

Brandstofcellen – praktijkervaringen

In de januari-uitgave staat een overzichtsartikel over brandstofcellen, een 'nieuwe' techniek om schone energie op te wekken. Dit artikel gaat dieper in op een aantal praktijksituaties en op technische en economische uitdagingen bij de inzet van brandstofcellen. Dit aan de hand van ervaringen met een specifiek type brandstofcel (een Solid Oxide Fuel Cell), zoals die nu worden ingezet bij het project I-Balance (<http://www.i-balance.org/>).

Dr.ir. R.J. Velthuys, Hanzehogeschool Groningen - PL I-Balance;
drs.ing. A. (Arjan) Schrauwen, ISSO

Het I-Balance project is een praktijkproef gericht op integratie van duurzame energiebronnen in het bestaande energienetwerk. Energie uit zon en wind heeft als groot nadeel wel voorspelbaar te zijn maar niet bestuurbaar; net als de wasmachine aan moet, doen de windturbines en zonnepanelen het niet meer. Door niet controleerbare energiebronnen te combineren met een energiebron die precies te controleren is, kan de gewenste hoeveelheid energie vrij precies geproduceerd kan worden. I-Balance gaat daarbij uit van integratie op wijkniveau. Het project levert een combinatie op die zinvol is voor een woonwijk: meerdere zonnepanelen, 5 windturbines, ruim 40 huishoudens en 9 brandstofcellen.

BESTUURBARE ENERGIEBRON

In het I-Balance project is gekozen voor een bestuurbare energiebron: de brandstofcellen van het type Solid Oxide Fuel Cell (SOFC). Ze worden ingezet als kleine elektriciteitscentrales. Om ook de warmte te kunnen gebruiken, zijn ze gecombineerd met warmtebuffervaten (zie foto 1 voor een impressie).

De opgestelde brandstofcellen zijn kleine, gecombineerde warmte/krachtcentrales (CHP – combined heat power) die in een bepaalde verhouding elektriciteit en warmte leveren, waarbij regeltechnisch gekozen is om de elektriciteitsvraag bepalend te laten zijn (zie kader-

tekst). Het zijn efficiënte units: ze produceren op locatie elektriciteit met een aangegeven rendement van ongeveer 60%. Het vermogen (elektrisch) ligt daarbij op maximaal 2 kW. Afhankelijk van de persoonlijke situatie verhoogt de geproduceerde warmte het mogelijke rendement (waarover later meer) met nog eens 25%. Daarnaast stoten deze units zeer lage hoeveelheden CO₂ uit.



-Foto 1- een I-Balance opstelling van twee SOFC-brandstofcellen i.c.m. een (warmte)buffervat. De SOFCs zijn zo groot als een tafelmodel koelkast.

Een brandstofcel is een vorm van Warmte KrachtKoppeling waarbij naast elektriciteit ook warmte als bijproduct wordt geproduceerd. Soortgelijk is de hre ketel. Een hre-ketel wordt geïnstalleerd in huishoudens om vooral warmte te produceren. Als 'bijproduct' produceren de gecombineerde warmte/krachtcentrales ook elektriciteit, waarmee de efficiëntie van het apparaat flink omhoog gaat. Een hre-ketel werkt echter op basis van de warmtevraag (vaak met een thermostaat).

■ FLEXIBILITEIT

De brandstofcellen zijn instelbaar op elektrische output tussen de pm 400 W (pm 20%) en maximaal 2 kW (100%), al naar gelang de behoefte aan elektriciteit. Ze zijn daarbij ontworpen voor continu bedrijf (hoewel uitschakelen natuurlijk wel veilig kan in geval van noodsituaties). In de praktijk blijkt dat deze brandstofcellen vaak op een vast elektrisch vermogen worden ingesteld (bijvoorbeeld 1,5 kW). Dit is een waarde die dicht bij het operationele optimum ligt van de gebruikte SOFCs. Het flexibel regelen van het gevraagde vermogen door een gebruiker zelf is niet eenvoudig; de besturingsapparatuur (vgl. met een thermostaat voor warmte-output) moet nog worden ontwikkeld of beter gezegd, is nog geen onderdeel van een installatie. Daarnaast vraagt het aanpassen van de output van een brandstofcel de nodige tijd (dit duurt enkele minuten). Het proces is niet direct regelbaar en heeft een bepaalde reactietraagheid.

De vraag van een huishouden is echter per dag erg wisselend, variërend van enkele Watts met uitschieters naar enkele Kilowatts. Direct reageren met de brandstofcel op de wisselende elektriciteitsvraag over een dag is vanwege de traagheid niet mogelijk. Daarom staat de brandstofcel continu ingesteld op een bepaald optimaal werkpunt. Bij piekbelasting in het huishouden wordt elektriciteit uit het net gehaald, en bij onderbelasting worden overschotten – opgewekt met de brandstofcel, maar mogelijk ook met het zonnepanelen en windturbines – aan het openbare elektriciteitsnet aangeboden. Alliander experimenteert met een andere aanpak, waarbij brandstofcellen met accu's en snelle Elco's (condensatoren) worden gecombineerd, zodat pieken en dalen in huis kunnen worden opgevangen gedurende de reactietijd.

■ COMFORT EN INPASSING

De gebruikte brandstofcellen zijn vrij compacte units die ontworpen zijn om in een huishoudelijke omgeving of kleine bedrijven gebruikt te worden. Om goed van de warmteproductie gebruik te kunnen maken (en om te kunnen profiteren van hogere efficiëntie) is het van belang dat de brandstofcel wordt gecombineerd met een warmtevraag. Door de brandstofcel te combineren met warmteopslag in een buffervat kan de efficiëntie verhoogd worden. Samen met een buffervat neemt een brandstofcel natuurlijk meer ruimte in beslag. Het water in het buffervat kan gebruikt worden voor lage of hoge temperatuurverwarming in een woning. De in I-Balance gebruikte brandstofcellen hebben een flinke buffer (400 liter) nodig voor opslag van water van ongeveer 35°C. Het meest waardevol



-Foto 2- Een SOFC met de deuren open. De isolatiekast die de eigenlijke brandstofcel bevat is rechts-boven te zien.



Legende:

1. aardgasleiding in;
2. twee leidingen die water naar een afvoer leiden (uit) en één kleine waterleiding (in);
3. aansluiting op buffervat (in en uit) voor buffering van warmte; Boven de onderste rij aansluitingen zijn te vinden:
4. aansluiting voor elektriciteit (uit);
5. aansluiting op een beheersysteem via internet. Met deze verbinding is het mogelijk om de brandstofcel extern te monitoren en besturen.

-Foto 3- De achterkant van de brandstofcel met de aansluitingen

(duurste warmte in huis) is echter het gebruik voor warm tapwater (60-70°C); in dat geval kan volstaan worden met een 200 liter buffer. De warmtebuffer (zoals afgebeeld in foto 1) is twee keer zo groot omdat er twee brandstofcellen zijn aangesloten. Brandstofcellen zijn vrij stil, dus geschikt voor toepassing in huishoudens en te plaatsen op typische hr-ketellocaties zoals op zolder, in de kelder of in een bijkeuken. De apparaten kunnen vanwege hun gewicht echter niet aan de muur hangen, maar zullen op de grond geplaatst moeten worden. Wel zijn ze modulair opgebouwd en daardoor relatief makkelijk in stukken naar de zolder (of een andere locatie) te transporteren.

■ ENERGIEBRON

Vanuit energetisch perspectief gezien is de SOFC een converter die uit waterstof (H₂) elektrische energie haalt (zoals in het artikel in

de januari-uitgave al uitgelegd). De gebruikte apparaten zijn echter ontworpen om gebruikt te worden in een aardgasinfrastructuur. In het totale apparaat wordt eerst aardgas omgezet (gekraakt) naar waterstof, wat vervolgens aan de brandstofcel wordt toegevoerd. Daarna wordt dit waterstof omgezet naar de voor ons relevante energievormen elektriciteit en warmte.

In de afgebeelde apparaten wordt met 'steamreforming' CH₄ gekraakt. Er worden één C en vier H's gemaakt; minder C-uitstoot is niet mogelijk. Vergeleken met andere vormen van energieopwekking in het Nederlandse net (waarbij voornamelijk met kolen stroom wordt gemaakt) zit de winst in de hogere efficiëntie van opwekking en een zeer lage uitstoot van koolstof (CO₂).

Alle aansluitingen van deze brandstofcelunit zijn op de achterkant van de installatie aangebracht (zie foto 3).

■ PRIJS... NOG TE HOOG

Op dit moment zijn de brandstofcellen nog te hoog geprijsd om breder ingezet te kunnen worden. Dit geldt zeker voor de gemiddelde woningeigenaar. Toepassingen zijn momenteel terug te vinden in gebouwen als noodstroomvoorziening of als duurzaam alternatief in de utiliteit waar een relatief grote vraag is naar elektriciteit en een relatief kleine vraag naar warmte (is er een relatief grote warmtevraag en een lage elektriciteitsvraag dan kan in veel gevallen beter een traditionele WKK worden toegepast).

Ontwikkelingen op de wereldmarkt – in Duitsland en Engeland gelden er hoge subsidies en in Japan zijn brandstofcellen gemeengoed – zullen, naar verwachting, de productievolumes snel doen stijgen en de prijs de komende jaren fors doen dalen. Voor de Nederlandse installatie branche zal het ook van belang zijn dat de brandstofcellen in bekendheid toenemen en vaker worden ingezet als duurzaam alternatief; pas dan zal ook de toepassing in installaties ook in Nederland een vlucht nemen.

■ DUURZAAM... OF ZEER EFFICIËNT?

Deze brandstofcellen werken op gas, dat gas decentraal (op locatie) gebruikt wordt. Gegeven de efficiëntie van 60% voor de productie van elektriciteit en ongeveer 25% als mogelijke zinvolle inzet van warmte, wordt een totaalrendement van 85% bereikt op de verbrandingswaarde van aardgas. Dit is zeer efficiënt.

Met dit rendement is de toepassing van brandstofcellen als centrale energiebron vergelijkbaar met de toepassing van een stoom- en gasturbine (met een huidige maximaal rendement van ongeveer 60%) aangevuld met stadsverwarming. Het verschil is wel dat de warmte uit deze energiebronnen nog naar de huishoudens gebracht moet worden, wat vaak met significante warmteverliezen gepaard gaat.

Het efficiënt kunnen omzetten van aardgas op decentrale locaties naar andere energievormen wordt natuurlijk nog interessanter als dit gecombineerd kan worden met (lokaal) opgewekt groen gas. Eén van de onderzoeklocaties (RenQi: www.RenQi.nl) van de Hanzehogeschool werkt aan deze combinatie van groen gas en brandstofcellen.

■ GAS- EN ELEKTRICITEIT

De meeste huishoudens in Nederland zijn aangesloten op zowel het elektriciteits- als aardgasnet. Hoewel natuurlijke aardgasvoorraden op termijn zullen afnemen, zal de aardgasinfrastructuur nog geruime tijd belangrijk

zijn. Daarnaast wordt momenteel gewerkt aan Power2Gas-technologieën om synthetisch aardgas te produceren. Dit gebeurt al in Noord Duitsland; E.ON zet op momenten overtollige stroom van Noordzeewindparken om in waterstof en voedt hiermee het aardgasnet. Als het produceren van synthetisch aardgas een succes is, kan de bestaande aardgasinfrastructuur ook in de verdere toekomst nog gebruikt worden om energie – in de vorm van gas – naar huishoudens te transporteren.

■ WISSELENDE PATRONEN

De elektriciteitsconsumptie van een gemiddeld huishouden is ongeveer 3.500 kWh op jaar-basis. Met een brandstofcel die het hele jaar aan staat kan ongeveer 13.000 kWh geproduceerd worden; genoeg dus voor ongeveer vier huishoudens. Echter, als we iets nauwkeuriger de praktijksituatie onderzoeken zien we dat gedurende de dag een huishouden heel wisselende patronen kan vertonen, met een basislast van ongeveer 300 W en af en toe kleine en grote pieken als zwaardere apparaten (zoals wasmachines, waterkokers of elektrische verwarming) worden aangezet. Deze pieken zijn regelmatig hoger dan de 2 kW die de brandstofcel kan produceren. Op dit soort momenten is het noodzakelijk om elektriciteit uit andere bronnen te halen. 's Nachts is het gebruik in een huishouden meestal weer flink lager en zou het wenselijk zijn om een brandstofcel in huis terug te kunnen regelen.

■ OP WIJKNIVEAU

De netbeheerder werkt standaard met een waarde van 1.5 kW per huishouden als het gaat om de vermogens, kabeldikte, etc. Een huishouden kent vreemde pieken in de elektriciteitsbehoefte. Maar wanneer meerdere huishoudens (zoals in een woonwijk) gecombineerd worden, vlakken deze pieken af tot een gebruikspatroon van dag en nacht (ook avond). Iets dergelijks geldt ook als de energie met zonnepanelen wordt opgewekt. Een dag met wisselende bewolking laat voor één huis dan een grillig patroon zien. Meerdere huizen die met elkaar gecombineerd zijn laten een vlakker patroon zien, omdat ze niet op hetzelfde moment last ondervinden van de wolken. Deze patronen zijn van belang voor de SOFC's als ze op wijkniveau ingezet worden. Fluctuaties op transformatorniveau zijn immers van belang. Een groep brandstofcellen kan ingezet worden om vlakker gebruikspatronen van de woonwijk te produceren, om zo op wijkniveau het gebruik en de productie van elektriciteit uit te kunnen balanceren.

■ CONCLUSIES

De meest praktisch bruikbare brandstofcel van

dit moment voor de woningbouw is de eerder genoemde Solid Oxide Fuel Cell (SOFC). Dit vanwege de relatief eenvoudige inpassing in bestaande brandstofinfrastructuren.

Momenteel zijn er voor individuele 'typische' woningen nog geen werkbare business cases denkbaar. Maar voor extremere situaties, zoals de grootverbruikende particulier (of MKB) met een consumptie van rond de 13.000 kWh per jaar, is de SOFC mogelijk wel interessant.

Dit soort inzet verlangt dat de brandstofcel bijna volcontinu op vol vermogen energie produceert. Een typisch huishouden kent vele pieken en dalen in het elektriciteitsgebruik per dag, waarbij gemiddeld 1,5 kW elektriciteit wordt gebruikt. De huidige commercieel verkrijgbare brandstofcellen kunnen zonder aanvullende randapparatuur de pieken en dalen van een afzonderlijk huishouden niet volgen. Als de pieken en dalen van huishoudens op wijkniveau worden bekeken, dan wordt zichtbaar dat deze afvlakken. Om die reden is een brandstofcel – zonder dergelijke aanvullende randapparatuur – beter op wijkniveau inzetbaar.

Op een zelfde wijze worden brandstofcellen ingezet als energievoorziening voor industriële processen. Hierbij wordt vaak gebruik gemaakt van waterstof als brandstof dat vrijkomt als afvalproduct uit een industrieel proces. Veel industriële processen kennen een gelijkmatige behoefte aan elektrische energie, waardoor onnodig schakelen en moduleren van de brandstofcel wordt voorkomen.

Brandstofcellen zijn op dit moment het kansrijkst in de industriële sector als continue energievoorziening of als noodstroomvoorziening en als wijkgebonden elektriciteitsvoorziening. Het is de verwachting dat – door ontwikkelingen op de wereldmarkt – de prijs van brandstofcellen in de toekomst zal verminderen, en daardoor een groter aantal toepassingen van brandstofcellen zal worden gevonden. Het valt daarom te verwachten dat brandstofcellen ook in Nederland steeds vaker onderdeel van installaties zullen worden.

■ INTERESSANTE LINKS

- de Bluegen van Ceramic Fuel Cells, zie <http://www.bluegen.info/> voor meer informatie, ook in het Nederlands;
- <http://www.gasterra.nl/nieuws/gasterra-betrokken-bij-uniek-brandstofcellen-en-zonnepanelenproject;>
- [http://www.isso-kenniskaarten.nl/kenniskaart/elektrische-installaties/brandstofcel/brandstofcellen-\(werking\);](http://www.isso-kenniskaarten.nl/kenniskaart/elektrische-installaties/brandstofcel/brandstofcellen-(werking);)
- www.i-balance.org<<http://www.i-balance.org>>