

## Waterstof

Waterstof kan worden gebruikt om in een brandstofcel elektrische energie te produceren. Op de bijlage is een waterstof-brandstofcel schematisch weergegeven. De elektroderuimtes A en B bevatten een zure elektrolyt en zijn gescheiden door een membraan dat uitsluitend  $H^+$  ionen doorlaat.

- 2p 11 Geef de namen van de stoffen die met 1, 2 en 3 zijn aangegeven. Noteer je antwoord als volgt: 1: ..... 2: ..... 3: .....
- 2p 12 Beredeneer in welke richting de  $H^+$  ionen bewegen wanneer de brandstofcel stroom levert, van elektroderuimte A naar elektroderuimte B of omgekeerd.

In de industrie wordt veel waterstof bereid met behulp van propaan afkomstig uit aardolie. Hierbij treden twee reacties op.

Reactie 1: De reactie van propaan met water onder vorming van koolstofmonoöxide en waterstof.

Reactie 2: De reactie van het gevormde koolstofmonoöxide met water tot koolstofdioxide en eveneens waterstof.

- 4p 13 Leid af in welke molverhouding koolstofdioxide en waterstof ontstaan bij deze bereiding van waterstof uit propaan. Noteer deze verhouding als  $CO_2 : H_2$ . Ga ervan uit dat zowel reactie 1 als reactie 2 volledig verlopen.

De bereiding van waterstof uit een koolwaterstof als propaan heeft bepaalde bezwaren. Daarom worden methodes onderzocht om waterstof te bereiden uit grondstoffen van plantaardige oorsprong.

Onderzochte grondstoffen zijn onder andere glucose en glycol. Ook bij deze methode om waterstof te bereiden, spelen twee reacties een rol.

Reactie 3: De reactie van glucose of glycol tot koolstofmonoöxide en waterstof.

Reactie 4: De reactie van het gevormde koolstofmonoöxide met water tot koolstofdioxide en eveneens waterstof (dit is dezelfde reactie als reactie 2).

Zowel bij deze bereiding als bij de bereiding met behulp van propaan ontstaat dus behalve waterstof ook koolstofdioxide. Koolstofdioxide is één van de gassen die bijdragen aan de versterking van het broeikas effect. Bij de bereiding van waterstof met behulp van glucose ontstaat, bij volledige omzetting, per mol waterstof zelfs meer mol koolstofdioxide dan bij de bereiding van waterstof uit propaan. Voor de bereiding van waterstof verdient toch glucose de voorkeur boven propaan.

- 2p 14 Leg uit dat de bereiding van waterstof met behulp van glucose minder bijdraagt aan de versterking van het broeikas effect dan de bereiding van waterstof met behulp van propaan afkomstig uit aardolie.

De reacties 3 en 4 vinden onder 300 °C uitsluitend plaats met behulp van een katalysator. Er zijn verschillende metalen getest om na te gaan of ze geschikt zijn als katalysator voor deze reacties. In tabel 1 zijn de resultaten vermeld van een onderzoek, waarbij glycol als grondstof diende en de metalen palladium en ruthenium als mogelijke katalysator.

**tabel 1**

metaal	temperatuur (°C)	percentage omgezet glycol	percentage CO	percentage CO <sub>2</sub>
palladium	275	100	100	0
ruthenium	275	100	0	100

Met 'percentage CO' respectievelijk 'percentage CO<sub>2</sub>' wordt hier bedoeld het percentage van de koolstofatomen van de glycolmoleculen dat in de CO respectievelijk CO<sub>2</sub> moleculen is terechtgekomen.

Twee leerlingen, Simone en Gerard, bespreken de gegevens van tabel 1. Zij nemen aan dat geen andere reacties dan de reacties 3 en 4 een rol spelen. Beide leerlingen zijn het met elkaar eens dat het voor reactie 4 veel uitmaakt welk metaal wordt gebruikt. Over de werking van palladium of ruthenium als katalysator voor reactie 3 zijn zij het niet eens.

Volgens Simone werken beide metalen even goed als katalysator voor reactie 3.

Maar Gerard vindt dat je dit op basis van de gegevens uit tabel 1 niet kunt zeggen.

- 2p 15 Geef voor het standpunt van beide leerlingen een argument. Noteer je antwoord als volgt:

Argument voor Simone: ...

Argument voor Gerard: ...

Neem aan dat er geen andere reacties dan reactie 3 en reactie 4 een rol spelen.

Onder de omstandigheden waarbij de reacties zijn onderzocht, is reactie 4 exotherm. Het verloop van een reactie kan met behulp van een energiediagram worden weergegeven. Op de uitwerkbijlage bij dit examen zijn twee energiediagrammen voor reactie 4 gedeeltelijk weergegeven: één voor de reactie met palladium en één voor de reactie met ruthenium. Van beide energiediagrammen is slechts het energieniveau van de beginstoffen aangegeven met het bijschrift 'koolstofmonoïoxide en water'.

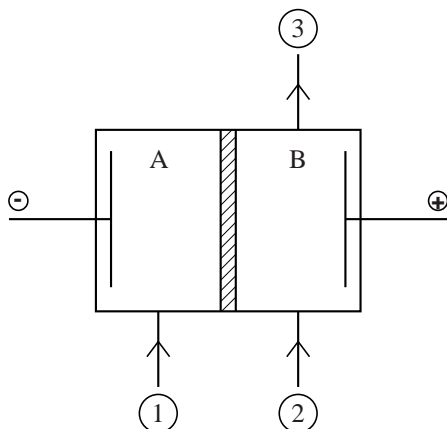
- 3p 16 Maak op de uitwerkbijlage de energiediagrammen voor reactie 4 af, door het plaatsen van energieniveaus met bijbehorende bijschriften, zodat duidelijk wordt wat de invloed van beide metalen is op het verloop van de reactie. Houd voor de y-assen dezelfde schaal aan.

In het onderzoek om waterstof te bereiden uit glucose is gewerkt met oplossingen die gemiddeld 3,0 massaprocent glucose bevatten. Het is economisch niet handig om met zulke verdunde oplossingen te werken.

- 4p 17 Bereken hoeveel liter glucose-oplossing met 3,0 massaprocent glucose minstens nodig is voor de bereiding van  $1,0 \text{ m}^3$  waterstof ( $298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ). Bij de bereiding van waterstof met glucose ontstaat per mol glucose maximaal 12 mol waterstof; de dichtheid van de glucose-oplossing is  $1,0 \cdot 10^3 \text{ g L}^{-1}$ .

## Waterstof

### waterstof-brandstofcel



uitwerkbijlage

16

