

# Wat zijn brandstofcellen?

Brandstofcellen worden gezien als een veelbelovende techniek om schone energie op te wekken. Zoals bij meer decentrale energieproductietechnieken kan hiermee energie geproduceerd worden dicht bij de plaats waar de energie gebruikt gaat worden. Momenteel zijn er al enkele interessante toepassingen van brandstofcellen. Ze worden bijvoorbeeld gebruikt in diverse typen elektrische auto's. Verder vindt de brandstofcel stilletjes aan zijn weg in de bouwsector als alternatief voor een cv-ketel: de brandstofcel wordt dan ingezet als micro-wkk. Voor een volledige marktadoptie is er echter nog een hele weg te gaan. Dit artikel vormt een onderdeel van een tweeluik. Besproken wordt wat een brandstofcel is en hoe deze werkt. Het nog te verschijnen volgende artikel zal dieper ingaan op een aantal praktijksituaties en technische en economische uitdagingen.

Drs. ing. A. (Arjan) Schrauwen, projectcoördinator ISSO,  
Dr.ir. R.J. Velthuys, projectleider I-Balance

Terwijl een cv-ketel vooral een apparaat is dat warmte produceert, is een brandstofcel een apparaat dat vooral elektriciteit produceert en daarnaast warmte die – zeker toegepast in gebouwinstallaties – nuttig ingezet kan worden. Daardoor kunnen brandstofcellen een hoog energetisch rendement halen. Een ander voordeel is dat het proces 'schoon' is (relatief weinig CO<sub>2</sub> en fijnstof). Op dit moment zijn brandstofcellen nog erg duur, zowel in aanschaf als installatie. Echter, bij grootschaliger inzet van deze apparaten moeten de prijzen significant omlaag kunnen gaan.

## DE WERKING

Een brandstofcel is een toestel dat chemische energie omzet naar elektrische energie en warmte. Doordat brandstofcellen op kleine schaal kunnen werken, kunnen zowel de geproduceerde elektriciteit als de warmte

ingezet worden in lokale toepassingen. Bij het omzettingproces wordt gebruik gemaakt van elektronenuitwisseling tussen zuurstof en waterstof. Het eindproduct dat ontstaat na elektronenuitwisseling bestaat uit waterdamp (bij gebruik van zuivere waterstof en zuurstof) en energie in de vorm van elektriciteit en warmte.

De chemische reactie (door de elektronenuitwisseling) die plaatsvindt in een brandstofcel ziet er als volgt uit:

Anode:  $2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

Kathode:  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{elektrische energie} + \text{warmte}$

Hierin is:

H <sub>2</sub>	waterstof
H <sup>+</sup>	waterstofionen oftewel protonen
e <sup>-</sup>	elektronen
O <sub>2</sub>	zuurstof
H <sub>2</sub> O	water

De brandstoffen, die voor de reactie worden gebruikt, bestaan uit waterstofgas en zuurstofgas. Het zuurstofgas is uit de lucht te halen. Het waterstofgas kan worden geproduceerd door:

- elektrolyse: afsplitsing van waterstof uit water met behulp van elektriciteit (door bijvoorbeeld zonnepanelen);
- reforming: het reformen van bijvoorbeeld methaangas met behulp van stoom van circa 850°C en 25 bar in waterstof en kooldioxide;
- als afvalproduct bij sommige raffinageprocessen.

Hierbij moet opgemerkt worden dat er weinig natuurlijke bronnen zijn voor de productie en winning van waterstofgas. De productie en opslag van waterstofgas vindt plaats onder hoge druk, dat veel compressie-arbeid kost (en daardoor de milieubelasting beïnvloedt).

Type brandstofcel	DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)	Pemfc (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)	AFC (Alkaline Fuel Cell)	PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)
Elektrolyt	Polymeric ion exchange membrane	Polymeric ion exchange membrane	Immobilised alkaline salt solution	Immobilised liquid phosphoric acid	Immobilised liquid molten carbonate	Ceramic
Temperatuur in bedrijf (°C)	20-90	30-100	50-200	~220	~650	500-1000
Ladingdrager	H <sup>+</sup>	H <sup>+</sup>	OH <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	O <sup>2-</sup>
Mogelijkheid om intern CH <sub>4</sub> te reformen?	Nee	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja
Vermogen (W)	1-100	1- 100k	500-10k	10k-1M	100k-10M+	1k-10M+

-Tabel 1- Kenmerken verschillende typen brandstofcellen.

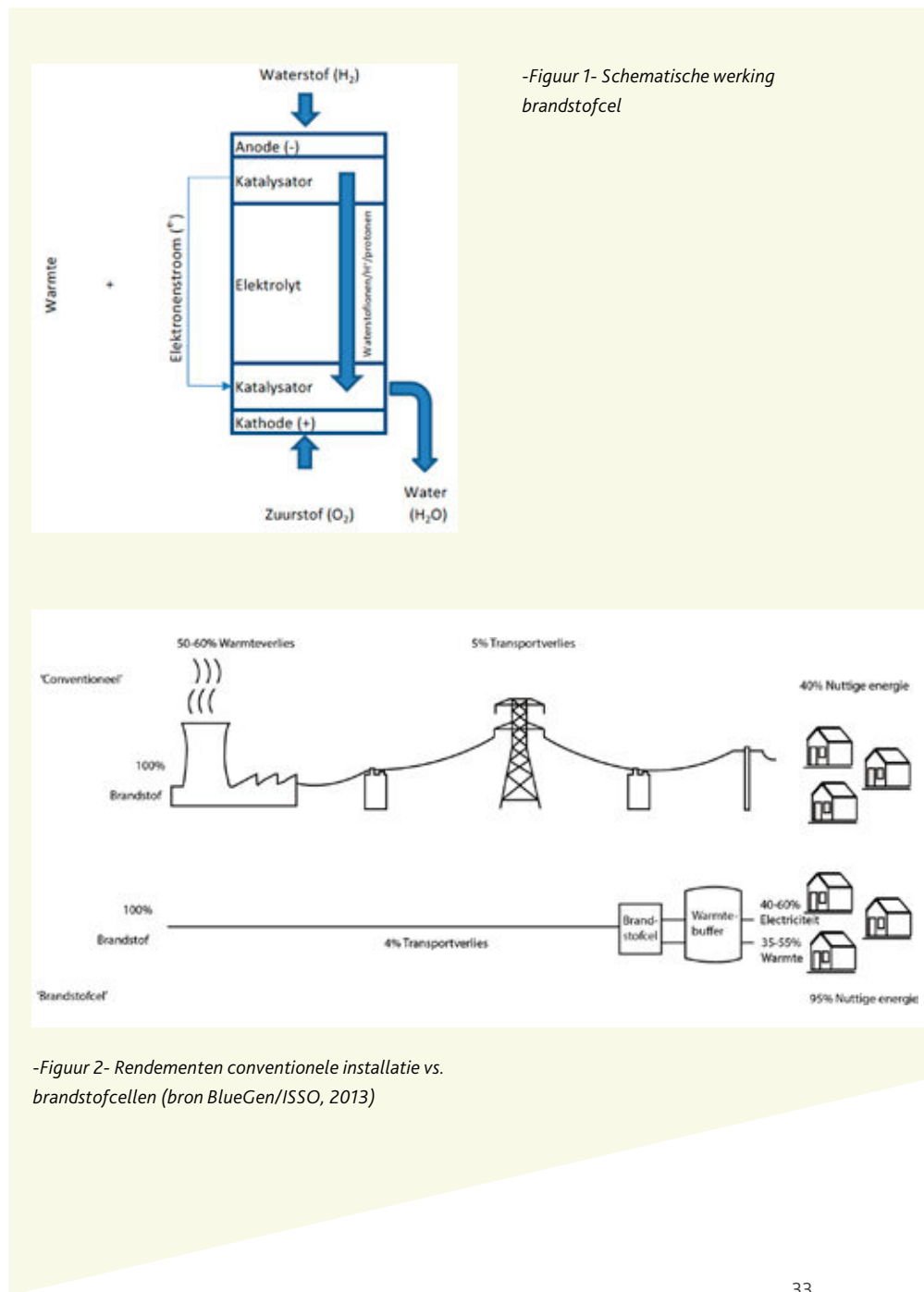
Om die reden zullen brandstofcellen die puur gebruik maken van waterstofgas dicht bij de bron geplaatst worden. Dit is het geval bij industriële processen waarbij waterstofgas een afvalproduct is. Schematisch is het proces in een brandstofcel weergegeven in figuur 1. Doordat in een brandstofcel chemische energie direct wordt omgezet naar elektrische energie zijn er bijna geen ongewenste energieomzettingen die als verlies kunnen worden aangerekend. Een 'ongewenste' omzetting is warmte die eventueel nuttig gebruikt kan worden in bijvoorbeeld een verwarmingsnet. Hierdoor is het mogelijk om met een brandstofcel een hoger rendement te behalen dan bijvoorbeeld een conventionele cv-ketel die elektriciteit uit het net haalt. Figuur 2 illustreert dit.

### ■ VERSCHILLENDE SOORTEN

Er zijn meerdere typen brandstofcellen. Afhankelijk van het gebruikte elektrolyt zijn de type brandstofcellen weergegeven in tabel 1. Deze tabel laat zien dat verschillende typen brandstofcellen in te zetten zijn voor een heel spectrum aan gewenste vermogens. Dit impliceert dat de keuze voor een brandstofcel in een bepaalde situatie te relateren is aan het gevraagde vermogen en aan de beschikbaarheid van het gewenste type brandstof, bijvoorbeeld de beschikbaarheid van aardgas, biogas of waterstofgas. Er spelen echter nog andere factoren een rol bij de keuze van een brandstofcel. Brandstofcellen (zoals type DMFC, PEMFC, AFC, PAFC) voor kleinere vermogens kennen vaak dure materialen als katalysator. Daarnaast is voor deze kleinere vermogens alleen het gebruik van waterstof toegestaan. Dit is niet altijd mogelijk doordat waterstof moeilijk is op te slaan met de hedendaagse technieken. De MCFC- en de SOFC-brandstofcellen hebben daarom hun eigen kraak- en/of reforminstallatie waarmee

methaan in de voor de brandstofcel noodzakelijke waterstof wordt omgezet. Brandstofcellen

met grotere vermogens hebben langere opstarttijden door de hogere noodzakelijke



Type brandstofcel	DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)	PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)	AFC (Alkaline Fuel Cell)	PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)
<b>Voordelen</b>	Zeer korte opstarttijd	Zeer korte opstarttijd	Zeer korte opstarttijd	Geschikt voor wkk's	Industriële toepassingen mogelijk	Een breed scala aan toepassingen mogelijk, van kleine huishoudelijke tot Industriële toepassingen.
	Methanol als brandstof: kleinere volumes en lagere drukken vanwege hogere energie-dichtheid methanol		Hoge rendementen		Externe reformer is niet nodig vanwege hoge temperaturen.	Externe reformer is niet nodig vanwege hoge temperaturen
					Geschikt voor verschillende brandstoffen (zolang er maar waterstof in voorkomt)	Geschikt voor verschillende brandstoffen (zolang er maar waterstof in voorkomt)
					Geen dure materialen.	Werking onder druk mogelijk
					wkk toepassingen	WKK toepassingen
<b>Nadelen:</b>	Dure materialen als platina en ruthenium nodig – dus hoge kosten.	Dure platina katalysator	Gevoeligheid Kaliumhydroxide voor CO <sub>2</sub> vergiftiging	Opstarttijden van 3 a 4 uur.	Hoge corrosiviteit van elektrolyt.	Thermische spanningen in het materiaal verkorten (beperken) levensduur, dus regelmatig nieuwe componenten nodig
	Alleen methanol als brandstof mogelijk	Grote gevoeligheid katalysator voor CO vergiftiging	Gevoeligheid katalysator voor CO vergiftiging	Gevoeligheid anode voor CO en zwavelvergiftiging.	Lange opstarttijd (20 uur bij grote systemen)	Bros materiaal, problemen bij uitzetten en constructieve integriteit
			Lage temperatuur maakt WKK toepassingen (hogere temperatuur) minder geschikt)	Gebruik van vloeibaar elektrolyt waardoor onder druk werken niet mogelijk is.		Langere opstarttijden tov MCFC.
			Gebruik van dure materialen zoals platina als katalysator.	Gebruik van dure materialen zoals platina als katalysator.		

-Tabel 2- Voor- en nadelen van verschillende typen brandstofcellen

temperaturen voor de reforming van brandstoffen. De meest bekende voor- en nadelen per type brandstofcel zijn weergegeven in tabel 2.

## ■ TOEPASSINGEN

Momenteel worden brandstofcellen meestal toegepast in de industriële sector als alternatieve elektrische energiebron. Daarnaast kunnen grotere brandstofcellen worden toegepast als energiecentrales voor grote gebouwen zoals ziekenhuizen of kantoorpanden. Door doorontwikkeling van bestaande technieken zijn tegenwoordig kleinschalige (huishoudelijke) toepassingen mogelijk. Tabel 3 geeft aan wat voor type brandstofcel hoort

bij welke toepassing. Hieruit blijkt dat de AFC-, PAFC- en SOFC-brandstofcellen het meest geschikt voor huishoudelijke toepassingen. AFC- en PAFC-brandstofcellen zijn ondanks de voordelen nog te duur in aanschaf door het gebruik van platina als katalysator. Daarnaast zijn deze brandstofcellen nog erg gevoelig voor CO-vergiftiging die ontstaat tijdens de energieopwekking.

## ■ MARKTADOPTIE

De adoptie van brandstofcellen door de markt heeft nog een weg te gaan. Met name de hoge prijs van de katalysatoren en het geschikt maken van de infrastructuur voor waterstofgas vormen belemmerende factoren. Daarnaast

vormen de beschikbaarheid van waterstofgas en de hoge productie- en opslagprijzen een belemmerende factor. Universiteiten, fabrikanten en energieleveranciers werken momenteel hard aan deze factoren. Daarnaast is de huidige infrastructuur alleen geschikt voor aardgas. Hierdoor is de SOFC-brandstofcel voor de nabije toekomst nog het meest geschikt. Ondanks de hogere rendementen van brandstofcellen blijft op korte termijn de afhankelijkheid van aardgas nog bestaan. Het verder ontwikkelen van de bestaande technieken en het opdoen van gebruikerservaringen met brandstofcellen brengt de markt wel steeds dichterbij. Hierover meer in het volgende artikel.

Type brandstofcel	DMFC (Direct Methanol Fuel Cell)	PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)	AFC (Alkaline Fuel Cell)	PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell)	MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)	SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)
Draagbare elektronica						
Auto's, boten en ruimtevaarttoepassingen						
Huishoudelijke WKK's						
Elektrische energieopwekking, WKK's						

-Tabel 3- Huidige toepassingen brandstofcellen



-Figuur 3- Twee SOFC-brandstofcellen gecombineerd met een warmwateropslagvat (elk 1,5 kW elektrisch en 500 W warmte) (bron: Bluegen, 2013)



-Figuur 4- Pemfc-brandstofcel: 5 kW elektrisch (gelijkstroom) (bron: Nedstack, 2013)

## Gezond en duurzaam verwarmen en koelen

**Toepassing:**  
Vloerverwarming, plafond- en wandverwarming/koeling





**BioClima capillaire klimaatmatten als oppervlakte afgiftesysteem zet nieuwe maatstaven en geeft verwarmen vanuit plafond, wand (d.m.v. straling) of vloer en koelen vanuit plafond of wand een nieuwe dimensie.**

Door een overdrachtsoppervlak dat tot 300% groter is dan bij traditionele afgiftesystemen, kan de installatieontwerper technisch betere ontwerpen realiseren dan voorheen met traditionele systemen niet, of alleen tegen hoge meerinvesteringen, mogelijk was.

Vanwege de hoog efficiënte activering, dicht aan de oppervlakte (6 tot 10 mm), de kleine capillaire buisdiameter (ø 4,3 mm), de geringe buisafstand (20 mm) en het kleine temperatuurverschil tussen aanvoer en retour (2K), kunnen ruimten al voldoende worden verwarmd met watertemperaturen van 30/28°C, tot ver onder het vriespunt.

Als bijkomend voordeel op het zeer hoge belevingscomfort bij toepassing van het BioClima systeem, is dat door de lage wateraanvoertemperaturen het rendement van een warmtepomp met meer dan 35% wordt verbeterd. De reactiesnelheid van het BioClima systeem bedraagt slechts 6-15 minuten. Dit geldt ook bij toepassing als vloerverwarming. En niet 4 uur, zoals gebruikelijk bij traditionele vloerverwarmingssystemen.

Voor behaaglijkheid en een superieur comfort kiest u voor BioClima. Meer voordelen en informatie: [www.BioClima.nl](http://www.BioClima.nl)

**Navos Klimaattechniek B.V.**  
Kleveringweg 20, 2616 LZ Delft  
T: 015 - 215 37 28  
W: [www.BioClima.nl](http://www.BioClima.nl)  
E: [Navos@Navos.nl](mailto:Navos@Navos.nl)

**Winnaar**  
Innovatieprijs  
**ENERGIE2009**  
DE VAKBEURS VOOR OPTIMAAL BESPALEN



**Partner**  
Duurzaam Gebouwd 