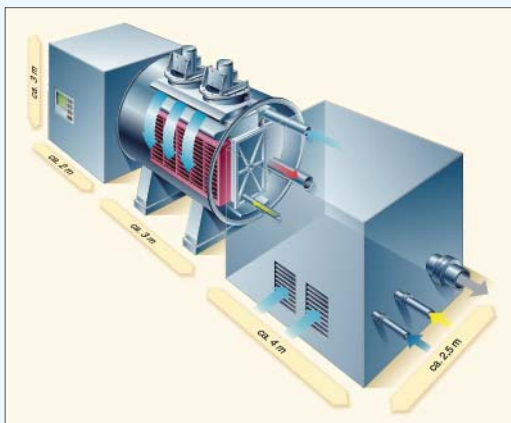


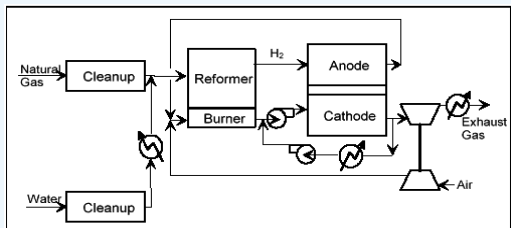
Gasgestookte windenergie en elektrische waterstof



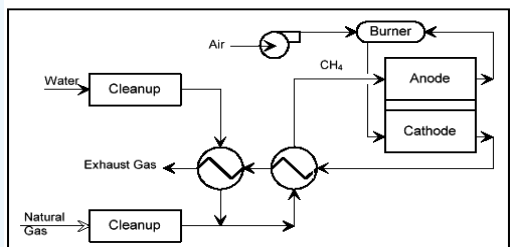
Bij alle gekrakeel over windturbines moeten voorstanders één ding toegeven: windenergie mag dan wel steeds meer toegepast worden, binnenkort ook in parken op zee, maar het probleem dat de wind wispelturig is, wordt er alleen maar groter door. De grote elektriciteitsproducenten en netbeheerders voorzien nu al grote problemen met de pieken en dalen van die groene energiebron. Door het combineren van een brandstofcel met een windturbine en door het beter benutten van de vrijkomende warmte in een brandstofcel, weet dr. Kas Hemmes van de Delftse faculteit Technische Bestuurskunde windenergie beter te laten inpassen in het elektriciteitsnet. Toch waterstofproductie bij de windturbine, maar die komt dan vooral uit aardgas.



Gesmolten carbonaat brandstofcel-systeem. Het systeem bestaat uit een gasvoorbehandelingsseenheid (rechts), uit een zogenoemde hot-module, waarin de brandstofcel-stack is geïntegreerd (midden) en uit een elektriciteitsomvormer (links).



Schematische weergave van een brandstofcelsysteem met een externe reformer, waarin aardgas wordt omgezet in waterstof.



Schematische weergave van een brandstofcelsysteem met reforming in de cel, de zogenoemde interne reforming brandstofcel (IR-FC).

“Het probleem bij energievoorziening is bijna altijd een mismatch tussen vraag en aanbod”, zegt energie-onderzoeker dr. Kas Hemmes van de Delftse faculteit Technische Bestuurskunde, “Die mismatch is er in plaats: in Irak is olie, en hier hebben we het nodig. Of in tijd: als het waait kun je niet alle elektriciteit gebruiken, terwijl je ook energie nodig hebt wanneer het windstil is.” Aangezien het aantal windturbines nu nog bescheiden is, kunnen de elektriciteitsnetten over het algemeen de productiepieken van windturbines nog wel opvangen, maar eerder dit jaar was er ophef over mogelijke overbelasting van het Nederlandse elektriciteitsnet door de vele windturbines in Noord-Duitsland. Weliswaar zouden gasgestookte elektriciteitscentrales een tandje lager kunnen gaan draaien om de extra elektriciteitsproductie van de windturbines op te vangen, maar snel gaat dat omschakelen niet. Bovendien levert het efficiëntieverlies op en ondergebruik van de productiecapaciteit. Hemmes: ‘De klacht bij gasgestookte centrales is: wanneer er wind komt, moeten wij ‘sluiten’ en dat beïnvloedt onze verkoopprijs.’

Elektrolyse Een oplossing waarover veel wordt geschreven en waaraan wereldwijd veel wordt gerekend, maar die nog nauwelijks wordt toegepast, is het gebruik van het surplus aan windenergie voor de elektrolyse van water tot zuurstof en waterstof. Het waterstof wordt opgeslagen om in windstille tijden met hulp van een brandstofcel te worden omgezet in elektriciteit. Het nadeel van die dubbele omzetting en ook van de opslag zelf, is dat het extra verliezen oplevert. Het omzettingsrendement van water tot waterstof bij elektrolyse is in de praktijk ongeveer 80 à 90% en het rendement van de brandstofcel lager, stelt Hemmes. Bovendien moet er bij de windturbines naast een brandstofcel ook nog een extra elektrolyse-installatie worden gebouwd, die beide alleen af en toe gebruikt worden, bedrijfseconomisch niet ideaal. Hemmes heeft een beter idee: bouw bij je windmolenpark een grote brandstofcel (bijvoorbeeld de veel gebruikte Molten Carbonate Fuel Cell) die ook wordt gevoed met aardgas. Zo'n cel kan relatief snel omschakelen naar een

lagere elektriciteitsproductie wanneer er veel wind is. In deze 'lage utilisatie'-stand kan de brandstofcel worden ingezet om veel waterstof te produceren. Dit werkt als volgt. Bekend is dat de brandstofcel meer dan voldoende warmte produceert voor de omzetting van aardgas in waterstof. In de brandstofcel kan dus meer aardgas worden omgezet in waterstof (en koolmonoxide) dan nodig is voor eigen gebruik. Het waterstof zou je kunnen opslaan om in windstille tijden aan de brandstofcel toe te voegen in plaats van aardgas. Het waterstof zou ook kunnen worden afgevoerd in een nog te bouwen waterstofpijpleidingennet, of kunnen worden bijgemengd met aardgas (een optie waarvoor op nationaal en Europees niveau al plannen bestaan). In Hemmes' concept is geen opslag nodig, maar wordt in plaats daarvan effectief gebruik gemaakt van de opslagcapaciteit van het aardgasnet.

Toveren Niet alleen past een dergelijke configuratie zich snel aan de fluctuaties van de inkomende stroom aan, maar ook aan een veranderende vraag kan snel tegemoet worden gekomen. "Het grote voordeel van dit idee is vooral de flexibiliteit", zegt Hemmes.

Bovendien is de 'omzetting' van elektriciteit naar waterstof efficiënter dan bij elektrolyse. Uit berekeningen blijkt dat voor iedere kWh extra windelectriciteit (waardoor de brandstofcel 1 kWh minder elektriciteit produceert) waterstof wordt geproduceerd met een energie-inhoud van ongeveer 3 kWh bij gelijkblijvende instroom van aardgas!

"Dat lijkt natuurlijk toveren, een omzettingsefficiëntie van 300 procent", zegt Hemmes. De waarheid is dat de schijnbare gratis energie afkomstig is van de warmte die de brandstofcel produceert en die anders gewoon zou worden afgevoerd. Doordat er ook aardgas wordt toegevoerd, kan er nu nuttig gebruik van worden gemaakt. Overigens is de waterstof geproduceerd met een brandstofcel nog onderdeel van een gasmengsel.

"De totale systeemefficiëntie, de efficiëntie waarmee inkomende energie wordt omgezet in uitgaande energie, is hoger in de lage utilisatiestand, en benadert 90 procent", stelt Hemmes. "Bij uitgaande energie heb ik het dan over energie in de vorm van elektriciteit en waterstof en koolmonoxide en dus niet over warmte, zoals bij warmtekrachtsystemen. Overigens kan je koolmonoxide met stoom nagenoeg energie-neutraal omzetten naar waterstof."

Hij heeft het concept inmiddels geïmplementeerd en is net terug uit Spanje, waar hij op de European Hydrogen Energy Conference een keynote-presentatie heeft gehouden. Het concept doet sterk denken aan het in de energiewereld oprukkende concept van warmtekrachtkoppeling, waarbij gas of een andere energiebron wordt omgezet in elektriciteit en bruikbare warmte, waarmee bijvoorbeeld woonhuizen worden verwarmd.

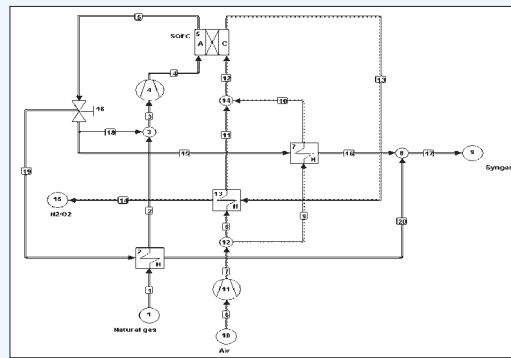
Multi-source multi-product "Maar dit idee gaat nog een stap verder", zegt Hemmes, "hier heb je niet alleen meerdere producten die de installatie verlaten, elektriciteit en waterstof, maar ook meerdere energiebronnen: aardgas en windenergie."

Samen met de Zwitserse onderzoeker Martin Geidl werkte Hemmes aan de wiskunde van dergelijke 'multi-source multi-product'-systemen, die zich door de vele instelmogelijkheden goed lenen voor het vinden van een optimum tussen efficiëntie, productiecapaciteit en economische rendement.

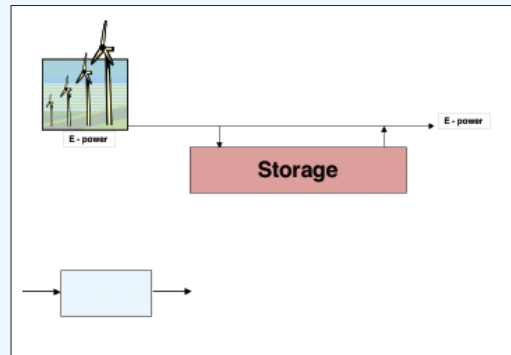
Technisch hangt het idee ook samen met een verdere integratie van verschillende systemen voor de productie en omzetting van energie, en ook de productie van chemicaliën.

Een andere variant op de multi-source multi-product-gedachte is om met aardgas, lucht en eventueel windenergie als bronnen ook stikstof te produceren. In de brandstofcel reageert zuurstof uit de lucht met aardgas, zodat een stikstofrijk mengsel overblijft. Stikstof wordt in Nederland veel gebruikt om bij te mengen bij buitenlands aardgas om het op de Slochteren-standaardsamenstelling te brengen (met 14 procent stikstof), een procedure die ook nodig zal zijn wanneer er in de toekomst waterstof bij aardgas wordt gemengd. Nu nog wordt stikstof in een duur, ultra-koud proces uit lucht geproduceerd. Het is een proces waar veel energie voor nodig is, vaak enkele tientallen megawatts elektriciteit.

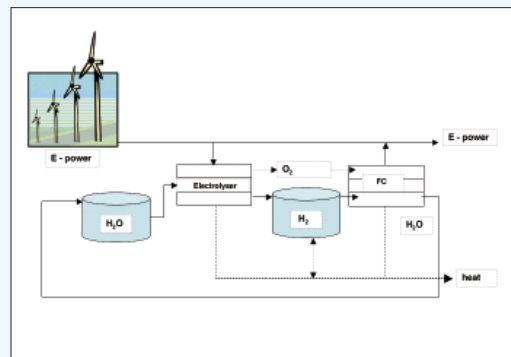
"Dit zou een mooie manier zijn om goedkoop stikstof te produceren op de plek waar je het meteen bij aardgas zou kunnen mengen. Bovendien levert het elektriciteit op in plaats van dat het elektriciteit kost", zegt Hemmes. Ook dit idee heeft hij inmiddels geïmplementeerd.



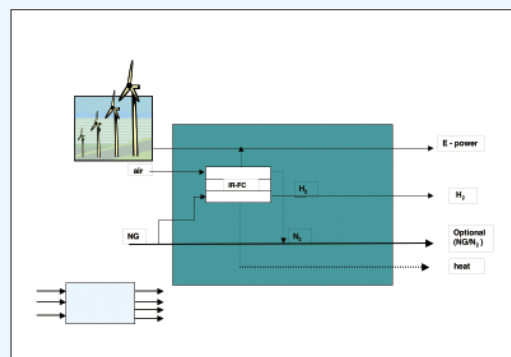
Stromingsdiagram van een interne reforming brandstofcel voor de co-productie van elektriciteit en waterstof. Op basis van dit stromingsdiagram zijn de berekeningen voor dit onderzoek uitgevoerd.



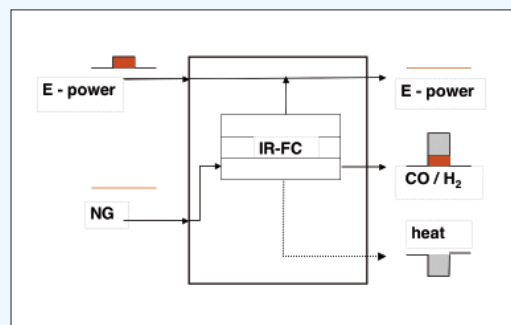
De huidige ideeën over de manier waarop de fluctuaties in windenergie moet worden opgevangen, bestaan uit een of andere vorm van energie-opslag: in accu's, in doorstroom-accu's (REDOX-flow-batteries) of in waterstof.



Uitwerking van de conventionele oplossing met energie-opslag in de vorm van waterstof.



Kas Hemmes ontwierp een efficiëntere methode om de fluctuaties in windenergie op te vangen. De crux van de methode bestaat uit het benutten van de interne proceswarmte van een brandstofcel voor de productie van waterstof. Een tweede aspect is het gebruikmaken van de flexibiliteit van de brandstofcel door afhankelijk van de bedrijfscondities meer of minder waterstof en/of elektriciteit te produceren.



Dit schematisch overzicht toont de essentie van de energie-input en -output van het ontwerp van Hemmes. Een overschot van één eenheid aan windenergie kan

worden gecompenseerd met een vermindering van één eenheid elektrische output van de brandstofcel middels omschakeling naar 'lage utilisatie stand'. Uit berekeningen (zie volgende figuur) blijkt dat hierbij de productie aan waterstof (en koolmonoxide) met meer dan drie eenheden energie kan toenemen. Het rendement van het totale systeem wordt groter en dus de output aan restwarmte kleiner, zodat uiteraard nog steeds wordt voldaan aan de wet van behoud van energie.

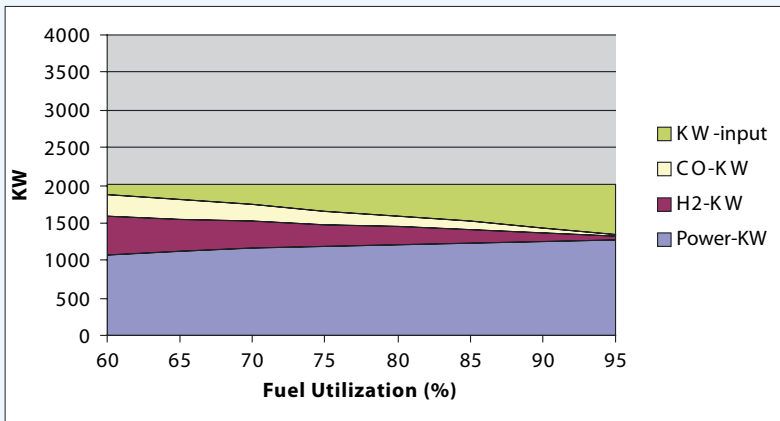
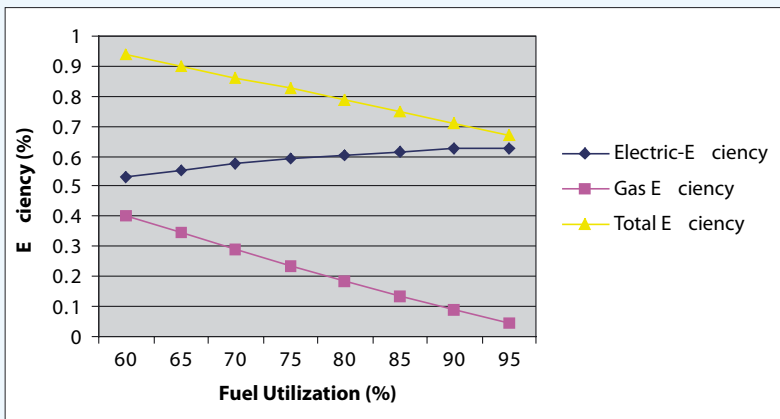
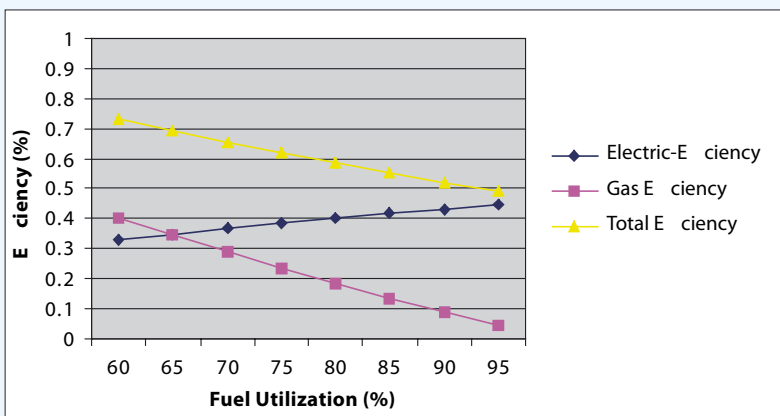
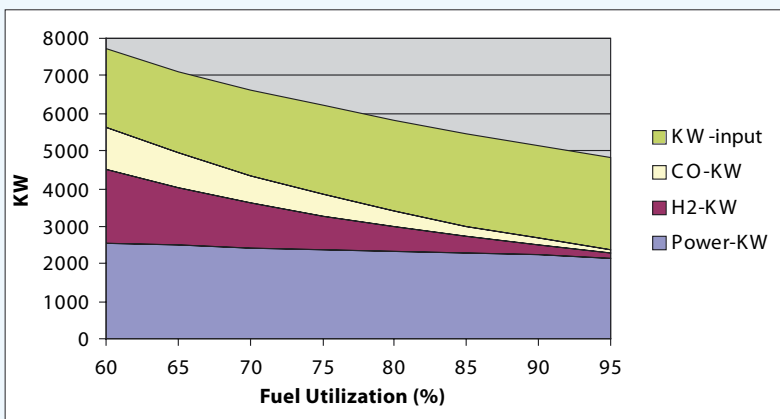


Diagram van de input- en de output-energie van een interne-reforming brandstofcelsysteem als functie van de utilisatie (de omzettingsgraad van aardgas in elektriciteit en warmte). De elektriciteitsproductie bij 60 à 65 % utilisatie is slechts weinig gedaald ten opzichte van de standaard bedrijfsomstandigheden (utilisatie van 90 à 95 %). Maar de waterstofproductie en de productie van CO is daarentegen sterk toegenomen.



Dit diagram geeft de systeem-efficiëntie van de brandstofcel weer als functie utilisatie van aardgas. In de figuur is zowel de elektrische efficiëntie als de gas efficiëntie aangegeven, beiden gedefinieerd als de output aan elektriciteit respectievelijk gas ten opzichte van de instroom aan aardgas. Tevens is de som van beide; de totale systeem efficiëntie geplote.



Economisch voordeel Uiteindelijk zou vooral de extra flexibiliteit van zulke systemen zich moeten vertalen in economisch voordeel, stelt de onderzoeker, zeker wanneer windturbines en brandstofcellen door onderzoek en ontwikkeling nog goedkoper worden.

“We hebben het nog niet uitgerekend”, zegt Hemmes, “mede omdat het moeilijk is om de meerwaarde van flexibiliteit te verdisconteren. In de energiewereld is men vaak gefixeerd op de laagste prijzen, bij constante productie, maar de realiteit kent fluctuaties in vraag en aanbod en dus in prijs.”

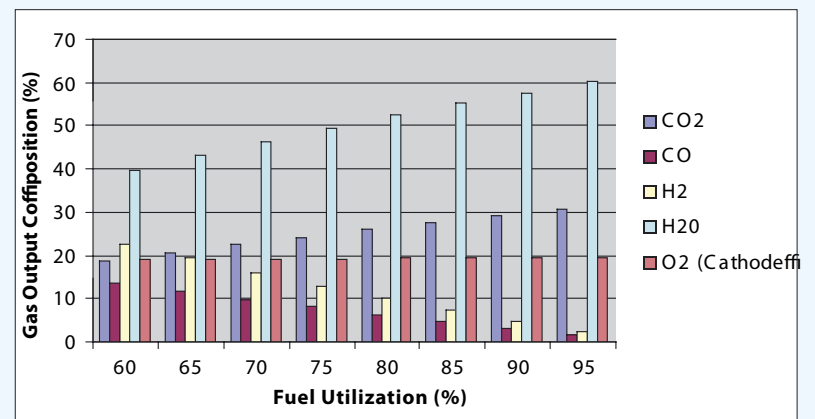
Verschillende publicaties zijn in voorbereiding, nu de octrooien eenmaal rond zijn, wat ook een voorwaarde was om er op een conferentie over te spreken.

Weliswaar kwamen er in Spanje nog geen vertegenwoordigers van energiebedrijven op de proppen met plannen om de installatie stante pede te bouwen, maar de reacties waren wel zeer positief, stelt Hemmes.

“Alleen al zo'n keynote-praatje geeft aan dat zo'n nieuwe ontwikkeling gewaardeerd wordt.”

Voor nader informatie over dit onderwerp kunt u contact opnemen met dr. Kas Hemmes, tel. (015) 278 1650, e-mail k.hemmes@tudelft.nl

Zie verder op: www.vg2.nl voor het bijmengen van waterstof in aardgas.



Berekende samenstelling van de uitlaatgassen voor het interne reforming brandstofcel systeem in 'High power mode' als functie van de aardgas utilisatie. De anode uitlaat bevat naast waterstof ook koolmonoxide en kooldioxide en relatief veel water.

Diagram van de input- en output-energie van een interne-reforming brandstofcelsysteem als functie van de utilisatie in 'High power mode'. Omdat waterstof wordt gezien als een nuttig product kan de brandstofcel zwaarder elektrisch worden belast. Dit resulteert in een grotere stroomdichtheid en vermogensdichtheid waarbij grotere warmteverliezen optreden. Dit rendementsverlies wordt onder standaard bedrijfscondities niet getolereerd, de warmte wordt nu echter intern in de brandstofcel gebruikt om aardgas om te zetten in waterstof.

Brandstofcel systeem efficiënties als functie van de utilisatie van aardgas in 'High power mode'. De totale systeem efficiëntie daalt weliswaar ten opzichte van de situatie in figuur 9, maar dezelfde installatie levert een meer dan tweemaal zo grote elektriciteits productie met daar bovenop een grote hoeveelheid waterstof. Ondanks de relatief lagere (maar nog altijd hoge) totaal efficiëntie kan dit toch bedrijfseconomisch grote voordelen opleveren.