

***Versuch 3***  
***( Kalorimeter C 4000 )***  
***Messung des Brenn- und Heizwertes***  
***( DIN 51900 )***

## Versuch 3

### Messung des Brenn- und Heizwertes ( DIN 51900-1 )

#### ( Kalorimeter C 4000 )

### 3.1 Einführung

#### **Brennwert und Heizwert**

Beim Verbrennen fossiler Brennstoffe wird Energie in zwei unterschiedlichen Formen freigesetzt:

Als fühlbare Wärme und als latente, in Wasserdampf gebundene Kondensationswärme.

Der Heizwert  $H_u$  (früher auch "unterer Heizwert" genannt) bezeichnet nur die Wärmemenge, die ohne Wasserdampfkondensation entsteht.

Der Brennwert  $H_o$  (früher auch "oberer Heizwert" genannt) dagegen gibt die gesamte Wärmemenge an, die beim vollständigem Verbrennen eines bestimmten Brennstoffes entsteht. Der Brennwert berücksichtigt also neben der fühlbaren Wärme auch die Kondensationswärme des im Rauchgas enthaltenen  $H_2O$ .

Man kann daher sagen:

$$\text{Heizwert} + \text{Kondensationswärme} = \text{Brennwert}$$

Dieser Brennwert ist eine unverzichtbare Größe bei der thermodynamischen Berechnung von Feuerungsanlagen und Wärmekraftmaschinen. Sie ist Grundlage zur Beurteilung derartiger Anlagen. Darüber hinaus erhält seine Messung auch deshalb Bedeutung, weil die technischen Brennstoffe nur selten reine chemische Elemente mit bekannten Oxidationswärmen sind, sondern Gemische oder Verbindungen von Elementarbrennstoffen.

### 3.2 Versuchsaufbau

Zur Messung des Brennwertes dient ein Kalorimeter, in dem die von der Brennstoffprobe abgegebene Wärme von einer abgewogenen Wassermenge aufgenommen wird. Bild 2 zeigt den Aufbau des Gerätes.

Hauptteile sind das wassergefüllte Kalorimetergefäß mit Thermoelement, das Rührwerk sowie der Wassermantel im doppelwandigen äußeren Gehäuse.

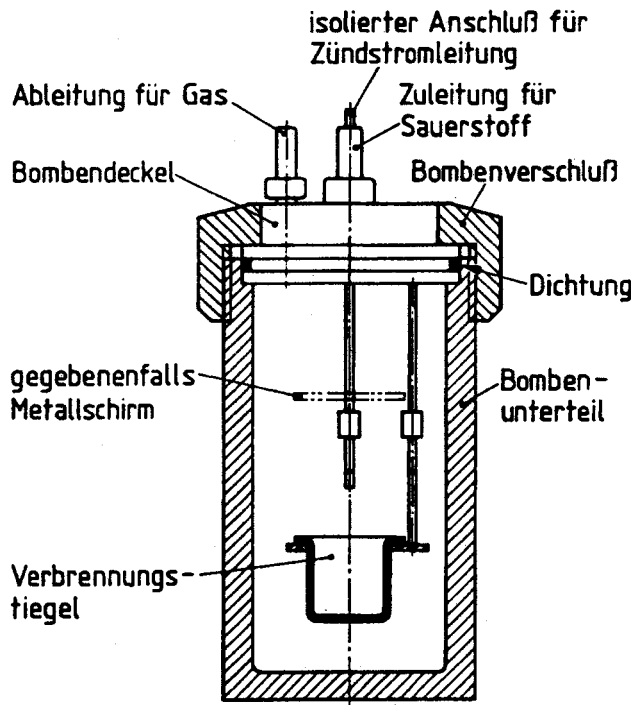


Bild 1a

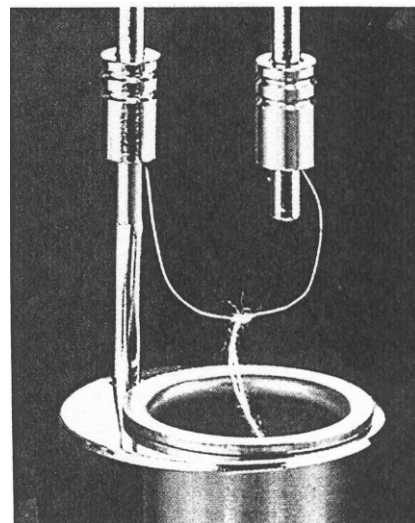


Bild 1b

Die Verbrennung der Brennstoffprobe erfolgt in der kalorimetrischen Bombe (Bild 1a), einem dickwandigen Stahlbehälter mit einem schraubbaren Deckel. Die Brennstoffprobe (ca. 0.8 g)

wird in einen Tiegel eingewogen und dieser in den Tiegelträger eingehängt. Danach erfolgt die Montage des Zünddrahtes und des Baumwollfadens (Bild 1b).

Nach dem Verschließen wird die Bombe mit Sauerstoff auf einen Druck von 30 bar gefüllt, wobei zu Beginn des Füllens die Luft über das Ablaßventil herausgedrückt wird. Die Zündung des Brennstoffes erfolgt durch den elektrischen Zünddraht. Da die Temperaturänderung des Wassers im Kalorimetergefäß nur ca. 3 bis 5 Grad beträgt, wird ein Thermoelement verwendet, das eine Ablesegenauigkeit von 0.001 K besitzt.

### 3.3 Ansatz zur Berechnung des Brennwertes $H_o$

Es gilt der allgemeine Energieerhaltungssatz :

Die bei der Verbrennung der Probe abgegebene Wärme  $Q_{ab}$  ist gleich der vom Wasser und den anderen beteiligten Stoffen aufgenommenen Wärme  $Q_{auf}$  .

$$Q_{ab} = Q_{auf}$$

$$Q_{auf} = C_{Kal} \cdot \Delta t$$

In der Kalorimeterkonstanten  $C_{Kal}$  sind alle Massen, spez. Wärmen und Temperaturen der beteiligten Geräteelemente (z.B. Bombe, Wasser) enthalten!

(  $C_{Kal}$  ist durch Eichversuche bestimmt worden und steht auf den Versuchsaapparaturen)

Für  $Q_{ab}$  gilt:  $Q_{ab} = m_p \cdot H_o$

Dabei ist  $m_p$  die Masse der Probe nach Einwaage und  $H_o$  der zu berechnende Brennwert.

Mit  $C_{Kal}$  kann der Ansatz für die Brennwertberechnung daher wie folgt geschrieben werden :

$$m_p \cdot H_o + Q_z = C_{Kal} \cdot \Delta t_w$$

$Q_z$  hat bei unseren Versuchen im wesentlichen folgende Bedeutung:

Die Probe wird mittels Zünddraht ( mit einem Brennwert von 6 Joule pro cm Drahtlänge ) und einem Baumwollfaden ( 50 Joule ) gezündet.

Der 5 cm lange Zünddraht verbrennt beim Versuchsablauf nicht immer vollständig, so daß nach dem Versuch die Restdrahtlänge gemessen werden muß. Damit wird die zusätzliche Wärme  $Q_z$  in J errechnet und in der Brennwertformel berücksichtigt. Da der Baumwollfaden vollständig verbrennt, kommen 50 Joule hinzu.

$$Q_z = 6.0 \frac{J}{cm} \cdot l_v(cm) + 50 J \quad l_v = \text{verbrannte Drahtlänge}$$

Somit wird der Brennwert  $H_o$  nach folgendem Ansatz berechnet:

$$H_o = \frac{C_{Kal} \cdot \Delta t_w - Q_z}{m_p}, \quad \frac{J}{g} \quad \text{oder} \quad \frac{kJ}{kg}$$

### 3.4 Versuchsdurchführung und Messung von $\Delta t$

DIN 51900 gibt 2 Verfahren zur Bestimmung des Brennwertes  $H_o$  an:

1. Verfahren mit isothermen Wassermantel ( Teil 2 )
2. Verfahren mit adiabatem Wassermantel ( Teil 3 ) Bild 2



### **Halbautomatischer Versuchsablauf (Bild 4):**

Der Innenkessel wird mit einer vorgegebenen Wassermenge (auf den Geräten angezeigt) von 20 bis 25 °C gefüllt und in das Kalorimeter eingesetzt.

Die vorbereitete Bombe wird in den Innenkessel gestellt. (Wegen der Positionierung der Zündkontakte wird dieser Vorgang vom Laborpersonal demonstriert).

Nach dem Schließen des Kalorimeterdeckels erfolgt automatisch ein Temperatenausgleich zwischen Innenkessel und Außenmantel. Diese Überwachung des Vorversuches erfolgt automatisch. Die Temperatur im Innenkessel wird digital angezeigt (Anzeige bezogen auf 25 °C). Ist eine Temperaturkonstanz erreicht, wird durch ein akustisches Signal zum Ablesen der Temperaturanzeige  $t = t_1$  und zum Betätigen der Zündtaste aufgefordert. Die Temperatur  $t_1$  ist zu notieren!

Nach Betätigung der Zündtaste 2 (Bild 3) ist eine sichere, elektronisch überprüfte Zündung gewährleistet (Wird nicht innerhalb von 3 Minuten gezündet, erfolgt automatisch der Versuchsabbruch).

Den normalen Ablauf der Verbrennung erkennt man daran, dass nach einer gewissen Verzugszeit die Temperatur im Innenkessel steigt und der Temperaturanstieg sich verlangsamt. Nach Erreichen einer Temperaturkonstanz erfolgt wiederum ein akustisches Signal. Die Temperatur muss nun unverzüglich abgelesen werden ( $t = t_2$ ).

Daraus folgt:  $\Delta t_w = t_2 - t_1$

Durch Öffnen des Deckels wird der Versuch beendet!

Die Bombe wird herausgenommen und getrocknet. Nach Ablassen des Gases wird die Bombe geöffnet und die Restdrahtlänge, des nicht verbrannten Drahtes, gemessen.

### 3.5 Berechnung des Heizwertes $H_u$

Nach Öffnung der Bombe kann man erkennen, dass der durch die Verbrennung entstandene Wasserdampf nahezu vollständig auskondensiert ist. Dabei wurde seine Kondensationswärme an das Kalorimetersystem abgegeben.

Bei technischen Verbrennungen lassen sich derart niedrige Abgastemperaturen nur selten erreichen, meist liegen diese über 100 °C.

Daher wird in den technischen Rauchgasen das entstandene Wasser noch dampfförmig sein, d.h. die Kondensationswärme wurde nicht abgegeben. Man rechnet in diesem Fall bei technischen Anlagen nicht mit dem Brennwert  $H_o$  sondern mit dem Heizwert  $H_u$ , der nach folgendem Ansatz um die Kondensationswärme des Wasserdampfes geringer ist.

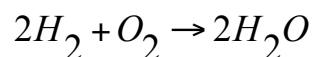
$$\boxed{H_u = H_o - \frac{m_F}{m_P} \cdot \Delta h_v} \quad , \quad \frac{\text{J}}{\text{g}} \quad \text{oder} \quad \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$\Delta h_v$  : spez. Verdampfungswärme des Wassers ( bei 25 °C) = 2441  $\frac{\text{J}}{\text{g}}$

$m_F$  : Masse (in Gramm) des bei der Verbrennung sich bildenden Wasserdampfes  
bezogen auf  $m_P$

$m_P$  : Masse der Brennstoffprobe (in Gramm)

Das Wasser entsteht durch die Reaktion des Wasserstoffanteils im Brennstoff mit Sauerstoff nach folgendem chemischen Ansatz:





Bei der Verbrennung von 1 kg (g) Wasserstoff entstehen also 9 kg (g) Wasser.

Ist  $h$  der Massenanteil von Wasserstoff im Brennstoff, so entstehen

$$9 \cdot h \quad , \quad \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg Brennstoff}}$$

Zu diesem Wert ist bei feuchten Brennstoffen noch der natürliche Wassergehalt zu addieren.

Nach Norm werden diese Werte aus einer Elementaranalyse ermittelt.

Bild 3

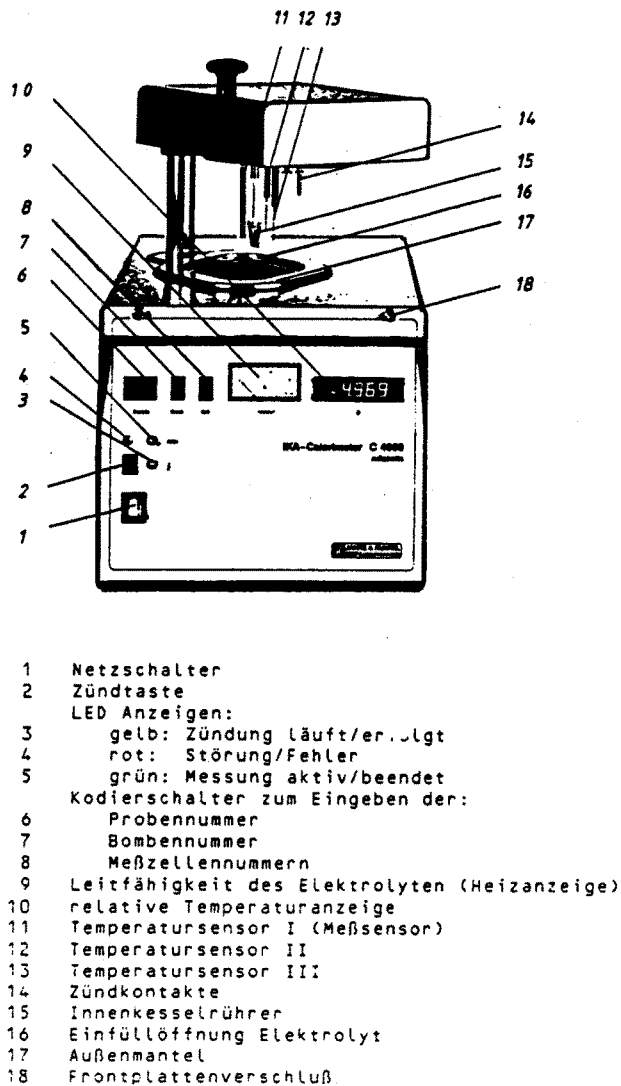
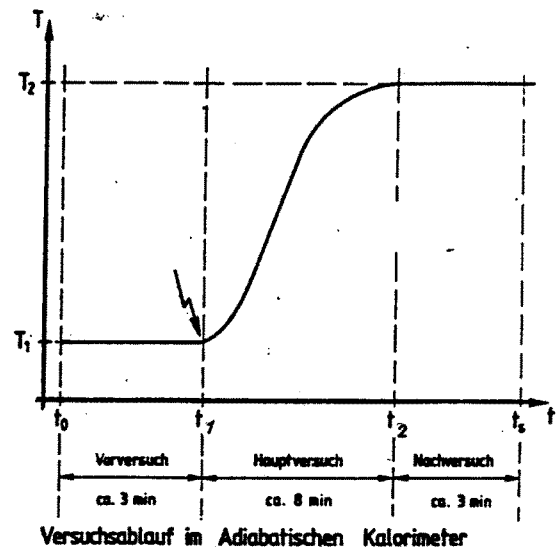


Bild 4

Temperatur-Zeitverlauf im  
adiabatischen Kalorimeter



Aufgabe: Messung und Berechnung des Brennwertes  $H_o$  und des Heizwertes  $H_u$   
von Kerosin , Heizöl oder/und Diesel und/oder Rapsöl