

3445-30/5.01-58

000140

Formation of Vapor Locks

in Petrol Lines

Archiv-Nr. 99-1

14. August 1934

000141

Bericht
Kraftstoffbewertung
hinsichtlich Dampfblasenstörung

Institut für Kraftfahrwesen
der
Technischen Hochschule
Dresden

Leiter: Prof. Dr.-Ing. R. v. Eberan

Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. Hager

Forschungsarbeit im Auftrag
des Reichsverkehrsministeriums

Verfugung und Veröffentlichung dieses Berichts, ohne Genehmigung des Auftraggebers, ist untersagt.

Dr. Hager

1) Verdampfung verläuft statisch voll-
kommen anders als dynamisch
(s. Vergleich 10% / Absorption über
Das Absorption usw.)

000142

2) Warum Verdampfungs- und
nicht Kondensationskurve?

3) Bei einem Apparat ist eine Be-
festigung des Kraftstoffes möglich.
(s. d. Seite des Prospektes)

4) Vergleich der gesamten Kurve notwendig,
da Dampfbelastungen sowohl bei
Vollast (klein) und Teilast (groß)
auftreten können.

5) Welcher Druck soll gewählt werden?

6) Mengenangebot ^{zufällig} ungenügend, da zu
viel prinzipielle Fehler zusammen-
kommen (nicht berücksichtigt sind H_2 -Tem-
peraturdifferenz bei der Schmelz-, B_2 -Volumen)
vgl. auch 2

Sitzung aus
Forschungskreis 5 des KFE

(Kraftfahrzeugbauwesen)
Abt. Leiter Oberst Holzmann des KFE
und Haupt 6.

Sonne, Rheinpremer wegen absoluter
Dds-Bestimmung

Kraftstoffbewertung hinsichtlich Dampfblasenstörung.

Die Benzinförderpumpen für Fahrzeug-Ottomotoren sind im allgemeinen mit Rücksicht auf die möglichen Störungen der Kraftstoff-Förderung u.a. durch die Benzindampfbildung in ihrer Förderleistung reichlich überdimensioniert. Tritt Dampf Bildung in der Kraftstoffsaugleitung ein, so muß die Pumpe Kraftstoff mit einem vergrößerten spezifischen Volumen fördern, nämlich flüssiges Benzin, das mit Dampfbläschen durchsetzt ist. So lange der geförderte flüssige Kraftstoffanteil größer ist als der augenblickliche Kraftstoffbedarf des Motors, ist der Motorbetrieb nicht infrage gestellt. Bei weiterer Volumenvergrößerung der angesaugten Kraftstoffmenge durch Blasen tritt jedoch Kraftstoffmangel im Vergaser ein, der eine Leistungsminde rung, Überhitzung, Vergaserrückschläge o. dergl. und schließlich Stillstand des Motors verursacht.

Der Dampf-Flüssigkeitszustand eines Kraftstoffs ist bedingt durch Druck und Temperatur, sowie die Zusammensetzung des Kraftstoffs aus mehr oder minder flüchtigen Bestandteilen. Der absolute Druck in der Saugleitung, (der während jedes Pumpenhubes je nach der Pumpenbauart Schwankungen unterliegt) hängt vom Querschnitt der Kraftstoffleitung, ihren Widerständen und der sekundlichen Durchflußmenge ab. Die Temperatur des Kraftstoffs in der Saugleitung ist von der durch Wärmeleitung oder Strahlung zugeführten Wärmemenge abhängig, außerdem ebenfalls von der sekundlichen Durchflußmenge. Bei dieser Vielzahl von Einflüssen ist es verständlich, daß die Abreißtemperatur²⁾ in einer Kraftstoff-Förderanlage zu keiner eindeutigen Bewertung von Kraftstoffen hinsichtlich ihrer Neigung zur Dampfblasenbildung führt. Die physikalischen Eigenschaften des Kraftstoffs (Druck, Temperatur, Volumen) scheinen hierzu besser geeignet.

Kennt man für eine Kraftstoffpumpe das Fördervolumen V in l/h und für den dazu gehörigen Motor den Kraftstoffverbrauch V' in l/h, so kann man den Sicherheitsfaktor der Pumpe bzw. das Volumenverhältnis $K = V : V'$ berechnen, das auch angibt, in welchem Maße der mit Dampfblasen durchsetzte Kraftstoff sein Volumen gegenüber dem flüssigen Kraftstoff vergrößern darf, bis die Dampfblasenstörung einsetzt. Wenn z.B. die Pumpe bei Normaltemperatur das zehnfache Volumen des Motorverbrauchs fördern kann, also $K = 10$ ist, dann können bei Erwärmung und teilweiser Verdampfung des Kraftstoffs auf der Saugseite 90% des Volumens in Dampf Form durchgefördert werden (im Vergaser unwirksamer Anteil). Die restlichen 10% Volumen des flüssigen Kraftstoffs reichen eben noch aus, um den Kraftstoffbedarf des Motors zu decken. Eine weitere Vergrößerung des spezifischen Kraftstoffvolumens durch Dampfblasen würde zu Kraftstoffmangel im Motor führen.

Der Sicherheitsfaktor der Pumpe bestimmt neben den physikalischen Zustandsgrößen des Kraftstoffs jenen Betriebszustand, in dem die Dampfblasenstörung einsetzt. Ein Vergleich und eine Bewertung von Kraftstoffen hinsichtlich ihrer Dampfblasenneigung kann demnach eindeutig schon auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften erfolgen, wenn dem Vergleich derselbe Sicherheitsfaktor der Pumpe zugrunde gelegt wird. Auf Grund dieser Überlegung wurde folgende Meßapparatur zur Bestimmung der Zustandsgrößen von Kraftstoffen entwickelt, um die Eignung von Kraftstoffen beurteilen zu können.

Die Apparatur besteht aus einem Glas-U-Rohr (s. Bild 1), dessen Schenkel mit einer Millimeteerteilung versehen sind. Der eine Schenkel ist oben trichterförmig erweitert, um eine Quecksilberfüllung einzubringen. Unten hat das U-Rohr einen eingeschlifenen Glas-

x)

s. Schrifttumsverzeichnis auf S. 4

hahn zum Ablassen des Quecksilbers bei der Messung. Auf dem anderen Schenkel ist eine mit Glashahn abschließbare, geeichte Meßpipette aufgeschmolzen. Sie dient zum Abmessen der Benzinnenge, deren Volumenvergrößerung bei verändertem Druck und verschiedener Temperatur gemessen werden soll. Um diesen Schenkel liegt ein gläserner Heizmantel, der mit einem Thermostaten in Verbindung steht, durch den die Wassertemperatur im Heizmantel geregelt wird. 2 Thermometer im Heizmantel dienen zur Kontrolle der Temperatur des Wasserbades.

Vor der Messung wird das Volumen des U-Rohr-Schenkels auf der Meßpipettenseite geeicht, sodann das U-Rohr bis über den Hahn an der Meßpipette mit Quecksilber gefüllt. Durch den unteren Hahn wird soviel Quecksilber wieder abgelassen, bis der Spiegel im Pipettenschenkel genau unter dem Hahnknoten steht, die Pipette dann durch den Hahn abgeschlossen und bis zur Eichmarke mit der zu untersuchenden Benzinsprobe gefüllt. Öffnet man den Hahn wieder, so fällt der Benzinspiegel etwas unter die Eichmarke und im anderen Schenkel steigt das Quecksilber, da die Benzinsäule einen Überdruck erzeugt. Hierauf wird soviel Quecksilber am unteren Hahn abgelassen, bis das gewünschte Anfangsvolumen V_0 des flüssigen Kraftstoffs im U-Rohr steht. Sodann wird der Hahn an der Pipette geschlossen und ein paar Tropfen Quecksilber in die Pipette eingefüllt, um das U-Rohr völlig sicher abzudichten. Bei leichtflüchtendem Benzin muß die Probe vor dem Füllen des U-Rohrs (z. B. mit $t_1 = 20^\circ$), damit sich nicht schon beim Einfüllen die flüchtig flüchtenden Bestandteile verflüchtigen. Sauer kann die Druckvolumenmessung für eine bestigete Temperatur durchgeführt werden.

Wird die Probe bei einer Temperatur t_1 gemessen, so muß vor der Füllung bei Raumtemperatur t_2 (z. B. 20°) der Hahn darf der Heizmantel auf die gewünschte Temperatur gebracht werden, da sonst bereits beim Einfüllen die Benzinsprobe teilweise verdampft. Ist die geforderte Temperatur $t_2 = t_1$ erreicht, so wird der Anfangszustand abgeschlossen. Die gemessenen Größen sind:

- 1) Quecksilberhöhe im linken Schenkel H_L (mm),
- 2) Quecksilberhöhe im rechten Schenkel H_R (mm),
- 3) Höhe des Benzinspiegels H (mm).

Von 50 zu 50 mm wird nun das Quecksilber durch den unteren Hahn abgelassen und dadurch der Druck, unter dem die Benzinsprobe steht, abgesenkt. Das diesen Druck zugeordnete Gesamtvolumen des flüssigen und verdampften Kraftstoffs wird auf Grund der Volumeneichung aus H_L ermittelt. Die Ablesungen erfolgen zweckmäßig nach einer gewissen Wartezeit, bis der Gleichgewichtszustand im U-Rohr eingetreten ist. Die Messungen sind gut reproduzierbar, wenn auf gleiche Zeitintervalle geachtet wird. Aus der Differenz der beiden Quecksilberspiegel

$$\Delta H_g = H_{L1} - H_{L2}$$

und dem Barometerstand B wird der absolute Druck ermittelt,

$$P_{abs} = B - \Delta H_g$$

Bei einem Anfangsvolumen V_0 flüssigen Benzins steht über dem Quecksilber im Pipettenschenkel eine Benzinsäule von H mm. Diese Druckhöhe kann bei der Ermittlung des absoluten Druckes P_{abs} berücksichtigt werden. Weiterhin wird bei den Messungen bei höheren Temperaturen eine Seite des Quecksilberfadens im Heizmantel erwärmt, während die andere Seite auf Zimmertemperatur bleibt. Das untere spezifische Gewicht des Quecksilbers in beiden Schenkeln kann bei der Auswertung ebenfalls berichtigt werden. Da jedoch beide Fehler entgegengesetztes Vorzeichen haben, kann ihre Korrektur unterbleiben, umso mehr, da das Gleichgewicht der beiden Quecksilbersäulen im U-Rohr durch das Sieden und Verdampfen des Benzins etwas labil ist und schon

Durch Klopfen an das U-Rohr festgestellt werden kann, da dann aus dem flüssigen Benzin keine Gasblasen in den Gasrohr aufsteigen. Die Genauigkeit der Messung ist nicht zu hoch, da es sich um Messungen handelt, sobald der Meßfehler von höchstens 1-2% belanglos wird. Das Gesamtvolumen V der Kraftstoffprobe (flüssiger Anteil + verdampfter Anteil) wird auf Grund der Eichung aus der Millimeterteilung bestimmt.

Das Volumen V ist für die dazu gehörenden Drücke P_0 für konstante Temperaturen, für Gemisch Teil, Teil + 10% Butan 20% Verbo-Sprit in den Diagrammen 1-4 dargestellt. "Teil" als ein Gemisch von benzinbildenden Anteilen erreicht einen niedrigen Druck bei der Ausdehnung auf das Mehrfache des Ausgangsvolumens. Anders verhält sich Teil + 10% Butan, da mit ein sehr niedrig siedender Anteil ist. Die Druckvolumenkurven bei Teil wurden bei abfallendem Druck und bei ansteigendem Druck gemessen. Es ergeben sich zwei Kurven, die bei ansteigendem Druck nicht so viel einkondensiert, wie bei abfallendem Druck. Der Kondensationsverzögerung ist demnach größer als der Siedeverzug, der sich bei der Messung bei abfallendem Druck deutlich bemerkbar macht. Der Abstand beider Kurven wächst mit steigender Temperatur, so daß die Siedeverzögerung bei niedrigeren Temperaturen ist. Dieser Abstand ist mit der Entfernung des Druckmeßkopfes vom Ausgangsvolumen V_0 , also mit dem Verhältnis

Dieses Volumenverhältnis K ist ein Maß, um verschiedene Benzine in Abhängigkeit von Temperatur vergleichen zu können. Das Schau-Bild 5 zeigt die Drücke für verschiedene Gemische bei $K = \text{konstant}$, also bei einer bestimmten Volumenzunahme. Die drei Kraftstoffe zeigen grundsätzlich verschiedene Verhältnisse. Bemerkenswert ist, daß die Kennlinien der Kraftstoffe bei jeder beliebigen Wert von K ($K = 2-12$) ohne nennenswerten Einfluß auf die Bewertung verglichen werden.

Für eine Kraftstoffpumpe, deren Förderleistung mit zehnfacher Siederzeit ausreicht ($K = 10$), wird beispielsweise bei einem absoluten Druck von $P_0 = 500 \text{ mm Hg}$ auf der Saugseite der Pumpe die Dampfblasenstörung theoretisch bei folgenden Temperaturen auftreten:

Gemisch Teil + 10% Butan	35 °C.
Verbo-Sprit	46,5 °C.
Gemisch Teil	66,5 °C.

Gemisch Teil + 10% Butan zeigt die stärksten zur Dampfblasenstörung neigen. Das Gemisch Teil ist demgegenüber bei hohen Außentemperaturen und Erwärmung der Kraftstoff-Förderanlage am unempfindlichsten. Die Ergebnisse dieser Messungen werden derzeit in einer beliebigen Kraftstoff-Berichtsanlage nachgeprüft.

Dresden, den 30. März 1944

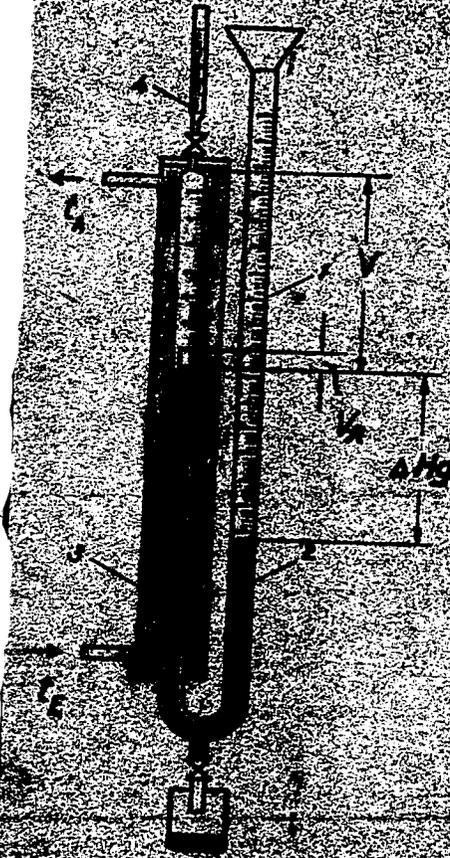
Institut für Kraftfahrwesen

Schrifttumsverzeichnis:

- Dr. Hammerich: Die Bewertung von Leichtkraftstoffen hinsichtlich ihrer Neigung zur Dampfblasenbildung
 Öl und Kohle 1939, Heft 28 — ZVDI 1940, Heft 17 (Ausg.)
 Koch: Beitrag zur Frage der Dampfblasenbildung - Kraftstoff 1940, Juliheft.
 F. Schaub u. H. Velde: Zur Beurteilung von Kraftstoffen hinsichtlich der Dampfblasenstörungen am Motor - ATZ 1941, Heft 22.

000136

Bild 1



Druck- und Volumen-Messapparatur
für Kraftstoffe

- 1 Manometer U-Rohr
- 2 Querschilberfüllung
- 3 Reilmantel
- 4 Messpipette

V_{fl} = Volumen des flüssigen
Anteils der Probe

V_{g} = Volumen des gasförmigen
Anteils der Probe

V = Gesamtvolumen

P = Barometerstand

A/Hg = Differenz der Queck-
silbersäulen

$P = A/Hg$ = Absoluter Druck P_{abs}

t = Temperatur im Reim-
meter

000147

B-93-1

Bild 2

Volumen - Druck - Kurven von Gemisch „Tel“ bei konstanten Temperaturen

$K = \frac{V}{V_0}$ $V = 2 \text{ cm}^3$

Druck
mm Hg

1100

1000

900

800

700

600

500

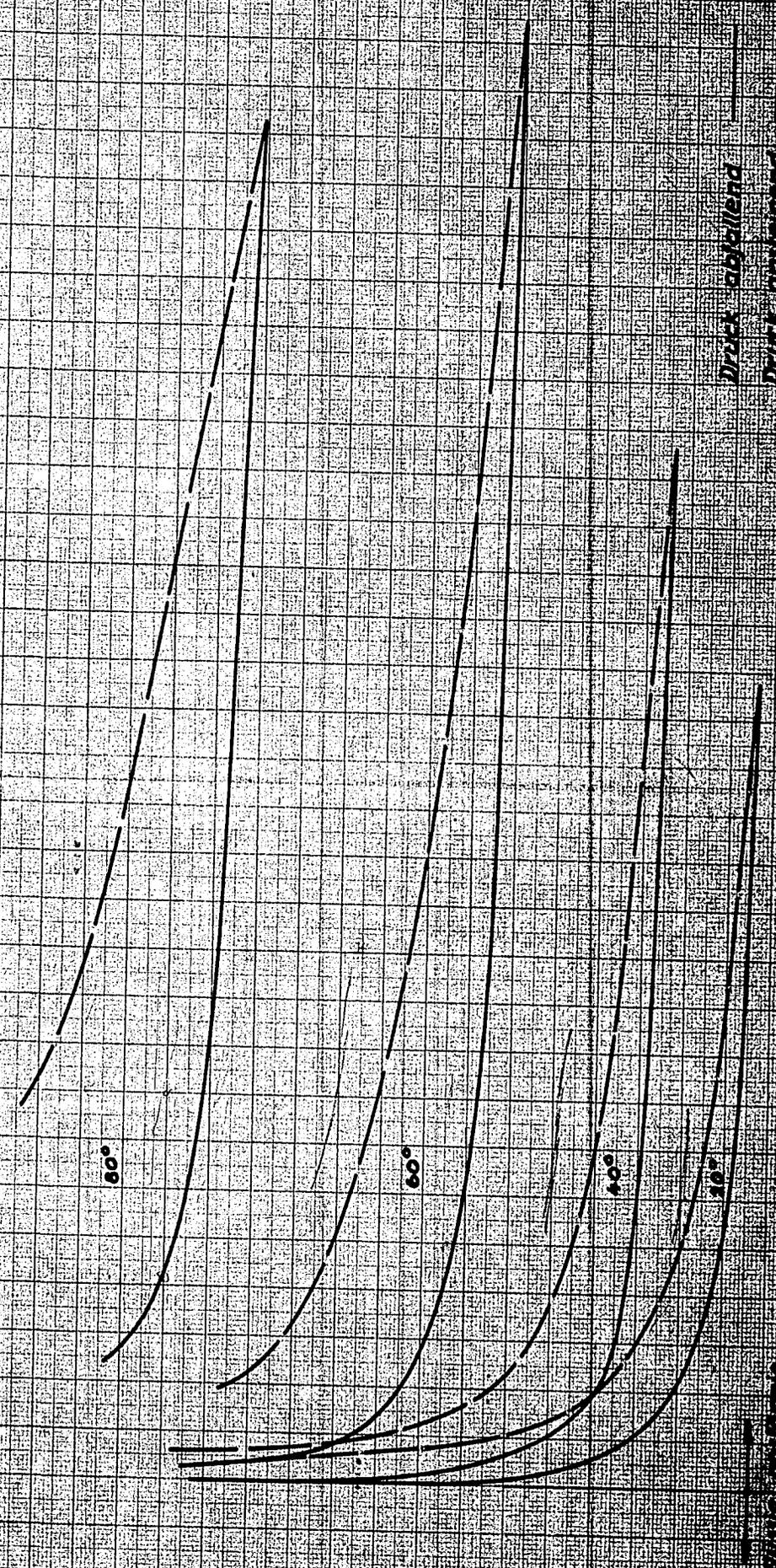
400

300

200

100

1000 2000 3000

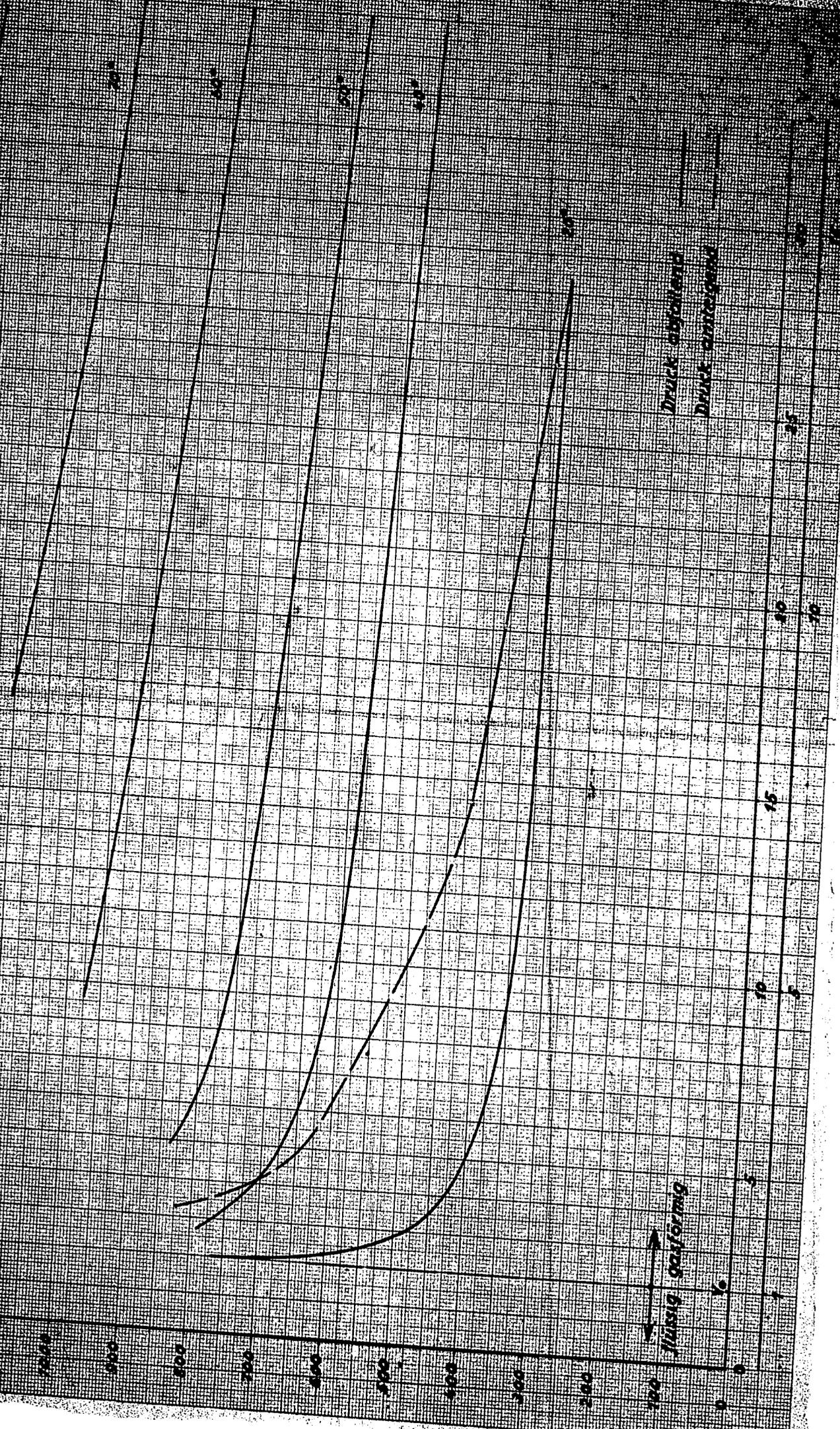


Druck absteigend

Druck ansteigend

010145

Kollmen: Druck-Kurven von Gemisch - Teil 1 - 10% Butan bei konstanter Zimmertemperatur
 $\kappa = 1\%$ $\nu = 2 \text{ cm}^3$



93 12 10

D. 937

Bild 1

000149

Volumen - Druck - Kurven von Gemisch „Gembo Spirit“ bei konstanten Temperaturen
K. = V %
V = 2 cm³

P_{abs}
mm Hg

1100

1000

900

800

700

600

500

400

300

200

100

20°

60°

50°

40°

30°

Druck (mm Hg)

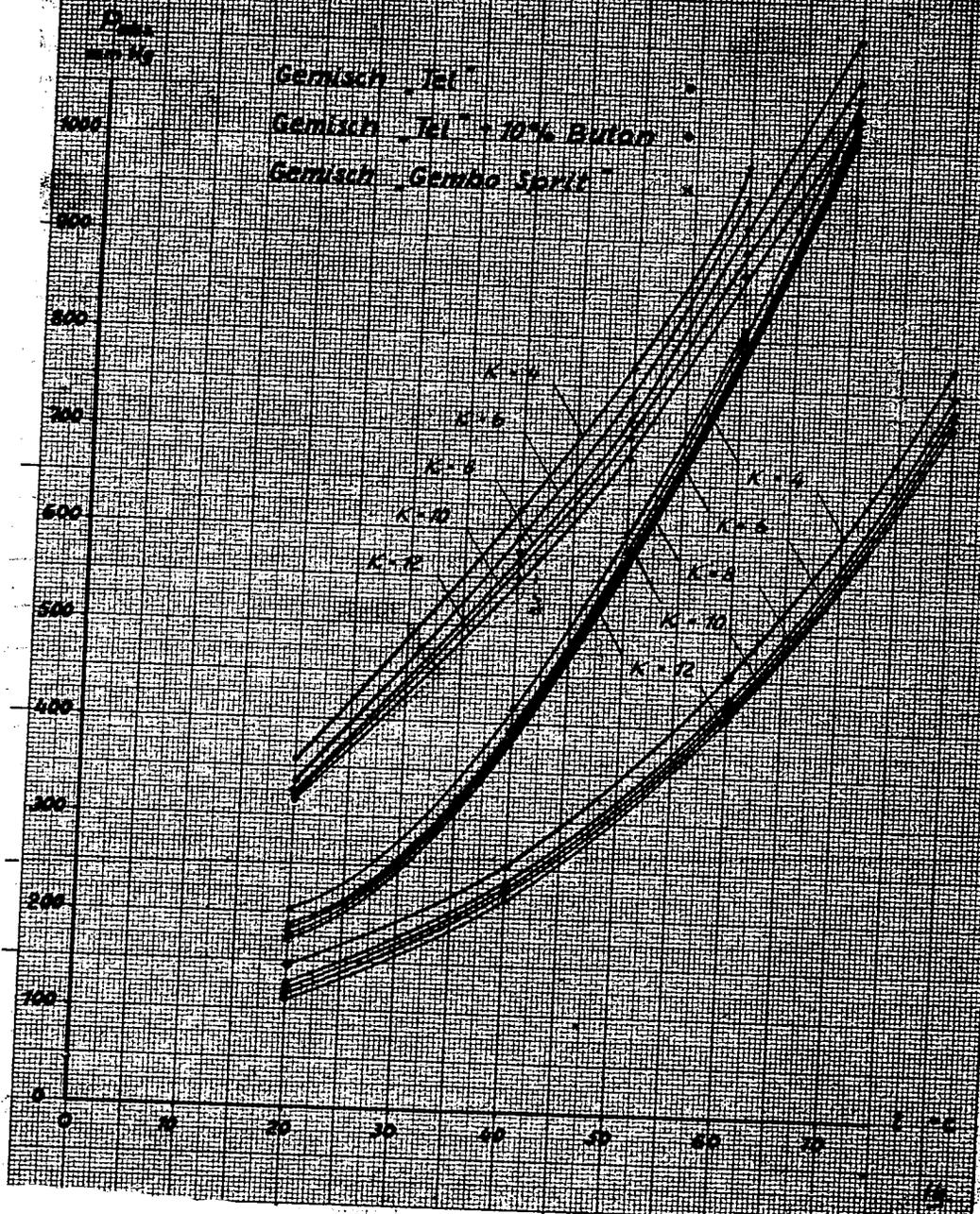
000150

B-32

Blatt 3

Druck-Temperatur-Abhängigkeit von Benzol

$K = \frac{1}{2} \cdot \text{Kanal}$ $V = 2 \text{ cm}^3$



93-6-4

Page/Image
Missing

Zwischenbericht.Bewertung von Kraftstoffen hinsichtlich Dampfblasenstörung.Zweck der Untersuchung.

Im Rahmen eines Ringtestversuches der Zentralbüro für Mineralöl G.m.b.H. sollten im Institut für Kraftfahrwesen 9 Kraftstoffe (a, b, c, d, e, f, g, h, i, k) nach der im Bericht B-93-I geschilderten Prüfmethode mit Testgerät nach Prof. v. Eberan hinsichtlich ihrer Neigung zur Dampfblasenstörung untersucht werden. Dieselben Teststoffe lagen gleichzeitig folgenden anderen Stellen zur Prüfung nach verschiedenen Methoden vor:

Ruhr-Chemie A.G., Oberhausen-Holteln, *Methode R.H. durch*

Reichkraftsprit G.m.b.H., Berlin, *von Prof. v. Eberan*

Olex, Deutsche Benzin- und Petroleum G.m.b.H., Berlin *von Prof. v. Eberan*

Zweck des Ringtestversuches ist die Schaffung einer einheitlichen Bewertungsmethode von Otto-Kraftstoffen für Kraftfahrzeuge hinsichtlich ihrer Neigung zur Dampfblasenstörung.

Untersuchungsmethoden.a) IfK-Testgerät.

Um die Untersuchung mit dem Testgerät bei den verschiedenen Temperaturen abzukürzen und das Einfüllen neuer Kraftstoffproben, sowie die jedesmalige sorgfältige Reinigung des Gerätes zu vermeiden, wurden die Druckvolumenkurven der Teststoffe erstmalig bei allen Temperaturen mit ein- und derselben Kraftstoffprobe durchgemessen. Beim Steigern des Druckes im U-Rohr-Manometer tritt ein Kondensationsverzög ein, sodaß beim Beginn der folgenden Messung nicht wieder das Ausgangsvolumen von 2 cm³ erreicht wird, sondern es bleibt eine kleine Gasblase von Benzindampf zurück. Dies zeigt sich im Druckvolumen-Diagramm dadurch (s. Bericht B-93-I, Bilder 2 und 4), daß die Kurven für niedrige Temperaturen (20 - 50°) nicht bei V = 2 cm³, sondern bei etwa 2,5 - 3,5 cm³ beginnen. Bei höheren Temperaturen geht ein längeres Stück der Druckvolumenkurve verloren. In dem interessierenden Drucktemperaturbereich tritt dies jedoch nicht weiter störend in Erscheinung, weil diese Zustandspunkte kleinen K-Werten entsprechen.

Aus den aufgenommenen Druckvolumen-Kurven für konstante Temperaturen sind die Werte der PT-Kurven für K = konst = 4,0 und K = 12 abgegriffen und aufgetragen. Diese Ergebnisse zeigen die Diagramme 1-10 für je einen Kraftstoff. Um die Kraftstoffe miteinander vergleichen zu können, sind die Temperaturwerte für K = 4 und K = 12 bei einem Druck von 760 mm Hg in die Tabelle 1 eingetragen. Daraus erkennt man eine Reihenfolge der Kraftstoffe. Für K = 4 ist diese

und für K = 12:

a-c-g-i-b-e-k-h-f

a-c-g-i-e-k-h-f

wobei die Dampfspannung nach rechts zunimmt. Bis auf Kraftstoff b, der in der unteren Reihe später erscheint, stimmen beide Reihenfolgen überein.

Schliesslich wurde ein Gemisch 1 : 1 aus dem verdampfungs-festen Kraftstoff a und dem leicht flüchtigen Stoff f untersucht, um die Neigung von Mischkraftstoffen zur Dampfblasenbildung aus dem Verhalten ihrer Komponenten voraussagen zu können. Diagramm 11 zeigt das Ergebnis. Wie erwartet, gibt der leichter flüchtige Kraftstoff f mit der höheren Dampfspannung den Ausschlag. Man erkennt, dass die K - Kurve der Mischung a + f nicht etwa in der Mitte zwischen den K - Kurven der Stoffe a und f verläuft, sondern stark nach der Seite des leicht flüchtigen Kraftstoffes f verschoben ist. Für die Abreisstemperatur bei dem Druck $P = 760 \text{ mm Hg}$ und eine Volumenzunahme auf das 4-fache ($K = 4$) bedeutet das beispielsweise folgende Werte:

Teststoff a	71,5° C
Teststoff f	50,0° C
und Mischung a + f	56,0° C

Die einheitliche Festlegung einer zulässigen Volumenzunahme K für alle im Fahrbetrieb auftretenden Dampfblasenstörungsmöglichkeiten ist die Voraussetzung für die anzustrebende eindeutige Bewertung von Kraftstoffen. Eine dem grösseren K - Wert ($K = 12$) entsprechende Sicherheit dürfte voraussichtlich in keiner Kraftstoff-Förderanlage erreicht werden.

b.) Sicherheit der Kraftstoff-Förderanlagen.

Die z.Z. allgemein eingeführten Kraftstoff-Förderpumpen von Kraftfahrzeugen sind Membranpumpen, deren Hub beim Saugen zwangsschlüssig von einem Exzenter, beim Drücken kraftschlüssig von einer Feder bestimmt wird. Demzufolge ist auch der Förderdruck solcher Membranpumpen mit etwa 0,1 - 0,4 atü begrenzt. Bild 1 zeigt eine Hebelpumpe der Fa. Solex im Schnitt. Die Fördercharakteristik dieser Pumpe in den Grenzfällen

- reiner Flüssig-Kraftstoff-Förderung
- reiner Gasförderung und für
- Flüssigkeit-Gasmischungen verschiedener

zeigt Bild 2. Die Mischförderung wurde durch Einblasen von Luft bekannter Menge und in Form feinsten Bläschen durch eine Fritte erzielt. Die aus Bild 3 ersichtliche Anlage entspricht einer Kraftstoff-Förderanlage im 3-to-Opel-Lkw.

Die reine Luftförderung der Pumpe in Litern pro Stunde (Fall b) ist bei Höchstdrehzahl $n = 1750 \text{ U/min}$ etwa 5 mal so gross wie die reine Kraftstoff-Förderung (Fall a). Zunehmender Luftdurchsatz durch die Pumpe erniedrigt die geförderte Kraftstoffmenge.

Beispiel:

$$\begin{aligned} n &= 1750 \text{ U/min} \\ \text{Luftdurchsatz } L &= 100 \text{ l/h} \\ \text{Geförderte Mischung } B + L &= 115 \text{ l/h} \\ \text{Kraftstoff } B &= 15 \text{ l/h.} \end{aligned}$$

Der Vollastverbrauch des 3,6 l Opel-Motors wird von der Pumpe bei allen Drehzahlen mit etwa zweifacher Sicherheit gedeckt. Im Grenzfall vor dem Abreißen wird er noch gedeckt, wenn die Pumpe 40 - 60 l pro Stunde Luft oder Dampfblasen mit fördern muß. Theoretisch könnte der Kraftstoff vor der Pumpe durch teilweise Verdampfung das 3-4fache Volumen annehmen, ohne daß im Motor Kraftstoffmangel einträte. Die K-Kurve dieser Fahrzeuganlage in Bild 2 besagt, daß der kritische Abreisepunkt der Kraftstoff-Förderung bei $n = 1550$ und Vollast liegt, weil hierbei nur die 2,75fache Volumenvergrößerung des Kraftstoffes durch Dampfblasen eintreten darf.

Die Mischfördercharakteristik anderer Fahrzeuganlagen wird z. Zt. noch geprüft. Auf dem in Bild 3 gezeigten Pumpenprüfstand wird insbesondere festgestellt, inwieweit die Dampfblasenbildung auf der Saug- oder Druckseite der Pumpe für das kritische Abfallen der Förderung bestimmend ist.

c) Fahrversuche.

Um die Gültigkeit der im Testgerät ermittelten Reihenfolge der Teststoffe des Ringtestversuches der Zentralbüro für Mineralöl-G.m. b.H. im Fahrzeugbetrieb nachzuprüfen, wurden mit einem NSU-Fiat 1500 cm³ Fahrversuche auf einem ebenen Teil der RAB Dresden-Berlin angestellt. Bild 4 zeigt das Schema der Meßanordnung und Meßstellen im Wagen, Bild 5 und 6 die Meßgeräte und Umbauten im Wagen selbst. Der Versuchskraftstoff konnte in einer kühlwasserspülten Heizschlange so lange aufgeheizt werden, bis Abreißen der Kraftstoffförderung eintrat. Wie Vorversuche gezeigt hatten, ist für das reproduzierbare Auftreten der Dampfblasenstörung im Fahrzeug eine Steigerung der Temperatur des Motors, des Kühlwassers und des Kraftstoffes erreicht werden kann. Anstelle der Kühlerverkleidung wurde der Versuchswagen deshalb mit einer von innen stufenlos verstellbaren Kühlerjalousie ausgestattet. Die Temperaturen wurden mittels geeichter Thermo-Elemente und eines Millivoltmeters, sowie eines Kapillar-Fernthermometers bestimmt. Der allmähliche Temperaturanstieg sämtlicher Meßstellen bis zum Abreißen der Kraftstoff-Förderung wurde durch laufende Ablesung und Aufschreibung der Temperaturen von Minute zu Minute überwacht. Der Ablauf eines Fahrversuches war folgender: Nach vorhergegangenen Versuch bis zum Abriß der Kraftstoff-Förderung wird das Kühlwasser abgelassen und kaltes Kühlwasser aufgefüllt. Sodann wird bei konstanter Geschwindigkeit von 80 km/h die Beharrungstemperatur der Maschine durch entsprechendes Regeln der Kühlerjalousie langsam bis zum Abreißpunkt gesteigert. Das Aussetzen der Kraftstoff-Förderung macht sich eindeutig bemerkbar zuerst durch Leistungsabfall und sofort folgendes Aussetzen des Motors infolge Kraftstoffmangels. Die Diagramme 12 bis 15 zeigen den Temperaturverlauf einiger Fahrversuche mit verschiedenen Kraftstoffen bis zum Abreißen der Kraftstoff-Förderung. Den Auswertungen der Fahrversuche ist zu entnehmen, daß der Kraftstoff in der Pumpe und in der Druckleitung durch Leitungs- und Strahlungswärme des Motors zusätzlich aufgeheizt wird, sodaß die Kraftstofftemperatur in der Druckleitung stets ca. 7° höher liegt als in der Saugleitung. Eine weitere Erwärmung erfährt der Kraftstoff im Vergaser, obwohl derselbe gegen den Auspuffsammler durch einen Asbestschirm abgedeckt wurde. Die Kraftstofftemperatur im Vergaser liegt nochmals 2-5° höher als in der Druckleitung. Die Temperatur des saugseitig angebrachten Fernthermometers wird ebenfalls durch die Leitungswärme beeinflusst. Sie stimmt mit der Kühlwassertemperatur gut überein. Die Temperaturen der Fahrversuche für die Teststoffe a - k und OZ 60 im Augenblick des "Abreißens" sind ebenfalls in der Tabelle 1, Seite 16, eingetragen.

Die Gegenüberstellung der Abreißtemperaturen, die mit dem Ifk-Testgerät und im Fahrversuch mit dem 1500 cm³ Fiat ermittelt wurden, zeigt folgendes:

- 1) Der Fahrversuch läßt trotz besonderer Vorkehrungen wegen der Vielzahl der das "Abreißen" bestimmenden Einflüsse eine eindeutige Bewertung eines Kraftstoffes anhand einer einzigen Bewertungsgröße im Gegensatz zum Labortest nicht zu.

- 2) Das Abreißen im Fahrzeug ist keiner der unterschiedlichen Temperaturen

t_{KW} = Kühlwassertemperatur

t_{SF} = Kraftstoff-Leitungstemperatur Saugseite

t_{ST} = Kraftstofftemperatur Saugseite

t_{DT} = Kraftstofftemperatur Druckseite

t_{VT} = Vergasertemperatur

- eindeutig zugeordnet.
- 3) Die Temperaturen im Fahrversuch liegen in der Regel in folgender Reihenfolge:
- $$t_{ST} < t_{DT} < t_{VT} < t_{KW}$$
- 4) Die durch Wärmeleitung bestimmten Temperaturen t_{SF} , t_{VT} sind angenähert gleich.
- 5) Der Wert

$$\frac{t_{SF} + t_{VT}}{2}$$

stellt die mittlere Wandtemperatur am Kraftstoff dar, der Wert

$$\frac{t_{ST} + t_{DT}}{2}$$

die mittlere Kraftstofftemperatur selbst.

- 6) Die mit dem IfK-Testgerät bei $P = 760 \text{ mm Hg}$ und $K = 4$ ermittelten Temperaturen t_A liegen zwischen den mittleren Wandungs- und Kraftstofftemperaturen, die zum "Abreißen" im Fahrversuch führen.

$$\frac{t_{ST} + t_{DT}}{2} < t_A < \frac{t_{SF} + t_{VT}}{2}$$

Die größte Abweichung von dieser Regel beträgt höchstens 2° .

Zusammenfassung.

- 1) Die Bewertungsreihenfolge von Kraftstoffen nach dem IfK-Testverfahren ist von der Festlegung des Faktors K in weiten Grenzen unabhängig.
- 2) Die kritische Volumenzunahme liegt für den 3 t-Opel-Ikw zwischen $K = 3 - 4$.
- 3) Die "Abreißtemperatur" im Fahrzeug ist nicht eindeutig, da der Kraftstoff in der Förderanlage bis zu 25° unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt ist.
- 4) Der Fahrversuch bestätigt jedoch eindeutig die geringe Neigung von Kraftstoffen zur Dampfblasenstörung, die in der IfK-Testapparatur hohe Temperaturwerte erreichen und umgekehrt.
- 5) Die Übereinstimmung der Abreißtemperatur des IfK-Labortestes mit der mittleren für das Abreißen im Fahrzeug als maßgeblich anzusehenden Temperatur ist bis auf $1-2^\circ$ nachzuweisen.
- 6) Der IfK-Labortest kann für die Bewertung von Kraftstoffen hinsichtlich Dampfblasenstörung als hinreichend einfach und genau angesehen werden.

Dresden, den 30.10.1944

Institut für Kraftfahrwesen

H. H. H.

000156

Archiv Nr. B-93-11 Seite 6

Diagramm 1

Kraftstoff a (Ringtestversuch des Z.T.M.)P-T Kurven für $K = \text{const}$

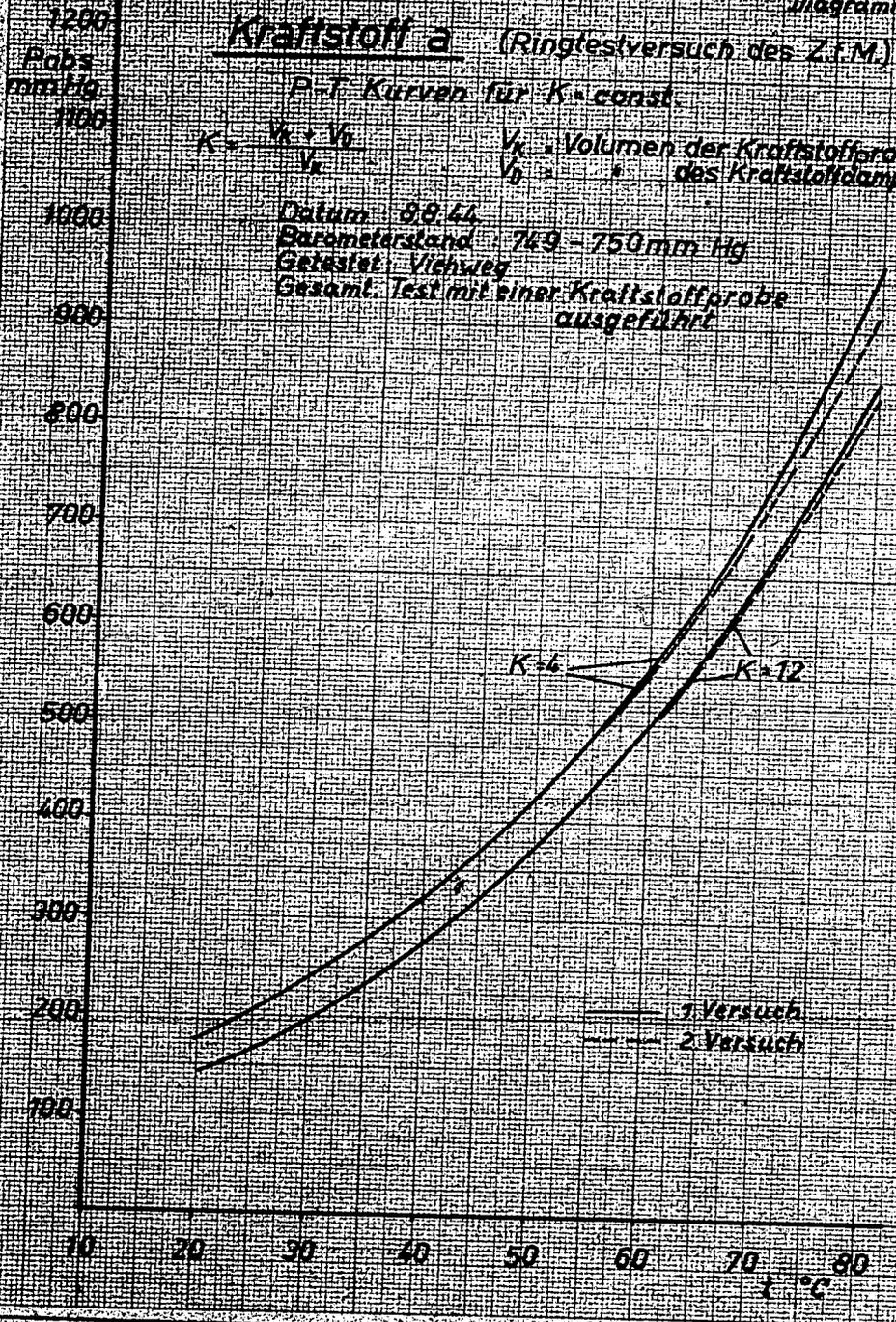
$$K = \frac{V_k + V_d}{V_k}$$

 V_k = Volumen der Kraftstoffprobe
 V_d = " " des Kraftstoffdampfes

Datum: 28.44

Barometerstand: 749 - 750 mm Hg

Geprüft: Viehwieg

Gesamt. Test mit einer Kraftstoffprobe
ausgeführt

Institut für Kraftfahrwesen der Techn. Hochschule Dresden Arb.-Nr. 93

Name: Dr. H. J.

Tag: 15.9.44

Z.-Nr.

93-G-655

000157

Archiv Nr. B-93-II Seite 7

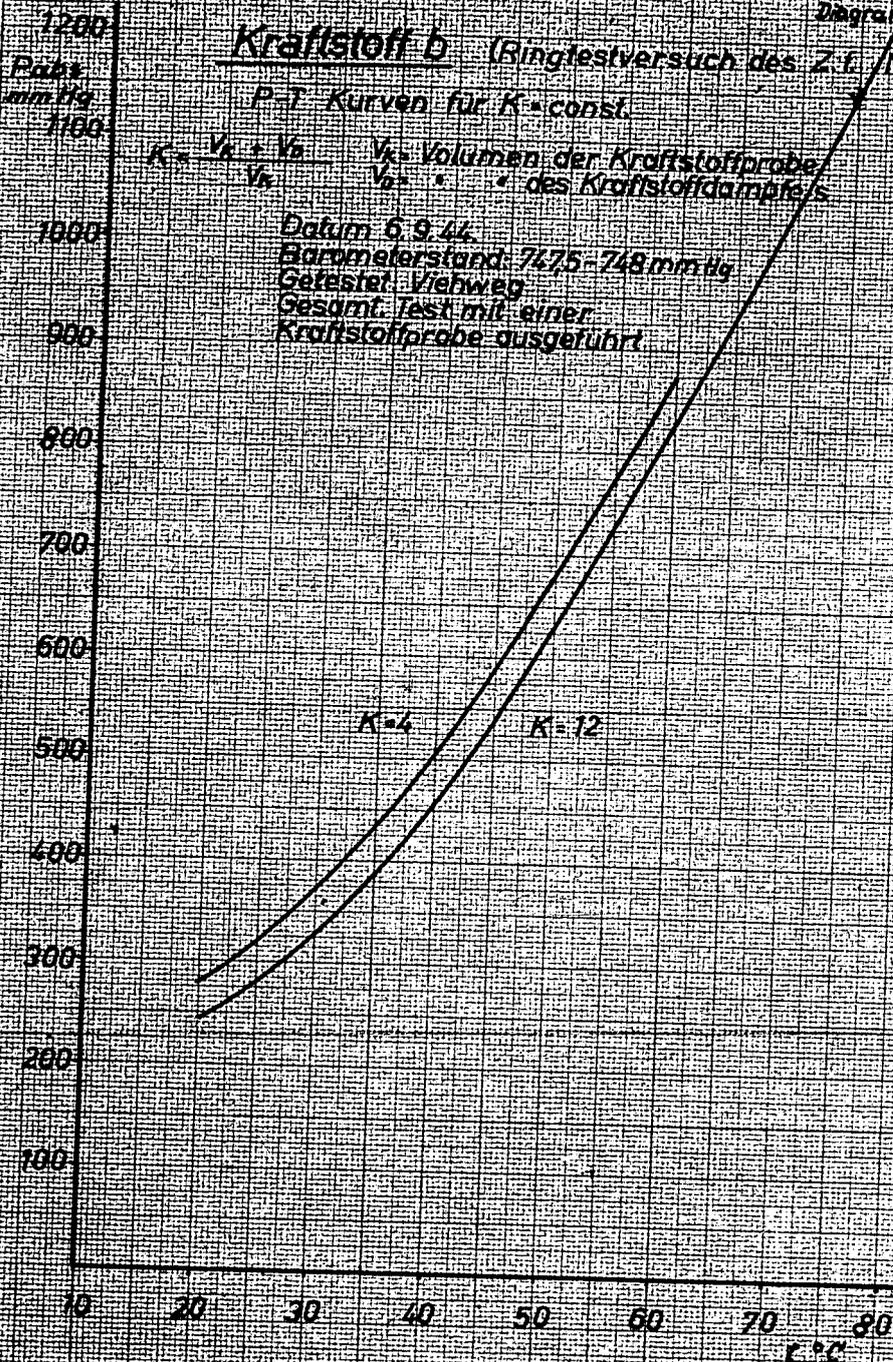
Diagramm 2

Kraftstoff b (Ringtestversuch des Z.f. M)

P-T Kurven für K=const

$K = \frac{V_k \cdot V_0}{V_0}$ $V_k =$ Volumen der Kraftstoffprobe
 $V_0 =$ des Kraftstoffdampfes

Datum 6.9.44.
 Barometerstand: 747,5-748 mm Hg
 Gefasst: Viehweg
 Gesamttest mit einer
 Kraftstoffprobe ausgeführt



000158

Archiv Nr. B-27-11 Seite 5

Diagramm 3

Kraftstoff c (Ringtestversuch des Z.I.M.)

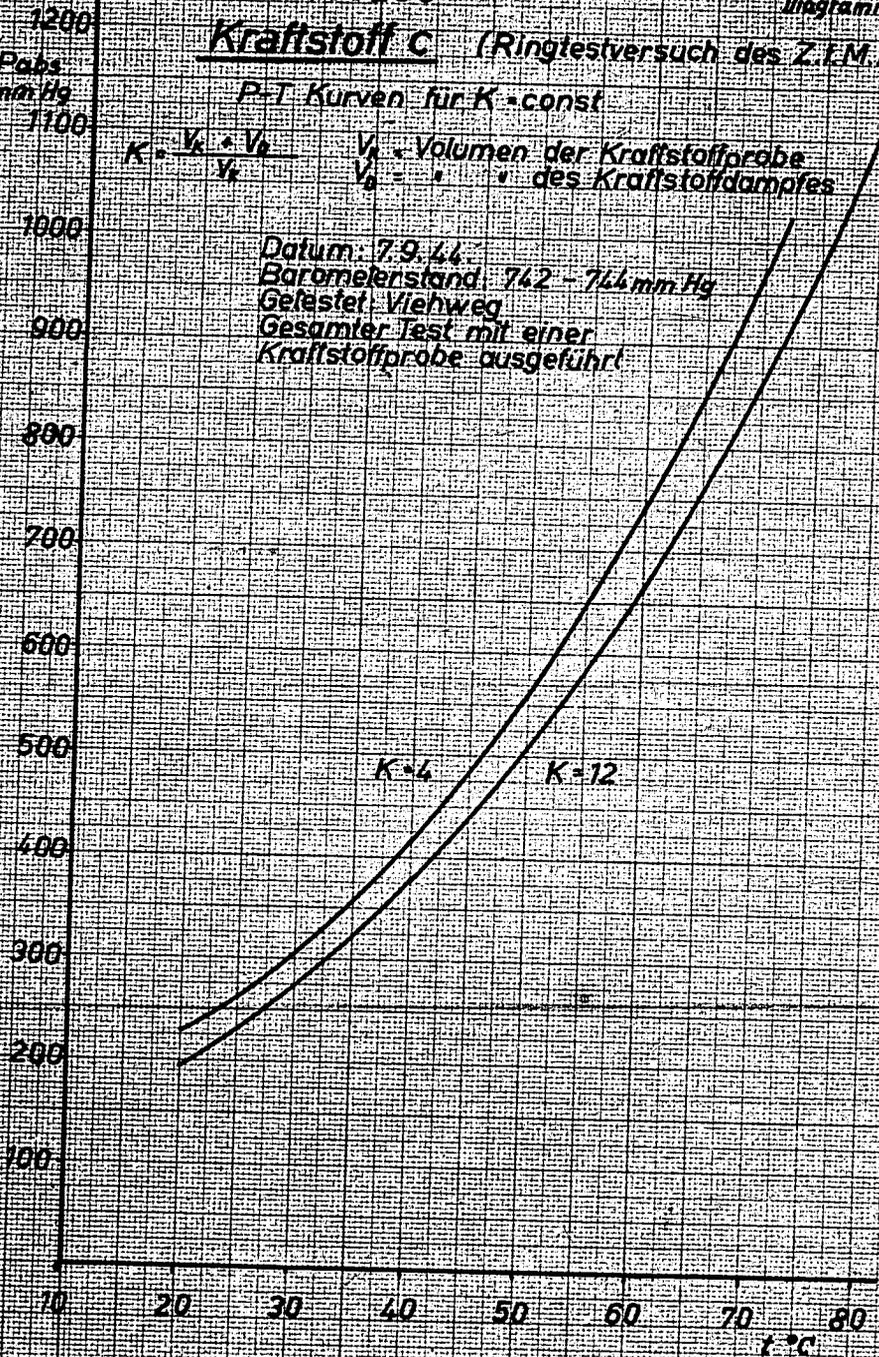
P-T Kurven für K = const

Paßs.
mm Hg

$$K = \frac{V_k \cdot V_0}{V_k} \quad V_k = \text{Volumen der Kraftstoffprobe}$$

$$V_0 = \text{Volumen des Kraftstoffdampfes}$$

Datum: 7.9.44
 Barometerstand: 762 - 766 mm Hg
 Gefestet: Viehweg
 Gesamter Test mit einer
 Kraftstoffprobe ausgeführt



000159

Archiv Nr. B-93-II Seite 9

Diagramm 4

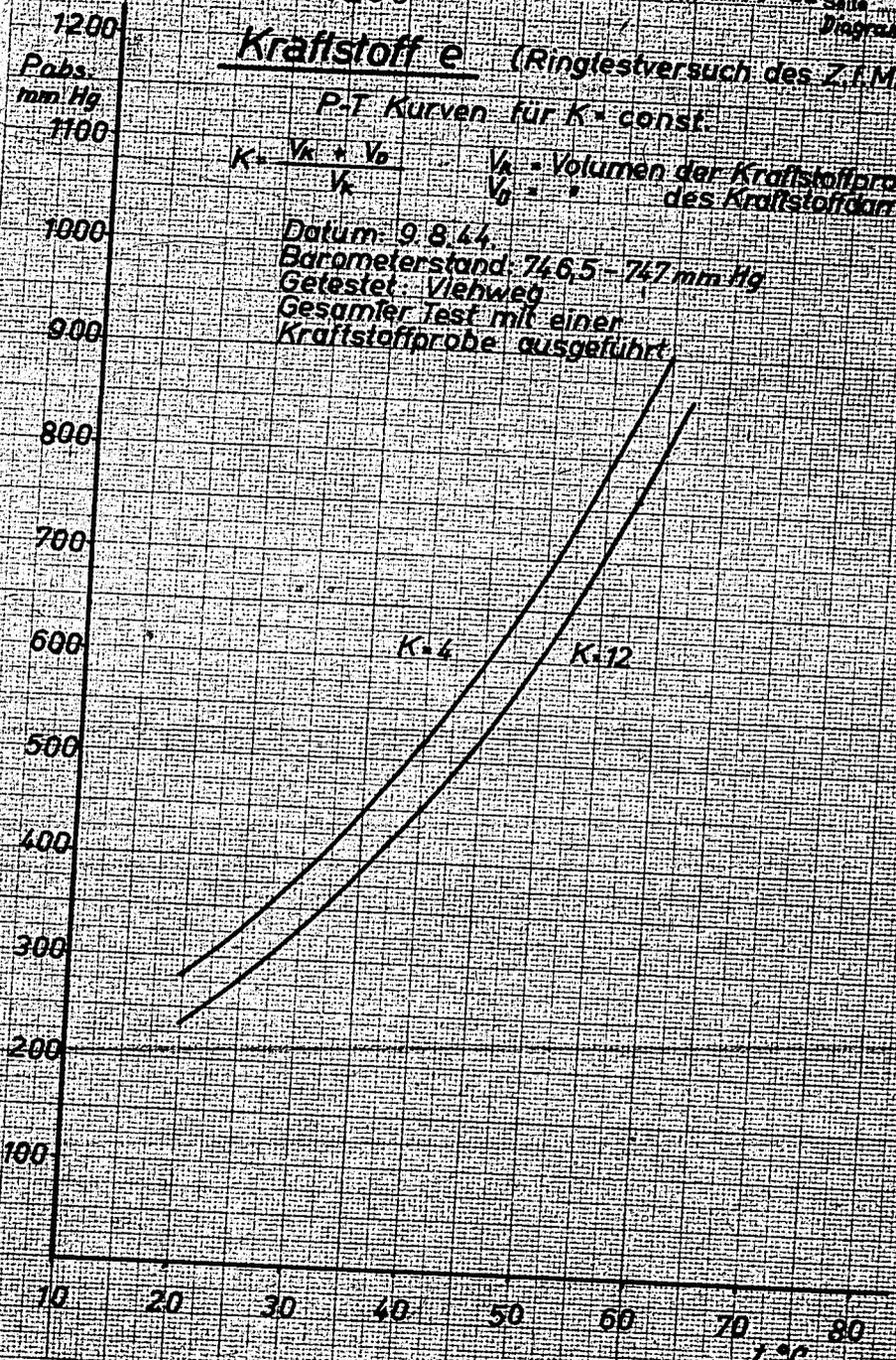
Kraftstoff e (Ringfestversuch des Z.T.M.)

P-T Kurven für K = const.

$$K = \frac{V_k + V_0}{V_k} \quad V_k = \text{Volumen der Kraftstoffprobe}$$

$$V_0 = \text{ " " " des Kraftstoffkomplexes}$$

Datum: 9.8.44
 Barometerstand: 746,5 - 747 mm Hg
 Getestet: Vlehweg
 Gesamter Test mit einer Kraftstoffprobe ausgeführt



000160

Archiv Nr. B-93-II Seite 10

Diagramm 5

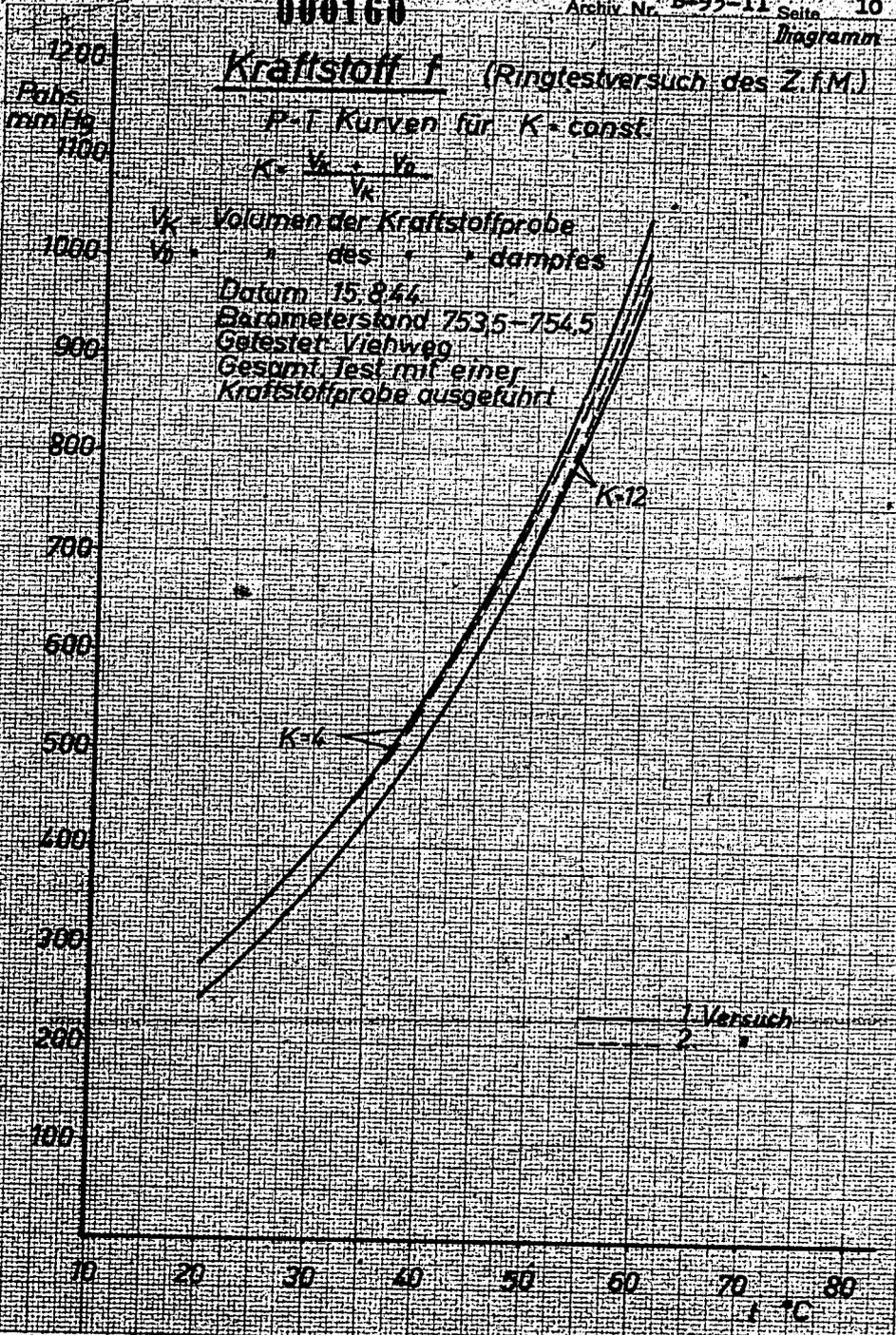
Kraftstoff f (Ringtestversuch des Z.f.M.)

P-t Kurven für K = const.

$$K = \frac{V_h \cdot p_h}{V_k \cdot p_k}$$

V_k - Volumen der Kraftstoffprobe
 V_h - " " des " " dampfes

Datum: 15.8.44
Barometerstand: 753,5 - 754,5
Geleitet: Viehweg
Gesamt Test mit einer Kraftstoffprobe ausgeführt



800161

Archiv Nr. B-93-11 Seite 11

Diagramm 6

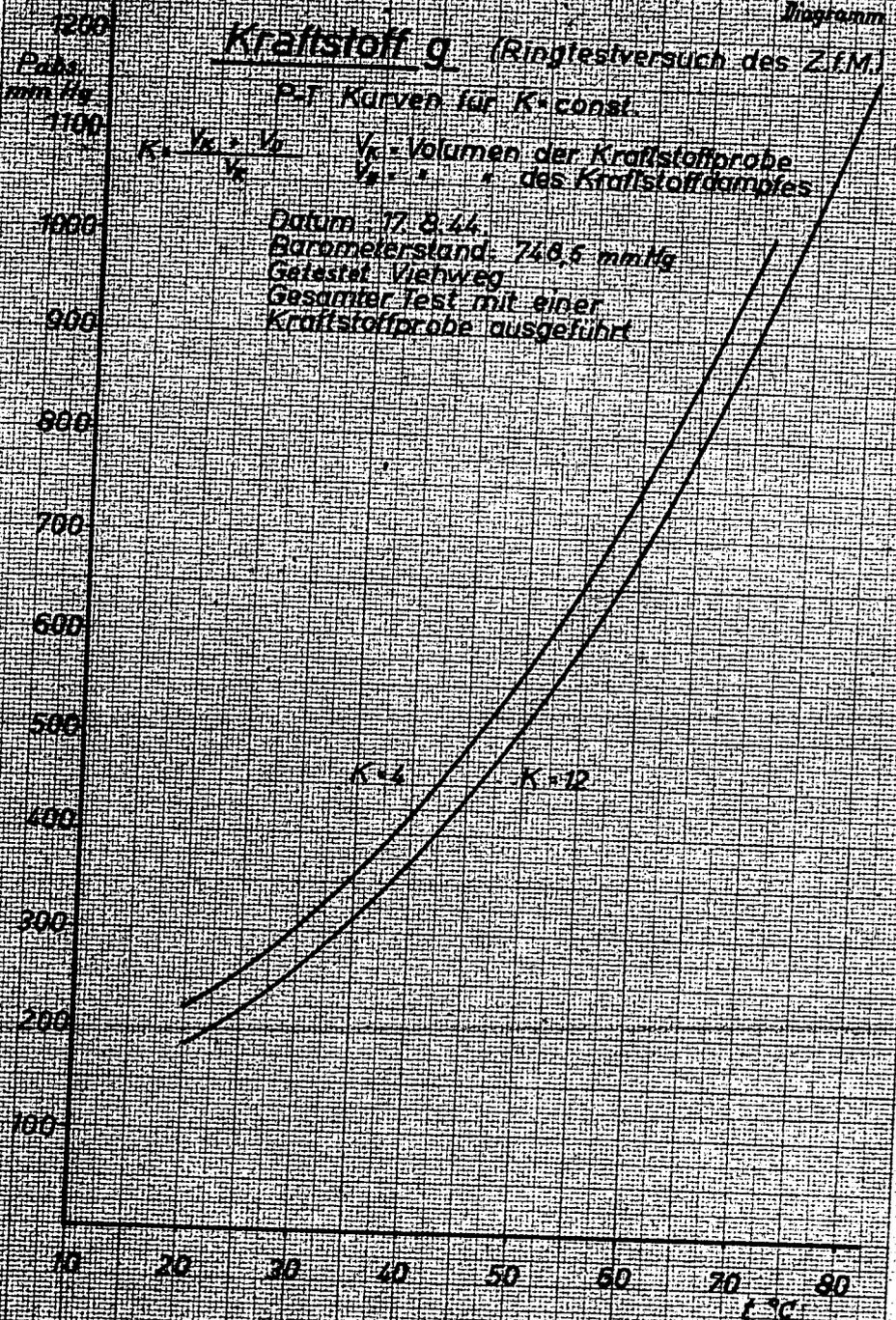
Kraftstoff g (Ringfestversuch des Z.f.M.)

P-T Kurven für K=const.

$$K = \frac{V_k + V_d}{V_k}$$

V_k = Volumen der Kraftstoffprobe
 V_d = des Kraftstoffdampfes

Datum: 17. 8. 44.
Barometerstand: 748,5 mmHg
Gerät: Vierweg
Gesamter Test mit einer Kraftstoffprobe ausgeführt



000162

Archiv Nr. B-93-II Seite 12

Diagramm 7

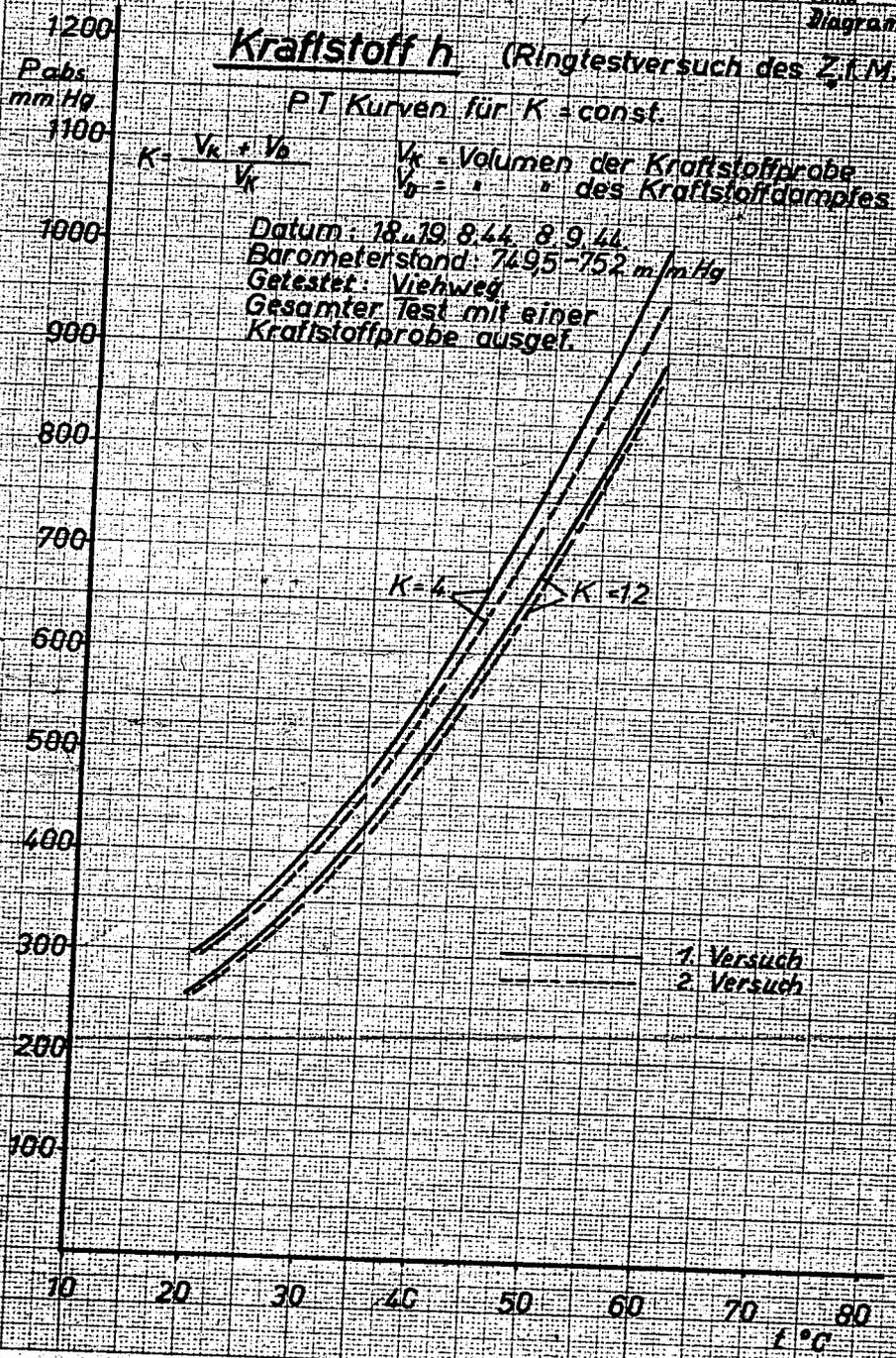
Kraftstoff h (Ringtestversuch des Z.M.)

PT Kurven für K = const.

$$K = \frac{V_k + V_d}{V_k}$$

V_k = Volumen der Kraftstoffprobe
 V_d = " " des Kraftstoffdampfes

Datum: 18.19.8.44, 8.9.44
Barometerstand: 749,5 - 752,0 mmHg
Getestet: Viehwieg
Gesamter Test mit einer Kraftstoffprobe ausgef.



000163

Archiv. Nr. B-93-11 Seite 13

Diagramm 6

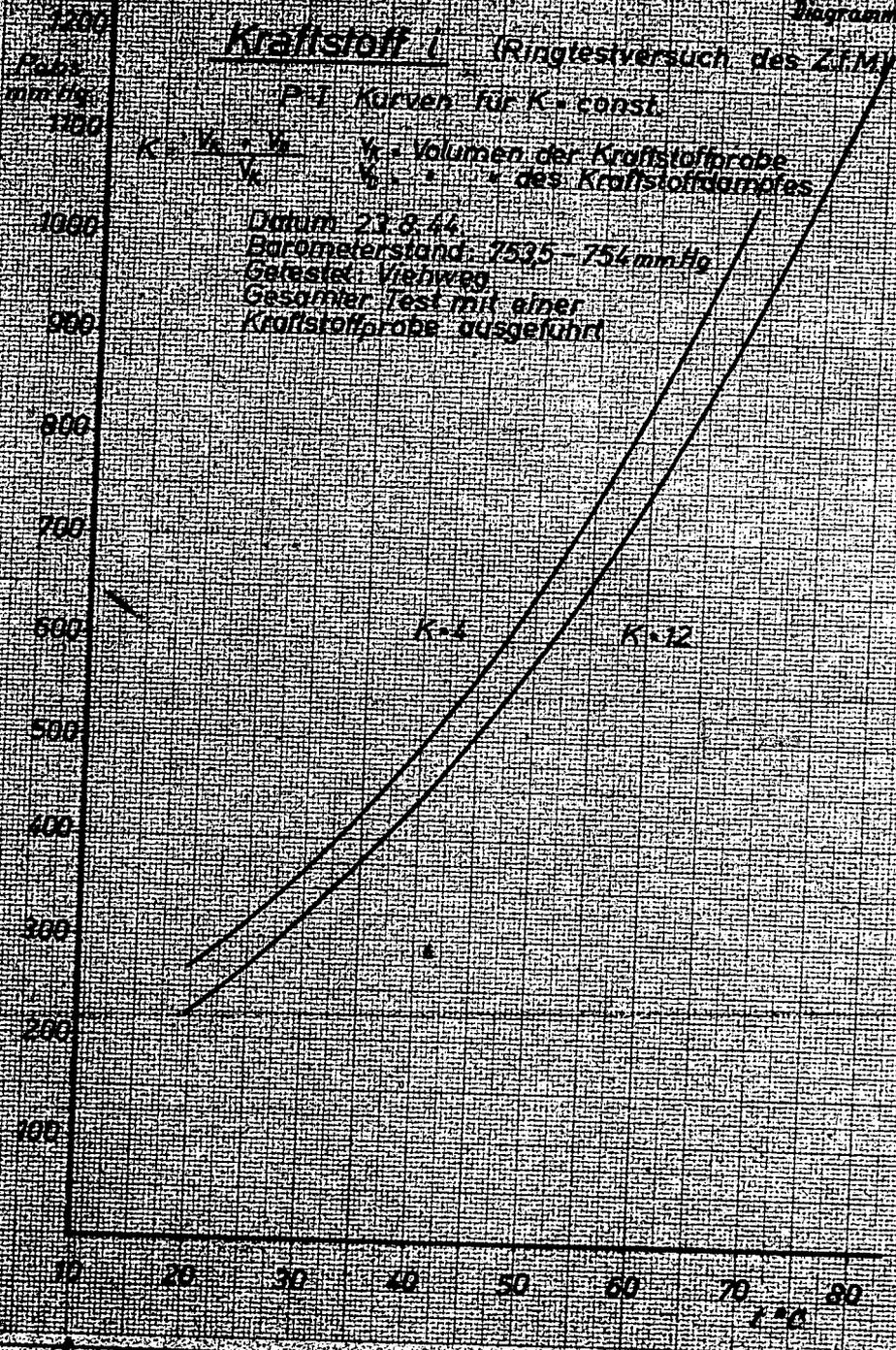
Kraftstoff I (Ringtestversuch des ZfM)

P-T Kurven für K = const.

$$K = \frac{V_0 + V_1}{V_1} \quad V_1 = \text{Volumen der Kraftstoffprobe}$$

$$V_0 = \text{Volumen des Kraftstoffdampfes}$$

Datum 27.8.44
 Barometerstand: 7535 - 754 mm Hg
 Gatestel: Viehweg
 Gesamter Test mit einer
 Kraftstoffprobe ausgeführt



000164

Archiv Nr. B-93-II Seite 14

Diagramm 9

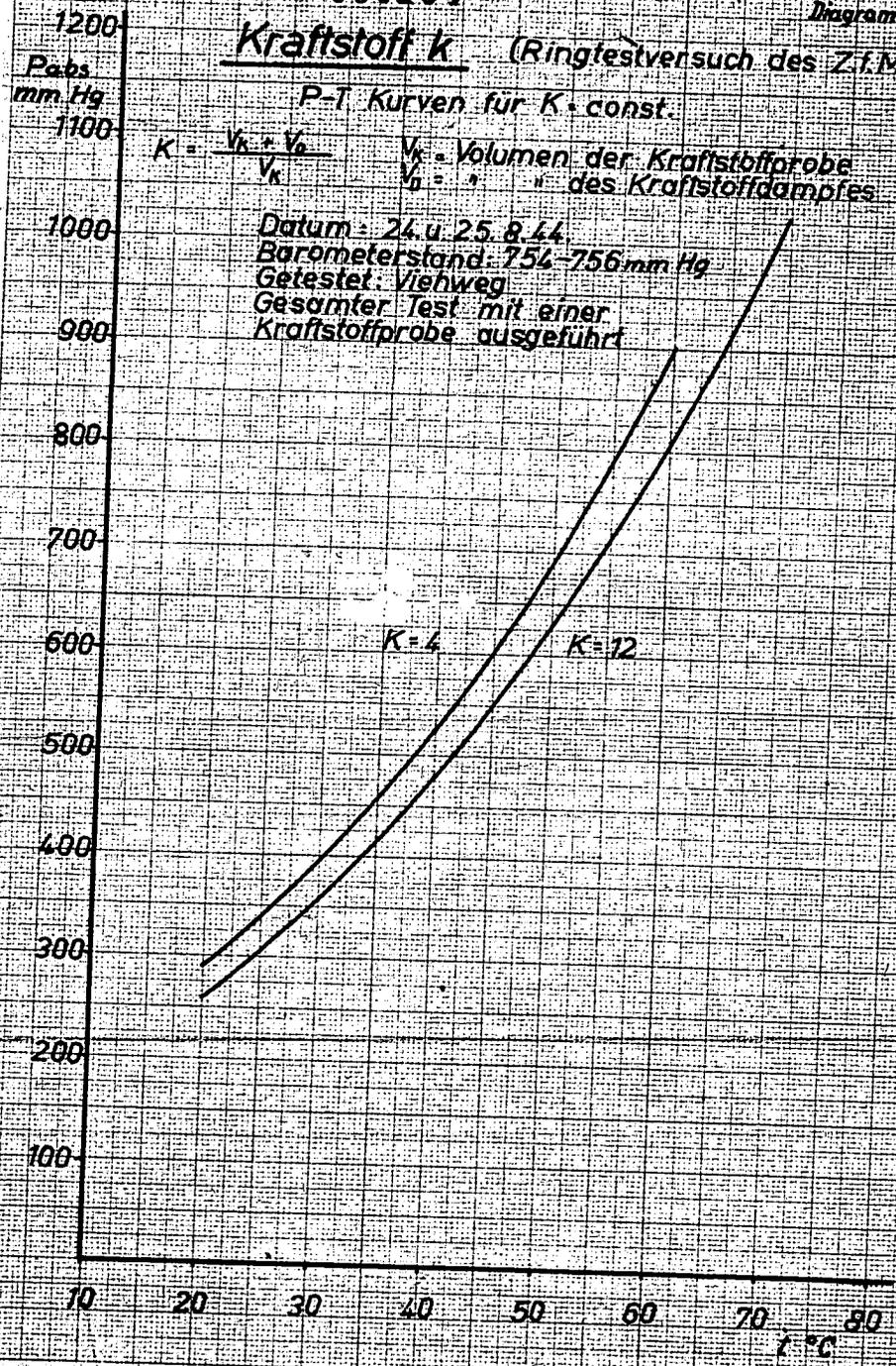
Kraftstoff k (Ringtestversuch des Z.f.M.)

P-T Kurven für K = const.

$$K = \frac{V_k + V_0}{V_k}$$

V_k = Volumen der Kraftstoffprobe
 V_0 = " " des Kraftstoffdampfes

Datum: 24. u. 25. 8. 44.
 Barometerstand: 754-756 mm Hg
 Getestet: Viehweg
 Gesamter Test mit einer
 Kraftstoffprobe ausgeführt

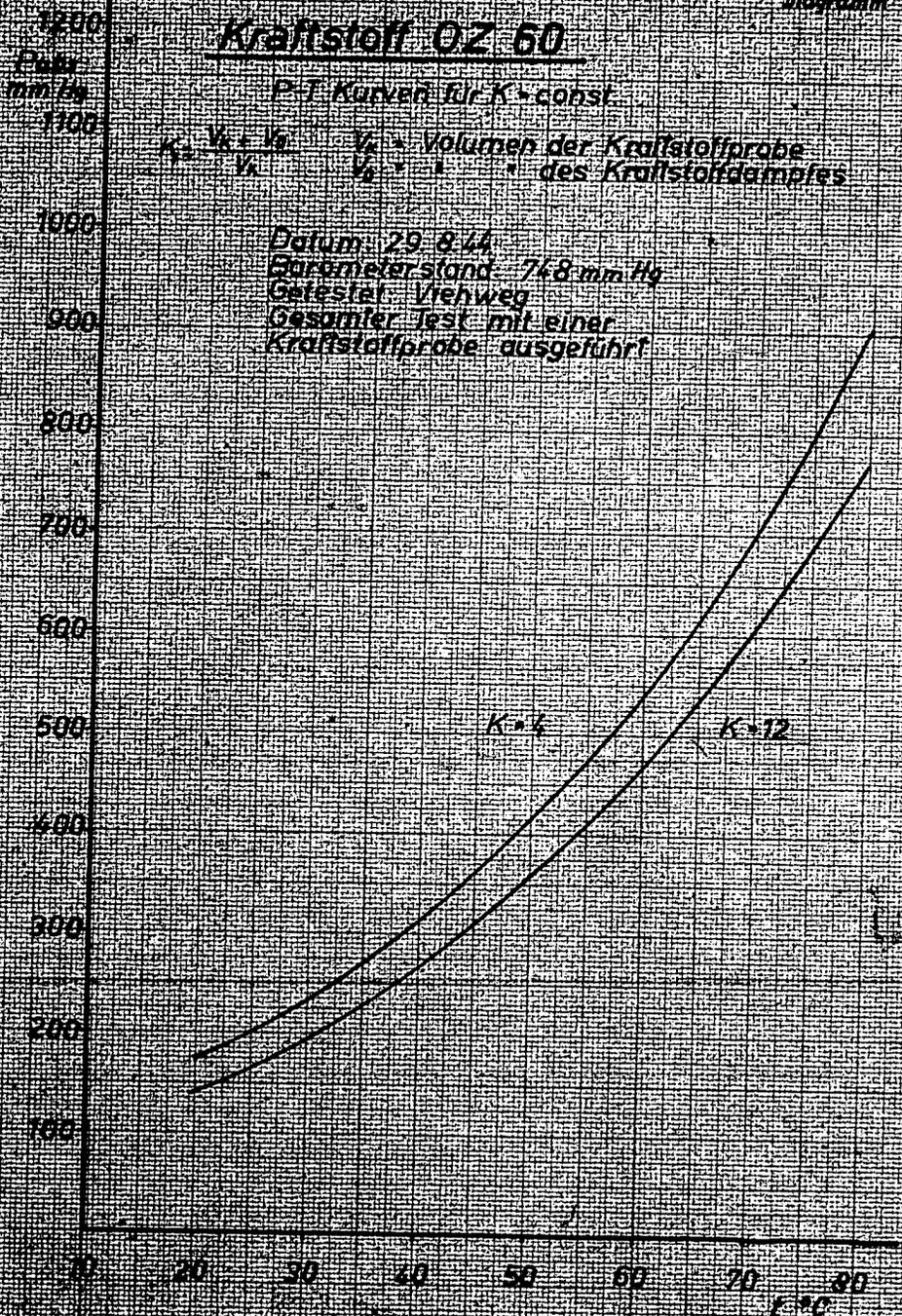


Kraftstoff OZ 60

P-T Kurven für K=const.

$K = \frac{V_k \cdot V_0}{V_k}$ $V_k =$ Volumen der Kraftstoffprobe
 $V_0 =$ des Kraftstoffdampfes

Datum: 29. 8. 44
 Barometerstand: 748 mm Hg
 Gestell: Viehweg
 Gesamter Test mit einer
 Kraftstoffprobe ausgeführt



000166 Kraftstoffe des Ringtestversuchs

Kraftstoff	Testgerät		Fahrversuch Fiat 1500							
	P = 760mm Hg		V Km/h	t _{KW} °C	t _{SF} °C	t _{ST} °C	t _{DT} °C	t _{VT} °C	t _{SF} +t _{DT} °C	t _{SF} +t _{VT} °C
	K=4	K=12								
	t _A °C	t _A °C								
a ₁	71,4	75,6	90	81	74,3	61,4	70,0	74,7	65,7	74,5
a ₂	72,3	76,4								
b	54,1	56,5	80	72	65,0	51,6	60,3	60,3	56,0	62,6
c	60,8	65,0	"	76	66,5	50,4	57,7	65,0	54,0	65,7
			"	74	65,0	51,6	56,3	62,4	54,0	63,7
			"	75	66,0	53,5	62,9	68,9	58,3	67,5
e	53,7	57,7	"	62	57,2	48,3	51,6	55,7	50,0	56,5
f ₁	50,4	52,0	"	63	54,5	45,0	55,3	58,8	50,1	56,6
f ₂	50,9	51,8	"	63	53,5	45,0	54,0	58,0	49,5	55,8
			"	58	50,4	44,2	53,3	54,0	48,8	52,2
			"	58	51,5	42,7	52,0	52,0	47,4	51,7
			"	63	53,5	47,4	51,0	52,0	49,2	52,8
			"	58	50,4	44,0	47,5	49,5	45,8	50,0
g	60,5	63,8	"	57	50,4	42,6	48,0	49,5	45,0	50,0
			"	68	63,0	52,0	60,3	63,5	56,2	63,2
			"	72	65,0	55,0	62,3	64,3	58,7	64,6
h ₁	49,7	53,9	"	63	55,5	48,0	52,8	55,0	50,4	55,2
h ₂	51,3	54,6	"	63	55,5	45,5	53,0	53,0	49,2	54,2
			"	60	53,5	45,2	49,6	53,0	47,4	53,2
			"	61	55,4	45,5	50,3	54,3	47,9	54,8
			"	61	53,5	44,2	48,7	49,8	46,4	51,6
i	56,3	60,7	"	73	64,0	54,3	61,8	63,8	58,1	63,9
k	53,5	57,5	"	69	60,9	49,0	59,1	60,5	54,0	60,7
			"	69	59,8	52,2	58,5	59,0	55,3	59,4
a+f	55,9	58,0								
OZ 60	73,0	79,0	100	84	76,0	64,0	71,4	75,4	67,7	75,7
			"	88	74,3	65,4	68,0	72,0	66,8	73,1
			"	83	74,3	66,7	69,0	75,1	67,7	74,7
g	60,5	63,8	40	78	68,0	54,7	63,8	69,0	59,2	68,5
			60	76	66,5	54,0	63,0	68,4	58,5	67,4
			80	72	65,0	55,0	62,3	64,3	58,7	64,7
			100	69	60,5	46,2	54,3	58,6	50,2	59,6

t_{KW} = Kühlwasseraustritt Fernthermometer
 t_{SF} = Kraftstoff Saugseite " "
 t_{ST} = " " Thermoelement
 t_{DT} = " Druckseite "
 t_{VT} = " Vergaser "
 V = Fahrgeschwindigkeit

000167

Archiv Nr. B-93-II Seite 17

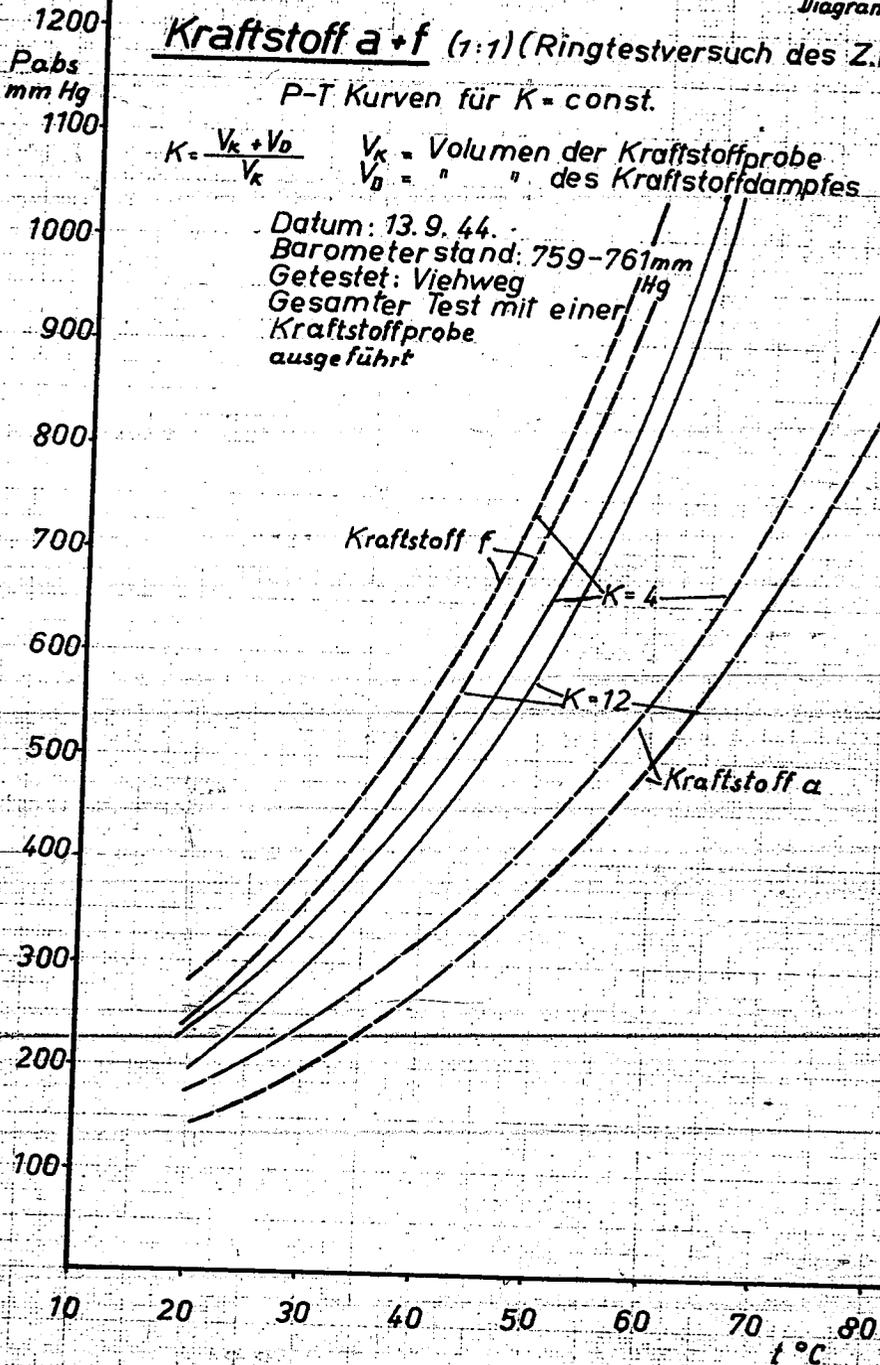
Diagramm 11

Kraftstoff a + f (1:1) (Ringtestversuch des Z.f.M.)

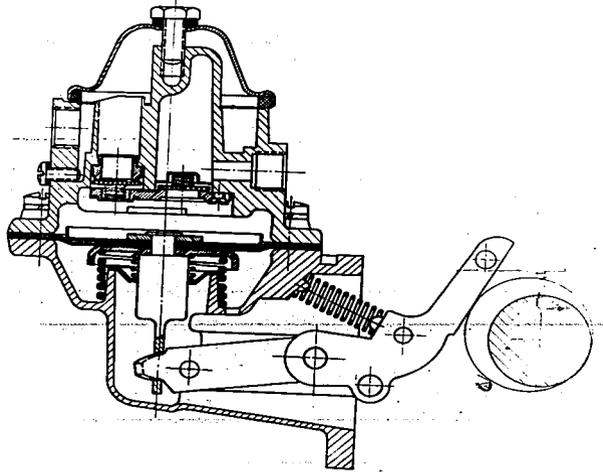
P-T Kurven für K = const.

$$K = \frac{V_k + V_D}{V_k} \quad \begin{array}{l} V_k = \text{Volumen der Kraftstoffprobe} \\ V_D = \text{" " des Kraftstoffdampfes} \end{array}$$

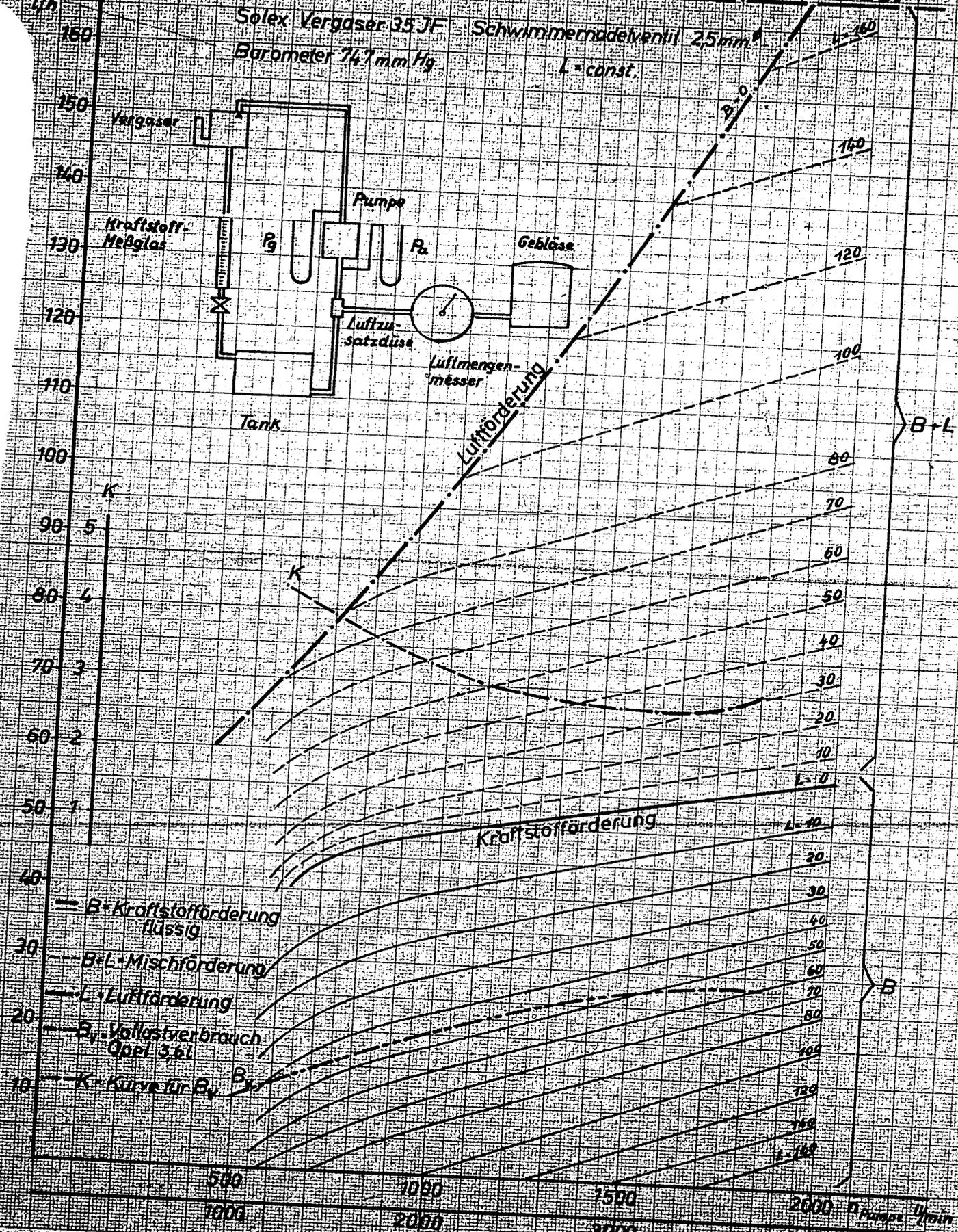
Datum: 13.9.44.
Barometerstand: 759-761 mm Hg
Getestet: Viehweg
Gesamter Test mit einer Kraftstoffprobe ausgeführt



Solex Hebelpumpe
PE 1857



Mischfördercharakteristik der Solex-Pumpe PE 1857



Archiv No. B.93-I Seite 10
 Bild 2

000170

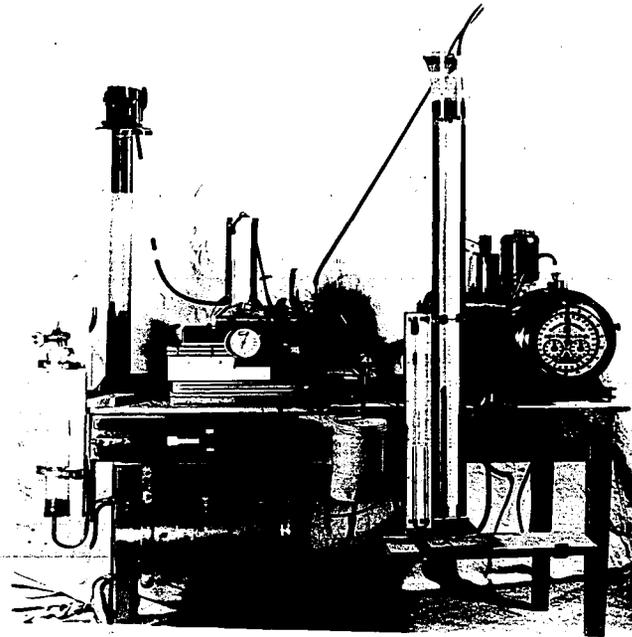
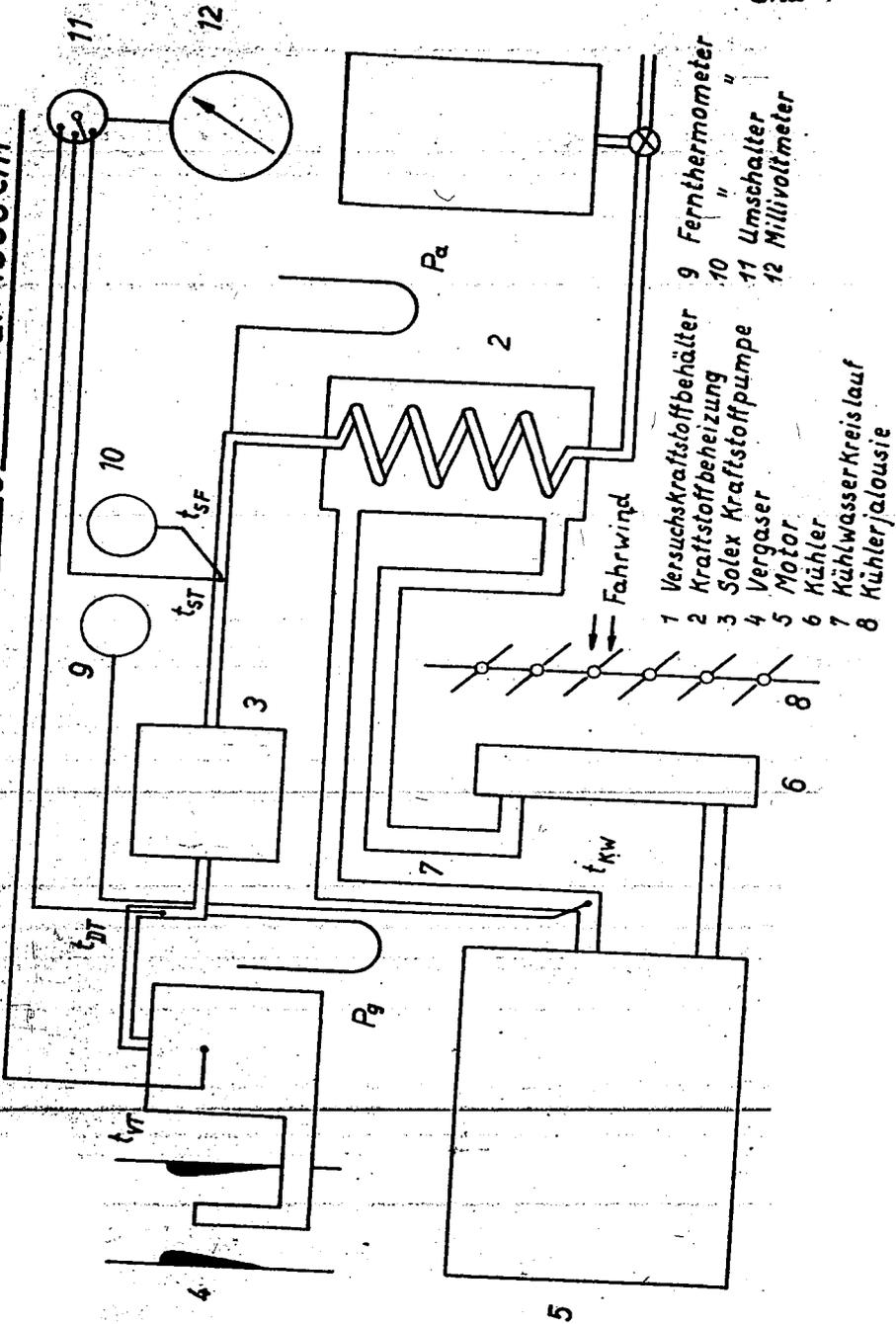


Bild 3

000171

Schema der Wagenmeßanordnung im Fiat 1500cm³



- 1 Versuchskraftstoffbehälter
- 2 Kraftstoffbeheizung
- 3 Solex Kraftstoffpumpe
- 4 Vergaser
- 5 Motor
- 6 Kühler
- 7 Kühlwasserkreislauf
- 8 Kühlerpumpe
- 9 Fernthermometer
- 10 " "
- 11 Umschalter
- 12 Millivoltmeter

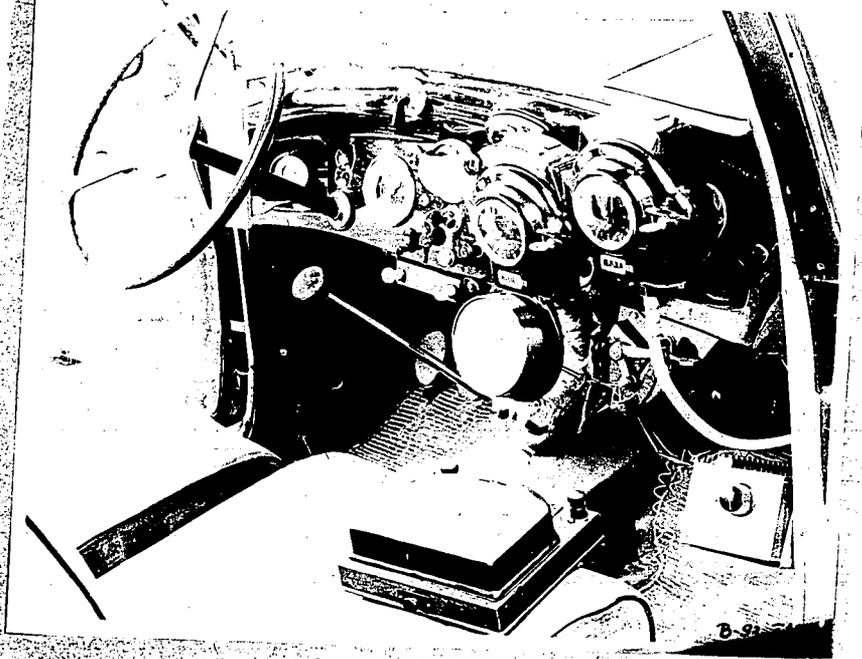


Bild 5

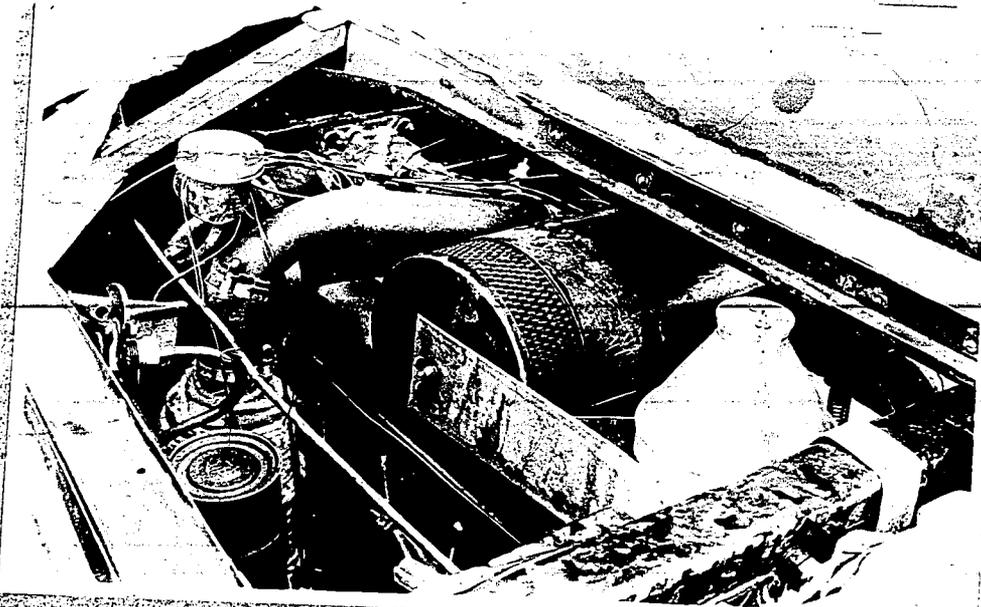
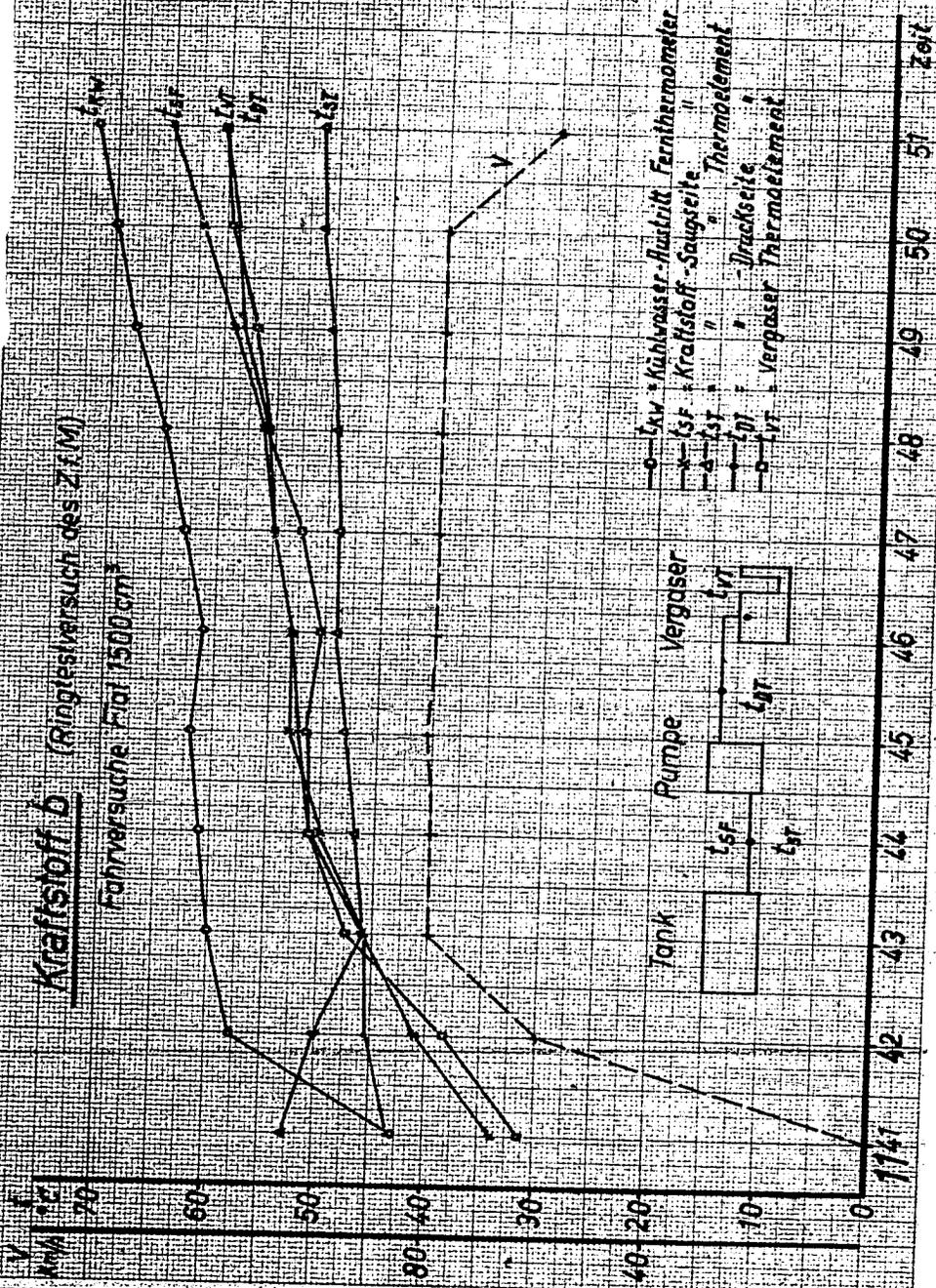


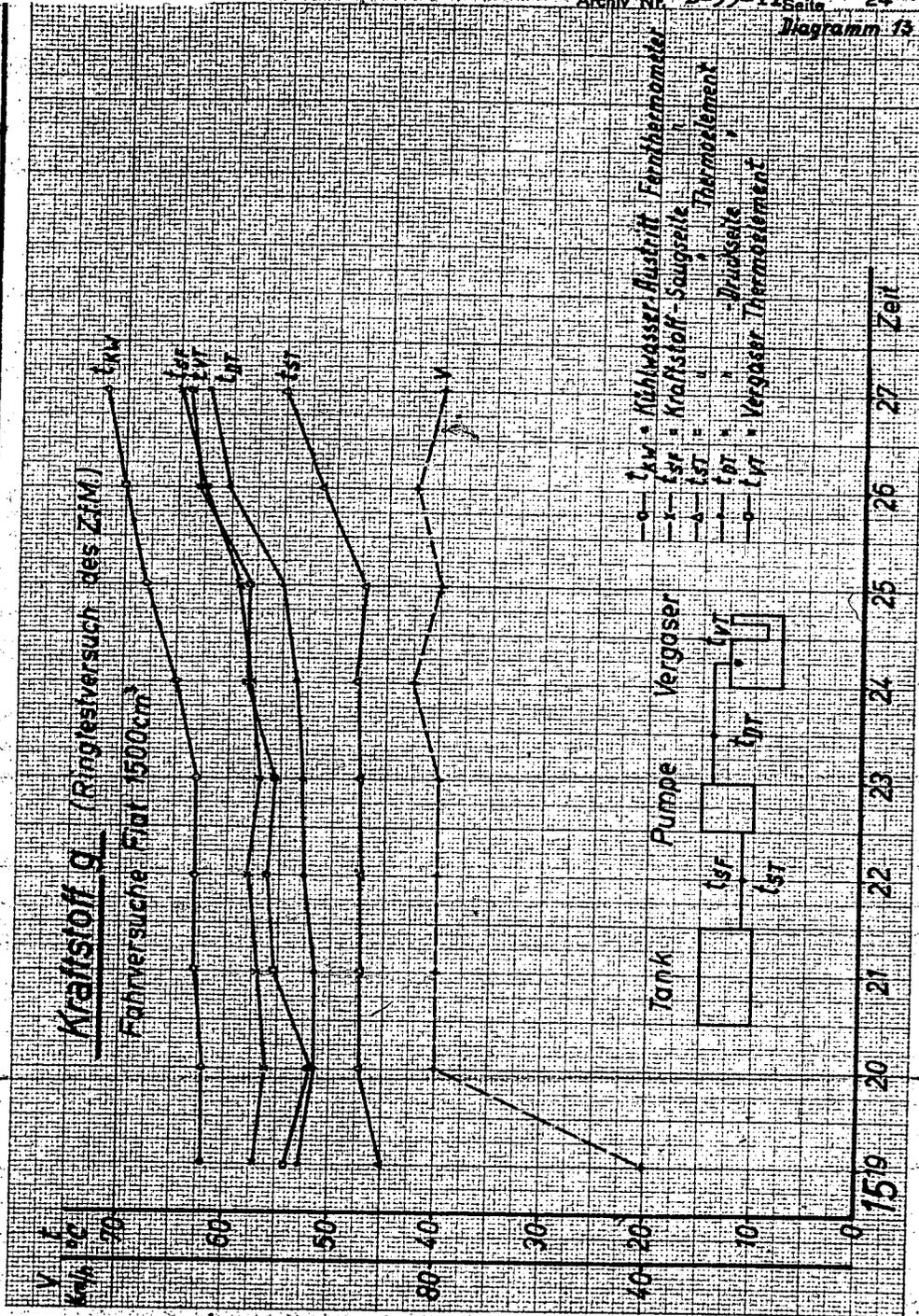
Bild 6

000173



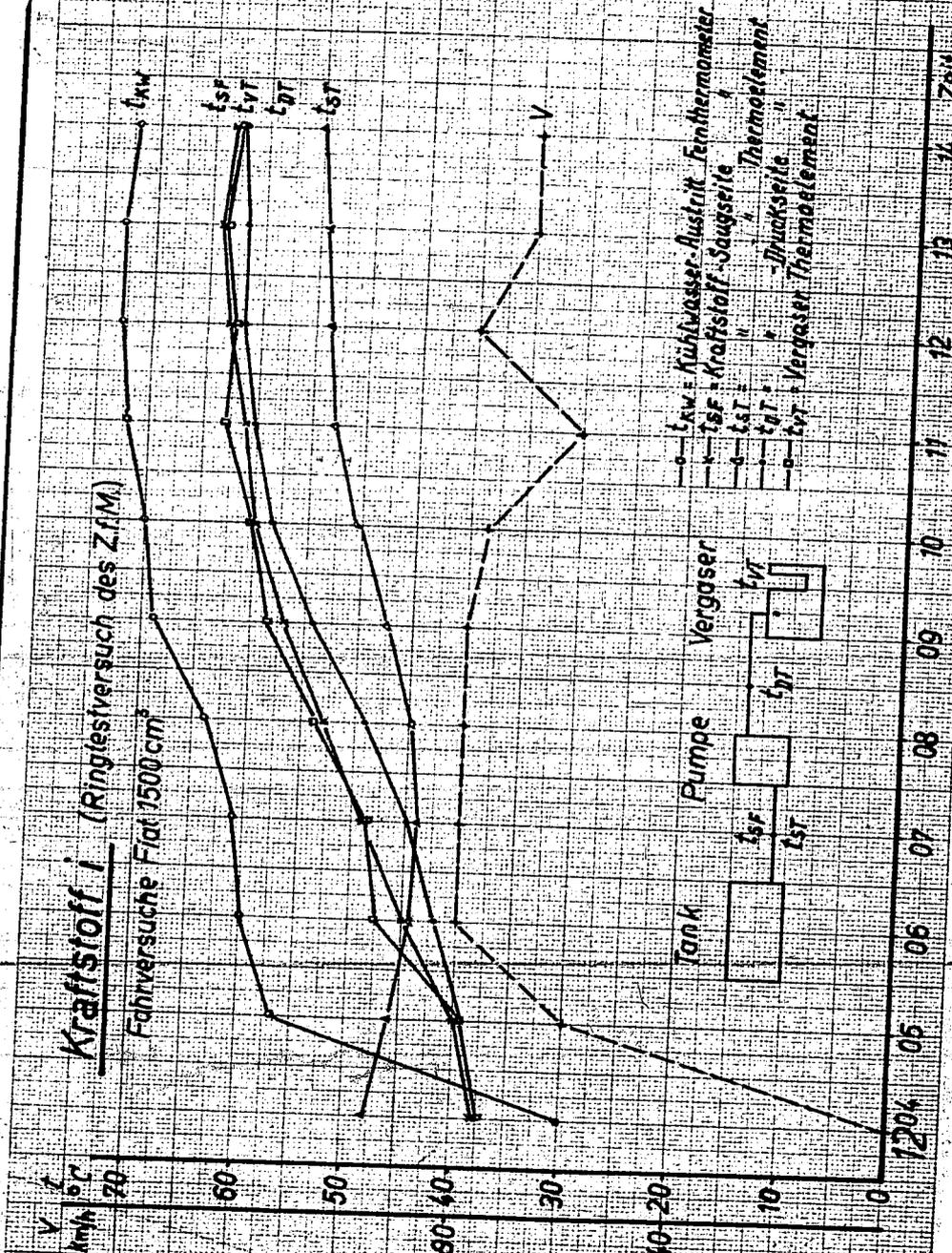
000174

Diagramm 13



000175

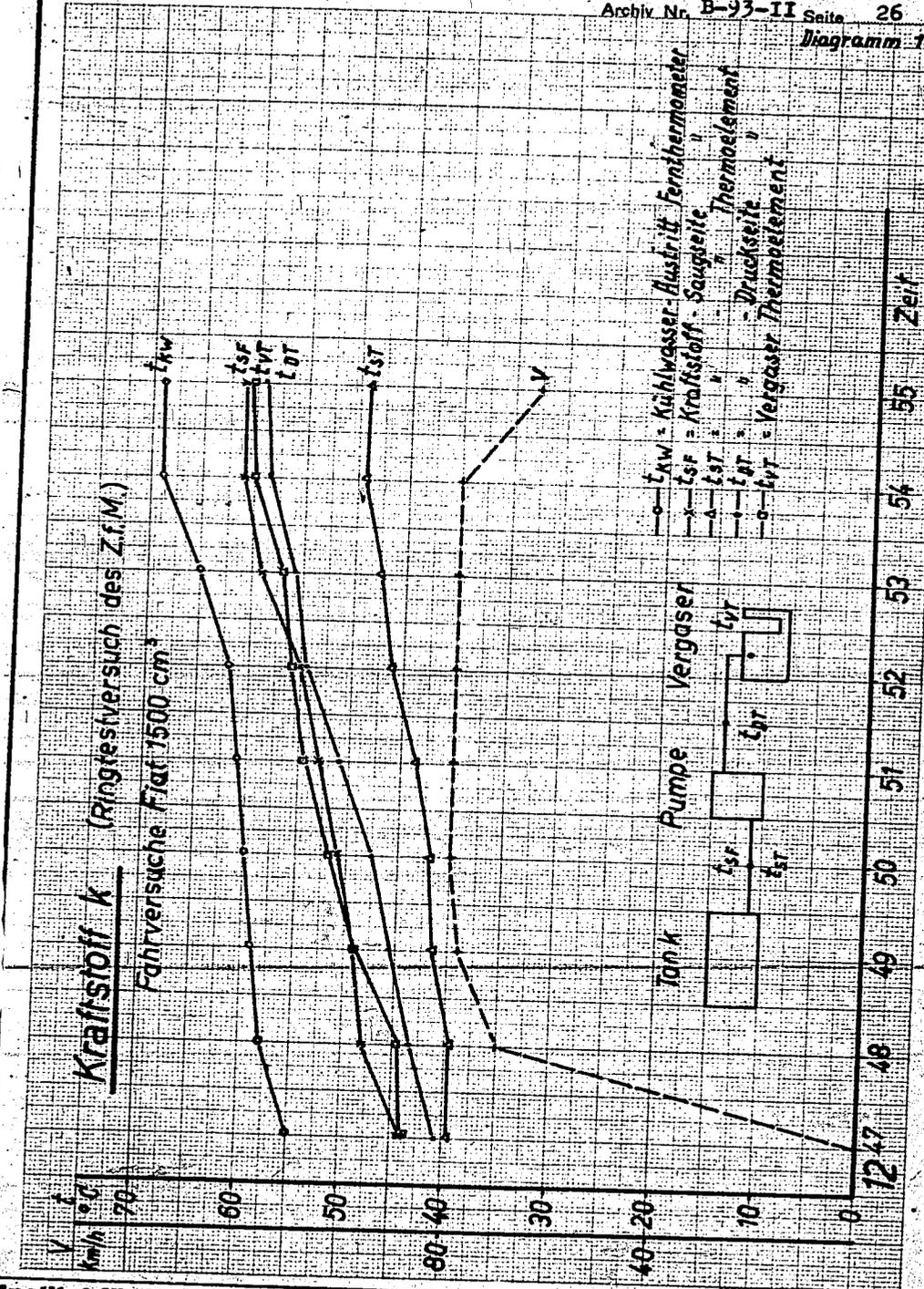
Kraftstoff i (Ringlesversuch des ZfM)
Fahrversuche Fiat 1500cm³



- t_{KW} = Kühlwasser-Austritt-Fernthermometer
- t_{SF} = Kraftstoff-Saugseite Thermometer
- t_S = " " " " Thermometer
- t_{PT} = " " " " Thermometer
- t_{VT} = " " " " Thermometer



000176



Ruhrchemie Aktiengesellschaft Oberhausen-Helfen	Beschreibung und Betriebsanleitung zur Dampfblasenapparat der Ruhrchemie. (DRP 735 795)	2.12.43
Prüfstand Schb/Vi.	000177	

A) Beschreibung der Apparatur.

Abbildung 1 zeigt den Aufbau dieser Apparatur. Der Brennstoff durchströmt auf der Saugseite der Förderpumpe G vom Vorratsbehälter A aus die Heizschlange B und tritt unmittelbar hinter dieser in die Förderpumpe ein. Die Temperatur in der Förderpumpe wird gemessen (F). Die Förderpumpe drückt den Brennstoff -wie am Motor- in das Schwimmergehäuse eines Vergasers M. Aus diesem fließt der Brennstoff durch eine regulierbare Drosselstelle P und einen Durchflussmesser Q über einen Überlauf R in den Auffangbehälter unten ab. Der Behälter C wird normalerweise mit Wasser gefüllt, während man bei einer Abreisstemperatur über 90°C als Heizflüssigkeit Glycol verwenden muss.

B) Eichung des Durchflussmessers.

Die am Durchflussmesser angezeigten Zahlen sind nur Relativwerte, sodass die wahren Durchflussmengen durch Eichung ermittelt werden müssen. Dabei ist das spez. Gew. des Kraftstoffes zu berücksichtigen, da dieses die Anzeige beeinflusst. Dem Gerät ist eine Eichkurve beigelegt, aus der für Dichten von 0,660 bis 0,900 g/cm³ die wahre Durchflussmenge abgelesen werden kann. Es ist zweckmässig, von Zeit zu Zeit einen Punkt der Eichkurve mit Benzin bestimmter Dichte zu wiederholen.

Die Kontrolle des Durchflussmessers wird in folgender Weise vorgenommen:

Man nimmt den Ablauf R aus dem Überlaufbehälter unten heraus und setzt ein Messgefäss (1000er Messzylinder) darunter. Dann wird in A ein Benzin mit bekannter Dichte eingefüllt und ohne Heizung die Pumpe angestellt. Durch entsprechende Regulierung an P werden verschiedene Durchflussmengen eingestellt und abgestoppt, in welcher Zeit eine bestimmte Kraftstoffmenge in den Messzylinder eingeflossen ist.

C) Versuchsdurchführung.

Um das Verhalten eines Benzins bei der Dampfblasenbildung zu kennzeichnen, müssen die Abreisstemperaturen bei verschiedenen Durchflussmengen gemessen und daraus eine Abreisstemperaturkurve festgelegt werden. Im allgemeinen wird die Messung bei 4 Verbrauchspunkten genügen, wenn sie sich etwa gleichmässig auf den infragekommenden Bereich verteilen. Ein Beispiel für eine derartige Abreisstemperaturkurve ist in Abbildung 3 angegeben. Bei unseren Messungen haben sich die Einstellungen 2, 4, 6 und 10 am Durchflussmesser als zweckmässig erwiesen.

Bei den Messungen wird das zu prüfende Benzin in A eingefüllt. Dabei ist zu beachten, dass die Temperatur des eingefüllten Benzins nichts höher als + 15°C ist. Bei einem unbekanntem Benzin wird man, um einen zu hohen Verbrauch bei der Messung zu vermeiden, zweckmässigerweise zuerst die Abreisstemperatur für einen niedrigen Durchflusswert (z.B. Durchflussmessereinstellung 2) ermitteln. Da dieser bei den üblichen Fahrbenzinen im allgemeinen über 70°C liegen dürfte, heizt man das Heizgefäss mit der Heizeinstellung

*) s. Veröffentlichung Dr. Schaub u. Dr. Velde ATZ 44(1941) S.549-556.

3 bis auf etwa 60°C auf. Die Förderpumpe wird erst in Gang gesetzt, wenn man ca. 10°C unterhalb der etwa zu erwartenden Abreiss-temperatur angelangt ist. Dann heizt man unter Rückschaltung auf Stellung 2 weiter. Während des Versuches soll die Heizgeschwindigkeit nicht zu hoch sein, um das Abreissen besser verfolgen zu können, obwohl sie an sich auf die gemessenen Abreiss-temperaturen keinen nennenswerten Einfluss hat. Sie betrug bei unseren bisherigen Messungen z.B. $1,2^{\circ}\text{C}$ in der Minute.

Der gewünschte Stand im Durchflussmesser Q wird nach Einschalten der Pumpe durch Regulieren am Hahn P eingestellt. Dabei ergibt sich in L ein bestimmter Flüssigkeitsstand. Die am Durchflussmesser Q ursprünglich eingestellte Anzeige (beispielsweise 2) fällt anfangs etwas ab und wird einmal nachreguliert. Sie bleibt dann im allgemeinen unverändert und fällt erst in der Nähe des Abreisspunktes ab. Man beobachtet nun bei steigender Temperatur, den Stand von L und schreibt diesen, sowie die Temperatur, bei welcher der erste Abfall von diesem Stand eintritt, auf. Von da ab fällt der Stand im Schwimmergehäuse zuerst langsam und dann immer schneller ab und man notiert die Temperaturen, bei denen der Flüssigkeitsspiegel verschiedene Marken, z.B. 30, 20, 10, 0 durchschreitet. Als Abreiss-temperatur gilt der Wert, bei welchem die Flüssigkeit im Standglas L nicht mehr sichtbar ist (Stand 0). In dieser Zeitpunkts fällt auch die Einstellung an Q ab. In Abbildung 2 sind für ein Beispiel der Stand im Schwimmergehäuse und die Durchflussmenge aufgezeichnet. Man sieht, dass das Fallen in beiden Fällen ziemlich schnell erfolgte, sodass der Abreiss-temperaturpunkt exakt bestimmt werden kann. Die ersten Anzeichen für ein Abfallen beobachtet man bei niedrigen Verbrauchswerten etwa $4-5^{\circ}\text{C}$ unterhalb der Abreiss-temperatur und bei hohen etwa $2-3^{\circ}\text{C}$ unterhalb derselben. Die Abreiss-temperatur wird auf die ursprünglich eingestellte und einmal am Anfang nachregulierte Durchflussmenge bezogen.

Hat man so einen Punkt der Abreiss-temperaturkurve ermittelt, dann kann man, da die Neigung der Kurven im grossen und ganzen nicht zu sehr variiert, nach einiger Übung ungefähr abschätzen, wo für die anderen Verbrauchswerte die Abreiss-temperaturen in etwa zu erwarten sind. Man heizt, bzw. kühlt dann bis auf einige Grade unterhalb des zu erwartenden Wertes bei stehender Pumpe und geht dann wieder in der beschriebenen Weise vor.

Wenn die Lage der Abreiss-temperaturkurve in etwa bekannt ist, dann kann man die Messungen auch bei der grössten Verbrauchseinstellung beginnen und braucht dann für die weiteren Messungen bei kleinen Verbräuchen unter Umständen nicht mehr abzukühlen, sodass die gesamte Messung verhältnismässig schnell vor sich geht. In der Anlage 1 ist als Beispiel ein Versuchsprotokoll wiedergegeben, wie es sich bei unseren Messungen bisher bewährt hat und das als Muster empfohlen wird.

Nach Beendigung der einzelnen Abreiss-temperaturmessungen soll der Regulierhahn am Durchflussmesser gleich geschlossen werden, damit im Schwimmergehäuse ein gewisser Flüssigkeitsstand erhalten bleibt und in die Abflussleitung zum Regulierventil keine Luft gelangt. Sollte dies trotzdem vorkommen, so sind

Ruhrchemie Aktiengesellschaft Oberhausen-Holten	Beschreibung und Betriebsan- leitung zur Dampfblasenappa- ratur der Ruhrchemie. (DRP 735 795)	Seite 3
Prüfstand Schb/Vi.	000179	

etwaige Luftblasen aus der Leitung zu entfernen. Dabei wird von den beiden Öffnungen auf dem Deckel des Schwimmergehäuses die eine mit der Hand zugehalten und durch die andere mit Hilfe eines Druckballes Druck auf die Leitung gegeben und die Luft herausgeblasen.

Beim ersten Anfahren wird die Luft, die in der angegebenen Leitung ist, in der gleichen Weise entfernt. Man setzt hierzu die Pumpe in Gang, bis im Schwimmergehäuse ein gewisser Stand erreicht ist, stellt wieder ab und drückt mit dem Druckball solange Benzin durch die Leitung, bis die Luftblasen durch den Durchflussmesser und das Überlaufgefäß herausgeperlt sind.

D) Fehlermöglichkeiten.

Es soll noch auf folgende Fehlerquellen hingewiesen werden:

1. Die Apparatur ist nicht dicht.
Sie ist daraufhin besonders sorgfältig und laufend zu prüfen, da schon geringfügige Undichtigkeiten auf der Saugseite die Abreistemperatur stark beeinflussen. Undichtigkeiten treten seltener im Leitungssystem, sondern eher an der Pumpe selbst auf. Hier können sie dadurch ermittelt werden, dass man auf den Pumpendeckel etwas Flüssigkeit (Benzin oder Seifenwasser) giesst und durch Lufteinblasen einen geringen Überdruck in der Pumpe erzeugt. Etwaige Undichtigkeiten zeigen sich durch kleine Bläschen besonders an der Thermometerverschraubung oder an der Befestigungsschraube des Deckels. Undichtigkeiten zeigen sich ferner an der Förderleistung der Pumpe, wie weiter unten ausgeführt wird.
2. Die Leitungen sind durch Fremdkörper verunreinigt oder verstopft.
Fremdkörper sind zu entfernen und Verunreinigungen zu beseitigen. Auf die Entfernung von etwaigen Luftblasen in der Leitung zwischen Schwimmergehäuse und Durchflussmesser würde in Abschnitt C eingegangen.
3. Die Membran arbeitet nicht einwandfrei, bzw. ist undicht. In diesem Fall ist sie durch eine neue zu ersetzen. Dies tritt verhältnismässig selten ein. Ersatzmembranen sind von der Firma W. Feddeler in E s s e n unter Angabe des Verwendungszweckes zu beziehen. Es ist nicht ratsam, andere Membranen einzubauen, weil diese in ihrer Beschaffenheit sehr verschieden sind und zu Fehlern führen können.
4. Die Durchflussmessung ist fehlerhaft.
Dies kann durch kleine Verunreinigungen verursacht sein. Der Durchflussmesser kann durch Ausspülen und Durchblasen mit Luft gereinigt werden.

E). Überprüfung der Apparatur.

Zur Vermeidung von Fehlmessungen bestehen folgende Kontrollmöglichkeiten:

1. Laufende Nachprüfung der Förderleistung der Pumpe mit Benzin und Luft. Die oben angegebenen Fehler wie Undichtigkeiten,

Verstopfungen oder fehlerhafte Membran zeigen sich durch Ver-
ringerung der Förderleistung an. Diese kann auch durch zu ge-
ringen Membranhub verursacht sein, wie umgekehrt zu hohe För-
derleistung auf einen zu grossen Hub hinweisen.

Bei der Ablieferung des Gerätes ist die Luftfördermenge auf
 420 ± 5 l/h und die von Benzin auf 90 ± 10 l/h durch entsprechen-
de Anordnung von Pumpe und Antriebsexzenter, wobei sich ein
bestimmter Membranhub (etwa 6,4 mm) ergibt, festgelegt. Bei ab-
weichenden Kontrollwerten soll dieser möglichst nicht verändert
werden, da die Ursache für veränderte Förderleistung nur in den
seltesten Fällen hier zu suchen ist. Die Einhaltung der oben
angegebenen Luftfördermenge ist von besonderer Bedeutung für
eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Undichtigkeiten
auf der Saugseite der Apparatur zeigen sich im allgemeinen
durch einen verhältnismässig starken Abfall der Benzinförder-
menge an, während die Luftfördermenge hierauf weniger empfind-
lich ist.

Zur Messung der Luftleistung löst man das Verbindungsrohr
von A nach B ab und setzt ebenfalls eine Schlauchtülle auf,
die man durch einen Gummischlauch mit einer normalen Flüssig-
keitsgasuhr von 3-5 ltr Volumen verbindet und stoppt dann an
der Gasuhr den Durchgang ab.

Die Benzinfördermenge wird gemessen, in dem man das Rohr K
von der Pumpe löst und dafür die mitgelieferte Schlauchtülle
aufsetzt, an der man einen Bunaschlauch anbringt. Man stoppt
nun wieder ohne Aufheizung die durchfliessende Benzinmenge mit
einem Messzylinder ab.

2. Aufstellung der Abreisstemperaturkurve für ein bestimmtes
Eichbenzin.
Ein solches ist von der RCH (Ruhrchemie A.G. Oberhausen-Holten)
zu beziehen. Es muss möglichst kühl belagert werden. Ergeben
sich zu hohe Werte, dann ist dies im allgemeinen auf eine
Änderung des Benzins zurückzuführen. Es kann zwar auch ein zu
grosser Förderhub die Ursache sein. In diesem Falle wird auch
die Luftfördermenge höher als normal sein. Sind die Abreis-
temperaturen zu niedrig, dann ist mit einem der oben angegebe-
nen Fehler zu rechnen.

Sonstiges.

Es ist mehrfach beobachtet worden, dass am unteren Ende des
Durchflussmessers Undichtigkeiten auftreten. Diese sind nicht
durch die Wahl des Dichtungsmaterials bedingt, sondern im all-
gemeinen durch schlechtes Aufziehen der Überwurfmutter. Die
mitgelieferten Klingeritdichtungen haben sich an sich als
benzindicht erwiesen.

Die Einstellung der Durchflussmenge durch den Schieberhahn ist
bei anfänglichem Gebrauch etwas schwierig und Übungssache. Der
Schieberhahn wurde deshalb an verschiedenen Stellen durch
einen Kükenhahn ersetzt. Ein solcher ist jedoch, bes. bei warmem

Ruhrchemie Aktiengesellschaft
Oberhausen-Holten

Prüfstand Schb/Vi.

Beschreibung und Betriebsan-
leitung zur Dampfblasenappa-
ratur der Ruhrchemie.
(DRP 735 795)

Seite 5

000181

Benzin schwer dicht zu erhalten, sodass wir die Belassung
des Schieberahns in der Apparatur empfehlen, solange nicht
in jeder Beziehung befriedigende Feinregulierhähne beschafft
werden können.

Anlage 1

Messprotokoll für Abreisstemperaturkurve.

Apparat Nr. 1	Durchflusseinstellung: wahre Durchflussmenge l/h:	2	4	6	10	Bemer- kungen
		3,2	6,0	8,7	14,1	
● Benzin: F 213 Förderleistung Benzin: 90 l/h Luft: 425 " Datum: 26.8.43 Prüfer: Pfs.	Standglas	Temperatur an der Pumpe °C				
	45	76	66	63	60	
	40	76,5	66,5	63,5	60,5	
	30	77	67	64	61,5	
	20	77,5	67,8	64,5	62	
	10	78	68,5	65	62,3	
Abreisstemperatur:	0	78,5	69,3	65,5	62,5	

000183

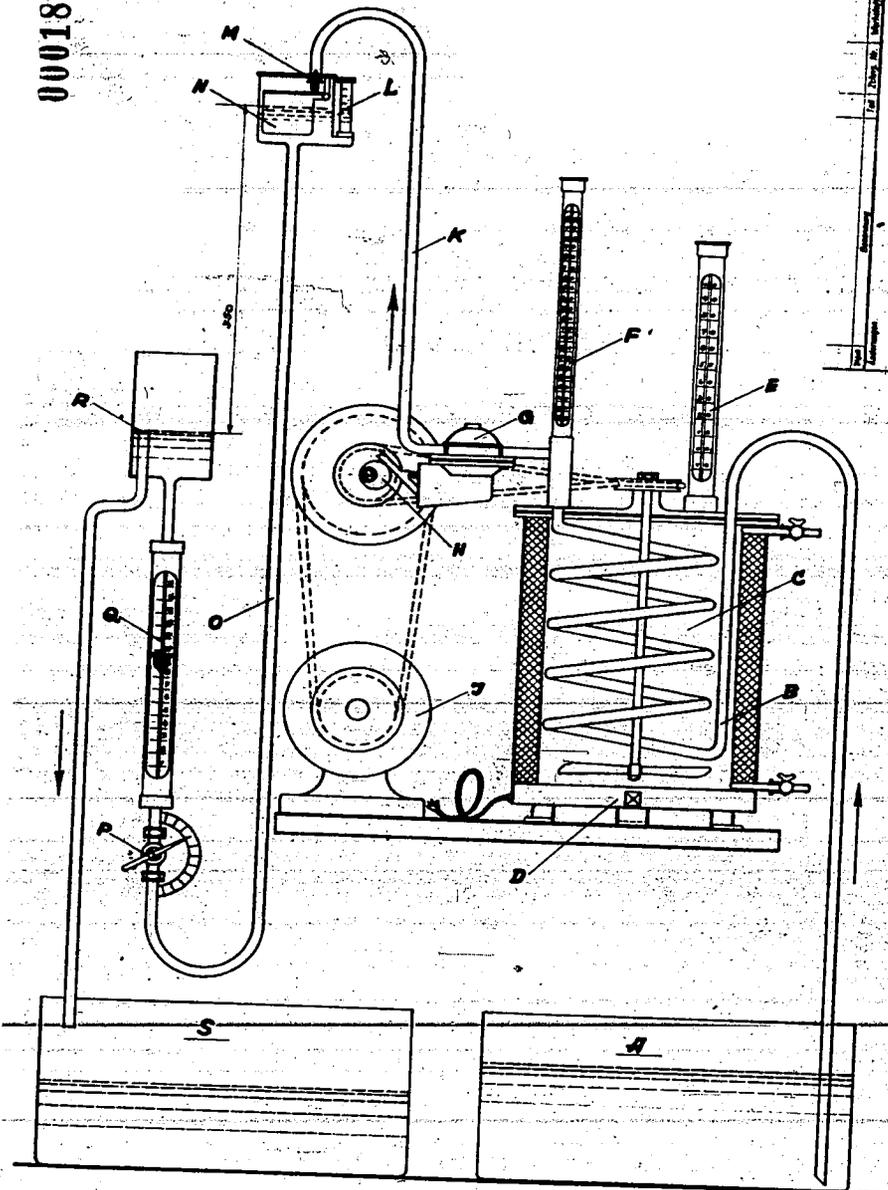


Abb. 1

Verfasser	Erfinder	Titel	Zahl der Zeichnungen	Blatt	Blattzahl	Blattanzahl	Blattgröße	Blattformat	Blattmaterial	Blattfarbe	Blattgröße	Blattformat	Blattmaterial	Blattfarbe
		RUHRENZIN AUFNEHMEAPPARAT												
<p>Gerät zur Bestimmung der Dampfgebildung</p>														
<p>H. ZM 1664</p>														

Abb. 2

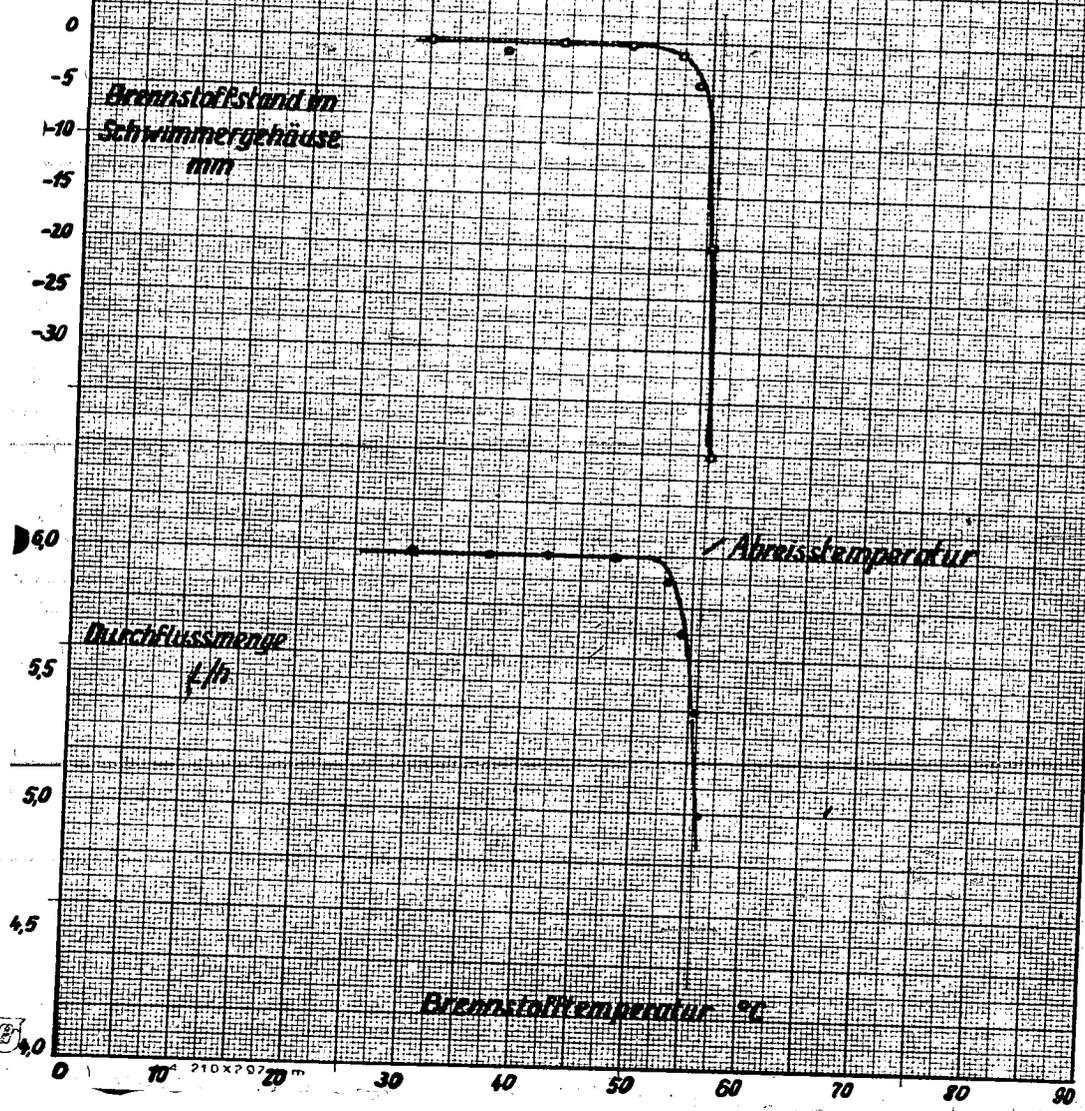
Ruhrbenzin A-6

Abfall des Brennstoffstandes im Schwimmergehäuse und der Durchflussmenge beim Erreichen der Abreisstemperatur

000184

Brennstoff: Versuchsprobe 1077

Versuchs-Nr. 125



KPr-418

Abreissstemperaturen

RCH-Prüfstand

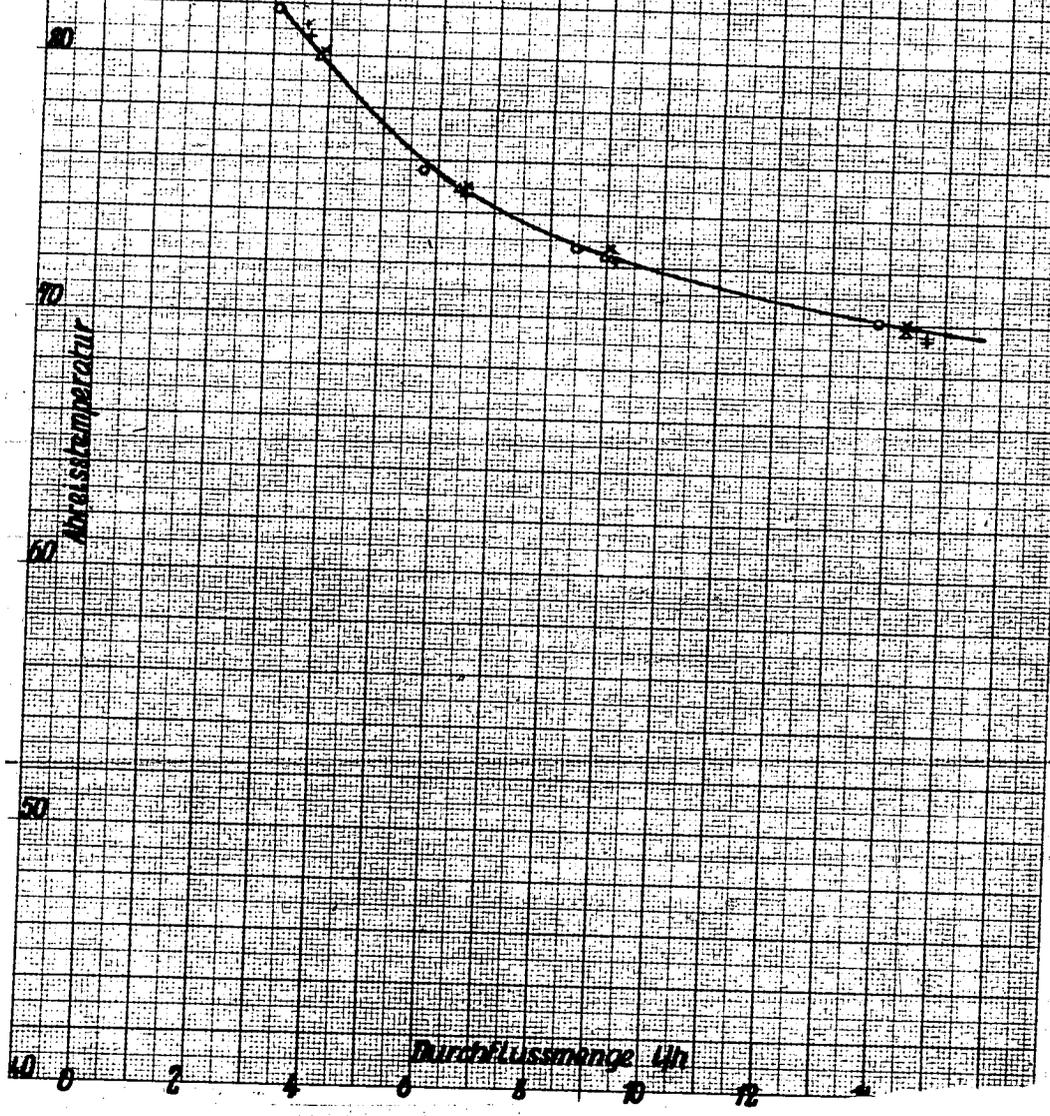
Vergleich mehrerer Apparate

so 11/11.3

Eich-Bi. Fass 500/10
Feder 34 kg

000185

Apparate-Nr.	Fördermenge l/h	
	Luft	Benzin
o 1	420	100
x 9	420	90
+ 10	420	90
Δ 11	420	90



000186

Reichsinstitut für Erdölforschung
der Technischen Hochschule Hannover

Hannover, den 7.7.1944.

B e r i c h t

zum Forschungsauftrag: "Die Ausbildung einer Apparatur zur Bestimmung der Benzin-Abreiß-temperatur in Flugmotoren."

Kennwort: "Benzin-Abreißtemperatur"

Wehrmachtsauftrags-Nr.: S 4891-5542(1954/25)-IV/43

Tagebuch-Nr. S Rf.1168/43g vom 29.11.1943.

1.) A l l g e m e i n e s :

Die Beurteilung von Kraftstoffen hinsichtlich ihres Dampfblasenbildungsvermögens erfolgt bis heute im allgemeinen laboratoriumsmäßig aus der Kenntnis des Reid-Dampfdruckes und der Engler- bzw. A.S.T.M.-Siedeanalyse; es wurden mehrere Formeln - besonders von amerikanischer Seite angegeben, die die Berechnung der Abreißtemperatur aus diesen beiden Größen ermöglichen sollen (siehe M. Marder: Motorkraftstoffe I, Seite 160 ff.); doch erwiesen sich alle derartigen Versuche als unzulänglich, sobald Kraftstoffe von stark unterschiedlicher Zusammensetzung verglichend beurteilt werden sollten. Man begnügt sich heute daher meist wieder damit, als Sicherheitsbedingung einen bestimmten Maximaldampfdruck des Kraftstoffes in der Reid - Bombe bei $37,8^{\circ}\text{C}$ ($=100^{\circ}\text{F}$) vorzuschreiben. Trotzdem treten im motorischen Betrieb immer wieder Schwierigkeiten auf; es wurden daher zahlreiche Versuche unternommen, die Kraftstoffe hinsichtlich ihrer Abreißtemperatur (ihres Dampfblasenbildungsvermögens) besser zu charakterisieren als bisher. In der Verfolgung dieses Zieles bildeten sich im wesentlichen zwei Arbeitsgruppen heraus: Zur ersten gehören jene Arbeiten, die mit verhältnismäßig einfachen, laboratoriumsmäßig zugänglichen Kenngrößen die Charakterisierung des Kraftstoffes vornehmen. Zur zweiten Gruppe sind jene Arbeiten zu zählen, die den Versuch unternehmen, den Kraftstoffördermechanismus des Motors modellmäßig möglichst genau

2
 nachzuahmen und den Kraftstoff unter wechselnden Betriebsbedingungen direkt auf sein Dampfblasenbildungsvermögen zu untersuchen. So interessant die Ergebnisse auch sind, so konnte zwischen den einzelnen Methoden und der Praxis bisher noch immer keine befriedigende Übereinstimmung erzielt werden. Auf Grund der bisherigen Versuche kann nur gesagt werden, daß eine einwandfreie Lösung der gestellten Aufgabe bisher n i c h t möglich war; die Ursache dafür ist einmal in der Tatsache zu suchen, daß für das "Abreißen" des Kraftstoffes nicht nur die Eigenschaften des Kraftstoffes selbst, sondern auch Konstruktion und Betriebszustand des Motors, vornehmlich der Förderanlage, maßgebend sind. Eine weitere Ursache aber liegt darin, daß eine erschöpfende und physikalisch e x a k t e Definition für den Begriff der Abreißtemperatur bisher nicht gegeben wurde.

Zweifellos bleibt als Ziel aller Arbeiten auf diesem Gebiet die Prägung laboratoriumsmäßig einfach zugänglicher Kenngrößen zur Charakterisierung des Kraftstoffes bestehen; jedoch muß durch strenge Überprüfung der Ergebnisse mit Hilfe von Paralleluntersuchungen am Motor oder Motormodell die wirkliche Verwendbarkeit der betreffenden Laboratoriumsmethode - auch bei anormal zusammengesetzten Kraftstoffen - erwiesen werden.

2.) Die theoretischen Grundlagen unserer Untersuchungen:

Zunächst schien es uns zweckmäßig, im Laboratoriumsversuch zu prüfen, unter welchen Bedingungen es zur Ausbildung einer Gas- bzw. Dampfphase über der Flüssigkeit kommt; wir hofften, das Abreißen des Kraftstoffes so physikalisch aufklären zu können und den Begriff der Abreißtemperatur einer einwandfreien Definition zuzuführen. Wir gingen dabei von folgender Annahme aus:

Sobald bei einem Gemisch von Kohlenwasserstoffen (oder anderen Kraftstoffinhalten) bei konstanter Temperatur ein bestimmter Druck unterschritten, oder bei konstantem Druck eine bestimmte Temperatur überschritten wird, werden die leichten Anteile des Gemisches herauszusieden beginnen; damit wird es auch im geschlossenen System zur Ausbildung

einer Dampfphase kommen. Weiterhin wird auch die Menge des gebildeten Dampfes (bezogen auf die Menge des ursprünglich vorhanden gewesenen oder die Menge des noch flüssig gebliebenen Kraftstoffes) eine Funktion von Druck und Temperatur einerseits, sowie von der spezifischen Zusammensetzung des Kraftstoffes andererseits sein.

Treten solche Verdampfungserscheinungen in der Förderanlage des Motors auf, so wird es zu einer Drosselung der Kraftstoffförderung kommen, die sich bis zum Aussetzen des Motors steigern kann. Temperatur und Druck, bei der dieser Punkt erreicht wird, können aber auch bei Verwendung des gleichen Kraftstoffes von Motor zu Motor sehr verschieden sein, weil sich verschiedene Pumpensysteme in der Fähigkeit Dampf neben Flüssigkeit zu fördern, sehr stark unterscheiden. Selbstverständlich spielen überdies noch andere motorische Komponenten eine wesentliche Rolle, so die durch die Anordnung der Förderpumpe bedingte mehr oder weniger starke zusätzliche Erwärmung der Pumpe durch die Wärmestrahlung und Konvektion des Motors, ferner die Druckverhältnisse in der Ansaugleitung u.a.m. Es ist daher von vornherein unmöglich, einem Kraftstoff eine bestimmte Abreißtemperatur zuzuschreiben!

Wir machten daher zunächst folgende, wohl den Tatsachen entsprechende Annahme:

Jede Förderanlage wird imstande sein, gewisse Mengen von Kraftstoffdampf neben dem flüssigen Kraftstoff mitzufördern, jedoch wird dadurch die Menge an flüssig geförderten Kraftstoff gedrosselt. Bei einem bestimmten Verhältnis von Dampf - zu Flüssigkeitsvolumen - wir wollen es im Folgenden als das "kritische Verhältnis" der Förderanlage bezeichnen - wird die Kraftstoffförderung so stark gedrosselt sein, daß es zum Aussetzen des Motors, also zur "Dampfblasenstörung" kommt. Dieses kritische Verhältnis ist eine Funktion der Motordrehzahl, stellt jedoch lediglich ein Charakteristikum für die betreffende Förderanlage, nicht aber für den verwendeten Kraftstoff dar! Es ist vielmehr als sehr wahrscheinlich anzusehen, daß alle Kraftstoffe im gleichen Motor bei demselben kritischen Verhältnis ihre Abreißtemperatur

erreichen werden; da aber dieses kritische Verhältnis (also jenes Verhältnis von Dampf- zu Flüssigkeitsvolumen, bei dem die Kraftstoffpumpe nicht mehr ausreichend Kraftstoff zu fördern vermag) als M o t o r k e n n g r ö ß e anzusehen ist und sich demnach von Motor zu Motor unterscheidet, so ist leicht einzusehen, daß der gleiche Kraftstoff in verschieden konstruierten Motoren oder auch nur unterschiedlich gebauten Förderanlagen bei verschiedenen Temperaturen die Dampfblasenstörung zeigen wird. Ebenso wird ein Kraftstoff im gleichen Motor seine Abreißtemperatur mit der Drehzahl ändern.

Als wesentlicher, wenn auch leichter erfaßbarer Faktor kommt noch die Abhängigkeit der Abreißtemperatur vom Außen-
druck hinzu. Diese Tatsache ist besonders bei der Bewertung von Flugkraftstoffen von a u s s c h l a g g e b e n d e r Bedeutung und muß entsprechend berücksichtigt werden, sinkt doch der Luftdruck z.B. beim Erreichen einer (heute durchaus nicht mehr als Ausnahme anzusehenden) Flughöhe von 12000 m auf knapp ein Fünftel (150 mm QS) des Normaldruckes (760 mm QS).

Aus dieser Überlegung geht hervor, daß es ganz unmöglich und irreführend ist, einen Kraftstoff durch eine bestimmte Abreißtemperatur charakterisieren zu wollen, weil diese immer nur für einen b e s t i m m t e n Motor bei f e s t g e l e g t e r Drehzahl und einem b e s t i m m t e n Aussendruck gültig sein kann.

Will man also einen Kraftstoff, o h n e sich auf e i n Fördersystem und einen bestimmten Aussendruck (Einpunktbewertung) festzulegen, auf sein Dampfblasenbildungsvermögen charakterisieren, so muß man versuchen, das sich im geschlossenen System einstellende Dampf-Flüssigkeitsvolumenverhältnis als Funktion von Druck und Temperatur zu erfassen. Stellen wir diese Funktion dann graphisch im Druck-Temperaturdiagramm dar, indem wir alle Druck-Temperaturwerte bei denen wir das gleiche Verhältnis zwischen Dampf- und Flüssigkeitsvolumen festgestellt haben, miteinander verbinden, so erhalten wir Linien, die wir im Folgenden als "Flashisochoren" bezeichnen wollen; verbinden sie doch alle jene Druck-Temperaturwertpaare miteinander, bei denen sich durch Gleichgewichts- (Flash-)verdampfung über der Flüssig-

phase gleiche Dampfvolumina (bezogen auf das Flüssigkeits-Restvolumen) entwickelt haben. Der Verlauf dieser Flashisochoren stellt unserer Meinung nach ein einwandfreies Kriterium zur Charakterisierung eines Kraftstoffes hinsichtlich seines Dampfblasenbildungsvermögens dar; die Bewertung braucht nicht mehr bei bestimmtem Aussendruck in einer festgelegten Förderanlage, also als Einpunktbewertung zu erfolgen, sondern läßt die Ermittlung der Abreißtemperatur für jeden Motor bei beliebiger Drehzahl und beliebigem Aussendruck zu. Praktisch würde die Feststellung der wirklichen Abreißtemperatur folgendermaßen erfolgen:

Zunächst werden für alle in Frage kommenden Motoren durch einmalige Testversuche die kritischen Verhältnisse (eventuell in Abhängigkeit von der Drehzahl und anderen, vielleicht noch in Frage kommenden Faktoren) festgelegt. Hat man nun das Flashisochorendiagramm des zu beurteilenden Kraftstoffes vorliegen, so sucht man lediglich die dem kritischen Verhältnis des benützten Motors entsprechende Flashisochore auf; diese ordnet jedem beliebigen Druck (Flughöhe) die entsprechende Abreißtemperatur zu; ebenso kann bei gegebener Temperatur ohne Mühe jener Mindestdruck (oder, was gleichbedeutend ist, jene maximale Flughöhe) ermittelt werden, deren Erreichen eben noch ohne Dampfblasenstörung möglich ist.

Es ist nach dieser Überlegung leicht einzusehen, daß die bisher übliche Beurteilung von Kraftstoffen mit Hilfe des Dampfdruckes oder der Siedeanalyse völlig unzulänglich ist. Zwar bringt die Siedeanalyse (etwa der 10% - Punkt) tatsächlich einen Zusammenhang zwischen einer verdampften Menge und einer dazugehörigen Temperatur, doch können auf diese doch viel zu unexakte Weise die wirklichen Verhältnisse des praktischen Betriebes in keiner Weise erfaßt werden. Vielmehr haften allen derartigen Methoden schon überlegungsmäßig drei grundsätzliche Fehler an:

- 1) Die Messung gilt nur für jenen Aussendruck, bei dem die Siedeanalyse durchgeführt wurde, also etwa für 1 atm.
- 2) a) Von Interesse ist für die Beurteilung nur jene Temperatur, bei der sich über einer bestimmten Flüssigkeitsmenge ein bestimmtes Dampf volumen entwickelt hat; der 10% -

Punkt erfaßt aber bei verschiedenen Kraftstoffen - entsprechend der unterschiedlichen Zusammensetzung der Dämpfe (verschiedenes Molekulargewicht!) immer ein anderes Dampfvolumen, weil er ja die Menge der aus dem Dampf rückkondensierten Flüssigkeit festlegt. Überdies gehen

b) die im Kraftstoff gelösten Inertgase, sowie alle nicht mehr kondensierbaren leichten Anteile (Propan, Butan), welche aber gerade für den Dampfblaseneffekt von ausschlaggebender Bedeutung sind, verloren.

3) Die Siedeanalyse stellt eine fast reine *D i f f e r e n t i a l* verdampfung dar, während der Vorgang der Dampfblasenbildung im Motor als ausgeprägt *g e s c h l o s s e n e* Gleichgewichtsverdampfung anzusprechen ist. Bleiben doch Dampf und Flüssigkeit in ständigem, engstem Kontakt. Ein wirklich den Verhältnissen im Motor entsprechendes Bild von der Neigung eines Kraftstoffes zur Dampfblasenbildung kann daher die *A.S.T.M.* - oder die Englersiedeanalyse *n i c h t* geben, vielmehr wäre hierzu die geschlossene (Flash-) Verdampfungskurve heranzuziehen. Doch auch dann bleibt noch die unter 2), Abschnitt a) angeführte Schwierigkeit bestehen.

Der 10% - Punkt mag daher zusammen mit dem Dampfdruckwert nach Reid für Kraftstoffe *e i n h e i t l i c h e r* Herkunft und Verarbeitung und damit ähnlicher Zusammensetzung ein brauchbares Kriterium zur Beurteilung des Dampfblasenbildungsvermögens darstellen; für Kraftstoffe, die diese Voraussetzung nicht erfüllen, eignet sich der 10% - Punkt nicht als Beurteilungsgrundlage.

Die Unzulänglichkeit der Kraftstoffbewertung aus dem Kenntnis des Dampfdruckes in der Reidbombe bei 37,8°C (=100°F) oder selbst über ein Temperaturintervall ist ebenfalls leicht zu erkennen: Denn nach dieser Methode wird der Dampfdruck *p* als Funktion der Temperatur *t* bei *k o n s t a n t e m* Verhältnis von Dampf- zu Flüssigkeitsvolumen (4,5:1) bestimmt; in mathematischer Formulierung also:

$$p = f(t) \text{ für } v_{\text{Dampf}}/v_{\text{Flüssigkeit}} = \text{konst.}$$

Es ist jedoch nach dem oben Gesagten notwendig, gerade *d i e s e s* von Reid konstant gehaltene Verhältnis selbst als *F u n k t i o n* sowohl vom Druck als auch von der Temperatur darzustellen:

$$v_{\text{Dampf}}/v_{\text{Flüssigkeit}} = f(p, t)$$

Nach der von uns gewählten Ausdrucksweise wird nach Reid also lediglich die e i n e 4,5 -Flashisochore festgestellt (streng genommen sogar nur e i n Punkt der Isochoe nämlich der 37,8°C - Punkt), während aus einer den Kraftstoff wirklich klar charakterisierenden Darstellung wenigstens die Flashisochoren von 1 - 25 ersichtlich sein müßten.

3.) Die Ausführung praktischer Versuche:

Um für unsere ersten Versuche ein möglichst einfaches leicht zu handhabendes Gerät zur Verfügung zu haben, konstruierten wir eine Apparatur, die lediglich zur Untersuchung wasserunlöslicher Gemische (also Kraftstoffe auf Basis reiner Kohlenwasserstoffe, ohne Zusatz von Alkohol oder Aceton) gedacht war und nur grob quantitative Messungen ermöglichen sollte. Wir bezeichnen diese Apparatur im Folgenden als Tauchglockenmeßgerät.

31.) Der Aufbau des Tauchglockenmeßgerätes:

(siehe hierzu Abb. 1).

Das Gerät besteht im wesentlichen aus einem etwa 600 mm langen, unten geschlossenem Glasrohr von etwa 30 mm lichter Weite, welches am oberen Ende in einer Länge von etwa 100 mm auf etwa 50 mm ausgeweitet ist. Es dient als Sperrflüssigkeits(Wasser)-behälter (7). Oben wird es von einem gut passenden Gummistopfen (3) verschlossen, welcher mit drei Bohrungen versehen ist. Durch die eine ragt ein Stabthermometer (1) in die Sperrflüssigkeit, durch die zweite ist ein Evakuierungsansatz (2) durchgeführt, der über ein T-Rohr die Verbindung mit einer Wasserstrahlpumpe und einem Quecksilbermanometer hergestellt, während durch die dritte ein streng passender Glasstab durchgeführt ist, an dessen Ende tauchglockenartig (also mit der Öffnung nach unten) ein kalibriertes 50 cm³ fassendes Meßrohr (8) angeschmolzen ist. Der ganze Apparat ist von einem Heizmantel (9) umgeben.

311.) Die Arbeitsweise des Tauchglockengerätes:

Man füllt das Gerät bis zur Ausweitung des Sperrflüssigkeitsbehälters (7) mit Wasser, senkt das Meßrohr (8) ein und setzt den Gummistopfen (3) auf. Das Meßrohr (8) kann jetzt ohne Mühe durch Umdrehen und Wiederaufrichten des ganzen Gerätes mit Wasser gefüllt werden; nun zieht man das Meßrohr (8) wieder soweit aus dem Behälter (7), daß sich sein unterer Rand noch dicht unter dem Sperrflüssigkeitsspiegel befindet und läßt mittels einer Pipette mit unten umgebogener Spitze 1 cm^3 Kraftstoff in das Meßrohr (8) einfließen.

Der Stopfen (3) wird neuerlich so fest eingesetzt, daß er sicher luftdicht schließt. Man bringt den ganzen Meßraum durch Anschließen des Heizmantels (9) an einen Thermostat nach Höppler auf die gewünschte Temperatur und legt schrittweise $V_{\text{a u m}}$ an. Nun schüttelt man jedesmal bis zur konstanten Ablesung des entstandenen Dampfolumens im Meßrohr (8), läßt einige Minuten die Flüssigkeit von den Meßrohrwänden abfließen und stellt das genaue Volumen des Kraftstoffdampfes fest. Gleichzeitig erfolgt am Manometer die Ablesung des im Gerät herrschenden Unterdruckes. Korrigiert man das abgelesene Dampfolumen durch Subtraktion des vom Wasserdampf eingenommenen Raumes (zu berechnen aus dem bekannten Partialdruck des Wassers) einerseits, den abgelegenen Druck durch Addition der sich aus der Spiegeldifferenz d der Sperrflüssigkeit (Wasser) innerhalb der Apparatur errechenbaren Druckdifferenz zwischen Manometermeßraum und Dampfraum andererseits (siehe Abb.1, Manometermeßraum: 4, Dampfraum: 6, Spiegeldifferenz: 5) so können sogar quantitative Messungen mit guter Reproduzierbarkeit ausgeführt werden. Um die etwas komplizierte-Druckkorrektur schnell vornehmen zu können, bedienen wir uns eines einfachen Korrekturdiagrammes, das die Abhängigkeit der Druckkorrektur vom abgelesenen Dampfolumen veranschaulicht (Abb.2);

Die Druckmessungen sind zwar reproduzierbar, scheinen aber doch fehlerhaft zu sein, wie aus den Meßergebnissen an Reinstoffen hervorgeht (siehe unter Absatz 312); will

man also keine Vergleichs-, sondern Absolutwertmessungen mit diesem Gerät vornehmen, so ist es zweckmäßig, zunächst die Druckmeßanlage mit einem bekannten Stoff höchster Reinheit (z.B. Benzol p.a.) zu eichen.

Es erwies sich bei unseren Versuchen als nahezu unmöglich, die wirklichen Flashisochoren mit diesem Gerät aufzunehmen; zwar läßt sich das Dampf volumen hinreichend genau feststellen, allein eine auch nur einigermaßen genaue Feststellung des Volumens der Restflüssigkeit ist wegen des überaus starken Haftens der Flüssigkeit an den Meßrohrwänden sowie der sehr bald auftretenden Emulsionierung mit der Sperrflüssigkeit (Wasser) nicht möglich. Wir sahen uns daher zu folgender Vereinfachung genötigt:

Wir bestimmen nicht das Verhältnis von Dampf- zu Flüssigkeitsrestvolumen, sondern das Dampf volumen, bezogen auf das Anfangsvolumen des Kraftstoffes ($= 1 \text{ cm}^3$). Tragen wir nun diese Werte im p,t - Diagramm ein, und verbinden gleiche Werte durch Linien, so entsprechen diese Linien den Flashisochoren. Wir wollen diese Linien im Folgenden zur Unterscheidung von den eigentlich gesuchten Flashisochoren als "Dampfisochoren" bezeichnen, weil sie alle jenen p,t - Wertpaare verbinden, bei welchen von 1 cm^3 Kraftstoff gleiche Volumina Kraftstoffdampf entwickelt werden. Flash- und Dampfisochoren verlaufen einander ähnlich; dies ist leicht zu verstehen, wenn wir folgendes überlegen: Das Dampf volumen nimmt beim Verdampfen selbst geringster Flüssigkeitsmengen sehr stark zu, das Flüssigkeitsrestvolumen nimmt dagegen nur wenig ab. Das Flüssigkeitsanfangsvolumen bleibt natürlich konstant; solange noch verhältnismäßig wenig Kraftstoff verdampft ist, wird daher Flüssigkeitsanfangs- und Restvolumen nahezu gleich sein. Dementsprechend werden auch die Quotienten aus dem Dampf volumen und dem Anfangs- bzw. dem Restvolumen der Flüssigkeit einander nahezu gleich sein. Das bedeutet aber, daß sich die niedrigen Flash- und Dampfisochoren kaum voneinander unterscheiden werden. Da aber ohnehin nur die noch relativ niederen Isochoren (etwa bis zum Wert 20) interessieren, so begehen wir keinen allzugroßen Fehler, wenn wir die Beurteilung der untersuchten Kraftstoffe mit Hilfe der Dampfisochoren statt der Flashisochoren vornehmen.

Es erwies sich als zweckmäßig, als Sperrflüssigkeit bei Normaldruck und im Vakuum gut ausgekochtes Wasser zu verwenden; eine Störung durch Luft- oder Wasserdampfbläschen läßt sich dann sicher vermeiden. Indessen konnte gerade bei besonders sorgfältigem Arbeiten gelegentlich folgende Störung beobachtet werden: der Kraftstoff neigt infolge der gleichmäßigen Temperierung bei sehr langsamer Drucksenkung ausserordentlich stark zum Siedeverzug. Es kann dann bis zu sehr niederen Drucken überhaupt keine Dampfblasenbildung beobachtet werden. Schließlich beginnt die Dampfentwicklung derart heftig, daß die Messung nicht mehr durchgeführt werden kann; diese Störung läßt sich folgendermaßen leicht vermeiden: man sorgt schon beim Einsetzen des Meßrohres (8) dafür, daß eine äusserst kleine Luftblase in das Innere des Meßrohres steigt. Die Luftblase muß so klein sein, daß sie bei probeweisem Evakuieren bis zum Wasserstrahlvakuum noch kein meßbares Eigenvolumen besitzt. Nun erst pipettiert man den Kraftstoff ein; da sich jetzt über dem Kraftstoff eine - wenn auch noch so kleine - freie Oberfläche befindet, kann sich die Dampfblase störungsfrei ausbilden.

Die Gleichgewichtseinstellung erfolgt bei reinen Stoffen (z.B. Benzol) sehr rasch; starkes Schütteln kann und soll daher möglichst vermieden werden, weil die dadurch geförderte Emulsionierung des Kraftstoffes mit Wasser die Ablesung verzögert. Kraftstoffe mit weitem Siedebereich erfordern dagegen eine stärkere Durchmischung.

Das Dampfvolumen entwickelt sich sehr bald in geringsten Mengen, ändert sich jedoch zunächst mit sinkendem Druck nur wenig. Von einem bestimmten Druck an abwärts aber nimmt das Volumen sprunghaft zu, so daß dann die Weiterevakuierung sehr vorsichtig vorgenommen werden muß. Auch muß in diesem Meßbereich besonders scharf auf strengste Temperaturkonstanz geachtet werden, weil selbst geringste Temperaturschwankungen das Meßergebnis sehr stark beeinflussen.

Nimmt man die gleiche Messung einmal bei fallendem Druck (Entlösung des Dampfes aus der Flüssigkeit) und anschließend bei steigendem Druck (Auflösung des Dampfes in der Flüssigkeit) vor, so erhält man sehr unterschiedliche

Werte, was nicht weiter verwunderlich ist; ist es doch eine bekannte Tatsache, daß die Entlösung eines Gases aus einer Flüssigkeit viel schneller vor sich geht, als die Wiederauflösung. Wollte man also bei steigendem Druck, bis zur Gleichgewichtseinstellung kommen, so müßte man viel länger warten, als bei Messung bei fallendem Druck, nach unseren Versuchen in dieser Richtung mehrere Stunden, ja sogar Tage; natürlich erhält man bei einigermaßen schnellem Messen auch bei sinkendem Druck nicht ganz die dem Gleichgewicht entsprechenden Werte, doch kommt man ihnen sehr viel näher als bei gleichschnellem Messen bei steigendem Druck.

Abb.3 zeigt eine derartige Doppelmessung einmal bei fallendem und anschließend bei steigendem Druck aufgenommen.

Da es sich bei der Dampfblasenbildung ja ohnehin um einen Entlösungsvorgang und nicht um eine Wiederauflösung handelt, so wurden alle weiteren Messungen bei fallendem Druck vorgenommen; der kleine Fehler, der Vielleicht dadurch gemacht wurde, daß auch bei der Entlösung das Gleichgewicht infolge der zu geringen Wartezeit nicht ganz erreicht wird, darf ausser Acht gelassen werden.

312) Zusammenfassung der Meßergebnisse mit dem Tauchglockengerät:

Zunächst untersuchten wir ein nicht raffiniertes Crackbenzin mit sehr weiten Siedegrenzen. Die einzelnen Meßpunkte lassen bei geringer Streuung eine klare Gesetzmäßigkeit erkennen, nach welcher die Dampfentwicklung erfolgt. Das Meßdiagramm dieses Kraftstoffes zeigt die Abbildung 4 (Crackbenzin 1). Im Meßdiagramm wählten wir als Ordinate den absoluten Druck, als Abszisse das von 1 cm^3 (einpipettierten) Kraftstoff entwickelte Dampfvolumen. Die Meßpunkte, welche bei gleicher Temperatur erhalten wurden, sind durch Linien verbunden (20, 30, 40, 50 und 60, evtl. noch 70°C).

Als nächstes untersuchten wir ein Flugbenzin (Abb.5). Es unterscheidet sich ziemlich stark vom Crackbenzin 1. Die Dampfentwicklung erfolgt erst bei niedrigerem Druck, dann aber wesentlich schneller als beim Crackbenzin, was auf

einem besseren Stabilisierungsgrad schließen läßt.

Um einen näheren Einblick in den Mechanismus der Verdampfung zu gewinnen, wandten wir uns nun der Untersuchung von Reinstoffen und deren einfachen Mischungen zu. Wir prüften reinstes Cyclohexan und Benzol (p.a. "Kahlbaum"). Die Abbildungen 6 und 7 bringen die Meßdiagramme dieser beiden Stoffe; ihre nahezu völlige Reinheit ist daran zu erkennen, daß von einem bestimmten Druckwert an die Dampferzeugung (Dampfvolumvergrößerung) ohne weitere Drucksenkung erfolgt.

Cyclohexan und Benzol wählten wir aus dem Grund, weil diese beiden Körper ein azeotropes Gemisch bilden (mit 47,8 % Cyclohexan im Gemisch). Es liegt nahe, gerade jenen Mischungen besondere Aufmerksamkeit zu schenken, weil die Ursache vieler Dampfdruckanomalien auch bei gebräuchlichen (z.B. verspritzten) Kraftstoffen im Vorhandensein azeotroper Punkte zu suchen ist. Wir untersuchten darum eine Mischung von Cyclohexan und Benzol im Mischungsverhältnis 1:1; diese Mischung ist noch nicht azeotropisch geht jedoch schon nach Abgabe von etwa 5 cm^3 Dampf (aus 1 cm^3 Flüssigkeit) in ein azeotropes Gemisch über. Irgendwelche Anomalien mußten also während der Messung zur Ausbildung kommen. Die Abb. 8 zeigt das Meßdiagramm dieser Mischung ("Gemisch 50/50"); die Erhöhung des Dampfdruckes gegenüber dem der reinen Mischungskomponenten ist gut zu erkennen, sonst aber zeigt das Diagramm keine auffälligen Einzelheiten. Diese Form der Darstellung ist jedoch zum Erkennen geringer Abweichungen vom normalen Verhalten wenig geeignet, weil die mathematisch kaum erfaßbare Kurvenform kleinere Unterschiede zwischen zwei Diagrammen nur sehr unklar hervortreten läßt. Wir wählten also im Folgenden die Darstellung der Meßergebnisse im Dampfisochoren-diagramm; eine derartige Darstellung bringt die Abbildung 9. Hier wählten wir als Ordinate den absoluten Druck, als Abszisse die Temperatur. Jede der fünf Linien verbindet solche Druck-Temperatur-Wertpaare miteinander, bei welchen sich aus 1 cm^3 einpipettierte Kraftstoff 1/4, 2/2, 5, 10 und 20 cm^3 Dampf entwickelt haben. Die Form der Linien läßt sofort eine logarithmische Gesetzmäßigkeit vermuten; das

Vorliegen einer derartigen Gesetzmäßigkeit ist aber auch auf Grund theoretischer Erwägungen zu erwarten. Die Zusammensetzung des Restkraftstoffes ändert sich längs einer Dampfisochore innerhalb des in Frage stehenden Druck-Temperatur-Meßbereiches nur sehr wenig, weil ja (definitionsgemäß) der Kraftstoff immer gleiche Dampfvolumina abgegeben hat (dasselbe gilt in erhöhtem Maße längs einer Flashisochore). Daher muß die durch jede Dampf- oder Flashisochore gegebene Beziehung zwischen Druck und Temperatur die Dampfdruckgleichung von Clausius und Clapeyron mit unwesentlichen Abweichungen befriedigen; diese lautet:

$$\ln p = m \cdot \frac{1}{T} + n$$

Daher müssen auch die Dampf- oder Flashisochoren als gerade Linien erscheinen, wenn wir sie in ein Diagramm eintragen, in dem wir als Koordinaten eine logarithmische Druckskala und eine Reziprokwertskala der absoluten Temperatur wählen.

Die folgenden Abbildungen 10 bis 14 bringen die Dampfisochorendiagramme der untersuchten Kraftstoffe in dieser Form; auf der rechten Seite des Diagrammes ist eine den Druckwerten entsprechende Höhenskala angeordnet. Da bekanntlich der Luftdruck mit der Höhe selbst nahezu logarithmisch abnimmt, so erscheint die Höhenskala in unserem ($\ln p$ -) Diagramm wieder fast linear angeordnet.

Die zur Aufstellung der Dampfisochorendiagramme verwendeten Werte sind den ursprünglichen Meßdiagrammen entnommen, jedoch zwecks größerer Übersichtlichkeit nicht Punkt für Punkt eingetragen; die einzelnen Werte streuen etwas, lassen jedoch die Gültigkeit der klassischen Dampfdruckformel für die Dampfisochoren einwandfrei erkennen.

Die Dampf- bzw. Flashisochoren stellen also im Grunde genommen Dampfdruckkurven dar, die den Kraftstoff dadurch charakterisieren, daß sie für jede Temperatur die Feststellung der Dampfdruckänderung zulassen, die bei dem betreffenden Kraftstoff je nach der Menge des bereits entwickelten Kraftstoffdampfes auftritt.

Im Folgenden seien die Diagramme einzeln besprochen; es ist zweckmäßig, zum Vergleich jedesmal die Reid-Dampf-

druckwerte und die Siedekurven (siehe die Abbildungen 16 und 17) der besprochenen Kraftstoffe heranzuziehen. Leider konnten wir vom Crackbenzin 1 Reiddampfdruck und Siedeanalyse nicht aufnehmen, da uns nur eine kleine Menge Kraftstoff zur Verfügung stand; das Crackbenzin 1 ist aber im Wesentlichen mit dem Crackbenzin 2 identisch, dessen Reid-Dampfdruck und Siedeanalyse abgebildet sind; es handelt sich um den gleichen Kraftstoff, nur hatte sich - wie sich später an Hand der Refraktion herausstellte - beim Crackbenzin 1 ein Teil der leichten Bestandteile infolge undichten Abschlusses verflüchtigt. Daher kann mit Sicherheit angenommen werden, daß der Reiddampfdruck des Crackbenzins 1 niedriger liegt als der des Crackbenzins 2; dagegen ist bei der Siedekurve (mit Ausnahme des Siedebeginnes) keine merkliche Verschiebung anzunehmen.

Abb.10 (Crackbenzin 1): Weite Siedegrenzen und mangelhafte Stabilisierung bedingen ein ziemlich weites Auseinanderliegen der Isochoren und hohe Druckwerte schon bei ziemlich tiefen Temperaturen.

Abb.11 (Flugbenzin) : Einheitlichere Zusammensetzung (engere Siedegrenzen) und bessere Stabilisierung sind gegenüber dem Crackbenzin 1 klar zu erkennen.

Aus dem Vergleich beider Diagramme ergibt sich die folgende, sehr bemerkenswerte Tatsache:

Verarbeiten wir die beiden Kraftstoffe unter Normaldruck (Bodenfahrzeuge) so wird bei Motoren mit niedrigerem kritischen Verhältnis (etwa 1:1 bis 4:1 vergleiche hierzu Abschnitt 2) die Dampfblasenstörung bei Verwendung des Flugbenzins erst bei merklich höheren Temperaturen auftreten, als bei Verwendung des Crackbenzins 1; dagegen werden unter sonst gleichen Verhältnissen bei Motoren mit hohem-kritischem-Verhältnis die Störungen bei Verwendung von Flugbenzin früher auftreten als bei Verwendung von Crackbenzin 1! Im Unterdruckbetrieb (Höhenflug); werden dagegen alle Motoren das Flugbenzin besser verarbeiten als das Crackbenzin! Dieses praktische Beispiel zeigt eindringlich, wie abwegig es ist, die wirkliche Abreißtemperatur lediglich als Funktion der Kraftstoffeigenschaften anzusehen; Der Zusammenhang zwischen den kraft

stoffseitig und den m o t o r i s c h bedingten Änderungen der Abreißtemperatur darf niemals ausser Acht gelassen werden.

Abb. 12 und 13 (Cyclohexan und Benzol): Die Dampfisochorendiagramme dieser Reinstoffe unterscheiden sich von den beiden vorigen Diagrammen wesentlich. Die verschiedenen Dampfisochoren schneiden sich bei Normaldruck in nahezu einem Temperaturwert, dem Siedepunkt. Wir sehen, daß dieser Wert n i c h t mit dem wirklichen Siedepunkt übereinstimmt; da jedoch die Temperaturmessung als zuverlässig angesehen werden darf, so kann der Fehler nur in der Druckmessung gelegen sein; wahrscheinlich ist die Fehlmessung auf die Temperaturdifferenz zwischen dem Manometermeßraum und dem Dampfraum des Tauchglockengerätes (siehe Abb. 1, Manometermeßraum, Dampfraum) zurückzuführen. Für exakte Messungen müßte daher - wie bereits erwähnt - die Druckmeßanlage erst mit Hilfe eines Reinstoffes (hier z.B. gleich an Hand des Benzoldiagrammes) geeicht werden.

In diesen beiden Diagrammen tritt eine Erscheinung besonders deutlich hervor, welche schon im Dampfisochorendiagramm des Flugbenzins - jedoch weniger ausgeprägt - zu erkennen war. Während sich die Dampfisochoren bei Normaldruck fast schneiden, streben sie mit sinkendem Druck auseinander; eine Tatsache, die thermodynamisch begründet und aus der Destillationstechnik (Unterdruckfraktionierung!) zur Genüge bekannt ist.

Auch die einheitliche Zusammensetzung der beiden Reinstoffe ist nicht absolut, jedoch ist die Menge der etwas zu tief siedenden Anteile besonders beim Benzol p.a. ganz ausserordentlich gering.

Abb. 14 (Gemisch 50/50) : Das Dampfisochorendiagramm zeigt im Gegensatz zum ursprünglichen Meßdiagramm die Ausbildung eines azeotropen Punktes während der Messung: Die Dampfisochoren 1 $\frac{1}{4}$, 2 $\frac{1}{2}$ und 5 decken sich nicht und kommen auch bei Normaldruck nicht zum Schnitt; dagegen liegen die Dampfisochoren 10 und 20 so dicht nebeneinander, daß sie fast als einander gleich angesprochen werden können. Das heißt aber, daß das Gemisch bis zur Entwicklung von 5 bis 10 cm³ Dampf aus 1 cm³ Flüssigkeit u n e i n h e i t

l i c h siedet, dann aber azeotropisch wird und sich wie ein Reinstoff verhält.

Auffällig ist bei den letzten drei Diagrammen das Ausbiegen der niederen Dampfisochoren bei sinkendem Druck; Meßfehler scheinen nicht vorzuliegen, doch kann eine Erklärung nicht ohne weiteres gegeben werden; möglicherweise ist die Annahme berechtigt, daß die äußerst geringen Verunreinigungen auch der Reinstoffe (besonders des Benzols p.a.) eine Azeotropie nahe dem 0% - Punkt bedingen; daher ist eine destillative Entfernung dieser Verunreinigungsspuren n i c h t möglich.

Unser Interesse mußte sich nach dieser Auswertung der Orientierungsversuche mit dem Tauchglockenmeßgerät exakten Messungen zuwenden, besonders auch von verspritzten Kraftstoffen. Wir gingen daher an die Konstruktion eines Gerätes, mit dem wir derartige Messungen ausführen zu können hofften.

32) Das Quecksilbergerät:
(Siehe hierzu Abb.18).

Die folgenden, mit dem Tauchglockenmeßgerät gewonnenen Erkenntnisse dienen als Grundlage für den Aufbau des neuen Gerätes.

- 1) Als Sperrflüssigkeit muß Quecksilber verwendet werden, einmal weil es die einzige uns bekannte Sperrflüssigkeit ist die mit keinem in Frage kommenden Kraftstoffbestandteil Mischung oder Reaktion gibt, zum anderen Mal, weil es auf einfachste Weise die Herstellung eines beliebigen Unterdruckes und gleichzeitig seine genaue Messung gestattet.
 - 2) Um auch bei sehr uneinheitlich zusammengesetzten Kraftstoffen innerhalb einer tragbaren Messungsdauer den Gleichgewichtszustand zu erreichen, muß in irgendeiner Weise die Durchmischung des Dampfes mit der Flüssigkeit möglich sein.
- Wir bauten daher unser Gerät folgendermaßen auf:

Ein 25 cm³ fassendes Meßrohr (4) ist an seinem oberen Ende durch eine Kapillare (3) und einen Dreiweghahn (2) mit zwei kleinen Vorratsgefäßen (1a und b) verbunden. Am unteren Ende ist das Meßrohr durch ein normales Glasrohr um etwa 700 mm verlängert (in der Abb. verkürzt gezeichnet), welches nach einer U-förmigen Krümmung in ein entsprechend langes

Niveaurohr (5) übergeht, das parallel zum Meßrohr (4) nach oben geführt ist und in ein drittes Vorratsgefäß (1c) mündet. Niveaurohr und Meßrohr haben gleiche lichte Weite, um Fehlablesungen infolge unterschiedlicher Auswirkung der Kapillardepression zu vermeiden. An der U - Krümmung befindet sich am Glasrohr ein Ansatz, durch den das Meß- und Niveaurohr über einen Vakuumschlauch mit einem beweglichen Niveaugefäß (6) verbunden werden; Meßrohr (4) und Niveaurohr (5) sind von einem Heizmantel für Thermostathéizung (7) umgeben. Um eine schnelle Gleichgewichtseinstellung zu erreichen, ist in das Meßrohr ein Rührkörper aus Eisen (9) eingebaut, der mit Hilfe einer Solenoidspule (8) betätigt werden kann.

321) Die Arbeitsweise des Quecksilbergerätes:

Die Arbeitsweise war wie folgt gedacht: Man füllt das Gerät mit Quecksilber und treibt das Sperrmetall durch Heben des beweglichen Niveaugefäßes (6) bei entsprechender Stellung des Dreiweghahnes (2) bis in das eine Vorratsgefäß (1a), welches ganz mit Quecksilber gefüllt wird. Nun stellt man den Dreiweghahn (2) um und bringt auch noch etwas Quecksilber in das andere Vorratsgefäß (1b); dieses Gefäß wird dann mit dem zu untersuchenden Kraftstoff aufgefüllt. Nun saugt man durch Senken des Niveaugefäßes (6) eine bestimmte Menge des Kraftstoffes in das Meßrohr (4), stellt den Dreiweghahn wieder auf das erste Vorratsgefäß (1a) um und saugt aus diesem Quecksilber nach. Dadurch wird auch der restliche noch in der Kapillare (3) befindliche Kraftstoff in das Meßrohr gepreßt und das Meßrohr durch Quecksilber gegen den Dreiweghahn (2) abgedichtet. Das überschüssige Quecksilber reißt an der Übergangsstelle von der engen Kapillare zum weiten Meßrohr ab und tropft durch den Kraftstoff durch so daß das Kraftstoffvolumen durch einen hängenden (Nullpunkt) und einen liegenden Quecksilberspiegel (Ablesung) eindeutig bestimmt ist. Nun wird das Meß- und das Niveaurohr auf die gewünschte Temperatur gebracht; durch Senken des beweglichen Niveaugefäßes (6) kann man auch im Niveaurohr (7) den Quecksilberspiegel senken und damit im Meßrohr jeden gewünschten Unterdruck herstellen und genau bestimmen

da die gesamte, zur Druckbestimmung herangezogene Quecksilbermenge gleichmäßig temperiert ist, so daß alle Korrekturen wegen ungleichmäßiger Temperierung des Quecksilbers wegfallen. Sobald sich etwas Dampf gebildet hat, kann man die Gleichgewichtseinstellung durch Rühren mit Hilfe des Rührkörpers beschleunigen.

Leider erwies sich das Gerät in dieser Form als nicht brauchbar, da sich folgender Übelstand einstellte: Wenn man den Kraftstoff aus der Kapillare mit Quecksilber aus dem ersten Vorratsgefäß (1a) in das Meßrohr preßt, so bleibt ein dünner Kraftstofffilm an den Wänden der Kapillare haften der schlauchartig das in der Kapillare befindliche Quecksilber umgibt. Sobald es bei der Messung durch den auftretenden Unterdruck zur Dampfentwicklung kommt, gibt auch der erwähnte Kraftstofffilm in der Kapillare soviel Dampf ab, daß das in der Kapillare befindliche Quecksilber in das Meßrohr gepreßt wird; damit geht aber sowohl die genaue Volumenbegrenzung wie auch die Quecksilberdichtung des Dreiweghahnes verloren. Eine Behebung dieses Überstandes kann vielleicht durch die Wahl einer noch engeren Kapillare erfolgen; wir schlugen diesen Weg jedoch zunächst nicht ein, weil wir schon an Hand der ersten Versuche sehen mußten, daß die Apparatur - besonders für den Gebrauch im Betriebslaboratorium - viel zu unhandlich ist; diese Unhandlichkeit ist in erster Linie durch die Verwendung des Quecksilbers bedingt, welche jedoch bei derartigen Geräten als unvermeidlich bezeichnet werden muß, wie die Orientierungsversuche mit dem Tauchglockengerät gezeigt haben; wir verzichteten daher zunächst auf eine Verbesserung des Quecksilbergerätes und wandten uns der Frage zu, auf welchem Wege sonst noch - in einfacher Weise - das Dampf- oder möglichst sogar das Flashisochorendiagramm eines Kraftstoffes aufgenommen werden kann.

4.) Andere Wege zur Ermittlung der Flashisochoren:

Wie wir bereits im Abschnitt 312 gesehen haben, handelt es sich bei den Dampf-bezw. Flashisochoren eigentlich um Dampfdruckkurven. Im Gegensatz zu Reinstoffen ist der Dampfdruck von Gemischen (Benzinen u. dergl.) nicht aus-

schließlich eine Temperaturfunktion; auch die Größe des zu erfüllenden Dampfraumes (bezogen auf die Menge des Gemisches) spielt eine unter Umständen nicht unwesentliche Rolle. Daher schreibt auch die Dampfdruckbestimmungsmethode von Reid ein bestimmtes Verhältnis zwischen dem Volumen des Dampfraumes und dem des Flüssigkeitsraumes vor (4,5 : 1).

Während also die Reid-Dampfdruckkurve den Dampfdruck nur als Funktion der Temperatur (bei bestimmtem Dampf-Flüssigkeitsvolumenverhältnis) darstellt, zeigt das Dampf- bzw. Flashisochorendiagramm die Abhängigkeit des Dampfdruckes von der Temperatur und dem Volumen des entwickelten Dampfes; genau so kann natürlich das entwickelte Dampfvolumen als Funktion von Druck und Temperatur aufgefaßt und aus dem Diagramm abgelesen werden, was wir ja auch eigentlich mit der Aufstellung eines derartigen Diagrammes bezweckten. Die angestellte Überlegung weist uns aber einen Weg, der uns die Aufnahme des Dampf- und sogar des Flashisochorendiagrammes in einfacher Weise gestattet; stellt doch schon die Reid-Dampfdruckkurve eine Dampfisochore dar, nämlich die mit dem Verhältniswert 4,5. Wir müssen also streng genommen nur den Kraftstoffbehälter der Reidbombe auswechselbar gestalten und durch mehrere verschiedenen große Behälter ergänzen, deren Volumen sich zum Volumen des Dampfraumes der Bombe beispielsweise wie 1:1, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16 und 1:32 verhält; nehmen wir nun die Dampfdruckkurven eines Kraftstoffes mit jedem dieser Behälter auf, so stellen die erhaltenen Kurven bereits die 1-, 2-, 4-, 8-, 16- und 32 - Dampfisochoren dar. Wahrscheinlich würden schon drei Dampfisochoren - und damit drei Messungen nach Art der Reidmessung mit drei verschiedenen Kraftstoffbehältern praktisch ausreichen, zumal sich ja die Dampfdruckwerte von Dampfisochore zu Dampfisochore nicht allzu stark unterscheiden, so daß eine hinlänglich genaue Interpolation z.B. zwischen den Dampfisochoren mit den Verhältniswerten 1, 5 und 25 möglich sein dürfte. Wir machten daher folgenden Versuch: Da das Gesamtvolumen der Reidbombe etwa 800 cm^3 ($145 + 650 \text{ cm}^3$) beträgt, füllten wir die Bombe von oben mit 400 cm^3 Kraftstoff und maßen dann den Dampfdruck. Die Werte

lagen viel niedriger als bei der normal gefüllten Bombe; eine Wiederholung des Versuches gab andere, jedoch abermals viel zu tiefe Werte; die Ursache für die Verschiedenheit der Messungen ist in Folgendem zu suchen: Beim Einfüllen des Kraftstoffes durch und in den Dampfraum der Bombe entwickelt sich bereits etwas Kraftstoffdampf, der die im Dampfraum befindliche wassergesättigte Luft teilweise verdrängt. Der Druck dieses Kraftstoffdampfes steigt aber mit steigender Temperatur nicht nach dem Gasgesetz, welches die Grundlage der notwendigen Druckkorrektur für die in der Bombe befindliche feuchte Luft (nach Reid oder besser nach Dannefeller) darstellt, sondern wesentlich weniger stark an, weil der Kraftstoffdampf sich im Gleichgewicht mit der Flüssigphase des Kraftstoffes befindet, sich also mit steigendem Druck mehr und mehr wieder im flüssigen Kraftstoff auflöst. Da man aber mit der Luftkorrektur rechnen muß, erhält man vollständig unbrauchbare Werte, die auch garnicht reproduzierbar sind, weil die Menge der vom Kraftstoffdampf verdrängten Luft von Fall zu Fall sehr verschieden sein kann. Wir wiederholten den Versuch nun mit folgender Abänderung: Wir füllten nur den Kraftstoffbehälter der Reidbombe einmal mit 100 cm^3 , anschließend mit 25 und 10 cm^3 Crackbenzin 2, füllten jedesmal den Kraftstoffbehälter mit Wasser auf, so daß jeder eventuell mit Kraftstoffdampf erfüllte Hohlraum vermieden würde und setzten dann erst die Bombe zusammen; anschließend führten wir die Dampfdruckbestimmung wie üblich durch; die erhaltenen Dampfdruckkurven wurden zu einem Dampfisochorendiagramm vereinigt. Die Verhältniszahlen der Dampfisochoren betragen $6,5$, 26 und 65 (Dampfvolumen 650 cm^3 , Kraftstoffmenge 100 , 25 und 10 cm^3). Die Abb. 15 zeigt dieses mit Hilfe der Reidbombe aufgenommene Dampfisochorendiagramm des Crackbenzins 2. So fehlerhaft die Messungen jedenfalls sind (z.B. ist das Auseinanderstreben der Dampfisochoren mit steigendem Druck aus thermodynamischen Gründen sehr unwahrscheinlich), so beweisen sie doch die grundsätzliche Richtigkeit des eingeschlagenen Weges. Wir versuchten die Aufnahme eines Dampfisochorendiagrammes mit Hilfe der Reidbombe in der eben geschilderten Art noch mit einem

Benzin mit engen Siedegrenzen; hier erwies sich die Streuung der Messungen als so groß, daß eine einwandfreie Trennung der einzelnen Dampfrisochoren nicht mehr möglich war. Die Ursache hierfür liegt unserer Meinung nach an den Mängeln, die der Reid-Methode von vornherein anhaften. Die recht unpräzise Druckmessung einerseits, sowie vor allem die Druckkorrektur, die durch die gleichzeitige Anwesenheit von Luft und Wasserdampf neben dem Kraftstoff in der Bombe notwendig ist, bedingen eine Streuung, die die Reid-Methode für unsere Zwecke unbrauchbar macht. Eine Verfeinerung der Methode mußte daher als nächstes Ziel unserer Arbeit erscheinen.

Widmaier beschreibt ein Gerät, welches nach seinen Angaben eine auch für unsere Zwecke völlig hinreichende Meßgenauigkeit besitzen soll. Es besteht aus einer ungeteilten Metalldruckmeßbombe, welche vor der Messung evakuiert wird. Anschließend wird eine bestimmte Kraftstoffmenge in die Bombe eingesaugt und der Dampfdruck direkt gemessen, also ohne jede Korrektur, weil sich ja in der Bombe nur der Kraftstoff und keine Luft mehr befindet. Widmaier zielt jedoch auf eine reine Druckmessung hin und mißt daher - ähnlich wie Reid - immer bei gleichem Flüssigkeits-Dampf-Volumenverhältnis. Da wir dagegen nicht nur eine Messung des Druckes durchführen, sondern gleichzeitig das Dampf-Flüssigkeits-Volumenverhältnis feststellen wollen, so bauten wir in Anlehnung an die Apparatur von Widmaier folgendes Gerät:

41) Die Glasdruckmeßbombe (siehe hierzu Abb.19):

Das Gerät besteht aus einem zylindrischen, kalibrierten Glaskörper (5), mit etwa 0,5 Liter Inhalt, der an seinem unteren Ende stark verengt ist, um hier eine genauere Kalibrierung zuzulassen. Die Bombe wird mit dem Manometer(1) durch einen Ansatz verbunden, der als Überlaufsicherung (4) ausgebildet ist, so daß die Bombe während der Messung bei einiger Vorsicht geschüttelt werden kann, ohne daß der Kraftstoff direkt in das Manometer einfließt. Zwei weitere Ansätze (2 u.3) ermöglichen die Evakuierung der Bombe und das Einfließenlassen einer bestimmten Kraftstoffmenge aus einem (kalibrierten) Meßtrichter, der mittels eines kurzen Vakuump-

schlauches schon vor der Evakuierung mit der Bombe verbunden wird. Durch Abklemmen der Schlauchstücke an den beiden Ansätzen (2 und 3) wird die Bombe abgeschlossen. Sie kann nun temperiert werden; da das Gerät während der Messung geschüttelt werden kann, wird der Gleichgewichtszustand in kürzester Zeit erreicht. Mit Hilfe der Kalibrierung ist die Ermittlung des Kraftstoff-Restvolumens leicht möglich. Dadurch ist die Aufnahme eines *F l a s h - i s o c h o r e n* diagrammes ohne besondere Schwierigkeiten durchführbar.

Sobald umfangreichere Messungen mit Hilfe dieses Gerätes vorliegen, werden wir über die Ergebnisse in Form eines weiteren Berichtes Mitteilung machen.

5.) Z u s a m m e n f a s s u n g :

Auf Grund der bereits vorliegenden Arbeiten ergibt sich die Notwendigkeit, die wirkliche Abreißtemperatur nicht nur aus den Eigenschaften des Kraftstoffes abzuleiten, sondern auch die motorischen Gegebenheiten (Konstruktion der Förderanlage und Betriebszustand) zu berücksichtigen. Wir halten es daher für zweckmäßig, die verschiedenen Typen von Motoren bzw. Förderanlagen durch ein "kritisches Verhältnis" zu charakterisieren; es stellt jenes Volumenverhältnis zwischen Kraftstoffdampf und Flüssigkraftstoff dar, bei dem die Förderpumpe den Motor eben noch ausreichend mit Kraftstoff versorgt. Dieses kritische Verhältnis ist eine Funktion der Drehzahl und der Motorkonstruktion, erfaßt also die rein motorischen Ursachen der Dampfblasenstörung. Die Ermittlung des kritischen Verhältnisses müßte am besten praktisch durch einmaligen Testversuch mit einem Eichkraftstoff erfolgen, doch ist seine annähernde Ermittlung aus der Förderleistung der Pumpe und dem Kraftstoffverbrauch des Motors rechnerisch möglich.

Die kraftstoffseitig gelegenen Ursachen für die Dampfblasenstörung liegen in der Fähigkeit des Kraftstoffes, bei zunehmender Temperatur bzw. sinkendem Druck auch in geschlossenen System steigende Mengen von Dampf zu entwickeln; bei der Temperatur und dem Druck, bei welchen

das sich einstellende Verhältnis von Dampf- zu Flüssigkeitsvolumen das kritische Verhältnis eines Motors erreicht beginnt die Dampfblasenstörung. Damit scheint der Begriff der Benzinabreißtemperatur einwandfrei definiert.

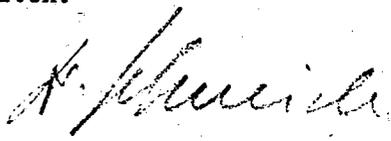
Zur Charakterisierung des Kraftstoffes muß daher seine Fähigkeit, bestimmte Dampfmengen zu entwickeln, herangezogen werden; wir bringen daher in Vorschlag, diese Fähigkeit in einem Diagramm von "Dampf- bzw. Flashisochoren" darzustellen; aus diesen Diagrammen geht hervor, bei welchen Druck-Temperatur-Wertpaaren der Kraftstoff bestimmte Dampfmengen entwickelt. Beziehen wir das Dampf-volumen auf die Kraftstoff-Anfangsmenge, so erhalten wir das Dampfisochorendiagramm; beziehen wir sie auf die Kraftstoffrestmenge (nach erfolgter Flashverdampfung) so erhalten wir das Flashisochorendiagramm.

Es wird ein einfaches Gerät zur Aufnahme der Dampfisochoren beschrieben. Die mit diesem Gerät aufgenommenen Diagramme von 5 Kraftstoffen (darunter zwei Reinstoffe und ein azeotropes Gemisch) werden diskutiert.

Es wird gezeigt, daß die Dampf- bzw. Flashisochoren im Prinzip Dampfdruckkurven darstellen.

Nach Beschreibung einer vorerst noch nicht einsatzreifen Apparatur mit Quecksilber als Sperrflüssigkeit wird daher ein Gerät beschrieben, das die Ermittlung eines Dampf- und auch eines Flashisochorendiagrammes durch einfache Druckmessung ermöglicht. Da umfangreichere Messungen mit diesem Gerät noch nicht vorliegen, bleiben die Ergebnisse einem weiteren Bericht vorbehalten.

Sachbearbeiter:



Dipl. Chem. Grünwald.

Dr. K. W. Schneider,
komm. Leiter.

23 Textblätter, 11 Bildblätter

000209

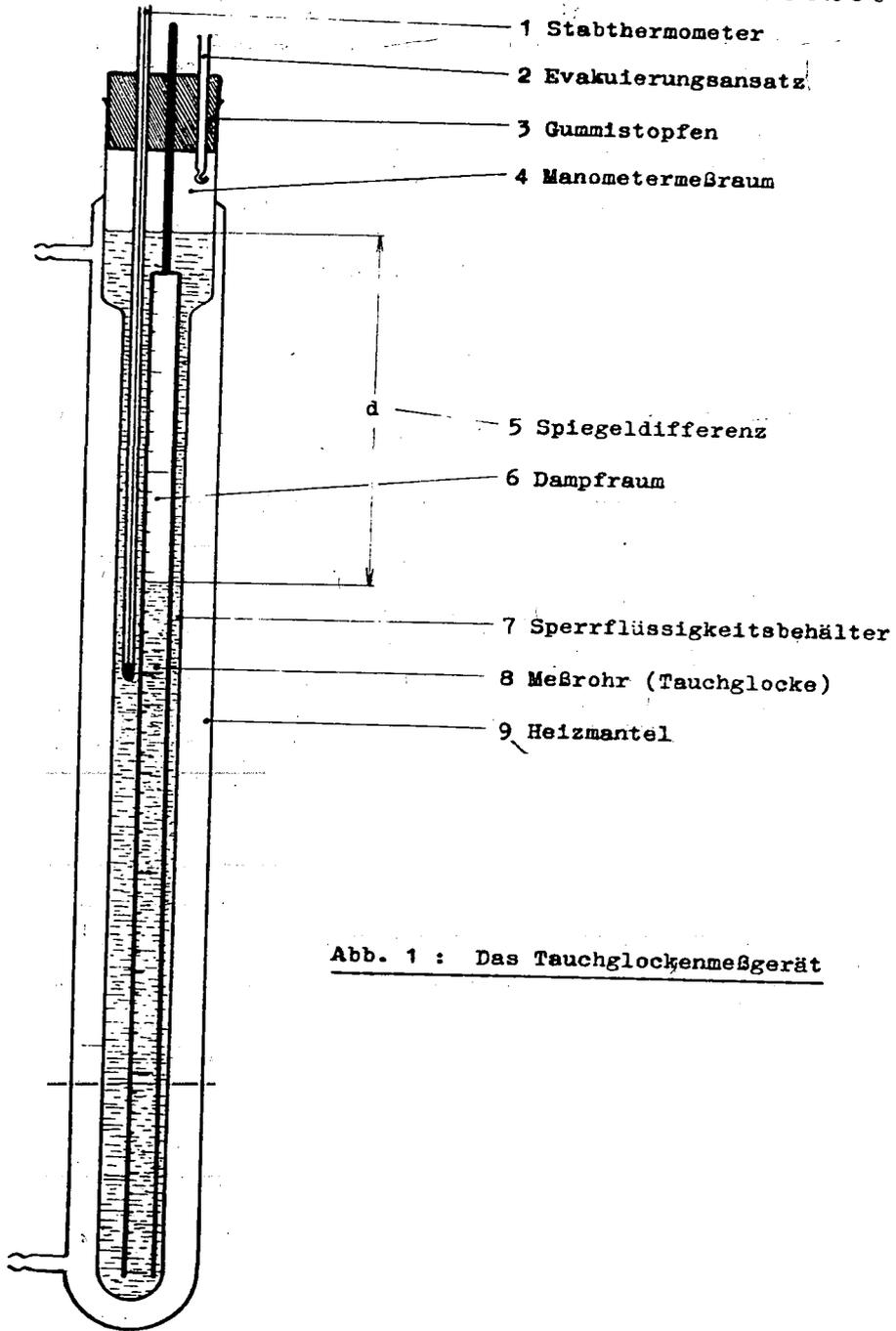


Abb. 1 : Das Tauchglockenmeßgerät

000210

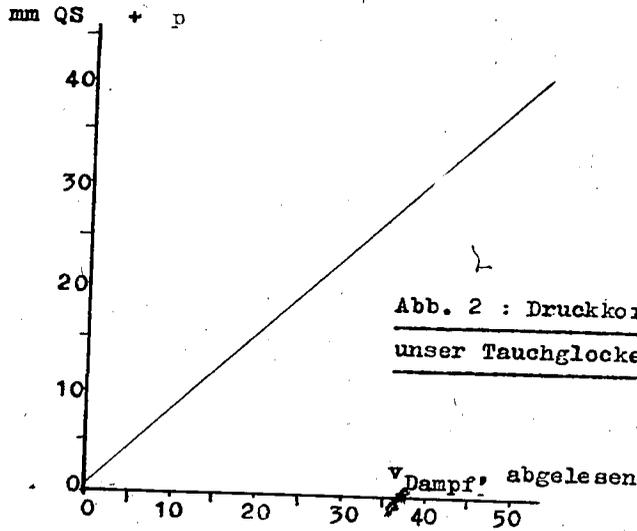


Abb. 2 : Druckkorrektur - Diagramm für
unser Tauchglockenmeßgerät

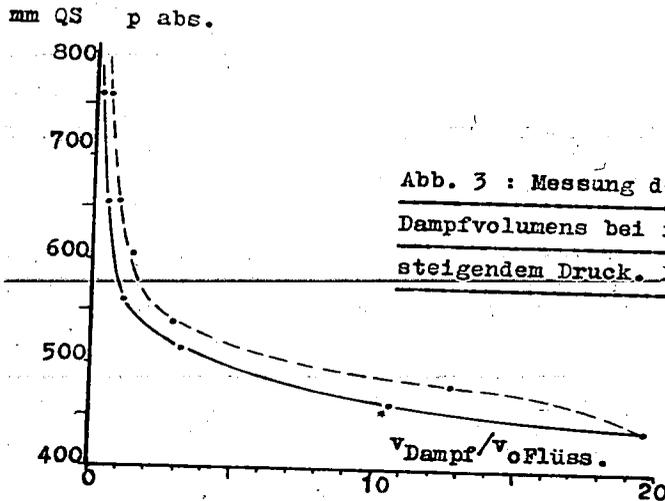


Abb. 3 : Messung des entwickelten
Dampfvolumens bei fallendem und
steigendem Druck. Flugbenzin, -50°C

00211

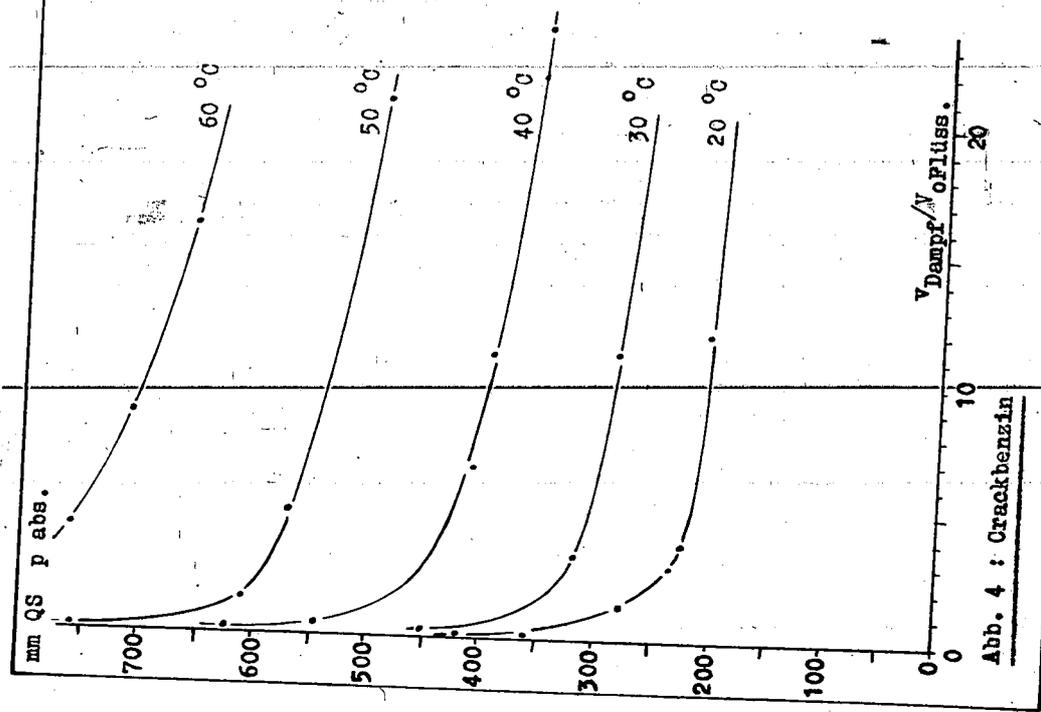


Abb. 4 : Crackbenzin

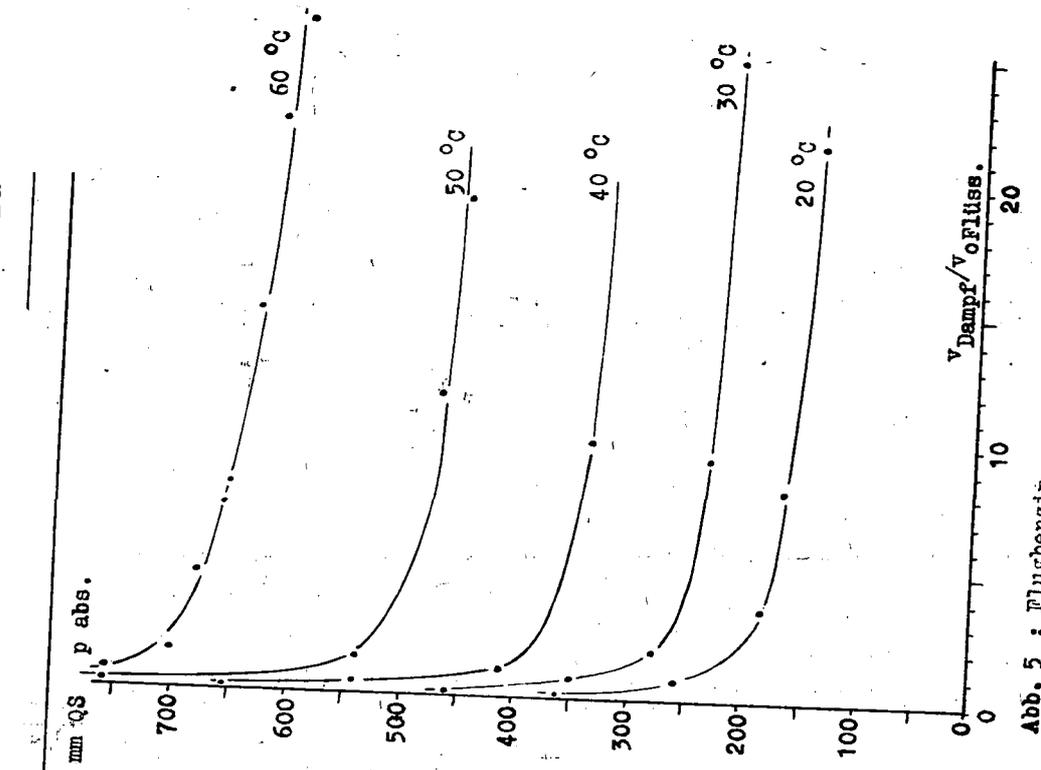


Abb. 5 : Flugbenzin

000212

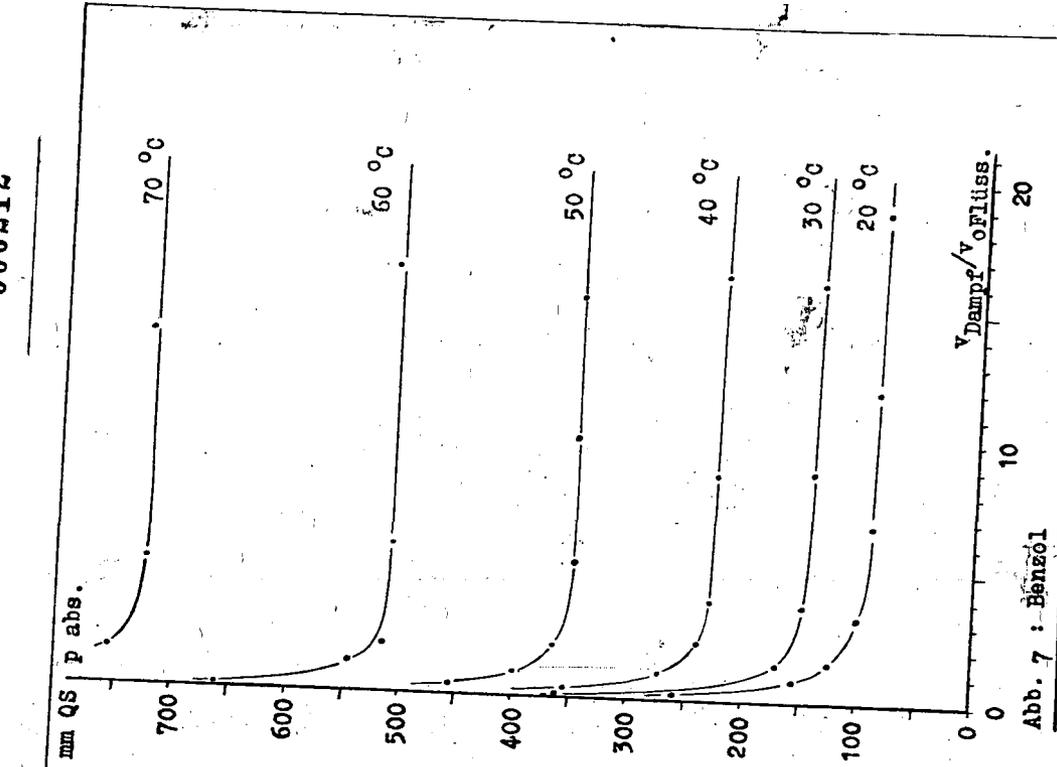


Abb. 7 : Benzol

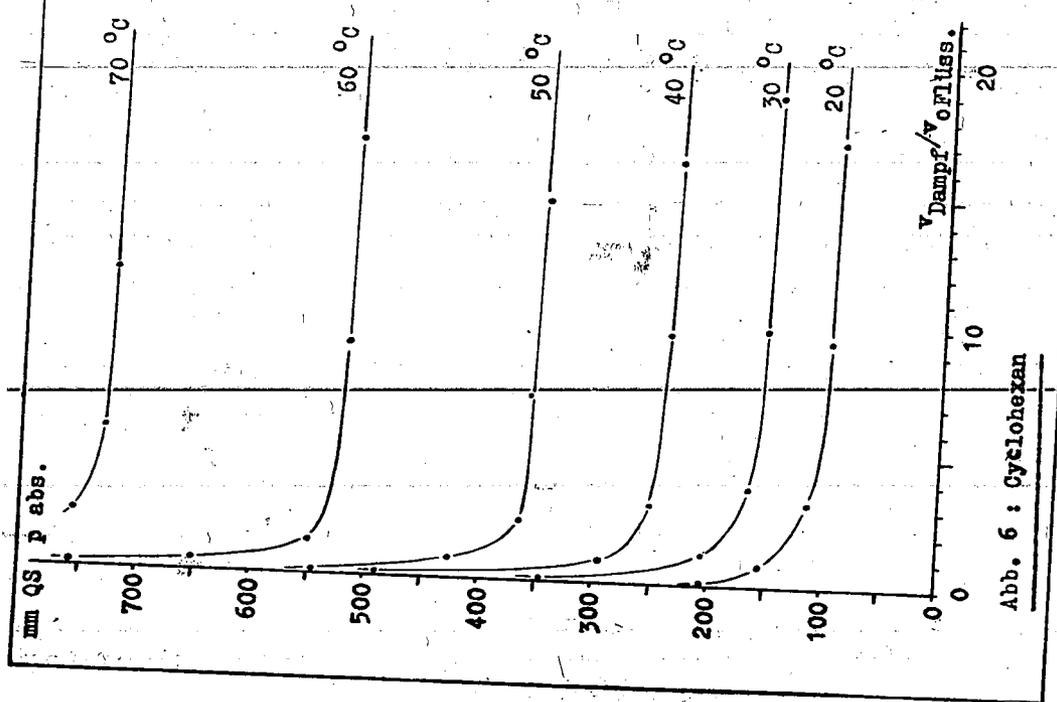


Abb. 6 : Cyclohexan

000213

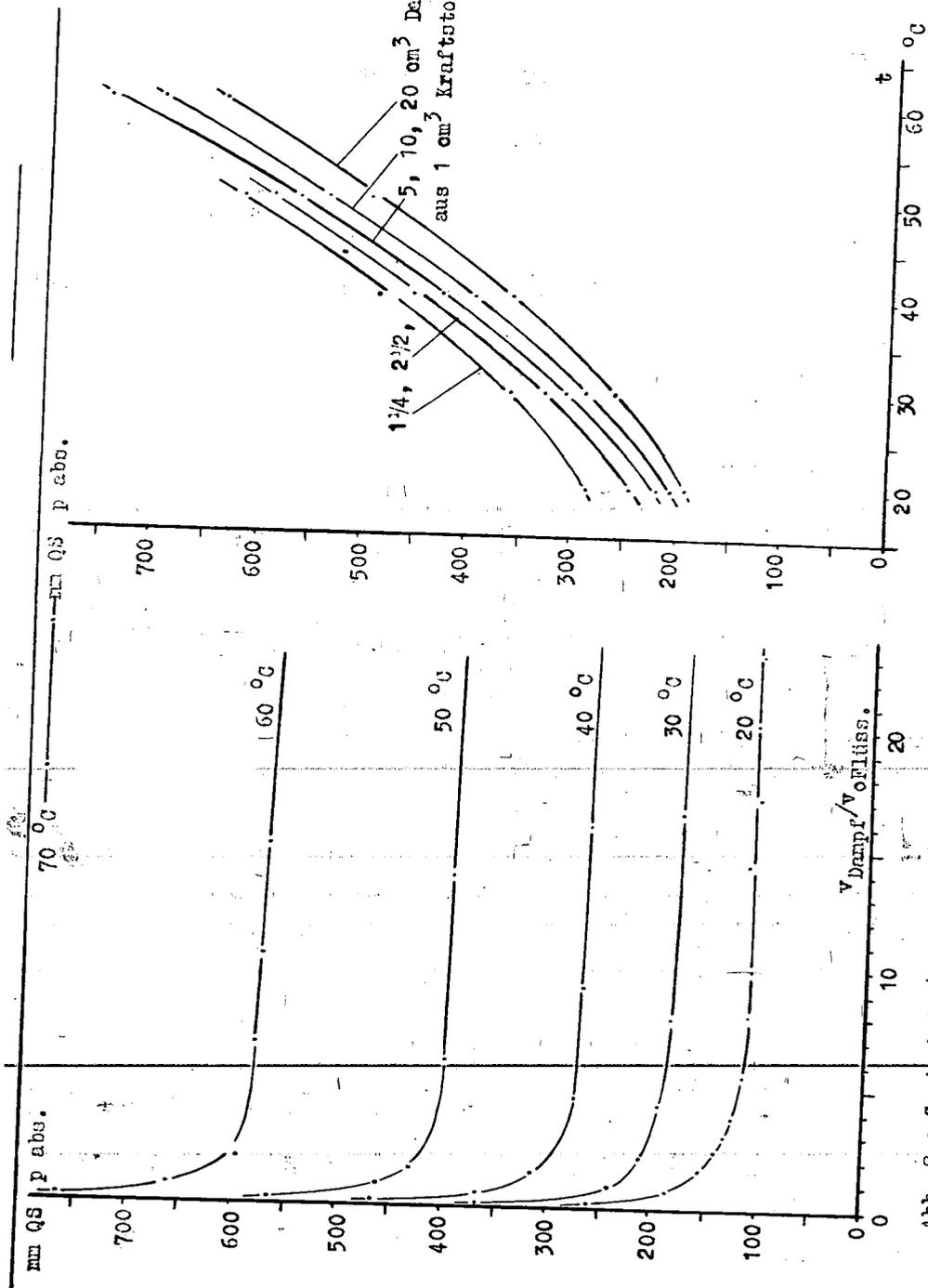


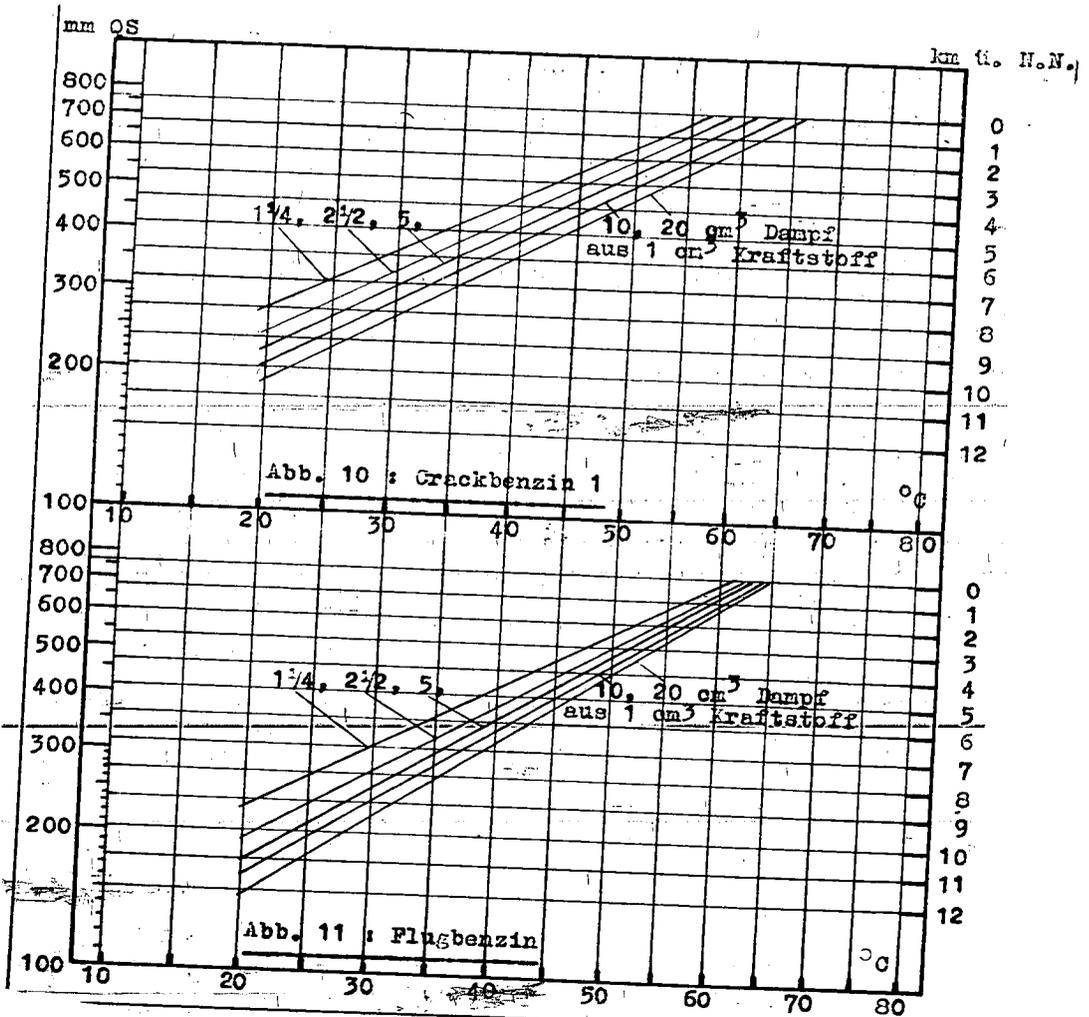
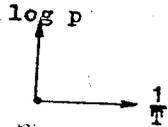
Abb. 8 : Gemisch 50/50

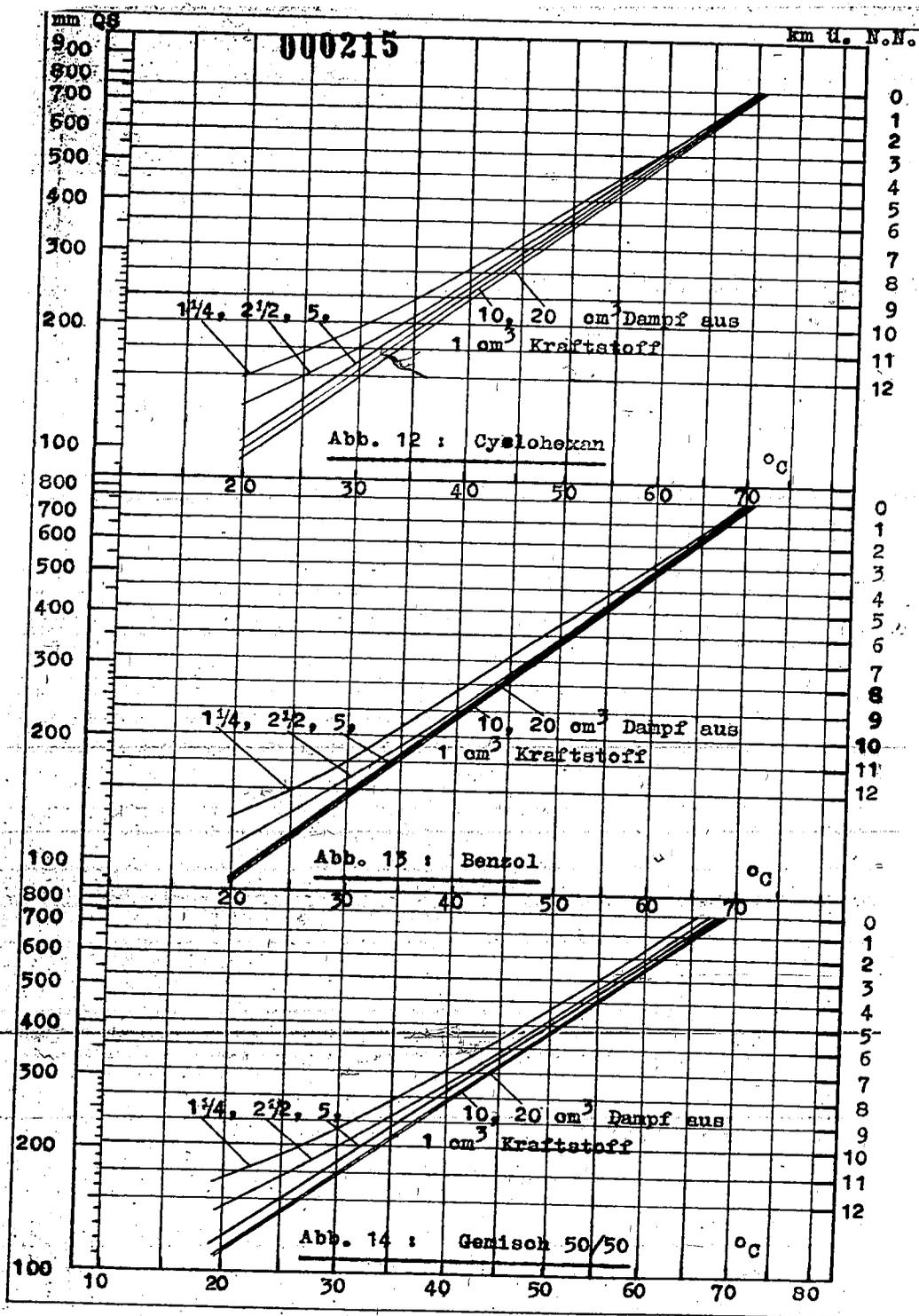
Abb. 9 : Dampfisochoren von Crackbenzin 1

Abb. 10 bis 14 : Dampfisochorendiagramme
 der untersuchten Kraftstoffe

000214

Abszisse: Celsiusgrade in Kehrwertanordnung zur absoluten Temperatur
 Ordinate: Logarithmische Druckskala (links) und Höhen-
 skala (rechts)





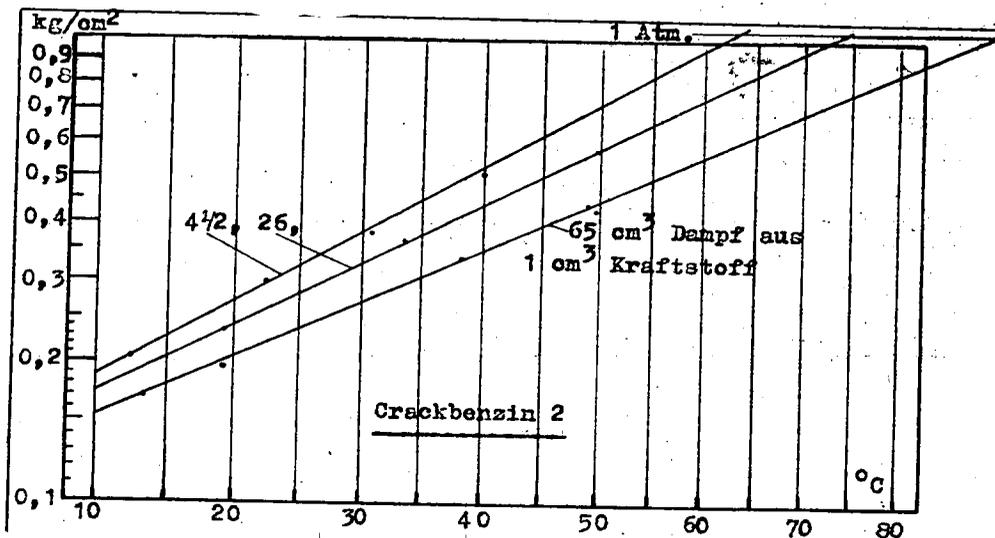
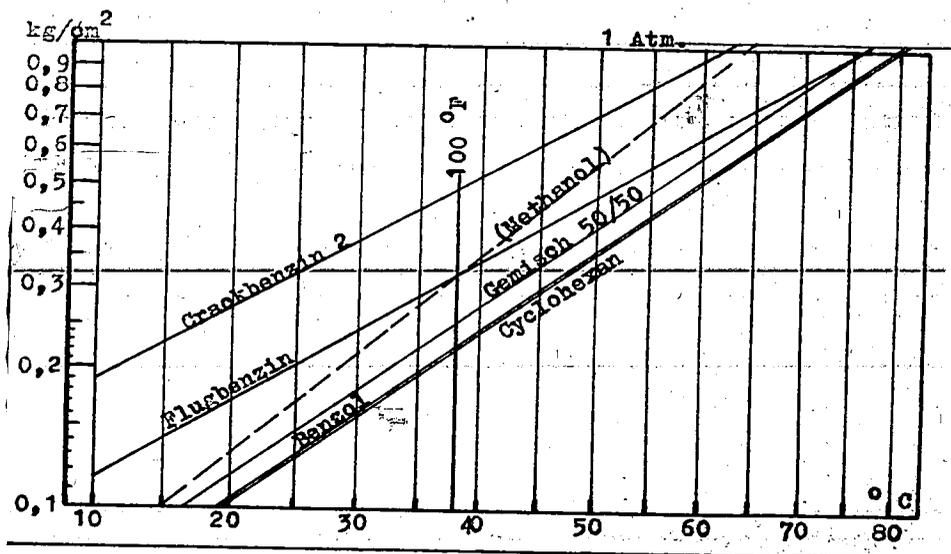


Abb. 15 : Mit Hilfe der Reidbombe aufgenommenes Dampfisochorendiagramm

000216

Abb. 16 : Die Reiddampfdrucke der untersuchten Kraftstoffe



000217

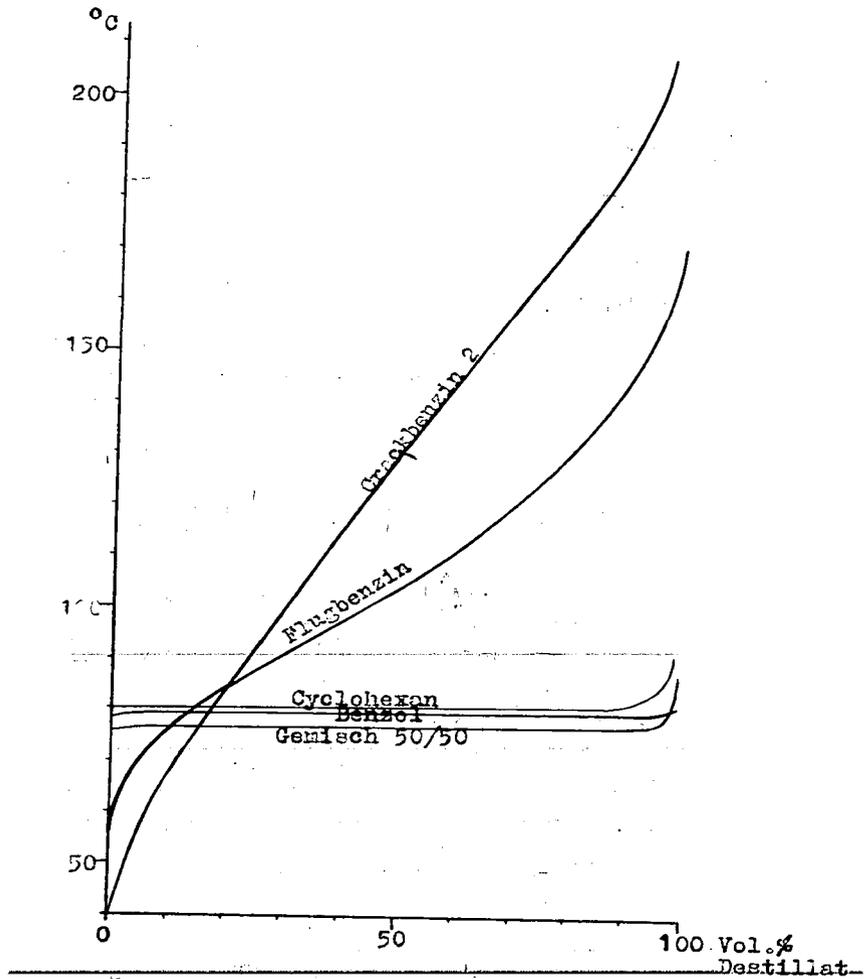


Abb. 17 : Die Siedekurven der untersuchten Kraftstoffe
(nach Engler)

000218

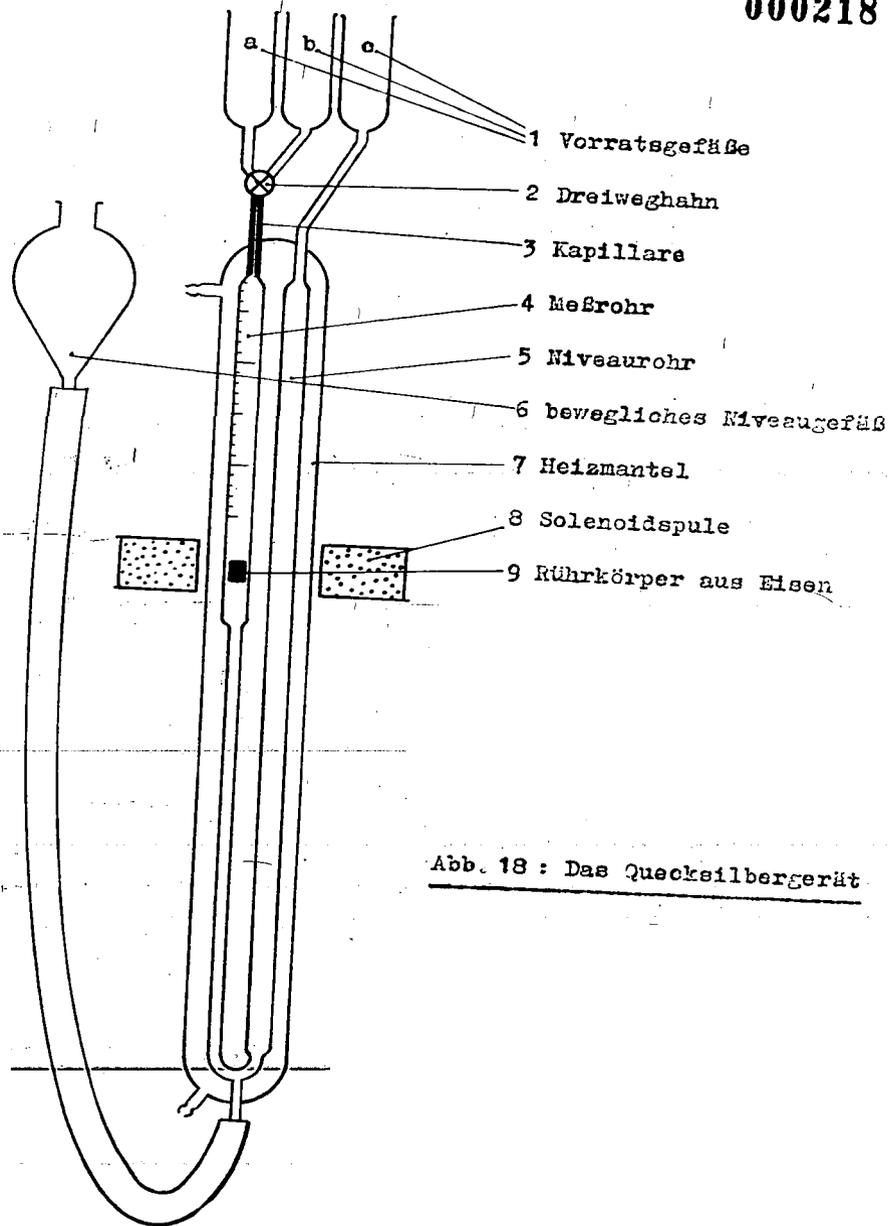


Abb. 18 : Das Quecksilbergerät

000219

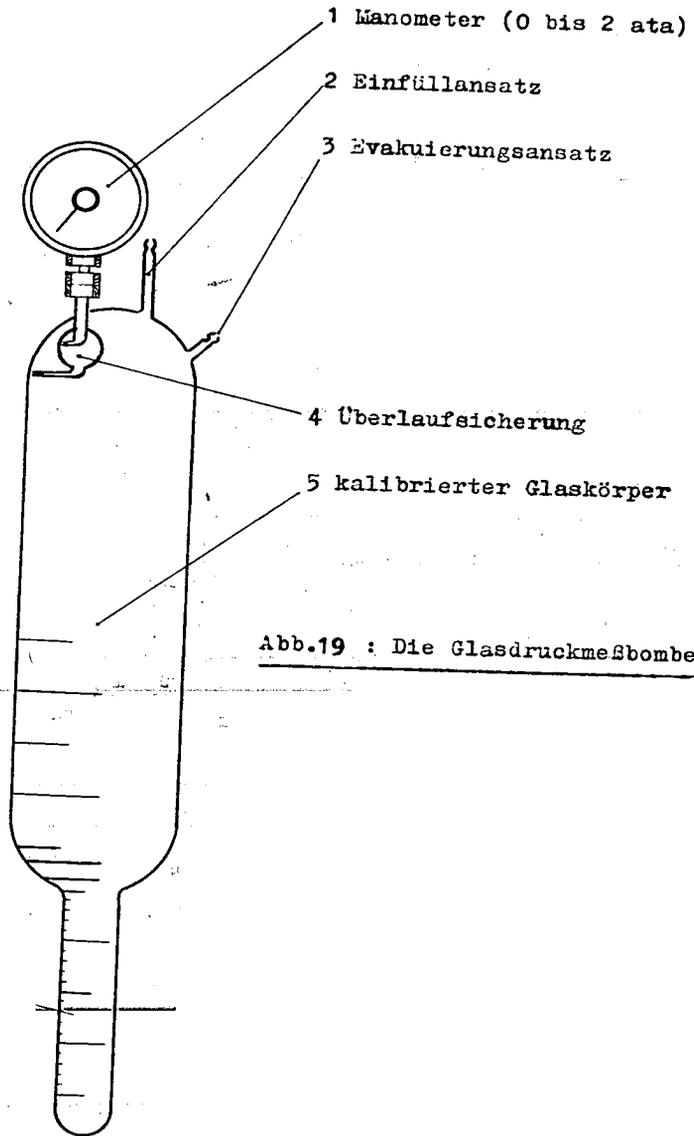


Abb.19 : Die Glasdruckmeßbombe

Project