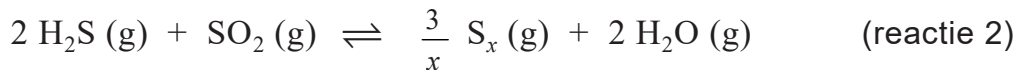
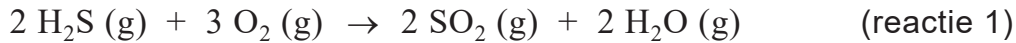


Zwavelproductie

Zwavel is een belangrijke grondstof voor onder andere de productie van zwavelzuur. Vroeger werd zwavel gedolven uit sulfaat-ertsen, maar tegenwoordig wordt vrijwel alle zwavel geproduceerd uit H_2S , een product dat vrijkomt bij de verwerking van aardolie.

De omzetting van H_2S tot zwavel vindt plaats via het claus-proces. In het claus-proces verlopen twee reacties.



De waarde van x is hierin alleen afhankelijk van de temperatuur.

Op de uitwerkbijlage bij vraag 11 is een deel van een claus-installatie weergegeven. In reactor 1 (R1) wordt H_2S onvolledig omgezet volgens reactie 1. In R1 verloopt ook al deels reactie 2.

Om het H_2S verder om te zetten tot S_x volgens reactie 2 is een volgende reactor (R2) nodig. In R2 verloopt alleen reactie 2. Door het gebruik van een katalysator in R2 kan het evenwicht van reactie 2 zich snel instellen. Om in het totale proces uiteindelijk een hoge omzettingsgraad van H_2S naar zwavel te verkrijgen, wordt de zuurstoftoevoer in R1 zodanig geregeld dat de molverhouding $\text{H}_2\text{S} : \text{O}_2$ bij de invoer in R1 2 : 1 is.

- 2p **6** Leid de totaalvergelijking voor het claus-proces af, waarbij alle H_2S wordt omgezet. Gebruik hierbij reactie 1 en reactie 2.

Een betrekkelijk kleine claus-installatie verwerkt per dag 20 ton H_2S .
Lucht bevat 20,9 volume-% zuurstof.

- 4p **7** Bereken het volume in m^3 lucht dat per dag minimaal in deze installatie moet worden ingevoerd.
Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.

Reactie 2 blijkt een bijzondere reactie te zijn. Omdat de waarde van x afhangt van de temperatuur, heeft de reactiewarmte van reactie 2 geen constante waarde. Dit wordt veroorzaakt doordat de vormingswarmtes van S_2 en S_8 niet gelijk zijn. De vormingswarmte van S_8 is gelijkgesteld aan nul. De vormingswarmte van S_2 is $+1,28 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$.

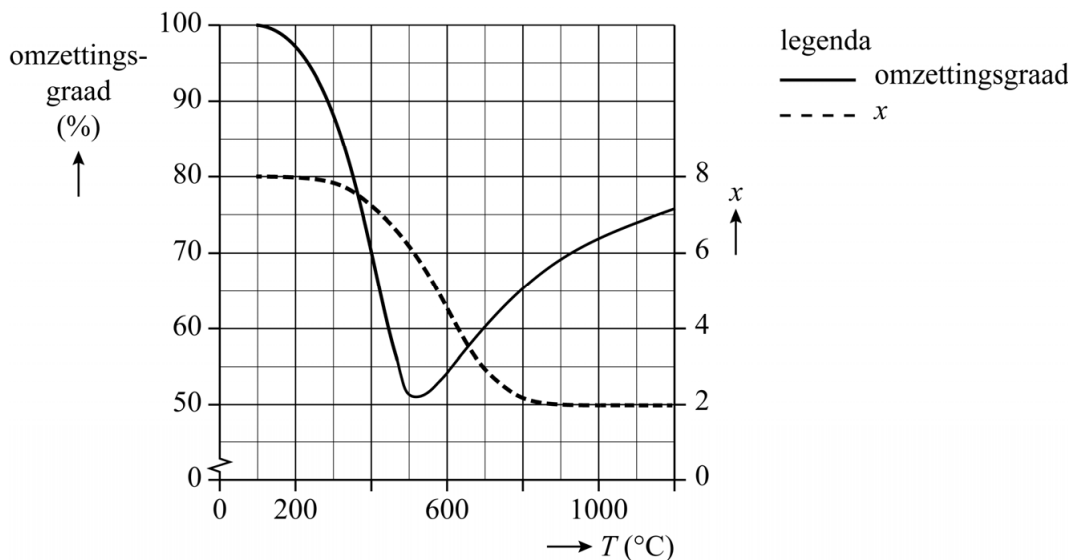
- 3p 8 Bereken de reactiewarmte van reactie 2 in joule per mol H_2S wanneer uitsluitend S_2 wordt gevormd.
Gebruik de waardes van de vormingswarmtes uit je informatieboek.

Het verband tussen de omzettingsgraad en de temperatuur in R2 van een claus-installatie is onderzocht bij temperaturen boven 100°C .

In de figuur zijn de resultaten van de metingen weergegeven.

De omzettingsgraad is in deze opgave gedefinieerd als het percentage H_2S dat wordt omgezet tot S_x . Behalve de omzettingsgraad is in de figuur ook de gemiddelde waarde van x in S_x weergegeven.

figuur



Uit de figuur kan worden afgeleid of de reactie naar rechts van reactie 2 endotherm of exotherm is in het temperatuurgebied waar $x > 6$.

- 3p 9 Leg uit of de reactie naar rechts van reactie 2 endotherm of exotherm is in het temperatuurgebied waar $x > 6$.
Gebruik gegevens uit de figuur en reactie 2.

De normen voor de maximale uitstoot van H_2S en SO_2 zijn bijzonder streng. Men streeft met het claus-proces dan ook naar de maximale omzettingsgraad.

- 1p **10** Geef een reden dat de norm vereist dat de maximale uitstoot van SO_2 laag is.

De energie die in R1 vrijkomt, wordt door het gebruik van warmtewisselaars voor een groot deel elders in het proces gebruikt als bron van energie. In de warmtewisselaars wordt gebruikgemaakt van water om energie op te nemen of af te staan.

Na R2 is er geen zuurstof meer aanwezig in het gasmengsel.

In scheidingsruimte 1 (S1) wordt een deel van de gevormde zwavel gescheiden van de rest van de stoffen. Om de omzettingsgraad van H_2S en SO_2 nog verder te vergroten, wordt het mengsel in een warmtewisselaar weer verwarmd en in een volgende reactor (R3) geleid. In R3 verloopt dezelfde reactie als in R2.

Na R3 zijn alle zwavelhoudende stoffen nog steeds niet volledig omgezet.

- 3p **11** Maak op de uitwerkbijlage het blokschema compleet.
- Teken R3, S1 en de tweede warmtewisselaar.
 - Teken ontbrekende pijlen en de ontbrekende stoffen bij deze pijlen. Gebruik hierbij S_x als notatie voor zwavel.
 - Geef bij elke warmtewisselaar aan welke waterstroom warm is en welke koud.