ECN-RX--05-118

Brandstofcellen: hoever zijn we nu?

F.A. de Bruijn

Opendag ECN, mei 2005

Juni2005

ECN

Energy research Centre of the Netherlands

Brandstofcellen: hoever zijn we nu?

Frank de Bruijn

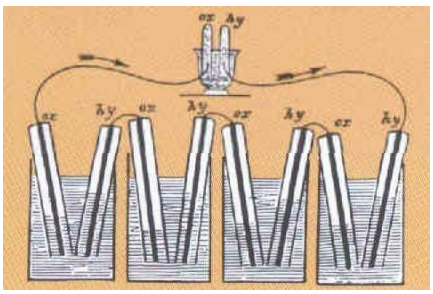
www.ecn.nl

ECN

1839

De uitvinding van de brandstofcel

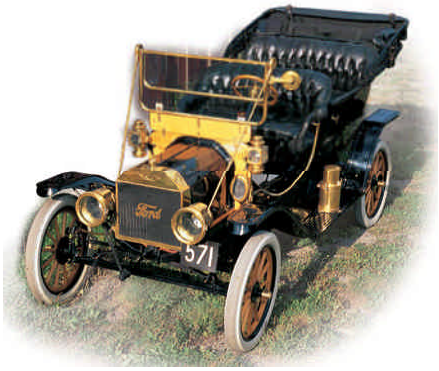
Sir William Grove



Keerde het reeds bekende elektrolyse proces om

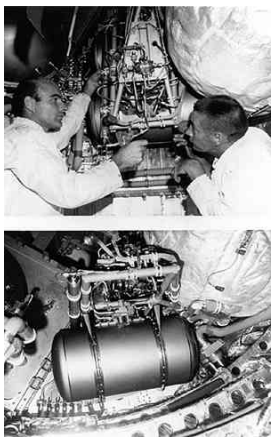
En wat is er in die 166 jaar daarna gebeurd??

De eerste 125 jaar niet veel. De otto-motor, die in 1876 het licht zag, was makkelijker door te ontwikkelen.



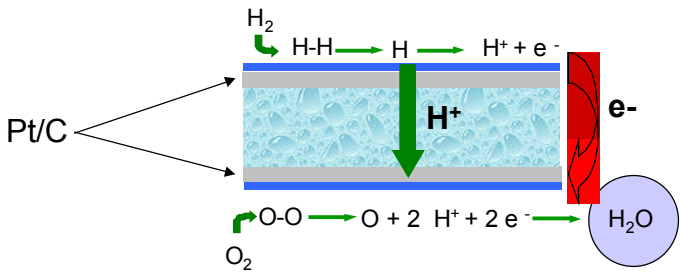
Eerste serieuze brandstofceltoepassing vindt plaats in de ruimtevaart

Alkalische brandstofcel
Apollo 1964



PEMFC brandstofcel
Gemini 1965

Brandstofcel: basis-principe



Totale reactie: $2\ H_2 + O_2$? $2\ H_2O$ + elektriciteit + warmte

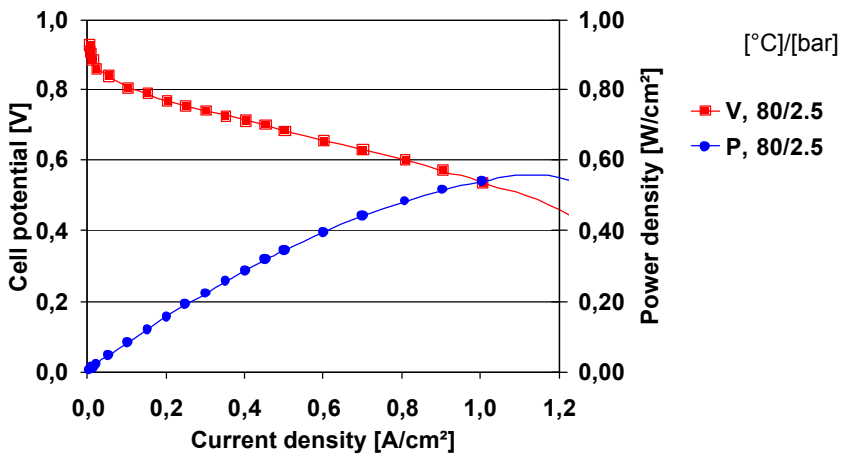
Verbranding

$C_{14}H_{28} + 21\ O_2$? $14\ CO_2 + 12\ H_2O + NO_x$

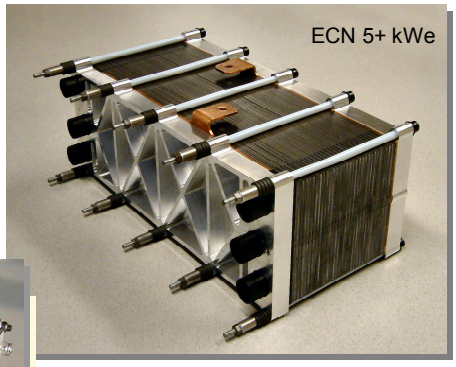
Verbranding is meestal niet volledig: + CO + CxHy

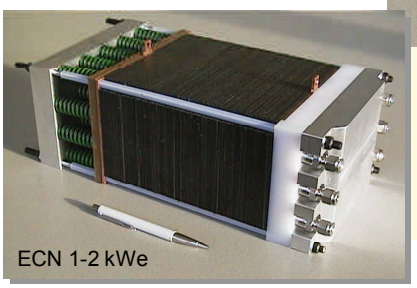
Typisch brandstofcelkarakteristiek (enkele cel)

Rendement = celspanning / 1.23 V (LHV)
celspanning / 1.48 V (HHV)



Brandstofcelstacks



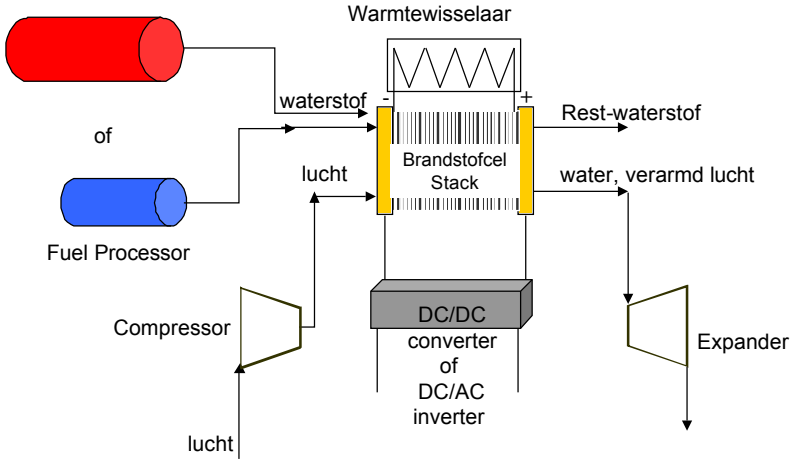


Brandstofcel typen

	Operating temp. [°C]	Fuel	Electrolyte
AFC	80-100	H_2	KOH
PEMFC	40-80	H_2 (/CO_2)	Polymer
DMFC	60-130	Methanol	Polymer
PAFC	200	H_2(/CO_2)	Phosphoric Acid
MCFC	650	CH_4, H_2, CO	Molten Carbonate
SOFC	750-950	CH_4, H_2, CO	Solid Oxide

Kritische brandstofcelsysteem componenten

Systeemcomponenten hebben een grote invloed op systeemrendement en robuustheid!



Brandstofcellen en brandstoffen

Elektronica (1-200 W)

Waterstof
Methanol

Waterstof
Benzine

Transport (50-200 kW)

Aardgas
Propaan
Kerosine (JP)

Micro WKK
(1-5 kW)

Aardgas
Biogas

Stationary Power (< 250 kW)

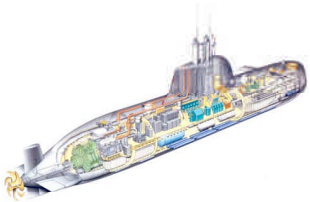
Stadsvervoer (2-5 kW)

Waterstof
Benzine

Brandstofcellen succesvol in de “praktijk”

Ruimtevaart 3 x 12 kW (United Technologies)

- Op pure waterstof en zuurstof !
- Kosten spelen nauwelijks een rol



Onderzeeboten 3 x 40 kW (Siemens)

PEMFC Brandstofcellen voor transport: APU en aandrijving

2-7 kW
waterstof

waterstof

5-70 kW
waterstof

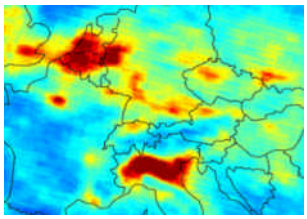
100-500 kW
kerosine

10-10000 kW
scheepvaartdiesel

Brandstofcellen voor vervoer: de voordelen

Los Angeles

Parijs



NO emissies in West-Europa

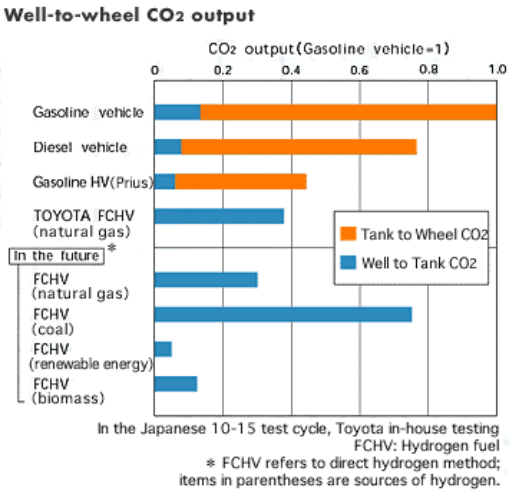
1. Lagere emissies: fijn stof, NOx, CO, CxHy, SOx
2. Lager brandstofverbruik, lagere CO_2 emissies
3. Minder geluid
4. Brandstofdiversificatie
5. Hogere beschikbaarheid elektriciteit
6. Minder onderhoud

Brandstofcelauto's versus Hybride auto's

Overall (well-to-wheel) efficiency of the TOYOTA FCHV

	Fuel efficiency (well-to-tank) (%)	Vehicle efficiency (tank-to-wheel) (%)	Overall efficiency (well-to-wheel) (%)
Gasoline vehicle	88	16	14%
Prius (Gasoline HV)		37	32%
FCV (compressed hydrogen)	58*3	38	22%
TOYOTA FCHV		50	29% With hybrid control
FCHV (target)	70	60	42% 3 x Gasoline vehicle

In the Japanese 10-15 test cycle, Toyota in-house testing
*3 Efficiency if hydrogen is produced from natural gas



Hoe schoon zijn brandstofcelauto's?

Benzine ICE 2003	Benzine Hybrid ICE 2004	Methanol BCV 2003	Waterstof BCV 2003

CO_2	170/211	104/123	Geen gegevens	0/80*	g/km
CO	0.48	0.18	0.008	0	g/km
NO_x	0.03	0.01	0.000	0	g/km
HC	0.03	0.02	0.036	0	g/km

*: waterstof uit aardgas

Praktijktesten

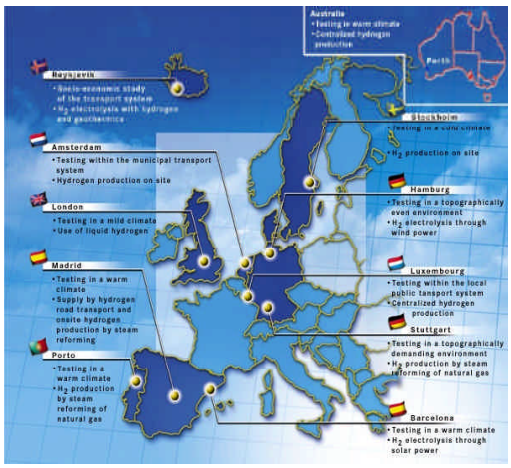
Coast to Coast USA,
4500 km

Simplon Pas,
2000 m hoogte, - 9 °C

HySun: van Berlijn naar Barcelona met 3.3 kg Waterstof

- 3000 km in 15 dagen
- 1 keer waterstof tanken
- Totaal verbruik 3.3 kg waterstof = 0.4 liter benzine per 100 km

Europa: het CUTE project



- 30 bussen in 10 steden
- Verschillende klimaatcondities
- Verschillende opties waterstofproductie
- Beschikbaarheid waterstofbussen nu hoger dan de dieselbussen!

Plannen van de automobielindustrie

GM Sequel

Toyota Fine-N

"Not affordable but doable"

"GM's goal," Burns explained, "is to design and validate a fuel cell propulsion system by 2010 that is competitive with current internal combustion systems on durability and performance, and that ultimately can be built at scale affordably. "

Brandstofcellen voor stationaire toepassingen: backup power en warmte-kracht

1 kW PEMFC
waterstof

PEMFC 1-5 kW
aardgas

SOFC 1-5 kW
aardgas

200 kW PAFC
Aardgas, biogas, etc

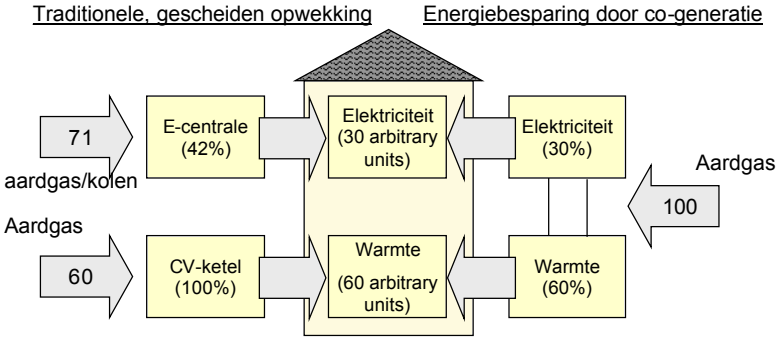
280 kW MCFC
Aardgas, biogas, etc

125 kW SOFC
Aardgas

Brandstofcellen voor stationaire toepassingen: de voordelen

1. Lager brandstofverbruik, lagere CO_2 emissies
2. Minder Net-uitval
3. Geen verzwaring van het e-net nodig
4. Geen grote investeringen productiecapaciteit in één keer

Energiebesparing door warmte-krachtkoppeling



$$\text{energiebesparing} = \frac{(131-100)}{131} = 24\%$$

Huidige Status PEMFC micro WK systemen

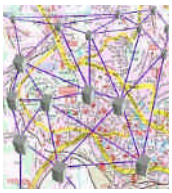
Bewezen levensduur
Ca 3 jaar
Doel: > 10 jaar

Beschikbaarheid
Plugpower systemen: meer dan 92%.
Doel: > 99.9 %

Rendement
Japanse systemen: ca 30% elektrisch rendement. Totaal rendement > 90%.
Plugpower systemen: ca 25% elektrisch rendement. Totaal rendement > 85%.
Doel: elektrisch rendement > 35%; totaal rendement > 90%

Kosten
Huidige productiekosten voor 1 kWe eenheden: ca 25000 - 75000 euro.
Verwachting Tokyo Gas voor 2008 – 2010: 3700 euro.
Doel: 1000 – 1500 euro

Micro Warmte Kracht: EU project Virtual Power Plant



- Ca 30 systemen van 5 kWe, Plugpower/Vaillant.
- allen bedreven op aardgas
- op afstand aanstuurbaar
- 11 systemen in Nederland

Micro Warmte Kracht: Japan

- Millenium project van 1-5 kWe, Toshiba, Sanyo, Mitsibushi Electric, Fuji Electric,
- eerste systeem bij premier Koizumi van Japan geinstalleerd
- 350 systemen in lease constructie bij klanten in komend jaar

Mini WK

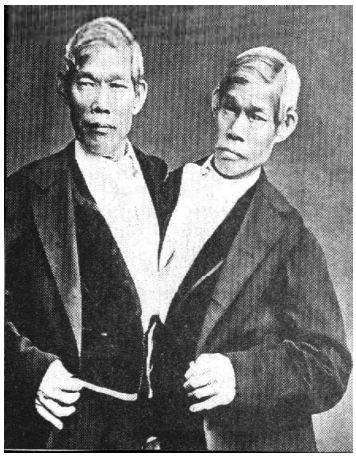
Meest verontwikkeld: Fosforzure Brandstofcel

Meer dan 300 installaties wereldwijd
Elektrisch rendement ca 32%
Levensduur: 30.000 – 40.000 uur
Kostenniveau: 2000 – 4000 euro/kWe

Concurrentie in zelfde segment

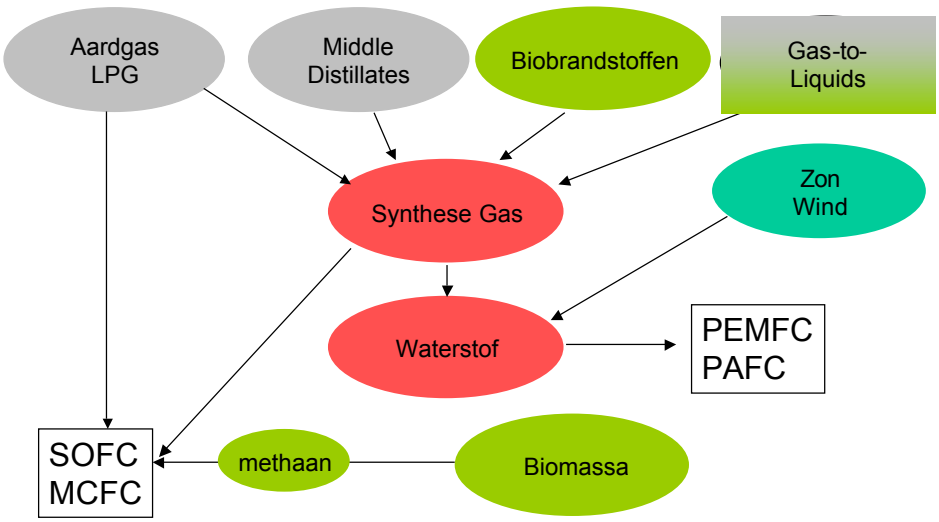
Gasmotoren (typisch 650 kWe – 3 MWe)
Elektrisch rendement ca 42%
Levensduur: ca 10 – 12 jaar
Kostenniveau: 500 – 1500 euro/kWe
Nadeel: NOx emissies en methaanslip (1-3 %)

Waterstof en Brandstofcellen



Waterstof en Brandstofcellen zijn geen Siamese Tweeling!

Waterstof en Brandstofcellen: brandstof diversificatie



ECN

Beschikbaarheid van waterstof uit duurzame bronnen

Bij het halen van de (ambitieuze) 2020 overheidsdoelstellingen is het aanbod:

Uit windenergie	60 PJ
Uit Zon	5 PJ
Uit Biomassa	185 PJ
Totaal duurzaam waterstof	250 PJ

Rekening houdend met compressie, liquefractie en distributieverliezen:

Totaal duurzaam waterstof bij gebruiker 200 PJ

Alleen al voor het wegvervoer is nodig :

Personen en vrachtverkeer: 230 PJ*

* uitgaande van even groot wagenpark, en 2x zo hoge efficiency

ECN

Waterstof uit duurzame energie is suboptimaal

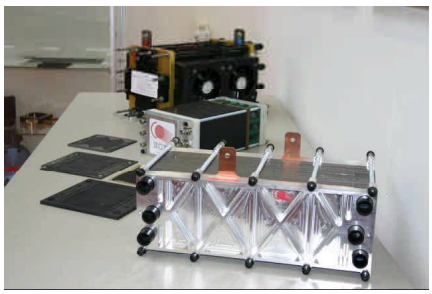
Via electrolyse, levert **75 PJ duurzame elektriciteit** op: 63.5 PJ waterstof
Om deze waterstof uit aardgas te produceren, hebben we **79 PJ aardgas** nodig

Door de 75 PJ duurzame elektriciteit directl als elektriciteit te gebruiken, besparen we **170 PJ aardgas**

(44% als gemiddelde elektrisch rendement nemend)

Het totale elektriciteitsverbruik in 2002 bedroeg 330 PJ:
Voorlopig hebben we geen overschot aan elektriciteit

Wat moet er nog gebeuren?

- Met name voor vervoerstoepassingen moet de technologie VEEL goedkoper
- De robuustheid moet vergelijkbaar zijn met de huidige technologie (vervoer en stationair)
- Voor vervoer: opslag waterstof, en energie-efficiënt distributiesysteem OF waterstofproductie in de auto (on-board fuel processing)
- Stationair: overschot aan elektriciteit moet een waarde hebben voor de producent
- Stationair: grootschalige inzet decentrale opwekking vereist aanpassing van het elektriciteitsnet

Bezoekt u ook onze stand in gebouw 35!