

Waterstof-brandstofcel

In het eerste waterstof-tankstation van Nederland wordt waterstofgas bij een druk van 700 bar overgepompt in de tank van de auto. De druk wordt zo hoog gehouden omdat de energiedichtheid van de waterstof dan veel hoger is dan wanneer waterstof bij gewone druk zou worden gebruikt. De energiedichtheid van benzine bij volledige verbranding bedraagt 46 MJ kg^{-1} , wat overeenkomt met $3,3 \cdot 10^4 \text{ MJ m}^{-3}$. Het ontstane water komt hierbij vrij als gas.

De energiedichtheid van waterstof bij 700 bar is hoger dan die van benzine wanneer deze wordt uitgedrukt in MJ kg^{-1} , maar lager wanneer deze wordt uitgedrukt in MJ m^{-3} .

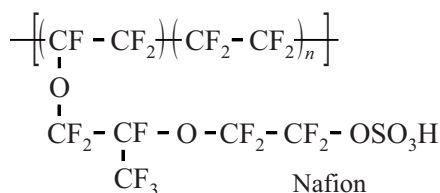
- 3p 5 Bereken de energiedichtheid van waterstof. Geef je antwoord zowel in MJ kg^{-1} als MJ m^{-3} . Het ontstane water komt vrij als gas. Het molair volume bedraagt dan $5,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$. Neem aan dat onder deze omstandigheden de waarden van de reactiewarmtes uit Binas mogen worden gebruikt.

Als de waterstof door elektrolyse van water wordt bereid, gaat 35% van de toegevoerde elektrische energie verloren. Het energie-rendement van een waterstof-brandstofcel bedraagt gemiddeld 45%. In beide gevallen is het verlies aan energie vooral te wijten aan de ontwikkeling van warmte. Overige rendementsverliezen worden hierbij verwaarloosd. Het totale energie-rendement van de vorming van waterstof uit water, waarna het in een brandstofcel wordt gebruikt, is hierdoor laag.

- 2p 6 Bereken het totale energie-rendement.

Veel onderzoek richt zich op het membraan dat tussen de elektrodes aanwezig is. Het meest gebruikte membraanmateriaal is Nafion-117. Een molecuul van Nafion is opgebouwd uit twee monomeren. In figuur 1 is een gedeelte uit een molecuul Nafion weergegeven.

figuur 1



Omdat de waarde van n kan variëren, bestaan verschillende typen Nafion. De aanduiding 117 geeft daarom informatie over de structuur van het membraan. De eerste twee cijfers geven aan dat per 1100 gram materiaal één mol sulfonzuurgroepen ($\sim \text{OSO}_3\text{H}$) voorkomt. Het cijfer 7 geeft informatie over de dikte van het membraan.

- 3p 7 Bereken de gemiddelde waarde van n voor Nafion-117.

Als Nafion in contact wordt gebracht met water zwelt het materiaal op door opname van water. Door het sterk hydrofiele karakter van de zijketens vormen zich holtes en kanalen in het materiaal. In deze holtes is water aanwezig. De sulfonzuurgroepen die aan het eind van de zijketens van het polymeer aanwezig zijn, steken in de holtes. Deze groepen gedragen zich in water als sterk zuur, waardoor in de holtes H^+ ionen aanwezig zijn.

Het zure karakter van de sulfonzuurgroep wordt onder andere veroorzaakt doordat van de geconjugeerde $R-OSO_3^-$ groep meerdere grensstructuren mogelijk zijn.

- 4p 8 Geef de Lewisstructuur van de groep $R-OSO_3^-$ en leg uit dat van deze groep meerdere grensstructuren bestaan. Geef in de tekening formele lading(en) aan.
Neem aan dat de covalentie van zwavel 6 is. De overige atomen in de weergegeven Lewisstructuur moeten voldoen aan de oktetregel. Laat hierbij de groep R buiten beschouwing.

Tijdens stroomlevering bewegen gehydrateerde H^+ ionen door het materiaal heen. Door de reacties die in de brandstofcel optreden en de beweging van gehydrateerde H^+ ionen wordt het watergehalte in het membraan beïnvloed. Voor een optimale werking moet het gehalte water in het membraan constant blijven.

De halfreacties aan de elektrodes in een waterstof-brandstofcel zijn hieronder weergegeven.



De H^+ ionen die aan de negatieve elektrode gevormd zijn, bewegen door het membraan naar de andere elektrode. Uit onderzoek blijkt dat elk H^+ ion gemiddeld 2,7 moleculen water meesleept van de ene kant van het membraan naar de andere kant. Om het watergehalte in het membraan constant te houden moet dus aan de elektrodes water worden aangevoerd dan wel worden afgevoerd.

- 3p 9 Bereken voor beide elektrodes hoeveel gram water moet worden aangevoerd of afgevoerd per gram waterstof die in de cel wordt verbruikt om de hoeveelheid water bij beide elektrodes constant te houden.
Geef je antwoord als volgt weer:
- bij de ... elektrode moet ... g water worden aangevoerd;
 - bij de ... elektrode moet ... g water worden afgevoerd.