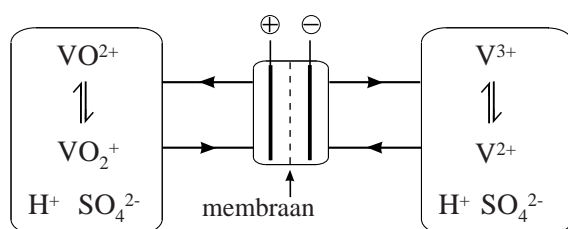


## Fotonenboer

Een Nederlandse melkveehouder voorziet sinds 2010 met zonnecellen in de eigen energiebehoefte. Voor de opslag van overdag teveel geproduceerde energie is op de boerderij een zogeheten Vanadium Redox Flow Battery (VRFB) geplaatst. In deze VRFB worden oplossingen met verschillende vanadiumionen vanuit twee opslagtanks door een aantal geschakelde elektrochemische cellen gepompt. Dit proces is in de figuur hieronder vereenvoudigd weergegeven met één elektrochemische cel. In deze opgave wordt de term vanadiumionen gebruikt voor (combinaties van) de deeltjes  $\text{VO}_2^+$ ,  $\text{VO}^{2+}$ ,  $\text{V}^{3+}$  en  $\text{V}^{2+}$ . In beide oplossingen is verder alleen opgelost zwavelzuur aanwezig.

figuur



Wanneer de VRFB voor het eerst in gebruik wordt genomen, is van de genoemde vanadiumionen in de linker opslagtank alleen  $\text{VO}_2^+$  aanwezig en in de rechter opslagtank alleen  $\text{V}^{3+}$ . In deze situatie levert de VRFB geen stroom. Doordat in de VRFB selectieve membranen worden toegepast, worden tijdens het opladen en de stroomlevering vrijwel uitsluitend  $\text{H}^+$  ionen doorgelaten.

- 4p **22** Geef de vergelijking van beide halfreacties die tijdens het opladen optreden. Geef je antwoord als volgt weer:  
 linker halfcel: ...  
 rechter halfcel: ...
- 2p **23** Leg uit in welke richting de  $\text{H}^+$  ionen door het membraan passeren tijdens het opladen.

De VRFB van de fotonenboer is een CellCube type FB 10-100. Het typenummer geeft informatie over de twee belangrijkste kenmerken van de VRFB:

- Het vermogen (de hoeveelheid energie die per seconde kan worden geleverd) bedraagt  $10 \text{ kJ s}^{-1}$ .
- De opslagcapaciteit (de maximale hoeveelheid elektrische energie die kan worden geleverd) bedraagt 100 kWh.

Het totale rendement van de omzetting van chemische energie in elektrische energie van deze VRFB bedraagt 67%. Bij stroomlevering geeft 1 mol elektronen  $1,35 \cdot 10^5$  J energie af aan het lichtnet.

- 3p **24** Bereken hoeveel  $\text{m}^3$  oplossing voor één opslagtank nodig is om de VRFB voor het eerste gebruik te vullen. Gebruik onder andere de volgende gegevens:
- Vóór het eerste gebruik bedraagt de concentratie van de vanadiumionen in de gebruikte oplossingen 1,7 M.
  - Een kWh is  $3,6 \cdot 10^6$  J.

Uit onderzoek is gebleken dat onder bepaalde omstandigheden een neerslag van de vaste stof  $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  ontstaat in de linker opslagtank. Deze stof wordt gevormd uit  $\text{VO}_2^+$  ionen en één andere stof. Bij deze reactie ontstaat één ander soort deeltje.

- 3p **25** Geef de reactievergelijking van de vorming van  $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  uit  $\text{VO}_2^+$ .

Een andere boer wil een VRFB aanschaffen met een hogere opslagcapaciteit en een hogere maximale stroomsterkte dan de genoemde CellCube.

In de tabel op de uitwerkbijlage staan vijf aanpassingen die de fabrikant kan doen om tegemoet te komen aan de eisen van deze boer.

Uit de tabel valt onder andere op te maken dat een hogere concentratie vanadiumionen zorgt voor een toename van de opslagcapaciteit en de maximale stroomsterkte van de VRFB.

- 2p **26** Verklaar aan de hand van het botsende-deeltjes-model dat een hogere concentratie vanadiumionen zorgt voor een toename van de maximale stroomsterkte van de VRFB.
- 2p **27** Geef in de tabel op de uitwerkbijlage met een kruisje aan welke aanpassingen een toename van de opslagcapaciteit en/of een toename van de maximale stroomsterkte veroorzaken.  
Neem steeds aan dat de overige factoren geen beperking vormen.

## uitwerkbijlage

27

Aanpassing VRFB	veroorzaakt een toename van de	
	opslag-capaciteit (J)	stroomsterkte (C s <sup>-1</sup> )
de concentratie vanadiumionen verhogen	X	X
meerdere elektrochemische cellen aansluiten op dezelfde tanks		
de tanks vergroten		
membranen gebruiken die de ionenstroom beter doorlaten		
poreuze elektrodes gebruiken voor een groter contactoppervlak		