

## Stroom uit hout

In brandstofcellen die glucose of zetmeel gebruiken als energiebron worden enzymen gebruikt. Zo kan amylose in zetmeel met behulp van enzymen door hydrolyse worden omgezet tot glucose. Andere enzymen zetten vervolgens de glucose om.

Op de uitwerkbijlage is de onvolledige reactievergelijking weergegeven van de gedeeltelijke hydrolyse van amylose.

- 3p 7 Maak op de uitwerkbijlage de reactievergelijking af van de gedeeltelijke hydrolyse van amylose, waarbij van het weergegeven fragment twee moleculen glucose worden afgesplitst. Geef koolstofverbindingen weer met structuurformules.

Wetenschappers hebben een brandstofcel voor biomassa ontwikkeld waarin geen enzymen worden gebruikt. Met deze brandstofcel kan energie worden opgewekt uit biomassa waarvoor geen geschikte enzymen bestaan. In het onderzoek naar een geschikte brandstofcel is gebruikgemaakt van ammonium-12-molybdofosfaat.

De verhoudingsformule van deze stof is  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4(\text{MoO}_3)_{12}$ .

Ammonium-12-molybdofosfaat wordt gemaakt door ammonium-orthomolybdaat  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  te verhitten in aanwezigheid van fosforzuur en salpeterzuur. Als bijproducten ontstaan waterdamp en ammoniumnitraat.

- 3p 8 Geef de reactievergelijking voor het maken van ammonium-12-molybdofosfaat.  
Gebruik Binas-tabel 66B of ScienceData-tabel 10.2.b.

In oplossingen van ammonium-12-molybdofosfaat komen ionen  $\text{PO}_4(\text{MoO}_3)_{12}^{3-}$  voor. Een ion  $\text{PO}_4(\text{MoO}_3)_{12}^{3-}$  wordt in de rest van deze opgave voorgesteld als  $\text{POM}^{3-}$ .

Het deeltje  $\text{POM}^{3-}$  kan worden beschouwd als een fosfaat-ion dat wordt omringd door twaalf eenheden molybdeen(VI)oxide ( $\text{MoO}_3$ ). Elke eenheid  $\text{MoO}_3$  bestaat uit drie oxide-ionen en een Mo(VI)-ion.

Onder invloed van licht wordt een deeltje  $\text{POM}^{3-}$  omgezet tot het zeer reactieve deeltje  $\text{rPOM}^{3-}$ , dat snel reageert met allerlei organische stoffen. De structuur van  $\text{POM}^{3-}$  en  $\text{rPOM}^{3-}$  is gelijk, de deeltjes verschillen alleen in de verdeling van de elektronen binnen het deeltje. Bij de omzetting van  $\text{POM}^{3-}$  tot  $\text{rPOM}^{3-}$  wordt binnen een eenheid  $\text{MoO}_3$  één elektron van één oxide-ion overgedragen naar de N-schil van één Mo(VI)-ion.

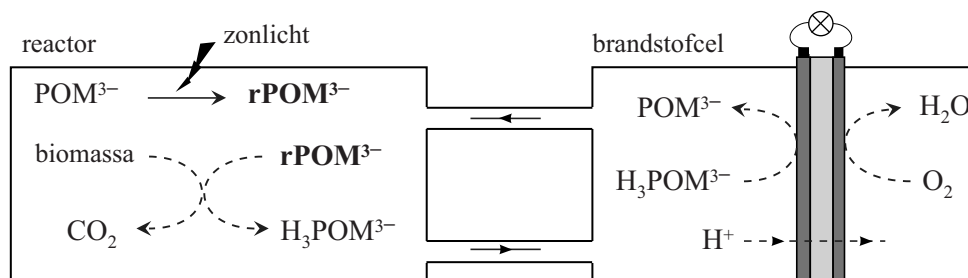
- 3p 9 Geef op de uitwerkbijlage de opbouw van de elektronenwolk van het omgezette oxide-ion en het omgezette molybdeen-ion in het reactieve deeltje  $\text{rPOM}^{3-}$ . Gebruik het Periodiek Systeem uit je informatieboek.

In hout is onder andere het biopolymeer lignine aanwezig. Lignine is een netwerkpolymeer dat in brandstofcellen niet kan worden omgezet met enzymen. Met het gebruikte ammonium-12-molybdofosfaat kan lignine wel worden omgezet, zodat zelfs houtafval kan worden gebruikt in een brandstofcel. Op de uitwerkbijlage is een van de optredende omzettingen weergegeven. In stap 1 treedt oxidatie van lignine op. In stap 2 wordt het omcirkelde H atoom als een  $H^+$  ion afgesplitst. Tevens wordt dan een C–C binding verbroken en een  $H^+$  ion opgenomen. Dit  $H^+$  ion is weergegeven in het kader.

- 2p 10 Geef op de uitwerkbijlage in het omkaderde deel met pijlen aan hoe elektronenparen zich verplaatsen.

In onderstaande figuur is de gebruikte opstelling schematisch weergegeven. In een lichtdoorlatende reactor heeft men biomassa gemengd met ammonium-12-molybdofosfaat. De reactor is vervolgens in zonlicht geplaatst, zodat  $POM^{3-}$  onder invloed van licht wordt omgezet tot  $rPOM^{3-}$ . Het  $rPOM^{3-}$  reageert met de biomassa, waarbij onder andere  $H_3POM^{3-}$  en  $CO_2$  worden gevormd.

figuur



Na verloop van tijd wordt het mengsel door de brandstofcel gepompt. Het in de reactor ontstane  $H_3POM^{3-}$  wordt in de brandstofcel weer omgezet tot  $POM^{3-}$ .

- 3p 11 Geef de vergelijkingen van de halfreacties die verlopen in de brandstofcel en geef de totaalvergelijking.

In het onderzoek is een hoeveelheid verdunde biomassa gemengd met 20 mL van een 0,25 M oplossing ammonium-12-molybdofosfaat. Nadat dit mengsel enige tijd in het zonlicht had gestaan, bleek dat 80% van alle  $rPOM^{3-}$  was omgezet tot  $H_3POM^{3-}$ . Het mengsel werd door de brandstofcel gepompt tot alle ontstane  $H_3POM^{3-}$  weer was omgezet tot  $POM^{3-}$ . De brandstofcel leverde gedurende 30 minuten een gemiddelde stroomsterkte van 0,530 A.

- 4p 12 Bereken hoeveel procent van de elektronen die  $rPOM^{3-}$  van de biomassa heeft opgenomen, door  $H_3POM^{3-}$  is afgestaan in de brandstofcel. Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:

- $1 \text{ A} = 1 \text{ C s}^{-1}$
- een mol elektronen heeft een lading van  $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$ .