

# Verbrennungsenthalpie einer festen org. Substanz

## Grundlagen

Verbrennungswärmen fester organischer Stoffe werden mit einem Flüssigkeitskalorimeter bestimmt, dessen Hauptteil die Berthelot-Mahlersche Verbrennungsbombe ist. Diese standardisierte Methode liefert gut reproduzierbare thermodynamische Größen. Das verwendete adiabatische Bombenkalorimeter besteht aus einem Behälter mit konstantem Volumen und einem umgebenden Wasserbad mit Rührer. Die Verbrennung einer als Tablette eingebrachten organischen Substanz erfolgt im Innern der Verbrennungsbombe, die mit Sauerstoff unter Druck gefüllt ist. Durch einen Stromstoß wird der Verbrennungsvorgang eingeleitet, die dabei entstehende Wärmemenge führt zur Erwärmung des Kalorimeters, welche registriert wird.

## Aufgabenstellung

- Bestimmen Sie experimentell die zeitliche Änderung der Kalorimetertemperatur bei der vollständigen Verbrennung einer abgewogenen Menge Kalibriersubstanz (z.B. Benzoesäure mit bekannter spezifischer Verbrennungsenthalpie  $\Delta_C H$ ) sowie einer bekannten Menge eines organischen Stoffes (z.B. Naphthalin).
- Berechnen Sie die Temperaturdifferenzen  $\Delta T$  für die einzelnen Verbrennungsvorgänge, die Wärmekapazität  $C$  des Kalorimeters sowie die molare Verbrennungsenthalpie  $\Delta_C U$  und die molare Verbrennungsenthalpie  $\Delta_C H$  eines festen organischen Stoffes (z.B. Naphthalin).
- Schätzen Sie den Fehler der Temperaturablesung quantitativ ab! Berechnen Sie am Beispiel einer Messung  $\Delta_C H$  mit einer um diesen Fehler verfälschten Temperaturdifferenz und diskutieren Sie den Einfluss auf das Ergebnis!
- Vergleichen Sie die ermittelte Wärmekapazität des Kalorimeters mit dem abgeschätzten Wert (Vorbereitungsfrage 1) und die ermittelte molare Verbrennungsenthalpie der organischen Substanz mit Literaturangaben! Diskutieren Sie Ursachen für eventuelle Abweichungen!

## Vorbereitungsfragen

1. Was wird unter der Wärmekapazität eines Körpers verstanden? Schätzen Sie die Wärmekapazität des im Versuch verwendeten Kalorimeters unter der Voraussetzung ab, dass es hauptsächlich Wasser enthält (Füllmenge 2,7 l)!
2. Wie lassen sich Enthalpieänderungen  $\Delta H$  und Änderungen der inneren Energie  $\Delta U$  ineinander umrechnen?
3. Formulieren Sie die Reaktionsgleichungen für die vollständige Verbrennung von 1 mol Benzoesäure und 1 mol Naphthalin! Berechnen Sie die Volumenarbeit bei konstantem Druck und konstanter Temperatur, die bei diesen Vorgängen von den Reaktionssystemen unter Standardbedingungen verrichtet wird!
4. Welche Beziehung besteht zwischen der molaren Verbrennungsenthalpie und der spezifischen Verbrennungsenthalpie einer Substanz?
5. Steinkohle hat einen mittleren Heizwert von 35000 kJ/kg. Welche Menge Wasser kann durch Verbrennung von 1 kg Steinkohle von 25°C zum Sieden erhitzt werden, wenn Wärmeverluste vernachlässigt werden?
6. Wo finden tabellierte Verbrennungsenthalpien in der Praxis Verwendung?

7. Warum ergibt der Versuch zunächst  $\Delta_C U$ ? Wofür steht  $\Delta\nu \cdot R \cdot T$  und  $\Delta\nu = -2$ ?
8. Warum ist für Naphthalin  $\Delta_C H$  negativer als  $\Delta_C U$ ?
9. Ist der von Ihnen bestimmte Wert der Verbrennungsenthalpie des Naphthalins zur Berechnung seiner Bildungsenthalpie geeignet?

## Versuchsdurchführung

### a) Geräte

- Kalorimeter mit Wasserbehälter, Rührmotor, Thermometer (1/100 Gradeinteilung), Ableselupe, Kabel mit Netz- und Gerätestecker
- Druckbombe nach Berthelot-Mahler mit Zündkabel, Quarzschälchen und Aufhängestativ
- Sauerstoffflasche mit Druckminderventil und Metallschlauch
- 2 l Maßkolben, 1 l Messzylinder

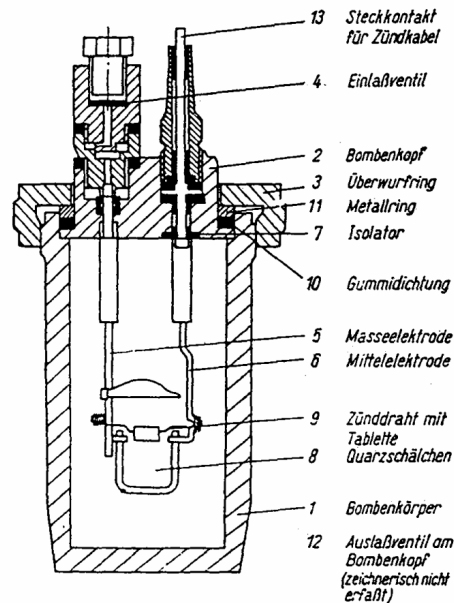
### b) Chemikalien

- Benzoesäure: R 22, 36; S 24; Symbol Xn, gesundheitsschädlich
- Naphthalin: R 22, 40, 50/53; S 36/37, 46, 60/61; Symbol Xn, gesundheitsschädlich

### c) Arbeitsablauf

#### Beschicken der Verbrennungsbombe

1. Hängen Sie das Kopfstück der Bombe in das Stativ!
2. Befestigen Sie den Zünddraht mit Tablette an den Elektroden und das Quarzschälchen, in dem die Verbrennung stattfindet, zwischen den Elektroden! Befestigen Sie den Draht zunächst an der dünneren Elektrode. Dabei wird der Draht einmal um die Elektrode gewickelt und durch den Fixierring eingeklemmt. Befestigen Sie anschließend das andere Drahtende so an der zweiten Elektrode, dass die Tablette im losen Bogen zwischen den Elektroden hängt. Messen Sie den elektrischen Widerstand zwischen den Zündelektroden der Bombe. Er soll zwischen  $7 \Omega$  und  $16 \Omega$  liegen.
3. Setzen Sie die Bombe zusammen. Achten Sie darauf, dass die Enden des Zünddrahts die Gefäßwand nicht berühren! Verschrauben Sie die Bombe mit Handkraft! Dabei dürfen weder Dichtungsring noch Überwurfschraube verkantet sein.
4. Schrauben Sie den Metallschlauch der Sauerstoffflasche an die Einlassöffnung der Bombe und füllen Sie sie mit Sauerstoff, so dass der Druck in der Bombe ca. 20 bar beträgt! Lassen Sie dazu zunächst bei geöffnetem Auslassventil der Bombe ca. 3 s Sauerstoff durch die Bombe strömen und schließen Sie dann das Auslassventil der Bombe. Schließen Sie die Sauerstoffflasche und lösen Sie die Bombe vom „Metallschlauch“ der Flasche. Öffnen bzw. schließen Sie das Bombenventil nicht mit Gewalt!
5. Messen Sie erneut den elektrischen Widerstand zwischen den Elektroden der befüllten Bombe. Bestätigen Sie, dass der Widerstand zwischen  $7 \Omega$  und  $16 \Omega$  liegt.



**Abbildung 1:** Bombe eines Verbrennungskalorimeters mit einer Probe beschickt.

### Vorbereiten des Kalorimeters zur Messung

1. Füllen Sie das Wasserbad des Kalorimeters mit 2,7 l Wasser, das auf Raumtemperatur temperiert ist, stellen Sie die Verbrennungsbombe in das Wasserbad und schließen Sie die Zündkabel an! **Befüllen Sie die Wasserbehälter sofort wieder mit destilliertem Wasser, dass auch Ihrer Nachfolgegruppe Wasser zur Verfügung steht, das weitgehend die Raumtemperatur angenommen hat!**
2. Führen Sie den Rührer und das Thermometer in das Wasserbad ein und schließen Sie das Kalorimeter! Schalten Sie den Rührmotor ein und notieren Sie die Wassertemperatur!

### Messung des Temperaturganges

1. Vorperiode: Nach dem Drücken des Startknopfes leuchtet die Anzeige „Vorperiode“. Das Zählwerk startet die Zeitanzeige. Sie erfolgt in 6-s-Schritten durch Aufleuchten der Ziffern 0 bis 9 für ein Messintervall. Ein Messintervall dauert folglich eine Minute. Durch ein akustisches Signal, das jeweils zusammen mit der angezeigten Ziffer 9 auftritt, werden Sie aufgefordert die Badtemperatur abzulesen. Danach beginnt das nächste Messintervall mit der Ziffer 0. Im Verlauf der Vorperiode werden so erst fünf Messungen und anschließend weitere sieben Messungen durchgeführt. Am Ende der Vorperiode leuchtet der Zündknopf blau auf. Drücken Sie den Zündknopf sofort nach dem Ablesen der Badtemperatur.
2. Hauptperiode: Durch Drücken des Zündknopfes (ca. 2 s) wird die Verbrennung ausgelöst. Die blaue Leuchtanzeige „Hauptperiode“ ist sichtbar. Die Hauptperiode besteht aus fünf Messintervallen, die analog zur Vorperiode verfolgt werden können. Jeweils nach dem Piepton ist die Temperatur abzulesen. Während der Hauptperiode wird ein deutlicher Temperaturanstieg registriert.
  - Wird innerhalb von drei Minuten nach Zündung kein Temperaturanstieg beobachtet, ist die Zündung der Probe fehlgeschlagen (Zünddraht gebrochen oder

abgefallen, Zündkabel lose, Probe oder Bombeninneres nass). In diesem Fall ist die Messung abzubrechen und zu wiederholen.

3. Nach fünf Minuten beginnt automatisch die Nachperiode. Das wird wiederum durch die entsprechende Leuchtdiode angezeigt. Die Nachperiode besteht aus zehn Messintervallen, die wieder über das Zählwerk und das akustische Signal verfolgbar sind.
4. In der angegebenen Weise sind je zwei Verbrennungen für Benzoesäure und Naphthalin vorzunehmen. Für die vier Verbrennungen benutzen Sie die gleiche Wasserfüllung. Die Verbrennungswärme des Zünddrahtes kann für Praktikumsbelange vernachlässigt werden. Wägbare Rußabscheidungen im Verbrennungsgefäß machen die Messdaten wertlos. Sie belegen, dass nur eine ungenügende Sauerstoffmenge zur Verfügung stand.

#### d) Messprotokoll

Messung Nr.	Benzoessäure		Naphthalin	
	1	2	1	2
Masse Tablette + Draht in mg				
Masse Tablette – Draht in mg				
Zeit in s	Temperatur in °C		Temperatur in °C	
0				
60				
...				

#### Arbeitsschutz

Beim Umgang mit komprimiertem Sauerstoff müssen Reduzierventil, Metallschlauch und Verbrennungsbombe sauber und fettfrei gehalten werden! Die gefüllte Bombe ist gegen harte Stöße oder Hinunterfallen zu sichern! Vor dem Öffnen der unter Druck gefüllten Bombe lässt man überschüssigen Sauerstoff durch Öffnen des Ausströmventils entweichen. Tragen Sie eine Schutzbrille!