

Waterstof op aanvraag

Waterstof wordt voor de toekomst gezien als een belangrijke energieleverancier. Vaak wordt die energie met behulp van een brandstofcel geleverd.

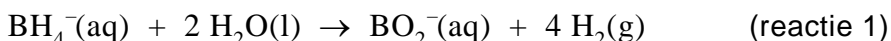
- 4p 14 Maak een schets van zo'n brandstofcel. Benoem de onderdelen van de cel. Geef in je tekening ook aan van welk(e) materia(l)l(en) de elektroden zijn gemaakt en wat tijdens de stroomlevering de positieve en de negatieve elektrode is.

Sinds 1998 wordt in auto's geëxperimenteerd met een brandstofcel, waarin de waterstof wordt geleverd door een oplossing van natriumboorhydride (NaBH_4): het 'waterstof op aanvraag' systeem. Het natriumboorhydride kan worden gemaakt uit borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), een mineraal dat op vrij grote schaal in de natuur voorkomt. In de eerste stap van deze bereiding wordt $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ omgezet tot H_3BO_3 . Via een aantal hierop volgende stappen wordt H_3BO_3 omgezet tot NaBH_4 .

Om de omzetting van $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ tot H_3BO_3 te laten verlopen, wordt aan borax een oplossing van een sterk zuur toegevoegd, bijvoorbeeld verdund zwavelzuur met $\text{pH} = -0,15$. Hierbij lost de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ op. De $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ ionen reageren vervolgens met de zure oplossing. Bij deze reactie wordt uitsluitend H_3BO_3 gevormd.

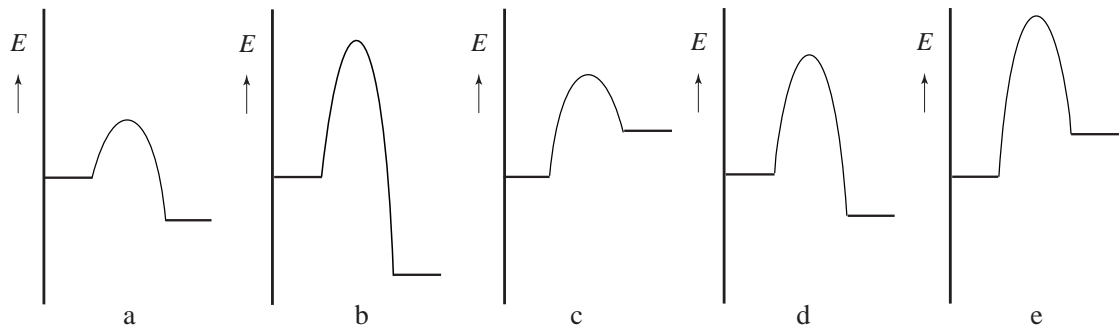
- 3p 15 Geef de vergelijking van de reactie waarin $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ met de zure oplossing wordt omgezet tot H_3BO_3 .
- 4p 16 Bereken, mede met behulp van de K_z van HSO_4^- , de molariteit van het zwavelzuur in verdund zwavelzuur met $\text{pH} = -0,15$.

Een oplossing van natriumboorhydride is stabiel. Wanneer een oplossing van natriumboorhydride met een bepaalde vaste katalysator in contact wordt gebracht, verloopt de volgende reactie:



Reactie 1 is exotherm. Hieronder staan vijf energiediagrammen (a, b, c, d en e). In deze diagrammen behoort het linker niveau tot de deeltjes die reageren en het rechter niveau tot de deeltjes die ontstaan. Eén van de diagrammen geeft het verloop van reactie 1 zonder katalysator weer en één van de andere diagrammen geeft het verloop van reactie 1 met katalysator weer. In alle diagrammen heeft de verticale as dezelfde schaal.

Energiediagrammen



- 3p **17** Welk van bovenstaande diagrammen geeft het verloop van reactie 1 zonder katalysator weer en welk van de diagrammen geeft het verloop van reactie 1 met katalysator weer? Licht je antwoord toe.

Een auto die rijdt op het ‘waterstof op aanvraag’ systeem tankt dus geen benzine, maar een oplossing van NaBH_4 . Van een bepaald type auto die wordt aangedreven door een waterstof brandstofcel, is gegeven dat hij op 1,0 kg waterstof 70 km kan rijden. Wanneer de waterstof wordt geproduceerd via reactie 1 uit een NaBH_4 oplossing, is uit te rekenen hoeveel km zo’n auto per 1,0 liter NaBH_4 oplossing kan rijden.

- 5p **18** Geef deze berekening. Gebruik daarbij de volgende gegevens:
- de NaBH_4 oplossing bevat 20,0 massaprocent NaBH_4 ;
 - de dichtheid van de oplossing bedraagt $1,03 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$;
 - alle NaBH_4 wordt omgezet.