

Auteurs Ing. D. (Daniëlle) Dikhoff, community manager Kennisontwikkeling TVVL;
Prof.ir. P. (Peter) Luscuere, voorzitter Maatschappelijk Advies Raad TVVL

Deelname TVVL Directiecollege en studiereis

Wat leren we van Duitsland over waterstof?

Waterstof is mogelijk een van de belangrijkste toekomstige dragers van een duurzame energievoorziening. De kringloop zon en water naar elektriciteit en water is elegant, duurzaam, niet-vervuilend en qua energiebron gratis. De Maatschappelijke AdviesRaad (MAR) van TVVL heeft de waterstofeconomie als speerpunt gedefinieerd. Een studiereis lag voor de hand, zowel in Nederland als in de UK (Leeds) lopen weliswaar initiatieven, maar er is nog weinig tot niets te zien. Vandaar dat wij verder gezocht hebben en in Duitsland terechtkwamen. Hier troffen wij een interessante combinatie van onderzoeksinstituten en bedrijfsleven, alle op het gebied van de waterstofeconomie.

Met een tweedaags programma kreeg TVVL een kijkje in de keuken van innovatieve projecten en bevlogen vakmensen over onze landsgrens heen. Het programma bracht lezingen die bijdragen aan inzicht in kansen en bedreigingen, zowel in het algemeen voor de leefomgeving als in het bedrijfsleven.

Tegenstrijdigheden in regelgeving, tegenstellingen in belangen en beschikbaarheid van nieuwe technieken passeerden de revue. Met dit programma zoekt TVVL naar verbindingen in het Nederlandse bedrijfsleven om zo mogelijk het Duitse voorbeeld te kunnen opvolgen.

Beweegredenen en toepassing zijn anders dan voor Nederland

In Herten ligt het bezoekerscentrum h2herten. In 2009 werd dit centrum in het leven geroepen met lokale, regionale en Europese subsidies. Herten ligt in het Ruhrgebied en was onderdeel van het grootste mijnbouwgebied in Europa. Anders dan in Nederland is hier nog zeer lang mijnbouw actief bedreven, de laatste is eerst in 1999 gesloten met groot verlies aan werkgelegenheid. Het bezoekerscentrum richt zich op initiatieven die de werkgelegenheid bevorderen en laat initiatieven tegen klimaatverandering zien. Er ontstonden vele samenwerkingsverbanden tussen bedrijven in het centrum, maar ook met universiteiten, hogescholen en onderzoeksinstituten.

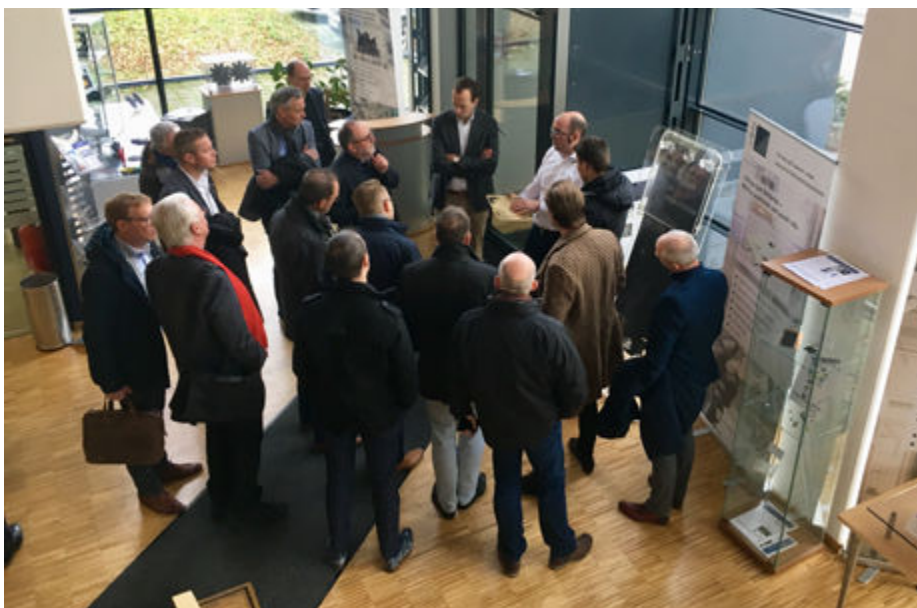


Foto 1: Met een tweedaags programma kreeg TVVL een kijkje in de keuken van innovatieve projecten en bevlogen vakmensen over onze landsgrens heen.

Omdat de afstanden in Duitsland verder uit elkaar liggen, biedt waterstof meer mogelijkheden dan elektrisch vervoer met behulp van batterijen. De beweegredenen om waterstof toe te passen lijken dus anders dan in Nederland waar bijvoorbeeld een aardgasrijke gebouwde omgeving interessant is. Ondanks het verschil in doelen kunnen we wel heel veel leren van de technische ontwikkelingen.

De verduurzaming van woningen en gebouwen is een veelzijdige uitdaging. Met nieuwbouw en goed geïsoleerde woningen kunnen we relatief eenvoudig met all-electric toepassingen uit de voeten, vanwege een beperkte warmtevraag. Binnenstedelijk en met monumentale panden ligt dat anders. Warmtenetten (hoge en lage temperatuur, uit restwarmte, geothermie of aquathermie) wordt nog maar beperkt toegepast en vraagt een hoge investering. Waterstof is als energiedrager een waardevolle toevoeging voor de energietransitie. Waterstof kan in grote hoeveelheden worden opgeslagen en per schip of pijpleiding worden vervoerd. In Duitsland zijn slechts zeer lokaal aardgasnetten beschikbaar, waardoor de toepassing van waterstof als alternatief voor aardgas in Duitsland niet bekeken wordt.

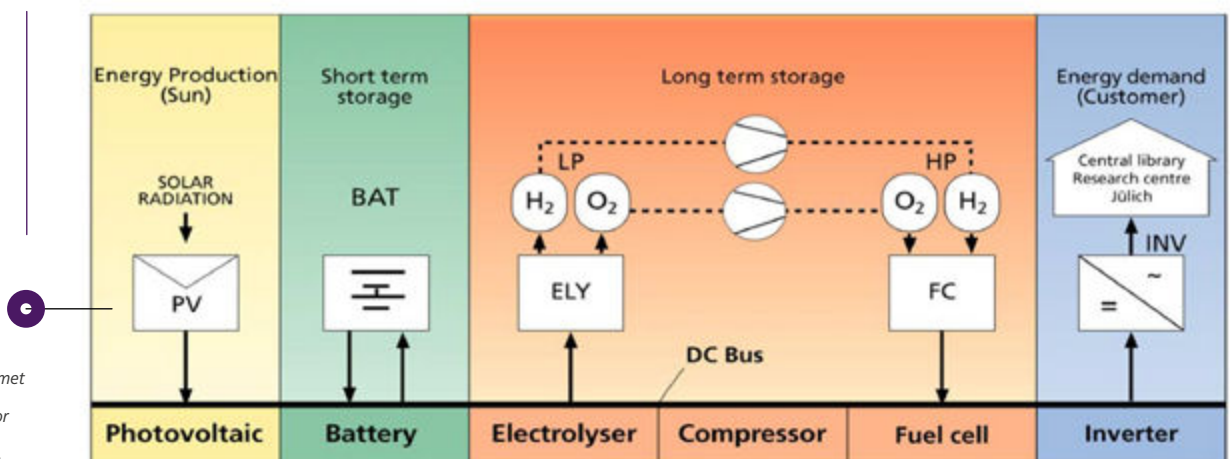
Bij de instellingen die we bezochten, vindt verschillend onderzoek plaats op het gebied van elektrolyse en brandstofcellen. Het onderzoekscentrum Jülich richt zich op fundamenteel onderzoek, waar in het Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT) toegepast onderzoek plaatsvindt. Deze instellingen zijn substantieel gefinancierd vanuit landelijke en regionale overheden in combinatie met opdrachten uit het bedrijfsleven. Dat verschilt met Nederland, waar een substantieel deel van de basisfinanciering bij de Nederlandse

onderzoeksinstituten zijn afgebouwd. Wat we alleen al bij deze twee onderzoeksinstituten gezien hebben aan onderzoek is indrukwekkend. Bovendien zijn er lange termijnplannen vanuit een gedeelde visie tussen overheden, onderzoeksinstituten en bedrijfsleven, iets wat in Nederland niet vanzelfsprekend is.

Over waterstof

Waterstof wordt op verschillende manieren geproduceerd: vanuit (aard) gas of met elektriciteit. De meeste waterstof wordt momenteel geproduceerd door methaan (uit aardgas) met stoom te laten reageren. Hierdoor ontstaat waterstof en CO_2 . Wanneer CO_2 in de lucht verdwijnt, heb je het over 'grijze waterstof'. Door het CO_2 af te vangen en op te slaan, spreek je van 'blauwe waterstof'. Een andere manier om waterstof te produceren is met elektriciteit. En wel met elektriciteit uit duurzame bronnen, zoals zon en wind. Dit heet elektrolyse waarvoor alleen zuiver water en elektriciteit nodig is. Het resultaat is waterstof en zuurstof. Deze waterstof wordt 'groene waterstof' genoemd.

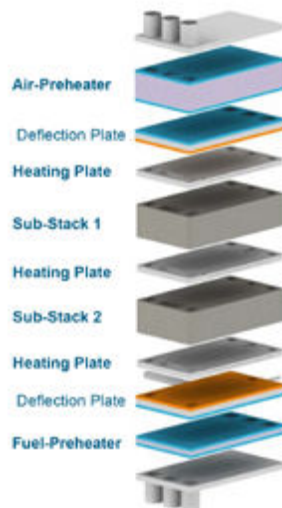
In hoog gecomprimeerde, vorm is waterstof geschikt als 'brandstof' voor elektrische auto's, waar men in Jülich en ZBT aan werkt. In gasvorm kan waterstof ook in het huidige aardgasinfrastructuur gebruikt worden. Dit vereist wel enkele aanpassingen aan het net en aan de gasbranders bij de eindgebruikers. Waterstof kan op grote schaal opgeslagen worden, iets wat bij elektrische energie niet zo gemakkelijk gaat. Elektrolyzers kunnen waterstof produceren op momenten dat er een teveel aan elektriciteit wordt geproduceerd, zodat netverzwaring kan worden vermeden. De geproduceerde waterstof wordt opgeslagen en biedt bij dagen seizoenspieken in de energiebehoefte een buffer voor het energienet. Met slim energiemanagement kunnen vraag en aanbod op elkaar afgestemd worden.



Figuur 1: Schema met mogelijkheden voor opslag van energie.

Overview of rSOC Integrated Module

- Module consists of:
 - Solid oxide cell stacks
 - Air-preheater
 - Fuel-preheater
 - Electrical driven heaters
-
- Key facts:
 - Co-flow stacks
 - Counter-flow heat exchanger
 - Stacks between heating plates → SOEC



Figuur 2: Een van de ontwikkelingen in Jülich is de reversibele solid oxide cell

Ontwikkelingen elektrolyzers en brandstofcellen

Elektrolyzers die elektriciteit omzetten in waterstof hebben een rendement van circa 80%. De waterstof wordt door brandstofcellen (bijvoorbeeld in auto's) omgezet in elektriciteit. Waterstofbrandstofcellen hebben een rendement van circa 60%. Maar zoals eerder al genoemd biedt waterstof wel mogelijkheden om langere afstanden af te leggen. In de gebouwde omgeving kan waterstof gebruikt worden om duurzame energie op te slaan op momenten dat er een overschot is en te gebruiken op momenten dat er een vraag is.

Elektrolyzers hebben door onderzoek hogere rendementen gekregen. Door een hogere bedrijfstemperatuur, een andere elektrodevorm, ander elektrodemateriaal, verkleining van de onderlinge afstand tussen de elektroden, lukt het om steeds

hogere rendementen te realiseren. Ook kunnen door meerdere cellen bij elkaar te plaatsen grote elektrolyse-units (stacks) worden gerealiseerd.

Een van de ontwikkelingen in Jülich is de reversibele solid oxide cell (rSOC, zie figuur 2). Deze bestaat uit één enkele module die zowel waterstof als elektriciteit kan produceren. Deze heeft een overall efficiency van 50,9%. Hierdoor wordt zeer efficiënt omgegaan met de energievraag en reconversie naar behoefte. Uit een van de presentaties van ZBT blijkt dat brandstofcellen voor de mobiliteit enorm ontwikkelen. In een tijdperiode van 11 jaar zie je in figuur 3 dat de brandstofcellen compacter, lichter en goedkoper worden en een langere levensduur hebben gekregen. De prestatie voldoet steeds meer aan wat klanten willen. Het laatste obstakel is nog dat de kosten voor serieproductie te hoog zijn, maar de verwachting is dat niet lang meer zal duren. Via TVVL Connect is onder de Waterstof Community meer informatie beschikbaar over de reis en de presentaties.

Economische toepasbaarheid

De grote vraag is hoe we waterstof snel, economische en duurzaam gaan produceren in landen met een overvloed aan zon of wind en/of in Nederland. Momenteel worden zon- en windparken aanbesteed voor langlopende trajecten tegen 1,5 €/ct/kWh. Het verschil met de lokale brandstofkosten is de investeringsruimte om er waterstof van te maken en naar Nederland te transporteren. Belangrijker nog is het feit dat dit een volledige verduurzaming is van onze energieinfrastructuur. Voor

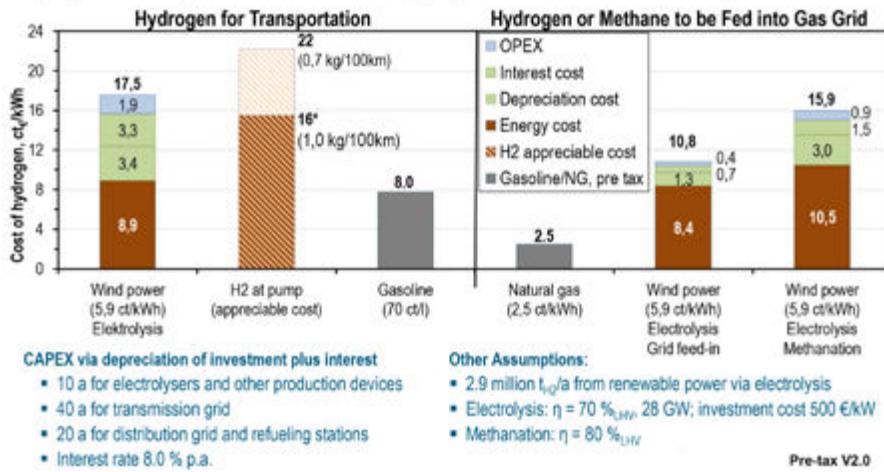
Figuur 3: Prestaties van brandstofcellen.



	Equinox Fuel Cell (2006)	Gen 1 (2011)	Gen 2 (2017)
Net Power	93 kW	85-92 kW	80 kW
Durability	50.000 km / 1.500 h	240.000 km / 5.500h	240.000 km / 8.450h
Mass	240 kg	120 kg	< 120 kg
Bipolar Plate	Composite	Stamped Stainless Steel	Stamped Stainless Steel
Precious Metal	80 g Pt	30 g Pt	< 15 g Pt
Number of Cells	440	320	304
Simplification	> 30 sensors	~ 15 sensors	~ 15 sensors

Cost Comparison of Power to Gas Options (Pre-tax)

Hydrogen for Transportation with a dedicated hydrogen infrastructure is economically reasonable



Figuur 4: Kostenvergelijking van power-to-gas opties.

Wat betreft de toepassing van waterstof voor de mobiliteit heeft Jülich voor Duitsland becijferd (zie figuur 5), dat bij een omvang van 20 miljoen auto's, de uitrol van een waterstofinfrastructuur goedkoper is dan een nationale dekking met elektrische laadpunten. Een belangrijk aspect daarbij is dat één waterstof vulpunt veel meer auto's per dag kan bedienen dan één elektrisch laadpunt. Of zulke

grootschalige groene waterstofproductie in Nederland zullen we voornamelijk van offshore windmolenparken afhankelijk zijn. De energie die daar geproduceerd wordt, moet op zee door grote elektrolysers omgevormd worden in waterstof. Het transport van dit waterstof kan vervolgens door omgebouwde offshore pijpleidingen. En zo wordt groene waterstof, ondanks de verliezen en extra kosten, economisch interessant en mogelijk binnen redelijke termijn haalbaar.

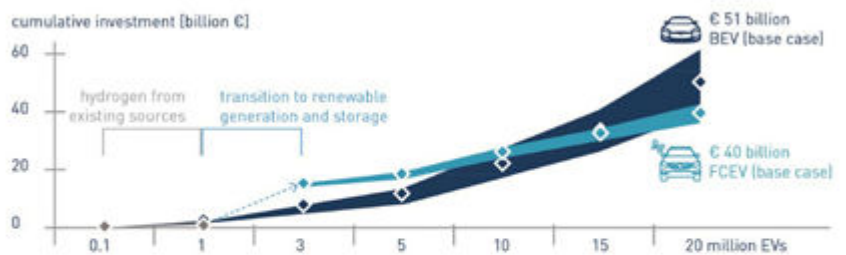
Uit een presentatie van Jülich blijkt dat waterstof via het gasnet, als alternatief voor aardgas, economisch haalbaar kan zijn (zie figuur 4). Met de kolommen 4 en 5 wordt geschetst dat als de kostprijs van waterstof minder dan 4 maal de aardgasprijs wordt, waterstof niet meer gaat kosten voor eindgebruikers dan aardgas. Evenzo geven kolommen 2 en 3 aan dat waterstof 2 tot 3 maal zoveel per kWh mag kosten (afhankelijk van verwachte toenemende efficiëntie) om concurrerend te kunnen zijn met benzine. De prijzen zijn allemaal weergegeven exclusief belastingen. Wat de uiteindelijke prijzen zouden worden, wordt dus mede bepaald door de belastingen. Bovendien moeten deze grafieken wel specifiek voor Nederland gemaakt worden.

conclusies ook getrokken mogen worden voor Nederland, met een kleiner wagenpark (circa 7 miljoen personenauto's), is een interessante vraag. De distributie en het hebben van voldoende tankstations zorgt ervoor dat waterstofauto's nog niet veelvuldig wordt toegepast. In Duitsland staan de komende jaren enkele honderden geplande fillingstations.

'Stof tot nadenken'

Om grootschalig waterstof te produceren is een enorme hoeveelheid zonn- en windenergie nodig. Op de reis maakten we een snelle rekensom dat om alle huishoudens in Nederland (7 miljoen woningen, 8,5 miljard m³ gas) te voorzien van waterstof zijn er circa 2.000 windmolens van 12 MW nodig. Bovendien spelen ook veiligheidsaspecten als explosiegevaar en eventuele lekken een belangrijke rol. Als waterstof grootschalig gebruikt wordt, zal

Comparison of Infrastructure Investments



Figuur 5: Kostenvergelijking voor infrastructuur.

- ▶ Cumulative investments are comparable during introductory and mass markets
- ▶ Future charge patterns unclear – greater uncertainty for charging infrastructure
- ▶ Hydrogen infrastructure with significant scaling effects

Foto 2: De waterstofauto's in Duitsland worden met veel interesse bekeken.



daarvoor het nodige personeel met de juiste expertise beschikbaar moeten zijn. Waterstof is dan wel niet nieuw, maar om het in de nieuwe vorm toe te passen, zoals in de gebouwde omgeving en door offshore waterstof te kunnen produceren, is kundig personeel noodzakelijk. Een enorme uitdaging in een tijd dat technisch geschoold personeel op alle niveaus zeer schaars is.

Mochten bovenstaande punten allemaal opgelost zijn, dan is er nog de uitdaging van de beschikbare grondstoffen en circulariteit om deze technische oplossingen voor de energietransitie te realiseren. Wetenschappers in Jülich rekenen momenteel aan de benodigde en beschikbare grondstoffen voor windmolens, elektrolyzers en brandstofcellen.

Conclusie

De techniek is zover, de kostprijs daalt enorm door technische en wetenschappelijke vorderingen. Met deze

Foto 3: Tijdens de reis terug uit Duitsland rekenen enkele deelnemers uit hoeveel duurzaam opgewekte energie nodig is om alle huishoudens van groene waterstof te voorzien.



technische ontwikkelingen gaat waterstof rendabel worden voor de gebouwde omgeving, zoals dat nu rendabel is voor de mobiliteit. Er moet goed worden onderzocht en gepland welke gebieden, regio's en wijken in Nederland in aanmerking kunnen komen om van aardgas over te schakelen op waterstof. Niet voor ieder gebied, wijk of type woning biedt waterstof de beste oplossing. En hoewel waterstof zeer geschikt is voor woningen die slecht geïsoleerd zijn, blijft hét advies in de energietransitie: beperk de energievraag, ook al is het maar met een basisisolatie.

Delen van dit artikel zijn mede gebaseerd op publicaties en presentaties van prof. Ad van Wijk. De figuren in dit artikel zijn afkomstig uit presentaties van ZBT en Jülich.

Meer kennisdeling op TVVL Connect

Wil je een bijdrage leveren? Wil jij jouw kennis delen? Ga met elkaar in dialoog op TVVL Connect (www.tvvlconnect.nl) onder de groep 'Waterstof Community'. Binnen deze community kunnen professionals meepraten over de ontwikkelingen rondom waterstof, kennis met elkaar delen en samenwerken aan het verder ontwikkelen en uitdragen van de benodigde kennis. Zo kun je bijdragen aan kennisontwikkeling en een toekomstvisie voor Nederland.