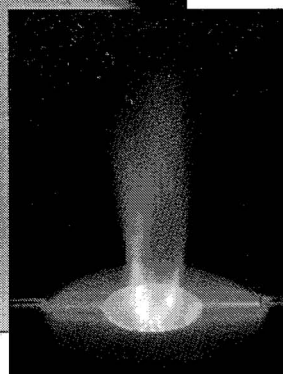
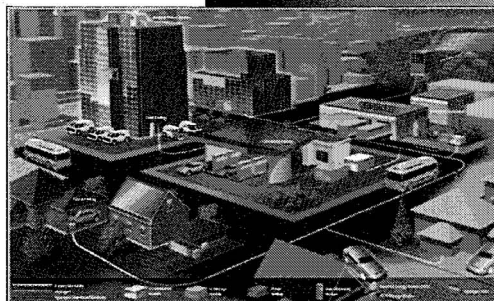
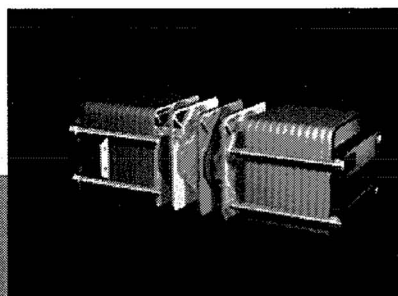
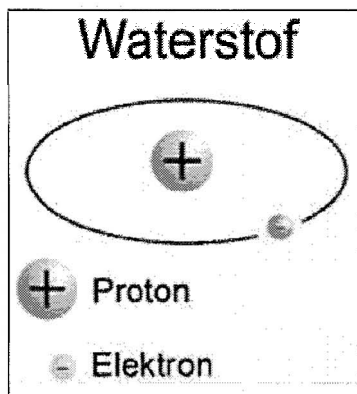


Afstudeerscriptie

Waterstof en Brandstofcellen, Mogelijkheden Imtech Projects



Datum : 8 augustus 2005

Afstudeerder : Yoen Bos
Studentnr. : 1155407
Opleiding : EIT

Hogeschool van Utrecht
Afstudeerbegeleider : Dhr. Roelant Zoete

Imtech Projects, Amersfoort
Afstudeerbegeleider : Dhr. Gerrit Noordermeer

Voorwoord

Dit rapport is geschreven in het kader van mijn afstuderen. Met dit rapport is het de bedoeling dat er een goed einde komt aan de opleiding Elektrotechnische **Installatietechniek** aan de Hogeschool van Utrecht die ik gevolgd heb. Het einde van de opleiding is in zicht...

De inhoud van deze scriptie zal **informatie** bevatten voor Imtech welke voor het bedrijf nuttig is om zich te verdiepen in de techniek van waterstof en brandstofcellen en eventuele mogelijkheden betreffende deze techniek te onderzoeken en te omschrijven.

Uiteraard zijn er enkele partijen die ik wil bedanken, omdat deze een belangrijke bijdrage hebben geleverd voor het totstandkomen van dit rapport:

Imtech Projects, en het bijzonder **Gerrit** Noordermeer.

Het bedrijf heeft mij de mogelijkheid geboden om af te studeren. Het was niet erg simpel om een afstudeerbedrijf te vinden, en ik **was** opgelucht toen mij de mogelijkheid werd geboden hier af te studeren met een interessante opdracht.

Dhr. H. Sie, firma **Integral** B.V.

Dhr. H. Sie heeft mij "geïntroduceerd" in de "**waterstofwereld**" in Nederland. Tijdens het opstarten van het onderzoek liep ik in eerste instantie vast omdat het niet precies duidelijk was wie te contacteren voor antwoorden op diverse vragen. Dhr. H. Sie is wel bekend in de "**waterstofwereld**" en heeft mij een kopie gegevens van diverse visitekaartjes met wie ik contact op zou kunnen nemen.

De overige bedrijven die de moeite hebben genomen en tijd vrij te maken om mij te ontvangen en antwoorden te geven op mijn vragen, te noemen:

In volgorde van bezoek

ECN (Energieonderzoekscentrum Nederland)	Petten
E-TEC	Alkmaar
Plug Power	Apeldoorn
Gasunie	Groningen
Imtech Infra	Nieuwegein
Imtech R&D	Den Haag

Last but not least, wil ik Frank Hendriks (medestudent) bedanken voor het assisteren met de opmaak van het verslag.

Samenvatting

Het thema van dit rapport is of waterstofenergie (toekomstige) mogelijkheden kan bieden voor een bedrijf als Imtech.

De hoofdvraag die Imtech gesteld heeft is als volgt:

Wat zijn de toekomstige mogelijkheden vanaf opwekking, distributie en omzetting van waterstofenergie voor Imtech als technisch dienstverlener om zich te onderscheiden en zich te specialiseren in waterstofenergie, waarbij de technische en economische mogelijkheden en beperkingen worden aangegeven, gericht op gebouwgebonden installaties.

Door middel van literatuuronderzoek en diverse interviews is onderstaande conclusie naar voren gekomen:

Wet zal nog enige tijd duren voordat Imtech zijn eerste project met waterstofenergie winstgevend zal kunnen realiseren. De huidige staat van techniek laat het wel toe om dit binnen de gebouwde omgeving toe te passen. Financieel is dit echter compleet anders. De huidige prijzen van brandstofcellen (wekken elektrische energie op door middel van waterstof) zijn nog te hoog om commercieel ingezet te kunnen worden.

Inhoudsopgave

1	<i>Inleiding</i>	5
2	<i>De afstudeeropdracht</i>	6
2.1	Afbakening opdracht	6
3	<i>Methode(n) van onderzoek</i>	7
3.1	Onderzoeksmethode1: Literatuuronderzoek en analyse (inclusief Internet).	7
3.2	Onderzoeksmethode2: Interviews met relevante personen/partijen.	7
4	<i>Overzicht verschillende interviews</i>	8
5	<i>Inleiding waterstof en brandstofcellen</i>	21
5.1	Waterstof	21
5.2	Productie van waterstof	21
5.2.1	Reformen	21
5.2.2	Elektrolyse	22
5.3	Brandstofcel	23
5.4	Werking brandstofcel.	23
6	<i>Hoofdvraag</i>	24
6.1	Vergelijk brandstofcel met noodstroomaggregaat	24
7	<i>Deelvraag I: Transport van Waterstof</i>	29
8	<i>Deelvraag 2: Regelgeving en eisen</i>	33
9	<i>Deelvraag 3: Samenwerkingsverbanden tussen diverse firma's en Imtech.</i>	34
10	<i>Deelvraag 4: Maatschappelijke aspecten</i>	35
10.1	Veiligheid	35
10.2	Infrastructuur	37
10.3	Milieu	38
10.4	Communicatie	39
10.4.1	Voorbeeldprojecten	39
10.5	Media	42
11	<i>Subsidie(s)</i>	43
11.1	EIA	43
11.2	MIA & Vamil	44
12	<i>Conclusies en Aanbevelingen</i>	45
13	<i>Literatuurlijst</i>	47
14	<i>Bijlage(n)</i>	50

1 Inleiding

Waterstof en Brandstofcellen, bij tijd en wijlen is er weer een stukje te lezen in de krant of een willekeurig tijdschrift. Het lijkt alsof er op het gebied van waterstofenergie niet veel gebeurt, het tegendeel is echter waar. Vele partijen zowel in Nederland, als in de rest van de wereld, zijn ontzettend druk bezig met het ontwikkelen van allerlei materiaal en apparatuur betreffende waterstof **en/of** brandstofcellen.

Waterstof en Brandstofcellen worden al tientallen jaren ingezet door de NASA. Zij hebben al brandstofcellen in gebruik sinds het Apollo-project en de Space Shuttles. Deze brandstofcellen zijn ontwikkeld om uit waterstof en zuurstof elektriciteit en water te produceren, voor gebruik aan boord.

In de jaren zeventig is men vooral in Amerika ontzettend druk bezig geweest met het ontwikkelen van brandstofcellen om een andere manier van energievoorziening te realiseren.

Dit omdat de olieprijs tot gigantische hoogten steeg. Echter gooiden hoge ontwikkelingskosten en dalende olieprijsen (misschien wel letterlijk...) roet in het eten.

Echter lijken de mogelijkheden voor waterstofenergie weer toe te nemen. Stijgende olieprijsen en de steeds slinkende voorraad van deze olie, milieuvervuiling en het toenemende broeikas effect wereldwijd dwingen energieproducenten om op zoek te gaan naar een (schoner) alternatief.

Waterstofgas is in theorie een 'onuitputtelijke energiedrager': men kan het uit water produceren. Wanneer de waterstof verbruikt wordt in de brandstofcel is de enige uitstoot water **en** is er dus een kringloop. Men moet echter niet vergeten dat het **geproduceerd** moet worden en dus energie kost. Wanneer de waterstof geproduceerd is, kan men daar waar het nodig is de waterstof met een brandstofcel omzetten in elektriciteit. En zoals BMW heeft laten zien, is gebruik van waterstof in verbrandingsmotoren ook mogelijk.

In beide gevallen komt op de plaats van gebruik niets anders dan waterdamp en warmte vrij. Geen kooldioxide (broeikasgas) **en**, minstens even **belangrijk**, geen schadelijke emissies zoals zwaveldioxide, **koolmonoxide**, stikstofoxiden en onvolledig verbrande koolwaterstoffen.

Waterstofenergie versterkt het broeikas effect niet, en de slechte luchtkwaliteit in sommige grote steden zal verbeterd **kunnen** worden.

Echter, men is er nog niet...

Zoals u hiervoor heeft kunnen lezen **kán** waterstofenergie grote kansen bieden in de nabije toekomst. Mede hierdoor is Imtech **geïnteresseerd** in deze techniek. Imtech heeft diverse keren contact gehad met verschillende bedrijven die zich bezig houden met waterstoftechniek maar door de huidige drukte binnen Imtech was er gewoonweg geen tijd om hier dieper op in te **gaan**. Vandaar dat Imtech een afstudeerder heeft aangenomen om een en ander uit te zoeken en in een document te verwerken.

2 De afstudeeropdracht

Hieronder de afstudeeropdracht zoals deze in eerste instantie door Imtech is opgesteld.

- Wat zijn de toekomstige mogelijkheden vanaf opwekking, distributie en omzetting van waterstofenergie voor Imtech als technische dienstverlener om zich te onderscheiden en zich te specialiseren in waterstofenergie, waarbij de technische en economische mogelijkheden en beperkingen worden aangegeven, gericht op gebouwgebonden installaties;
- Waaraan dienen mensen en middelen te voldoen, indien Imtech met waterstofenergie gaat werken binnen de bovengenoemde mogelijkheden;
- Zijn er mogelijke samenwerkingsverbanden / participaties te creëren in de huidige **waterstofmarkt** waardoor **Imtech** zich in een preferente plaats kan manoeuvreren;
- Wat **zijn** de maatschappelijke voor- en nadelen indien er een waterstofeconomie zal ontstaan.

2.1 Afbakening opdracht

Om duidelijk te maken wat Imtech precies uitgezocht wil hebben heeft de student (in overleg met de opdrachtgever, in dit geval Imtech) een "afbakening" geschreven. Dit om aan te geven wat de student precies gaat onderzoeken.

Afbakening (alleen wijzigingen ten opzichte van de originele opdracht):

- Hoe wordt de elektrische / kinetische energie opgewekt met behulp van waterstofenergie (inclusief diverse mogelijkheden van energieomzetting, naar elektriciteit en warmte / evt. **koeling**), dit **geïmplementeerd** binnen gebouwgebonden installaties?
- Hoe wordt deze energie (waar nodig) getransporteerd?

Omdat het de komende jaren alleen interessant kan zijn om brandstofcelprojecten te realiseren door middel van divers subsidiemogelijkheden is de opdracht in een later **studium** iets uitgebreid, en zijn diverse manieren van subsidiëren ook onderzocht.

Verder is er onderzocht of eventuele andere bedrijfsonderdelen van Imtech gebaat zijn bij **waterstoftechniek** en of zij in deze branche (toekomstige) opdrachten kunnen **verwerven**.

3 **Methode(n) van onderzoek**

Om de mogelijkheden voor Imtech betreffende toepassingen van waterstof en brandstofcellen te onderzoeken zijn er verschillende manieren van onderzoek toegepast.

De twee methoden van onderzoek die zijn toegepast, staan hieronder beschreven.

3.1 *Onderzoeksmethode 1: Literatuuronderzoek en analyse (inclusief Internet).*

Aan diverse instanties (ECN, Ecofys) zijn verschillende onderzoeksverslagen aangevraagd betreffende waterstoftechniek. Ook Internet is een gigantische bron van informatie. Hier zijn veel krantenberichten, informatieve teksten (nationaal en internationaal) te lezen. Ook de homepages van bedrijven die zich bezighouden met waterstoftechnologie kunnen een schat aan informatie bieden. Op deze manier is er veel informatie vergaard over de werking en eigenschappen van waterstof en brandstofcellen. Verder is via de internetsite van SenterNovem de nodige informatie gevonden betreffende subsidies.

3.2 *Onderzoeksmethode 2: Interviews met relevante personen/partijen.*

In eerste instantie was het de bedoeling om diverse partijen te interviewen om extra en aanvullende informatie te verkrijgen die ik niet op Internet of in de bestaande literatuur kon vinden. Al snel bleek dat er veel meer te halen viel dan aanvullende informatie. Ten eerste kreeg ik verschillende meningen van bedrijven te horen hoe zij dachten over een eventuele waterstofeconomie. Ook werd tijdens de interviews mijn indruk bevestigd, dat de informatie op Internet en in de literatuur praktisch bijna altijd een (te) positieve tendens had, en ik ben hierop gaan doorvragen. De totale tijd die besteed is aan het uitvoeren en verwerken van interviews is in verhouding minder dan het lezen en verwerken van literatuur (uiteraard mede omdat ik mij eerst de techniek eigen moest maken). Het is echter wel erg belangrijk geweest voor het opstellen van de eindconclusie en het antwoord op de hoofdvraag van Imtech, of zij zich (in de toekomst) met waterstoftechniek kunnen onderscheiden van andere installatiebedrijven.

4 Overzicht verschillende interviews

Hieronder een overzicht van de diverse interviews die door mij zijn afgenomen.

Mijn voorkeur is uitgegaan om op gesprek te **gaan** bij diverse bedrijven omdat mijn ervaring is dat er tijdens een gesprek op **locatie** veel meer informatie op tafel komt dan tijdens een telefoongesprek.

Integral B.V. Amsterdam

Woensdag 9 februari,

Gesprek met Dhr. H. Sie

Doel van dit gesprek:

Het doel was om vragen beantwoord te krijgen waar ik op dat moment geen antwoord op kon vinden in de literatuur. Ook was het de bedoeling om advies in te winnen bij welke andere partijen het interessant zou zijn voor mijn afstudeeronderzoek om eens te gaan **informer**en of er mogelijkheid zou zijn tot een gesprek. Ook was ~~ex~~ voordat dit gesprek ging plaatsvinden reeds een afspraak gemaakt bij ECN met Dhr. van der Molen. Expres bij beide partijen dezelfde vragenlijsten meegenomen om te kijken of er tegenstrijdige antwoorden gegeven zouden worden.

Hieronder de vragenlijst die opgesteld is voor dit gesprek:

- Verschillende manieren van waterstof produceren, (iets “**diepere**” informatie gewenst over het produceren van waterstof)
 - steam **reforming** (aardgas) → 99% van de huidige waterstofproductie.
 - partiële oxydatie van **zware** koolwaterstoffen
 - vergassing van steenkool
 - vergassing van biomassa
 - biologische systemen
 - thermoschemische splitsing
 - foto-elektrochemische systemen
 - fotobiologische systemen
 - **thermische** watersplitsing
 - elektrolyse, het liefst met energie opgewekt dmv wind, zon enz. dit omdat er dan weinig tot geen emissies zijn.
- Heb gelezen dat de waterstof die geproduceerd is door een **reformer** niet 100% waterstof is. Welke gassen zitten hier nog meer bij? Wat is het effect hiervan tijdens het opwekken van energie in de brandstofcel, verkorte levensduur, lager rendement enz.
- Verschillende manieren van waterstof distribueren (bestaand aardgasnet **aanpassen/mengen** met, nieuw distributienet)
 - hoe lekkages opsporen (detectieapparatuur, **flowmeting** begin-eind) ? Het gas is kleurloos en geurloos!
- Meerdere units parallel te schakelen? Stel huisinstallatie 4 kW, dan mogelijk om 2 units van 2,5kW parallel te schakelen?
- Hoe warmte gebruiken die vrijkomt bij omzetting (reactie tussen) waterstof en zuurstof (wordt dit proces gekoeld dmv koelstof?).
- Op wat voor termijn algemeen gebruik (commercieel beschikbaar)?

- Voornamelijk gebruik voor totale energievoorziening of eerst toegepast als UPS?
- Huidige maximale vermogen stationaire brandstofcellen en het daarbij horende formaat (vaste afmetingen per kW of hoe hoger het vermogen hoe groter de brandstofcel per kW?)
- Verbruik van waterstof, hoeveelheid waterstof per Kw per uur?
- Lange stilstand een probleem (bijv. toepassing als ups)
- Opstarttijd (moment van energievraag tot het leveren van energie)
- Hoe is het afgeleverd elektrisch **vermogen** te regelen? Dmv toegelaten hoeveelheid h₂? Zo ja, hoe is de flow van de waterstof te regelen?
- Subsidies overheid, (waar te **vinden/ navragen** → senternovem?)
- Waaraan dienen mensen en middelen zich te voldoen (NEN 310 197 "Waterstof en Brandstofcellen"), Zijn er speciale eisen waaraan mensen die zullen gaan werken met deze techniek aan moeten voldoen om met deze techniek te **kunnen/mogen** werken?
- Voordelen en nadelen tov huidige manier van energie **produceren/verbruiken**
 - lokaal opwekken betekend weinig energieverliezen door transport
 - geen beweging dus weinig of geen mechanisch geluid, weinig slijtage en dus minder onderhoud
 - ...
- Wanneer brandstofcel "versleten" is, (10 jaar?) wat dan, restafval (chemisch?)
- Onderhoud: is er periodiek onderhoud nodig (vervangen van onderdelen, katalysator)?
- Betrouwbaarheid (faalkans?). Hoe zit het met overbelasting (kan dit, en hoelang, percentage overbelasting)
- Huidige kosten per kW?
- Uitleg verschillende soorten brandstofcellen:
 - PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)
 - AFC (Alkaline Fuel Cell)
 - PAFC (Phosphoric-Acid Fuel Cell)
 - SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)
 - MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell)
- Zijn er al wereldwijde standaarden op wat voor gebied dan ook betreffende waterstoftechniek?
- Maatschappelijke voor- en nadelen wanneer een waterstofeconomie zal ontstaan.

Nu nog voornamelijk toegepast in auto's en bussen, zijn er al andere toepassingen in testfase in Nederland? (akzo nobel, waterstofgas komt vrij bij industriële processen).

Uitkomsten van dit gesprek:

Als eerst: Integral bleek een IT-bedrijf te zijn waar men erg enthousiast is geraakt voor waterstoftechniek. Veel van de technisch inhoudelijke vragen konden dus niet beantwoord worden. Tijdens dit gesprek heeft Dhr. Sie wel een groot probleem naar voren gebracht waar in de literatuur niet op gewezen wordt. Het **zogenaamde "NIMBY"-probleem** (Not In My BackYard, niet in mijn achtertuin). Het is de bedoeling, wanneer waterstof geproduceerd gaat worden dat de vrijgekomen CO₂ afgevangen wordt en geïnjecteerd wordt in bijvoorbeeld lege aardgasvelden. Op zich hebben consumenten hier geen problemen mee, wanneer dit maar niet bij hen in de buurt plaatsvindt. De consument kent het proces niet en wil het daarom niet in de buurt/hun woonplaats hebben (zie ook het hoofdstuk Maatschappelijke aspecten).

Maandag 14 februari,
Nedstack, Arnhem (telefonisch gesprek)
Gesprek met Dhr. E. Middelman

Doel van dit gesprek:

Doel **van** dit telefonisch gesprek was te vragen of het mogelijk was om langs te komen voor een gesprek omdat Nedstack één van de weinige producenten van brandstofcellen in **Nederland/Europa** is. Hier valt een schat aan informatie te halen wat betreft inhoudelijke informatie betreft het toepassen van brandstofcellen in de gebouwde omgeving. Wat **zijn** de mogelijkheden in de gebouwde omgeving, en wat is absoluut **niet** mogelijk. Helaas was er geen tijd om eens langs te **gaan** voor een gesprek, en is het bij een telefonisch interview gebleven. Dit was niet voorbereid, dus enkele vragen gesteld die in mij opkwamen.

Een belangrijk detail dat naar voren is gekomen tijdens dit gesprek, is dat op termijn grootschalige energieopwekking door middel van brandstofcellen goedkoper zal zijn dan dat nu gebeurt met de huidige conventionele energiecentrales. Voor een **energiecentrale** geldt een prijs van ongeveer 500 €/per kW om te installeren. Op termijn zal voor brandstofcellen een prijs gelden van +/- 300 €/kW bij hoogwaardige stationaire toepassingen (= energieopwekking). Ook vertelde Dhr. Middelman dat in 2007 de **brandstofcellensystemen** voor stationaire toepassingen goedkoper zijn dan huidige manier van **energieopwekking**. Verder geldt als vuistregel dat het verbruik van waterstof in brandstofcellen ongeveer 1 nm³/kWh. In de praktijk is dit **verbruik** iets beter.

Dinsdag 15 februari,
Energieonderzoekscentrum Nederland (ECN), Petten
Gesprek met Dhr. van der Molen

Doel van dit gesprek:

ECN houdt zich onder andere veel bezig met ontwikkeling van brandstofcellen. Dhr. van der Molen is hier intensief mee bezig geweest. Ook hier was doel om antwoord te krijgen op diverse openstaande vragen (en uitzoeken of er tegenstrijdige antwoorden zouden komen tegen bijvoorbeeld antwoorden van Dhr. Middelman).

Zoals al eerder vermeld is dezelfde vragenlijst toegepast als bij **Integral B.V.** en daarom hier weggelaten.

Uitkomst:

Een van de belangrijke punten die tijdens dit gesprek naar voren kwam is dat CO (koolmonoxide) zeer schadelijk is voor brandstofcellen, en dat het percentage CO in de inlaatlucht van de brandstofcel dus heel laag moet zijn (maximaal 10 ppm). Ook is er gesproken over het probleem dat waterstof kleur-, smaak- en geurloos is, en hoe dit opgelost moet worden. Het is niet mogelijk om zwavel bij te mengen zoals bij aardgas omdat zwavel óók (net als CO) zeer schadelijk is voor brandstofcellen.

Tevens de antwoorden van Dhr. Middelman meegenomen, en Dhr. van der Molen was het absoluut niet eens met Dhr. Middelman dat in 2007 brandstofcelssystemen goedkoper zijn dan de huidige manier van energieopwekking. Ook de genoemde prijs van 500 €/per kW is niet reëel, de huidige prijs op het moment van het interview was ongeveer 3000 €/per kW. Ook heeft Dhr. van der Molen verteld dat bijmengen met aardgas geen reële optie om waterstof in te zetten.

Maandag 28 februari,
E-TEC, Alkmaar
Gesprek met Dhr. P. de Jong

Doel van dit gesprek:

Om een goed vergelijk tussen brandstofcellen en aggregaten op te kunnen zetten ben ik bij E-tec op bezoek geweest om enkele vragen beantwoord te krijgen en diverse technische gegevens te verkrijgen van de aggregaten die ik wilde opnemen in het vergelijk. Deze vragenlijst is voor het gesprek al via de mail verstuurd omdat er diverse technische gegevens opgezocht moesten worden.

Hieronder de vragenlijst die opgesteld is voor dit gesprek:

- **Aanschafprijs** (20 kW, 200 kW) aggregaat
Misschien folder met alle technische gegevens van beide aggregaten:
 - onderhoudsinterval
 - olieinhoud
 - kosten olie-, lucht-, brandstoffilter
 - tijd filters vervangen
- Extra groot onderhoud?
 - per jaar
 - per 5 jaar
 - per 10 jaar
- Levensduur (**onafhankelijk** van het aantal draaiuren, wordt een noodstroomaggregaat na een bepaald aantal jaren vervangen? Zie ook onderstaand punt)
- Levensduur (na hoeveel draaiuren wordt een noodstroomaggregaat vervangen, of gaat dit na kwalitatieve testen van de werking van het noodstroomaggregaat)
- Verbruik (vuistregel → bepaald aantal liters per uur per opgewekte kwh?)
- Gemiddeld aantal draaiuren per jaar van een noodstroomaggregaat (wanneer in een gebouw toegepast, inclusief testen)
- Periodiek testen nodig of alleen na een bepaald aantal **draaiuren**? Zo ja, hoe vaak (1x per jaar?)
- Overbelasting van aggregaat? Hoeveel toegestaan voordat aggregaat afschakelt.
- Opstarttijd? 20/200kW

Lijst eisen voor een aggregaat, kunnen systemen hier aan voldoen? Dit komt uit een bestek van een **treintunnel** en is misschien niet representatief.

De noodstroomvoorziening moet een 3-fasen installatie met naar buiten gevoerde nul zijn.

In geval van een aggregaat moet aan de navolgende eisen worden voldaan:

De noodstroomvoorziening moet geschikt zijn voor parallelbedrijf aan het openbare net.

Bij belastingsvariaties tussen nullast en vollast mag de spanning dalen tot :

- 80% van de nominale spanning gedurende 150 ms.
- 50% van de nominale spanning gedurende 60 ms.

De spanning moet regelbaar zijn tussen -5% en +5% ten opzichte van de nominale spanning.

De frequentie moet regelbaar zijn tussen -5% en +5% ten opzichte van de nominale frequentie van 50Hz.

De Energiebron moet geschikt zijn voor een asymmetrische belasting van tenminste 25%.

De noodstroomvoorziening moet bestand zijn tegen één fase kortsluitingen naar nul evenals kortsluiting tussen twee fasen zonder nadelige gevolgen voor de installatie.

De energiebron moet zijn afgestemd op de eventueel door de belasting veroorzaakte harmonische vervormingen.

De isolatieklasse minimaal uitvoeren in klasse F, de ontstoringsklasse G conform VDE 0875.

De 3-fasen kortsluitstroom van de energiebron moet dusdanig groot zijn dat bij noodstroombedrijf de absolute selectiviteit van de gevoede installatie is gewaarborgd.

Indien een generator wordt toegepast dan per generatorwikkeling 3 stuks PTC elementen opnemen voor temperatuurbewaking; één voor de alarmmelding, één voor de tripmelding en één reserve bestemd voor tripmelding.

De eventuele generator voorzien van een thermische beveiliging en een kortsluitbeveiliging.

De totale noodstroomvoorziening moet voldoende groot zijn om het vereiste vermogen van de aangesloten installaties te kunnen leveren inclusief een reservecapaciteit van 15%.

De beschikbaarheid van de totale noodstroomvoorzieningen moet zodanig afgestemd zijn op die van de LV distributie installatie dat in het totaal een beschikbaarheid van tenminste 0,999999 gehaald wordt.

Alle componenten van de noodstroomvoorzieningsinstallatie dienen eenvoudig bereikbaar, vervangbaar en controleerbaar te zijn.

Eventueel voor het onderhoud te verwijderen panelen of dergelijke moeten binnen één minuut, zonder gebruik van w a r e gereedschappen en/of hulpmiddelen door één persoon verwijderd kunnen worden.

Tijdens de test door middel van schrijvende meters vastleggen:

- stroom;
- spanning;
- fkequentie;
- afgegeven vermogen in kW;
- koelvloeistof- en olietemperatuur van de dieselmotor bij gebruik van *dieselaggregaten*.

Een eventueel toegepaste aggregaat zal ondermeer de volgende beproevingen ondergaan:

- a. starten in koude toestand en op *bedrijfstemperatuur* brengen;
- b. gedurende 5 minuten draaien in *nullast*;
- c. gedurende 30 minuten draaien op *vollast*, $\cos \Phi = 1,0$. Variaties van spanning en fkequentie registreren en controleren op eisen;
- d. belasting variëren tussen 0 en 110%. bij een afgegeven spanning van 95% tot 105% van de nominale spanning;
- e. Gedurende 10 minuten laten *draaien in halflast*. Spanning en *frequentie* dienen binnen de grenzen te blijven;
- f. Inschakelen van de "one step load" vanuit onbelaste toestand. Spanning en *frequentie* met snel schrijvende apparatuur vastleggen;
- g. *Afschakelen* van de "one step load" vanuit bovengenoemde toestand. Spanning en fkequentie met snel schrijvende apparatuur *vastleggen*.
- h. *Duurbelastingsproef*.

Uitkomst:

Tijdens deze afspraak heb ik inderdaad de informatie gekregen die ik nodig had voor de vergelijking tussen de brandstofcel en het aggregaat. Er kon dus verder gegaan worden met het opzetten van een vergelijk tussen aggregaten en brandstofcellen.

Verder is er nog gesproken over hoe de firma E-TEC dacht over brandstofcellen. Men had het idee dat de brandstofcel een geduchte **concurrent** zou kunnen worden, maar dat dit nog wel even op zich laat wachten.

Woensdag 9 maart,
Plug Power, Apeldoorn
Gesprek met Dhr. E. de Wit

Doel van dit gesprek: Deze afspraak was om gegevens te verkrijgen van een 20 kW brandstofcelsysteem. Plug Power levert 5 kW brandstofcelsystemen die in serie geschakeld kunnen worden tot een maximaal vermogen van 20 kW. Precies wat nodig was voor het vergelijk tussen brandstofcellen en aggregaten.

Hieronder de vragenlijst die opgesteld is voor dit gesprek:

- Wanneer Gencore (of Gensys) toegepast worden, is er nog subsidiemogelijkheid ondanks dat het systeem al commercieel beschikbaar is? *(opmerking voor de lezer: Gencore en Gensys zijn brandstofcelsystemen die Plug Power levert, zie ook bijlage, beschikbare brandstofcellen)*
- Verbruik van gencore volgens documentatie 40 standaard liter per uur bij 3000watt
Gemaild gekregen: 50 liter verbruik bij 2 uur op 5000watt??
- Aanschafprijs gensys (4x → 230V 50 hz, voor vergelijk aggregaat)
- Lange stilstand een probleem voor beide systemen? (gencore start natuurlijk wel maandelijks even op!)
- Overbelasting, hoe reageert de apparatuur hierop, uitschakeling? Bepaald percentage overbelasting wat de apparatuur voor bepaalde tijd kan hebben (5% overbelasting 10 min bijvoorbeeld?)
- Gensys, hoe is de opgewekte warmte te gebruiken?
- Betrouwbaarheid, hoe groot is de faalkans (vooral bij gensys, uitgebreid(er) systeem)
- Hoeveel toepassingen (wat voor) in Nederland?
- Waterstof is erg vluchtig, geen probleem met lekkage wanneer het systeem (gencore) lang stilstaat?
- Gencore (folder: PEM), gensys: welke soort brandstofcel
- 3 fase systeem beschikbaar (krachtstroom)
- gensys: verbruik op vol vermogen?
- Gensys en gencore: geschikt om parallel aan het net te werken?
- Gencore levert 24 vdc, waarom niet zoals gensys "gewoon" 230v?
- Gencore: volgens folder maximale emissie van water 2 liter per uur, is dit in dampvorm (geen afvoer nodig?) of vloeibaar?
- Bij toepassen gencore, GEEN batterijen (ups) nodig wanneer spanning wegvalt? Zo nee, hoe wordt het wegvallen van de spanning tijdens het opstarten van de brandstofcel opgevangen?
- Leeftijd 10 jaar, waarom dan "versleten"? Is er door ingrepen het apparaat weer goed te maken of is dit niet rendabel?
- Quote uit mail: "Het alternatief, generatoren zijn erg onderhoudsintensief. Deze problemen zijn te ondervangen met een brandstofcel. De initiele kosten kunnen hoger zijn, maar de totale kosten van het gebruik (investering + onderhoud) is vaak lager." Geen aanval, maar is makkelijk om te zeggen. Voorbeeld?
- Wanneer waterstof voorhanden is, is dan gencore geschikt voor continue werking?
- Prijzen filters en waterstofsensoren

Gencore icm hydrogensolar? (*opmerking voor de lezer: hydrogensolar ~~is~~ een type zonnecel wat in experimentele fase is, en uit water direct waterstof produceert*)

Wanneer dit zou kunnen: bij wat voor druk moet de waterstof aan het systeem worden toegevoerd?

Subsidie per opgewekte kwh (opgewekt via brandstofcel)???

Algemene vraag: hoe wordt alles gefinancierd? Er wordt neem ik aan nog niet voldoende apparatuur verkocht om van deze winst het hele bedrijf draaiende te houden??

Lijstje eisen aggregaat, kunnen systemen hier aan voldoen?

Deze lijst is dezelfde als bij de vragenlijst van E-Tec en daarom weggelaten.

Uitkomst:

Tijdens het gesprek werd duidelijk dat het brandstofcelsystemen niet te vergelijken zijn met een **dieselaggregaten**. Toch gevraagd om de technische gegevens die nodig waren om **toch** een soort van vergelijk op te kunnen stellen.

Kleine tegenvaller, echter wel veel belangrijke informatie voor Imtech. Zie ook: Vergelijk Noodstroomaggregaten en brandstofcellen.

Dinsdag 15 maart,
Gasunie, Groningen (gesprek in Nieuwegein)
Gesprek met Dhr. O. Florissen

Dit gesprek is per toeval tot stand gekomen. Ik had enkele vragen betreft het mengen van waterstofgas en aardgas, en naar aanleiding van mijn vragen werd ik uitgenodigd voor een gesprek.

Hieronder de vragenlijst die opgesteld is voor dit gesprek:

Tijdens mijn afstudeeronderzoek naar waterstofenergie lees ik regelmatig over de toepassing van waterstof (een klein percentage) gemengd met aardgas in het aardgasnet. Nu staat in dit soort stukken niet duidelijk wat de bedoeling hiervan is.

Is het de bedoeling dat deze waterstof bij de **eindverbruiker** gescheiden gaat worden van **het** aardgas en dan gebruikt gaat worden of wordt deze mix van 2 gassen gewoon verbrand in de cv-ketels en het gasfornuis?

Mocht het zo zijn dat de mix **gescheiden** gaat worden, hoe zit dit dan wanneer een eindverbruiker geen waterstofapparatuur heeft? wordt de waterstof teruggepompt het leidingnet in? Mocht dit zo zijn, dan kunnen er op verschillende plaatsen in het leidingnet **hoge(re)** concentraties waterstof ontstaan.

Is het ook niet zo wanneer er een soortement van **zwanehals** in een gasleiding zit (hoger punt dan de rest van de leiding) dat waterstof zich hier zal ophopen? Waterstof is immers stukken lichter dan aardgas

Kunt u mij misschien iets meer vertellen over het bijmengen van waterstof in het huidige aardgasnet?

Waterstofbrosheid: is het pas een probleem wanneer waterstof en zuurstof "wisselen" in een leiding dat er dan pas waterstofbrosheid optreedt? Of is het zo dat wanneer onbehandeld metaal in aanraking komt dat er altijd sprake is van waterstofbrosheid?

Zijn er al goede coatings die én waterstofdicht zijn én een goede **bescherming** geven tegen waterstofbrosheid? Zo nee, houdt de **gasunie** zich bezig **met** het ontwikkelen van dit soort coatings? Nog andere partijen die zich **hiermee** bezig houden?

Hoe denkt de **gasunie** over een eventuele waterstofeconomie? Zal het huidige aardgasnet omgebouwd worden of zal er een waterstofnet aangelegd worden?

Wanneer het aardgasnet omgebouwd gaat worden is het wel zo dat er (veel) meer overlast zal zijn voor de eindverbruiker. Ten eerste omdat **hij** MOET omschakelen naar een brandstofcel (hij heeft geen aardgas meer voor bijvoorbeeld cv). Ten tweede zal de omschakeling in een paar grote (en dus moeilijke) stappen moeten gaan, grote gebieden moeten van het ene op het andere moment de omschakeling maken wanneer het aardgasnet omgebouwd wordt.

Hoe worden lekkages opgespoord (**flowmeting** begin – eind, detectieapparatuur)? Het is belangrijk dat lekkages opgespoord worden, het gas is kleurloos en geurloos, en een geurstof bijmengen (meestal zwavel) is geen optie, dit is zeer schadelijk voor brandstofcellen!

Hoe zullen leidingen “afgetakt” worden? Hiervoor zullen ook speciale appendages voor ontwikkeld moeten worden. Ik neem aan dat de simpele knelkoppelingen niet (meer) zullen voldoen.

Bestaan er ook niet zwavelhoudende geurstoffen als toevoeging? In het aardgasnet zit nu een zwavelhoudende geurstof, echter is zwavel zeer schadelijk voor brandstofcellen. Echter is het (eigenlijk) wel zaak dat **wanneer** er een geurstof aan de waterstof wordt toegevoegd dat deze ongeveer hetzelfde ruikt, want (bijna) iedereen kent de typische “gaslucht”.

Uitkomst:

Tijdens dit gesprek is pas echt naar voren gekomen welke problemen er nog zijn te overbruggen, en hoe groot deze problemen zijn die nog moeten worden **overwonnen**. Voorbeeld: Nederland **verbruikt** per jaar 40 miljard m³ aardgas. Wil men omschakelen naar een complete waterstofeconomie en dus geen aardgas meer verbruiken, zal de energetische waarde van de 40 miljard m³ aardgas geleverd moeten worden door waterstof. 1 m³ waterstof bevat echter slechts een derde van de hoeveelheid energie van 1 m³ aardgas. Er zal dus per jaar 120 miljard m³ **geproduceerd** (!) moeten worden (in tegenstelling tot aardgas, dat opgepompt kan worden uit de grond). De enige manier om deze hoeveelheid waterstof enigszins “schoon” te **produceren** is door middel van kernenergie. Maar wanneer alleen het woord kernenergie al genoemd wordt, ontstaan er direct protesten van diverse groeperingen en is dit dus in de nabije toekomst geen optie.

Verder is het bijmengen van aardgas besproken, zie hiervoor het hoofdstuk, transport van waterstof.

Opmerking: Weer een botsende mening, en ditmaal met Dhr. van der Molen van ECN, want volgens Dhr. Florissen is bijmengen van aardgas weldegelijk een goede optie om waterstof in te zetten om het milieu te ontzien.

Maandag 11 april,
Imtech Infra, Nieuwegein
Gesprek met Dhr. B. Damman

Doel van het gesprek: (toekomstige) mogelijkheden onderzoeken voor het onderdeel Imtech Infra binnen de Imtech-groep.

Voorbeelden van mogelijkheden voor Imtech Infra zijn bijvoorbeeld het aanpassen van het huidige aardgasnet wanneer besloten wordt om waterstof te gaan bijmengen. Deze aanpassingen bestaan uit het plaatsen van waterstoftoevoerinstallaties en het plaatsen van membranen zodat er pure waterstof uit het mengsel van aardgas en waterstof gehaald kan worden.

Wanneer op termijn eventueel omgeschakeld gaat worden naar een compleet (nieuw) **waterstofnet** dan zou dit grote mogelijkheden kunnen bieden. Wanneer een compleet nieuw **waterstofnet** aangelegd gaat worden, en **Imtech-Infra** zich goed kan profileren in deze markt, dan kan er een enorme hoeveelheid werk uit voortvloeien in de vorm van het aanleggen van leidingen en het realiseren/aanpassen van bedrijfs- en huisaansluitingen.

De huidige werkzaamheden van Imtech **Infra** zijn **het** aan- en verleggen van gasleidingen, het aan- en verleggen van waterleidingen, en het aanleggen en onderhouden van verkeerslichtinstallaties.

Hieronder de vragenlijst die opgesteld is voor dit gesprek:

- Wat doet imtech **infra** met betrekking tot **gas(leidingen)**
- Wat zijn problemen die voorkomen bij het leggen van gasleidingen die imtech **R&D** misschien kan oplossen (doorontwikkelen van leidingen **en/of** leidingdelen)
- Heeft Imtech **Infra** zich al beziggehouden met een eventuele transitie naar een **waterstofeconomie**?
- Voor zover bekend, hoever staat de ontwikkeling van membranen om een mengsel van waterstof en aardgas weer te scheiden?
- Andere punten met betrekking tot waterstof **en/of** gasleidingen waar **Imtech R&D** iets mee zou kunnen.

Uitkomsten:

Tijdens dit gesprek is gebleken dat Imtech Infra zich nog niet bezig heeft gehouden met waterstoftechniek op wat voor manier dan ook. Dit gesprek heeft geen verdere nuttige informatie voor mijn onderzoek opgeleverd, wel wilde zichzelf op de hoogte gaan houden van eventuele ontwikkelingen op de waterstofmarkt omdat daar een markt voor Imtech Infra zou kunnen ontstaan.

Donderdag 14 april,
Imtech R&D, Den Haag
Gesprek met Dhr. T. Huibens en Dhr. R. Houtenbos

Doel van dit gesprek: Dit gesprek sluit aan bij het gesprek van Imtech **Infra**. Ook hier ben ik gaan praten voor eventuele mogelijkheden voor Imtech R&D. Het idee was dat de R&D afdeling op vele verschillende gebieden R&D uitvoerde, echter toen ik er was bleek dat men alleen onderzoek doet betreffende klimaatbeheersing. Voor Imtech R&D zijn er weinig tot geen mogelijkheden wanneer zij zich alleen blijven bezighouden met R&D betreffende klimaatbeheersing.

Verder is er nog met andere partijen contact geweest via de telefoonmail zoals:

- | | |
|--------------------------------|--|
| HoekLoos: | Producent van installaties die waterstof produceren (reformers), ook leveren zij gasflessen die afgevuld zijn met waterstof op locatie.
resultaat: algemene informatie over waterstofproductie |
| AirProducts: | Een van de grootste waterstofproducenten ter wereld.
resultaat: naar aanleiding van informatieaanvraag een verwijzing naar ECN |
| Ecofys: | Een onderzoek- en adviesbureau voor energiebesparingen en duurzame energietoepassingen.
resultaat: enkele vragen via de mail beantwoord gekregen. |
| SenterNovem: | Instantie in Nederland die bepaalt wie welke subsidies toegewezen krijgt.
resultaat: verwijzing naar de internetsite van SenterNovem . |
| Hexion: | Waterstofproducent voor verschillende toepassingen binnen de automotive, industriële processen en toepassingen met brandstofcellen.
resultaat: Geen reactie |
| Siemens Nederland: | Ontwikkelaar en producent van een SOFC-Brandstofcel.
Resultaat: verwijzing naar de internetsite van Siemens |
| Sensistor-Technologies: | Leverancier van waterstofdetectieapparatuur.
Resultaat: diverse gegevens van mobiele waterstofdetectieapparatuur die niet van verder belang zijn voor het onderzoek. |
| NEN: | Opstellen van wet- en regelgeving. Op dit moment is men bezig met het opstellen van een NEN-norm voor toepassen van waterstof en brandstofcellen. |

5 Inleiding waterstof en brandstofcellen

Hier een korte technische inleiding zodat men bekend is met verschillende termen die genoemd gaan worden.

Tekst die *cursief* getypt is, zijn begrippen die nog besproken worden.

5.1 Waterstof

Waterstof beter bekend als H_2 , is het kleinste molecuul wat er op aarde voorkomt. Waterstof is de stof die verbruikt wordt in het proces van energieopwekking wat plaatsvindt in de **brandstofcel**. Waterstof is niet zomaar uit de grond op te pompen zoals olie, maar moet geproduceerd worden. Daarom is het dus een energiedrager en geen energiebron, dit wordt vaak vergeten!

5.2 Productie van waterstof

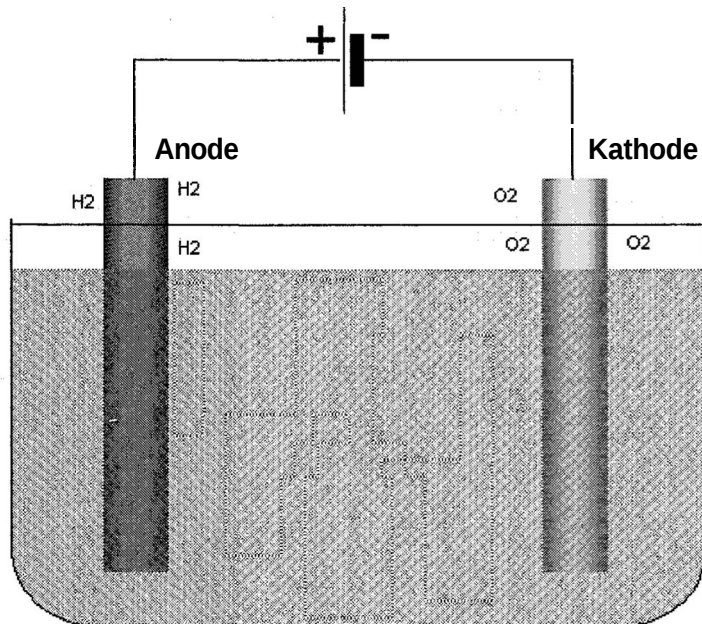
Er zijn 2 gangbare manieren om waterstof te produceren, steam **reforming** (het **reformen** van aardgas) of **elektrolyse**. 99% van de geproduceerde waterstof op dit moment is geproduceerd door middel van steam **reforming**, omdat dit op het moment de meest makkelijke manier is. Elektrolyse is in opkomst, omdat dit één van de weinige manieren is (en misschien wel de enige) om waterstof schoon (dus zonder enkele milieuverontreiniging) te produceren. De verbruikte elektrische energie tijdens dit proces moet dan wel "groen" zijn (wind/water/zonne-energie).

5.2.1 Reformen

Reformen is het produceren van waterstof uit bijvoorbeeld aardgas. Het kan ook uit andere chemische stoffen zoals olie, diesel, nafta enz. maar meestal gebruikt men aardgas. Men verhit de aardgas met hete stoom zodat dit uit elkaar valt in verschillende stoffen waaronder waterstof. Deze waterstof is er direct uit te halen, meestal gaat men nog één stap verder. De mix van stoffen (waaronder dus de waterstof) wordt nogmaals behandeld waardoor het percentage waterstof nog stijgt en er dus meer waterstof verkregen wordt.

5.2.2 Elektrolyse

Ook door middel van elektrolyse kan waterstof geproduceerd worden. Men plaatst 2 elektroden in water, en zet hier elektrische gelijkspanning op. Het water (H_2O) gaat zich aan de elektroden splitsen. Bij de plus ontstaat waterstof en bij de min ontstaat zuurstof.



5.3 Brandstofcel

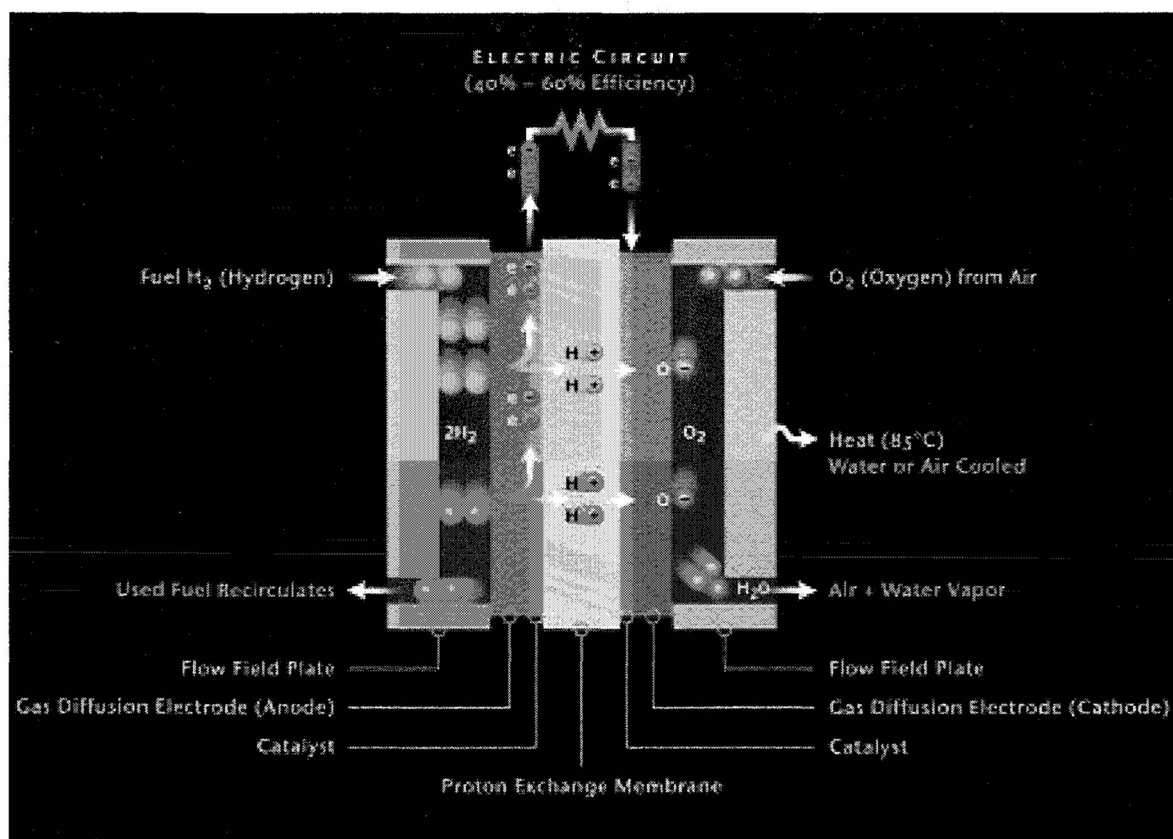
De brandstofcel heeft overeenkomsten met een batterij. Het grootste verschil tussen een brandstofcel en een batterij is dat bij een brandstofcel continu een stof (waterstof) verbruikt wordt, en er dus een constante toevoer van deze stof moet zijn, en bij batterijen niet.

Er zijn diverse soorten brandstofcellen met verschillende werkingstemperaturen. Meestal wordt er gesproken over hoge temperatuur brandstofcellen (werkingstemperatuur tussen 600 en 1000 graden) en lage temperatuur brandstofcellen (werkingstemperatuur tussen de 50 en 200 graden).

5.4 Werking brandstofcel.

De werking van een brandstofcel wordt duidelijk aan de hand van Figuur 2.

Waterstof wordt aangevoerd aan de anode, lucht (met daarin zuurstof die nodig is voor de reactie) aan de kathode. Tussen de elektroden is een elektrolyt (ook wel membraam genoemd) aanwezig, het soort elektrolyt bepaald de naam/soort van de brandstofcel, op de afbeelding staat een Proton Exchange Membrane, en dus een PEM brandstofcel. De waterstof wordt gescheiden in protonen en elektronen. De protonen trekken door het elektrolyt heen. De belasting wordt gevoed door een elektronenstroom die buiten de brandstofcel om geleid wordt. De elektronen kunnen namelijk niet door het elektrolyt heen. Aan de kathode reageren de protonen en de elektronen samen met de zuurstof tot water. Op deze manier is elektrische energie opgewekt.



Figuur 1: Principeschema van de werking van een brandstofcel.

6 Hoofdvraag

Hoe wordt de elektrische / kinetische energie opgewekt met behulp van waterstofenergie, inclusief diverse mogelijkheden van **energieomzetting** (naar elektriciteit en warmte / evt. koeling), dit geïmplementeerd binnen gebouwgebonden installaties.

Door waterstof in een brandstofcel te laten **reageren** met zuurstof, en de elektronen die bij dit proces vrijkomen door een extern circuit met een belasting te leiden, wordt elektrische energie geleverd. De vrijgekomen elektrische energie is altijd een **gelijkspanning**. Wanneer er wisselstroomtoepassingen gevoed moeten worden (wat meestal het geval is) heeft men een **inverter** nodig die de **gelijkspanning transformeert** in een wisselspanning met het juiste voltage. Wanneer men een brandstofcelsysteem besteld is meestal een keuze te maken tussen diverse **inverters** die in de behuizing van het brandstofcelsysteem ingebouwd zitten.

Dan rest de vraag, is het nu technisch en economisch haalbaar om een brandstofcelsysteem in de gebouwde omgeving toe te passen?

6.9 *Vergelijk brandstofcel met noodstroomaggregaat*

Om te **kijken** of het technische en economisch haalbaar is, heb ik een vergelijking opgesteld tussen een 20 kW brandstofcelsysteem en een aggregaat, en een 200 kW brandstofcelsysteem en een aggregaat.

Dit omdat de brandstofcel waarschijnlijk in eerste instantie een concurrent kan worden van aggregaten, en dit ook een van de eerste mogelijkheden voor Imtech zou kunnen zijn om een project te starten met een brandstofcel. De vergelijking is opgesplitst in 2 “**vermogensgroepen**”. Een vergelijking tussen een brandstofcel en aggregaat van 20 kWe (20 kW elektrisch vermogen), en een vergelijking tussen een brandstofcel en een aggregaat van 200 kWe. Dit omdat er diverse typen brandstofcel systemen zijn voor verschillende **vermogensgroepen**.

Voor informatie over de aggregaten ben ik op gesprek geweest bij E-TEC in Alkmaar. Voor informatie van een 20 kWe brandstofcel ben ik bij Plug Power geweest in Apeldoorn. Om de vergelijking zo “echt” mogelijk op te stellen heb ik een pakket van eisen uit een bestek meegenomen waaraan het aggregaat dat in dat project geplaatst zou worden aan moest voldoen. Het is natuurlijk zo dat wanneer een aggregaat **eventueel** vervangen zal worden door een brandstofcel, dat het brandstofcelsysteem **minimaal** aan dezelfde eisen voldoet als het aggregaat. Het **betreft** hier dan belangrijke punten, zoals kortsluitvastheid, hoeveelheid overbelasting, wanneer de energievoorziening nog steeds gewaarborgd blijft, enzovoorts. Voor de specificaties van een 200 kWe brandstofcel heb ik gegevens gebruikt van het PureCell™ 200 Power System, zie ook bijlage 3, Beschikbare brandstofcellen. Ook heb ik contact gehad met de Amerikaanse leverancier van dit systeem. Deze wilde mij geen extra technische gegevens geven dan wat er op het Internet stond, wel heeft hij mij de richtprijs van een compleet systeem gegeven.

De vergelijking tussen brandstofcellen en aggregaten heeft onder andere plaatsgevonden op onderstaande punten:

Aanschafprijs;
Onderhoud per jaar;
Levensduur;
Betrouwbaarheid (faalkans);
Subsidiemogelijkheid;
Verplichting tot periodiek testen;
Brandstofniveaumeting.

Overzicht 20 kWe brandstofcel/aggregaat

Brandstofcel	Aggregaat	
Aanschafprijs:	+/- 45.000 €	+/- 11.000 €
Onderhoud per jaar:	max. 1 uur	+/- 5 uur.
Onderhoudskosten:	+/- 150 (excl. werkuren)	+/- 1300 (incl. werkuren)
Levensduur*1:	min. 1500 uur	min. 10.000 uur
Betrouwbaarheid:	(nog) geen gegevens	99,9999 *2
Subsidiemogelijkheid:	per project informeren	geen
Periodiek testen:	maandelijkse zelftest	ja, maandelijks
Brandstofniveaumeting:	alarm bij vooraf ingesteld niveau	optie

*1 Uitgaande van een draaitijd van maximaal 50 uren per jaar, meestal is het minder (inclusief testen), is bij een gestelde levensduur van 15 jaar, een levensduur van 750 uur voldoende, hier voldoen beide apparaten ruimschoots aan. Apparatuur wordt meestal vervangen door ouderdom en niet door het aantal draaiuren

*2 Wanneer het aggregaat als noodstroomaggregaat is opgesteld (voeding is in normaal situatie netvoeding)

Tijdens het uitzoeken en verwerken van de gegevens bleek dat voor de 20 kWe versie die geselecteerd was voor de vergelijking, het moeilijk was om deze te vergelijken met een aggregaat. Ten eerste omdat het brandstofcelsysteem ontwikkeld was om telecomsystemen van noodstroom te voorzien, en de uitgangsspanning van het systeem naar keuze 24V, of 48V gelijksspanning levert. Dit systeem voldoet wel aan de eisen waaraan een aggregaat ook moet voldoen, dus zou eventueel met een inverter toch de gewenste spanning gerealiseerd kunnen worden. Wanneer deze keuze gemaakt zou worden, brengt dit uiteraard extra kosten met zich mee **en** tevens neemt de **faalkans** toe omdat er een extra apparaat wordt toegevoegd in de keten van energieopwekking.

Wat direct opvalt, is het prijsverschil tussen beide systemen. Hierbij is het zo dat wanneer **men** subsidie kan **verkrijgen** voor een project, dat de prijsverschillen gedeeltelijk opgeheven worden. Zeker wanneer men kijkt naar de jaarlijkse onderhoudskosten, zou op termijn het brandstofcelsysteem als goedkoopste optie uit de bus komen. Het is echter niet te zeggen wanneer er subsidie te **verkrijgen** is. Dit wordt per project beslist.

Ook heeft de brandstofcel enkele interessante mogelijkheden. Zo kan men van afstand **inbellen** (via een vaste lijn) om de actuele status van het systeem te monitoren. Ook geeft het systeem een alarmmelding wanneer de waterstofvoorraad een vooraf ingesteld minimum bereikt. Verder is voor beide systemen (brandstofcel en aggregaat) lange stilstand geen probleem. Voordeel van de brandstofcel ten opzicht van het aggregaat, is dat het

brandstofcelsysteem maandelijks zichzelf opstart en een zelftest uitvoert, terwijl men dit bij het aggregaat handmatig moet doen (wel kan de klant dit eventueel zelf doen).

Ander voordeel van de brandstofcel is dat er geen externe batterijen nodig zijn om een opstartperiode te overbruggen, wat bij het aggregaat wel nodig is.

Nadeel van een aggregaat is wanneer deze binnen geplaatst moet worden, dat er voorzieningen getroffen moeten worden voor de rookgasafvoer en koele toevoerlucht omdat het koelwater van het aggregaat gekoeld moet worden. Voor de brandstofcel voldoet een afvoerputje voor het water dat vrijkomt tijdens de elektrochemische reactie.

Om deze vergelijking iets meer te kunnen complementeren is er contact geweest met NedStack voor aanvullende informatie van een 20KW systeem dat zij in het leveringsprogramma hebben, hier zijn echter geen technische specificaties van ontvangen.

Overzicht 200 kW brandstofcel/aggregaat

	Brandstofcel	Aggregaat
Aanschafprijs:	+/- 1.000.000 €	+/- 35.000 €
Onderhoud per jaar:	geen gegevens	+/- 5 uur.
Onderhoudskosten:	geen gegevens	+/- 1500 (incl. werkuren)
Levensduur*1:	geen gegevens	min. 10.000 uur
Betrouwbaarheid:	99.9999	99,9999 *1
Subsidiemogelijkheid:	per project informeren	geen
Periodiek testen:	geen gegevens	ja, maandelijks
Brandstofhivaumeting:	vaste aansluiting op aardgas	optie

1 Wanneer het aggregaat als noodstroomaggregaat is opgesteld (hoofdvoeding is in normaal situatie netvoeding)

Net als bij de vergelijking van 20 kW systemen valt ook nu weer het prijsverschil op. Dit keer is het prijsverschil aanzienlijk groter, en kan maar voor een klein gedeelte gecompenseerd worden wanneer men subsidie op een project kan verkrijgen. Ook is hier het vergelijk met een aggregaat niet reëel. Een aggregaat kan binnen 1 á 2 minuten on-line zijn terwijl een hoge-temperatuur brandstofcel, zoals deze, meerdere uren moet opwarmen en dus niet geschikt zou zijn voor vervanging van een aggregaat. Dit soort systemen zijn echt ontwikkeld voor constante energieopwekking. Probleem wanneer men een dergelijk systeem bestelt: er wordt (nog) geen gegarandeerde levensduur afgegeven. Wanneer deze verwachte levensduur gepasseerd is, wordt het gissen hoelang het systeem blijft werken, en is er geen sprake van betrouwbare energielevering. Er is gewoonweg te weinig relevante informatie en ervaring met deze systemen beschikbaar om een gegarandeerde levensduur te geven.

Er zijn systemen met een operationele tijd van 40.000 uur, wat ongeveer 4,5 jaar is. Men geeft dit echter niet als verwachte levensduur op, want deze systemen worden constant aangepast en geoptimaliseerd. Dit wil overigens niet zeggen dat dit een positief effect heeft op de levensduur. Met deze aanpassingen moet eerst weer ervaring worden opgedaan.

Warmteterugwinning.

Wanneer men systemen kiest voor het voeden van gebouwen, is meestal een hoogvermogenend hogetemperatuurbrandstofcelsysteem nodig dat als voordeel heeft dat de restwarmte van dit systeem goed benut kan worden, bijvoorbeeld om het gebouw op te warmen. Het brandstofcelsysteem dat gebruikt is voor de vergelijking tussen de brandstofcel en het aggregaat, levert bijvoorbeeld 900,000 kJ/uur bij 77 graden Celsius of 450,000 kJ/uur bij 139 graden Celsius. Deze waarden gelden wanneer het brandstofcelsysteem op vol vermogen draait.

Verder is in overleg met de fabrikant van het brandstofcelsysteem de temperatuur van de "uitlaat" te verhogen zodat men als restwarmte stoom kan verkrijgen. Deze stoom kan gebruikt worden in diverse industriële processen of door middel van een extra stoomgenerator extra elektrische energie op te wekken, om op deze manier het elektrisch rendement van de totale keten te verhogen.

Conclusie:

Vooralsnog wegen de voordelen van het brandstofcelsysteem niet op tegen het grote prijsverschil in het voordeel van het aggregaat.

Zelfs wanneer een bedrijf bereid is om een investering te doen en een brandstofcel als noodstroomvoorziening of energieopwekking te gebruiken, blijft er een probleem. Wanneer men de brandstofcel als noodstroomunit wil toepassen zal de waterstofopslag zodanig geconstrueerd moeten zijn dat de waterstof niet weglekt bij lange stilstand. Dit zal wederom een bijkomende kostenpost zijn die niet bij de aanschafprijs vermeld is. Wanneer men de brandstofcel wil gebruiken voor permanente energieopwekking zal men een aansluiting op het huidige aardgasnet moeten realiseren. Probleem is dat men op dit soort systemen geen gegarandeerde levensduur afgeeft en er dus eigenlijk als back-up een aansluiting op het vaste net zou moeten zijn. Wanneer dit gedaan wordt is het echter overbodig en duurder om een brandstofcel toe te passen. Enige optie zou zijn om dit als proefproject samen met een fabrikant van brandstofcelsystemen toe te passen om op deze manier de consument kennis te laten maken met een dergelijk systeem. Bijvoorbeeld door een nieuw te bouwen wijk te laten voeden door middel van een brandstofcelsysteem in combinatie met warmteterugwinning (verwarming van huizen door middel van koelwater van het brandstofcelsysteem). Wanneer men dit doet is er grote kans dat er subsidie beschikbaar is. Voordeel voor de fabrikant is dat men ervaring op kan doen over de te verwachten levensduur.

Uit bovenstaand verhaal blijkt dat het technisch zeker haalbaar is om een brandstofcelsysteem toe te passen binnen de gebouwde omgeving. Een 200 kW brandstofcelsysteem heeft ongeveer de afmetingen van een flinke container. Tegenwoordig zijn technische ruimten in diverse panden vele malen groter dan de ruimte die een container inneemt, dus qua afmetingen is het geen probleem. Het is zelfs zo dat wanneer men dit systeem bestelt dat deze in een containerunit geleverd kan worden en zelfs buiten kan blijven staan. Wel zullen koppelingen gemaakt moeten worden met een eventuele bestaande installatie in dit pand. Echter alleen wanneer de voedingsspanning niet erg betrouwbaar hoeft te zijn, of als er een back-up aansluiting op het net aanwezig is. Eerste toepassingen zullen voornamelijk proefprojecten zijn waarbij de brandstofcel energie opwekt, maar wel een netaansluiting voorhanden is wanneer de brandstofcel mocht falen.

Prijstechnisch is het verhaal minder positief. De huidige prijzen van de beschikbare brandstofcellen zijn nog zodanig hoog dat het (zeker zonder subsidie) niet rendabel is om een brandstofcel in te passen in de gebouwgebonden installaties.

Wanneer het zover is dat de prijzen zodanig gedaald zijn dat het rendabel kan zijn om een brandstofcel toe te passen, is het zo dat er verder weinig tot geen aanpassingen gedaan hoeven te worden. Brandstofcel systemen die worden gebruikt voor **energieopwekking** zijn praktisch altijd hoge temperatuur brandstofcellen, die een interne **reformer** hebben en dus aangesloten kunnen worden op aardgas. Het enige probleem dat nog zou kunnen optreden is dat de aanvoerleiding van het gas niet berekend is op het aardgasverbruik van de brandstofcel plus het overige gasverbruik in het pand. Het verbruik van de 200 kW_e brandstofcel dat opgenomen is in het vergelijk tussen het aggregaat, verbruikt bijvoorbeeld gemiddeld 51,25 nm³ (normaalkuub) aardgas per uur.

7 Deelvraag 1: Transport van Waterstof

("transport" van waterstofenergie)

Waterstof kan (net als bijvoorbeeld aardgas) op verschillende manieren worden getransporteerd.

Hieronder de volgende opties:

Transport per vrachtwagen in opslagtanks (vloeibaar of gasvormig);

Transport via het huidige aardgasleidingnet (mengen, of omschakelen naar 100% waterstof);

Transport via een nieuw aan te leggen waterstofleidingnet.

Transport per vrachtwagen, vloeibaar of gasvormig, zal in eerste instantie de manier zijn om waterstof te transporteren. Deze manier van transport is relatief eenvoudig en veel goedkoper dan een compleet waterstofnet aanleggen of het huidige aardgasnet "ombouwen" voor het transport van waterstof. Uiteraard zijn er niet alleen voordelen bij het transport per vrachtwagen.

De hoeveelheden waterstof die per vrachtwagen vervoerd kunnen worden zijn beperkt.

Wanneer de vraag naar waterstof zal stijgen, zullen er zodanig veel vrachtwagens nodig zijn dat de optie om waterstof te gaan bijmengen in het huidige aardgasnet kostentechnisch aantrekkelijker zal worden dan het blijven rijden met vrachtvervoer.

Transport via het huidige aardgasnet kan een interessante optie zijn wanneer er voldoende vraag is naar waterstof zodat deze manier van transport goedkoper zal worden dan het transport via vrachtvervoer.

Het huidige aardgasnet ombouwen naar een pure waterstofleiding zal op de korte en middellange termijn, net als het **aanleggen** van een compleet nieuw waterstofket, niet mogelijk zijn. Er zal een vraag naar aardgas blijven bestaan die eventueel langzaam zal **afnemen**.

Het mengen van aardgas met een klein percentage waterstof is wel een optie. Het **waterstofpercentage** zal zodanig "laag" gehouden worden dat de huidige apparatuur bij de eindverbruiker (Cv-ketels, gasfornuizen) niet vervangen dient te worden. Men praat dan over een percentage waterstof van ongeveer 4%. De aangesloten bedrijven die pure waterstof nodig hebben, **kunnen** dit uit het aardgasnet halen door middel van membranen die het mengsel van aardgas en waterstof scheiden. Ook **zullen** deze membranen de **zwavel** uit het mengsel moeten halen omdat deze zwavel zeer schadelijk is voor brandstofcellen. Op deze manier kan men pure waterstof bij de eindverbruiker verkrijgen zonder al te veel aanpassingen aan het huidige aardgasnet.

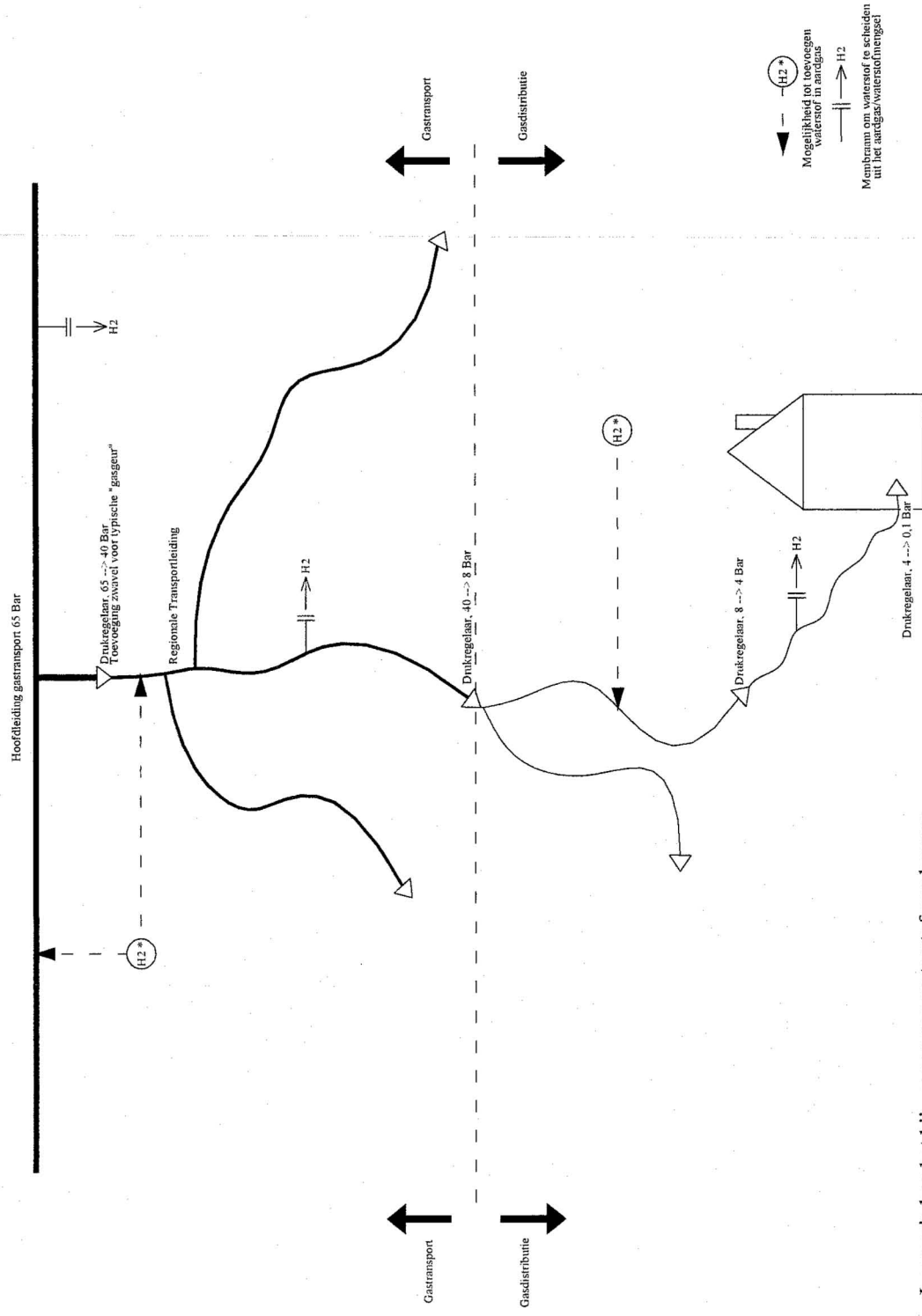
Ervan uitgaande dat er in Nederland per jaar ongeveer 40 miljard m³ verbruikt wordt (2004) zal de hoeveelheid waterstof die maximaal toegevoegd gaat worden, uitgaande van het verbruik van 2004) ongeveer 1,6 miljard m³ per jaar bedragen.

Transport via een nieuw aan te leggen **waterstofnet** is op de korte en middellange termijn geen optie. De kosten voor een leidingnet op grote **schaal** vergen een zodanige investering dat dit op korte en middellange termijn niet te realiseren is. Eén van de redenen is dat er gigantische investeringen moeten worden gedaan door verschillende bedrijven, zoals de **Gasunie**, terwijl nog helemaal niet zeker is of dit soort grootschalige investeringen wel terug verdiend zullen worden. Ook is het maar de vraag of bedrijven deze kosten wel kunnen dragen.

In procestechnische installaties maakt men al wel gebruik van waterstofleidingen, dit is echter op **kleine(re)** schaal. Leidingwerk en appendages zijn dus wel beschikbaar. Quote uit een gesprek met iemand van de **Gasunie**: "**Als** ik morgen 100 kilometer waterstofleiding wil aanleggen, is dit geen probleem, alleen met grotere diameters is nog weinig ervaring." Het probleem **met** het verbrossen van materialen blijft echter een probleem dat in het achterhoofd gehouden moet worden. Wil men leidingen aanleggen voor het transport van **pure** waterstof dan **kan** men roestvast staal **gebruiken** (duur!), dit is veel beter bestand tegen de verschijnselen van **waterstofverbrossing**.

Er zal een afweging gemaakt moeten worden op welk moment het rendabel wordt om het **huidige** aardgasnet om te bouwen zodat er waterstof bijgemengd kan worden. Maar ook dit ombouwen brengt de nodige investeringen met zich mee. Er zullen toch stukken waterstofleidingen gelegd moeten worden om de plaats **waar** waterstof geproduceerd gaat worden te **verbinden** met de "menginstallatie" in de buurt van de aardgasleiding. Er zullen diverse waterstofproductieunits geplaatst moeten worden, en deze systemen moeten zodanig afgeregeld worden dat de maximale waarde van 4% waterstof niet overschreden wordt, maar dat er voldoende waterstof in het aardgasnet gepompt wordt zodat **afnemers** die pure waterstof **verbruiken** niet zonder aanvoer komen te zitten.

Op de volgende pagina is een impressie te zien hoe het bijmengen en weer scheiden van waterstof in het huidige aardgasnet zou kunnen gaan verlopen.



Impressie hoe het bijmengen van waterstof zou kunnen

Zoals te zien is, is het mogelijk om waterstof bij de uiteindelijke eindverbruiker te brengen zonder al teveel aanpassingen in het huidige aardgasnet. Er zullen ook geen problemen ontstaan bij andere eindverbruikers die geen pure waterstof verbruiken omdat het waterstofgehalte in het aardgas zodanig laag is dat huidige apparatuur hier geen problemen mee heeft.

Wel zijn er enkele consequenties aan het bijmengen van waterstof in het huidige aardgasnet. Waterstof veroorzaakt de zogenaamde waterstofbrosheid, dit houdt in, dat zogenaamde microcracks (haarscheurtjes) in leidingen 20 (!) maal zo snel uitbreiden wanneer zich waterstof in de leiding bevindt.

Deze aardgasleidingen voorzien van een waterstofblokkerende coating aan de binnenkant van de leiding is geen optie. Het zal niet gecontroleerd kunnen worden of deze coatings overal even goed zijn aangebracht. Verder worden aardgasleidingen gecontroleerd door er apparatuur doorheen te sturen, en deze apparatuur onderzoekt de leidingen op scheuren en eventuele andere beschadigingen. Wanneer deze apparatuur door de leidingen zou gaan met een coating tegen waterstof, zou deze apparatuur de coating kunnen beschadigen nádat de leiding gecontroleerd is, en dus eventuele lekkages juist kunnen veroorzaken!

8 Deelvraag 2: Regelgeving en eisen

Waarom moeten mensen en middelen voldoen wanneer zij met waterstof en/of brandstofcellen werken? Vooralsnog is er in Nederland (nog) geen regelgeving betreffende waterstof en brandstofcellen. Wel is er een **normcommissie** bezig om deze regelgeving op te stellen en te documenteren. Voordat deze **NEN-norm** voltooid zal zijn, is nog niet bekend. Gemiddeld komt deze normcommissie 2 á 3 maal per jaar bij elkaar. Tot dusver vallen alle normen betreffende waterstof en brandstofcellen onder de **normgroep** 310197. Waarschijnlijk zal de definitieve norm dus de NEN 310197 worden.

Voor **bedrijven/instellingen** die zich bezig (gaan) houden met waterstof en brandstofcellen is het dus heel moeilijk vast te stellen aan wat voor regelgeving zij zich moeten houden. Natuurlijk moet men zich houden **aan** de geldende arbo-regelgeving, en andere geldende normen en eisen, maar dat spreekt voor zich. Door verschillende partijen wordt bij het werken met waterstof of brandstofcellen de Europese of Amerikaanse regelgeving aangehouden, andere partijen doen dit juist niet, om zo een groot mogelijke vrijheid te hebben om te experimenteren.

Wat **betreft** opleidingen waaraan mensen moeten voldoen is er weinig tot niets geregeld. Van verschillende kanten wordt er geklaagd richting de overheid en het onderwijs dat er geen enkele manier van scholing is richting de huidige techniek van waterstof en brandstofcellen. Er zullen binnen niet al te lange tijd diverse cursussen en opleidingen ontwikkeld moeten worden om aan de (toekomstige) vraag van diverse bedrijven naar **waterstoftechnici** te kunnen voldoen. Gevaar wanneer dit niet gebeurt, is dat Nederland een achterstand krijgt op het gebied van ontwikkeling van brandstofcellen terwijl men op dit moment de ontwikkelingen wereldwijd goed kan bijbenen. Met bedrijven zoals Nedstack en ECN doen de Nederlandse technici goed mee met de rest van de wereld.

Voor buitenlandse regelgeving wordt verwezen naar
Bijlage 2: Commissieplan **normcommissie** 310 197 tabel 2.2.

9 Deelvraag 3: Samenwerkingsverbanden tussen diverse firma's en Imtech.

Bij het opstellen van de afstudeeropdracht is ook gevraagd om te bekijken of er samenwerkingsverbanden te creëren zijn tussen diverse bedrijven met een relevante positie op de (Nederlandse) waterstofenergiemarkt en Imtech om zo een goede marktpositie te verkrijgen op het gebied van waterstofenergie.

Er was vooraf bekend bij zowel de opdrachtgever als de student dat **wanneer** er een eventueel samenwerkingsverband gesloten zou kunnen worden, dat dit op toeval gebaseerd zou zijn. Dit omdat het voor een eventuele brandstofcelproducent, of andere belangrijke speler op de waterstofenergiemarkt, het nog niet interessant is om nu al met een installateur een samenwerkingsverband af te sluiten wanneer de producent hier de eerstkomende jaren geen voordeel mee kan behalen.

Naar aanleiding van dit onderzoek zijn er bij Imtech wel enkele belangrijke namen bekend **van** spelers op de waterstofmarkt zoals NedStack, Hoekloos, ECN enzovoort.

10 Deelvraag 4: Maatschappelijke aspecten

Of waterstof als energiedrager door consumenten geaccepteerd zal worden hangt af van maatschappelijke aspecten zoals veiligheid, infrastructuur, milieuaspecten en, heel belangrijk, kosten. Ook de eerste ervaringen van de consument met een nieuwe technologie zijn erg belangrijk, door middel van media of directe confrontatie (bijvoorbeeld proefprojecten in de omgeving). Deze aspecten dragen bij aan de uiteindelijke acceptatie van waterstof. Gebrek aan acceptatie kan voor een nieuwe technologie ook betekenen dat deze niet wordt geaccepteerd. Een voorbeeld van een technologie die niet is doorgebroken doordat deze niet geaccepteerd is door de consument is kernenergie.

10.7 Veiligheid

Waterstof is een nieuwe techniek, en nu nog niet geheel bekend door de consument, en dus nog niet volledig geaccepteerd. Deze acceptatie hangt nauw samen met het veiligheids- en risicogevoel.

Wanneer waterstof geaccepteerd zal moeten worden door de consument zal het veiligheids- en risicogevoel van deze groep minimaal hetzelfde moeten zijn als bij de huidige brandstoffen. Het grootste gevaar bij het gebruik van waterstof is explosie- en brandgevaar. Door middel van regelgeving en voorschriften moeten deze problemen te ondervangen zijn, en waterstof net zo veilig in het gebruik maken als de huidige brandstoffen.

Waterstof is erg licht, en heeft dus de neiging om zich snel te verspreiden en te vervliegen. Voordeel hiervan is dat er weinig kans is op een explosief mengsel in de buitenlucht en grote open ruimtes. In dichte ruimten is het gevaar op een explosief mengsel groter, maar omdat de waterstof zo licht is zal het stijgen naar het plafond, zodat **wanneer** er een explosie plaatsvindt, dit niet op **grondniveau** is. Verder ontsnapt waterstof door kleine gaten waar andere gassen dit niet doen.

Waterstof kan vlam vatten door een vonk, of door het te verhitten tot de (zelf)ontbrandingstemperatuur. Waterstof ontbrand snel, er is dus weinig ontstekingsenergie nodig. Op zich hoeft dit geen probleem te zijn, want aardgas en een mengsel van **benzinedampen** met lucht hebben dezelfde eigenschappen, en er is dus al veel ervaring hoe men dit probleem kan ondervangen.

Watersof is kleurloos, geurloos en smaakloos, ook brand waterstof praktisch onzichtbaar. Deze **voorstaande** punten zijn zeer belangrijk, en er moeten voorzorgsmaatregelen genomen worden zodat deze **eigenschappen** van waterstof ondervangen worden, bijvoorbeeld door waterstofdetectieapparatuur. Het is namelijk niet mogelijk om net als bij aardgas een geurstof (zwavel) toe te voegen, omdat dit zeer schadelijk is voor brandstofcellen, en dit de levensduur van de brandstofcellen drastisch **verkort**.

In onderstaande tabel is een overzicht te zien van eigenschappen van waterstof in vergelijking met andere gassen met betrekking tot veiligheid.

Tabel 1: eigenschappen van waterstof in vergelijking met andere gassen

Eigenschap	Eenheid	Waterstof	Aardgas	Benzinedamp
Dichtheid gerelateerd aan lucht		0,07	0,55	4,0
Moleculair gewicht	u	2	16	107
Diffusie coëfficiënt	Cm ² /s	0,61	0,16	0,05
Explosie energie	Mj/m ³	9	32	407
Ontvlammingsbereik	Vol%	4 – 75	5 – 15	1 – 8
Ontstekingsbereik	Vol%	18 – 59	6 – 14	1 – 3
Minimum ontstekingsenergie	mj	0,02	0,29	0,24
Vlamsnelheid	Cm/s	346	43	42

Bron: NAS, 2004

Op dit moment zijn een aantal organisaties (bijvoorbeeld de normcommissie 310197) bezig standaarden/normen/regelgeving te ontwikkelen met betrekking tot waterstof(installaties). Deze standaardisering van waterstofapparatuur en samenhangende diensten kan leiden tot **vermindering** van risico's.

Enkele voorbeelden van ongelukken met waterstof die de draagkracht ten opzichte van waterstof bij de consument kunnen verminderen zijn de **Hindenburgramp** en de waterstofbom. In beide gevallen is de link met de huidige waterstoftechniek echter compleet zoek. De ramp met de **hindenburg** was geheel niet te wijten aan ket waterstofgas, dat als drijfgas diende, maar aan de **beschermende** laag van het **frame** van de hindenburg. Met de waterstofbom is het niet anders. De waterstofbom is gebaseerd op een nucleaire reactie die gepaard gaat met hoge drukken en temperatuur. Bij "normaal" gebruik van waterstof is dit niet mogelijk.

Voor de HydroGen3, de brandstofcelauto van General Motors, zijn verschillende veiligheidstesten uitgevoerd door middel van verschillende soorten proeven. Uit botsproeven is voortgekomen dat het voertuig voldoet **aan** de huidige Europese normen voor voertuigen. Voor de veiligheidstesten in garages en werkplaatsen zijn geen richtlijnen, maar gebleken is dat brandstofcelvoertuigen geen extra risico's veroorzaken. In een Noorse tunnel is een proef gedaan waarbij in de tunnel een lek is nagebootst in de tank van een brandstofcelvoertuig. Het resultaat was dat direct na het creëren van het lek en een kwartier later geen ontvlambaar mengsel was ontstaan. Ditzelfde geldt voor een tunnel zonder toegevoegde ventilatie, omdat de natuurlijke luchtstroom altijd voldoende is [bron: GM, 2004].

70.2 **Infrastructuur**

Infrastructuur voor brandstofvoorziening in Nederland is zeer uitgebreid, en goed onderhouden. Deze huidige infrastructuur is echter niet geschikt voor transport van waterstof, en men zal op zoek moeten naar oplossingen om met een zo efficiënt mogelijke oplossing te komen. Ook zal daarbij de daarbij geldende regelgeving niet vergeten moeten worden.

Hoe de infrastructuur en voorzieningen eruit gaan zien in de (nabije) toekomst is nog niet erg duidelijk en zal bepaald worden door toekomstige ontwikkelingen op het gebied van **(transport)toepassingen** van waterstof. Erg belangrijk bijvoorbeeld is hoe de waterstof geproduceerd gaat worden, centraal of decentraal.

Bij centrale productie zal de infrastructuur grotendeels hetzelfde blijven als nu, maar er zullen de nodige aanpassing uitgevoerd moeten worden om de huidige infrastructuur geschikt te maken voor waterstof. Bij de ontwikkeling van een nieuwe **infrastructuur** gebaseerd op waterstof komt een aantal problemen kijken. Een groot probleem is het volgende: Wanneer er geen voertuigen zijn die waterstof tanken zal er geen infrastructuur worden gerealiseerd, maar zonder infrastructuur zal bijna niemand een voertuig willen kopen dat op waterstof rijdt.

Er is echter een partij (Rocky mountains institute, www.rmi.org) die voor dit probleem een “**transitiestrategie**” heeft ontwikkeld dat dit probleem zou kunnen oplossen. De volgende stappen leiden uiteindelijk tot een op waterstof gebaseerde economie:

Decentrale aardgasreformers in gebouwen in combinatie met brandstofcellen voor elektriciteit- en warmteproductie.

Inzetten van waterstof in bussen en taxi's.

Het leasen van brandstofcelauto's aan personen die in, of in de buurt bij de gebouwen met **reformers wonen/werken**.

In daluren gebruik maken van de overcapaciteit van de **reformers** in gebouwen om waterstof te produceren en op te slaan. Dit kan geleverd worden aan meer gebruikers van brandstofcelauto's, of als elektriciteit worden teruggeleverd in de piekuren.

Naarmate de productie van waterstof goedkoper wordt zal het aantrekkelijk worden om de waterstof buiten gebouwen in te zetten, bijvoorbeeld door vulstations voor voertuigen te bouwen.

De waterstofconcurrentie zal toenemen en zo zal de markt zelf bepalen waar waterstof ingezet wordt.

Deze "transitiestrategie" wordt echter **verworpen** door Dhr. J Wilson (auteur bij het blad **Popular Mechanics**, www.popularmechanics.com) vooral doelend op de veiligheid van **reformers** en opslag van waterstof in dichtbevolkte gebieden. Het idee van decentrale productie is Dhr. Wilson het mee eens, maar de veiligheidsaspecten worden als een grote moeilijkheid genoemd voor deze omschakelingsstrategie. Of de aanleg van een grootschalige infrastructuur nodig is, hangt af van de hoeveelheden waterstof die **geproduceerd** gaan worden, en is dus afhankelijk van de vraag naar waterstof.

De kosten van de aanleg van een complexe infrastructuur overeenkomstig **met** het aardgasnet liggen **enorm** hoog, maar de kosten van de geproduceerde waterstof liggen weer lager dan bij decentrale productie.

Decentrale opwekking **heeft** hele andere consequenties op het gebied van infrastructuur en voorzieningen. Decentrale productie van waterstof **heeft** als voordeel dat een afname van transportkosten wordt gerealiseerd, omdat de waterstof vlakbij de **eindverbruiker** wordt geproduceerd.

Zoals al eerder genoemd is, zal een transitie naar een eventuele waterstofeconomie niet ineens gaan. Er zal langzaam omgeschakeld worden door middel van diverse tussenstappen zoals het bijmengen van waterstof in het huidige aardgasnet. Op deze manier kan de maatschappij ook langzaam **wennen** aan het werken met en gebruiken van waterstof.

10.3 *Milieu*

Een van de voordelen voor de invoering van waterstof **als** energiedrager is het milieuvoordeel wat behaald kan worden. Het **terugdringen** of zelfs tot nul terugbrengen **van** schadelijke emissies kan door middel van waterstof gerealiseerd worden (hoewel dit moeilijk **zal** worden). Het gebruik van waterstof brengt ook vragen met zich mee, die pas beantwoord kunnen worden wanneer de waterstof daadwerkelijk gebruikt wordt. Bijvoorbeeld over de hoeveelheid water die nodig is.

Het milieuvoordeel dat te behalen is door over te gaan op waterstof als energiedrager is één van de belangrijkste voordelen voor het gebruik van waterstof. Ook is dit is een belangrijk punt voor het maatschappelijk **draagvlak** voor een **waterstofeconomie**. Een brandstofcelauto dat rijdt op waterstof stoot geen emissies uit die van **invloed** zijn op de lokale luchtkwaliteit, en de plaatselijke vervuiling zal dus **afnemen**. Ook geluidsoverlast wordt gedeeltelijk verminderd door het gebruik van brandstofcellen in auto's, omdat brandstofcellen stukken stiller zijn dan verbrandingsmotoren. Deze voordelen spreken mensen direct aan, omdat ze lokaal en direct van invloed zijn op de leefomgeving. Het argument dat de CO₂-**emissie** kan worden teruggedrongen heeft meer invloed op de wereldwijde situatie, en spreekt een grote groep mensen minder aan omdat dit in de categorie "ver van mijn bed-show" valt. Deze **vermindering** van CO₂-uitstoot draagt wel bij aan realisatie van de emissiedoelstellingen/eisen van het Kyoto-protocol.

10.4 *Communicatie*

Het maatschappelijk draagvlak wordt beïnvloed door de manier hoe, en de hoeveelheid waarmee over een nieuwe technologie wordt gecommuniceerd met consumenten.

10.4.1 Voorbeeldprojecten

In het algemeen is het doel van voorbeeldprojecten op het gebied van waterstof ervaring op te doen, en het publiek kennis te laten maken met de nieuwe techniek.

Het grootste voorbeeldproject dat momenteel in Europa loopt is het CUTE-project (Clean Urban Transport for Europe).

Hier worden in 9 Europese steden elk 3 bussen ingezet voor het openbaar vervoer die rijden op waterstof. In deze steden worden de benodigde waterstofproductieunits en tankstations aangelegd. Binnen het CUTE-project worden verschillende technieken voor de productie van waterstof ingezet. In Amsterdam vindt de waterstofproductie plaats door middel van elektrolyse op basis van groene stroom (dus compleet emissievrij). Alle bussen rijden op gasvormige waterstof onder druk in cilinders. Onderstaand tabel geeft een overzicht van de wijze van waterstofproductie in de aangesloten steden bij het CUTE-project.

Tabel 2: overzicht van de wijze van waterstofproductie in de aangesloten steden bij het CUTE-project.

Plaats	Productie	Transport van product naar uitgifte
Amsterdam	Groene stroom, onsite elektrolyse	N.V.T.
Barcelona	Zonnepanelen en netspanning, onsite elektrolyse	N.V.T.
Hamburg	Groene stroom, onsite elektrolyse	N.V.T.
London	Raffinaderij (olie/gas)	Vrachtwagens in vloeibare vorm
Luxemburg	Extern	Vrachtwagens in gasvorm
Madrid	Extern / onsite aardgasreforming	Vrachtwagens in gasvorm
Porto	onsite aardgasreforming	N.V.T.
Reykjavik	Geothermische productie en groene stroom, onsite elektrolyse	N.V.T.
Stockholm	Elektriciteit uit waterkracht, onsite elektrolyse	N.V.T.

Gekoppeld aan het CUTE-project is het Accept H2-project, dat in 5 steden de publieke opinie over waterstofbussen in kaart brengt. Het onderzoek is gericht op de situatie voor en na de introductie van de waterstofbussen. Naast de invloed van het CUTE-project op de publieke opinie binnen de steden waar het project loopt wordt ook de mening van mensen gepeild om meer te betalen voor duurzaam transport. De maatschappelijke knelpunten die uit het project naar voren komen worden gebruikt voor aanbevelingen voor de opzet van toekomstige voorbeeldprojecten zodat de positieve invloed op de consument van deze projecten maximaal is.

In Duitsland is een project opgezet op het vliegveld van München, waar twee verschillende tests draaien die onderling zijn verbonden (letterlijk en figuurlijk). Ten eerste rijden 3 bussen op gasvormig waterstof, op het vliegveld. Deze gasvormige waterstof wordt op het vliegveld geproduceerd door middel van elektrolyse. Naast deze bussen is er een tankstation voor vloeibaar waterstof buiten het vliegveld, dat publiekelijk toegankelijk is. Dit tankstation is volautomatisch, waarbij een robot de voertuigen aftankt.

Vloeibaar waterstof wordt door vrachtwagens aangevoerd vanaf een vlakbij gelegen productie-unit. De twee waterstoftankstations zijn gekoppeld, zodat (wanneer nodig) vloeibaar waterstof op locatie kan worden omgezet in gasvormig waterstof.

Op 3 mei 2004 is de 'HydroGen3', een voertuig gebaseerd op de Opel Zafira, een reis door 14 Europese landen begonnen, waarbij een afstand van ongeveer 10.000 kilometer is afgelegd. De reis was onderverdeeld in 20 delen waarbij ieder deel door een journalist of bekende inwoner van een Europees land werd bestuurd. Het voertuig heeft een 60kW/82pk elektrische motor, rijdt op vloeibare waterstof en heeft een actieradius van 400 km en een topsnelheid van 160 km/uur. Op 11 juni 2004 is deze reis geëindigd in Portugal.

In Californië, Amerika, wordt momenteel gewerkt aan een waterstofsnelweg (Californian Hydrogen Highway), wat inhoudt dat langs de belangrijkste snelwegen van Californië ongeveer elke 32 kilometer een waterstoftankstation wordt gebouwd. Het project loopt tot 2010 en zal tussen de \$75 en \$200 miljoen gaan kosten. Op 20 april 2004 is het eerste waterstoftankstation in UC Davis officieel geopend door gouverneur Schwarzenegger.

Buiten deze maatschappelijke voorbeeldprojecten om zijn de volgende projecten opgezet.

Door de **Gasunie** is een voorstel gedaan in het kader van het Sixth Framework Programme (FP6) van de Europese Unie voor **NATURALHY**, een project dat de mogelijkheden onderzoekt op gebied van infrastructuur voor waterstof en aardgasmengsels. Voor dit Europees georiënteerde project zijn 38 partners aangetrokken en is een budget van 11 miljoen euro beschikbaar.

Binnen de chemische industrie komt waterstof soms als bijproduct wij, bijvoorbeeld bij **AKZO Nobel**. Dit chemieconcern is een samenwerkingsverbandaangegaan met **Nedstack**, om een elektriciteitscentrale naast een chloorelektrolysefabriek neer te zetten. Deze centrale zet het **vrijgekomen** waterstof direct weer om in elektriciteit door middel van brandstofcellen en levert deze elektriciteit terug aan de fabriek. Hierdoor kan het elektriciteitsverbruik van het proces worden teruggebracht met 20% en tevens worden de schadelijke emissies teruggedrongen. Momenteel is het project nog een haalbaarheidsstudie en wordt het gefinancierd door de Europese Unie (FP6), maar men zal **waarschijnlijk** overgaan tot het bouwen van een centrale. De mogelijkheid bestaat dat dit project een **Lighthouse**¹ project wordt, wat het internationale aanzien verhoogt.

Ook is een project gaande in Amerika, waar een locomotief wordt omgebouwd tot een brandstofcellocomotief van 109 ton met een vermogen van 1,2 MW. Dit project **heeft** een looptijd van 5 jaar, en is al één jaar onderweg. Het grote verschil tussen wegvoertuigen en spoortoepassingen is dat treinen minder gewichtsbependingen kennen. Onder de uiteindelijke doelen van het project behoort ook het uitzoeken van de **brandstofceltechnologie** voor toepassingen over het spoor.

¹ een lighthouse project is een nieuw project op Europees niveau, waarbij de Europese commissie, de betreffende lidsta(a)t(en) en de industrie de belangrijkste actoren zijn.

10.5 Media

Waterstoftechniek is de afgelopen tijd steeds meer in de media geweest, niet alleen in tijdschriften, maar ook op televisie, radio en Internet. Media hebben een groot bereik en oefenen hierdoor invloed uit door alle lagen van de samenleving heen.

Een aantal voorbeelden van media-aandacht voor waterstoftechnologie:

'Tegenlicht': Tweedelige documentaire van de VPRO over de waterstofeconomie, uitgezonden 12 en 19 oktober 2003 (en nog steeds te downloaden via de site van de VPRO);

Artikel 'Rijden op water' in het AD Magazine van 7 februari 2004;

Artikel 'Valkuilen vol waterstof' in Elsevier van 20 maart 2004;

Artikel 'Honda komt met eigen brandstofcel' in Autoweek van 17 maart 2005;

Artikel 'Huishoudens krijgen brandstofcel' in De Volkskrant van 21 april 2005.

In het geval van een ongeval met waterstof in de ontwikkelingsfase kunnen de media ervoor zorgen dat de maatschappelijke acceptatie van waterstof een groot, en misschien wel niet meer te herstellen imagoverlies oploopt. Dit is één van de belangrijke punten die een transitie naar een eventuele waterstofeconomie in de weg staat. Een goede communicatie is dus zeer belangrijk voor de acceptatie van waterstof door de bevolking. Tijdig beginnen met uitleg over de nieuwe technologie kan zorgen voor acceptatie en goodwill bij een eventueel ongeval.

11 Subsidie(s)

Het uitzoeken van subsidies is in eerste instantie niet genoemd in de opdracht. Toch is dit gedaan, omdat dit wel **belangrijk** is wanneer Imtech een project met waterstof **en/of** brandstofcellen zou opstarten.

Subsidies verkrijgen op **waterstoftechniek** is en blijft een moeilijk punt. In tegenstelling tot wind- en zonne-energiesystemen is van tevoren niet bekend wat men aan subsidie kan ontvangen. Wanneer men een bepaald aantal vierkante meters **zonnepanelen** aanschaf is op Internet op te zoeken hoeveel subsidie men per vierkante meter kan ontvangen. Met windenergie is dit anders geregeld, men krijgt namelijk subsidie per opgewekte KWh (kilowattuur).

Bij brandstofcellen systemen is dit compleet anders.

De EIA, MIA en de Vamil zijn regelingen voor investeringen op het moment dat de technologie al voorhanden is, deze kunnen dus voor Imtech van belang zijn. De EOS is voor lange termijn onderzoek, en de IS is voor ontwikkelingswerk, de laatste twee zullen voor Imtech dus niet interessant zijn.

11.1 EIA

De EIA (Energie InvesteringsAftrek) is opgezet voor ondernemers en bedrijven die binnen het bedrijf energiebesparende technieken **en/of** duurzame energie toepassen. Door middel van de EIA kan gedeeltelijk dubbel winst behaald worden. Door het toepassen van duurzame technieken/energie bespaart men op de energierekening, en men bespaart op de inkomsten- of vennootschapsbelasting.

Het voordeel

44% van de investeringskosten zijn **aftektbaar** van de fiscale winst van de onderneming. Het directe financiële voordeel is afhankelijk van het belastingpercentage over de winst.

Hieronder is een **voorbeeldberekening** om te kunnen zien welke voordelen de EIA kan opleveren.

[BRON: www.senternovem.nl] :

Stel, de fiscale winst bedraagt € 500.000 en de vennootschapsbelasting **27%** over de eerste € 22.600 winst en **31,5%** over de rest van de winst.

U verricht voor € 300.000 nieuwe energie-investeringen. De EIA bedraagt 44% van € 300.000, dat is € 132.000. De fiscale winst wordt nu € 368.000 (€ 500.000 - € 132.000).

Zonder EIA zou u € 156.483 aan vennootschapsbelasting moeten betalen. Door gebruik te maken van de EIA betaalt u echter maar € 114.903 vennootschapsbelasting.

Uw directe fiscale voordeel bedraagt € 41.580 (14%).

1.2 MIA & Vamil

De Milieu-investeringsaftrek (MIA) en de Willekeurige Afschrijving Milieu-investeringen (Vamil) zijn twee regelingen van de Ministeries van Financiën en VROM. SenterNovem en de Belastingdienst bepalen wie er gebruik van de MIA en Vamil kan maken aan de hand van aanvragen. Voor 2005 is een budget beschikbaar gesteld van 73 miljoen euro voor MIA en 28 miljoen euro voor de Vamil. Het gaat hierbij om het voordeel dat door middel van deze regeling gehaald is, niet om het investeringsbedrag.

De MIA en/of Vamil is/zijn te gebruiken voor de aanschafkosten en kosten die volgen naar aanleiding van deze aanschaf van alle genoemde punten die staan op de Milieulijst 2005. Daar worden ook de kosten van voorzieningen die voortvloeien uit de investering bijgerekend. Bijvoorbeeld montagekosten, leidingen, appendages en meet- en regelapparatuur die nodig is/zijn voor het gebruik van het aangeschafte onderdeel dat vermeld staat op de Milieulijst 2005.

Natuurlijk zijn er de nodige voorwaarden waaraan voldaan moet worden voordat men voldoet aan de eisen van bovenstaande subsidieregelingen. Al deze voorwaarden zijn te vinden op de website van SenterNovem (www.senternovem.nl).

Wanneer men niet zeker is of men binnen één van bovenstaande regelingen is het mogelijk om een aanvraag bij SenterNovem in te dienen.

Wil men een compleet nieuw project starten wat niet binnen **bovenstaande** regelingen valt, bijvoorbeeld omdat het investeringsbedrag te hoog is, en men toch technieken toepast die milieuvriendelijke uitkomsten kunnen bieden of belangrijke invloed kunnen hebben voor de maatschappij, is het **toch** mogelijk om hiervoor subsidies te verkrijgen.

Er **zal** contact met SenterNovem opgenomen moeten worden, waar men een korte omschrijving van het (te starten) project zal wagen (gangbaar is een tekst van ongeveer één **A4**). Aan de hand van deze omschrijving bepaald men of het project kans maakt om binnen een subsidieregeling te vallen. Is dit zo, dan zal een uitgebreide omschrijving van het project gevraagd worden, en aan de hand van deze omschrijving wordt bepaald hoeveel subsidie men kan krijgen en de eventuele tijdsduur waarop men subsidie krijgt.

12 Conclusies en Aanbevelingen

In de nabije toekomst zal Imtech weinig tot geen opdrachten **kunnen verwerven** op het gebied van waterstofenergie. Dit blijkt aan de hand van onderstaande **punten**:

- De prijzen van brandstofcellen zijn nog niet op een zodanig niveau dat het commercieel inzetbaar is;
- Er is nog geen goed werkende distributievorm voor het transport van (grote hoeveelheden) waterstof;
- Opslagproblemen van waterstof blijven voorlopig bestaan;
- Er is nog geen duidelijke regelgeving waar dit soort **installaties** aan moeten voldoen;
- Het zal moeilijk zijn om het huidige personeel om te scholen omdat er praktisch geen aanbod is van cursussen op het gebied van waterstof

De beste optie is om de huidige ontwikkeling goed (proberen) te volgen, zodat men niet alsnog achter het net vist wanneer deze technologie op het **punt** staat om door te breken.

Lid worden van de Nederlandse **Waterstofvereniging** zal bijvoorbeeld een goede optie kunnen zijn om op de hoogte te blijven van de huidige ontwikkelingen. De Nederlandse Waterstofvereniging heeft veel leden die voorop staan bij de ontwikkelingen van technieken rondom de waterstoftechniek.

De bijdrage die Imtech jaarlijks zal moeten betalen is 2000 Euro (contributie per jaar voor een bedrijf met meer dan 500 werknemers).

Ook zeer belangrijk: wees **kritisch** bij het lezen van teksten op het Internet of uit de pers. Deze berichten, wanneer positief, moeten selectief gelezen worden. Vaak zijn dit soort teksten erg (té) positief geschreven en worden "grote" problemen die nog moeten worden **opgelost** simpel weggewuifd als een klein probleempje dat nog even moet worden opgelost. Dit **geeft** een verkeerd beeld van de huidige stand van de **techniek** en zou kunnen leiden tot investeringen die niet rendabel zijn!

Wanneer men zo ver is dat er **geïnvesteed** gaat worden, zorg dan dat men zeer goed op de hoogte is van de stand van de techniek en eventuele problemen en tegenslagen die zich kunnen voordoen.

Een andere optie zou **kunnen** zijn om over **3 á 4 jaar** (of **wanneer** men denkt dat dit nodig is) nogmaals een **stagiair/afstudeerder** op dit onderwerp te **zetten** om nogmaals de dan huidige stand van techniek op papier te zetten en mogelijkheden voor Imtech te onderzoeken.

Wat betreft de mogelijkheden voor andere takken van de firma Imtech: Ook **zij** zullen de ontwikkelingen van de waterstofenergie en de daarbij horende techniek in de gaten moeten gaan houden (tijdens de verschillende gesprekken bleek dat zij zich nog nooit hebben beziggehouden met **waterstoftechniek**). Vooral partijen zoals Imtech **Infra** kunnen zich werk verschaffen op het gebied van waterstofleidingen **en/of** het aanpassen/uitbreiden van het aardgasnet. **Wanneer** waterstof bijgemengd gaat worden zullen er op tientallen plaatsen aansluitingen gerealiseerd moeten worden om waterstof te injecteren in het aardgasnet. Verder zullen er honderden, zo niet duizenden aansluitingen gerealiseerd moeten worden waar de waterstof weer uit het aardgas verwijderd moet worden voor gebruik in brandstofcellen (denk in eerste instantie aan tankstations en grote bedrijven die de eigen energievoorziening gerealiseerd hebben door middel van een brandstofcelsysteem).

Wanneer de prijzen in de buurt gaan komen van onderstaande prijzen van brandstofcellen op de lange termijn, is het zaak voor **Imtech** om contacten te gaan leggen met verschillende **brandstofcelproducenten** om een eventueel **samenwerkingscontract** op te stellen omdat op dat moment de techniek op doorbreken staat.

Richtprijzen brandstofcellen op lange termijn:

50 €/kW bij **transporttoepassingen**

300 €/kW bij hoogwaardige stationaire toepassingen (energieopwekking)

Wanneer deze contacten zijn gelegd zal men zich ook moeten focussen op het verbruik van de verschillende brandstofcellen. Verder moet men kijken welke reactiestof men wil toepassen. Gaat men voor de simpele optie, een systeem met een interne **reformer** en dus een systeem dat op aardgas kan werken, of een systeem dat werkt op pure waterstof? Wat deze keuze natuurlijk beïnvloedt is of er tegen die tijd waterstof beschikbaar is via een mengsel uit het aardgasnet of dat de waterstof nog met vrachtwagens aangeleverd zal moeten worden.

13 Literatuurlijst

AcceptH2, 2004]

Accept H2; <http://www.accepth2.com>; 10-03-2005 bekeken.

[AMPÈRE, oktober 2000]

Commissie AMPÈRE; Brandstofcellen.

[Barbir, 2004]

Barbir, F.; Safety issues of hydrogen in vehicles

<http://www.iahe.org/hydrogen-safety-issuesh>; 29 maart 2005 bekeken.

[BMW, 2004]

BMW; <http://www.bmwworld.com/models/750hl.htm>; 22 maart 2005 bekeken.

[CBS, 2004]

Centraal Bureau voor de Statistiek - Aardgasbalans; <http://statline.cbs.nl>; bekeken 18-03-2005.

[CEG, 2002]

CEG; Mededeling van de commissie van de raad en het Europees Parlement; Eindverslag over het Groenboek 'Op weg naar een Europese strategie voor een continue energievoorziening'; Commissie van de Europese Gemeenschappen; juni 2002.

[CIRCA, 2004]

CIRCA; <http://forum.europa.eu.int/Public/irc/rtd/eurhydrofuelcellplat/home>, 12 maart 2005 bekeken.

[Cracknell et al., 2004]

Cracknell, R.F., J.L. Alcock, J.J. Rowson et al.; Safety considerations in **retailing** hydrogen; <http://www.waterstof.org/NWVOverigenTndex.htm>; 22 februari 2005 bekeken.

[DOE 3,20041

United States Department of Energy; Energy Efficiency and Renewable Energy; <http://www.eere.energy.gov/hydrogenfuel>; 11-03-2005 bekeken.

[EC, 20031

Ewopean Cornmission; Hydrogen Energy **and** Fuel Cells – A vision of our future; Luxembourg: Office for Official Publications of the European Cornrnunities; 2003.

[EC 3,20041

European Coinmission – **Community** Research; 6th Framework Programme First Call – Hydrogen & Fuel cell projects under negotiation; Brussel; Januari 2004.

[ECN, 2001]

Reijers, H.Th.J., A. de Groot, P. Lako.; Evaluatie van waterstof-gebaseerde concepten

en systemen; ECN; april 2001.

[ENV, 2004]

Environmental chemistry; <http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/H.html>; 25 maart 2005 bekeken.

[FCBC, 2004]

Fuel Cell Bus Club, <http://www.fuel-cell-bus-club.com>; 11 april 2005 bekeken.

[FCPropulsion, 2004]

Fuelcell Propulsion Institute; www.fuelcellpropulsion.org; 15 februari 2005 bekeken.

[GM, 2004]

General Motors; <http://www.gmeurope.com/marathon/index.htm>; 11 maart 2005 bekeken.

[Groot et al., 2003]

Groot, A. de., H. Jeeninga; Praktijkexperimentenwaterstof in de gebouwde omgeving; ECN; december 2003.

[Lovins, 2003]

Lovins, A. B.; Twenty Hydrogen Myths; Rocky Mountains Institute; september 2003.

[Maddy, 2003]

Maddy, J., S. Cherryman, F.R. Hawkes, et al.; Hydrogen 2003; University of Glamorgan, Pontypridd; 2003.

[MINEZ, 2001]

Ministerie van EZ; De reis: Transitie naar een duurzame energiehuishouding. Ministerie van EZ; December 2001.

[NAS, 2004]

National Academy of Science; The hydrogen economy: Opportunities, costs, barriers, and R&D needs; National Academies Press, Washington; 2004.

[Nilsen et al., 2004]

Nilsen, S., H.S. Andersen; <http://www.waterstof.org/NWVOverigenIndex.htm>; Norsk Hydro ASA; 29 maart 2005 bekeken.

[NMP4, 2001]

Nationaal Milieubeleidsplan 4; Een wereld en een wil - werken aan duurzaamheid; Ministerie van VROM, Den Haag; 2001.

[Padró et al., 1999]

Padró, C.E.G., V. Putsche; Survey of the Economics of Hydrogen Technologies; NREL; Colorado; September 1999.

[Reijers, 2001]

Reijers, H.Th.J., A. de Groot, P. Lako. Evaluatie van waterstof-gebaseerde concepten en systemen; ECN; April 2001.

[Tillemans, 2003]

Tillemans F.; Kanttekeningen bij de brandstofcel – De energieprijis van schoon stadsvervoer; *Verkeerskunde* 6 p.p. 32-37; 2003.

[TNG, 2003]

Team Nieuw Gas; Wegen **naar** Nieuw Gas: 'De eerste stap is een daalder waard' - Transitiepaden naar een duurzame gasinzet; 2003.

[USEU 1,2003]

The United States Mission to the European Union;
<http://www.useu.be/Categories/Energy/Nov2003HydrogenResearchAccord.html>;
Ministers sign agreement to **coordinate hydrogen** research; 2003; 8 maart 2005 bekeken.

[USEU 2,2003]

The United States Mission to the European Union ;
<http://www.useu.be/Categories/Energy/Apr2903HydrogenInitiative.html>; U.S. Explains international hydrogen initiative; 2003; 8 maart 2005 bekeken.

[VG2, 2004]

Vergroening van gas; <http://www.vg2.nl>; 28-03-2005 bekeken.

[VPRO, 2004]

VPRO;<http://info.vpro.nl/info/tegenlicht/index.shtml?7738514+7738518+7738520+14331107>; 6 februari 2005 bekeken.

[Zhou et al. 2003]

Zhou, L., Y. Sun, K. Feng et al.; Studies on **the** adsorption mechanism of **gases** on carbon **nanotubes**; <http://www.waterstof.org/NWVOpslagIndex.htm>; 12 april 2005 bekeken.

14 Bijlage(n)

<i>Bijlage 1: MYTHEN EN MISVATTINGEN OVER WATERSTOF</i>	51
<i>Bijlage 2: Commissieplan normcommissie 310 197 Tahe12.2</i>	54
<i>Bijlage 3: Beschikbare brandstofcellen</i>	55

Bijlage 1: MYTHEN EN MISVATTINGEN OVER WATERSTOF

Enkele misvattingen over waterstof vertaald van het Rocky Mountain Institute (www.rmi.org).

In de afgelopen jaren zijn er tijden geweest dat het "modieus" was om negatieve artikelen te plaatsen in kranten en tijdschriften over waterstof. Hieronder enkele populaire mythen en misvattingen samen met informatie wat een beter beeld geeft over de huidige stand van zaken.

Misvatting #1:

Een waterstofauto is niet dichterbij commercialisering dan kernfusie of een middel tegen kanker.

Kernfusie of een middel tegen kanker zijn nog steeds wachtende op fundamentele doorbraken en niemand kan nog voorspellen wanneer deze doorbraken gaan plaatsvinden, als ze al gaan plaatsvinden. De wetenschappelijke basis van brandstofcellen is daarentegen wel degelijk bekend en grote bedrijven zoals GM en Honda hebben al meerdere werkende prototypen van brandstofcelauto's gebouwd.

Er moet zeker nog het een en ander ontwikkeld worden om deze auto's op hetzelfde prijsniveau te krijgen als de huidige voertuigen en ook aan de betrouwbaarheid moet nog gewerkt worden.

Bijna elke grote autoproducent heeft gedetailleerde schattingen hoelang het nog gaat duren en wat het gaat kosten om de waterstofauto op de markt te brengen.

Misvatting #2:

Waterstof is geen betrouwbare brandstof omdat er geen reservoirs zijn zoals oliereservoirs.

Ondanks dat men praat over voertuigen die op olie rijden, rijden deze niet op olie maar op benzine, die niet uit de aarde gepompt wordt, maar geproduceerd uit ruwe olie. Waterstof moet, net als benzine en andere brandstoffen, geproduceerd worden. Voor tenminste 95% van de huidige geproduceerde hoeveelheid waterstof, is aardgas gebruikt als grondstof. Ook deze aardgas komt uit de grond, net als ruwe olie.

Misvatting #3:

Waterstof kan weinig verschil uitmaken, omdat men er niet meer energie uit kan halen dan men er in stopt (om te produceren).

Met deze opmerking slaat men de plank volledig mis. Het is een groot voordeel voor ons dat waterstof op deze manier werkt. Zoals vaker wordt gezegd maar steeds weer vergeten: waterstof is een energiedrager, geen primaire energiebron. Waterstof moet gezien worden als elektriciteit: men maalt het op plaats A, transporteert het naar plaats B waar men het transformeert in bruikbare energie zoals licht, warmte of mechanische energie. Het maakt niet uit dat **men** niet meer elektriciteit uit het net kan halen dan men erin stopt. Wat belangrijk is, is dat men dingen kan doen die anders niet mogelijk waren.

Misvatting #4:

Brandstofcellen zullen het broeikaseffect niet stoppen omdat er nog steeds fossiele brandstoffen verbruikt worden bij de productie van waterstof.

Wanneer men blijft rijden op fossiele brandstoffen, is er geen keus dan doorgaan met vervuilen van de atmosfeer, en steeds met een grotere hoeveelheid! Wanneer men voertuigen op brandstofcellen, en men fossiele brandstoffen **verbruikt** bij de productie van waterstof heeft men de keuze om deze uitstoot af te vangen.

Maar gaat men deze uitstoot ook afvangen? Dit afvangen kost geld, en elektriciteitsproducenten zullen dit alleen doen wanneer dit verplicht is bij wet. Wanneer men de keuze maakt voor het afvangen betekent dit dat er nieuwe regelgeving moet komen en aansluitend hogere kosten voor de geproduceerde waterstof. Voordeel hiervan is dat de hoeveelheid broeikasgassen zal **afnemen**. Wat er gekozen wordt, ligt aan ons. Maar er is wel een keuze!

Misvatting #5:

Nucleaire energie gebruiken om waterstof te produceren is niet reëel, omdat deze energie duurder is dan andere energiesoorten.

Wanneer men start met de productie van grote hoeveelheden waterstof, zullen de kosten van elektriciteit van welke energiebron dan ook veranderen omdat de complete elektriciteitsvraag verandert. Productie-units van elektriciteit (ook nucleair) zullen niet langer moduleren aan hand van de gevraagde hoeveelheid energie, waarbij ze 's nachts kleine hoeveelheden elektrische energie opwekken en een veel grotere hoeveelheid overdag. In plaats daarvan zullen deze productie-eenheden met een constante waag belast worden, door 's nachts de capaciteit die niet benut is te gebruiken om waterstof te produceren. Dit stelt hen in de gelegenheid om de kosten per productie-unit te spreiden over een veel grotere hoeveelheid opgewekte energie, wat de kosten per productie-unit verlaagt.

Nieuwe regelgeving zal ook de kosten veranderen van andere **energiebronnen**. **Regelgeving die** verplicht om schadelijke uitstoot (voornamelijk CO₂) af te vangen, kan de kosten van energieopwekking aanzienlijk verhogen. **Aan** de andere kant, extra heffingen op nucleair afval kan ook de kosten doen stijgen van deze **manier** van **energieopwekking**. Dit zijn kwesties die moeten worden besloten door toekomstige overheden.

Misvatting #6:

"Groene energie" kan slechts een klein gedeelte van de energie opwekken die nodig is voor een waterstofeconomie.

Dit is waar, echter op korte termijn, omdat op dit moment het niet mogelijk is om een groot gedeelte "groene energie" kwijt te kunnen op het landelijk energienet (maximaal 10%, zie ook hoofdstuk 5.3). Op lange termijn moet dit echter wel mogelijk zijn. Wanneer de fossiele brandstoffen op zijn en er geen vervanger voor gevonden gaat worden (wat niet erg waarschijnlijk is), zal er alleen "groene energie" overblijven. Wanneer men deze groene energie simpelweg niet kan verwerken zal men niet aan de vraag van energie **kunnen** voldoen! Of men overgeschakeld is naar een waterstofeconomie of niet, zal dan weinig meer uitmaken.

Aan de andere kant, neemt de productie van duurzame energie nog steeds toe. Sterker nog, deze manier van energie opwekken groeit harder dan welke vorm van **energieopwekking** ook. Dit wekt de suggestie dat duurzame energie steeds efficiënter en goedkoper wordt.

Misvatting #7:

Waterstoflekken leiden tot meer water in de atmosfeer, wat de globale temperatuurstijging kan bevorderen.

Eén ding is zeker: wanneer men doorgaat met het verbruiken van fossiele brandstoffen en de hoeveelheden die **verbruikt** worden steeds maar laat toenemen, zal de temperatuurstijging versnellen en de luchtvervuiling toenemen. Wanneer men omschakelt naar waterstof is er wederom de keuze om te kiezen voor **schone(re)** energie. Wanneer men waterstof vloeibaar opslaat lekt een gedeelte na verloop van tijd weg. Wanneer men waterstof gasvormig opslaat onder hoge druk, is het weglekken een veel kleiner probleem.

Misvatting #8:

Het is beter om waterstof te gebruiken om energie op te wekken voor gebouwen dan voertuigen op waterstof te laten rijden, omdat gebouwen veel meer vervuiling veroorzaken.

Het argument is dat energiecentrales die gebouwen voorzien van energie tweemaal zoveel **C O₂** produceren dan dat voertuigen doen, zodat emissies effectiever worden gereduceerd wanneer men brandstofcellen gebruikt om deze gebouwen van energie te voorzien dan dat men ze inzet in voertuigen.

Deze stelling geldt alleen wanneer de gebruikte waterstof is geproduceerd door middel van duurzame energie, anders wordt de uitstoot zelfs groter! Waarom? Omdat het minder efficiënt is om eerst elektriciteit te produceren, hiervan waterstof te maken, vervolgens deze waterstof te transporteren naar de eindverbruiker, om er uiteindelijk door middel van een brandstofcel weer elektriciteit van te maken, dan elektriciteit opwekken en deze elektriciteit direct te transporteren naar de **eindverbruiker**. Deze inefficiëntie betekent dat er meer fossiele brandstoffen verbruikt moeten worden om dezelfde hoeveelheid om dezelfde hoeveelheid elektrische energie bij de eindverbruiker te krijgen.

Waarom dan toch brandstofcellen in gebouwen gebruiken **wanneer** zij niet helpen bij het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen? Brandstofcellen doen andere nuttige dingen zoals bij **spanningsuitval** belangrijke **installaties** van ziekenhuizen voorzien van energie.

Misvatting #9:

Een waterstofeconomie zal traag op gang komen omdat regeringen niet staan te **springen** om geld te steken in ontwikkeling van brandstofcellen of een waterstofinfrastructuur.

Bet idee dat er geld nodig is van regeringen om een bekend probleem op te lossen (er is geen partij die waterstof gaat maken zonder **afnemers**, **maar** er is ook geen partij die waterstofauto's gaat maken wanneer er geen waterstof voorhanden is), is niet correct. Er zijn al verschillende bedrijven die waterstof produceren, en er zijn plannen om deze faciliteiten uit te breiden dat zodra de vraag naar waterstof stijgt dat er, met of zonder subsidie, deze waterstof verkocht gaat worden als brandstof voor brandstofcelauto's.

Misvatting #10:

Brandstofcelvoertuigen zullen slechts een kleine actieradius hebben voordat er weer getankt moet gaan worden.

General Motors heeft op de Detroit Motor Show in januari 2005 een nieuw prototype getoond met een actieradius van ongeveer 480 kilometer op een enkele tank, ongeveer de actieradius die de consument eist. Het opslagsysteem dat General Motors gebruikt is er één van het langverwachte 700 bar hogedruksysteem. **Aan** dit systeem **heeft** bijna elke autofabrikant gewerkt, velen van hen in "groepsverband". De opslagtank is vooralsnog groter dan een huidige gastank, maar de fabrikanten verwachten dat deze tank na verdere ontwikkeling een stuk kleiner zal worden, en toepasbaar wordt in gezinsauto's.

Bijlage 2: Commissieplan normcommissie 310 197 Tabel 2.2

Bijlage 2: Commissieplan normcommissie 310 197 Tabel 2.2

Commissie	Naam	Binding
IEC/TC 105	Fuel cell technologies	P member
IEC/TC 105/WG 1	Definitions	
IEC/TC 105/WG 2	FC module	
IEC/TC 105/WG 3	Stationary fuel cell power plants – Safety	
IEC/TC 105/WG 4	Stationary fuel cell power plants - Performance	
IEC/TC 105/WG 5	Stationary Fuel Cell Power Plants - Installation	
IEC/TC 105/WG 6	Fuel cell system for propulsion	
IEC/TC 105/WG 7	Portable fuel cell appliances - Safety and performance requirements	
IEC/TC 105/WG 8	micro fuel cell power systems – safety	
ISO/TC 197	Hydrogen technologies	P-member
ISO/TC 197/WG 1	Liquid Hydrogen – Land vehicle fuel tanks	
ISO/TC 197/WG 5	Gaseous Hydrogen – Land vehicle filling connectors	
ISO/TC 197/WG 6	Gaseous Hydrogen and Hydrogen Blends – Land vehicle fuel tanks	
ISO/TC 197/WG 8	Hydrogen generators using water electrolysis process	F.Thuis, Gastec
ISO/TC 197/WG 9	Hydrogen generators using fuel processing technologies	F. Thuis, Gastec (voorzitter) Expert: Sandoval
ISO/TC 197/WG 10	Transportable gas storage devices – Hydrogen absorbed in reversible metal hydrides	
ISO/TC 197/WG 11	Gaseous hydrogen - Service stations	J. Barron, Shell J. Hazelaar, Gastec
ISO/TC 197/WG 12	Hydrogen Fuel – Product specification	
CEN		Member state
CEN_CLC JWG	Fuel Cell Gas Heating appliances	F. Thuis

Bijlage 3: Beschikbare brandstofcellen

PureCell™ 200 Power System (voorheen de PC25)

Prijs standaard configuratie: ongeveer 1.000.000 US Dollar!

Leverancier:

UTC fuel cells

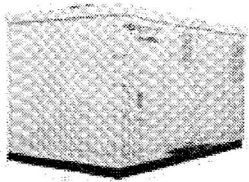
195 Governor's Highway

South Windsor, CT 06074

Tel: 866 383 – 5235

Fax: 860 727 – 2319

USA



The PureCell™ 200 power system (formerly known as the PC25) provides 200KW of electricity and heat (900,000 Btu's per hour) suitable for cogeneration applications. Fuel cells represent one of the **cleanest** fossil-fueled generating technologies available today and are **well** below air emission standards in every state, **including** California. The complete packaged system includes the fuel cell power module and a dry air cooling module.

The PureCell™ 200 power system features and benefits:

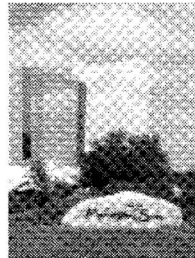
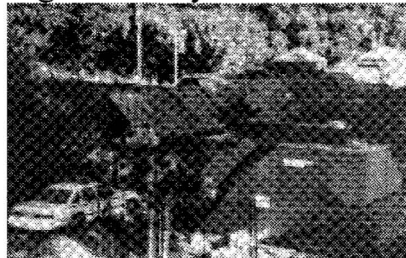
Reliable, assured power ensures **uninterrupted** business operations

Ultra low emissions may qualify you for **financial** incentives

Low sound profile provides site flexibility

Remote monitoring option **minimize** downtime

High efficiency maximizes fuel utilization



Since 1991, the PureCell™ 200 fleet of commercial fuel cells has accumulated more than **6 million** hours of operational experience. Applications include:

New York City Police Station

Major Postal Facility in Alaska

Science center in Japan

High Rise Office Buildings

Manufacturing Sites

Universities

Hospitals

Wastewater Treatment Facilities (Anaerobic Digester Gas)

PureCell™ power system Specifications:

Power - 200kW/235 kVA

Voltage and Frequency

480 volts, 3-phase, 4-wire, 60 Hz*

400 volts, 3-phase, 4-wire, 50 Hz

Cooling Module - three fan air

Noise - 60dBA @ 30 ft

Emissions (ppmV @ 15% O₂ Dry) - Nox <1, CO <2, Sox, particulates, hydrocarbons - negligible

Fuel Type - NG, ADG

Fuel Flow - NG 2050 scf/hr avg., ADG 3500 scf/hr avg. (1scf/hr = 0,025 nM³/hr)

Power Module Dimensions:

H: 121" (307 cm)

W: 114" (290 cm)

L: 212" (538 cm)

Weight - 40,000 lbs (18,144kg)

Cooling Module Dimensions:

H: 50" (127 cm)

W: 49" (124 cm)

L: 162" (411 cm)

Weight - 1,700 lbs (771 kg)

Features/Options

PC25 Performance Data

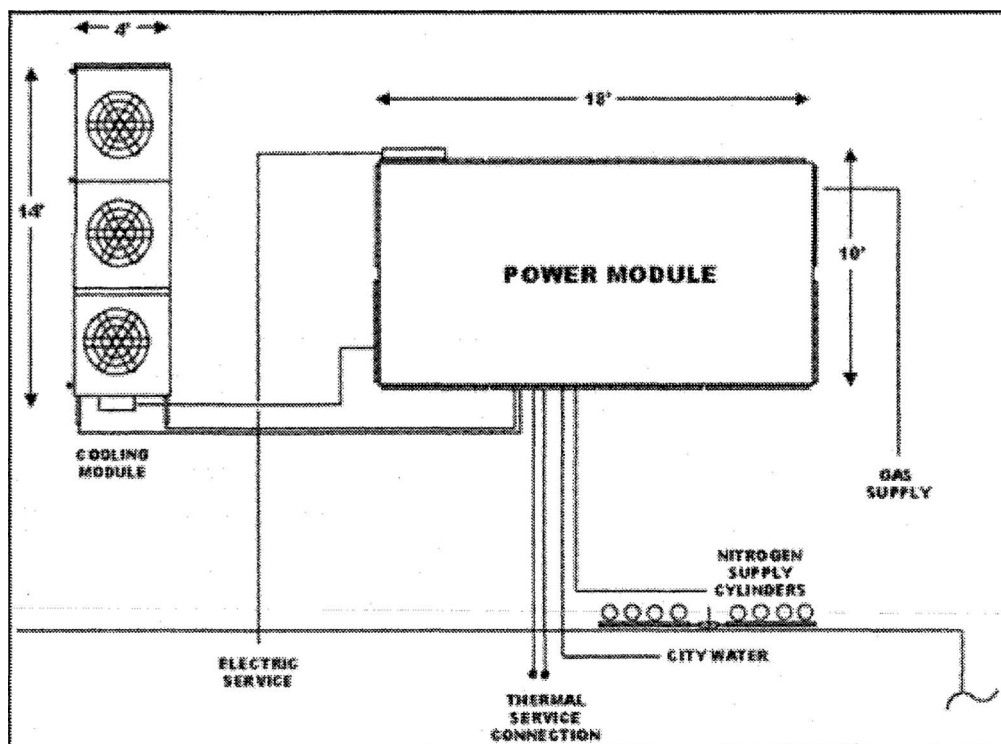
Optional Operating Modes

PC25 Power Plant Options

Fuel Consumption Rates

PC25™ Performance Data

Feature	Characteristics
Rated Electrical Capacity	200 kW/235kVA
Voltage and Frequency	480/277 V, 60 Hz, 3 phase 400/230 V, 50 Hz, 3 phase
Fuel Consumption	Natural gas: 2100 cft/h @ 4-14" water pressure Anaerobic digester gas: 3200 cft/hr at 60% CH ₄
Efficiency (LHV Basis)	87% Total: 37% Electrical, 50% Thermal
Emissions	<2 ppmv CO, <1 ppmv NO _x and negligible SO _x (on 15% O ₂ , dry basis)
Thermal Energy Available Standard:	900,000 Btu/hr @ 77 degree Celcius 450,000 Btu/hr @ 139 degree Celcius 1 BTU is ongeveer 1kJ
Sound Profile	Conversational level (60dBA @ 30 ft.), acceptable for indoor installation.
Modular Power	Flexibility to meet redundancy requirements as well as future growth in power requirements.
Flexible Siting Options	Indoor or Outdoor installation Small footprint
Power Module: Dimensions and Weight	10' x 10' x 18' 40,000 lbs.
Cooling Module: Dimensions and Weight	4' x 14' x 4' 1700 lbs.



Optional Operating Modes

Option	Characteristics
Grid connected operating mode	Constant power output operation in parallel with the electric grid. Automatically synchronizes with the electric grid.
Grid independent operating mode	Independent, automatic operation. Output tracks the electric load.
Grid-connected/grid-independent operating mode	Constant power output operation. When grid fails or is out of tolerance, the PC25 automatically disconnects from the grid and provides independent, automatic operation.
Load shed	If the grid fails, the optional load shed equipment can provide a signal to power off individual non-critical loads.
Grid-connect circuit breaker enable control signal	Enables remote disconnect of powerplant from grid.
Grid-connected/grid-independent parallel operating mode	Enables multiple PC25s installed in parallel to share load.

PC25 Power Plant Options

Option	Characteristics
--------	-----------------

High grade heat recovery	450,000 Btuh at 250 F 450,000 Btuh at 140 F
Double wall heat recovery heat exchanger	Domestic water applications.
Remote data acquisition and control	Remote access and control of PC25.
Choice of operating fuel	Natural Gas or Anaerobic Digester Gas.
Dual fuel operation	PC25 will automatically change from one fuel to another as required.

Average Fuel Consumption Rates For 200 kW

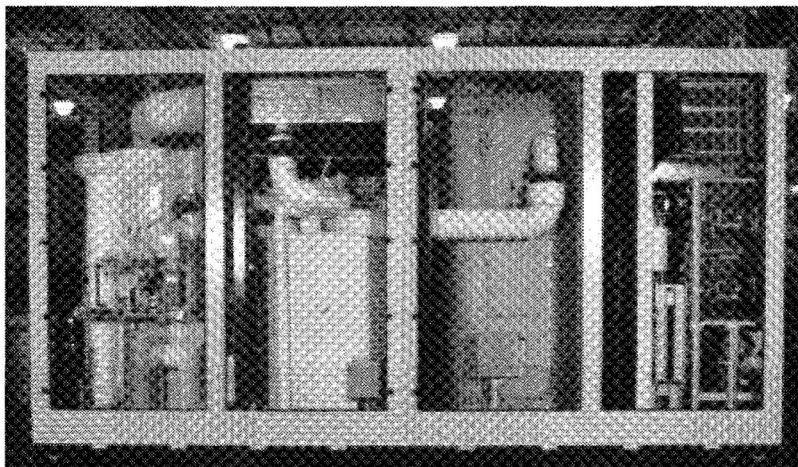
Fuel	Flow (cft/hr)	Flow (lbs/hr)
Natural gas	12100	86
ADG with 60% CH ₄	3200	229

Fuel Cell Benefits

Reliability

Achieves operating times in excess of 90 percent

Power available 99.9999 percent of the time (when connected to the electric grid)



Low Operating Cost

The efficiency of the 200kW fuel cell system will reduce the operating costs (energy bill) of the building

Constant Power Production

Generates power continually

Computer Grade Power

Produces computer grade power without power conditioning through a U.P.S.

Computer outages normally seen with grid fluctuations eliminated

Clean Emissions

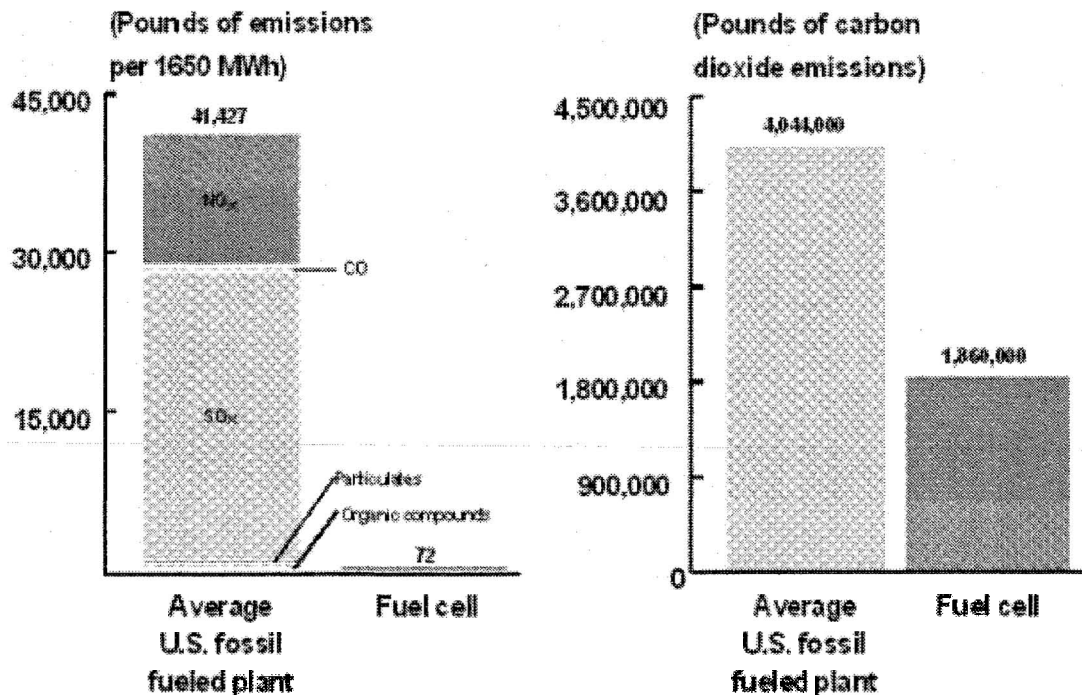
Compared with traditional combustion power plants:

Eliminates 40,000 pounds of acid rain and smog-causing pollutants from the environment per year

Reduces carbon dioxide emissions by more than 3.5 million pounds per year

Fuel Cell Air Emissions

PC25 Emissions From One Year of Operation

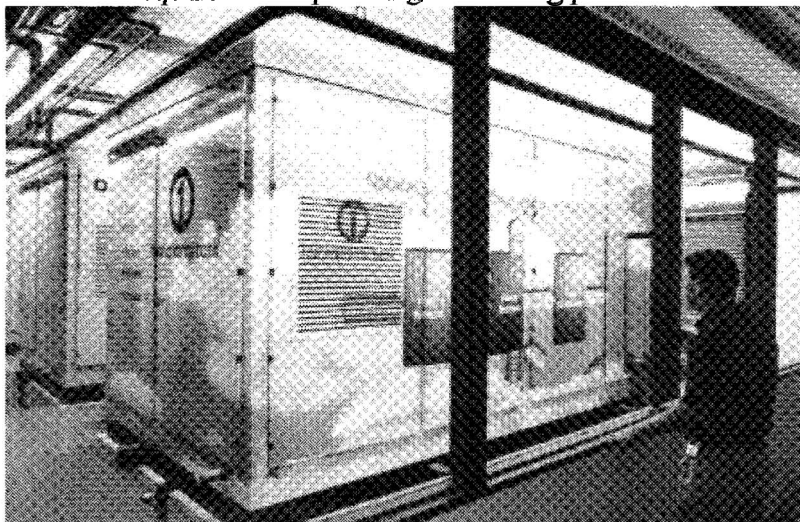


Quiet Operations

Quiet enough to be installed indoors

Normal conversation possible right next to fuel cell

Does not require sound proofing or hearing protection unlike combustion engines



High Efficiency

Converts 40 percent of available fuel to electricity (80 percent with heat recovery) compared with 20 percent conversion for traditional combustion power plants

Reduces fuel costs and conserves natural resources

Choice of Fuels

Currently processes natural gas, propane, methane and butane

When are fuel cell characteristics the most valuable?

High power reliability required - computer facilities, call centers, communication facilities, data processing centers, high-tech manufacturing facilities.

Reliability of fuel cells prevents problems associated with minor grid fluctuations, such as lost productivity, lost revenue and opportunity cost.

Emissions need to be minimized or eliminated - urban areas, industrial facilities, airports, states with strict emissions standards.

Power requirements in non-attainment air quality zones or other areas with high air quality tolerance can hamper growth and business opportunity.

Limited access to utility grid - rural or remote areas, maximum grid capacity.

Fuel cell provides solution where local grid service is cost prohibitive or unavailable.

Beneficial in remote areas where prolonged outages are likely.



Biological waste gases are available - waste treatment plants

Fuel cells can convert waste gases to high quality electricity and heat with minimal environmental intrusion.

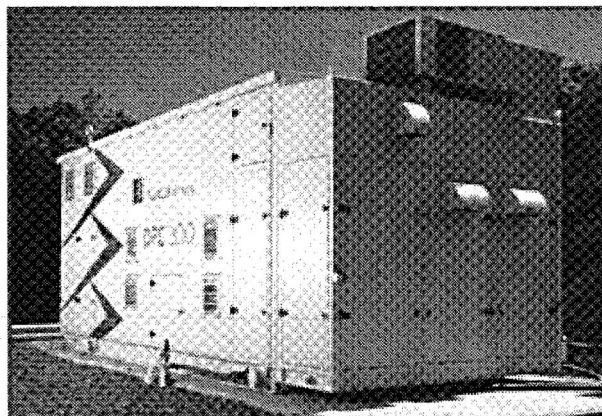
FuelCell Energy: DFC 300A, DFC 1500, DFC 3000



FuelCell Energy

Stationary Products

DFC® 300A
250 kilowatt



Certified to CARB 2007 Ultra Clean
Emissions Standards

Dimensions		Emissions	
Height	10.5'	NOx	0.3 ppmv
Width	9.0'	SOx	<0.01 ppmv
Length	28.1'	CO	<10 ppmv
		VOC	<10 ppmv

Features	Benefits
250 kW net	Ultra clean energy
480 VAC, 50 or 60 Hz	Efficient
By-product heat availability	Easily sited
Modular and scalable	Quiet Operation
Internal fuel reforming	High-quality power
Few moving parts	
Small package	
Fuel-flexible	

Available Heat	
Exhaust Temperature	≈650° F
Exhaust Flowrate	3,000 lbs/hr
Exhaust Heat Available	300,000 Btu/hr

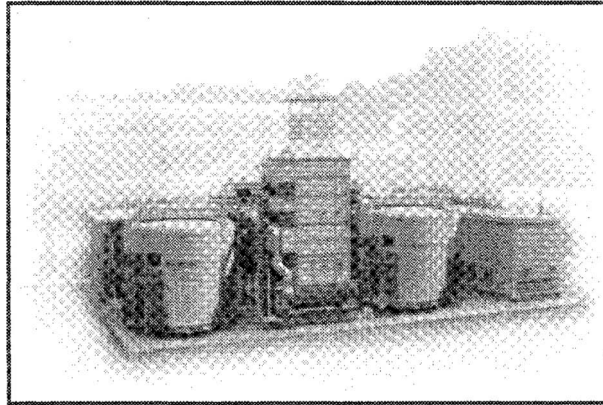
1 BTU is ongeveer 1kJ

DFC® 1500 1 Megawatt



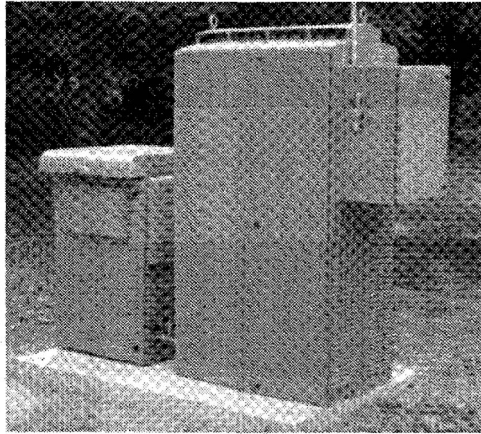
Dimensions		Emissions	
Height	26.5'	NOx	< 0.3 ppmv
Width	43'	SOx	<0.01 ppmv
Length	40'	CO	<10 ppmv
		VOC	<10 ppmv
Features		Benefits	
1000 kW net		Clean energy	
480 VAC, 50 or 60 Hz		Efficient	
By-product heat availability		Easily sited	
Modular and scalable		Quiet Operation	
Internal fuel reforming		High-quality power	
Few moving parts			
Small package			
Fuel-flexible			
Available Heat			
Exhaust Temperature	≈650° F		
Exhaust Flowrate	13,800 lbs/hr		
Exhaust Heat Available	1.4 mm Btu/hr.		
1 BTU is ongeveer 1kJ			

DFC® 3000
2 Megawatt



Dimensions		Emissions	
Height	'27.5'	NOx	< 0.3 ppmv
Width	49.4'	SOx	<0.01 ppmv
Length	'59.6'	CO	<10 ppmv
		VOC	<10 ppmv
Features		Benefits	
2000 kW net		Clean energy	Available Heat
480 VAC, 50 or 60 Hz		Efficient	Exhaust Temperature ≈650° F
By-product heat availability		Easily sited	Exhaust Flowrate 27,200 lbs/hr
Modular and scalable		Quiet operation	Exhaust Heat Available ≈2.8 mm Btu/hr.
Internal fuel reforming		High-quality power	1 BTU is ongeveer 1kJ
Few moving parts			
Small package			
Fuel-flexible			

Plug Power – GenCore (Backup power)



Flexible

Proton Exchange Membrane (PEM) Fuel Cell Stack - Proprietary fuel cell design delivers efficient, clean, quiet DC power. Integrated cell voltage monitoring provides continuous feedback for optimal fuel cell performance.

DC power Conditioning - Gencore systems offer either -48Vdc or +24Vdc power conditioning to meet the needs of wireless and wireline providers.

Reliable

Electrical energy storage – Maintenance-free system provides immediate response to power interruptions.

Fuel Storage system – Available in a variety of forms, hydrogen fuel storage is scalable to meet site and provider specific needs.

Robust

Thermal Management system – Freeze-tolerant design is compliant with NEBS Level 3 standards, including operation from -40°C to 46°C.

Insulated Cabinet – NEBS Level 3 compliant design is finished with high-quality paint process that the exterior finish.

Bijlage 3: Beschikbare brandstofcellen

PRODUCT CHARACTERISTICS		5T48	5T24
Performance	Rated Net Output ¹	0 to 5.000W	0 to 5.000W
	Adjustable voltage	-46 to -56 Vdc (-48)	+25 to +27 Vdc (+24)
Range	Operating Voltage	-42 to -60 Vdc	+21 to +27 Vdc
	Operating Current	0 to 109 Amps	0 to 218 Amps
Range (net)		99,95% Dry	99,95% Dry
		80 +/- 16 psig (5,5 +/- 1 bar)	80 +/- 16 psig (5,5 +/- 1 bar)
Fuel	Gaseous Hydrogen	40 standard liters per minute	40 standard liters per minute
	Supply Pressure	@ 3000w	@ 3000w
Operation	Fuel Consumption	75 standard liters per minute	75 standard liters per minute
		@ 5000w	@ 5000w
Physical ²	Ambient temperature	-40°C to 46°C	-40°C to 46°C
	Relative Humidity	0% to 95% Non condensing	0% to 95% Non condensing
Safety	Altitude	-60m to 1829m	-60m to 1829m
	Dimensions	112cm x 66cm x 61cm	112cm x 66cm x 61cm
Emissions	Weight	227kg	227kg
	Compliance	FCC Class A	FCC Class B
Sensors ³		UL listed to ANSI 221.83	UL listed to ANSI Z21.83
		CE certified	CE certified
Detection	Water	Maximum 2.0 liters per hour	Maximum 2.0 liters per hour
	CO, CO ₂ , NO _x , SO ₂	<1ppm	<1ppm
Control	Audible Noise	60 dBA @ 1m	60 dBA @ 1m
	Gas Hazard	included	included
	Microprocessor	included	included
	2 LED Panel	included	included
	Low Fuel Alarm	RS-232C	RS-232C
	Communications ⁴	Digital Form C Contacts	Digital Form C Contacts

1 **Output** rated from -40°C to 42°C. From 42°C to 46°C, output decreases 2,5% per degree Celcius. Above 305 meters, an additional de-rating of 1,5% per 305 meters applies.

2 Excludes fuel storage

3 Optional sensors are available to detect Pad shear, water intrusion and tampering

4 Optional communications include MODEM.