

Die Messung des Klopfnens von Ottokraftstoffen

Von Ing. F. JANTSCH

Technischer Prüfstand Oppau, 1. G. Farbenindustrie A.-G., Ludwigshafen (Rhein)

Nach den thermodynamischen Grundlagen des Otto-Verfahrens ist eine Leistungssteigerung oder eine Verbrauchsverminderung durch Anwendung höherer Verdichtungsgrade zu erzielen. Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß ein Kraftstoff verbrannt wird, der den damit verbundenen höheren Drücken und Temperaturen zu widerstehen vermag, ohne zu „klopfen“. Diese Widerstandsfähigkeit des Kraftstoffs gegen das Klopfen, seine Klopfestigkeit, muß also bekannt und messbar sein.

Diese Meßbarkeit ist dabei nicht nur für den Maschinenbauer von Bedeutung, der seine Motoren auf gegebene Kraftstoffe abstimmen muß, in gleichem Maße benötigen die Hersteller von Kraftstoffen und die Kraftstoffforschung zuverlässige Angaben über die Klopfestigkeit ihrer Erzeugnisse und Proben. So kann z. B. bei der Herstellung der Anfall von klopfesten Anteilen nicht ausreichend sein und eine Nachbehandlung oder der Zusatz von klopfhindernden Stoffen erforderlich werden. Dies wird aus Gründen der Wirtschaftlichkeit nur bis zur Erzielung der erforderlichen Klopfestigkeit getrieben. Ebenso wird die Einführung neuer Herstellungsverfahren vielfach von der Klopfestigkeit ihrer Erzeugnisse bestimmt. Schließlich hat der Kraftstoffvertrieb erst auf Grund genauer Klopfestigkeitsmessungen die Möglichkeit, vorhandene Bestände, gegebenenfalls durch Mischung, wirtschaftlich und den Anforderungen der Motoren gemäß richtig zu verteilen. Nicht zuletzt wird auch die staatliche Lenkung von Erzeugung und Verteilung die Klopfestigkeit der vorhandenen Kraftstoffe berücksichtigen müssen.

So dringend also genaue und zuverlässige Verfahren der Klopfmessung gebraucht werden, so schwierig ist ihre Ausarbeitung. Die Schwierigkeiten haben ihren Grund sowohl in der Erscheinung des Klopfens selbst als auch in der Übertragbarkeit der Meßergebnisse auf die Fahr- und Flugpraxis.

Die Aufgaben der Klopfmessung.

Das Kraftstoffklopfen ist eine ungeregelte Form der Verbrennung, mit der sich eine plötzliche Drucksteigerung unter entsprechender Temperaturerhöhung im Verbrennungsräum verbindet. Dieser Vorgang wird sowohl vom Kraftstoff als auch vom Motor und seinen Betriebsbedingungen beeinflußt¹⁾. Die Wechselwirkungen zwischen Kraftstoff und Motor erschweren die Klopfmessung bedeutend.

Sie kann entweder vorhandenes Klopfen der Stärke oder den Auswirkungen nach ihren Verfahren zugrunde legen oder den Betriebszustand feststellen, bei dem Klopfen eben noch verhindert wird. Hierfür braucht sie als Meßgrundlagen verschiedene Auswirkungen des Klopfens im Motor, die einer Messung mit bekannten Meßmitteln zugänglich sind, z. B.:

1. Das Geräusch des Klopfens, das durch Schwingungen der eingeschlossenen Gasmenge im Zylinder zustande kommt und vom Ohr als harte metallische Schläge wahrgenommen wird.
2. Die Drucksteigerung der klopfenden Verbrennung im Vergleich zu klopfenfreiem Betrieb.
3. Die Temperaturerhöhung des klopfenden Motors gegenüber klopfenfreier Verbrennung.
4. Der Leistungsverlust, der beim Klopfen bestimmter Stärke auftritt.
5. Die höchste Verdichtung oder Überladung, die eben noch klopfenfreie Verbrennung erlaubt oder eine bestimmte Klopfstärke ergibt.
6. Diejenige Vorzündung, die noch klopfenfreien Betrieb ermöglicht.

Voraussetzung für die Anwendung dieser Meßgrundlagen ist natürlich, daß ein bestimmter Motor unter geeigneten Betriebsbedingungen zur Messung herangezogen und als Maßstab ein Kraftstoff verwendet wird, dessen Klopfestigkeit durch Vereinbarung festgelegt ist. Diese Forderung führt zum genormten Prüfmotor mit festgelegten Betriebsbedingungen und Bezugskraftstoffen.

Von den angeführten Möglichkeiten, eine Meßgrundlage aus den Betriebsercheinungen des Motors zu gewinnen,

wurde zunächst die Zündstellung benutzt. Sie läßt sich an einem gegebenen Motor am einfachsten verändern und erlaubt, unmittelbar am Fahrzeug die Messung durch Abhören des Klopfbeginns vorzunehmen. Da jedoch der Klopfbeginn mit dem Ohr wegen der übrigen Motorgeräusche nur unsicher festzustellen ist, weil ferner die Messung vom Ohr des Beobachters abhängt und bei Mehrzylindermotoren der Klopfbeginn für den einzelnen Zylinder verschieden liegt, wurde diese Art der Klopfmessung bald verworfen. An ihre Stelle trat nach einem Vorschlag von H. R. Ricardo²⁾ der eigens für Klopfmessungen konstruierte Einzylinderprüfmotor mit veränderlicher Verdichtung, der unter festgelegten Betriebsbedingungen arbeitete, in Verbindung mit Mischungen aus einem klopfenden (aromatenfreies Benzin) und einem klopfesten Anteil (Toluol). Ricardo hatte damit die Grundlagen für die heute fast ausschließlich angewandte Art der Klopfmessung vorgeschlagen und ihre Brauchbarkeit durch Versuchsreihen nachgewiesen. Nach seinen Vorschlägen wurde das höchste zulässige Verdichtungsverhältnis (H. U. C. R. = highest useful compression ratio), das ohne Klopfgeräusche eingehalten werden kann, durch Veränderung der Verdichtung während des Betriebes bestimmt. Hierbei wurde die Kraftstoffprobe verglichen mit einer Mischung aus aromatenfreiem Benzin und Toluol, das im Motor die gleiche Verdichtungseinstellung erlaubt. Maß für die Klopfstärke war dann der Gehalt der Vergleichsmischung an Toluol in Raumprozent, der sog. Toluolwert. Er war die erste Meßzahl, die die Klopfestigkeit von Kraftstoffen vergleichbar machte.

Die weitere Entwicklung der Prüfmotoren führte in Amerika über den Delco- und Armstrong-Motor zum CFR-Motor, in Deutschland zum I. G.-Prüfmotor. Der Toluolwert von Ricardo wurde inzwischen durch Klopfwerte synthetisch hergestellter Kohlenwasserstoffe bzw. die Oktanzahl ersetzt (vgl. hierüber w. u.).

Mit der Schaffung von Prüfgeräten und -kraftstoffen war die Aufgabe der Klopfmessung nur zu einem Teil gelöst. Der schwierigere und heute noch nicht abgeschlossene Abschnitt der motorischen Kraftstoffprüfung umfaßt die Abstimmung des Meßverfahrens auf die Bedingungen, unter denen der Kraftstoff im Motor des Verbrauchers verwendet wird. Wie unterschiedlich diese sein können, zeigt z. B. der Vergleich eines üblichen wassergekühlten Personenkraftwagens mit einem neuzeitlichen luftgekühlten Flugmotor mit Kraftstoffeinspritzung und Überladung. Um hier eine Bewertung der Kraftstoffe im Prüfmotor zu erzielen, die mit dem tatsächlichen Verhalten unter den Bedingungen der Praxis möglichst gut übereinstimmt, wurden verschiedene Vorschläge gemacht, von denen einige weiter unten behandelt sind.

Die Klopfmessung von üblichen Autokraftstoffen ist zu einem gewissen Abschluß gekommen. Dem steht jedoch eine durch Vielfalt der Prüfbedingungen, -motoren und -verfahren gekennzeichnete lebhafte Entwicklung der Prüfung von Flugkraftstoffen gegenüber, weil nämlich jene hinsichtlich ihrer Klopfestigkeit mittels der Oktanzahl, also einem einzigen Kennwert, charakterisiert werden können, die sich mit dem Verhalten der Kraftstoffe in der Fahrpraxis ziemlich in Übereinstimmung bringen läßt, für Flugkraftstoffe aber eine befriedigende Abstimmung bisher nicht gefunden werden konnte. Näheres darüber ist im Abschnitt „Der Ersatz der Oktanzahl“ ausgeführt.

Die Prüfmotoren.

Für die Klopfmessung werden heute ausschließlich Einzylinder-Viertaktmotoren verwendet, deren Verdichtung während des Betriebes verändert werden kann. Den grundsätzlichen Aufbau eines solchen Motors zeigt Abb. 1. Gegenüber dem feststehenden Kurbelgehäuse mit dem Triebwerk (Kurbelwelle, Pleuel und Kolben) kann mittels eines Schneckentriebes der Zylinder (im Bild durch schwarze Farbe hervorgehoben) verschoben werden. Dadurch verändert sich das Volumen des Verbrennungsräumes und damit das Verdichtungsverhältnis. Die beiden Endstellungen mit niedrigster bzw.

¹⁾ Vgl. hierzu z. B. W. Jost: Explosions- und Verbrennungsvorgänge in Gasen, Jul. Springer, Berlin 1932; vgl. dazu auch Jost: „Verbrennungsvorgänge in Gasen“, diese Zeitschr. 51, 687 [1938]. F. Spauska: Treibstoffe für Verbrennungsmotoren, Jul. Springer, Wien 1939. F. Jantsch: Kraftstoff-Handbuch, Franckh, Stuttgart 1941.

²⁾ Schnellaufende Verbrennungsmaschine, Dtsch. Übersetzg. u. Bearbeitg. v. A. Werner u. P. Friedmann, Julius Springer, Berlin 1926.

höchster Verdichtung sind in der Abbildung dargestellt. Damit die Steuerung des Motors in allen Stellungen einwandfrei arbeitet, wird durch ein Lenkergestänge die Lagerung des Schwinghebels der Steuerung entsprechend verschoben.

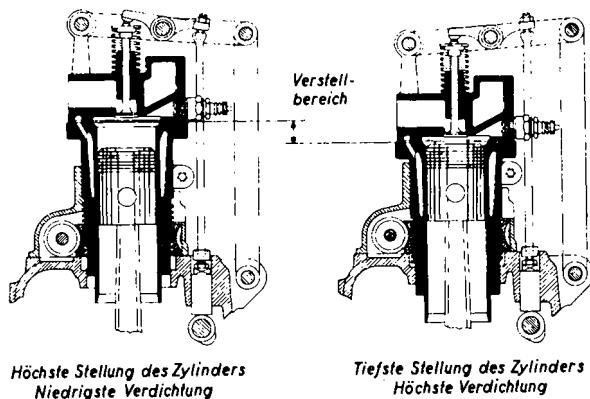


Abb. 1. Motor mit veränderlicher Verdichtung.

Kurzschlußläufer. Dieser bildet zugleich Belastung während des Betriebes und Antrieb beim Ingangsetzen. Das Verdichtungsverhältnis kann mittels Kurbel und Schnecke verändert (vgl. Abb. 1) und an einer Trommel abgelesen werden. Eine zweite Ein teilung der Trommel zeigt die angenäherte Oktanzahl an, wenn sie entsprechend dem jeweils angewandten Meßverfahren eingeteilt wird. Der Vergaser besitzt drei Schwimmergehäuse, die wahlweise auf die gemeinsame Düse geschaltet werden können. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch kann durch Veränderung des Kraftstoffstandes im Schwimmergehäuse in seiner Zusammensetzung verändert, ferner durch elektrische Beheizung im Saugrohr bis auf 150° erwärmt werden³⁾.

Die Messungen nach den anerkannten Verfahren (s. u.) schließen auch die Messung der Klopfstärke ein. Für diesen Zweck ist eine Klopfmeßanlage eingebaut, die aus einem Springstiftgerät, einem Thermo umformer und dem Anzeigegerät (Klopfmesser) besteht. Das Springstiftgerät sitzt unmittelbar am Zylinderkopf des Prüfmotors und trägt eine Stahlmembrane, die unter den Verbrennungsdrücken sich durchbiegt. Bei klopfender Verbrennung tritt die Durchbiegung erheblich beschleunigt auf. Dadurch wird der frei bewegliche, auf der Membrane ruhende Springstift nach oben geworfen und ein Kontakt, den er oben trägt, gegen einen Gegenkontakt gedrückt. Der Abstand der beiden Kontakte ist so gewählt, daß er bei klopfreier Verbrennung nicht überwunden wird.

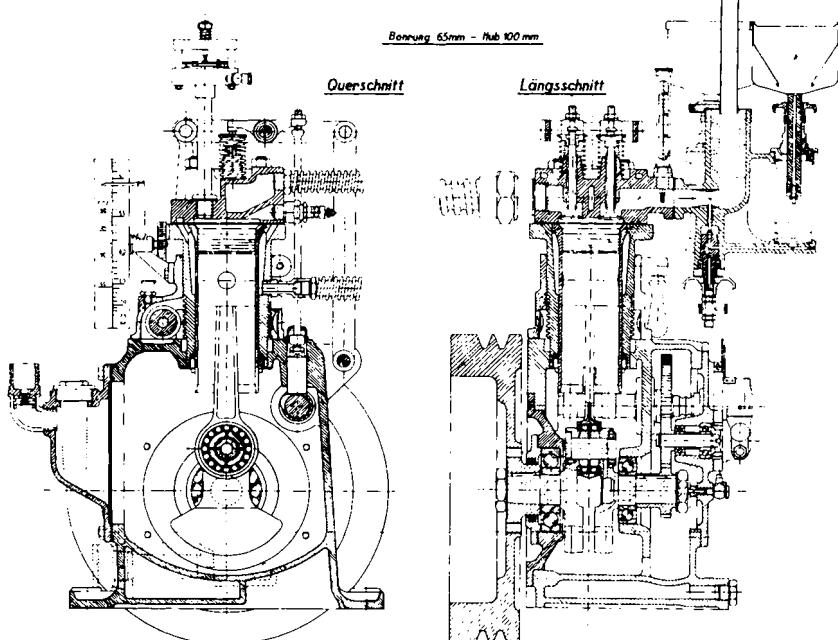


Abb. 2. I. G.-Prüfmotor, Schnitte.

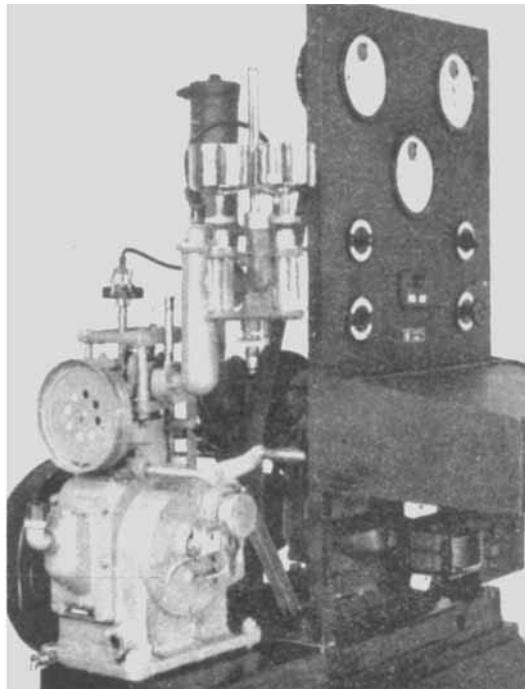


Abb. 3. I. G.-Prüfmotor.

Von den verschiedenen Motoren dieser Art sind zwei Bauarten hente als Prüfmotoren anerkannt, und zwar

der I. G.-Prüfmotor, von dem Technischen Prüfstand der I. G. Farbenindustrie A.-G. entwickelt und in Deutschland amtlich anerkannt durch den Erlass des Reichs- und Preußischen Verkehrsministers K 4/2071 vom 25. März 1938, und

der CFR-Motor, hervorgegangen aus einer Gemeinschaftsarbeit amerikanischer Kraftstoff- und Motorenfachleute (Cooperating Fuel Research).

Die Abmessungen beider Motormuster sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1. Abmessungen anerkannter Prüfmotoren.

Motor	I. G.-Prüfmotor	CFR-Motor
Konstruktion ...	Techn. Prüfstand Oppau, I. G. Farbenindustrie A.-G., Ludwigshafen a. Rh.	Cooperative Fuel Research Committee of the American Society of Automotive Engineers
Hersteller	Daimler-Benz A.-G., Mannheim	Waukesha Motor Comp., Waukesha, Wisconsin (U.S.A.)
Bohrung mm	65	82,6
Hub mm	100	114,2
Hubraum cm³	332	610
Verdichtung	4 : 1 bis 10 : 1	4,6 : 1 bis 12 : 1

Der I. G.-Prüfmotor wird überwiegend in Deutschland, außerdem auch in einzelnen Prüfstellen Europas verwendet, während der CFR-Motor vor allem in Amerika und den übrigen kraftstoff erzeugenden Ländern anzutreffen ist.

Der I. G.-Prüfmotor, den Abb. 2 im Schnitt, Abb. 3 in der Ansicht zeigen, ist gekuppelt mit einem gekapselten Drehstrom-

Jede Kontaktberührung schließt den Stromkreis der Klopfmeßanlage (Abb. 4) und löst einen Strom aus, der im Thermo umformer einen Hitzdraht erwärmt. Die Drahttemperatur wird

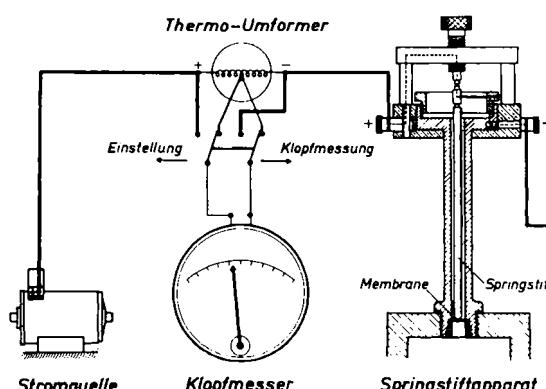


Abb. 4. Klopfmeßanlage zum I.G.-Prüfmotor.

durch ein Therinoclement gemessen, dessen zugehöriges Voltmeter als Klopfmesser auf der Schalttafel des Prüfmotors angebracht ist.

³⁾ E. Singer: Klopfwerkbestimmung am I. G.-Prüfmotor, Anleitung und Betriebsvorschrift, Ausgabe C, herausg. v. Techn. Prüfstand Oppau, I. G. Farbenind. A.-G., Ludwigshafen a. Rhein.

Die Meßstoffe.

Das obenerwähnte Verfahren von *Ricardo* ist auch heute beibehalten, nur treten an Stelle der dabei verwendeten Anteile andere Kraftstoffe. Das aromatenfreie Benzin *Ricardos* und auch andere ausgewählte Benzine eignen sich als Meßstoffe nicht, weil sie in viel zu geringen Mengen vorhanden sind und, wie die meisten Benzine, bei längrem Lagern Änderungen unterworfen sein können, die auch die Klopffestigkeit beeinflussen. Toluol wurde verlassen, weil es unzweckmäßig erschien, mit einem Aromat zu messen, das in handelsüblichen Benzinen überhaupt nicht vorkam.

Deshalb konnte sich der von *Edgar* 1932 gemachte Vorschlag überall rasch durchsetzen, wonach als Eichstoffe zu Klopfmessungen chemisch reine Stoffe, und zwar zwei paraffinische Kohlenwasserstoffe, n-Heptan als kloppfreudiger, iso-Oktan (2,2,4-Trimethyl-pentan) als klopfeste Komponente verwendet werden sollen, wobei n-Heptan den Punkt 0, iso-Oktan den Punkt 100 einer Klopfwertleiter bildet. Diese beiden Urbezugskraftstoffe, deren Kennwerte

Tabelle 2. Kennwerte für iso-Oktan und Normal-Heptan.

	iso-Oktan (2,2,4-Trimethyl-pentan)	Normal-Heptan
Wichte bei 20°	kg/l	0,691
Unterer Heizwert	kcal/kg	10 680
Literheizwert	kcal/l	7 400
Siedepunkt	°C	99
Oktanzahl		100

die Tab. 2 gibt, besitzen für die Klopfmessung folgende Vorteile: Reinheit und gleichmäßige Beschaffenheit, ausreichenden Unterschied im Klopfverhalten, praktisch gleiche Wichte und gleiche Siedelage (daher keine Unterschiede bei Mischungen verschiedenster Zusammensetzung) und ausreichende Lagerbeständigkeit. In Übereinstimmung mit dem *Ricardoschen* Toluolwert wurde die Oktanzahl als Kennwert für die Klopffestigkeit eines Kraftstoffs festgelegt. Sie ist gleich dem Oktangehalt in Raumprozent jener Oktan-Heptan-Mischung, die im Klopfverhalten der Kraftstoffprobe gleichkommt.

Die Beschaffung des iso-Oktans machte anfangs Schwierigkeiten, da es zunächst nur aus dem Harz einer bestimmten Fichtenart gewonnen werden konnte; heute stellt man es synthetisch her.

Da für die laufende Klopfinnung die Verwendung chemisch reiner Stoffe zu kostspielig ist, suchte man billigere „Unterbezugskraftstoffe“ einzuführen, die mittels der „Urbezugskraftstoffe“ iso-Oktan und n-Heptan geeicht werden. Zunächst wurden verschiedene Benzine als kloppfreudiger und Benzol als klopfester Anteil verwendet. Dies schien besonders für die deutsche Kraftstoffprüfung zweckmäßig, da ihr verhältnismäßig viel Benzin-Benzol-Gemische zugeführt werden. Die Verwendung des Benzols als Eichstoff stand jedoch im Gegensatz zu der sonstigen Verwendung rein paraffinischer Unterbezugskraftstoffe in den Prüffeldern des Auslandes. Vergleichsversuche, die von der Arbeitsgemeinschaft für Klopfinnung bei zahlreichen deutschen Prüfstellen an I. G.-Prüfmotoren und CFR-Motoren durchgeführt wurden, bewiesen, daß Benzin-Benzol-Gemische mit paraffinischen Unterbezugskraftstoffen richtig zu bewerten sind. Es wurde daher vereinbart, daß künftig als Unterbezugskraftstoffe ausschließlich solche rein paraffinischer Art, und zwar das I. G.-Eichbenzin als kloppfreudiger und der Eichstoff Z als klopfester Anteil verwendet werden soll. Damit ist gleichzeitig der Anschluß an die Urbezugskraftstoffe wiederhergestellt.

Weitere Vorteile des Eichstoffs Z gegenüber Benzol sind darin zu sehen, daß Reinbenzol wegen seines hohen Schmelzpunktes gegen Kälte geschützt gelagert und versandt werden muß, und daß sich durch Zusatz von Bleitetraäthyl die Klopffestigkeit von Eichstoff Z für besondere Meßaufgaben erhöhen läßt, während dies bei Benzol nicht möglich ist.

Die Meßverfahren.

Die anerkannten Verfahren der Klopfmessung beruhen auf dem Vergleich der Kraftstoffprobe mit Mischungen aus Bezugskraftstoffen. Die Unterschiede in dem Meßverfahren betreffen ausschließlich die Betriebsbedingungen des Motors während der Prüfung (Drehzahl, Zündstellung, Kühlmittel- und Gemischttemperatur). Durch ihre Abstimmung soll bei der Prüfung jene Beanspruchung erzielt werden, die derjenigen bei späterer Verwendung gleichkommt. Es ist natürlich ausgeschlossen, Prüfbedingungen aufzustellen, die den vielseitigen und unterschiedlichen Betriebsbedingungen im Vollmotor entsprechen. So wird stets ein gewisser Unterschied zwischen der Bewertung, die der Kraftstoff im Prüfmotor mittels der Oktanzahl, und derjenigen, die er im jeweils verwendeten Vollmotor findet, bestehen. Diese Unterschiede sind nicht nur in den Betriebskennwerten der Motoren, sondern vielfach auch in der Herkunft bzw. dem chemischen Aufbau des Kraftstoffs begründet. So können z. B. ein paraffinischer und ein alkoholhaltiger Kraftstoff gleicher Oktanzahl in der Fahrpraxis verschiedenes Klopfverhalten zeigen.

Der Einfluß der Prüfbedingungen auf das Ergebnis der Klopfmessungen führt weiter zu folgendem:

1. Die Klopfwerte (Oktanzahlen) von Kraftstoffen sind nur vergleichbar, wenn sie nach demselben Meßverfahren, also unter gleichen Prüfbedingungen, gewonnen wurden.

2. Eine Oktanzahl, d. h. die ihr zugehörige Mischung bestimmter Zusammensetzung aus Oktan und Heptan, stellt je nach dem angewandten Meßverfahren verschiedene Klopffestigkeiten dar.

3. Eine bestimmte Klopffestigkeit, dargestellt durch einen gegebenen Kraftstoff, findet je nach dem angewandten Meßverfahren in unterschiedlichen Oktanzahlen ihren Ausdruck.

Im Laufe der Entwicklung der Klopfmessung wurden für Auto- und Flugkraftstoffe verschiedene Prüfverfahren festgelegt bzw. vereinbart, über die Tab. 3 eine Übersicht gibt. Sie läßt erkennen, daß zahlreiche Abwandlungen vorliegen, daß also hier besonders dringend das Bedürfnis nach der praktischen Verwendung eng angepaßten Prüfbedingungen zum Ausdruck kommt.

In Deutschland wird für Autokraftstoffe das Researchverfahren, für Flugkraftstoffe*) das Motorverfahren angewandt, wobei beide Verfahren sowohl am I. G.-Prüfmotor als auch am CFR-Motor durchgeführt werden können.

Tabelle 3. Die gebräuchlichen Klopfmessverfahren für Ottokraftstoffe.

Meßverfahren	Prüfbedingungen				Anwendung		Einge- führte seit
	Drehzahl U/min	Kühlmittelt- temperatur °C	Gemisch- vorwärmung °C	Vorzündung bei $\theta = 5:1$ °KW*)	für Autobenzine in	Flugbenzine in	
Research (alt)	600	100	--	22,5 veränderlich	Deutschland	Italien	1931
Motor ASTM (American Society of Testing Materials)	900	100	150	26 veränderlich	Ausland	Deutschland u. Ausland England	1933
Flieger	900	100	127	26 veränderlich	---	---	1934
LT (= Low Temperature)	900	100	--	26 veränderlich	USA teilweise	---	1936
L 8	900	100	127	16 veränderlich	USA teilweise	---	1937
Research (neu)	600	100	52	13 fest	USA Forschung	---	1939
AAC (= Army Air Corps)	1200	165	--	30 fest	USA Army Air Corps	---	1935

*) °KW bedeutet Grad Kurbelwinkel und bezeichnet den Zündpunkt in bezug auf die Kurbelwinkelgrade, die vom Einsetzen der Zündung bis zur Erreichung des oberen Totpunktes zu durchlaufen sind.

Aus Tabelle 3 läßt sich erkennen, daß die mildesten Prüfbedingungen beim alten Researchverfahren vorliegen, während das Motorverfahren die strengsten Bedingungen

Tabelle 4. Oktanzahlermittlung nach verschiedenen Verfahren.

Kraftstoff	Prüfverfahren			
	Motor	Flieger	LT	AAC
Ein Naturbenzin, rein	74,1	74,7	--	72,8
Ein Naturbenzin, verbleit ...	98,2	93,7	--	95,5
Ein Hydrierbenzin, rein	76,5	76,5	--	76,0
Ein Hydrierbenzin, verbleit ..	95,5	95,7	--	98,0
Ein Flugbenzin, rein	74,2	74,7	73,8	74,0
Ein Flugbenzin, verbleit	90,1	91,5	92,5	94,1
Ein Benzol	106,0	--	--	88,0

) Bauvorschriften für Flugmotoren (BVM), Ausgabe Oktober 1940, herausg. v. Reichsluftfahrtministerium, Technisches Amt.

umfaßt (abgesehen von der ausschließlich für Flugbenzine entwickelten AAC-Methode). Die Unterschiede in der Oktanzahlbewertung sind bei den dazwischenliegenden Verfahren verhältnismäßig gering und vielfach innerhalb der Meßgenauigkeit liegend, wie dies Tabelle 4 an Beispielen zeigt.

Es ist also keine Beziehung zwischen den einzelnen Prüfverfahren und ihren Werten zu gewinnen. Im allgemeinen liefert das Motorverfahren die niedrigsten Werte, mit Ausnahme der AAC-Methode, die hocharomatische Kraftstoffe noch schlechter bewertet als die Motorverfahren. Der Unterschied in der Bewertung nach der (alten) Research- und der Motormethode, die sog. „Kraftstoffempfindlichkeit“ (ROZ - MOZ) gibt einen Hinweis für die Widerstandsfähigkeit eines Kraftstoffes gegen thermische Belastung. Sie ist bei paraffinischen und naphthenischen Kraftstoffen gering, kommt dagegen bei Aromaten und Olefinen deutlich zum Ausdruck, vgl. Tabelle 5.

Tabelle 5. Bewertung von Benzinen nach Research- und Motorverfahren.

Benzin	Research-Oktanzahl	Motor-Oktanzahl	Kraftstoffempfindlichkeit
Ein Straight-run-Benzin (paraffinisch)	43	44	- 1
Ein Baku-Benzin (naphthenisch)	69	68	- 1
Ein Crackbenzin (olefinisch)	84,5	74,5	+ 10
Ein Borneo-Benzin (aromatisch)	82,5	76	+ 6,5

Für verschiedene handelsübliche Kraftstoffe und für einzelne Kohlenwasserstoffe gibt Tabelle 6 Oktanzahlen.

Tabelle 6. Oktanzahlen von Kraftstoffen.

Kraftstoff	Oktanzahl	
	ROZ	MOZ
Handelsübliche Kraftstoffe:		
Autobenzine (Reichsvorschrift)	74	
Unvermischte Benzine	40-60	
Benzin-Benzol-Gemische	~80	
Petroleum	~20	
Flüssiggas	105-115	
Stadtgas	~90	
Kohlenwasserstoffe:		
Iso-Octan (2,2,4-Trimethyl-pentan)	100	100
n-Heptan	0	0
n-Hexan		25
n-Pentan		61
Benzol		108
Toluol		110
Xylol		100
Iso-Pentan (2-Methyl-butanol)		90
Neo-Hexan (2,2-Dimethyl-butanol)		95
Triptan (2,2,3-Trimethyl-butanol)		102
Isopropyläther		100

Für die Oktanzahlmessung wird der Prüfmotor unter den jeweiligen Prüfbedingungen nach Warmlauf in der Verdichtung so eingestellt, daß mit der Kraftstoffprobe eine mittlere Klopfstärke auftritt. Hierauf wird durch Veränderung der Gemischzusammensetzung (Änderung des Schwimmerstandes im Vergaser) stärkstes Klopfen eingeregelt und dieses dann durch neuerliche Veränderung des Verdichtungsverhältnisses auf festgelegte mittlere Klopfstärke (Klopfmesseranzeige 50) gebracht. Bei unverändertem Verdichtungsverhältnis werden zwei Vergleichsmischungen bekannter Klopffestigkeit eingestellt und im Motor gefahren. Diese sollen in ihrer Klopfestigkeit über bzw. unter derjenigen der Kraftstoffprobe liegen, sich gegenüber dieser jedoch um nicht mehr als 2 OZ unterscheiden. Aus dem Vergleich der Klopfstärken, die am Klopfmesser ablesbar sind, kann durch Interpolation die Oktanzahl der Probe ermittelt werden (sog. Eingabeung). Ein Beispiel mag diesen Meßvorgang erläutern:

Festgestellte Ausschläge des Klopfmessers:

Kraftstoffprobe unbekannter Klopffestigkeit	48 Teilstriche
Vergleichsmischung 1 (87 Oktan/13 Heptan)	52 Teilstriche
Vergleichsmischung 2 (80 Oktan/11 Heptan)	33 Teilstriche
Unterschied der Anzeigen für die Vergleichsmischungen	19 Teilstriche
Unterschied der Oktanzahl für die Vergleichsmischungen	2 OZ
Unterschied der Anzeigen zwischen Vergleichsmischung 1 und Probe	4 Teilstriche
Unterschied der Oktanzahl zwischen Vergleichsmischung 1 und Probe	2 4/19 = 0,4 OZ
Daher Klopffestigkeit der Probe	87 + 0,4 = 87,4 OZ

Das Ergebnis wird meist in halben oder ganzen Oktanzahlen angegeben.

In der Praxis der Klopfmessung wird jedoch nicht, wie oben an dem Beispiel gezeigt, mit den Urbezugskraftstoffen, sondern mit Unterbezugskraftstoffen gearbeitet. Um hierbei die Oktanzahlen rasch ermitteln zu können, stellt man für die verwendeten Unterbezugskraftstoffe eine Eichkurve auf. Man ermittelt dann auf gleiche Weise, wie oben gezeigt, die der Kraftstoffprobe klopfgleiche Mischung aus den Unterbezugskraftstoffen und liest für diese über die Eichkurve die ihr entsprechende Oktanzahl ab. Abb. 5 zeigt solche Eichkurven für Mischungen aus Reinbenzol und I. G.-Eichbenzin, wie sie bisher

verwendet wurden. An ihre Stelle tritt nunmehr nach den Beschlüssen der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung die Eichkurve nach Abb. 6 für Mischungen aus Eichstoff Z und I. G.-Eichbenzin⁵⁾, den nunmehr anerkannten

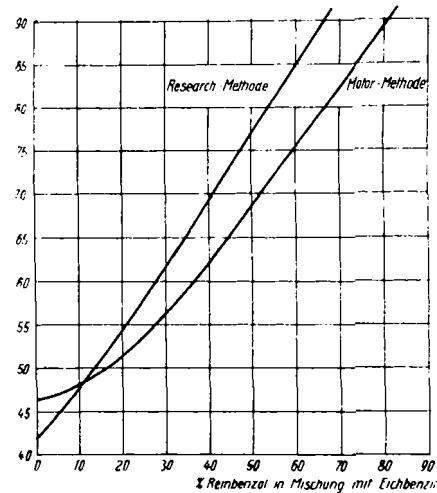


Abb. 5. Eichkurve für Reinbenzol/I. G.-Eichbenzin.

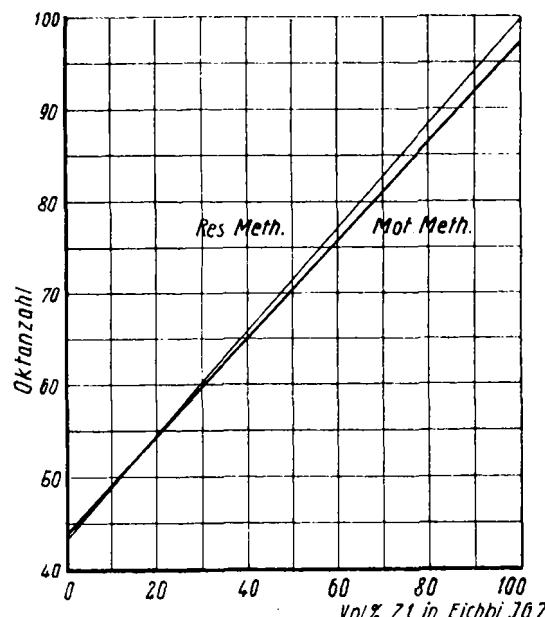


Abb. 6. Einheitliche Eichkurve für Oktanzahlbestimmung mittels paraffinischer Unterbezugskraftstoffe (I.G.-Eichbenzin u. Eichstoff Z).

einheitlichen Unterbezugskraftstoffen. Diese Eichkurve wird wegen der erzielbaren höheren Meßgenauigkeit nunmehr einheitlich für die Umrechnung verwendet, so daß die bisher für jeden Motor besonders aufgestellten Eichkurven künftig entfallen.

Die Ermittlung der Oktanzahl erfordert natürlich einige Übung und laufende Überwachung des Prüfgerätes, läßt sich aber dann, wie die Vergleichsversuche der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung im Herbst 1941 nachweisen, mit einer mittleren Meßgenauigkeit von $\pm 0,6$ OZ durchführen. Dieselben Versuche, an denen 58 Prüfstellen mit 94 Prüfmotoren teilnahmen, ergaben, daß bei rund 81% der Teilnehmer die Meßwerte noch innerhalb einer Streugrenze von $\pm 1,0$ OZ lagen.

Beim Vergleich von Oktanzahlen ist zu berücksichtigen, daß die unter gleichen Bedingungen durchgeföhrten Messungen am I. G.-Prüfmotor und am CFR-Motor wegen der verschiedenen Abweichungen im Bau der beiden Motoren sich um ein Geringes unterscheiden. Dieser Unterschied in der Meßhöhe wurde bei der oben erwähnten Versuchsreihe mit 0,6 OZ festgestellt, wobei die niedrigeren Werte dem I. G.-Prüfmotor zukommen.

Die hohe Meßgenauigkeit der deutschen Prüfstellen läßt es nunmehr auch zweckmäßig erscheinen, Benzine zu prüfen, die bisher wegen ihrer geringen Lagerbeständigkeit und der

⁵⁾ E. Singer, Entwicklung und Ergebnis von Vergleichsversuchen an Klopfmotoren in Deutschland, Kraftstoff 17, 103 [1941].

damit verbundenen Änderungen im Klopfverhalten nicht eindeutig zu bewerten sind. Es ist bekannt, daß z. B. verschiedene Synthese-Benzine Streuungen in den Klopfwerten ergeben, deren Ursache bisher noch nicht aufgeklärt werden konnte. Diese Erscheinung ist besonders bemerkenswert durch, daß die Schwankungen im Klopfwert gerade bei kleineren Proben, hierbei bis zu +4 OZ zu beobachten waren. Die Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung hat zur Klärung dieser Fragen Synthese-Benzine in die zurzeit laufenden Vergleichsversuche einzubezogen.

Klopfmessung oberhalb der Oktanzahl 100.

Nachdem dem unvermischten Iso-Oktan die Oktanzahl 100 zugeteilt ist, lassen sich Kraftstoffe mit einer Klopfestigkeit, die diejenige des Iso-Oktans übertrifft und die für Flugmotoren große Bedeutung gewinnt, nicht unmittelbar bewerten. In solchen Fällen bestimmt man häufig den Mischwert, indem man zunächst durch übliche Klopfmessung ermittelt, welche Verbesserung der Oktanzahl z. B. der Zusatz von 25% Kraftstoffprobe zu 75% eines Kraftstoffes bekannter Klopfestigkeit erbringt. Der Mischwert ist dann gleich dem Vierfachen der gemessenen Oktanzahlsteigerung zuzüglich der Oktanzahl des Eichkraftstoffes.

Dieser Berechnung des Mischwertes liegt die Annahme zugrunde, daß die Klopfestigkeit der Mischung im Verhältnis der Zusatzmenge des hochklopfesten Anteiles ansteigt, der

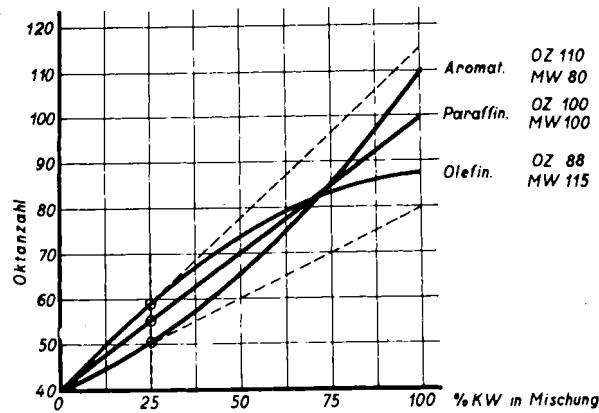
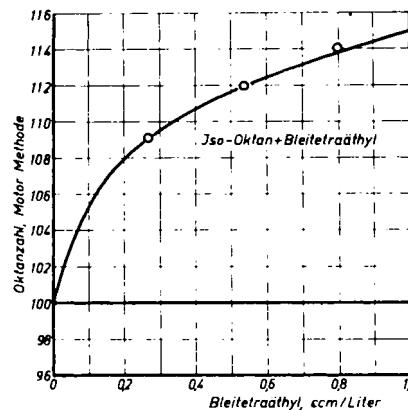


Abb. 7. Mischwerte von Kraftstoffen.

Zusatz also in allen Mischungsverhältnissen gleiche Wirkung zeigt. Dies trifft jedoch nicht zu. Die klopfhindernde Wirkung kann sich vielmehr mit der Zusatzmenge, je nach dem chemischen Aufbau der Kraftstoffprobe, ändern. So zeigt z. B. Abb. 7, daß bei einem paraffinischen Kohlenwasserstoff die Klopfwertsteigerung der Zusatzmenge proportional ist, nicht aber bei einem Olefin oder Aromat. Ersteres zeigt bei geringen Zusätzen stärkere Wirkung als bei hohem Mischungsanteil, das Aromat verhält sich umgekehrt. Infolgedessen stimmt auch nur beim Paraffin der Mischwert mit der tatsächlich gemessenen Oktanzahl der Kraftstoffprobe überein. Für den gleichen Zusatz von 25% liegt der Mischwert des Olefins weit über, der des Aromats weit unter der gemessenen Oktanzahl des betreffenden Kohlenwasserstoffes.

Ohne Kenntnis des chemischen Aufbaues kann also der Mischwert zu Irrtümern und Fehlschlüssen Anlaß geben. Da jedoch Mischwerte in der Klopfmessung häufig zu ermitteln sind — nicht nur für hochklopfeste Stoffe, sondern auch z. B. für Proben, deren Menge für eine unmittelbare Messung zu gering ist, ferner für Kraftstoffe, die in Mischungen verwendet werden sollen —, ist es notwendig, schon allein, um eine brauchbare Vergleichsgrundlage zu gewinnen, Zusatzmengen und Mischkraftstoff einheitlich festzulegen. Die deutsche Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung beschloß, hierfür als Regel eine Mischung aus 25 Raumprozent der Kraftstoffprobe und 75 Raumprozent Mischkraftstoff

(I. G.-Eichbenzin oder Eichstoff Z) festzusetzen. In Sonderfällen kann das Mischungsverhältnis geändert werden, doch ist dieses dann gleichzeitig mit dem Ergebnis anzuführen. Z. B. bedeutet MW₅, einen Mischwert, der durch Zumischung von 50% Probe erhalten wurde.



○ Amerik. Werte nach: "Refiner a Natural Gasol Manul. Nov. 39, S. 113"

Abb. 8. Oktanzahlmessung über OZ = 100 mit Iso-Oktan + Bleitetraäthyl.

Die Messung von Oktanzahlen über 100 läßt sich auch unmittelbar im Motor vornehmen, wenn entweder nur dem Iso-Oktan oder aber den Oktan-Heptan-Mischungen Bleitetraäthyl zugemischt wird. Im ersten Falle läßt sich mit Hilfe des Verdichtungsverhältnisses im Prüfmotor eine Beziehung gewinnen, die in Abb. 8 dargestellt ist und die z. B. mit einem Zusatz von 1 cm³ BTÄ/l eine MOZ von 115 liefert. Die eingetragenen Meßpunkte stammen aus amerikanischen Messungen⁶. Sie stimmen mit den deutschen Messungen, die der Kurve zugrunde liegen, gut überein.

Noch zweckmäßiger ist jedoch die Verwendung einer Oktan-Heptan-Mischung mit konstantem BTÄ-Zusatz von z. B. 1 cm³/l. Die damit gewonnene Verlängerung der üblichen Oktan-Heptan-Kurve ergibt einen fast geradlinigen Verlauf, führt bei unvermischem Oktan + 1 cm³ BTÄ/l ebenfalls zu einer MOZ von 115 und macht die Messung im Prüfmotor über das Verdichtungsverhältnis entbehrlich. Diese Art der Messung wurde von der Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung sowohl für Mischungen aus Urbezugskraftstoffen als auch für solche aus Unterbezugskraftstoffen (I. G.-Eichbenzin und Eichstoff Z) anerkannt. Die hierfür geltenden Eichkurven zeigen Abb. 9a u. b.

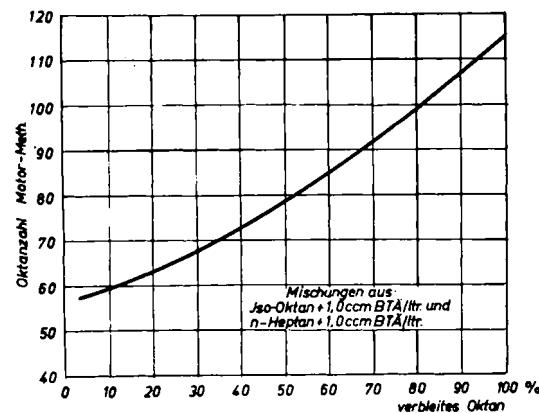


Abb. 9a. Eichkurve für MOZ > 100, ermittelt mit Urbezugskraftstoffen.

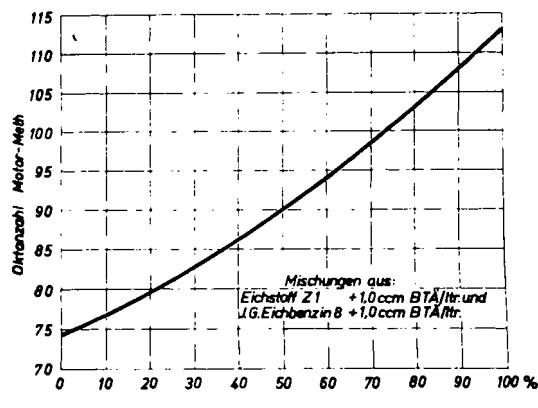


Abb. 9b. Eichkurve für MOZ > 100, ermittelt mit Unterbezugskraftstoffen.

Durch Zusatz klopfreudiger Stoffe läßt sich sinngemäß die Oktanleiter auch nach unten fortsetzen, doch besteht derzeit dafür kein praktisches Interesse.

Ersatz der Oktanzahl.

In dem Maße, als hochklopfeste Flugkraftstoffe Verwendung fanden und hierfür u. a. Kohlenwasserstoffe eingesetzt wurden, die in den handelsüblichen Benzinen nicht enthalten sind, trat der Unterschied zwischen der Bewertung der Kraftstoffe durch die Oktanzahl und ihrem tatsächlichen Verhalten im Vollmotor vielfach kraß zu Tage. Daran ließ sich auch

⁶ Refiner a Natural Gasol Manul. 18, 113. [1939].

durch Änderung der Prüfbedingungen wenig bessern. Es wurde daher immer mehr auf gewisse grundsätzliche Mängel der Oktanzahlbestimmung hingewiesen. Es sind das hauptsächlich folgende:

1. Ermittlung bei einer einzigen Ansang- bzw. Gemischttemperatur, d. h. die Temperaturrempfindlichkeit des Kraftstoffes bleibt unbekannt.

2. Einstellung des Kraftstoff-Luft-Gemisches auf stärkstes Klopfen, d. h. Prüfung bei einem Luftverhältnis, das den beim Start und Reiseflug verwendeten Luftverhältnissen nicht entspricht.

3. Prüfung des Kraftstoffes bei starkem Klopfen, also in einem Betriebszustand, der im Flugbetrieb gar nicht zugelassen werden kann, während der Klopfbeginn, der allein im Betrieb einwandfrei feststellbar ist, nicht berücksichtigt wird.

4. Verwendung von Bezugskraftstoffen, die andere Temperaturrempfindlichkeit besitzen als die Flugkraftstoffe.

Dazu treten noch Fehlermöglichkeiten in der Bewertung, verursacht durch die Eigenart des Klopfmeßgerätes; der nunmehr schon unzureichend gewordene Meßbereich der Oktanzahl und auch wesentliche Unterschiede in der Gemischbildung zwischen Prüfmotor u. d. Vollmotor. Fehlbewertungen von z. B. aromatischen, olefinischen oder alkoholhaltigen Kraftstoffen finden darin ihre Erklärung.

Zur Überwindung dieser Mängel wurden verschiedene Vorschläge gemacht, z. B. die Bestimmung der Oktanzahl bei 50, 100 und 150° Gemischttemperatur (*v. Philippovich*) oder die Ermittlung der Leistung bei Überladung unter bestimmten Bedingungen (*Serruys*) oder die Feststellung des Klopfbeginns bei Überladung (*Boerlage*).

Diese Vorschläge führen bereits zu einer grundsätzlich anderen Kraftstoffcharakteristik, die dadurch vertieft wird, als bei einzelnen dieser Vorschläge schließlich auch vom kleinen Prüfmotor abgegangen wird und an seine Stelle der Zylinder in den Abmessungen des Vollmotors tritt.

Ein Verfahren dieser Art, das in Deutschland nunmehr auch für die Prüfung von Flugkraftstoffen vorgeschrieben ist, wurde von der Deutschen Versuchsanstalt für Luftfahrt (DVL) entwickelt. Es stellt die Überladbarkeit bei Klopfbeginn für verschiedene Luftverhältnisse fest. Diese wird entweder durch den absoluten Ladedruck p_e in mm QS oder den mittleren Nutzdruck p_{ne} in at, jeweils bei Klopfbeginn und unter den für das verwendete Motormuster gültigen Prüfbedingungen ermittelt. Es ergeben sich danach Klopfgrenzkurven (Abb. 10), die im „Grundverfahren“ mit 35, 80 und 130° Ladelufttemperatur, im „vereinfachten Verfahren“ nur mit 80° Ladelufttemperatur bestimmt werden. In beiden Verfahren wird ein Bereich zwischen Luftverhältnis $\lambda = 0,7$ und $\lambda = 1,3$ erfaßt. Dieses Verfahren

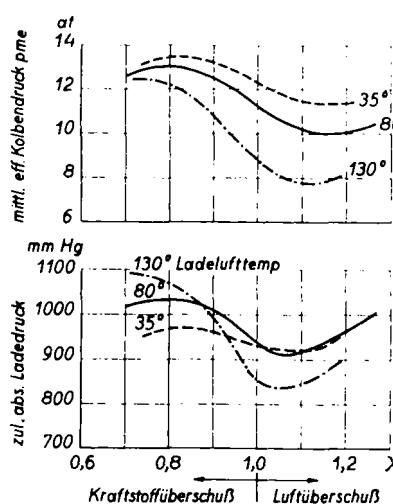


Abb. 10. Klopfgrenzkurven eines Kraftstoffes mit OZ > 87.

erlaubt Flugkraftstoffe in jedem beliebigen Motormuster ohne große bauliche Aufwendungen vor allem unter den Bedingungen des Flugbetriebes zu prüfen. Ein Teilproblem des DVL-Verfahrens, die vom Ohr unabhängige Ermittlung des Klopfbeginns, konnte durch elektrische Differentiation der durch einen Quarzindikator aufgenommenen Drucksteigerungen dp/dt , hier insbesondere mittels der zweiten Ableitung, gelöst werden¹⁾.

Immerhin bleibt aber die Durchführung der Kraftstoffprüfung nach dem DVL-Überladeverfahren gegenüber der Oktanzahlbestimmung erheblich schwieriger, sie erfordert mehr Aufwand an Einrichtungen und geübtem Personal und bedeutend größere Kraftstoffmengen. Es wäre vorteilhaft, durch passende Abstimmung der Prüfbedingungen auch am kleinen Prüfmotor eine mit dem DVL-Verfahren übereinstimmende Bewertung der Kraftstoffe zu erzielen. Neuerliche Versuche bieten günstige Aussichten hierfür.

So läßt sich mit Erfolg der I. G.-Prüfmotor oder der als Otto-Motor arbeitende I. G.-Prüfdiesel dafür heranziehen.

¹⁾ F. Seether u. F. Lichtenberger, Klopfmessung mit dem DVL-Verfahren der Druckbeschleunigung, Kraftstoff 17, 173, 206 [1940].

Durch verhältnismäßig geringe Ergänzung und Abänderung dieser Meßgeräte läßt sich nicht nur eine mit dem DVL-Verfahren in Einklang stehende Bewertung der Kraftstoffe erzielen, sondern auch eine Eichung mit Octan und Heptan durchführen, wodurch dann wieder die Verbindung mit der bisherigen Art der Klopfwertbestimmung hergestellt ist. Endlich kann auch noch im I. G.-Prüfdiesel unmittelbar aus dem Zündverzug des Kraftstoffes eine „Diesel-Oktanzahl“ bestimmt werden, entweder durch unmittelbare Eichung mittels Octan/Heptan-Mischung oder durch Ermittlung der Cetanzahl eines Kraftstoffes, die sich über eine Umrechnungskurve auch

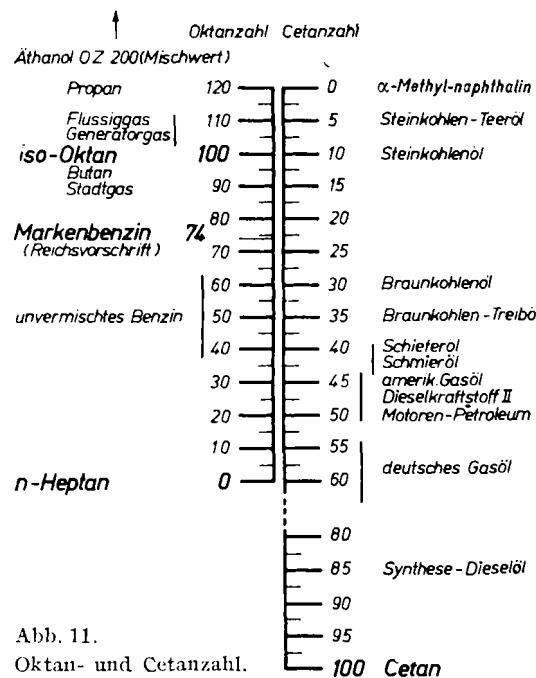


Abb. 11.
Oktan- und Cetanzahl.

als Oktanzahl ausdrücken läßt (vgl. hierzu auch Abb. 11). Die derart ermittelten Diesel-Oktanzahlen liegen i. allg. höher als die nach anderen Verfahren bestimmten Klopfwerte, weil die Prüfbedingungen verhältnismäßig milde sind.

Liegt so die Entwicklungsrichtung für Flugkraftstoffe in einer Abkehr von der Einpunktmetode der Oktanzahl, so geht dies Bestreben bei der Bewertung von Autokraftstoffen z. T. dahin, die Oktanzahl beizubehalten, sie aber dadurch für die Beurteilung dienlicher zu machen, daß sie unter verschiedenen Bedingungen bestimmt wird, so daß z. B. für einen gegebenen Kraftstoff zwei Oktanzahlen ermittelt werden, eine unter milden, eine unter strengen Bedingungen. Es ließe sich dadurch für Länder mit großen klimatischen Unterschieden eine zutreffende Bewertung erzielen. Die Schwierigkeiten solcher Vorschläge liegen in der Abstimmung der Prüfbedingungen auf das Verhalten des Kraftstoffs in den einzelnen Fahrzeugmotoren. Sehr ausgedehnte Fahrversuche in den Vereinigten Staaten gaben wiederholt Anlaß zur Änderung der Prüfbedingungen, während sich bisher eine dringende Notwendigkeit zur Abkehr von den für Autokraftstoffe festgelegten (alten) Researchverfahren in Deutschland nicht gezeigt hat.

Einen wertvollen Beitrag zur Prüfung von Kraftstoffen im Fahrbetrieb bildet das elektro-akustische Verfahren von A. W. Schmidt²⁾, bei dem die durch das Klopfen hervorgerufenen Schwingungen im Motorgehäuse elektrisch ausgesiebt und auf einen Oszilloskop übertragen werden, dessen Schwingungsbilder im Lichtbild festgehalten werden. Mit dieser Einrichtung läßt sich nicht nur der Einfluß von Fahrbedingungen (Geschwindigkeit, Belastung, Steigung usw.) auf das Klopfen feststellen, sondern gleichzeitig dieser Einfluß für jeden Zylinder des Motors im einzelnen kennzeichnen. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist, daß Bohrungen, die bei anderen Prüfgeräten (Springstab, Thermoelement, Quarzdose) die Verbindung zum Verbrennungsraum herstellen, vermieden werden.

Die Klopfschwingungen hoher Frequenz können mittels Quarzdose als Geber, in Verbindung mit Verstärker und Braunscher Röhre, in ähnlicher Weise zur Klopfmessung herangezogen werden. Abb. 12 zeigt die Unterschiede in den

²⁾ Untersuchungen über das Klopfverhalten von Kraftstoffen auf dem Prüfstand und im Fahrbetrieb, Oel u. Kohle 38, 350 [1940].

Anzeigen, wie sie durch verschiedene Klopftärke im I. G.-Prüfmotor infolge unterschiedlicher Verdichtung hervorgerufen werden. Es erscheint möglich, mit diesem Gerät den Spring-

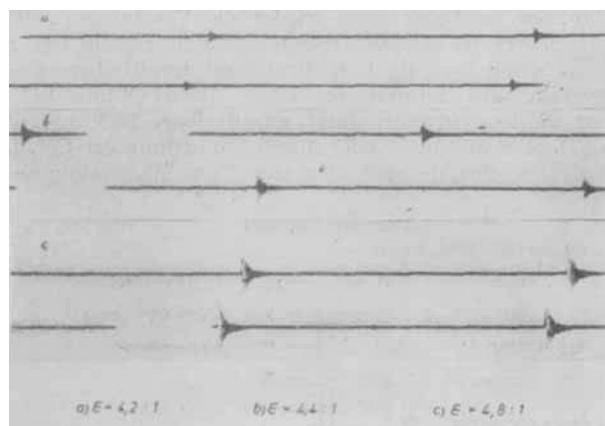


Abb. 12. Klopfschwingungen im I. G.-Prüfmotor bei verschiedenen Verdichtungen.

stab in der Klopftmessung zu ersetzen und damit gleichzeitig Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu erhöhen und den Meß- und Verwendungsbereich zu erweitern.

Klopftmessung ohne Motor.

Gegenüber den Geräten, die zur Bestimmung von Gütekennziffern der Kraftstoffe verwendet werden, bedeutet der Prüfmotor mit all seinen Einrichtungen einen so großen Aufwand, daß der Gedanke nahelag, ihn durch einfache, dem chemischen Laboratorium angepaßte Prüfverfahren zu ersetzen. Leider konnten bisher noch keine Beziehungen zwischen dem Klopftverhalten eines Kraftstoffs und seinen physikalischen und chemischen Kennwerten gefunden werden, die in gleichem Maße wie der Prüfmotor zutreffende Bewertung für die verschiedenartig aufgebauten Kraftstoffe ermöglichen. Wohl aber war es möglich, für gewisse engbegrenzte Gebiete handelsüblicher Kraftstoffe Kennwerte aufzustellen, die Schlüsse auf das Klopftverhalten zulassen.

Der nahe liegende Weg, Kraftstoffe durch Fraktionierung in Anteile bekannter Klopffestigkeit zu zerlegen und daraus den Gesamtklopfwert zu errechnen, erwies sich bisher nicht gangbar, weil eine ausreichend scharfe Fraktionierung verhältnismäßig umständlich durchzuführen ist, weil ferner die Klopfwerte der Fraktionen Abweichungen von der Mischregel zeigen und weil bei verbreiteten Kraftstoffen infolge der verschiedenen Bleiempfindlichkeit der einzelnen Fraktionen noch größere Unterschiede auftreten.

Heinze u. Marder¹⁰) versuchten, aus dem Parachor

$$p = \frac{1}{d} \cdot \sigma^{1/4}$$

p = spezifischer Parachor, d = Dichte, σ = Oberflächenspannung

in Verbindung mit der Siedekennziffer die Oktanzahl zu errechnen. Obwohl für einzelne Kraftstoffe eine leidlich gute Übereinstimmung besteht, kann eine allgemeine Anwendung des Parachors schon allein deswegen nicht in Frage kommen, weil die beiden Endpunkte der Klopftleiter, iso-

¹⁰) „Eine Laboratoriumsmethode zur Bestimmung der Motoreignung (Oktanzahl) leichter Kraftstoffe“, diese Ztschr. **48**, 335 [1935]; Über die Beziehungen zwischen der Klopffestigkeit leichter Kraftstoffe und ihren physikalischen Eigenschaften, ebenda **8**, 776.

Oktan und n-Heptan, bei weit auseinanderliegendem Klopftverhalten praktisch gleichen Parachor aufweisen.

Ähnlich wird in amerikanischen Raffinerien aus speziellem Gewicht und Siedekurve mit Hilfe von Rechen-tafeln, die auf Messungen im CFR-Motor fußen, die Oktanzahl rechnerisch ermittelt¹¹⁾). Sie stimmen natürlich nur für die Kennwerte der Benzine, nach denen sie aufgestellt wurden. Da im Destillationsbetrieb lange Zeit hindurch die gleiche Erdölsorte verarbeitet wird, kann eine solche Ermittlung der Oktanzahl ausreichend genau sein und gleichzeitig arbeit- und kostensparend sich auswirken. Sie ist aber nicht allgemein anwendbar.

Angenähert läßt sich die Oktanzahl auch errechnen, wenn die Cetanzahl eines Kraftstoffs, der etwa als Diesekraftstoff Verwendung findet, bekannt ist. Auf Grund zahlreicher Messungen hat Wilke¹²⁾ eine Beziehung aufgestellt, die praktisch ausreichend genaue Werte liefert. Sie ist dar gestellt durch:

$$OZ = 120 - 2CaZ,$$

wobei CaZ die im Prüfdiesel gemessene Cetanzahl darstellt. Abb. 12 zeigt eine auf Grund dieser Gleichung ermittelte Gegenüberstellung der Octan- und Cetanzahlen für handels übliche Kraftstoffe.

Es wurde auch versucht, das Selbstentzündungsverhalten von Kraftstoffen für die Bewertung der Klopftneigung heranzuziehen. Nachdem mittels des Jentzschschen Zündwertprüfers die Selbstzündegenschaften von reinen Kohlenwasserstoffen aufgeklärt worden waren¹³⁾, wurde versucht, aus dem mit diesem Gerät aufgestellten Kennzündwert über eine Eichkurve die Oktanzahl zu bestimmen¹⁴⁾. Ausgedehnte Ringversuche, die eine Arbeitsgemeinschaft im Auftrage des Reichsverkehrsministeriums durchführte¹⁵⁾ und bei denen auch äußere Einflüsse wie der Luftdruck genau berücksichtigt wurden¹⁶⁾, zeigten noch nicht jene Übereinstimmung, die jetzt schon für eine allgemeine Einführung des Gerätes sprächig, obwohl z. B. bei der Prüfung von Diesekraftstoffen mit dem gleichen Gerät bessere Übereinstimmung und Bewertung erzielt wird.

Ein Überblick über die vorhandenen Möglichkeiten der Klopftmessung zeigt die überragende Bedeutung der motorischen Prüfung, die eine Bewertung der Kraftstoffe ergibt, die dem tatsächlichen Verhalten im Vollmotor nahekommt. Prüfverfahren, die ohne den Motorversuch gleich zutreffende und zuverlässige Bewertung erbringen, sind bisher nicht bekanntgeworden, so daß die Klopftmessung ihre Grundlage nach wie vor in motorischen Prüfverfahren besitzt.

Eingeg. 29. August 1941. [A. 74.]

¹⁰) R. B. Cox, Calculating Gasoline Octane Rating from Gravity and ASTM Distillation Refiner natur. Gasoline Manufacturer **19**, 31 [1940].

¹¹) Über die Beziehung zwischen Oktanzahl und Cetanzahl, Automobiltechn. Z. **1940**, Heft 6.

¹²) Zerbe u. Eckert, „Selbstzündungseigenschaften und chemische Konstitution“, diese Ztschr. **45**, 59 [1932].

¹³) Dieselben: Über die Zusammenhänge zwischen Selbstzündungs- und motorischen Verbrennungsvorgängen, Oel u. Kohle **10**, 112 [1934].

¹⁴) Kessler, Vergleichende Eigenschaftsprüfungen von Kraftstoffen durch motorische und laboratoriumsmäßige Prüfverfahren, ebenda **14**, 341 [1938].

¹⁵) Dieselben, Über den Einfluß des Luftdrucks auf die Kraftstoffuntersuchung im Zündwertprüfer, ebenda **15**, 255 [1939].

Berichtigung.

Probleme der Zellwolleherstellung.

Von Dr. J. Löbering,
Forschungsinstitut Süddeutsche Zellwolle A.-G. Kelheim a. d. Donau.

Am Anfang dieses Aufsatzes ist ohne Verschulden der Redaktion ein Zahlenfehler unterlaufen. Es muß dort heißen: Zur Deckung dieser Mengen würden rund 1 Mill. t, d. i. 1,8 Mill. Festmeter Holz, benötigt. Bei einem derzeitigen jährlichen Verbrauch von 70 Mill. Festmeter¹⁷⁾ ist der Anteil der Kunstfaserindustrie mit 2,6% immer noch verhältnismäßig gering.

¹⁷) W. Schieber, Zellwolle u. Kunstseide **23**, 228 [1941].

VERSAMMLUNGSBERICHTE

Physikalisches Institut der T. H. München.

Vortragsveranstaltung „Leuchten und Struktur fester Stoffe“ vom 8.-9. Januar 1942*).

Leitung: Prof. Dr. Tomaschek.

K. Birus, Berlin: Die Luminescenz der Silicatphosphore als Beispiel eines „Konfigurationsleuchtens“.

Die Lumineszenzmission der Silicatphosphore — im wesentlichen also des mit Mangan aktivierten, im Phenakitgitter kristallisierten Zinksilicats (als Mineral: Willemit) und der Mischkristalle mit Beryllium-, Magnesium- und Cadmiumsilicat sowie der Borate,

* Vgl. dazu die zusammenfassenden Aufsätze in dieser Ztschr. Hilsch, „Physikalische Untersuchungen an Alkalihalogenatkristallen“, **49**, 63 [1926]; Kiehl, „Fortschritte auf dem Gebiete der Luminescenz fester Stoffe“, **51**, 300 [1928]; Möglich, „Leuchten fester Isolatoren“, **53**, 405 [1940], „Leuchtmechanismus von Kristallphosphoren“, **53**, 54 [1940]; Schlede, „Fluorescenz und Phosphorescenz von Kristallphosphoren“, **53**, 378 [1940].

Phosphate und Germanate von Zink und Cadmium — läßt sich im Gegensatz zu den der sulfidischen und oxydischen Kristallphosphore, in ein im wesentlichen exponentiell abklingendes „Spontanleuchten“ und ein „bimolekulares“, d. h. mit einem Rekombinationsprozeß verknüpftes und daher nach einem hyperbolischen Gesetz abklingendes, einfrierbares Dauerleuchten zerlegen. Auch für das „Spontanleuchten“, das während der Anregung den Hauptteil der Emission darstellt (= „Mitleuchten“), gilt jedoch kein rein „monomolekulares“ Reaktionsschema; es kann daher nicht als ein ohne Wechselwirkung mit der Umgebung nur innerhalb der unvollständigen Elektronenschale des Mn^{++} -Ions stattfindender Fluoreszenzprozeß aufgefaßt werden. Andererseits zeigt die starke Beeinflußbarkeit der Emissionsbande durch den Kationen-Nachbarn des Mn^{++} (Zn^{++} , Be^{++} , Mg^{++} oder Cd^{++}), die aus der Struktur der mehrbandigen Emissionsspektren von Zinkberyllium- und Zinkcadmium-Mischkristallsilicaten erschlossen wird, daß die überwiegende Einwirkung auf den Emissionsprozeß von der unmittelbaren Umgebung des „isomorph“ eingebauten Mangan-Ions ausgeht.