

BAG. No. 3896

HANNOVER

II. VAPOR LOCK

STUDIES

Nur für den Dienstgebrauch
G 1-2

BAG 78
8896 HANNOVER

Deutsche Luftfahrtforschung

Forschungsbericht Nr. 1905

Bewertung von Kraftstoffen auf ihre Neigung zur Dampfblasenbildung

Widmaier

Verfaßt bei

Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren
an der Technischen Hochschule Stuttgart

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

Zur Beachtung!

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

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

Der Bericht ist unter Stahlblechverschluß
mit Patentschloß zu halten.

Bewertung von Kraftstoffen auf ihre Neigung zur Dampfblasenbildung.

Übersicht:

Bei Kraftstoffen bestimmter Zusammensetzung und Flüchtigkeit treten motorische Störungen durch Dampfblasenbildung auf. Diese Störungen sind durch den Kraftstoff selbst bedingt, sowie auch durch äußere Einflüsse, die hauptsächlich von der Motoranlage und vom Zustand der Umgebungsluft herrühren.

Bislang ist noch kein Prüfverfahren einheitlich festgelegt, das die Neigung von Kraftstoffen zur Dampfblasenbildung laboratoriumsmäßig bestimmt. Allgemein dienen das Siedeverhalten und der Dampfdruck heute als Maßstab. Die Bestimmung des Dampfdruckes nach Reid macht indessen gewisse Schwierigkeiten in der Handhabung des Gerätes und läßt an Genauigkeit zu wünschen übrig.

Mit dem nachstehend beschriebenen Gerät kann der absolute Dampfdruck von Kraftstoffen schnell und mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden. Ein weiteres einfaches Gerät gestattet die Prüfung der Dampfblasenbildung in Abhängigkeit von der Flughöhe.

Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart

Institutsleiter:

W. Kamm
W. Kamm

Gliederung:

- I. Ursachen der Dampfblasenbildung
- II. Heutiger Stand der Bewertungsverfahren
 1. Laboratoriumsmäßige Bestimmung der Dampfblasenbildung
 2. Bestimmung des Dampfdruckes
 3. Folgerungen aus den heutigen Erkenntnissen
- III. Beschreibung eines neuen Gerätes zur absoluten Dampfdruckbestimmung
- IV. Versuchsergebnisse über die Dampfdruckbestimmung bei verschiedenen Temperaturen
- V. Prüfung der Dampfblasenbildung in Abhängigkeit von der Flughöhe
- VI. Zusammenfassung
- VII. Schrifttum

Der Bericht umfasst:

22 Seiten mit
10 Abbildungen und
1 Zahlentafel

Abteilungsleiter:

P. Riekert

P. Riekert

Bearbeiter:

O. Widmaier

O. Widmaier

Stuttgart, den 10. Februar 1944

I. Ursachen der Dampfblasenbildung.

Die Dampfblasenbildung kann die Strömung in der Kraftstoffanlage und damit die Kraftstoffversorgung des Motors teilweise oder vollständig unterbrechen. Sie ist in der Hauptsache darauf zurückzuführen, daß der Kraftstoff leicht siedende Fraktionen enthält, die, in den Kraftstoffleitungen oder dem Vergaser der Abwärme des Motors ausgesetzt, verdampfen. Die Dampfblasenbildung wird außerdem von dem mit der Flughöhe veränderlichen Luftdruck beeinflußt.

Demnach können drei für die Dampfblasenbildung wesentliche Einflüsse herausgeschält werden:

- 1) der Dampfdruck des Kraftstoffes, bzw. seiner Bestandteile;
- 2) der äußere auf den Kraftstoff wirkende Druck;
- 3) die Kraftstofftemperatur.

Durch die vollkommene Beherrschung jeder dieser drei Veränderlichen läßt sich das Auftreten von Dampfblasen in jeder Flughöhe vermeiden. Demnach kann außer durch Wahl des geeigneten Kraftstoffes der Dampfblasenbildung durch folgende Maßnahmen entgegengewirkt werden:

- 1) Aufladung des Kraftstoffbehälters;
- 2) Kühlung des Kraftstoffes;
- 3) Isolierung der der Wärmestrahlung ausgesetzten Kraftstoffleitungen;
- 4) Verhütung der Entstehung von Dampfsäcken in der Kraftstoffanlage;
- 5) Herabsetzung des Druckabfalles innerhalb der Kraftstoffanlage auf ein Mindestmaß;
- 6) Druckförderung des Kraftstoffes an Stelle von Saugförderung.

Da die Dampfblasenbildung eine Funktion des Dampfdruckes darstellt, wird die Neigung des Kraftstoffes zur Dampfblasenbildung im allgemeinen bis heute noch durch die Dampfdruckbestimmung nach Reid bewertet. Dieses Verfahren liefert aber

nicht immer zuverlässige Werte, da der Reid-Dampfdruck von Kraftstoffen in Gegenwart von Luft bestimmt wird und demzufolge die Ausdehnung der Luft eine entsprechende Berücksichtigung verlangt. Da außerdem, wie schon erwähnt, die Dampfblasenbildung auch noch von anderen Größen abhängt, hat man versucht, ein möglichst alle Einflüsse erfassendes Bewertungsverfahren zu finden. Übersichtshalber werden die einzelnen Verfahren zur Bestimmung der Dampfblasenbildung und des Dampfdruckes im folgenden kurz beschrieben.

II. Heutiger Stand der Bewertungsverfahren.

1. Laboratoriumsmäßige Bestimmung der Dampfblasenbildung.

A.W. Schmidt [1] hat ein Gerät entwickelt, das den wirklichen Verhältnissen möglichst nahe zu kommen sucht. Dieses Gerät besteht aus einem Blechgefäß, in dem ein der normalen Kraftstoffleitung entsprechendes Kupferrohr eingebaut ist. Das mit Wasser gefüllte Blechgefäß wird auf die Versuchstemperatur erwärmt und die Durchflußgeschwindigkeit des zu untersuchenden Kraftstoffes auf $120 \text{ cm}^3/\text{h}$ eingestellt. Es wird nun die Zeit gemessen, in der das Benzin 10 cm^3 Dampf gebildet hat. Je kürzer diese Zeit ist, desto leichter wird das Benzin zur Dampfblasenbildung neigen.

Hammerich [2] beschreibt ein Gerät, das die Verhältnisse an Fahrzeugmotor nachahmt und die sogenannte "relative Abreißtemperatur" bestimmt. Als relative Abreißtemperatur wird dabei die Temperatur bezeichnet, bei der die regelmäßige Kraftstoffförderung zum Motor unterbrochen wird. Bei der Untersuchung der gesetzmäßigen Beziehungen zwischen dieser Abreißtemperatur und der Kraftstoffeigenschaften fand Hammerich einen brauchbaren Anhalt für die Bewertung in dem Mittel der bis 50° und bis 70° übergahenden Anteile aus der Siedekurve. Dieser Kennwert wurde als Flüchtigkeit des Kraftstoffes bezeichnet.

Bild 1 zeigt für verschiedene Kraftstoffe den Zusammenhang zwischen der Flüchtigkeit und der relativen Abreißtemperatur. Wie ersichtlich, liegen die Werte für Kraftstoffe gleichen Dampfdruckes auf einer Geraden. Wird die Steilheit der Strahlen durch $\operatorname{tg} \alpha$ gekennzeichnet, so kann aus der Beziehung zwischen relativer Abreißtemperatur (rel. AT) Reid-Dampfdruck und Flüchtigkeit (Fl.) folgende Beziehung nach Hammerich aufgestellt werden:

$$\text{rel. AT} = \frac{30 - \text{Fl.}}{\operatorname{tg} \alpha} + 48$$

Mit dem von Hammerich entwickelten Gerät stellte Koch [3] volumenmäßig fest, daß die durch eine Düse geförderte Kraftstoffmenge mit steigender Temperatur abnimmt und bei einer für jeden Kraftstoff kennzeichnenden Temperatur, die er als wahre Abreißtemperatur bezeichnet, nach dem Wert Null hinstrebt. Diese Temperatur betrachtet Koch als für die Dampfblasenbildung im Motor entscheidend und stellt durch Versuche fest, daß sie gut mit der Temperatur übereinstimmt, bei der der Kraftstoff den Dampfdruck 0,96 bis 1 at erreicht, Demzufolge empfiehlt Koch, die Dampfspannung der Kraftstoffe so einzustellen, daß für den Winterbetrieb 1 at bei einer Temperatur unter 50°C , für den Sommerbetrieb nicht unter 60°C erreicht wird.

Die von Koch vorgeschlagene Bewertung hat den Nachteil, daß der Kraftstoff wieder nach dem Siedeverhalten in einem Punkt bewertet wird. Die Erfahrungen dagegen zeigen, daß die Betriebsverhältnisse des Motors einen bedeutenden Einfluß auf die Dampfblasenbildung des Kraftstoffes haben. F. Schaub und H. Velde [4] haben deshalb zunächst Versuche am Motor selbst durchgeführt. Hierbei zeigte sich, daß die Abreißtemperaturen vor allem vom Kraftstoffverbrauch und von der Drehzahl des Motors beeinflusst werden.

Für die laboratoriumsmäßigen Versuche wurde deshalb ein Gerät zugrundegelegt, das den Kraftstoff unter Bedingungen prüft, wie sie im Motor vorliegen. Aus Bild 2 geht der Aufbau des Gerätes zum Messen der Abreißtemperaturen nach Schaub

und Velde hervor. Aus dem Behälter a wird der Kraftstoff über die Heisschlange b von der Pumpe c angesaugt. Die Pumpe drückt den Kraftstoff in den Vergaser d, dessen Kraftstoffspiegel an einem Schauglas e beobachtet werden kann. Von dort aus fließt der Kraftstoff über die Drosselstelle f und den Durchflussmesser g dem Überlauf h zu. Die Temperatur - bei der der Kraftstoffspiegel wegen ungenügender Förderung verschwindet, gilt als Abreißtemperatur.

Bei den Messungen an diesem Gerät zeigte sich, daß die Abreißtemperatur mit zunehmendem Kraftstoffdurchfluß für die einzelnen Kraftstoffe in unterschiedlichem Maße absinkt.

In weiteren umfangreichen Versuchsreihen Schaub und Velde je nach Art des Motoraufbaus die verschiedensten Einflüsse. Es ist deshalb heute nicht ohne weiteres möglich, eine Kennzahl für die Dampfblasenbildung des Kraftstoffes eindeutig festzulegen.

2. Bestimmung des Dampfdruckes.

Während für wissenschaftliche Zwecke Geräte verwendet werden, die die Motorbedingungen möglichst genau nachahmen, begnügt man sich für Abnahme - und Lieferbedingungen mit der Festlegung des Dampfdruckes.

Die Bestimmung des Dampfdruckes wird sowohl in Deutschland, als auch in den Vereinigten Staaten von Amerika heute vorwiegend in der Bombe nach Reid [5] vorgenommen. Die Reid-Bombe besteht aus einem kleinen Behälter mit Luftmantel in den eine genau bemessene Menge Kraftstoff gefüllt wird, wobei noch ein mit Luft gefüllter Raum verbleibt.

Ein mit diesem Behälter verbundener Druckmesser zeigt den Druck des Kraftstoffdampfes; der beim Einsetzen der Reid-Bombe in ein auf $37,8^{\circ}$ C gebrachtes Wasserbad entsteht. Berücksichtigung der Ausdehnung der Luft im Behälter wird nach folgender Gleichung vorgenommen:

$$b = \frac{(P_a - P_t) (t - 100)}{460 + t} - (P_{100} - P_t)$$

Hierin bedeuten: t die Anfangstemperatur des Luftraumes in $^{\circ}F$, P_t den Wasserdampfdruck in Pfund je Quadratzoll bei t $^{\circ}F$, P_{100} desgleichen bei $100^{\circ}F$, P_a den Barometerstand in Pfund je Quadratzoll, wobei 1 Pfund/Quadratzoll = $0,0703 \text{ kg/cm}^2$ ist.

W. Dannefelser [6] führt eine neue Berichtigungsformel für die Berechnung des Reid-Dampfdruckes ein, nämlich:

$$b = \frac{(B - P_{tA}) (t_M - t_A)}{273 + t_A} + (P_{tM} + P_{tA})$$

Darin bedeuten:

- B den berichtigten Barometerstand des Untersuchungsorts in kg/cm^2 ,
- t_A die Anfangstemperatur des Luftraums in $^{\circ}C$,
- t_M die Meßtemperatur in $^{\circ}C$,
- P_{tA} den Sättigungsdruck von Wasserdampf in kg/cm^2 bei t_A $^{\circ}C$,
- P_{tM} den Sättigungsdruck von Wasserdampf in kg/cm^2 bei t_M $^{\circ}C$.

Im Gegensatz zur amerikanischen Formel treten nach der Formel von Dannefelser immer positive Werte auf.

Ein wesentlich genaueres Verfahren zur Dampfdruckbestimmung wird von Bridgeman und Aldrich [7] angegeben. Hierbei wird der Kraftstoff mit flüssiger Luft abgekühlt und die im und über dem Kraftstoff befindliche Luft abgesaugt. Der Dampfdruck des luftfreien Kraftstoffs wird dann mit einem Quecksilbermanometer gemessen.

Dazu wird ein etwa 1 m langes, 10 mm weites, einseitig geschlossenes Glasrohr mit trockenem Quecksilber gefüllt. Das gefüllte Rohr stürzt man mit dem Finger verschlossen unter Quecksilber um. Damit wird eine vollständige Luftleere im Glasrohr erhalten und der absolute

Dampfdruck des mit Hilfe einer Pipette in den evakuierten Raum gebrachten Kraftstoffs gemessen. Die im Vakuum verdampfte Flüssigkeit drückt dann die Quecksilbersäule gemäß der Dampfspannung des untersuchten Kraftstoffs nach innen. Es ist nur noch die Höhe der Flüssigkeitsschicht und bei höheren Temperaturen der Dampfdruck des Quecksilbers zu berücksichtigen.

L. Hurel [8] beschreibt ein Gerät zur Dampfdruckmessung, das aus Pyrexglas besteht und - auf der statischen Meßmethode fußend - im Gegensatz zur Reid-Bombe, die nur Messungen bis zu einem Volumen-Verhältnis des Dampfes zur Flüssigkeit von 4 gestattet, Messungen bis zu einem Volumen-Verhältnis von 10000 zuläßt. Einige Änderungen ermöglichen, sowohl unter Vakuum als auch bei Atmosphärendruck zu arbeiten.

Ferner sei noch auf das Verfahren von Renato Salmoni [9] hingewiesen. Salmoni mißt nicht den Dampfdruck, sondern die durch Verdampfen bedingte Volumenänderung, indem er das Volumen der Luft bei Atmosphärendruck und nach Verdampfen der Flüssigkeit bestimmt. Der Dampfdruck wird dann nach der Gleichung berechnet:

$$p = (1 - V_1/V_2)$$

worin V_1 das Volumen der Luft bei Atmosphärendruck und V_2 das Volumen nach Verdampfen des Kraftstoffes darstellen.

Wie aus einer neueren Arbeit von Halla [10] hervorgeht, läßt sich der Dampfdruck auch aus der Flüchtigkeit von Kraftstoffen bestimmen. Der Dampfdruck steht mit dem Dampfgewicht g_0 je Liter Gasraum bei Sättigung in folgender Beziehung:

$$p_{atm} = g_0 \cdot 0,08213 (t + 273)/M$$

worin t die Temperatur und M das Molekulargewicht darstellen. Die allgemeine Anwendung dieser Gleichung macht Schwierigkeiten, da das Molekulargewicht von Kraftstoffen sehr verschieden sein kann.

V. Folgerungen aus den heutigen Erkenntnissen.

Die bereits bekannten Verfahren zur Bestimmung des Dampfdruckes und der Dampfblasenbildung können zusammen-

fassend folgendermaßen beurteilt werden:

- 1) Die Ergebnisse nach den verschiedenen Verfahren stimmen nicht miteinander überein.
- 2) Der Versuchsaufbau zur laboratoriumsmäßigen Untersuchung ist vielfach umfangreich.
- 3) Die wirklichen Verhältnisse können für Kraftstoffe nicht einfach nachgeahmt werden.
- 4) Selbst die Bestimmung des absoluten Dampfdruckes in Abhängigkeit von der Temperatur macht noch Schwierigkeiten.

Es wird nach wie vor das Bestreben sein, die Neigung der Kraftstoffe zur Dampfblasenstörung durch physikalische oder analytische Kennzahlen zu erfassen. Dies wird deshalb schwierig sein, weil diese Kennzahlen wohl kaum die vielseitigen Beziehungen zwischen Motor und Kraftstoff berücksichtigen können. Von der Kraftstoffseite her ist aber vor allen Dingen der Dampfdruck eine wesentliche Größe für die Gefahr der Dampfblasenbildung. Die Bestimmung des Dampfdruckes nach Reid liefert, wie erwähnt, keine Absolutwerte, da der Dampfdruck in Gegenwart von Luft bestimmt wird. Infolgedessen ist für jede Messung eine Berichtigung notwendig, die zu Fehlern führen kann.

Da der Zusammenhang zwischen Motor und Kraftstoff hinsichtlich der Dampfblasenbildung laboratoriumsmäßig nur auf umständliche Weise erfaßt werden kann, ist es notwendig, sich vorläufig nur auf eine Größe, nämlich den absoluten Dampfdruck, zu beschränken und die Fehlerquellen möglichst auszuschalten. Es wird deshalb ein möglichst einfaches Gerät zur absoluten Dampfdruckbestimmung angestrebt.

III. Beschreibung eines neuen Gerätes zur absoluten Dampfdruckbestimmung.

Der Gesamtaufbau zur Bestimmung des absoluten Dampfdruckes besteht (Bild 3) aus dem eigentlichen Dampfdruckgefäß mit Thermostat und einer Hochvakuumölpumpe. Einzelheiten des Gefäßes sind aus Bild 4 und 5 zu ersehen.

Das aus Messing hergestellte Dampfdruckgefäß ist mit vier Stutzen a, b, c, d versehen. Der Stutzen a verbindet das Gefäß mit dem Unterdruckmanometer e. Am Stutzen b ist das Quecksilberthermometer f mit einem Temperaturbereich von -60°C bis $+60^{\circ}\text{C}$ angebracht. Der Stutzen c dient zur Verbindung mit dem Glastrichter g, der den Kraftstoff aufnimmt. Der Schlauch l führt vom Stutzen d zur Vakuumpumpe. Das Dampfdruckgefäß steht in dem Thermostat h, der aus den Glasstutzen i und k besteht.

Zur Bestimmung des Dampfdruckes bei verschiedenen Temperaturen werden die zu untersuchende Kraftstoffprobe und das Druckgefäß mit einer Alkohol-Kohlensäureschnee-Mischung auf -50°C unterkühlt. Das Druckgefäß wird sodann mit Hilfe einer Hochvakuumpumpe möglichst vollständig luftleer gemacht und durch Zudrehen der Klemme l am Schlauch das Vakuum gehalten. Die in den Scheidetrichter g gebrachte unterkühlte Kraftstoffprobe von 200 cm^3 wird vorsichtig in das Druckgefäß gesaugt und der Dampfdruck bei der jeweils gewünschten Versuchstemperatur am Manometer in mm QS abgelesen.

Ein kleiner Fehler tritt durch die im Kraftstoff noch enthaltene und die im Druckgefäß verbleibende Luftmenge auf. Dieser Fehler ist aber gegenüber der Ungenauigkeit bei der Manometerablesung zu vernachlässigen.

Wesentlich ist die Anwendung von so viel Kraftstoff, daß in flüssiger Phase sämtliche den Dampfdruck verursachenden Benzinfraktionen enthalten sind.

IV. Versuchsergebnisse über die Dampfdruckbestimmung bei verschiedenen Temperaturen.

Die mit dieser Dampfdruckbombe zu erreichende Genauigkeit wurde durch die Untersuchung von reinen organischen Flüssigkeiten (Chloroform, Äthylalkohol, Tetrachlorkohlenstoff, Benzol) festgelegt. Aus Zahlentafel 1 und Bild 6 gehen die erhaltenen Dampfdrücke für Chloroform, Äthylalkohol, Tetrachlorkohlenstoff und Benzol in Abhängigkeit von der Temperatur hervor. Sämtliche Dampfdrücke sind etwas zu hoch, da die unter-

suchten Flüssigkeiten etwas Luft enthielten, stimmen mit den im Schrifttum angegebenen jedoch noch gut überein.

Sehr niedere Drücke werden vom Manometer nicht genau angezeigt, sind aber hier auch nicht wichtig.

Von fünf verschiedenen Kraftstoffen wurden ebenfalls die Dampfdrücke bei Temperaturen von -40°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ ermittelt. Wie Bild 7 zeigt, unterscheiden sich die Dampfdrücke der einzelnen Benzine im Bereich von -40°C bis 0°C nur wenig; erst bei Temperaturen von 0°C bis $+50^{\circ}\text{C}$ treten zum Teil erhebliche Dampfdruckunterschiede auf.

Die Anzeigegenauigkeit des Manometers läßt bei sehr kleinen Dampfdrücken - wie schon erwähnt - zu wünschen übrig, ist aber bei Dampfdrücken von 100 mm QS an befriedigend, was durch die Untersuchung der organischen Flüssigkeiten (Bild 6) bestätigt wird.

Der Vorteil des neuen Dampfdruckgerätes gegenüber der Reid-Bombe besteht darin, daß die Dampfdrücke bei verschiedenen Temperaturen, also die Dampfdruckkurven in kürzerer Zeit festgelegt werden können.

V. Prüfung der Dampfblasenbildung in Abhängigkeit von der Flughöhe.

Die heutigen Flugkraftstoffe haben einen Siedebereich von 40 bis 180°C bei einem Druck von etwa 750 mm QS. Mit der Abnahme des Druckes in der Höhe beginnt das Sieden früher. Diese Verlagerung des Siedebeginns begünstigt je nach der Flughöhe die Dampfblasenbildung.

Will man die Dampfblasenbildung in Abhängigkeit von der Höhe prüfen, so kann das in Bild 8 gezeigte Laboratoriumsgerät verwendet werden.

Der zu untersuchende auf -50°C unterkühlte Kraftstoff wird durch den Trichter b in den 250 cm^3 fassenden Erlenmeyerkolben a bis zum unteren Rand des Gummistopfens eingefüllt. Sodann wird der Kraftstoff bis zur Versuchstemperatur, bei der die Dampfblasenbildung bestimmt werden soll, im Behälter c erwärmt. Die Temperatur kann am Thermometer e, abgelesen werden. Die verdampfenden Kraftstoffanteile

werden in der Kühlfalle f, die mit Hilfe der in Gefäß g enthaltenen Kühlflüssigkeit (Alkohol und Trockeneis) auf -60°C gehalten wird, kondensiert. Nun wird festgestellt, in welcher Höhe bzw. bei welchem Unterdruck Dampfblasenbildung eintritt. Dazu wird das Anschlußstück h mit der Vakuumpumpe verbunden und durch langsames Drosseln des Luftzutritts durch den Gummischlauch i der Unterdruck erzeugt, bei dem starkes Aufsteigen von Dampfblasen im Glasstutzen d auftritt. Dieser Druck wird am Manometer k abgelesen und gibt als Vergleichswert die Neigung des Flugkraftstoffs zur Dampfblasenbildung in bestimmter Höhe an.

Das Auftreten der Dampfblasen im Gefäß a beginnt bei einem geringeren als dem abgelesenen Unterdruck. Der Beginn kann aber nur mit verhältnismäßig großer Streuung erfaßt werden, da die Dampfblasenbildung von den Kanten und Unebenheiten des Versuchsgefäßes abhängig ist. Bei Berücksichtigung des Siedeverzugs erhält man dagegen gut wiederholbare Werte.

Bild 9 und 10 zeigen die Ergebnisse der Dampfblasenbestimmung für die Kraftstoffe B 4 und C 3 mit und ohne Zusatz von Pentan. Daraus ist zu ersehen, daß für beide Kraftstoffe bei niederen Temperaturen auch in großer Höhe keine Gefahr der Dampfblasenbildung besteht. Wird jedoch der Kraftstoff auf $+20$ bis $+40^{\circ}\text{C}$ erwärmt, so kann die Dampfblasenbildung schon in erheblichem Maße auftreten. Der Zusatz von 10 % Pentan wirkt sich - wie ebenfalls Bild 9 und 10 zeigen - besonders bei höheren Temperaturen sehr ungünstig aus.

VI. Zusammenfassung.

Die kritische Sichtung der Verfahren zur laboratoriums-mäßigen Bestimmung der Dampfblasenbildung und des Dampfdruckes ergibt, daß die Übereinstimmung der Ergebnisse der einzelnen Verfahren noch nicht befriedigt. Außerdem ist zur eingehenden Untersuchung der Dampfblasenbildung von Kraftstoffen unter Verhältnissen, die der Wirklichkeit entsprechen, ein umfangreicher Versuchsaufbau notwendig.

Für die Bewertung von Kraftstoffen bei ~~Ernahme und Dis-~~ferung muß man sich heute mit der Kenntnis des Dampfdrucks begnügen. Es wurde deshalb ein Gerät entwickelt, das den Dampfdruck bei verschiedenen Temperaturen schneller als in der Reid-Bombe und mit hinreichender Genauigkeit bestimmen läßt. Das Gerät besteht aus einem Druckgefäß mit Thermostat. Das Druckgefäß wird möglichst vollständig luftleer gemacht, der Kraftstoff angesaugt und der Dampfdruck bei verschiedenen Temperaturen an einem Manometer unmittelbar abgelesen.

Zur Prüfung der Dampfblasenbildung in Abhängigkeit von der Flughöhe wurde ein weiteres einfaches Gerät gebaut, das für verschiedene Kraftstofftemperaturen den Unterdruck angibt, bei dem Dampfblasenbildung auftritt. Der Unterdruck wird mit einer Vakuum-Ölpumpe erzeugt und an einem Quecksilbermanometer abgelesen.

VII. Schrifttum.

- 1 A.W. Schmidt, Bewertung von Kraftstoffen, Braunkohle (1937) Heft 30, S. 535.
- 2 Th. Hammerich, Die Beurteilung von Leichtkraftstoffen hinsichtlich ihrer Neigung zur Dampfblasenbildung. Oel und Kohle Bd. 15 (1939) S. 569.
- 3 F. Koch, Beitrag zur Frage der Dampfblasenbildung, Kraftstoff Bd. 16 (1940) S. 205.
- 4 F. Schaub u. H. Velde Zur Beurteilung von Kraftstoffen hinsichtlich der Dampfblasenstörung am Motor, ATZ Bd. 44 (1941) S. 549.
- 5 W. Reid, Nat. Petr. News Bd. 20 (1928) S. 25.
- 6 W. Dannefäuser Oel u. Kohle Bd. 38 (1942) S. 1005.
- 7 O.C. Bridgeman u. E.W. Aldrich, S.A.E.-Journ. Bd. 27 (1930) S. 93.
- 8 L. Hurel, Documentat. sci. Bd. 6 (1937) S. 168.
- 9 Renato Salmoni, G. Chim. ind. appl. Bd. 16 (1934) S. 483.
- 10 F. Halla, Oel u. Kohle Bd. 38 (1942) S. 837.

Dampfdrücke von organischen Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen.

		Tatsächlicher Dampfdruck mm QS	Abgelesener Dampf- druck mm QS
Chloroform bei	- 40°C	-	10
" "	- 20 "	20	27
" "	+ 0 "	61	70
" "	+ 20 "	160	174
" "	+ 40 "	369	370
<hr/>			
Äthylalkohol bei	- 40°C	0,39	10
" "	- 20 "	2,5	15
" "	+ 0 "	12	28
" "	+ 20 "	44	55
" "	+ 40 "	133	135
<hr/>			
Tetrachlorkoh- lenstoff bei	- 40°C	-	-
" "	- 20 "	10	15
" "	+ 0 "	33	40
" "	+ 20 "	91	100
" "	+ 40 "	215	222
<hr/>			
Benzol bei	- 40°C	-	-
" "	- 20 "	6	15
" "	+ 0 "	27	35
" "	+ 20 "	75	85
" "	+ 40 "	181	185

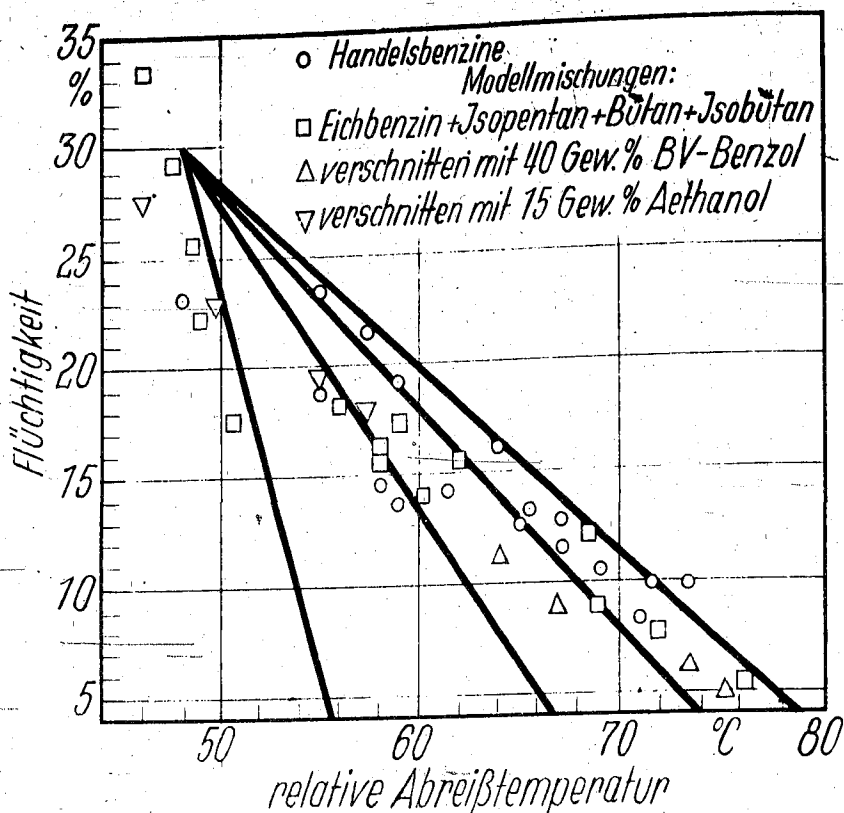


Bild 1 Abhängigkeit der Flüchtigkeit von der relativen Abreißtemperatur. (nach Th. Hammerich)

- | | | |
|-------------------|-----------------|-------------------|
| a Vorratsbehälter | d Vergaser | g Durchflußmesser |
| b Heizschlange | e Schauglas | h Überlauf |
| c Förderpumpe | f Drosselstelle | i Sammelbehälter |

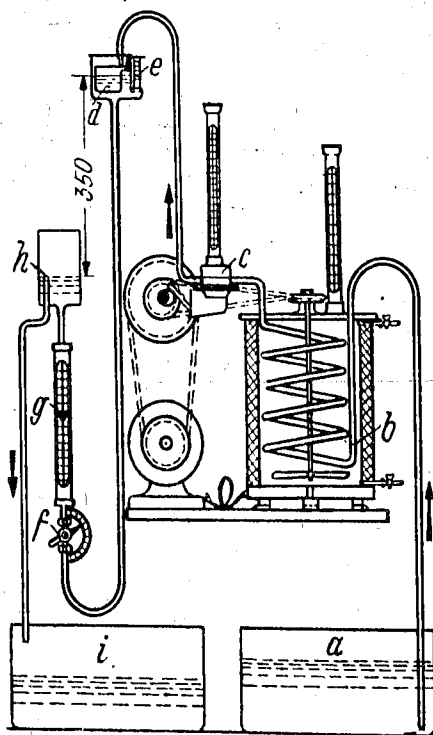


Bild 2 Gerät zur Bestimmung der Dampfblasenbildung nach Scheub und Veldé.

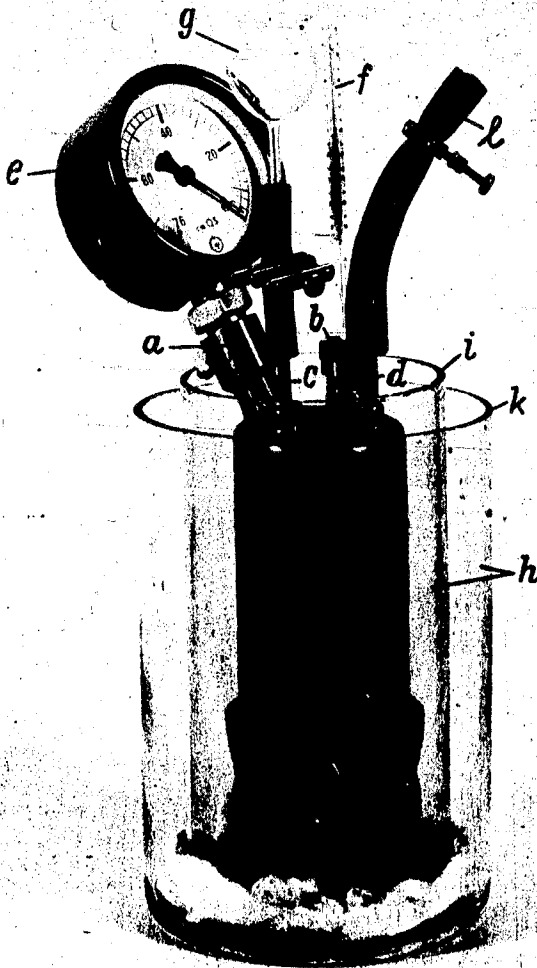


Bild 3 Gerät zur Dampfdruckbestimmung von Kraftstoffen

a, b, c, d Stützen

e Unterdruckmesser

f Quecksilberthermometer

g Trichter zur Aufnahme des Kraftstoffes

h Thermostat, wird gebildet aus

i u.k (Glasstützen)

l Schlauch zur Vakuumpumpe

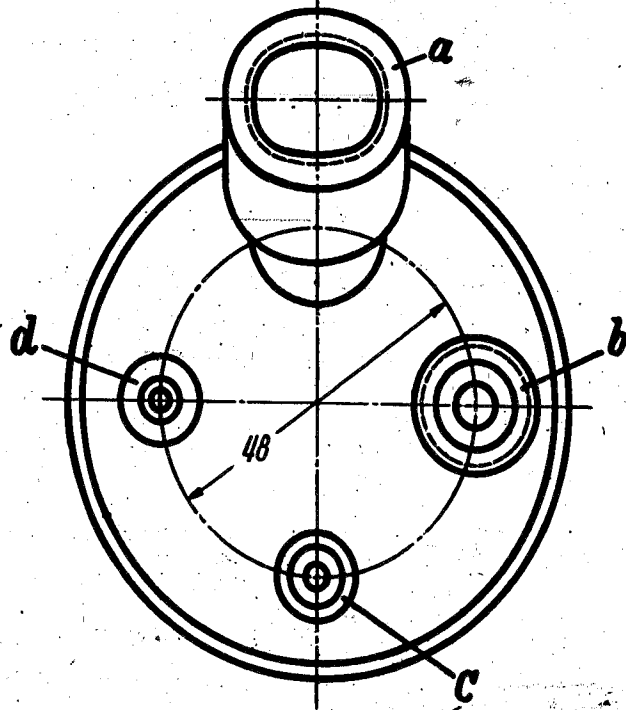
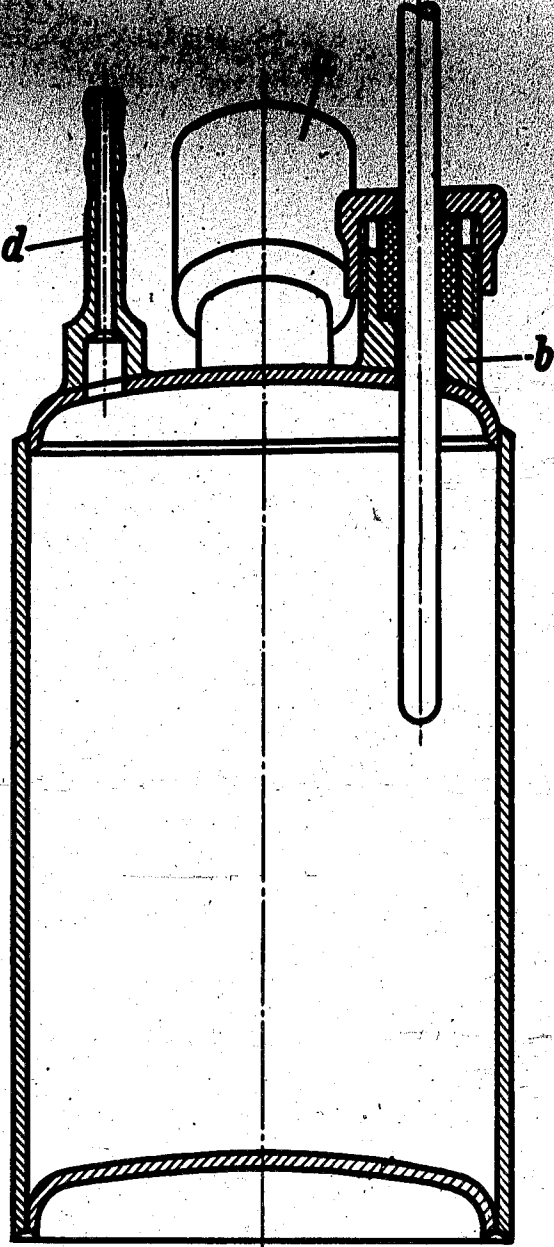


Bild 4 und 5 Druckgefäß zur Dampfdruckbestimmung von Kraftstoffen in Schnitt und Draufsicht.

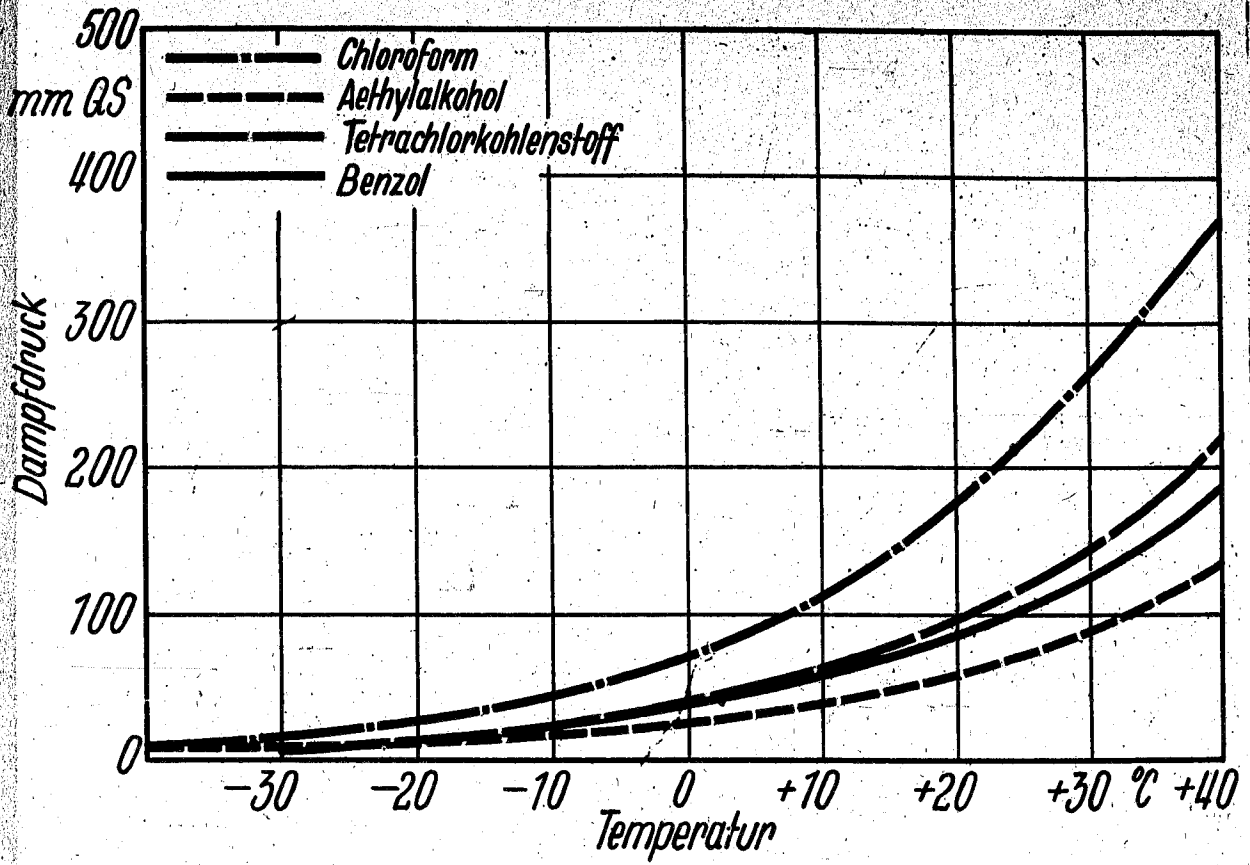


Bild 6 Dampfdrücke von organischen Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Temperatur.

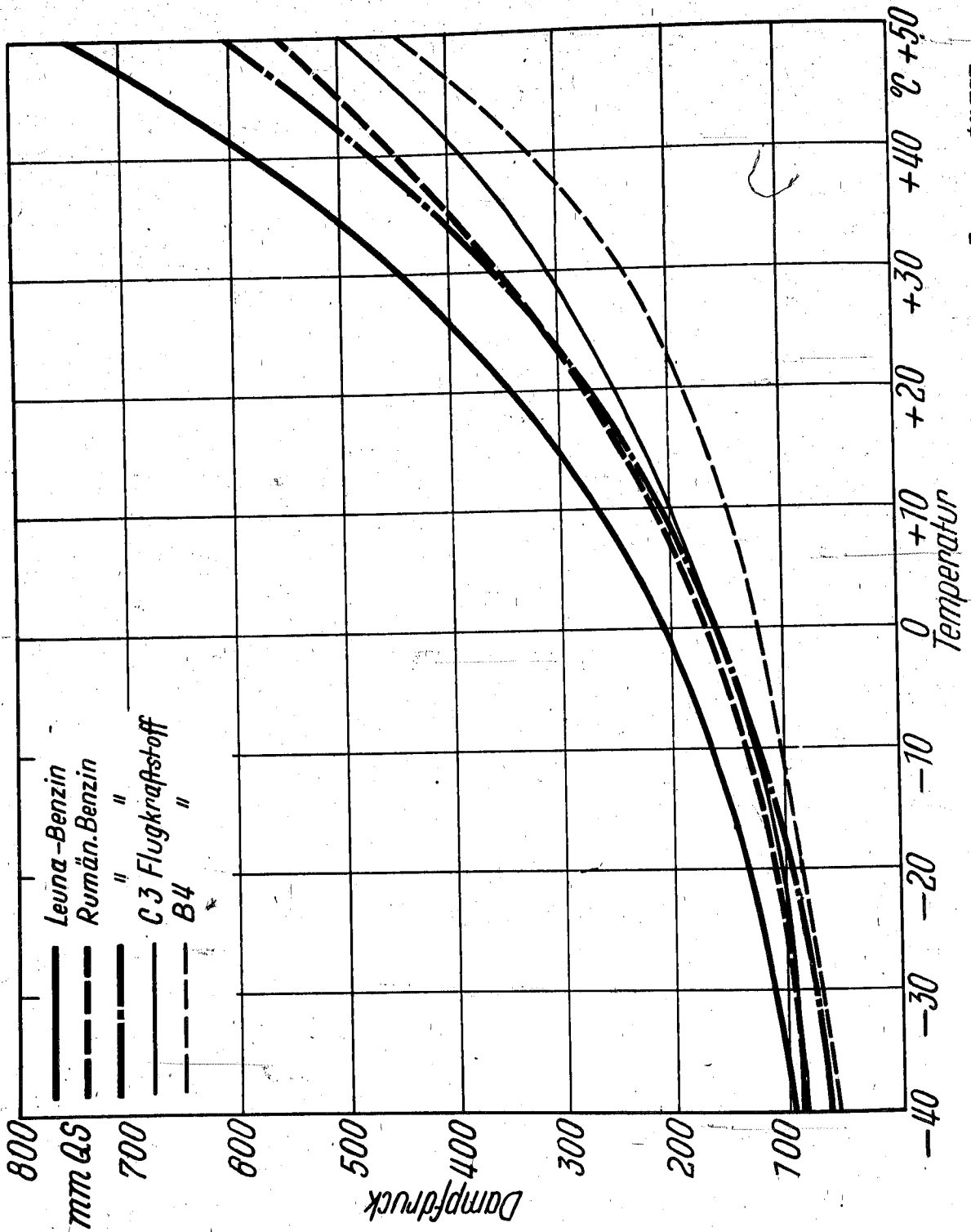


Bild 7 Dampfdrücke von Kraftstoffen bei verschiedenen Temperaturen.

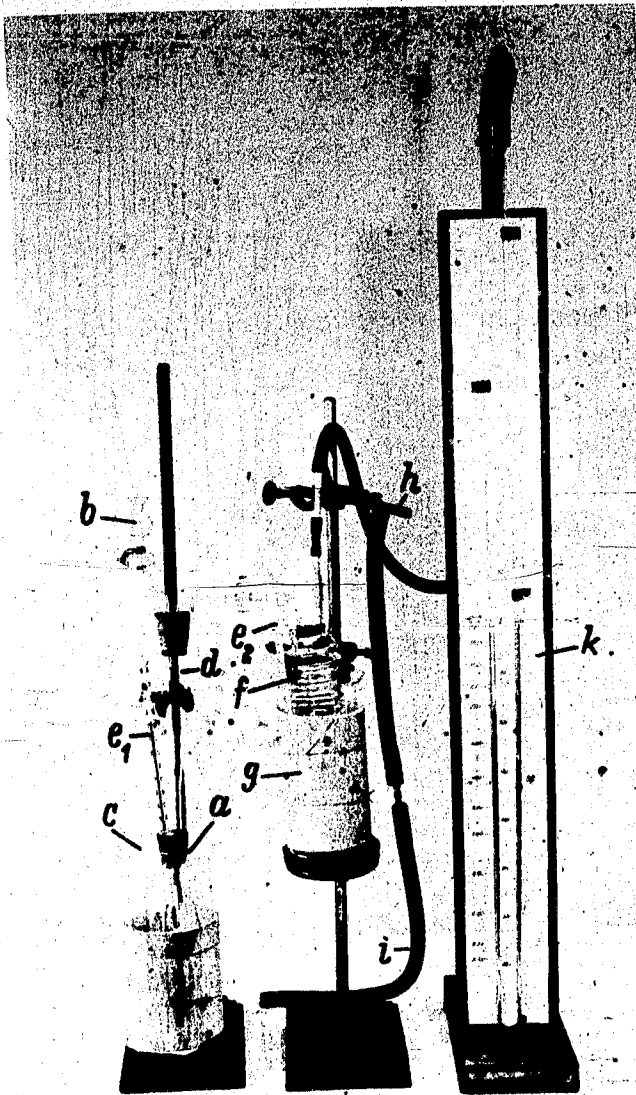


Bild 8 Gerät zur Bestimmung der Dampfblasenbildung von Flugkraftstoffen.

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| a Kraftstoffgefäß | f Kühlfalle |
| b Einfülltrichter | g Kühlbehälter |
| c Heizbehälter | h Anschluß zur Saugpumpe |
| d Glasstutzen | i Druckschlauch |
| e Thermometer | k Quecksilbermanometer |

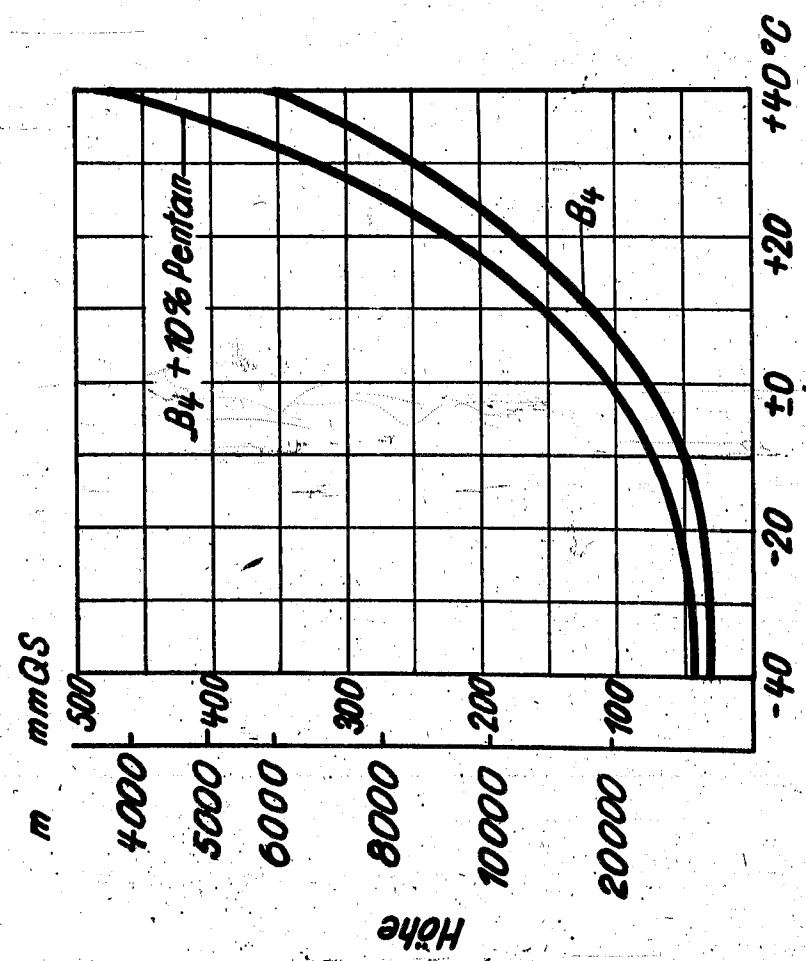


Bild 9

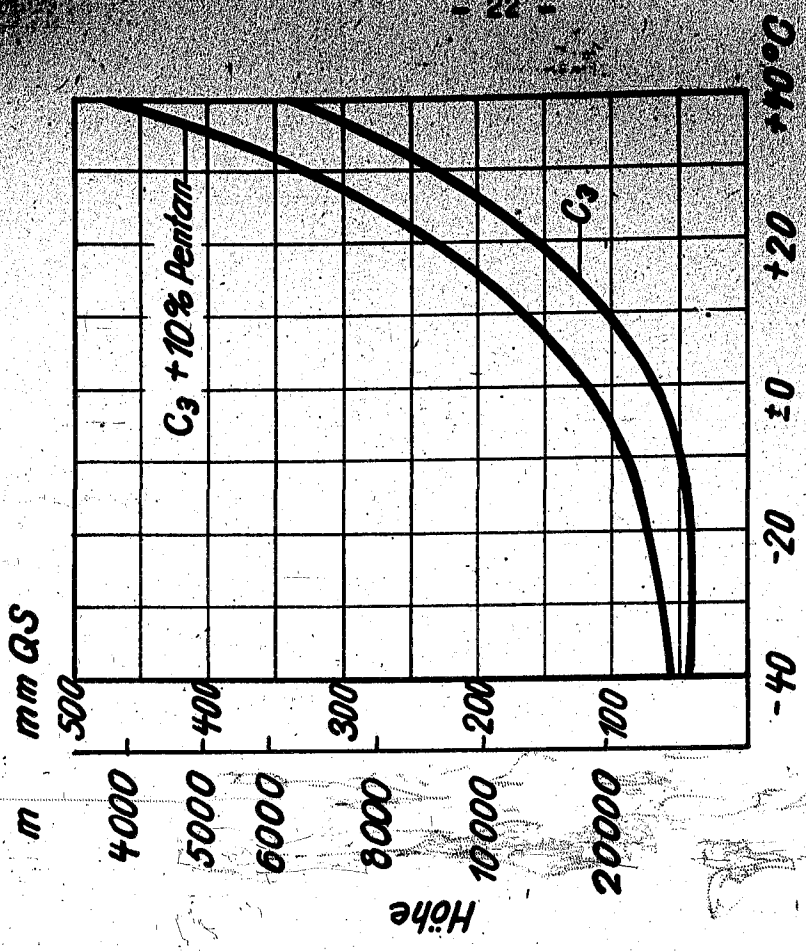


Bild 10

Bild 9 und 10 Dampfblasenbildung von Flugkraftstoffen in Abhängigkeit von Druck und Temperatur.

Die Kraftfahrzeugkommission

Forschungsstelle für Kraft-, Schmier- und Kühlstoffe

Leiter: Dipl.-Ing. Holzemüller

Geheim!
69 38 II. u. 92 b R St. G. B.

BAG Tarnort
3890 HANNOV.

Die Weitergabe dieses Monatsberichtes an nicht im Verteiler aufgeführte Dienststellen od. Personen ist nur mit Genehmigung d. Kfz. Komm. oder des Forschungskreisleiters zulässig.

A u s z u g

aus Aktenvermerk Nr. 107/44 vom 25.5.1944

Betr.: Kraftstoffe und Kühlmittel für Kfz. und Pz.Kpfw.
2. Arbeitstagung des Fo. Kr. 5 der Kfz. Komm. am 17.5.44
i. H. Daimler-Benz A.G., Gaggenau

1. Otto-Kraftstoffe.

a) Reid-Test oder neues Verfahren IfK Dresden?

Einleitend kurzer Überblick über frühere Arbeiten, die die Unzulänglichkeit des Reidtestes klargestellt und verbesserte Geräte zur Beurteilung der Dampfblasenbildung in Vorschlag gebracht haben:

Hammerich, Öl und Kohle 15, (1939) Seite 569 bis 577

Koch, Kraftstoff (194) Seite 205 bis 210

Schaub und Velde, ATZ 44 (1941) Seite 549 bis 556.

In dem von Hammerich vorgeschlagenen Prüfgerät wird eine "Abreißtemperatur" bestimmt; wesentlich ist, daß trotz der gesuchten Ähnlichkeit mit der Praxis und trotz der Erkenntnis, daß die Einpunktbestimmung, also z.B. Dampfdruck nach Reid, keinen Kraftstoff eindeutig charakterisieren lässt, unter Zuhilfenahme der "Flüchtigkeit" die Einpunktbewertung beibehalten wird. Mit Hilfe einer empirisch gefundenen Formel wird die "relative Abreißtemperatur" als neue Kenngröße vorgeschlagen.

Von Koch wurde das Hammerich'sche Prüfgerät in einer Abänderung benutzt, und es wurden mit dessen Hilfe die "wahren Abreißtemperaturen" verschiedener handelsüblicher Otto-Kraftstoffe bestimmt. Beim Vergleich der gemessenen "wahren" und der nach dem Vorschlag von Hammerich aus dem Dampfdruck nach Reid und der Flüchtigkeit errechneten "relativen Abreißtemperatur" ergab sich, daß bei elf geprüften Kraftstoffen nur in 2 Fällen gute Übereinstimmung besteht, daß also die nach Hammerich ermittelten Werte keine richtige Bewertung der Kraftstoffe in Bezug auf Dampfblasenbildung ermöglichen. (Vergl. Ref. Jantsch, Z VDI 86 (1942), Seite 722 bis 724). Die von Koch gefundenen Dampfdruck-Kennlinien geben, im logarithmischen Maßstab dargestellt gerade und zeigen für den Grenzwert von ca. 1 at. gute Übereinstimmung mit den im Prüfgerät gefundenen Abreißtemperaturen. Daraus wird die Regel hergeleitet:

Im Sommer darf die Dampfspannung von 1 at. nicht unter 60°, im Winter nicht unter 50° auftreten.

Mit dieser Regel kehrt also Koch doch wieder zur Einpunktbewertung zurück.

Ausgehend von der praktischen Erfahrung, daß die Betriebsverhältnisse des Motors weitreichenden Einfluß auf den Bereich der Arbeitstemperaturen der Kraftstoffe haben, verließen Schaub und Velde die "statische" Methode überhaupt und benutzen für ihr

EINLAGE
68314

3896 HANNOVER

"dynamisches" Prüfverfahren ein abermals abgewandeltes Gerät, das das Dampfdruckverhalten der Kraftstoffe unter solchen Bedingungen prüft, die den am Motor auftretenden sehr nahe kommen. Mit Hilfe dieser Einrichtung werden Abreißtemperaturkurven der Kraftstoffe in Abhängigkeit von der Fördermenge bzw. der Drehzahl aufgenommen.

Das Gerät der RCH ist in mehreren Stücken gebaut und wird laufend zur Beurteilung von Kraftstoffen bei der Ruhrchemie selbst und beim Heereswaffenamt benutzt.

Das IfK der TH-Dresden hat sich bei der Entwicklung des neuen Laborgerätes lt. Bericht Nr. B-93-I das Ziel gesetzt, mit Hilfe physikalischer Konstanten die Neigung der Kraftstoffe zur Dampfblasenbildung eindeutig zu charakterisieren; es kehrt mit diesem Vorschlag zu einem "statischen" Prüfverfahren zurück, glaubt aber trotzdem unter Hinweis auf Bild 5 des Berichtes, das im praktischen Betrieb zu erwartende Verhalten der Kraftstoffe voraussagen zu können.

Seitens des Heereswaffenamtes und der RCH wird die Geeignetheit des IfK-Verfahrens bezweifelt, wobei m.E. mit Recht darauf hingewiesen wird, daß viele Nebeneinflüsse des praktischen Betriebes nicht erfaßt werden können, und dass deswegen die Beurteilung der Kraftstoffe in ähnlicher Weise unsicher bleibt, wie bei den früheren Prüfverfahren. Die weitere Aussprache führte zu folgendem Beschluß:

" Mit 8 bis 10 Benzinproben, darunter Bo- und Spritgemische, die OKH, Wa Prüf 6, IVa, durch ZB zur Verfügung stellt, werden Vergleichsversuche zwischen dem RCH- und dem IfK-Gerät angestellt. Die RCH ermittelt in Verbindung mit "Rheinpreussen" bei den Kraftstoffproben gleichzeitig den Dampfdruck nach Reid und die Flüchtigkeit nach ASTM. Auf Veranlassung des Fo.Kr.5 der Kfz.-Komm. übermittelt OKH, Wa Prüf 6, einen Kriegsauftrag an Fa. Ruhrchemie, mit dem auch die bei "Rheinpreussen" laufenden Arbeiten gedeckt werden; der Auftrag hat folgenden Wortlaut:

" Kraftstoffbewertung hinsichtlich Dampfblasenstörung. Vergleichsversuche zwischen den Prüfgeräten der RCH und des IfK-Dresden."

den 20. Juli 1944

A k t e n n o t i z.Betr.: DampfblasenstörungBesprechung im I.f.K. der Technischen Hochschule Dresden
am 13.7.1944

<u>Anwesend:</u> Dr.-Ing.habil. Schildwächter	OKH HWA Prüf 6
Prof.Dr.R.v. Eberan	I.f.K.Dresden
Dr. Hanske	" "
Dipl.-Chem. Grünwald	Reichsinst.f.Erdölf.
Der Berichterstatter	" "

Es wird über die Arbeiten des Reichsinstitutes zur Prüfung eines Kraftstoffes hinsichtlich seines Dampfblasenbildungsvermögens berichtet.

Bei der Lösung der vorliegenden Frage sind die motorischen und kraftstoffbedingten Ursachen der Dampfblasenstörung zu unterscheiden. Der Motor und im besonderen das Fördersystem muß durch eine Kenngröße charakterisiert werden, die angibt, bis zu welchem Verhältnis von Dampf zu Flüssigkeit bei gegebener Tourenzahl die Pumpe Kraftstoff fördert. Für diese Kenngröße wurde die Bezeichnung "Kritisches Verhältnis" gewählt.

Der Kraftstoff kann dadurch gekennzeichnet werden, daß in einem Druck-Temperatur-Diagramm jene Linien eingetragen werden, die alle Wertpaare miteinander verbinden, bei denen der Kraftstoff gleiche Dampfmenen entwickelt hat. Diese Linien werden als Dampf- bzw. Flashisochoren bezeichnet. Im Bericht des I.f.K. wird grundsätzlich die gleiche Ansicht vertreten; es bestehen zwischen beiden Auffassungen nur geringfügige Definitionsunterschiede für die geforderten Kenngrößen; im Wesentlichen sind die vom I.f.K. geprägten Begriffe "Sicherheitsfaktor der Förderanlage" und "Kennlinien des Kraftstoffes" gleichwertig dem vom Reichsinstitut angewandten Begriffen "Kritisches Verhältnis" und "Dampf- bzw. Flashisochoren". Die Dampfisochorendiagramme von 5 Kraftstoffen werden erläutert (darunter 2 Reinstoffe - Benzol und Cyclohexan- und deren azeotropes Gemisch). Die Messungen wurden mit einer besonders einfachen Apparatur des Reichsinstituts durchgeführt und stimmen im grundsätzlichen vollständig mit den Erkenntnissen überein, die am I.f.K. mittels einer anders gebauten sehr zweckmäßigen Apparatur gewonnen wurden. Diese Versuchseinrichtung hat jedoch den Nachteil, mit Quecksilber als Sperr-

flüssigkeit zu arbeiten. Überdies sind die Druck- und Temperaturmessungen nicht völlig exakt durchführbar, da der Dampfraum über dem Kraftstoff nicht vollkommen im Temperaturbad liegt und die zur Druckmessung herangesogene Quecksilbersäule nicht gleichmäßig temperiert ist. Ein Rührmechanismus zur Erzielung einer einwandfreien Gleichgewichtseinstellung fehlt ebenfalls. Trotzdem charakterisieren die mit dieser Apparat erhaltenden Meßergebnisse die untersuchten Kraftstoffe.

Berichterstatter weist darauf hin, daß es sich bei den Dampf-bezw. Flashisochoren (Kennlinien) eines Kraftstoffes um Dampfdruckkurven handelt.

Im Gegensatz zu reinen Stoffen, bei denen der Dampfdruck nur eine Funktion der Temperatur darstellt, ist bei Kraftstoffgemischen der Dampfdruck gleichzeitig eine Funktion des zur Verfügung stehenden Dampfraumes. Infolge der großen Anzahl an Kohlenwasserstoff-Inhaltsstoffen eines Benzines verdampfen bei konstantem Druck und Temperatur je nach der Größe des vorhandenen Dampfraumes mehr oder weniger leicht siedende Anteile.

Die Dampfdruckkurve eines Benzines und damit die Flashisochore muß also für verschiedene Dampf-flüssigkeitsverhältnisse aufgenommen werden.

Dieser Weg wurde vom Reichsinstitut bereits besprochen und verspricht exakte Messungen auf einfachste Weise zu ermöglichen. Im Bericht des Reichsinstitutes ist daher die Darstellung der Dampfisochoren (gemäß der Dampfdruckformel) im $\log p - \sqrt{T}$ -Diagramm ausgeführt; daher erscheinen die Dampfisochoren in guter Übereinstimmung mit der Theorie als gerade Linien, wodurch sich die Darstellung wesentlich vereinfacht; überdies sind irgendwelche Anomalien besonders deutlich zu erkennen. Durch Vergleich der Dampfisochorendiagramme eines Crack- und eines Flugbensins konnte nachgewiesen werden, daß je nach dem kritischen Verhältnis (dem Sicherheitsfaktor) eines Motors der eine oder der andere Kraftstoff bei Normaldruck besser verarbeitet wird. Nach der Auffassung des I.f.K. (siehe Bericht Archiv-Nr. B/93/I Seite 4) können die Kennlinien der Kraftstoffe bei jedem beliebigen Wert von $K = 4 - 12$ ohne nennenswerten Einfluß auf die Bewertung verglichen werden. Hieraus ist zu schließen, daß es genügt, in der Reidbombe, d.h. bei einem konstanten Volumen-Flüssigkeitsverhältnis von 4,5 die Isochore aufzunehmen. Das gegebene Beispiel zeigt jedoch, daß für die verschiedenen "Kritischen Verhältnisse" eines Motors wesentliche Unterschiede bestehen können.

Auf Grund der Ausführungen kann als sicher angenommen werden, daß mit Hilfe der Flashisochore der Kraftstoff genügend genau charakterisiert ist. Berichtersteller forderte daher die Aufnahme des kritischen Verhältnisses einiger typischer Förderanlagen als Funktion der Drehzahl.

Prof.R.v. Eberan war in der Lage, dazu bereits ausgezeichnete Meßergebnisse vorzulegen; die Dampfblasenbildung wurde nicht durch Temperieren sondern durch künstlichen Zusatz bekannter Mengen von Luft in die Förderleitung erreicht.

Die vorgelegten Förder-Diagramme gestatten die Ablesung der Flüssigförderung, Gasförderung und der Gemischförderung für jede Drehzahl, so daß bei bekanntem Kraftstoffverbrauch jederzeit das "Kritische Verhältnis" (der Sicherheitsfaktor) eines bekannten Motors festgelegt werden kann.

Der Wert des Sicherheitsfaktors liegt z.B. bei einem 3,5 l - mit Solexpumpe bei etwa 6. Dieser Wert dürfte der niedrigste aller praktisch vorkommenden Sicherheitsfaktoren sein; (kleinste Pumpe bei größtem Zylinderinhalt). Die Aufnahme gleichartiger Diagramme für die praktisch größten vorkommenden Förder-systeme (in Panzermotoren), die wahrscheinlich die größten Sicherheitsfaktoren aufweisen werden, sind am I.f.K. in Angriff genommen und werden in nächster Zeit zur Verfügung stehen. Damit ist dann die Möglichkeit gegeben, die (Dampf-) Flashisochorendiagramme (Kennliniendiagramme) auf ihre praktische Verwendbarkeit zu überprüfen bzw. festzustellen, mit welcher Genauigkeit die wirkliche Abreißtemperatur vorhergesagt werden kann. Auf Grund der vorliegenden Berichte wurde folgender Arbeitsplan vereinbart:

Das I.f.K. übernimmt die motorischen Untersuchungen - weitere Überprüfung einiger typischer Fördersysteme sowie die praktische Feststellung der Abreißtemperatur - und den Vergleich dieser praktischen Ergebnisse mit den laboratoriumsmäßig mit Hilfe des I.f.K.-Gerätes gewonnenen Resultaten.

Das Reichsinstitut übernimmt eine möglichst breite praktische und theoretische Fundierung der vom I.f.K. und vom Reichsinstitut eingeführten neuen Laboratoriumsmethoden, insbesondere die Weiterentwicklung der Glasdruckmeßbombe zu einem einfach zu handhabenden, exakt messendem Laborgerät.

Dagegen verzichtet das Reichsinstitut auf die Durchführung eigener motorischer Untersuchungen, da bereits von seiten des I.f.K. ausgezeichnete Messungen vorliegen, die auch allen vom Reichsinstitut gestellten Forderungen gerecht werden. Lediglich

3896 HANNOV. F
einige Messungen wirklicher Abriebtemperaturen an fahrenden Motor werden vom Reichsinstitut ausgeföhrt, für welche bereits die Meßeinrichtungen am Wagen (Opel-Olympia) des Reichsinstituts montiert sind.

Archiv Nr. B-93-I

Seite 1

Dieser Bericht umfasst

5: Blatt

3: Schrift 4: Zeichnungen

und 1: Abbildungen

BAG

141091

31. Ausfertigung

8896

HANNOVER

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 Reichsverkehrsministerium

Verteilung und Veröffentlichung dieses Berichts, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Auftraggebers und Zustimmung des Instituts für Kraftfahrwesen.

Dresden, den 20. März 1934

Bl. 93

212-3-347

Kraftstoffbewertung hinsichtlich Dampfblasenstörung.

Die Benzinförderpumpen für Fahrzeug-Ottomotoren sind im allgemeinen mit Rücksicht auf die möglichen Störungen der Kraftstoffförderung u.a. durch die Benzindampfbildung in ihrer Förderleistung reichlich überdimensioniert. Tritt Dampfbläsung 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 Dampfblasen tritt jedoch Kraftstoffmangel im Vergaser ein, der eine Leistungsminderung, 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 Abreißtemperatur^{x)} 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. *meß?*

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^{x)} 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 Dampfform 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)

Faktor K geringe Flg. Mengen ergeben großen
Druckverl.
Atomflg - an?

s. Schriftumsverzeichnis auf S. 4

* Hg Parabol
** Gleichgewicht

DAG

Archiv Nr. B-93-I Seite 3

8896

HANNOVER

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 Hahnküken steht, die Pipette dann durch den Hahn abgeschlossen und bis zur Eichmarke mit der zu untersuchenden Benzinprobe 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 leichtsiedendem Benzin muß die Probe erst tief gekühlt werden (Butan -30°), damit sich nicht schon beim Einfüllen die niedrig siedenden Bestandteile verflüchtigen. Danach kann die Druckvolumenmessung für eine bestimmte Temperatur durchgeführt werden.

Wird bei höherer Temperatur gemessen, so muß erst die Füllung bei Raumtemperatur vor sich gehen und erst dann darf der Heizmantel auf die gewünschte Temperatur gebracht werden, da sonst bereits beim Einfüllen die Benzinprobe teilweise verdampft. Ist die geforderte Temperatur $t_B = t_A$ erreicht, so wird der Anfangszustand abgelesen. Die gemessenen Größen sind:

- 1) Quecksilberhöhe im linken Schenkel Hg_L (mm),
- 2) Quecksilberhöhe im rechten Schenkel Hg_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 Benzinprobe steht, abgesenkt. Das diesem Druck zugeordnete Gesamtvolumen des flüssigen und verdampften Kraftstoffs wird auf Grund der Volumeneichung aus Hg_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

$$\Delta Hg = Hg_L - Hg_R$$

und dem Barometerstand B wird der absolute Druck ermittelt,

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

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 unterschiedliche 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

*Hier mitzufassen
wegen Loub.*

3896 HANNOV

durch Klopfen an das U-Rohr gestört werden kann, da dann aus dem flüssigen Benzin neue Gasblasen in den Gasraum aufsteigen. Die Genauigkeit der Messung ist nicht zu hoch einzuschätzen, sodaß 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 gehörigen Drücke P_{abs} , für konstante Temperaturen, für Gemisch Tel, Tel + 10% Butan und Gembo-Sprit in den Diagrammen 2-4 dargestellt. "Tel" als ein Gemisch von hochsiedenden Anteilen erreicht einen niedrigen Druck bei der Ausdehnung auf das Mehrfache des Ausgangsvolumens. Anders verhält sich Tel + 10% Butan, da Butan ein sehr niedrig siedender Anteil ist. Die Druckvolumenkurven bei Tel wurden bei abfallendem Druck und bei ansteigendem Druck gemessen. Es ergeben sich zwei Kurven, da beim ansteigendem Druck nicht wieder so viel einkondensiert, als beim absinkenden verdampft ist. Der Kondensationsverzögerung ist demnach größer als der Siedeverzug, der sich bei der Messung mit abfallendem Druck deutlich bemerkbar macht. Der Abstand beider Kurven wächst mit steigender Temperatur, da dort das Gleichgewicht der beiden Phasen am labilsten ist, und außerdem mit der Entfernung des Druckumkehrpunktes vom Ausgangsvolumen V_0 , also mit dem Verhältnis

$$K = V : V_0$$

Dieses Volumenvergrößerungsverhältnis K ist ein Maß, um verschiedene Benzine in Abhängigkeit von Druck und Temperatur vergleichen zu können. Das Schaubild 5 zeigt die Drucktemperaturkurven für alle drei Gemische bei $K = \text{konstant}$, also bei einer bestimmten Volumenzunahme. Die drei Kraftstoffe zeigen grundsätzlich verschiedenes Verhalten. Bemerkenswerterweise können die Kennlinien der Kraftstoffe bei jedem beliebigen Wert von K ($K = 4-12$) ohne nennenswerten Einfluß auf die Bewertung verglichen werden.

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

- Gemisch Tel + 10% Butan 35 °C,
- Gembo-Sprit 46,5 °C,
- Gemisch Tel 66,5 °C.

Gemisch Tel + 10% Butan wird demnach am stärksten zur Dampfblasenstörung neigen. Das Gemisch Tel ist demgegenüber bei hohen Außentemperaturen und Erwärmung der Kraftstoff-Förderanlage am unempfindlichsten. Die Ergebnisse dieser Messungen werden derzeit in einer beheizten Kraftstoff-Förderanlage nachgeprüft.

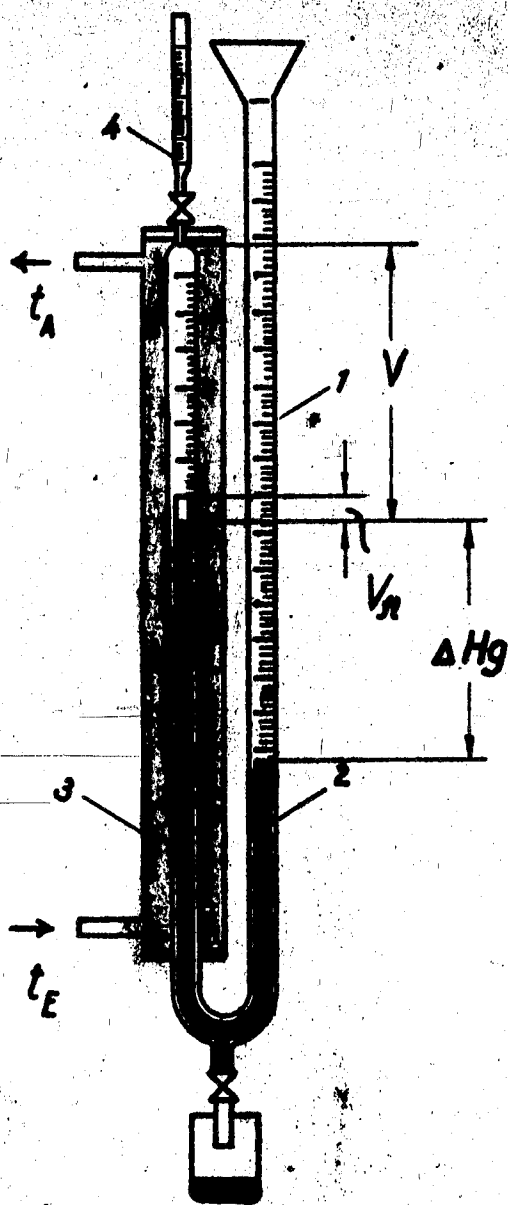
Dresden, den 30. März 1944

Institut für Kraftfahrwesen

Schaub

x) Schrifttumsverzeichnis:

- Th. Hammerich: Die Bewertung von Leichtkraftstoffen hinsichtlich ihrer Neigung zur Dampfblasenbildung - Öl und Kohle 1939, Heft 29 - ZVDI 1940, Heft 17 (Ausz.)
- 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.

Bild 1

Druck - Volumen Meßapparatur
für Kraftstoffe

- 1 Manometer U-Rohr
- 2 Quecksilberfüllung
- 3 Heizmantel
- 4 Meßpipette

V_{fl} = Volumen des flüssigen
Anteils der Probe

$V - V_{fl}$ = Volumen des gasförmigen
Anteils der Probe

V = Gesamtvolumen

B = Barometerstand

ΔHg = Differenz der Quecksilber-
säulen

$B - \Delta Hg$ = Absoluter Druck P_{abs}

$t_A \approx t_E$ = Temperatur im Heiz-
mantel

Bilder

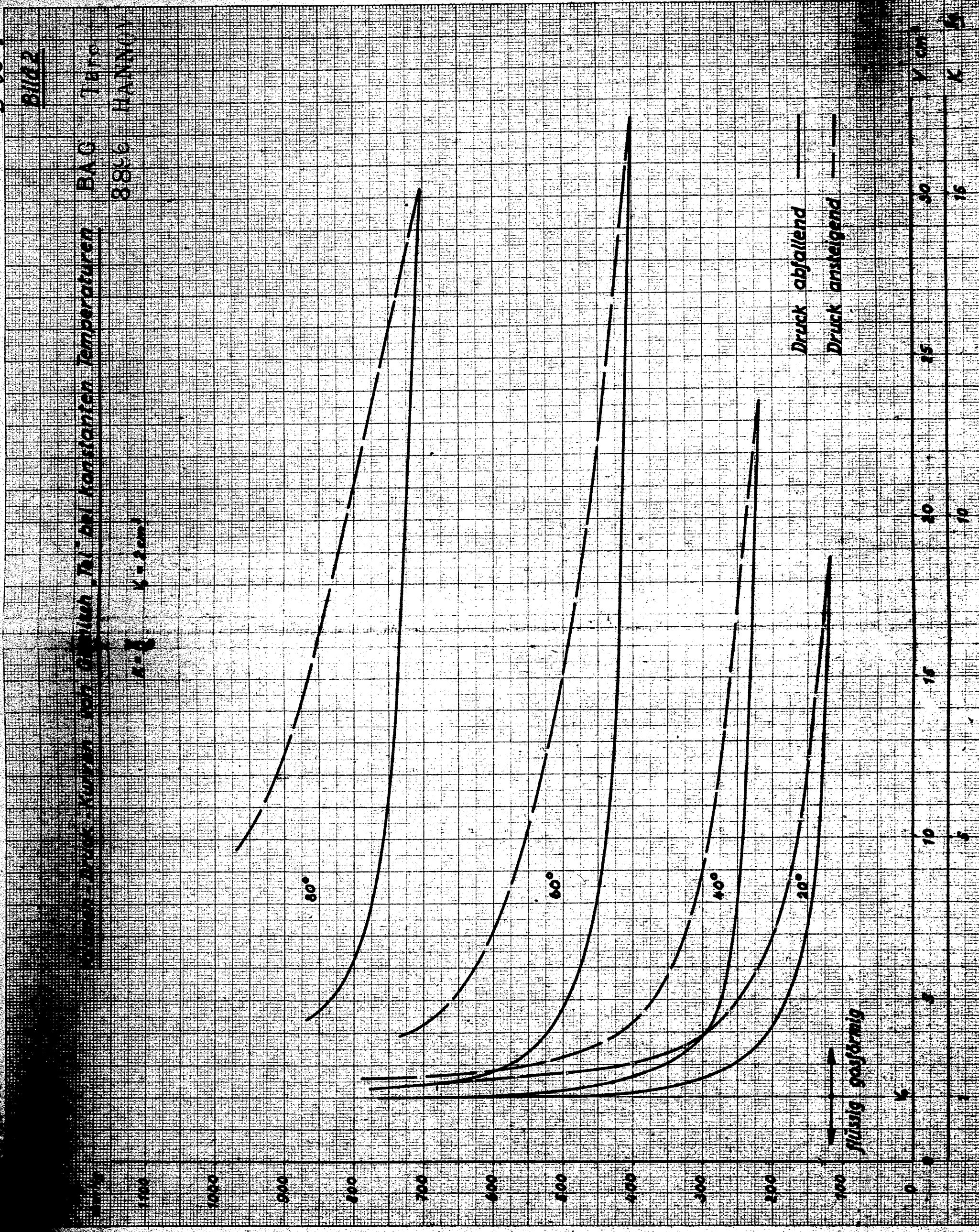
Kurven des Druckes p in Atmosphären p_{atm} bei konstanten Temperaturen

BA G

Tief

3896 HANNING

$\rho = 2,200$



BAC 71101
9806 11/11/10

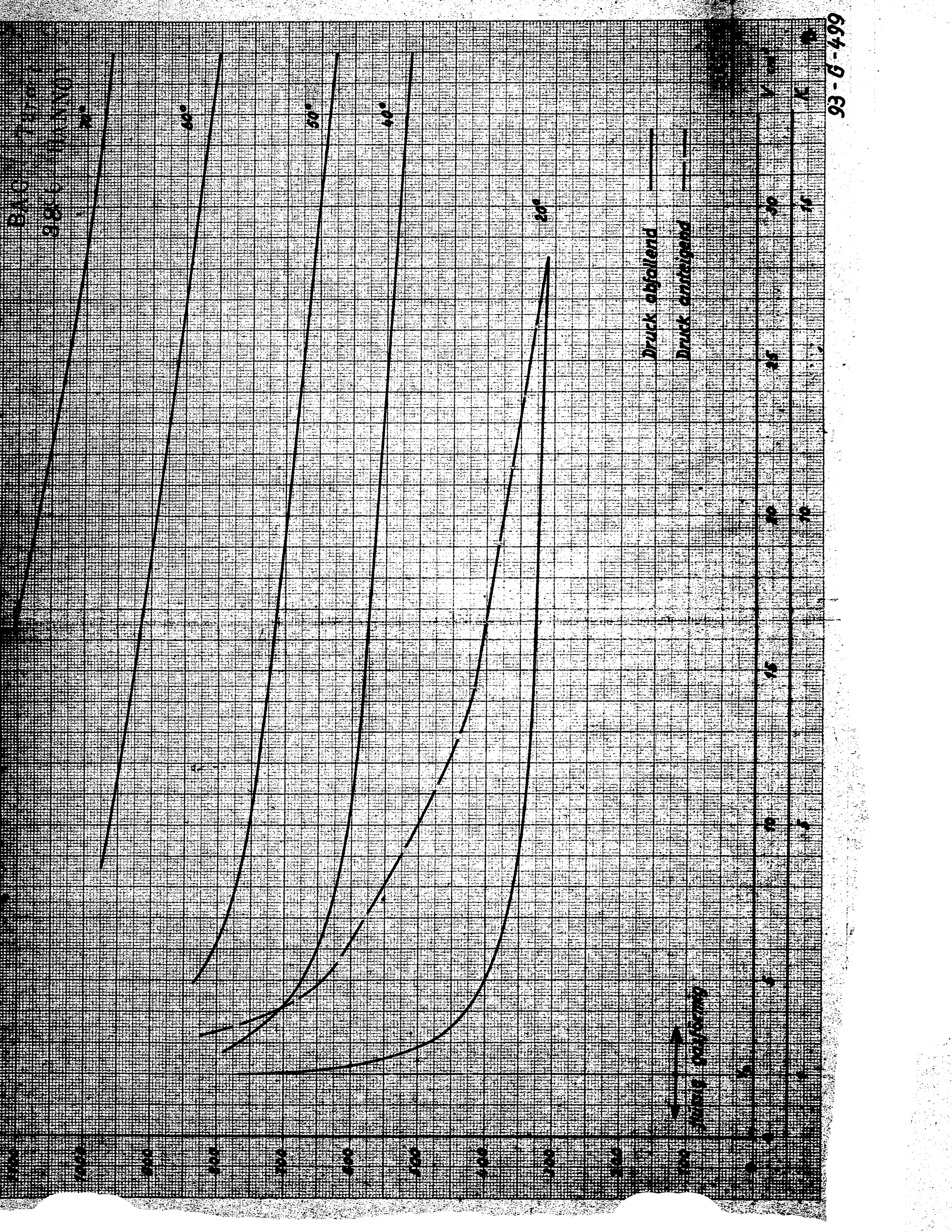


Bild 4

Volumen-Druck-Kurven von Gemisch "Gumbo Spirit" bei konstanten Temperaturen

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

BA G 1875
8896 HANNOV

70°

60°

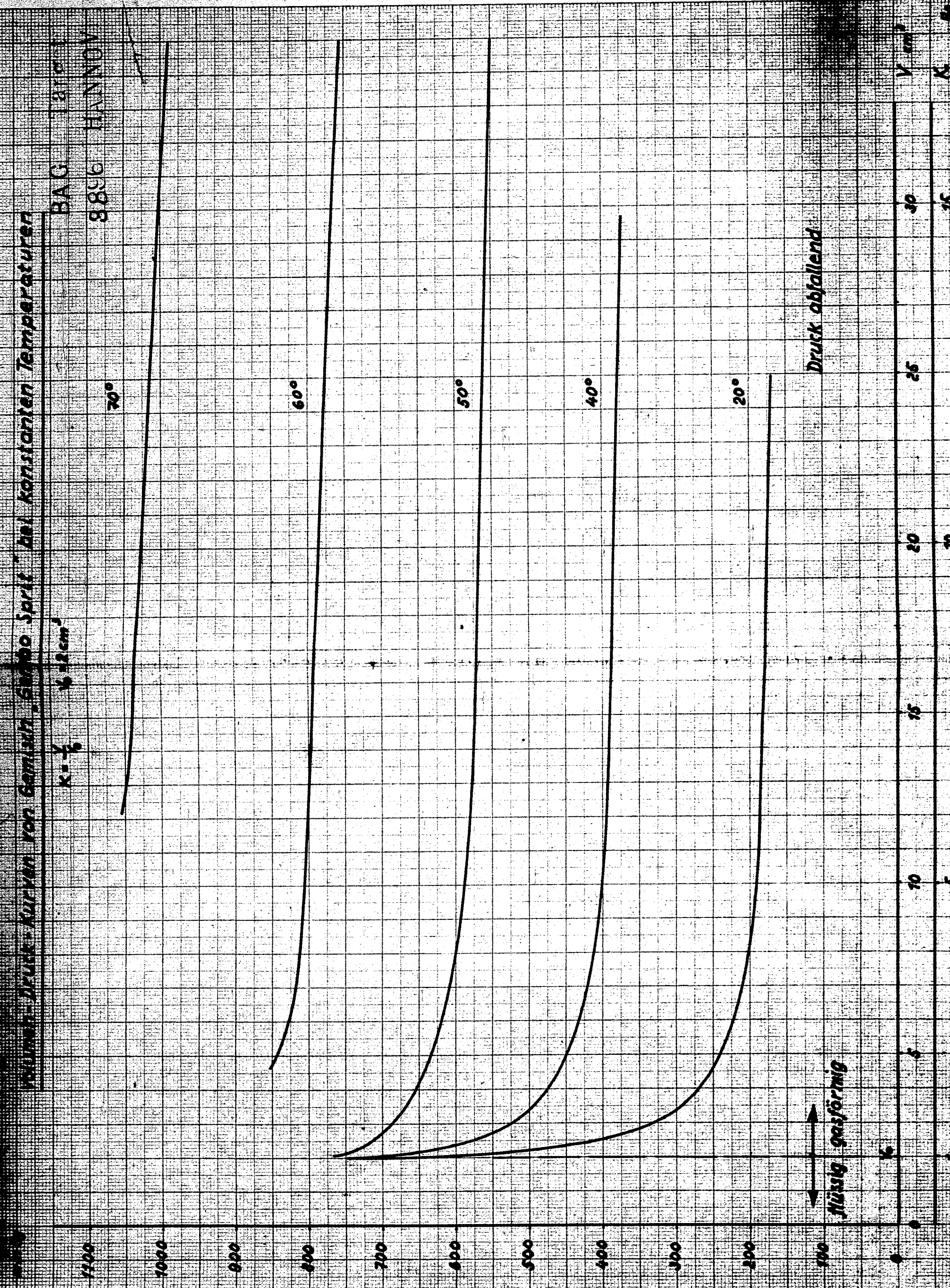
50°

40°

20°

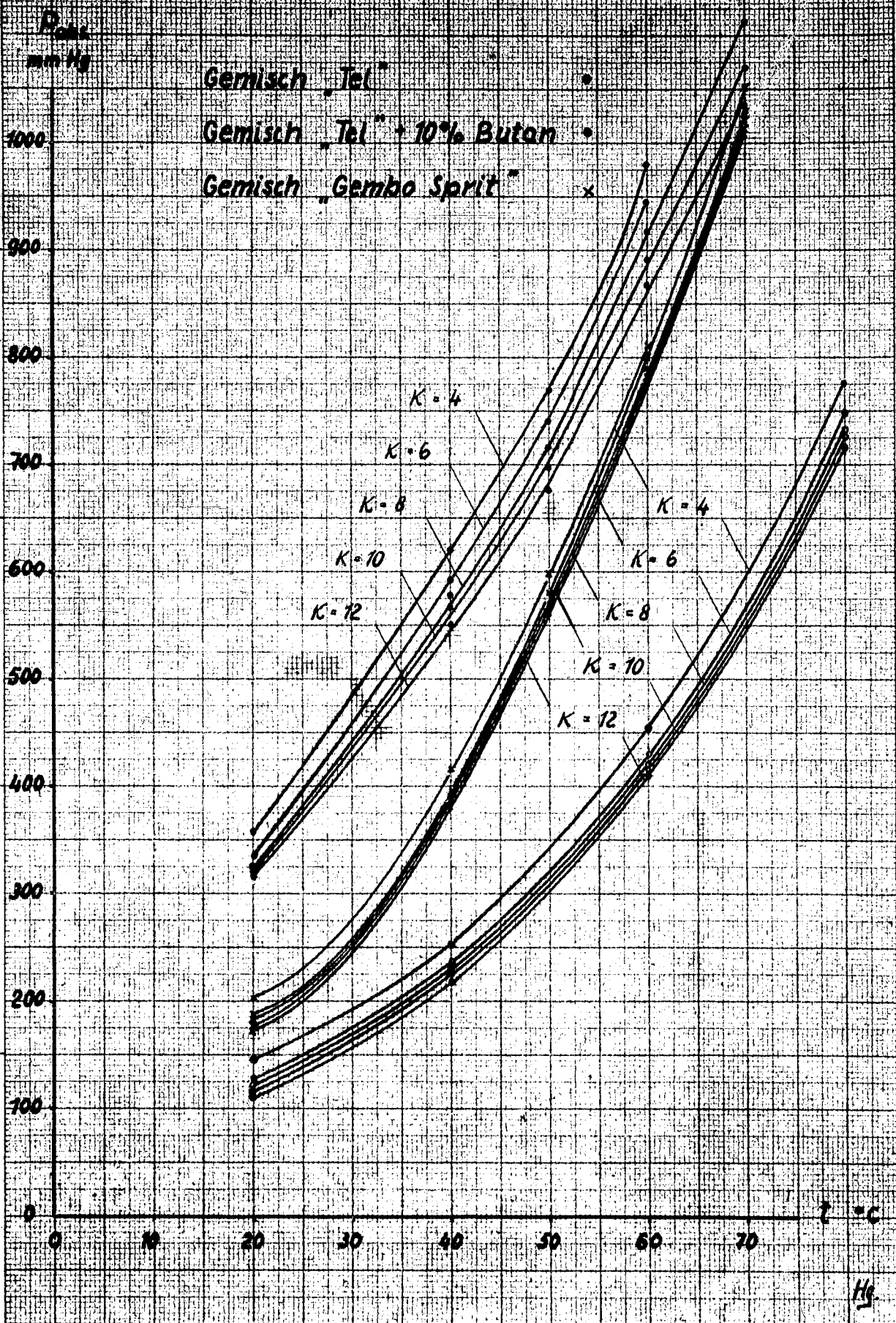
flüssig gasförmig

Druck abfallend



Druck-Temperatur-Abhängigkeit von Benzol

$K = \frac{1}{2} = \text{konst.}$ $V = 2 \text{ cm}^3$ 98-6 HANNOV.



Zusammenfassung

Über den Bericht zum Forschungsauftrag:

"Die Ausbildung einer Apparatur zur Bestimmung der Benzin-Abreistemperatur in Flugmotoren".

Bei dem Einsatz in Afrika, Sizilien und während der Sommermonate im Osten sind bei Kraftfahrzeugen und Panzern infolge Dampfblasenstörung erhebliche Schwierigkeiten aufgetreten; das Gleiche gilt für die Luftwaffe, nach dem infolge der Entwicklung während der Kriegszeit, immer größere Flughöhen erreicht wurden. Es war darum nötig, ein einwandfreies Gerät zur Bestimmung der Dampfblasenstörung in Auto- und Flugmotoren zu entwickeln. Die vorliegende Arbeit unterbreitet geeignete Vorschläge. Durch Aufnahme exakter Kennlinien (Flashisochoren) ist es möglich, den Kraftstoff einwandfrei zu charakterisieren. Hierdurch ist der Kraftstoffhersteller in der Lage, ein Maximum an Butan bei der Stabilisierung im Benzin zu belassen.

Es ergeben sich folgende Vorteile:

- 1.) Die Kraftstoffdecke Deutschlands kann gestreckt werden.
- 2.) Die Klopfestigkeit erlangt infolge des zulässigen Maximalgehaltes an Butan einen Höchstwert.
- 3.) Die für die Startfreudigkeit erforderlichen leichten Kohlenwasserstoffe bleiben ebenfalls im größtmöglichen Ausmaße im Benzin.

Die Fronttruppe ist mit dem beschriebenen Gerät (Abschnitt 41 S.21) in der Lage, die Einsatzfähigkeit aller zur Verfügung stehender Benzine zu prüfen.

Reichsinstitut für Kraftstoffforschung Hannover, den 7.7.1944.
der Technischen Hochschule Braunschweig

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.Warder: Motorkraftstoffe I, Seite 160 ff.); doch erwiesen sich alle derartigen Versuche als unzulänglich, sobald Kraftstoffe von stark unterschiedlicher Zusammensetzung vergleichend 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°C (=100°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 möglichen Kenngrößen die Charakterisierung des Kraftstoffes versuchen. Zur zweiten Gruppe sind jene Arbeiten zu zählen, die den Versuch unternehmen, den Kraftstofffördermechanismus des Motors modellmäßig möglichst genau

nachzuziehen 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 abnormal 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 Kraftstoffinhaltsstoffen) bei konstanter Temperatur ein bestimmter Druck unterschritten, oder bei konstantem Druck eine bestimmte Temperatur überschritten wird, werden die leichten Anteile des Gemisches herausgelassen; damit wird es auch im geschlossenen System zur Ausdehnung

einer Dampfblase bilden. Weiterhin wird auch die Menge des gebildeten Dampfes (abhängig auf die Menge des ursprünglich verdampften geschlossenen 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 in gleichen Motor bei denselben kritischen Verhältnissen ihre Abreißtemperatur

erhalten werden, da aber dieses kritische Verhältnis (das genaue Verhältnis von Dampf- zu Flüssigkeitsvolumen, bei dem die Dampfblase nicht mehr ausreichend Kraftstoff zu fördern vermag) als **K e t e 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 **Aussendruck** 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-

das gleiche Dampfvolumen (bzw. mit dem Flüssigkeits-
 Siedepunkt) entwickelten haben. Der Verlauf dieses Flashisochore
 dieses Stoffes unterer Dichtig nach ein einwirkendes
 Kriterium zur Beurteilung eines Kraftstoffes hinsichtlich
 seines Dampfdruckverhaltens dar; die Bewertung
 braucht nicht mehr bei bestimmten Aussendruck in einer fest-
 gelegten Förderanlage, also als Einpunktbewertung zu erfol-
 gen, sondern läßt die Ermittlung der Abreißtemperatur für
 jeden Motor bei beliebiger Drehzahl und beliebigem Aussend-
 ruck 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 Dampfblasen-
 störung 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 Verhält-
 nisse 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 Tempe-
 ratur, bei der sich über einer bestimmten Flüssigkeitsmenge
 ein bestimmtes Dampfvolumen entwickelt hat; der 10% -

Punkt erfüllt aber bei verschiedenen Kraftstoffen - entsprechend der unterschiedlichen Zusammensetzung der Dämpfe (verschiedene Molalitätsfracht!) immer ein anderes Dampf-volumen, weil er je die Menge der aus dem Dampf rückkonden-sierten 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 ausschlag-gebender 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 Dampfbla-senbildung 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 Schwierig-keit bestehen.

Der 10% - Punkt mag daher zusammen mit dem Dampfdruck-wert nach Reid für Kraftstoffe *e i n h e i t l i c h e r* Herkunft und Verarbeitung und damit ähnlicher Zusammen-setzung 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 der Kenntnis des Dampfdruckes in der Reidbombe bei 37,8°C (=100°F) oder selbst über ein Temperaturintervall ist eben-falls 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:

Vergleichsflüssigkeit - 2 (p.t)

Nach der von uns gewählten Ausdruckweise wird nach Reid also lediglich die e i n e 4,5-Flashisochore festgestellt (streng genommen sogar nur e i n Punkt der Isochore, 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 Wasserglockengerätes:

Man füllt das Gerät bis zur Ausweitung des Sperrflüssigkeitsabklärers (7) mit Wasser, steckt 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 Hüppler auf die gewünschte Temperatur und legt schrittweise Va uum 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 Druckmessung mit einem bekannten Stoff höchster Reinheit (z.B. Benzol p.A.) zu sichten.

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 nicht 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 allzu großen Fehler, wenn wir die Beurteilung der untersuchten Kraftstoffe mit Hilfe der Dampfisochoren statt der Flashisochoren vornehmen.

Es erweist sich als zweckmäßig, als Sperrflüssigkeit bei Normaldruck und im Vakuum gut ausgekochtes Wasser zu verwenden; eine Störung durch Luft- oder Wasserdampfblasen läßt sich dann sicher vermeiden. Indessen konnte gerade bei besonders sorgfältigen 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 Meßrohrs(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 cm³ (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

BAG Tero
3886 HANNOV

einen 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 reines 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 Dampfentwicklung (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 Dampfisochorendiagramm; 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 einpipettierten 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 Kraftstoffes 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 von 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 höherem kritischen 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 e t 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 **w ä h r e n d** der Messung: Die Dampfisochoren 1¼, 2½ 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 O_x - Punkt bedingen; daher ist eine destillative Entfernung dieser Verunreinigungs Spuren 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 einfache 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 cm^3 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

Niveauröhr (5) übergeht, das parallel zum Meßrohr (4) nach oben geführt ist und in ein drittes Vorratsgefäß (1c) mündet. Niveauröhr 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 Niveauröhr über einen Vakuumschlauch mit einem beweglichen Niveaugefäß (6) verbunden werden; Meßrohr (4) und Niveauröhr (5) sind von einem Heizmantel für Thermostatheizung (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 Niveauröhr auf die gewünschte Temperatur gebracht; durch Senken des beweglichen Niveaugefäßes (6) kann man auch im Niveauröhr (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 Kraftstoffilm 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 Kraftstoffilm 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.) A n d e r e W e g e z u r E r m i t t l u n g d e r F l a s h i s o c h o r e n :

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 b e s t i m m t e s 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-Flüssigkeitsvolumverhältnis) darstellt, zeigt das Dampf- bzw. Flashisochorendiagramm die Abhängigkeit des Dampfdruckes von der Temperatur u n d 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 verschieden 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 Vorversuch: 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 *d u r c h* und *i n* 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 *n i c h t* nach dem Gangesetz, 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 wurde und setzten dann erst die Bombe zusammen; anschließend führten wir die Dampfdruckbestimmung wie üblich durch; die erhaltenen Dampfdruckkurven wurden zu einem Dampfisochorendiagramm vereinigt. Die Verhältnismerte 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 Crackbensins 2. So fehlerhaft die Messungen jedenfalls sind (z.B. ist das Auseinanderstreben der Dampfisochoren mit *s t e i g e n d e m* 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

Bereich mit engen Siebgrößen; hier erwies sich die Streuung der Messungen als so groß, daß eine einwandfreie Trennung der einzelnen Dampfphasen 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 Vakuum-

schlechten schon vor der Einführung der der Probe ver-
wendeten Stoffe durch Annehmen der Schwingweite an den
beiden Enden (8 und 9) wird die Probe abgemessen.
Die Probe wird unmittelbar während der Messung geschüttelt werden kann, wird der Gleichgewichtszustand in kürzester Zeit erreicht. Mit Hilfe der Kali-
brierung ist die Ermittlung des Kraftstoff-Volumens
leicht möglich. Dadurch ist die Aufnahme eines F l a s h -
i s 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 Volumver-
hältnis 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, erfährt
also die rein motorischen Ursachen der Dampfblasenstörung.
Die Ermittlung des kritischen Verhältnisses müßte am besten
praktisch durch einmaligen Testversuch mit einem Reichkraft-
stoff 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 bestimmter Temperatur bzw. bestimmten Druck auch in
geschlossenen System steigende Mengen von Dampf zu ent-
wickeln; bei der Temperatur und dem Druck, bei welchem

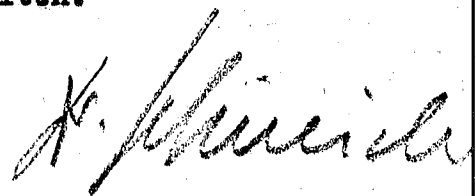
Das sich stabilisierende Verhalten des Dampf- zu Flüssigkeitsverhältnis des kritischen Zustands sowie dessen Erreichung, bildet die Hauptleistung. Es ist selbst der Begriff der Phasengleichgewichte eingehend diskutiert.

Zur Charakterisierung des Kraftstoffes und daher seine Fähigkeit, bestimmte Dampfungen 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 Dampfungen 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 einsetzreifen 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. G r ü n w a l d.

Dr. K. W. Schneider,

Kenn. Leiter.

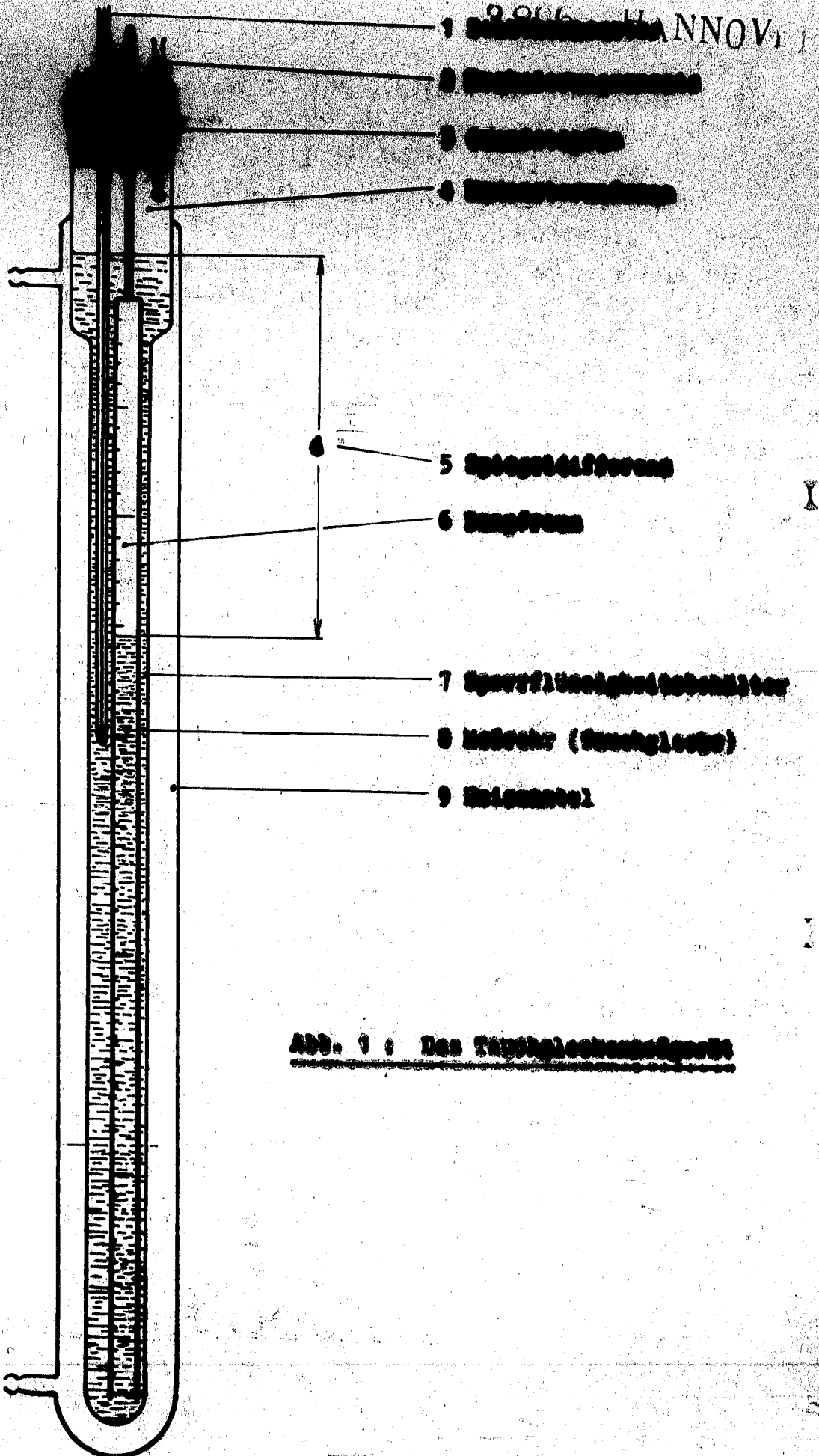


Abb. 1 : Das Tuchglasgefäß

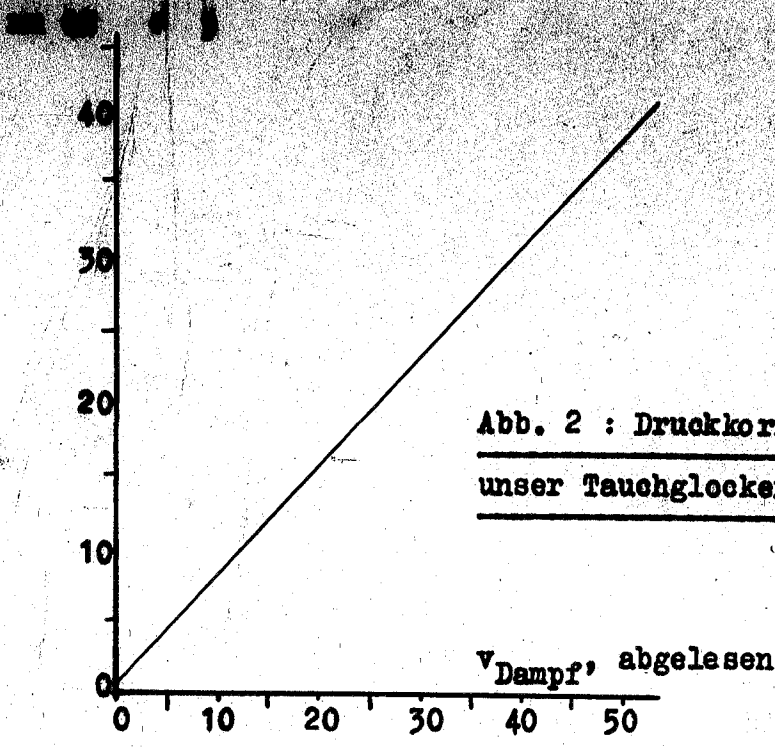


Abb. 2 : Druckkorrektur - Diagramm für unser Tauchglockenmeßgerät

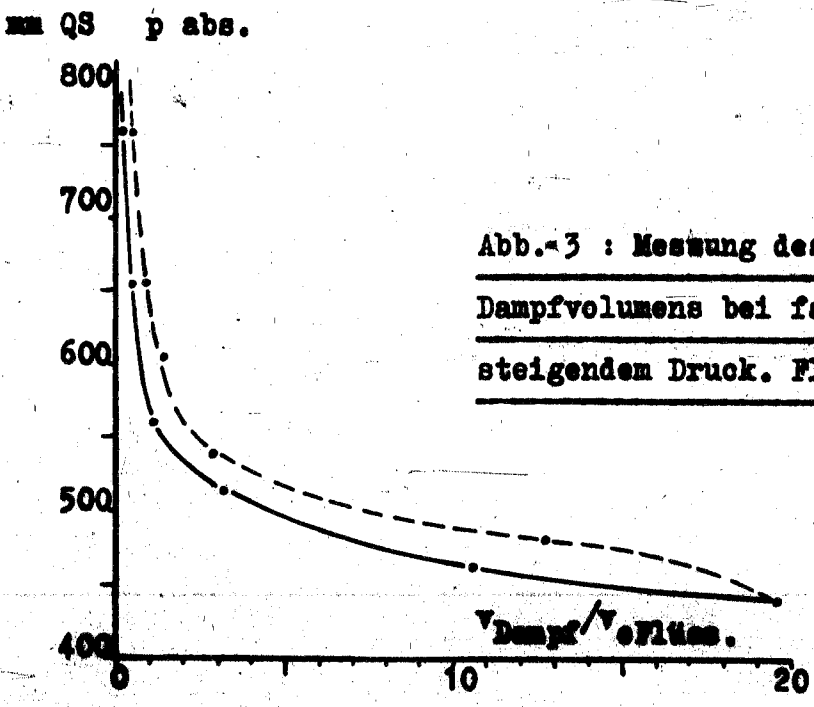


Abb.-3 : Messung des entwickelten Dampfvolomens bei fallendem und steigendem Druck. Flugbenzin, 50 °C

mm Q8 p abs.

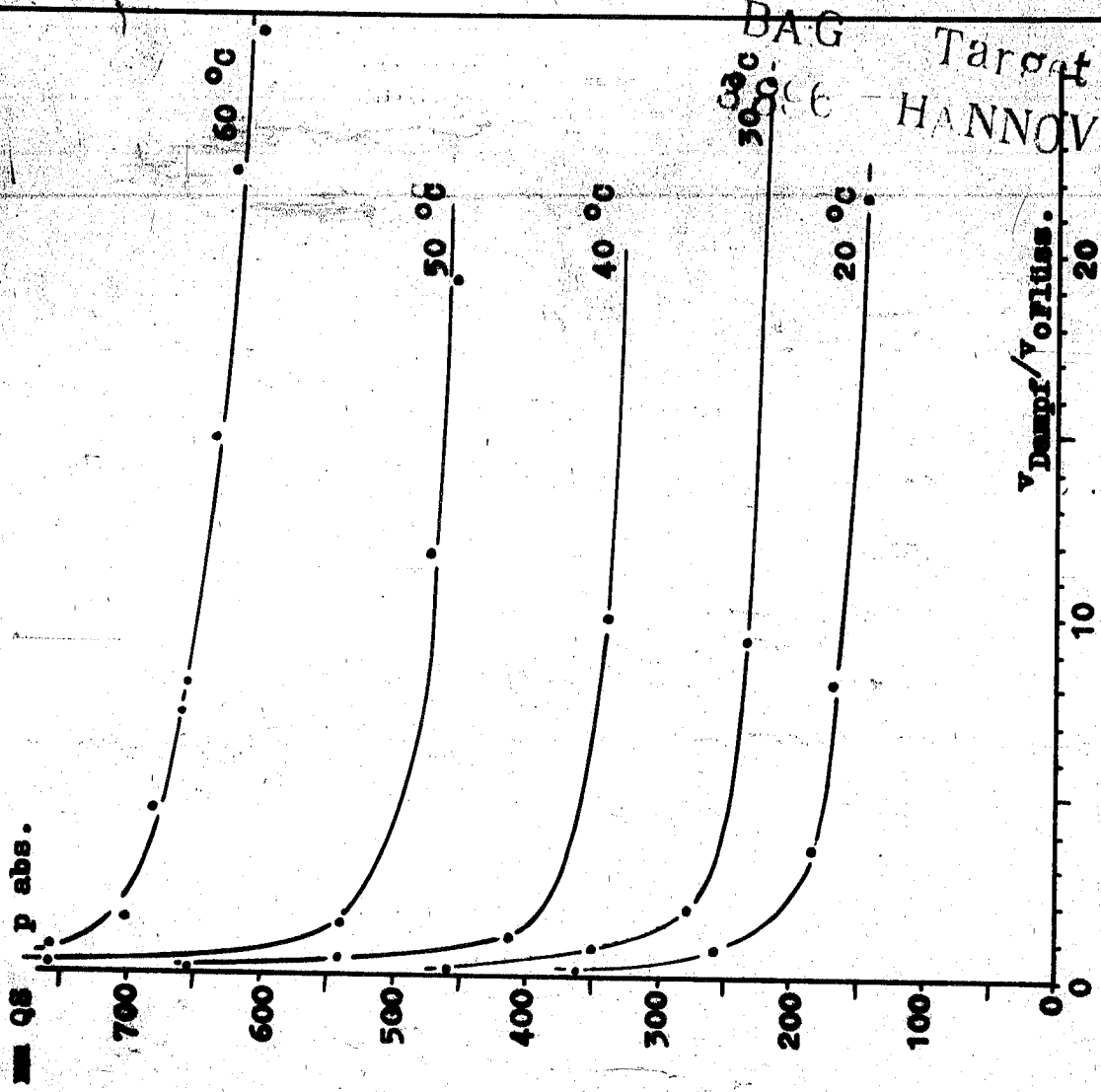


Abb. 5 : Flugbenzin

mm Q8 p abs.

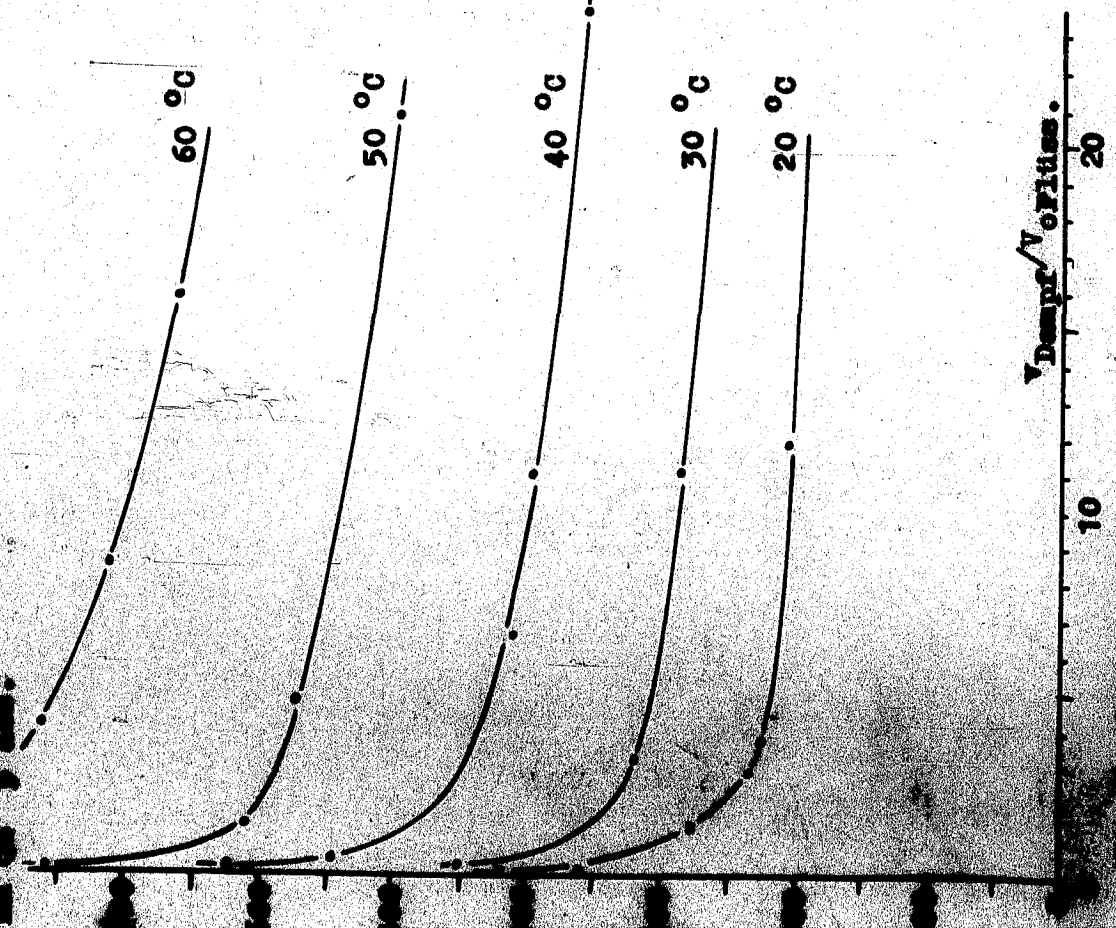
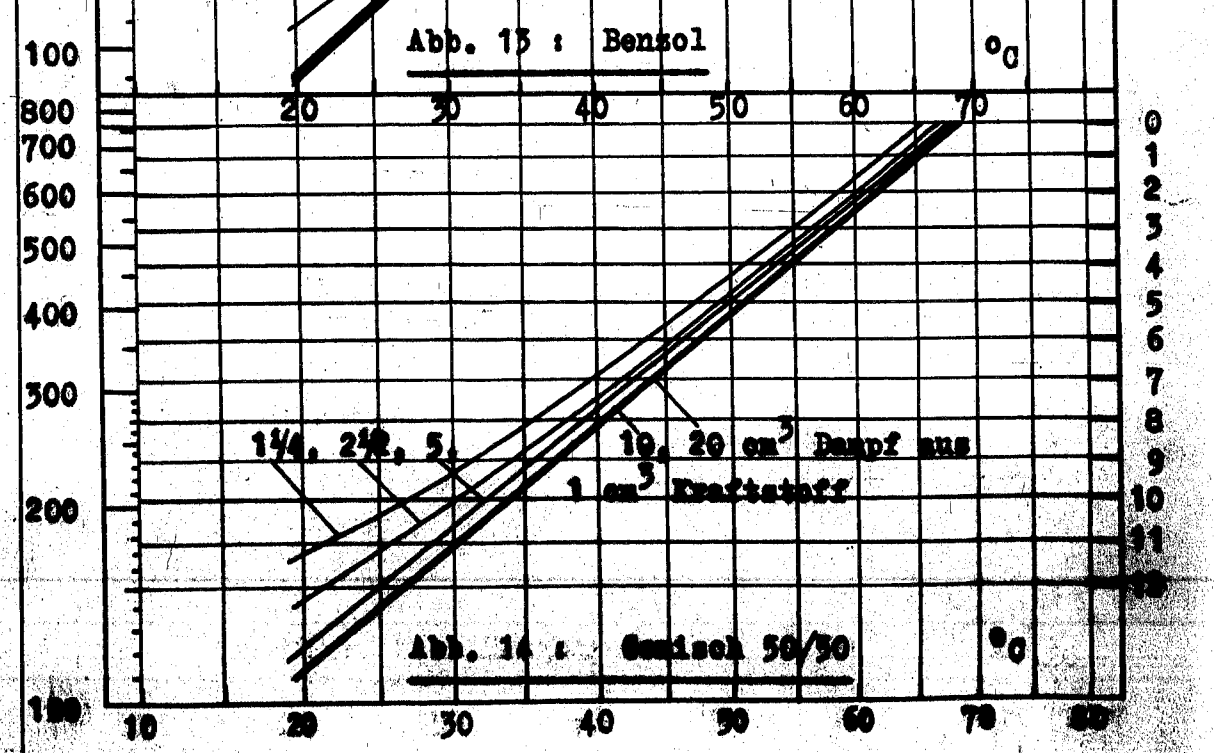
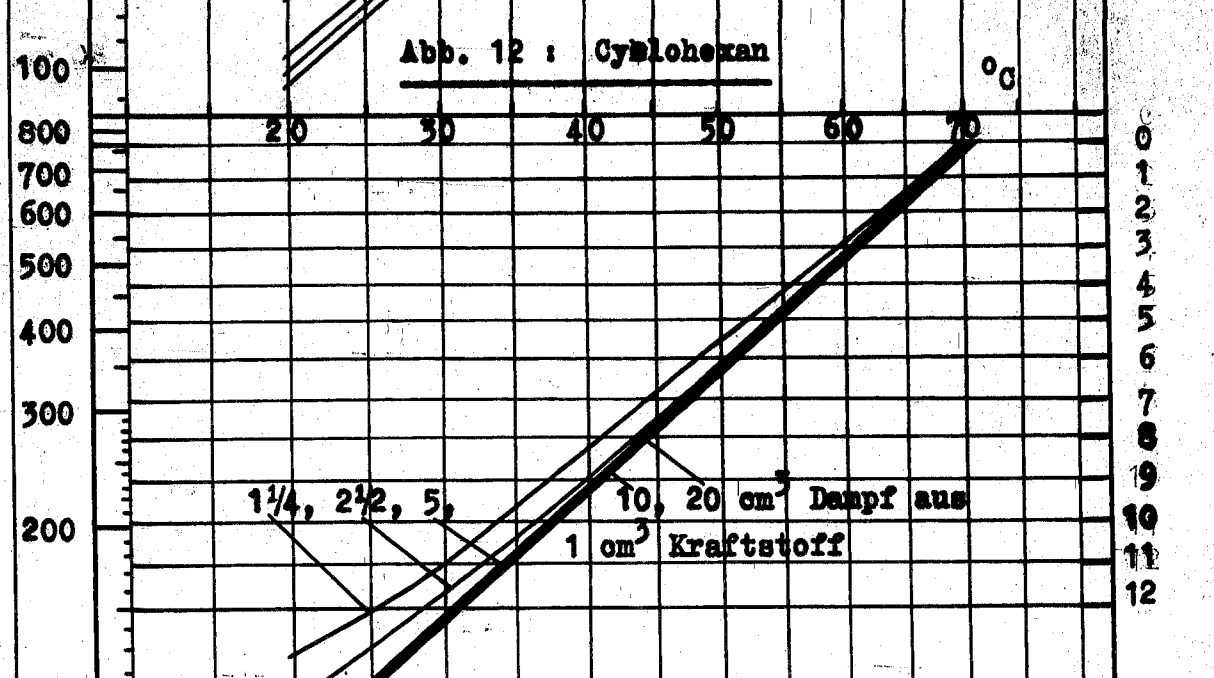
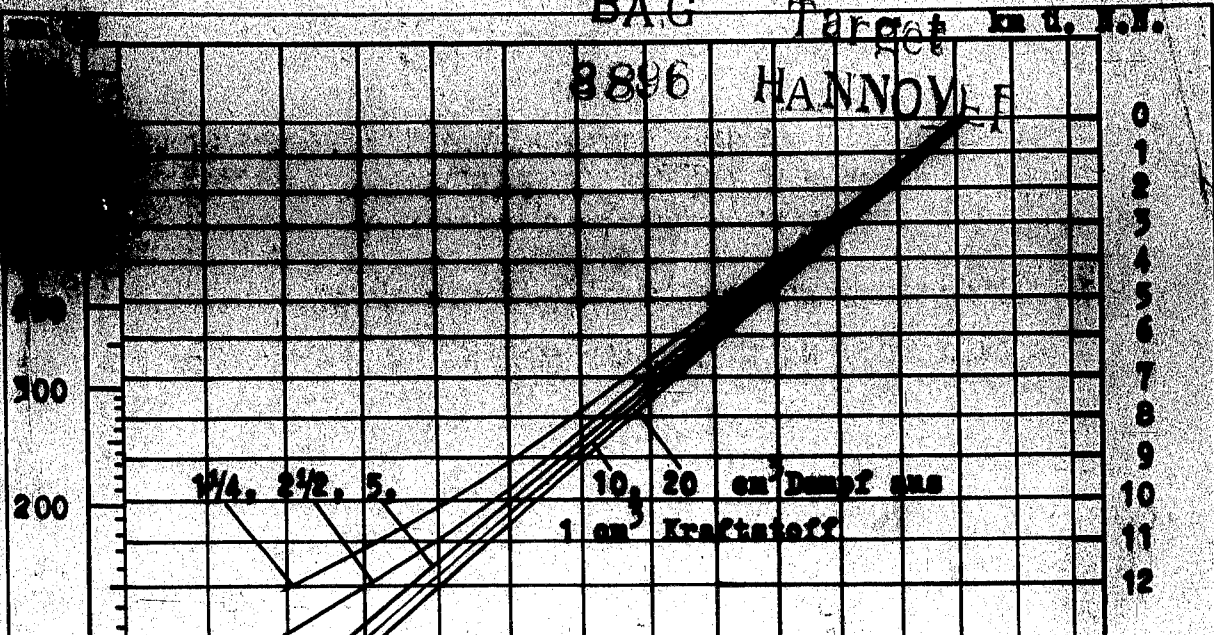


Abb. 6 : Flugbenzin

BA-G Target
30°C
HANNOV.



0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

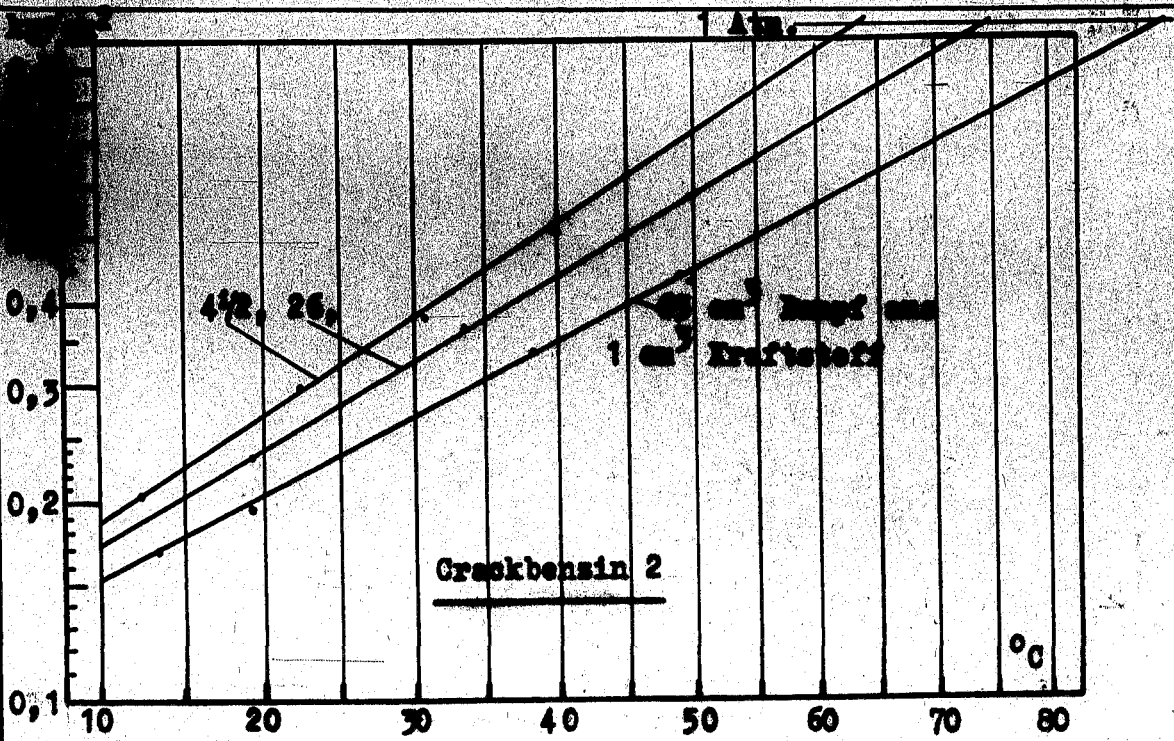
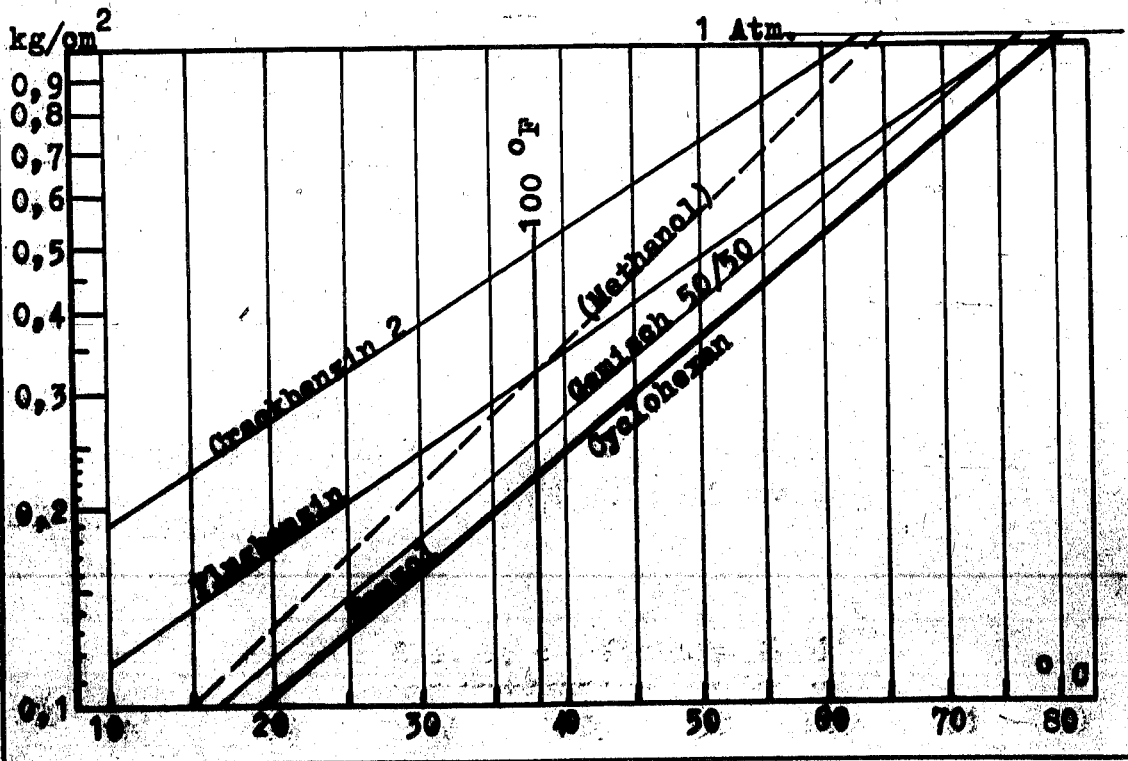


Abb. 15 : Mit Hilfe der Reiddombe aufgenommenes Dampfisochorendiagramm

BAG Target
3896 HANNOVER

Abb. 16 : Die Reiddampfdrucke der untersuchten Kraftstoffe



BAG Target
8896 HANNOV.

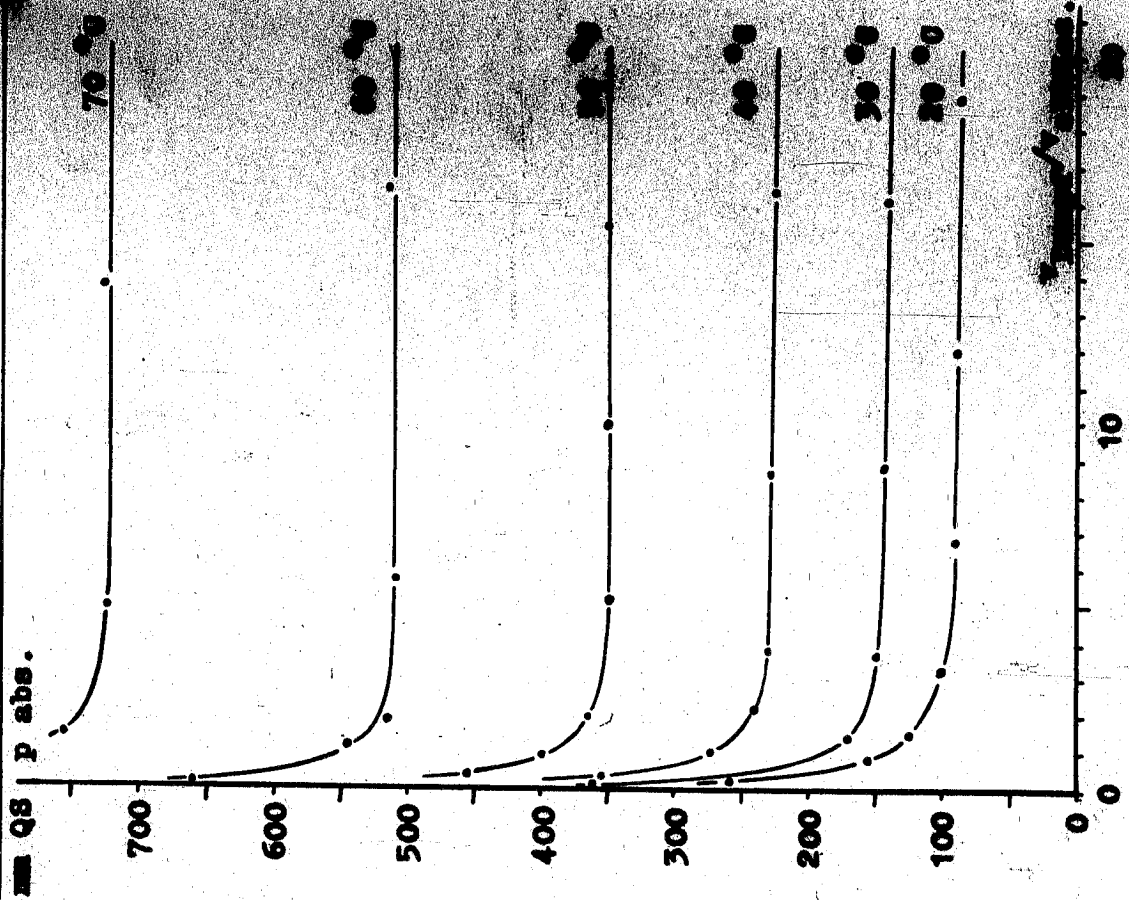


Abb. 7 : Benzol

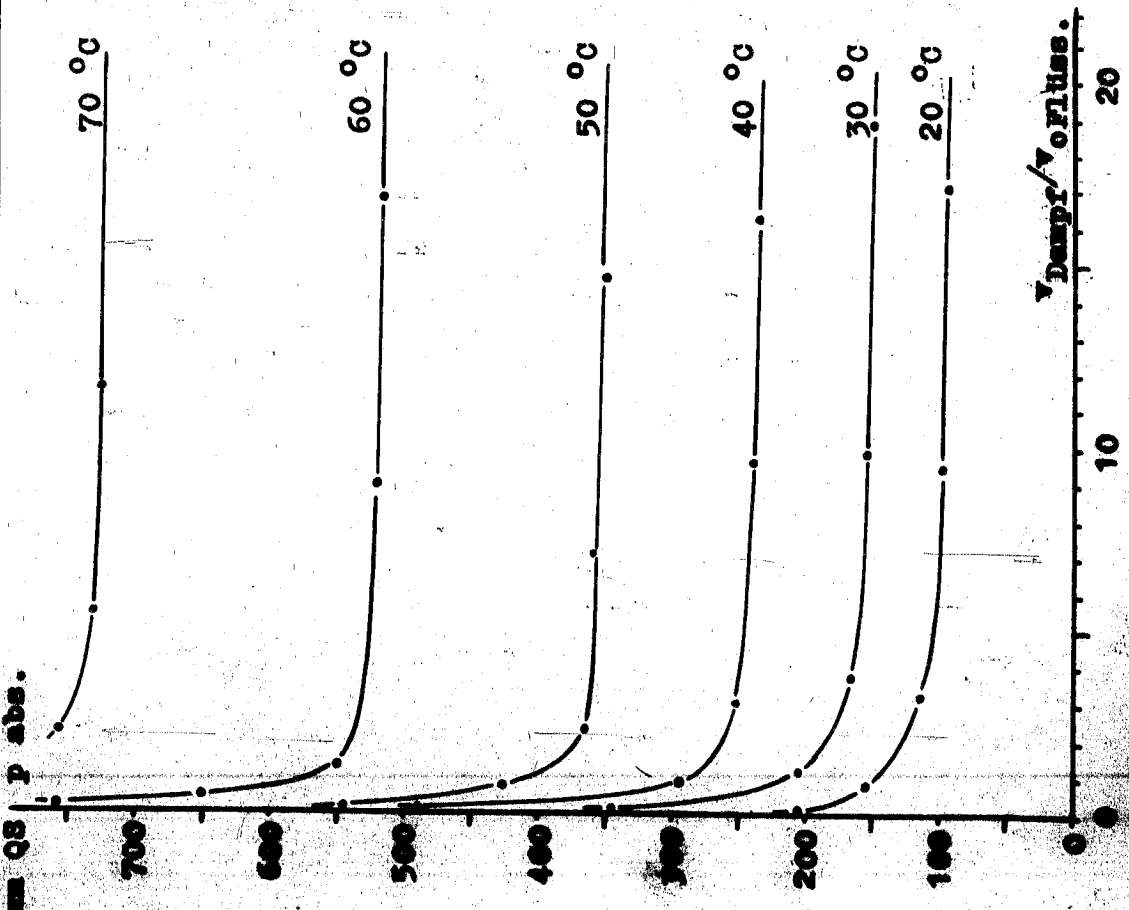


Abb. 6 : Cyclohexan

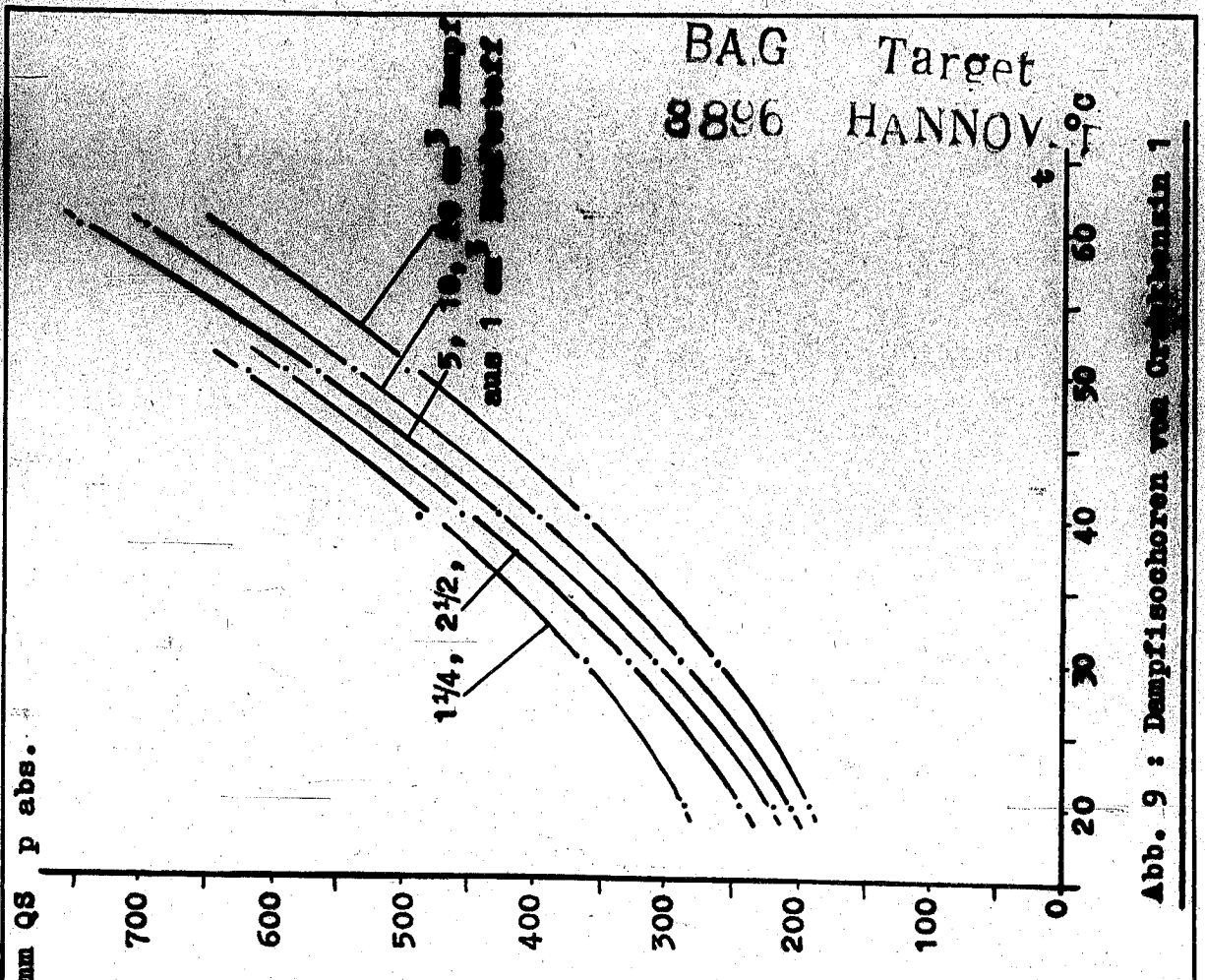


Abb. 9 : Dampfisochoren von Organischen 1

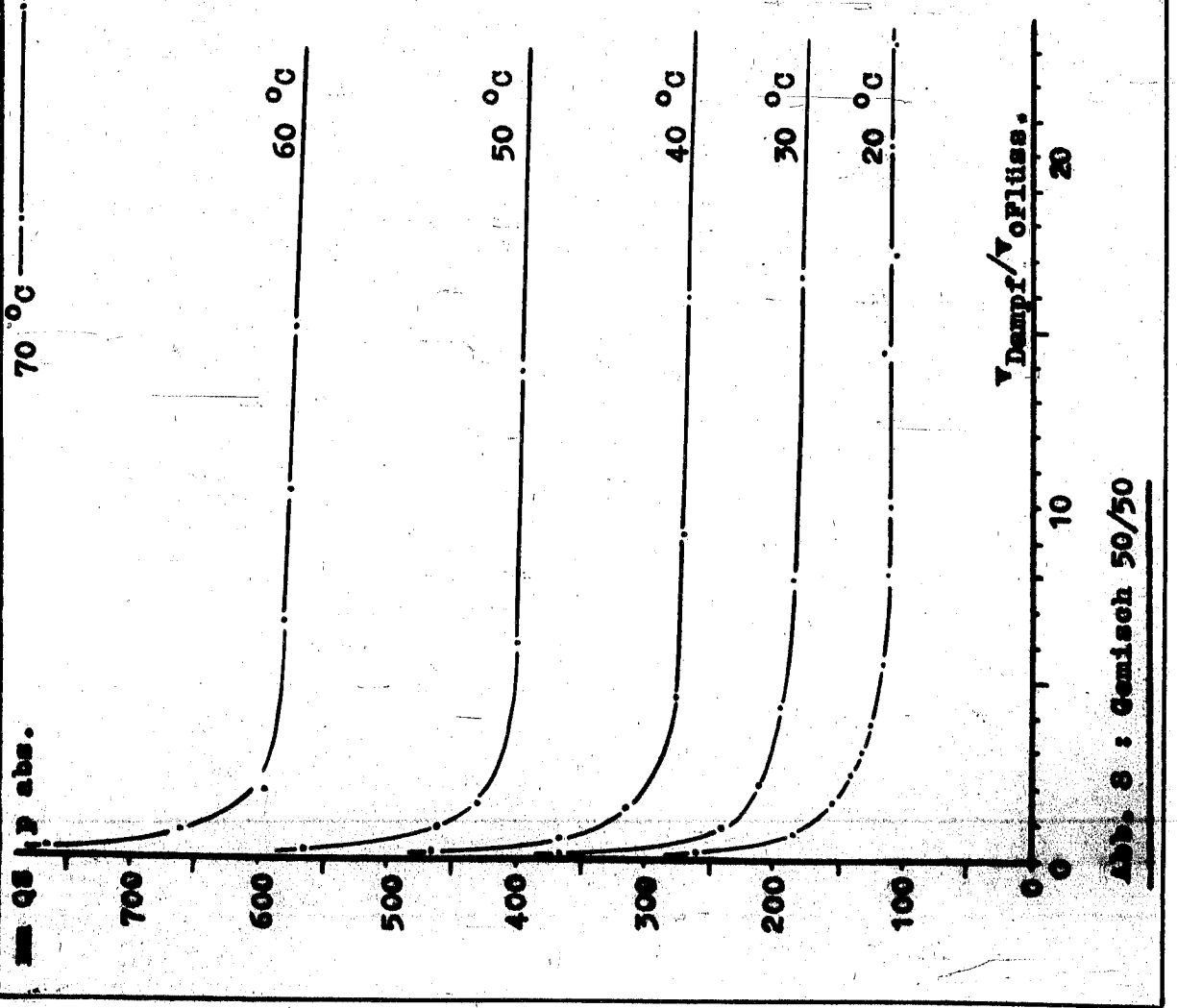
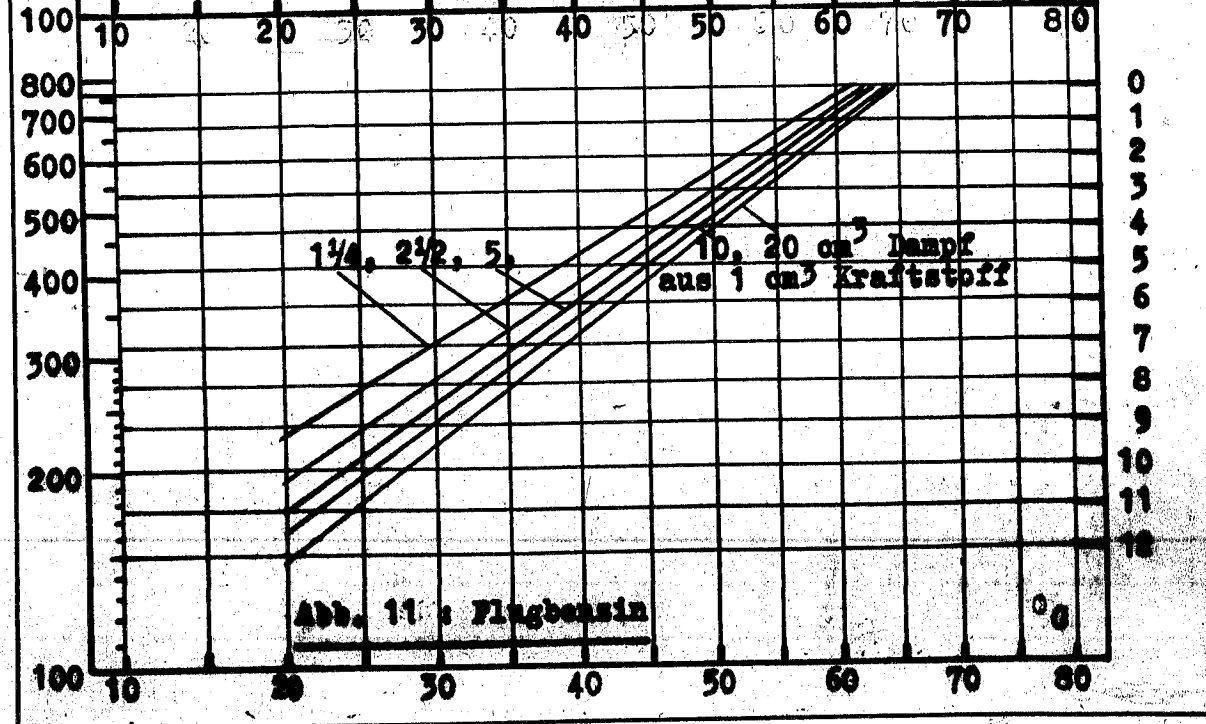
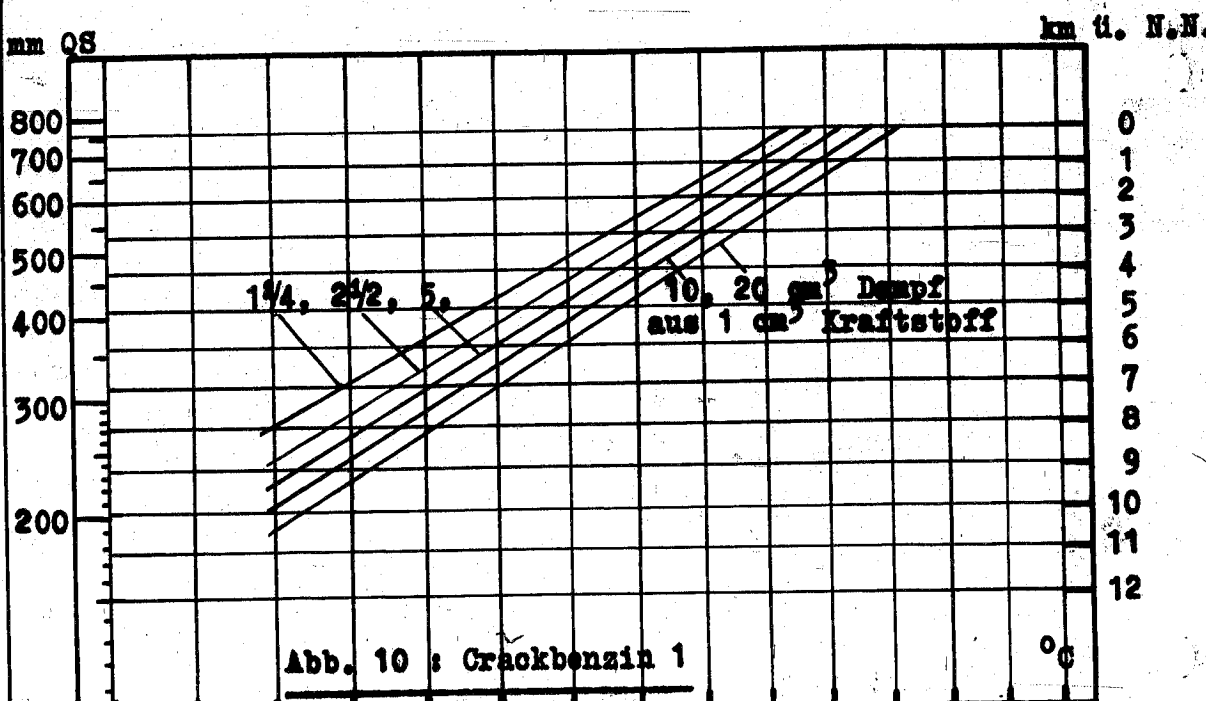
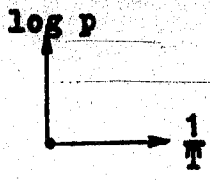


Abb. 8 : Gemisch 50/50

**Abb. 10 bis 14 : Dampfdruckendiagramme
für verschiedene Kraftstoffe**

Abszisse: Gefahrsgrade in Reihenfolge der absoluten Temperatur
Ordinate: Logarithmische Druckskala (links) und Höhen-
skala (rechts)



BAG
8896

Target
HANNOVER

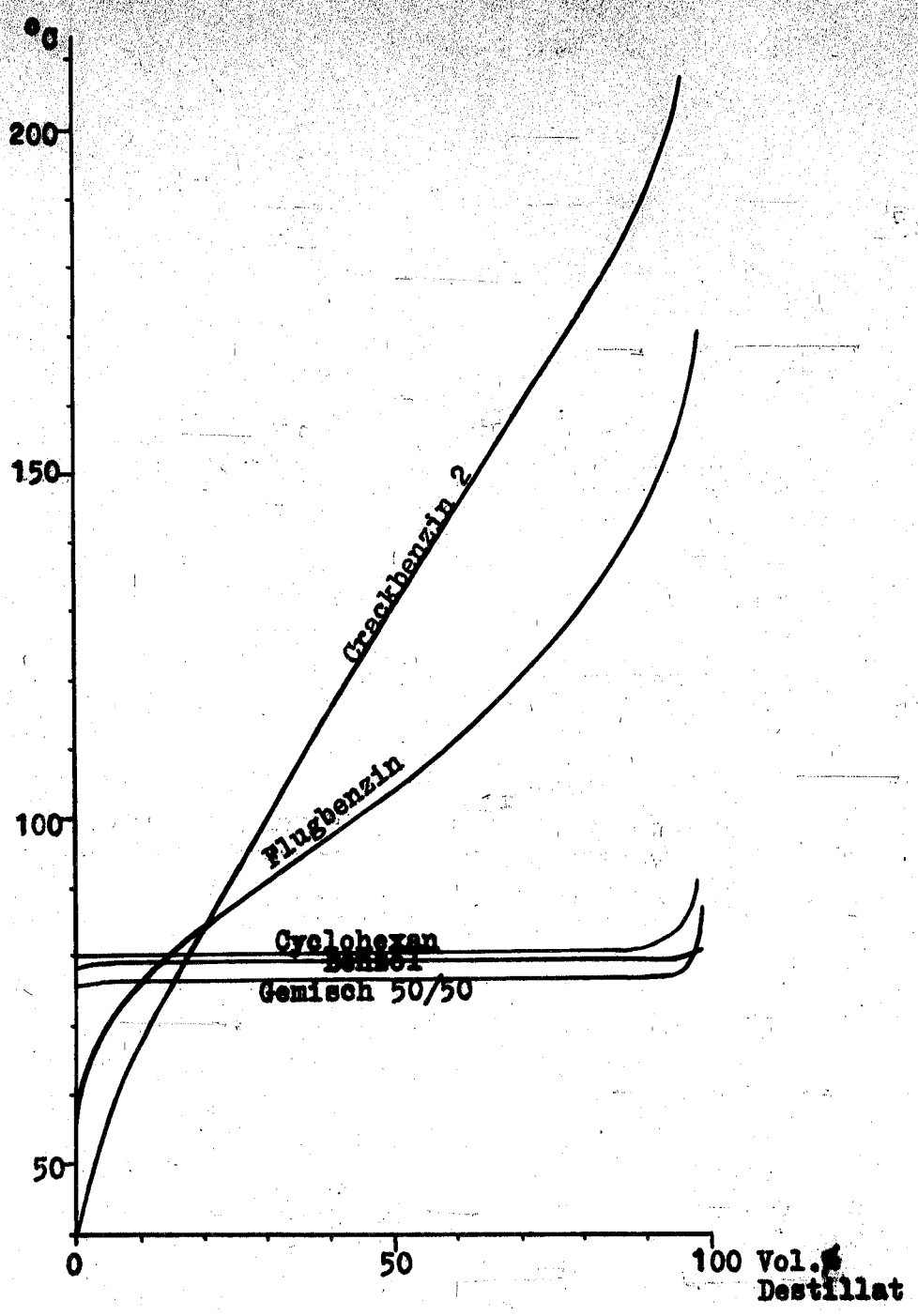


Abb. 17 : Die Siedekurven der untersuchten Kraftstoffe
(nach Engler)

BAG Target
3896 HANNOVER

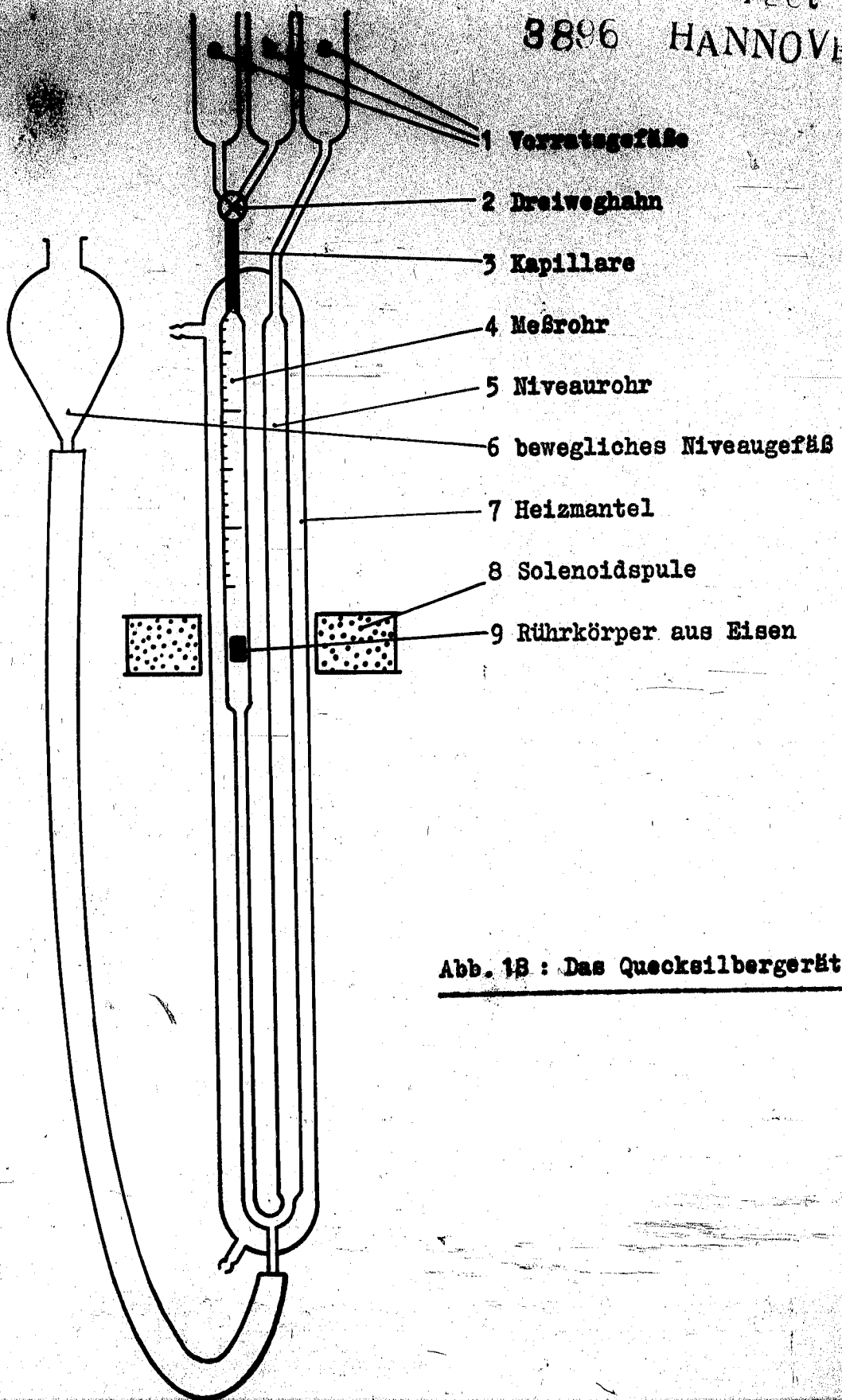


Abb. 18 : Das Quecksilbergerät

BAG Target
8896 HANNOVER

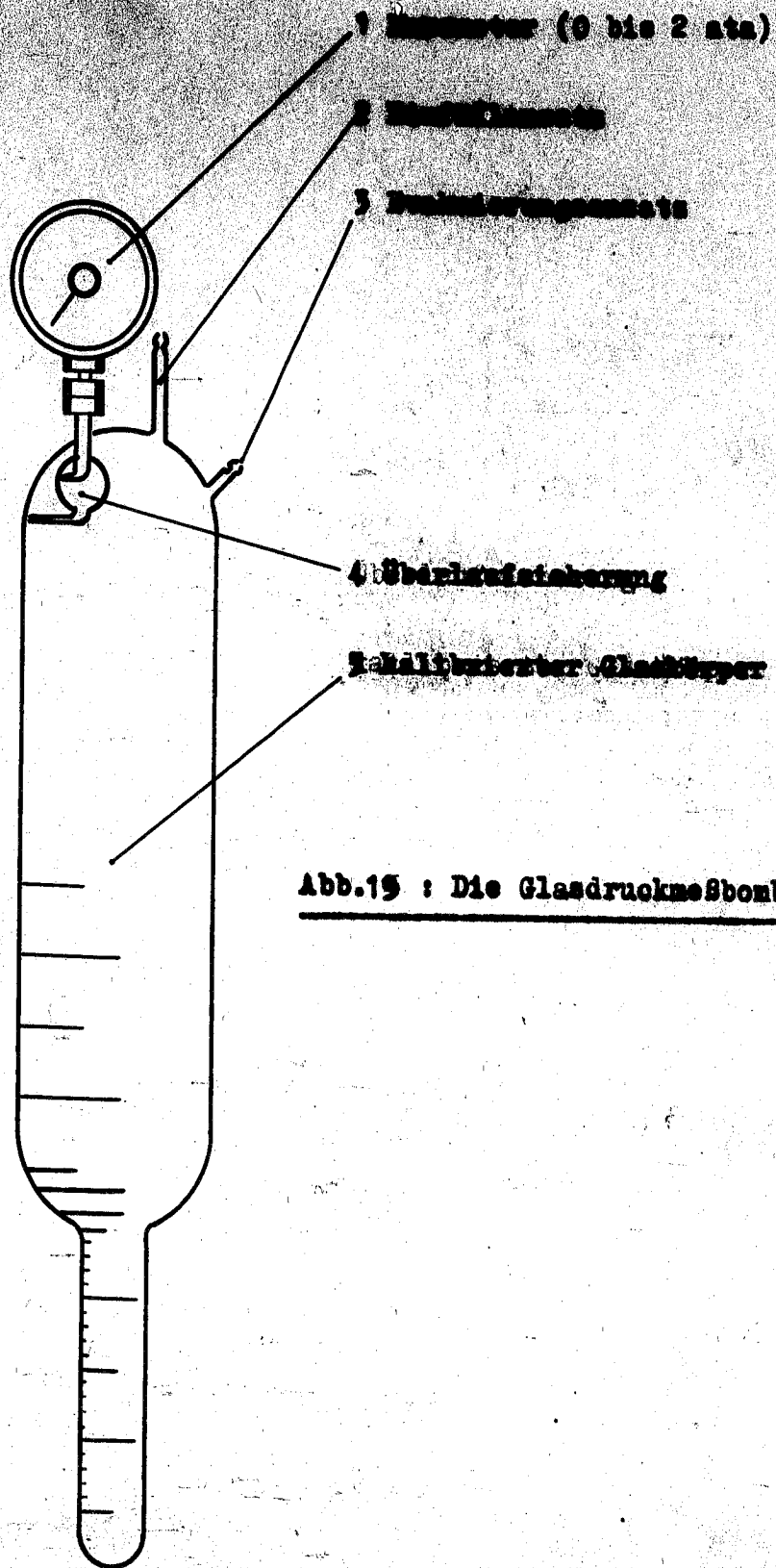


Abb.19 : Die Glasdruckmeßbombe