

Waterstof op aanvraag

Sinds 1998 wordt in auto's geëxperimenteerd met een brandstofcel, waarin de brandstof (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 .

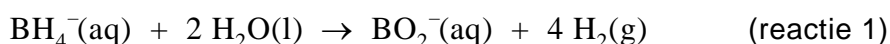
Om de omzetting van $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ tot H_3BO_3 te laten verlopen, wordt aan borax een oplossing van een sterk zuur toegevoegd, bijvoorbeeld verdund zwavelzuur met $\text{pH} = -0,15$. Hierbij lost de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ op. De $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ ionen reageren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

- 3p 13 Geef de vergelijking van de reactie waarin $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ met de zure oplossing wordt omgezet tot H_3BO_3 .

In verdund zwavelzuur met $\text{pH} = -0,15$ mag het H_2SO_4 worden beschouwd als een eenwaardig zuur (een zuur dat per molecuul één H^+ ion afstaat). Van het aantal HSO_4^- ionen is in deze oplossing namelijk een heel klein percentage omgezet tot SO_4^{2-} ionen.

- 3p 14 Bereken hoeveel procent van de HSO_4^- ionen in deze oplossing is omgezet tot SO_4^{2-} ionen.

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 een redoxreactie.

- 3p 15 Geef de vergelijking van de halfreactie van BH_4^- . Hierin komen uitsluitend BH_4^- , BO_2^- , H_2O , OH^- en e^- voor.

In een artikel over dit ‘waterstof op aanvraag’ systeem komt het volgende tekstfragment voor:

tekstfragment

Opgelost in water kan de brandstof gemakkelijk en vooral veilig worden meegenomen in een auto; de tank hoeft niet onder druk te staan en uitgebreide veiligheidsmaatregelen zijn niet nodig. De waterstof komt pas vrij als men de oplossing met behulp van een pomp langs een platina-katalysator laat stromen, op het moment dat men het nodig heeft. Er bevindt zich nooit meer dan 2,5 gram waterstof in de brandstofleidingen, equivalent aan één glaasje benzine. Dit minimaliseert het brandgevaar.

naar: Chemisch2Weekblad

- 3p **16** Ga door middel van een berekening na hoeveel mL benzine het bedoelde glaasje bevat, waarover in het tekstfragment wordt geschreven.
- Met equivalent wordt hier bedoeld: evenveel energie leverend.
 - Ga ervan uit dat in de brandstofleidingen de temperatuur 273 K is en dat $p = p_0$.
 - Gebruik bij de berekening onder andere gegevens uit Binas-tabel 28A en neem aan dat de gegevens uit deze tabel met betrekking tot benzine ook gelden bij 273 K.

Tijdens de ontwikkeling van het ‘waterstof op aanvraag’ systeem heeft men een aantal factoren onderzocht die van invloed zijn op de hoeveelheid waterstof die per seconde kan worden geproduceerd. Eén van die factoren is de snelheid waarmee de NaBH_4 oplossing langs de platina-katalysator wordt gepompt.

- 3p **17** Welke drie factoren, die van invloed zijn op de waterstofproductie, zal men ook hebben onderzocht?

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.