

# KRAFTSTOFFPRÜFUNG

## Gütekennzeichen

Der Kraftstoffverbraucher hat den begreiflichen Wunsch, über die Eignung und Wirtschaftlichkeit eines Kraftstoffes unterrichtet zu sein, bevor er ihn im Motor verwendet. Der Hersteller muß Wert darauf legen, Kraftstoffe zu liefern, die den Anforderungen im Motor voll entsprechen, ohne daß durch überspitzte Anforderungen zu hohe Herstellungskosten entstehen. So besteht ein gemeinsames Interesse an Prüfverfahren, die rasch, mit geringen Kosten und, vor allem, mit den Verhältnissen im Motor übereinstimmende Gütekennzeichen liefern.

Die Vorgänge bei der Verbrennung sind jedoch so verwickelt und wegen der vielen Umstände, die auf sie Einfluß nehmen, schwierig zu erfassen, daß sie für die Kraftstoffprüfung nicht unmittelbar herangezogen werden können. Die Kraftstoffprüfung erstreckt sich daher überwiegend auf die Ermittlung einzelner motorischer und physikalisch-chemischer Kennwerte, aus denen auf das voraussichtliche Verhalten des Kraftstoffes im Motor geschlossen werden kann. Die Bedingungen, unter denen diese Kennwerte gewonnen werden, sucht man weitgehend den Betriebsbedingungen im Motor anzupassen. Außerdem überprüft man laufend den Vergleich der gewonnenen Werte mit dem tatsächlichen Verhalten des Kraftstoffes beim Fahr- bzw. Flugversuch. Daher ist stets nur die Verbindung der motorischen mit der laboratoriums-mäßigen Prüfung als vollständige Kraftstoffprüfung anzusehen.

Die Vielfalt und die Kosten der hierfür notwendigen Einrichtungen hat die Kraftstoffprüfung immer mehr vom Verbraucher zum Hersteller verlagert. Der Verbraucher ist meist gar nicht in der Lage, die Prüfeinrichtungen zu beschaffen, noch sie richtig zu handhaben und die Ergebnisse einwandfrei zu deuten. Er sichert sich jedoch vielfach durch Liefervorschriften jene Beschaffenheit der Kraftstoffe, die dem jeweiligen Stand der Kraftstofftechnik gemäß ist.

Die Bestimmung verschiedener Gütezahlen ist bereits genormt. Andere Kennwerte werden nach verschiedenen Verfahren bestimmt und sind daher meist schwer miteinander vergleichbar. Diese Schwierigkeiten der Kraftstoffprüfung sind besonders groß bei Forschungsarbeiten an neuen Kraftstoffen und führen andererseits dazu, daß mitunter verhältnismäßig rasch eine Änderung des Prüfverfahrens eintritt.

## Prüfung der Otto-Kraftstoffe auf Klopfestigkeit

### Motorische Prüfung

Seitdem das Klopfen als Erscheinung der motorischen Verbrennung bekannt ist, wurde der Motor zur Prüfung der Kraftstoffe auf ihre Klopfneigung benutzt. Man erprobte zunächst im üblichen Mehrzylindermotor, wie er im Kraftwagen eingebaut ist, den Kraftstoff unter den Betriebsbedingungen auf der Landstraße oder auch im Motorenprüfstand und stellte etwaiges Klopfen mit dem Ohr fest. Einen Fortschritt in der Sicherheit der Bestimmung bedeutete es, als man durch Veränderung der Zündstellung die Bedingungen für das Klopfen veränderlich machte und denjenigen Kraftstoff als klopfester erkannte, der gegenüber einem gegebenen Vergleichskraftstoff mehr Vorzündung vertrug.

Diese Verfahren hatten den Nachteil, daß die Bestimmung der Klopfestigkeit nur für den gewählten Fahrzeugmotor richtig war, daß das Klopfen wegen unterschiedlicher Füllung und Gemischverteilung in den einzelnen Zylindern unregelmäßig auftrat und daß verschiedene Beobachter unvermeidlich unterschiedliche Meßergebnisse erzielten.

### Prüfmotoren

Die Klopfmessung verwendet daher heute nur Einzylindermotoren, deren Verdichtungsverhältnis während des Betriebes verändert werden kann, so daß die Bedingungen für das Klopfen auch für die Kraftstoffe von weit auseinanderliegender Klopfestigkeit eingerichtet werden können. Die Verdichtungsänderung wird durch Auf- und Abschieben des Zylinders mittels Schnecke und Schneckenrad gegenüber Kolben und Kurbelgehäuse bewirkt (Bild 42).

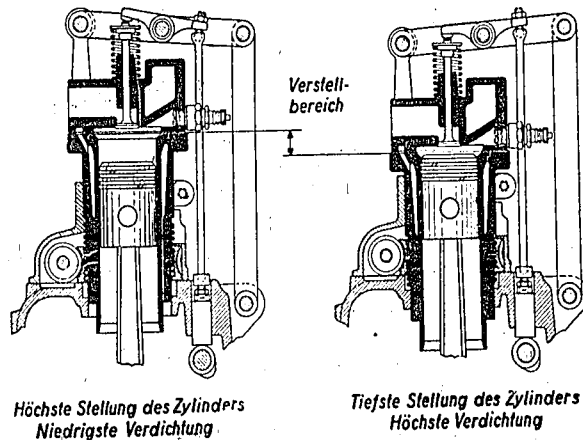


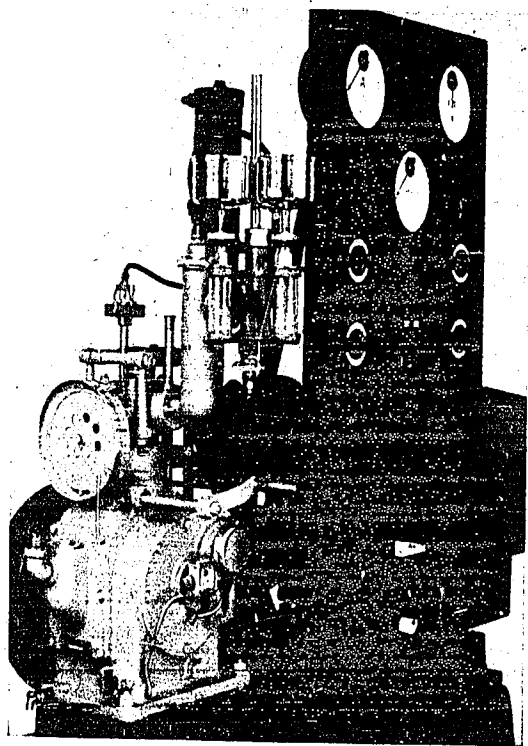
Bild 42.

Motor mit veränderlichem Verdichtungsverhältnis

Dies ändert die Größe des Verbrennungsraumes und damit das Verdichtungsverhältnis (S. 74).

Die wichtigsten Prüfmotoren für die Messung der Klopfestigkeit sind der im Ausland fast ausschließlich verwendete CFR-Motor (entworfen vom **Cooper-Fuel Research Committee** der American Society of Automotive Engineers und hergestellt von der Waukesha Motor Company, Waukesha, Wisconsin) und der in Deutschland amtlich anerkannte IG-Prüfmotor (entwickelt vom Technischen Prüfstand der IG.-Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rh. und hergestellt von der Daimler-Benz A.G., Mannheim). Beide Motoren ergeben übereinstimmende Meßwerte. Die wichtigsten Abmessungen dieser Motoren sind aus Tafel 19, Seite 128, zu entnehmen.

Der IG-Prüfmotor, Bild 45, besteht aus einem Otto-Einzylinder-Motor, der über eine Keilriemenscheibe einen Stromerzeuger antreibt. Durch Drehen an der Handkurbel wird der Zylinder verschoben und das Verdichtungsver-



...Bild.45.  
Der IG-Prüfmotor

hältnis in den Grenzen zwischen 4 : 1 und 15 : 1 geändert. Das jeweils eingestellte Verdichtungsverhältnis kann an einer Trommel abgelesen werden. Ein Dreischwimmer-Vergaser mit Feineinstellung für die Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemisches regelt die Kraftstoffzufuhr. Das Schaltbrett trägt einen Teil der Geräte für die Beobachtung der Klopfstärke.

Für Klopfmessungen werden die Prüfmotoren so eingestellt, daß der zu prüfende Kraftstoff deutlich klopft. Zum Vergleich der unter gleichen Betriebsbedingungen erzielten Klopfstärken dient ein Springstift-Indikator. Er wird durch eine Membrane betätigt, die unmittelbar den Explosionsstößen des

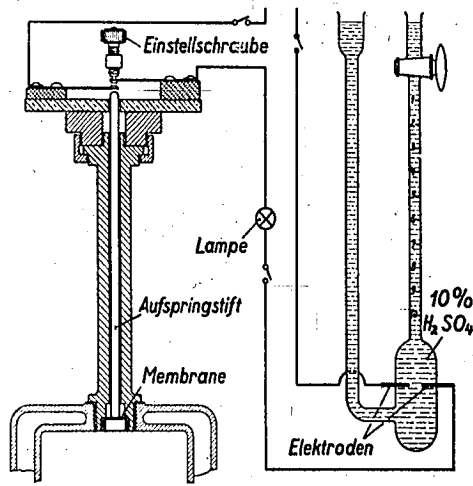


Bild 44.  
Springstift-Indikator mit elektrolytischer Zelle

klopfenden Kraftstoffes ausgesetzt ist (Bild 44). Ein auf der Membrane ruhender Springstift wird gegen einen elektrischen Kontakt geworfen, wodurch je nach der Stärke des Klopfens ein elektrischer Stromkreis kürzer oder länger geschlossen wird. Dieser elektrische Strom kann dazu verwendet werden, in einem geeigneten Gerät (elektrolytische Zelle) Knallgas aus angesäuertem Wasser abzuschneiden. Die Menge des in einer bestimmten Zeit und unter gleichen Umständen ausgeschiedenen Knallgases gibt ungefähr ein Maß für das Klopfverhalten des Kraftstoffes.

Die Stromstöße, die der Springstift auslöst, können auch zur Erwärmung eines Hitzdrahtes (Bild 45) benutzt werden. Die Temperaturerhöhung des

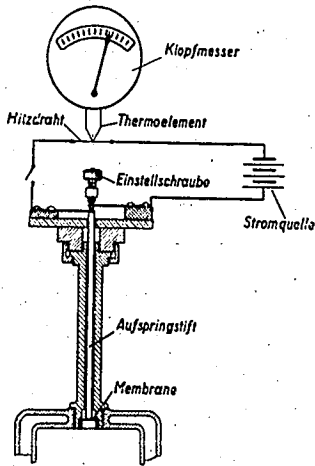


Bild 45.  
Springstift-Indikator mit  
Klopfmesser

Die physikalischen und chemischen Kennwerte dieser Stoffe gibt Tafel 18 wieder.

Wie die Tafel zeigt, stimmen die beiden Stoffe in ihren physikalischen Kennwerten nahezu überein.

Tafel 18. Kennwerte für Iso-Oktan und Normal-Heptan.

	Iso-Oktan (2,2,4 - Trimethylpentan)	Normal-Heptan
Strukturformel .....	$  \begin{array}{ccccccc}  & H & & H & & & \\  &   & &   & & & \\  H & -C & -H & H & -C & -H & H \\  &   & &   & & & \\  H & -C & -C & -C & -C & -C & -H \\  &   & &   & & & \\  & H & & H & & & H  \end{array}  $	$  \begin{array}{ccccccc}  H & H & H & H & H & H & H \\    &   &   &   &   &   &   \\  H & -C & -C & -C & -C & -C & -C & -H \\    &   &   &   &   &   &   \\  H & H & H & H & H & H & H  \end{array}  $
Summenformel .....	$C_8H_{18}$	$C_7H_{16}$
Wichte bei 20° C .....	0,691	0,688
Unterer Heizwert .....	10 680	10 690
Literheizwert .....	7 400	7 400
Siedepunkt .....	99	98,5
Oktanzahl .....	100	0

Drahtes wird durch ein Thermoelement gemessen und kann am Klopfmesser, einem empfindlichen Voltmeter, abgelesen werden.

### Meßstoffe

Als Maß für die Klopfestigkeit sind übliche Kraftstoffe nicht verwendbar, weil sie je nach Aufbau und Herstellung in der Klopfestigkeit schwanken und sich bei längerem Lagern darin auch verändern. Man ist daher übereingekommen, als Meßstoffe Mischungen aus chemisch reinen, jederzeit in gleicher Beschaffenheit herstellbaren Kohlenwasserstoffen zu verwenden. Solche Mischungen bestehen aus einem sehr klopfesten und einem sehr klopfreudigen Anteil. Fast ausschließlich wird als klopfester Anteil Iso-Oktan (S. 27), als klopfreudiger Normal-Heptan gewählt.

Es ist vereinbart, daß unvermisches n-Heptan den Punkt 0, unvermisches Iso-Oktan den Punkt 100 einer Klopfwert-Leiter darstellt. Jede Mischung aus diesen beiden Kohlenwasserstoffen wird also in ihrem Klopfwert zwischen den beiden Punkten liegen. Der Klopfwert jeder Mischung wird durch den Gehalt an Oktan in Raum-% ausgedrückt. Er wird Oktanzahl genannt. Eine Mischung aus 74 Raumteilen Oktan und 26 Raumteilen Heptan hat demnach die Oktanzahl 74. Jeder Kraftstoff, der im Prüfmotor als ebenso klopfest ermittelt wird, besitzt dieselbe Oktanzahl. Auf diese Weise kann die Klopfestigkeit jedes Kraftstoffes durch die Oktanzahl gekennzeichnet werden. Je höher die Oktanzahl, desto klopfester der Kraftstoff. Über die Oktanzahl des Motors vgl. S. 152.

Für die laufende Verwendung in der Klopfmessung sind die chemisch reinen Meßstoffe Iso-Oktan und Normalheptan zu kostspielig. Man verwendet daher an ihrer Stelle ausgewählte Benzine und Benzol als Unter-Bezugskraftstoffe, die mit Iso-Oktan und n-Heptan geeicht werden.

### **Meßverfahren**

Die Oktanzahl soll für das Klopfverhalten des Kraftstoffes im Fahrzeug- oder Flugmotor einen Anhalt geben. Dazu ist notwendig, die Prüfbedingungen für die Bestimmung der Oktanzahl so festzulegen, daß sie sich weitgehend den praktischen Betriebsbedingungen anpassen. Dies ist eine schwierige Aufgabe, weil das Klopfverhalten der Kraftstoffe in den einzelnen Motoren durchaus nicht immer gleich ist. Für Autokraftstoffe gelang es bereits vor mehreren Jahren durch in Amerika durchgeführte Versuchsreihen in mehr als 10 000 einzelnen Fahrten auf der Landstraße die Prüfbedingungen in der sogenannten „Motormethode“ so abzustimmen, daß eine befriedigende Übereinstimmung mit der Praxis erzielt werden konnte.

In Deutschland wurde dagegen für Autokraftstoffe das „Research“-Verfahren eingeführt (vgl. Tafel 19), weil die benzol- und alkoholhaltigen deutschen Benzine gewisse Unterschiede im Klopfverhalten gegenüber den unvermischten amerikanischen Benzin aufweisen.

Für Flugkraftstoffe ist die Bewertung des Klopfverhaltens im allgemeinen schwieriger, weil die Beanspruchung der Kraftstoffe in wasser- und luftgekühlten Motoren, besonders aber durch die Überladung der Motoren erhebliche Unterschiede aufweist und weil die angewandten Kraftstoffzusätze und -anteile sich unter den Prüfbedingungen unterschiedlich verhalten. Die Prüfbedingungen sind daher strenger als für Autokraftstoffe. So zeigt z. B. das in Deutschland überwiegend angewandte, von den Vereinigten Staaten über-

nommene ASTM-Motorverfahren, (Tafel 19), eine besondere Vorheizung des Kraftstoff-Luft-Gemisches auf 150°, die das Klopfen begünstigt (vgl. auch S. 80). Da die Prüfbedingungen des Motor-Verfahrens gegenüber denen des Research-Verfahrens klopfördernd wirken, erscheint derselbe Kraftstoff, nach dem Motorverfahren geprüft, weniger klopfest, also mit niedrigerer Oktanzahl, als wenn er nach dem Research-Verfahren gemessen wird. Die beiden Verfahren erbringen also für den gleichen Kraftstoff verschiedene Oktanzahlen. Ein Vergleich von Oktanzahlen ist also nur dann möglich, wenn sie nach demselben Verfahren ermittelt werden. Im allgemeinen ist die Motor-OZ niedriger als die Research-OZ. Ein größerer Unterschied zwischen beiden läßt auf eine geringere Widerstandsfähigkeit des Kraftstoffes gegenüber Wärmebeanspruchung (z. B. hohe Verdichtung, Überladung) schließen. Die Motor-Methode ist nur bis zur Oktanzahl 87 anwendbar. Hochklopfeste Kraftstoffe werden von ihr unterbewertet.

Die beiden in Deutschland angewandten Prüfverfahren sind mit Angaben über die Motoren und Prüfbedingungen in Tafel 19 angeführt.

Tafel 19. Prüfmotoren und Verfahren zur Klopfestigkeitsmessung in Deutschland

Motor	IG-Prüfmotor		CFR-Motor	
		Bohrung 65 mm	Bohrung 82,6 mm	Hub 114,2 mm
	Hub 100 mm	Hubraum 0,35 Ltr.	Verdichtungsverhältnis: 4,6 : 1 bis 12 : 1	
	Verdichtungsverhältnis: 4 : 1 bis 15 : 1			
Meßverfahren	Research (Autokraftstoffe)	Motor (Flugkraftstoffe)	Research (Autokraftstoffe)	Motor (Flugkraftstoffe)
Meßbedingungen				
Drehzahl . . . . . U/min	600	900	600	900
Kühlmanteltemperatur °C	100	150	100	100
Gemischvorheizung °C	—	150	—	~ 150

Diese Meßverfahren gestatten, die Oktanzahlen mit einer Genauigkeit von  $\pm 1$  OZ zu bestimmen.

Es zeigt sich, besonders bei der Prüfung hochwertiger Flugkraftstoffe, daß die verschiedenen Bedingungen des Flugbetriebes in der Festlegung einer einzigen Kennziffer, wie es die Oktanzahl ist, nicht mehr ihre befriedigende Bewertung finden. Aus diesem Grunde konnte auch bisher keine internationale Einigung auf ein Prüfverfahren für

Flugkraftstoffe erzielt werden. Die amtlich anerkannten Prüfverfahren der großen Staaten versuchen, sich den hauptsächlich verwendeten Motoren anzupassen und zeigen erhebliche Unterschiede, wie Tafel 20 zeigt.

Tafel 20. Prüfverfahren für die Klopfestigkeit von Flugkraftstoffen

Land	Verfahren	Umdr./min.	Gemischvorwärmg.
Deutschland . . . . .	CFR-Motor	900	150°
England und Frankreich . . . . .	CFR-Motor (gemäßigt)	900	127°
Italien . . . . .	CFR-Motor Research	600	keine
U.S.A. . . . .	U.S.Army-Air- Corps	1200	keine

Schwierigkeiten in der Bewertung ergeben sich bei Flugkraftstoffen von besonders hoher Klopfestigkeit (etwa Motor-OZ 90 und darüber) und solchen, die unter Sonderbedingungen (Überladung, sehr hohe Verdichtung) arbeiten. Für sie müssen die Prüfbedingungen besonders angepaßt werden, damit eine mit der Praxis übereinstimmende Bewertung erzielt wird. Um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, wurde vorgeschlagen, die Oktanzahl als Einpunkt-Verfahren zu verlassen und an ihre Stelle andere Bewertungsgrundlagen heranzuziehen. So wurde z. B. vom Reichsluftfahrtministerium ein Prüfstand in Vorschlag gebracht, bei dem an Original-Zylindern von Flugmotoren die Messungen ausgeführt werden. Man verläßt also den kleinen Einzylinder-Prüfmotor, um die Kraftstoffe unmittelbar unter den Bedingungen des Flugbetriebes zu prüfen. Andere Vorschläge gehen dahin, die Prüfung im kleinen Prüfmotor beizubehalten, die Oktanzahlen jedoch unter verschiedenen Prüfbedingungen (Gemischzusammensetzung, Ansaugtemperatur) zu bestimmen, oder z. B. die eben noch ohne Klopfen zulässigen Überladedrucke festzustellen, um dadurch an Stelle eines einzigen Punktes, der Motor-OZ., einen Prüfbereich zu erfassen. Bemühungen zur Ermittlung neuer Bewertungsgrundlagen sind im Gang.

Die Research-Oktanzahlen für die wichtigsten Autokraftstoffe sind an der Leiter, Bild 49, abzulesen. Als Ergänzung sind in der nebenstehenden Tafel 21 Motor-Oktanzahlen von klopfesten Anteilen für Flugkraftstoffe wiedergegeben.

Tafel 21. Motor-Oktanzahlen klopfester Kraftstoffanteile

Kraftstoff	Motor - Oktanzahl
Iso-Oktan chem. rein . . . . .	100
Iso-Oktan handelsüblich . . . . .	95-98
Iso-Pentan . . . . .	90
Hexan . . . . .	95
Triptan . . . . .	~ 115
Toluol . . . . .	90
Xylol . . . . .	~ 100
Isopropyläther . . . . .	~ 100



### Bleiempfindlichkeit und Misch-Oktananzahl

Zu den Aufgaben der Klopfestigkeitsmessung im Prüfmotor gehört auch die Ermittlung der „Bleiempfindlichkeit“ von Kraftstoffen. Die Wirkung eines Zusatzes von Bleitetraäthyl steigt nämlich nicht gleichmäßig mit der Zusatzmenge an. Fügt man z. B. zu einem bestimmten Benzin von Motor-OZ = 57 eine Bleitetraäthylmenge, die 0,25 ccm/Ltr. entspricht, so steigt die Oktanzahl um 10 OZ von 57 auf 67, siehe Bild 46. Der doppelte Zusatz an Bleitetraäthyl erhöht jedoch nicht, wie man erwarten möchte, um 20 OZ, sondern nur um 17 OZ auf 74 OZ, der dreifache Zusatz auf 76, also nur um 19 OZ. Dies ist ein Benzin mit guter Bleiempfindlichkeit. Zum Vergleich diene ein

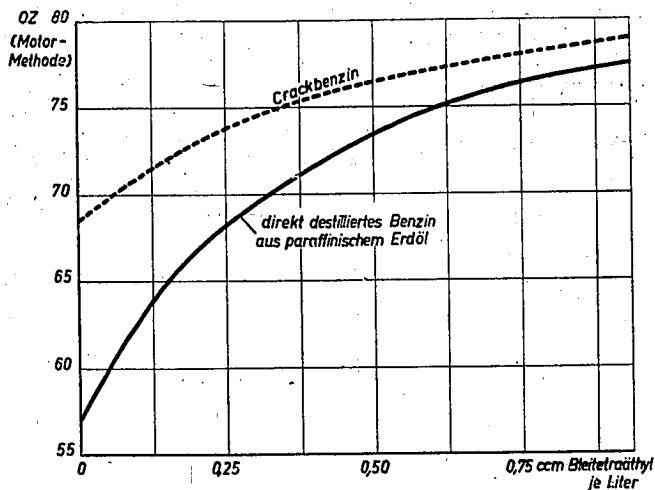


Bild 46.  
Bleiempfindlichkeit von Benzinen

Krack-Benzin, das geringe Bleiempfindlichkeit aufweist. Es erhöht seine ursprüngliche Oktanzahl von 68,5 durch Zusatz von 0,25 ccm Bleitetraäthyl je Liter nur um 5,5 OZ auf 74, durch den doppelten Zusatz nur um 8 OZ auf 76,5 OZ und durch den dreifachen Zusatz nur um 9,5 OZ auf 77,8. Die ursprüngliche Spanne von 11,5 OZ zwischen beiden Benzinen ist bei einem Zusatz von 0,75 ccm TEL/Ltr. auf 2 OZ zusammengeschrumpft. Die Steigerung der Oktanzahl ist je nach der Bleiempfindlichkeit des Ausgangskraftstoffes verschieden und kann daher aus der Zusatzmenge an Bleitetraäthyl nicht vorausgerechnet werden.

Gute Bleiempfindlichkeit besitzen Benzine von paraffinischen und naphthenischem Aufbau, ferner Benzine mit niedriger Oktanzahl. Die Bleiempfindlichkeit wird durch ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Olefine) und Aromaten, durch Alkoholanteile und durch Schwefelgehalt des Kraftstoffes herabgesetzt.

Für Stoffe, deren Klopfestigkeit über der des Iso-Oktans, also höher als 100 liegt, kann nur eine Mischoktanzahl festgestellt werden. Zu diesem Zwecke werden z. B. 25% des hochklopfesten Stoffes mit 75% eines Eichbenzins (siehe S. 127) vermischt und die dadurch erreichbare Verbesserung der Oktanzahl gemessen. Die Mischoktanzahl ist dann gleich dem vierfachen Wert der gemessenen Oktanzahlsteigerung. Sie ist kein unmittelbar gemessener Wert, sondern unter der Annahme errechnet, daß die Klopfestigkeit der Mischung im Verhältnis mit der Zusatzmenge des hochklopfesten Anteiles ansteigt, was in Wirklichkeit nicht zutrifft. Mischoktanzahlen sind nur miteinander vergleichbar, wenn sie bei gleichem Mischungsverhältnis und mit gleichem Eichbenzin bestimmt wurden.

#### **Klopfestigkeitsprüfung ohne Motor**

Der Wunsch, ein einfaches Laboratoriumsverfahren für die Prüfung der Klopfestigkeit zur Verfügung zu haben und die motorische Prüfung zu umgehen, hat zu Vorschlägen geführt, die Klopfestigkeit aus einfach bestimm- baren physikalischen oder chemischen Kennwerten zu ermitteln. Immer wieder wurde z. B. versucht, durch Zerlegung der Kraftstoffe in einzelne Kohlenwasserstoffe, deren Oktanzahl bekannt ist, den Klopfwert des Gesamtkraftstoffes zu errechnen. Dieser Weg erwies sich jedoch nicht als gangbar, weil sich die Klopfestigkeiten der einzelnen Kraftstoffanteile nicht addieren. Lediglich ganz grobe Schätzungen sind auf diese Weise zu gewinnen. Für bleihaltige Kraftstoffe versagt das Verfahren vollständig, weil die „Bleiempfindlichkeit“ der einzelnen Kraftstoffanteile verschieden ist.

Als Laboratoriumsverfahren zur Ermittlung der Oktanzahl wurde die Ermittlung des Kennzündwertes im Zündwertprüfer von Jentsch vorgeschlagen. Bei diesem Gerät wird die Selbstzündtemperatur bei gewöhnlichem Druck in Luft- und Sauerstoffatmosphäre bestimmt. Die nach bestimmten Regeln gewonnenen Kennzündwerte können über eine Eichkurve in Oktanzahlen umgerechnet werden.

Auch verschiedene andere Vorschläge für die Ermittlung der Oktanzahlen im Laboratorium konnten sich wegen ungenügender Zuverlässigkeit nicht durchsetzen, so daß bisher die motorische Prüfung der Klopfestigkeit unbestritten das sicherste Meßverfahren ist.

### **Klopffestigkeit des Motors**

Jeder Otto-Motor benötigt für kloppfreien Betrieb eine Mindestklopffestigkeit des Kraftstoffes. Diese hängt von der Bauart und den Betriebsbedingungen des Motors ab. Es läßt sich daher durch sie bzw. die zugehörige Oktanzahl die Klopffestigkeit des Motors festlegen. Sie wird ausgedrückt durch die Oktanzahl jener Oktan-Heptan-Mischung, die in diesem Motor gerade nicht mehr klopft, während Kraftstoffe niedrigerer Oktanzahl klopfen würden. Dabei ist die Oktanzahl des Motors unter denjenigen Bedingungen festzulegen, die stärkstes Klopfen hervorrufen würden, also z. B. bei betriebswarmem Motor, Frühzündung, größtem Drehmoment usw. Diese Oktanzahl des Motors darf nicht verwechselt werden mit der „Motor-OZ“, vgl. S. 128.

Je höher die Oktanzahl des Motors ist, desto höhere Ansprüche stellt er an die Klopffestigkeit des Kraftstoffes.

Für die in Deutschland verwendeten Otto-Kraftstoffe ist seit kurzem einheitlich eine Oktanzahl von 74 (Research-Verfahren) festgelegt. Voraussetzung für kloppfreien Betrieb der Motoren mit diesen Kraftstoffen ist, daß der Motor nach Bau und Betriebsbedingungen keine höheren Ansprüche an die Klopffestigkeit als OZ 74 stellt. Durch eine seit Herbst 1938 gültige Verordnung wird dieser Forderung beim Bau von Kraftfahrzeug-Motoren entsprochen.

## **Prüfung der Diesel-Kraftstoffe auf Zündwilligkeit**

### **Motorische Prüfung**

Die Ähnlichkeit der Erscheinungen des Klopfens beim Otto- und Diesel-Motor hat dazu geführt, daß für die Prüfung der Zündwilligkeit von Diesel-Kraftstoffen von Anfang an ähnliche Prüfverfahren wie für die Klopffestigkeit von Otto-Kraftstoffen angewendet wurden. Vor allem hat sich dieser Zweig der Kraftstoffprüfung sofort den Motor dienstbar gemacht, so daß heute erprobte Prüfmotoren und -verfahren zur Verfügung stehen.

### **Prüfmotoren**

In Deutschland werden hauptsächlich der IG-Prüfdiesel und der Prüfmotor des Heereswaffenamtes (HWA-Motor), im Ausland der CFR-Diesel-Prüfmotor mit Wirbelkammer verwendet. Tafel 22 gibt die wichtigsten Abmessungen und Meßbedingungen dieser Motoren wieder.

Tafel 22. Abmessungen und Meßbedingungen von Diesel-Prüfmotoren

Bauform	IG-Prüfdiesel	Motor des Heereswaffenamtes	CFR-Prüfdiesel
Konstruktion ....	I.G.Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Technischer Prüfstand, Ludwigs-hafen/Rhein	Heereswaffenamt	Cooperative Fuel Research Committee of the American Society of Automotive Engineers
Hersteller .....	Motorenwerke Mannheim	Humboldt-Deutz-Motoren A.G., Köln-Deutz	Waukesha Motor Comp., Waukesha, Wisconsin (USA)
Bohrung .... mm	95	120	82,6
Hub ..... mm	150	170	114,5
Hubraum ... cm <sup>3</sup>	1065	1920	615
Verdichtung ....	verstellbar, 7 - 25	fest, 14,5	verstellbar, 6 - 21
Arbeitsweise ....	unmittelbare Einspritzung	unmittelbare Einspritzung	Wirbelkammer
Meßbedingungen			
Drehzahl U/min .	900	940	900
Ansauglufttemperatur ..... °C	20	80	20
Kühlmitteltemperatur ..... °C	100	70	100
Einspritzbeginn °KW vor OT	20	50	—

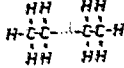
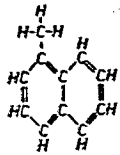
Der IG-Prüfdiesel, Bild 47, zeigt ähnliche Anordnung wie der IG-Prüfmotor (vgl. S. 124). Der Einzylinder-Dieselmotor treibt einen Stromerzeuger an. Die Verdichtung kann mittels eines Handrades von rd. 7: 1 bis auf 25: 1 verändert werden. Die eingestellte Verdichtung ist unmittelbar ablesbar. Die Kraftstoffdüse spritzt unter einem flachen Winkel unmittelbar in den Verbrennungsraum.

Der Zündverzug, der Kennwert für die Zündwilligkeit des zu prüfenden Diesekraftstoffes, wird elektrisch gemessen. Hierzu wird der Beginn der Kraftstoffeinspritzung durch einen Kontakt gekennzeichnet. Den Druck im Verbrennungsraum mißt ein Quarzindikator. Es wird hierbei die Eigenschaft des Quarzkristalles nutzbar gemacht, bei mechanischer Beanspruchung in bestimmten Richtungen, die sich aus dem Aufbau des Kristalles ergeben, elektrische Ladungen zu bilden (Piezoelektrizität). Diese werden verstärkt und durch eine besondere Schaltung mit einer Braunschen Röhre (ähnlich der in Fernsehgeräten verwendeten) gekuppelt, auf deren Schirm sie ein stehendes Druckdiagramm aufzeichnen. In diesem können die für Einspritzen und Zündverzug in Frage kommenden Teile gedehnt wiedergegeben werden, so daß daraus unmittelbar der Zündverzug, der Druckanstieg (vgl. S. 82) und die Druckspitze entnommen werden können. Die Anordnung der Meßeinrichtungen zeigt Bild 48, die Diagramme Bild 47.

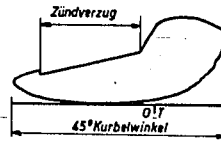
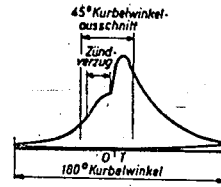
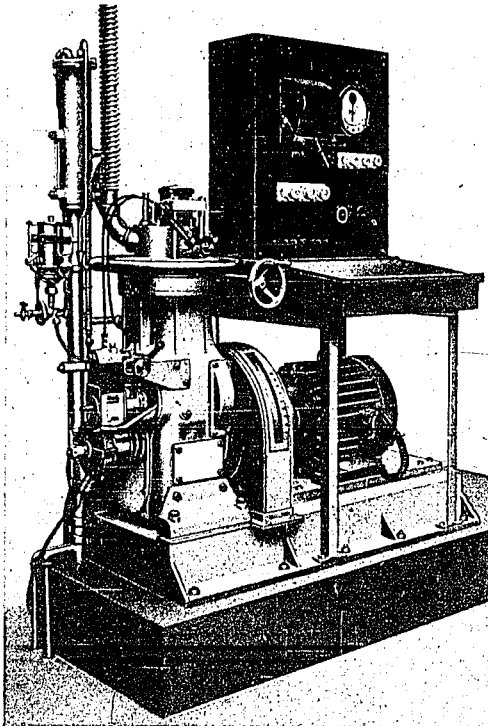
### Meßstoffe

In Anlehnung an die Ermittlung der Oktanzahl als Kennwert für die Klopfestigkeit der Otto-Kraftstoffe wurde die Cetanzahl als Kennwert für die Zündwilligkeit der Diesel-Kraftstoffe vereinbart. Als Meßstoffe für die Bestimmung der Zündwilligkeit von Diesel-Kraftstoffen werden Mischungen aus einem sehr zündwilligen und einem sehr zündträgen Anteil verwendet. Als zündwilliger Anteil wurde zuerst Ceten ( $C_{16}H_{32}$ ), ein ungesättigter Kohlenwasserstoff, verwendet. Da dieses aber nicht beständig ist, wird jetzt allgemein mit dem gesättigten Cetan  $C_{16}H_{34}$  (Hexadecan) gemessen. Als zündträger Anteil dient  $\alpha$ -Methylnaphthalin. Die Kennwerte für diese Meßstoffe sind in Tafel 25 enthalten.

Tafel 25. Kennwerte für Cetan und  $\alpha$ -Methylnaphthalin.

	Cetan	$\alpha$ -Methylnaphthalin
Strukturformel .....		
Summenformel .....	$C_{16} H_{34}$	$C_{11} H_{10}$
Wichte bei 20° .....	0,775 kg/l	1,02
Unterer Heizwert .....	10 450 WE/kg	9100
Siedepunkt .....	288 °C	247
Cetanzahl .....	100	0

Mischungen aus beiden Anteilen geben je nach der Zusammensetzung die Zündwilligkeit der Diesel-Kraftstoffe wieder. Ähnlich wie bei der Oktanzahlbestimmung ist dem Cetan der Wert 100, dem  $\alpha$ -Methylnaphthalin der



Oben: Druckdiagramm über 180° Kurbelwinkel (vgl. Bild 26, S. 82)

Unten: Diagrammausschnitt über 45° KW, gedehnt, zur Messung des Zündverzuges

Bild 47. Der IG-Prüfdiesel und seine Diagramme

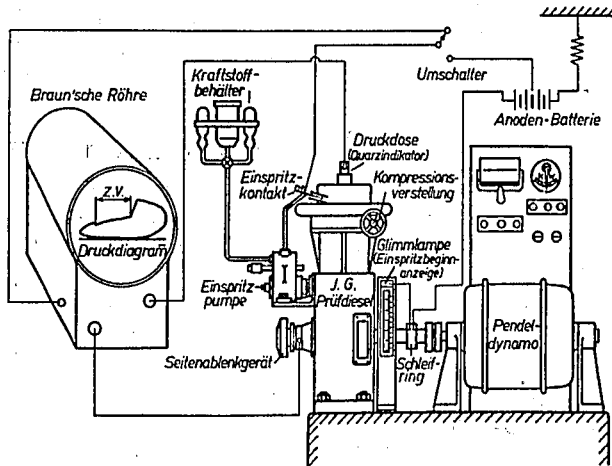


Bild 48. Anordnung der Meßeinrichtungen am IG-Prüfdiesel

Wert 0 zugeteilt. Die Zündwilligkeit eines Diesel-Kraftstoffes wird durch die Cetanzahl ausgedrückt, d. i. derjenige Anteil in Raum% einer Mischung aus Cetan und  $\alpha$ -Methylnaphthalin, die dem zu prüfenden Diesel-Kraftstoff im Zündverzug gleichkommt. Je höher die Cetanzahl, desto zündwilliger ist der Kraftstoff.

Für die laufenden Messungen werden meist nicht die genannten Meßstoffe, sondern Unterbezugskraftstoffe, meist Diesel-Kraftstoffe der Synthese, die mit Cetan und  $\alpha$ -Methylnaphthalin geeicht wurden, verwendet.

### **Meßverfahren**

Die Bedingungen, unter denen im Prüfmotor die Messung der Zündwilligkeit vorgenommen wird, sind so abgestimmt, daß sie entweder einen Anhalt für die Zündwilligkeit des Diesel-Kraftstoffes beim Start ermöglichen (Anlaßverfahren) oder den üblichen Betriebszustand des Motors wiedergeben, in dem der auftretende Zündverzug gemessen wird (Zündverzugsverfahren).

Zu den Anlaßverfahren zählt das vom Heereswaffenamt vorgeschriebene Verfahren. Bei ihm wird am HWA-Motor durch eine Drossel der Unterdruck der Ansaugluft so lange verändert, bis im betriebswarmen Motor eine gewisse Anzahl von Einspritzungen (10 Gruppen zu je 3 Einspritzungen, zwischen jeder Einspritzung 1 sek, zwischen den Gruppen 20 Sekunden Abstand) noch ohne Aussetzer zündet.

Nach den Zündverzugsverfahren wird im IG-Prüfdiesel und im amerikanischen CFR-Prüfdiesel gemessen. Im IG-Prüfdiesel wird die Verdichtung so lange verändert, bis sich ein gleichbleibender Zündverzug von 18° KW einstellt. Aus der zugehörigen Verdichtung kann über eine Eichkurve, die auf Grund von Mischungen aus Cetan und  $\alpha$ -Methylnaphthalin aufgestellt wurde, die Cetanzahl unmittelbar abgelesen werden. Mit Hilfe des Diagramms, das die Braunsche Röhre (vgl. Bild 48) aufzeichnet, lassen sich außerdem die für die Beurteilung der Verbrennung im Dieselmotor wichtigen Werte für den Druckanstieg nach dem Zündverzug und der Verbrennungshöchstdruck einfach bestimmen.

Die Cetanzahlen des Anlaßverfahrens sind nicht unmittelbar mit denen der Zündverzugsverfahren vergleichbar. Im allgemeinen liegen sie etwas höher. Die Genauigkeit der Meßverfahren ist ungefähr  $\pm 2$  CZ. Die Cetanzahlen der wichtigsten Diesel-Kraftstoffe sind aus der Leiter des Bildes 49 zu entnehmen.

Gegen das Anlaßverfahren wird eingewandt, daß es nach seinen Prüfbedingungen nicht die Verhältnisse des Motors beim Start wiedergibt und auch nicht den Verbrennungsablauf erkennen läßt. Die Zündverzugsverfahren geben zwar keinen Anhalt für das wichtige Startverhalten, messen aber unter

den praktisch vorkommenden Betriebsbedingungen und ermöglichen durch die Einrichtungen für die Aufzeichnung des Druckdiagrammes eine Überwachung der Verbrennung. Trotzdem die benutzten Verfahren Einpunktverfahren sind, hat sich, anders als bei der Oktanzahlbestimmung, bisher keine Notwendigkeit gezeigt, sie zu verlassen und durch andere zu ersetzen, weil die Einflüsse der Betriebsbedingungen auf das Klopfen im Diesel-Motor nicht so stark in Erscheinung treten wie beim Otto-Motor.

### Oktanzahl und Cetanzahl

Jedem Kraftstoff, der im Otto- und im Diesel-Motor verbrannt werden kann, kommt eine Oktan- und eine Cetanzahl zu. Diese stehen nach Versuchen des Technischen Prüfstandes der I.G.-Farbenindustrie A.G. in einer gegenseitigen Abhängigkeit, die praktisch hinreichend genau durch folgende Gleichungen ausgedrückt werden kann:

$$OZ = 120 - CaZ \text{ bei bekannter Cetanzahl und}$$

$$CaZ = 60 - 0,5 OZ \text{ bei bekannter Oktanzahl.}$$

Auf Grund dieser Beziehung wurde die Leiter, Bild 49, aufgestellt, aus der für jeden Kraftstoff gleichzeitig Oktan- und Cetanzahl entnommen werden kann.

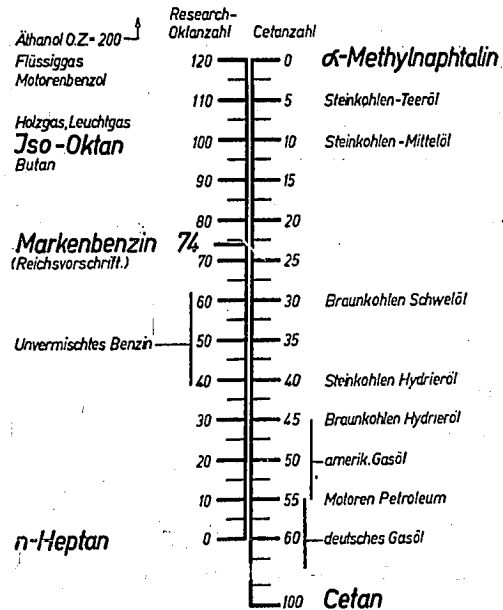


Bild 49.  
Oktan- und Cetanzahl



## **Zündwilligkeitsprüfung ohne Motor**

Um die Prüfung im Motor zu vermeiden, wurden verschiedene Kennwerte vorgeschlagen, aus denen Schlüsse auf die Zündwilligkeit gezogen werden. Die wichtigsten Vorschläge sind:

### **Anilinpunkt**

Diesel-Kraftstoffe mit einem Gehalt an zyklischen Verbindungen, insbesondere an Aromaten, sind zündtrüg. Ein Anhalt für solche Verbindungen, sofern sie weniger als 50% des Kraftstoffes ausmachen, gibt der Anilinpunkt. Er ist diejenige Temperatur, bei der sich eine Mischung aus gleichen Teilen Diesel-Kraftstoff und Anilin beim Abkühlen entmischt. Je niedriger der Anilinpunkt liegt, desto größer ist der Anteil an zündträgen zyklischen Verbindungen. Gute Diesel-Kraftstoffe besitzen einen Anilinpunkt von 50–70.

### **Wichte-Verfahren**

Für handelsübliche Diesel-Öle besteht eine Abhängigkeit zwischen Wichte (Gewicht je Liter) und Cetanzahl und zwar nimmt die Zündwilligkeit mit steigender Wichte ab. Daher läßt sich die Cetanzahl durch Spindeln, die gemäß dieser Abhängigkeit geeicht sind, einfach ermitteln (Wichte-Verfahren von Heinze und Marder).

### **Selbstzündungstemperaturen**

Im allgemeinen besitzen Kraftstoffe mit niedrigen Selbstzündungstemperaturen (gemessen in Sauerstoffatmosphäre) gute Zündwilligkeit. Um eine gute Übereinstimmung mit dem praktischen Verhalten des Kraftstoffes im Motor zu erzielen, ist allerdings die richtige Abstimmung der Prüfbedingungen wichtig.

Da es sehr schwer ist, die Betriebsbedingungen des Motors mit den Prüfbedingungen der physikalisch-chemischen Meßverfahren in Einklang zu bringen, sind diese im allgemeinen nur für die rasche Überprüfung im Betrieb geeignet. Nach wie vor bleibt, wie bei Otto-Kraftstoffen, so auch bei den Diesel-Kraftstoffen der Prüfmotor das zuverlässigste Gerät zur Messung der Zündwilligkeit von Diesel-Kraftstoffen.

## **Prüfung auf Flüchtigkeit und Startverhalten**

### **Flüchtigkeit und Siedeverhalten**

Die Prüfung auf Flüchtigkeit ist nur bei Otto-Kraftstoffen von Bedeutung. Sie besteht in einer Destillation des Kraftstoffes, bei der in der Reihe ihrer Siedepunkte die einzelnen Kohlenwasserstoffe verdampfen. Die Kraftstoff-

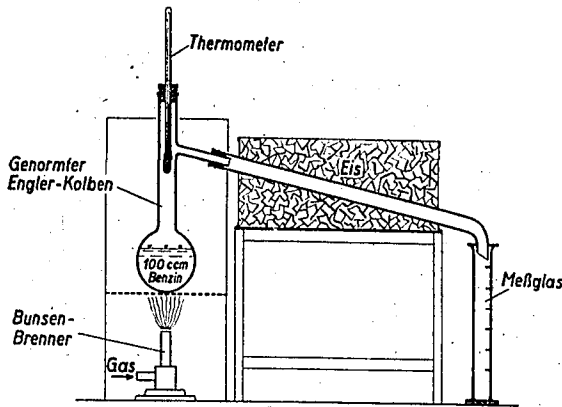


Bild 50.  
Engler-ASTM-Siedegerät

dämpfe werden abgekühlt und aufgefangen. Übergegangene Mengen und die jeweils gleichzeitig abgelesenen Temperaturen des übergehenden Dampfes geben die Kennwerte für die Aufzeichnung der Siedekurve (Bild 51), die das Siedeverhalten des Kraftstoffes veranschaulicht.

Die Ermittlung des Siedeverhaltens in festgelegten Destilliergeräten ist ein herkömmliches, aus der Praxis entstandenes Verfahren, das nicht die Verhältnisse bei der Vergasung im Motor wiedergeben kann, sondern nur Schlüsse auf das Verhalten des Kraftstoffes im Motor (Gemischbildung, Startwilligkeit und Neigung zur Schmierölverdünnung) und auf seine Zusammensetzung gestattet.

Als Prüfgerät wird für Benzine hauptsächlich das Gerät nach Engler-ASTM mit Glaskolben und Eiskühlung, Bild 50, eine in den Vereinigten Staaten von der American Society for Testing Materials entwickelte Abart des deutschen

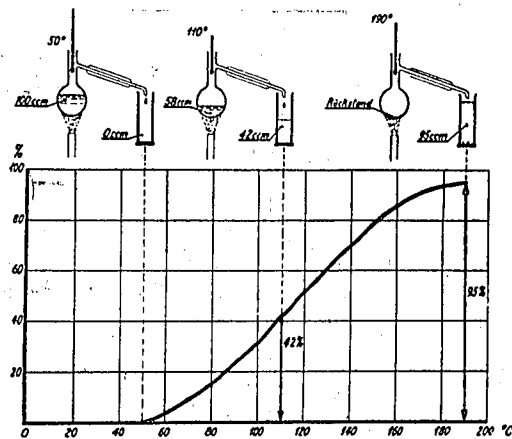
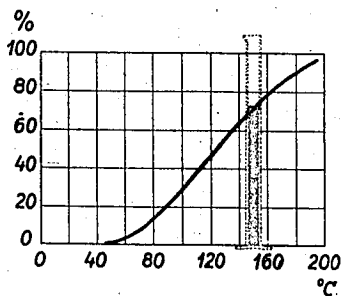


Bild 51.  
Entstehung der Siedekurve

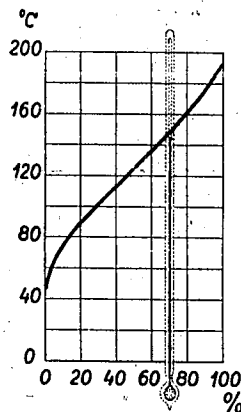
Engler-Gerätes, verwendet. Für Benzol und Benzolgemische wird auch das Gerät nach Krämer-Spilker mit Kupferkolben und Wasserkühlung benützt. Bild 51 zeigt drei kennzeichnende Phasen des Siedevorganges und ihre Wiedergabe in der Siedekurve.

Hierbei bezeichnet man als Siedebeginn die Temperatur, bei welcher der erste Tropfen am Kühlerende erscheint, mit Siedeschluß die Temperatur, bei welcher der Kolbenboden trocken wird.

Um verschiedene Siedekurven rasch miteinander zu vergleichen, bestimmt man die Kennziffer, d. i. die mittlere Siedetemperatur. Hiefür addiert man die Siedetempera-



Anstieg nach übergegangen Mengen



Anstieg nach Temperatur

Bild 52.

Aufzeichnung von Siedekurven

turen, die zu 5, 15, 25 . . . 85, 95 % der übergegangen Mengen gehören und teilt die Summe durch 10. So hat z. B. das Benzin, dessen Siedekurve in Bild 53 gezeigt ist, eine

$$\text{Kennziffer KZ} = \frac{68 + 82 + 92 + 100 + 110 + 118 + 128 + 140 + 155 + 180}{10} \\ = \frac{1176}{10} \sim 117.$$

Man kann die Siedekurve entweder mit dem Anstieg nach der übergangenen Menge oder nach der Temperatur, Bild 52, aufzeichnen. Beide Arten sind gebräuchlich.

Siedekurven von Benzin, Benzol und Äthanol zeigt Bild 53. Gemische ergeben Siedekurven, die die Gemischbestandteile annähernd erkennen lassen (Bild 54). Anfangs- und Endpunkt der Siedekurve und auch die Punkte für

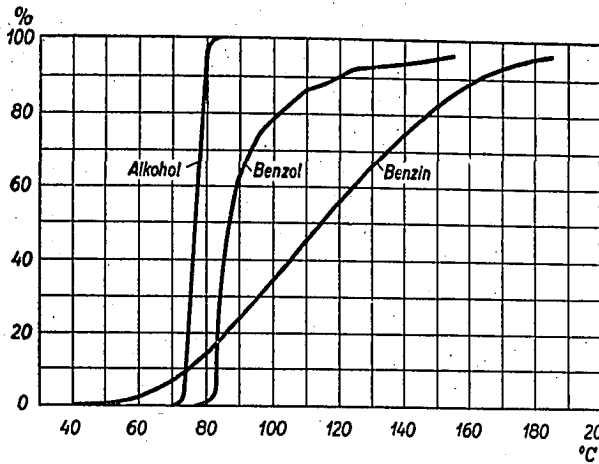


Bild 55.  
Siedekurven von  
Otto-Kraftstoffen

5 und 95% Übergang sind unsicher zu bestimmen. Zuverlässiger zu ermitteln sind die Punkte, bei denen 10% und 90% übergehen (vgl. Tafel 28, S. 157). Die Lage des 10%-Punktes gibt einen Anhalt für das Startvermögen bei Kälte und für die Neigung zur Dampfblasenbildung („vaporlock“-Störung), der 90%-Punkt für die Gefahr der Schmierölverdünnung.

Auch schwerer siedende Kraftstoffe, wie Traktorentreibstoff, Petroleum und Gasöl, können in einem, dem Engler-ASTM ähnlichen Gerät der Destillation unterworfen werden; jedoch ist die Destillation bei Temperaturen über 350°C

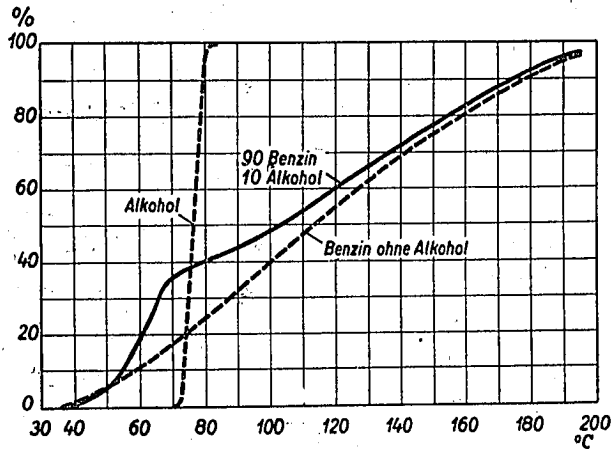


Bild 54.  
Siedekurven eines  
Benzin-Alkohol-Gemisches und seiner  
Anteile

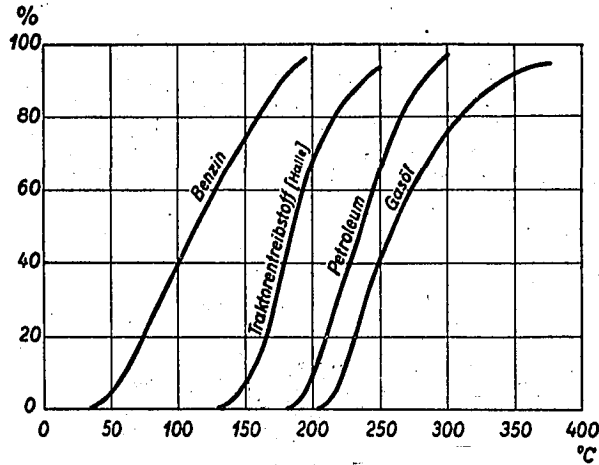


Bild 55.

Siedekurven von Mittel- und Schwerölen

meist undurchführbar, weil dann der Kraftstoff im Glaskolben einer Spaltung (Krackung) ausgesetzt ist. Kennzeichnende Siedekurven dieser Kraftstoffe zeigt Bild 55. Sie sind nicht als Kennlinien für die Flüchtigkeit zu werten, weil diese bei Diesel-Kraftstoffen i. a. unwesentlich ist, sondern als Anhalt für richtige Zusammensetzung, wohl auch für die Herkunft des Diesel-Kraftstoffes.

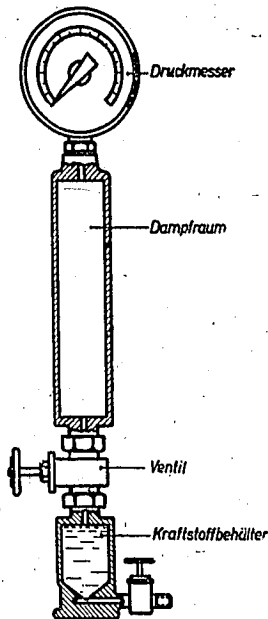


Bild 56. Dampfdruckmeßgerät nach Reid

### Dampfdruck

Der Dampfdruck von Kraftstoffen wird allgemein im Gerät von Reid (Bild 56) bestimmt. Dieses besteht aus einem Kraftstoffbehälter, der mit einem etwa 4,5mal größeren Luftbehälter in Verbindung steht. Die Kraftstoffprobe wird nach Erwärmung des Geräts in einem Wasserbad von  $\sim 38^{\circ} \text{C}$  mehrfach geschüttelt, bis das Manometer keine Drucksteigerung mehr anzeigt. Das Manometer zeigt dann den „Dampfdruck nach Reid“ an. Dampfdrücke von Kraftstoffen enthält die Tafel 24.

Durch Versuche in einem Gerät, das die Verhältnisse im Fahrzeug nachzuahmen trachtet, konnte mit großer Genauigkeit die Kraftstofftemperatur be-

stimmt werden, bei der infolge der Dampfblasenbildung die Kraftstoffförderung abreißt. Die derart bestimmte „Abreiß-temperatur“ ist diejenige Temperatur, bei der die Förderleistung einer Membranpumpe infolge der Dampfblasenbildung von ursprünglich etwa 10 l je Stunde auf 1,5 l je Stunde absinkt. Diese Abreißtemperatur steht mit dem Dampfdruck und dem 10% -Punkt der Siedekurve in Zusammenhang.

Tafel 24. Dampfdrücke von Kraftstoffen, nach Reid bestimmt

Kraftstoff	Dampfdruck bei 38° C kg/cm <sup>2</sup>
Autobenzine .....	0,5 bis 0,75
Flugbenzine .....	0,4 bis 0,5
Motorenbenzol ....	~ 0,5
Äthanol .....	0,18
Petroleum .....	~ 0,08
Gasöl .....	~ 0,09

### Flammpunkt

Vom Dampfdruck abhängig ist der Flammpunkt, d. i. jene niedrigste Temperatur, bei der sich über der Oberfläche des Kraftstoffes zusammen mit der Luft ein brennbares Gemisch bildet, das bei Annäherung einer Zündquelle sich entzündet, ohne daß die Flamme weiterbrennt.

Für die Bestimmung werden Geräte mit geschlossenem Tiegel (nach Abelpensky und Pensky-Martens) oder mit offenem Tiegel (nach Marcusson) verwendet.

Der Flammpunkt eines Kraftstoffes ist im allgemeinen lediglich wegen der behördlichen Lagerungsvorschriften von Bedeutung, vgl. S. 163.

### Wirtschaftlichkeitsprüfung

#### Heizwert

Der Heizwert handelsüblicher Kraftstoffe (vgl. Tafel 14, S. 94) wird im Heizwertmesser (Kalorimeter) gemessen. Hierbei wird eine bestimmte kleine Kraftstoffmenge verbrannt und damit Wasser erwärmt. Aus der Temperaturerhöhung des Wassers kann der Heizwert der Probe errechnet werden. Hauptsächlich verwendet werden die Bombe nach Berthelot-Mahler, in der die Kraftstoffprobe unter Sauerstoff von 25 at Druck verbrannt wird und der Junkers-Kalorimeter zur laufenden Ermittlung des Heizwertes. Bei diesem Gerät wird eine gewisse Kraftstoffmenge vergast und verbrannt und dabei aus Menge und Temperaturerhöhung des während der Verbrennung durch das Gerät laufenden Wassers die Verbrennungswärme ermittelt.

Der Heizwert handelsüblicher Kraftstoffe läßt sich, allerdings nur angenähert, mit Hilfe der Wichte verhältnismäßig einfach ermitteln. Die geeichten Thermo-Spindeln

(nach Marder) ermöglichen, die Heizwerte unmittelbar abzulesen. Sie sind je für Kraftstoffe aus Erdöl, für Braunkohlen- und Steinkohlenteeröle besonders entwickelt, so daß bei Messungen darauf zu sehen ist, daß jeweils die für die Art des Kraftstoffes geeichte Spindel verwendet wird.

## Wichte

Die Wichte, auch spezifisches (verhältniges) oder Einheitsgewicht genannt, ist das Verhältnis des Gewichtes zum Rauminhalt und gibt an, wieviel mal schwerer eine Kraftstoffmenge ist als die gleiche Menge Wasser von 4° C.

Sie gibt zugleich an, wieviel kg ein l Kraftstoff wiegt. Wichten von Kraftstoffen siehe Tafel 14, S. 94. Die Wichte wird für die Praxis hinreichend genau mit

Spindeln (Aräometern) bestimmt, die am verjüngten Ende eine geeichte Skala tragen, an der die Wichte unmittelbar abgelesen werden kann. Hierzu wird der Kraftstoff in einen Standzylinder gefüllt, die Ablesung geschieht in der Ebene des Flüssigkeitsspiegels. (Bild 57).

Für genaue Messungen werden geeichte Meßgefäße (Pyknometer) verwendet. Die Wichte ändert sich geringfügig mit der Temperatur. Für technische Messungen ist eine Meßtemperatur von 20° C genormt, doch wird im Kraftstoffhandel noch vielfach mit einer Meßtemperatur von 15° C gerechnet. Wird die Ablesung bei anderen Temperaturen vorgenommen, so ist sie zu berichtigen. Es ist bei Kraftstofftemperaturen unter 20° C je ° C der nachstehende Wert abzuziehen, bei Ablesungen über 20° C zuzuzählen und zwar: für Benzine 0,008, Dieselmotorkraftstoffe 0,007 und sehr schwere Teeröle 0,006 je Grad Temperaturunterschied.

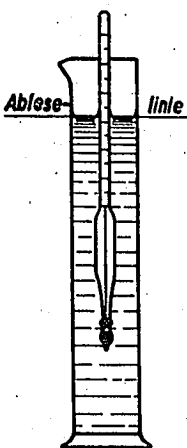


Bild 57. Ablesung der Wichte an der Spindel

## Verbrauchsmessung am Motor

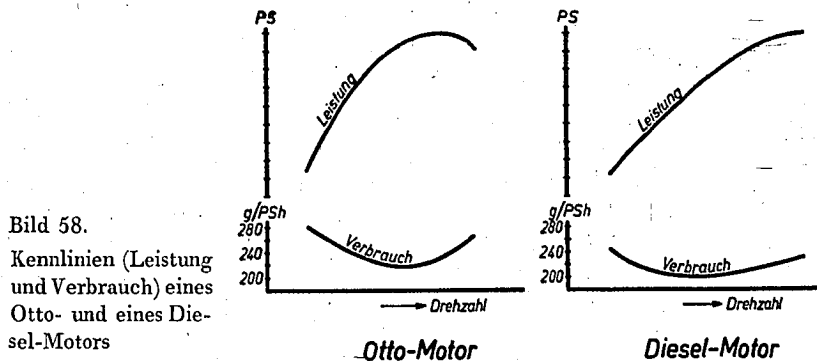
Der Verbrauch eines Motors wird am Prüfstand meist bei Vollast und günstigster Einstellung (Zündung und Vergasereinstellung beim Otto-Motor, Einspritzzeitpunkt und Einspritzmenge beim Diesel-Motor) für verschiedene Drehzahlen bestimmt. Es wird hierbei die Zeit ermittelt, in der z. B. 100 ccm zwischen den Marken eines Meßgefäßes abfließen. Daraus errechnet man den Stundenverbrauch in Litern (l/h), der mit Hilfe der Wichte in den Stundenverbrauch in kg oder g umgerechnet werden kann. Ist die Leistung des Motors bekannt, so bestimmt sich daraus nun der Verbrauch je Leistungseinheit:

spez. Verbrauch  $b = \frac{B}{N} = \frac{\text{Verbrauch je Stunde in g}}{\text{gemessene Leistung in PS}}$  in g/PS<sub>h</sub>.

Die durchschnittlichen Verbrauchszahlen neuzeitlicher Motoren sind in Tafel 15, S. 103, angegeben.

Für Forschungsarbeiten wurden Meßgeräte mit ununterbrochener Messung und selbsttätiger Ablesung der verbrauchten Mengen entwickelt. Auch wurden Verfahren vorgeschlagen, die den Verbrauch unmittelbar in Gewichtseinheiten angeben.

Die ermittelten Werte für Leistung und Verbrauch des Motors bei Vollast werden häufig als „Kennung“ des Motors in einem Linienblatt aufgetragen. Bild 58 zeigt solche Kennlinien für einen Otto- und einen Diesel-Motor.



### Verbrauchsmessung auf der Landstraße

Für diese ist heute durch die Vorschriften über die Ermittlung des „Normverbrauches“ (siehe S. 102) bereits eine eindeutige Anweisung gegeben. Vielfach wird aber der Wunsch bestehen, Verbrauchsmessungen für ganz bestimmte Fahrstrecken auszuführen und durch Fahrversuche den Kraftstoff unter Landstraßenbedingungen zu erproben. So wertvoll die daraus gewonnenen Erkenntnisse sind, so ist doch stets zu bedenken, daß bei Fahrversuchen außer den unvermeidlichen Versuchsungenauigkeiten verschiedene Fehler auftreten können, die nur durch Erfahrung und aufmerksame Beobachtung zu vermeiden sind.

Als Grundsatz für vergleichende Fahrversuche gilt, daß die Versuche auf derselben Strecke, in der gleichen Richtung, mit gleicher Geschwindigkeit und unmittelbar hintereinander erfolgen, ferner, daß der ganze Wagen (Motor, Getriebe, Ausgleichgetriebe) seinen Beharrungszustand erreicht hat und daß



die sonstigen Versuchsbedingungen (Zuführung des Kraftstoffes, Zündstellung usw.) die gleichen sind. Es sind also für alle Versuche die gleichen Verhältnisse zu schaffen und hierbei auch die kleinsten Nebensächlichkeiten zu berücksichtigen. Schon einmaliges Abstoppen und Wiederbeschleunigen eines auftretenden Verkehrshindernisses wegen kann die Messung unbrauchbar machen.

So ist z. B. darauf zu achten, daß die zu untersuchenden Kraftstoffe gleiche Temperatur haben. Außerdem müssen die Kraftstoffe dem Vergaser unter den gleichen Bedingungen zugeführt werden. Versuche mit demselben Kraftstoff im gleichen Wagen haben gezeigt, daß zwischen Betrieb mit Fallbenzin und der Zuführung des Benzins durch die Kraftstoffpumpe merkbare Unterschiede in bezug auf Klopfen, Leistung und Verbrauch auftreten können.

Der Kraftstoff fließt dem Motor bei solchen Messungen meist aus einem Meßgefäß über einen Schlauch durch das eigene Gefälle zu. Der Meßbehälter darf nicht zu hoch aufgehängt sein und muß bei allen Versuchen gleichmäßiges Gefälle ergeben. Bei zu starkem Gefälle stellt sich der Kraftstoffspiegel im Schwimmergehäuse höher ein und der Auftrieb des Schwimmers reicht u. U. nicht mehr aus, um die Schwimrnadel gegen ihren Sitz zu drücken und das Ventil abzuschließen, so daß dann der Vergaser überlaufen kann. Ferner ist darauf zu achten, daß der Kraftstoffschlauch nicht geklemmt ist.

Man achte auf die u. U. vorhandene Luft- bzw. Gemischvorwärmung, damit nicht der eine Kraftstoff mit Vorwärmung und der andere ohne sie gefahren wird. Ebenso muß die Zündstellung bei den Versuchen gleichgehalten werden. Auf einwandfreie Kerzen mit richtigem Wärmewert ist besonders zu sehen.

Die Belastung des Wagens darf während der Versuche nicht geändert werden. Man beachte ferner, daß die Fenster des Wagens oder das Verdeck immer gleichmäßig offen bzw. geschlossen gehalten werden. Auch der Reifendruck darf sich während der Versuche nicht ändern.

Fahrversuche unterliegen selbst bei sorgfältigster Durchführung so wie andere Versuche einer unvermeidbaren Ungenauigkeit. Diese kann sich noch vergrößern, wenn die Versuche an verschiedenen Tagen und auf verschiedenen Strecken durchgeführt werden. Witterung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Wind und Zustand der Straße, ob naß oder trocken, spielen eine große Rolle. Als Grundsatz für die Durchführung von Fahrversuchen gilt daher, daß nie ein Versuch allein maßgebend ist, sondern erst Versuchswiederholungen ein richtiges Bild ergeben. Bei sorgfältig durchgeführten Landstraßenversuchen, also über mehrere km Fahrstrecke, kann man praktisch mit einer größeren Genauigkeit als 2% nicht rechnen.

#### **Auslaufversuche mit einer bestimmten Kraftstoffmenge**

Für solche Versuche genügt ein einfacher Behälter, der mit einem Schlauch an den Vergaser angeschlossen wird. Vergaser und Kraftstoffleitung werden vollkommen entleert. Es wird dann eine bestimmte Menge Kraftstoff in den

Behälter eingefüllt und festgestellt, wie weit man damit bei einer bestimmten Geschwindigkeit und Fahrweise kommt. Solche Versuche zum Vergleich zweier Kraftstoffe sind nicht zu empfehlen, da große Ungenauigkeiten durch das Anfahren, Schalten und durch Zufälligkeiten auf der Strecke auftreten können. Ferner können Störungen durch Luftblasen im Schlauch bzw. in der Kraftstoffleitung das Ergebnis stark beeinflussen. Da der Vergaser und die Leitung vor Beginn des Versuches leer sein müssen, kann außerdem bei dem raschen Zufließen des Kraftstoffes der Schwimmer sich hängen oder die Schwimmernadel sich stecken. Hierdurch kann der Vergaser während des Versuches überlaufen, ohne daß es bemerkt wird, da man ja solange fährt, bis die gesamte Kraftstoffmenge verbraucht ist und der Motor infolge Kraftstoffmangels stehen bleibt.

#### **Verbrauchsversuche über eine bestimmte Strecke**

Hierzu ist ein zweibehältriges Meßgefäß erforderlich. Der Wagen wird zuerst mit dem Kraftstoff aus dem Anfahrbehälter im großen Gang auf die Versuchsgeschwindigkeit gebracht. An einer bestimmten Stelle (z. B. Kilometerstein) wird dann auf den Hauptbehälter, in dem sich eine vorher genau abgemessene Menge von dem gleichen Kraftstoff wie im Anfahrbehälter befindet, umgeschaltet und eine bestimmte Strecke durchfahren. Beim Durchfahren einer markierten Stelle am Ende der Versuchsstrecke wird der Haupttank abgestellt und durch Zurückmessen des Kraftstoffes der genaue Verbrauch bestimmt. Außerdem empfiehlt es sich noch, die Fahrzeit während der Messung abzustoppen zur Feststellung, ob die Geschwindigkeit bei allen Versuchen gleichmäßig eingehalten wurde und wie groß etwaige Abweichungen hierbei sind. Zum raschen Vergleich verschiedener Kraftstoffe ist dies die genaueste Meßmethode. Der bei diesem und dem vorher genannten Verfahren festgestellte Verbrauch ist immer etwas niedriger als der Verbrauch des Wagens im praktischen Fahrbetrieb.

#### **Beschleunigungsmessungen**

Man bestimmt mit der Stoppuhr die Zeit, die der Wagen braucht, um beispielsweise von 20 Benz (km/h) auf 60 Benz zu kommen. Der Gashebel muß hierbei, wenn Vergleichsmessungen durchgeführt werden, rasch auf Vollgas durchgetreten und während der Zeit des Beschleunigens auf Vollgas gehalten werden. Diese gemessene Zeit kann sehr wohl größer sein als eine solche, die erreicht wird, wenn der Gashebel mehr gefühlsmäßig betätigt wird. Bei Beschleunigungsmessungen muß man immer mit größeren Ab-

weichungen rechnen, besonders bei Wagen mit sparsamer Vergasereinstellung. Die Ungenauigkeiten sind vor allem in dem verschiedenen Verhalten der Vergaser beim Beschleunigen aus geringer Geschwindigkeit begründet.

## **Prüfung auf Störungsfreiheit**

### **Einwandfreie Kraftstoffförderung**

#### **Stockpunkt**

Der Stockpunkt ist die Temperatur, bei der der Kraftstoff so steif ist, daß er nicht mehr zu fließen vermag. Zur Bestimmung des Stockpunktes kühlt man die Kraftstoffprobe ab, bis die Fließfähigkeit aufgehoben ist. Gute Diesel-Kraftstoffe besitzen einen Stockpunkt von  $-20$  bis  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Es kann jedoch oberhalb des Stockpunktes eine Förderung des Dieselöles unmöglich werden, wenn sich durch das Abkühlen Kristalle ausscheiden. Deshalb bestimmt man den

#### **Kristallisationsbeginn**

Es ist dies diejenige Temperatur, bei der die ersten Ausscheidungen von (Paraffin-)Kristallen auftreten. Sie liegt etwa  $5^{\circ}$  oberhalb des Stockpunktes.

Bei undurchsichtigen Ölen kann die Temperatur der Ausscheidung nur angenähert angegeben werden.

Neuerdings wird die Temperatur bestimmt, bei der, den praktischen Verhältnissen entsprechend, die Förderung durch die üblichen Siebe noch möglich ist. Für die Bestimmung dieser

#### **Filterbarkeit**

ist ein Verfahren nach Hagemann und Hammerich zur Normung vorgeschlagen. Als Maß für die Filterarbeit gilt das Doppelte der Zeit, die 100 ccm Kraftstoff benötigen, wenn sie im vorgeschriebenen Gerät mit einem Überdruck von 0,5 at durch ein Filter von 10 kreisförmigen Kupfernetzscheiben von 6 mm  $\varnothing$  und einer Maschenweite von 0,1 mm gepreßt werden. Als Mindesttemperatur wird für Diesel-Kraftstoffe des Sommerbetriebes  $-5^{\circ}\text{C}$ , für die des Winterbetriebes  $-13^{\circ}\text{C}$  verlangt, bei der eine Filtrierung in 50 (oder 60) Sekunden noch möglich sein soll.

#### **Zähigkeit**

Die Zähigkeit (Viskosität oder innere Reibung) ist der Widerstand, den eine Flüssigkeit der gegenseitigen Verschiebung benachbarter Schichten entgegensetzt. Sie spielt nur bei Diesel-Kraftstoffen und da nur bei Wintertemperaturen eine Rolle.

Die physikalische (absolute) Einheit der (kinematischen) Zähigkeit ist:

$$1 \text{ St (Stokes)} = 100 \text{ cSt (Centistokes)} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}.$$

Praktisch wird die Zähigkeit in Zähigkeitsmessern (Viskosimetern) durch Messen der Ausflußzeit gemessen. Nach einem vorliegenden Normentwurf soll künftig für die Zähigkeitsmessung von Dieselölen das Vogel-Ossag-Viskosimeter verwendet werden. Es ermöglicht die unmittelbare Messung der kinematischen Zähigkeit.

Eine vereinbarte Einheit, die noch vielfach in Deutschland verwendet wird, ist der Engler-Grad. Er gibt die Zähigkeit im Verhältnis zu Wasser an. Die in Engler-Graden ausgedrückte Zähigkeit wird im Engler-Viskosimeter bestimmt und errechnet sich aus:

Ausflußzeit v. 200 cm Kraftstoff bei bestimmter Temperatur

Ausflußzeit von 200 cm Wasser von 20° C

Engler-Grade (und auch die auf ähnliche Weise bestimmten englischen Redwood- und amerikanischen Saybolt-Sekunden) lassen sich in die physikalischen Zähigkeitswerte umrechnen. Für den Zähigkeitsbereich der Diesel-Kraftstoffe sind in Tafel 25 die Werte für die kinematische Zähigkeit und Engler-Grade gegenübergestellt. Die Zähigkeit ändert sich mit der Temperatur des Kraftstoffes, so daß Zähigkeitswerte nur bei gleicher Meßtemperatur vergleichbar sind. Für Diesel-Kraftstoffe wird in Deutschland meist eine Meßtemperatur von 20° C benützt.

Tafel 25. Umrechnung von Engler-Graden in kinematische Zähigkeit

Engler-Grade E°	Kinematische Zähigkeit cSt
1,00	1,0
1,10	1,8
1,20	2,8
1,30	3,9
1,40	5,0
1,50	6,25
1,60	7,45
1,70	8,5
1,80	9,6
1,90	10,7
2,00	11,8
2,10	12,8
2,20	13,8
2,30	14,8
2,40	15,7
2,50	16,6
3,00	21,1
3,50	25,4
4,00	29,3
4,50	33,3
5,00	37,3

**Ausfällungen bei Mischung von Diesel-Kraftstoffen**

Prüfverfahren für die Ermittlung des „Fällungswertes“ sind erst in Entwicklung. Vorgeschlagen ist, das Gewicht der Ausscheidungen festzustellen, die 5 g des zu prüfenden Kraftstoffes in Mischung mit 200 cm<sup>3</sup> synthetischem RCH-Bezugsdieselmotorkraftstoff (der Ruhrchemie-A.G.) nach 24 Stunden Standzeit bei Raumtemperatur

ergeben. Dieser sehr strengen Prüfung ist ein anderer Vorschlag gegenübergestellt, wonach die Öle bei einer Prüfung über 24 Stunden bei 40° oder 1 Stunde bei 200° C nach dem Abkühlen klar bleiben müssen.

### **Verhütung von Ablagerungen**

#### **Abdampfschalenprobe (Vorgebildetes Harz)**

Hiefür werden 100 cm<sup>3</sup> Kraftstoff in einer halbkugelförmigen Glasschale, die durch ein Wasserbad erwärmt wird, verdampft. (Bild 59). Die Verdampfung wird durch Aufblasen von Luft beschleunigt. Das Gewicht des Rückstandes (in mg/100 cm<sup>3</sup> Kraftstoff) nach Trocknung (bei 110° für Flugkraftstoffe, bei 220° für Autokraftstoffe), aber auch seine Beschaffenheit geben einen Anhalt für die Verpichungsneigung. Bild 59 zeigt Abdampfschalen nach



Bild 59:  
Abdampfschalen

der Probe; die linke weist harzartige Rückstände auf, während die rechte einen ölartigen Niederschlag zeigt, herrührend von Ölzusatz zum Kraftstoff.

Im allgemeinen wird ein Harzgehalt von 15 mg/100 cm<sup>3</sup> für Otto-Kraftstoffe noch als zulässig angesehen, doch bleiben die Markenkraftstoffe weit unter diesem Wert.

Mit der Abdampfschalenprobe können auch gewisse Verunreinigungen nachgewiesen werden. So ergibt z. B. Benzin, das längere Zeit mit Gummi in

Berührung war, oder Alkoholgemisch, das Lack gelöst enthält, eine schlechte Abdampfschalenprobe.

Die Verpichungsneigung kann auch in kleinen Einzylindermotoren, die sehr verpichungsempfindlich sind, überprüft werden.

#### **Jodzahl**

Zur ungefähren Ermittlung des Anteiles an ungesättigten Verbindungen (Olefinen) eines Kraftstoffes, die seine Verpichungsneigung hauptsächlich bestimmen, kann seine Aufnahmefähigkeit für Jod oder Brom dienen. Hiefür wird die Jod- bzw. Bromzahl ermittelt. Sie gibt an, wieviel g Jod bzw. Brom von 100 g des Kraftstoffes aufgenommen werden.

Für die Ermittlung der Jodzahl sind verschiedene Verfahren vorgeschlagen worden. Ein Vergleich von Jodzahlen ist nur möglich, wenn sie nach demselben Verfahren bestimmt wurden. Am häufigsten angewandt wird das Verfahren von Hanus. Gute Benzine besitzen eine Jodzahl nach Hanus von weniger als 3, weisen also wenig Olefine auf. Eine Jodzahl von über 10 läßt auf Anteile von Krackbenzin schließen.

#### **Verkokungsneigung**

Ein einheitlich angewandtes Verfahren für die Ermittlung der Verkokungsneigung von Diesel-Kraftstoffen ist noch nicht festgelegt. Die beste Übereinstimmung mit dem Verhalten des Kraftstoffes im Motor gibt der Conradson-Test. Bei diesem werden 10 g des zu prüfenden Kraftstoffes in einem Tiegel erhitzt. Dies führt zunächst zu einer Zersetzung, die sich durch Abspaltung brennbarer Dämpfe anzeigt. Diese werden verbrannt. Wenn die Dämpfe zu brennen aufhören, wird der Tiegel auf Kirschrotglut erhitzt. Der Koksrückstand im Tiegel wird gewogen und gibt einen Anhalt für die Verkokungsneigung. Gute Dieselkraftstoffe ergeben nach Conradson höchstens 0,05% Rückstand.

Auch der Gehalt an Hartasphalt kann einen Hinweis für die Verkokungsneigung geben. Hiezu werden 10 g des zu prüfenden Kraftstoffes mit dem 40fachen Volumen an Normalbenzin versetzt. Nach 12 Stunden Standzeit wird die Mischung gefiltert und der Rückstand getrocknet. Eine Behandlung mit Benzol wäscht den Asphalt aus dem Rückstand heraus, während feste Fremdstoffe sich in Benzol nicht lösen. Der ausgewaschene Hartasphalt wird dem Gewicht nach bestimmt. Gute Diesel-Kraftstoffe zeigen einen Asphaltgehalt von höchstens 0,2%.

Die Praxis zeigt allerdings, daß manche Diesel-Kraftstoffe mit ungünstigen Conradson- und Asphaltwerten im Motor störungsfrei arbeiten.

## **Verhütung von Angriffen auf die Motorwerkstoffe**

### **Schwefelgehalt und Korrosionsneigung**

Der Gehalt eines Kraftstoffes an Schwefel kann durch Verbrennen einer Probe bestimmt werden. Er soll für Diesel-Kraftstoffe unter 0,2 % bleiben. Freier oder „aktiver“ Schwefel und andere anfressende Stoffe werden durch die Kupferstreifenprobe nachgewiesen. Hierzu wird ein blank geschmirgelter Kupferstreifen im Kraftstoff im Probegefäß mit Rücklaufkühler 3 Stunden lang erwärmt.

Eine neuere Vorschrift sieht für die Prüfung von Otto-Kraftstoffen einen Kupferstreifen vor, der Aluminiumnieten trägt und bis zur halben Länge in die Kraftstoffprobe eintaucht. Nach 3stündiger Behandlung soll der Kupferstreifen keine grauen oder schwarzen Flecke oder Anfressungen aufweisen. Als Prüftemperaturen werden 50, 100 und neuerdings auch 78° C angewendet.

Bei Korrosionsprüfungen ist häufig auch die Feststellung der Gewichtsabnahme nötig, den ein metallischer Probestreifen innerhalb einer bestimmten Verweilzeit im Kraftstoff erfährt. So wird z. B. zur Prüfung von Diesel-Kraftstoffen auf Korrosionsneigung ein Zinkstreifen von 10 × 100 mm 24 Stunden bei 100° C im Kraftstoff belassen und anschließend der Gewichtsverlust bestimmt.

Die Korrosionsprüfungen sind noch in Entwicklung. Es zeigt sich, daß eine gründliche Prüfung sich auf alle Werkstoffe zu erstrecken hat, die der Kraftstoff berührt.

### **Säurewert**

Um etwaige angreifende Säurereste im Kraftstoff zu ermitteln, wird der Säurewert bestimmt. Hierzu wird eine Kraftstoffprobe von 100 cm<sup>3</sup> mit Kalilauge versetzt. Sind Säurereste im Kraftstoff, so werden diese durch die Kalilauge neutralisiert. Die hierfür verbrauchte Menge an Kalilauge gibt den Säurewert. Gut gereinigte Kraftstoffe sind praktisch säurefrei.

### **Aschegehalt**

Er hat nur für Diesel-Kraftstoffe Bedeutung. Hierzu wird eine Kraftstoffprobe erhitzt und verascht. Der Aschegehalt, in g je 100 g Kraftstoff oder in Gewichts% angegeben, ermöglicht einen Anhalt für die zu erwartende Abnutzung der Zylinderwandungen bei der Verbrennung des Kraftstoffes. Gute Diesel-Kraftstoffe weisen praktisch einen Aschegehalt unter 0,05 % auf.

## Prüfung auf Beständigkeit

### Lagerbeständigkeit der Otto-Kraftstoffe

Hiefür wird eine Kraftstoffprobe von  $200\text{ cm}^3$  in einer Bombe, vgl. Bild 60, bei einer Temperatur von  $70$  oder  $100^\circ\text{C}$  einer Sauerstoffatmosphäre von  $7\text{ at}$  Überdruck ausgesetzt. Der Druck in der Bombe wird laufend durch einen Druckschreiber aufgezeichnet. Besteht infolge eines Gehaltes an ungesättigten Verbindungen Neigung zur Unbeständigkeit während längerer Lagerung, dann wird Sauerstoff für die Absättigung dieser Verbindungen verbraucht und der Druck in der Bombe fällt ab. Im allgemeinen wird gefordert, daß

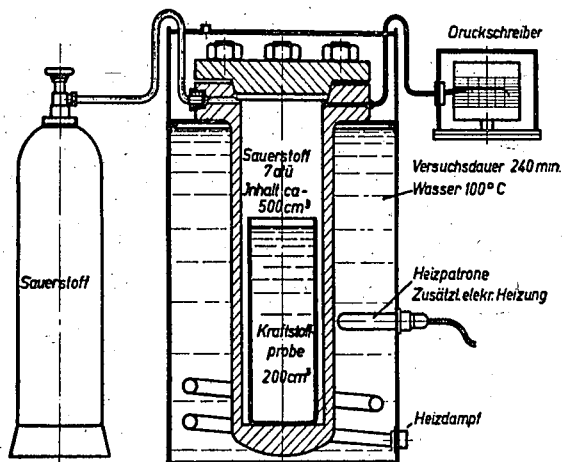


Bild 60.

Geräte zur Lagerbeständigkeitsprüfung

Otto-Kraftstoffe innerhalb einer „Induktionszeit“ von 4 Stunden bei  $100^\circ\text{C}$  keinen Druckabfall ergeben.

### Wasserwert

Er gibt an, wieviel Wasser  $100\text{ cm}^3$  alkoholhaltiger Kraftstoff bei bestimmter Temperatur ohne Trübung oder Entmischung aufzunehmen vermögen. Der Wasserwert wird durch allmähliches Zusetzen von Wasser zur Kraftstoffprobe ermittelt und in  $\text{cm}^3$  je  $100\text{ cm}^3$  Kraftstoff bei der gewählten Temperatur angegeben. Handelsüblich wird er für  $20^\circ\text{C}$  bestimmt (vgl. S. 114).

### Analysen

Durch besondere Kraftstoffanalysen können nachgewiesen und annähernd mengenmäßig bestimmt werden: Ungesättigte Kohlenwasserstoffe, aromati-



sche Kohlenwasserstoffe (die Unterscheidung von ursprünglich vorhandenen und nachträglich zugesetzten benzolartigen Anteilen ist nur ganz selten möglich), Alkohole, Wasser, schwerverdunstende Anteile, wie Öle, Harze, Farbstoffe, Naphthalin, sowie besondere Zusätze wie Bleitetraäthyl und Eisenkarbonyl.

### *Toleranzen*

Geringfügige, aber unvermeidliche Ungleichmäßigkeiten in der Beschaffenheit der Kraftstoffe, Ungenauigkeiten in der Herstellung und bei der Prüfung machen die Festlegung von zulässigen Abweichungen von vereinbarten Werten notwendig. Dies geschieht entweder durch Festlegung von Höchst- und Mindestwerten in den Abnahmebedingungen oder durch Annahme der für einzelne Kennwerte genormten Toleranzen.

### *Übersicht über die Kraftstoffprüfung*

Die nachstehenden Tafeln 26 und 27 fassen die behandelten Prüfverfahren in einer Übersicht zusammen und geben auch die hierfür geltenden Normblätter an.

Die Tafeln 27 und 28 enthalten für eine größere Zahl praktisch untersuchter Kraftstoffe die Kennwerte. Die darin aufgenommenen Kraftstoffe sind von einwandfreier Beschaffenheit, so daß die Gütekennziffern als ungefährer Anhalt für gute Kraftstoffe der betreffenden Art angesehen werden können. Schließlich sind in Tafel 29 auch die wichtigsten Kennwerte für Speichergase zusammengestellt.

Tafel 26. Übliche Prüfverfahren für Otto-Kraftstoffe und ihre Auswertung  
(Normangaben nach dem Stand von Mitte 1940)

Prüfung auf	Kennwerte	Normvorschrift DIN	Wertung des Ergebnisses für die		
			Zusammensetzung des Kraftstoffes	Verwendung im Motor	Lagerung
Klopfestigkeit	Motor-OZ für Flugkraftstoffe, Research-OZ für Auto-kraftstoffe	—	—	Allgemeine Verwendbarkeit, Leistung und Verbrauch	—
Siedeverhalten	Siedekurve, Kennziffer n. a.	3672 Entw. 1	Anteile der leicht- und schwerstendenden Kohlenwasserstoffe	Vergasbarkeit, Rückstands- und Dampfblasenbildung	Verdampfungsverluste
Dampfdruck	Dampfdruck nach Reid in atü bei 38° C	—			
Wichte	Wichte in kg/l	3653	Anhalt für Zusammensetzung und Herkunft	Vergasereinstellung	—
Heizwert	Heizwert in WE/kg	3716	—	Energiegehalt des Kraftstoffes, Gemischheizwert	—
Wasserwert	Aufgenommene Wassermenge bis zur Trübung cm <sup>3</sup> je 100 cm <sup>3</sup> Kraftst.	3676	Etwaiger Alkoholanteil	Entmischungsgefahr	Lagerfähigkeit bei niedriger Temperatur
Kristallisationsbeginn	°C	—	Etwaiger Benzol- oder Paraffingehalt	Förderung bei tiefer Temperatur	—
Vorgebildetes Harz	Abdampfschalenrückstand in mg/100 cm <sup>3</sup>	—	Etw. Verunreinigungen (Harze, Öhre, Lacke)	Anhalt für die Verpichungsneigung	—
Jodzahl	Jod je 100 g Kraftstoff	—			
Neugebildetes Harz	Induktionszeit bis zum Druckabfall	—	—	—	Lagerbeständigkeit
Schwefelgehalt	mg Schwefel je 100 g Kraftstoff	—	Schwefelgehalt	—	—
Korrosion	Veränderung nach der Prüfung bzw. Gewichtungsverlust in mg	—	—	Neigung zu Anfressungen	Neigung zu Anfressungen
Säurewert	mg Kallauge je 100 cm <sup>3</sup> Kraftstoff	3678	Verunreinigung durch Säurereste	—	—

Tafel 27. Übliche Prüfverfahren für Diesel-Kraftstoffe und ihre Auswertung  
(Normangaben nach dem Stand von Mitte 1940)

Prüfung auf	Kennwerte	Normvorschrift DIN	Wertung des Ergebnisses für die	
			Zusammensetzung des Kraftstoffes	Verwendung im Motor
Zündwilligkeit	Cetanzahl	—	—	Allgemeine Verwendbarkeit, Leistung, Beanspruchung der Triebwerksteile
Anilinpunkt	Entmischungstemperatur in °C	—	Gehalt an zyklischen Verbindungen	Anhalt für Zündwilligkeit
Heizwert	Heizwert in WE/kg	3716	—	Energiegeh. der Ladung
Wichte	Wichte in kg/l	3653	Anhalt für Heizwert und Herkunft	Pumpeneinstellung
Viskosität	Centistokes oder °E	3755 Entw./ bzw. 3655	—	Kraftstoffförderung
Filterbarkeit	Filterzeit oder Grenztemperatur	3767 Entw. 1	—	Zerstäubung
Stockpunkt	°C	3662	Paraffingehalt	Kraftstoffförderung bei Kälte
Kristallisationsbeginn	°C	—	—	—
Flammpunkt	°C	—	—	Sicherheitsvorschriften
Siedeverhalten	Siedekurve, Kennziffer	3672 Entw. 1	Anteile mittel- und schwerer Kohlenwasserstoffe	—
Verkokung	Gewichts %	3796 Entw. 2	—	Düsenverkokung und Verschmutzung des Verbrennungsraumes
Asphaltgehalt	Gewichts %	3660	Anhalt für Herkunft	—
Schwefelgehalt	mg Schwefel je 100 g Kraftstoff	—	Schwefelgehalt	Neigung z. Anfressungen durch die Auspuffgase
Korrosion	Gewichtsabnahme in mg	3767 Entw. 2	—	Neigung zu Anfressungen
Säurewert	mg Kalilauge je g Kraftstoff	3658	Verunreinigung durch Säurereste	—
Asche	Gewichts %	3657	Unverbrennbare Anteile	Abnutzung der Zylinderwandungen

Tafel 28. Ergebnisse der Prüfung von Otto-Kraftstoffen als Beispiele für deren Gütekennzeichen

Kraftstoff	Oktanzahl R = Research M = Motor	Sieverhalten					Dampfdruck bei 40° kg/cm <sup>3</sup>	Wichtige kg/l	Abdampfprobe mg/100cm <sup>3</sup>	Jodzahl Hanus	Bemerkung	
		Siedebeginn °C	10 % Punkt	50 % Punkt	90 % Punkt	Siedeschluß						Kennziffer
Ein Tankstellenbenzin N	73,5 R	47	61	127	191	202	125	0,62	0,757	0,6	2,3	11% Alkoholgehalt
Ein Tankstellenbenzin S	76,5 R	45	67	118	170	191	118	0,56	0,726	1,4	50,5	0,4 cm <sup>3</sup> Bleitetraäthyl je Liter
Ein verbleitetes Tankstellengemisch	80,5 R	45	68	115	185	200	121	0,52	0,748	—	4,46	0,4 cm <sup>3</sup> Bleitetraäthyl je Liter
Ein hochklopf-festes Flugbenzin	99 M	55	75	104	120	150	101	0,44	0,712	2,0	2,1	
Ein Flugbenzin	74 M, mit 1 cm <sup>3</sup> TEL je Lit. 90 M	40	68	95	124,5	141	94	0,49	0,752	1,0	1,1	
Ein rumänisches Destillatbenzin mit Blei	74,5 R	58	85	123	172	189	126	0,57	0,742	2,4	0,2	0,41 cm <sup>3</sup> Bleitetraäthyl je Lit.
Ein Eichbenzin für Klopfwertbestimmung	41 R 42,5 M	65	84	109	141	158	111	0,27	0,720	0,2	0,9	

Tafel 29. Ergebnisse der Prüfung von Diesel-Kraftstoffen als Beispiele für deren Gütekennezeichen

Kraftstoff	Cetan- zahl	Wichte bei 20° C	Siedeverhalten				Visko- sität bei 20° C cSt	Stock- punkt ° C	Kri- stalli- sations- beginn ° C	Flamm- punkt ° C	Con- rad- son- test	Asche %	Bemerkung
			Siede- beginn ° C	Über- gang bis 300°	Siede- schluß ° C	Kenn- ziffer							
Ein Gasöl aus badischem Erdöl	60	0,855	295	1	375	332	12,3	-17	-14	148	0,011	0,005	
Ein Gasöl ame- rikanischer Her- kunft	46	0,852	210	65	350	280	5,51	-22	-16	100	0,014	—	Unterer Heiz- wert 10 210 WE/kg
Ein handelsüb- liches Marken- gasöl	48	0,872	219	87	342	250	1,95	-52	-24	75	0,007	—	Unterer Heiz- wert 9915 WE/kg
Ein deutsches Braunköhlen- teeröl	55	0,895	178	79,5	358	272	3,61	-10	—	78	0,39	0,004	
Ein deutsches Steinkohlenteeröl	0	1,07	208	60	365	256	8,9	—	—	102	—	0,029	Unterer Heiz- wert 8980 WE/kg

Tafel 30. Kennziffern für Speichergase

	Flüssiggase			Hochdruckgase		
	Propan	Butan	Propan/ Butan 50/50	Motoren- methan	Klärgas (gereinigt)	Stadtgas (Berlin)
Wichte des Gases (15°, 755 mm Hg) kg/m <sup>3</sup>	1,81	2,38	2,06	0,915	0,800	0,600
Wichte der Flüssig- keit bei 15° C kg/l.	0,51	0,58	0,54	—	—	—
Unterer Heizwert, WE/m <sup>3</sup>	19 900	25 900	22 600	10 000	8 300	3 800
Unterer Heizwert, auf Gewicht bezo- gen WE/kg	11 000	10 900	10 950	10 950	10 000	6 500
Oktanzahl (Research)	~ 125	~ 95	> 100	> 100	> 100	~ 90

### Probenahme

Voraussetzung für die richtige Beurteilung des Kraftstoffes mittels der angewandten Prüfverfahren ist eine Kraftstoffprobe, die der tatsächlichen Beschaffenheit des Kraftstoffes entspricht und sich während der Probenahme und während des Versandes nicht verändert hat. Deshalb sind für die Probenahme von Kraftstoffen besondere Richtlinien zu beachten, die nachstehend im Auszug einem Normblätientwurf (3671, Entwurf 1) bzw. dem Normblatt 3651 entnommen sind.

Die bei der Probenahme zu benutzenden Geräte einschließlich Zubehör müssen sauber und trocken sein. Während der Probenahme sind Verunreinigungen aller Art (Putz-  
wollfasern, Staub usw.) und Feuchtigkeit fernzuhalten.

Bei Probenahmen aus Mengen über 5 t sind Einzelproben aus jedem einzelnen Kessel-  
wagen, Schiffstank usw. in folgender Weise zu nehmen:

Die **Oberschichtprobe** aus der Schicht, die um etwa 10% der Gesamthöhe  
unter der Oberfläche des Stoffes liegt;

die **Mittelschichtprobe** aus der Schicht, die um etwa 50% der Gesamt-  
höhe unter der Oberfläche des Stoffes liegt;

die **Unterschichtprobe** aus der Schicht, die um etwa 10% der Gesamthöhe  
über dem Boden des Behälters liegt;

die **Bodenprobe** aus den untersten Teilen des Behälterinhaltes.

Beim Probenehmen aus Mengen bis zu 5 t (kleineren Tanks, Fässern, Trommeln, Barrels usw.) werden Einzelproben wie folgt entnommen:

bei Lieferung eines einheitlichen Stoffes in weniger als vier Einzelgebinden aus jedem Gebinde, in 4 bis 100 Einzelgebinden aus wenigstens 20% der Gebinde, mindestens aber aus 4 Gebinden, in mehr als 100 Einzelgebinden aus wenigstens 10% der Gebinde, mindestens aber aus 20 Gebinden.

Augenscheinlich gleichartige Einzelproben können zu einer Mischprobe vereinigt werden.

Einzelproben aus Mengen über 5 t sind für jeden einzelnen Kesselwagen, Tank usw. zu einer Mischprobe zusammenzufassen, wenn nicht vereinbart ist, daß die Proben mehrerer oder aller Kesselwagen, Tanks usw. zu einer einzigen Mischprobe vereinigt werden dürfen.

Besonders abweichende Einzelproben sind nicht mit den Mischproben zu vereinigen.

Die Proben werden entweder der ruhenden Flüssigkeit mit dem Stechheber, der Saugflasche oder mit einer Tauchflasche entnommen, der strömenden Flüssigkeit durch Abzweigen eines Nebenstromes.

Proben leichtsiedender Flüssigkeiten sind möglichst kühl und rasch abzufüllen und bis zur Untersuchung dicht verschlossen aufzubewahren.

Die Mischproben und die ausgesonderten Einzelproben werden jede für sich gründlich durchmischt. Aus den gleichmäßig durchmischten Proben werden die „Endproben“ genommen.

Die Endprobe wird zu gleichen Teilen in vier Gefäße gefüllt, die wegen der Ausdehnungsmöglichkeit der Flüssigkeit nur zu  $\frac{3}{4}$  voll sein sollen. Jede Endprobe soll für die gewünschten Untersuchungen unbedingt ausreichend bemessen sein (im allgemeinen 1 kg). Nach Möglichkeit dienen als Behälter trockene Glasgefäße mit dichten Verschlüssen, am besten Glasstopfen, die nach Plombierung mit einem nicht kraftstofflöslichen Überzug zu versehen sind, oder neue Korkstopfen, möglichst mit Stanniol verkleidet. Auf die etwaige Lichtempfindlichkeit der Proben ist Rücksicht zu nehmen. Es können auch sorgfältig gereinigte und getrocknete Blechkannen, möglichst nicht aus Kupfer oder Messing, mit dichten Verschlüssen verwendet werden. Nach der Füllung verschließt man die Behälter sofort, um Verluste an leichtflüchtigen Bestandteilen zu verhindern und versieht die Verschlüsse mit die Herkunft einwandfrei verbürgenden Plomben oder angehängten Siegeln, durch die gleichzeitig die Anhängekarten gesichert sind.

Von den vier Proben ist je eine bestimmt für den Auftraggeber, für das Untersuchungslaboratorium, für etwaige Schiedsanalysen und für den Probenehmer. Der Probenehmer ist verpflichtet, die Probe sechs Wochen lang aufzubewahren, falls keine anderen Anweisungen vorliegen.