



# **Grote rol weggelegd voor waterstof in toekomst procestechniek**

**Y.C. van Delft**

*Gepubliceerd in Process Control 3, 11 april 2008, 10-13*



□ 10 kW-brandstofcel

Initiële investeringen nog hoog

## Grote rol weggelegd voor waterstof in toekomst procestechniek

**Is waterstof interessant voor de procesindustrie? 'Jazeker', oordeelt Margien Storm van Leeuwen van NedStack. Maar nog niet onmiddellijk. Wel is het goed om nu met deze innovatie te starten. Twee recente ontwikkelingen tonen aan dat waterstof een rol zal spelen, in brandstofcellen en binnen raffinage.**

Henk van Beek  
is freelance auteur

Februari 2008. Ruim vier en een halfduizend uur draait nu het PEM-brandstofcelsysteem, de PEM Power Plant, bij Akzo Nobels fabriek voor chloorelektrolyse. Met deze hoeveelheid uren heeft de plant meer dan 225.000 kWh aan het elektriciteitsnet geleverd.

PEM-brandstofcellen kunnen met een hoog rendement waterstof omzetten in elektriciteit. In dit demonstratieproject heeft NedStack Fuel Cell Technology met Akzo Nobel Base Chemicals een 50 kW-module aangesloten aan de nieuwe elektrolysefabriek van Akzo Nobel in Delfzijl. Waterstof komt hier vrij als bijproduct en kan nu ter plekke nuttig worden gebruikt.

Bij de productie van chloor en loog uit zout, met behulp van elektrolyse, komt altijd veel waterstof vrij. In Nederland gaat het alleen al in de Akzo-Nobel-fabriek in Rotterdam-Botlek om 18.000 ton waterstof per jaar. De ver-

wachting is dat dit over enkele jaren meer dan 22.500 ton per jaar is. Waterstof is de brandstof voor de productie van elektriciteit met behulp van brandstofcellen. Met 22.500 ton waterstof kun je ongeveer 43 megawatt elektriciteit opwekken. Met dit concept zou het elektriciteitsgebruik van het chloorproductieproces met 20 procent dalen. In dit nieuwe demonstratieproject worden met de 50 kW-module diverse tests uitgevoerd, waaronder duurproeven. De PEM Power Plant bestaat uit 50 kW-modules. Dit concept is eenvoudig modulair op te schalen, tot elk gewenst vermogen. Het potentieel op wereldniveau voor elektriciteitsopwekking uit waterstof afkomstig van de elektrolyse van pekel is 2.600 megawatt. Het project moet kennis opleveren over het lange-termijngedrag van brandstofcellen, om de technologie te kunnen verbeteren en economisch aantrekkelijker te maken, zodat dit potentieel uiteindelijk kan worden benut.

### TCO

Margien Storm van Leeuwen is *sales & marketing manager* bij NedStack fuel cell technology BV. Zij ziet grote kansen voor waterstofgerelateerde oplossingen in de procestechniek. 'De resultaten van deze proeffabriek, die voorlopig wordt gebruikt voor extra duurtesten, tonen aan dat brandstofcellen systemen goed kunnen worden toegepast, gekoppeld aan een chloorproductieproces. We komen hiermee nu in de precommerciële fase.'



## Brandstofcelsoorten

Zijn brandstofcellen allemaal hetzelfde? De naam van bijna alle typen brandstofcellen verwijst naar het gebruikte type elektrolyt. Bij de polymere brandstofcel is dit een protongeleidend vast polymeer. Samen met de alkalische brandstofcel behoort deze cel tot de zogenoemde lage-temperatuurbrandstofcellen. De werkt temperatuur ligt bij de 65 tot 80 graden Celsius, maar ook bij kamertemperatuur wordt al een behoorlijk vermogen geleverd. Daardoor zijn deze typen bij uitstek geschikt voor toepassing in elektrische voer-

tuigen. Een andere toepassingsmogelijkheid is kleinschalige elektriciteitsproductie. Daartoe behoort ook de toepassing in autonome systemen waarbij tijdens momenten van overvloedig aanbod van (duurzame) energie  $H_2$  wordt geproduceerd, om later te worden gebruikt door de brandstofcel. Door de lage bedrijfstemperatuur ligt warmte-krachtkoppeling voor grote vermogens wellicht minder voor de hand dan bijvoorbeeld bij fosforzure brandstofcel systemen, die een werkt temperatuur van rond de 200 graden Celsius hebben.

De algemeen bekende typen brandstofcellen zijn:

AFC: *alkaline fuel cell*  
PAFC: *phosphoric acid fuel cell*  
MCFC: *molten carbonate fuel cell*  
SOFC: *solid oxide fuel cell*  
DMFC: *direct methanol fuel cell*  
PEMFC: *proton exchange membrane fuel cell*, of: *polymer electrolyte membrane FC*

|                          | AFC         | PEMFC                                                                    | DMFC                   | PAFC                        | MCFC                        | SOFC                        |
|--------------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| bedrijfstemperatuur (°C) | 80          | 40-80                                                                    | 60-130                 | 200                         | 650                         | 650-1000                    |
| brandstof*               | $H_2$       | $H_2$ ( $/CO_2$ )                                                        | methanol               | $H_2$ ( $/CO_2$ )           | $H_2$ , CO                  | $H_2$ , CO                  |
| elektrolyt               | KOH         | polymeer                                                                 | polymeer               | fosforzuur                  | gesmolten carbonaat         | vast oxide                  |
| toepassing               | ruimtevaart | vervoer, decentrale opwekking, WKK**, draagbare toepassingen, noodstroom | draagbare toepassingen | decentrale opwekking, WKK** | decentrale opwekking, WKK** | decentrale opwekking, WKK** |

\* Brandstofceltypen die gebruik kunnen maken van een menggas van  $H_2$  en  $CO_2$  kunnen in combinatie met een reformer ook gebruik maken van koolwaterstoffen.

\*\* WKK: warmte-kracht-koppeling

Een probleem bij brandstofcellen is het kostenaspect. De aankoop van brandstofcel is 'behoorlijk duur', meldt Storm van Leeuwen. Maar inmiddels zijn bepaalde toepassingen haalbaar en zijn ze nu commercieel te exploiteren. Bij brandstofcellen moet je kijken naar de 'total cost of ownership'. De aanschafprijs is nog steeds aan het dalen. Dit heeft te maken met technologische doorbraken en opschaling van het productieproces. Op dit moment gebeurt er veel nog handmatig. We zijn bezig bepaalde stappen in het productieproces nu te mechaniseren. Uiteindelijk wordt het productieproces geautomatiseerd. 'Toen we begonnen, kostte een kW 40.000 euro. Nu is dit 1000 euro.'

Betekent dit dat waterstof onmiddellijk moet worden opgepakt in de procestechniek? 'Jazeker', zegt Storm van Leeuwen. 'Het is goed om nu in te stappen. Juist voor bedrijven die willen innoveren in duurzame energie, en grip willen krijgen op hun energiekosten, is dit het moment. Natuurlijk zijn er hobbels, innovatie gaat niet vanzelf. Maar het is ondernemerschap om nieuwe kansen die ontstaan te pakken en uit te werken.'

### Hydrogenatiereactie

Even naar de chemie. Wat is waterstof precies? Waterstof is een chemisch element met symbool H (hydrogenium) en atoomnummer 1. Waterstofgas (diwaterstof,  $H_2$ ) is een kleurloos, brandbaar, doorzichtig niet-metaal bij kamertemperatuur. Losse atomen waterstof komen in vrije vorm vrijwel niet voor, hoewel vanaf het eind van de twintigste eeuw veel onderzoek is gedaan aan atomaire waterstof. Losse atomen van dit element zijn zeer reactief en verbinden zich direct met andere waterstofatomen.

Voor industriële toepassingen zijn grote hoeveelheden waterstof nodig in zogenoemde hydrogenatiereacties, onder andere in het Haber-Bosch-proces. Dit is de wijze waarop de meeste ammoniak wordt geproduceerd, door stikstof en waterstof zonder zuurstof in contact met een ijzerkatalysator onder hoge druk te verhitten. Ook is veel waterstof nodig bij het harden van vetten en oliën en de productie van methanol. Ander toepassingen waarvoor

waterstof nodig is, zijn hydroalkylatie, hydro-ontzwareling, hydrokraken, de productie van zoutzuur, lassen, als raketbrandstof, en reductie van metaalertsen. Vloeibaar waterstof wordt gebruikt bij cryogeen onderzoek, onder meer in studies naar supergeleiding. Waterstof weegt slechts een veertiende van een gelijk volume aan lucht. Om die reden werd het in het verleden veel toegepast als vulling in ballonnen en zeppelins. Vanwege de brandbaarheid wordt dit tegenwoordig veel minder gedaan. Waterstof wordt gebruikt voor het koelen van generatoren met een vermogen groter dan 200 megawatt. Waterstof kan als brandstof dienen in een verbrandingsmotor. Een andere toepassing is het waterstofvliegtuig. Waterstofbrandstofcellen worden beschouwd als een manier om in de toekomst goedkoop en milieuvriendelijk elektrische energie te produceren. Er moet dan echter eerst waterstof worden geproduceerd, en daar is energie voor nodig – ten minste dezelfde hoeveelheid energie als er naderhand door het waterstof geleverd wordt. Het spreekt vanzelf dat deze energie op een milieuvriendelijke manier moet worden opgewekt.

### $CO_2$

Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) levert een waterstofscheidingsmodule op basis van membranen voor het zogenoemde FISR-project. Dit project biedt een kans om het gebruik van hoge-temperatuurmembranen te demonstreren voor waterstofproductie voor de petrochemie. Deze membranen kunnen in de industrie worden toegepast om waterstof te scheiden uit een mengsel van gassen. De aanpak van ECN is om de nieuwe technologie concurrerend te maken met bekende scheidingstechnologieën, door extreem dunne palladiumlagen te gebruiken, met een dikte van enkele microns.

In het FISR-project, dat gefinancierd wordt door MIUR (het Italiaanse ministerie van onderwijs), wordt door zeven chemische technologie-instituten samengewerkt met Technip KTI aan de ontwikkeling van een proces voor de productie van waterstof voor raffinaderijen. Het project zal specifiek de combinatie demonstreren van



## Waterstofhobbels

Is het alles goud, wat er blinkt? Helaas is er nog een aantal obstakels te nemen, voordat de waterstofeconomie echt vaart krijgt. In de eerste plaats zijn er economische knelpunten. Voor de introductie van waterstoftechnologie zijn er namelijk momenteel nog geen directe economische drijfveren. Waterstof- en brandstofceltechnologie is nog te kostbaar voor economisch verantwoorde marktintroductie. Kostenreducties zijn noodzakelijk, en daartoe moet praktijkervaring worden opgedaan. De eerste demonstratieprojecten kunnen nog niet worden beschouwd als voorbereiding op marktintroductie, zodat de kosten voor een groot gedeelte publiek moeten worden gefinancierd. Gezien de grote maatschappelijke belangen op de lange termijn zal de overheid hier haar verantwoordelijkheid moeten nemen. Er zullen echter ook marktpartijen bij betrokken moeten zijn, en de noodzakelijke demonstratieprojecten moeten efficiënt worden georganiseerd, tegen zo laag mogelijke kosten. Er zijn ook technologische knelpunten. De technologie om waterstof grootschalig te produceren is bekend en beschikbaar binnen de petrochemische industrie. Er bestaat in Nederland veel ervaring op dit gebied, die kan worden ingezet voor de noodzakelijke demonstratieprojecten. Het is van belang om aan te sluiten bij de huidige voorzieningen, om van daar uit de infrastructuur verder te ontwikkelen. De brandstofceltechnologie is nog te duur, wat ook geldt voor kleinschalige productieprocessen voor waterstof uit aardgas, zeker in combinatie met CCS. Op het gebied van waterstofopslag zijn eveneens verbeteringen nodig of zelfs hele nieuwe oplossingen. Goed

gecoördineerd onderzoek en ontwikkeling, in samenwerking met Nederlandse bedrijven die al actief zijn op het gebied van technologieontwikkeling, is een vereiste.

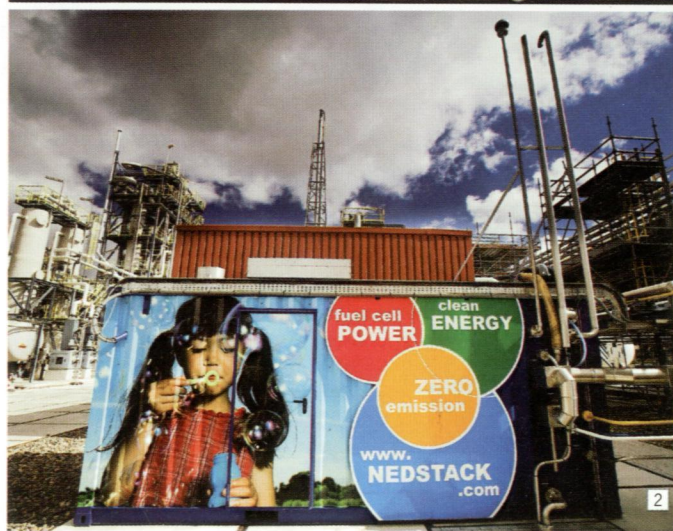
Ten slotte zijn er institutionele knelpunten. Naast technologische en economische factoren hebben institutionele factoren en bijbehorende politieke keuzes verregaande invloed op de ontwikkelingskansen van nieuwe energieopties. Wie verzorgt de aanleg en beheer van de infrastructuur? Vindt productie en levering centraal dan wel decentraal plaats? En in hoeverre heeft de consument keuzevrijheid? Bij sturing op deze dimensies zijn *in extremis* twee opties te onderscheiden: sturing door de overheid (publiek) of sturing door het bedrijfsleven (privaat).

Op welk niveau is sturing mogelijk? Traditioneel concentreerde overheidssturing op energiegebied zich op nationaal niveau. Vanwege politieke en marktontwikkelingen is dat steeds minder haalbaar: veel energievragen kunnen alleen internationaal worden aangepakt. Een 'vergeten' optie is de lokale/regionale schaal: nieuwe energieopties kunnen tot decentrale, min of meer zelfvoorzienende systemen uitgroeien. In het algemeen moet bij een institutionele beschouwing worden uitgegaan van het belang van de factor infrastructuur. Opties die kunnen profiteren van al aanwezige infrastructuur, hebben betere kansen dan opties waarvoor de infrastructuur nog ontwikkeld moeten worden. Ook zijn centrale productie en levering gemakkelijker te sturen dan decentrale opties. Dit betekent een voordeel voor de – traditioneel centraal producerende – gevestigde bedrijven.

reforming van aardgas met hoge-temperatuurscheiding van waterstof door middel van membraantechnologie. De samenwerking moet uitmonden in een demonstratie-unit met een waterstofproductie van 20 Nm<sup>3</sup> per uur. Hoewel de membraantechnologie op laboratoriumschaal al is gedemonstreerd, betekent dit project een belangrijke stap op de weg om deze technologie van het lab naar toepassing in de industrie te brengen.

'In de petrochemie is waterstof een groot issue', meldt Yvonne van Delft. Ze is projectleider bij ECN. 'De brandstoffen moeten steeds zuiverder worden en de olie moet zo efficiënt mogelijk worden omgezet. Om de hogere koolwaterstoffen naar benzine en diesel om te zetten, is waterstof nodig.' Verder speelt volgens haar de CO<sub>2</sub>-problematiek een rol. 'Met andere woorden: zowel voor de raffinage als voor de toekomst van CO<sub>2</sub> in de procesindustrie is waterstof belangrijk.'

Het proces waarmee zij zich bezighoudt behelst – kort door de bocht – een gemakkelijkere manier om waterstof



1 Teststacks met brandstofcellen.

2 Werklocatie Nedstack bij PEM-centrale.

te krijgen. Gewoonlijk is een groot aantal stappen nodig om waterstof te krijgen. Dat moet op hoge temperatuur gebeuren. Van Delft elimineert een aantal stappen, zodat de waterstof op een lagere temperatuur kan worden gemaakt.

Het project waar Van Delft aan meedoet is een van de eerste pilots waarbij een kleine proefplant wordt gecreëerd. Het gebeurt op een locatie in de buurt van een raffinaderij. Daar worden de waterscheidingsmodules getest. Van Delft: 'Er wordt hier veel onderzoek naar gedaan. Veel blijft echter steken in een laboratoriumsituatie. Dit is voor het eerst dat het labwerk naar buiten komt en dat het onder procescondities wordt getest. Over vijf jaar wordt deze techniek gebuikt binnen een raffinaderij. ■