

## Ammoniak en energie uit afvalwater

Wereldwijd wordt jaarlijks ongeveer  $1,0 \cdot 10^8$  ton ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) geproduceerd om stikstofrijke verbindingen te maken voor kunstmest. In fabrieken wordt hiervoor aardgas gebruikt als energiebron en als bron van waterstofatomen.

Het totaalproces kan worden gezien als een reactie van methaan met zuurstof, water en stikstof. Als reactieproducten ontstaan koolstofdioxide en ammoniak. In het proces wordt gemiddeld een mol methaan ingevoerd per mol  $\text{N}_2$ . Het water wordt als vloeistof in het proces ingevoerd.

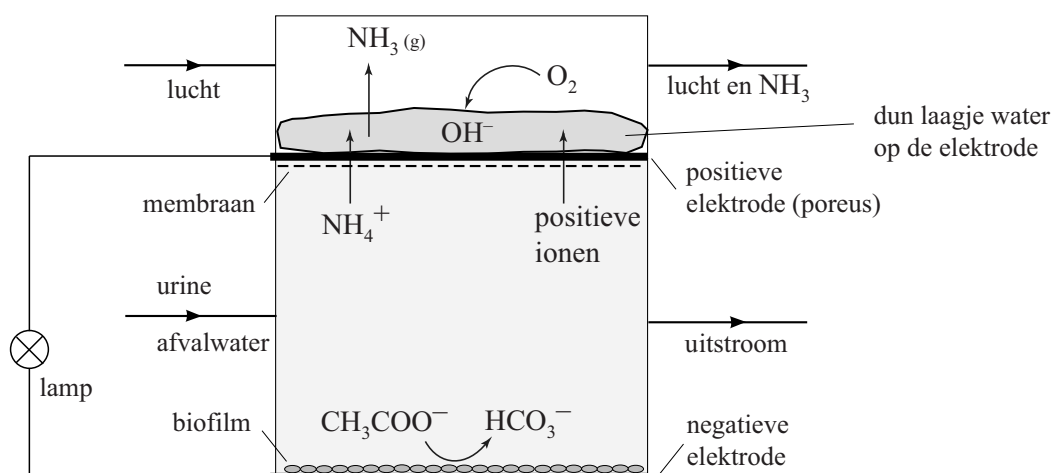
- 2p 21 Geef de reactievergelijking van deze productie van ammoniak.  
3p 22 Bereken de reactiewarmte van het totaalproces in joule per mol ammoniak.

De kunstmest levert de stikstofverbindingen die noodzakelijk zijn voor een goede groei van gewassen.

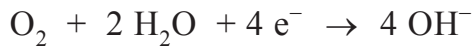
- 1p 23 Noem twee soorten biologische macromoleculen waarvoor de opname van stikstofverbindingen essentieel is.

In een Nederlandse onderzoeksgroep is onderzocht of het mogelijk is om ammoniak uit urine te winnen met een brandstofcel. In verse urine is de meeste stikstof gebonden als ureum. Wanneer urine in afvalwater terechtkomt, wordt het ureum door micro-organismen gehydrolyseerd tot ammoniak en koolzuur ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). In het onderzoek is urine gemengd met afvalwater. Bij de gebruikte pH van het mengsel is het uit ureum gevormde ammoniak volledig omgezet tot  $\text{NH}_4^+$ . In figuur 1 is de gebruikte brandstofcel schematisch weergegeven.

figuur 1



De negatieve elektrode is bedekt met een dunne laag micro-organismen (biofilm) die organische verbindingen afbreken. De elektronen die hierbij vrijkomen gaan via een externe stroomkring naar de positieve elektrode. Aan de positieve elektrode verloopt de onderstaande halfreactie:



In afvalwater zijn onder andere ethanoaat-ionen aanwezig.

- 3p **24** Geef aan de hand van figuur 1 de vergelijking voor de halfreactie van ethanoaat aan de negatieve elektrode van de brandstofcel.

De positieve elektrode is poreus, zodat de in het afvalwater en de urine aanwezige positieve ionen erdoorheen kunnen bewegen.

Wanneer tijdens stroomlevering uitsluitend ionen zoals  $\text{Na}^+$  en  $\text{K}^+$  het membraan en de poreuze elektrode passeren, stijgt de pH in het waterlaagje op de positieve elektrode.

Wanneer tijdens stroomlevering uitsluitend  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{H}^+$  door het membraan gaan, blijft de pH in het waterlaagje op de positieve elektrode gelijk.

- 2p **25** Leg uit dat tijdens stroomlevering de pH in het waterlaagje bij de positieve elektrode gelijk blijft wanneer uitsluitend  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{H}^+$  het membraan passeren.

Wanneer  $\text{NH}_4^+$  door het membraan gaat, wordt dit in het waterlaagje omgezet tot  $\text{NH}_3$ . Op de positieve elektrode is slechts een dun laagje water aanwezig, zodat de gevormde ammoniak snel uit het water ontwijkt en door de luchtstroom wordt meegevoerd.

Om de zo gevormde ammoniak om te zetten tot een stof die in kunstmest kan worden verwerkt, wordt de uitgaande luchtstroom door een oplossing geleid. In veel soorten kunstmest is ammoniumnitraat verwerkt.

- 1p **26** Geef aan welke stof in water moet worden opgelost om op deze wijze een oplossing met ammoniumnitraat te verkrijgen.

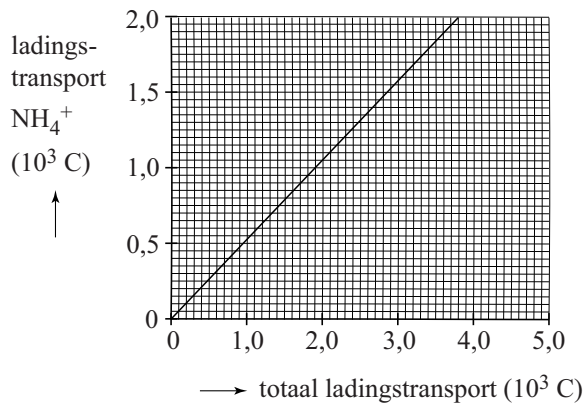
De onderzoekers wilden bepalen welk deel van het ladingstransport door het membraan van de brandstofcel plaatsvond via  $\text{NH}_4^+$ .

Hiertoe hebben de onderzoekers op regelmatige tijdstippen de hoeveelheid ammoniak bepaald die zich in de luchtstroom bevond.

- 2p **27** Beschrijf globaal hoe de onderzoekers de hoeveelheid ammoniak in de luchtstroom hebben bepaald.

In figuur 2 is het resultaat van de metingen aan het ladingstransport door  $\text{NH}_4^+$  weergegeven.

**figuur 2**



- 2p 28 Bereken met behulp van figuur 2 de massa in g ammoniak die door het membraan is gepasseerd, wanneer het totale ladingstransport  $3,0 \cdot 10^3 \text{ C}$  is. Een mol  $\text{NH}_4^+$  heeft een lading van  $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$ .