

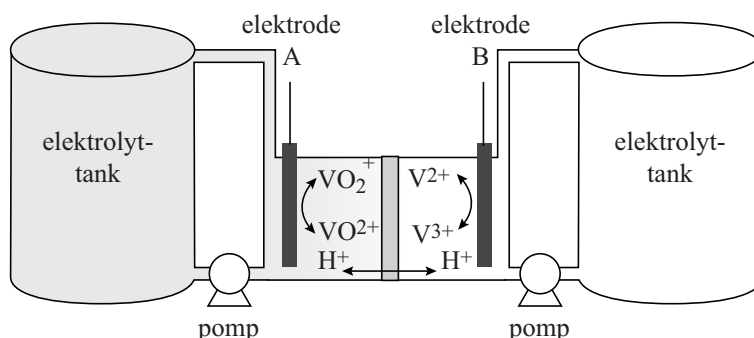
## De fotonenboer

Een type batterij dat tegenwoordig weer in de belangstelling staat, is de zogenoemde flow-batterij.

Een voorbeeld hiervan is de vanadium-redox-flow-batterij. Deze oplaadbare batterij wordt afgekort als VRFB (V is het symbool van het element vanadium).

In figuur 1 is deze batterij schematisch weergegeven. Met de formules bij de elektroden zijn de omzettingen zowel bij het opladen als bij de stroomlevering weergegeven.

figuur 1



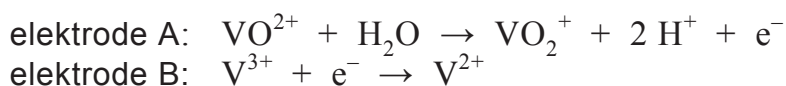
In de VRFB kan elektrische energie worden opgeslagen die wordt geproduceerd door bijvoorbeeld zonnecellen. De twee halfcellen in de VRFB zijn verbonden met relatief grote opslagtanks die zijn gevuld met een zwavelzuuroplossing waarin ook vanadiumverbindingen zijn opgelost. De elektrolyt wordt rondgepompt ('flow') langs de elektroden. De elektroden reageren zelf niet mee in de redoxreacties.

Beide halfcellen zijn van elkaar gescheiden door een membraan dat alleen  $H^+$  ionen kan doorlaten.

Wanneer de batterij nog niet is opgeladen, bevatten de linker-halfcel en de daarop aangesloten tank een oplossing waarin vanadyliionen ( $VO^{2+}$ ) als enige vanadium bevattende deeltjes voorkomen. De rechter-halfcel en de daarop aangesloten tank bevatten een oplossing waarin vanadium(III)sulfaat als enige vanadium bevattende stof is opgelost.

2p 11 Geef de formule van vanadium(III)sulfaat.

Tijdens het opladen van de batterij vinden aan de elektroden de volgende halfreacties plaats:



Zowel tijdens het opladen als tijdens de stroomlevering bewegen  $H^+$  ionen in de VRFB van de ene naar de andere halfcel.

- 2p 12 Bewegen de  $H^+$  ionen tijdens de stroomlevering van elektrode A naar elektrode B of omgekeerd? Licht je antwoord toe.

Onderstaand tekstfragment gaat over de toepassing van een VRFB in de praktijk van een boerenbedrijf.

### tekstfragment 1

Welkom bij de fotonenboer

Een boerenbedrijf oogst doorgaans graan en gras en produceert melk. Op melkveehouderij 't Spieker in Vierakker (Gelderland) gaan we echter een flinke stap verder. We oogsten lichtdeeltjes (fotonen) van de zon met een grote hoeveelheid zonnepanelen op het dak van onze stal. Deze lichtdeeltjes worden omgezet in elektrische energie. En daar is veel van nodig op een boerenbedrijf, bijvoorbeeld voor onze twee melkrobots. Het eventuele overschot aan energie slaan we op in een grote batterij (VRFB) op ons erf voor gebruik op een ander moment.



naar: [www.fotonenboer.nl](http://www.fotonenboer.nl)

De opslagtanks bevatten elk  $3,0 \text{ m}^3$  elektrolytoplossing. Een belangrijke eigenschap van flow-batterijen is de zogenoemde energiedichtheid van de elektrolytoplossing. Dit is de hoeveelheid energie die per kg elektrolytoplossing kan worden geleverd. De energiedichtheid wordt uitgedrukt in  $\text{Wh kg}^{-1}$  (wattuur per kg).

- 4p 13 Bereken de energiedichtheid van de elektrolytoplossing van de VRFB. Gebruik de volgende gegevens:
- De VRFB is volledig opgeladen, waarbij  $[V^{2+}] = 1,6 \text{ mol L}^{-1}$  en  $[VO_2^+] = 1,6 \text{ mol L}^{-1}$ ;
  - $V^{2+}$  en  $VO_2^+$  worden volledig omgezet bij stroomlevering;
  - de dichtheid van beide oplossingen bedraagt  $1,2 \text{ kg L}^{-1}$ ;
  - 1 mol elektronen komt overeen met 38 Wh.

De fotonenboer gebruikt de opgeslagen energie nu nog in zijn eigen bedrijf. In de toekomst zou de energie die is opgeslagen in de elektrolytoplossingen, kunnen worden toegepast in elektrische auto's die zijn uitgerust met een VRFB. In een publicatie over die toepassing is figuur 2 opgenomen.

**figuur 2**



In deze tekening wordt het tanken van elektrolyt bij de fotonenboer voorgesteld als het tanken van benzine bij auto's met een benzinemotor. Bij een auto met een VRFB zal het tanken echter anders moeten worden uitgevoerd.

- 3p 14 Beschrijf globaal hoe het tanken bij zo'n auto zal moeten worden uitgevoerd.

---

#### 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.