

Waterstofbromide-flowbatterij

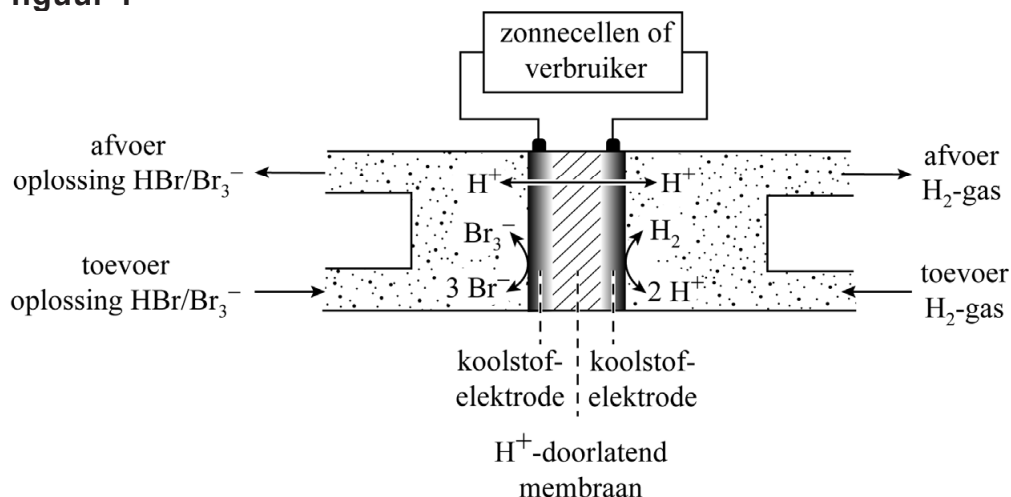
Om duurzame energie betaalbaar op te slaan, hebben onderzoekers van de Technische Universiteit Eindhoven een batterij ontwikkeld die voldoende zonne-energie kan opslaan om een kantoor enkele weken van elektrische energie te voorzien. Deze batterij is een waterstofbromide-flowbatterij (HBFB) en heeft de grootte van een aantal zeecontainers.

Een HBFB bevat een oplossing van het zuur waterstofbromide (HBr) in water. Deze oplossing bevat de deeltjes H^+ (aq) en Br^- (aq). De zure oplossing wordt door een pomp door de batterij gepompt. Een laagje polypropreen aan de binnenzijde van de pomp beschermt deze tegen de hoge zuurgraad.

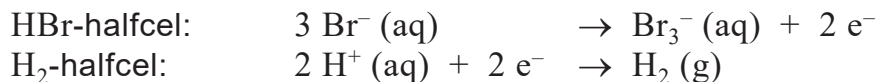
- 3p 26 Geef een stukje uit het midden van de structuurformule van polypropreen. In dit stukje moeten drie monomeereenheden zijn verwerkt.

De HBFB bevat vijftig elektrochemische cellen die met elkaar zijn verbonden. Elke elektrochemische cel bestaat uit twee halfcellen: een HBr-halfcel en een H_2 -halfcel. Zie figuur 1. De HBr-halfcel bevat een poreuze elektrode van koolstof waar de zure HBr-oplossing doorheen wordt gepompt. De H_2 -halfcel bevat ook een poreuze elektrode van koolstof. De halfcellen worden van elkaar gescheiden door een membraan dat H^+ -ionen doorlaat.

figuur 1



Wanneer een HBFB voor de eerste keer wordt opgeladen, worden in de HBr-halfcel de Br^- -ionen omgezet tot Br_3^- -ionen. In de H_2 -halfcel worden H^+ -ionen die door het membraan zijn gegaan, omgezet tot waterstofgas. Tijdens het opladen treden de volgende halfreacties op:



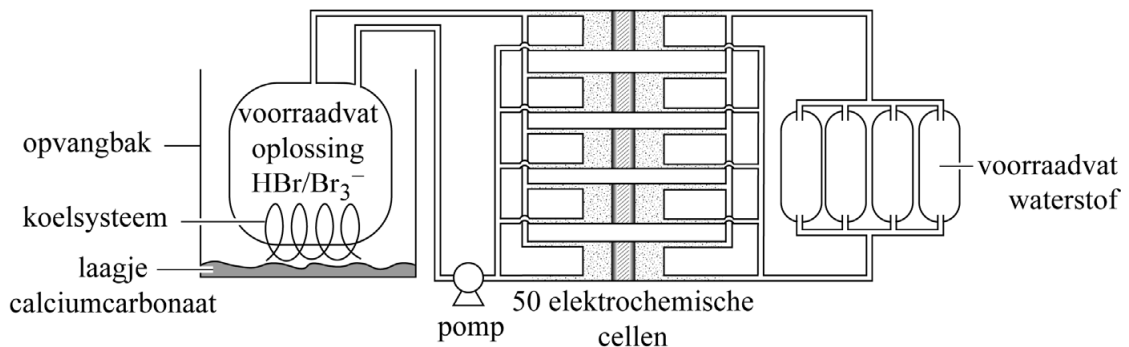
- 2p 27 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de vergelijking van de totale reactie voor het opladen van de HBFB.
 - Leg uit dat met behulp van deze totale vergelijking is af te leiden dat er H^+ -ionen van de oorspronkelijke HBr-oplossing overblijven.

Op de uitwerkbijlage is de elektrochemische cel nogmaals schematisch weergegeven.

- 2p 28 Geef in de figuur op de uitwerkbijlage aan in welke richting de elektronen zich door de stroomdraad verplaatsen **en** in welke richting H^+ -ionen zich door het membraan verplaatsen tijdens het **opladen**. Doe dit door het tekenen van:
- een pijl met het bijschrift e^- bij de stroomdraad;
 - een pijl met het bijschrift H^+ door het membraan.

Figuur 2 geeft een vereenvoudigde weergave van de HBFB. In plaats van 50 elektrochemische cellen zijn er maar 5 getekend.

figuur 2



De HBr-halfcellen zijn aangesloten op een voorraadvat met HBr-oplossing. Hierin komt na het opladen ook Br_3^- terecht. Uit voorzorg is rond dit voorraadvat een opvangbak met calciumcarbonaat geplaatst. Wanneer de zure HBr-oplossing zou lekken, ontstaat een gevaarlijke situatie. Het calciumcarbonaat vermindert dit gevaar.

- 2p **29** Geef de formule van calciumcarbonaat **en** leg uit dat calciumcarbonaat het gevaar vermindert bij een lekkage van HBr-oplossing.
 Noteer je antwoord als volgt:
 formule calciumcarbonaat: ...
 uitleg: ...

De H_2 -halfcellen zijn aangesloten op 4 voorraadvaten met waterstof. Het volume van elk vat is 50 m^3 . De dichtheid van H_2 in een opgeladen HBFB is $0,732 \text{ kg m}^{-3}$. Uiteindelijk wordt 89% van deze hoeveelheid H_2 omgezet tijdens stroomlevering. Hierbij komt $2,4 \cdot 10^5 \text{ J}$ per mol H_2 vrij.

- 4p **30** Bereken de maximale hoeveelheid elektrische energie in kWh die kan worden geleverd door de HBFB.
 $1,0 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$.