

Nur für den Dienstgebrauch

G 1—1

000645

Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 1476

Bestimmung des Bleitetraäthylgehalts von Kraftstoffen mit Hilfe der Schwächung der Röntgenstrahlen

Groß Staab

Verfaßt bei

**Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren
an der Technischen Hochschule Stuttgart**

Zentrale für wissenschaftliches Berichtswesen
der Luftfahrtforschung des Generalluftzeugmeisters (ZWB)
Berlin-Adlershof

45

000646

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstgebrauch des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb dieses Dienstgebrauchs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für Ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen.

Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstgebrauchs des Empfängers ist ausgeschlossen.

Der Bericht ist unter Stahlblechverschluß
mit Patenschloß zu halten.

000647

Bestimmung des Bleitetraäthylgehalts von Kraftstoffen
mit Hilfe der Schwächung der Röntgenstrahlen.

Uebersicht:

Der Bleitetraäthylgehalt von Kraftstoffen wurde bisher auf chemischem Wege bestimmt, was im allgemeinen sehr viel Zeit erforderte und eine chemische Vorbildung voraussetzte. Erst im vorigen Jahre konnte im Stuttgarter Forschungsinstitut ein vereinfachtes Schnellverfahren entwickelt werden, das den Zeitaufwand auf etwa 10 min herabsetzte.

Das im vorliegenden Bericht angegebene Verfahren beruht auf der Schwächung von Röntgenstrahlen beim Durchgang durch eine Schicht verbleiten Kraftstoffs und ist sehr einfach zu handhaben.

Eine Bleibestimmung dauert etwa 1 min. Es eignet sich besonders für Reihenuntersuchungen.

Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren
an der Technischen Hochschule Stuttgart.

Institutsleiter:



W. Kamm.

Gliederung:

1. Einführung
2. Versuchseinrichtung
- ~~3. Die Schwächungskurve der Röntgenstrahlen für Kraftstoffe~~
4. Messungen an Benzinern verschiedener Wichte und verschiedener Zusammensetzung
 - a) Messung des Bleitetraäthylgehalts bei gleichen Schichthöhen
 - b) Messung des Bleitetraäthylgehalts bei gleichen Gewichtsmengen
- ~~5. Berücksichtigung verschiedener Beimengungen~~
 - ~~a) Schwefelgehalt~~
 - b) Peroxyde
- ~~6. Benzol- und alkoholhaltige Kraftstoffe~~
 - a) Benzolgehalt
 - b) Alkoholgehalt
7. Günstige Versuchsbedingungen
8. Weitere Aufgaben
9. Zusammenfassung.

Der Bericht umfasst:

~~20~~ Seiten mit
3 Abbildungen und
2 Zahlentafeln

Abteilungsleiter:

P. Riekert

P. Riekert.

Bearbeiter:

Staub

W. Groß / F. Staab.

Stuttgart, den 16.7.41.

Verwendete Formelzeichen:

α_{EF} [Gew.-%] Gehalt an Ethylfluid

~~α_{Pb} [Gew.-%] Gehalt an Blei~~

α_{Br} [Gew.-%] Gehalt an Brom

D cm Schichthöhe des Kraftstoffs

ρ_B g/cm³ Wichte des unverbleiten Kraftstoffs

~~ρ g/cm³ Wichte des verbleiten Kraftstoffs~~

$(\frac{\mu}{\rho})_B$ Massenschwächungszahl des unverbleiten Benzins

~~$(\frac{\mu}{\rho})_{EF}$ Massenschwächungszahl des Ethylfluids, unter alleiniger Berücksichtigung des Blei- und Bromgehaltes~~

$(\frac{\mu}{\rho})_{Pb}$ Massenschwächungszahl des Bleis

$(\frac{\mu}{\rho})_{Br}$ Massenschwächungszahl des Broms

J_0 Strahlungsintensität vor der durchstrahlten Kraftstoffschicht

J Strahlungsintensität hinter dem verbleiten Kraftstoff

J_u Strahlungsintensität hinter dem unverbleiten Kraftstoff.

1. Einführung.

Die Klopfneigung der Vergaserkraftstoffe begrenzt die Leistungssteigerung von Zündermotoren. Bei der Erhöhung der Verdichtung oder des Ueberladedruckes ist im allgemeinen kurz vor Erreichen der Klopfgrenze die höchste Leistung zu erwarten. Dadurch entsteht die Forderung nach Kraftstoffen mit einer möglichst hohen und gleichbleibenden Oktanzahl, als Maß für die Klopfestigkeit.

Zur Erzielung der gewünschten Oktanzahl wird den Kraftstoffen besonders den Flugmotorenkraftstoffen, Bleitetraäthyl in der erforderlichen Menge in Form von Ethylfluid zugesetzt.

Um die schädliche, korrodierende Wirkung des bei der Verbrennung entstehenden Bleioxyds, das einen sehr hohen Schmelzpunkt (800°C) hat und sich somit im Brennraum leicht niederschlägt, zu beseitigen, wird dem Bleitetraäthyl in Ethylfluid in einem ganz bestimmten, immer gleichen Verhältnis Aethylendibromid zugesetzt, so daß nun bei der Verbrennung Bleibromid (Pb Br_2) entsteht. Der Schmelzpunkt von Bleibromid ist 370°C und seine Entfernung aus dem Brennraum mit dem Abgas daher leichter.

Das in Flugmotoren zur Verwendung kommende Ethylfluid ist wie folgt zusammengesetzt:

Bleitetraäthyl $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$	61,4 Gew.-%
Aethylendibromid $(\text{CH}_2)_2 \text{Br}_2$	35,68 "
Farbstoff, Petroleum und sonstige Beimengungen	2,92 "
Wichte	1,755 g/cm^3
Volumenverhältnis Ethylfluid zu Bleitetraäthyl	1,531

Das in Fahrzeugmotoren verwendete Ethylfluid besteht aus:

Bleitetraäthyl	63,5 Gew.-%
Aethylendibromid	25,75 "

Aethylendichlorid (CH ₂) ₂ Cl ₂	8,72 Gew.- %
Farbstoff, Petroleum und sonstige Beimengungen	0,32 "
<u>Wichte</u>	<u>1,671 g/cm³</u>
Volumenverhältnis Ethylfluid zu Bleitetraäthyl	1,561

Der Gehalt an Bleitetraäthyl in Kraftstoffen wurde bisher mit Hilfe von chemischen Verfahren bestimmt. Eine Bleibestimmung erforderte hierbei bis vor kurzem sehr viel Zeit. Erst im vorigen Jahr ist es gelungen, den Zeitaufwand bei einer Genauigkeit von $\pm 0,003$ Vol.- % auf etwa 10 min herabzusetzen¹⁾.

Im Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart ist nunmehr ein Verfahren entwickelt worden, das gestattet, den Bleigehalt in Kraftstoffen auf physikalischem Wege in noch kürzerer Zeit zu ermitteln.

Für die Bestimmung wurden nach einem Vorschlag von W. Groß Röntgenstrahlen eingesetzt, die mit großem Nutzen seither in der Werkstoffprüfung verwendet werden²⁾. Das Verfahren beruht auf dem Grundsatz, die Schwächung der Röntgenstrahlen bei der Durchdringung einer bestimmten Kraftstoffschicht als Maß für den Bleigehalt zu benutzen. Die Anwendbarkeit dieses Gedankens zur Bleibestimmung hing von der Möglichkeit ab, auf einfache Weise und mit genügender Genauigkeit Intensitätsunterschiede der Röntgenstrahlen zu messen. Es gab wohl seit längerer Zeit ein Meßinstrument großer Empfindlichkeit, nämlich das Elektronenzählrohr von Geiger und Müller³⁾, das sehr häufig in der physikalischen Forschung benützt worden ist. Aber dieses Gerät war seither

- 1) O. Widmaier, Dtsch. Luftf.-Forsch., Forschungsbericht Nr. 1252. Weiter vereinfachtes Schnellverfahren zur Bestimmung des Bleitetraäthylgehalts in Flugmotorenkraftstoffen (1940)
- 2) R. Glocker. Materialprüfung mit Röntgenstrahlen, 2. Aufl. 1936
- 3) W. Müller u. H. Geiger, Phys. Z. Bd. 29 (1928), S. 839.

noch nicht für technische Messungen geeignet, weil es viel zu ungleichmässig arbeitete und seine Handhabung eine viel zu große Erfahrung erforderte. In den letzten Jahren wurden aber von Trost⁴⁾⁵⁾ technische Zählrohre entwickelt, die in der Werkstoffprüfung eingesetzt worden sind.

Die Zählrohre bestehen im wesentlichen aus einem zylindrischen Metallrohr von einigen Millimetern bis einigen Zentimetern Durchmesser, durch das axial, aber vom Rohr durch Bernsteinscheiben isoliert, ein dünner Draht geführt ist. Diese Anordnung ist von einem Glasrohr umgeben, das ausgepumpt und dann mit einem Gas, z.B. Argon, und Alkoholdampf gefüllt wird. Am Rohr liegt eine Gleichspannung von ungefähr 1000 bis 1500 V.

Mit Hilfe dieser Zählrohre können Röntgenstrahlintensitäten gemessen werden.

2. Versuchseinrichtung.

Die Versuchsanlage bestand aus einer Röntgenröhreneinrichtung und einem Zählrohr mit einem Verstärker (Bild 1)⁶⁾. Es wurde mit der Kleinröntgenapparatur Kristalloflex von Siemens u. Halske, Berlin, und der Mikro 50 Apparatur von C.H.F.Müller gearbeitet. Das Zählrohr war ein von Trost in der Reichsröntgenstelle hergestelltes Interferenzzählrohr, das für Feinstruktur-Untersuchungen des Röntgenspektrums gebaut ist und Röntgenstrahlintensitäten mit großer Genauigkeit zu messen gestattet. Die Ablesung der Intensität geschieht nicht durch Impulzzählungen, wie das seither üblich war, sondern durch das Ablesen des Zählrohrstromes an einem Milliampereometer, was eine ausserordentliche Vereinfachung bedeutet und erst den raschen Vergleich von Intensitäten ermöglicht. Die zur Anwendung gekommene Verstärkereinrichtung der Reichsröntgenstelle ist für verschiedene Empfindlichkeits- und Trägheitsstufen gebaut, was aber für die vorliegenden einfachen Durchstrahlversuche nicht nötig gewesen wäre.

4) A.Trost, Z.Physik, Bd. 115 (1940), S.456

5) H.Neubert, Arch.techn.Messen J.076-1 (Juni 1941)

6) Die Versuche wurden mit freundlicher Unterstützung von Herrn Prof.Dr.Glocker im Röntgeninstitut der Technischen Hochschule Stuttgart durchgeführt.

Der Einfachheit halber wurde der Kraftstoff in ein dünnwandiges Becherglas gefüllt, das zwischen Röntgenröhre und Zählrohr gestellt wurde. Anfänglich wurden Meßzylinder mit geringeren Durchmessern verwendet, es zeigte sich aber ein nachteiliger Einfluß der Streustrahlung auf die Messungen. Eine Bleiblende über dem Zählrohr absorbierte die nicht das Zählrohr treffenden Strahlen. Beide dürfen sich gegenseitig nicht verschieben, da sonst ein Teil der den Spalt des Zählrohrs treffenden Strahlen, der mit Aluminiumfolie abgedichtet ist, vorher absorbiert wird, und dann ein Vergleich hintereinander ausgeführter Messungen nicht mehr erfolgen kann.

3. Die Schwächungskurve der Röntgenstrahlen für Kraftstoffe.

Mit der geschilderten Versuchseinrichtung erhielt man bei 22 kV mit einer 15,6 cm hohen Schicht J.G.-Eichbenzin, das eine Wichte von $0,713 \text{ g/cm}^3$ hat, eine Abhängigkeit der Strahlungsintensität vom Gehalt an Bleitetraäthyl, wie dies Bild 2 zeigt. Mit anderen Benzinen erhielt man dieselbe Abhängigkeit. Diese Kurve kann auch, wie im folgenden gezeigt wird, aus einer einfachen Ueberlegung gewonnen werden, die gleichzeitig abzuschätzen gestattet, inwieweit die verschiedene Zusammensetzung der Kraftstoffe Einfluß auf die Meßergebnisse hat.

Die Schwächung der Röntgenstrahlen, die sich aus Absorption und Streuung zusammensetzt, erfolgt atommässig, so daß es gleichgültig ist, ob ein Element in Form einer Verbindung oder einer Mischung in einem festen Stoff oder einer Flüssigkeit enthalten ist. Es kommt allein auf die Zahl der Atome des betreffenden Elements an. Erfast wird diese Intensitätsabnahme durch die Schwächungszahl μ oder durch die Massenschwächungszahl $\frac{\mu}{\rho}$ wobei ρ die Wichte des betreffenden Elements ist.

Nimmt man eine D cm hohe Schicht eines Elements mit der Massenschwächungszahl $\frac{\mu}{\rho}$ und durchstrahlt sie mit einem parallelen Röntgenstrahlbündel einer bestimmten Wellenlänge, dann ist die Strahlungsintensität (die in 1 s auf eine zur

Strahlrichtung senkrecht stehende Fläche von 1 cm^2 auffallende Strahlungsenergie) J hinter der Schicht

$$J = J_0 e^{-\mu D}, \quad (1)$$

wobei J_0 die Intensität vor der durchstrahlten Schicht ist.

Für Mischungen und chemische Bindungen geht dieser Ausdruck über in

$$J = J_0 e^{-\left(\frac{\alpha_1}{100} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_1 + \frac{\alpha_2}{100} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_2 + \dots\right) \rho D}, \quad (2)$$

wobei $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i$ die Massenschwächungszahlen der in dem Stoff mit den Gewichtsanteilen α_i enthaltenen Elemente sind.

Aus diesem Ausdruck ist zu erkennen, daß es darauf ankommt, daß das Produkt $\frac{\alpha}{100} \left(\frac{\mu}{\rho}\right)$ für Bleitetraäthyl gegenüber den anderen Bestandteilen der Mischung eine gewisse Mindestgröße erreicht, wenn mit Hilfe der Schwächung der Röntgenstrahlen der Bleitetraäthylgehalt bestimmt werden soll. Da α nur etwa 0,5 Gew.-% beträgt, muß $\frac{\mu}{\rho}$ für Bleitetraäthyl im Vergleich zu Benzin sehr groß sein. Dies ist tatsächlich der Fall, weil das Benzin aus Atomen niederer Ordnungszahlen aufgebaut ist, und die Massenschwächungszahl näherungsweise verhältig mit $\lambda^3 Z^3$ geht, wenn λ die Wellenlänge und Z die Ordnungszahl bedeuten.

Zahlentafel 1. Massenschwächungszahlen einiger Elemente.

Röhrenspannung in V	min λ	H	C	O	S	Br	Pb
30900	0,40	0,46 ⁺)	0,245	0,34	1,78	-	31,9
24700	0,50	0,44 ⁺)	0,315	0,52	3,5	32	57
22000	0,56	0,44 ⁺)	0,40	0,68 ⁺)	4,82	43	76
19600	0,63	0,435	0,474	0,900	6,9	59	101

⁺) interpoliert

Aus Zahlentafel 1 können die Massenschwächungszahlen der für unsere Verhältnisse in Frage kommenden Elemente entnommen werden⁷⁾.

Das untersuchte Benzin (J.G.-Eichbenzin) setzt sich aus 85,2 Gew.- % Kohlenstoff und 14,8 Gew.- % Wasserstoff zusammen. Obwohl man mit dem Bremsspektrum, also einer Vielzahl von Wellenlängen arbeitet, kann man näherungsweise mit dessen kürzester Wellenlänge λ_{\min} rechnen, weil die anderen Wellenlängen viel stärker (mit λ^3) absorbiert werden. Bei 22 kV ist $\lambda_{\min} = 0,56 \text{ \AA}$. Aus Zahlentafel 1 erhält man dafür die Massenschwächungszahl für Kohlenstoff und Wasserstoff und damit die Massenschwächungszahl für das J.G.-Eichbenzin

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_B = \frac{85,2}{100} \cdot 0,40 + \frac{14,8}{100} \cdot 0,44 = 0,406$$

Da den Kraftstoffen Blei nicht in reiner Form, sondern als Ethylfluid zugeführt wird, ist bei dem verbleiten Kraftstoff auch auf die Schwächung der Röntgenstrahlen durch das Aethylendibromid zu achten (bei Fahrzeugkraftstoffen kommt, wie oben bereits ausgeführt, auch noch Aethylendichlorid dazu, was aber einen ähnlichen Einfluß hat). Dagegen können die geringen Kohlen- und Wasserstoffmengen, die im Bleitetraäthyl und im Aethylidibromid ausserdem enthalten sind, ebenso die geringfügigen Beimengungen, die aus Elementen niedriger Ordnungszahl bestehen, vernachlässigt werden.

Die Schichthöhe D wurde bei den verschiedenen verbleiten Kraftstoffen konstant gehalten, dagegen eine geringe Aenderung der Wichte durch die Verbleiung berücksichtigt.

Mit $D = 15,6 \text{ cm}$, $\rho_B = 0,713 \text{ g/cm}^3$ und bei einer Arbeitsspannung von 22 kV erhält man für die Röntgenstrahlenintensitäten hinter J.G.-Eichbenzin mit verschieden hohem Gehalt an Ethylfluid:

Menge Ethylfluid

in 1000 cm³ Kraftstoff:

0 cm ³ :	J = J ₀	0,01096
0,5 " :	J = J ₀	0,00612
1,0 " :	J = J ₀	0,00342
1,5 " :	J = J ₀	0,00192
2,0 " :	J = J ₀	0,00105

⁷⁾ Landolt-Boernstein, Physikalisch-chemische Tabellen. Streuung und Absorption von Röntgenstrahlen, Erg.-Bd. 1927, 1930, 1935.

Die mit diesen Werten errechnete Kurve ist in Bild 2 eingezeichnet. Eine bessere Uebereinstimmung mit der durch Versuche erhaltenen Schwächungskurve kann nicht erwartet werden. Denn die für die Berechnung verwendeten Werte konnten nicht mit genügender Genauigkeit bestimmt werden, weil die Versuchsanordnung nur für Vergleichsmessungen eingerichtet war.

Aus der durch Versuche erhaltenen Kurve ist auch die Genauigkeit, mit der die Strahlungsintensitäten gemessen werden können, zu erkennen. Daraus erhält man wieder die Genauigkeit, mit der diesen Untersuchungen die Bestimmung des Bleitetraäthylgehalts gelingt. Der Fehler beträgt bei einer Verbleiung mit 0,013 Vol.-% Bleitetraäthyl etwa 0,002 Vol.-% Bleitetraäthyl und erhöht sich bei einer Verbleiung von 0,12 Vol.-% auf ungefähr 0,003 Vol.-% Bleitetraäthyl.

4. Messungen an Benzinen verschiedener Wichte und verschiedener Zusammensetzung

Die Benzine unterscheiden sich in der Wichte und im chemischen Aufbau. Für Röntgenstrahluntersuchungen ist entscheidend, daß sich der Gehalt an Kohlenstoff und Wasserstoff nur wenig ändert (nach Zahlentafel 2, Spalte 2 etwa von 85 auf 87 Gew.-%). Diese Änderung hat nur geringen Einfluß auf die Absorption der Röntgenstrahlen, da die Massenschwächungszahlen von Kohlenstoff und Wasserstoff nur wenig verschieden sind (bei 22 kV für Kohlenstoff 0,40 und für Wasserstoff 0,44).

a) Messung des Bleitetraäthylgehalts bei gleichen Schichthöhen.

Es ist augenscheinlich, daß mit allen Kraftstoffen ähnliche Schwächungskurven für Ethylfluid erhalten werden, wenn die Kraftstoffe bei gleicher Schichthöhe verglichen werden, denn bei derselben Verbleiung nach Raumteilen sind in gleichen Raumteilen Kraftstoff immer gleich viel Raumteile Ethylfluid und damit Atome Blei und Brom enthalten, so daß die Röntgenstrahlen gleich stark geschwächt werden (s. Abschnitt 3). Man erkennt dies auch aus der Intensitätsgleichung

$$J = J_0 \cdot e^{-\left(\frac{100-\alpha}{100} \rho D\right) \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_B} \cdot e^{-\left(\frac{\alpha}{100} \rho D\right) \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{EF}} \quad (3)$$

in der $(\frac{100-\alpha}{100} \rho D)$ die Gewichtsmenge Benzin in g und $\frac{\alpha}{100} \rho D$ die Gewichtsmenge Ethylfluid bedeuten, welche über der Flächeneinheit stehen. Dem der zweite Ausdruck ist verhältnis der Verbleiung in Vol.-% Ethylfluid, wenn man Glieder höherer Ordnung vernachlässigt, während der erste sich mit verschiedener Verbleiung beim selben Benzin nur sehr wenig ändert.

Die Intensität für das unverbleite Benzin, also für $\alpha = 0$,

$$J_u = J_0 \cdot e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_B \rho_B \cdot D}$$

wird, da D und $\frac{\mu}{\rho}$ konstant sind, durch die Wichte bestimmt. Dies ist aus Zahlentafel 2, Spalte 4 zu erkennen, in der die berechneten Werte J_u/J_0 eingetragen sind. Die Versuchsergebnisse enthält Spalte 3.

Man sieht also, daß die Schwächungskurven im Intensitätsdiagramm, wenn man von gleichen Intensitäten J_0 ausgeht, die Ordinatenachse in verschiedenen Höhen, entsprechend den verschiedenen Wichten, schneiden müssen. Diese Kurvenscharen sind in Bild 3 eingezeichnet. Man braucht daher nur noch die Wichte des Benzins zu messen, wenn man eine Intensitätsmessung mit dem verbleiten Benzin durchgeführt hat, und kann dann sofort den Bleitetraäthylgehalt ablesen.

Steht das unverbleite Benzin zur Verfügung und kann eine Vergleichsmessung mit diesem durchgeführt werden, dann ist es möglich, ohne eine Wichtebestimmung zu machen, sofort den Bleitetraäthylgehalt aus der Schar der Schwächungskurven durch Interpolation in Bild 3 zu bestimmen.

Lässt sich eine Vergleichsmessung nicht durchführen, dann muss vorausgesetzt werden, daß die Geräteeigenschaften gleich bleiben, daß man also für eine bestimmte auf das Zählrohr fallende Strahlungsintensität auch immer den gleichen Ausschlag am Milliamperemeter erhält. Die Versuche haben gezeigt, daß dies über genügend lange Zeit der Fall ist.

b) Messung des Bleitetraäthylgehalts bei gleichen Gewichtsmengen.

Aus Gl. (3) folgt, daß bei gleichen Werten ρD , also bei gleichen, über jedem Quadratzentimeter stehenden Gewichts-

mengen sich für die unverbleiten Benzine gleiche Strahlungsintensitäten J_u ergeben,

Die Meßergebnisse sind in Zahlentafel 2, Spalte 5, eingetragen, die mit den berechneten Werten in Spalte 6 mit genügender Genauigkeit übereinstimmen.

Der zweite Ausdruck in Gl. (3) kennzeichnet wieder im wesentlichen die Schwächung, denn der erste Ausdruck ändert sich nur wenig mit stärker werdender Verbleiung und zwar bei allen Benzinen in ähnlicher Weise. Da α ausserdem bei gleicher Verbleiung annähernd umgekehrt verhältig der Wichte ρ ist, erhält man, wenn man verschiedene Benzine mit verschiedenen Verbleiungen im Intensitätsdiagramm vergleicht, Kurven, die vom gleichen Punkt auf der Ordinatenachse ausgehen, aber der unterschiedlichen Wichte entsprechend ein verschiedenes Gefälle haben.

Bei dieser Untersuchungsmethode, bei der zuerst eine Wägung vorgenommen werden muß, ist, ebenso wie vorher, die Bestimmung der Wichte nötig. Dafür hat man aber den Vorteil, daß man eine Vergleichsmessung mit irgend einem unverbleiten Benzin, das garnicht dieselbe Wichte zu haben braucht, machen kann, um den Schnittpunkt der Absorptionskurven mit der Ordinatenachse zu erhalten. Hat man also eine Apparatur, deren Empfindlichkeit über längere Zeit nicht gleichbleibt, dann wäre diese Meßmethode von Vorteil.

5. Berücksichtigung verschiedener Beimengungen.

a) Schwefelgehalt.

Der Schwefelgehalt darf in Flugmotoren-Kraftstoffen höchstens 0,05 Gew.-% betragen. Er beträgt aber durchschnittlich 0,01 bis 0,02 Gew.-%.

In Zahlentafel 2, Spalte 6, ist der Wert für das Intensitätsverhältnis J_u/J_0 bei gleichen Gewichtsmengen über 1 cm^2 eingetragen, den man für J.G.-Eichbenzin mit einem Zusatz von 0,05% Schwefel erhält. Er ist um rd. 2% kleiner, als der Wert für das reine Benzin, müßte sich also gerade noch bei den Messungen bemerkbar machen. Da wir aber annehmen können, daß im allgemeinen höchstens der halbe Schwefelgehalt vorkommen wird, darf man ihn in den weitäus meisten

Fällen vernachlässigen. Ist eine Messung mit dem unverbleiten Benzin möglich, so würde der Fehler, der durch den Schwefelgehalt hereinkommt, von selbst herausfallen und eine genaue Bestimmung des Bleiteträthylgehaltes ermöglichen.

b) Peroxyde.

Bei langer Lagerung bilden sich in den Kraftstoffen Peroxyde, die aber höchstens 1 Gew.-% ausmachen, was 0,29 Gew.-% Sauerstoff entspricht. Da aber die Massenschwächungszahl von Sauerstoff nicht sehr viel von den Massenschwächungszahlen von Kohlenstoff und Sauerstoff verschieden ist, macht sein Einfluß bei den Messungen nicht viel aus.

In Zahlentafel 2, Spalte 6, ist der berechnete Wert für das Strahlungsverhältnis J/J_0 eingetragen, den man für den genannten Peroxydgehalt bei J.G.-Eichbenzin erhält. Man sieht daraus, daß er sich nicht einmal um 1% gegenüber dem Wert von reinem Benzin unterscheidet, so daß der Fehler innerhalb der Meßgenauigkeitsgrenzen liegt.

6. Benzol- und alkoholhaltige Kraftstoffe.

Zur Verminderung der Klopfneigung werden die Kraftstoffe manchmal mit Alkohol und Benzol gemischt. Da Alkohol etwa 35% Sauerstoff enthält, und dessen Massenschwächungszahl sich gegenüber der von Benzin ziemlich stark unterscheidet, ist ein wesentlicher Einfluß des Sauerstoffgehalts zu erwarten.

Benzol enthält 92 Gew.-% Kohlenstoff, also wesentlich mehr als Benzin.

a) Benzolgehalt.

In Zahlentafel 2 sind in Spalte 5 Ergebnisse von Messungen eingetragen, die mit einer Mischung von 60% J.G.-Eichbenzin und 40% Benzol durchgeführt worden sind. Es zeigt sich bei gleichen Gewichtsmengen kein Unterschied gegenüber reinem Benzin. Die Rechnung ergibt einen Wert bei diesem Benzolgehalt, dessen Unterschied gegenüber reinem Benzin weit unterhalb der Meßgenauigkeit liegt. Mit reinem Benzol

erhält man ein Intensitätsverhältnis J/J_0 , das ungefähr um 3 % grösser ist als bei normalem Benzin.

b) Alkoholgehalt.

Die Versuche zeigen eine etwas grössere Auswirkung des Sauerstoffgehalts, als dies nach der Rechnung sein sollte. Die Ursache dafür kann nicht ohne weitere Untersuchungen angegeben werden. Bei Alkoholgehalt kann eine Bestimmung des Bleitetraäthylgehaltes ohne eine Vergleichsmessung mit dem unverbleiten Kraftstoff nicht durchgeführt werden. Dagegen kann dieser ohne Schwierigkeiten bestimmt werden, wenn die Intensität J_u des unverbleiten Kraftstoffs gemessen werden kann, da die Schwächungskurve für Ethylfluid bei allen Kraftstoffen den gleichen Verlauf hat.

Da sich Alkohol im Gegensatz zu Benzin in Wasser quantitativ löst, kann er ohne weiteres mit Wasser ausgeschüttelt werden. Das Bleitetraäthyl und das Aethylendibromid fallen dabei nicht mit aus. Somit wird im Restbenzin eine höhere Verbleiung festgestellt, die dann leicht umzurechnen ist. Man kann aber auch einfacher die mit Wasser ausgeschüttelte Alkoholmenge durch ein beliebiges unverbleites Benzin ersetzen und erhält dann wieder die richtige Verbleiung.

7. Günstige Versuchsbedingungen.

Das Verhältnis der Strahlungsintensität J_u hinter dem unverbleiten Benzin zu dem Wert J hinter dem verbleiten Benzin ist angenähert

$$\frac{J_u}{J} = e^{\left(\frac{\alpha}{100} \rho D\right) \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{EF}}$$

Je mehr sich dieses Verhältnis von 1 unterscheidet, mit desto grösserer Genauigkeit kann der Bleitetraäthylgehalt bestimmt werden. Es wird um so grösser, je grösser die Massenschwächungszahlen von Ethylfluid, also von Blei und Brom, sind. Dies ist dann der Fall, wenn man zu grösseren Wellenlängen, also zu kleineren Arbeitsspannungen übergeht. Aus diesem Grunde wurde bei der niederen Spannung von 22 kV gearbeitet.

J_u/J steigt ausserdem mit grösser werdendem $\frac{\alpha}{100} \rho D$, also mit grösser werdender Ethylfluidmenge in Gramm über jedem Quadratcentimeter. Daraus würde also folgen, daß am besten eine hohe Kraftstoffsäule bei gleicher Verbleiung verwendet wird, was aber nicht mit den Versuchen übereinstimmt. Denn diese ergeben, daß J_u/J bei 22 kV und einer Schichthöhe von etwa 16 cm am grössten wird. Die Ursache dieser Erscheinung liegt in der Streustrahlung, die von jedem Raumteil ausgeht, der von Röntgenstrahlen getroffen wird, und die mit grösser werdender Höhe D zunimmt. Der Röhrenabstand spielt keine entscheidende Rolle, solange er nicht zu groß gemacht wird.

8. Weitere Aufgaben.

Die benützte Versuchseinrichtung ist bis jetzt noch eine Laboratoriumsanordnung. Sie kann aber für die Praxis so weiterentwickelt werden, daß sie allen Anforderungen genügt. Es wird ohne grosse Schwierigkeiten möglich sein, eine tragbare Einrichtung für diese Untersuchungen mit verhältnismässig geringen Ausmaßen zu bauen. Denn es gibt Röntgenapparate, die mit ihren Abmessungen von 20 cm, 45 cm, 35 cm den gestellten Anforderungen genügen. Unter Umständen ist dazu noch ein Stabilisator zu verwenden, um die Schwankungen der Netzspannung herabzusetzen, der aber keinen grossen Raum beanspruchen dürfte.

Für die besondere hier gestellte Aufgabe wird es möglich sein, einen kleinen Verstärker mit einem Zählrohr zu entwickeln, der ganz einfach zu bedienen wäre und den Anforderungen auf gleichförmige Meßempfindlichkeit genügen würde.

Der Vorteil dieser Röntgenmeßeinrichtung für die Bestimmung des Bleitetraäthylgehaltes, ist besonders für solche Stellen groß, die sehr viele Messungen zu machen haben, weil eine Messung höchstens eine Minute dauert und die Ablesung des Bleitetraäthylgehaltes sofort am Milliamperemeter oder aus einer Kurventafel geschehen könnte. Die Abschirmung könnte so ausgeführt werden, daß die Strahlung vollkommen unschädlich wäre.

Ist kein Netzanschluß vorhanden, dann müßte die Röhrenspannung selbst erzeugt werden. Die benötigte Leistung für die Röhre beträgt nur etwa 1 kW.

9. Zusammenfassung.

Nach einem Vorschlag von W. Groß ist es auf Grund der Schwächung der Röntgenstrahlen möglich, den Bleitetraäthylgehalt eines Kraftstoffs unter Verwendung eines Zählrohrs mit einer Genauigkeit von 0,002 bis 0,003 Vol.-% Bleitetraäthyl in sehr kurzer Zeit zu bestimmen, so daß Reihenmessungen durchgeführt werden können. Noch genauere Ergebnisse sind mit einer Einrichtung zu erwarten, die für diese besonderen Zwecke entwickelt werden müßte.

Die Messungen lassen sich auf zwei Arten durchführen:

1. Indem man bei gleichen Schichthöhen die Schwächung der Strahlungsintensität nach Durchgang durch die verbleiten Kraftstoffe mißt, und daraus nach Bestimmung der Wichte den Bleitetraäthylgehalt mit Hilfe einer Kurvenschar ermittelt.
2. Indem man die Messungen bei gleichen, über der Flächeneinheit stehenden Kraftstoff-Gewichtsmengen durchführt. Durch Bestimmung der Wichte erhält man dann wieder den Bleitetraäthylgehalt mit Hilfe einer Kurvenschar.

Zu diesen Messungen braucht der unverbleite Kraftstoff nicht zur Verfügung zu stehen, was von wesentlicher Bedeutung ist.

Weiter wird nachgewiesen, daß der Einfluß von Peroxyden und des üblichen Schwefelgehaltes vernachlässigt werden kann. Auch ein Benzolgehalt bis zu 40 % verändert die Messergebnisse nicht. Dagegen ist bereits ein geringer Alkoholgehalt von Einfluß. Wenn aber eine Vergleichsmessung mit dem unverbleiten Kraftstoff gemacht werden kann, ist eine Bestimmung des Bleitetraäthylgehalts mit der angegebenen Genauigkeit möglich. Ausserdem kann der Alkohol mit Wasser ausgeschüttelt werden.

Die weitere Aufgabe wäre, eine einfache und betriebssichere Meßeinrichtung für die Praxis zu entwickeln. Dies dürfte aber keine grundsätzlichen Schwierigkeiten bereiten.

Zahlentafel 2 Vergleich verschiedener Kraftstoffe bei gleichen Schichthöhen und bei gleichen Gewichtsmengen je Flächeneinheit. Die gemessenen Werte in Spalte 3 und 5 bedeuten Skalenteile des Milliamperemeters.

Spalte	1	2	3	4	5	6
Kraftstoff	Zusammensetzung	Wichte g/cm ³	$\frac{5}{10}$ bei gleichen Schichthöhen h = 1,6 cm gemessen	berechnet	J_u / J_0 bei gleichen Gewichtsmengen 10,77 g/cm ² gemessen	berechnet
J.G.-Eichbenzin	85,2% C + 14,8% H	0,713	63 ± 0,7	0,0110	62 ± 0,7	0,0138
Rumän. Benzin	85,5% C + 14,5% H	0,726	61,5 ± 0,5	0,0102	62 ± 0,7	0,0138
CV 2b Mitscher	etwa 87% C + 13% H	0,753	42 ± 0,2	0,0067	62 ± 0,7	0,0139
VT 706 "	etwa 87% C + 13% H	0,791	41,5 ± 0,2	0,0067	61 ± 0,7	0,0139
60% J.G.-Eichbenzin + 40% Benzol	87,9% C + 12,1% H	0,781			61 ± 0,7	0,0139
80% J.G.-Eichbenzin + 20% Alkohol	78,6% C + 14,4% H + 7% O	0,727	40 ± 0,5	0,0080	48,5 ± 0,5	0,0112
Alkohol	52,2% C + 13% H + 34% O	0,789			18 ± 0,5	0,0050
Benzol	92% C + 0% H	0,829				0,01435
J.G.-Eichbenzin mit 1% Peroxyd	J.G.-Eichbenzin n.O., 20% O					0,0136
J.G.-Eichbenzin mit 0,95% Schwefel	J.G.-Eichbenzin n.O., 0,95% S					0,0135

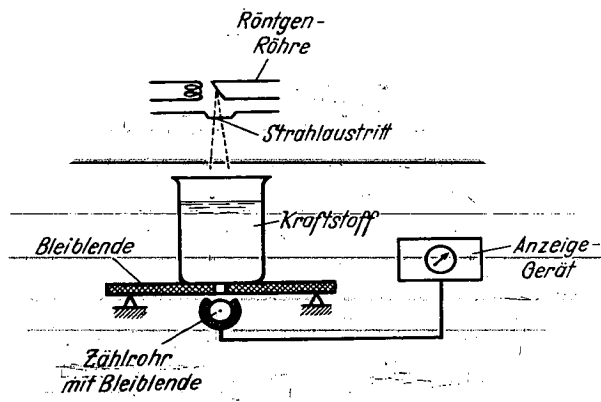


Bild 1 Versuchsaufbau

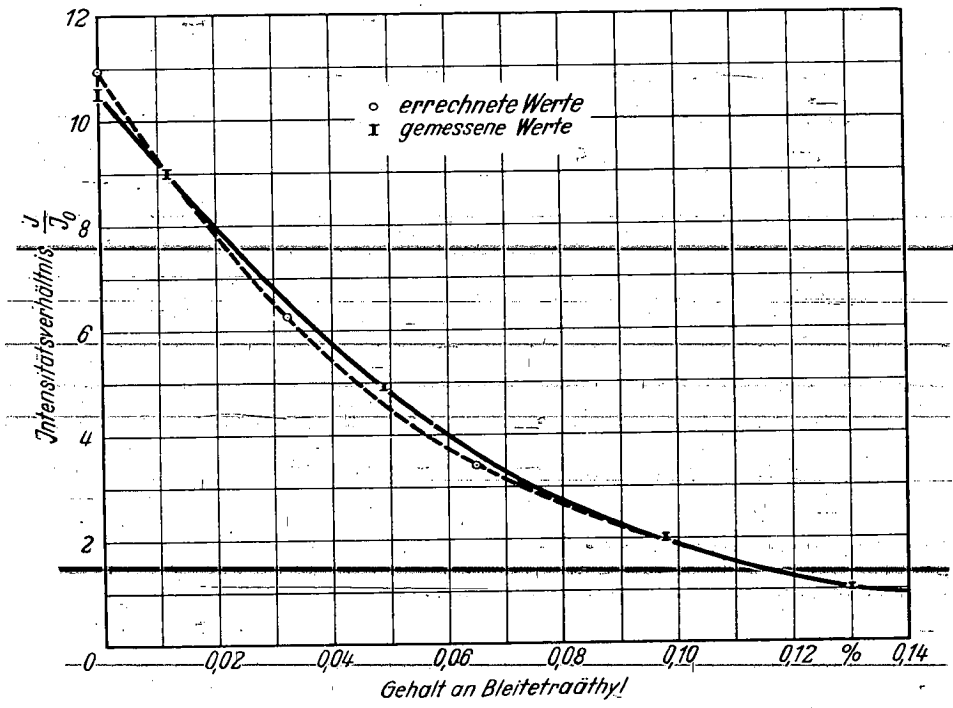


Bild 2 Gemessene und errechnete Werte $\frac{J}{J_0}$ in Abhängigkeit von der Verbleiung (J.G. Eichbenzin)
 J Intensität vor der Kraftstoffschicht
 J_0 Intensität hinter der Kraftstoffschicht

000657

- 20 -

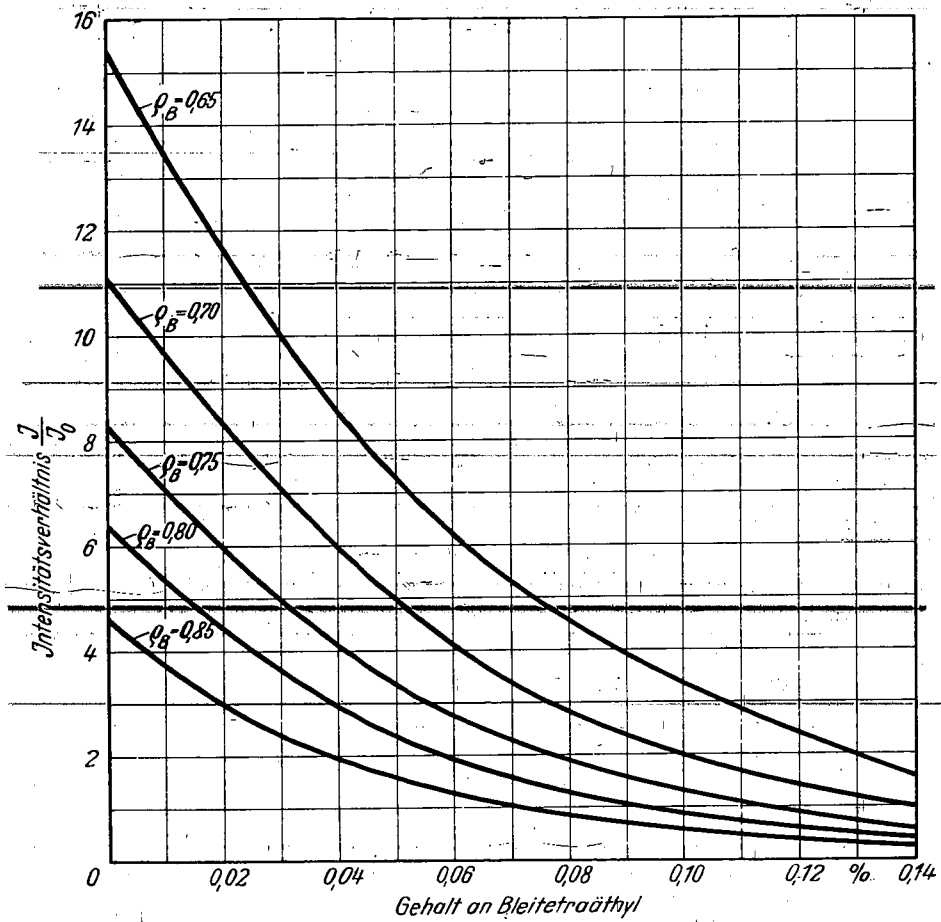


Bild 3 Intensitätsverhältnis $\frac{J}{J_0}$ in Abhängigkeit von der Verbleiung bei gleicher Schichtdicke für verschiedene Wichte der Kraftstoffe (ρ_B).