

Einige Wünsche der Kraftstoffhersteller an den Flugmotor

Von Karl Dehn

Im Jahre 1939 hielt Herr Neugebauer in einer Sitzung der Akademie einen Vortrag über „Die Wünsche des Motorenbauers an den Treibstoff“. Derartige Vorträge sind für eine erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen Motorfirmen und Kraftstoffherstellern von großem Wert, da vielfach der Kraftstoffherzeuger über die schwierigen Probleme und die Entwicklungsrichtung des Motorenbaus nur wenig Bescheid weiß, auf der anderen Seite aber auch der Motorenkonstrukteur sich mit den Fragen der Kraftstoffentwicklung nicht genügend befassen kann. In England und Amerika fanden seit Jahren fast regelmäßig Vorträge statt, die im besonderen die Kraftstofffragen im Motor behandelten; es sei nur an die Vorträge von Banks, Bass, Veal u. a. erinnert.

Wenn es in den letzten 10 Jahren möglich war, die Literleistung der Flugmotoren auf mehr als das Doppelte zu steigern, so ist dies zu einem nicht unbedeutenden Teil auf die stetige Verbesserung der Klopfestigkeit der Kraftstoffe zurückzuführen. Es ist jedoch zu bedenken, daß der Kraftstoffentwicklung auch gewisse Grenzen gezogen sind, die insbesondere durch die Rohstofflage bedingt sind. Infolgedessen muß der Motorenbauer bei der Entwicklung seiner Motoren neben den Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Kraftstoffe auch die Beschaffungslage berücksichtigen. Es soll daher, bevor über einige Probleme berichtet wird, die in den letzten Jahren im Zusammenhang mit der Motor- und Kraftstoffentwicklung an uns herangetragen wurden, kurz auf die Beschaffungslage und die Eigenschaften der heutigen Hochleistungskraftstoffe für Otto-Flugmotoren eingegangen werden.

Die Entwicklung der Fliegerbenzine und im besonderen der Hochleistungskraftstoffe ergab sich zwangsläufig aus der Rohstofflage. Hierüber hat Herr Pier vor einem Jahr ausführlich berichtet, und es erscheint zweckmäßig, nochmals in Kürze einige wesentliche Punkte zu erwähnen.

Amerika und England haben ihre Versorgung mit Fliegerbenzin auf einen großen Überschuß an Erdöl aufgebaut, aus dem sie sich einen kleinen Teil, der für die Herstellung von Flugkraftstoffen besonders geeignet ist, aussuchen können. So wurden z. B. in den Vereinigten Staaten im Jahre 1941 bei einer Rohölförderung von rund 190 Millionen Tonnen nur etwa 2,7 Millionen Tonnen Flugkraftstoff hergestellt. Diese erdölreichen Länder besitzen auch eine große Krackindustrie, und es ist daher bei ihnen der Weg zur Erzeugung von Hochleistungskraftstoffen ganz natürlich durch die großen Mengen der zur Verfügung stehenden ungesättigten Krackgase gegeben, aus denen sich leicht durch Polymerisation hochklopfeste Isoparaffine, insbesondere Isooktan, herstellen lassen.

Wir in Deutschland sind arm an Erdölen, aber reich an Kohle. Bei uns bilden daher die Hydrieranlagen die Grundlage für unsere Versorgung mit Flugkraftstoffen. Diese Anlagen, die ursprünglich für die Herstellung von Autobenzin und Dieselöl gebaut waren, wurden, als infolge des Kriegsausbruchs die Luftwaffe größere Kraftstoffmengen benötigte, auf Fliegerbenzin umgestellt, und es konnten sofort 90% der Autobenzinmengen an Fliegerbenzin hergestellt werden. Die Qualität dieses Benzins ist dem amerikanischen Benzin vom Typ OZ 87 mindestens gleichwertig, bei den Werken, die Steinkohle verarbeiten, sogar überlegen. Von den in Deutschland hergestellten Flugkraftstoffen werden heute über 90% durch die Hochdruckhydrierung gewonnen.

Als neben den großen Mengen des Fliegerbenzins vom Typ OZ 87 auch Hochleistungskraftstoffe benötigt wurden, konnten durch einfache Maßnahmen in den vorhandenen Hochdruckhydrieranlagen schnell auch große Mengen Hochleistungskraftstoffe auf der Basis der klopfesten Aromaten erzeugt werden. Daneben wird Isooktan aus den in den Hydrierwerken anfallenden Gasen in der entsprechenden größtmöglichen Menge hergestellt und auch in besonderen Anlagen auf dem Weg über den Butylalkohol.

Aus dieser Beschaffungslage heraus ist unser heutiger Hochleistungskraftstoff zwangsläufig gegeben. Er enthält etwa 40 Vol.-% Aromaten, 20 Vol.-% Isooktan oder andere geeignete Isoparaffine und 40 Vol.-% eines Restbenzins, dessen Motoroktanzahl je nach dem verwendeten Rohstoff zwischen 65 und 74 liegt. Zur weiteren Steigerung seiner Klopfestigkeit wird der Kraftstoff mit dem heute üblichen Zusatz von 0,12 Vol.-% Bleitetraäthyl versehen. Demgegenüber steht der Hochleistungskraftstoff der OZ 100 der Feindstaaten, der etwa aus einer 50%igen

Mischung von Isooktan und Isopentan mit einem guten Fliegerbenzin besteht und einen Bleizusatz von 0,09% hat. Der aromatische Hochleistungskraftstoff ist dem vorwiegend isoparaffinischen nicht nur gleichwertig, sondern es läßt sich mit ihm bei Berücksichtigung seiner besonderen Eigenschaften sogar eine wesentlich höhere Motorleistung herausholen. Im folgenden soll daher kurz auf die Eigenschaften der uns zur Verfügung stehenden Hochleistungskraftstoffe eingegangen werden.

Die wichtigste Eigenschaft, die von einem Hochleistungskraftstoff verlangt wird, ist eine hohe Klopfestigkeit. Die Oktanzahl gibt bekanntlich für die Beurteilung von hochklopfesten Flugkraftstoffen vielfach ein falsches Bild, und es wurde daher bei uns in Deutschland das DVL-Überladeverfahren eingeführt. Zur Erläuterung der Klopfestigkeit der Hochleistungskraftstoffe ist in Abbildung 1 die Überladefähigkeit von Aromaten

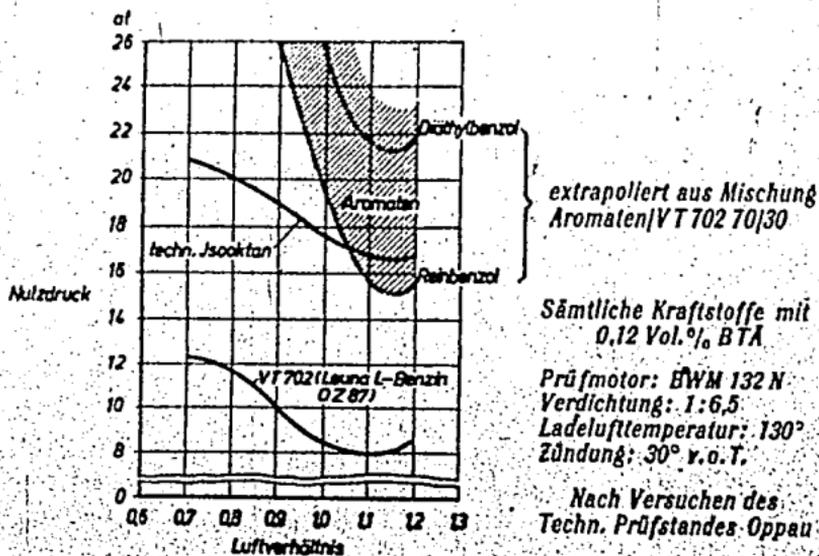


Abb. 1
Überladefähigkeit von Aromaten und Isooktan

ten und Isooktan dargestellt. Der Bereich für die Klopfgrenzkurven der Aromaten liegt fast durchweg über dem Isooktan, er wird nach unten durch Reinbenzol begrenzt. Darüber liegen Flugbenzol, Toluol und Xylol. Ganz wesentlich besser ist Isopropylbenzol und Diäthylbenzol; doch gibt es nach unseren neuesten Versuchen noch eine größere Anzahl von Aro-

maten, wie Propyl-Butyl-Benzol, Dipropylbenzol, Tripropylbenzol usw., die in ihrer Überladefähigkeit noch höher liegen, allerdings mit ihrem Siedepunkt nicht mehr in den heute für Fliegerbenzin vorgeschriebenen Siedebereich fallen.

In den technischen Anlagen zur Erzeugung von Hochleistungskraftstoffen werden heute Kraftstoffe hergestellt, die etwa 50 Vol.-% Aromaten enthalten. In der Abbildung 2 sind die Überladekurven von 50 Vol.-%igen Mischungen aus Aromaten bzw. Isooktan und einem Fliegerbenzin vom Typ OZ 87 aufgezeichnet. Der Aromatenkraftstoff liegt im Gebiet des

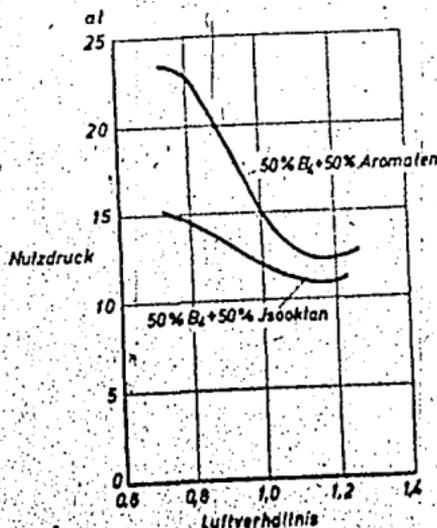
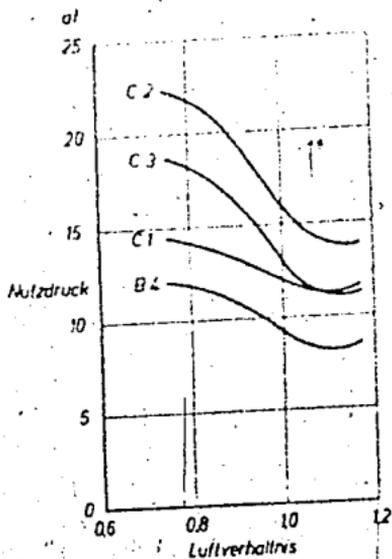


Abb. 2

BTX-Gehalt: 0,12 Vol.-%. Prüfmotor: BMW 132 N. Zündung: 30° v. o. T. Verdichtungsverhältnis: 1:6,5. Ladelufttemperatur: 130° C. Erzielbare Leistung im Flugmotor BMW 132 N mit Aromaten bzw. Isooktan.

Kraftstoffüberschusses weit über dem entsprechenden Gemisch mit Isooktan, während im Luftüberschußgebiet seine Überlegenheit kleiner ist. Die Überladekurven für die heutigen Hochleistungskraftstoffe C₁ und C₂, die beide 40 Vol.-% Aromaten und 20 Vol.-% Isooktan enthalten und sich im wesentlichen entsprechend dem zur Herstellung verwendeten Rohstoff nur durch die Klopfestigkeit des Restbenzins unterscheiden, sind in Abbildung 3 wiedergegeben. Zum Vergleich sind auch die Kurven für



C 2 - Qualität 40 Vol%, Aromaten 20 Vol%, ET 110
MOZ 98

C 3 - Qualität 40 Vol%, Aromaten 20 Vol%, ET 110
MOZ 95

C 1 - Qualität 50 Vol%, Isoktan
MOZ 100 + 50 Vol%, Benzin MOZ > 70

B 4 Fliegerbenzin Typ OZ 87
MOZ 90

BTA-Gehalt 0,12 Vol%, bei C1 0,09 Vol%

Prüfmotor BMW 132 H
verehrt Überladeverfahren
Ladedichttemperatur 130°C

Nach Versuchen des
Techn. Prüfstandes Oppau.

Abb. 3
Überladekurven von Hochleistungskraftstoffen

ein Fliegerbenzin vom Typ OZ 87, das mit B₄ bezeichnet wird, und C₁, das dem Hochleistungskraftstoff der Feindstaaten entspricht, eingetragen.

Nach dem DVL-Überladeverfahren wird auch die Bleiempfindlichkeit der Kraftstoffe anders beurteilt wie durch die Oktanzahl. Während die Oktanzahl durch den Zusatz von Bleitetraäthyl bei aromatischen Kraftstoffen weniger erhöht wird als bei paraffinischen, zeigt die Überladeprüfung, insbesondere im Gebiet des Kraftstoffüberschusses, das Gegenteil.

Aromatische und paraffinische Kraftstoffe unterscheiden sich auch im Heizwert. Aromatische Kraftstoffe haben einen höheren Literheizwert, während bei paraffinischen der Heizwert pro Kilogramm größer ist. Bei Flugzeugen ist ein hoher Literheizwert von Vorteil, wenn die Tankraumfrage von größerer Bedeutung ist als das Gewicht.

Für das Dauerverhalten der Kraftstoffe ist hauptsächlich ihr Einfluß auf das Festgehen der Kolbenringe von Bedeutung. Um ein frühzeitiges Festkleben der Ringe zu vermeiden, ist eine gute Raffination des Kraftstoffs Voraussetzung. Bei Hydrierbenzinen ist auf Grund ihres Herstellungsverfahrens die Raffination stets vollkommen einwandfrei. Von einem gewissen Einfluß auf das Ringstecken sind auch die mittleren Tempera-

turen im Verbrennungsraum, die bei aromatischen Kraftstoffen etwas höher liegen als bei paraffinischen, was hauptsächlich auf das verschiedene H/C -Verhältnis zurückzuführen ist. Die höheren, wasserstoffreicheren Aromaten, wie sie vorwiegend in den Hochleistungskraftstoffen enthalten sind, verhalten sich sowohl hinsichtlich der Verbrennungsraumtemperaturen als auch des Ringsteckens günstiger als die niedrig siedenden Aromaten, insbesondere als Benzol.

Durch Messungen an Flugmotoren wurde festgestellt, daß bei Verwendung der Hochleistungskraftstoffe, die 40 Vol.-% Aromaten enthalten, die mittleren Verbrennungsraumtemperaturen um etwa $10^{\circ}C$ höher liegen als bei paraffinischen Kraftstoffen. Errechnet man unter Berücksichtigung der Dissoziation die Verbrennungshöchsttemperaturen für einen Kraftstoff mit 40 % Aromaten und ein rein paraffinisches Benzin, so beträgt der Temperaturunterschied etwa $40^{\circ}C$. Bezogen auf die mittlere Temperatur im Verbrennungsraum während der vier Arbeitstakte ergibt sich dann in Übereinstimmung mit den Messungen am Motor auch rechnerisch ein Temperaturunterschied von etwa $10^{\circ}C$.

Von besonderer Bedeutung ist bei Hochleistungskraftstoffen ihre Temperaturabhängigkeit, d. h. der Einfluß der Temperatur auf die Klopfestigkeit des Kraftstoff-Luft-Gemisches. In Abbildung 4 ist der Einfluß der Ladelufttemperatur auf die Klopfgrenzkurven von C_3 und C_1 dargestellt. Bei Erhöhung der Ladelufttemperatur von 80° auf $130^{\circ}C$ sinkt die Klopfestigkeit des Aromatenkraftstoffs im Luftüberschußgebiet stärker ab als bei dem vorwiegend isoparaffinischen C_1 . Schon hieraus kann man erkennen, daß die Temperatur und damit auch alle konstruktiven Maßnahmen und Betriebsbedingungen am Motor, welche die Temperatur des unverbrannten Kraftstoff-Luft-Gemisches beeinflussen, von wesentlicher Bedeutung sind. Hierauf muß der Konstrukteur bei der Entwicklung der Motoren besondere Rücksicht nehmen, wenn aus den Aromatenkraftstoffen die größtmögliche Leistung herausgeholt werden soll.

Die Erzielung einer möglichst hohen Motorleistung hängt bekanntlich nicht nur von der Klopfestigkeit des Kraftstoffs, sondern auch in hohem Maße von der Klopfestigkeit des Motors ab, die hauptsächlich durch die Gestaltung des Verbrennungsraums und der ihn einschließenden Teile sowie durch die Betriebsbedingungen des Motors beeinflusst wird. Es soll hier nicht auf die vielen Gesichtspunkte eingegangen werden, die für den Konstrukteur maßgebend sind, um dem Motor eine möglichst hohe Klopfestigkeit zu geben. Es sei nur ein Beispiel angegeben, das Herr

Von ausschlaggebender Bedeutung für die höchstmögliche Ausnutzung der Aromatenkraftstoffe ist eine gute und gleichmäßige Kühlung, insbesondere des Zylinderkopfs, der Ventile, der Kerzen und des Kolbens. Eine einzige schlecht gekühlte Stelle ist maßgebend für die Ansprüche des ganzen Motors an die Klopfbarkeit des Kraftstoffs. Bei der Bestimmung der Klopfgrenzkurven an einem luftgekühlten Einzylindermotor zeigte sich z. B., daß der bis zum Eintritt des Klopfens erreichbare mittlere Nutzdruck um mehr als 50 % gesunken war, weil die Schrumpfverbindung zwischen Zylinder und Zylinderkopf einen Wärmestau zeigte. In ähnlicher Weise wird auch durch die glühenden Auslaßventile, an denen sich das Kraftstoff-Luft-Gemisch aufheizt, das Klopfen begünstigt. Durch eine möglichst weitgehende Kühlung der Auslaßventile kann daher die Klopfbarkeit eines Motors bedeutend verbessert werden. Auch die Kühlung des Kolbens ist von großer Wichtigkeit. Es sei hier auf einen Vortrag von Ricardo hingewiesen, den er vor einigen Jahren auf einer Tagung der Lilienthal-Gesellschaft hielt. Er berichtete dabei über Versuche, bei denen die Kolbenkühlung dadurch verbessert wurde, daß gegen die Unterseite des Kolbens ein Ölstrahl spritzte.

Ricardo wies auch schon vor vielen Jahren auf die höhere Klopfbarkeit der kleineren Zylinder hin (Abbildung 5). Auch dies ist wohl hauptsächlich auf die günstigeren Temperaturverhältnisse gegenüber den großen Zylindern zurückzuführen. Bei der größeren Temperaturabhängigkeit der Aromatenkraftstoffe ist daher anzunehmen, daß sich mit ihnen aus kleinen Motorenzylindern wesentlich höhere Literleistungen heraus-

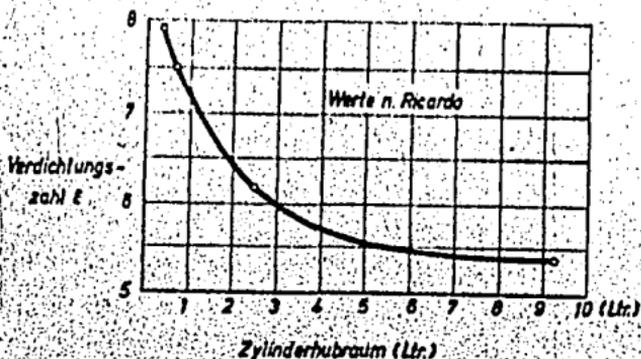


Abb. 5

Einfluß der Zylindergröße auf die zulässige Verdichtungs-zahl ϵ

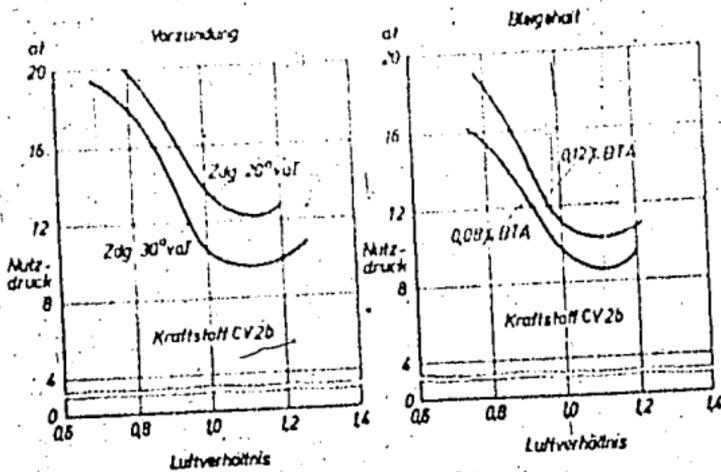
kolen lassen als mit paraffinischen Kraftstoffen. Versuche über die Möglichkeiten der Anwendung kleinerer Zylinder, wie sie von Herrn Kamm durchgeführt werden, dürften demnach bei Verwendung von Aromatenkraftstoffen zu besonders günstigen Ergebnissen führen.

Auf die Beeinflussung des Klopfens durch eine Erhöhung der Ladelufttemperatur wurde bereits hingewiesen. Bei der stetigen Steigerung der Ladelufttemperatur ergibt sich daher für die Hochleistungskraftstoffe der dringende Wunsch nach Ladeluftkühlern. Dabei muß natürlich stets genau geprüft werden, ob bei Anwendung eines Ladeluftkühlers die durch die niedrigere Ladelufttemperatur ermöglichte Leistungserhöhung den Mehraufwand für den Kühler wieder ausgleicht oder darüber hinaus noch einen nutzbaren Leistungsgewinn mit sich bringt.

Eine Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses hat auch eine starke Steigerung der Verdichtungsendtemperatur zur Folge und begünstigt daher das Klopfen in starkem Maße. Eine höhere Leistung als durch Verdichtungserhöhung läßt sich mit einem gegebenen Kraftstoff bei verhältnismäßig niedriger Verdichtung durch Steigern des Ladedrucks erzielen. Man sollte daher, wenn es auf eine besonders hohe Motorleistung ankommt, auf eine Verdichtungserhöhung und die damit verbundene Verbesserung des thermischen Wirkungsgrads verzichten, soweit dies natürlich verantwortet werden kann.

Besonders günstig erscheint vom Kraftstoffstandpunkt aus gesehen die Leistungssteigerung durch Drehzahlerhöhung, weil dabei die Inzentemperaturen und -drücke gegenüber der Leistungssteigerung durch Erhöhen des Verdichtungsverhältnisses oder des Ladedrucks niedrig bleiben. Infolge der höheren Wärmelastung der Zylinder ist natürlich eine verstärkte Kühlung erforderlich.

Ähnlich wie eine Steigerung des Verdichtungsverhältnisses wirkt sich auch eine Vorverlegung der Zündung auf das Klopfverhalten der Kraftstoffe aus. Wie groß der Zündungseinfluß ist, zeigen Versuche, die am BMW 132-Einzylinder-Motor durchgeführt wurden. Aus der Abbildung 6 kann man ersehen, daß eine Verstellung der Zündung um wenige Grad, beispielsweise 5 Grad, die Klopfgrenze und damit den erreichbaren mittleren Kolbendruck um mehr als 1 at beeinflusst. Man könnte beispielsweise auch den Bleigehalt bei dem verwendeten Aromatenkraftstoff von 0,12% auf 0,08% herabsetzen, wenn man die Zündung um etwa 5 bis 7° später verlegen könnte. Aus diesem Beispiel kann man auch ersehen, wie wichtig ein gleichmäßiger Zündzeitpunkt an den einzelnen Zylindern



Prüfmotor: BMW 132 H
 Verdichtungsverhältnis: 1,63
 Ledertemperatur: 130° C
 Zündung: 30° v.a.F.

Nach Versuchen des
 Herrn Prüflandes Oppau

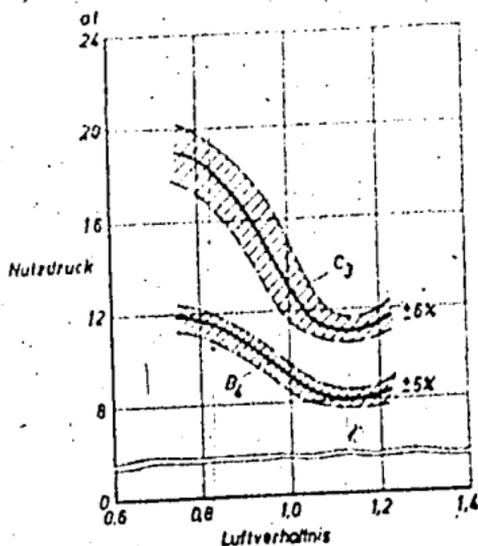
Abb. 6

Einfluß der Vorzündung und des Bleigehaltes auf die Überladekurven

eines Vollmotors ist. Zündet nur ein Zylinder um einige Grad früher als beabsichtigt, so werden dadurch die Ansprüche des ganzen Motors an die Klopfestigkeit des Kraftstoffs wesentlich erhöht. Es sei bei dieser Gelegenheit auch auf amerikanische Versuche hingewiesen, die an serienmäßig hergestellten Kraftfahrzeugen durchgeführt wurden. Bei ein und demselben Fahrzeugtyp wurde festgestellt, daß lediglich durch Streuungen in der Zündung die Ansprüche der einzelnen Motoren an die Klopfestigkeit des Benzins um mehr als zehn Oktanzahlen schwanken. Wenn natürlich mit solchen Streuungen bei Flugmotoren nicht zu rechnen ist, so zeigt das Beispiel doch, wie sehr auf ein genaues und gleichmäßiges Arbeiten der Zündung geachtet werden muß.

In diesem Zusammenhang soll auch eine Abbildung gezeigt werden, die die Streuungen der Überladekurven wiedergibt, die mit ein und demselben Kraftstoff an den BMW 132-Überlademotoren bei den verschiedenen Prüfstellen erhalten wurden (Abbildung 7).

Die Streuungen betragen nach den neuesten von der DVL durchgeführten Ringversuchen bei aromatischen Kraftstoffen $\pm 6\%$, bei paraffinischen $\pm 5\%$. Dieses Streuband konnte trotz aller Bemühungen, die einzelnen Prüfstände in ihren Betriebsverhältnissen so vollkommen wie nur irgend



BIA-Gehalt: 0,12 Vol-%

Prüfmotor BMW 132 H
Verdichtungsverhältnis 16,5
Ladedufttemperatur 110°C
Zündung 30° vor T

Abb. 7

Streugrenzen der Oberladekurven der Flugkraftstoffe B_4 und C_3

möglich aneinander anzugleichen, bis jetzt noch nicht verkleinert werden. Bei der Durchführung der Überladeversuche am Einzylindermotor zeigte sich auch, daß trotz des hohen Standes der heutigen Werkstatttechnik noch kleine Unterschiede in den serienmäßig hergestellten Zylindern vorhanden sind, die sich im Klopfverhalten der Kraftstoffe bemerkbar machen. Wenn nun schon am Einzylindermotor trotz schärfster Kontrolle Unterschiede in den Klopfgrenzkurven von $\pm 6\%$ auftreten, so muß man daraus schließen, daß die Streuungen am Vollmotor besonders auch infolge der Unterschiede in der Kühlung noch viel größer sind und dadurch die Ansprüche der Motoren an die Klopfestigkeit des benötigten Kraftstoffs wesentlich erhöht werden.

Weitere Möglichkeiten zur Steigerung des mit einem gegebenen Kraftstoff erreichbaren mittleren nutzbaren Kolbendrucks ergeben sich durch Abändern des motorischen Arbeitsverfahrens. Eine wesentliche Verbesserung der Klopfgrenzkurven und damit der Motorleistung läßt sich in vielen Fällen durch eine Vergrößerung der Überschneidung der Steuerzeiten erreichen, wie sie ja heute auch schon häufig angewandt wird. Ein Beispiel ist in Abbildung 8 gegeben, in der Versuche des Technischen Prüfstands Oppau am BMW 132-Einzylindermotor mit 50° und 80° Ven-

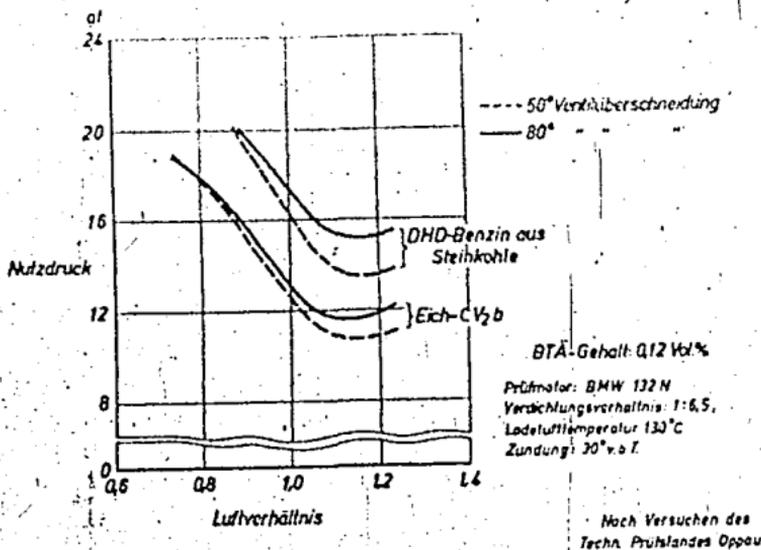


Abb. 8.

Einfluß der Ventilüberschneidung auf die Überladekurven

tilüberschneidung dargestellt sind. Trotz der verhältnismäßig geringen Vergrößerung der Überschneidung konnten mit den untersuchten Kraftstoffen Leistungssteigerungen von über 10 % erzielt werden. Dabei fällt auf, daß der Leistungsgewinn um so größer ist, je höher die Überladekurve an sich schon liegt. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, daß der Zylinder um so stärker gekühlt wird, je höher der Ladedruck ist, mit dem die Durchspülung des Verbrennungsraums erfolgt.

Besonders günstige Ergebnisse dürften sich bei Anwendung des DVL-Einspritzverfahrens ergeben. Bei diesem Verfahren wird der Kraftstoff zu zwei verschiedenen Zeitpunkten in aufeinander abgestimmten Mengen eingespritzt. Das Institut für Thermodynamik und Arbeitsverfahren bei der DVL hat auch mit von uns übersandten Hochleistungskraftstoffen Überladeversuche an einem DB 601 E-Einzylindermotor durchgeführt und unter den verschiedensten Bedingungen die Klopfgrenzkurven bei normaler und bei aufgeteilter Einspritzung bestimmt. In Abbildung 9 ist ein Kurvenpaar aus diesen Versuchen dargestellt. Durch Anwendung des DVL-Einspritzverfahrens wurde der mit dem Hochleistungskraftstoff C₂ erreichbare mittlere Nutzdruck um mehr als 30 % erhöht. Auf nähere Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden, da über die Ver-

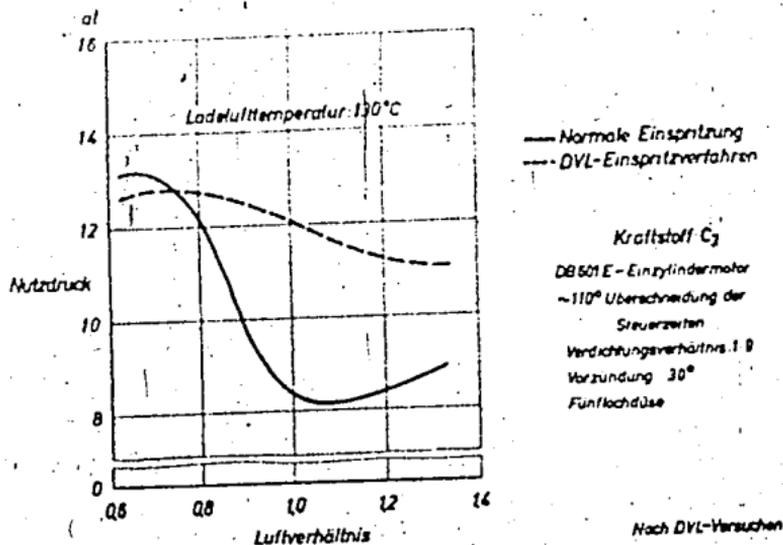


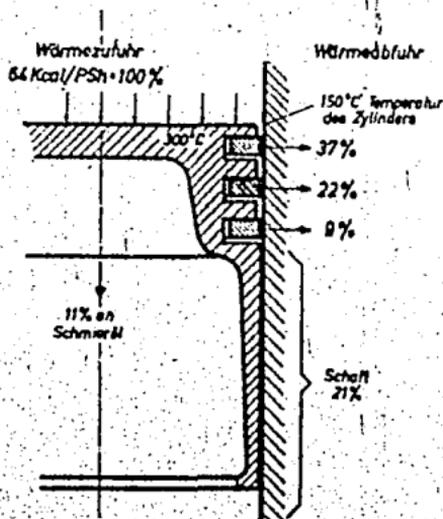
Abb. 9
Einfluß des DVL-Einspritzverfahrens auf die Überladekurve von C₂

suche von seiten der DVL wohl noch ausführlicher berichtet werden wird. Es sei jedoch noch darauf hingewiesen, daß auch an Vollmotoren mit diesem Verfahren schon günstige Ergebnisse erzielt worden sind und daß für die Verwirklichung dieses Arbeitsverfahrens nur eine geringe Abänderung der Einspritzpumpe nötig sein soll.

An dieser Stelle sei auch noch kurz das sogenannte »Ringverfahren« erwähnt. Es soll nicht näher darauf eingegangen werden, jedoch sei darauf hingewiesen, daß wohl auch bei Anwendung dieses Arbeitsverfahrens günstige Ergebnisse hinsichtlich des Klopfverhaltens der Kraftstoffe zu erwarten sind.

Außer dem Klopfverhalten der Kraftstoffe ist auch ihr Dauerverhalten im Motor von Wichtigkeit. Es sollen daher noch kurz die Fragen des Festgehens der Kolbenringe, der Schmierölverdünnung und der Korrosion der Auslaßventile gestreift werden.

Das Festgehen der Kolbenringe ist bekanntlich eines der wichtigsten motorischen Probleme, mit dessen Lösung sich der Konstrukteur und die Forschung schon seit vielen Jahren beschäftigt. In der Abbildung 10 ist der Wärmefuß an einem Flugmotorenkolben dargestellt. Es ist eine Abbildung aus einer älteren Veröffentlichung von Göblau aus dem



nach F. Gellert

Abb. 10
Wärmeabfuhrverhältnisse am Flugmotorkolben

Jahre 1935; es ist durchaus möglich, daß sich bei den neuesten Flugmotorenkolben infolge der Fortschritte, die in den letzten Jahren erzielt wurden, wesentlich günstigere Verhältnisse ergeben. Immerhin kann man aber aus der Abbildung erkennen, daß die obersten Ringe, die ja am meisten zum Ringstecken neigen, auch thermisch weitaus am stärksten beansprucht sind. Es ergibt sich also hinsichtlich des Ringsteckens in gleicher Weise wie für das Klopfverhalten des Kraftstoffs der Wunsch nach einer noch besseren Pleuellringkühlung.

Die Frage der Schmierölverdünnung stand am Anfang des Krieges schon einmal im Vordergrund des Interesses, als sie sich bei Jagdflugzeugen, die Sperre flogen, unangenehm bemerkbar machte. Schmierölverdünnung tritt am Motor dann auf, wenn zuviel hochsiedende Anteile im Kraftstoff enthalten sind oder, wie in dem angeführten Fall, der Motor längere Zeit zu kühl betrieben wird. Schon die Anwesenheit von wenigen Prozent Kraftstoff im Öl setzt die Viskosität des Schmieröls so weit herab, daß der Verschleiß des Motors gefährliche Formen annehmen kann. Umfangreiche Versuche des Technischen Prüfstandes Oppau haben jedoch gezeigt, daß die Schmierölverdünnung durch richtige Auswahl der Einspritzdüsen, also durch Verbessern der Kraftstoff-

aufbereitung, weitgehend vermieden werden kann. Maßnahmen gegen das Auftreten der Schmierölverdünnung erscheinen auch im Hinblick auf die Verwendung von höher siedenden Sicherheitskraftstoffen notwendig. Wird bei den Flugkraftstoffen das zulässige Siedende höher gesetzt, so kann bis zu einem gewissen Grade auch die Kraftstoffzerzeugung vergrößert werden. In der Abbildung 11 ist für verschiedene Benzine in Abhängigkeit vom Siedende die Oktanzahl aufgetragen. Man kann daraus ersehen, daß bei den meisten Benzinen die Klopfestigkeit schlechter wird, wenn man das Siedende hinausrückt; lediglich bei dem Dehydrierbenzin (DHD-Benzin) nimmt sie noch etwas zu, was auf die

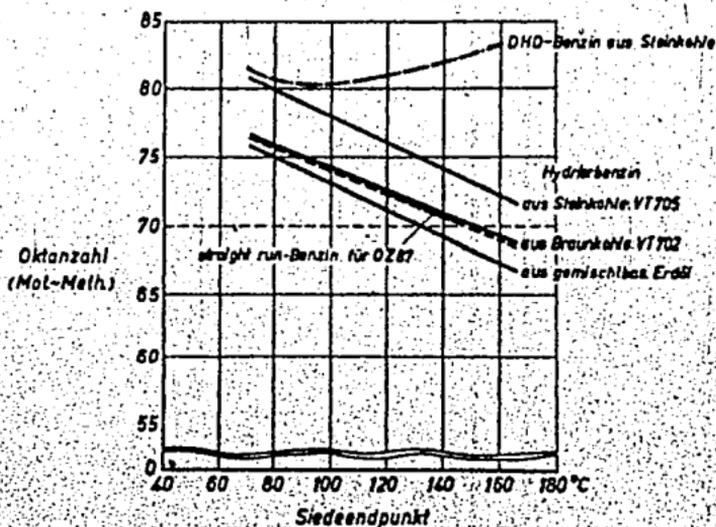


Abb. 11
Einfluß des Siedendes auf die Oktanzahl

höher siedenden, besonders klopfesten Aromaten zurückzuführen ist. Bei Abbildung 11 wurde die Oktanzahl als Maßstab für die Klopfestigkeit angegeben, trotzdem sie das Klopfverhalten im Flugmotor nicht immer richtig bewertet. Bei Laboratoriumversuchen jedoch, bei denen nur kleine Kraftstoffmengen anfallen, ist man auch heute noch auf die Oktanzahl angewiesen, solange kein besseres Klopfprüfverfahren, das weitgehend von der Konstruktion und den Betriebsbedingungen des Motors unabhängig ist und nur wenig Kraftstoff benötigt, vorhanden ist.

Während man für die Überladeprüfung am Flugmotoren-Einzyylinder etwa 10 bis 20 Liter Kraftstoff benötigt, genügen für die Bestimmung der Oktanzahl etwa 300 ccm.

Zum Schluß sei noch kurz auf die Korrosion der Auslaßventile eingegangen. Die Korrosion der Ventilsitze und der Ventilteller durch das in den Kraftstoffen enthaltene Blei wird auch weitgehend durch die Temperatur beeinflußt. Bei Hochleistungsflugmotoren wendet man daher heute fast durchweg innengekühlte Auslaßventile an, wobei es wichtig ist, daß nicht nur der Schaft, sondern auch der Ventilteller gut gekühlt wird. Zum weiteren Schutz gegen die Korrosion werden die Ventilsitze bekanntlich mit Stellite geschützt und die Ventilteller verchromt oder mit einer anderen Schutzschicht, beispielsweise in England mit »Brightray»,

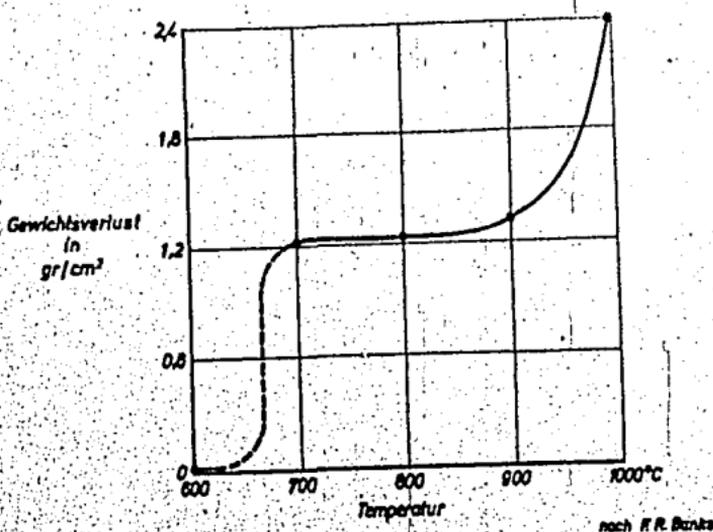


Abb. 12
Einfluß der Temperatur auf die Bleikorrosion der Auslaßventile

einer Chrom-Nickel-Legierung, überzogen. Es sei hier noch eine Abbildung aus einem Vortrag von Banks gezeigt, die den Einfluß der Ventiltemperatur auf die Bleikorrosion darstellt (Abbildung 12). Danach tritt bei etwa 670° eine sprunghafte Steigerung der Bleikorrosion auf, so daß man mit der Temperatur möglichst unter diesem Bereich bleiben oder die Ventilteller, wie erwähnt, mit einer widerstandsfähigen Schutzschicht überziehen muß. Unter Umständen kann die Temperatur der Auslaß-

ventile auch durch eine etwas fettere Gemischstellung oder durch Verändern der Zündung oder des Einspritzzeitpunkts bis zu einem gewissen Grad verringert werden.

In den vorstehenden Ausführungen sollte zunächst gezeigt werden, welche Flugkraftstoffe uns auf Grund unserer Beschaffungslage zur Verfügung stehen. Neben einem guten Flugbenzin vom Typ OZ 87 können mit den in den Hydrieranlagen erzeugten Aromatenkraftstoffen nach Zumischen von 20% Isooktan die Hochleistungskraftstoffe C₁ und C₂ hergestellt werden. Die C₂-Qualität kann bei allen für die Hochdruckhydrierung zur Verfügung stehenden Rohstoffen erreicht werden, die C₁-Qualität in erster Linie bei Verwendung von Dehydrierbenzin aus Steinkohle (Abbildung 13).

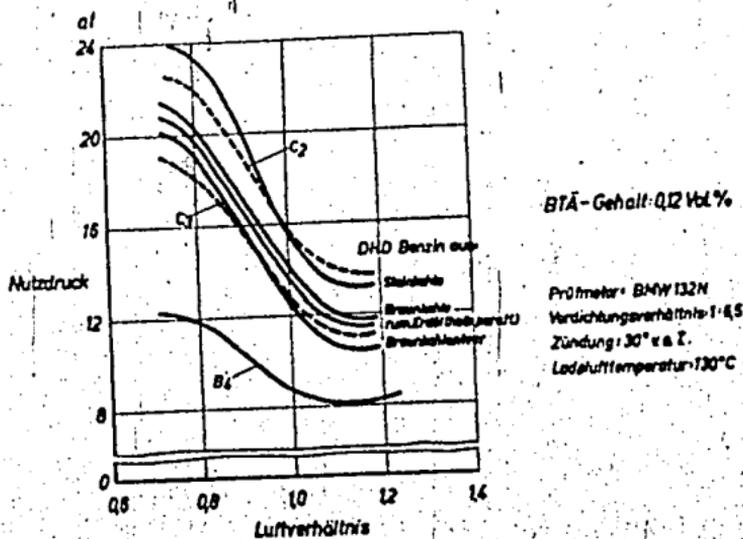


Abb. 13. Einfluß des Rohstoffes auf die Überladekurven von DHD-Benzinen

Weiter wurde gezeigt, daß mit unseren Hochleistungskraftstoffen höhere Motorleistungen erzielt werden können als mit dem Hochleistungskraftstoff OZ 100 der Feindstaaten. Für die Erzielung der höchstmöglichen Motorleistung ist insbesondere eine gute und gleichmäßige Kühlung des Motors von großer Bedeutung. Außerdem gibt es jedoch noch verschiedene andere Möglichkeiten, um die Klopfgrenzkurven und damit die

Motorleistung zu verbessern. Wenn man bedenkt, welcher großen Aufwand es kostet, um von der Kraftstoffseite her den mittleren nutzbaren Kolbendruck nur um 1 at zu erhöhen, andererseits durch verhältnismäßig einfache Maßnahmen, wie z. B. die Anwendung der aufgeteilten Einspritzung nach dem DVL-Verfahren, die Überladekurven wesentlich verbessert werden können, dann sollte man nichts unversucht lassen, diese Maßnahmen auch praktisch zu verwirklichen. Motorenbauer und Kraftstoffhersteller müssen sich hier gegenseitig ergänzen und so dazu beitragen, daß unsere Luftwaffe hinsichtlich der Güte der Flugzeuge auch weiterhin den Feinden überlegen bleibt.

Ausprache

E. Schmidt: Ich danke Herrn Dehn für seine Ausführungen, die uns die neueren Entwicklungen der Kraftstoffe gezeigt haben und die Forderungen, die von seiten des Kraftstoffherstellers an den Motorhersteller zu stellen sind. Allerdings muß der Motorhersteller auch noch eine Reihe anderer Gesichtspunkte berücksichtigen, und er kann nicht immer so, wie der Kraftstoffhersteller es möchte. Immerhin ist es wichtig, ihm immer wieder die Gesichtspunkte vor Augen zu halten, welche gerade von der Treibstoffseite aus an einen Motor gestellt werden, und ihm zu zeigen, welche Möglichkeiten in der richtigen Abstimmung des Motors auf den verfügbaren Treibstoff liegen.