

# Entalpitilvækst og Hess' lov

## Kapitel 3: Termodynamik

### Problemstilling

Ved kemiske reaktioner omsættes energi. Undertiden er det ikke muligt at bestemme reaktionsentalpien for en bestemt reaktion. Det problem kan i nogle tilfælde løses ved brug af Hess' lov, der siger

$\Delta H$  for en kemisk reaktion, der kan opdeles i flere trin, er lig med summen af  $\Delta H$  for de enkelte trin.

I skal anvende Hess' lov til at bestemme  $\Delta H^\ominus$  for fraspaltning af vand i  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ , natriumcarbonat-vand (1/10). Hvis jeres resultat for  $\Delta H^\ominus$  er i overensstemmelse med tabelværdien inden for måleusikkerheden, er loven eftervist.

### Teori

Hess' lov kan også udtrykkes: *Entalpitilvæksten ved en kemisk reaktion er uafhængig af reaktionsvejen.*

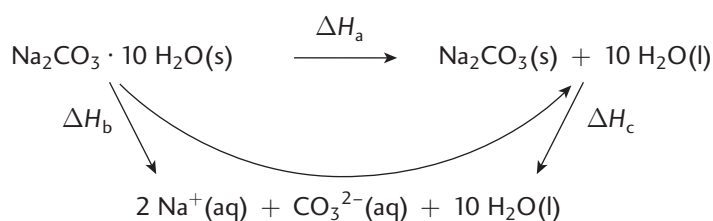
Fraspaltning af vand fra  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  er en endoterm reaktion, der benyttes til energilagring. Produkterne er vandfrit natriumcarbonat og vand, reaktion (a) i figur 1. I praksis er det ikke muligt at bestemme  $\Delta H^\ominus_a$  med et termobæger.

I stedet for gennemføres forsøg med to reaktioner. I *første delforsøg* opløses  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  i vand, reaktion (b). Reaktionen er endoterm, og  $\Delta H^\ominus_b$  bestemmes. Produkterne er opløste natrium- og carbonationer samt vand. I *andet delforsøg* opløses vandfrit natriumcarbonat,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , i vand, reaktion (c). Denne reaktion er exoterm, og  $\Delta H^\ominus_c$  bestemmes. Produkterne er de samme som i reaktion (b).

Da reaktion (b) og (c) giver ens produkter, kan  $\Delta H^\ominus_a$  bestemmes ud fra de målte  $\Delta H^\ominus_b$  og  $\Delta H^\ominus_c$  ifølge Hess' lov. Se figur 1.

Der gælder

$$\Delta H^\ominus_a = \Delta H^\ominus_b - \Delta H^\ominus_c$$



**Figur 1** To reaktionsveje – den direkte vej (a) og „omvejen (b) – (c)“ til fraspaltning af vand i  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ .

Bestemmelse af  $\Delta H^\ominus_b$  og  $\Delta H^\ominus_c$  foregår med termobæger og termometer. Reaktionen foreløber i et varmeisoleret bæger, så der ikke udveksles varme med omgivelserne. Vi ser bort fra bægerets varmekapacitet. Den varme, der afgives ved reaktionen, går derfor til opvarmning af opløsningen (regnet som vand).

Fjerner vi isoleringen, modtager eller afgiver reaktionsblandingen varme til omgivelserne og vender tilbage til omgivelsernes temperatur,  $T_{\text{omg}}$ .

Reaktionsentalpien  $\Delta H^\ominus$  er den tilførte varme ved reaktionen divideret med den reagerede stofmængde  $n_{\text{rea}}$

$$\Delta H^\ominus = Q / n_{\text{rea}}$$

$\Delta H^\ominus$  angives i kJ pr. mol.

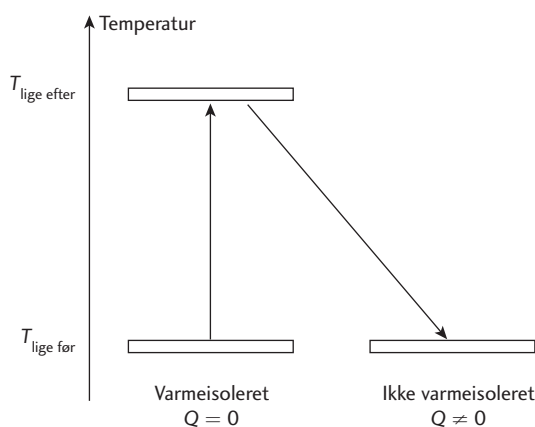
$Q$  beregnes af formelen

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = m \cdot c \cdot (T_{\text{omg}} - T_{\text{max/min}})$$

$m$  er opløsningens masse og  $c$  dens specifikke varmekapacitet (varmefylde). Med god tilnærmelse sættes  $c$  til værdien for vand,  $4,2 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

Systemets sluttemperatur  $T_2$  (uden isolering) er laboratoriets (omgivelsernes) temperatur,  $T_{\text{omg}}$ . Begyndelsestemperaturen  $T_1$  betegnes  $T_{\text{max/min}}$  og er opløsningens højeste eller laveste temperatur umiddelbart efter sammenblanding af stofferne i et isoleret system.

På figur 2 er vist den maksimale temperatur for en exoterm reaktion i et varmeisoleret bæger.



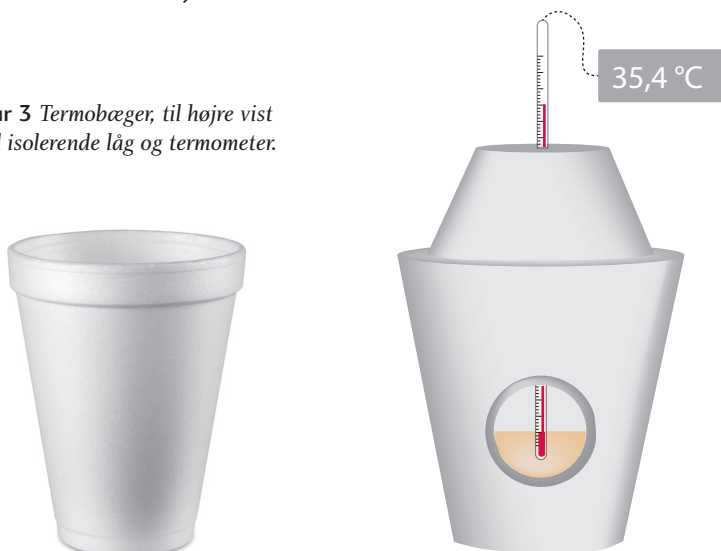
**Figur 2** Temperaturdiagram for en exoterm reaktion. Bjælkerne angiver en reaktionsblandings temperatur i tre situationer: Før kemisk reaktion i varmeisoleret bæger, umiddelbart efter kemisk reaktion i varmeisoleret bæger og efter udveksling af termisk energi i et bæger uden varmeisolering.

### Forarbejde

1. Beregn de teoretiske værdier for  $\Delta H^\ominus_a$ ,  $\Delta H^\ominus_b$  og  $\Delta H^\ominus_c$  ved hjælp af tabelværdier ved  $25^\circ\text{C}$ . Noter resultaterne i tabel 4.
2. Tjek, at de angivne masser af  $0,050 \text{ mol}$  natriumcarbonat-vand ( $1/10$ ), og  $0,050 \text{ mol}$  natriumcarbonat på side 3 er rigtige. Benyt tabel 3.

3. Skitser er temperaturforløb svarende til figur 4 for en endo-term reaktion.
4. Undersøg, hvilke R- og S-sætninger der gælder for kemikalierne, I skal arbejde med.

Figur 3 Termobæger, til højre vist med isolerende låg og termometer.



## Udførelse

### Delforsøg 1 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

Afvej 14,31 g (0,050 mol) natriumcarbonat-vand (1/10). Hæld 150 mL vand i termobægeret. Mål temperaturen  $T_2 = T_{\text{omg}}$ . Hæld natriumcarbonat-vand (1/10) i vandet, og opløs det under kraftig omrøring med termometer. Temperaturen noteres hvert 10. sekund, indtil den holder sig konstant eller kun ændrer sig lidt.

### Delforsøg 2 $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Afvej 5,30 g (0,050 mol) vandfrit natriumcarbonat.

Hæld 150 mL demineraliseret vand i termobægeret. Mål temperaturen  $T_2 = T_{\text{omg}}$ . Hæld natriumcarbonat i vandet, og opløs det under kraftig omrøring med termometer. Temperaturen noteres hvert 10. sekund, indtil den holder sig konstant eller falder som vist på figur 4.

## Resultater

Tabel 1 Delforsøg 1  $T_{\text{omg}} = \underline{\hspace{2cm}}$

t/s	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
T/ °C												

## Apparatur

Hvert hold

- termobæger med låg
- måleglas, 250 mL
- termometer, 0,1 °C inddeling, digitaltermometer eller termoføler (ved datafangst)

## Kemikalier

Fælles

- natriumcarbonat-vand (1/10)
- natriumcarbonat, vandfrit

## Risiko og sikkerhed

Vurder selv

## Bortskaffelse

Vurder selv

Tabel 2 Delforsøg 2  $T_{\text{omg}} =$  \_\_\_\_\_

t/s	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
T/ °C												

Tabel 3 Måledata  $T_{\text{omg}} =$  \_\_\_\_\_

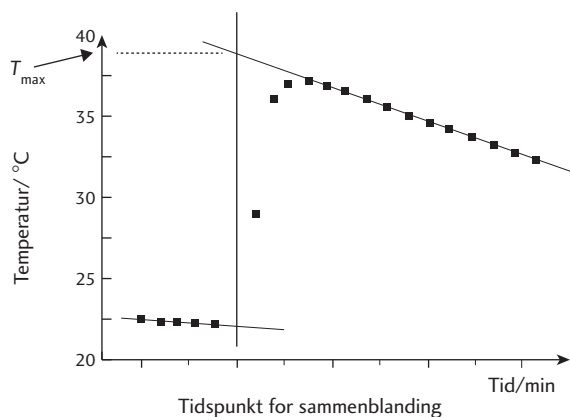
Stof	n mol	M g/mol	m g	$T_2$ °C	$T_{\text{max/min}}$ °C	T °C
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	0,0500					
$\text{Na}_2\text{CO}_3$	0,0500					

Tabel 4 Resultater

Reaktionsentalpi	Reaktion (a)	Reaktion (b)	Reaktion (c)
$\Delta H^\ominus_{\text{teoretisk}}$			
$\Delta H^\ominus_{\text{eksperimentelt}}$			

## Efterbehandling

Lav en afbildning for hver af de to måleserier med tiden ud ad x-aksen og temperaturen ud ad y-aksen. Bestem  $T_{\text{max/min}}$  grafisk som den maximale ændring i forhold til  $T_{\text{omg}}$  som vist på figur 4 for en exoterm reaktion. Resultaterne noteres i tabel 3.



Figur 4 Temperaturforløb for en exoterm reaktion i termobæger.

1. Bestem de eksperimentelle værdier for  $\Delta H^\ominus_b$  og  $\Delta H^\ominus_c$ , og beregn  $\Delta H^\ominus_a$ .
2. Sammenlign resultaterne med tabelværdierne.
3. Vurder eventuelle fejlkilder.
4. Sammenlign med de øvrige holds resultater.
5. Vurder nøjagtigheden af den grafiske metode til bestemmelse af  $\Delta T$ .
6. Er Hess' lov eftervist ved dette eksperiment?