbremse leer mitläuft und der Drehstrommotor zur Belastung dient. Es können Belastungs- und Verbrauchsmessungen im Dieselfahren durchgeführt werden, wozu ein größerer Kraftstoffbehälter und die Wasserbremse vorgesehen sind. Der Prüfstand kann aber auch zur Durchführung allgemeiner Versuche nach dem Otto-Verfahren benutzt werden, wozu der Kraftstoff während des Saughubes eingespritzt wird und die Zündung mit Hilfe eines Zündmagneten erfolgt. Diese Versuche können nicht nur frei ansaugend, sondern auch mit Überladung ausgeführt werden. Zu diesem Zweck ist eine Entspannungsvorrichtung für die Preßluft, eine elektrische Heizung für die Ladeluft und ein Dämpfungsbehälter vorgesehen. Entsprechend den hohen Mitteldrücken von etwa 22 atm ist eine besonders kräftige Kühlung des Zylinders und des Schalldämpfers vorgesehen. Die Wasserbremse ist so bemessen, daß sie die auftretenden hohen Drehmomente aufnehmen kann.

Dieses als Versuchsmotor k bezeichnete Gerät hat eine hohe Bedeutung für die Prüfung von Flugmotorenkraftstoffen. Wie Sie wissen, können Flugmotorenkraftstoffe durch die Oktanzahl nicht hinreichend zuverlässig bewertet werden. Es ist deshalb notwendig, die sogenannte Klopfgrenzkurve zu bestimmen, bei der bei verschiedenen Kraftstoffluftverhältnissen der Ladedruck bestimmt wird, bei dem der Motor zu klopfen beginnt. Um diese Versuche durchzuführen, wurde bisher ausschließlich ein unter Verwendung von Flugmotorenteilen aufgebauter Einzylinder-Prüfstand verwendet, der, wie Sie sich an unseren Anlagen überzeugen können, außerordentlich kostspielige Einrichtungen voraussetzt. Der IG-Versuchsmotor k, dessen Kernstück der IG-Prüfdiesel ist, vermag nun, diese Einrichtung sehr weitgehend zu ersetzen. Man wird zweifellos bei genaueren Untersuchungen stets im Flugmotoren<sup>ein</sup>zylinder-Prüfstand Messungen vornehmen, für die Abnahme jedoch wird der Versuchsmotor k völlig ausreichen. Es liegen jetzt schon sehr viele Anfragen von Stellen vor, die sich außer dem Prüfdiesel auch noch den IG-Versuchsmotor k aufstellen wollen, da die Verhältnisse auf dem Gebiet der Kraftstoff-Erzeugung so verwickelt sind, daß eine eingehendere Beschäftigung mit dem motorischen Pro-

blemen nicht zu umgehen ist.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß im IG-Prüfdiesel ein in allen Einzelteilen erprobtes Gerät vorliegt, um die Zündwilligkeit von Dieselmotorkraftstoffen zu bestimmen, wie dies für die Überwachung der Erzeugung und für die Abnahme erforderlich ist. Durch Anwendung eines einfachen Anzeigerüstes ist es möglich, die Anlage soweit zu vereinfachen, daß sie unabhängig vom Netz ist. Dies ist wichtig für ortsbewegliche Anlagen, beispielsweise zur Nachprüfung erbeuteter Kraftstoffe. Die bei diesem vereinfachten Gerät vorgesehene Meßeinrichtung ist billig in der Anschaffung und so leicht zu ersetzen, daß diese Geräte für Stellen, die sich lediglich mit Abnahme befassen, besonders geeignet ist.

Wir haben schließlich gesehen, daß der Prüfdiesel bei einem Prüfstand Verwendung finden kann, der nicht nur Diesel-Untersuchungen aller Art, sondern auch die Prüfung von Flugmotorkraftstoffen zuläßt. Die Forderung, daß ein Prüfgerät wandlungs- und ausbaufähig sein muß, ist also beim Prüfdiesel erfüllt.

Oberreichsbahnrat Keßler dankt Herrn Dipl. Ing. Penzig für seinen Vortrag und bittet Herrn Dr. <sup>Ing</sup> Neumann, kurz über den von ihm entwickelten Trägheitsgeber und die bisher damit erzielten Ergebnisse zu berichten.

Dr. Ing. Neumann: Die Rhenania-Ossag verwendet seit etwa 3 Jahren ein Meßverfahren, das bei geringstem Aufwand an Mitteln allen Anforderungen an Betriebssicherheit und Genauigkeit gerecht wird. Die Hauptschwierigkeit bei der Prüfung von Dieselmotorkraftstoffen auf ihre Zündwilligkeit liegt in der praktisch trägheitslosen Ermittlung des Zündverzugs, der allgemein als Zeit vom Einspritzbeginn bis zum Beginn der Drucksteigerung infolge Zündung oder auch bis zur Entflammung definiert ist. Die Kenntnis der vielfachen Bestimmungsmethoden sei vorausgesetzt. In unserem Fall ist das Gebergerät der sogenannte Trägheitsindikator. Er wird durch die Düsenadel und durch eine Membrane in der Wand des Verbrennungsraumes gesteuert. Seine Wirkungsweise beruht darauf, daß der im Innern der aus Leichtmetall gefertigten Tube befindliche Kontakt bei Überschreiten einer bestimmten axial nach oben gerichteten Beschleunigung geöffnet wird. Dies Öffnen des Kontaktes kann auf verschiedene Weise in Grad KW oder in der Zeiteinheit ablesbar gemacht werden.

Bei Verwendung als Zeitpunktgeber für Zündbeginn ist der Indikator, d.h. die den Kontakt schließende Feder derart eingeregelt,

daß der Kontakt erst bei einer Beschleunigung öffnet, die größer ist als die maximale positive Druckbeschleunigung des Verdichtungshubes. Das bedeutet, daß die Durchbiegung der in die Verbrennungswand eingespannten Membran den Kontakt ohne Einspritzung und folgende Zündung nicht zu öffnen vermag. Selbst bei verhältnismäßig weichem Druckanstieg infolge Zündung, z.B. bei  $\frac{dp}{dt}$  von etwa 10.000 at/s, geht die Membran-Beschleunigung in dem Punkte, der mit Sicherheit aus einem Diagramm als Beginn der Drucksteigerung ablesbar ist, bereits über die größte Positive Beschleunigung des Verdichtungshubes hinaus. Dabei ist es gleich, ob die Zündung vor, in oder nach dem oberen Totpunkt einsetzt. Der Druckanstieg ist für ein geübtes Auge aus dem Druckdiagramm zu etwa  $2 \frac{1}{4} - 2 \frac{1}{2} \text{°KW}$  abzulesen. Die zugehörigen Beschleunigungen sind 9 - 16 mal so groß wie die Größtbeschleunigung des Verdichtungshubes. Der Trägheitskontakt hat bei diesen Beschleunigungen also bereits geöffnet.

Bei empfindlicher Einregulierung eines solchen Trägheitskontaktes wird der sog. "Zündzeitpunkt" demnach mit genügender Genauigkeit festgestellt, zumal, wenn die Prüfbedingungen so gewählt werden, daß  $\frac{dp}{dt}$  größer als obiger Wert, vielleicht ein Vielfaches davon ist. Bei dieser Wirkungsweise werden die von dem bouncing pin und anderen ähnlichen Konstruktionen, deren Kontakte mechanisch geöffnet oder geschlossen werden, genugsam bekannten Schwierigkeiten, wie Einhaltung des Spiels, Zustand der Kontakt-Oberflächen, Ermüdung der Federn usw. überwunden. Vor allem erübrigt sich eine Nachregulierung, wie sie z.B. am Springstab-Kontaktgerät bei Verdichtungsänderungen erforderlich ist. Denn der Trägheitsindikator spricht nicht auf die Membrandurchbiegung, sondern auf deren Durchbiegungsbeschleunigung an und braucht erfahrungsgemäß nur einmal auf das höchste benutzte Verdichtungsverhältnis eingestellt werden.

Die Beschleunigung der Disennadel und damit auch des Trägheitskontaktes, der auf die Nadel aufgesetzt ist, ist unmittelbar im Beginn des Anhebens derartig groß, daß ein praktisch trägheitsloses Öffnen des Einspritzkontaktes gewährleistet ist. Die allenfalls auftretende Verzögerung ist außerdem für alle untersuchten Kraftstoffe in hohem Maße gleich und daher bedeutungslos.

Dieser Indikator wurde zunächst im Zusammenhang mit folgenden Verfahren benutzt. Er wird mit einem im Kurbelkreis verschiebbaren Stromabnehmer in jedem Arbeitshub durch einen mit der Maschinenwel-

le umlaufenden Kontakt bei Anheben der Düsennadel ein Stromkreis geschlossen wird, der bei Beginn des Druckanstieges infolge Zündung durch den Indikator wieder unterbrochen wird.

Danach kam eine Schaltung zur Anwendung, die mit Hilfe einer umlaufenden Neonröhre an einer Skala die Ablesung des Einspritz- und Zündzeitpunktes in Grad KW erlaubt. Hier sind die bei Einspritz- und Zündbeginn sich öffnenden Trägheitskontakte in den Primärkreis einer Zündspule geschaltet. Im Sekundärkreis ist eine Zündkerze als Funkenstrecke und parallel dazu die mit der Kurbelwelle umlaufende Neonröhre angeordnet. Ihr Aufleuchten bei Zünd- und Einspritzbeginn kann durch einen Spalt radial zur Kurbelwellenachse mit einer Genauigkeit von mindestens  $1/10^{\circ}$  KW abgelesen werden.

Die Rhenania-Ossag verfährt bisher bei der Prüfung von Dieselmotoren in der gleichen Weise wie bei der Bestimmung der Oktanzahl am CFR- und Vario-Motor. D.h. die Zündverzugszahl wird in unmittelbarem motorischen Vergleich zu Kraftstoffen ermittelt, deren Zündverhalten bekannt ist. Dadurch werden praktisch alle Fehlerquellen, die ihre Ursache in atmosphärischen und motorischen Zustandsänderungen haben, weitgehend ausgeschaltet.

Neuerdings wurde der noch einfacheren Glimmlampenanzeige der Vorzug gegeben, die eine stehende Anzeige für den Zündverzug ergibt. Die Glimmlampe ist in den Schwungradkranz eingebaut. Der Einspritzbeginn wird durch den Beginn eines Leuchtbandes angezeigt, das  $10^{\circ}$  KW später erlischt und mit dem Zündbeginn wieder erscheint. Man kann damit nach der IG-Methode des konstanten Zündverzuges verfahren. Dann ist beim verdichtungsveränderlichen Motor das Verdichtungsverhältnis oder beim verdichtungskonstanten Motor der Ansaugunterdruck der Maßstab für die Zündwilligkeit des Kraftstoffes. Oder man arbeitet nach dem auch für die Bestimmung der Oktanzahl gewohnten Verfahren des Vergleichs zu Bezugskraftstoffen. Dann ist in beiden Motor-Typen nach Einstellung einer günstigen Verdichtung oder Ansaugdrosselung der Zündverzug in  $^{\circ}$  KW bei konstanter Drehzahl der Vergleichsmaßstab.

Unter Hinweis auf die befriedigende Übereinstimmung von Versuchsergebnissen an Motoren mit und ohne veränderlicher Verdichtung ergibt sich kein zwingender Grund, für die laufenden Kraftstoff-Untersuchungen einen Motor mit verstellbarer Verdichtung zu fordern. Hier sind einige Angaben über solche Vergleichsversuche zwischen den Prüfstellen Harburg, Delft und Sunbury von Interesse, die ohne

vorherige Abstimmung von Motoren gefahren wurden. Keinesfalls trifft die allgemeine Behauptung zu, daß das Zündverzugsverfahren an einem Prüfmotor mit unveränderlichem Verdichtungsverhältnis wesentlich ungenauere Messungen ergibt, als an einem mit verstellbarer Verdichtung ausgerüstetem Motor.

Die durchgeführten Vergleichsversuche zeigen keine größeren Abweichungen der an den verdichtungsveränderlichen CFR-Motoren gefundenen Werte von den Ergebnissen der anderen Motoren mit konstanter Verdichtung. Die Lage der am Deutz-2 Zyl.-Motor in der einen Vorkammer gemessenen Werte im Vergleich zum Mittelwert der anderen 8 Motoren ist so gut, daß bessere Ergebnisse mit keinem anderen Prüfmotor erreicht werden können.

Voraussetzung für genügend übereinstimmende Bewertung durch verschiedene Motoren ist die praktisch trägheitslose Messung von Einspritz- und Zündbeginn. Ob nun beispielsweise eine Quarzdose mit Braun'scher Röhre oder ein einfaches mechanisch elektrisches Verfahren, wie das der Rhenania-Ossag, angewandt wird, ist von untergeordneter Bedeutung. Vielfach wird die Ansicht vertreten, daß ein Verfahren mit Aufzeichnung des gesamten Verbrennungsverlaufes vorzuziehen ist. Für wissenschaftliche Untersuchungen selbstverständlich, nicht jedoch für die laufende Prüfung von Dieselkraftstoffen. Hier kommt es nur auf die genaue Bestimmung zweier Zeitpunkte an, die evtl. genauer mit Geräten zu erfassen sind, die auf die dabei auftretenden Beschleunigungen ansprechen. Unregelmäßigkeiten im Einspritzvorgang und der Zündung werden mit diesen ebenso erkannt wie beim Volldiagramm. Die Steilheit des Druckanstieges, die zur Beurteilung heranzuziehen vorgeschlagen wird, hängt von der Kraftstoff-Konstitution weniger ab, als von motorischen Bedingungen wie Drehzahl, Verdichtung, Belastung, Voreinspritzung, Verschmutzung usw. Das Volldiagramm bietet also für diese Art von Prüfung keine zwingenden Vorteile. Hinzu kommt, daß an den meisten Prüfständen, die lediglich an der Bestimmung der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoffen interessiert sind, zur Überwachung von Lagern oder zur Betriebskontrolle, nicht die nötigen Fachkräfte vorhanden sein können, um komplizierte meßtechnische Geräte in jedem Fall in Ordnung zu halten. Es darf auch nicht übersehen werden, daß andere Umstände, wie starke Spannungsschwankungen im Netz, zu sehr unangenehmen Störungen führen, die mit dem Gerät der Rhenania-Ossag vermieden werden. Das einfa-

chere Verfahren leistet ebenso viel bei praktisch völliger Betriebssicherheit. Das zeigt sich auch in der erzielbaren Wiederholbarkeit der Versuchsergebnisse.

Wenn einerseits an die Meßgenauigkeit eines Prüfverfahrens und Wiederholbarkeit der Prüfung hohe Anforderungen gestellt werden, so muß andererseits auch eine angemessene Prüfzeit in Kauf genommen werden, wie sie z.B. bei der Oktanzahl-Bestimmung heute als selbstverständlich gilt. Nach dem Verfahren der Rhenania-Ossag liegt die Streuung für wiederholte Prüfungen handelsüblicher Dieselmotoren aufgrund reichlicher Versuchsunterlagen innerhalb einer Cetanzahl, d.h. der Prüffehler ist kleiner als  $\pm 0,5$  Cetanzahlen.

Der verdichtungsveränderliche Motor gewährt für die Praxis den Vorteil, daß auch Kraftstoffe unter 30 Cetanzahlen bis etwa 10 Cetanzahlen noch direkt untersucht werden können, während solche Treibstoffe im verdichtungs-konstanten normalen Motor in Mischung mit einem bekannten besseren Kraftstoff zu prüfen sind.

Der Vorsitz dankt Herrn Dr Ing Neumann für seine Ausführungen und bittet die Teilnehmer, sich anschließend auf dem Prüfstand die Motoren und Geräte in Betrieb anzusehen.

15.4. In der Diskussion des nächsten Tages wurde etwa folgendes ausgeführt.

Dr von Philippowich: Von einem Meßverfahren soll man m.E. eine, wenn auch nicht übertrieben große, so doch die praktisch größtmögliche Genauigkeit verlangen. Wenn man diese Forderung zu Grunde legt, muß man ohne weiteres dem Zündverzug den Vorzug geben. Diese Tatsache ist auch durch Versuche bereits weitgehendst geklärt.

Das Anlaßverfahren soll Auskunft über den Anlaßwert geben. Dies hat zweifellos eine praktische Bedeutung. Da die Cetanzahlen in dem Normalbereich der Dieselmotoren bei beiden Verfahren jedoch übereinstimmen, wäre zu klären, wieso aus der gleichen Cetanzahl, die nach dem Anlaßverfahren ermittelt wurde, besondere Schlüsse auf das Kälteverhalten des Kraftstoffes gezogen werden können. Liegen schon Vergleichsversuche vor, die Aufschluß geben über den Zusammenhang des Anlaßverhaltens in der Kältekammer und dem der nach dem Anlaßverfahren ermittelten Cetanzahl? Für diese Versuche liegt fraglos auch ein Interesse bei der Luftfahrt vor.

Prof Dr Ing Wilke: Das Anlassverfahren soll angeblich Schlüsse auf das Verhalten des Kraftstoffes beim Anlassen ermöglichen. Es ist jedoch zu betonen, daß die vom HWA vorgeschriebenen Temperaturen von 70 bzw 80° mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmen. Das Anlaßverfahren in seiner jetzigen Ausführung hat mit dem Anlassen gar nichts zu tun. Das Heereswaffenamt schreibt meines Wissens nur vor, daß der Kraftstoff die Cetanzahl 40 haben muß. Es ist damit aber nichts über sein Verhalten in der Kälte gesagt. Da sich die nach beiden Verfahren ermittelten Cetanzahlen in dem Bereich 30 bis 70 etwa decken, kann doch nicht behauptet werden, daß nur die nach dem Anlaßverfahren ermittelte Zahl besondere Schlüsse auf das Kälteverhalten zuläßt.

Wir müssen streng unterscheiden zwischen Abnahme und Forschung. Die Großverbraucher können selbstverständlich in ihren Lieferbedingungen bestimmte Werte, die nach besonderen Prüfverfahren ermittelt werden, verlangen, aber die Forschung kann nur erfolgreich weiter arbeiten, wenn sie sich einer gemeinsamen Grundlage bedient. Das ist auch für den Erzeuger ungemein wichtig, denn davon hängt u.U. die Aufnahme neuer Produktionsverfahren ab.

Dipl Ing Weber: Es werden künftig auch Kraftstoffe mit höherer Cetanzahl abgenommen werden müssen. Es handelt sich hierbei um Anlaßstoffe für den nächsten Winter.

Wir müssen unbedingt darauf bestehen, daß der HWA Motor genormt wird, weil wir durch ihn das Anlaßverhalten der Kraftstoffe in der Kälte ersehen.

Oberreichsbahnrat Keßler: Ist es überhaupt möglich mit der im HWA-Motor gefundenen Cetanzahl Aufschluß über das Kälteverhalten zu erlangen? Wenn dies der Fall ist, warum kann dann nicht auch die im IG-Prüfdiesel ermittelte Cetanzahl, die sich im Bereich der handelsüblichen Dieselmotorstoffe fast mit der im HWA-Motor gefundenen Zündwilligkeit deckt, herangezogen werden?

Dipl Ing Weber: Wir haben festgestellt, daß sich die Kraftstoffe in der Praxis so verhalten wie bei der Prüfung im HWA-Motor. Die im IG-Prüfdiesel gefundene Cetanzahl kann m.E. nicht in gleichem Umfange für die praktische Bewährung der Kraftstoffe herangezogen werden, da z.T. immer noch angegeben wird, daß zwischen beiden Verfahren Unterschiede bestehen.

Dr Ing Neumann: Es entzieht sich meiner Kenntnis, wie die Versuche

in der Kältekammer durchgeführt worden sind, es interessiert mich aber zu erfahren ob Kraftstoffe mit einer im Anlaßverfahren ermittelten Cetanzahl von beispielsweise 40 und 42 unterschiedliches Kälteverhalten und somit verschiedenes Startvermögen zeigen.

Vom Heereswaffenamt wird diese Frage bejaht.

Dr Gießmann: Ausführliche Versuche in Rechlin haben gezeigt, daß für das Anspringverhalten nicht nur die Cetanzahl, sondern vor allem auch der Dampfdruck und andere Eigenschaften des Kraftstoffes maßgebend sind.

Dipl Ing Lange: Vergleichsversuche, die 1939 durchgeführt worden sind, haben gezeigt, daß zwischen den im HWA-Motor und den im IG-Prüfdiesel gefundenen Cetanzahlen keine wesentlichen Unterschiede bestehen.

Dipl Ing Köhler: Unsere Versuche haben ebenfalls ergeben, daß zwischen den Ergebnissen des HWA-Motors und des IG-Prüfdiesels keine großen Unterschiede bestehen. Bei der früher vorgeschriebenen Ansauglufttemperatur von  $45^{\circ}$  lag die im HWA-Motor ermittelte Kurve etwas höher als jetzt. Nach der Änderung der Ansauglufttemperatur nähert sich die Eichkurve des HWA-Motors der des IG-Prüfdiesels.

Dr Ing Heinrich: M.E. müßte man drei Fragen beachten, ehe man dem einen oder anderen Verfahren den Vorzug gibt.

- 1) Wie stimmen beide Verfahren absolut überein?
- 2) Wie ist die Reproduzierbarkeit?
- 3) Was ist in der Praxis am besten?

Wie schon vorhin erwähnt wurde, sind die in beiden Verfahren ermittelten Cetanzahlen ungefähr gleich. Das haben schon die Versuche im Jahre 1939 ergeben. Seitdem ist aber unablässig weiter gearbeitet worden und man kann sagen, daß das Startverhalten mit den in beiden Motoren ermittelten Werten in Beziehung gebracht werden kann. Die noch vorhandenen Unterschiede der beiden Verfahren sind praktisch gering. Vor allem zeigte es sich, daß ein sehr zündwilliger Kraftstoff der im HWA-Motor eine Cetanzahl von 90 hatte und im IG-Prüfdiesel 82 zeigte, nach Verstellung des Zündverzuges von  $18^{\circ}$  auf  $10^{\circ}$ , auch im IG-Prüfdiesel eine Cetanzahl von 90,5 ergab.

Hinsichtlich der Reproduzierbarkeit möchten wir jedoch dem HWA-Motor den Vorzug geben, vor allem nachdem eine genauere Einstellung des Motors durchgeführt worden ist.

Dipl Ing Bokemüller: Die genauere Einstellung des Motors hat zwei-



fellos manche Fehlerquellen, die durch falschen Einspritzbeginn verursacht wurden, ausgeschaltet. So konnten die bei dem Ringversuch mit den Kraftstoffen a, b, c und d ermittelten Cetanzahlen, die zuerst mit 33,1, 43,3, 50,0 und 41,5 festgestellt worden waren, während die entsprechenden Werte im IG-Prüfdiesel 34,5, 45,5, 53,0 und 44,0 waren, nach der verbesserten Einstellung mit 34,5, 45,0, 53,5 und 43,7 ermittelt werden.

Auch ich möchte nochmals betonen, daß für das Anlaßverhalten die Dampfspannung des Kraftstoffes eine bedeutende Rolle spielt. Dies ist besonders wichtig bei der Verwendung von Sonderdieselmotoren an der Front.

Dr Ing Charpentier: Augenblicklich ist es so, daß die Kraftstoffproben laufend von morgens bis abends abgenommen werden müssen. Bei der Oktanzahlbestimmung haben sich der CFR und der IG-Prüfmotor für diesen Dauerbetrieb in der Abnahme recht wenig bewährt. Der unter Last laufende Motor sollte nach Möglichkeit überhaupt aus der Abnahme ausgeschaltet werden. Am besten wäre es, wenn man hierfür eine einfache Zahl z.B. den Dieselindex oder die Spindelmethode nach Heinze-Marder anwenden könnte. Das ist, wie Versuche immer wieder gezeigt haben, leider nicht möglich. Wenn daher schon ein Motor genommen werden muß, dann sollte man einen Motor verwenden, der nicht als Motor läuft, sondern fremd angetrieben wird. Es bleibt somit nur der HWA-Motor übrig, den wir auch mit gutem Erfolg verwenden. Es haben sich bei den laufenden Abnahmen keine Störungen gezeigt, Verschmutzungen oder Schmierölansammlungen im Zylinder sind nicht aufgetreten und die Reproduzierbarkeit war jederzeit gut.

Wenn daher die Ergebnisse beider Motoren übereinstimmen, wären wir dankbar, wenn für Abnahmeuntersuchungen der HWA-Motor gewählt würde. Als reiner Prüfstandsmotor ist der IG-Motor zweifellos geeigneter.

Prof Dr Ing Wilke: Ich möchte nochmals betonen, daß wir scharf nach Abnahme und Forschung unterscheiden müssen. Für die Abnahme ist es auch m.E. ganz gleich was vorgeschrieben wird, wichtig dagegen ist, daß die Forschung auf einheitlicher Grundlage ausgerichtet wird und arbeiten kann. Die bei der Oktanzahlbestimmung angeführten Mängel können auch nicht ohne weiteres auf den Bereich der Dieselmotoren übertragen werden. Die Cetanzahl zu bestimmen ist verhältnismäßig einfach, da sie von der Art des Motors unabhängig ist. Die Prü-

fung der Klopfestigkeit von Otto-Kraftstoffen ist für jeden Motor anders, daher ergeben sich dort auch größere Streuungen.

Dr Ing Neumann: Wir haben größere Versuche mit dem HWA-Motor durchgeführt, wobei wir ihn jedoch nicht nach der Anspringsmethode sondern nach dem Zündverzugsverfahren laufen ließen. Wir haben aber nicht feststellen können, daß sich bei dieser Methode Verschmutzungen im Zylinder zeigten, trotzdem die Versuche von morgens bis abends fast ununterbrochen durchgeführt worden sind.

Dr Ing Heinrich: Der IG-Prüfdiesel ist zweifellos der bessere Forschungsmotor, aber für die Abnahme sollte man doch ein möglichst einfach zu bedienendes Gerät verwenden.

Dr Gießmann: Das Anlaßverfahren ist heute zu einer lokalen Angelegenheit des HWA geworden. In der ganzen Welt spricht heute kein Mensch mehr davon.

Dr Ing Reichel: Für die Bewertung der Dieselkraftstoffe war schon bisher die Cetanzahl vorgeschrieben, ohne allerdings anzugeben, nach welchem Verfahren sie bestimmt werden sollte, sodaß man genötigt war erst zu vergleichen, welcher Cetanzahl der Zündverzugsmethode die nach einem anderen Verfahren festgestellte Cetanzahl von beispielsweise 45 entspricht. Man müßte also vor allen Dingen die Cetanzahl normen und das Verfahren mit dem sie gemessen werden soll. Als Verfahren ist zweifellos der Zündverzug der beste, da er bei Versuchen an den verschiedensten Motoren, die auch noch mit unterschiedlichen Meßgeräten ausgerüstet waren, einheitliche Werte ergeben hat.

Das Anspringsverfahren ist s.Zt. vom HWA doch nur deswegen eingeführt worden, weil es sich mit verhältnismäßig einfachen Mitteln durchführen ließ und es vor allen Dingen darauf ankam, für die Bestimmung der Zündwilligkeit von Dieselkraftstoff ein Verfahren auszuarbeiten, das für die Zwecke des HWA geeignet war.

Dr Ing Zinner: Das Anlaßverfahren läßt die Zündwilligkeitsbestimmung von Kraftstoffen nur zwischen den Cetanzahlen 30 und 70 zu. Es ist aber selbstverständlich, daß nur ein Verfahren genormt werden kann, das die Prüfung und Wertung aller zum Betrieb des Dieselmotor in Betracht kommenden Kraftstoffe ermöglicht. Ich bin daher der Ansicht, daß die nach dem Zündverzugsverfahren bestimmte Cetanzahl als Norm anerkannt werden soll, da dieses Verfahren das umfassendere und genauere ist. Da von verschiedener Seite bestätigt wurde, daß innerhalb des Bereiches von 30 & 40 CZ die nach den Anlaß- und dem Zündverzugsverfahren gemessenen Werte übereinstimmen, bestehen m.F. keine Bedenken, das Anlaßverfahren für diese Spanne zur Bestimmung der Zündwilligkeit zuzulassen.

In der weiteren Aussprache, in der auch der Wunsch geäußert wird, vor der Normung nochmals Ringversuche durchzuführen - der Wunsch wird jedoch vom Obmann abgelehnt da dies nur eine unnütze Verzögerung der ganzen Angelegenheit bedeute - werden dann folgende Beschlüsse gefaßt, die dem DVE zur Normung vorgelegt werden:

- 1) Genormt wird das Zündverzugsverfahren als Unterlage zur Bestimmung der Cetanzahl.
- 2) Bei der Prüfung ist der Zündverzug konstant zu halten.
- 3) Hierfür sind der HWA-Motor und der IG-Prüfdiesel zu verwenden.
- 4) Der Zündverzug ist entweder durch Drosselung oder Verdichtungsänderung konstant zu halten.
- 5) Als Meßgeräte können verwendet werden, der Trägheitsgeber nach Dr Neumann (Rhenania-Ossag), der Piezo-Quarzin-dikator oder der Fotozellen-Indikator nach FKFS (Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren, Stuttgart.)
- 6) Für den Cetanzahlbereich von 30 bis 70 kann auch die Aus-setzer-Methode im HWA-Motor angewandt werden.

Oberreichsbahnrat Keßler dankt allen Teilnehmern für ihre rege Mitarbeit, die es ermöglichte die Angelegenheit so schnell und reibungslos zum Abschluß zu bringen. Gleichzeitig dankt er Herrn Prof Wilke im Namen aller Anwesenden für die gastfreundliche Aufnahme und Bereitstellung des Sitzungszimmers und schließt die Sitzung.

*Keßler*