

BAG No. 3896

HANNOVER

6. PHYSICAL MEASURE-  
MENTS

Versuchsbericht.

betr.: Entwicklung einer Apparatur zur Aufnahme von Gleichgewichtsverdampfungskurven.

Es wurde mir die Aufgabe gestellt, unter Verwendung der von Nelson<sup>1)</sup> gemachten Angaben eine Apparatur zu bauen und zu erproben, die die Aufnahme von Gleichgewichtsverdampfungskurven von Rohölen und Benzinien ermöglicht.

Grundsätzlich besteht die Apparatur (siehe Abb. 1) aus einer Zuzugvorrichtung A, die die in der Zeiteinheit zufließende Flüssigkeitsmenge konstant hält, weiter aus dem Erhitzer B, in dem das Öl auf die gewünschte Temperatur gebracht wird und aus dem Verdampfer C, in dem die Trennung zwischen dem bei der eingestellten Temperatur verdampften Anteil und dem nach flüssigen Rückstand stattfindet. Dampf und Rückstand werden je durch einen Kühler geleitet und das Mengenverhältnis durch Wägung oder Volummessung ermittelt.

Bei der Planung der Apparatur mußte zunächst Größenordnungsmaßstäbe die Durchflussmenge festgelegt werden. In Übereinstimmung mit Nelson wurde mit einem Mengendurchsatz von 1 bis 1,5 l/h gerechnet. Sollte man dabei die in technischen Röhren üblichen Durchflugeschwindigkeiten von etwa 0,5 m/s (bezogen auf kalte Flüssigkeit) einhalten, so würde sich für das Erhitzerrohr ein Durchmesser von nur rd 1 mm ergeben. Es ist natürlich unmöglich ein solches Rohr zu verwenden, da der Druckabfall viel zu groß sein würde. Er brauchbar wurde ein Durchmesser von etwa 4 mm gehalten, sodaß die Kaltölgeschwindigkeit etwa 2,5 cm/s beträgt. Diese geringe Geschwindigkeit ist sicherlich ungefährlich, da wegen der elektrischen Beheizung des Erhitzers keine Überhitzungsgefahr besteht. Andererseits hat die geringe Geschwindigkeit den Vorteil der relativ hohen Verweilzeit

1) Nelson, W.L.: Petroleum Refinery Engineering, New York 1936

sodaß der Kritzer verhältnismäßig kurz gehalten werden kann und trotzdem nur geringe Wassertemperaturen der Hand erforderlich sind.

### A. Zumeßvorrichtung.

Die Zumeßvorrichtung (Abb. 2) besteht zweckmäßig aus einem Rohr, das an unteren Ende eine auswechselbare Düse trägt, deren Durchmesser so gewählt wird, daß gerade die gewünschte Ölmenge ausfließt. Um eine zeitlich konstante Menge zu bekommen, muß die Ölsäule vor der Düse gleich hoch gehalten werden. Dies wird am einfachsten mit einem Überlauf erreicht. In Anlehnung an technische Erfahrungen wurde das Rohr oben mit V-Kerben versehen, sodaß das Überschüssige Öl leicht abfließen kann, ohne die Spiegelhöhe stark zu verändern. Die in Abb. 2 dargestellte Konstruktion hat sich gut bewährt.

### B. Erhitzer.

Bei den ersten Vorversuchen wurde als Erhitzer ein Glasrohr verwendet, auf das ein Heizdraht gewickelt wurde. Bei einem Kaltwiderstand von rd 53  $\Omega$  genügte ein Strom von etwa 3 A, um die Ölmenge von 1,5 l/h auf 350 °C aufzuheizen. Der Leistungsbedarf ist demnach rd 500 Watt.

Bei den Vorversuchen wurden sehr interessante Beobachtungen in Bezug auf die Strömung von Dampf-Flüssigkeitsgemischen in Rohren gemacht. Man liest immer wieder, daß in den Rohren von Wärmeröhlerhitzern sich mit zunehmender Erhitzung zunächst eine Dampf-in-Öl-Suspension ausbildet, die zum Schluß in eine Öl-in-Dampf-Suspension übergehen soll. Nach meinen Modellbeobachtungen stimmt das nicht. Der Vorgang verläuft viel eher so, daß beim Einsetzen der Verdampfung die Bläschen nach oben bis unter die Rohrwand steigen und beim Weiterfließen auch dort verbleiben. Sie vergrößern sich langsam bis sie vollkommen zusammenhängend sind. Dann erkennt man, daß oben ein Dampfstrom fließt, während unten ein Flüssigkeitsstrom sich bewegt, der bei fortschreitender Durchlaufdauer dauernd Dampf abgibt und dabei sich im Querschnitt verringert. Auch durch Einbau von scharfen Umlenkstellen

war keine gleichmäßige-Suspension zu erzielen. In einem Fall wurde die Beheizung eines strömenden Rohrs soweit getrieben, daß eine Koksabscheidung begann. Überraschenderweise begann diese nicht unten im Rohr sondern oben, wo vornehmlich Dampf strömt. Die Erklärung ist recht einfach. Da dem Rohr allseitig gleiche Wärmemengen zugeführt werden, ist für die Temperaturverteilung der Innenfläche der dortige Wärmeübergang maßgebend. Der Wärmeübergang an den Dampf ist jedoch wesentlich geringer als der an Flüssigkeit, sodaß die oberen Rohrtelle heißer sind als die unteren. Da die Koksabscheidung an den heißeren Wänden beginnt, scheidet er sich zunächst oben ab.

Wie gesagt, handelt es sich um Modellbeobachtungen, die an sich nicht ohne weiteres auf die Verhältnisse in einem technischen Röhrenofen übertragen werden können, da im Modell wesentlich kleinere Geschwindigkeiten (Faktor = 0,1 bei 0,05) verwendet wurden. Da außerdem die Rohrweiten im Modell um denselben Faktor kleiner sind, ergeben sich für das Modell Reynoldszahlen, die vielleicht nur  $1/1000$  so groß sind wie in technischen Ofen. Während man hier stets turbulente Strömung hat, ist die Strömung in Modell wenigstens zu Anfang, wenn wenig verdampft ist, rein laminar. Bei Röhrenofen lassen jedoch vermuten, daß in Röhrenöfen ähnliche Wärmeübergangs- und Temperaturverhältnisse vorkommen wie im Modell. Man hat beobachtet, daß die Deckenrohre in der Strahlungszone von Röhrenöfen am leichtesten oben defekt werden, d.h. an der Seite, die der Decke zukehrt und der beheizenden Flamme abgewandt ist. Da es mehr als unwahrscheinlich ist, daß die Rückstrahlung von der Decke intensiver ist als die direkte Beheizung von der Flamme, kann man annehmen, daß in den Röhren ebenfalls eine "geschichtete" Strömung vorhanden ist. Da die Wärmeübergangszahl vom Rohr zum Dampf kleiner ist als von Rohr zur Flüssigkeit tritt oben ein Wärmestau auf, der zu einer solchen Temperatursteigerung führt, daß das Rohrmaterial die erforderliche Festigkeit einbüßt. Es ist vorzusehen, an einem wirklichen Röhrenofen entsprechende Untersuchungen durchzuführen.

Die Versuche ergaben, daß es ohne weiteres möglich ist, mit verhältnismäßig geringer Energie eine Ölmenge von rd 100/h auf 400°C aufzuheizen. Bei der Verwendung von Glasrohr machte sich jedoch die sehr geringe Wärmeleitfähigkeit des Materials störend bemerkbar. Es gab sich kein genügender Temperatureausgleich innerhalb der Wand, sodaß dort, wo die Heizdrähte lagen, leicht eine Überhitzung eintrat. Da das heiße Glasrohr leicht zerbrach und auch in konstruktiver Hinsicht, vor allem in Bezug auf die temperatur- und stoffste Verbindung mit dem Verdampfer, erhebliche Schwierigkeiten auftraten, wurde ein Messingrohr als Erhitzer verwendet. (s. Abb. 3).

Zur elektrischen Isolierung wurde auf das Messingrohr von 4 mm  $\phi$  eine dünne Lage Asbestschnur aufgebracht, auf die dann der Heizdraht aufgewickelt wurde. Zur Wärmeisolation nach außen wurde schließlich eine doppelte Lage Asbestschnur verwendet, sodaß sich ein Gesamtdurchmesser von etwa 20 mm ergab. Das eine Ende wurde in einen Gewindestopfen hart eingelötet und dient zur Verbindung mit dem Verdampfer.

### C. Verdampfer.

Bei der Bemessung des Verdampfers wurde weitgehend von den Angaben von Nelson Gebrauch gemacht. Im Gegensatz zu Nelson wurde der Verdampfer jedoch aus Stahl und nicht aus Glas gefertigt. Abb. 4 zeigt einen Querschnitt. Das im Erhitzer auf die gewünschte Temperatur erhitzte Öl, das dann aus einem Dampf-Flüssigkeitgemisch besteht, unströmt das Thermoelement Z 1 und gelangt in die S-Röhre S, die an den inneren Zylinder Z 2 herumgewunden ist, schließlich in diesem hinuntergeführt und dann noch kurz nach oben gebogen ist.

Der Innenraum des Zylinders Z 2 wurde noch mit Glasringen quadratischen Querschnitts und ungefähr 7 mm  $\phi$  gefüllt. Das Dampf-Flüssigkeitgemisch tritt in diese Glasringfüllung ein und trennt sich hier. Der verdampfte Anteil steigt nach oben und gelangt in den Raum zwischen den Zylindern Z 1 und Z 2 und wird schließlich durch den Stutzen St 1 in den Destillationskühler geführt. Der nicht verdampfte Rückstand fließt nach

unten ab, und gelangt über den Stutzen St 2 in die dort angeschlossene Rohrleitung, um schließlich auch durch einen Kühler hindurchgeführt zu werden. Durch den Deckel des Verdampfers wurde ein zweites Thermoelement  $T_2$  geführt, das die Temperatur im Verdampfer zu messen gestattet. Es wurde von vornherein angenommen, daß eine zusätzliche Beheizung des Verdampfers erforderlich sein würde. Durch eine dünne Lage Asbestseamur wurde der Verdampfer elektrisch isoliert, darauf eine Heizwicklung von rd 34  $\Omega$  aufgebracht, die schließlich wieder durch mehrere Lagen Asbestseamur und eine einige Zentimeter dicke Glaswollschicht nach außen hin wärmeisoliert wurde.

Bei der Inbetriebnahme des ganzen Gerätes stellte es sich heraus, daß es recht schwierig war, die Temperaturen, die mit den Kupfer-Konstantan-Thermoelementen  $T_1$  und  $T_2$  (Durchmesser 0,5 mm) gemessen wurden, konstant zu halten. Als Ursache wurde die starke Schwankung der Netzspannung erkannt. Eine wesentliche Besserung trat erst dann ein, als ein Spannungskonstanthalter zwischen Netz und Apparatur eingehalten wurde. (s. Abb. 1). Nach wie vor ist es jedoch nicht ganz einfach, die Temperatur des Verdampfers auf den gewünschten Wert zu bringen und dort zu halten, da die Wärmefähigkeit recht hoch ist. Aus dem Grunde ist es auch unzweckmäßig, einen automatischen Temperaturregler einzubauen, da man dann nur ein dauerndes Hin- und Herbewegen der Temperatur erleben würde. Nach einer gewissen Eingewöhnungszeit gelang die Temperaturumstellung jedoch ohne grundsätzliche Schwierigkeiten.

#### D. Messungen.

Zur Aufnahme der ersten Gleichgewichtsverdampfungskurve diente ein Behälter. Die Ergebnisse zeigt Abb. 5. Man erkennt, daß die gemessenen Punkte sehr gut auf einer Kurve liegen, mit Ausnahme der drei besonders gekennzeichneten. Die ebenfalls eingezeichnete Desillationskurve nach Engler schneidet die Gleichgewichtsverdampfungskurve bei rd 260°C.

Anschließend wurde die Gleichgewichtsverdampfungskurve eines Topp-Benzins gemessen. Die Ergebnisse sind in Abb. 6 dargestellt und lassen in Verbindung mit der ebenfalls eingezeichneten Englerkurve auf die Brauchbarkeit der entwickelten Apparatur schließen.

Nach stürten jedoch die drei in Abb. 5 besonders gekennzeichneten Meßpunkte, die beträchtlich von der eingezeichneten Kurve abweichen. Durch Nachwiegen wurde festgestellt, daß kein Meßfehler vorlag, dann aber durch Vergleich ermittelt, daß bei den drei Meßwerten der Mengendurchfluß wegen Verschmutzung der Düse wesentlich geringer war als bei den anderen Werten. Es konnte also nur so sein, daß bei einem geringeren Durchfluß eine kleinere Destillatmenge erhalten wurde. Bewahrheitet sich dies, dann mußte die Brauchbarkeit der Apparatur in der vorhandenen Form stark angezweifelt werden.

Um diese Frage zu klären, wurden Versuche mit Topp-Benzin bei verschiedenem Mengendurchfluß durchgeführt und dabei Düsen von 0,38, 0,5, 0,7 und 1,0 mm  $\varnothing$  verwendet. Die Durchmesser wurden so abgestuft, daß jede folgende Düse in etwa die doppelte Durchflußmenge ergab.

Gleich die erste Versuchsreihe ergab die in Abb. 7 als Kurve I dargestellten Ergebnisse, wobei die Temperatur auf 108°C gehalten wurde. Man erkennt, daß ein außerordentlich starker Abfall der Destillatmenge mit kleiner werdendem Durchfluß sich ergibt. Bei einer Temperatur von 99°C ergab sich grundsätzlich dasselbe Verhalten (Kurve II, Abb. 7), nur daß die Punkte wegen der geringeren Temperatur tiefer liegen.

Da bei einer Kurve die Temperatur konstant gehalten wurde, kann man annehmen, daß bei den kleinen Durchflußmengen das Gleichgewicht zwischen Dampf und Flüssigkeit nicht erreicht wird. Es wurde vermutet, daß bei der früher festgestellten "geschichteten" Strömung, in dem geraden Erhitzer keine genügende Vermischung zwischen Dampf und Flüssigkeit stattfindet. Es wurde darum ein gewendelter Erhitzer gebaut, der jedoch keinerlei Einfluß auf das Versuchsergebnis hatte. Dann wurde vermutet, daß die Verweilzeit im Erhitzer noch zu gering sei und ein Zwischenbehälter mit Glasringfüllung gebaut, der zwischen Erhitzer und Verdampfer ~~geschaltet~~ <sup>geschaltet</sup> und auf derselben Temperatur gehalten wurde. Aber auch das gab keine Änderung. Ein erneutes Stadium der Arbeit von Nelson ergab, daß dieser einen wesentlich längeren Erhitzer verwendet hat. Die Zwischenschaltung eines 1,5 m langen Glasrohres, das zur Schleifen

von je rd. 20 cm Länge zusammengesetzt in ein Temperierbad gebracht wurde, zwischen Erhitzer und Verdampfer brachte jedoch ebenfalls keinerlei merkbare Änderung der Versuchsergebnisse. Nach wie vor ergab sich bei kleinerem Durchfluß ein starker Abfall der Destillatmenge. N.E. waren damit die Variationsmöglichkeiten des Erhitzers erschöpft. Der grundsätzliche Fehler konnte nur noch in dem Verdampfer gesucht werden.

Da der Verdampfer aus Stahl keinerlei Beobachtung der inneren Vorgänge zuließ, wurde ein Verdampfer aus Glas hergestellt. Herr Pfeuffer fertigte das komplizierte Gerät trotz seiner beschränkten Materialien und Geräte in kurzer Zeit mit außerordentlichem Geschick. Der aus Glas hergestellte Verdampfer, im folgenden kurz Glaseverdampfer genannt, war außen mit einem Heizmantel umgeben, durch den Paraffinöl aus einem Thermostaten als Heizflüssigkeit geschickt wurde. Aber auch der Glasverdampfer brachte keine Änderung der Ergebnisse. Dann fiel mir jedoch folgender Tatbestand auf. Das sich am Stutzen St2 anschließende Rohr war nur soweit wieder nach oben geführt, daß der Flüssigkeitsspiegel des Rückstandes in dem Stutzen St 2 sich befand. Hier wurde nun sofort der lange gesuchte und entscheidende Fehler vermutet. Durch Verhinderung des Anschlußrohres wurde der Flüssigkeitsspiegel nach oben in die Glasringfüllung verlegt und eine weitere Meßreihe durchgeführt, die sofort eine ganz wesentliche Veränderung der Kurven ergab. Bei kleinem Durchfluß ergab sich nur noch ein kleiner Abfall der Destillatmenge.

Nachdem nun erwiesen war, daß der entscheidende Fehler in der falschen Spiegelhöhe zu suchen war, wurde versucht, den Fehler restlos aufzulären. Dies gelang dadurch, daß das Thermometer T2 an verschiedene Stellen des Verdampfers gebracht wurde. Dabei stellte es sich heraus, daß innerhalb des Verdampfers keine vollkommene Temperaturgleichheit bestand, die auch durch kein Mittel erreicht werden konnte. Um eine vollkommene Unabhängigkeit der Destillatmenge vom Durchfluß zu erhalten war es erforderlich, das Thermoelement T2 in die Glasringfüllung zu bringen und dort die Temperatur konstant

zu halten.

Wie es nicht anders mehr erwartet wurde, war die Zwischenschaltung des 1,5 m langen Glasrohres zwischen Erhitzer und Verdampfer nicht erforderlich. Es wurde darum in der Folge weggelassen und außerdem mit dem geraden Erhitzer gearbeitet. Schließlich wurde noch geprüft, ob die Größe der Glasringe von Einfluß auf das Meßergebnis war. Statt der bisher verwendeten Glasringe von 7 mm  $\phi$  und 7 mm Höhe wurden solche von 4 mm  $\phi$  und 4 mm Höhe eingefüllt. In Bezug auf das Meßergebnis konnte kein Unterschied festgestellt werden. Ein solcher machte sich nur insofern bemerkbar, als der Strömungswiderstand der engen Ringe wesentlich größer war als derjenige der weiten Ringe. Bei den gelegentlich vorkommenden Stößen wurden die kleinen Ringe leicht aus dem Innenzylinder herausgeschleudert. Wegen des größeren Strömungswiderstandes mußte die Zuflußleitung I (s. Abb. 1) wesentlich verlängert werden und außerdem an der Stelle D (Abb. 1) eine Drosselung (Schlauchklemme) eingebaut werden, um einen gleichmäßigen Durchfluß zu ermöglichen. In der Folge wurden aus den genannten Gründen die weiten Glasringe zur Füllung verwendet und auch die Drosselung beibehalten.

Zum Schluß wurde wieder der Verdampfer aus Stahl eingebaut, und einige Meßreihen durchgeführt, die den Einfluß der Flüssigkeitshöhe zeigen. Um beobachten zu können, in welcher Höhe der Flüssigkeitsspiegel sich befindet, wurde der in Abb. 1 mit FSt bezeichnete Flüssigkeitsstandanzeiger angebracht.

Bei der Aufnahme der Kurve I (Abb. 8) befand sich der Flüssigkeitsspiegel in der Glasringfüllung und es wurde die Temperatur in derselben gleich der Temperatur hinter dem Erhitzer gehalten. Man erkennt, daß bei allen Durchflußmengen dieselbe Destillatmenge erhalten wurde. Wurde dagegen der Flüssigkeitsspiegel abgesenkt, sodaß er im Abflußstutzen St 2 sich befand, während die Temperaturen auf der gleichen Höhe gehalten wurden, so ergab sich Kurve II (Abb. 9), die sowohl einen deutlichen Abfall bei kleineren Durchflußmengen erkennen läßt und außerdem tiefer liegt als Kurve I.

Bisher steht noch die Erklärung aus, warum der Flüssigkeitsspiegel in der Glasringfüllung stehen muß, oder umgekehrt, warum so große Abweichungen gefunden wurden, wenn der Spiegel sich im Stutzen St. 2 befand. Ich glaube, daß folgende Erklärung richtig ist. Der Abflußstutzen wird nicht mehr beheizt und hat darum eine geringere Temperatur als der Verdampfer. Der in den Abflußstutzen gelangende nicht verdampfte Rückstand kühlt sich verhältnismäßig schnell ab und "zieht" einen Teil des Dampfes nach unten, der natürlich sofort kondensiert. Je geringer die Durchflußmenge ist, desto mehr kühlt sich der Rückstand schon im Anschlußstutzen ab und zieht proportional mehr Dampf zu sich hinunter, sodaß die gemessene Destillatmenge immer kleiner wird.

Die letzten Versuchsergebnisse lassen eindeutig den Schluß zu, daß die Apparatur jetzt zur Aufnahme von Gleichgewichtsverdampfungskurven brauchbar ist. Es hat sich jedoch eine Reihe von versuchstechnischen Mängeln herausgestellt, die noch ausgemerzt werden sollen. So wird z.B. das am Stutzen St 2 anschließende Rohr mit einigen Verschraubungen versehen, um den Ausfluß leichter in der Höhe verstellen zu können. Außerdem erwies sich die elektrische Isolation der Heizwicklungen durch Asbestseamur als unbrauchbar, da oft Körperschlüsse auftraten, die das Arbeiten an der Apparatur gefährlich werden lassen. Außerdem wäre es erwünscht, für die Einführung der Thermoelemente eine andere Konstruktion zu finden, die die Verwendung von Glasrohr unnötig machen würde. Hier bin ich jedoch noch nicht zu einer endgültigen Lösung gekommen.

Da bei den beschriebenen Versuchen zur Erkennung und Demonstration des grundsätzlichen Fehlers immer nur solche Temperaturen eingestellt wurden, daß eine Destillatmenge von rd. 50% erhalten wurde, wurden schließlich noch einige Versuche durchgeführt, bei denen die Temperatur soweit gesteigert wurde, daß praktisch kein Rückstand mehr blieb. Sowohl bei Rohöl als auch bei Benzol wurde dann beobachtet, daß bei den hohen Temperaturen die Gefahr besteht, daß der Dampfstrom kleine Mengen Rückstand durch die Glasringfüllung hindurch mitreißt.

BAG T. 1  
3896 HANNOVER

Bei einer Neukonstruktion des Verdampfers wird es zweckmäßig sein, die Höhe des inneren mit Glasringen gefüllten Zylinders um etwa 40 mm zu vergrößern, sofern ein Mengendurchsatz von etwa 1-1,5 l/h beibehalten werden soll. Verrindert man dagegen den Durchsatz auf die Hälfte, so erhält man auch mit der vorliegenden Apparatur ein sauberes Destillat.

*Heinrich*

*10/9.44*

BAG 18 0 1  
3896 HANNOVER

21.8.1911

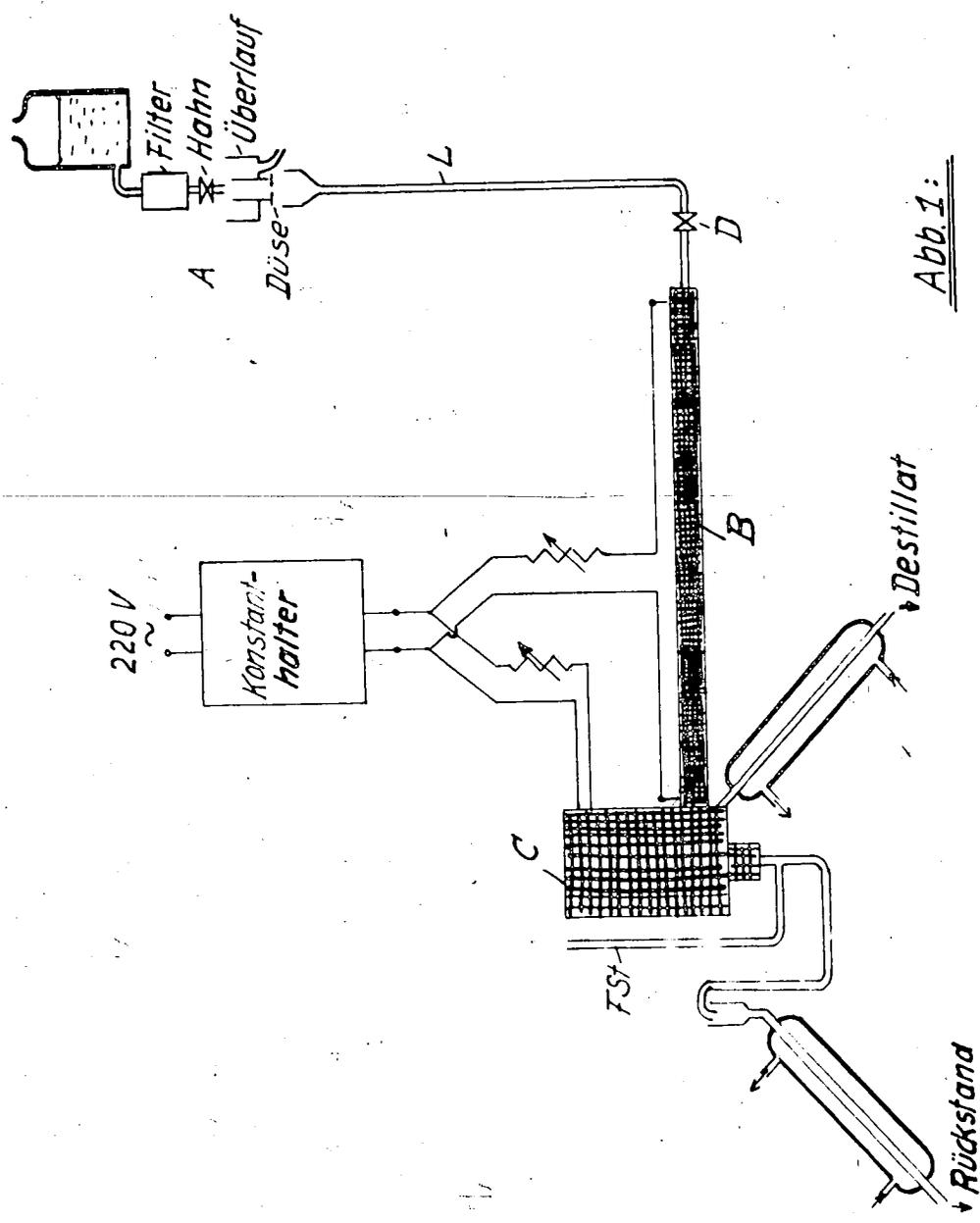


Abb. 1:

Gesamtanordnung.

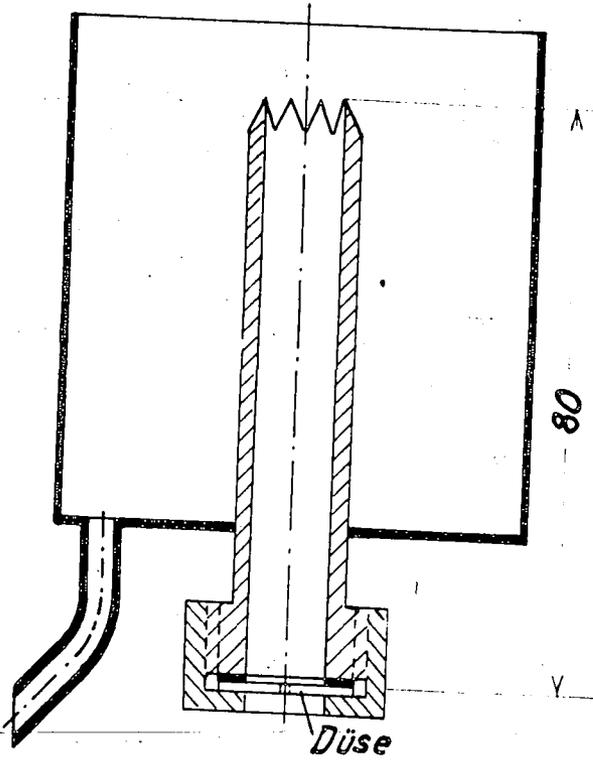


Abb. 2.

Überlauf mit Düse.

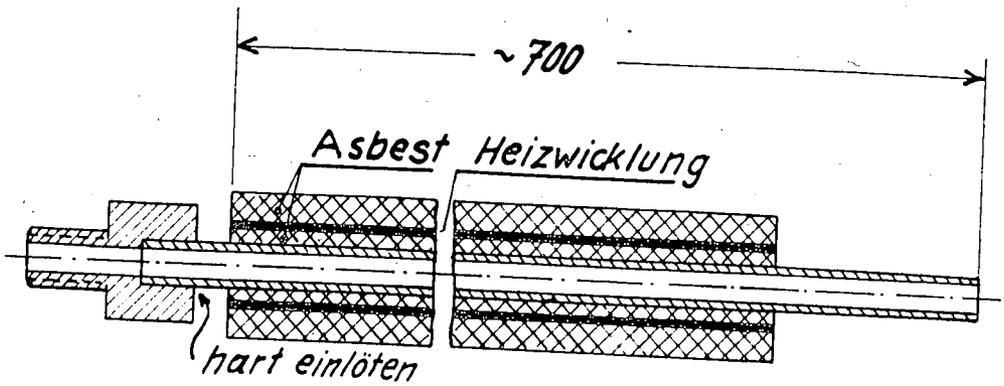


Abb. 3.

Erhitzer.

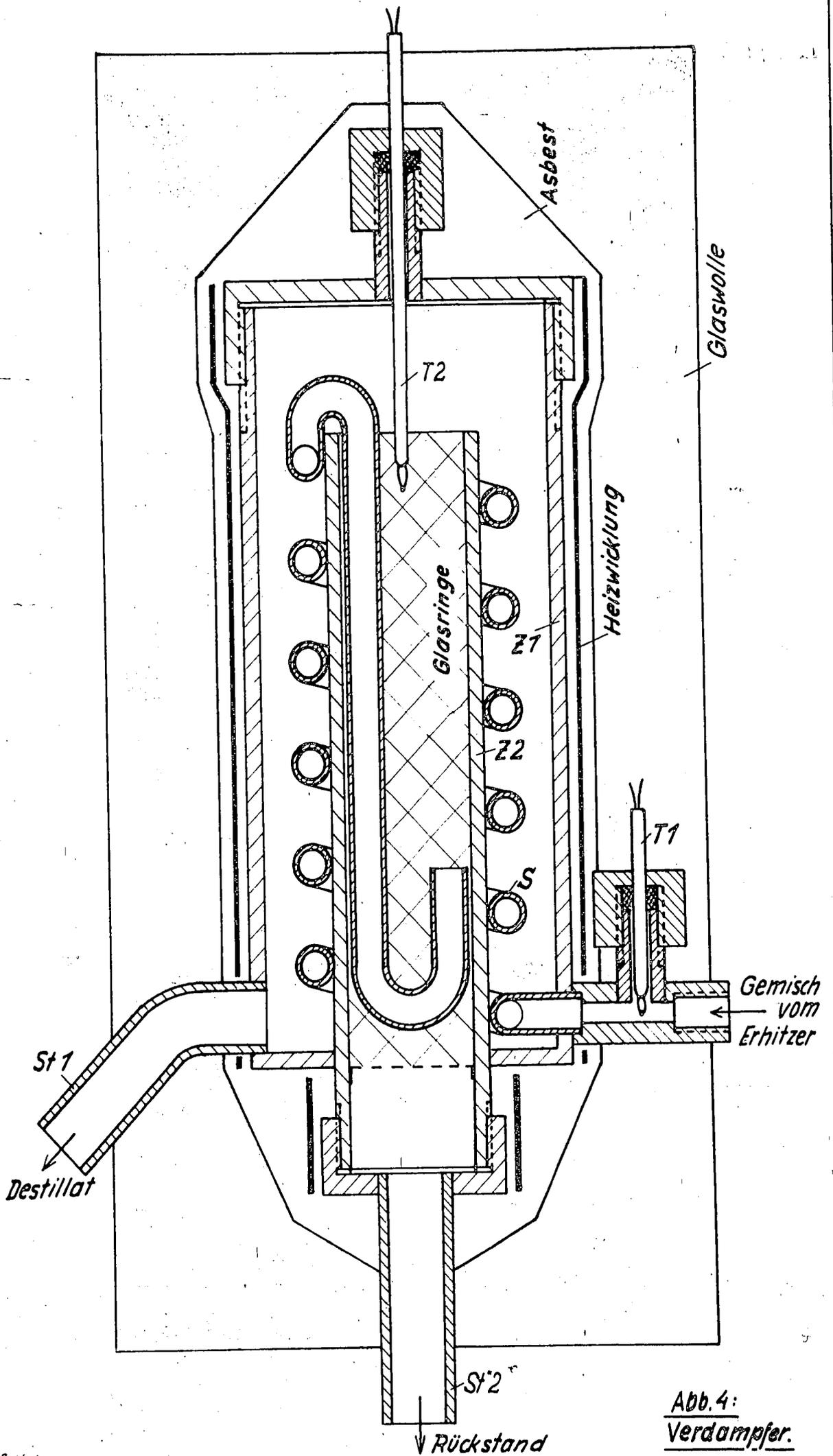


Abb. 4:  
Verdampfer.

21.8.44  
hh

BAG 3850  
F. A. C. T.  
H. I. N. D. E. R.

°C

350

300

250

200

150

0

10

20

30

40

50

60

Vol.-%

Destillat

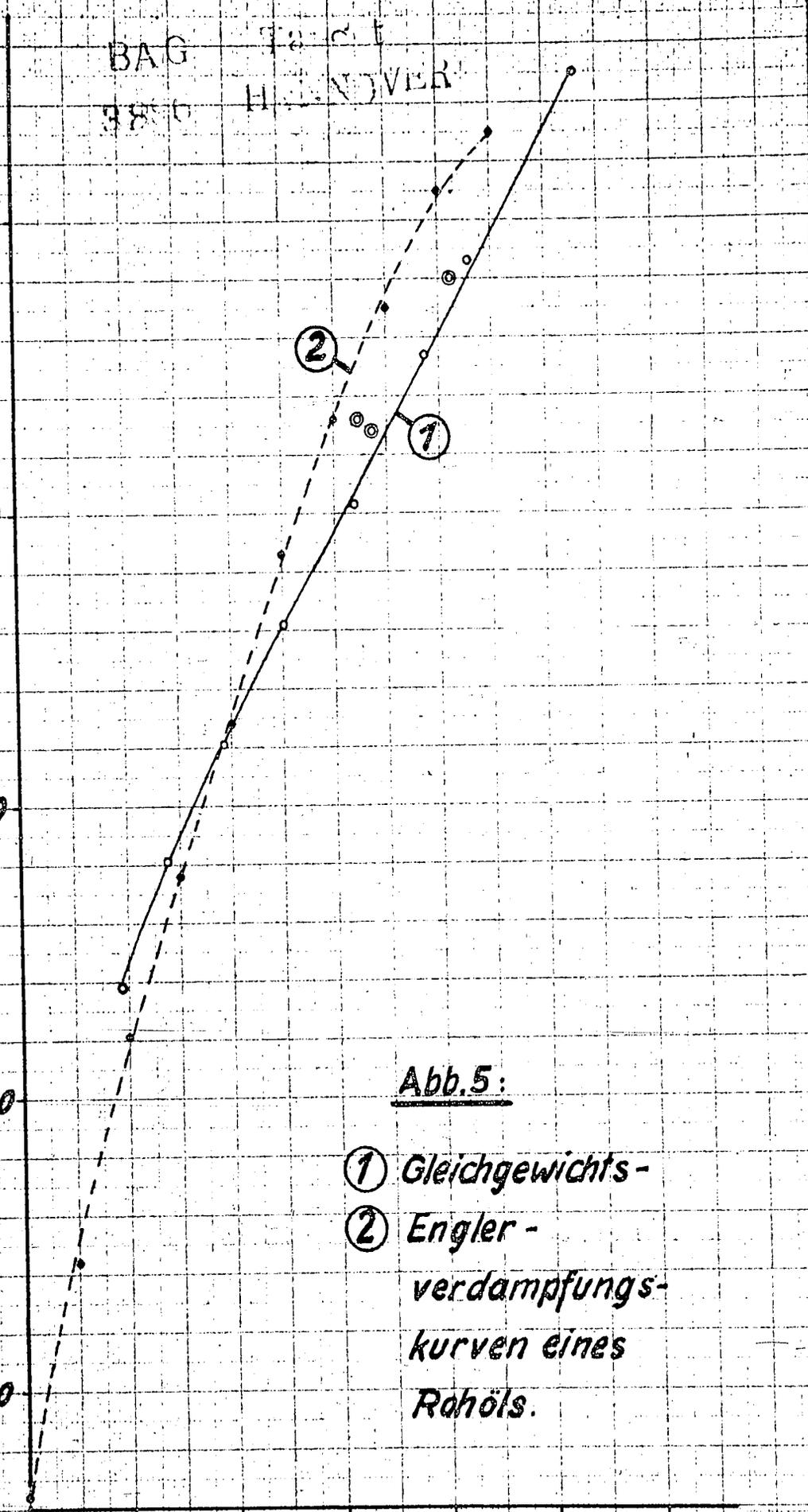
②

①

Abb. 5:

- ① Gleichgewichts-
- ② Engler -  
verdampfungs-  
kurven eines  
Rohöls.

21.8.44 Kk



BAG Farost  
3896 HANNOVER

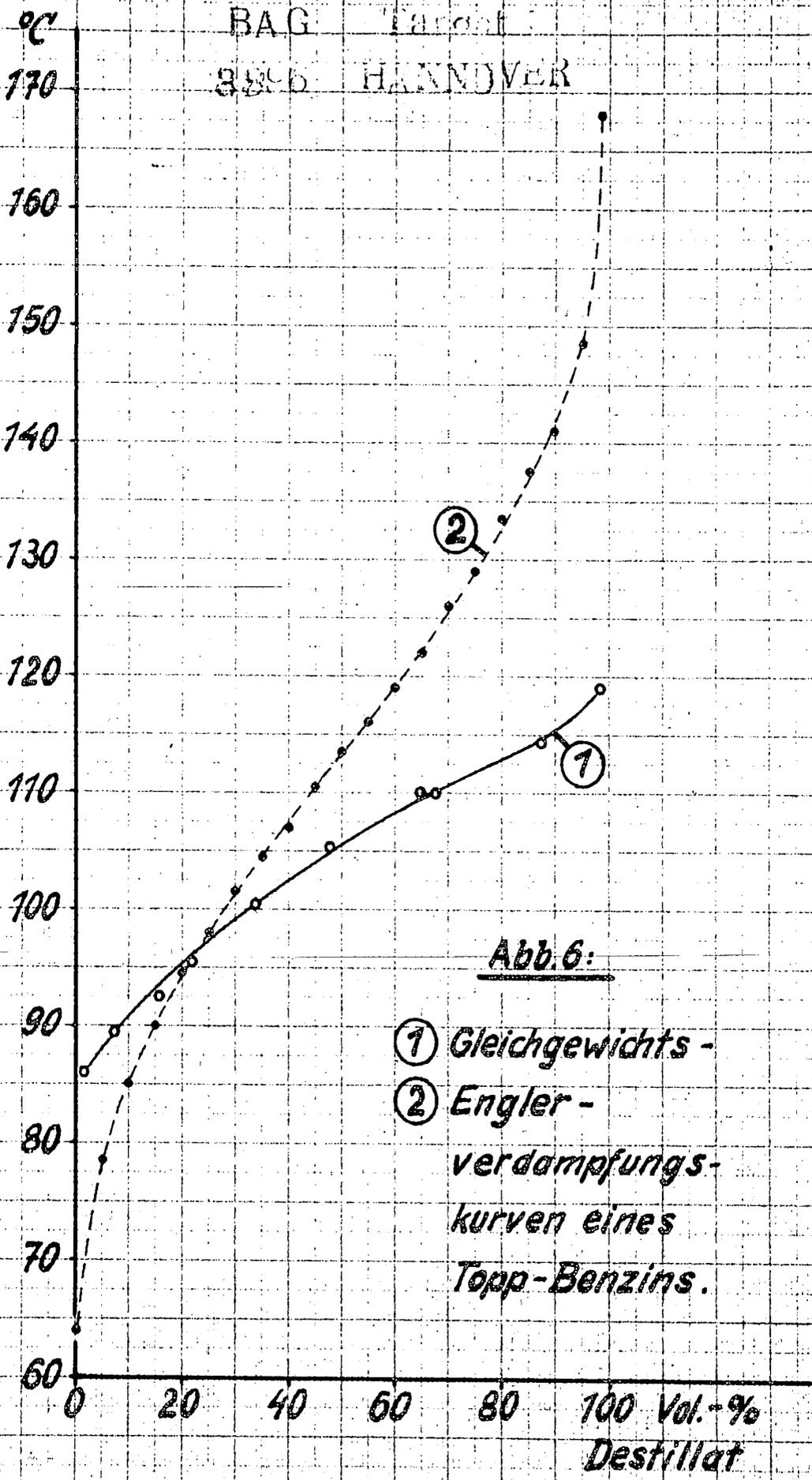
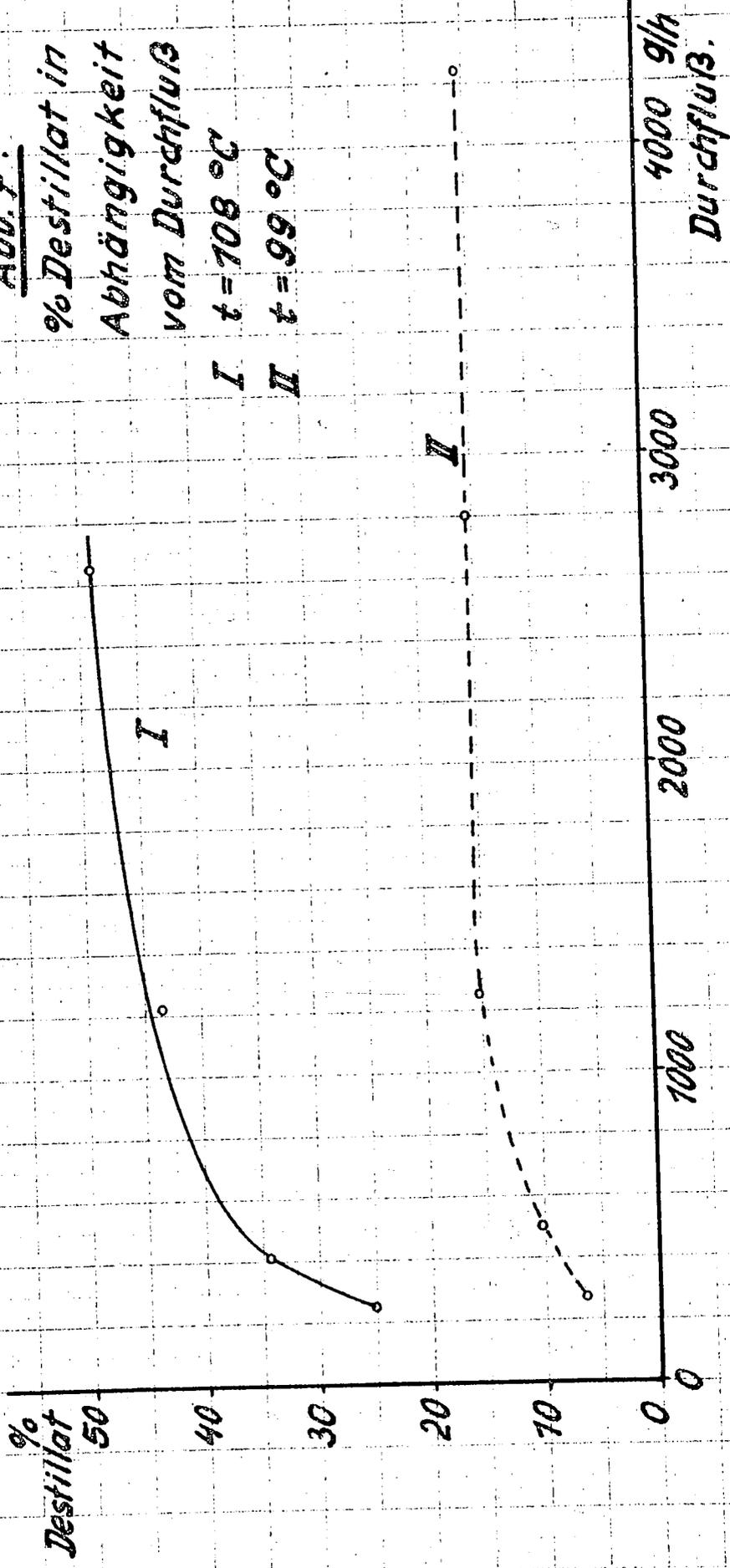


Abb. 6:

- ① Gleichgewichts -
- ② Engler -  
verdampfungs-  
kurven eines  
Topp-Benzins.

BAG T 210 t  
3800 HANNOVER

Abb. 7:  
% Destillat in  
Abhängigkeit  
vom Durchfluß  
I  $t = 108^\circ\text{C}$   
II  $t = 99^\circ\text{C}$



21/8.44 J.L.

**% Destillat**  
50

**Abb. 8:**  
**% Destillat in**

**Abhängigkeit**  
**vom Durchfluss**

**I Flüssigkeitsspiegel**  
**innerhalb Glasringfüllung**

**II Flüssigkeitsspiegel**  
**abgesenkt.**

**3000 g/h**  
**Durchfluss**

**2000**

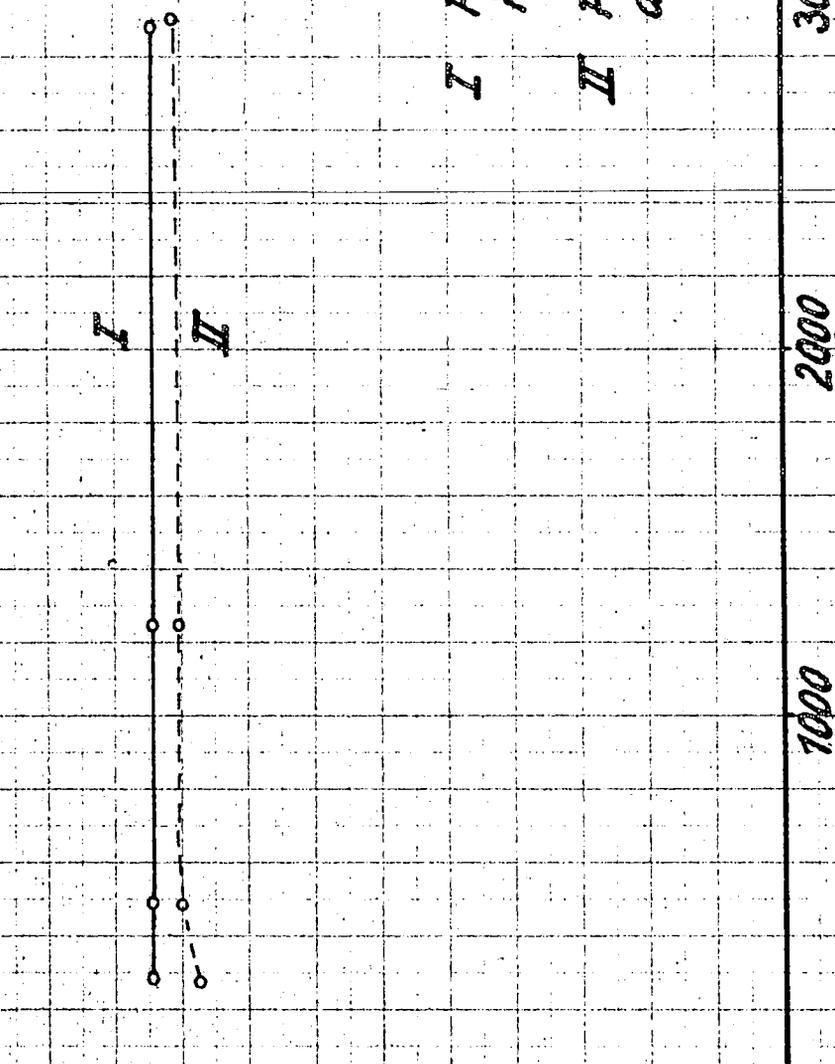
**1000**

**0**

**I**

**II**

21/2.44.42



Hannover, den 27. Juli 1944

BAG Tausch

3896 HANNOVER

K u r s b e r i c h t

zum Forschungsauftrag: "Erfassung der Isothermen und Isovalen in Röhrenöfen"

Kennwort: "Isovalen"

Wehrmarchtsauftrags-Nr.: S 4891-5539 (1958/25)-IV/43

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

Zwecks Aufnahme der Isovalen, Isothermen und Isokalen in Röhrenöfen üblicher Konstruktion wurden die entsprechenden Meßinstrumente angeschafft bzw. selbst hergestellt. An dem Tage, an dem mit den Messungen in Misburg begonnen wurde, ist die Raffinerie durch Feindeinwirkung zerstört worden, so daß die Versuche voraussichtlich erst in einigen Monaten fortgesetzt werden können.

*Müller*

Industrie die dringende Notwendigkeit mit Hilfe exakter wissenschaftlicher Messungen die üblichen Röhrenöfen zu überprüfen, um für die Neugestaltung entsprechende Hinweise zu erhalten.



Hannover, den 7. Juli 1944

BAG Tag

3896 HANNOVER

B e r i c h t

zum Forschungsauftrag: "Erfassung der Isothermen und Isovalen  
in Röhrenöfen"

Kennwort: "Isovalen"

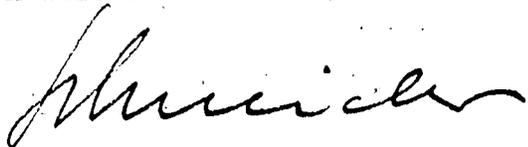
Wehrmachauftrags-Nr.: S 4891-5539 (1958/25)-IV/43

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

Die für die Bestimmung der Isothermen, Isovalen und Iso-  
kalen in Röhrenöfen erforderlichen Meßgeräte sind inzwischen  
beschafft bzw. selbst hergestellt worden. Die eigenen Arbei-  
ten bezogen sich vornehmlich auf die Herstellung der erforder-  
lichen Absaugepyrometer, da es sich als unmöglich herausstellte,  
fertige Geräte zu beschaffen. Andererseits mußte eine eigene  
Konstruktion entwickelt werden, da die Beschaffung der sonst  
verwendeten hochhitze- und zunderbeständigen Stahlrohre praktisch  
nicht möglich war.

Sämtliche Vorbereitungen auch an dem zur Untersuchung vor-  
gesehenen Röhrenöfen waren getroffen.

Am 20.6.1944 früh begannen wir auf der Raffinerie der  
Nerag-Deurag in Misburg mit den Messungen. Ein Angriff der  
Amerikaner am gleichen Vormittag setzte das Werk vorübergehend  
ausser Betrieb. Unsere Meßinstrumente blieben unbeschädigt.  
Die Messungen mußten unterbrochen werden.



Sachbearbeiter:

Dr.-Ing. S c h m i d.

Betr.: Forschungsaufgabe: Erfassung der Isothermen und Isovalen in Röhrenöfen.

Auftrags-Nr.: S 4891-5539 (1958/25) - IV/43.

Kennwort: Isovalen

-----

Die wärmetechnische Untersuchung der in Raffinerien verwendeten Röhrenöfen zur Erhitzung von Ölen erstreckt sich bisher nur auf die insgesamt in den beiden Erwärmungszonen übertragenden Wärmemengen. In der Strahlungszone wird die Wärme hauptsächlich durch Strahlung übertragen, während in der Konvektionszone vor allem ein konvektiver Wärmeübergang stattfindet.

Auf Grund amerikanischer Untersuchungen läßt sich die insgesamt durch Strahlung übertragene Wärmemenge annähernd ermitteln, sofern die Beheizung mit Öl erfolgt, d.h. wenn mit leuchtender Flamme gearbeitet wird. Unbekannt ist jedoch, welche Wärmemengen in den einzelnen Bereichen der Strahlungszone übertragen werden. Eine genauere Betrachtung der räumlichen Verhältnisse sowie der Flammführung läßt vermuten, daß es verschiedene Bereiche gibt, in denen die Geschwindigkeit der Flammgase verhältnismäßig gering ist, sodaß sich an diesen Stellen kalte Gas-schichten ausbilden, die den Wärmeübergang auf die Rohre verringern.

Um ein genaues und vollständiges Bild von der Wärmebelastung der verschiedenen Rohrpartien zu bekommen, ist es erforderlich, sowohl das Temperaturfeld im Strahlungsraum als auch die räumliche Verteilung der Geschwindigkeit der Flammgase, d.h. die Isothermen und die Isovalen zu bestimmen.

Die Bestimmung der Isothermen ist besonders schwierig, da innerhalb des Ofenraumes sehr hohe Temperaturdifferenzen bestehen. Der heißen Flamme stehen die nur einige hundert Grad warmen Rohrbündel gegenüber, sodaß ein einfaches Temperaturmeßgerät eine zu geringe Temperatur anzeigen wird, da es mit der ganzen Umgebung in Strahlungsaustausch steht. Eine zuverlässige Temperaturmessung ist nur mit einem Absaugpyrometer mit Zusatzheizung möglich. Es wird versucht, ein solches Gerät zu beschaffen.

Außer den Isothermen ist zur erschöpfenden Beurteilung der Rohrbelastung noch die Kenntnis der Isovalen erforderlich. Diese sollen mittels eines Prandtl'schen Staurohres gemessen werden, das bei der Firma Rosenmüller, Dresden, bestellt ist.

Da es wahrscheinlich einige Zeit dauern wird, bis die Temperatur- und Geschwindigkeitsmeßgeräte zur Verfügung stehen, die Ofenuntersuchung jedoch möglichst bald in Angriff genommen werden soll, haben wir uns entschlossen, zunächst folgende Untersuchung durchzuführen. Eine wahrscheinlich recht gute Übersicht über die Wärmebelastung der einzelnen Rohrpartien wird man erhalten, wenn mittels eines besonderen Probekörpers die Wärmeübergangsverhältnisse an den einzelnen Stellen des Ofenraumes gemessen werden. Eine Möglichkeit dazu bietet die Wärmesonde nach Hase, die aus einem gut wärmeleitenden Stoff (z.B. Cu oder Al) hergestellt ist. In der Mitte des Körpers, der z.B. als Zylinder ausgebildet werden kann, um sich der Gestalt der im Ofen die Wärme aufnehmenden Rohre anzupassen, ist ein Thermoelement angebracht, sodaß die Erwärmungsgeschwindigkeit der Sonde bestimmt werden kann, die ein direktes Maß für den Wärmeübergang an der Stelle darstellt, an der sich die Sonde befindet. Mit Hilfe der Wärmesonde werden die Isovalen aufgenommen, d.h. Linien gleichen Wärmeüberganges, aus denen sicherlich weitgehende Schlüsse auf die Gleichmäßigkeit oder Ungleichmäßigkeit der Wärmebelastung der einzelnen Rohrbündel gezogen werden können. Die Untersuchungen mittels der Wärmesonde können im Laufe des nächsten Monats begonnen werden, da Herr Prof. Dr. Hase uns eine Sonde zur Verfügung stellt.

Die Sondenmessung ergibt also eine relative Verteilung des Wärmeüberganges. Um daraus die Wärmeübergangszahlen zu ermitteln, ist außer der Temperaturverteilung wenigstens an einer Stelle die tatsächlich auf das Öl übertragene Wärmemenge zu bestimmen. Zu dem Zweck soll anlässlich der Außerbetriebnahme eines Röhrenofens ein Rohr ausgewechselt werden gegen ein solches, das mit verschiedenen Temperatur- und Druckmesssonden ausgerüstet ist, sodaß der tatsächliche Wärmetübergang gemessen werden kann.

Außer den genannten sollen noch andere wärmetechnische Probleme des Röhrenofens behandelt werden. Bei Deckenrohren hat man z.B. Feststellungen gemacht, die darauf schließen lassen, daß die der Ofendecke zugekehrten Rohrhälften wärtemäßig stärker belastet sind als die dem Feuerraum zugekehrten Hälften. Auf Grund von Laboratoriumsversuchen kann schon jetzt gesagt werden, daß diese Erscheinung vermutlich nichts mit der Temperaturverteilung im Ofen zu tun hat, sondern wahrscheinlich darauf zurückzuführen ist, daß in den Rohren sich keine Öldampf-Suspension ausbildet, sondern Öl und Dampf sich wesentlich trennen, wobei das Öl unten und der Dampf oben fließt. Wegen des schlechten Wärmeüberganges vom Rohr auf den Dampf tritt im Rohr ein Wärmestau auf, sodaß das Rohr in der oberen Hälfte einer stärkeren Temperaturbelastung ausgesetzt ist, während die Wärmebelastung, d.h. der Wärmedurchgang durch das Rohr, in der unteren Hälfte größer ist. Wie eine Besprechung ergeben hat, besteht seitens der Erdölindustrie ein großes Interesse an den oben skizzierten Untersuchungen, deren Endzweck die Entwicklung kleinerer Öfen mit größerer Stundenleistung darstellt.

Hannover, den 29. Januar 1944

*Schmidt*