

Sonderdruck aus dem Jahrbuch 1941/42
der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung

Nur für den Dienstgebrauch!

lt. Pers. N. 12.4.43.

U. 10

**Probleme der Kraftstoffforschung und -versorgung
in ihrer Wechselbeziehung
von Alexander von Philippovich**

10201

**Auszug aus einem Vortrag
gehalten in der
Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung
am 21. November 1941**

Probleme der Kraftstoffforschung und -versorgung in ihrer Wechselbeziehung

Von Alexander von Philippovich

(Auszug)

I. Einleitung

Kraftstoffversorgung und Kraftstoffforschung stehen in inniger Wechselbeziehung; besonders auf dem Gebiete der Verkehrs- wie vor allem der Militärluftfahrt. Diese beiden Zweige der Luftfahrt stellen stofflich fast-identische Forderungen, unterscheiden sich aber in den zusätzlichen Versorgungswünschen wesentlich voneinander. Hier soll ein Bild davon gegeben werden, wie die Zusammenhänge bei den Leichtkraftstoffen besonders für Hochleistungsmotoren der jetzt gebräuchlichen Bauart und Arbeitsverfahren sind. Bei Kraftstoffen für Diesel- und Strahlantrieb oder Sicherheitskraftstoffen würde es noch verwirrender, ohne sich aber grundsätzlich zu verändern. Dabei ist die derzeitige Lage zwar in Betracht gezogen, die Ausblicke sollen aber allgemein gelten; sie werden größtenteils schon jetzt bei der Planung berücksichtigt.

Beschaffbarkeit im Inland und Einheitlichkeit sind neben höchster Leistung der Flugzeuge die wichtigsten ergänzenden Forderungen der Militärluftfahrt; diese Forderungen lassen sich nicht widerspruchsfrei gleichzeitig erfüllen, so daß gewisse Kompromisse notwendig sind. In Deutschland ist durch das Reichsluftfahrtministerium und die Industrie, insbesondere die I. G.-Farbenindustrie, unter Mitarbeit der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt zur Erfüllung beider Forderungen bereits sehr viel Arbeit geleistet worden, auf die im einzelnen der folgende Vortrag eingeht. Sowohl die Forderung der Beschaffbarkeit als auch die der Einheitlichkeit wirken sich bei Hochleistungskraftstoffen wesentlich stärker aus als bei Kraftstoffen der Klasse 87 OZ, so daß die Zusammenhänge unter besonderer Berücksichtigung der Hochleistungskraftstoffe besprochen werden.

2. Anforderungen der Luftfahrt an die Kraftstoffe und ihre Verwendung

Die wichtigsten Anforderungen an die Kraftstoffe und ihre Verwendung sind schon oft besprochen worden, seien aber der Übersicht halber hier noch einmal zusammengestellt:

- a) physikalisch bedingte Anforderungen:
Freiheit von Dampfblasenbildung,
keine Ölverdünnung,
gute Kältebeständigkeit;
- b) chemisch bedingte Anforderungen:
höchste Leistung,
gute Lagerbeständigkeit,
geringe Rückstandsbildung,
Korrosionsfreiheit;
- c) physikalisch-und-chemisch-bedingte Anforderung:
Brandsicherheit.

Die Erfüllung der Anforderungen kann sowohl von der stofflichen wie von der Verwendungsseite her erfolgen.

3. Herstellungsmäßige Erfüllung der Anforderungen

a. Physikalische Eigenschaften

Dampfblasenbildung und Schmierölverdünnung sind Folgen schlechten Siedeverhaltens der Kraftstoffe, je nachdem ob sie zu viel leicht- oder schwersiedende Anteile aufweisen. Richtiges Abschneiden der Benzinfraktion führt zu einwandfreien Produkten; auch kann man sie mit solchen Kraftstoffen vermischen, die gute Ergänzungseigenschaften im Siedeverlauf aufweisen. Einfache Destillations- oder Mischanlagen erfüllen den Zweck. Gelöste Gase können unter Umständen auch stören; Abhilfen sind nur konstruktiver Art. Die Kältebeständigkeit ist bei reinen Kohlenwasserstoffen nur eine Frage des Gehaltes an Reinbenzol und des Wassergehaltes. Durch Verringern des Reinbenzolanteiles und durch Trocknen des Kraftstoffes wird die gewünschte Kältebeständigkeit erreicht. Gemische mit Alkohol und anderen wasserlöslichen Stoffen müssen durch Auswahl geeigneter Mischungsverhältnisse, Entwässerung und Verwendung von Lösungsvermittlern kältebeständig gemacht werden. Zusätze, wie sie bei Schmierölen zur Herabsetzung des Stockpunktes oder Fließbeginnes angewendet werden, versagen hier.

b. Chemische Eigenschaften

Im nichtklopfenden Gebiet wird die erzielbare Leistung im wesentlichen durch den Füllungsgrad bestimmt, der wieder von der Verdampfungswärme abhängt. Die Verdampfungswärme unterscheidet sich aber bei den Kohlenwasserstoffen so wenig, daß sie keine große Rolle spielt. Bei Alkoholen ist sie größer, so daß die Leistung um etwa 4 bis

Zahlentafel 1

Kennzahlen von hochklopfesten Kraftstoffen

Stoff	Spez. Gew. bei 20° C	Schmelzpunkt ° C	Siedepunkt ° C	Mol.-Gew.	H Gehalt %	Heizwert kcal/kg	Heizwert kcal/Ltr.	Mischwert	OZ, M. Verf.
Isopentan (2 Methyl butan)	0,620	- 24	28	72,15	16,6	11546	10650	6600	R 94 ³⁾
Neohexan (2, 2 Dimethylbutan)	0,649	- 100,4	50	86,17	16,3	11490	10600	6879	R 101 ³⁾
Triptan (2, 2, 3 Trimethylbutan)	0,686	- 25	81	100,20	16,0	11414	10550	7237	101
Isooktan (2, 2, 4 Trimethylpentan)	0,682	- 107,4	99,2	114,23	15,8	11353	10500	7366	100
Isododekan (2, 2, 4, 6 Pentamethylheptan)	0,737	-	193	170,33	15,3	11326	10500	7739	93 ³⁾
Benzol	0,879	+ 6	80,4	78,05	7,7	10046	9630	8465	98 ³⁾
Toluol	0,867	- 95	110,3	92,06	8,8	10225	9730	8453	99 ³⁾
o Xylol	0,881	- 27	144	106,08	9,5	10338	9825	8656	95 ³⁾
m Xylol	0,864	- 54	139	106,08	9,5	10263	9730	8424	100 ³⁾
p-Xylol	0,861	+ 13	138	106,08	9,5	10203	9780	8424	101 ³⁾
1,4 Diäthylbenzol	0,865	- 35	183	134,1	10,5	10425	9858	8527	116 ³⁾
1,4 Äthyl isopropylbenzol	0,858	- 20	197	138,2	10,8	10528	9945	8533	120 ³⁾
Isopropylalkohol	0,785	- 89,5	82	60,06	13,3	7902	7182	5638	-
Isopropyläther	0,724	- 87	67	102,11	13,8	9380	8664	6273	105
Isopropylketon	0,805	-	124	114,11	12,4	8405	9172 ²⁾	7383	-
Isobutylketon	0,833	-	182	142,14	12,8	-	-	-	-

¹⁾ in 50 Vol. %iger Mischung mit Benzin OZ 12

²⁾ bei konst. Druck

³⁾ R = Research-Verfahren

⁴⁾ Xylol allgemein

Qualitäten meist viel schlechter sind als jene umgeformter oder neu aufgebauter Stoffe.

Gas kann durch Abtrennung (Isopentan), Isomerisierung, Polymerisierung und Kondensation in gute isoparaffinische Stoffe umgewandelt werden. Rohöl gibt, außer durch einfache Destillation, brauchbare Produkte durch katalytische Spaltung (isoparaffinisch) und thermische Spaltung (aromatisch); Autobenzine fallen überdies an. Braunkohle und Steinkohle kann nach Fischer-Tropsch und nach dem Verfahren der I. G. in Benzin umgewandelt werden. Während das erste stark klopfende Benzine liefert, kann durch Hydrierung von Braun- und Steinkohle nach dem zweiten gleich Fliegerbenzin erhalten werden. Zur Erzielung hochklopfester Kraftstoffe müssen alle ungenügenden Qualitäten durch katalytische Aromatisierung, Dehydrierung und Isomerisierung, gegebenenfalls auch Extraktion, umgeformt werden. Einzelheiten der Verfahren können hier nicht besprochen werden, doch sei darauf hingewiesen, daß Isoparaffine in der Hauptsache aus Gasen, Aromaten aus Benzin hergestellt werden. Alle Verfahren benötigen umfangreiche besondere Anlagen. -- Von Kraftstoffen anderen Ursprunges kommt noch Motorenbenzol als Mischungsbestandteil in Frage. Schwelbenzine aus Braunkohle und Schiefer sind mengenmäßig unbedeutend und benötigen wegen ihres Schwefelgehaltes und ihrer starken Ungesättigtheit einer Nachbehandlung bzw. Umformung. Alkohol kann aus Kartoffeln usw. oder aus Kohle hergestellt werden, hat aber wenig Bedeutung. Isopropyläther wird aus Gas (Erdgas, Crackgas) oder indirekt aus Kohle hergestellt, spielt aber auch keine Rolle.

Alle Flugkraftstoffe enthalten Bleitetraäthyl; die Zusatzmengen schwanken etwa zwischen 0,07 und 0,12 Vol. % unter Umständen bis zu 0,18 Vol. %. Isoparaffine und Aromaten stellen bisher die äußersten Grenzen verschiedener Vermagerungs- und Temperaturempfindlichkeit der Hochleistungskraftstoffe dar: Abbildung 2 zeigt im isoparaffinischen, ausländischen C_1 und im inländischen, aromatischen C_2 , daß der deutsche Hochleistungskraftstoff dem ausländischen im fetten Bereich überlegen ist, obwohl er bei Vermagerung stark abfällt. Dabei enthält er nur rd. 50 % Aromaten. Ginge man zu reinen Aromaten über, so würde die Kurve zwar steiler werden, sich aber bei $\lambda = 1,05$ der des reinen Iso-Oktans, des typischen Vertreters der Isoparaffine, noch weiter nähern oder dieses sogar übertreffen. Die Leistungsgrenze wird heute nicht durch den Kraftstoff, sondern durch die Motoren bedingt.

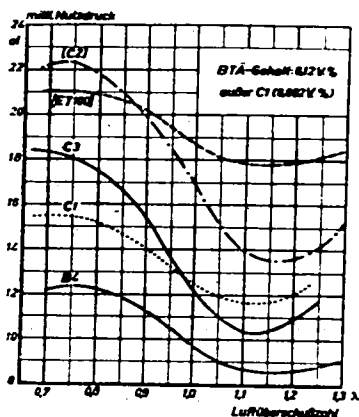


Abb. 2

Klopfgrenzkurven von Hochleistungskraftstoffen

Dieses C₃ war aus 80 Vol. % C V 26, 10 Vol. % ET 100 und 10 Vol. % Leichtbenzin gemischt

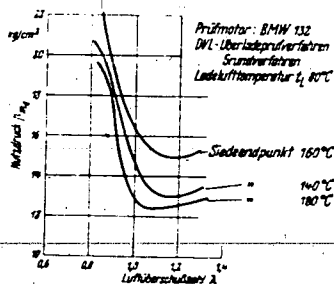


Abb. 3

Klopffestigkeit verschieden fraktionierter Benzine

Dieses Beispiel eines Spezialfalles darf nicht verallgemeinert werden

Die Klopffestigkeit ungenügender Kraftstoffe kann ohne Zusatz nur dadurch verbessert werden, daß man sie, wie bei der Neuherstellung besprochen, ganz umarbeitet, indem man entweder geeignete Fraktionen daraus schneidet (Abbildung 3) oder sie durch ein passendes Verfahren

Abb. 4

Steigerung der Klopfintensität durch Zusatz von Äthyl-Fluid (Oktanzahl und Überladung)

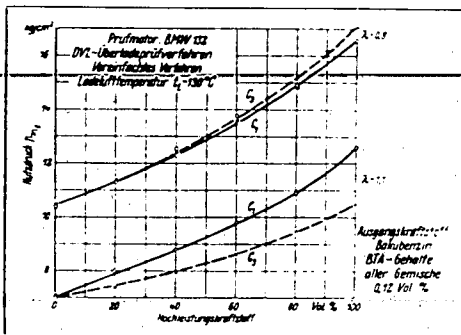
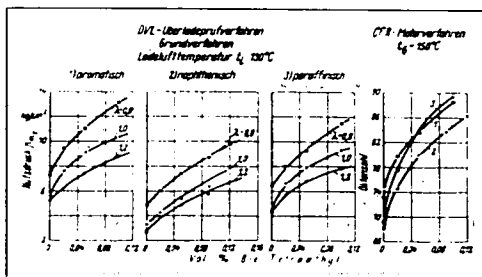


Abb. 6

Verbesserung ungenügender Kraftstoffe durch Mischung mit reinem Aromatenzusatz

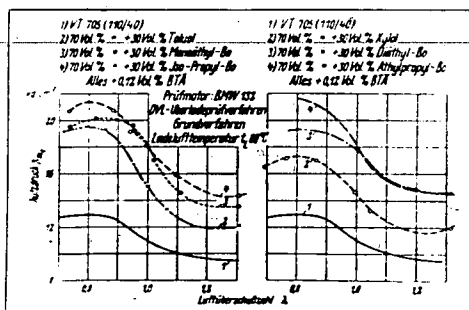


Abb. 5

Verbesserung ungenügender Kraftstoffe durch Zusatz technischer Hochleistungs-kraftstoffe

in Isoparaffine oder Aromaten umwandelt. Darüber hinaus hat man es natürlich in der Hand, durch Steigerung des Bleizusatzes und durch Vermischen mit einem klopfesteren Kraftstoff die gewünschte Qualität zu erreichen. Beiden Möglichkeiten sind Grenzen gesetzt; Beispiele für die Wirkung von Bleizusatz und von Vermischung mit klopfesteren Kraftstoffen geben die Abbildungen 4 bis 6.

Der Verbrauch ist bei gleicher Klopfestigkeit eine Funktion des Heizwertes, der wieder vom chemischen Aufbau (H -Gehalt) abhängt. Der einzige Weg zur Erhöhung des kg-Heizwertes ist Übergang auf Gasbetrieb (Methan, H_2), bedeutet aber große Feuergefahr. — Da die Pumpen nach Volumen und nicht nach Gewicht zuteilen und im Flugzeug auch oft sehr wenig Raum verfügbar ist, spielt der Heizwert/Liter auch eine große Rolle. Nach dem Literheizwert liegen Aromaten am günstigsten: z. B. Toluol 8450 WE/l gegenüber Iso-Oktan 7260 WE/l.

Die Lagerbeständigkeit (Oxydationsbeständigkeit) ist dadurch gekennzeichnet, daß sich reine Stoffe ganz anders verhalten, wenn sie geringe Mengen oxydationsfördernder oder verhindernder Beimengungen enthalten. Von den reinen Kohlenwasserstoffen sind nur Olefine, besonders Di-Olefine, unbeständig. Dementsprechend sind auch die ge-

Zahlentafel 2

Bombenalterung eines aromatischen und eines paraffinischen Benzins
(gebleit und ungebleit)

Kraftstoff	Gehalt an BTA	Alterung h	Harzgehalt mg 100		Gesamtes zerstörtes BTA	Ein- leitungszeit min.
	Vol. %		DVL	Konv. Aufarbeitung	o.	
Synthetisch aromatisch	0	—	—	0	—	—
	—	4	—	1	—	> 240
	0,1210	—	—	1	—	—
	—	4	7	30	35,0	225
Paraffinisch (Natur-Bi)	0	—	—	2	—	—
	—	4	—	2	—	> 240
	0,1205	—	—	2	—	—
	—	4	2	2	3,7	> 240

sättigten und gut raffinierten Flugbenzine natürlicher und synthetischer Herkunft gebleit und ungebleit beständig. Aromatische Kraftstoffe, wie Motorenbenzol und synthetische Benzine, neigen bisher in höherem Maß zur Alterung; die Entwicklung wird dies aber wohl beheben. Zwei typische Beispiele der Alterung eines paraffinischen und eines aromatischen Benzins zeigt die Zahlentafel 2. Man sieht, daß das für sich beständige aromatische gebleite Benzin starke Erhöhung des Harzgehaltes und Bleierstörung ergibt, während das paraffinische Benzin auch gebleit beständig bleibt. Die Alterung ist sehr verwickelt: Der Luft-sauerstoff greift wohl zuerst den Kraftstoff an und wird dann auf das Blei übertragen. Das anoxydierte Blei beschleunigt wieder die Kraftstoffoxydation. Wie Versuche der DVL zeigten, kann man durch geeignete Zusätze, die die anoxydierten Bleiverbindungen komplex binden, die gesamte Alterung weitgehend zurückdrängen. Solche Verbindungen sind z. B. Säuren, Amine, Phenole und andere komplexbildende Stoffe. Sie wirken bei verschiedenen Kraftstoffen verschieden, ja selbst bei ein und demselben Kraftstoff, je nachdem, ob er frisch oder schon angealtert

Zahlentafel 3

Steigerung der Alterungsbeständigkeit verbleiteter Benzine durch Hemmstoffe

Kraftstoff	Gehalt an BTA Vol. %	Hemmstoff	Nach 4 h-Alterung im Bombenofen bei 100° C		
			Harzgehalt mg/100		Gesamt. zerst. BTA %
			DVL-Auf- arbeitung	Konv. Auf- arbeitung	
1	0,1190	—	19,2	47,4	52,9
		0,0040 Vol. % H. 1	2,3	8,3	12,4
	0,1170	0,0055 Vol. % H. 2	2,7	7,2	11,7
2	0,1180	—			82,3
		0,001 Gew. % H. 3			2,10
		0,002 Vol. % H. 4			2,55

ist. Die erforderlichen Zusatzmengen sind sehr gering (0,01 bis 0,001 %). Bei Vermischung von Benzin mit »unverträglichen« Zusätzen kann das Mischprodukt schlechter als jeder Einzelbestandteil sein. Beispiele für die durch Zusätze erzielbare Verbesserung zeigt nach Versuchen der DVL die Zahlentafel 3. Genauere Kenntnis des Reaktionsablaufes wäre sehr wichtig.

Die Rückstandsbildung wirkt sich unmittelbar im Kolbenringstecken und im Übergang von Ruß und asphaltischen Stoffen in das Schmieröl aus, wodurch Verschlammung, Störung des Ölkreislaufs und auch wieder Ringstecken verursacht werden kann. Verschärfte Raffination (Entfernung bestimmter schädlicher Anteile) kann die Rückstandsbildung verringern. Andere Mittel der Herstellung gibt es derzeit nicht. Aromaten neigen bisher mehr zur Rückstandsbildung als Isoparaffine.

Korrosion der Ventile wird durch zu hohe Betriebstemperaturen und übermäßigen Bleigehalt verursacht. Verwendung klopfesterer Benzine mit weniger Blei sowie in geringem Ausmaß Begrenzung des Aromatengehalts sind die Abhilfen; andere gibt es herstellungsgemäß nicht. Weitere Unterlagen über die Temperaturbeanspruchung der Werkstoffe durch die Kraftstoffe sind erforderlich.

c. Chemisch-physikalische Eigenschaften

Brandsicherheit ist erzielbar durch Höherlegung des Flammpunktes (höhere Siedelage) und Verwendung von Stoffen mit geringer Selbstzündungsneigung sowie engen Zündgrenzen. Bei den jetzt üblichen Kraftstoffen sind die Unterschiede der einzelnen Stoffe gering, nur die Selbstentzündungstemperatur der Aromaten liegt erheblich über jener der anderen Benzine. Herstellungsmäßig ist hier nicht viel zu erwarten.

4. Verwendungsmäßige Erfüllung der Anforderungen¹⁾

a) Physikalisches Verhalten: Dampfblasenbildung kann allgemein dadurch vermieden werden, daß man die Temperatur senkt oder den Druck erhöht. Saugdruck der Förderpumpen, Druck in der Vergaserdüse, Druck im Tank müssen so liegen, daß der Dampfdruck nicht überschritten wird. Ähnliches gilt für die Temperatur; unter Umständen wird Vorkühlen des Kraftstoffes notwendig. Rohrknicken, in denen sich

¹⁾ Inwiefern die besprochenen Möglichkeiten zu verwirklichen sind, soll hier nicht erörtert werden.

Luftsäcke bilden können, sind zu vermeiden. Luftscheider sind anzuwenden. — Schmierölverdünnung ist dadurch zu beheben, daß man möglichst armes Gemisch fährt, Kaltstart tunlichst vermeidet oder auf kürzeste Zeit beschränkt und darauf achtet, die Öltemperaturen möglichst hoch zu halten. Bessere Abdichtung der Kolbenringe kann auch helfen, wenn die Kolbensmierung dabei gut bleibt. — Unzureichende Kältebeständigkeit wird erreicht, indem man über der kritischen Temperatur bleibt; auch durch richtige Ausbildung der Filter (Verhinderung des Verstopfens durch Wasser und Schnee) ist etwas zu erreichen.

b) Chemische Eigenschaften: Mit einem ungenügend kloppfesten Kraftstoff kann man nur ausnahmsweise die Leistungen eines besseren Kraftstoffes erzielen. Anreichern des Gemisches oder Zurücknehmen der Zündung sind entsprechende Maßnahmen. Bei Motoren mit Einspritzpumpenregelung ist dies schon schwierig, praktisch unmöglich wird es bei Vollkommandogeräten, die für einen bestimmten Kraftstoff auf Druck, Temperatur, Drehzahl usw. eingestellt sind. Für diesen Fall ist ein Zweistoffverfahren interessant (Anilinalkohol, 80%iger Alkohol, 0,12% Blei), weil es die Verwendung ungeeigneter Kraftstoffe ermöglicht, bei Versorgung mit brauchbaren Kraftstoffen aber ohne weiteres ausgeschaltet werden kann. Durch Anwendung anderer Arbeitsverfahren, wie der aufgeteilten Einspritzung von F. A. F. Schmidt oder des R-Verfahrens der I. G. (Penzig), ist wohl auch viel zu erreichen. Ob aber Unterschiede der Kraftstoffe damit ganz verschwinden, steht noch dahin.

Der Verbrauch ist zwar als Funktion des Heizwertes stofflich bedingt, kann aber auch durch zweckmäßige Verwendung gesenkt werden. Bei besserer Kloppfestigkeit kann man z. B. die Verdichtung erhöhen oder weiter vermagern.

Die Lagerbeständigkeit wird erhöht durch niedrige Temperaturen, Luftabschluß und Abwesenheit katalytisch wirkender Stoffe. Kühle Lagerung, guter Luftabschluß, Vermeidung von Wasserzutritt, geeignete Behälterbaustoffe und Vermeidung öfteren Umfüllens fördern die Haltbarkeit des Benzins.

Rückstandsbildung durch Kraftstoffe wird durch Fahren mit magerem Gemisch im allgemeinen zurückgedrängt; ob man durch Fahren bei höherer oder niedriger Temperatur eine Verringerung erzielen kann, ist stark vom Einzelfall abhängig.

Ventilkorrosion kann vor allem dadurch bekämpft werden, daß man die Temperaturen des Zylinders niedrig hält, also entweder mög-

lichst wenig Volleistung fährt oder reiches Gemisch verwendet. Konstruktiv ist gute Kühlung der Ventile selbst, insbesondere gute Wärmeabfuhr über den Ventilschaft, notwendig.

c) Chemisch-physikalische Eigenschaften: Brandsicherheit wird erreicht durch Vermeidung der Bildung explosibler Gemische (Druck und Temperatur im Tank berücksichtigen!), Leckverluste, Entlüftungen (Verwendung inerte Schutzgase), Ausschaltung von Zündmöglichkeiten (elektrische Leitungen, Auspuffrohre), Einbau geschützter und abwerfbarer Tanks sowie Schnellablaßventile.

5. Versorgungsnotwendigkeiten und ihre Auswirkung auf Flugbetrieb und Kraftstofforschung

a. Derzeitige Lage auf dem Gebiet

(Versorgungswünsche der Luftfahrt)

Wie schon erwähnt, unterscheiden sich die Anforderungen der Verkehrs- und der Militärluftfahrt stofflich nur wenig voneinander, während die zusätzlichen Anforderungen starke Unterschiede aufweisen. Am besten ist dies aus einer Gegenüberstellung ersichtlich:

Zahlentafel 3

Versorgungswünsche der Verkehrs- und der Militärluftfahrt

Anforderung	Verkehrsluftfahrt	Militärluftfahrt
Beschaffbarkeit:		
a) Mengen:	verhältnismäßig klein	groß
b) Herkunft:	gleichgültig	Inland
Einheitlichkeit:	individuell nach Fluglinien, Flughäfen, Motoren	für den gesamten Bereich
Preis:	möglichst niedrig	gleichgültig ¹⁾
Flugleistung:	beste Wirtschaftlichkeit	beste Flugzeugleistung
Verwendbarkeit:	in einzelnen Klimaten, mit dem Streben, überall brauchbare Stoffe zu erhalten	überall brauchbare Stoffe, nur im Notfall Sonderkraftstoffe

¹⁾ sofern nicht darin erschwerte Beschaffbarkeit im Inland zum Ausdruck kommt!

Die Verkehrsluftfahrt ist in ihren Anforderungen elastischer und fügt sich mehr den gegebenen Verhältnissen an. Die Militärluftfahrt dagegen hat vordringliche Forderungen, so daß sie die Versorgung ihren Wünschen gemäß gestaltet. Ihre Forderungen sind allerdings nicht immer gleichsinnig. Beschaffbarkeit, Einheitlichkeit und Verwendung unter allen Betriebsverhältnissen sowie Einheitlichkeit und beste Flugleistung sämtlicher Flugzeugarten sind nur unter besonderen Verhältnissen vereinbar, denn gerade leistungsmäßig bedeutet dies, daß für den gesamten Bereich der Militärluftfahrt Kraftstoffe mit höchstem Heizwert und mit höchster Klopffestigkeit, d. h. isoparaffinische Kraftstoffe, geliefert werden müßten.

b. Beschaffbarkeit der Kraftstoffe

Flugkraftstoffe müssen im autarken Bereich hergestellt werden; Einfuhr aus dem Ausland soll möglich sein, ebenso wie Verwendung von Beutekraftstoff. Bei 87er Kraftstoffen ist dies nicht bedenklich, wird aber anders bei Hochleistungskraftstoffen.

Bei genügender Zahl der Herstellungsanlagen kann man wohl den technisch am leichtesten herstellbaren Kraftstoff verwenden, selbst wenn er sich stark von dem anderer Staaten unterscheidet. Verteilung der Anlagen ist zur Erleichterung des Transportes vorteilhaft. — Importkraftstoff sollte möglichst ohne Veränderung verwendbar sein. Unterscheidet er sich vom autarken Kraftstoff sehr, so ist dies schwierig oder unmöglich. — Das gleiche gilt für Beutekraftstoff anderer Länder (möglicher Gegner).

Zur Beurteilung dieser Fragen wäre es wichtig zu wissen, in welchem Ausmaße Streuungen der Qualität von Import- bzw. Beutebenzin für den Betrieb der Motoren zulässig sind oder besser, welches Ausmaß sie bei extremen Fällen der Versorgung erreichen können. Die Verwendung würde dann dafür sorgen müssen, daß mit Kraftstoffen, deren Eigenschaften in diesem Umfang streuen, volle Leistung der Motoren erzielt wird. Allerdings sind diese Überlegungen hinfällig, wenn man sich versorgungsmäßig ganz auf die eigene Produktion stützt.

c. Einheitlichkeit der Kraftstoffe

Im Sinne der Einheitlichkeit haben Frankreich und England je einen Kraftstoff der Klasse 87 (85 bzw. 87 OZ), England eine für 100er Kraftstoff; in USA waren merkwürdigerweise in Heeres- und Marineflugfahrt 6 etwas verschiedene Kraftstoffe. Besonders interessant ist die Lage in

Rußland, wo noch die 1940 erschienenen Lieferbedingungen 6 verschiedene Oktanzahlen und Siedeverläufe je nach Herkunft des Benzins vorschrieben. Selbst ein mit Erdöl gesegnetes Land bleibt also an die naturgegebene Qualität des Erdöles gebunden, vielleicht, weil die industrielle Rüstung mangelt.

In Deutschland gibt es nur mehr 87- und 100er Kraftstoffe, die Vereinheitlichung ist also weitgehend verwirklicht worden. Die Klopfgrenzkurven verschiedener Hochleistungskraftstoffe zeigt die Abbildung 2, wie sie bei der DVL im vom RLM dafür vorgesehenen BMW 132-Einzyelmotor bestimmt wurden. Da die Entwicklung und Versorgung sich auf diese Prüfweise stützt, muß ihre Zuverlässigkeit und allgemeine Anwendbarkeit stets von neuem geprüft werden. Die Prüfung ist nicht einfach, durch genaue Kontrolle werden aber recht brauchbare Werte erhalten, wie Abbildung 7 zeigt. Bei den Streuungen muß man bedenken, daß die

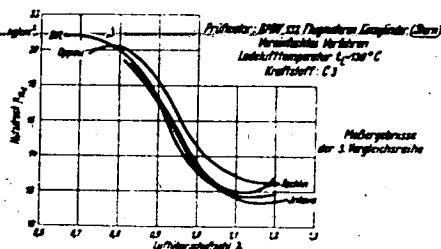


Abb. 7
Klopfgrenzkurven von vier verschiedenen Prüfstellen nach dem
DVL-Überladeprüfverfahren

Vollmotoren selbst derselben Bauart noch mehr streuen werden, wenn schon sorgfältigst überwachte Einzylindermotoren nicht genau übereinstimmen. Unterlagen aus dem Betrieb mit Vollmotoren wären dringendst erwünscht. Denn wenn man auf der einen Seite die Streuungen der Kraftstoffe weitgehend verringert und sogar einen Einheitskraftstoff anstrebt, muß auf der anderen Seite bekannt sein, wie Motoren derselben Baureihe streuen. Aber das Prüfverfahren soll nicht nur für einen einzigen Motor gelten, sondern für alle im Flugbetrieb verwendeten. Daß diese eigentlich selbstverständliche Forderung nicht schon längst über-

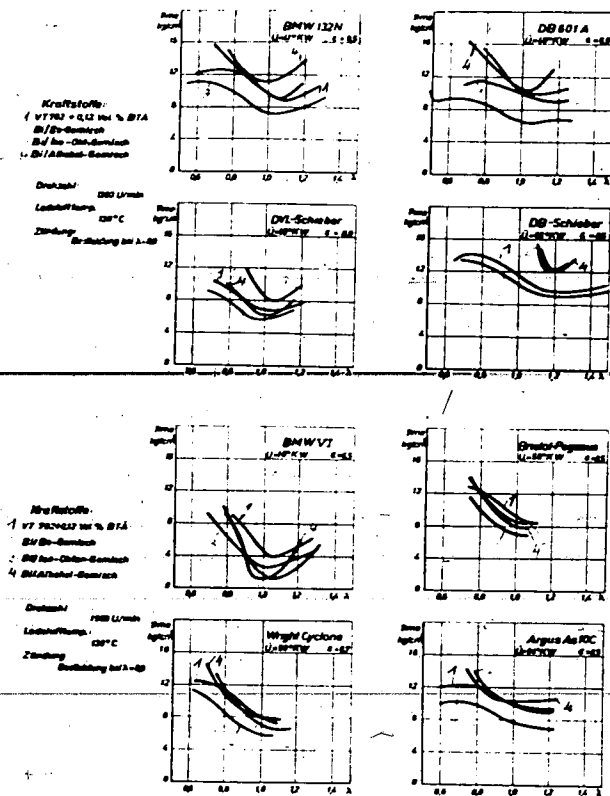


Abb. 8 a u. b

Klopfgrenzkurven vier typischer Kraftstoffe (Oktanzahl 87) in verschiedenen Motoren

prüft wurde, ist durch die Schwierigkeit der Untersuchung im Vollmotor verursacht. In Einzylindermotoren verschiedener Bauart ergaben sich bei der DVL für vier typisch verschiedene 87er Kraftstoffe die in den Abbildungen 8a und b gezeigten nicht sehr erfreulichen Ergebnisse. Die Reihenfolge der Bewertung in den Motoren ist sehr verschieden. Die Kraftstoffe waren nun von stark verschiedenem Aufbau; welches die Unterschiede sind, wenn man praktisch in Frage kommende Unterschiede in Betracht zieht, und wie es bei der Klasse 100 OZ aussieht, wird derzeit in der DVL untersucht. Da ein wirklicher Einheitskraftstoff auch unter allen klimatischen Verhältnissen gebraucht wird, müssen die Versuchsbedingungen sie auch berücksichtigen. Ergibt die Untersuchung abweichendes Verhalten der Motoren, so müßten sie entsprechend abgeändert werden, wenn sie den Einzelkraftstoff verwenden sollen. Andernfalls müssen sie geeigneten Kraftstoff bekommen.

6. Wirtschaftliche Gesichtspunkte für die Forschung

Die Verkehrsluftfahrt der Zukunft wird voraussichtlich, falls nicht staatliche Regelungen eingreifen, die Kraftstoffe nach dem Preis kaufen. Billigste Energie ist nach wie vor die in Kohle und Erdöl aufgespeicherte Sonnenenergie, deren Vorräte so groß sind, daß man sich über andere Quellen bisher wenig Gedanken machte. Immerhin sind Angaben gemacht worden, nach denen mit vermehrter Herstellung von Alkohol aus landwirtschaftlichen Produkten zu sehr niedrigerem Preise (8 bis 9 Pf/kg) zu rechnen ist, der als Autokraftstoff eine Rolle spielen kann. Zur Verwendung als Flugkraftstoff müßte er erst umgeformt werden und wird dann teurer sein als Umwandlungsprodukte des Erdöles, vielleicht auch der Kohle. Die aus der Kohle gewonnenen Stoffe sind teurer als die aus Erdöl gewonnenen, weil die Verarbeitung teurer ist; trotzdem wird man versuchen müssen, den Preisunterschied soweit als möglich zu verringern, so gering auch die Aussichten sind, sie ganz ausgleichen zu können. Vergleicht man die Kosten für die Herstellung von Aromaten und Isoparaffinen aus Kohle, so liegt der Vorteil entschieden bei den Aromaten. Genauere Unterlagen für die Herstellungskosten der verschiedenen Verfahren werden aber wohl erst in Zukunft zugänglich sein. Mit der Ausweitung des Luftverkehrs spielt auch in der Verkehrsluftfahrt die Einheitlichkeit eine erhöhte Rolle.

7. Folgerungen

a. Notwendigkeit grundsätzlicher Regelung der Gesamtplanung

Die Arbeit auf dem Gebiet der Otto-Kraftstoffe hat gezeigt, daß die Kraftstoffherstellung und Verwendung in inniger Wechselwirkung stehen, so daß Änderungen der einen entsprechende Änderungen der anderen bedingen. Da aber beide Gebiete einen sehr großen Umfang und damit große innere Trägheit besitzen, ist jede Umstellung schwierig. Um diese zu vermeiden, müssen die Bedingungen auf lange Sicht festgelegt werden, und zwar gilt dies ganz allgemein, nicht nur für Otto-Kraftstoffe: dazu sind folgende Punkte wesentlich:

1. Empfindlichkeit des Arbeitsverfahrens und der Arbeitsmaschine gegen Änderung der Kraftstoffeigenschaften,
2. Festlegung der Bezugsquellen, die berücksichtigt werden sollen,
3. Entscheidung, ob ein Einheitskraftstoff, mehrere Einheitskraftstoffe oder Kraftstoffe verschiedener Eigenschaften verwendet werden sollen.

b. Herstellung der Kraftstoffe

Die Herstellung braucht besonders die motorische Leistungscharakteristik der Kraftstoffe. Einhaltung der Mindestqualität bzw. der zulässigen Streuung der Qualität ist die Hauptforderung des Augenblicks. Für die Zukunft erscheint Verbilligungsmöglichkeit der Isoparaffinherstellung interessant, ebenso unter Umständen die Entwicklung geeigneter Stoffe für ein Zweikraftstoffsystem. Herstellung alterungsbeständiger Aromaten ist weiter zu entwickeln. Hemmstoffe sind gleich nach der Herstellung zuzusetzen. Der Bleigehalt ist durch Verbesserung der Klopfestigkeit der Kraftstoffe zu verringern.

c. Verwendung

Die Anpassung der Motoren an gegebene Kraftstoffe (»Einheitskraftstoff«) ist vorzunehmen, überdies aber die Verwendungsmöglichkeit verschiedener Kraftstoffe zu prüfen. Die Streuungen von Vollmotoren derselben Baureihe sind zu messen. Das Verhalten der Kraftstoffe ist auch bei sehr verschiedenen klimatischen Bedingungen zu prüfen. Die Möglichkeiten eines Zweistoffsystems sind unter Umständen zu unter-

suchen. Motoren für Betrieb mit reinen Aromaten sind zu entwickeln. Kraftstoffunempfindlichkeit ist anzustreben. Neue Arbeitsverfahren sind nach den Grundsätzen, die unter 1 erörtert wurden, in dieser Richtung zu untersuchen.

d. Forschung

Der Chemismus der Alterung ist zu klären, damit die wissenschaftliche Grundlage zur geeigneten Herstellung beständiger Kraftstoffe geschaffen wird. Die Laboratoriumscharakteristik des Klopfverhaltens der Kraftstoffe ist weiter auszubauen (Zündverzugsmessungen), die physikalische Charakteristik der Motoren zu erzielen, und zwar sowohl nach dem Einfluß der Konstruktion wie der Betriebsbedingungen. Wärmeübergang in Abhängigkeit von Ventilüberschneidung, Überladung, Ansauglufttemperatur, volumetrischer Wirkungsgrad und Bedeutung der Restgase sind zu untersuchen. Die Abstimmung der Laboratoriums- und der Motorcharakteristik der Kraftstoffe ist vorzunehmen. Dazu muß die Allgemeingültigkeit der Überladeprüfung weiter geprüft werden und versucht werden, sie weiter zu verbessern oder ihre Möglichkeiten abzugrenzen. Die zulässigen Streuungen des Kraftstoffes müssen festgelegt werden. Die Rückstandsbildung aus Kraftstoffen im Motor ist weiter zu untersuchen, um sie zu verringern. Die Auswirkung verschiedener Kraftstoffe auf die Werkstoffe ist zu untersuchen.