

Heizwert von Gasen.

- A. Normen für technisch wichtige Gase.  
B. Berechnung des Heizwerts aus der Analyse.  
C. Experimentelle Bestimmung des Heizwerts mit dem  
Junkers Trakalorimeter.

1. Literatur
  2. Allgemeines
  3. Apparatur
  4. Einzelteile der Apparatur
  5. Aufstellung der Apparatur
  - ~~6. Erstmalige Inbetriebsetzung~~
  7. Prüfung auf Wasser- und Gasdichtigkeit
  8. Ausfüllung der Heizwertbestimmung
  9. Berechnung
  10. Beispiel
  - ~~11. Außerbetriebsetzung~~
  12. Fehlergrenze
- 
- =====

### A. Normen für technisch wichtige Gase.

Das Normenblatt DIN 1872, Ausgabe August 1936, betr. Heizwerte von technischen Gasen, enthält u.a. folgende Definitionen nebst einer Heizwerttabelle:

1. Oberer Heizwert (Verbrennungswärme)  $H_o$  eines Gases ist die Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung der Gewichtseinheit (K mol oder kg) bzw. Volumeneinheit im Normzustand ( $Nm^3$ ) des trockenen Gases verfügbar wird, wenn nach der Verbrennung die Verbrennungsprodukte auf die Ausgangstemperatur abgekühlt werden und das bei der Verbrennung gebildete Wasser sich im flüssigen Zustand befindet.
2. Unterer Heizwert.  $H_u$  eines Gases ist die Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung der Gewichtseinheit (K mol oder kg) bzw. Volumeneinheit im Normzustand ( $Nm^3$ ) des trockenen Gases verfügbar wird, wenn nach der Verbrennung die Verbrennungsprodukte auf die Ausgangstemperatur abgekühlt werden und das bei der Verbrennung gebildete Wasser sich im dampfförmigen Zustande befindet.
3. Ein Unterschied zwischen oberem und unterem Heizwert ist demnach nur bei wasserstoffhaltigen Brennstoffen vorhanden, und zwar ist der untere Heizwert um die Verdampfungswärme des gebildeten Wassers niedriger.
4. Für die Berechnung des Unterschiedes zwischen  $H_o$  und  $H_u$  ist die Verdampfungswärme des Wassers bei  $0^\circ$  mit 597 Kcal/kg zugrunde gelegt worden.
5. Die in der folgenden Tafel aufgeführten Heizwerte gelten für die Ausgangs- und Endtemperatur  $0^\circ$  und für die Verbrennung bei konstantem Druck von 760 Torr.

#### Anmerkung.

Da das Normkubikmetergewicht für Butylen und für Benzoldampf mit Hilfe einer Näherungsformel berechnet wurde, ist auch der Heizwert in Kcal/ $Nm^3$  nur als Anhaltswert zu betrachten.

Als gesetzliche Wärmeeinheit lt. Reichsgesetz vom 7.8.1924 gilt die Kilokalorie (Kcal), d.i. die Wärmemenge, durch die 1 kg Wasser bei 760 mm Torr von  $14,5^\circ$  auf  $15,5^\circ$  erwärmt wird.

Die Änderung des Heizwertes, die sich ergibt, wenn statt  $0^\circ$  als Ausgangs- und Endtemperatur des Verbrennungsvorgangs  $20^\circ$  angenommen wird, liegt im allgemeinen innerhalb der Meßgenauigkeit.

- 2 -

Gas	Formel	Mol- gewicht	Molvol. bei 0° u. 760 Toorr Nm <sup>3</sup> /Kmol	Ho Kcal/Nm <sup>3</sup>	Hu Kcal/Nm <sup>3</sup>	Ho Kcal/kg	Hu Kcal/kg
Kohlenoxyd	CO	28,00	22,40	3020	3020	2420	2420
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	2,0156	22,43	3050	2570	33910	28570
Methan	CH <sub>4</sub>	16,03	22,36	9520	8550	13280	11930
Acetylen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,02	22,22	14090	13600	12030	11620
Aethylen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,03	22,24	15290	14320	12130	11360
Aethan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,05	22,16	16820	15370	12410	11330
Propylen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42,05	21,96	22540	21070	11770	11000
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,06	21,82	24320	22350	12040	11070
Butylen	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,06	(22,4)	(29110)	(27190)	11630	10860
n-Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,08	21,49	32010	29510	11840	10920
i-Butan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,08	21,77	31530	29050	11820	10890
Benzoldampf	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78,05	(22,4)	(34960)	(33520)	10030	9620
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	17,031	22,08	4120	3390	5340	4400
Schwefel- wasserstoff	H <sub>2</sub> S	34,08	22,14				
Verbrennung zu SO <sub>2</sub>				6140	5660	3990	3680
zu SO <sub>3</sub>				7200	6720	4680	4360

Anmerkung. Für die Olefine, die bei der Koksgasanalyse als C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> (schwere Kohlenwasserstoffe) bezeichnet werden, gilt konventionsgemäß

Ho 18200 Kcal/Nm<sup>3</sup>

Hu 17000 "

#### B. Berechnung des Heizwerts aus der Analyse.

Der Heizwert eines Gasgemisches läßt sich aus dem Heizwert seiner einzelnen, analytisch bestimmten Bestandteile berechnen, da sich der Heizwert additiv aus den Heizwerten der Einzelbestandteile zusammensetzt. Enthält ein Gas z.B.

a % schwere Kohlenwasserstoffe

b % Kohlenoxyd

~~c % Wasserstoff~~

Beispiel:

Bestandteil	Koksgas		Restgas	
	%	Ho Kcal	%	Ho Kcal
CO <sub>2</sub>	2,2	-	1,0	-
CnHm	2,3	419	1,7	309
O <sub>2</sub>	0,3	-	1,0	-
CO	5,5	166	9,8	296
H <sub>2</sub>	52,8	1610	11,4	348
CH <sub>4</sub>	25,7	2447	44,3	4217
N <sub>2</sub>	11,2	-	30,8	-
Sa.	100,0	%4642	100,0	%5170

Der obere Heizwert beträgt in obigem Beispiel bei

Koksgas 4642 Kcal/Nm<sup>3</sup>

Restgas 5170 Kcal/Nm<sup>3</sup>

Für die Kilokalorie (Kcal) wird oft auch der Ausdruck Wärmeeinheit (WE) gebraucht. Unter der im folgenden gebrauchten Bezeichnung WE/m<sup>3</sup> ist immer Kcal/Nm<sup>3</sup> zu verstehen, wenn nicht ausdrücklich etwas anderes bezeichnet ist.

C. Experimentelle Bestimmung des Heizwertes.

Um sich von den Ergebnissen der Gasanalyse unabhängig zu machen, andererseits aber, um den Heizwert auch außerhalb des Laboratoriums, z.B. bei Ferngasleitungen, schnell und sicher bestimmen zu können, hat man Kalorimeter konstruiert, die die experimentelle Bestimmung des Heizwertes - auch registrierend - ermöglichen. Im folgenden wird ein einfaches Kalorimeter beschrieben, mit dessen Hilfe man den Heizwert eines Gases jederzeit bestimmen und das damit auch zur Kontrolle der registrierend arbeitenden Heizwertschreiber dienen kann.

Das in der Literatur mehrfach beschriebene "Kaloriskop" (Patent Strache-Kling, Modell Dr. Löffler) kann auf Grund der schlechten Erfahrungen nicht empfohlen werden, da die damit bestimmten Heizwerte zu niedrig sind. Vergl. ähnliche Beobachtungen von G.A. Brender & Brandis u. J.C. Vlughter, Het Gas 47, 332-335 (1927).

## Junkers Tragkalorimeter.

### 1. Literatur.

Gas und Wasserfach 70, 1055 (1927).  
W. Wunsch u. H. Seebaum, Gas u. Wasserf. 75, 644 (1932); C. 1932, II, 2688. Chem. Fabrik 6, 452 (1933).

### 2. Allgemeines.

Das Princip der Heizwertmessung mit dem Tragkalorimeter (Hersteller: Junkers Kalorimeterbau G.m.b.H., Dessau) besteht darin, daß eine gemessene Menge Gas im Kalorimeter verbrannt und die dabei frei werdende Wärmemenge an eine bekannte Menge fließenden Wassers ohne Wärmeverluste abgegeben wird, wobei die Temperaturerhöhung des Wassers gemessen wird. Der Heizwert wird also durch direkte Messung in Wärmeeinheiten nach der bekannten Heizformel

$$H_o = \frac{\text{Wassermenge } W}{\text{Gasmenge } G} \cdot \text{Temperaturerhöhung in } ^\circ\text{C}$$

ermittelt.

~~Das Tragkalorimeter ist nun so konstruiert, daß die durch das Kalorimeter fließende Wassermenge gleichzeitig die zur Verbrennung dienende Gasmenge vordrängt, d.h. dem Brenner stets eine genau gleich große Gasmenge zuführt, so daß der Quotient  $\frac{W}{G} = 1$  wird und die einzig veränderliche Größe, die gemessen wird, die Temperaturerhöhung des Wassers ist, die damit der alleinige Maßstab für den Heizwert ist. Die Temperaturdifferenz, multipliziert mit 1000, stellt also den oberen, unreduzierten Heizwert dar. Tatsächlich trifft dies aber nicht ganz zu. Denn es hat sich herausgestellt, daß sich verschiedene Einflüsse, wie wahrscheinlich-Strahlung des Innenkörpers zum Gas- und Wasserbehälter, Temperatur der Verbrennungsluft usw., auf das Meßergebnis mehr oder weniger stark auswirken, so daß zur Bestimmung des wirklichen Heizwertes noch eine Korrektur anzuwenden ist, die für jedes Kalorimeter verschieden ist und aus einer dem Kalorimeter bei der Lieferung mitgegebenen Kurve leicht abgelesen werden kann. Der so gefundene Heizwert wird dann, um vergleichbare Werte zu erhalten, unter Berücksichtigung der Gas-temperatur und des Barometerstandes auf  $0^\circ, 760$  mm, trocken reduziert.~~

Mit dem Tragkalorimeter kann nur der obere Heizwert des Gases bestimmt werden, d.h. die Wärmemenge, die bei der Verbrennung des Gases unter Kondensation des bei der Verbrennung gebildeten Wassers entsteht.

Der untere Heizwert ist, wie bereits oben erwähnt, um die Verdampfungswärme des Verbrennungswassers kleiner, was bei Koksgas etwa 10 % ausmacht.

### 3. Apparatur. (schematisch s. Fig. 1)

Das Wasser fließt aus dem Vorratsbehälter (1) durch den Überlaufbecher (4) in den Kalorimeterkörper (14). Mit Hilfe der Quecksilberthermometer 27 und 28, die in  $\frac{1}{20}^{\circ}\text{C}$  geteilt sind und an denen  $\frac{1}{100}^{\circ}\text{C}$  abgeschätzt wird, liest man die Eingangs- und Ausgangstemperatur des Wassers während des Versuches ab. Das Wasser fließt zunächst in der Richtung des Pfeiles nach unten weiter und wird in einem Wärmeaustauscher den abziehenden Verbrennungsgasen (50) entgegengeführt, wobei es sich erwärmt. Darauf wird es an dem Thermometer (27) gemessen, tritt in einen ringförmigen Behälter, den Gasmeßraum (10), ein und fällt hier nach unten. In dem Gasmeßraum sind vorher etwa 2 l Gas abgemessen worden, die durch das eintretende Wasser verdrängt werden und im Brenner (21) in der Verbrennungskammer des Kalorimeters verbrennen. Das Gas streicht in der Pfeilrichtung an dem Thermometer (25a) vorbei, wo seine Temperatur gemessen wird. Gleiche Raumteile des durch das Kalorimeter fließenden Wassers verdrängen gleiche Raumteile Gas. Die abziehenden Verbrennungsgase (50) entweichen nach dem Wärmeaustausch durch einen seitlichen Stutzen (17) ins Freie.

### 4. Einzelteile der Apparatur. (s. Fig. 2).

Es bedeuten:

- 1 oberer Wasserbehälter
- 2 Wasserzulaufrohr z. Becher 4
- 3 Hahn i. Wasserzulaufrohr 2
- 4 Überlaufbecher
- 5 Ableselupen für Thermometer 27 u. 28
- 6 Verschraubung am Überlauf 4
- 7 Wasserabfluß vom Überlauf 4
- 8 Fülltrichter auf der Ummantelung
- 9 Entlüftungshahn auf der Ummantelung
- 10 Gasmeßraum
- 11 oberer Wassermischer
- 12 unterer Wassermischer
- 13 Wasservorratsraum in der Ummantelung
- 17 Abgasstutzen
- 18 Boden zum eigentl. Kalorimeter
- 19 Stutzen für Kondenswasser
- 20 Entleerungshahn für Heizkörper
- 21 Brenner mit Zwinge
- 22 Befestigungsschraube z. 21
- 23 drei Füße
- 24 drei Stellschrauben für 23

- 25 drei Tragstützen für Behälter 1
- 25a Thermometer  $\frac{1}{7}^{\circ}\text{C}$  Tlg. für Gas
- 26 Wasserstandsrohr
- 27 Thermometer  $\frac{1}{20}^{\circ}\text{C}$  Tlg. warm
- 28 Thermometer  $\frac{1}{20}^{\circ}\text{C}$  " kalt
- 29 2 Thermometerverschraubungen
- 30 Deckel z. eigentl. Kalorimeter
- 31 Verschraubung am Wasserstandsrohr
- 32 Befestig. Schraube f- 25
- 33 Libelle
- 34 Verschraubung Warmwasseraustritt
- 35 Brennerkopf
- 36 3 Wege-Umstellhahn
- 37 Auslauf am Hahnkücken des Umstellhahnes 36 (auf der Zeichnung wegen der Übersichtlichkeit seitlich herausgeführt)
- 38 Gas Eintrittsstutzen
- 39 Gasaustrittsstutzen zum Brenner
- 40 Skala am 3 Wege-Umstellhahn 36
- 41 unterer Wasserbehälter
- 42 Schutzhülsen f- Thermometer 27 u. 28
- ~~43 Schutzhülse f- Thermometer 25a~~
- 44 Strichmarke an der Ummantelung zur Einstellung des Umstellhahnes 36

---

- 45 Befestigungsschraube zum Boden
- 46 Befestigungsschraube am Boden der Ummantelung.
- 47 drei Halter für Füße 23
- ~~48 Lederringe für Verschraubung 29~~
- ~~49 Fettschnur für Verschraubung 29~~
- 50 Abziehende Verbrennungsgase

#### 5. Aufstellung der Apparatur.

- 1 Wassertöpfe 1 und 41 von der Ummantelung abnehmen (Fig. 3)
- 2 Drei Füße 23 aus Halter 47 (Fig. 3) herausschrauben und in den Boden der Ummantelung einschrauben (Fig. 2).
- 3 Thermometer 27 und 28 ( $\frac{1}{20}^{\circ}\text{C}$  Unterteilung) zur Messung der Kalt- und Warmwassertemperaturen nach Lösen der Kappe aus den Schutzhülsen 42 (Fig. 3) herausnehmen und kontrollieren, ob die Quecksilberfäden intakt sind.
- 4 Thermometer 27 und 28 nach Bild 4 in die Kalt- und Warmwasserstutzen wie folgt einsetzen:
  - a) Verschlusskappen 29 abschrauben.
  - b) Lederringe 48 auf die Thermometer schieben.
  - c) Fettschnur 49 zwischen die Lederringe legen.
  - d) Warmwasser-Thermometer 27 soweit einschieben, bis es unten aufsitzt, Kaltwasser-Thermometer 28 (Blau) so tief einsetzen, daß es äußerlich mit Thermometer 27 in gleicher

- c) Verschlußkappen 29 aufschrauben, bis die Thermometer festsitzen.
5. Gasthermometer 25a nach Lösen der Kappe aus der Schutzhülse 43 (Fig. 3) herausnehmen und in gleicher Weise wie Thermometer 27 in Wasserstandsrohr 26 einsetzen.
  6. Ableselupen 5 auf die beiden Thermometer 27 u. 28 schieben (F.3)
  7. Drei Tragstützen 25 nach Lockern der Befestigungsschrauben 32 aus den Haltern herausziehen und umgekehrt wieder in die Halter einstecken. Befestigungsschrauben wieder anziehen. (Fig. 2).
  8. Wasserzulaufrohr 2 mit Hahn 3 aus dem Boden des Wassertopfes 1 herausschrauben und auf der Aussenseite wieder einschrauben, Hahn selbst schließen.
  9. Wassertopf 1 so auf die Tragstützen 25 setzen, daß Wasserzulaufrohr 2 direkt über dem Überlaufbecher 4 steht (Fig. 2)
  10. Entlüftungshahn 9 öffnen und mitgeführtes Wasser durch Öffnen des Entleerungshahnes 16 aus der äußeren Ummantelung 13 in Wassertopf 41 ablassen, darauf beide Hähne schließen. Wird in der Ummantelung kein Wasser mitgeführt, so sind in den oberen Topf 1 ca. 5 Liter <sup>dest.</sup> Wasser einzugießen. Die Ummantelung dient als Vorratsgefäß für das zur Heizwertbestimmung benötigte Wasser, wenn man Heizwertbestimmungen auf freiem Gelände (z.B. in Ferngasleitungen) ausführen will und dort kein Wasser zur Verfügung steht. Bei der laboratoriumsmäßigen Untersuchung bleibt die Ummantelung leer und man bedient sich reinen, dest. Wassers, das am besten schon vorher mit dem zu untersuchenden Gase gesättigt wird.
  11. Aus der Ummantelung abgelassenes Wasser in den oberen Topf 1 giessen.  
 Unteren Wassertopf 41 so unter Umstellhahn 36 stellen, daß das später aus der hinteren Kükenöffnung 37 austretende Wasser frei in den Topf auslaufen kann.
  12. Gas Eintrittsstutzen 38 am Umstellhahn 36 durch Schlauch mit der Zuführungsleitung des zu untersuchenden Gases verbinden.
  13. Brenner 21 aus dem Kalorimeter herausnehmen.
  14. Entleerungshahn 20 unten am Kalorimeter schließen.
  15. Kalorimeter mit Stellschrauben 24 nach der Libelle 33 ausrichten.

6. Erstmalige Inbetriebsetzung des Kalorimeters.

1. Auswahl des Brennerkopfes 35 und zwar:
 

Brennerkopf 9	ebfs	für Gase mit	Ho	<	3000	Kcal
5	"	"	"	"	3000 - 5000	Kcal
3	"	"	"	"	>5000	Kcal
2. Umstellhahn 36 auf Stellung I bringen, wobei sich die Zahl mit der Strichmarke 44 am Hahnflansch decken muß. (Fig.3 u. 7).

- 380
3. Gashahn in der Entnahmelleitung der Gasprobe öffnen und Verbindungsleitung bis zum Brenner mit Gas ausspülen. Gas kurze Zeit aus dem Brenner ausströmen lassen und anzünden aber nicht ins Kalorimeter einführen.
  4. Umstellhahn in Stellung II bringen (Fig. 5). Inneren Gasmeßraum 10 vollständig mit Wasser auffüllen, um alle Luft aus dem Innern zu entfernen.

Diese Maßnahme ist unbedingt erforderlich, um Heizwertfälschungen durch Luftbeimischungen und Bildung explosiven Gasgemisches zu verhindern.

Die Auffüllung mit Wasser geschieht wie folgt:

5. Hahn 3 am Wasserzulaufrohr 2 unter dem oberen Wassertopf 1 ganz öffnen.

Das Wasser fließt jetzt in den Überlaufbecher 4 und von da durch ein Fallrohr nach unten, tritt dort in das eigentliche Kalorimeter 14 ein, fließt von unten nach oben durch den Kalorimeterkörper und tritt am Auslauf 34 aus. Von hier aus fällt das Wasser durch ein Rohr nach unten (in der Zeichnung nicht angegehen) in den Gasmeßraum 10 und füllt diesen langsam ansteigend vollständig mit Wasser an. Die Anfüllung des Gasraumes ist beendet, wenn das Wasser im Wasserstandsrohr 26 bis zur Höhe des Wasserüberlaufes im Becher 4 gestiegen ist. Während der Auffüllung des eigentlichen Kalorimeters und des Gasmeßraumes läuft ein Teil des aus 1 zufließenden Wassers über die Trennwand im Überlaufbecher 4 und fließt durch Schlauchleitung 7 in Wassertopf 41 ab. Dieses Wasser muß, besonders während der Heizwertbestimmung, ständig überfließen, da nur so dem eigentlichen Kalorimeter 14 genügend Wasser zugeführt wird.

6. Nach beendeter Auffüllung ist der Hahn 3 am Wasserzulaufrohr 2 zu schließen und der Umstellhahn 36 auf Stellung III zu bringen (Fig. 6).
7. In diesem Moment fließt das Wasser aus dem Gasmeßraum 10 durch die Kükenöffnung 37 nach hinten in den Wassertopf 41 ab (in der Zeichnung schematisch dargestellt) und das zu messende Gas strömt aus der Leitung nach. In dieser Stellung wird dem Brenner 21 kein Gas zugeführt. Die Abmessung der für den Heizwertverbrauch bestimmten Gasmenge ist beendet, wenn kein Wasser mehr aus der Kükenöffnung am Umstellhahn austritt, sondern Gas ausströmt.
8. Hierauf ist der Umstellhahn wieder in Stellung II zu bringen und das bisher in den unteren Wassertopf 41 geflossene Wasser in den oberen Topf 1 einzugießen.
9. Nach Öffnen des Hahnes 3 am Wasserzulaufrohr 2 unter dem oberen Topf fließt das Wasser in der unter Punkt 5 angegebenen Weise

wieder durch das Kalorimeter in den Gasmeßraum und verdrängt von unten ansteigendes Gas zum Brenner 21.

10. Brenner 21 anzünden, jedoch noch nicht in das Kalorimeter einsetzen, sondern erst 5 - 6 Blindversuche nach Punkt 5 - 9 anstellen, um das Wasser vollständig mit Gas zu sättigen. Die Sättigung ist erforderlich, um Falschanzeigen zu vermeiden, die durch Absorption von Gasbestandteilen bei nicht vollständig gesättigtem Wasser entstehen. Steht für spätere Messungen schon gasgesättigtes Wasser zur Verfügung, dann genügen 1 oder 2 Blindversuche.
11. Nach den Blindversuchen ist der angezündete Brenner in das Kalorimeter einzusetzen und durch Schraube 22 am Brennerstift zu befestigen.

### 7. Prüfung auf Wasser- und Gasdichtigkeit.

#### a) Wasserdichtigkeit.

1. Apparat nach Punkt 5 Seite 8 vollständig mit Wasser anfüllen.
2. Wasserstand im Glasrohr 26 beobachten.  
Sinkt der Wasserstand während 5 Minuten nicht ab, dann ist vollkommene Wasserdichtigkeit vorhanden. Im anderen Falle kann die Undichtigkeit wie folgt beseitigt werden.
3. Verschraubungen 31 am Wasserstandsrohr 26, 34 am Warmwasser-  
austritt, 29 an den Thermometern und 6 am Überlauf, sowie  
Küken am Umstellhahn 36, Entleerungshahn 20 und drei Schrauben  
am Flansch des Umstellhahnes nachziehen.

#### b) Gasdichtigkeit.

Die Prüfung wird anschließend an die Wasserdichtigkeit gemacht und zwar wie folgt:

1. Gasmeßraum 10 nach Punkt 6 - 8 Seite 8 entleeren.
2. Öffnungen im Brennerkopf durch Aufschieben einer Gummikappe  
oder durch Zudrücken mit dem Daumen verschließen.
3. Wasserzulaufhahn 3 öffnen, warten bis Wasser über die Trenn-  
wand im Becher 4 läuft, dann Hahn wieder schließen.
4. Wasserstand im Becher 4 beobachten. Beim Absinken des Wasser-  
standes ist eine Gasundichtigkeit vorhanden. In diesem Falle  
ist zunächst nachzuprüfen, ob die Öffnungen im Brenner auch  
tatsächlich verschlossen sind, dann ist folgendes notwendig:
5. Verschraubung 31, Küken am Umstellhahn 36, drei Schrauben  
am Flansch des Umstellhahnes und Verschraubung an Gasthermo-  
meter 25a nachziehen. Bei vollkommener Gas- und Wasserdich-  
tigkeit kann nunmehr der Apparat nach den allgemeinen Vor-  
schriften in Betrieb genommen werden.

### 8. Ausführung der Heizwertbestimmung.

Nachdem man das Kalorimeterwasser in der in Abschnitt VI,  
Nr. 5 - 9 geschilderten Weise mit Gas gesättigt und einige Blind-  
versuche gemacht hat, füllt man das Kalorimeter wieder mit Gas

(Hahn 36 in Stellung III = Fig. 6), wobei das Wasser in das <sup>382</sup> untere Gefäß (41) abläuft, bis das Gas durch die Kükenöffnung nach ~~Min~~ in den Topf 41 ausbläst. Dann füllt man das ausgelaufene Wasser in den oberen Topf 1 um, bringt Hahn 36 in Stellung II (Fig. 5), öffnet den Wasserabflusshahn 3 und zündet sofort das aus der Brenneröffnung ausströmende Gas an. Der Gasinhalt des Kalorimeters ist nach längstens drei Minuten erschöpft, so daß man eine halbe Minute nach dem Entzünden der Flamme den Brenner in die Kalorimeterkammer einführen u. nach einer weiteren halben Minute mit dem abwechselnden Ablesen der beiden Thermometer 27 u. 28 beginnen muß.

Nach dem Einsetzen des Brenners beginnt die Temperatur des Warmwasserthermometers 27 sofort zu steigen, ist aber nach etwa einer halben Minute konstant, so daß man mit der eigentlichen Messung beginnen kann, für die jetzt noch zwei Minuten zur Verfügung stehen.

Man notiert nunmehr die Temperatur des Gases (am Gasthermometer 25a) zu Beginn des Versuches und liest abwechselnd die Temperatur des kalten und warmen Thermometers ab, was in der Zeit von zwei Minuten etwa sechs mal möglich ist. Sobald das Kalorimeterwasser oben im Wasserstandsglas angelangt ist, dreht man Hahn 36 wieder in Stellung III, wodurch die Gaszufuhr zum Brenner automatisch unterbunden wird und wobei sich das Kalorimeter wieder mit Gas füllt und damit für einen neuen Versuch fertig ist.

Am Ende des Versuches liest man nochmals die Temperatur des Gases am Thermometer 25 a ab und notiert den Barometerstand. Die Genauigkeit der Ablesung soll am Gasthermometer  $0,1^{\circ}\text{C}$  betragen, was durch Zwischenschätzung bei einiger Übung leicht möglich ist.

~~Man soll möglichst vier Bestimmungen von demselben Gas hintereinander machen.~~

## 9. Berechnung.

Nach der Definition der Wärmeeinheit braucht man 1 Kcal, um 1 kg Wasser um  $1^{\circ}$  zu erwärmen. Danach entspricht einer beobachteten Temperatursteigerung von  $\Delta T^{\circ}$  bei einer Wassermenge von Wkg eine Wärmemenge von

$$X = W \cdot \Delta T \text{ Kcal}$$

Das bedeutet, wenn man G l Gas zur Untersuchung angewandt hat:

$$H_0 = \frac{W \cdot \Delta T \cdot 1000}{G} \text{ Kcal/m}^3$$

oder, da das Tragkalorimeter so konstruiert ist, daß die Gasmenge gleich der Wassermenge ist, wodurch  $\frac{W}{G} = 1$  wird:

$$H_0 = \Delta T \cdot 1000 \text{ Kcal/m}^3$$

Man braucht also die beobachtete Temperaturdifferenz nach Anbringung der erforderlichen Korrekturen nur mit 1000 zu multiplizieren, um den oberen Heizwert zu erhalten.

Dieser Heizwert entspricht jedoch dem feuchten Gas bei der Versuchstemperatur und dem augenblicklichen Barometerstand. Zur Reduktion auf den Normalzustand hat man den Wert noch mit dem umgekehrten Reduktionsfaktor für Gasvolumina zu multiplizieren, so daß die endgültige Formel lautet:

$$H_0 = \Delta T \cdot 1000 \cdot \frac{760 \cdot (273+t)}{273 \cdot (b-e)} \text{ Kcal/Nm}^3 \text{ (oder WE/m}^3\text{)}.$$

Darin bedeutet:  $\Delta T$  = beob. corrigierte Temperaturdifferenz in  $^{\circ}\text{C}$   
 $t$  = mittlere Gastemperatur  $^{\circ}\text{C}$   
 $b$  = Barometerstand in mm Hg  
 $e$  = Wasserdampftension bei  $t^{\circ}\text{C}$  in mm Hg.

10. Beispiel. Koksofengas vor Luftzusatz.

1.5.39. 7<sup>00</sup>

Thermometer 28 kalt	Thermometer 27 warm	Gastemperatur (Thermom. 25a)
23,77 <sup>0</sup>	27,67 <sup>0</sup>	24,5 <sup>0</sup> (Anfang)
23,78 <sup>0</sup>	27,68 <sup>0</sup>	
23,79 <sup>0</sup>	27,68 <sup>0</sup>	
23,78 <sup>0</sup>	27,68 <sup>0</sup>	24,9 <sup>0</sup> (Ende)
23,78 <sup>0</sup>	27,69 <sup>0</sup>	
23,78 <sup>0</sup>	27,69 <sup>0</sup>	
Mittel 23,78 <sup>0</sup>	27,682 <sup>0</sup>	24,7 <sup>0</sup>

Auf Grund des den Thermometern beigegeführten Eichscheines ist die wahre Temperatur:

kalt: 23,800<sup>0</sup>                      warm: 27,657<sup>0</sup>, also

$$\Delta T = 27,657 - 23,800 = 3,857^{\circ} \text{ (unkorr.)}$$

Dieser Wert ist noch um einen Betrag zu korrigieren, der sich aus der/dem Tragkalorimeter beigegebenen Korrektur/Kurve ergibt. In obigem Beispiel ist das Warmwasser, das stets als Bezugsgröße gilt, mit einer mittleren Temperatur von 27,657<sup>0</sup> um 2,96<sup>0</sup> wärmer als die mittlere Gastemperatur (von 24,7<sup>0</sup>), so daß der Wert für  $\Delta T$  nach der Korrekturkurve um 0,115<sup>0</sup> zu vergrößern ist, also:

$$\Delta T = 3,857^{\circ} + 0,115^{\circ} = 3,972^{\circ} \text{ (korr.)}$$

Die Druck-Temperaturverhältnisse zur Zeit des Versuches waren:

- $b = 754,1^{\circ}$  (Barometerstand)
- $t = 24,7^{\circ}$  (mittl. Temp. des Gases)
- $e = 23,3 \text{ mm}$  (Wasserdampftension bei  $t^{\circ}$ )

Der unreduzierte obere Heizwert ist dann

$$H_o = 3,972 \cdot 1000 = 3972 \text{ Kcal/m}^3.$$

Die Reduktion auf den Normalzustand erfolgt nach der Gleichung

$$H_o = 3,972 \cdot 1000 \cdot \frac{760 \cdot (273+24,7)}{273 \cdot (754,1+23,3)} = 4504$$

Der reduzierte obere Heizwert ist also

$$H_o = 4504 \text{ Kcal/Nm}^3 (= \text{WE/m}^3).$$

Der auf Grund der Orsatanalyse berechnete obere Heizwert ist:

	%	Kcal
CO <sub>2</sub>	2,4	-
CnHm	2,0	364
O <sub>2</sub>	0,4	-
CO	5,1	154
H <sub>2</sub>	54,9	1674
CH <sub>4</sub>	24,4	2323
N <sub>2</sub>	10,8	-
Sa.	100,0 %	4515

$$\text{ber. } H_o = 4515 \text{ Kcal/Nm}^3 (= \text{WE/m}^3)$$

Anmerkung. Mitunter ist es zweckmäßig, den Heizwert nicht auf Normalgasvolumen (0°, 760 mm, trocken,) sondern auf das "technische Gasvolumen" (15°, 760 mm, feucht) zu beziehen, weil dieses den natürlichen Verhältnissen am nächsten kommt. Man rechnet dann nach folgenden Formeln

a) Vom unreduzierten Heizwert auf 15°, 760 mm, feucht

$$H_o = 3,972 \cdot 1000 \cdot \frac{(273+24,7) \cdot (760-12,8)}{(754,1+23,3) \cdot (273+15)} = 4198$$

$$H_o = 4198 \text{ Kcal/m}^3 (15^\circ, 760, \text{ feucht}).$$

b) Vom reduzierten Heizwert auf 15°, 760 mm, feucht:

$$H_o = 4504 \cdot \frac{273 \cdot (760-12,8)}{760 \cdot (273+15)} = 4198 \text{ Kcal/m}^3 (15^\circ, 760, \text{ feucht}).$$

Darin bedeutet 4504 = H<sub>o</sub> red. Kcal/Nm<sup>3</sup>

12,8 = Wasserdampfspannung bei 15°

15 = Bezugstemperatur °C

### 11. Ausserbetriebsetzung.

1. Gashahn in der Gasprobleitung schließen und Schlauch vom Gas-eintrittsstutzen 38 am Umschalthahn entfernen.
2. Gasraum 1o entleeren.  
Umstellhahn 36 auf "III" stellen (Fig. 6) und warten, bis kein Wasser mehr aus der Kükenöffnung 37 horaustritt. Dann Apparat etwas seitwärts kippen.
3. Kalorimeterkörper 14 entleeren:  
Entleerungshahn 2o unten am Kalorimeter öffnen (Fig. 2): Wenn kein Wasser mehr austritt, Apparat wieder etwas seitwärts kippen.
4. Obere Wassertopf 1 herunternehmen, etwa noch darin befindliches Wasser in Behälter 41 gießen, Rohr 2 abschrauben und innen wieder einschrauben.
5. Tragstützen 25 herausnehmen, umgekehrt wieder einsetzen und durch Schrauben 32 sichern.
6. Ableselupen 5 von den Thermometern 27 und 28 wieder abnehmen und auf Tragstützen 25 setzen.
7. Thermometerverschraubungen 29 lösen, Thermometer 27 und 28 herausziehen und in Schutzhülsen 42 stecken (Fig. 3).
8. Verschraubung am Gasthermometer 25a lösen. Thermometer herausziehen und in Schutzhülse 43 stecken. (Fig. 3).
9. Entlüftungshahn 9 an der Ummantelung öffnen, Verschlußschraube aus Fülltrichter 8 heraus-schrauben und Kalorimeterwasser in Ummantelung 13 eingießen.
10. Entlüftungshahn 9, Fülltrichter 8 und Entleerungshahn 2o schließen.
11. Füße 23 heraus-schrauben und in Halter 47 einschrauben (Fig. 3).
12. ~~Oberer und unterer Wassertopf gut austrocknen, Topf 1 und 41 auf Ummantelung schieben.~~
13. Kalorimeter in Schutzhülle legen.

### 12. Fehlergrenze.

Als Fehlergrenze wird für das Tragkalorimeter  $\pm 50$  WE angegeben, d.h. etwa  $\pm 1,1$  %, da es in erster Linie wohl zur Kontrolle und Bestimmung des Heizwertes von Stadtgas mit z.B.  $4500 \text{ WE/m}^3$  gedacht ist.

Nach der Arbeit von Wunsch & Seebaum, G.W.F. 75, 644 (1932), betragen die Abweichungen bei einem Vergleich des Junkers'schen Handkalorimeters und des Tragkalorimeters

A. beim Wasserstoff (mit 2994 WE ber.)

Handkalorimeter	Tragkalorimeter
2981 - 13 WE	2971 - 23 WE
(im Mittel von 20 Untersuchungen).	

- 14 -

## B. bei Stadtgas

	Handkalorimeter	Tragkalorimeter
1.	4885	4902 + 17 WE
2.	4889	4901 + 12
3.	4821	4830 + 9
4.	4880	4845 - 35
5.	4923	4902 - 21
6.	4974	4961 - 13
7.	4924	4907 - 17
8.	4891	4923 + 32
9.	4822	4835 + 13
10.	4825	4817 - 8
Ø	4883	4882 - 1
(im Mittel von 39 Untersuchungen).		

Größte Differenz beider Apparate :  $\frac{+ 32}{= 35} = \pm 0,7 \%$

Auch der Einfluß wechselnder Temperaturverhältnisse auf die Genauigkeit der Heizwertbestimmung wurde nachgeprüft. Die Versuche ergeben, daß er sehr gering ist, so daß also gerade aus diesem Grunde das Instrument für Betriebszwecke sehr geeignet erscheint.

Nach eigenen Versuchen beträgt die größte Differenz mehrerer Bestimmungen aus einer Gasprobe höchstens 1 %. Die Ergebnisse mit Koksgas sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

Vers.	<u>Tragkalorimeter</u>				<u>Gasanalyse</u>		
	Ho	Mittel	Größte WE	Differenz %	Ho	Differenz gegen Kalor. WE	%
1	4452 4469 4462	4461	17	0,4	4424	- 37	- 0,8
2	4511 4495 4505	4504	16	0,35	4495	- 9	- 0,2
3	4402 4422 4410	4411	20	0,45	4410	- 1	± 0
4	4431 4429 4432 4426	4430	6	0,1	4403	- 27	- 0,6
5	4561 4537 4554	4551	24	0,5	4494	- 57	- 1,25
6	4472 4466 4465	4468	7	0,15	4443	- 25	- 0,6
7	4446 4442 4424	4437	22	0,5	4409	- 28	- 0,6
8	4445 4452 4452 4484	4458	39	0,9	4419	- 39	- 0,9
9	4485 4500 4498 4494	4494	15	0,3	4476	- 18	- 0,4
10	4532 4529 4556 4553 4539	4542	27	0,6	4494	- 48	- 1,1
11	4512 4518 4537 4523	4523	25	0,55	4517	- 6	- 0,1
Mittel =		4480	20	0,45	4453	- 27	- 0,6

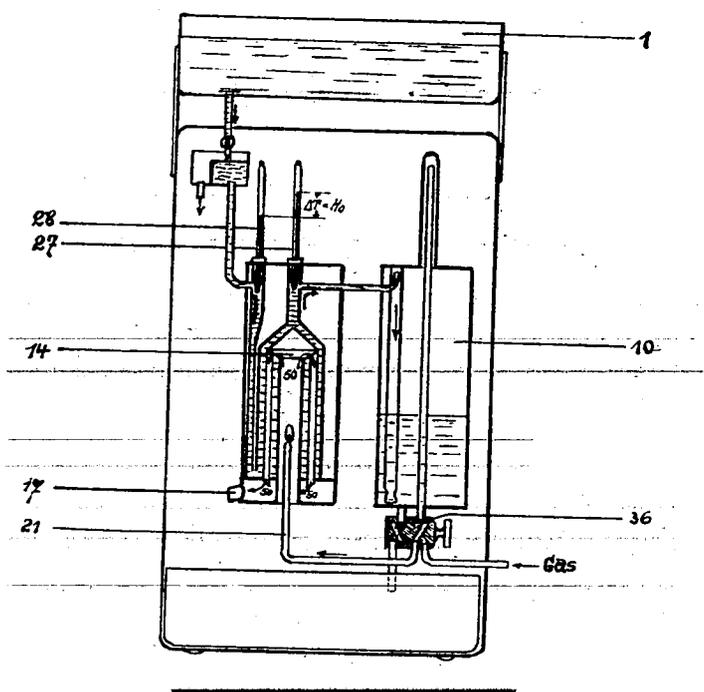


Fig. 1

Schematische Darstellung des Kalorimeters.

nach Wunsch u. Seebaum G.W.F. 75, 646 (1932).

F. Henke-Stark  
19.8.39.

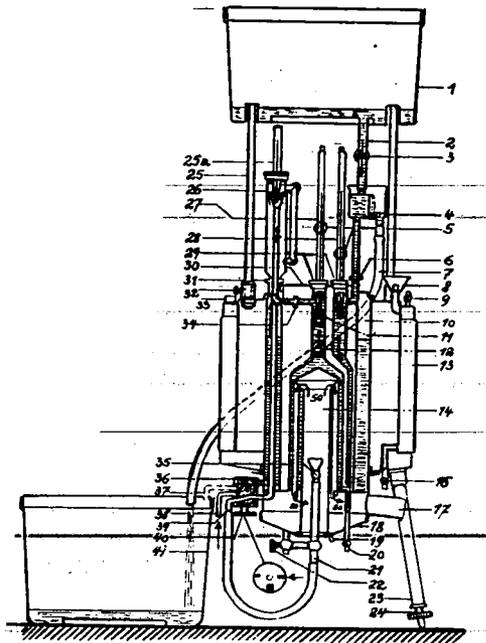


Fig. 2

## Tragkalorimeter von Junkers.

Nach einer Abb. von Junkers App. Bau u. B. u. B. t.  
 T. Anst. f. d. K.  
 S. 539

Junkers Tragkalorimeter  
(in der Schutzhülle verpackt).

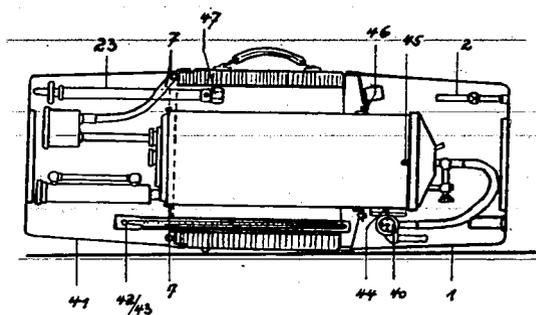


Fig. 9.

Henschel-Gründl.  
J. 18. 27.

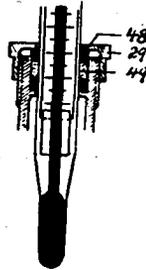


Fig. 4

## Befestigung der Thermometer

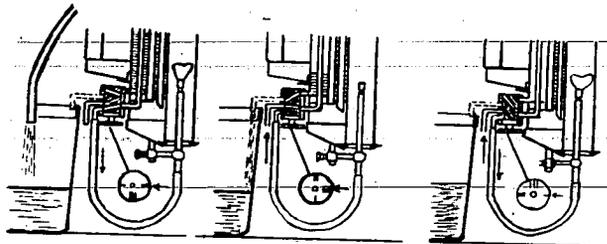


Fig. 5

Fig. 6

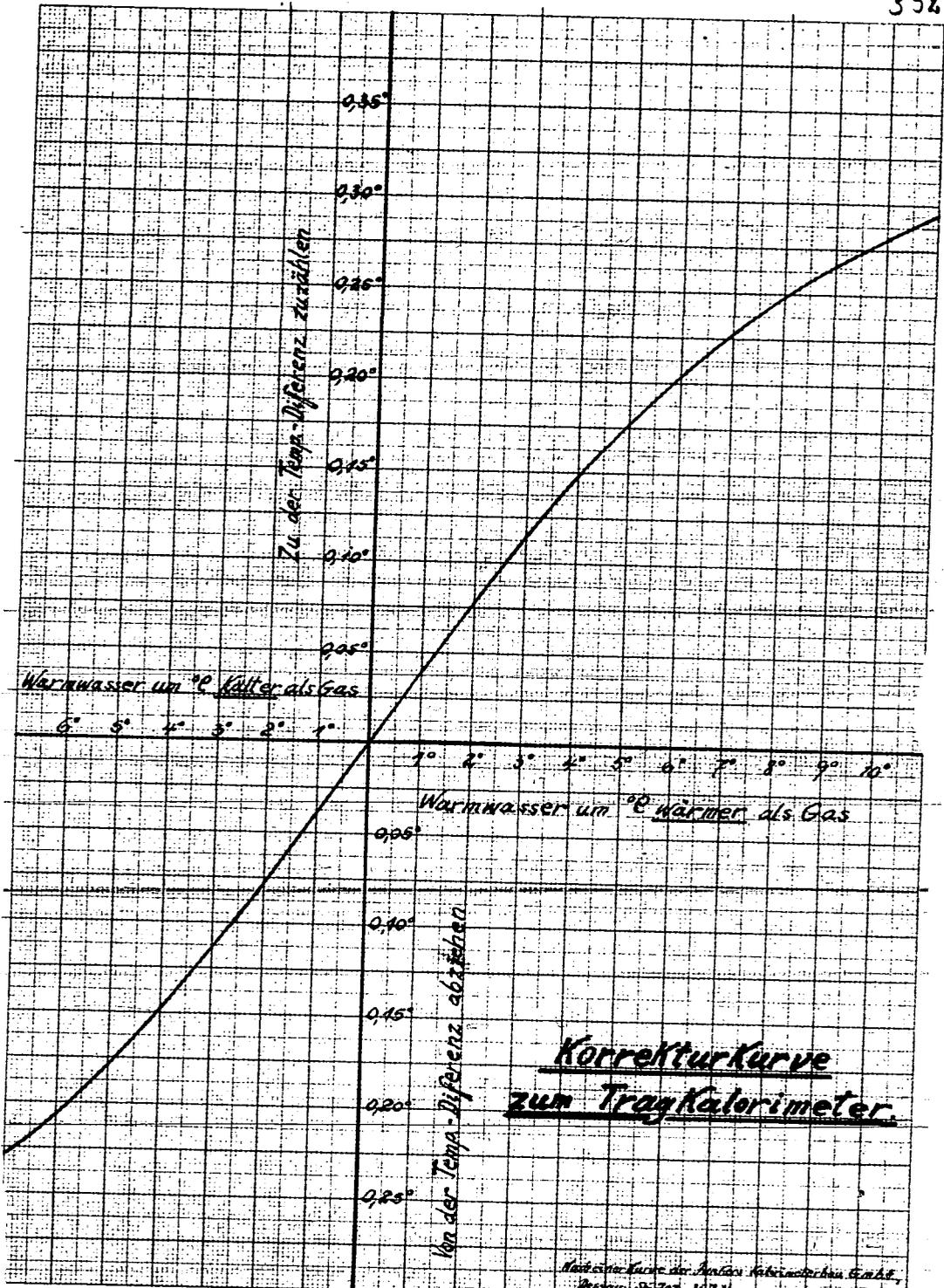
Fig. 7

## Stellungen des 3Weghahnes 36.

**Fig. 5. Stellung II.** Während einer Heizwertbestimmung (vgl. Fig. 2). Das Wasser läuft aus Behälter 1 in das Kalorimeter und drückt das Gas in den Brenner. Überschüssiges Wasser läuft in Behälter 41.

**Fig. 6. Stellung III.** Ablaufenlassen des Kalorimeterwassers in Behälter 41 und gleichzeitige Ansaugung des zu untersuchenden Gases in das Kalorimeter.

**Fig. 7. Stellung I.** Ausspülen der Verbindungsleitung zum Brenner mit Gas.



Warmwasser um  $^{\circ}\text{C}$  kälter als Gas

6° 5° 4° 3° 2° 1°

1° 2° 3° 4° 5° 6° 7° 8° 9° 10°

Warmwasser um  $^{\circ}\text{C}$  wärmer als Gas

Zu der Temp.-Differenz zuzählen

von der Temp.-Differenz abzählen

Korrekturkurve  
zum Traykalorimeter.

Nach einer Kurve der Deutschen Fabrikmaschinen G.m.b.H.,  
Dresden, 18707, 18712.

1911-1912  
2.5.14

210 x 297 mm