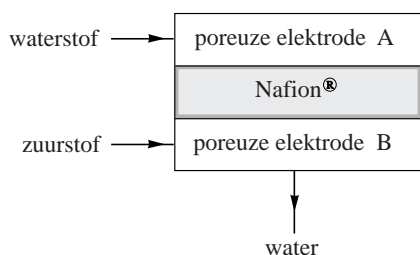


Onderstaande tekening is een schematische weergave van een brandstofcel met een membraan van Nafion[®].



De brandstofcel bestaat uit twee poreuze elektroden A en B, beide gemaakt van grafiet. De elektroden zijn van elkaar gescheiden door een membraan van Nafion[®]. Door elektrode A stroomt waterstof en door elektrode B stroomt zuurstof. Wanneer beide elektroden door middel van een geleidende verbindingsdraad met elkaar worden verbonden, gaat er een elektrische stroom lopen. Bij de reacties die daarbij optreden, ontstaat alleen in elektrode B water. De stroomgeleiding via de verbindingsdraad geschiedt door middel van transport van elektronen. In het membraan geschiedt de stroomgeleiding door verplaatsing van een ander soort deeltjes.

- 2p **21** Leg uit in welke richting (van elektrode A naar elektrode B of omgekeerd) de elektronen zich bij stroomlevering door de verbindingsdraad bewegen.
- 3p **22** Leg uit welk soort deeltjes zich bij stroomlevering door het membraan verplaatst en in welke richting (van elektrode A naar elektrode B of omgekeerd) die deeltjes zich door het membraan bewegen.

In een brandstofcel wordt chemische energie omgezet in elektrische energie.

- 3p **23** Bereken hoeveel dm³ waterstof (298 K, $p = p_0$) minstens nodig is om de brandstofcel $2,16 \cdot 10^5$ J elektrische energie te laten leveren.

Een belangrijke eigenschap van Nafion[®] is de zuurcapaciteit. Dit is het aantal millimol sulfonzuurgroepen in 1,00 g Nafion[®]. De zuurcapaciteit van Nafion[®] wordt in de fabriek door middel van een titratie bepaald en als een van de eigenschappen in de productspecificaties vermeld. Deze bepaling is nodig omdat niet precies bekend is in welke verhouding beide monomeereenheden in het polymeer voorkomen. Bij de bepaling van de zuurcapaciteit gaat men niet uit van Nafion[®] zelf, maar van het natriumzout van Nafion[®]. De reden hiervoor is dat dit natriumzout minder water bevat en beter te drogen is dan Nafion[®] zelf. In het natriumzout van Nafion[®] zijn alle $-SO_3H$ groepen vervangen door groepen die kunnen worden weergegeven met $-SO_3^- Na^+$. Het natriumzout van Nafion[®] is evenals Nafion[®] zelf onoplosbaar in water.

De bepaling kan als volgt worden uitgevoerd.

- 1 Droog een hoeveelheid van het natriumzout van Nafion[®].
- 2 Weeg een hoeveelheid van dit gedroogde natriumzout nauwkeurig af.
- 3 Breng het zout over in een erlenmeyer en voeg overmaat zoutzuur toe.
- 4 Filtreer en spoel het residu na met gedestilleerd water om de overmaat zoutzuur te verwijderen.
- 5 Breng het residu over in een erlenmeyer en voeg overmaat NaCl oplossing toe.
- 6 Filtreer opnieuw en spoel het residu na.
- 7 Titreer het filtraat met natronloog.

In stap 3 van dit voorschrift worden alle $-\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ groepen omgezet tot $-\text{SO}_3\text{H}$ groepen.

In stap 5 worden alle $-\text{SO}_3\text{H}$ groepen weer omgezet tot $-\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ groepen. De H^+ ionen van de sulfonzuurgroepen komen in de oplossing terecht.

Bij een dergelijke bepaling werd 1,73 gram van het gedroogde natriumzout van Nafion[®] afgewogen. Voor de titratie was 14,4 mL 0,104 M natronloog nodig.

Met behulp van dit titratieresultaat kan het aantal mmol $-\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ groepen in de onderzochte hoeveelheid van het natriumzout van Nafion[®] worden berekend en daarmee de zuurcapaciteit van het Nafion[®]. Bij deze berekening speelt ook het verschil in massa tussen de groep $-\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ en de groep $-\text{SO}_3\text{H}$ een rol.

- 1p **24** Bereken met behulp van het titratieresultaat het aantal mmol $-\text{SO}_3^- \text{Na}^+$ groepen in 1,73 gram van het gedroogde natriumzout van Nafion[®].
- 4p **25** Bereken de zuurcapaciteit van het Nafion[®] in mmol $-\text{SO}_3\text{H}$ groepen per 1,00 g Nafion[®].