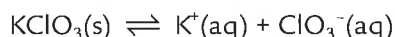




## 8. Van't Hoffs ligning

Formålet med dette eksperiment er at bestemme de termodynamiske størrelser  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  og  $\Delta G^\circ$  ved hjælp af van't Hoffs ligning for følgende reaktion:



Hvis en vandig opløsning med passende høj formel stofmængdekonzentration af kaliumchlorat afkøles, vil opløsningen på et tidspunkt blive mættet, dvs. systemet kommer i ligevægt.

Ved ligevægt er ionproduktet lig med opløselighedsproduktet:

$$K_o(\text{KClO}_3) = [\text{K}^+] \cdot [\text{ClO}_3^-] \quad (\text{ved ligevægt})$$

En kendt stofmængde  $\text{KClO}_3$  bringes i opløsning i demineraliseret vand under opvarmning. Under afkøling af den umættede opløsning vil kaliumchlorat begynde at udfælde sig ved den temperatur, hvor opløsningen netop er mættet. Det er denne temperatur, der skal måles ved eksperimentet. Ved at anvende forskellige formelle stofmængdekonzentrationer af kaliumchlorat vil man opnå forskellige temperaturer for udfældningen.

Ved eksperimentet vil opløselighedsproduktet,  $K_o(\text{KClO}_3)$ , blive bestemt ved forskellige temperaturer.

Efter bestemmelsen af opløselighedsproduktet afbildes  $\ln(K_o(\text{KClO}_3))$  som funktion af  $\frac{1}{T}$  svarende til van't Hoffs ligning:

$$\ln(K_o(\text{KClO}_3)) = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \cdot \frac{1}{T} + \frac{\Delta S^\circ}{R}$$

hvor  $R$  er gaskonstanten, og  $T$  er den absolutte temperatur.

Vi forventer en lineær sammenhæng mellem  $\ln(K_o(\text{KClO}_3))$  og  $\frac{1}{T}$ , da  $\Delta H^\circ$  og  $\Delta S^\circ$  kan regnes for konstante i det anvendte temperaturområde. Vi kan dermed bruge forskriften for den lineære sammenhæng til at bestemme  $\Delta H^\circ$  og  $\Delta S^\circ$ .

### APPARATUR

- Bægerglas, 100 mL, smal form
- Bunsenbrænder
- Trefod med trådnæt
- Termometer til måling med 0,1 grads nøjagtighed
- Vægt
- Måleglas, 50 mL
- Magnetomrører
- Magnet

### KEMIKALIER

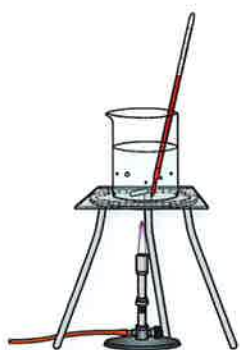
- Kaliumchlorat,  $\text{KClO}_3$

### RISICI

- Kaliumchlorat er sundhedsskadeligt ved indtagelse og indånding, det er brandnærende og kan forårsage brand eller eksplosion.

## EKSPERIMENTELT

Figur 8.1. Kurverne viser, hvorledes opløseligheden af nogle forskellige ionforbindelser i vand varierer med temperaturen. Opløseligheden er angivet i gram stof (uden krystalvand) pr. 100 g vand.



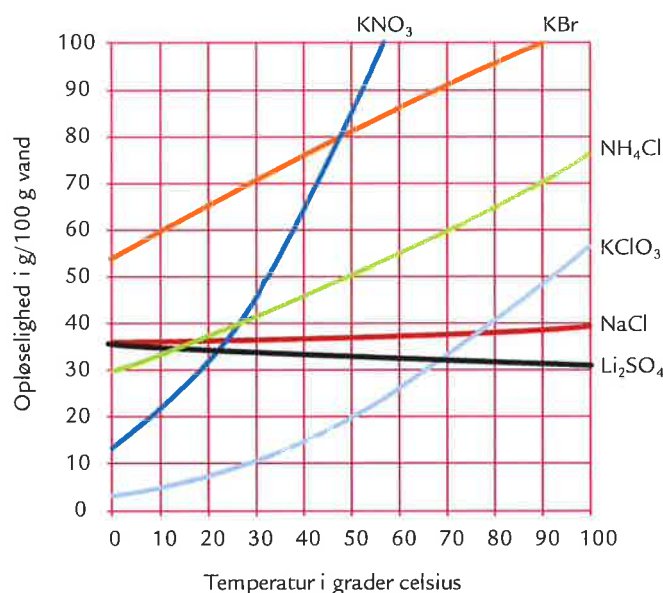
Figur 8.2. Kaliumchlorat opløses i vand under opvarmning. Der skal være en magnet i opløsningen.



Figur 8.3. En opløsning af kaliumchlorat afkøles under langsom magnetomrøring.

Arbejdet fordeles mellem de forskellige øvelseshold, som hver udfører et af delforsøgene, se skemaet herunder.

Som forberedelse til eksperimentet undersøges ved hjælp af figur 8.1, ved hvilken temperatur 5 g kaliumchlorat vil gå i opløsning i det tildelte volumen vand.



I et tørt 100 mL bægerglas afvejes ca. 5 g kaliumchlorat med 0,01 g's nøjagtighed. Notér i skemaet på næste side.

Anbring en magnet i bægerglasset. Afmål i et måleglas demineraliseret vand som angivet i skemaet og hæld derefter vandet op i bægerglasset.

Opvarm forsigtigt opløsningen under omrøring med termometeret, til alt stoffet lige netop er opløst. Stop herefter opvarmningen, placér bægerglasset på en magnetomrører og sørg for langsom omrøring.

Når de første krystaller observeres, noteres temperaturen.

Gentag opvarmning og efterfølgende nedkøling af opløsningen, indtil der er to temperaturlæsninger, der ikke afviger mere end 1 °C fra hinanden. Notér de to temperaturer  $t_1$  og  $t_2$  i skemaet på næste side.

Opvarm til slut blandingen igen, til alt kaliumchlorat er opløst. Fjern magneten, hæld opløsningen over i et måleglas og bestem opløsningens volumen.

Forsøg nr.	$m(\text{KClO}_3)/\text{g}$	$V(\text{H}_2\text{O})/\text{mL}$	$t_1/^\circ\text{C}$	$t_2/^\circ\text{C}$	Opløsningens volumen $V/\text{mL}$
1		25			
2		30			
3		35			
4		40			
5		45			
6		50			

Måleresultater udveksles øvelsesholdene imellem.

#### EFTERBEHANDLING

1. Beregn for hvert enkelt delforsøg stofmængden af  $\text{KClO}_3$  og  $c(\text{KClO}_3)$ . Notér i skemaet herunder.
2. Beregn  $[\text{K}^+]$  og  $[\text{ClO}_3^-]$ .
3. Beregn  $K_o(\text{KClO}_3)$  og  $\ln(K_o(\text{KClO}_3))$ .
4. Beregn gennemsnittet af de målte temperaturer,  $t_{\text{gns}}$ .
5. Omregn  $t_{\text{gns}}$  til absolut temperatur  $T$  og beregn  $\frac{1}{T}$ .

Forsøg nr.	$n(\text{KClO}_3)$	$c(\text{KClO}_3)$	$[\text{K}^+]$	$[\text{ClO}_3^-]$	$K_o(\text{KClO}_3)$	$\ln(K_o(\text{KClO}_3))$	$t_{\text{gns}}$	$T$	$\frac{1}{T}$
1									
2									
3									
4									
5									
6									

6. Lav en grafisk afbildning af  $\ln(K_o(\text{KClO}_3))$  som funktion af  $\frac{1}{T}$ . Lav lineær regression og kommentér afbildningen.
7. Bestem ud fra den grafiske afbildning  $\Delta H^\circ$  og  $\Delta S^\circ$ .

8. Kommentér fortegnene for  $\Delta H^\circ$  og  $\Delta S^\circ$ .
9. Beregn  $\Delta G^\circ$  ved 298 K ud fra resultaterne i punkt 8.
10. Beregn  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  og  $\Delta G^\circ$  ved 298 K ud fra tabelværdier.

	Målte værdier	Tabelværdier
$\Delta H^\circ$		
$\Delta S^\circ$		
$\Delta G^\circ(298\text{ K})$		

11. Sammenlign de målte værdier og tabelværdierne for  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  og  $\Delta G^\circ$  og kommentér.
12. Hvad sker der med opløseligheden af kaliumchlorat, når temperaturen hæves? Kommentér i forhold til fortegnet for  $\Delta H^\circ$ .
13. Forklar, hvorfor temperaturen skal måles lige netop, når de første krystaller dannes.