

GROOTSCHALIGE INDUSTRIELE TOEPASSING VAN BRANDSTOFCELLEN KOMT IN ZICHT

HOGERE CO₂-PRIJS EN LAGERE WATERSTOFPRIJS MOETEN
DUURZAME CHEMISCHE PRODUCTIE VAART GEVEN

Brandstofcellen bestaan al zo'n honderdzestig jaar. Hoewel ze diverse voordelen hebben, zijn ze vrij prijzig, waardoor ze nog niet zijn doorgebroken in de industrie. Dat kan veranderen. Diederik Jaspers van CE Delft en Jorg Coolegem van NedStack voorzien dat vooral PEM-brandstofcellen door grootschalige toepassing ervan in de automotive in prijs zullen gaan dalen, waardoor ze binnen bereik van de industrie zullen komen. Ook de gesmolten carbonaat-brandstofcellen houden voor de industrie een belofte in, evenals de keramische brandstofcellen op termijn.

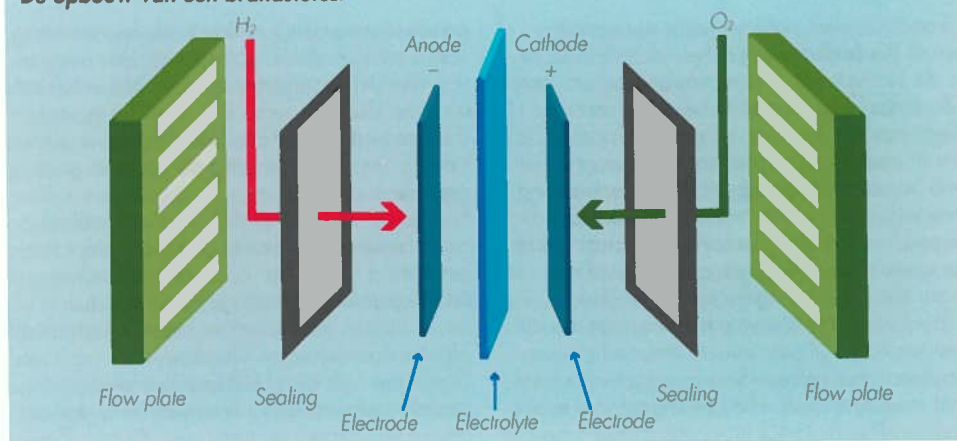
Erik te Roller

LAGER KOSTENPEIL

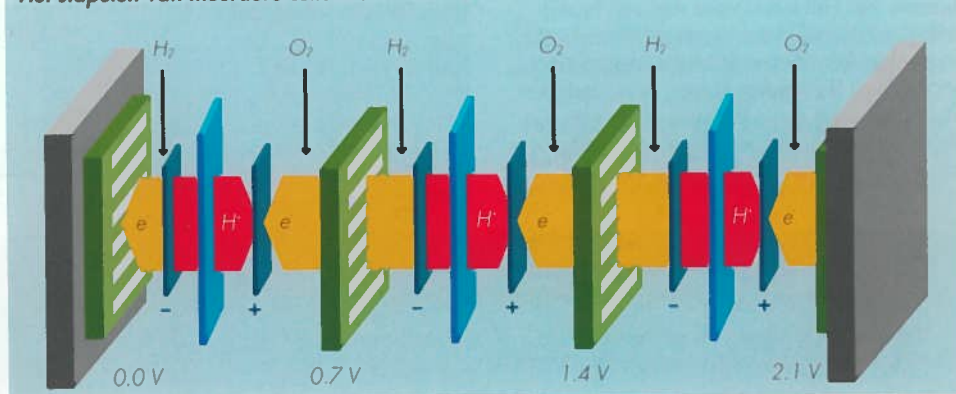
"Toepassing van brandstofcellen in de industrie kan alleen zonder subsidies als bijvoorbeeld de elektriciteitsprijs hoog is en de waterstofprijs laag", zegt **Jorg Coolegem**, technical sales manager bij NedStack Fuel Cell Technology. Twee jaar geleden heeft het bedrijf de grootste PEM-brandstofcel ter wereld met een elektrisch vermogen van twee megawatt bij een fabriek in China geplaatst. Eerder ging de waterstof daarvoor nog als afvalproduct door de schoorsteen naar buiten. Nu wekt de brandstofcel er elektriciteit en warmte mee op. Dit bespaart niet alleen kosten, maar is ook goed voor het milieu, omdat de fabriek minder fossiele brandstoffen hoeft in te zetten en de uitstoot daarvan dus lager is. PEM staat voor *proton exchange membrane*.

Enkele jaren terug leverde NedStack een brandstofcel aan Solvay in Antwerpen die waterstof, een bijproduct van de chloorproductie aldaar, omzette in elektriciteit en warmte. Inmiddels heeft Solvay deze brandstofcel met een elektrisch vermogen van één megawatt en een thermisch vermogen van 700 kilowatt verkocht aan een raffinaderij op

De opbouw van een brandstofcel



Het stapelen van meerdere cellen tot een stack

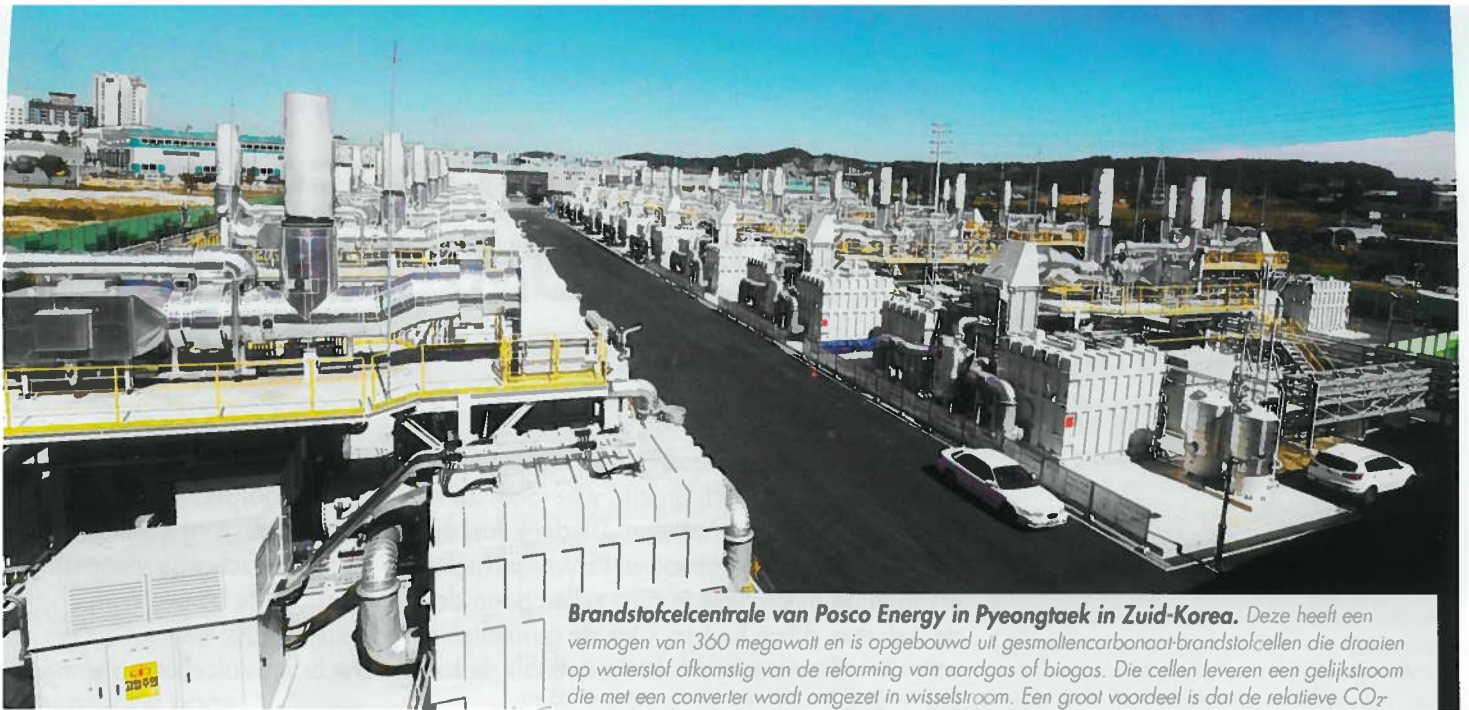


"WE WERKEN AAN EEN NIEUW PRODUCT DAT VEEL LAGERE KOSTEN MET ZICH MEEBRENGT. DOEL IS UIT TE KOMEN OP EEN INVESTERINGSBEDRAG VAN MAXIMAAL 1.500 EURO PER KILOWATT VERMOGEN OP SYSTEEMNIVEAU"

Jorg Cooleman, technical sales manager

het eiland Martinique. Op dat eiland is de stroomprijs zo hoog dat het loont om met waterstof uit de raffinaderij elektriciteit te produceren voor het lokale net.

"We ontwikkelen momenteel een nieuw product met een beduidend lager kostenpeil, zowel op stack- als systeemniveau, waarmee de productie verder opgeschaald kan worden. Doel is uit te komen op een investeringsbedrag van maximaal 1.500 euro per kilowatt vermogen op systeemniveau. Bij zo'n prijs verwachten we dat de verkoop goed op



Brandstofcentrale van Posco Energy in Pyeongtaek in Zuid-Korea. Deze heeft een vermogen van 360 megawatt en is opgebouwd uit gesmoltencarbonaat-brandstofcellen die draaien op waterstof afkomstig van de reforming van aardgas of biogas. Die cellen leveren een gelijkstroom die met een converterter wordt omgezet in wisselstroom. Een groot voordeel is dat de relatieve CO₂-uitsluit van de centrale de helft lager is dan die van conventionele elektriciteitscentrales, dat deze geen stikstof- of zwaveldioxiiden uitstoot en de bedrijfszekerheid hoog is

HOGER RENDEMENT

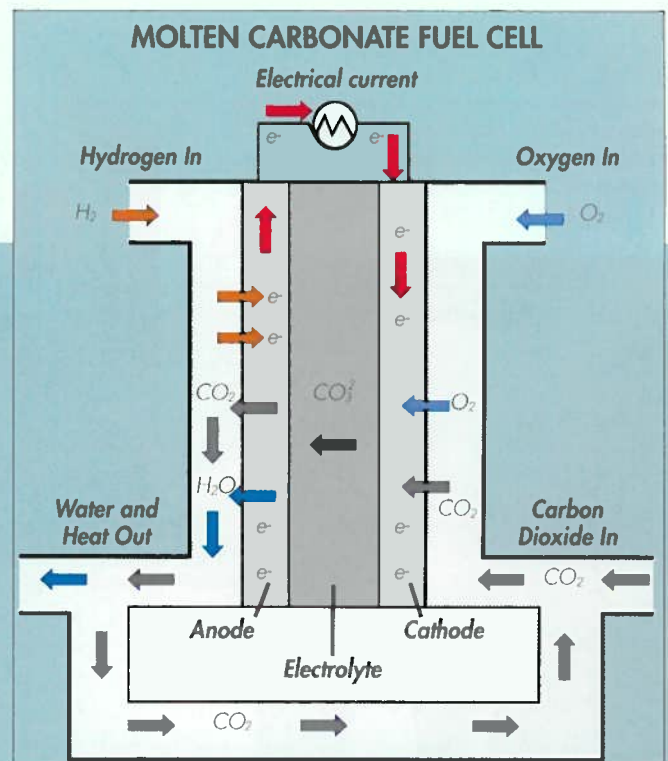
"Brandstofcellen hebben grote voordelen", vertelt **Diederik Jaspers**, Themaleider Energie in de Industrie bij onderzoeksbureau CE Delft. "Zo zetten ze brandstoffen niet via verbranding, maar via een elektrochemisch proces om in elektriciteit en warmte, waardoor ze een hoger rendement hebben. Bij opwekking met verbranding heb je te maken met de beperking van een Carnot-cyclus: eerst wordt de chemische energie omgezet in warmte, maar die kan vervolgens slechts beperkt in arbeid of elektriciteit worden omgezet. Rendementen van vijftig procent of meer zijn alleen haalbaar met verbranding op gigawattschaal met meerdere cycli. Het rendement van een verbrandingsmotor in een auto is bijvoorbeeld veel lager. Ruwweg een kwart van de energie zorgt voor de aandrijving, de rest komt als warmte vrij. Het rendement van een brandstofcel is op veel kleinere schaal al snel vijftig procent en kan in theorie met waterstof nog hoger zijn." Bovendien komen er anders dan bij verbranding geen emissies zoals van stikstofoxiden en fijnstof vrij. Bij de omzetting van fossiele of biobrandstoffen komt nog wel

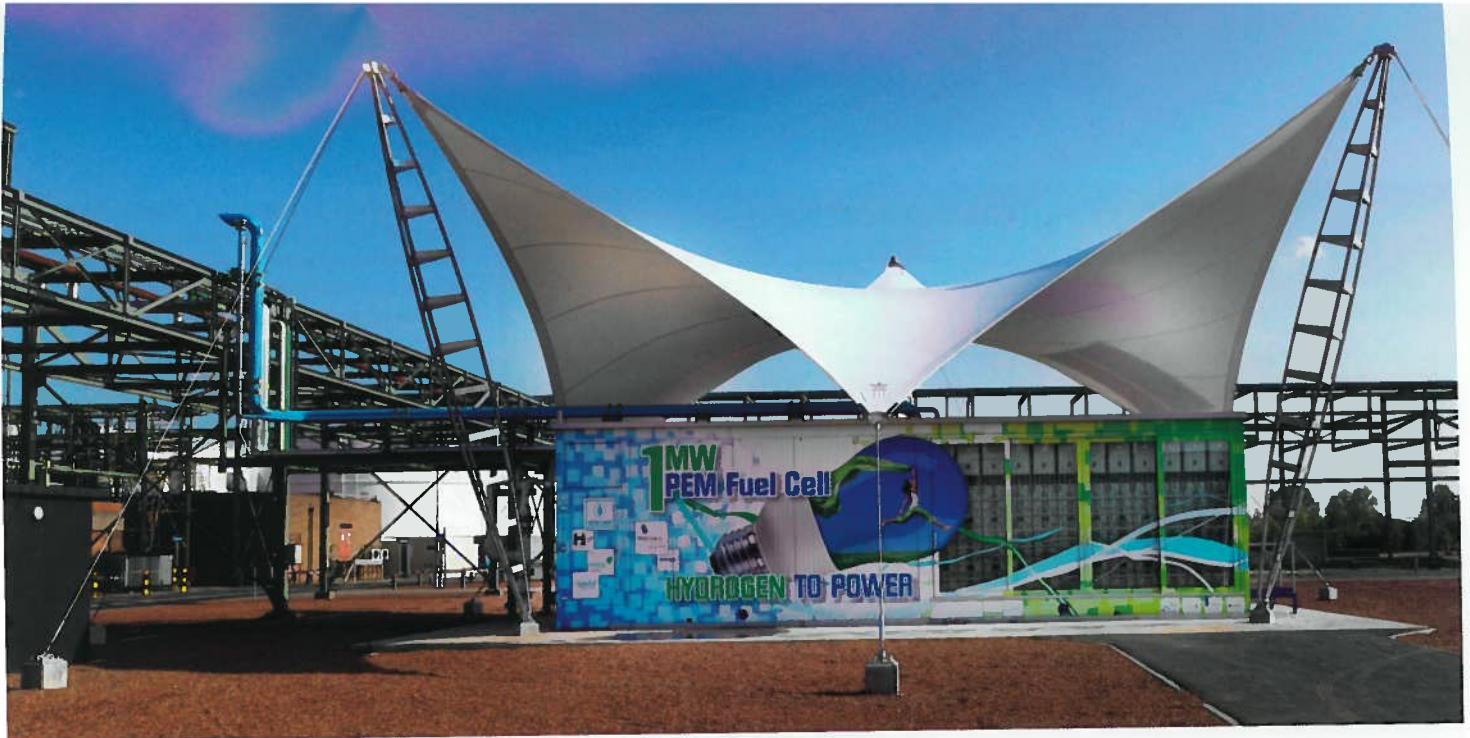
geconcentreerde CO₂ vrij, maar bij omzetting van waterstof alleen waterdamp. Een tweede voordeel is volgens Jaspers dat het rendement van een kleine brandstofcel even hoog is als dat van een grote. "Een brandstofcel in je cv-ketel is dus net zo efficiënt als van een grote centrale." Een derde voordeel is dat een brandstofcel geen bewegende delen heeft, waardoor het rendement ook hoger is, ze relatief weinig onderhoud vergt en een lange levensduur heeft. Bij een PEM-cel moet het membraan wel regelmatig vervangen worden. Coolegem: "Je kunt PEM-brandstofcellen stapelen tot een stack, waarmee je op het gewenste voltage en vermogen uitkomt. Een waterstofbus kan rijden op bijvoorbeeld drie stacks van elk 75 brandstofcellen die samen een vermogen van 30 kilowatt leveren. Verder lenen PEM-brandstofcellen zich heel goed voor Power2Power-projecten, waarbij met

elektriciteit geproduceerd waterstofgas na verloop van tijd weer in elektriciteit en ook warmte wordt omgezet. Denk aan een wijkcentrale die op die manier elektriciteit en warmte aan huizen levert of aan een eenheid die een bedrijf van elektriciteit en warmte voorziet. In Chemiepark Delfzijl staat al sinds tien jaar een proefinstallatie van NedStack die waterstof afneemt van de chloorfabriek van AkzoNobel en omzet in elektriciteit met een vermogen van 70 kilowatt. Deze heeft bijna 70.000 uur vrijwel zonder storingen en met weinig onderhoud gedraaid. Coolegem: "Het aardige is dat we die installatie op afstand kunnen besturen en uitlezen. We gebruiken hem ook voor het beproeven van nieuwe stackmodules."

Aardgas omzetten én CO₂ afvangen met een gesmoltencarbonaat-brandstofcel

In de Verenigde Staten experimenteren de bedrijven Exxon en Fuel Cell Energy met een gesmoltencarbonaatcel (MCFC). De pre-reforming van aardgas levert syngas op, dat langs de anodekant van de cel stroomt. Aan de andere kathodekant zit normaliter alleen lucht. Maar nu stromen daar naast lucht ook uitlaatgassen met CO₂ afkomstig van een gasturbine. Deze CO₂ vormt met zuurstof een carbonaation dat zich door de gesmoltencarbonaatelektrolyt (650 graden Celsius of hoger) naar de andere zijde verplaatst. Daar reageert het carbonaation met waterstof tot water en CO₂, waarbij twee elektronen worden afgegeven aan het elektrische circuit. Met behulp van zo'n brandstofcel kan een elektriciteitscentrale van 500 megawatt volgens opgave van Exxon nog 120 megawatt extra aan elektriciteit opwekken en tegelijk 90 procent van de CO₂ uit de stookgassen verwijderen. Zonder brandstofcel is er 50 megawatt aan rendementsverlies vanwege een installatie die nodig is om de CO₂ uit de stookgassen af te vangen. De centrale levert dan per saldo nog maar 70 megawatt aan elektriciteit op.





De brandstofcel van Nedstack met een vermogen van één megawatt, die bij Solvay in Itilo heeft gedraaid

NICHE VAN EEN NICHE

"De industriële toepassing van brandstofcellen is nog beperkt. Het gaat om een niche van een nichemarkt. De meeste bedrijven hebben immers in hun proces juist waterstof nodig", zegt Diederik Jaspers van CE-Delft. Hij ziet vooral de reversibele keramische brandstofcel, die zowel elektriciteit kan leveren als efficiënt waterstof produceren, als een belofte voor de elektrificatie van de chemische industrie. "Als er eenmaal groene elektriciteit in overvloed is, kun je voor kunststoffen een koolstofcyclus in stand houden. Door de reactie van met elektrolyse geproduceerde waterstof met CO₂ kan koolstof opnieuw via methanol in de olefinen- en kunststofketen

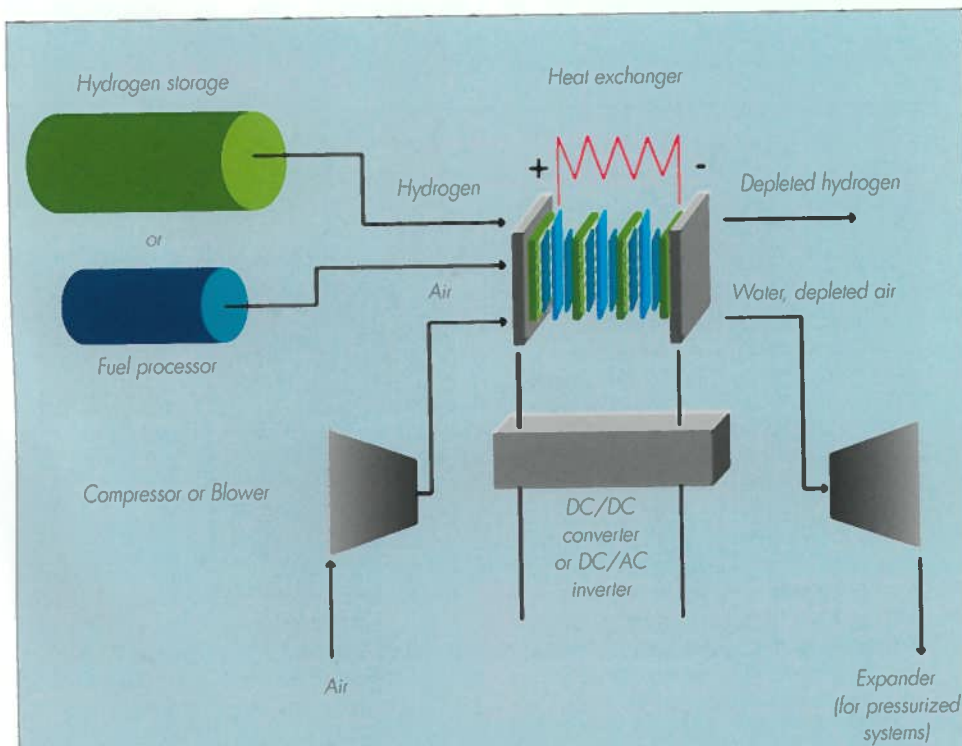
gebracht worden. Methanol is bovendien een veelgebruikte grondstof in de chemie. Je kunt die elektrochemisch ook direct omzetten in mierenzuur."

De nieuwe routes vergen nog veel onderzoek en ontwikkeling. Als die succesvol zijn, zullen overheid en industrie moeten investeren in de opschaling daarvan. Maar Nederland kent op dat gebied geen traditie, constateert Jaspers.

De industrie bijvoorbeeld wil wel investeren in de modernisering van installaties, maar hikt aan tegen investeringen in nieuwe technologie en fabrieken. In Duitsland is dat gemakkelijker. Daar geeft de overheid flinke subsidies voor pilots en opschaling (tot honderd procent voor pilots).

In Nederland dekt de regeling Demonstratie energie-innovatie slechts 25 procent van de kosten met subsidie.

"Je kunt van start-ups echter niet verwachten dat ze de resterende 75 procent zelf betalen, want daar hebben ze het geld niet voor. Daarom is er vanuit Europa veel aandacht voor ondersteuning van mkb's en het dichten van het gat van de 'valley of death' tot aan de volle honderd procent." Hij vindt het een goede zaak dat er geld van de Europese CO₂-emissiehandel naar de zogenoemde vlaggenscheppenprojecten vloeit. "Dat kan behoorlijke bedragen opleveren. Voor Nederland is het zaak om hier de boot niet te missen en Europees geld voor projecten binnen te halen."



"DE INDUSTRIE MOET NIET ALLEEN DENKEN AAN INVESTEREN IN RETROFIT, MAAR OOK AAN INVESTEREN IN NIEUWE KLEINE FABRIEKEN MET PROCESGEÏNTENSIFIEERDE REACTIES EN AAN HET OPZETTEN VAN EEN NETWERK VOOR PYROLYSE EN CHEMISCHE RECYCLING"

— DIEDERIK JASPERS, CE DELFT

Hij vindt dat Nederland toe is aan een industriebeleid gericht op duurzaamheid. "De industrie moet niet alleen denken aan investeren in retrofit, maar ook aan investeren in nieuwe kleine fabrieken met procesgeïntensifieerde reacties en aan het opzetten van een netwerk voor pyrolyse en chemische recycling, een soort internet voor afvalinzameling en -verwerking, energie en productie." Hij denkt ook aan nieuwe processen die zonder fossiele aardolie kunnen draaien. China is er al mee bezig. Het land, dat te weinig eigen oliebronnen heeft, wil minder afhankelijk zijn van de import van aardolie en nafta, en heeft daarom al fabrieken gebouwd die met licen-

VIER SOORTEN BRANDSTOFCELLEN

Er zijn vier soorten brandstofcellen: de alkalische cel, de PEM-cel, de gesmoltencarbonaatcel en de keramische cel. De elektrolyt, oftewel het materiaal tussen de elektroden, bepaalt door de eigenschappen van een brandstofcel.

1. Alkalische brandstofcel

Deze cel is compact en heeft in de loop van de jaren bewezen zeer betrouwbaar te zijn. Daarom wordt de cel standaard toegepast in de ruimtevaart. De voeding bestaat uit waterstof en zuurstof. Die moeten heel zuiver zijn, maar dat is geen probleem, aangezien ze in cilinders worden meegenomen. De alkalische brandstofcel is wel vrij duur, omdat ze relatief veel platina bevat, maar in de ruimtevaart telt vooral de betrouwbaarheid heel zwaar en doet de prijs er dus minder toe.

2. PEM-brandstofcel

Dit type brandstofcel vindt toepassing in het vervoer en de industrie. Het membraan is doorgaans gemaakt van Nafion® van DuPont, een fluorpolymeer-copolymeer gebaseerd op gesulfoneerd tetrafluoretheen. Dit membraan geleidt protonen, is een elektrische isolator en is voorzien van een dun laagje platina. Deze folies worden in afzonderlijke cellen gestapeld tot een stack en natgehouden voor een goede protongeleiding. Aan de zuurstofkant kan de brandstofcel met zuurstof uit de lucht werken, maar aan de waterstofkant alleen met zuivere waterstof. Dit betekent dat tankstations voor waterauto's zeer zuivere waterstof moeten kunnen leveren. Overigens gaat het tanken onder een druk van 800 bar even snel als het tanken van benzine of diesel. De PEM-brandstofcel werkt doorgaans bij 60 tot 80 °C. Een nadeel is de beperkte levensduur van het membraan, variërend van 5.000 tot 40.000 levensuren. In de industrie geldt dat een membraan wel 80.000 uur (negen jaar) non-stop moet kunnen draaien. Ook is de productieketen van de brandstofcellen, hun grondstoffen en toepassingen nog kleinschalig, wat doortikt in de kostprijs. Het wachten is op een commerciële doorbraak. Op dit moment ziet de markt namelijk reikhalzend uit naar goede betaalbare brandstofcellen.

3. Gesmoltencarbonaat-brandstofcel

Het betreft een Nederlandse vinding van de hoogleraren Ketelaar en Broers, die in de jaren vijftig en zestig onderzoek naar deze cel deden. De gesmoltencarbonaat-brandstofcel werkt bij temperaturen van 650 graden Celsius en hoger. Onder invloed van een elektrische spanning verplaatst CO₂ zich in de vorm van carbonaationen door de elektrolyt. Aanvankelijk waren er grote problemen met corrosie, waardoor het onderzoek in Nederland op een gegeven moment is stopgezet. In Duitsland en de Verenigde Staten ging het onderzoek echter door. Daar lijkt de corrosie redelijk onder controle te zijn, want de Amerikaanse bedrijven Exxon en Fuel Energy Cell werken nu aan een toepassing van deze brandstofcel om uit aardgas meer elektriciteit te halen en tegelijk negentig procent van de CO₂ in de rookgassen af te vangen (zie kader). Dit biedt weer perspectief voor de kwijnende wkk-centrales. Die kunnen met een hoger rendement elektriciteit opwekken en stoten tegelijk minder CO₂ uit. Voorwaarde is dat de aanschafprijs van deze brandstofcellen nog zal dalen. In Zuid-Korea zijn niettemin al zo'n honderd stuks van de gesmoltencarbonaat-brandstofcelsystemen gebouwd om de elektriciteitsvoorziening efficiënter te maken. Een voordeel is dat de gesmoltencarbonaat-brandstofcel met synthegas (koolmonoxide en waterstof) kan werken, bijvoorbeeld afkomstig van de vergassing van biomassa. Een PEM-cel raakt door koolmonoxide vergiftigd.

4. Keramische brandstofcel

De zogenoemde solid oxide fuel cell (SOFC) kan verschillende brandstoffen aan. Met deze hogetemperatuurbrandstofcel is het mogelijk om elektriciteit te produceren door koolwaterstofbrandstoffen rechtstreeks te oxideren. Het Japanse autobedrijf Nissan werkt hier sinds 2009 aan. Het bedrijf presenteerde in 2016 een bestelbusje dat met zo'n brandstofcel op bio-ethanol reed. Bij de SOFC verplaatsen zuurstofionen zich door een keramische elektrolyt, die geen platina bevat. Het is bestand tegen koolmonoxide en zwavelolerant. De werkingstemperatuur ligt tussen 500 en 1.000 graden Celsius. Dankzij de hoge temperaturen is het rendement hoog: bij aardgas bijvoorbeeld is het mogelijk om de helft van de chemische energie om te zetten in elektriciteit. Een voordeel voor de industrie is ook dat er aan de anodekant slechts waterdamp en CO₂ uitstromen. Na condensatie van de waterdamp blijft er pure CO₂ over, die gemakkelijk opgevangen en ondergronds opgeslagen kan worden of opnieuw ingezet kan worden als grondstof voor koolwaterstoffen, brandstoffen en kunststoffen (CCU). De SOFC is zodoende een veelbelovende ontwikkeling, ook voor koolstofcirculariteit. Er zijn ook keramische cellen die in omgekeerde richting als een zeer efficiënte electrolyzer kunnen werken. Ze produceren dan waterstof en zuurstof. Deze rSOFC's bieden perspectief voor windparken op zee of zonnepanelenvelden. Bij weinig vraag naar elektriciteit kunnen ze de geproduceerde elektriciteit omzetten in waterstof en bij veel vraag de waterstof weer omzetten in elektriciteit. Bij gebruik van warmte is het elektrolyserendement nog veel hoger. Twee jaar geleden heeft het Duitse bedrijf Sunfire een rSOFC aan Boeing geleverd, die bij de Amerikaanse marine in een micro-grid met zon en wind is getest.

olefinen (MTO) voor de kunststofproductie, met meer op komst. De hiervoor benodigde methanol komt nog uit kolen, maar kan op termijn met waterstof uit duurzame bronnen zon en wind worden gemaakt plus CO₂. Zowel het proces voor MTO als dat voor methanol is al volledig uitontwikkeld.

VERDUURZAMEN STRAKS NET ZO DUUR

"De duurzame technieken zijn al voorhanden. Ze moeten alleen nog verder in nieuwe ketens ontwikkeld worden. Een hogere CO₂-prijs en een lagere waterstofprijs zullen zeker helpen om de duurzame chemische productie vaart te



Een PEM-brandstofcelstack van 5 kilowatt van NedStack



Diederik Jaspers, Themaleider Energie in de Industrie bij onderzoeksbureau CE Delft

"BRANDSTOFCELLEN HEBBEN GROTE VOORDELEN. HUN RENDEMENT IS VEEL GROTER DAN DAT VAN EEN VERBRANDINGSMOTOR. OOK IS HET RENDEMENT VAN EEN KLEINE BRANDSTOFCEL EVEN HOOG ALS DAT VAN EEN GROTE"

geven. Tegen de tijd dat de prijs van groene waterstof gelijk komt te liggen met die van blauwe en vervolgens grijze waterstof, wordt het heel spannend. Dat is mogelijk al over vier jaar het geval. Dan zeggen we niet meer 'we moeten verduurzamen', maar 'we gaan verduurzamen'. De tegenwerping dat het allemaal veel te duur is, snijdt op een gegeven moment geen hout meer. We zien het al in de trends van kapitaalinvesteringen en operationele kosten: op een gegeven moment zullen duurzame energieopwekking en chemische productie concurrerend zijn. De beperkende factor is nog dat duurzame energie nog niet in ruime hoeveelheden beschikbaar is."

In de beginfase is het volgens hem logisch dat de overheid bijspringt en de onrendabele top voor duurzame productie vergoedt. Tegenwoordig zijn hierbij ook de kosten per vermeden ton CO₂ een criterium: tien tot dertig euro per vermeden ton CO₂ is goed, 60 euro kan nog, maar 100 euro per vermeden ton CO₂ is al prijzig.

"Dat laatste geldt ook voor de afvang en ondergrondse opslag van CO₂. Beslissend in de keuze is de werkelijk vermeden emissie van CO₂. Zodoende zijn afvang en opslag een alternatief voor bedrijven die geen andere mogelijkheden hebben om de CO₂-uitstoot te verminderen; het is dus en-en. Mocht Europa echter omwille van een gelijk speelveld met



In 2016 heeft het Duitse bedrijf **Sunfire** 's werelds grootste reversibele elektrolysemodule geleverd aan de Amerikaanse Boeing voor een energysysteem dat de Amerikaanse marine uittest. Het gaat om een zogenoemde reversible solid oxide fuel cell (RSOC) die waterstof kan omzetten in elektriciteit en omgekeerd een overschot aan elektriciteit kan omzetten in waterstof. Omschakelen kan binnen een paar minuten

een heffing komen op producten, waarvan de productie met een hoge CO₂-emissie gepaard gaat, dan zal de inzet van wkk-centrales in de

industrie met gesmolten carbonaatcellen die ook CO₂ afvangen, weer een aantrekkelijke optie kunnen zijn", besluit Jaspers. □

HANNOVER MESSE

HOME OF INDUSTRIAL PIONEERS

1-5 april 2019

Hannover • Duitsland

hannovermesse.com #HM19



Deutsche Messe

Get new technology first

