

## Synthesegas

Synthesegas is een mengsel van koolstofmono-oxide en waterstof. Het is onder andere de grondstof voor de productie van methanol.

- 2p **16** Leg uit welke stoichiometrische verhouding voor koolstofmono-oxide en waterstof moet worden gekozen voor de productie van methanol.

In een bepaald continu productieproces wordt methanol verkregen uit synthesegas met een rendement van 68%.

- 1p **17** Bereken hoeveel ton methanol in dit proces kan worden verkregen uit 5,0 ton synthesegas. Neem aan dat het gebruikte synthesegas de juiste stoichiometrische verhouding voor koolstofmono-oxide en waterstof heeft.

De vorming van methanol uit synthesegas is een evenwichtsreactie. Dit is echter niet de oorzaak van het feit dat het rendement van het proces lager is dan 100%.

- 1p **18** Leg dit uit.

- 2p **19** Waardoor kan het rendement van dit proces toch lager dan 100% zijn? Geef twee mogelijke oorzaken.

Onderstaand tekstfragment gaat over de productie van synthesegas.

### tekstfragment 1

- 1 Synthesegas werd vroeger gemaakt door methaan met stoom te laten reageren
- 2 bij hoge temperatuur en druk (methode 1). De reactie is behoorlijk endotherm
- 3 waardoor het proces erg duur is.
- 4 Men zocht naar goedkopere manieren om synthesegas te produceren.
- 5 Gedeeltelijke oxidatie van methaan met zuurstof onder invloed van een
- 6 geschikte katalysator is zo'n alternatief (methode 2). Een nadeel van dit proces
- 7 is dat zuivere zuurstof gebruikt moet worden.
- 8 Henny Bouwmeester van de Universiteit Twente heeft samen met collega's van
- 9 de University of Science and Technology of China een nieuwe methode
- 10 ontwikkeld. Hierbij wordt de zuurstof voor de vorming van synthesegas direct uit
- 11 de lucht gehaald (methode 3).

*naar: NRC Handelsblad*

- 2p **20** Verklaar waarom een endotherm proces duur is (regels 2 en 3).

Bij de tweede methode wordt zuivere zuurstof verkregen door lucht zodanig te behandelen dat een mengsel overblijft van zuurstof, stikstof en argon.

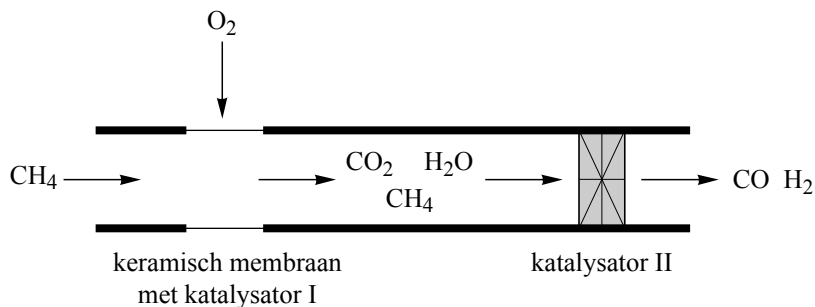
Dit gasmengsel koelt men vervolgens af totdat het vloeibaar is geworden. Door het mengsel daarna langzaam op te warmen, wordt zuivere vloeibare zuurstof verkregen.

- 2p 21 Geef de temperatuurgrenzen aan waarbinnen zuivere vloeibare zuurstof verkregen wordt, wanneer het vloeibaar gemaakte gasmengsel (met een temperatuur van 70 K) wordt opgewarmd. Maak voor de beantwoording gebruik van gegevens uit Binas en neem aan dat het proces plaatsvindt bij  $p = p_0$ .

Bouwmeester en zijn collega's hebben de resultaten van hun onderzoek (aangaande methode 3 uit tekstfragment 1) beschreven in een artikel. Een deel van dat artikel is hieronder samengevat en bewerkt weergegeven.

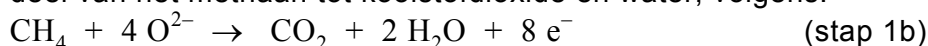
### tekstfragment 2

Voor de vorming van synthesegas uit methaan, waarbij geen zuivere zuurstof nodig is, wordt gebruik gemaakt van een buisreactor die hieronder schematisch is weergegeven.



In het eerste deel van de buis bevindt zich een keramisch membraan. Aan de buitenkant van dit membraan worden de zuurstofmoleculen uit de lucht omgezet tot oxide-ionen:  $O_2 + 4 e^- \rightarrow 2 O^{2-}$  (stap 1a)

De  $O^{2-}$  ionen verplaatsen zich door het membraan naar de binnenkant van het membraan. Daar reageren ze met behulp van de katalysator  $Co_3O_4$  met een deel van het methaan tot koolstofdioxide en water, volgens:



In het tweede deel van de buis reageert een deel van het overgebleven methaan met het aanwezige  $CO_2$  tot synthesegas. (stap 2)

De rest van het methaan reageert met het aanwezige water ook tot synthesegas. (stap 3)

Om de stappen 2 en 3 voldoende snel te laten verlopen, wordt een katalysator gebruikt die bestaat uit 12,5 massa% Ni en voor de rest uit  $Al_2O_3$ .

Tot nu toe is het proces alleen op laboratoriumschaal uitgetoet: de buisreactor is slechts enkele centimeters lang. Voor schaalvergroting is verder onderzoek noodzakelijk.

naar: *Angewandte Chemie*

- 2p **22** Leid af in welke molverhouding  $\text{Co}^{2+}$  en  $\text{Co}^{3+}$  voorkomen in de katalysator  $\text{Co}_3\text{O}_4$ . Geef een verklaring voor je antwoord.  
Noteer je antwoord als volgt:  
 $\text{Co}^{2+} : \text{Co}^{3+} = \dots : \dots$ , want ...
- 2p **23** Leid uit de vergelijkingen van beide halfreacties de vergelijking af van de totale reactie die plaatsvindt in het eerste deel van de buis.
- In het tweede deel van de buis wordt ook een katalysator gebruikt.
- 4p **24** Bereken de verhouding tussen het aantal mol nikkelatomen en het aantal mol aluminiumionen in deze katalysator. Noteer je uitkomst als volgt:  
aantal mol Ni : aantal mol  $\text{Al}^{3+} = 1,00 : \dots$
- 3p **25** Geef de vergelijking van de reactie van stap 2 en de vergelijking van de reactie van stap 3.  
Noteer je antwoord als volgt:  
reactievergelijking van stap 2: ...  
reactievergelijking van stap 3: ...
- In tekstfragment 1 (regel 4) wordt gesuggereerd dat methode 1 duurder is dan de nieuw ontwikkelde methode 3. Uit tekstfragment 2 kan worden opgemaakt dat dit niet het geval hoeft te zijn.
- 2p **26** Geef een mogelijke reden waarom methode 3 goedkoper kan zijn dan methode 1 en geef ook een mogelijke reden waarom dit niet het geval hoeft te zijn.

---

#### Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift, dat na afloop van het examen wordt gepubliceerd.