

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 BMF-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 Nutzdruk eingezeichnet. Während bei ET 100 die

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

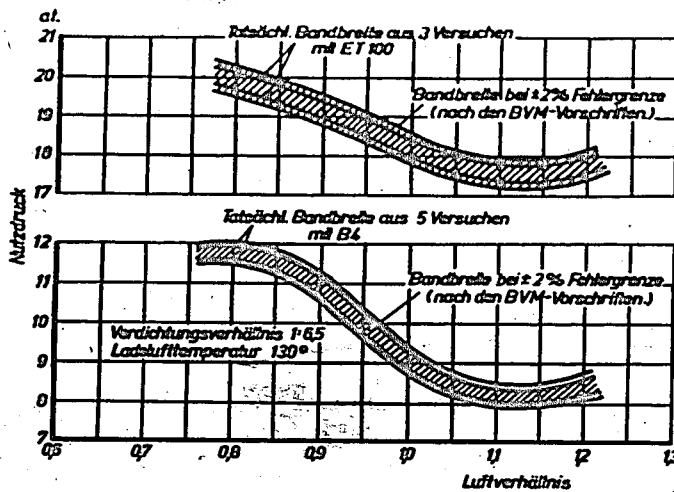


Abb.1: Bandbreite eines B4 und ET 100 Kraftstoffes

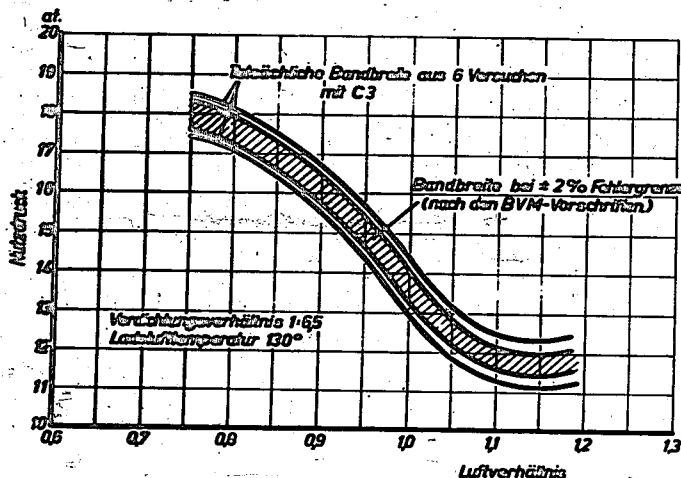


Abb.2: Bandbreite eines C3-Kraftstoffes

Bandbreite noch innerhalb der angegebenen Fehlergrenze von $\pm 2\%$ 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 an Klopfestigkeit einbüßen. Sehr wichtig ist auch eine ständig gewissenhafte 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

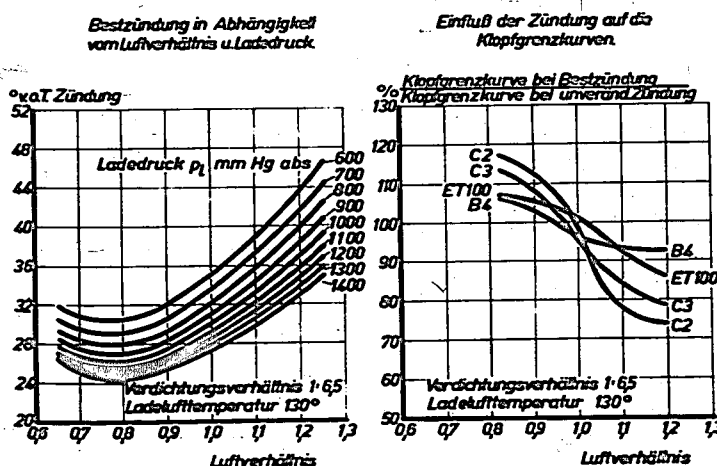


Abb. 3: Zündungs- und Klopfgrenzkurven

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 angegebene Bestzündkurve müsste 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-

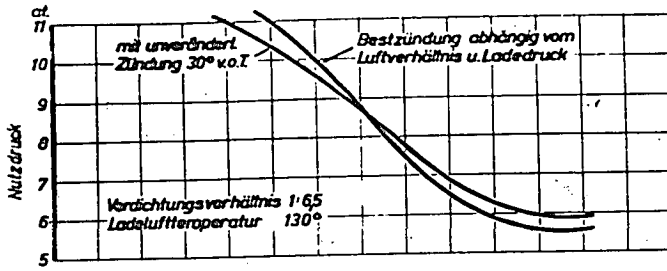


Abb.4: Einfluß der Zündung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurve von B4-Kraftstoff

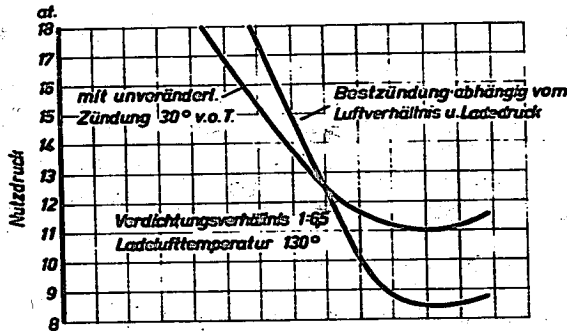
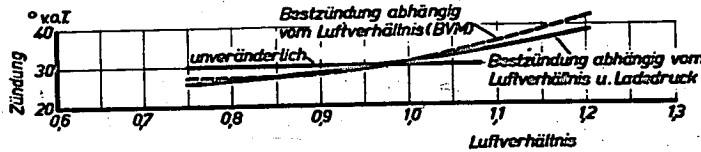


Abb.5: Einfluß der Zündung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurve von C 2-Kraftstoff

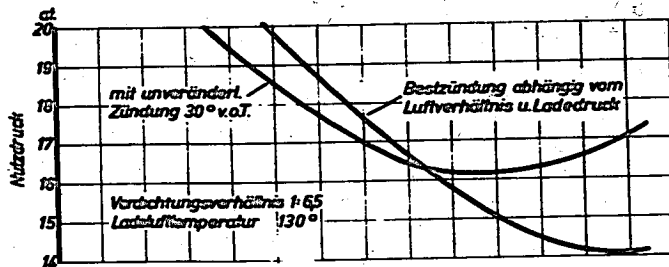
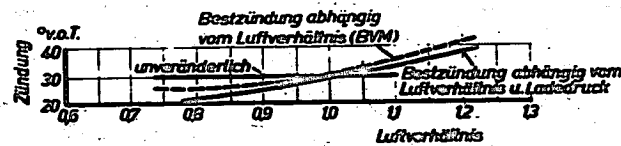
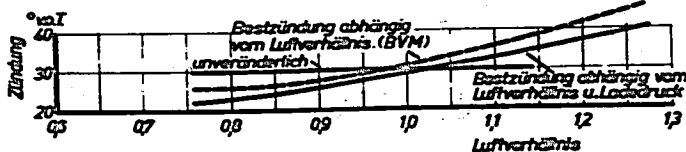


Abb.6: Einfluß der Zündung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurve von ET 100-Kraftstoff



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.

Einen 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.

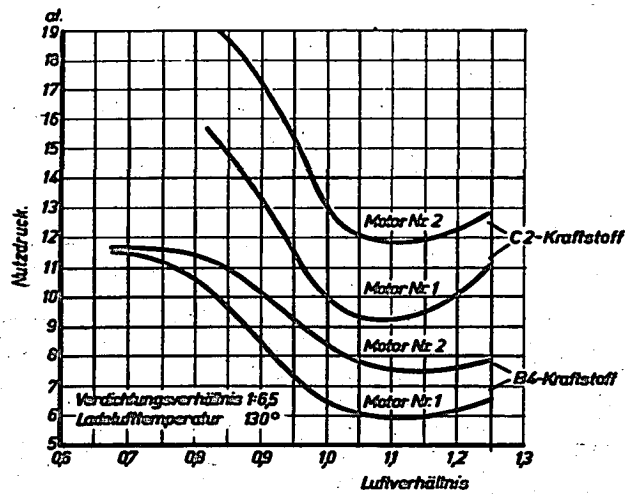


Abb.7: Vergleich zweier Überlademotoren des Technischen Prüfstandes

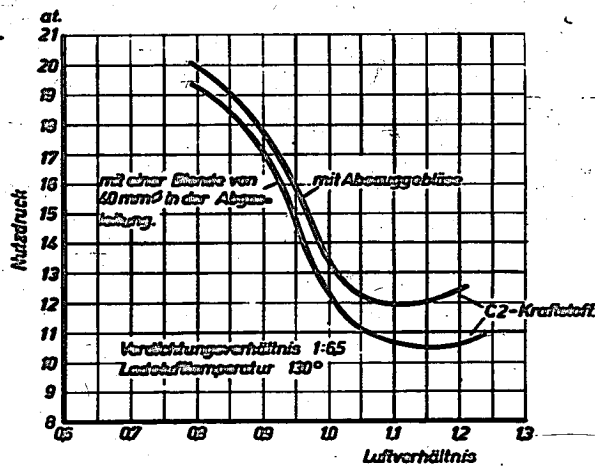


Abb.8: Einfluß des Druckes in der Abgasleitung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurven

Als ein zweiter BMW 132-Minzyylinder-Motor für Klopf-Untersuchungen in Betrieb genommen wurde, fanden wir, dass seine Ergebnisse von denen des älteren Motors erheblich abwichen, 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 Schall-dämpfer arbeitete, wurde der neuere mit einer Abgas-Absaugung 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-

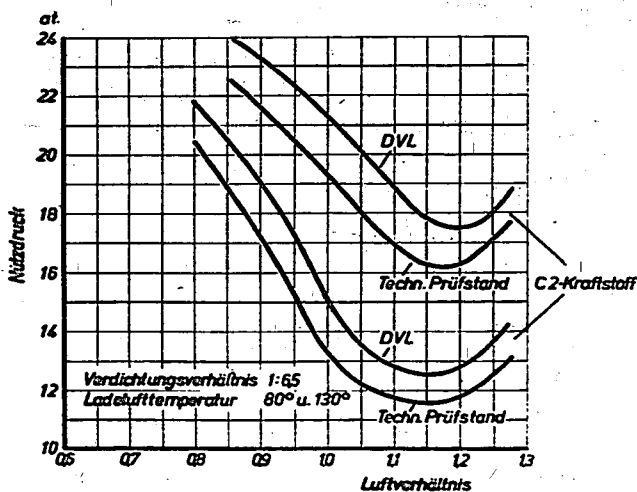


Abb. 9: Vergleich zweier Überlademotoren von der DVL und vom Technischen Prüfstand

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 Kurbelwelle 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 Kurbelwellen die gleiche Anordnung getroffen hatten, ergab sich eine merkliche Verschiebung der Klopfgrenzkurve, wie aus Bild 10 hervorgeht. Bei diesen Versuchen wurde

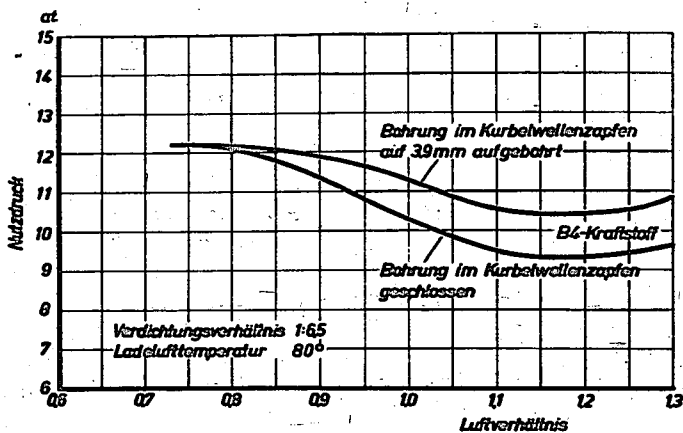


Abb.10: Einfluß der Kolben-Kühlung auf den Verlauf der Klopfgrenzkurven

auch der Einfluss der Zylinderkühlung beobachtet und dabei festgestellt, dass der Staudruck die Lage der Klopfgrenzkurve beeinflusst. Aus dem Bild 11 ist zu ersehen, dass klei-

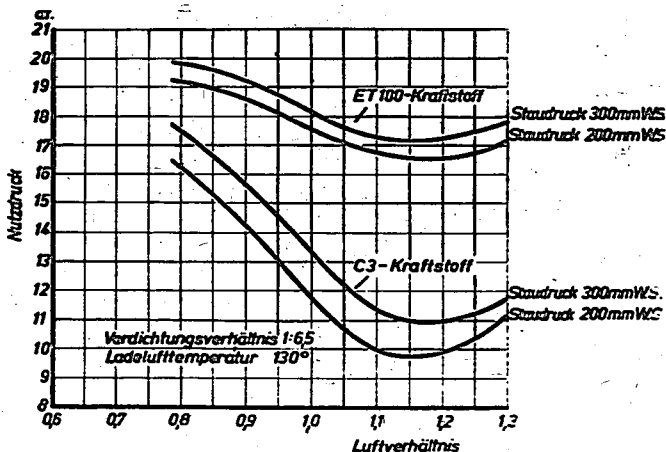


Abb.11: Einfluß des Kühlluft-Staudruckes auf den Verlauf der Klopfgrenzkurven

ne Abweichungen im Staudruck sich auf die Lage der Klopfgrenzkurve kaum auswirken, denn die dargestellten Unterschiede wurden durch eine Steigerung des Staudruckes um 50% erreicht. Immerhin soll der Einfluss der Kühlung keineswegs vernachlässigt werden. Es steht ausser Zweifel, dass durch ungenügende Führung der Kühlluft heisse Stellen im Zylinder entstehen, die die Klopfgrenze 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 Schmiersystem betreffen, bedingt.