TU Delft

Delft University of Technology

Hydrogen Rocks! (Dutch version)

Luscuere, P.G.; van Wijk, A.J.M.

Publication date
2021

Document Version
Final published version

Citation (APA)
Luscuere, P. G., & van Wijk, A. J. M. (Eds.) (2021). *Hydrogen Rocks! (Dutch version)*. Delft University of Technology.

Important note
To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright
Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy
Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

This work is downloaded from Delft University of Technology.
For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to a maximum of 10.

HYDROGEN ROCKS!

TU Delft
Van Dorp
Orange Climate
Beyond Sustainability
Inspired ambitions

COLOFON

Dit boek is tot stand gekomen door een nauwe samenwerking tussen TU Delft, Van Dorp, Orange Climate, Inspired Ambitions, Beyond Sustainability en TVVL - Platform voor mens en techniek

UITGEVER
TU Delft

EDITORS
Peter Luscuere, Ad van Wijk

REDACTIE
Peter Luscuere, Mieke van Veen, Usch Engelmann

AUTEURS
Ad van Wijk, Albert van der Molen, Alice Krekt, Athanasios Pikos, Babette Korevaar, Bouwe Heida, Carola Hein, Chris Hellinga, Christian Haket, Erik Verbrugge, Fenna van de Watering, Françoise de Jong – van den Brink, Frank van Alphen, Frank Wouters, Gerard Oude Wesselink, Hans van Cleef, Henk Abbing, Henk Willem van Dorp, Hugo Vandenborre, Jaap Dijkgraaf, Jaco Reijerkerk, Jeroen Tap, Jeroen Warnders, Joep Coenen, Laurens Landeweerd, Laurens Meijering, Lennart van der Burg, Lote Asveld, Lucia van Geuns, Marcel Galjee, Marco Betting, Marco Bijkerk, Michel Rademaker, Miro Zeman, Nils van der Blij, Noé van Hulst, Patricia Osseweijer, Paul Broekaart, Peter Heijboer, Peter Luscuere, Rasyid Salam, René Schutte, Rob van Hattum, Robert van Hoof, Rutger de Vos, Tineke Bolhuis, Ton van Wingerden, Wart Luscuere, Wim Peels, Wim Versteele

GRAFISCHE VORMGEVING
Anique van Dorp, DORPSTAAL

FOTOGRAFIE
Portretfotografie: Richard Jetten (Jetten Foto), behalve op pagina 178 (Marc Nolte), pagina 148 (Fred Leeflang Design), pagina 100 (Hanny Verhoeven), pagina 222 (Patrick van Gemert).

De editors en redactie hebben intensief getracht alle copyrights van foto's en afbeeldingen te achterhalen. In het onvoorziene geval dat materiaal ongeautoriseerd is gebruikt wil de editor graag in contact komen met de rechthebbende. De copyrights van de wetenschappelijke afbeeldingen blijven bij de betreffende auteurs.

ISBN/EAN: 978-94-6366-385-4

© 2021 TU DELFT

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, re-use of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in other ways, and storage in data banks. For any kind of use, permission of the copyright owner must be obtained.

HYDROGEN ROCKS!

Peter Luscuere,
Ad van Wijk [EDS.]

VAN
ORP

VOORWOORD

Geachte lezer,

Toen wij de footprint van ons eigen bedrijf gingen bestuderen, bleek dat de gemiddelde CO_2-uitstoot per medewerker 5.400 kg per jaar was. De aarde kan per inwoner maximaal 1.500 kg CO_2 absorberen. Stel dat we hiervan de helft aan het privégebruik toerekenen, en de helft zakelijk, dan hebben wij een enorme ambitie voor ons liggen. Na bestudering van onze footprint is echter gebleken dat dit een haalbare ambitie is. Inmiddels hebben wij door het toepassen van elektrisch vervoer en het verduurzamen van onze bedrijfspanden al behoorlijke stappen gemaakt. Ook compenseren wij onze footprint met een bos in Uganda dat wij exploiteren. Hierdoor moet het haalbaar zijn om binnen enkele jaren CO_2-neutraal te zijn.

Maar er ligt nog een uitdaging op ons te wachten op het gebied van circulariteit.
In een rap tempo verbruiken wij de natuurlijke grondstoffen op deze wereld. Ook hier hebben wij de taak om voldoende achter te laten voor de komende generaties. Natuurlijk vinden wij weer nieuwe producten en toepassingen uit, maar een aantal grondstoffen zijn onvervangbaar, en het is helder dat hier een einddatum in zicht komt. Bovendien is het zo dat een klein deel van de wereldbevolking op grote schaal gebruik maakt van deze grondstoffen, een groot deel van de wereldbevolking maakt hier echter niet of nauwelijks gebruik van. Het is moreel rechtvaardig als wij deze laatste groep mensen dezelfde welvaart gunnen als wijzelf hebben, en dit kan niet met onze manier van leven. Dit houdt niet in dat wij een sobere en zuinige maatschappij moeten worden waarbij alles minder moet.

Wij beschikken over voldoende technologie, kennis en middelen om hierin een grote slag te maken. We maken met elkaar een reis naar de volgende decennia. Een reis waarbij een transitie naar de circulaire en duurzame economie bepalend zal zijn.

Wij hebben de opgave voor ons liggen om de CO_2-uitstoot te reduceren. Waterstof biedt hierin grote mogelijkheden. Omdat waterstof geen koolstof (C) bevat, zal er nooit CO_2 ontstaan bij de omzetting hiervan. De ontwikkeling van waterstof gaat wereldwijd razendsnel en is zeker geen ver-van-ons-bed-show meer. Voor u ligt een boek waarin wij u vertellen wat praktisch mogelijk en haalbaar is met waterstofoplossingen.

Wij zijn trots op het feit dat wij dit boek mede mogelijk hebben gemaakt.

Ik wens u veel leesplezier.

Groetend,

Henk Willem van Dorp

MBA Rentmeester

European Union, 2019

VOORWOORD

Bij de presentatie van de Europese Waterstofstrategie in juli 2020, vroeg een journalist of deze technologie niet 'besmet' was, wijzend op wat er gebeurde toen de mens de vorige keer probeerde dit gas te benutten. Het is duidelijk dat de technologie ver is gekomen sinds de ramp met de Hindenburg. Waterstof heeft nu een groeiende schare aan fans – en terecht.

Een groot deel van de energietransitie is gericht op directe elektrificatie. Maar voor sommige sectoren, zoals staal, cement, zwaar transport of scheepvaart, is elektrificatie geen oplossing. Hernieuwbare waterstof als brandstof en grondstof kan helpen deze puzzel op te lossen. Bovendien kan waterstof als energieopslag het potentieel van wind- en zonne-energie maximaliseren door een back-up te bieden voor seizoensgebonden schommelingen in duurzame energieproductie en door productielocaties met verder gelegen vraagcentra te verbinden.

Waterstof is dus hard op weg de rockster van de energiewereld te worden. De nieuw ontdekte kansen van waterstof en de cruciale rol ervan in ons toekomstige energiesysteem hebben waterstof een steeds aantrekkelijker investering gemaakt. Bijna dagelijks worden nieuwe waterstofprojecten aangekondigd.

Schaalvergroting van zowel het gebruik als de productie van hernieuwbare waterstof is essentieel om onze economieën verder koolstofvrij te maken. De technologieën om schone waterstof te produceren bestaan al. De komende jaren moeten onze inspanningen er dus op gericht zijn de markt te vergroten en waterstof de kans geven commercieel concurrerend te worden.

Schone waterstof is de sleutel voor een sterke, concurrerende en koolstofvrije Europese economie. Onze Waterstofstrategie heeft ambitieuze doelen gesteld en via de European Clean Hydrogen Alliance werken we samen met de industrie en andere belanghebbenden om de meest veelbelovende projecten snel van de grond te krijgen, zodat we tegen 2030 de geplande capaciteit van 40 GW aan hernieuwbare waterstof elektrolysers kunnen realiseren.

Europa loopt momenteel voorop, en met de huidige stand van technologie, de economische basis en de beleidsinstrumenten, kunnen we voorop blijven lopen. Waterstof zal nieuwe groene banen opleveren en zo de Europese industrie de 21ste eeuw in stuwen.

De beste manier om dit alles samen te vatten?

Hydrogen rocks!

Frans Timmermans

Uitvoerend vicevoorzitter
Europese Commissie

INHOUDSOPGAVE

1. WATERSTOF: DE WEG NAAR EEN HERNIEUWBARE ENERGIE-ECONOMIE EEN LANGE TERMIJN PERSPECTIEF 15

PETER LUSCUERE & AD VAN WIJK

2. DE WATERSTOFDROOM 21

HENK WILLEM VAN DORP

3. VERBORGEN VOORONDERSTELLINGEN EN ANDERE MISVATTINGEN ROND DE WATERSTOFECONOMIE 41

PETER LUSCUERE, HENK WILLEM VAN DORP & WART LUSCUERE

4. GROOTSCHALIGE OPSLAG VAN WATERSTOF IN ZOUTCAVERNES 49

HENK ABBING

5. HOE RELEVANT IS HET GASNET NOG? 57

FRANK VAN ALPHEN

6. ELEKTROCHEMISCHE COMPRESSIE & SEPARATIE: SLEUTELTECHNOLOGIE VOOR EFFICIËNTE OPSLAG EN TRANSPORT VAN WATERSTOF 61

MARCO BETTING

7. WATERSTOF IN ONZE HUIZEN 69

MARCO BIJKERK

8. SEMI-AUTONOME ENERGIECELLEN 81

NILS VAN DER BLIJ & MIRO ZEMAN

9. WATERSTOFSYMBIOSE 89

PAUL BROEKAART ET AL

10. ELEKTROLYSE: BUSINESS CASE EN ONDERZOEKSUITDAGINGEN 95

LENNART VAN DEN BURG

11. DE LANGE WEG NAAR EEN VOLWASSEN WATERSTOFMARKT 101

HANS VAN CLEEF

12. LAAT WATERSTOF STROMEN! 107

JOEP COENEN

13. OPBOUW VAN EEN DUURZAME EN CIRCULAIRE INDUSTRIE MET PARTNERSCHAPPEN EN DE FACILITERENDE ROL VAN WATERSTOF 113

MARCEL GALJEE

14. HET PERSPECTIEF VAN EEN LANGETERMIJN-INVESTEERDER OP DE ENERGIETRANSITIE EN WATERSTOF 119

CHRISTIAN HAKET & RUTGER DE VOS

15. WATERSTOF: DE EEUWIGE BELOFTE? 125

ROB VAN HATTUM

16. WATERSTOF: EEN KORTSTONDIGE HYPE OF HÉT ULTIEME AARDGASVRIJE ALTERNATIEF? 131

PETER HEIJBOER, BABETTE KOREVAAR & JAAP DIJKGRAAF

17. HOE EEN COOL WATERSTOFSTATION TE CREËREN? LESSEN UIT HET PETROLEUMSCAPE 141

CAROLA HEIN

18. WATERSTOF VOOR GEBOUWVERWARMING EN HET KLIMAATAKKOORD 149

CHRIS HELLINGA & AD VAN WIJK

19. ZONDER WATERSTOF GEEN OPSCHALING EMISSIELOOS RIJDEN 165

ROBERT VAN HOOF & WIM PEELS

20. OPSCHALING VAN DUURZAME WATERSTOF IN EUROPA 173

NOÉ VAN HULST

21. ROTTERDAM UNIEK GEPOSITIONEERD VOOR INTERNATIONALE ROL ALS WATERSTOFHUB 179

ALICE KREKT

22. PRAKTIJKERVARING WATERSTOF IN BESTAANDE GEBOUWDE OMGEVING 185

ALBERT VAN DER MOLEN

23. MORELE OVERWEGINGEN BIJ EEN WATERSTOFECONOMIE 191

PATRICIA OSSEWEIJER, LAURENS LANDEWEERD & LOTTE ASVELD

24. ENERGIE EN GEOPOLITIEK 199

MICHEL RADEMAKER & LUCIA VAN GEUNS

25. DAADWERKELIJKE EN WAARGENOMEN VEILIGHEID VAN NIEUWE WATERSTOFTOEPASSINGEN 207

JACO REIJERKERK & FRANÇOISE DE JONG-VAN DEN BRINK

26. ZUURSTOF ALS BUSINESS CASE-VERBETERAAR VOOR GROENE WATERSTOFPRODUCTIE 213

RASYID SALAM, ERIK VERBRUGGE & FENNA VAN DE WATERING

27. WATERSTOF INFOGRAPHIC 218

FENNA VAN DE WATERING

28. INFRASTRUCTUUR EN SYSTEEMINTEGRATIE 223

RENÉ SCHUTTE

29. DE ONTBREKENDE SCHAKEL VOOR HET GROOTSCHALIGE GEBRUIK VAN RESIDENTIËLE FOTOVOLTAÏSCHE ZONNEMODULES 229

HUGO VANDENBORRE

30. WATERSTOF IN WONINGEN 235

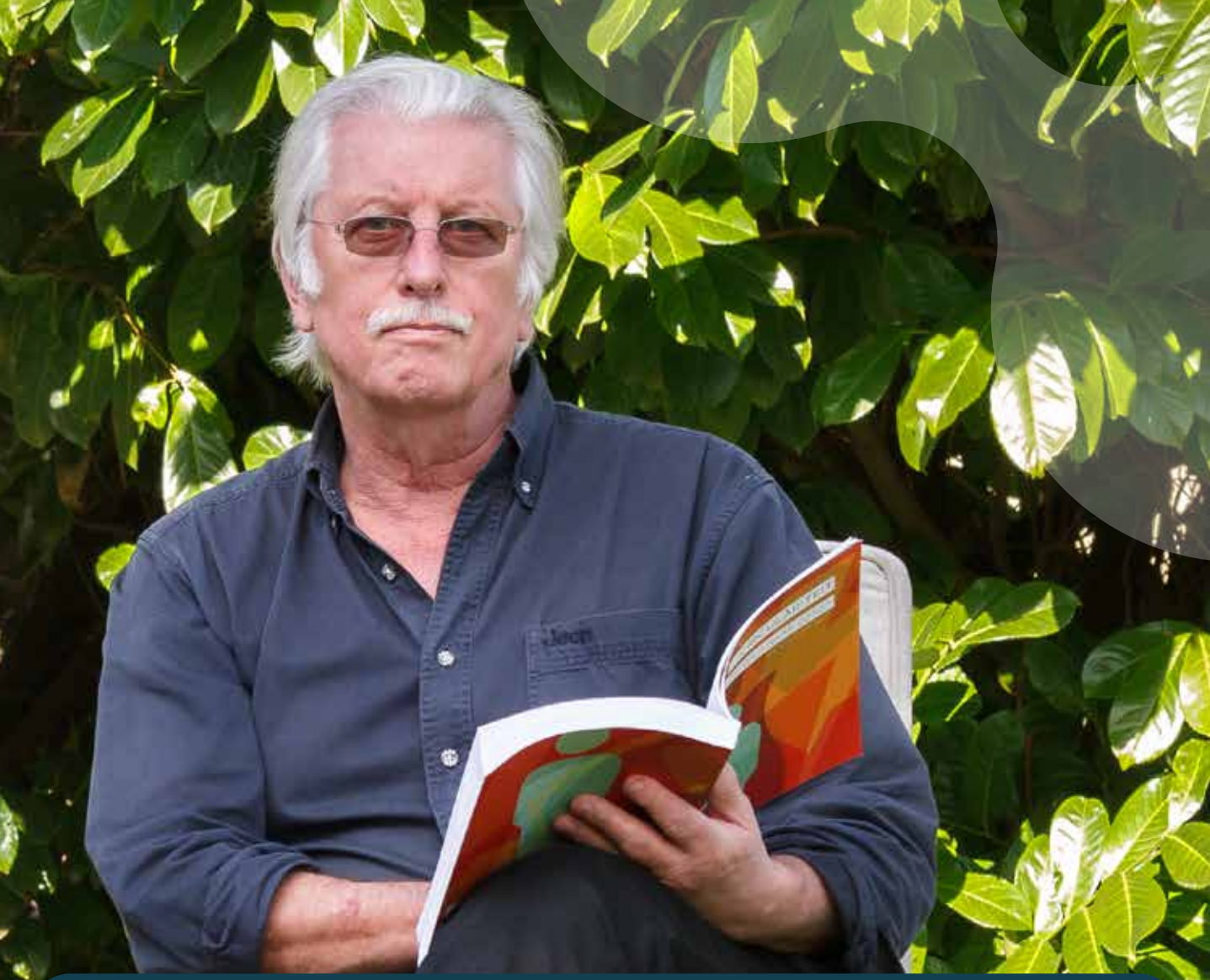
TON VAN WINGERDEN

31. WATERSTOF, HOE SNEL KAN HET GROEIEN? 243

FRANK WOUTERS

32. NAAR EEN EUROPESE WATERSTOFGEMEENSCHAP 249

FRANK WOUTERS & AD VAN WIJK



Prof. Peter Luscuere

PETER LUSCUERE IS HOOGLERAAR AAN DE TU DELFT VOOR DE LEERSTOELEN BOUWFYSICA EN INSTALLATIES, GASTHOOGLERAAR AAN DE TIANJIN UNIVERSITY IN CHINA EN TEVENS OPRICHTER VAN INSPIRED AMBITIONS, EEN ONAFHANKELIJK ADVIESBUREAU.

Peter heeft uitgebreide ervaring met het ontwerp van binnenmilieus, zowel in de industrie, de gezondheidszorg als de utiliteitsbouw. Als directeur bij RTB van Heugten en later bij Royal Haskoning was hij adviseur/projectdirecteur bij meerdere spraakmakende projecten zoals het ING-house, Erasmus MC, Orbis te Sittard en Het Nieuwe Rijksmuseum.

Peter is geïnspireerd door Cradle to Cradle® hetgeen heeft geleid tot de visie ‘Beyond Sustainability’ waarin het concept van ‘positive footprints’ wordt toegepast op alle natuurlijke hulpbronnen. Binnen de Roadmap Next Economy, een project met Jeremy Rifkin voor de Metropoolregio Rotterdam Den Haag, was hij trekker van het transitiepad Circular Economy. Op dit moment wordt de visie ‘Beyond Circularity’ verder ontwikkeld.

Ad van Wijk

AD VAN WIJK IS DEELTIJDHOOGLERAAR FUTURE ENERGY SYSTEMS AAN DE TU DELFT. HIJ IS GASTHOOGLERAAR BIJ KWR WATER RESEARCH INSTITUTE, WAAR HIJ HET ONDERZOEKSPROGRAMMA ENERGY AND WATER ONTWIKKELT EN IMPLEMENTEERT.

Hij is speciaal adviseur voor hydrogen Europa, dat de Europese industrie, nationale verenigingen en onderzoekscentra vertegenwoordigt, om samen met de EU-commissie een Europees waterstofbeleid te ontwikkelen. Hij is waterstofambassadeur bij de 'new energy coalition' om de groene waterstof-economie in Noord-Nederland te realiseren. Van Wijk bekleedt verschillende adviserende en toezichthoudende functies.

In 1984 richtte Van Wijk het bedrijf Ecofys op, dat uiteindelijk uitgroeide tot Econcern. Econcern heeft veel nieuwe duurzame energieproducten, -diensten en -projecten ontwikkeld. Voorbeelden hiervan zijn het 120 MW offshore windmolenpark Prinses Amalia in de Noordzee, verschillende multi-MW zonneparken in Spanje en een biomethanolfabriek in Nederland, de grootste tweede-generatie biomassa-installatie ter wereld.

Van Wijk won vele prestigieuze prijzen voor uitstekend ondernemerschap. Hij was onder meer Nederlands ondernemer van het jaar 2007 en Nederlands top-executive in 2008. Ad van Wijk is in 2019 benoemd tot
Honorary Fellow bij KWR Water Research Institute.

Aan de TU Delft richt professor Van Wijk zich op de energiesystemen van de toekomst met bijzondere aandacht voor onderzoek naar waterstof- en brandstofcelauto's en de realisatie van 'the Green Village'.

www.thegreenvillage.org

WATERSTOF: DE WEG NAAR EEN HERNIEUWBARE ENERGIE-ECONOMIE

EEN LANGETERMIJNPERSPECTIEF

PETER LUSCUERE[1,2] & AD VAN WIJK[1,3]

1) Delft University of Technology, 2) Inspired Ambitions, 3) KWR Waterresearch

Klimaatverandering en de noodzaak voor een hernieuwbare energietransitie

Ons klimaat is aan het veranderen en het feit dat dit veroorzaakt wordt door de mens is een net zo vaststaand wetenschappelijk feit als dat de aarde rond is of dat de zwaartekracht is. Recentelijk is een zogenaamde 5-σ 'gouden standaard' gepasseerd door gebruik te maken van drie onafhankelijke data- bronnen[1], om te bepalen dat we het antropogene tijdvak zijn binnengegaan. Deze gouden standaard wordt overal in de wetenschap gebruikt; bij het testen van medicijnen, bij kosmologie en om het bestaan van het Higgsdeeltje aan te tonen, een deeltje dat alles massa geeft en als zodanig de zwaartekracht. De waarschijnlijkheid geassocieerd met de gouden standaard is 1:3.500.000. Dat betekent dat klimaatsceptici die een in 3,5 miljoen kansen de juiste achten en zij tegen alle waarschijnlijkheid in, niet alleen hun eigen inzet op het spel zetten, maar de hele aarde als een mensvriendelijke omgeving. De voornaamste drijvende kracht achter de klimaatverandering is de CO_2-concentratie in onze atmosfeer, op dit moment 407,4 ppm[2] en stijgend. De wereldwijde emissies nemen toe hetgeen leidt tot een temperatuurstijging van meer dan 2 °C, dat mogelijk tot een op hol geslagen klimaateffect leidt[3].

Het verlagen van de CO_2-concentratie in de atmosfeer is nodig, maar zonder iets aan de emissies te doen blijft het dweilen met de kraan open. De eerste en belangrijkste interventie moet een wereldwijde transitie naar hernieuwbare energie zijn.
Op dit moment is de wereldwijde energieconsumptie ongeveer 18,3 TWy/y oftewel een continu vermogen van 18,3 TW[4]. De zon levert ons zo'n 10.000 maal deze hoeveelheid, zo volstaat het 10% van het oppervlak van Australië met zonnepanelen te bedekken om de gehele wereldbehoefte aan energie te dekken. Ook windenergie heeft een enorme potentie: 1,5% van de oppervlakte van de Stille Oceaan met windturbines[5] is voldoende voor de wereldbehoefte. Alle andere hernieuwbare bronnen tezamen vallen hierbij in het niet. Het is dan ook geen vraag wat de dominante hernieuwbare energiebronnen voor de benodigde energietransitie zullen zijn.

---

1 *Santer, B.D., Bonfils, C.J.W., Fu, Q. et al. Celebrating the anniversary of three key events in climate change science. Nat. Clim. Chang. 9, 180–182 (2019) doi:10.1038/s41558-019-0424-x*
2 *https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide*
3 *https://en.wikipedia.org/wiki/Runaway_greenhouse_effect*
4 *http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/2015-11-Solar-Update-Newsletter.pdf (p.4-6)*
5 *Ad van Wijk, Els van der Roest, Jos Boere; Solar power to the people, IOS Press BV, 2017.*

Zon en wind kunnen overal ter wereld geoogst worden, maar op sommige plekken is er meer overvloed. In zon- en windrijke gebieden kan 2,5-3,0 maal zoveel geoogst worden dan op land in Noordwest-Europa[6]. Daarom is het zinvol hernieuwbare energie in dergelijke gebieden te winnen en ze te transporteren naar waar er behoefte aan is. De afweging is of de hogere productie opweegt tegen de additionele lasten van opslag en transport. We zien al een trend naar energieparken in zon- en windrijke gebieden waarbij aanbestedingen resulteren in prijzen van 1,7 $c/kWh voor twintig jaar of meer. Bloomberg New Energy Finance en anderen voorspellen voor deze locaties[7] een verdere daling tot ca. 1,0 $c/kWh in 2030.

Opslag en transport van hernieuwbare energie in waterstof

Zonne-energie kan in elektriciteit worden omgezet met een efficiëntie van 15-23% hoewel in laboratoria 44%[8] wordt bereikt. Windturbines draaien normaliter efficiënties van 35-45%. De elektriciteit die uit deze hernieuwbare bronnen wordt gegenereerd is van hoge waarde (100% exergie), maar kan helaas niet eenvoudig op grote schaal worden opgeslagen. Transport over lange afstanden is eveneens tamelijk kostbaar. Het transport van moleculen is duidelijk goedkoper dan dat van elektronen[9]. Daarom is het interessant te onderzoeken of deze elektriciteit kan worden gebruikt om moleculen zoals H_2 te genereren voor het transport van deze hernieuwbare energie. Deze moleculen kunnen worden getransporteerd in de vorm van gecomprimeerd of vloeibaar gemaakt gas, waardoor de energie van zon- en windrijke gebieden naar waar dan ook ter wereld kan worden gebracht. Als voorbeeld moge de Olympische Spelen in Tokyo 2021 dienen die draaien op waterstof uit Australië, getransporteerd in vloeibare vorm. Evenzo kunnen andere moleculen worden gevormd zoals ammoniak (NH_3) met weer andere voor- en nadelen.

Omzetting van waterstof in warmte en elektriciteit

Waterstof kan in de gebouwde omgeving op verschillende wijzen worden gebruikt zoals in aangepaste aardgasketels voor bestaande woningen of in brandstofcellen voor nieuwbouw. In deze brandstofcellen wordt elektriciteit gegenereerd met 50-60% efficiëntie met daarij 40-30% warmte en als ultieme emissie: zeer schoon water. Het is gedemineraliseerd water, dus om het als drinkwater in te zetten moet het gemineraliseerd worden hetgeen eenvoudig te doen is. Brandstofcellen kunnen worden gebruikt om huiselijke, industriële of transportapplicaties te bekrachtigen. Een typische 100 kW autobrandstofcel kan, mits gefaciliteerd, heel wat huizen van stroom voorzien.

Kosten versus efficiënties

Hedendaagse aanbestedingen in grote zon- en windparken in zon- en windrijke gebieden realiseren prijzen zo laag als 1,5 €c/kWh met een verwacht minimum van 1 $c/kWh in 2030. Dat is driemaal zo goedkoop als de LcoE-kosten van de huidige kolencentrales. Het is echter niet eerlijk alleen productiekosten te vergelijken.

---

6 https://globalsolaratlas.info/ and https://globalwindatlas.info/
7 AJM van Wijk, F wouters; Hydrogen, The bridge between Africa and Europe, September 2019.
8 https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html
9 Technical Report Hydrogen - the key to the energy transition, TUDelft-TVVL

De geproduceerde energie moet getransporteerd en op de juiste tijd en plaats bij de klant afgeleverd worden. Vandaar dat de gehele energiebevoorradingsketen inclusief productie, conversie, transport en opslag vergeleken moet worden en niet alleen de energieproductie. Je kunt een hoop kostenramingen, trendanalyses en berekeningen maken, maar de basisargumentatie is als volgt. Uitgaande van de noodzaak tot een wereldwijde hernieuwbare energietransitie en gegeven het feit dat de zon overdadig is en ons vele malen meer de energie voorziet dan we nodig hebben, wordt het ultieme oordeel ten aanzien van de beste benadering niet gebaseerd op de totaalsom van alle efficiënties in de energiebevoorradingsketen, maar op de totaalsom van kosten in deze keten. Als we 'gestolde' hernieuwbare energie tegen dezelfde of zelfs lagere totaalsom kunnen leveren dan we die zelf genereren, gebruikmakend van fossiele of zelfs hernieuwbare energie, dan is er geen discussie welke te prefereren.

Beperkingen

Natuurlijk zal de transitie een fenomenale taak zijn die een zeer groot budget vraagt, maar dat is niets vergeleken bij de kosten die we ons op de hals halen indien de klimaatverandering niet wordt gestopt. De zon zoals reeds vermeld is overvloedig, hier zijn geen beperkingen. Tijd kan een beperking vormen doordat het doel van ruwweg 50% in 2030 en een volledig gedecarboniseerde energievoorziening in 2050[10] ons op zijn minst confronteert met een uitdagende tijdsplanning. De transitie moet door het volk gesteund worden, maar de beschikbaarheid van materialen om deze systemen te bouwen kan een punt van zorg zijn aangezien hernieuwbare energiesystemen tamelijk materiaalintensief[11] zijn. Hierbij is echter nog geen rekening gehouden met toenemende niveaus van hergebruik, alternatieve materialen of technologische ontwikkelingen, die alle kunnen bijdragen de druk op beperkt beschikbare materialen te verminderen.

Sociale uitdagingen en kansen

Men zou de politieke stabiliteit van gebieden waar zon en wind rijk aanwezig zijn ter discussie kunnen stellen, maar er zijn aanzienlijk veel meer zon- en windrijke plekken ter wereld dan plekken waar fossiele brandstoffen worden gewonnen of opgepompt. En zijn wij niet gewend aan en zelfs afhankelijk van notoir instabiele gebieden voor onze fossiele behoeften? Het kan zelfs als een politiek voordeel gezien worden zoals in het artikel van AJM van Wijk and F Wouters[7] waarin investeringen in Noord-Afrika de lokale economie en welzijn bevorderen door ze in een gemeenschappelijke onderneming te betrekken waardoor de immigratiedruk afneemt wat als zodanig gunstig is voor beide partijen.

Concluderend

Om de hernieuwbare energietransitie gebaseerd op zon en wind tot een succes te brengen, hebben we behoefte aan materialen, energie, tijd en doorzettingsvermogen; enorme uitdagingen speciaal gezien de noodzaak van de benodigde transitie.

---

10 *https://www.eerstekamer.nl/wetsvoorstel/34534_initiatiefvoorstel_klaver*

11 *The Growing Role of Minerals and Metals for a low Carbon Future, World Bank Group and Extractives Global Programmatic Support, June 2017.*

Van Wijk heeft een aantal leesbare boeken gepubliceerd:

‘How to cook an egg’
ISBN: 978-1-60750-989-9.

‘Welcome to the Green Village’
ISBN 978-1-61499-283-7,

‘Our Car as Power Plant’
ISBN 978-1-61499-376-6 and

‘3D printing with biomaterials’
ISBN 978-1-61499-485-5,

‘The Green Hydrogen Economy in the Northern Netherlands’
ISBN 978-90-826989-0-9,

‘Solar Power to the People’
ISBN 978-1-61499-832-7 (online)

‘Green Hydrogen for a European Green Deal; A 2x40 GW Initiative’, 2020
ISBN 978-90827637-1-3

Volg Ad van Wijk op twitter @advanwijk of via zijn website www.profadvanwijk.com

“OM DE HERNIEUWBARE ENERGIETRANSITIE GEBASEERD OP ZON EN WIND TOT EEN SUCCES TE BRENGEN, HEBBEN WE BEHOEFTE AAN MATERIALEN, ENERGIE, TIJD EN DOORZETTINGSVERMOGEN”

Henk Willem van Dorp

HENK WILLEM VAN DORP IS DE OPRICHTER VAN VAN DORP EN SINDS NOVEMBER 1985 DGA VAN DE ONDERNEMING. VAN DORP BV BESTAAT UIT 35 BEDRIJVEN EN CA 2.000 MEDEWERKERS/STERS. ALS RENTMEESTER IS ZIJN PERSOONLIJKE MISSIE DE WERELD MOOIER ACHTER TE LATEN DAN DAT HIJ HEM HEEFT AANGETROFFEN.

Dit uit zich in zijn bedrijfsvoering en voortdurend zoeken naar duurzame oplossingen. Een van zijn doelstellingen is dat Van Dorp binnen 3 jaar CO_2-neutraal is.

Zijn technische opleiding genoot hij op de HTS in Den Bosch en bij TVVL, zijn bedrijfseconomische opleiding bij de executive MBA op de universiteit van Nyenrode samen met Wharton in Philadelphia.

Naast zijn activiteiten in het bedrijf is hij actief geweest in de branche: o.a. 14 jaar in Techniek NL en 5 jaar als voorzitter van TVVL.

Henk Willem van Dorp is er trots op dat zij het bedrijf nog steeds leiden als een familiebedrijf, waarbij het respect voor milieu, omgeving, leveranciers, klanten en medewerkers centraal staat.

Wat hem ook trots maakt is dat alle vier zijn zoons nu in het bedrijf werken.

DE WATERSTOFDROOM

HENK WILLEM VAN DORP

De droom:

"Want tussen droom en daad staan wetten in de weg en praktische bezwaren," aldus Willem Elsschot in zijn gedicht: 'Het huwelijk'.

Dat zien we ook bij de toepassing van waterstof; het lijkt een ideale energiedrager; er zit immers geen koolstof in dus produceert het ook geen CO_2. Daarnaast heeft het een hoge energie-inhoud en waterstof is volkomen circulair. O ja, het is ook nog een opslagmedium c.q. buffer, en als extra plus; waterstof verbindt ook nog eens onze beide energiesystemen - gas en elektriciteit - met elkaar.

Kortom, waterstof is de oplossing voor de energietransitie. In dit boek staat er al veel over geschreven; bijna te mooi om waar te zijn en de vraag rijst dan ook: is waterstof echt de gouden sleutel voor de energietransitie? Dat kan het zijn, maar tussen droom en daad staan wetten en praktische bezwaren.

Wat zijn de wetten en praktische bezwaren dan? Die hebben te maken met techniek en geld en hier en daar een wet. In deze drie onderwerpen wil ik u meenemen.

Technische haalbaarheid

In dit boek worden de verschillende mogelijkheden over de toepassing van waterstof beschreven. De collega-auteurs benoemen op verschillende wijze de aantrekkelijkheid van waterstof als energiedrager. De voordelen zijn evident. Ten eerste wordt er geen CO_2 geproduceerd, omdat er geen koolstof in de energieketen wordt verwerkt. Ten tweede is het door de hoge energie-inhoud per kg bijna overal toepasbaar. De technische haalbaarheid is geen item eigenlijk; alles is al bedacht en wordt al decennia gebruikt. Er functioneren wereldwijd ongeveer één miljoen brandstofcellen probleemloos en bijna elke week krijg ik een bericht dat er weer ergens een waterstoffabriek opgestart wordt. Ook krijg ik regelmatig berichten over de productverbeteringen. De ontwikkelingen gaan snel en volgen elkaar in rap tempo op.

Een ander voorbeeld is dat cv-ketels probleemloos branden op waterstof. Decentrale energieopwekking met waterstof is inmiddels ook 'old school'. Auto's rijden probleemloos en comfortabel op waterstof of elektriciteit. Met veel plezier rijden wij binnen het bedrijf inmiddels al een jaar met vijf waterstofauto's. Helaas worden wij beperkt door de matige beschikbaarheid van waterstoftankstations.
Het probleem bij auto's is nog de beperkte infrastructuur aan tankstations. Hierbij lopen we onnodig ver achter op bijvoorbeeld Duitsland. De conclusie is dan ook dat de technische haalbaarheid niet ter discussie staat en we volop 'ja' kunnen zeggen tegen de vraag; is het technisch haalbaar?

Waterstofauto Hyundai Nexo. Bron: Van Dorp

Geld: financiële haalbaarheid

Na deze 'ja' komen we bij de volgende vraag: is deze droom financieel haalbaar? Laat ik u meenemen naar onze recente geschiedenis; in de periode van 1963 tot 1968 is Nederland massaal omgeschakeld van stadsgas (of ook wel lichtgas genoemd) naar aardgas.

Dat ging eigenlijk vrij snel en dat had twee redenen; de eerste reden was dat aardgas goedkoper was. De snelheid van de transitie kwam doordat we in de grotere steden de beschikking hadden over een gasnet gebaseerd op stadsgas. Saillant detail is dat stadsgas bestond uit: 62% waterstof, 23% methaan, 8% koolstofmonoxide, 2% stikstofgas en 2% koolstofdioxide.

In die vijf jaar is zesduizend kilometer buisleiding aangelegd. Dit is een enorme prestatie. En waarom ging dat zo snel; het was vele malen goedkoper. Hierdoor ontstond er een autonome vraag uit de markt en wilde iedereen aardgas.

Dit proces van toen lijkt veel op de transitie naar waterstof; we hebben nu al een gasnet dat we relatief goedkoop kunnen inzetten. Omdat waterstof bestaat uit de kleinste moleculen moet het aardgasnet aangepast worden om lekkage te voorkomen. Dit betreft vooral de afdichtingen en pakkingen. De KIWA heeft hier onderzoek naar gedaan en zij constateert in haar rapport van juni 2017 dat de kosten hiervan slechts 10% zijn van de oorspronkelijke aanleg.

Maar ja, de prijs; aardgas 'stroomt' gratis uit de grond en productiekosten zijn er nauwelijks. Ook weer niet helemaal waar als we naar de aardbevingen en verzakkingen kijken. En om volledig te zijn, moeten we ook de milieuschade meetellen. De CO_2-uitstoot met klimaatschade tot gevolg kost echt heel veel geld in de vorm van orkaanschade, bosbranden, honderden miljoenen klimaatvluchtelingen en dijkverhogingen. Het gaat hier om vele miljarden. Het lastige is dat deze rekening door anderen dan de gebruiker wordt betaald. Hierdoor vergeten velen dit in de rekensommen mee te nemen. Als je dat doet, moet je eigenlijk € 100/ton CO_2-heffing erbij rekenen. (Bron: https://www.magnuscmd.com/nl/co2-beprijzing-in-duitsland-en-andere-landen-is-ets-niet-voldoende/).

De laatste manier waarop fossiele energie veel geld kost, is die van geopolitieke kosten. Die worden eigenlijk nooit meegecalculeerd. Maar bijna alle laatste

oorlogen gaan hierover. Vele miljarden worden verspild, mensenlevens worden gekort en beschadigd door conflicten om fossiele energie. Veel geweld is ook gefinancierd vanuit de opbrengsten van fossiele energie. Als je dit gaat meerekenen dan kom je al snel op een heffing van € 500/ton CO_2. Duidelijk is dat er op dit gebied veel rekenwerk nodig is om dat in het juiste perspectief te kunnen zien.

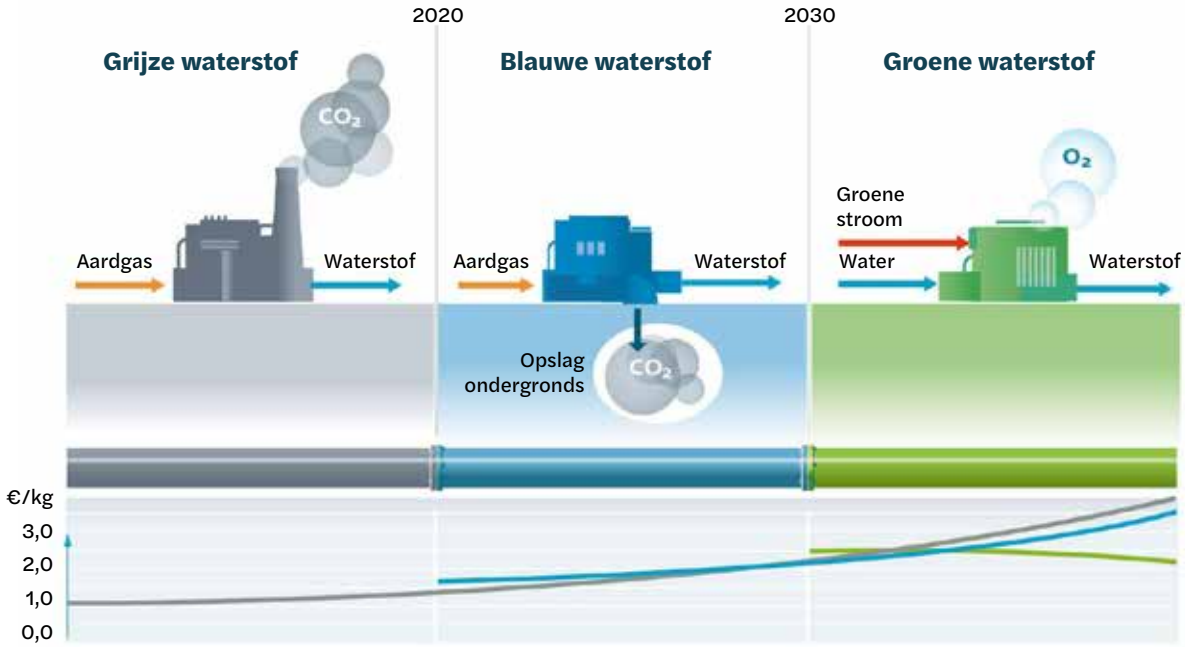
Maar praktisch gezien moeten we binnen de bestaande realiteit onze rekensommen maken en waterstof vergelijken met andere energiebronnen zoals aardgas, olie, benzine, biomassa en kernenergie. Om dit te doen worden de systeemkosten per kWh aan de meter belast aan de gebruiker. Bij mobiliteit doen we dat voor de kosten aan de pomp.

We rekenen dus op twee manieren; methode één is vergelijkbaar maken op een inclusieve basis, dus inclusief milieuschade. Methode twee is kijken hoe snel het duurt om op een gelijk speelveld te komen door prestatie en prijsverbetering.

Om het verhaal compleet te maken voegen we een vergelijking met ***kernenergie*** toe.

Inclusief rekenen

Op dit moment is waterstof nog duurder dan veel andere energiebronnen. Dat vergelijk is niet helemaal terecht, want waterstof is een energiedrager en geen bron. Fossiele energiebronnen worden door de natuur gratis ter beschikking gesteld. Waterstof moet daarentegen opgewekt worden. De kosten van dit opwekken kunnen teruggebracht worden naar nul, door het gebruik van zon- en windenergie. De mogelijkheden zijn onder te verdelen in grijze, blauwe of groene opties. In onderstaande afbeelding worden de verschillen grafisch weergegeven. De kostprijslijnen geven aan hoe er in 2017 tegen de prijsontwikkeling aangekeken werd.



Prijsontwikkeling waterstof - Bron: Gasunie pitch voor de Electriciteitstafel, gebaseerd op ECN 2017

In dit deel beperken we ons tot duurzame opwekking: de groene optie. Bij grijze waterstof komt er nog steeds CO_2 vrij. Bij blauwe waterstof wordt dit weliswaar afgevangen, gecomprimeerd en opgeslagen (Carbon Capture and Storage/CCS) maar dit is erg duur, kost veel energie en is economisch niet interessant. Het kost ca € 120 / ton CO_2 (zie[1] pagina 5) en verderop zal ik argumenteren dat de invoering van CO_2-vrije waterstof prijstechnisch gelijk is bij een CO_2-prijs van € 50 / ton. We kiezen dus voor groene waterstof, duurzaam opgewekt.

De opwekkers zoals de zon en de wind zijn gratis dus de kosten worden bepaald in de keten. De kosten in de keten zijn afhankelijk van de toepassing van de waterstof. Het maakt een aanzienlijk verschil of we waterstof direct in ons gasnet stoppen ter vervanging van aardgas, of het voor ons elektrisch energiesysteem gebruiken. Daarnaast zijn er toepassingen bij mobiliteit. Elk systeem heeft zijn eigen kosten en specifieke kenmerken en moet integraal vergeleken worden. In dit plaatje van 2017 wordt dus uitgegaan van een waterstofprijs van € 2,6/kg te bereiken in 2050.

Kosten waterstof

Graag wil ik jullie meenemen in het vergelijk van twee systemen: de brandstof-variant en de gasnetvariant. Hierbij nemen we aardgas als referentie.

Nu komt aardgas gratis uit de grond en is het op de wereldmarkt verkrijgbaar tegen ca. € 0,06/m³ met een energie-inhoud van 31,65 MJ/m³, oftewel € 0,00683/kWh thermisch. Bij een systeemrendement van ca. 40% is dat € 0,017/kWh elektrisch. Als we een CO_2-heffing gaan toerekenen dan ontstaan er andere prijzen.

Stap 1 is ongeveer € 25/ton - dat is het niveau van begin 2020.
Stap 2 is € 50/ton als we naar een economisch gelijk niveau gaan.
Stap 3 is € 100/ton als we naar een niveau gaan waar klimaatschade verrekend is.
Stap 4 is € 500/ton als we naar een niveau gaan waar alle schade verrekend is.

De kosten van waterstof dat door de zon is opgewekt dalen de laatste jaren als in een stroomversnelling. Dat komt omdat de opwekking zoveel goedkoper wordt. Zie onderstaand voorbeeld.

Effecten CO_2 beprijzing op aardgas					
1,89 kg / m³		prijs / KWh thermisch 0,19 kg / KWh		prijs / KWh electr. 0,48 kg / KWh elect.	
prijs / ton	per m³	m³ samen	KWh ther	KWh e	samen
€ 0,00	€ 0,000	€ 0,06	€ 0,006	€ 0,02	**€ 0,031**
€ 25,00	€ 0,047	€ 0,11	€ 0,011	€ 0,03	**€ 0,043**
€ 50,00	€ 0,095	€ 0,15	€ 0,016	€ 0,04	**€ 0,055**
€ 100,00	€ 0,189	€ 0,25	€ 0,025	€ 0,06	**€ 0,079**
€ 500,00	€ 0,945	€ 1,01	€ 0,103	€ 0,26	**€ 0,273**

1 *http://trinomics.eu/wp-content/uploads/2019/04/MarktontwikkelingenmarktordeningCarbonCaptureandStorageCCS-1.pdf*

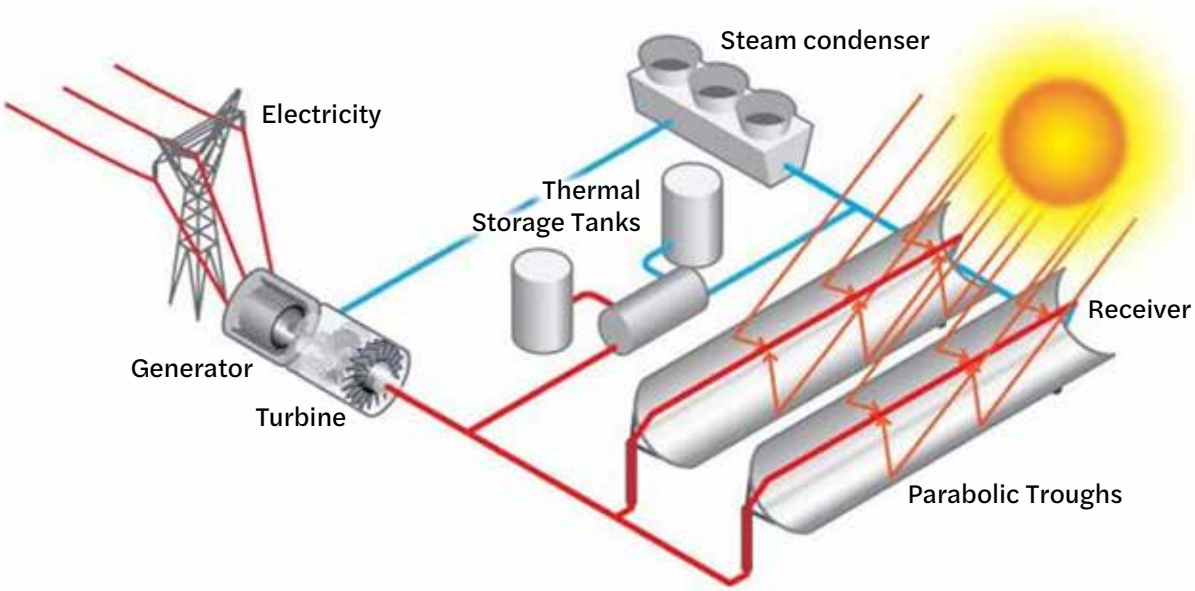
Volgens Bloomberg NEF's Economics of Hydrogen Production from Renewables van augustus 2019, kan groene waterstof tegen 2050 een prijs van $ 0,8/kg bereiken, afhankelijk van de beschikbaarheid van direct aangesloten hernieuwbare energie van $ 14/MWh tot $ 17/MWh.

Om op de warmtemarkt met $ 2/MMBtu-gas (€ 0,06/m3 aardgas en voor de rekenaars onder u; 1 kWh komt overeen met 3412 Btu= Britisch Thermal Units) te concurreren, zou groene stroom tegen die prijzen een CO_2-prijs van $ 56 per ton nodig hebben.

De groene waterstof die het zou kunnen produceren voor $ 0,8/kg zou echter een prijs van $ 94 per ton vereisen om concurrerend te zijn. In Europa, waar aardgas momenteel wordt verkocht voor $ 4 per MMBtu, zou hernieuwbare elektriciteit voor $ 17/MWh helemaal geen CO_2-heffing nodig hebben, maar de groene waterstof die het zou kunnen produceren, zou nog steeds een CO_2-prijs van $ 57 (ca € 50) per ton nodig hebben.

Tot zover ons denken in 2019. Het aardige is dat de prijs van groene stroom alweer een nieuw laagterecord gehaald heeft namelijk in Dubai: hier worden hele grote Concentraded Solar Power centrales gebouwd. Dit zijn enorme energiecentrales waarbij de zon middels spiegels een reactor in een hoge mast verwarmt. Deze wekt stoom op om de turbine aan te drijven.

Schematisch ziet dit er zo uit:



Bron: http://www.cspultralitesolar.com/technology/concentrated-solar-power/

Bovenstaand: Een artist's impression in Dubai (Bron: https://constructionreview online.com/news/worlds-tallest-concentrated-solar-power-tower-installed/)

The world's tallest concentrated solar power tower (CSP) has been installed in Dubai. The tower reaches 262 meters into the sky and at the top is perched the Molten Salt Receiver (MSR) which is a critical component in all concentrated solar power plants. The tower receives concentrated radiation from parabolic mirrors and then converts it to thermal energy which is stored in molten salt form for use to drive turbines and provide electricity even after the sun goes down.
The solar power tower is part of phase 4 of the Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park which came with a $4.3 billion price tag. The fourth phase of the solar park combines CSP and photovoltaic technology and is rated for 950MW. It will use 700 MW of CSP, 600 MW from a parabolic basin complex, 100MW from the solar power tower and 250 MW from photovoltaic solar panels. On completion, the project will have the largest thermal storage capacity in the world of 15 hours, allowing for energy availability around the clock.

Bron: Construction Review Online June 13th 2020.

Maar nog interessanter is het afgegeven bod van $ 0,0135 oftewel € 0,011/kWh. Dat is een spectaculaire verlaging; als we dat doorrekenen komen we op de kostprijs van de primaire energie voor waterstof daar al op ongeveer € 0.50/kg. Daar komen nog de kosten voor de techniek en het transport bij. Dit wordt geschat op ongeveer € 1,00/kg. Samen komt dat uit op € 1,50/kg. Deze kosten zijn sterk afhankelijk van de wijze van transporteren en comprimeren. Comprimeren tot een vloeibaar niveau en transporteren per schip is aanzienlijk duurder, wel € 2,00/kg. In 2017 dachten we dat dit prijsniveau van duurzaam opgewekte stroom pas in 2050 haalbaar zou zijn; dat blijkt in 2020 al werkelijkheid. Natuurlijk duurt het nog enkele jaren voor het gerealiseerd is, maar het perspectief is er wel.

Op dit moment worden in Noord-Afrika, in de Verenigde Arabische Emiraten en in Australië fabrieken in aanbouw genomen.

In Noord-Afrika gaat dat om projecten die direct kunnen aansluiten op ons Europees gasleidingnetwerk. Er is een zeer interessante studie verschenen van onder andere Prof. Ad van Wijk c.s. genaamd Desert Energy[2].

Bij de ***Verenigde Arabische Emiraten*** zijn er plannen in uitvoering:

Fabriek
In Dubai wordt een fabriek gebouwd die zonne-energie gaat omzetten in waterstof. De fabriek is de eerste in het Midden-Oosten en Noord-Afrika en moet klaar zijn voordat de wereldtentoonstelling Expo 2020 begint (loopt van 1/10/2021-1/3/2022). Om de fabriek te bouwen, doet de lokale Dubai Electricity and Water Authority een beroep op de kennis van Siemens. De Duitse multinational heeft al meer ervaring met het bouwen van waterstoffabrieken.

Zonnepark Dubai
De fabriek in Dubai komt naast een enorm zonnepark te liggen. Het Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park moet in 2020 duizend MW aan zonne-energie kunnen opwekken. Tien jaar later moet de capaciteit vervijfvoudigd zijn en moet er vijfduizend MW opgewekt worden. Op het terrein komt ook een onderzoekscentrum en een ontziltingsinstallatie, waarmee van zout water zoet water gemaakt kan worden[3].***)***

Groene waterstof
Met de waterstof die wordt geproduceerd in de fabriek, moeten op de Expo 2020 een aantal voertuigen aangedreven worden. Hoe groot de capaciteit van de elektrolyser in de fabriek is, is niet bekendgemaakt. ‘‘Dit project is een voorbeeld van wat er gedaan kan worden in een samenwerking tussen Expo 2020 Dubai en onze partners. Hiermee belichamen we het thema van de Expo: ‘connecting minds creating the future’’ stelt Reem bint Ibrahim Al Hashimy, directeur van de Expo 2020.

Duurzame investeringen
Dubai zet de komende jaren fors in op duurzame energie. In 2050 wil het emiraat 75 procent van alle energie uit duurzame bronnen halen. In de Verenigde Arabische Emiraten gebeurt meer als het gaat om duurzame energie.

---

2 https://dii-desertenergy.org/wp-content/uploads/2019/12/Dii-hydrogen-study-November-2019.pdf
3 https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/energie/15495/saudi-arabie-en-dubai-zetten-vol-in-op- zonne-energie

Zo werd in Abu Dhabi begin februari de grootste batterij ter wereld in gebruik genomen, met een capaciteit van 649 MWh[4].)

Naast duurzame energie steekt Dubai ook veel geld in duurzamere mobiliteit. Zo wordt het emiraat een proeftuin voor de Hyperloop en kunnen eigenaren van elektrische auto's hun voertuigen tot het einde van dit jaar gratis bijladen[5].) In Australië gaat het om een forse fabriek voor de export met een 75 MW elektrolyser geschikt voor de export van waterstof[6].

Ook in Nederland gebeurt het een en ander door Shell. De duurzame energie wordt hier geleverd via de windenergie:

"Samen met partners wil Shell Nederland een groene waterstofhub creëren in de Rotterdamse haven. Shell is van plan om op de Tweede Maasvlakte groene waterstof te gaan produceren met behulp van groene stroom uit windenergie. Deze windenergie komt bij voorkeur van het offshore windpark Hollandse Kust (noord).

Via de joint venture CrossWind nemen Shell en Eneco deel aan de aanbesteding van dit windpark. Beide bedrijven hebben garanties afgegeven aan CrossWind voor de investeringen in de bouw en exploitatie van Hollandse Kust (noord)."

Bron: Website Shell 7 mei 2020.

Bron: NOS artikel 19-3-2018; HH | EYEEM MOBILE GMBH

4 *https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/energie/30967/enorme-batterij-van-108mw-online-in-vae*
5 *https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/mobiliteit/24917/eigenaren-van-elektrische-autos-mogen-gratis-bijladen-in-dubai*
6 *https://reneweconomy.com.au/south-australia-backs-250m-green-hydrogen-project-to-kick-start-exports-54905/*

Wind op zee heeft een aanzienlijk hogere opbrengst dan wind op land. Op zee heeft niemand er last van en er is ruimte genoeg. Indien we alle energie die deze wereld nu verbruikt willen opwekken met een windmolenpark dan is slechts 1,5% van het oppervlak van de Stille Oceaan nodig[7].

De conversie van wind naar elektriciteit is qua rendement matig; vanuit de wind gezien gebruiken we maar 35% (berekend ten opzichte van het oppervlak bestreken door de wieken) en als we ervan uitgaan dat de wind opgewekt wordt door de zon daalt het rendement tot onder de 1%. Maar daar staat tegenover dat deze energie verder niet benut wordt en gratis overvloedig voorhanden is. De formule wordt dan ook:

Investerings- en onderhoudskosten minus overvloed maal gratis bepalen de prijs.

Op dit moment leeft de verwachting dat windenergie zich zal vertalen in een elektriciteitsprijs van € 0,03/kWh. Zelf denk ik dat het nog lager kan als we direct op zee waterstof gaan opwekken met simpele windmolens gekoppeld aan elektrolysers. Als we deze aansluiten op het bestaande gasnet van de Noordzee zal dat concurreren met waterstof uit Afrika.

En u moet zich realiseren; u betaalt niet voor het rendement in de keten, u betaalt voor de prijs van de energie aan het einde van de keten. De veel voorkomende denkfout is dat we systemen vergelijken op basis van het energetisch rendement. Dat is technisch gezien wel interessant, omdat het ons zicht geeft op het verbeterpotentieel. En dat is er zeker en daar wordt ook hard aan gewerkt.

Ontwikkelingen

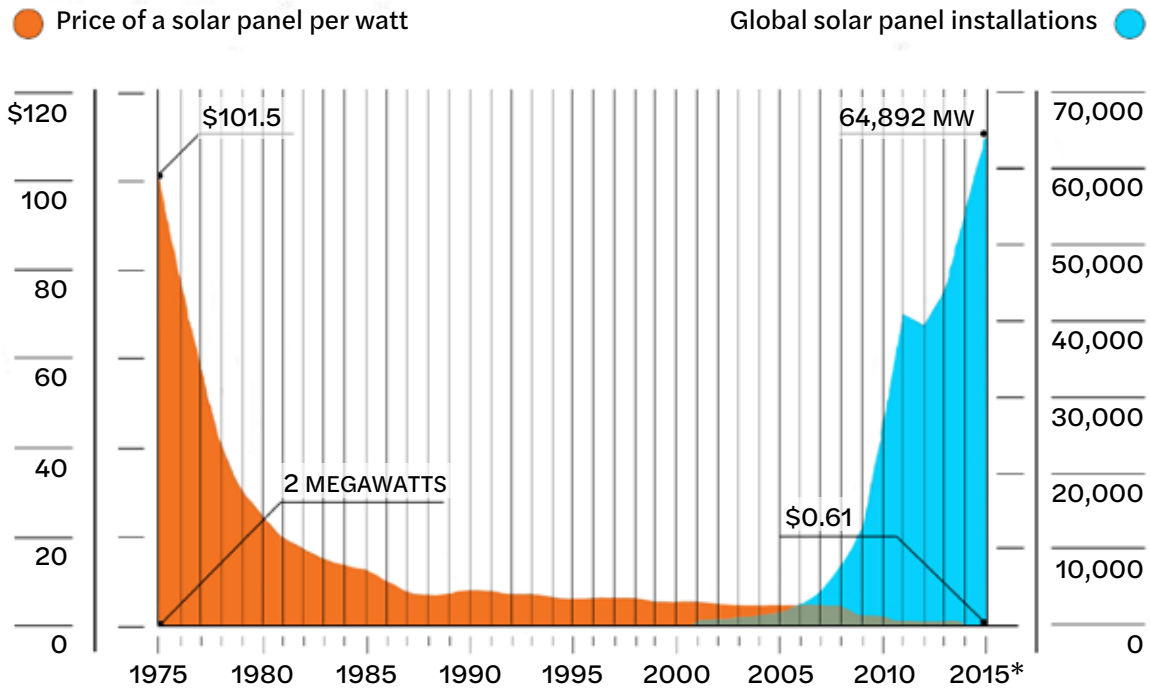
We weten vanuit de economie dat er zoiets als ‘economy of scale’ bestaat. Dit houdt in dat hoe meer we van een product maken, hoe goedkoper het wordt.
Het maakt natuurlijk wel uit of je één stuk maakt, duizend stuks of één miljoen. Daar worden de productiekosten op afgestemd. Maar we worden ook slimmer naarmate de tijd vordert. Zo gebruiken we bijvoorbeeld steeds minder exclusieve materialen in elektrolysers. Ze worden efficiënter, kleiner en goedkoper.

Hierdoor daalt de kostprijs op vier fronten; productiemethodieken, technologie, efficiëntie en andere, goedkopere grondstoffen. Dat proces is vergelijkbaar met de productie van zonnepanelen. Hier hebben we te maken met het zogenaamde ‘Swanson effect’: dat wil zeggen elke keer als de wereldproductie verdubbelt, daalt de prijs met 20%.

De wet van Swanson is de observatie dat de prijs van fotovoltaïsche zonnepanelen de neiging heeft om met 20% te dalen voor elke verdubbeling van het cumulatieve geproduceerde volume. Anno 2016 dalen de kosten ongeveer elke tien jaar met 75%. (Wikipedia)

7 *Ad van Wijk, Els van der Roest, Jos Boere; Solar power to the people, IOS Press BV, 2017.*

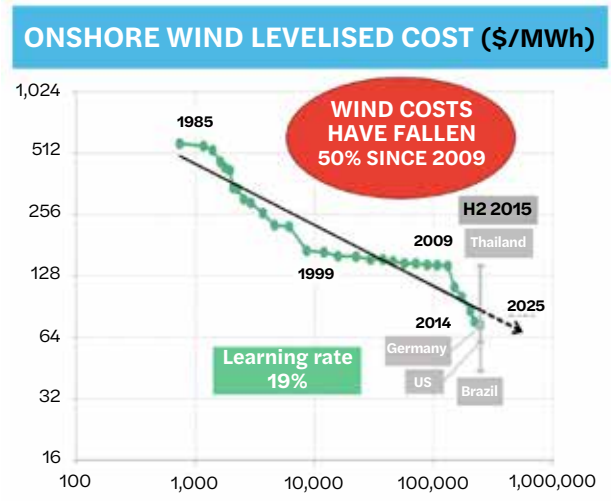
SOLAR ENERGY GROWTH



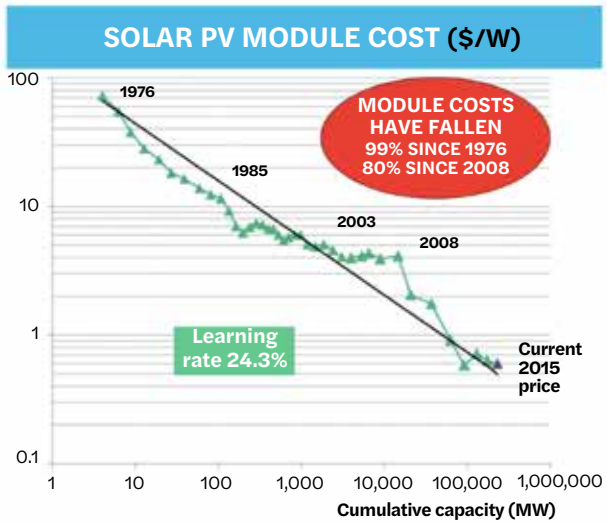
© 2016 Lombardi Publishing Corp.

Kostprijsreductie door schaalgrootte en technologische ontwikkelingen. We gaan anno 2021 al richting de € 0,35/Wattpiek.

Volgens Bloomberg is de learning rate van zonne-energie 24,3% en van windenergie 19%. Er is geen reden om aan te nemen dat de ontwikkeling van een waterstofenergiesysteem anders zal gaan.



Note: Pricing data has been inflation corrected to 2014. We assume the debt ratio of 70%, cost of debt (bps to LIBOR) of 175, cost of equity of 8% Source: Bloomberg New Energy Finance

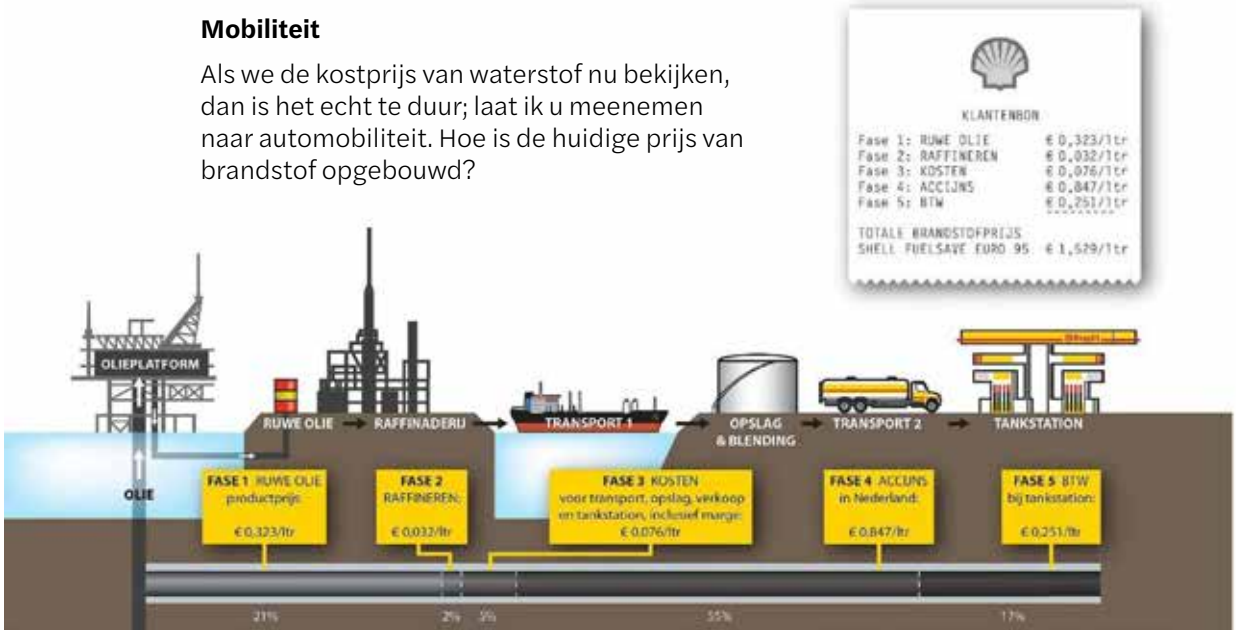


Note: Prices are in real (2015) USD. 'Current price'is $0.61/W
Source: Boomberg New Energy Finance, Maycock

Michael Liebreich | BNEF Summit, New York, 5 april 2016 | @MLiebreich

Mobiliteit

Als we de kostprijs van waterstof nu bekijken, dan is het echt te duur; laat ik u meenemen naar automobiliteit. Hoe is de huidige prijs van brandstof opgebouwd?



Bron: Shell Nederland, gemiddelde brandstofprijs Shell FuelSave Euro 95 in januari 2015

We zien hier een behoorlijk dure brandstof van ca. € 0,623/l en inclusief belastingen € 1,678/l aan de pomp. Een auto rijdt 100 km op ca. 7 liter benzine dus de kosten hiervan zijn netto ca. € 5,43 en inclusief belastingen € 11,75. Op dit moment tanken we belastingvrij waterstof voor € 12,10/kg; in Duitsland is dat € 9,26/kg. Dat is geschikt om er ca. 100 km mee te rijden. De productiekosten liggen op ca. € 3/kg tot € 6/kg en vervoer, drukverhogen aan de pomp en de pompkosten zijn ook ca. € 3/kg. Op dit moment rijden wij dus in de praktijk gelijkwaardig maar zonder belasting te betalen. Wil er een gelijk speelveld ontstaan zonder CO_2-heffing zal de H_2-prijs moeten dalen naar een nettoprijs van ca. € 5/kg aan de pomp.

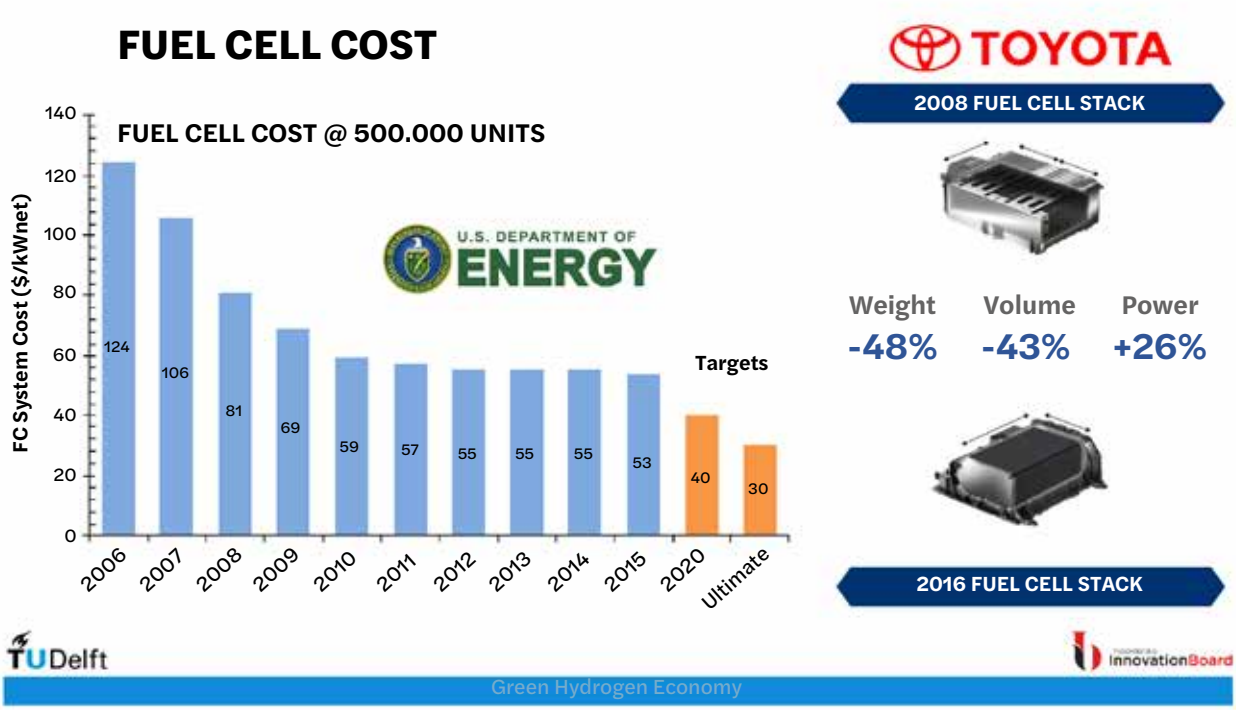
Stappenplan

De introductie van waterstof zal versneld worden door de volgende stappen:

Stap 1: conversie van de zon naar elektriciteit
Gemiddeld is er 17% rendement van een pv-installatie en er zijn ontwikkelingen naar super pv-panelen met een rendement van 37%, maar die worden nu nog alleen heel specifiek toegepast. Maar ook deze technologie zal goedkoper worden en steeds meer worden toegepast.

Stap 2: de conversie van stroom naar waterstof
Ik citeer: "Katalysatoren versnellen chemische reacties, maar het hierbij veelgebruikte metaal platina is schaars en duur. Onderzoekers van de Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) hebben nu samen met Chinese, Singaporese en Japanse onderzoekers een alternatief ontwikkeld met een 20x hogere activiteit: een katalysator met holle nanokooien van een legering van nikkel en platina. TU/e-onderzoeker Emiel Hensen wil op termijn met deze nieuwe katalysator een elektrolyzer op koelkastformaat ontwikkelen van ongeveer 10 megawatt." De resultaten zijn gepubliceerd in het vakblad Science op 15 nov. 2019

Hieronder een voorbeeld van de kostenontwikkelingen van brandstofcellen tot op heden.

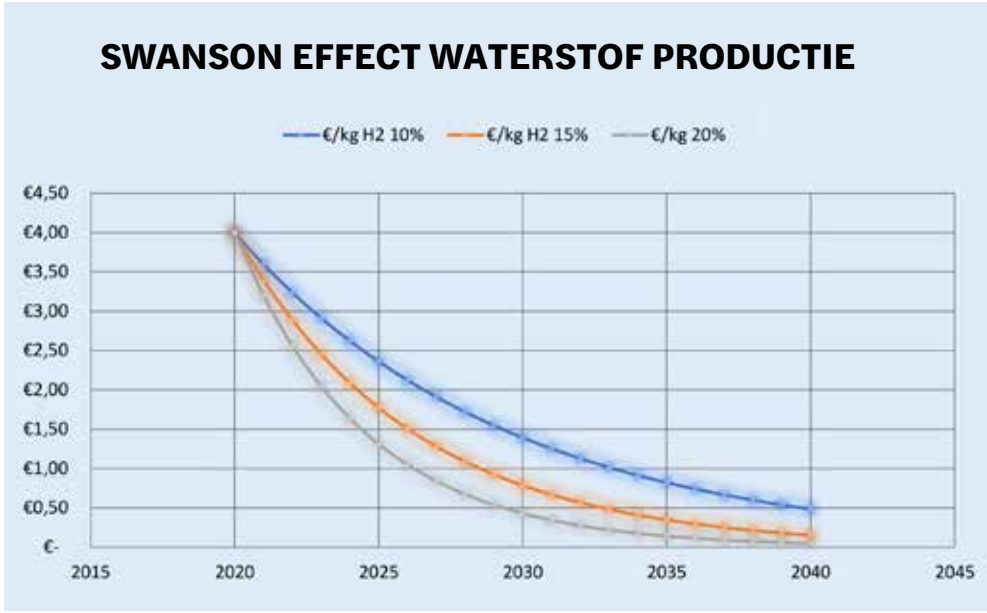


Stap 3: het transport

Het transporteren van waterstof kan in vloeibare vorm, maar het comprimeren en koelen tot een vloeibaar geheel kost ca. 8 kWh/kg. Als we waterstof in gasvorm kunnen comprimeren met behulp van membraantechnologie (zie Hygear te Arnhem: www.hygear.nl) en vervoeren via gasleidingen dan kost dat nog maar ca. 1kWh/kg oftewel een reductie van 87,5%. Een andere aanpak is de opslag en het transport van waterstof in ammoniak. Ammonia, de oplossing van ammoniak in water, kan ook dienen om waterstof over grote afstanden te vervoeren. Waterstof heeft als nadeel dat de energiedichtheid per volume-eenheid relatief laag is en dat het in pure vorm moet worden opgeslagen in grote tanks. Australische onderzoekers hebben daarom een membraantechnologie ontwikkeld waarmee waterstof op vrij efficiënte wijze uit ammonia gehaald kan worden. Het transport van vloeibare ammonia is een stuk eenvoudiger dan dat van pure waterstof en de membraantechnologie kan dan worden gebruikt bij tankstations om de waterstof uit de ammonia te halen. Daarmee zou een van de grootste problemen met de waterstofauto zijn opgelost. Bron: Business Insider Nederland 5 oktober 2020.

Conclusie; als we op dit tempo doorgaan met opschalen en we vertalen het Swanson effect van de zonnepanelen naar de waterstofsystemen dan ontstaat de volgende grafiek. De betekenis van deze exercitie is dat waterstof vanaf 2030 met kracht de wereld zal veroveren en de bestaande fossiele energiebronnen zal wegconcurreren.

In de volgende grafiek worden drie varianten van het Swanson effect doorgerekend; de blauwe lijn geeft een prijsdaling van 10% aan bij een capaciteitsverdubbeling, de oranje van 15% en de grijze lijn een prijsreductie van 20% bij een capaciteitsverdubbeling.



Kernenergie

Een andere CO_2-vrije brandstof is kernenergie en in de discussie over onze energievoorziening blijft deze terugkeren. Goed om ook deze te onderzoeken[8].

Helaas is kernenergie echter in tegenstelling tot wat regelmatig beweerd wordt, niet CO_2-vrij. Dit broeikasgas komt namelijk vrij bij de winning en bewerking van uraniumerts, bij de bouw van de kerncentrale, het transport van kernbrandstof, de afbraak van de centrale, enzovoort. Er zijn veel stappen nodig voor er stroom wordt geproduceerd in een kerncentrale. Bij al deze werkzaamheden zijn machines nodig die (momenteel) benzine of diesel gebruiken en zo CO_2-uitstoot veroorzaken.

Op dit ogenblik worden uraniumertsen gewonnen met gemiddeld zo'n 0,1% uranium: in duizend kilo gesteente zit een kilo uranium. Er is echter slechts een beperkte hoeveelheid erts met dit gehalte. Bij armere uraniumertsen moet veel meer gesteente afgegraven en verwerkt worden voor eenzelfde hoeveelheid uranium. Daardoor neemt de indirecte CO_2-uitstoot sterk toe.

Bij een ertsgehalte van 0,02% gaat het om 300 gram CO_2 per kWh (zie tabel 2)

Tabel 2. Totale (directe en indirecte) CO_2-uitstoot in gram per kWh[9]

BRANDSTOF	UITSTOOT
aardgas	490
aardgas met afvang CO_2	78
olie	740
steenkool	820
steenkool met afvang CO_2	110
uranium ertsgehalte 0,1%	65-178
uranium ertsgehalte 0,02%	300
zon	48
wind	10-12

Daarnaast spelen ook de technische inpasbaarheid, de risico's en de kosten een rol.

8 *https://wisenederland.nl/artikel/wetenswaardigheden-over-kernenergie*
9 *https://www.stormsmith.nl/nuclearco2.html*

Technische inpasbaarheid

Het grotere probleem bij de inpassing van duurzame energie is het feit dat dit niet altijd beschikbaar is. Immers de zon schijnt niet altijd en het waait ook in Nederland niet altijd. In Duitsland noemen ze dit verschijnsel treffend 'Dunkelflaute', zowel zon en wind vallen tegelijk weg. Door gebruik te maken van verschillende productievelden van wind- en zonne-energie op verschillende locaties kan dit effect gedempt worden maar is nooit uit te sluiten. In dat geval moet er heel snel een andere energiebron opgeschakeld worden. Dat is een snelle gas- of oliecentrale die ook nog standby moet staan en dus moet meedraaien.

Een kerncentrale is voor die rol ongeschikt; ze kan alleen continue energie leveren; aan of uit met een lange schakeltijd. Technisch gezien is de combinatie van duurzaamheid en kernenergie niet mogelijk en kan het alleen werken met dure buffersystemen zoals stuwmeren.

De kostenkant

In Nederland wordt veel gepraat over de bouw van nieuwe kerncentrales, maar er zijn geen concrete plannen. Er is geen private onderneming die het risico van het bouwen van een kerncentrale wil nemen.

Deze risico's zijn:

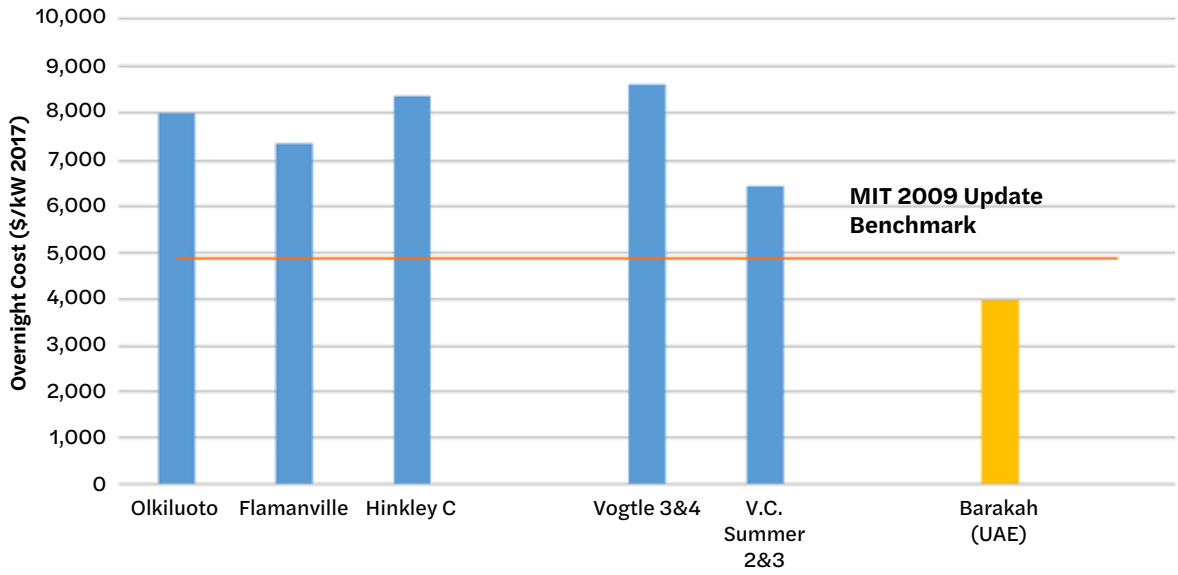
1. geen zekerheid op de vergunning met hoge onderzoekskosten,
2. geen zekerheid op de toegepaste techniek in verband met de eis te moeten voldoen aan de laatste stand der techniek,
3. geen zekerheid over de bouwtijd en bouwkosten,
4. geen zekerheid over het afvoeren van afval,
5. geen zekerheid over het risico van een calamiteit,
6. geen zekerheid over de stroomafnameprijs en
7. de risico's zijn ook niet verzekerbaar.

Normaal gesproken worden systemen goedkoper naarmate er meer geproduceerd zijn. Bij kernenergiecentrales is dat niet het geval. Ik citeer Jasper Vis (Energie blogger):

"Het MIT overzichtsrapport over de status en toekomst van kernenergie heet 'The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World' en verscheen in september van dit jaar. Het is een update van vergelijkbare rapporten uit 2003 en 2009.

In het vorige rapport uit 2009 stelde MIT de vraag: gaat het lukken om nieuwe kerncentrales op tijd en zonder grote kostenoverschrijdingen te bouwen? In de grafiek hieronder vergelijkt MIT de investeringskosten voor de nieuwe kerncentrales die in aanbouw zijn in Finland, Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en de VS met de benchmark uit het 2009 rapport. MIT concludeert dat de eerste nieuwe kerncentrales van de III+ generatie in het Westen 'spectaculair gefaald' zijn voor deze test."

Overnight cost of recent Gen-III + builds versus benchmark



Het rapport constateert dat de kosten van nieuwe kerncentrales hoog zijn en dat het bouwen ervan in de VS en West-Europa op dit moment geen aantrekkelijke investering is. De bouw van de kerncentrale 'V.C. Summer 2&3' werd in 2017 gestopt vanwege de grote kostenoverschrijdingen.

In het Verenigd Koninkrijk kondigde Labour-leider Tony Blair in 2003 een zeer ambitieus kernenergieprogramma aan. Door allerlei oorzaken (o.a. economische) schoot de realisering van de plannen niet op; maar het vasthouden eraan van Labour en de Conservatieven, levert enorme steunmaatregelen en politiek gehannes op.

Bouwkosten

De geschatte bouwkosten voor de twee kerncentrales in Hinkley Point (3200 MW) waren in oktober 2014 opgelopen tot £24 miljard, dat is 8 miljard meer dan het gepubliceerde bedrag tot dan toe. Het gepubliceerde rapport 'Hinkley Point C' van de Engelse Rekenkamer (de National Audit Office) verwacht dat de bouwkosten zullen oplopen tot £30 miljard. In het consortium dat Hinkley Point gaat bouwen, zitten geen Engelse bedrijven meer; 66,5 % is Frans en 33,5% is Chinees geld. Ook daar is niet iedereen in Engeland blij mee.

Bron: EDF

Het is duidelijk dat de regering (al is het soms twijfelend) door wil gaan met het project en daarvoor flink in de buidel moet tasten: "In recent years, it has not been commercially viable for private developers to build new generating capacity in the UK, including nuclear power stations, without government support", aldus de Engelse Rekenkamer. En dus kwamen er subsidies.

Elektriciteitsprijs

Voor Hinkley Point (HPC) werden in oktober 2013 de volgende maatregelen afgesproken: een gegarandeerde prijs ('Contract for Difference' of CfD genoemd) voor alle elektriciteit van de nieuwe kerncentrales van £ 92,50 (€ 105) per MWh (oplopend tot £ 279 per MWh door inflatiecorrectie). Deze 'strike-price' is twee keer zo hoog als de huidige marktprijs (ongeveer € 50 per MWh). En dat voor een periode van vijfendertig jaar vanaf de inbedrijfstelling (toen voorzien in 2023).

Na 15 en 25 jaar bestaat de mogelijkheid dat bedrag nog te verhogen (maar niet te verlagen). Verder mag de bouwer goedkoop geld lenen van de staat (kredietgarantie) en wordt een eventuele verhoging in verzekeringskosten gecompenseerd. En, ook niet onbelangrijk, moet het bedrijf schadeloos gesteld worden bij eventuele sluiting van de kerncentrales door volgende regeringen. De bouwkosten van een nieuwe kerncentrale is hoog. In het Verenigd Koninkrijk blijkt de bouw alleen mogelijk als de overheid bereid is voor een lange periode een hoge elektriciteitsprijs te garanderen of bereid is een aanzienlijk deel van de financiële risico's op zich te nemen.

De uitkomst hiervan een veel te duur contract voor 35 jaar met een prijs die twee keer zo hoog is als de huidige marktprijs en bijna ***tien keer*** zo hoog dan elektriciteit opgewekt in de woestijn van Dubai.

Veiligheid

Ook niet onbelangrijk is veiligheid. Kernenergie brengt risico's met zich mee. Er gebeurt niet vaak wat, maar als er iets gebeurt dan is het echt raak. Door het ongeval in april 1986 met de kerncentrale bij Tsjernobyl in Oekraïne werd 200.000 vierkante kilometer land radioactief besmet; 350.000 mensen werden geëvacueerd; het totaal aantal doden door dit ongeval kan in Oekraïne en Wit-Rusland nog oplopen tot 140.000. De economische schade is 210 miljard euro[10].

Na het ongeluk met de kerncentrale in Fukushima in Japan in maart 2011 werden zo'n 150.000 mensen geëvacueerd; 1.800 vierkante kilometer land is vanwege de stralingsbelasting ongeschikt voor bewoning en landbouw. De kosten van dit ongeluk werden in november 2016 geschat op omgerekend 168 miljard euro. Ter vergelijking: Nederland heeft een oppervlakte van 41.543 vierkante kilometer.
(Bron: http://www.co2ntramine.nl/ontwerp-kerncentrale-fukushima-niet-berekend-op-de-werkelijkheid/ ,9 oktober 2012)

Risico is kans maal effect. De kans op een ongeluk met een kerncentrale is klein, maar het effect is te groot. Nog los van het afvalprobleem kan ik geen argument bedenken dat voor kernenergie pleit. Zowel qua CO_2-productie, technische inpassing, afvalprobleem en kosten is het ***concept niet interessant.***

Onze oud minister Ir. E.D. Wiebes MBA stelde terecht: "Kernenergie is vergelijkbaar met verliefd worden op Marlyn Monroe; het is zinloos; ten eerste ze mag je niet en ten tweede ze is dood."

10 *https://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/pressematerial/Hinkley_Point/2017-04-FOES-Kurzanalyse-Atomhaftung.pdf*

Richtingaanwijzers voor beleid

Welke verkeersboorden en stoplichten zijn nodig om dit als beleid effectief te laten zijn. Uitgangspunt hierbij is dat we de toepassing in een pull-positie manoeuvreren. Dat wil zeggen de markt vraagt erom en men wil het graag hebben. Als het kan zonder subsidie zodat men een betrouwbare investeringscase heeft.

Hiervoor adviseer ik een palet aan maatregelen:

Stap 1: creëer een gelijk speelveld door een CO_2-heffing
De belangrijkste stap is een gelijk speelveld creëren. De CO_2-uitstoot moet belast worden om de maatschappelijke kosten die gepaard gaan met CO_2 te compenseren. Om dat voorspelbaar te laten zijn, begin op het huidige ETS-niveau van ca. € 25/ton en start per 1 juli 2021 op € 30/ton. Verhoog dit elk jaar met ca. € 10/ton en dan weet iedereen waar hij of zij aan toe is en hij/zij kan daarop investeren. Dit levert veel geld op. Stop alstublieft met de overige subsidies. Geen subsidie op biomassabijstook en geen subsidie op pv-velden of windmolens; dat is allemaal niet nodig. Stop uiteraard niet met de speur- en ontwikkelsubsidies voor nieuwe ontwikkelingen en de eerste toepassingen.

Stap 2: stimuleer waterstoftankstations
Waterstof is nog een dure brandstof, maar kan nu al concurreren met benzine of diesel en later ook met kerosine. We hebben hier te maken met het kip-en-ei-verhaal. Zolang er te weinig stations zijn, worden er ook geen waterstofauto's verkocht. In Duitsland wordt door een goede samenwerking met de overheid en de industrie heel snel een dekkend netwerk uitgerold. In Nederland moeten wij heel snel naar zestig tankstations. Dat kost ongeveer vijftig miljoen euro en zal de transitie in mobiliteit enorm versnellen.

Stap 3: stop netverzwaring
Stop met verzwaring van de hoofdelektrastructuur; hier gaan we als maatschappij bij ongewijzigd beleid de komende tien jaar veertig miljard euro in investeren. Doe dit niet, maar investeer in de transitie van ons aardgasnet naar een waterstofnet en koppel de beide energiesystemen met hybride brandstofcellen. Door het overschot en tekort lokaal op te vangen, kan het huidige systeem nog jaren mee.

Stap 4: converteer ons aardgasnet naar een waterstofnet
Ons huidige aardgasnet kan gefaseerd aangepast en geschikt gemaakt worden voor waterstof. Dat kan, zie de publicatie van de Gasunie[11]. Hier is naar verwachting maar twintig miljard euro mee gemoeid en ongeveer twee à drie miljard euro om de woninginstallaties aan te passen.

Stap 5: sla CCS over
CCS (Carbon Capture en Storage) Is een dure techniek en dit ontwikkelen helpt alleen de verlenging van de bestaande fossiele brandstofindustrie. Niet doen en stop dat geld in de ontwikkeling van waterstof.

11 https://www.dewereldvanwaterstof.nl/gasunie/infrastructuur/

Stap 6: Aardgas
Aardgas is de schoonste fossiele brandstof en gebruik die tijdens de transitie fase.

Stap 7: wees consistent
Zorg ervoor dat er geen aarzeling in de markt ontstaat over de vraag naar duurzame oplossingen. Elke regelaanpassing veroorzaakt twijfel in de investeringsbereidheid en remt de transitie.

Wart Luscuere

WART LUSCUERE IS BIJ MEERDERE PROJECTEN BETROKKEN GEWEEST OMTRENT DUURZAAMHEID EN C2C® ALS TECHNOLOGIE ONDERZOEKER EN ALS CONSULTANT BIJ 'INSPIRED AMBITIONS' SINDS 2011.

Hij werd lid van het team dat 'The Ocean Cleanup' opbouwde, waar hij expedities begeleidde als veldonderzoeker en onderzoeksapparatuur mede ontwierp. In 2016, als secretaris van de werkgroep 'circular economy', werkte hij samen met Jeremy Rifkin en zijn team om een haalbaar transitiepad te identificeren voor het project 'Roadmap Next Economy' welke als investeringsstrategie diende in de MRDH-regio.

Begin 2017 richtte hij het bedrijf 'Beyond Sustainability' op.

VERBORGEN VOORONDERSTELLINGEN EN ANDERE MISVATTINGEN ROND DE WATERSTOFECONOMIE

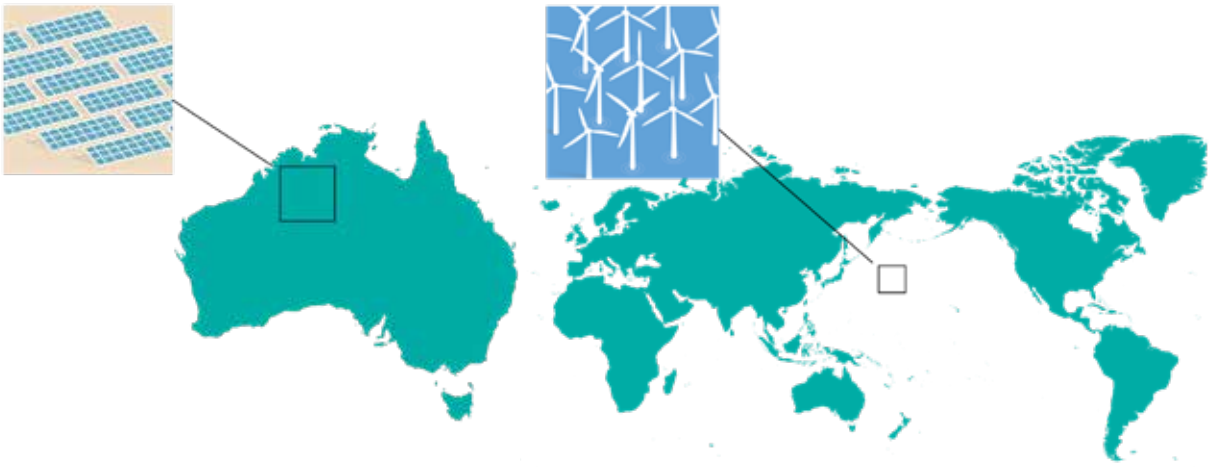
PETER LUSCUERE[1] , HENK WILLEM VAN DORP[2] & WART LUSCUERE[3]

1) Hoogleraar TU Delft, 2) Rentmeester VDi, 3) Beyond Sustainability

Geopolitiek

Men wil in Nederland op het gebied van energie zelfvoorzienendheid: niet afhankelijk zijn van al dan niet stabiele regeringen. Op zich sympathiek, maar de vraag is of dat haalbaar (is er voldoende zon, wind en geothermie?), wenselijk (grondgebruik), energie-efficiënt (lagere opbrengsten hier dan bijvoorbeeld in woestijnen), resource-efficiënt (nog meer materialen en resources nodig door beperking van Nederlands grondgebied) en financieel efficiënt is. Bovendien kan waterstof geproduceerd worden in vrijwel elke woestijn en op elke zee; 10% van de oppervlakte van Australië volstaat voor het energiegebruik van de hele wereld. Als alternatief volstaat 1,5% van de Stille Oceaan met windturbines[1]. Dat zijn zeker geen - geopolitiek gezien - lastige gebieden.

Surface needed to produce all the world's energy 556 EJ = 155.000 TWh



Figuur 1: Ruimtebehoefte voor een wereldwijde hernieuwbare energievoorziening

1 *Ad van Wijk, Els van der Roest, Jos Boere; Solar power to the people, IOS Press BV, 2017.*

Huidige productie groene waterstof onvoldoende om transitie te kunnen maken

Dat er op dit moment onvoldoende groene waterstof geproduceerd kan worden is op zich een terechte constatering, maar geen reden om niet te bewegen op een weg van noodzakelijke transitie naar een hernieuwbare wereldwijde energievoorziening. Het is een van de argumenten die zich baseren op een (te) kortetermijnvisie. Er zijn vele zonovergoten en windrijke gebieden op aarde - zowel op land als op oceanen - die geschikt zijn om er hernieuwbare energie en/of waterstof op te wekken. Ook kan duurzame energiewinning in eigen land en op zee gedurende (toenemende) perioden van overcapaciteit worden omgezet in groene waterstof.

Korte termijn politieke doelstellingen en angsten

De waterstofauto wordt door een deel van het politieke spectrum gezien als een bedreiging van de elektrificatie van onze mobiliteit. We moeten echter niet vergeten dat een waterstofauto in principe een elektrische auto is met een kleine accu en een tank die moleculen opslaat in plaats van elektronen. Bedenk voorts dat de gemiddelde accugedreven elektrische auto in feite rijdt op het gemiddelde rendement van elektriciteitsopwekking met bijbehorende CO_2-uitstoot.

Kip en ei en samenwerking bedrijfsleven en overheden

In Nederland staan anno 2020 nog slechts enkele waterstoftankstations. Er zijn momenteel initiatieven om er enkele aan toe te voegen. Een redelijke dekkingsgraad van waterstofvulstations is echter een noodzakelijke voorwaarde voor verdere toename van waterstofmobiliteit. In Duitsland wordt dat beter begrepen: in nauwe samenwerking tussen energiemaatschappijen, autofabrikanten en overheidsprogramma's worden enkele honderden stations uitgerold waarvan er in 2020 zo'n tweehonderd gereed moesten zijn. Ook worden deze vanwege kostenaspecten met bestaande benzinestations geïntegreerd.

Eerste hoofdwet denkers

Een vaker gehoord argument is de relatief lage efficiëntie die met waterstofgeneratie en -gebruik zouden samenhangen. Het idee is: je gebruikt PV-cellen of windturbines om elektriciteit te winnen om via elektrolyse van water (met een rendement ca. 80%) waterstof te genereren. Hierna vindt compressie plaats of wordt het gas vloeibaar gemaakt, getransporteerd waarna wederom elektriciteit wordt gewonnen in een brandstofcel (rendement ca. 60%). Deze opeenstapeling van processtappen moet haast wel slecht zijn, zo is de gedachte. Dat moeten we echter vergelijken met elektriciteitsopwekking uit fossiele bronnen met een rendement van circa 45%. De totale efficiëntie van deze waterstofcascade in vergelijking met wat er uit een stopcontact komt is daarmee zo slecht nog niet.

Ketenkosten versus ketenefficiëntie

Uitgaande van een noodzakelijke transitie naar een duurzame energievoorziening en de overvloed aan zonne-energie, zoals onder punt 1 beschreven, is niet zozeer de ketenefficiëntie bepalend, maar zijn de ketenkosten[2] dat.

---

2 *Ad van Wijk & Chris Hellinga, 'Waterstof de sleutel voor de energietransitie', in 'Circulariteit, op weg naar 2050?', p. 290-313.*

De extra stappen zoals compressie/vloeibaar maken, transport en expansie/vergassing kosten per saldo energie. Daar staat tegenover dat we door deze transporteerbaarheid vrij zijn de locatie te kiezen waar we de hernieuwbare energie winnen. Hierdoor kunnen we in zon- of windrijke gebieden twee tot drie keer meer de hoeveelheid energie per m^2 winnen dan in Nederland.

Waterstof is gevaarlijk

We kennen allemaal het ongeluk met de Hindenburg en van onze middelbare schooltijd de proefjes met knalgas. Natuurlijk moet veiligheid serieus genomen worden en worden geborgd, maar vergeet niet dat nog in de jaren zestig het toenmalige stadsgas zo'n 50% waterstof bevatte en daarenboven tot zo'n 10% koolmonoxide (om maar van gevaar te spreken). In Duitsland zijn proeven genomen door in een huis grote hoeveelheden waterstof te laten ontsnappen waarbij het niet tot ontbranding kwam anders dan door een ontstekingsbron aan te brengen. Een andere test waarbij een kogel door een onder hoge druk staande waterstoftank werd geschoten, gaf weliswaar een gat waar waterstof uit spoot, maar geen explosie of zelfs ontbranding.

Opslag en transporteerbaarheid hernieuwbare energie

Uitgaande van een wereldwijde energietransitie - los van politieke tegenstellingen, alternatieve wetenschappelijke denkbeelden en kortetermijnbelangen - dan zijn zon en wind de enige grootschalige duurzame energiebronnen om deze transitie te bewerkstelligen. De zon met name, laat op het aardoppervlak minimaal 1.243 keer[3] de energie neerdalen dan wat we in 2015 wereldwijd gebruikten. Een probleem met hernieuwbare energie is echter de ongelijktijdigheid tussen opwekking en feitelijk gebruik. Opslag van elektriciteit is moeizaam, kostbaar en resource-intensief. Opslag in de vorm van warmte heeft al direct een substantieel verlies aan exergie in zich en kan slechts over beperkte afstanden getransporteerd worden. Waterstof daarentegen kan goed opgeslagen en/of getransporteerd worden. Elektrolyse op basis van zon- of windenergie is daarmee een interessante technologie om hernieuwbare energie op te slaan en te kunnen transporteren.

Waterstof is (te) duur

De grootschalige hernieuwbare energieparken zoals in Marokko, VAE, Mexico en Chili kennen ongekende aanbestedingsresultaten. De laagste zijn momenteel zonneparken in Mexico en Saoedi-Arabië met ca. 1,7 $c/kWh. De trend daarentegen is er een in de richting van ca. 1 $c/kWh[4]. Vergelijk dat met de brandstofkosten van onze goedkoopste en meest vervuilende kolencentrales van ca. 3-4 €c/kWh en we zien de marge die beschikbaar is om waterstof te genereren in zon- en windrijke gebieden en die te transporteren en terug naar elektriciteit om te zetten als het ons uitkomt. Momenteel is groene waterstof nog duurder dan de nu gebruikelijke grijze en vervuilende versie, maar de verwachting is dat die prijs in vijf tot tien jaar is ingelopen. Op termijn is het dan ook niet ondenkbaar dat de groene waterstof de fossiele brandstof weg zal concurreren, zelfs de huidige ruimhartige fossiele subsidies daargelaten.

---

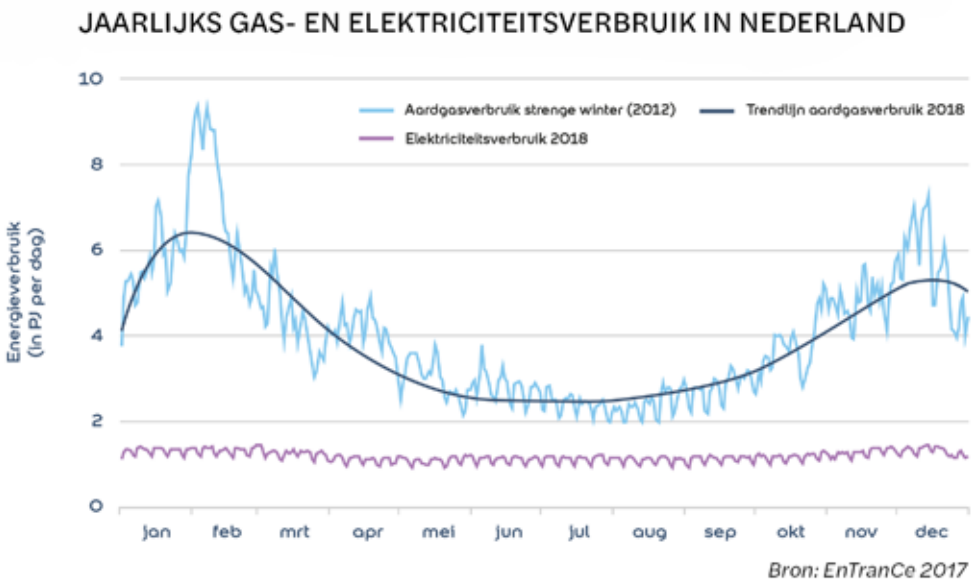
3 Marc Perez & Richard Perez, Update 2015 – A fundamental look at supply side energy reserves for the planet

4 AJM van Wijk, F wouters; Hydrogen, The bridge between Africa and Europe, September 2019.

‘Van het gas af’

Een voor de hand liggende optie ligt besloten in de zin ‘van het aardgas af’ in tegenstelling tot de voortvarende doelstelling ‘van het gas af’. Groene waterstof kan ten tijde van een overproductie ingezet worden voor transport, industrie, elektriciteitsopwekking, huishoudens en/of opslag in lege zoutcavernes. De infrastructuur zal hiervoor aangepast moeten worden. Dat geldt niet voor de pijpleidingen zelf, maar wel voor onder andere de compressoren en verbindingsstukken. De verwachting is dat dat niet meer dan 5-10% van een nieuwe infrastructuur zal kosten[2].

Het alternatief om ‘all-electric’ te gaan, zelfs alleen voor de bebouwde omgeving is op financiële en planningstechnische gronden niet haalbaar. Zie hiertoe in figuur 2. het enorme verschil in jaarlijks gas- en elektriciteitsverbruik in Nederland uitgedrukt in PJ. Het is juist een kans om de bestaande gemeenschappelijke infrastructuur - waar we met elkaar zo’n tweehonderd miljard euro (200^{E}9 €) in geïnvesteerd hebben - te kunnen hergebruiken in de zo noodzakelijke energietransitie. Hoewel sommigen hier een verkapte manier zien om de fossiele industrie middels gemeenschapsgeld nieuwe business te laten ontwikkelen.



Figuur 2: Jaarlijks gas- en elektriciteitsverbruik in Nederland
Bron: A van Wijk

Waterstof heeft onvoldoende energetische waarde

Het is een misvatting dat waterstof onvoldoende energetische waarde zou hebben. Deze denkfout is veelal gebaseerd op basis van een volumieke vergelijking. Per eenheid van massa levert benzine ca. 13 kWh/kg, vergelijkbaar met aardgas (11,7 kWh/kg) en waterstof (39,4 kWh/kg). Een Li-ion-batterij daarentegen levert slechts 0,1 kWh/kg. Vandaar dat waterstof gezien wordt als een zeer geschikte kandidaat voor de opslag van hernieuwbare energie.

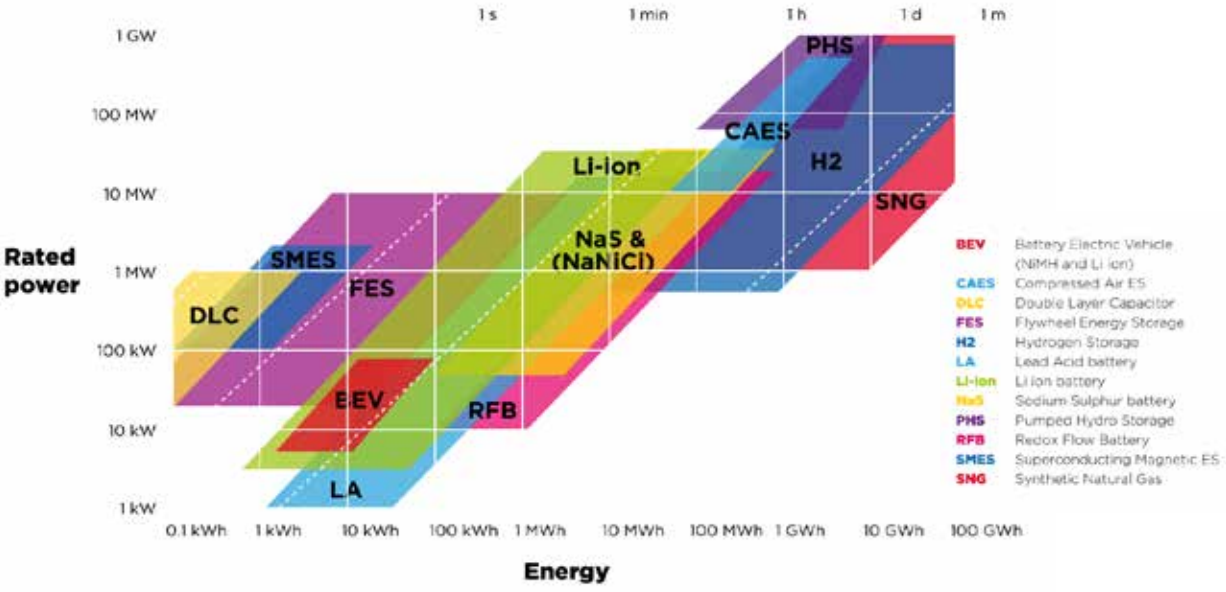
Waterstof niet geschikt voor alleen mobiliteit

Dat waterstof niet geschikt is voor alleen onze mobiliteit is in feite een correcte constatering. Het volume benodigd voor een volledige bekrachtiging van onze mobiliteit valt in het niet bij de volumes nodig voor industrie. Het is deze toepassing waar de prijsverlagingen moeten worden gerealiseerd om het eveneens voor de gebouwde omgeving en onze mobiliteit te kunnen toepassen.

Er zijn meerdere opslagmethodes voor energie, wat voegt waterstof eraan toe?

Er zijn vele methodes om energie op te slaan. Wellicht de meest bekende is de elektrische accu, maar ook: gecomprimeerde lucht, vliegwielen, ondergrondse pompaccumulatie, redox flow-batterij en synthetisch gas zijn opslagmedia van energie. Hier spelen drie parameters een rol: het vermogen, de energie-inhoud en de tijd waarin de energie kan worden opgeslagen.

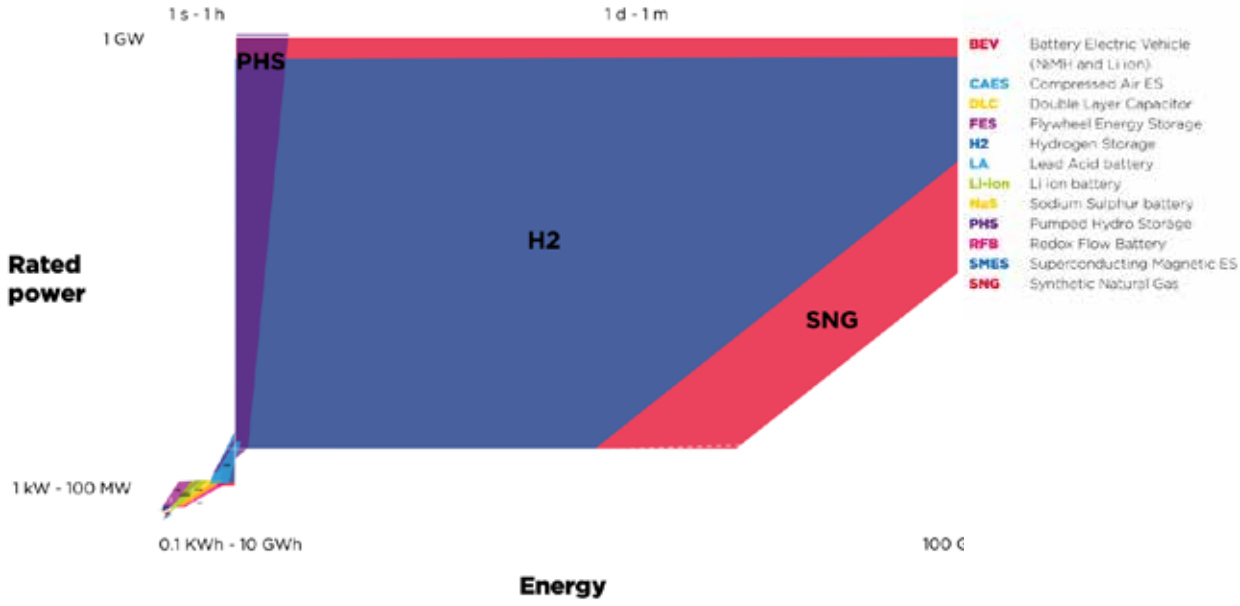
Bekijken we het vermogen en de energie-inhoud op logaritmische schaal en de tijd op een lineaire, dan krijgen we figuur 3.



Figuur 3: Diverse energieopslagtechnologieën versus vermogen en energie-inhoud (logaritmisch) en tijd, Bron: M Bijkerk, Help de energietransitie.

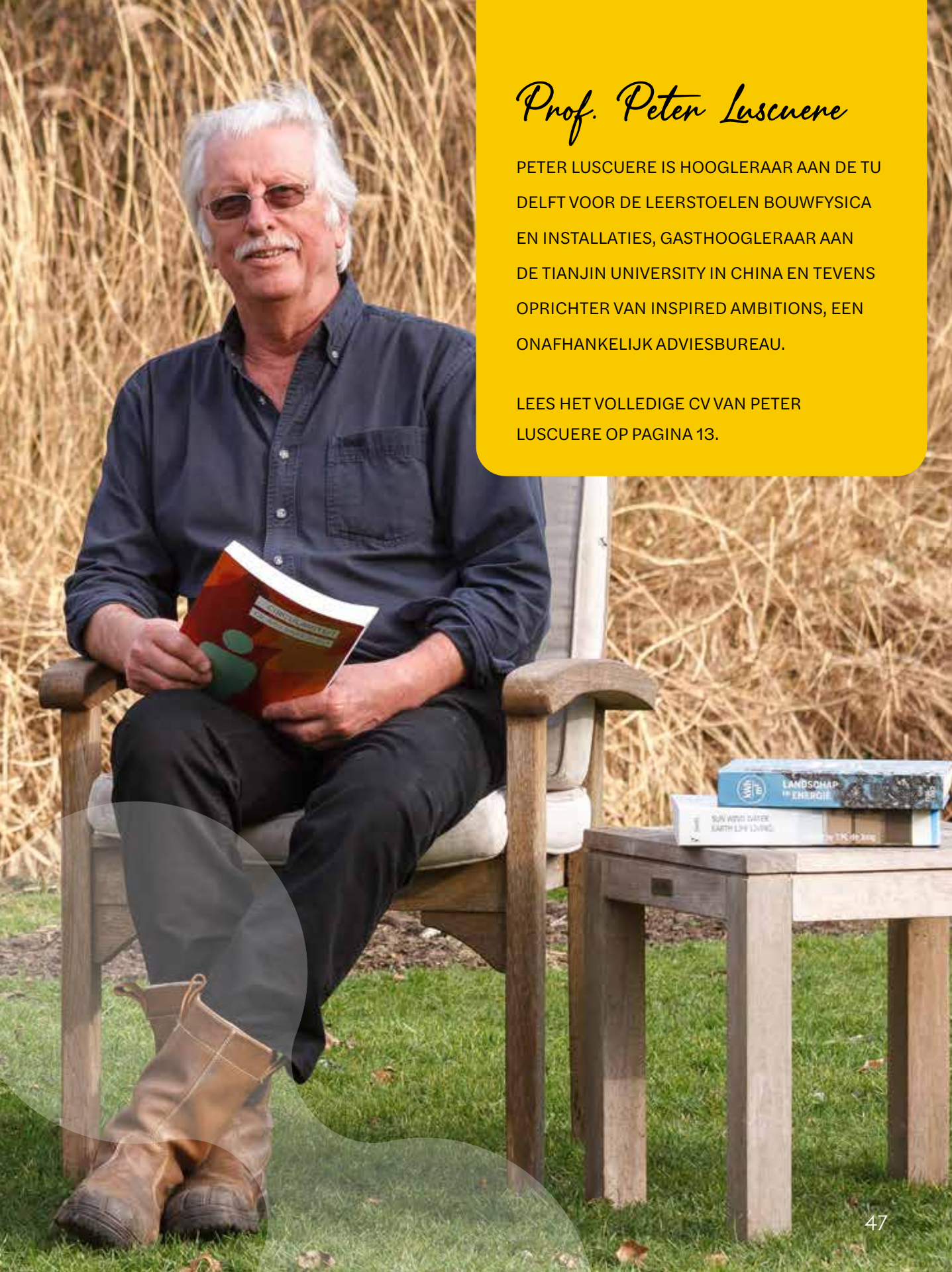
Hierin is de gehele variëteit van opslagtechnieken goed in kaart gebracht, waarbij goed te zien is dat sommige technieken met name geschikt zijn voor de (zeer) korte termijn (fracties van een seconde). Ook zien we dat er limieten zijn aan bepaalde technologieën voor wat betreft maximaal mogelijk vermogen dan wel energie-inhoud.

De noodzakelijke duurzame energietransitie die voornamelijk gebaseerd zal zijn op wind en zon vergt echter opslag van energie op zowel een hoog vermogen, energie-inhoud, maar vooral over maanden. Zo bezien is het inzichtelijk ook deze parameter op logaritmische schaal weer te geven, figuur 4.



Figuur 4: Diverse energieopslagtechnologieën versus vermogen, energie-inhoud en tijd (alle logaritmisch). Bron: M Bijkerk, Help de energietransitie.

Deze figuur kan voor zichzelf spreken, maar het is duidelijk dat de opslag van energie in moleculen, op de benodigde tijdschaal om de discontinuïteit van de duurzame energiebronnen wind en zon te kunnen overbruggen, de enig relevante zo niet de enige mogelijkheid is.



Prof. Peter Luscuere

PETER LUSCUERE IS HOOGLERAAR AAN DE TU DELFT VOOR DE LEERSTOELEN BOUWFYSICA EN INSTALLATIES, GASTHOOGLERAAR AAN DE TIANJIN UNIVERSITY IN CHINA EN TEVENS OPRICHTER VAN INSPIRED AMBITIONS, EEN ONAFHANKELIJK ADVIESBUREAU.

LEES HET VOLLEDIGE CV VAN PETER LUSCUERE OP PAGINA 13.

Henk Abbing

HENK ABBING IS PROJECTLEIDER VAN NORTH2: EEN CONSORTIUM MET GRONINGEN SEAPORTS, SHELL NEDERLAND, RWE EN EQUINOR, MET DE AMBITIE OM EEN LEIDENDE POSITIE TE NEMEN IN HET VERSNELLEN EN OPSCHALEN VAN DE ONTWIKKELING VAN DE GROENE WATERSTOFMARKT IN NOORDWEST-EUROPA.

Het project wil dit bereiken door middel van grootschalige productie (met wind op zee en elektrolyse), opslag en internationaal transport van groene waterstof naar industriële sectoren die hiermee economisch kunnen verduurzamen.

NorthH2 ambieert daarmee een grote rol te spelen in het bereiken van de gestelde Europese, Nederlandse en Duitse klimaatdoelen in 2030 en 2050.

Hiervoor was hij onder meer managing director van EnergyStock BV, het dochterbedrijf van Gasunie voor gasopslag en de initiatiefnemer van het HyStock pilot-project. Hij heeft langjarige ervaring in diverse functies bij de Gasunie.

GROOTSCHALIGE OPSLAG VAN WATERSTOF IN ZOUTCAVERNES

HENK ABBING

GASUNIE

Noodzaak van opslag

Een van de belangrijkste vraagstukken van de toekomstige duurzame energiemix van elektronen en moleculen is capaciteit en het vermogen om de juiste hoeveelheden energie beschikbaar te hebben op de momenten dat de markt erom vraagt. Hiervoor is grootschalige opslag van energie onontbeerlijk. Alleen dan heeft het energiesysteem de flexibiliteit om een teveel aan energie te bewaren en een tekort aan energie aan te vullen. Waterstof is betaalbaar grootschalig op te slaan en zal mede daardoor een essentiële rol spelen als energiedrager in de toekomstige energievoorziening en in de voor het energiesysteem noodzakelijke flexibiliteit. In Nederland kunnen we waterstof veilig en relatief eenvoudig opslaan in zoutcavernes.

Onregelmatigheden in vraag en aanbod

Zowel het aanbod aan energie als de vraag naar energie kent onregelmatigheden. Voor de opwekking van duurzame energie zijn we voor een fors deel afhankelijk van wind en zon. Dat betekent dat de opwekking sterk kan wisselen per uur, per dag, per week en per seizoen. In Duitsland is hier zelfs een woord voor: ‘Dunkelflautes’. Dit zijn periodes met tegelijkertijd vrijwel geen zonlicht en wind. De vraagzijde van energie is voor een beperkt deel te sturen om deze gelijk te trekken met het energie-aanbod. Maar verreweg het grootste deel van de vraag bij bijvoorbeeld de industrie en in de gebouwde omgeving volgt zijn eigen patroon. In de industriesector zijn duidelijk patronen zichtbaar waarbij de vraag elk uur en elke dag ongeveer gelijk is. Bij kleinere gebruikers en bij gebruik in de gebouwde omgeving zien we juist heel grote variaties in gebruik, bijvoorbeeld tussen werkdagen en het weekend en tussen zomer en winter. Dit moeten we bij elkaar brengen en daar zal in een duurzame energievoorziening grootschalige opslag van waterstof voor nodig zijn.

Vormen van opslag

Wat is zowel economisch als praktisch gezien de meest veelbelovende vorm van waterstofopslag? Kleine volumes kunnen tijdelijk worden opgeslagen in de pijpleidingen die ook voor het transport gebruikt worden. Deze opslag kan echter slechts voor een paar uur verschillen tussen vraag en aanbod opvangen, niet voor langere tijd. Dit terwijl we voor de schommelingen tussen week en weekend, zomer en winter en het opvangen van Dunkelflautes grote hoeveelheden duurzaam opgewekte energie voor meerdere dagen, weken of zelfs maanden moeten kunnen opslaan.

Een bekend voorbeeld van opslag van vloeibare waterstof is die op ruimtevaartbasis Cape Canaveral in de Verenigde Staten, waar 270 ton LH_2 is opgeslagen, ofwel 3.800 m^3. Opslag door waterstof met bijvoorbeeld ammoniak te verbinden, is een andere vaak genoemde mogelijkheid. Kijken we echter met voldoende kennis van zaken naar de praktijk, dan blijken zoutcavernes voor Nederland de meest reële en de meest economische optie.

Opslag in zoutcavernes

Cavernes zijn grote holtes die worden gemaakt in dikke zoutpakketten en zoutdomes ('bergen' zout in de ondergrond, tot 2.500 meter hoog). Tijdens de zoutwinning worden de cavernes diep in de zoutdomes op gecontroleerde wijze gevormd en uitgeloogd, waarbij zout wordt opgelost in water, en waarbij voor de diepte en de vormgeving wordt geanticipeerd op toekomstige inzet voor gasopslag. Nadat de caverne in de beoogde vorm en grootte is uitgeloogd, kan het laatste pekelwater er voor bijna honderd procent uit worden gedrukt door gas, waarna je de caverne gereed hebt voor de opslag van gas. Zoutcavernes hebben zich al bewezen voor grootschalige opslag van aardgas en op diverse plaatsen in de wereld voor economische opslag van waterstof. Zo wordt de opslag van waterstof in zoutcavernes al toegepast in de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk. In Noordoost-Nederland zijn de juiste geologische omstandigheden om zoutcavernes te kunnen uitlogen die zeer geschikt zijn voor gasopslag. We gebruiken dergelijke cavernes al een jaar of tien om aardgas in op te slaan. Nieuwe cavernes kunnen relatief snel ontwikkeld worden voor de opslag van waterstof.

Waarom geen accu's?

Waarom niet gewoon het overschot aan zonne-energie en windenergie opslaan in accu's? Elektriciteit omzetten naar waterstof leidt immers tot verlies van energie. Dit is een economische overweging. Het verschil aan kosten tussen opslag van duurzame energie in de vorm van elektronen en opslag in de vorm van duurzame moleculen (waterstof) is enorm. Per opgeslagen energie-eenheid zijn accu's met elektronen zeker duizend keer duurder dan cavernes met waterstof. Deze verhouding van 1.000:1 leidt tot de conclusie dat grootschalige opslag van duurzame energie over een langere periode onbetaalbaar is in de vorm van elektronen in accu's. Waterstofmoleculen opslaan in een caverne blijkt juist wel betaalbaar[1].

Geologisch en economisch potentieel

Het potentieel voor waterstofopslag in Nederland is groot, zowel geologisch als economisch. Er zijn al meerdere cavernes met installaties gebouwd voor gasopslag: in Nederland in Zuidwending en Heiligerlee en net over de grens in Epe, Jemgum en Etzel. Bij onder meer deze plaatsen zijn diverse ondergrondse zoutformaties waarin nieuwe cavernes voor waterstofopslag zouden kunnen worden gerealiseerd. TNO-onderzoek[2] heeft laten zien dat we hier voor de komende decennia genoeg aan zullen hebben. De voorziene totale behoefte aan H2-opslag in 2050 kan goed worden ingevuld met de mogelijkheden die de ondergrond biedt in Nederland en vlak over de grens.

---

1 https://www.deltalinqs.nl/document/h-vision-eindrapport-blue-hydrogen-as-accelerator
2 https://kennisbank.ebn.nl/ondergrondse-opslag-in-nederland-technische-verkenning-2018/

Werkruimte per caverne

De grootste cavernes die nu al worden gebruikt voor gasopslag (in Zuidwending in de provincie Groningen) hebben een diameter van ongeveer 70 meter, een hoogte van ongeveer 400 meter en een inhoud van 1 miljoen m^3. De maximumdruk is circa 180 bar. Dit betekent dat we per caverne maximaal 180 miljoen m^3 gas kunnen opslaan. Om krimp van de cavernes te voorkomen (en daarmee ook bodemdaling), wordt ook een minimumdruk aangehouden. In Nederland is deze minimumdruk 80 tot 90 bar, afhankelijk van de exacte diepte van de caverne. De 'werkruimte' voor daadwerkelijke opslag van waterstof is het verschil tussen deze 180 bar en 80 tot 90 bar: 90 tot 100 miljoen m^3 gas.

Deze kun je in meerdere cycli per jaar aanvullen en leveren of langer opslaan voor bijvoorbeeld alleen het winterseizoen. Het kunnen voldoen aan de toekomstige vraag naar energie en waterstofopslag zal bestaan uit een samenspel tussen voldoende caverneruimtes, voldoende beschikbare capaciteit voor het vullen met waterstof en voldoende capaciteit voor het leveren van waterstof. Deze capaciteiten worden geleverd vanuit de installaties die bij de cavernes worden gebouwd.

Van start bij Zuidwending

Om zo veel mogelijk te leren over de conversie, het transport en de opslag van waterstof, heeft Gasunie in Zuidwending de hele waterstofketen op demonstratieschaal neergezet. HyStock is in 2019 in gebruik genomen. De met duurzame energie geproduceerde waterstof wordt nu nog opgeslagen in tanks. Een caverne bij Zuidwending waarin nu nog zout wordt gewonnen, maar die vrijwel volledig is uitgeloogd en gevormd voor gasopslag, zal de komende jaren gereed kunnen worden gemaakt voor waterstofopslag. Nog dit jaar wordt er eerst uitvoerig getest om aan te tonen dat waterstofopslag in zoutcavernes voldoet aan alle Nederlandse veiligheidstechnieken en veiligheidsnormen. De reeds uitgeloogde caverne kan mogelijk al in 2025 klaar zijn voor grootschalige waterstofopslag. In de periode tot 2030 kunnen nog eens twee of drie extra cavernes worden ontwikkeld en in gebruik worden genomen.

Maatschappelijk draagvlak

Grootschalige activiteiten in de ondergrond worden niet zonder meer geaccepteerd. Door de problemen als gevolg van gaswinning zijn nieuwe mijnbouwactiviteiten in Groningen helemaal een precair onderwerp. Desondanks wordt het project in Zuidwending juist goed ontvangen. Mensen uit de directe omgeving zijn goed geïnformeerd en hebben een goed beeld van het belang en van de risico's en gevolgen van gasopslag in cavernes in hun omgeving. Ze zijn over het algemeen positief en ook heel geïnteresseerd in de waterstofontwikkelingen waar EnergyStock, de Gasunie-dochter voor gasopslag, mee bezig is. Toch zal het creëren en bewaken van maatschappelijk draagvlak een punt van aandacht blijven in de verdere ontwikkeling en ingebruikname van zoutcavernes voor de opslag van waterstof.

En de aardgasvelden dan?

TNO[3] zegt dus dat er in principe voldoende zoutcavernes voor waterstofopslag kunnen worden ingezet (en ontwikkeld) om te voorzien in de toekomstige opslagbehoefte. Maar is het ook het meest economisch? Kunnen we niet ook gebruikmaken van de voormalige aardgasvelden? Voor de veilige opslag van waterstof in aardgasvelden is nog veel onderzoek[4] nodig. Hoe reageert de waterstof bijvoorbeeld met het achtergebleven methaan en andere koolwaterstoffen en welke organische processen kunnen ontstaan? Hoe gedraagt waterstof zich in het reservoirgesteente? Zoutcavernes zijn bewezen veilig. Waterstofmoleculen kunnen niet ontsnappen uit de vrije holtes in zoutlagen en er is geen interactie met resterend methaan en andere moleculen en met bacteriën.

Opslag van waterstof in de toekomst

Het Klimaatakkoord streeft naar een realisatie van 3 tot 4 GW-vermogen aan productie van groene waterstof in 2030, vooral gevoed vanuit nieuwe blokken van offshore windenergie vanuit de Noordzee.

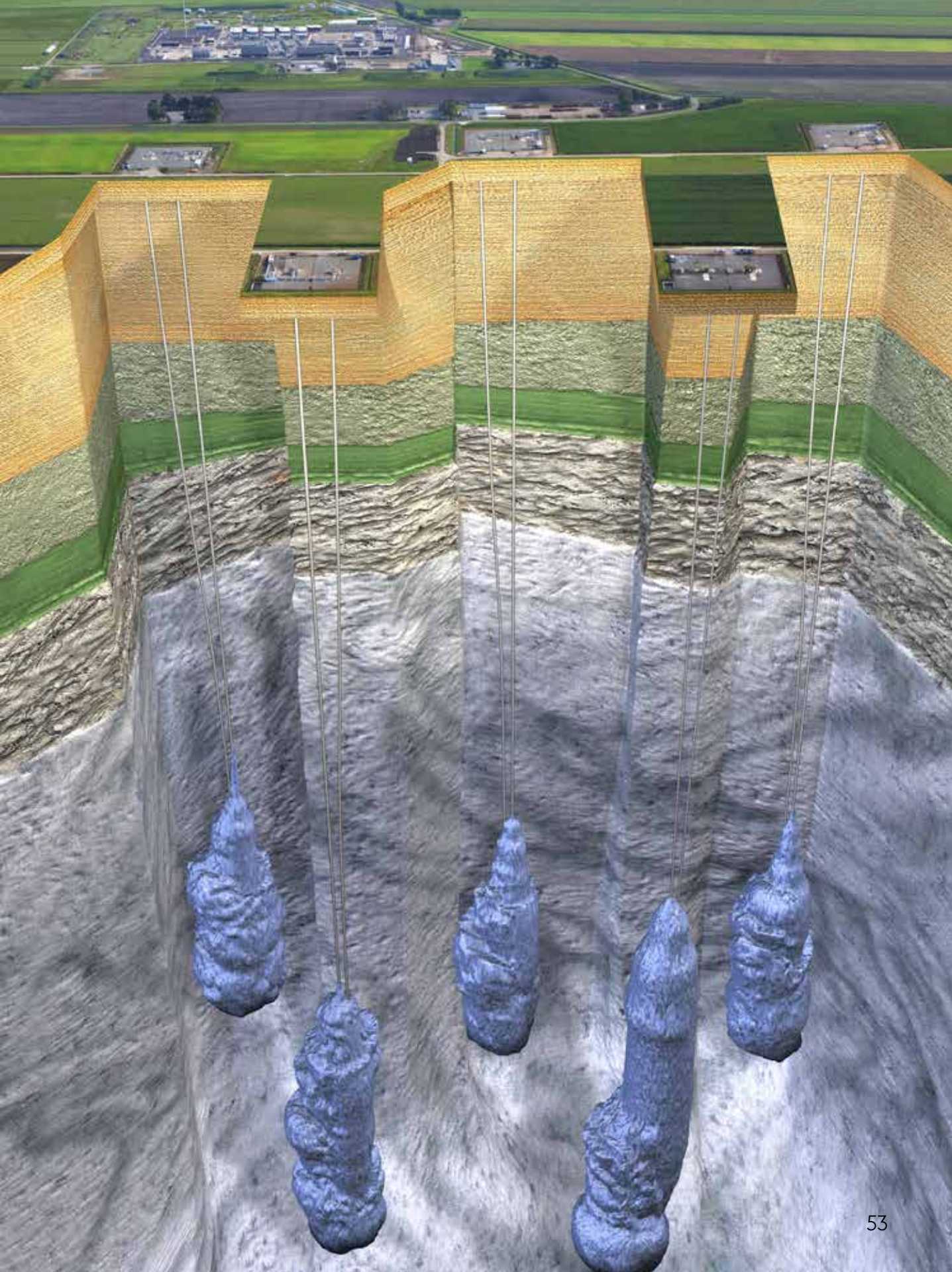
Hiervoor zullen we in de periode 2025-2030 moeten opschalen naar de 'GW-schaal' in de hele leveringsketen van waterstof, inclusief een landelijk transportnet en de eerste grote cavernes voor waterstofopslag. In de jaren daarna zal de waterstofmarkt verder doorgroeien en zullen meer cavernes beschikbaar moeten komen voor opslag van waterstof, als in 2050 ongeveer twintig procent van de Nederlandse energievraag bediend zal worden met groene waterstof.

Dan zullen we meerdere waterstofopslaginstallaties moeten hebben in Nederland en vlak over de grens, vooral in zoutcavernes. Mogelijk kunnen in de toekomst daarvoor ook leeg geproduceerde aardgasvelden worden ontwikkeld, als dat economisch en operationeel haalbaar blijkt.

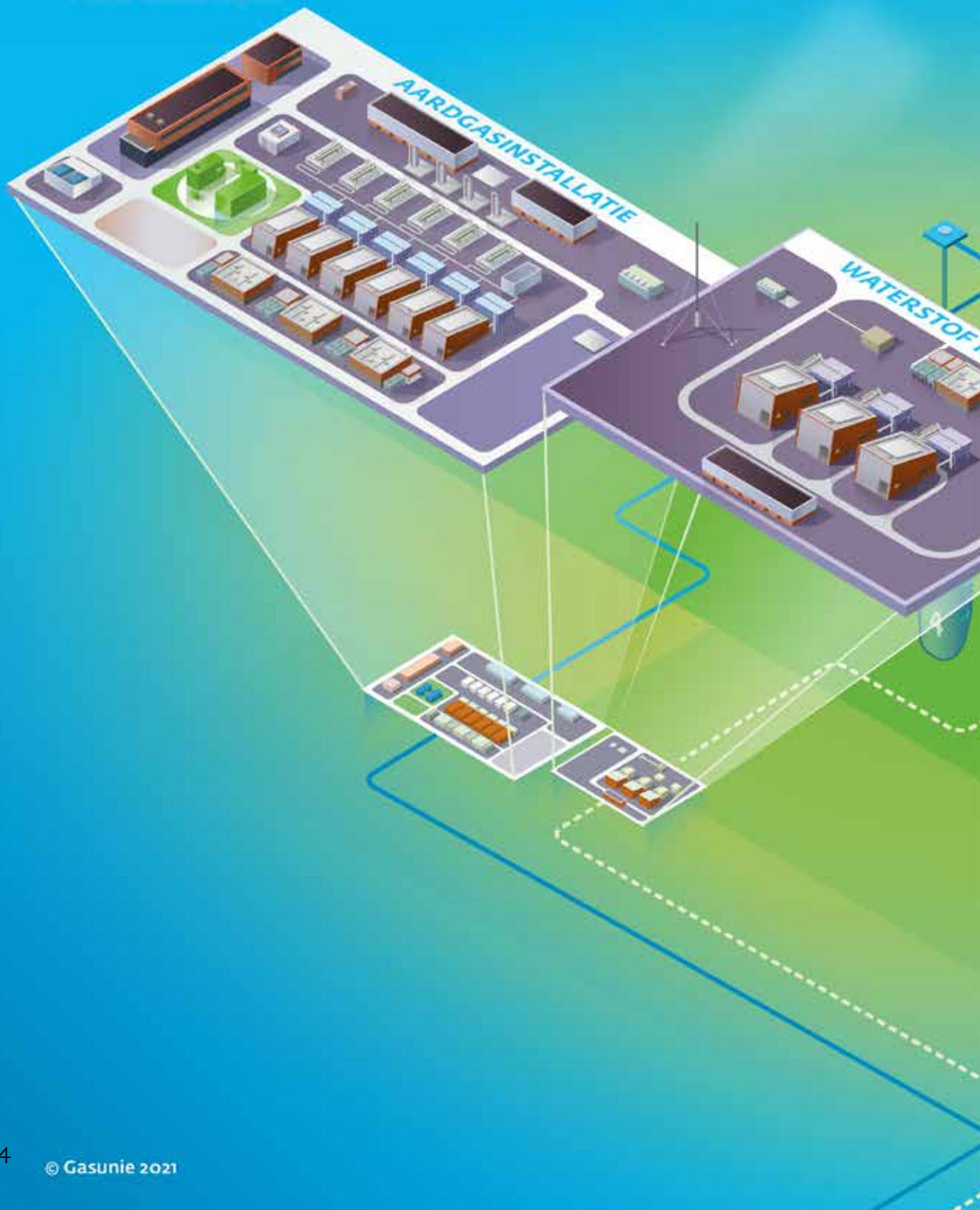
---

3 https://kennisbank.ebn.nl/ondergrondse-opslag-in-nederland-technische-verkenning-2018/

4 https://www.tno.nl/en/focus-areas/energy-transition/roadmaps/system-transition/towards-a-reliable-affordable-and-fair-energy-system/energy-conversion-and-storage/large-scale-energy-storage/

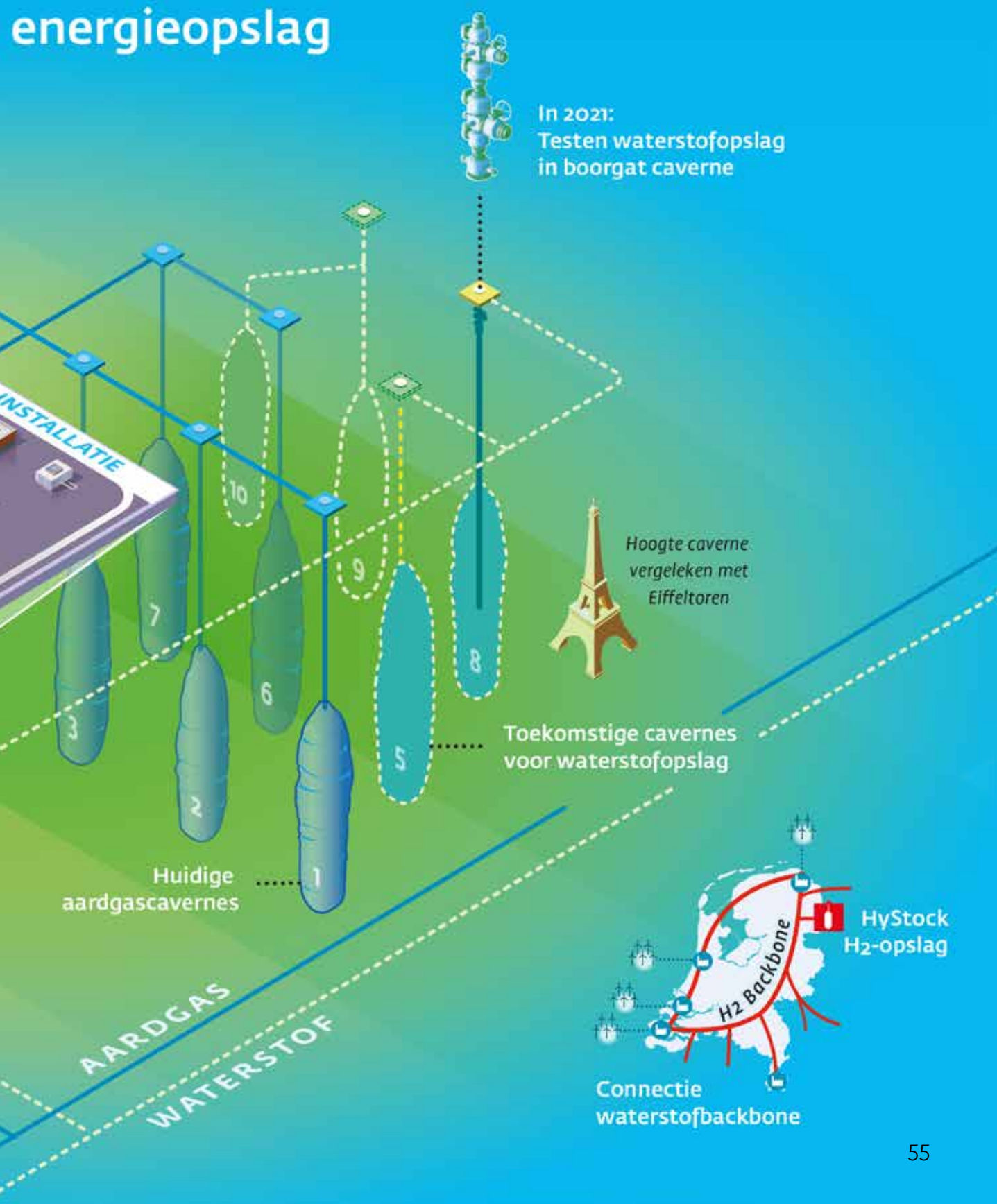


De toekomst van



© Gasunie 2021

energieopslag



Frank van Alphen

FRANK VAN ALPHEN IS NETSTRATEEG – ASSETMANAGER BIJ STEDIN EN VOORZITTER VAN DE WERKGROEP NETWERK VOOR DUURZAME GASSEN (NDG) IN NETBEHEER NEDERLAND VERBAND.

Als netstrateeg focus ik mij op de toekomstige ontwikkelingen van het gasnetwerk.
Zo zien we een reductie in de gasvraag (het aantal aansluitingen en gasvolume), worden er nieuwe eisen aan het gasnet gesteld en maken duurzame gassen intrede op het gasnetwerk.

Deze veranderingen maken ook dat we als netbeheerder mee moeten ontwikkelen om de veranderingen mogelijk te maken. Door theorie en praktijk bij elkaar te brengen kunnen zien hoe we kunnen doorontwikkelen met de nieuwe uitdagingen.

Mijn persoonlijke focus ligt bij duurzame gassen waar waterstof de hoofdfocus heeft.

Zo ben ik projectleider van de tijdelijke ombouw van aardgas naar waterstof in Uithoorn: https://www.stedin.net/uithoorn

Ben ik namens Stedin trekker van de waterstofstraat: https://www.thegreenvillage.org/projects/waterstofstraat

En doen we onderzoek met de gezamenlijke netbeheerders:
https://www.netbeheernederland.nl/dossiers/waterstof-56

HOE RELEVANT IS HET GASNET NOG?

FRANK VAN ALPHEN

STEDIN, NETBEHEER NEDERLAND

De laatste jaren speelt er veel op het gebied van aardgas en het aardgassysteem in Nederland. Zo reduceren we met versneld tempo de aardgaswinning en wordt er extra stikstofproductie bijgebouwd. Ook realiseren we inmiddels meer aardgasvrije nieuwbouwwoningen dan woningen met een gasaansluiting. Aardgasvrije alternatieven en isolatiemaatregelen gaan bovendien een steeds significantere rol spelen in het energiesysteem. Door energietransitieprogramma's als '#vangaslos' en 'Stroomversnelling' en het overheidsdoel dat de gebouwde omgeving in 2050 geen CO_2 meer mag uitstoten, is de vraag: 'hoe relevant is het gasnet nog?'

Eerst een paar cijfers. In Nederland staan zo'n acht miljoen gebouwen. Het gaat om zeven miljoen woningen – flats, rijtjeswoningen en vrijstaande woningen – en één miljoen kantoorgebouwen en ziekenhuizen. De overgrote meerderheid van deze gebouwen kookt en stookt op aardgas. Ruim een kwart van het Nederlandse energieverbruik en zo'n 15% van de CO_2-uitstoot vindt in de gebouwde omgeving plaats, thuis en op het werk.

Als je naar de energievraag van een gemiddelde woning kijkt, dan komt circa 80% van de energie via de gasleiding binnen. Van deze 80% wordt ongeveer 70% gebruikt voor het verwarmen van de woning, zo'n 20% voor het verwarmen van tapwater (douche, bad et cetera) en circa 10% voor koken. Deze cijfers maken duidelijk dat de grootste uitdaging zit in de manier waarop gebouwen duurzaam verwarmd kunnen worden. Hierbij focus ik me op de bestaande gebouwde omgeving. Bij nieuwbouw houdt men vanaf de tekentafel al rekening met een duurzaam alternatief voor aardgas. Hoe gaan we bestaande gebouwen aanpassen zodat deze, op een maatschappelijk gedragen manier, duurzamer worden?

Duurzame gassen zoals biogas, groen gas en (groene) waterstof gaan hierbij een rol spelen. In Nederland is er al een fijnmazig en goed onderhouden gasnet aanwezig. Als we naar duurzame bronnen zoals zon en wind kijken in relatie tot de energiebehoeften van de gebouwde omgeving, dan is er sprake van een grote ongelijktijdigheid tussen productie en verbruik. Om windturbines en zonnepanelen efficiënt te benutten, is opslag van energie nodig. Elektriciteit opslaan in een batterij is erg kostbaar (ongeveer 200 euro per kWh) en daarnaast leent een batterij zich lastig om elektriciteit over een langere periode op te slaan. Als elektriciteit daarentegen wordt omgezet naar een gasvormige energiedrager, zoals waterstof, is de opslag ruim honderd keer goedkoper. Naast het opslaan van energie zijn transport en distributie van energie ook relevante aspecten. Zo levert het gasdistributienet tien keer zoveel energie en een ongeveer vier keer hogere (piek)capaciteit dan het elektriciteitsdistributienet, tegen dezelfde kosten. Op deze manier kan het bestaande gasnet aan een tweede jeugd beginnen voor de energiebehoeften van de gebouwde omgeving.

Begin juni 2018 hebben de netbeheerders het onderzoek 'Toekomstbestendige gasdistributienetten'[1] afgerond, met als conclusie dat het bestaande gasnet vrij eenvoudig geschikt gemaakt kan worden voor 100% waterstof. Sinds de publicatie van het rapport gaan de waterstofontwikkelingen hard. Ook bij de uitwerking van het Klimaatakkoord is de inzet van waterstof voor de netbeheerders een belangrijk aandachtspunt. Er is niet een pasklaar antwoord voor het halen van de klimaatdoelstellingen. Je moet alle opties openhouden en per locatie kijken wat de beste en meest verantwoorde manier is om over te stappen op een duurzaam alternatief.

Gezien alle ontwikkelingen en de omvang van de uitdaging ben ik van mening dat het gasnet op dit moment en in de toekomst een significante rol speelt en blijft spelen. Om waterstof daadwerkelijk als waardevolle optie in te gaan zetten als duurzaam alternatief moet er nog wel het nodige gebeuren. Omdat wij netbeheerders maar over een deel van de keten gaan, hebben we daarom alle ketenpartners van het gasnet nodig zoals technische dienstverleners, installatiebedrijven en technische detailhandel. Daarnaast is er ook een belangrijke rol weggelegd voor veiligheidsinstanties, toezichthouders, gemeenten en andere overheden om samen dit pad op te gaan. Om deze reden wil ik dan ook de oproep doen om dit traject samen te bewandelen, "Wie gaat er mee?"

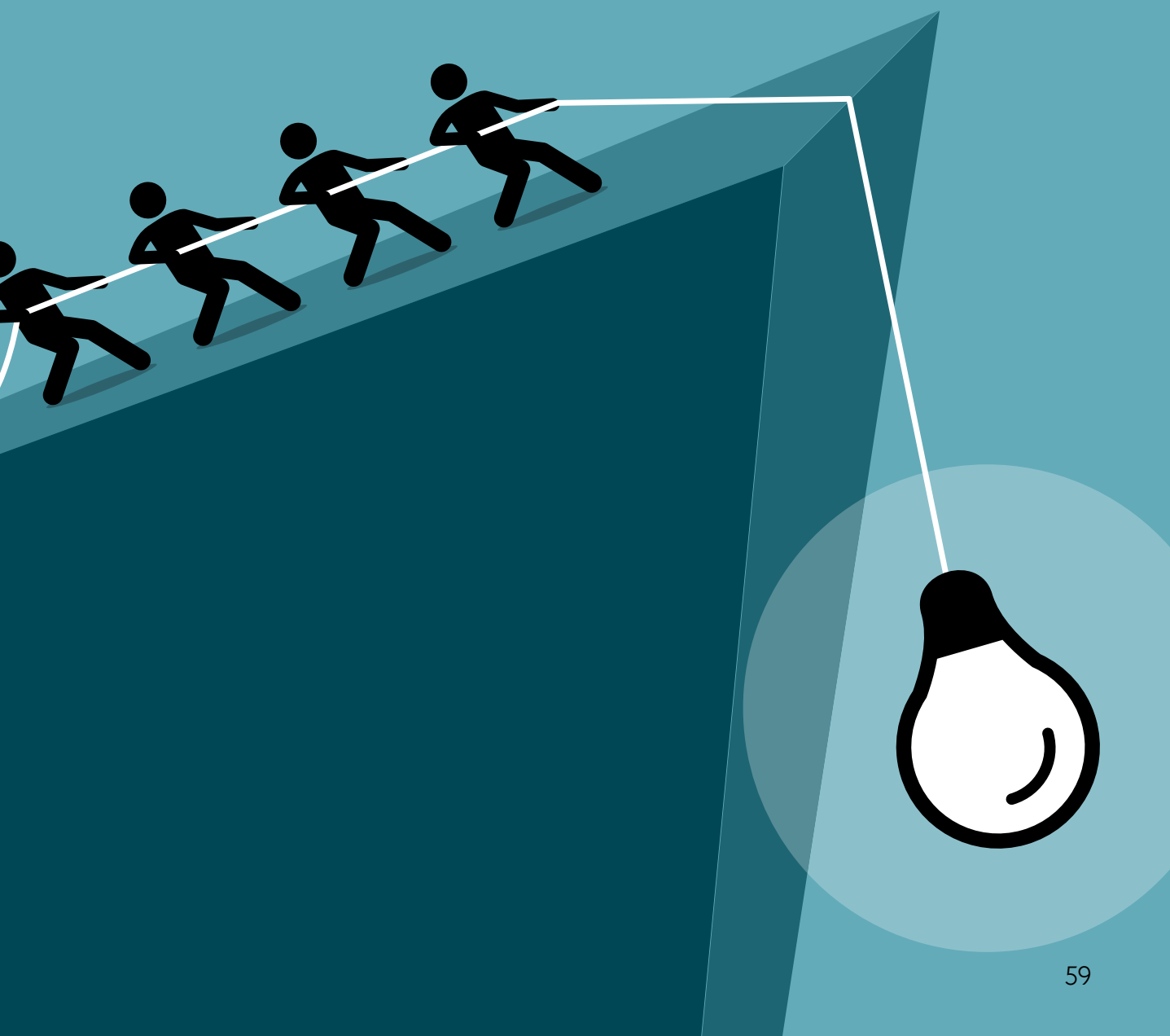
Referenties:

- Projectleider namens de netbeheerders van de studie[2]
- Stuurgroep the Green Village[3]
- Publicatie: 'Gasnet van Stad aan 't Haringvliet kan over op groene waterstof'[4]

1 *https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Toekomstbestendige_gasdistributienetten_133.pdf*
2 *https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Toekomstbestendige_gasdistributienetten_133.pdf*
3 *https://www.thegreenvillage.org/news/eerste-schop-de-grond-voor-waterstofnet*
4 *https://www.stedin.net/over-stedin/pers-en-media/persberichten/gasnet-van-stad-aan-t-haringvliet-kan-over-op-groene-waterstof*

ALLEEN GA JE SNELLER, MAAR SAMEN KOM JE VERDER.

- AFRIKAANS SPREEKWOORD -



Marco Betting

MARCO BETTING IS MOMENTEEL BUSINESS DEVELOPMENT DIRECTOR BIJ HYET HYDROGEN B.V. MARCO HEEFT EEN BACHELOR'S DEGREE IN MILIEUTECHNIEK (SAXION DEVENTER) EN EEN EXECUTIVE MASTER IN ENERGIESYSTEMEN (TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT).

Hij werkt meer dan 25 jaar in de energiesector zowel voor de grote olie- en gasbedrijven als voor technostarters.

Met een diepgaande achtergrond in procestechniek, scheidingstechnologie, systeemtechniek en modellering & simulatie, heeft hij ruime ervaring opgedaan in industriële innovatie in diverse sr. leiderschapsrollen. Hij heeft een bewezen staat van dienst in het ontwikkelen en toepassen van innovatieve technologieën in de energiesector.

ELEKTROCHEMISCHE COMPRESSIE & SEPARATIE:

SLEUTELTECHNOLOGIE VOOR EFFICIËNTE OPSLAG EN TRANSPORT VAN WATERSTOF

MARCO BETTING

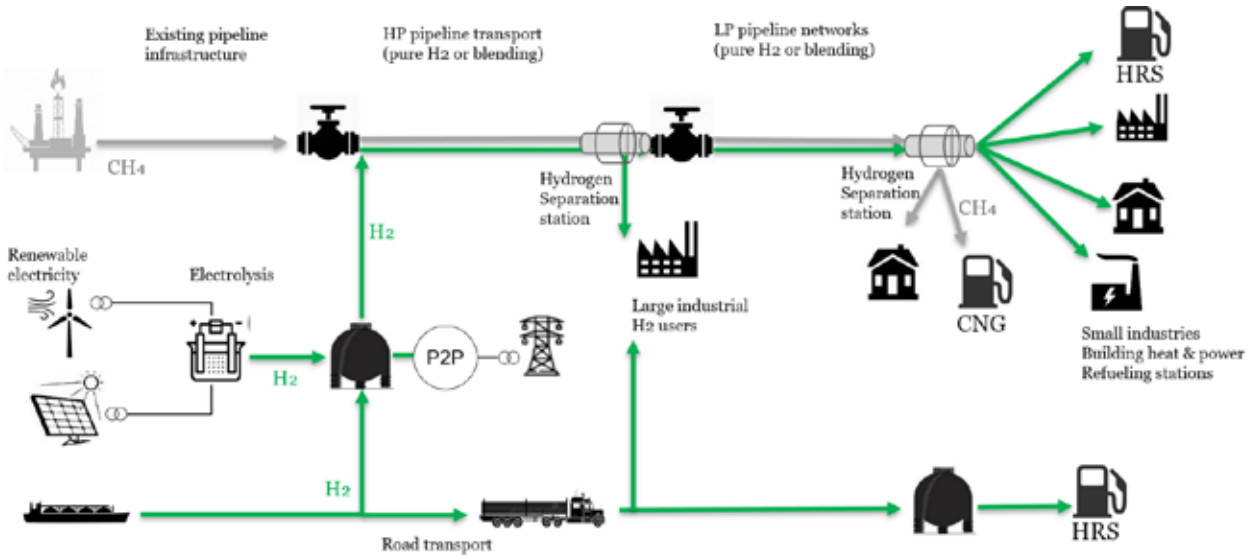
HyET Hydrogen B.V.

De transitie van fossiel naar duurzaam vraagt om een efficiënte waterstofinfrastructuur

Waterstof is het eerste element in ons periodiek systeem en het enige atoom zonder neutronen in de kern. Dit unieke kenmerk van waterstof opent interessante mogelijkheden voor innovatieve elektrochemische technologieën die een flexibelere energie-infrastructuur mogelijk maken om meer zonne- en windenergieparken aan te kunnen sluiten.

Waterstofgas is sterk reactief en heeft een hoge verbrandingwaarde per massa-eenheid. Het wordt veelvuldig gebruikt in diverse industriële toepassingen zoals in raffinaderijen, ammoniakproductie, methanolproductie, metallurgische processen, halfgeleider- en glasindustie. Industrieel waterstof wordt aangeleverd in flessenrekken, per vrachtwagentrailers of in sommige gevallen door buisleidingen. Grote industriële gebruikers produceren vaak hun eigen waterstof met behulp van methaanstoomreforming. In sommige industrieën komt waterstof vrij als bijproduct zoals bij de chloorprodutie. Behalve voor het gebruik als grondstof in de industrie, wordt waterstof recentelijk steeds meer gebruikt als schone brandstof, omdat tijdens de verbranding geen broeikasgassen vrijkomen. Omdat waterstof tevens op een ‘groene’ manier geproduceerd kan worden door middel van waterelektrolyse gevoed door duurzame energiebronnen, is er een groeiende groep die waterstof beschouwt als de toekomstige energiedrager in een duurzame energievoorzieningenstructuur.

In een duurzame energievoorzieningenstructuur zullen zonne- en windenergie – aangevuld met waterkracht en biomassa – de belangrijkste energiebronnen worden. Omdat zonne- en windenergie van nature een periodieke productiekarakteristiek hebben, moeten de elektriciteits- en aardgasnetwerken omgaan met variërende belastingen. Oftewel, productieoverschotten in de zomer en tekorten in de winter. Deze langcyclische fluctuaties kunnen niet worden opgevangen door batterijen en accu’s. Voor het balanceren van deze wisselende belastingen wordt voorzien dat ten tijde van overproductie waterstof wordt opgewekt en opgeslagen in ofwel: 1) hogedrukvaten, 2) cryogene vloeistoftanks of 3) chemisch gebonden in metaalhydrides of vloeibare waterstofdragers. De opgeslagen waterstof kan vervolgens weer worden omgezet naar elektrische energie met behulp van brandstofcellen wanneer er een tekort is aan zonne- of windenergie.



Figuur 1: Systeem voor het balanceren van wisselende belastingen middels decentrale productie van waterstof en stroom.

Uitdagingen voor een efficiënte waterstofinfrastructuur

Om waterstof als volwaardig alternatief in te zetten in plaats van fossiele brandstoffen zoals aardgas, benzine en diesel, is een efficiënte infrastructuur vereist voor vervoer, opslag en distributie van waterstof naar industriële gebruikers en consumenten. De uitdagingen voor effectieve waterstofopslag en -transport zijn gelegen in een paar kenmerkende eigenschappen van waterstof zoals de zeer lage dichtheid en het extreem lage kookpunt. Waterstof heeft weliswaar een hoge verbrandingswaarde per kilogram, maar per volume-eenheid is deze relatief laag als gevolg van de lage massadichtheid.

Een hoge energiedichtheid kan worden bereikt door opslag:
1. op ultrahogedruk > 400 bar,
2. bij cryogene temperaturen < -252 °C of
3. in chemisch gebonden toestand, zoals metaalhydrides of vloeibare waterstofdragers.

De typische uitdagingen gerelateerd aan deze drie opslagmethodes zijn respectievelijk: betrouwbare compressie tot ultra hogedruk, recompressie van 'boil-off gas' (door thermische isolatieverliezen) en de scheiding van verontreinigingen uit waterstofgas die meekomen uit de dragervloeistoffen.

Efficiënte transportmiddelen voor waterstof betreffen voornamelijk:
1. gasflessen/tubetrailers (kleine hoeveelheden over korte tot middellange afstanden)
2. buisleidingen (grote hoeveelheden over middellange tot lange afstanden)
3. vloeibare waterstofdragers (grote hoeveelheden over grote afstanden)
4. vloeibare waterstof (grote hoeveelheden over grote afstanden).

Voor de bovenstaande opslag- en transportmodaliteiten spelen waterstofcompressie en waterstofscheiding een belangrijke rol.

Compressoren zijn nodig voor het vullen van gasflessen, drukvaten en trailers tot een drukbereik van 200 tot 500 bar. Vloeibaar waterstofopslag en -transport vereist recompressie van het waterstofgas dat vrijkomt door warmtelek (imperfecte isolatie). Bij de desorptie van waterstof uit een dragervloeistof, zullen er sporen van deze dragervloeistof meekomen zoals tolueen, ammoniak of methanol. Deze verontreinigingen moeten worden gescheiden om een voldoende zuiver waterstofgas voor brandstofcellen te kunnen leveren (99.999%). Tenslotte is een effectieve scheidingstechnologie voor aardgas-waterstof cruciaal voor de distributie van waterstofgas via de bestaande leidingnetwerken. Dit maakt bijmenging van waterstof mogelijk waardoor het waterstofgas op het afleverpunt door het scheidingsstation op de juiste specificatie kan worden gebracht.

Voor het comprimeren van waterstofgas tot drukken van >100 bar worden tot nu toe vooral zuigercompresssoren en diafragmacompressoren gebruikt. Deze mechanische compressoren hebben veel te lijden onder waterstof, omdat smeermiddelen voor de bewegende delen niet mogen worden gebruikt ter voorkoming van waterstofverontreinigingen. Diafragmacompressoren hebben geen smering nodig, omdat de gaszijde en de hydraulische oliezijde in de compressiekamer van elkaar zijn gescheiden door een dunne metalen plaat (= diafragma). De pulserende hydraulische olie verplaatst het diafragma waarmee het gaszijdig volume wordt verkleind en het gas verdicht. Diafragma's zijn weliswaar ontworpen om vele wisselingen te weerstaan, echter de aanwezigheid van hogedrukwaterstof zorgt voor een verminderde elasticiteit van het metaal wat aanleiding kan geven tot haarscheurvorming wanneer een diafragma niet tijdig wordt vervangen. Minuscule lekkage van hydraulische olie via een haarscheurtje kan ongemerkt tot grote vervuiling leiden van het systeem achter de compressor en aanzienlijke schade veroorzaken aan nageschakelde apparatuur zoals brandstofcellen. Om dit soort risico's te verminderen dient er frequente inspectie en onderhoud aan mechanische compressoren plaats te vinden. Typische onderhoudsfrequenties zijn 1 per 500 uur voor zuigercompressoren en 1 per 2000 uur voor diafragmacompressoren.

Het zuiveren van waterstof – geproduceerd door methaanstoomreforming, electrolyse of verkregen uit vloeibare waterstofdragers – wordt traditioneel gedaan met behulp van adsorptiekolommen die bij verzadiging worden gedesorbeerd door drukverlaging (pressure swing: PSA) of temperatuurverhoging (temperature swing: TSA). Dergelijke Adsorption-Desorption-systemen zijn alleen inzetbaar voor het verwijderen van kleine hoeveelheden gascontaminanten, maar niet haalbaar voor het extraheren van waterstof uit grote hoeveelheden dragergassen. PSA- en TSA-systemen zijn overwegend duur, energie-intensief en duur in onderhoud, omdat de adsorptiebedden periodiek moeten worden vervangen.

Elektrochemische Compressie & Zuivering; Essentiële componenten in een waterstofinfrastructuur

Een radicaal nieuwe methode voor compressie en zuivering van waterstof wordt geboden door zogenaamde Elektrochemische Waterstof Compressoren (EWC). In tegenstelling tot de mechanische compressor, bevatten EWC-systemen geen bewegende delen. EWC-systemen bestaan uit gestapelde elektrochemische cellen; typisch 10 – 100 cells per unit of stack (zie ***Figuur 2***). Elke elektrochemische cel bestaat uit een 'Proton Exchange Membrane (PEM)', waarop aan weerszijden twee

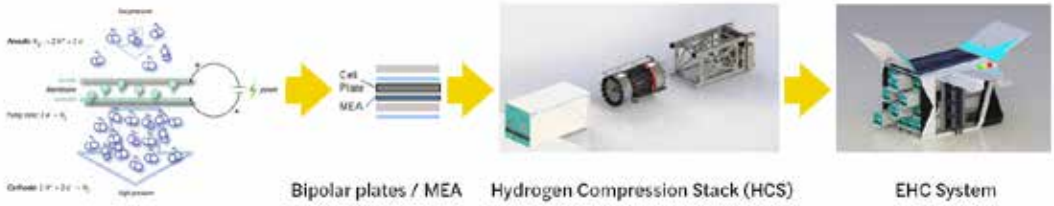
elektrodes zijn gelamineerd. PEMs zijn gemaakt van polymeren die alleen protonen kunnen doorlaten en daarmee ondoorlatend zijn voor moleculen.

Tijdens operatie wordt een elektrische spanning aangebracht over elke cel waardoor de waterstofmoleculen aan de lagedrukzijde (= anodezijde) dissociëren in protonen en elektronen. De protonen zullen onder invloed van het aangebrachte spanningsverschil het membraan passeren naar de hogedrukzijde (= kathodezijde).

Figuur 2: Hydrogen Compressie Stack (HCS)

De elektronen worden via de metalen borders van de cel geleid naar de kathodezijde waar ze met de protonen recombineren tot waterstofgas.
Omdat PEM-membranen ondoorlatend zijn voor moleculen, kan de druk aan kathodezijde worden verhoogd naar >400 bar met een zeer geringe terugdiffusie.

Elke elektrochemische cel in de stack is in staat om waterstof te verdichten van 1 tot 1000 bar. Als zodanig is een 'Hydrogen Compressor Stack (HCS)' een eentraps-compressor. Omdat één cel de volledige compressieverhouding levert, zijn alle cellen in de stack parallel geschakeld wat betekent dat de gascapaciteit (debiet) lineair toeneemt met het aantal cellen.



Figuur 3: Opbouw van een Elektrochemische Hydrogen Compressor van MEA (links) tot EHC-systeem (rechts)

Zoals weergegeven in bovenstaand figuur, bestaan EWC-systemen (Eng. EHC) uit meedere parallel geschakelde stacks (HCS). Elke HCS bestaat uit 2 - 6 pakketjes van tientallen cellen waarbij elke cel een zogenaamde MEA bevat 'Membrane Electrode Assembly'. Tijdens operatie wordt het rendement per cel gemonitord en afgeschakeld in het geval een specifieke cel minder presteert, zonder noemenswaardige invloed op de totale systeemcapaciteit.

Deze ingebouwde redundantie maakt EWC-systemen uiterst betrouwbaar, omdat de kans op een volledige uitval/storing uiterst gering is. Het gemiddelde tijdsinterval tussen faalgebeurtenissen is vooralsnog geschat op tenminste 40.000 uren. Als na dit tijdsinterval een of meerdere cellen onder ontwerpcondities zouden presteren kan ofwel een celpakket ofwel de volledige stack worden uitgewisseld zonder daarbij de rest van het EWC-systeem uit bedrijf te nemen.

De energieconsumptie van EWC-systemen voor een typische compressieverhouding van 1 – 400 bar(g), bedragen momenteel 4 kWh/kg H_2 voor lage stroomdichtheden (0.5 A/cm^2). In de huidige praktijk worden hogere stroomdichtheden toegepast om te besparen op de MEA-kosten, waardoor een typische energieconsumptie van 6 – 8 kWh/kg nodig is voor een compressiestap van 1 – 400 bar(g). Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van de membraantechnologie en MEA-ontwerp, zijn erop gericht het energieverbruik te verlagen tot <4 kWh/kg voor 1 – 400 bar bij 1 A/cm^2.

Figuur 4: Containerized EWC-systeem 120 kg/d (450 bar) ontworpen voor een Waterstof Tankstation

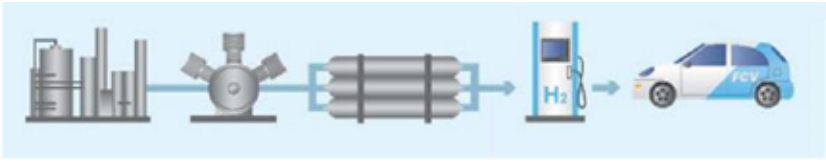
EWC-systemen hebben een uitstekende debietregeling die traploos van 0 – 100% kan worden geregeld met de stroomdichtheid. De snelle responsie van EWC-systemen maakt het mogelijk om bij sterk fluctuerende operatiecondities een stabiele waterstofcompressie en zuivering te leveren.

EWC-systemen hebben geen dynamische afdichtingen (geen lekpaden) en een kleine gasinhoud waardoor ze veilig kunnen worden geopereerd. Omdat er geen bewegende delen in de compressiestacks zitten, treden er geen vibraties op en worden ze geruisloos bedreven waardoor EWC-systemen uitermate geschikt zijn voor toepassingen in de bebouwde omgeving.

Wanneer waterstof wordt geproduceerd door elektrolysers, kan het met water-verzadigde waterstof rechtstreeks naar de EHC worden geleid zonder dat er voorgeschakelde drogers of deoxidatiestappen nodig zijn, hetgeen op de totale systeemkosten bespaart. Sporen van onzuiverheden in het gas worden simultaan in de HCS-stack verwijderd. Deze combinatie van zuivering en compressie maakt EHC-systemen uniek.

Het vermogen van EHC-systemen om selectief waterstof te transporteren vanuit een voedingsgasstroom, maakt deze technologie zeer geschikt voor scheidingstoepassingen. Wanneer bijvoorbeeld een mengsel van waterstof en aardgas wordt toegevoerd aan de anodezijde van de elektrochemische cel, zal het aardgas niet worden beïnvloed door het elektrische potentiaal en zal daarom aan de anodezijde achterblijven. Een dergelijk Elektrochemisch Waterstof Scheidingssysteem (EWS) kan daarom worden gebruikt om gelijktijdig waterstof te extraheren en te comprimeren uit aardgasmengsels, hetgeen een sleutelfunctie wordt bij de distributie van waterstof via bestaande gasnetwerken.

De operationele voordelen van EHC-technologie - zoals hierboven besproken - zullen hun geldelijke waarden opleveren voor de gehele waterstofketen. Zodra EWC-systemen op grote schaal worden toegepast als waterstofcompressor, waterstofextractor of zuiveringsinstallatie, kunnen de productiekosten voor waterstof (€/kgH_2) met ongeveer 30% worden verlaagd. Dergelijke besparingen in de waterstofketen kunnen het omslagpunt vormen voor waterstof om de dominante energiedrager van de toekomst te worden.



H2 Generation & Purification | Compression | Storage | Dispensing, Cooling & other

	PSA	EHP	Mech	EHC	Both	Both	Conventional	EHC
CAPEX (EUR/kg/d)	3150	2650	2000	300	500	400	6050	3850
TCO (EUR/kg)	2.05	1.75	1,50	0.47	0.66	0.56	4.77	3.44

Figuur 5: Toegevoegde waarde van EWC- (Eng. EHC) en EWS- (Eng. EHP) systemen in de waterstofketen

In de hierboven getoonde waterstofvoorzieningsketen kunnen elektrochemische compressoren de waterstof leveren tot de gewenste drukniveaus van 400 tot 875 bar.

Conclusies

Waterstof zal een belangrijke rol spelen als energiedrager bij de overgang van fossiele brandstoffen naar hernieuwbare energiebronnen. Hoewel veel technische bouwstenen voor een dergelijke duurzame energie-infrastructuur vandaag al beschikbaar zijn, blijven er uitdagingen bestaan op het gebied van kosten-effectieve compressie en zuivering van waterstof om betrouwbare en goedkope opslag en transport van waterstof tot stand te brengen.

In het afgelopen decennium zijn elektrochemische compressie- en zuiverings-technologieën in opkomst die kosteneffectieve waterstofopslag mogelijk maken en waterstof uit aardgas kunnen extraheren, hetgeen een soepele overgang van aardgas naar waterstof met behulp van een bestaand gasnetwerk mogelijk maakt. Het feit dat elektrochemische compressie- en zuiveringstechnologieën statische apparatuur betreffen, levert voordelen op van hoge betrouwbaarheid, lage operationele kosten, geluidloosl (geen trillingen) waarbij een leveringsdruk van 875 bar bereikt kan worden.

EHC-systemen van het Nederlandse bedrijf HyET Hydrogen B.V. zijn in 2016 op commerciële schaal geïntroduceerd en worden momenteel gebouwd voor hogedrukopslag, bijvoorbeeld voor tankstations en 'power-to-gas'- toepassingen. De beschikbare capaciteiten van EWC-systemen variëren tegenwoordig van 2 – 2.000 kg $H_{2.}$

Marco Bijkerk

MARCO J. BIJKERK (1972) WERKTUIGBOUWKUNDIGE MET SPECIALISATIE IN ENERGIETECHNIEK. HIJ WERKT SINDS 22 JAAR IN DE ENERGIE- EN VERWARMINGSINDUSTRIE.

Hij is vakmatig bezig met langetermijnstrategie waarbij techniek, innovatie, de consument, politiek, geopolitiek en bedrijfseconomie met elkaar moeten worden verbonden om succesvol nieuwe technieken naar de markt te brengen. Sinds december 2020 werkt Marco als freelance business developer voor start-ups in de energietransitie vanuit zijn eigen bureau Bynex. Hij geeft regelmatig presentaties en workshops over de zin en onzin van de energietransitie en de rol van waterstof daarin. Hij is tevens auteur van het boek 'Help, de energietransitie', een andere kijk op betaalbare CO2-reductie. Het is zijn persoonlijke passie een bijdrage te leveren aan de CO2-reductie.

7

WATERSTOF IN ONZE HUIZEN

MARCO BIJKERK

BYNEX

Recent wordt veel gesproken over waterstof om onze huizen mee te verwarmen. Wat is dat eigenlijk, wat wordt er bedoeld, hoe werkt het en vooral, waarom zouden we dat eigenlijk willen? Vragen die in dit hoofdstuk behandeld worden. Hoewel daar in dit boek elders al veel over wordt gezegd zal hier tevens de vraag naar de kosten worden behandeld; als echte Hollanders willen we graag weten wat de kosten en baten zijn.

Hoe werkt het?

Om de vraag naar de werking te beantwoorden is het nodig eerst te weten hoe de huizen nu verwarmd worden.

Van de huizen in Noordwest-Europa heeft ongeveer 85% een gasaansluiting (in Nederland ligt dit zelfs rond de 95%). Door die gasaansluiting wordt aardgas geleverd aan het huishouden dat vaak gebruikt wordt voor koken, de verwarming van het huis en warm water voor douche en dergelijke. De reden om gas te gebruiken is zowel praktisch al kosteneffectief. Gas was en is op grote schaal beschikbaar (zeker na de ontdekking en exploitatie van het Groningerveld) en tevens relatief goedkoop. Daar komt bij dat (aard)gas veruit de schoonste fossiele energiedrager is die we beschikbaar hebben. Ter vergelijking, aardgas is meer dan een factor vier schoner dan met steenkool opgewekte elektriciteit.

In het huis wordt gas gebruikt door een HR-ketel. In deze ketel zit een brander die het aardgas verbrandt, daarbij ontstaan hete rookgassen die door een warmtewisselaar hun warmte afgeven aan water. Dat water wordt door leidingen naar radiatoren of vloerverwarming gepompt waar de warmte wordt gebruikt om de ruimte te verwarmen. De rookgassen worden in dit proces zover gekoeld dat zelfs de waterdamp die erin zit gecondenseerd wordt. Alle warmte wordt dus benut, vandaar dat HR- (hoog rendement) ketels zo'n hoog rendement hebben (tegen de 100% op bovenwaarde). Op vergelijkbare manier kunnen de meeste van deze ketels naast het leveren van warmte voor verwarming ook drinkwater verwarmen. Dat gaat dan niet naar het verwarmingssysteem, maar naar de douche of de warmwaterkraan. Dergelijke ketels worden combiketels genoemd, omdat ze de functie van verwarming en tapwater combineren.

De stap naar waterstof is nu redelijk klein, in plaats van aardgas wordt waterstof gebruikt als gas om de ketel op te laten branden. Daarvoor is wel een aangepaste ketel nodig; waterstof heeft andere eigenschappen dan aardgas. Het is veel lichter, brandt acht tot negen keer zo snel, heeft een hogere vlamtemperatuur en brandt bovendien onzichtbaar (ook onzichtbaar voor de elektronica die normaal in een ketel zit). Om een ketel te maken die het huis verwarmt op waterstof moet dus

nieuwe techniek worden ontwikkeld die met waterstof kan omgaan zoals de huidige generatie ketels met aardgas kan omgaan. Die ontwikkelingen zijn in volle gang. Inmiddels zijn de eerste ketels in installaties geplaatst die volledig op waterstof werken en die huizen verwarmen.

Dat de ketel van binnen wat anders in elkaar zit, maakt voor de bewoner niet uit, de waterstofketel gedraagt zich precies zoals een aardgasketel en kan, en dat is uiterst belangrijk, gebruikmaken van dezelfde installaties (radiatoren, vloerverwarming en dergelijke) die al in het huis aanwezig waren, er zijn geen aanpassingen in de installatie of het huis zelf nodig.

Naast genoemde HR-ketel is er nog een erg interessante ontwikkeling gaande, namelijk de ontwikkeling van de micro-wkk. De micro-wkk is een apparaat dat op basis van een gas elektriciteit opwekt en de warmte die daarbij wordt opgewekt gebruikt voor de verwarming. Een dergelijk toestel heeft net zo'n hoog rendement als een HR-ketel maar levert dus naast warmte ook elektriciteit met een HR-rendement. Daarmee is de elektriciteit uit zo'n toestel drie keer schoner dan de gemiddelde elektriciteit in Nederland. Een gebruiker met zo'n toestel bespaart dus veel CO_2 op zijn elektriciteit, omdat hij die zelf veel schoner opwekt. Daarnaast is er een forse kostenbesparing, omdat de prijs van elektriciteit ongeveer 3,5 keer zo hoog is als de prijs van gas. De gebruiker heeft dus goedkope elektriciteit, omdat hij die energie als gas inkoopt. Er zijn veel verschillende technieken om gas om te zetten in elektriciteit, dat kan met bijvoorbeeld een Stirling- motor, een Rankine cycle, een thermo-akoestische motor en een bekende die ook in toekomstige elektrische auto's gebruikt gaat worden: de brandstofcel die gas, zonder bewegende delen, omzet in elektriciteit en warmte. De meest geschikte brandstof voor zo'n cel is ..... waterstof.

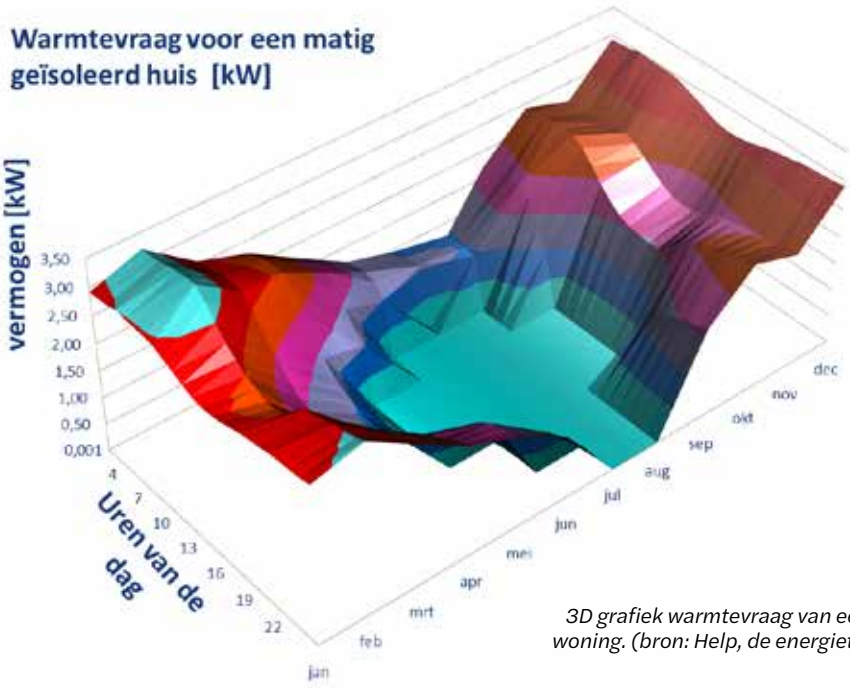
Wanneer die waterstof duurzaam wordt opgewekt gaat de CO_2-uitstoot van de warmte en de elektriciteitsvraag richting 0. Dat is precies de doelstelling die we hebben in het kader van de klimaatverandering, de uitstoot van CO_2 terugbrengen naar 0. Waterstof kan dus een energiedrager zijn om onze huizen mee te verwarmen maar ook om zelf elektriciteit op te wekken, afhankelijk of de gebruiker voor de ketel of een micro-wkk kiest en zonder dat daar CO_2 bij vrijkomt.

Waarom waterstof, we hebben de warmtepomp en de hybride warmtepomp (combinatieketel met warmtepomp) toch al?

Waarom de belangstelling voor waterstof in onze huizen, in het klimaatakkoord en allerlei media wordt toch al volop gesproken over de warmtepomp? Om die vraag te beantwoorden moeten we een stap verder kijken in het toekomstige energiesysteem. Waar komt de energie vandaan? De wens is dat we steeds meer energie gaan opwekken met duurzame bronnen als zon, wind en misschien kernenergie, dat laatste is afhankelijk van de maatschappelijke discussie.

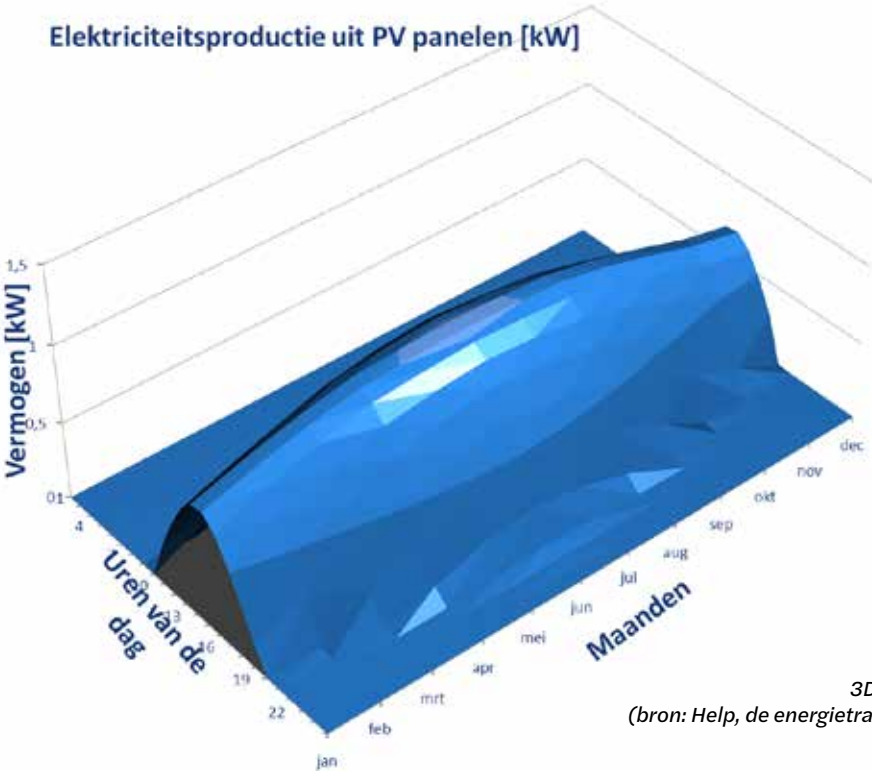
Zon en wind hebben als kenmerk dat je afhankelijk bent van de natuur of die energie wel of niet beschikbaar is. Dat is anders dan we gewend zijn: nu krijgen we de energie wanneer we het nodig hebben, want de fossiele bronnen zijn per direct beschikbaar. Kijkend naar de woningbouw is het goed om te bekijken hoe vraag (wanneer wil ik het warm hebben) en aanbod (wanneer schijnt de zon en waait de wind) bij elkaar passen.

Om daar inzicht in te geven hieronder de grafiek van de warmtevraag van een gemiddelde woning: Op de ene horizontale as staan de uren van de dag, dus van 00:00 tot 24:00 uur en op de andere as de maanden, dus hoe verandert de warmtevraag over het jaar. Verticaal staat de vraag naar warmte in kW.

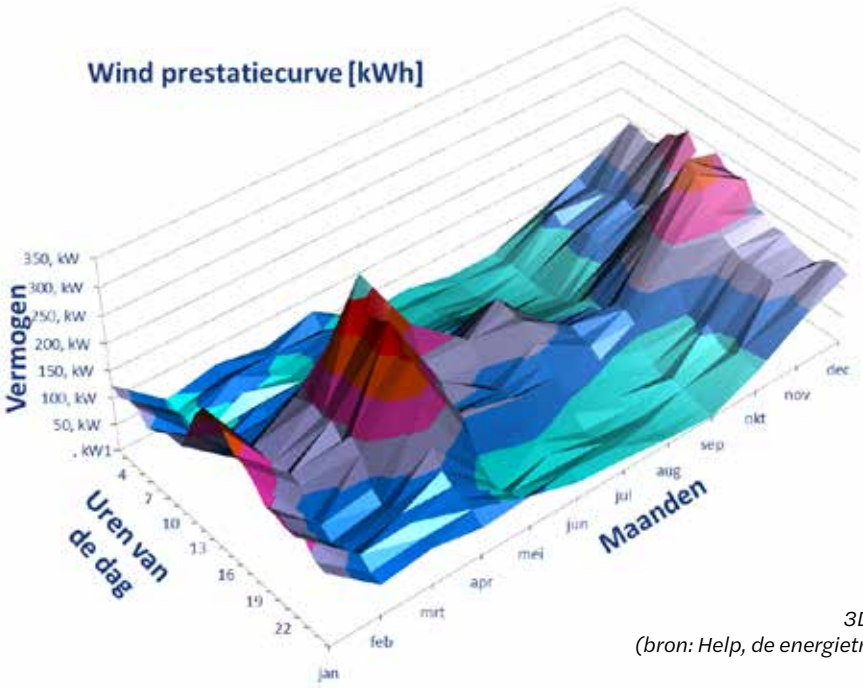


3D grafiek warmtevraag van een gemiddelde woning. (bron: Help, de energietransitie 2019)

In de twee volgende grafieken staat het aanbod van zon en wind.



3D grafiek zon (bron: Help, de energietransitie 2019)



3D grafiek wind
(bron: Help, de energietransitie 2019)

Het is eenvoudig te zien dat vraag en aanbod erg slecht bij elkaar passen. Dat houdt dus ook in dat het fysisch vrijwel onmogelijk wordt om onze woningen direct met zon- en windenergie te verwarmen zonder dat er van een zeer grote onrendabele top sprake is, immers er zou extreem veel geïnvesteerd moeten worden aan de opwekkingskant om in de slechtste situatie nog aan de vraag te kunnen voldoen. Er is dus behoefte aan een opslagsysteem dat in staat is de energie uit zon en wind voor een langere periode op te slaan, de piek van zon (zomer) en de piek van wind (voor- en najaar) bewaren voor de grote vraag naar energie in de winter.

Naar de technische mogelijkheden van energieopslag is veel onderzoek gedaan. Daaruit is gebleken dat wanneer energie voor langere periode in grote hoeveelheden moet worden opgeslagen er het beste een molecuul van gemaakt kan worden, anders gezegd: zet de duurzaam opgewekte energie om in een gas. Dat gas kan bewaard worden tot het moment dat de energie nodig is. Dat is met een gedachten-experiment ook eenvoudig te begrijpen. Een molecuul is een stukje materiaal. Als je een stukje materiaal in een dicht doosje stopt, dan blijft dat erin zitten, zelfs na jaren kan je het eruit halen en is het nog steeds datzelfde stukje materiaal. Waterstof is door zijn eenvoud, beschikbaarheid en veiligheid een perfecte kandidaat voor deze opslag.

De onbalans tussen vraag en aanbod houdt dus ook in dat heel het land verwarmen met warmtepompen die worden aangedreven met elektriciteit uit zon- of wind-energie lastig wordt. Immers de elektriciteit is niet beschikbaar op het moment dat de warmtepomp het nodig heeft. En opslaan kunnen we het niet op grote schaal en zeker niet voor een langere periode. Wat wel beschikbaar is, is de opgeslagen energie in de vorm van waterstofgas, ideaal voor een HR-ketel of een micro-wkk. Vergelijkbare problemen spelen in de automotive en de industrie waarbij boven-dien energiedichtheid en haalbare temperaturen een rol spelen.

Deze zaken zorgen dat waterstof zich in de laatste jaren mag verheugen in de toenemende belangstelling, de energietransitie kan eenvoudig niet zonder waterstof. Terug naar onze huizen. Wat zijn nu de voordelen voor de consument? Die zijn tweeledig, enerzijds heeft hij te maken met de effecten van de energietransitie in zijn huis, anderzijds wordt hij geconfronteerd met de totale kosten van de hele energietransitie, immers die zullen we met ons allen samen moeten betalen. Het gaat dus om de totale maatschappelijke kosten.

Een consument kan in huis een aantal dingen doen in het kader van de verduurzaming: besparen door isolatie, een beetje energie opwekken en kiezen tussen technieken om zijn huis en warm water te verwarmen. Het besparen door isolatie is evident en levert vrijwel altijd ook een interessante kostenbesparing op. Veel burgers zullen deze stap dus zetten mits dat kan zonder grootschalige verbouwingen. Daarmee zijn bestaande huizen te verbeteren, maar ze komen niet op het niveau van een moderne nieuwbouwwoning. De inschatting is dat het woningbestand in Nederland ongeveer 25% kan besparen op rationele isolatiemaatregelen, dat zijn dus maatregelen die relatief eenvoudig zijn aan te brengen tegen redelijke kosten zonder het huis compleet te renoveren.

De burger kan er vervolgens voor kiezen om zelf wat energie op te wekken met bijvoorbeeld PV-panelen of zonneboilers. De hoeveelheid is echter beperkt. PV-panelen leveren elektriciteit en die kan momenteel nog door de salderingsregeling tegen inkoopkosten teruggeleverd worden aan het net. Die salderingsregeling verdwijnt echter, het wordt daarmee steeds belangrijker om elektriciteit die je thuis opwekt ook zelf te gaan gebruiken. Het opslaan kan slechts op kleine schaal en voor een korte periode. Het zal dus geen zin hebben het hele dak vol te leggen met PV-panelen, maar slechts met zoveel als je zelf ook aan elektriciteit opmaakt. In de donkere dagen heb je dus een fors tekort aan elektriciteit. Thermische zonne-energie kan ook, er wordt dan warm water gemaakt met zonlicht. Helaas geldt ook hier dat de mogelijkheden beperkt zijn. Het heeft immers geen zin meer warm water te maken dan het gezin gebruikt. Rest voor de burger de keuze van technieken en energiedragers. Hij heeft energie nodig en kan op basis van energielabel, kosten, en toepasbaarheid kiezen voor een warmtepomp, een hybride, een ketel of een micro-wkk.

De warmtepomp vraagt om elektriciteit op het verkeerde moment, we hebben al gezien dat hiermee de doelstellingen dus niet gehaald kunnen worden maar voor een particulier kan het, zeker met de subsidies mee wel interessant zijn. Echter om met een warmtepomp een huis te verwarmen is aanpassing van de installaties nodig, een warmtepomp werkt met lage temperaturen en daar zijn bestaande installaties niet op ontworpen. Tevens is het vermogen van de warmtepomp beperkt waardoor dit alleen kan indien het bestaande huis extreem wordt geïsoleerd. De consument staat dus voor de keuze van een ‘total package’ van warmtepomp, aanpassing van de hele installatie en verbouwing van de woning. Blijft de vraag of het huis duurzamer wordt, want de consument kan niet bepalen/kiezen waar de elektriciteit vandaan komt.

Bij de hybride gaat dit een stuk beter. Bij rationele isolatie kan de hybride warmtepomp een deel van de warmte leveren, wordt het kouder dan neemt de ketel het weer over. De consument kan in de toekomst ook kiezen voor de micro-wkk, die levert dus elektriciteit als het huis verwarmd wordt. Dat zal vaak zijn als de vraag naar elektriciteit ook hoog is. Dat is dus erg gunstig voor de besparing.

Een micro-wkk is ongevoelig voor de installatie in huis, de bestaande installaties zijn prima geschikt, net als bij een vervanging van de HR-ketel. Wanneer het aardgas wordt vervangen door waterstof wordt feitelijk alleen de energiedrager aangepast. De woning met rationele isolatie kan met bestaande installaties gewoon blijven zoals die is. De consument kan dus in één klap zijn huis verduurzamen door om te schakelen van aardgas naar waterstof zonder grote kosten of verbouwingen. Dat kan dus zowel bij de micro-wkk als bij de ketel. Voor de hybride ligt het lastiger, want als de ketel van de hybride op waterstof werkt waarom dan nog een warmtepomp met bijbehorende investering toepassen, het huis is immers al duurzaam. Waterstof opent dus de weg om de bestaande huizen duurzaam te verwarmen zonder dat daar een grootschalige investering van de consument voor nodig is en zonder zijn huis compleet te renoveren. Grote voordelen voor de consument dus! Dat gebeurt bovendien met een energiedrager die 100% duurzaam is op te wekken, omdat de energiedrager is op te slaan, het is immers een gas en geen elektriciteit.

Wanneer het voor de consument zo eenvoudig wordt om het huis te verduurzamen met een schoon gas, waterstof, ontstaat er een bijeffect dat erg interessant is. Een woning met een micro-wkk zal op basis van waterstof elektriciteit maken op het moment dat er behoefte is aan warmte. De woning maakt op dat moment dus zelf de eigen elektriciteit. Gevolg daarvan is dat die woning minder of geen elektriciteit meer uit het net vraagt, in sommige gevallen misschien zelfs elektriciteit levert. Dat gebeurt dus op momenten dat er behoefte is aan warmte en ook de warmtepompen zullen werken. De warmtepompen vergroten de vraag naar elektriciteit, de micro-wkk verkleint die. Beide technieken zijn dus complementair; micro-wkk kan ervoor zorgen dat warmtepompen kunnen worden toegepast zonder dat het net verzwaard moet worden. Op deze manier is het voorstelbaar dat bijvoorbeeld delen van een stad met veel bestaande bouw volledig overgaan op waterstof en daarbij een mix van HR-ketels en micro-wkk gebruiken. De elektriciteit die daarmee wordt opgewekt kan worden gebruikt om nieuwbouwwijken met een elektrische warmtepomp aan te drijven.

Een vergelijkbare interactie is denkbaar tussen woningen en mobiliteit. Wanneer meer elektrische auto's hun energie gaan krijgen via waterstof ontstaat de mogelijkheid auto en huis te laten samenwerken, immers beide gebruiken dan dezelfde vorm van energie. Voor dit hoofdstuk voert het te ver dit hier uit te diepen, maar er ontstaan volledig nieuwe mogelijkheden voor business en CO_2-reductie op het moment dat de auto en het huis elkaar de hand geven.Waterstof kan dus een hele grote rol spelen in de energietransitie, zowel als energiedrager maar ook in de rol om de onbalans tussen energievraag en duurzame opwekking bij elkaar te brengen.

Tot nog toe is het een heel positief verhaal over waterstof in de gebouwde omgeving, zijn er dan geen nadelen? Uiteraard zijn die er. Hoewel het misschien meer aandachtspunten zijn dan nadelen, heeft waterstof een aantal consequenties die minder fijn zijn. Een van de belangrijkste die vaak genoemd wordt, is het gevaar van waterstof.

Gevaar? Waterstof heeft het imago gevaarlijk te zijn, na bijna een eeuw weet nog steeds iedereen het verhaal van de Hindenburg te vertellen. Voor het introduceren van een nieuwe techniek is het wel fijn als die een positief imago heeft om de acceptatie groot te laten zijn. Waterstof heeft wat dat betreft een achterstand. Toch is het goed om hier enige nuancering aan te brengen. Voor de komst van het aardgas hadden we per stad een gasnetwerk met daarin stadsgas.

Afbeelding Gashouder van de Westergasfabriek

Stadsgas werd gemaakt uit steenkool en bestond in hoofdzaak uit koolmonoxide en .... waterstof, grofweg 50%. Dat gas werd getransporteerd via een buizennetwerk dat voor een groot deel uit gietijzer bestond. We hebben waterstof dus al op grote schaal gebruikt in de gebouwde omgeving en blijkbaar ging dat zonder grote problemen. Ook de opslag van het stadsgas was geregeld, in elke stad stonden een of meerdere gashouders die het geproduceerde gas konden opslaan en bufferen tot het nodig was. Een heel bekende is de Wester Gasfabriek in Amsterdam, een gebouw dat nu vooral gebruikt wordt voor evenementen en concerten.
Mocht u daar een evenement bezoeken en u staat in de gashouder, bedenk dan dat dit gebouw oorspronkelijk werd neergezet als opslagvat van waterstof.

Uiteraard gedraagt zuiver waterstof zich anders dan een mengsel van waterstof en koolmonoxide, echter voor veel thema's is het verschil niet heel relevant. De losse waterstofmoleculen (de kleinste die we kennen) hebben de neiging door andere materialen heen te kruipen en te ontsnappen. Dat gold al bij het stadsgas, maar zeker ook bij zuiver waterstof. Elders in dit boek wordt daar veel uitgebreider op ingegaan. De vraag is vooral hoe we de risico's gaan beperken. Dezelfde vraag is in het verleden gesteld bij elektriciteit en aardgas. Beide zijn zeer geconcentreerde vormen van energie die per definitie zeer gevaarlijk zijn. Toch hebben we vanuit de techniek geleerd beide zo toe te passen dat ze zeer veilig geworden zijn en de kleine risico's die er nog aan hangen, hebben we als maatschappij geaccepteerd. Datzelfde zal met waterstof gaan gebeuren.

Het is geen technische vraag, want ook waterstof is volledig veilig toe te passen en heeft ook karakteristieken die het juist veiliger maken zoals het extreem snel vervliegen. Hoe veilig is waterstof, is meer een normatieve en regeltechnische vraag, hoe gaan we ermee om, welke materialen staan we toe, wie mag eraan werken, hoe certificeren we installaties, hoe worden mensen opgeleid, hoe valideren we alle procedures? Als illustratie hiervoor de gasleidingen in onze huizen. In Nederland mag iedere 'doe-het-zelver' aan zijn eigen gasleiding sleutelen, want we hebben de installatietechniek in Nederland gedereguleerd. Achter de gasmeter mag iedereen dus doen wat hij leuk vindt. Gelukkig zijn de meeste mensen zo verstandig om hier vanaf te blijven, maar feit is dat er geen controle is geweest op de kwaliteit van de gasleidingen in de huizen. Gaat dat geaccepteerd worden bij het overschakelen op waterstof? Dat zou betekenen dat het gasnet tot en met de meter veilig is, de HR-ketel ook, maar de paar meter gasleiding tussen meter en ketel is een vraagteken. Dat houdt dus in dat bij de installatie van een waterstofketel of een ketel die 'waterstofready' is de installateur ook de gasleiding moet controleren, wellicht certificeren en verzegelen om de veiligheid van de hele keten te waarborgen. Dat is geen technische vraag, maar een organisatorische uitdaging. Tot slot hierover het volgende: in de industrie wordt waterstof al jaren op zeer grote schaal gebruikt, de techniek is er en het is volkomen veilig, we moeten dat dus alleen leren toe te passen op kleinere schaal, het is daarmee vooral een imago- en organisatieprobleem.

Prijzen van energie, wordt waterstof betaalbaar voor woonhuizen?

Vaak wordt geroepen dat waterstof te duur is voor onze woningen, een vreemde insteek want waterstof is nog niet op grote schaal beschikbaar, laat staan dat de prijs al bekend is. Wat echter bedoeld wordt, is de verwachte prijs ten opzichte van bijvoorbeeld het huidige aardgas. Ook die vergelijking gaat mank, want dat is een vergelijking tussen twee totaal verschillende dingen. Om een goede vergelijking te maken tussen de prijzen van energiedragers moeten dezelfde eisen worden gesteld in hetzelfde tijdframe.

CO_2-reductie zal geld kosten. Het is niet te verwachten dat in een wereld van schaarste (steeds meer landen ontwikkelen zich naar een hogere energieconsumptie) en een toenemende functie die wordt gevraagd (hetzelfde comfort maar minder CO_2) de prijs van de energie zal dalen. We hebben al gezien dat duurzaam aanbod en vraag bij elkaar brengen meer moeite en hardware vergt, dat energieopslag en -transport geld kosten. Het wordt dan des te belangrijker om maximaal CO_2 te gaan reduceren tegen de laagst mogelijke kosten en de kostenkant te gebruiken om verstandig te sturen in de keuzes die er worden gemaakt. Tegelijk moet worden voorkomen dat energie te duur wordt, de zogeheten energiearmoede, waardoor mensen met lagere inkomens zich geen goede energievoorziening kunnen veroorloven of een te groot deel van hun inkomen aan energie kwijt zijn.

Om in het financiële vraagstuk de juiste keuzes te maken is het relevant een volstrekt transparant kostenmodel te hebben en daarin objectief te zijn in de keuze van energiedragers. Geconstateerd is al dat elektriciteit moeilijk is op te slaan, het is dus fair dat dit in de prijs van elektriciteit terugkomt. Voor bijvoorbeeld waterstof geldt dat het moet worden geproduceerd en dat gebeurt met een bepaald rendement, het energieverlies daarvan moet terugkomen in de prijs van waterstof. Verder zijn alle energiedragers nu niet even schoon wat CO_2 betreft.

Wat gebeurt er als de energieprijzen op deze manier transparant worden gemaakt?

De prijs van energie via een energiedrager wordt dan opgebouwd uit:

- De prijs van de opwekking (wellicht variabel over de dag).
- De prijs van de transportkosten van die specifieke energiedrager (wellicht meer variabel over de dag).
- De kosten van opslag om vraag en aanbod te matchen.
- Kosten voor de CO_2-uitstoot (noemen we nu energiebelasting, maar wordt dan een CO_2-belasting).
- Marge van de energieleverancier.

Een dergelijke prijsopbouw, die bovendien transparant wordt gecommuniceerd, zal een sterk sturend effect hebben, waarbij alle pijlen de goede kant uitwijzen. Dat is beter te zien als per prijselement de invloed wordt bekeken. De prijs van opwekking reflecteert uiteraard direct de waarde van de energie. Voor een consument is het interessant om de goedkoopste optie te hebben, er is dus concurrentie op het vlak van opwekkosten. De drijfveer staat hier in de richting van reductie van opwekkosten wat zorgt voor concurrentie tussen de diverse opwekkers om zo goedkoop mogelijk te zijn. Dit jaagt bovendien de innovatie aan. De opwekkingskosten variëren in de tijd; een gascentrale die voluit mag draaien op maximum rendement heeft andere kosten dan een centrale die stand-by staat maar wel warm wordt gehouden. De opwekkingskosten zouden dus variabel moeten zijn in de tijd, bijvoorbeeld elk kwartier een aanpassing.

De prijs van transportkosten van de specifieke energiedrager. Deze kosten, die nu worden gesocialiseerd (oftewel via belastingen of vastrechtkosten gelijkelijk verdelen zodat alle burgers er gezamenlijk aan meebetalen) dienen uiteraard onderdeel te zijn van de energiekosten; als iemand voor een goedkope energiedrager kiest waarvan de transportkosten duur zijn, dan moeten de consequenties van die keuze ook bij hem liggen. Een voorbeeld: er is ergens goedkoop warmte beschikbaar die we willen gebruiken, maar daarvoor is een duur transportsysteem nodig. De gebruikers moeten dan niet alleen de prijs van de goedkope energie zien, terwijl de kosten van het transport worden gesocialiseerd. Op die manier zou er namelijk een verkeerde drijfveer kunnen ontstaan om per se een warmtenet te willen, terwijl de gemeenschap te veel geld uitgeeft. Dit gebeurt niet als transport onderdeel is van de prijs; de drijfveer staat dan opnieuw in de goede richting, namelijk kostenreductie. Transport moet dus onderdeel zijn van de energiekosten.

Kosten van opslag om vraag en aanbod te matchen. Ook hiervoor geldt dat dit onderdeel moet zijn van de energieprijs. Goedkope energie met een groot probleem bij vraag en aanbod kan immers favoriet worden als de kosten niet worden doorberekend, waardoor de totale sociale kosten sterk stijgen. Aan de andere kant, als een energiedrager, zoals waterstof, al inherent dit probleem heeft opgelost is het fair dat deze ‘oplossing’ een waarde heeft en dus wordt meegerekend. De enige manier om alle energiedragers naast elkaar te zetten, is om ook deze kosten in de energierekening op te nemen en specifiek voor elke energiedrager apart. Dus opslagkosten per energiedrager zijn verschillend naar rato van de waarde die ze hierin hebben. Het opslagprobleem varieert bovendien in de tijd. Opslag van windenergie heeft bijvoorbeeld een andere waarde als het waait of als de vraag groot is. Het gaat hier dus om een variabele kostenpost die direct varieert met de acties die de netwerkbeheerder moet ondernemen.

Dan ontstaat de drijfveer om de energiedrager te kiezen die de minste opslagkosten veroorzaakt. Dit zorgt uiteindelijk voor de meest optimale afstemming tussen vraag en aanbod en een opwekmix die zo goed mogelijk past bij de vraag. Ook hier staat de drijfveer dus richting kostenminimalisatie.

Kosten van CO_2-uitstoot. Op dit moment hebben we een energiebelasting die een politieke kleur heeft. Het probleem is dat de belasting geen enkele relatie heeft met de CO_2-uitstoot en dat er via de prijs dus ook geen drijfveer is voor de branche om hierop te concurreren. Lees: er is geen geld te verdienen met het schoner opwekken van de energie. Het is uiteraard zeer eenvoudig om de energiebelasting te vervangen door een CO_2-belasting die een-op-een naar rato is van de CO_2-uitstoot. De startsituatie van deze belasting kan zo worden gekozen dat de opbrengsten voor het Rijk (en dus de kosten voor de consument) gelijk zijn aan de huidige situatie. De nieuwe situatie zorgt ervoor dat energiedragers gaan concurreren op hun CO_2-uitstoot, want anders kiest de consument voor een alternatief. De hele branche moet dus aan de slag om haar eigen positie te behouden. Ook hier komt de drijfveer de goede kant op te staan en vindt er kostenreductie plaats door een lagere uitstoot te hebben.

Marge van de energieleverancier. Uiteraard moet de energieleverancier een marge maken om te kunnen bestaan. Deze marge kunnen ze zelf bepalen en de bedrijven kunnen hierop onderling de normale concurrentie aangaan. Ook hier staat de drijfveer richting kostenreductie.

Als deze transparante prijsvorming wordt doorgevoerd, ontstaat er dus een marktmechanisme waarbij alle kosten eerlijk naast elkaar staan, de energiedragers op een vlak speelveld concurreren en de drijfveer overal staat richting maximale CO_2-reductie tegen minimale kosten. Doordat alle aspecten worden meegenomen, ontstaat er meteen een mechanisme om vraag en aanbod zo dicht mogelijk bij elkaar te brengen. Omdat de kosten ook nog eens variabel zijn, ontstaat er bovendien een financiële drijfveer bij gebruikers om energie te gebruiken als het aanbod groot is en extra te besparen als het aanbod laag is.

Technieken die de vraag verschuiven in de tijd (opslagsystemen) krijgen dan ineens een eerlijke waarde. Dat houdt in dat de prijs van waterstof (dat is dus de prijs van het produceren, het transport maar ook inclusief de waarde van opslag in de onbalans tussen vraag en aanbod en de waarde van CO_2-vrije brandstof) vergeleken moet worden met de prijs van bijvoorbeeld elektriciteit inclusief CO_2-vrije opwek, transport en de kosten van opslag bij de onbalans. Met name die opslag zal erg kostbaar zijn waardoor de prijs van elektriciteit omhoog zal gaan.

Wanneer alle aspecten worden meegenomen ontstaat een eerlijk vergelijk van de kosten van de energiedragers. Eenvoudig gezegd zal de energiedrager die het meest efficiënt is in productie, transport en opslag de laagste kosten met zich meebrengen. Juist hierdoor zal waterstof ook in de gebouwde omgeving een erg interessante optie blijken, vooral omdat voor opslag en transport gebruikgemaakt kan worden van de huidige infrastructuur.

Wat is er nog nodig om waterstof toe te kunnen passen in onze huizen?

Op dit moment zit in de gasleiding nog aardgas en dat is niet per huis aan te passen. Een overgang naar waterstof vraagt om aanpassing in de hele kolom, van productie tot gebruik. Omdat de gasinfrastructuur een infrastructuur is die per wijk en per stad is opgebouwd, houdt dat in dat de overgang naar waterstof ook per wijk of stad moet gebeuren.

De consument kan hier al wel op anticiperen door bijvoorbeeld te kiezen voor producten die waterstofready zijn, maar een consument kan dus niet zelf kiezen om waterstof uit de gasleiding te krijgen. Die keuze kan alleen op regionaal of zelfs landelijk niveau worden gemaakt en vraagt commitment van alle stakeholders. Daarvoor zit nog een politieke keuze.

Hoe gaan we in Nederland de transitie doen, kiezen we voor het doel CO_2-reductie tegen betaalbare kosten of blijven er in Nederland afgeleide doelen gekozen worden? Zodra er een duidelijke politieke keuze voor waterstof is als relevant onderdeel van de transitie en energiemix kunnen de stakeholders vertrouwen op een langdurig en duurzaam support van de waterstofbusinesscase, zodat waterstof dan ook daadwerkelijk de weg naar de toepassing kan vinden.

Nils van der Blij

NILS H. VAN DER BLIJ IS UNIVERSITAIR DOCENT BIJ DE AFDELING ELECTRICAL SUSTAINABLE ENERGY VAN DE TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT, NEDERLAND.

Nils van der Blij werd geboren in Leiden in 1990 en hij behaalde zijn bachelor-, master- en PhD-graad in elektrotechniek aan de TU Delft in respectievelijk 2011, 2013 en 2020.

Tijdens zijn onderzoekscarrière heeft hij onderzoek gedaan naar elektrische machines en aandrijvingen, duurzame energieopwekking en gelijkstroomdistributienetten bij Philips, Delft University of Technology, Cambridge University, Zhejiang University en Waterloo University.

Momenteel werkt hij binnen het e-Refinery instituut aan de duurzame productie van chemicaliën en brandstoffen, elektrificatie van industriële processen en de toepassing van gelijkstroomnetten.

Miro Zeman

PROF. DR. ING. MIROSLAV ZEMAN BEHAALDE ZIJN DOCTORAAT AAN DE SLOWAAKSE TECHNISCHE UNIVERSITEIT IN BRATISLAVA.

in 1989 voor onderzoek naar amorf silicium materiaal. In 2009 werd hij benoemd tot hoogleraar Fotovoltaïsche materialen en componenten aan de TU Delft.

Sinds 2011 is hij hoofd van de afdeling Electrical Sustainable Energy van de TU Delft. Zeman is een vooraanstaand expert in fotovoltaïsche (PV) technologie. Zijn focus ligt op de integratie van PV-technologie in de stedelijke omgeving die een belangrijke bouwsteen is van lokale autonome energiesystemen.

In 2006 was hij medeoprichter van het Slowaakse Agentschap voor hernieuwbare energie ter bevordering van PV in Slowakije. De Nankai University in Tianjin, China, kende Prof. Zeman in 2017 het ‘Gasthoogleraarschap’ toe.

SEMI-AUTONOME ENERGIECELLEN

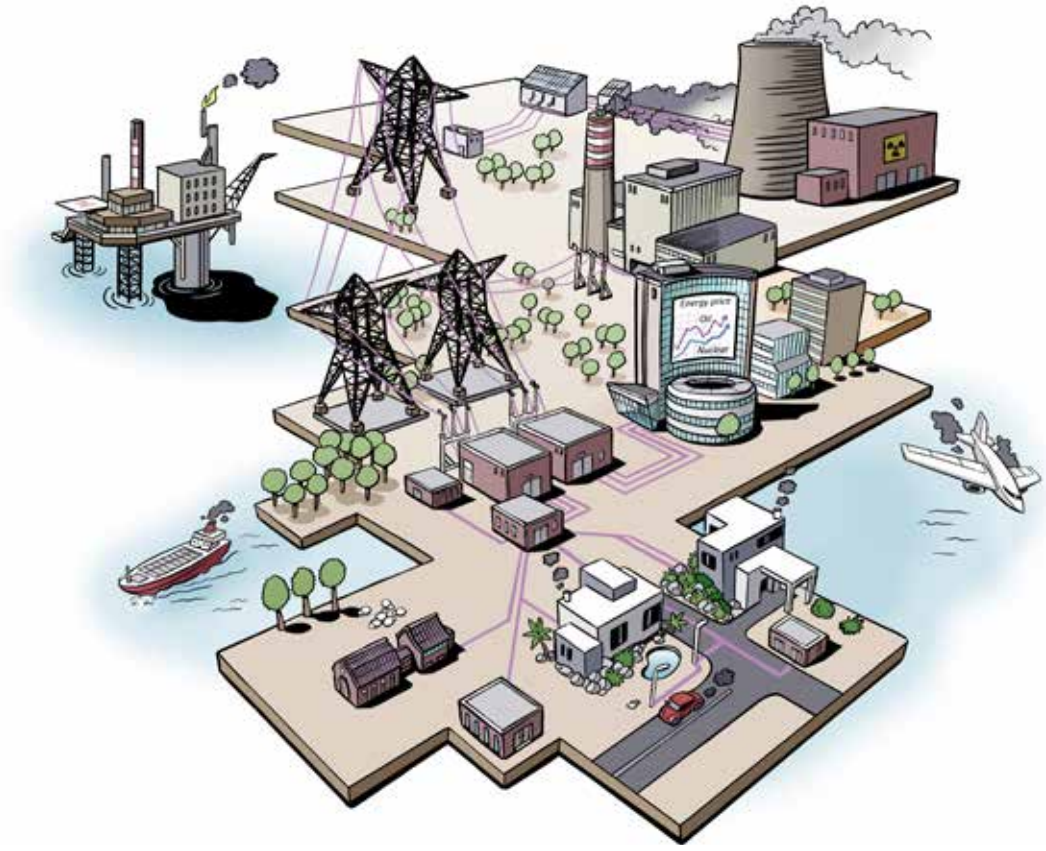
NILS VAN DER BLIJ & MIRO ZEMAN

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Het is zeer waarschijnlijk dat de toenemende concentratie van broeikasgassen, als gevolg van menselijke activiteit, de belangrijkste oorzaak is van de opwarming van de aarde. Daarom hebben veel regeringen zich ertoe verbonden hun uitstoot van broeikasgassen de komende jaren aanzienlijk te verminderen. De Europese Unie streeft bijvoorbeeld naar een vermindering van de uitstoot van broeikasgassen met 40% in 2030, vergeleken met de uitstoot in 1990 (welke 160 Mton CO_2 bedroeg).

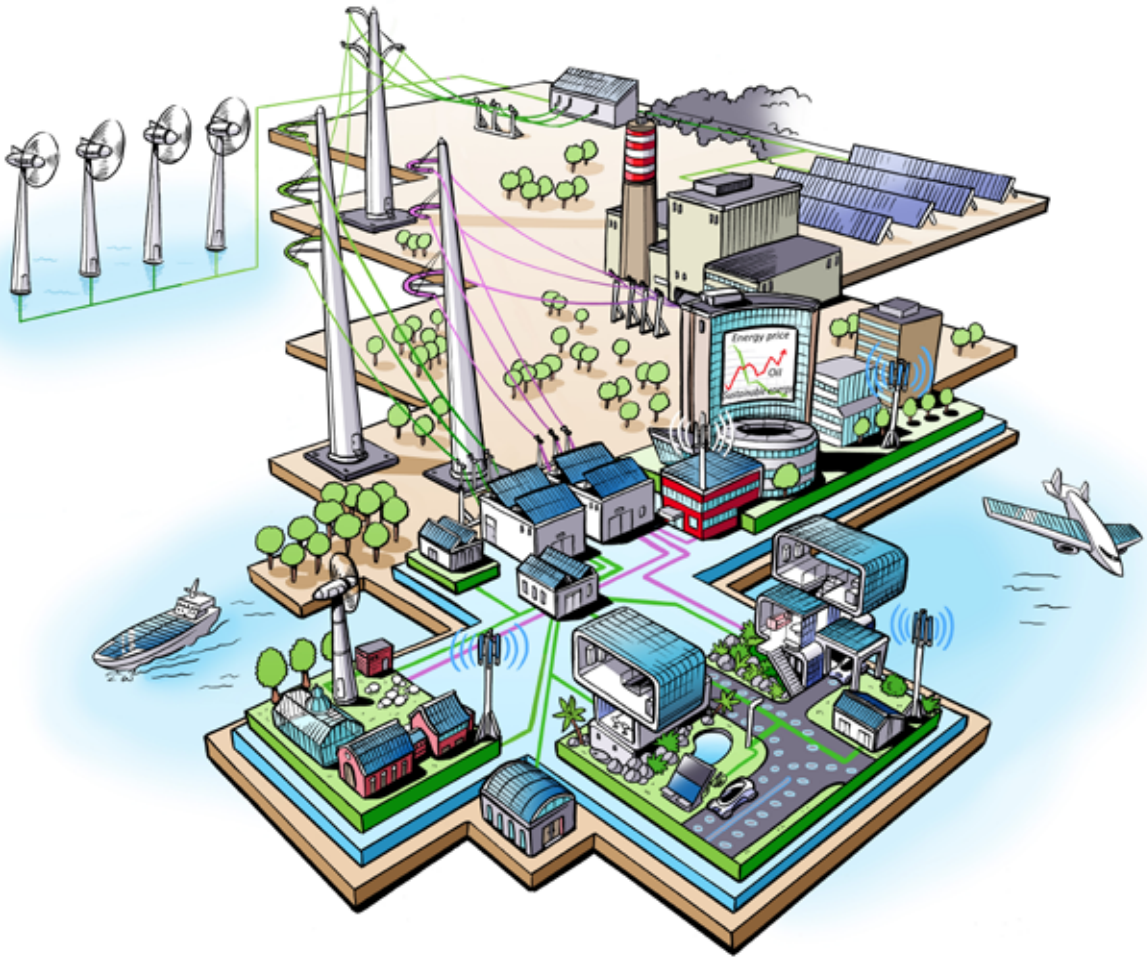
Wereldwijd is ongeveer driekwart van de uitstoot van broeikasgassen afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen. Bovendien is een groot deel van de resterende emissies afkomstig van het industriële en agrarische gebruik van (afgeleide) chemicaliën. Daarom is het vinden van duurzame alternatieven voor de productie van deze chemicaliën, of de processen waarin ze worden gebruikt, van het grootste belang om de uitstoot te verminderen.

Figuur 1: De status quo van het energiesysteem; illustratie door Stephan Timmers.



Het huidige energiesysteem, welke in Figuur 1 is weergegeven, zal rigoreus moeten veranderen en steeds complexer moeten worden om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Er zullen miljoenen energieproducenten, consumenten en prosumenten zijn. In het energiesysteem van de toekomst worden vraag en aanbod in evenwicht gehouden door een slimme energie-infrastructuur die transport, opslag en conversie van energie mogelijk maakt. De visie voor het energiesysteem van de toekomst is weergegeven in Figuur 2.

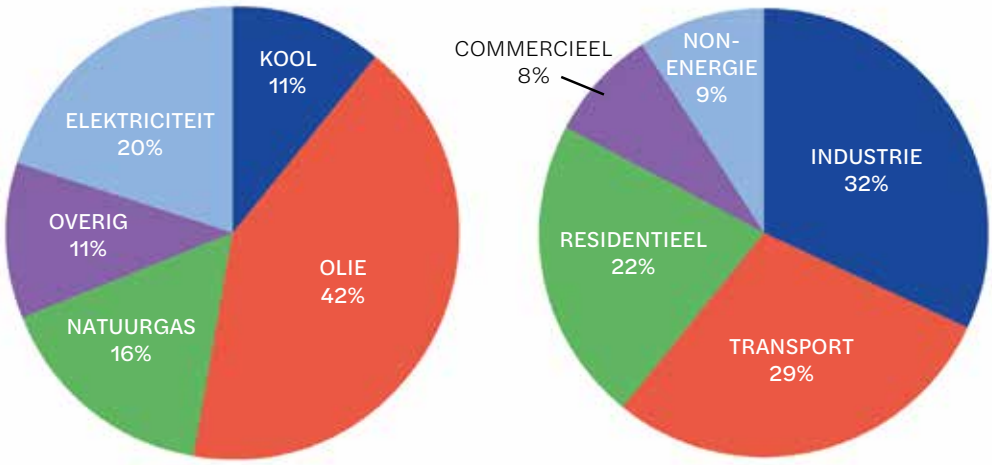
Omdat het niet aannemelijk is dat alle energie-intensieve processen geëlektrificeerd worden en energie alleen in elektrische vorm zou worden opgeslagen, zal het toekomstige energiesysteem waarschijnlijk meerdere energiedragers moeten combineren. Vaak wordt een systeem dat verschillende energiedragers combineert, een 'multi-commodity' netwerk genoemd. Voor multi-commodity netwerken in gebouwde omgevingen zal er waarschijnlijk een rol zijn weggelegd voor drie verschillende energiedragers: moleculen, elektronen en warmte.



Figuur 2: De visie voor het energiesysteem van de toekomst; illustratie door Stephan Timmers

De limieten van elektrificatie

Het elektrificeren van (thermo)chemische processen, gecombineerd met duurzame elektrische energieproductie, wordt vaak gezien als de eenvoudigste aanpak om emissies te verminderen. Elektrische voertuigen zijn een goed voorbeeld van deze aanpak, waarbij de gastank wordt vervangen door een batterij en de verbrandingsmotor wordt vervangen door een elektromechanische motor. Hoewel deze aanpak tot op zekere hoogte effectief is gebleken, zijn er enkele ernstige beperkingen bij deze aanpak.



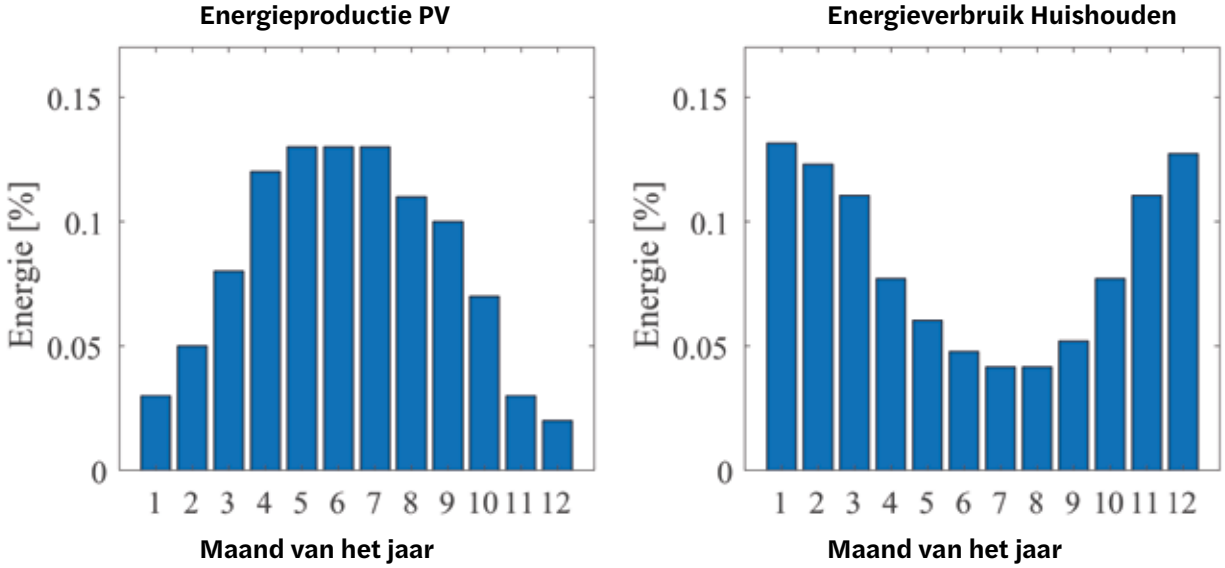
Figuur 3: De energieconsumptie van de wereld in 2017 per bron (links) en per sector (rechts), volgens de International Energy Agency

De haalbaarheid van de elektrificatie van processen is afhankelijk van de beschikbare infrastructuur. Figuur 3 laat zien dat in 2017 slechts 20% van de energie via elektriciteit werd geconsumeerd. Als al het energieverbruik geëlektrificeerd zou zijn, zou daarom de totale getransporteerde elektrische energie met een factor vijf toenemen. In de meeste landen is een significante toename van de getransporteerde elektrische energie niet haalbaar met de bestaande elektrische infrastructuur. Bovendien zou de aard van elektriciteitsdistributie veranderen. Er wordt bijvoorbeeld verwacht dat de introductie van elektrische voertuigen significante uitdagingen met zich meebrengt, zoals congestie en bidirectionele vermogensstromen in distributienetten.

Voor bepaalde processen en toepassingen zijn de (geëlektrificeerde) alternatieven voor chemicaliën onbevredigend. Zelfs als ervoor wordt gekozen om alle processen te elektrificeren, kunnen de brandstoffen of chemische bouwstenen van sommige processen niet op korte termijn worden vervangen. In Figuur 3 wordt bijvoorbeeld getoond dat 9% van het energieverbruik in de vorm van grondstoffen is. Bovendien zullen voor de luchtvaart, het zeevervoer en het vrachtvervoer over lange afstanden in de nabije toekomst waarschijnlijk nog steeds brandstoffen met een hoge energiedichtheid nodig zijn.

Mismatch tussen duurzame energieproductie en consumptie

De energieopbrengst van zonne- en windenergie varieert aanzienlijk gedurende de dag, de week, de maand en het jaar. Bovendien is er geen garantie dat perioden van hoge energieproductie en hoog energieverbruik samenvallen. Zo is bijvoorbeeld in de zomer de energieproductie uit zonne-energie hoog, terwijl in de winter het energieverbruik voor warmte hoog is. Deze mismatch in seizoensgebonden energieproductie en -verbruik wordt geïllustreerd door Figuur 4.



Figuur 4: Energieopbrengst uit zonne-energie en energieverbruik van een huishouden per maand als percentage van de totale opbrengst/verbruik in een jaar

Om de mismatch in productie en consumptie te compenseren zal energieopslag een belangrijke rol spelen in het energiesysteem van de toekomst. Batterijen zijn een veelgebruikt medium voor energieopslag, aangezien de energieomzetting relatief efficiënt en goedkoop is. De kapitaalkosten van de benodigde seizoensopslagcapaciteit zijn echter relatief hoog. Omdat voor seizoensgebonden energieopslag een grote opslagcapaciteit nodig is, hebben alternatieven voor batterijen dan ook de voorkeur, waarvan waterstof de meest volwassen technologie is.

Decentralisatie van elektriciteitsopwekking

De ontwikkeling van fotovoltaïsche panelen voor elektriciteitsopwekking heeft ervoor gezorgd dat een groot aantal mensen lokale producenten van elektrische energie zijn geworden. Als consequentie zijn er miljoenen kleine gedecentraliseerde fotovoltaïsche generatoren die een aanzienlijke invloed hebben op het ontwerp en de werking van het elektriciteitsnet en het energiesysteem als geheel.
Het basisprincipe van het elektrische energiesysteem is gebaseerd op een balans tussen het stroomverbruik (de vraag) en stroomproductie (het aanbod). Momenteel wordt de balancering veelal op nationaal niveau uitgevoerd door de transmissiesysteembeheerder. Netbalancering is relatief eenvoudig wanneer het systeem een top-down hiërarchische structuur heeft. Het elektriciteitsnetwerk van vandaag is op deze manier ontworpen.

Het vermogen in het netwerk stroomt in één richting; van grote centrales tot consumenten. Met de introductie van decentrale opwekking is dit echter niet per se meer het geval. Het gevolg van decentrale elektriciteitsproductie en geleidelijke elektrificatie van bijvoorbeeld verwarming en transport is dat in bepaalde gebieden de maximale capaciteit van het elektriciteitstransport wordt bereikt. Bovendien leveren een groot aantal gedecentraliseerde fotovoltaïsche generatoren, die op daken of in gevels van gebouwen worden geplaatst, elektriciteit aan het net op lokaal distributieniveau. Dit resulteert in stromen die in beide richtingen in het net stromen; van en naar de consument. De conventionele oplossing voor congestie is de uitbreiding van het netwerk door meer en dikkere kabels en grotere transformatoren in te plaatsen. Deze oplossing is echter duur en tijdrovend. Daarom hebben alternatieve oplossingen de voorkeur.

Semi-autonome energiesegmenten

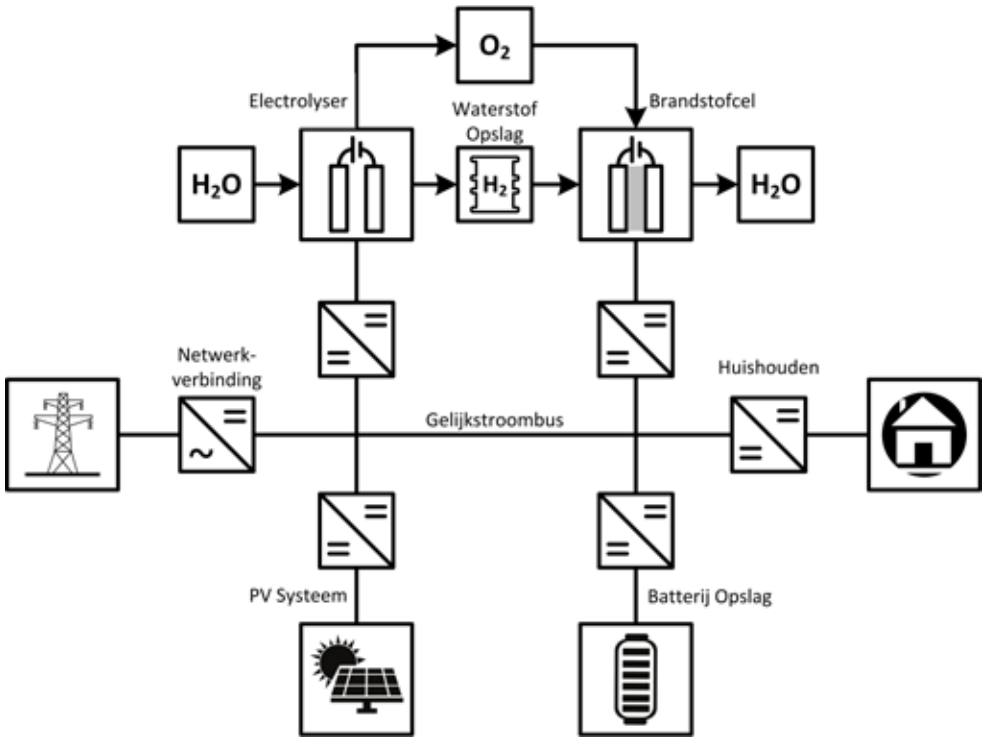
Lokale, decentrale productie van elektriciteit schept randvoorwaarden voor de vorming van delen van het elektriciteitsnet die als semi-autonome segmenten kunnen opereren met een mogelijkheid om zich te ontkoppelen van het landelijk netwerk. De decentralisatie van de elektriciteitsproductie en de vorming van de semi-autonome segmenten in het net bieden de mogelijkheid om vraag en aanbod van elektriciteit op lokaal niveau te balanceren.

Segmenten van het elektriciteitsnet die opereren als autonome entiteiten met eigen gedecentraliseerde elektriciteitsproductie, -verbruik en -opslag kunnen profiteren van een grotere flexibiliteit bij het balanceren van vraag en aanbod. Het balanceren wordt meestal gedaan door gebruik te maken van zogenaamde ondersteunende diensten zoals spannings- en frequentieregeling die conventioneel worden geleverd door (reserve) elektriciteitsgeneratoren. De toegenomen flexibiliteit op lokaal niveau vereist nieuwe componenten en/of benaderingen. Opslag in batterijen, intelligent laden en ontladen van elektrische auto's, slim gebruik van warmtepompen en tijdelijke beperking van de productie van zonne- en windenergie zijn enkele voorbeelden.

Marktmechanismen die gebruikmaken van dynamische elektriciteitsprijzen voor het beheer van belastingen (waarbij de actoren de nutsbedrijven zijn) en/of demand response (waarbij de actoren de consumenten zijn), die gemakkelijker op lokaal niveau kunnen worden geïmplementeerd, dragen bij tot de grotere flexibiliteit. Wanneer het balanceren op lokaal niveau succesvol is, kan dit bijdragen aan het beperken van de langeafstandsverliezen en congestie van elektriciteitstransmissie. Bovendien resulteert de verhoogde flexibiliteit in een verhoging van de algehele betrouwbaarheid van het elektrische energiesysteem.

Semi-autonoom huishouden

In Figuur 5 wordt een kleinschalige toepassing van een semi-autonome energiecel, in de vorm van een huishouden, getoond. In dit huishouden wordt de energie opgewekt via pv-panelen, dagelijkse en wekelijkse energiemismatch wordt gecompenseerd door batterijopslag, en energiemismatches op langere termijn worden opgelost via energieopslag in waterstof. In deze figuur is de productie van warmte voor het huishouden niet weergegeven, maar deze zou geproduceerd kunnen worden door een waterstofketel of een warmtepomp.



Figuur 5: Semi-autonoom huishouden met verscheidene duurzame energietechnologieën

Energieneutraliteit wordt bereikt door zonnepanelen te plaatsen met voldoende energieopbrengst om het jaarlijkse verbruik van het huishouden te compenseren. Autonomie van het landelijke elektriciteitsnet wordt bereikt door de tijdelijke verschillen tussen vraag en aanbod op te vangen met verschillende energiedragers en opslagtechnologieën. Dit huishouden is semi-autonoom, aangezien het nog steeds aangesloten kan worden op het nationale netwerk.

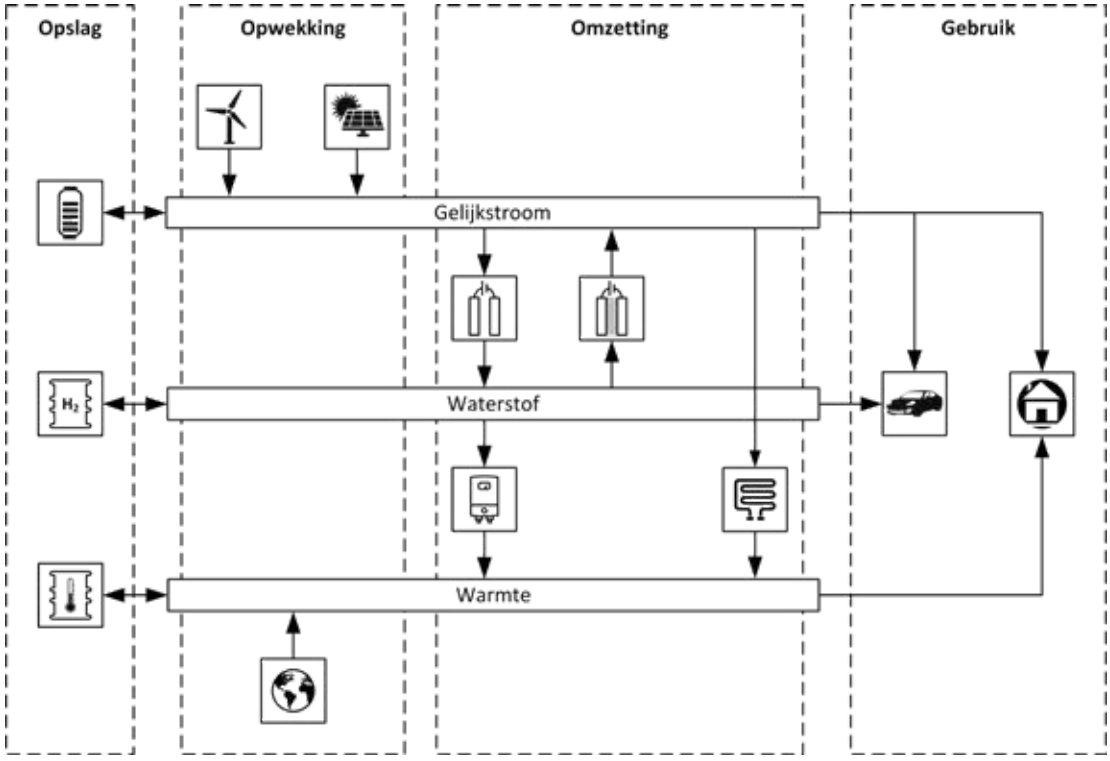
Seizoensgebonden energieopslag vraagt om een grote opslagcapaciteit. Daarom is waterstof een aantrekkelijke optie; de opslagcapaciteit is relatief goedkoop. Aan de andere kant is de energieomzetting van en naar waterstof minder efficiënt, zelfs als de opgewekte warmte kan worden hergebruikt. Daarom combineert deze autonome energiecel de voor- en nadelen van verschillende opslagtechnologieën.

Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van een Nederlands huishouden ligt rond de 2500 kWh per jaar, terwijl het gemiddelde gasverbruik ongeveer 1200 m3 per jaar (12000 kWh) bedraagt. Als het huis echter goed geïsoleerd is en een warmtepomp wordt gebruikt, kan het energieverbruik voor verwarming worden teruggebracht tot ongeveer 2500 kWh per jaar.

Om voor een gemiddeld huishouden met een energieverbruik van circa 5000 kWh (elektriciteit en warmte) per jaar autonomie van het net te realiseren, is naar verwachting een seizoensgebonden waterstofopslag van circa 2500 kWh nodig. Voor dagelijkse/wekelijkse balanceringsdoeleinden wordt verwacht dat een batterijopslag van ongeveer 100 kWh voldoende is.

Semi-autonoom buurtnet

Het is waarschijnlijk goedkoper en energiezuiniger om de autonomie op grotere schaal te organiseren. Daarom is in Figuur 6 een semi-autonoom buurtnet weergegeven. In dit multi-commodity netwerk zijn gelijkstroom, waterstof en warmte de belangrijkste energiedragers. Er wordt verwacht dat gelijkstroomnetwerken een efficiënter alternatief zullen zijn voor de huidige wisselstroomnetten. Dit komt doordat alle technologieën die in Figuur 6 worden getoond werken op gelijkstroom of gelijkstroom hebben in hun conversiestappen.



Figuur 6: Semi-autonoom multi-commodity buurtnet

In de semi-autonome buurt wordt op elke energiedrager opslag uitgevoerd. Waterstof wordt gebruikt voor de energieopslag op de lange termijn, terwijl warmte- en batterijopslag worden gebruikt om energie op te slaan op respectievelijk de middellange en korte termijn. De energie wordt grotendeels opgewekt door fotovoltaïsche panelen te gebruiken op de daken van de huizen in de buurt, maar op deze grotere schaal kan wellicht ook windenergie worden gewonnen en/of kan aardwarmte worden benut.

Voor de omzettingen tussen de energiedragers kunnen verschillende technieken worden gebruikt. Van deze technologieën zijn de meest veelbelovende elektrolysers, brandstofcellen, waterstofketels en warmtepompen. Hier is het goed om te benadrukken dat het moeilijk is om energie uit warmte terug te winnen, terwijl omzettingen tussen waterstof en elektrische energie eenvoudiger zijn. Uiteindelijk wordt de energie verbruikt als warmte en elektrische energie in de huishoudens, en als elektrische energie of waterstof voor de verschillende auto's in de semi-autonome wijk.

Paul Broekaart

PAUL BROEKAART IS SINDS APRIL 2020 GEPENSIONEERD VAN DOW BENELUX ALS WERELDWIJD DUURZAAMHEID IMPROVEMENT DIRECTOR IN DE LIGHT HYDRO-CARBONS BUSINESS.

Paul werkte bij Dow sinds 1984, waar hij begon als chemisch ingenieur in Research. Vanaf 1990 is Paul tien jaar in verschillende posities actief geweest in de productie van Olefins & Aromatics in Europa. In 2000 heeft hij een globale Improvement Leiderschap positie ingenomen in Dow's Environmental operations in Texas - USA.

Na zijn terugkeer in Europa in 2004 vervulde Paul een vergelijkbare positie maar dan voor alle Dow's Olefins plants, alsook de JV plants in het Midden-Oosten en Azië.

Binnen de Europese Olefins industrie heeft Paul vanaf 2005 enorm bijgedragen aan de successen van Cefic's European Ethylene Producers Committee (EEPC). Sinds 2016 was Paul voorzitter van EEPC. Paul heeft aanvullend namens Dow sturing gegeven aan de waterstof- verbinding tussen Dow Terneuzen en Yara Sluiskil. In dit project is het leveren van duurzame waterstof van Dow Terneuzen aan Yara in Sluiskil gerealiseerd.

WATERSTOFSYMBIOSE

PAUL BROEKAART ET AL[1]

Associate Improvement Director Dow Benelux, LHC Technology Center

Al decennia lang produceert DOW Olefinen en afgeleide producten zoals polyethyleen in haar fabriek te Terneuzen in Zeeland. Een van de nevenproducten is waterstof dat deels wordt gebruikt in andere processen, maar het merendeel wordt verbrand als brandstof. Yara, een producent van ammoniak, gebruikt waterstof als grondstof. De ammoniak is een tussenproduct voor kunstmest. De waterstof wordt gemaakt uit aardgas en stoom in een proces dat reforming heet. De belangrijkste activiteit van de beide firma's is dus het produceren van polyethyleen en kunstmest. Hoe kan het dan dat er zoveel tijd, geld en moeite is gestoken in het vinden van een symbiose, terwijl waterstofimport of -export niet direct het strategisch belangrijkste project voor de beide bedrijven was?

Minder waterstof verbranden betekent voor DOW een hogere aardgasrekening en meer CO_2- emissies. Yara zou juist minder aardgas verbruiken en minder CO_2 uitstoten.

Het is evident dat Yara een voordeel zou hebben van een directe waterstoftoevoerleiding. DOW zou zijn overmaat aan waterstof kunnen verkopen. Maar zou het ook van voordeel zijn voor de combinatie Yara DOW? Beide firma's participeren in het samenwerkingsverband Smart Delta Resources (SDR). Dit is een regionaal samenwerkingsverband tussen energieintense industrieën om gezamenlijk de Westerscheldedelta te promoten als de beste locatie voor de industrie. Met dit in gedachten werd er naar synergie gezocht en gevonden in dit voor beide voordelige waterstofproject. Sterker nog, zonder SDR zouden Yara en DOW gewoon op oude voet zijn verder gegaan

Maar zoals met elk bijzonder project moeten er in de tijd tussen idee en realisatie aardig wat moeilijkheden worden overwonnen. De eerste contacten tussen Yara en DOW dateren van 2012 en de eerste levering van waterstof was in oktober 2018. De zes tussenliggende jaren bleken gevuld met periodes van enthousiasme en wanhoop, maar wel met succes aan het eind.

Allereerst moest er overeenstemming worden bereikt over de kwaliteit van de waterstof. De beschikbare waterstof was 70% zuiver bij een druk van 30 bar. Een betere kwaliteit was nodig en mogelijk via een pressure swing adsorption (PSA) unit. Een compressorstation kon de druk verhogen, maar alles bij elkaar was het wel een serieuze investering en het zou de kostprijs verhogen.

---

1 *Paul Broekaart, Sustainability director Olefins & Aromatics, DOW; Jeroen Tap, Energy Contracts Manager Benelux, DOW; Athanasios Pikos, Production Engineer - Ethylene 2, DOW; Wim Versteele, Technology Manager Ammonia, YARA; Laurens Meijering, Projectmanager Circulaire economie, Impuls zeeland; Tineke Bolhuis, Business Developer new energy projects, Gasunie; Bouwe Heida, Manager Finance of Business Unit Business Development & Participations, Gasunie; Jeroen Warnders, Business Developer, Gasunie; Gerard Oude Wesselink, Senior Adviseur Processtechnology, KWA bedijfsadviseurs*

Bovendien moest nagedacht worden over de grotere afhankelijkheid die zou ontstaan tussen de beide bedrijven. DOW wilde een garantie op afname van de waterstof. Want wat zou er gebeuren als Yara de productie van ammoniak zou stoppen?

Geen afname van waterstof bij een storing of een onderhoudsstop moest goed afgestemd worden. Yara aan de andere kant zou een leveringsverplichting willen wegens de afhankelijkheid van waterstoflevering door DOW. Voor al deze zorgen bleek een oplossing te vinden en uiteindelijk konden contracten worden opgesteld en ondertekend.

Vervolgens was er de leiding om het waterstofgas te transporteren. Een overbodige aardgasleiding was beschikbaar vanuit Gasunie Transport Systems (GTS). Maar kon deze leiding wel gebruikt worden voor waterstof? Bij bepaalde condities kan waterstof stalen leidingen bros maken door met het koolstof in staal te reageren tot CO_2. Gelukkig konden experts van Gasunie snel de verzekering uitspreken dat bij drukken van 40 bar en temperaturen onder de 50 °C dit effect niet zou optreden. Belangrijker nog waren de pakkingen en afdichtingen in flenzen en afsluiters. Deze moesten alle worden vervangen om waterstoflekkage te minimaliseren. Het was dan ook een behoorlijke opluchting te ontdekken dat alles bij elkaar technisch mogelijk was. Maar waarom duurde het dan toch nog zes jaar om de eerste waterstofleveringen te realiseren? Daarvoor moeten we kijken naar de systematische barrières.

De oude gasleiding was ontworpen en geïnstalleerd volgens de Nederlandse wet op Aardgas (de Gaswet) die heel specifiek het transport van aardgas door ondergrondse leidingen reguleert. Deze bevat geen enkele vermelding van waterstof. Bovendien was deze leiding een stukje van het publieke net en niet bedoeld voor een-op-een-leveringen tussen 'aangeslotenen'. Daarnaast bestaat er de Autoriteit Consument en Markt (ACM) die ervoor moet zorgen dat de rechten van de consument en de producent in een vrije markt worden behartigd. En zo waren er nog meer instanties en bevoegde gezagen die hun instemming zouden moeten geven en allemaal wezen ze naar elkaar voor een eerste beoordeling. Het uitdokteren van de juiste volgorde om instemming en vergunning te krijgen kostte uiteindelijk de meeste tijd. Het was wel duidelijk dat de waterstofleiding als uitzondering op de regel moest worden beschouwd. Om dit te vereenvoudigen werd Gasunie Waterstof Systems opgericht (GWS) met het specifieke doel om waterstof in ondergrondse leidingen te transporteren. De oude gasleiding werd vervolgens door GTS 'verkocht' aan GWS en alles was in orde zou je denken. Niet helemaal, er moesten toch nog wat andere vergunningen en zelfs een ministerieel decreet aan te pas komen. Daarnaast bleek de oude overbodige leiding veel te groot voor de relatieve kleine hoeveelheden waterstof. Gebaseerd op de boekwaarde van de bestaande gasleiding zou het transporttarief hoger worden dan volgens de business case kon worden toegestaan. Het heeft het ontwikkelteam aardig wat hoofdbrekens gekost om ook deze barrière te veranderen in een economische oplossing voor alle belanghebbenden.

Complicerend en tijdrovend waren daarnaast de vele wijzigingen in personeel. Het vergde veel vasthoudendheid en uithoudingsvermogen van de initiatiefnemers om hun 'hobby' of lievelingsproject door te zetten. Gelukkig bleken de optimisten in de meerderheid en dat is misschien wel de belangrijkste les van dit project.

Boven: H2 SYMBIOSIS
Concept van de mogelijke symbiose die van waterstof in de regio, met aangeduid wat de voordelen zijn voor de partijen die in deze symbiose een rol kunnen spelen: Dow, ICL-IP, Yara and Gasunie.

Ondertekening Transportovereenkomst tussen Dow, Yara en Gasunie Waterstof Services voor de levering van waterstof van Dow aan Yara, met gebruikmaking van de gasunie leiding tussen Dow en Yara. Datum van ondertekening was 8 maart 2018 in het Industrieel Museum Zeeland in Sas van Gent.

Ondertekening van de Green Deal

Deze ondertekening van de Green Deal dateert van maart 2016, toen toenmalig minister van economische zaken H.G.J. Kamp de Green Deal ondertekende, samen met vertegenwoordigers van de partijen van de Green Deal:

Anton van Beek – President – Chairman Board DOW Benelux, UK, Nordic, France & Iberica, Jon Sletten – Algemeen directeur Yara Sluiskil, Ben de Reu – Gedeputeerde Provincie Zeeland, Bart Jan Hoevers, directeur Gasunie Transport Services, Dick ten Voorde – directeur Impuls Zeeland en Edie Engels – algemeen directeur ICL-IP Terneuzen

(in volgorde van links naar rechts op de foto).

Lennart van der Burg

LENNART VAN DER BURG IS WATERSTOFEXPERT EN ALS BUSINESS DEVELOPMENT MANAGER GROENE WATERSTOF VERANTWOORDELIJK VOOR HET WATER ELEKTROLYSE ONDERZOEKSPROGRAMMA BIJ TNO.

In 2020 alleen al werkt TNO aan meer dan vijftig waterstofprojecten gerelateerd aan productie, transport, opslag en toepassing in verschillende sectoren. Lennart is tevens trekker van het Power2Hydrogen programma binnen het shared research programma Voltachem. Samen met de industrie werken we aan electrolyser technologie met een hogere efficiëntie, langere levensduur en welke op grote schaal geproduceerd kan worden. Lennart is sterk gemotiveerd om de huidige klimaatcrisis aan te pakken en is daarom naast TNO ook gemeenteraadslid in De Utrechtse Heuvelrug en mede-initiatiefnemer van de sociale onderneming Climat-eCoach4u gericht op duurzame levensstijl. Lennart is Milieukundige en heeft gewerkt als adviseur duurzame energie en gebiedsontwikkeling bij advies- en ingenieursbureau Sweco.

10

ELEKTROLYSE: BUSINESS CASE EN ONDERZOEKSUITDAGINGEN

LENNART VAN DER BURG

BUSINESS MANAGER GREEN HYDROGEN, TNO

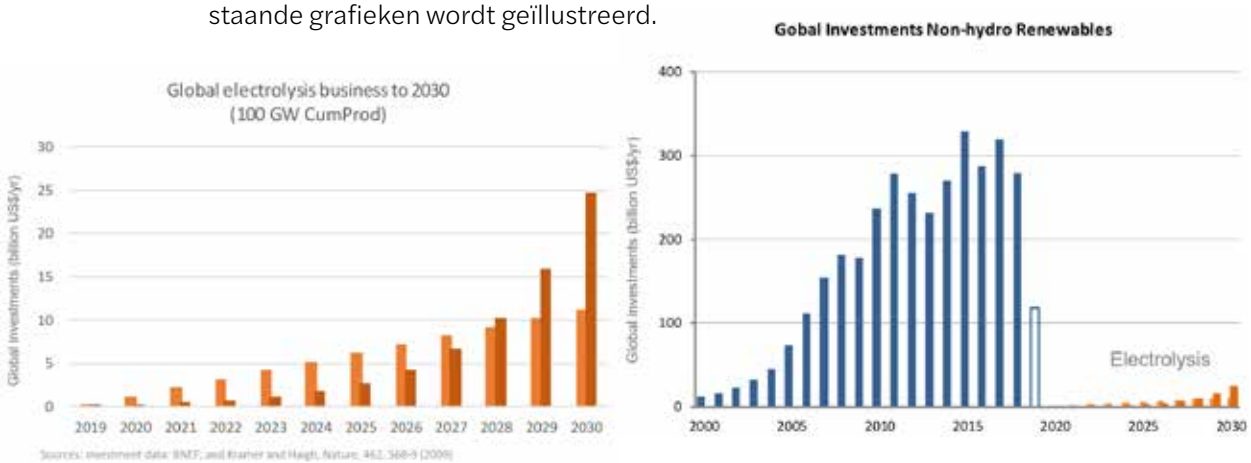
Waterelektrolyse is een belangrijke technologie in ons toekomstige energiesysteem. Er zijn drie belangrijke redenen waarom deze groene waterstofproductie zo belangrijk zal zijn. Ten eerste stelt het ons in staat om het windenergiepotentieel op de Noordzee ten volle te benutten. Door de beperkte capaciteit van het elektriciteitsnet is het nu niet mogelijk om het totale potentieel van 70 GW windenergie kosteneffectief te integreren. Een conversie naar waterstof en het gebruik van het hogedrukgasnet lijkt een goede oplossing om de hernieuwbare moleculen door ons energiesysteem te transporteren. Ten tweede hebben we waterstof nodig om sectoren te decarboniseren waar directe elektrificatie geen optie is. Denk aan de staalindustrie, of de luchtvaart door middel van synthetische kerosine en langeafstandsvervoer met waterstof, methanol of ammoniak. Ten derde hebben we waterstof nodig voor seizoensgebonden opslag en perioden waarin er in Noordwest-Europa weinig wind- en zonne-energie beschikbaar is. Waterstof kan onder druk worden opgeslagen in bestaande zoutcavernes en lege gasvelden.

In dit hoofdstuk worden twee vragen behandeld:

1. Wat is de business case van groene waterstof in Nederland?
2. Wat zijn de belangrijkste onderzoeksuitdagingen?

Business case groene waterstofproductie - kansen voor Nederland

Als we de huidige situatie en de marktgroei van elektrolyse vergelijken met duurzame elektriciteit (wind en zon), dan is de elektrolyse in het jaar 2000 achtergebleven. Dit betekent dat het twintig jaar achterloopt op zon-PV, zoals in de onderstaande grafieken wordt geïllustreerd.



Potentiële groei van elektrolyse in vergelijking met groei van hernieuwbare energiebronnen (Investeringsgegevens: BNEF; en Kramer and Haigh, Nature, 462, 568-9 (2009)

Tussen 2000 en 2018 werden ongeveer 230 elektrolyseprojecten in gebruik genomen met een totaal vermogen van ongeveer 100 MW[1]. Deze cijfers laten duidelijk zien dat we nog maar aan het begin staan. En dat we een compleet nieuwe toeleveringsketen moeten ontwikkelen. We hebben nieuwe bedrijven, nieuwe leveranciers en nieuwe fabrikanten nodig die materialen en componenten voor grotere en nieuwe generatie elektrolysesystemen ontwikkelen. Dit is zeker een kans voor de hightechindustrie in Nederland en Noordwest-Europa. Als we het opnieuw vergelijken met de ontwikkeling van zon- en windenergie, moeten we ons ervan bewust zijn dat Europa in eerste instantie een belangrijke positie had in de ontwikkeling van deze technologieën. Toen de industrie volwassen werd, verhuisde de productie van de systemen en later ook een deel van de toeleveringsketen van componenten naar buiten Europa. Voor de elektrolysetechnologie liggen alle kaarten nog op tafel, wat betekent dat de komende jaren voor bedrijven cruciaal zullen zijn om aan de snelgroeiende waterstofmarkt mee te doen.

Technologiewaardeketen	Zonne PV-systemen	Windturbine	Elektrolysesystemen
Innovatie op het gebied van materialen & componenten	++	++	++
Innovatie op het gebied van architectuur	++	+	+
Productiemachines	+ (dunne film)	- -	N.V.T.
Toeleveringsketen van materialen & componenten	--	+	N.V.T.
Productie van systemen	-	-	N.V.T.
Integratie & installatie (onderhoud & recycling)	+ (BIPV)	+ (Offshore & modellering)	N.V.T.

++	Strategische internationale toppositie
0	Gemiddelde positie, niet leidend
- -	Geen positie, afhankelijk van partners
N.v.t.	(Nog) niet aanwezig op MW-schaal

Onderdeel van een netwerk van toonaangevende instituten en enkele innovatieve MKB-bedrijven

Vooral op PEM-elektrolysesystemen neemt Europa een goede positie in

Potentiële hightech productieclusters (Eindhoven) kunnen een positie innemen

(Momenteel) domein van de elektrolyser OEM's, voor grotere systemen zullen nieuwe partijen bijtreden

Groot aantal potentiële integratoren en recyclingbedrijven in Europa

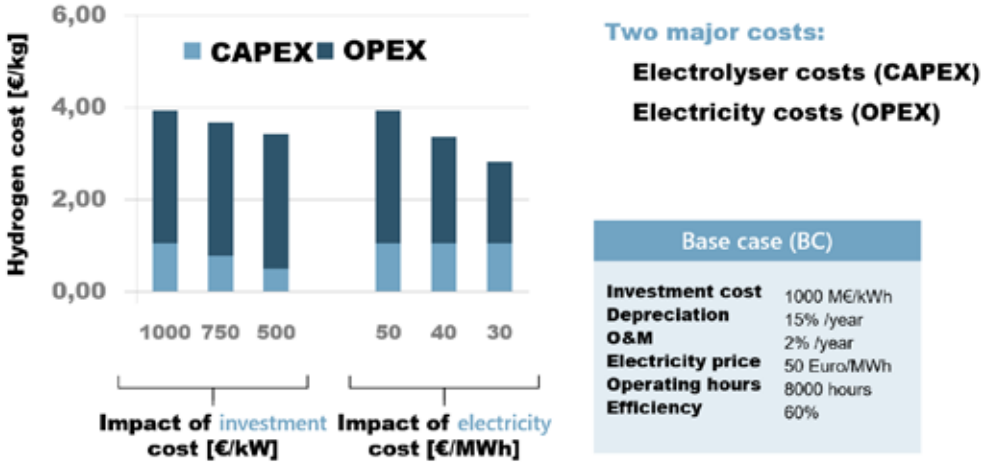
Eenvoudige vergelijking met twee andere belangrijke hernieuwbare technologieën en het standpunt van de EU, gebaseerd op de huidige situatie (TNO)

Business case groene waterstofproductie - wanneer is het haalbaar?

Er zijn drie belangrijke factoren die de kosten per kg voor de productie van groene waterstof bepalen. De eerste en belangrijkste factor is de elektriciteitsprijs. Zoals in de grafiek links te zien, zijn de OPEX-kosten, die voornamelijk worden bepaald door de elektriciteitsprijs, de overheersende factor. Als de elektriciteitsprijzen van € 50 naar € 30/MWh verlaagd zouden worden, zou een kg waterstof € 3 in plaats van € 4 kosten. De op één na belangrijkste factor is de bezettingsgraad van het elektrolysesysteem. Wanneer een elektrolyser rechtstreeks op duurzame elektriciteit wordt aangesloten, bijvoorbeeld op een onshore windpark en geen andere netwerkaansluiting, bedraagt het aantal bedrijfsuren in vollast ongeveer 2500. Als we dit vergelijken met een elektrolyser die continu in vol bedrijf is, verdubbelen de kosten per kg bijna. De op twee na belangrijkste parameter: de investering (CAPEX) van het elektrolysesysteem zelf. Met name in het geval van lage bedrijfsuren zijn de CAPEX kosten de meest dominante factor. In de toekomst zullen elektrolysesystemen alleen nog maar op hernieuwbare elektriciteit draaien.

1 *IEA 2019, the Future of Hydrogen report*

In Nederland bedragen de vollasturen van windturbines op zee, windturbines op land en zon-PV respectievelijk 4.500, 2.500 en 1.000 uur. Als de electrolyser alleen op dit aantal volasturen operationeel is dan overheersen de kapitaal kosten. De kapitaaluitgaven van het elektrolysesysteem moeten worden verlaagd van 1.000 euro per KW tot 300 euro per KW om de groene waterstof rendabel te maken. Naast de productie van waterstof zijn transport, opslag en specifieke toepassingsvereisten belangrijke onderdelen in de algemene business case van groene waterstof.



Onderzoeksuitdagingen verschillen per technologie

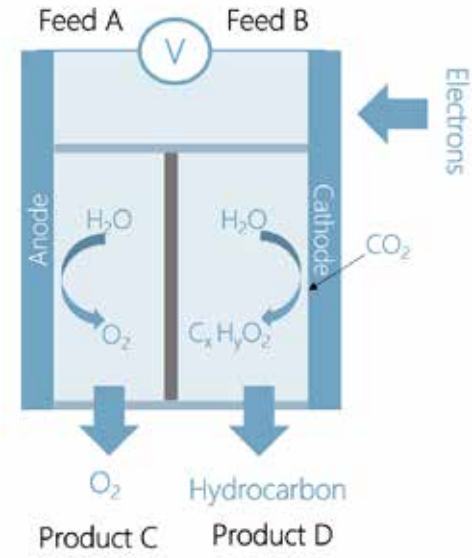
Wat betreft waterelektrolyse zijn er op dit moment vier voornaamste technologieën beschikbaar. De specifieke voordelen, nadelen en niveaus van volwassenheid verschillen per technologie.

Een eenvoudig overzicht van het volwassenheidsniveau van vier elektrolysetechnologieën

Alkalische waterelektrolyse is de meest volgroeide technologie met (tot 1991) systemen van meer dan 100 MW. Momenteel brengt alkaline de laagste kapitaaluitgaven met zich mee; de systemen hebben echter een grote fysieke voetafdruk en zijn moeilijk te gebruiken bij flexibele operaties (die nodig zijn bij aansluiting op hernieuwbare energiebronnen).

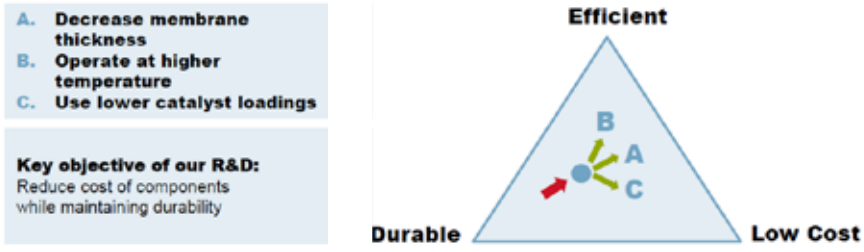
De PEM-technologie heeft zijn waarde bewezen op een schaal tot 10 MW en is de voornaamste technologie op het gebied van brandstofcellen. PEM's kunnen flexibel worden ingezet (snel op- en afschalen) en hebben een kleine voetafdruk. De investeringen zijn echter relatief hoog en schaarse materialen zoals platina en iridium worden als katalysator gebruikt. Er zijn strategieën om 1) alternatieve katalysatoren te vinden, 2) de lading van deze platinagroep metalen te verminderen en 3) recyclingtechnologie te ontwikkelen om deze materialen te hergebruiken.

De Solid Oxide Electrolyser (SOE) is veel minder volwassen. Volgens huidige plannen wordt het eerste 1 MW-systeem in 2020 gedemonstreerd. SOE's draaien op een hogere temperatuur (typisch 700 graden, vergeleken met 60-80 graden van de andere drie technologieën). Wanneer er een hogetemperatuurbron beschikbaar is, bijvoorbeeld in de industrie, is SOE een geschikte technologie, omdat het een hoge efficiëntie bereikt. SOE kan ook op omgekeerde wijze werken, dat wil zeggen de elektrolysemodus produceert waterstof en de brandstofmodus produceert elektriciteit. Een ander voordeel van SOE's is de mogelijkheid voor Co-electrolyse, wat betekent dat er naast water ook CO_2 wordt gebruikt, een input die zowel H_2 als CO produceert.



Het Anion Exchange Membrane (AEM) is de minst volwassen technologie. Toch heeft het de meeste potentie, omdat het gebruikmaakt van de voordelen van de PEM (flexibel, kleine voetafdruk, hoge stroomdichtheid), maar niet de bijbehorende nadelen heeft (geen schaarse materialen en geen ultrazuiver water nodig). Er is echter verder onderzoek nodig om bijvoorbeeld een stabiel membraan te ontwikkelen.

Voor alle vier technologieën zijn de drie belangrijkste onderzoeksuitdagingen:
1) de kapitaaluitgaven voor het systeem verlagen,
2) de systeemefficiëntie verhogen en
3) grootschalige productie mogelijk maken om een jaarlijkse wereldwijde productie van 10 GW tegen 2030 te faciliteren.



TNO en partners doen onderzoek in het grootste waterstofonderzoekslaboratorium van Europa, in het Faraday lab in Petten en in MW test centrum Groningen, waar we een optimale afweging vinden tussen efficiënte, goedkope en langlevende elektrolysers.

TNO is een toegepaste onderzoeksinstelling met meer dan 3.400 wetenschappers die met kennis innovaties creëren die de concurrentiekracht van bedrijven en het welzijn van de samenleving duurzaam versterken.

- *https://www.tno.nl/hydrogen*
- *https://www.voltachem.com/research/power-2-hydrogen*
- *https://www.climatecoach4u.nl*

Hans van Cleef

HANS VAN CLEEF IS SENIOR ENERGY ECONOMIST BIJ ABN AMRO. IN DEZE ROL VOLGT HANS DE ENERGIEMARKT IN DE BREEDST MOGELIJKE ZIN (NIET ALLEEN DE OLIE- EN GASMARKT, MAAR OOK ANDERE ENERGIEBRONNEN ZOALS WIND- EN ZONNE-ENERGIE EN BIJVOORBEELD DE CO_2-MARKT). DAARNAAST GEEFT HIJ DUIDING BIJ ENERGIEGERELATEERDE THEMA'S ZOALS DE ENERGIETRANSITIE. HANS DOET REGELMATIG VERSLAG VAN DE ENERGIEMARKT IN DIVERSE PUBLICATIES, PRESENTATIES EN INTERVIEWS.

11

DE LANGE WEG NAAR EEN VOLWASSEN WATERSTOFMARKT

HANS VAN CLEEF

SENIOR ENERGY ECONOMIST, ABN AMRO

Na het bereiken van het Klimaatakkoord van Parijs in 2015 was de opdracht voor beleidsmakers duidelijk: de mondiale temperatuurstijging beperken tot een maximum van twee graden, met een streven naar anderhalve graad. Er gaat tegenwoordig bijna geen dag meer voorbij of er staat wel een artikel in de kranten over de rol van waterstof bij het halen van deze doelstellingen.

Waterstof als grondstof in de procesindustrie kennen we al veel langer. Bijna altijd wordt deze waterstof geproduceerd uit aardgas - de grijze waterstof. Daarmee gaat het gepaard met aanzienlijke CO_2-uitstoot. Toch wordt waterstof als een belangrijke schakel gezien in de ambitie om de mondiale CO_2-uitstoot te beteugelen en daarmee de mondiale temperatuurstijging te beperken.

In de laatste *World Energy Outlook* (WEO) gaf de *International Energy Agency* (IEA) te kennen dat waterstof een belangrijke rol moet gaan spelen in de energietransitie om het meest duurzame scenario (*Sustainable Development Scenario*) te halen. Het SDS-scenario rekende terug vanuit het einddoel van het Klimaatakkoord om inzichtelijk te maken wat nu nodig is om de doelstellingen te halen. Een volledige elektrificatie van de mondiale economie is niet realistisch voor 2050. Er zullen naast elektronen ook moleculen nodig blijven om de economie draaiende te houden. Hier is een rol weggelegd voor waterstof.

Ook in Nederland bleek waterstof een veel genoemde oplossing tijdens de totstandkoming van het Klimaatakkoord. Niet aan één, maar aan alle vijf de klimaattafels werd waterstof als een oplossing of middel genoemd om de CO_2-uitstoot te beperken. Waterstof zou als grondstof en/of energiedrager de oplossing kunnen bieden voor CO_2-reductie in moeilijk te verduurzamen en lastig of niet te elektrificeren processen en sectoren. Maar zal waterstof inderdaad een cruciale rol spelen bij de verduurzaming van onze economie? Of wordt waterstof qua toepasbaarheid en inpasbaarheid schromelijk overschat en de betaalbaarheid onderschat?

Potentie onderkend...

Zoals gezegd is waterstof als een mogelijke oplossing genoemd bij alle klimaattafels. Dat geeft direct aan hoe groot de rol van waterstof zou kunnen worden. Dat geldt in dit voorbeeld in Nederland, maar is uiteraard ook van toepassing op grotere schaal. Hieronder noemen we enkele mogelijke toepassingen per sector/klimaattafel. Vanzelfsprekend hoeft waterstof niet per se in pure vorm te worden gebruikt als brandstof, maar het kan ook bijgemengd worden.

Elektriciteit – Waterstof kan makkelijk grootschalig worden opgeslagen. Het kan daarmee de flexibiliteit bieden die steeds meer nodig is. De elektriciteitsmix verschuift langzaam maar zeker naar een mix die minder stabiel is dan in het verleden, en met meer zon- en windenergie vaker intervallen zal laten zien in het aanbod. (Groene) waterstof kan worden geproduceerd uit overtollige elektriciteit en worden opgeslagen om het elektriciteitsnet – of lokale net – te balanceren op momenten dat er juist een tekort aan elektriciteit is.

Industrie – Op dit moment wordt waterstof al gebruikt als grondstof in de industrie. Verdere opschaling voor gebruik van waterstof ter vervanging van aardgas en kolen ten behoeve van het opwekken van hogetemperatuurwarmte kan zorgen voor verdere daling van de CO_2-uitstoot in de industrie. Een andere mogelijke toepassing is het gebruik van waterstof als energiebron.

Mobiliteit – Al enige tijd wordt er geëxperimenteerd met waterstof als brandstof in de transportsector. Elektrische auto's met een brandstofcel bestaan reeds enige tijd. De gebrekkige infrastructuur om waterstof te tanken maakt echter dat een verdere opschaling tot op heden traag verloopt. Toch zien we bijvoorbeeld in Duitsland inmiddels een landelijke dekking van tankstations ontstaan die de groei van brandstofcelauto's in de komende jaren verder zal doen accelereren. In Nederland is vooralsnog slechts een handvol waterstoftankstations gerealiseerd; er is nog een lange weg te gaan. Op langere termijn zijn er ook toepassingen denkbaar bij het zware wegtransport, de scheepvaart en de luchtvaart, in pure vorm of als bijmenging in bestaande brandstoffen.

Landbouw en landgebruik – In de landbouw wordt veel elektriciteit gebruikt. Waterstof lijkt een mooie rol te kunnen spelen in een ***microgrid*** door de eerder genoemde flexibiliteit om vraag en aanbod op elkaar af te stemmen. Ook voor landbouwvoertuigen zou waterstof als brandstof kunnen dienen.

Gebouwde omgeving – Bij de gebouwde omgeving kan waterstof een rol spelen bij het vervangen van aardgas als grondstof voor verwarming. Er ligt een groot netwerk van gasleidingen dat, met enige aanpassingen, veelal geschikt gemaakt kan worden voor gebruik van waterstof in plaats van aardgas, of van waterstof bijgemengd in aardgas. Dit vereist nog wel een aanpassing van de bestaande wetgeving met betrekking tot het maximaal percentage toegestane bijmenging.

...maar toepasbaarheid vooralsnog gering

Dat waterstof in potentie een grote rol in de energietransitie kan spelen is een gegeven. Het feit dat waterstof CO_2-neutraal is, maakt het tot een kansrijke, zo niet cruciale, schakel richting een volledig duurzame economie. Dit geldt zowel als energiedrager en als grondstof. Toch komt er bijna geen studie voorbij waarin ook gewezen wordt op de noodzaak van verdere innovaties. Met de huidige stand van de technologie en vooral ook de huidige schaalgrootte is waterstof simpelweg nog te duur voor grootschalige toepassingen in de diverse sectoren.

Voor veel toepassingen is dus verdere ontwikkeling nodig om het schaalbaar en betaalbaar te maken. De waterstof die nu reeds wordt toegepast, wordt vooral in de industrie gebruikt.

De productie en de toepassing van de grootste hoeveelheden waterstof is dicht bij de bron. Dit maakt het economisch rendabel. Voor andere toepassingen zien we dat projecten zich meestal nog in de proefprojectfase bevinden. Waterstof als energiedrager is bij het grote publiek nog relatief onbekend. Om steun te vinden bij het realiseren van proefprojecten, en het vinden van de benodigde financiering/ subsidies is kennisdeling en het creëren van draagvlak cruciaal.

Een technologie kan nog zo mooi zijn en de potentie hebben om een belangrijke schakel te zijn bij de verduurzaming van de economie, maar zonder draagkracht en steun van de markt gaan de kosten niet voldoende dalen en zal zij nooit kansrijk worden voor grootschalige toepassingen.

De weg naar groen gaat via grijs en blauw

Er is geregeld discussie of je waterstof niet eerst moet vergroenen – oftewel enkel moet produceren uit overtollige groene elektriciteit – alvorens je gaat opschalen. Als we echter vaststellen dat waterstof zo cruciaal is als energiedrager en grondstof voor een CO_2-neutrale economie hebben we niet de luxe om te wachten tot er voldoende overtollige groene elektriciteit is. Niet alleen kost de bouw van een waterstofinfrastructuur veel tijd, we zullen ook heel wat jaren verder zijn voordat er een structureel overaanbod is aan groene elektriciteit. De coalitie tussen Gasunie, Havenbedrijf Groningen en Shell is van plan om een enorm windpark aan te leggen (10 GW in 2040) en de op te wekken elektriciteit volledig te koppelen aan een waterstoffabriek. Het project heet NortH2. Het streven wordt breed toegejuicht. Toch zijn haalbaarheidsstudies, vergunningen, financiering en verdere technologische ontwikkeling nodig om dit project ook maar enige kans van slagen te bieden.

Groene elektriciteit zal in eerste instantie moeten concurreren met het aanbod van andere elektriciteitsbronnen op de elektriciteitsmarkt. Het is niet wenselijk dat groene elektriciteit wordt gebruikt voor de productie van waterstof, en dat we tegelijkertijd van gas- of - nog erger - kolencentrales afhankelijk worden om aan de vraag te voldoen op het elektriciteitsnet. De lage elektriciteitsprijs ten opzichte van de prijs van waterstof zal dit normaal gesproken niet voorkomen. Een lagere prijs voor waterstof in combinatie met een substantiële prijs voor CO_2-uitstoot wel. Zowel bij de industrie als bij het opwekken van elektriciteit bestaat de mogelijkheid om de CO_2 af te vangen en op te slaan in bijvoorbeeld leegstaande ondergrondse gasvelden. Deze vorm van CO_2-uitstootverlaging noemen we ook wel '*Carbon Capture and Storage*', oftewel CCS. Ook van CCS wordt gesteld dat deze technologie cruciaal is om aan de Parijsdoelstellingen te kunnen voldoen. De met aardgas opgewekte waterstof kan worden verduurzaamd door de vrijkomende CO_2 ondergronds op te slaan. De grijze waterstof wordt dan blauwe waterstof en is daarmee al CO_2-neutraal.

Wij denken daarom dat er reeds begonnen moet worden met de bijmenging van grijze/blauwe waterstof in het gasnet om te beginnen met de aanleg van de infrastructuur, en dus niet te wachten op voldoende basisaanbod van groene waterstof. Er is vooralsnog geen beperkende Europese wetgeving rond de productie en het gebruik van grijze waterstof. Dit kan, op het moment dat er betere en goedkopere alternatieven komen, nog volgen. Het uiteindelijke doel is om zoveel mogelijk gebruik te maken van groene waterstof.

Economische haalbaarheid

Om waterstof economisch haalbaar, en daarmee betaalbaar, te maken voor grootschalige toepassing zoals bedoeld door het IEA in zijn WEO zijn twee dingen cruciaal: voldoende basisaanbod van waterstof (ongeacht de kleur) en het kunnen wegzetten van dit aanbod in de markt.

Het IEA geeft aan dat het verwacht dat het bijmengen van waterstof in het gasnet de beste kans biedt om op te kunnen schalen en daarmee kosten te verlagen. Vanuit ABN AMRO delen wij deze visie. Indien de kosten aanzienlijk lager komen te liggen, neemt de toepasbaarheid van waterstof in andere sectoren, in de concurrentiestrijd om marktaandeel ten opzichte van bestaande technologieën, sterk toe.

Een ander punt is dat de productie van waterstof niet per se lokaal hoeft te gebeuren. Naar onze mening moet het beleid dusdanig worden ingericht dat import van waterstof is toegestaan. Waterstof biedt de mogelijkheid om – eventueel ingebakken in andere moleculen – groene elektriciteit goedkoop te vervoeren, van landen met een overschot naar landen met een tekort. Dat werkt marktwerking in de hand en zorgt ervoor dat de goedkoopste, snelste en bij voorkeur groenste waterstof voorrang krijgt in de *merit order* (serie van beschikbare grondstoffen die in het productie- of elektriciteitsopwekkingsproces voorrang krijgen op basis van de laagst mogelijk prijs).

De huidige (hoge) prijs van waterstof maakt ook dat bijmenging van waterstof aan het gasnet (bijvoorbeeld voor gebruik in de gebouwde omgeving) er economisch nog niet uit kan. Als gevolg van de bijzonder lage aardgasprijzen zal het bijmengen van aardgas tot de maximaal toegestane wettelijke grens niet gebeuren zonder politieke prikkel. De gasprijzen zijn vooral zo laag als gevolg van een hoog aanbod. Het mondiale aanbod van gas is hoog door toegenomen LNG-exporten en extra importcapaciteit in Europa voor gas uit Rusland.

Het aanbod is groot ondanks een steeds verdere daling van de nationale gasproductie, met name uit het Groningenveld. Daar komt bij dat de vraag naar gas in Azië lager is dan verwacht en ook in Europa als gevolg van een milde winter relatief laag is. Daardoor zijn de voorraden hoog. Een voordeel van een lage gasprijs kan zijn dat het produceren van grijze en blauwe waterstof ook goedkoper wordt. Wel zal een steeds verder oplopende prijs van Europese *Emission Trading Scheme*-certificaten (CO_2-certificaten, EU ETS) aardgas steeds minder interessant als bron kunnen maken.

Is het te financieren?

Voor verdere opschaling van het gebruik van waterstof moet niet alleen de prijs dalen, maar er moet ook voldoende financiering beschikbaar zijn. Zoals bij veel nieuwe technologieën, of nieuwe toepassingen van bestaande technologieën, zijn de risico's in eerste instantie hoog. Het is niet voor niets dat de minister subsidie beschikbaar stelt om proefprojecten op te starten en de onrendabele top van projecten weg te nemen. Hierbij moet oog zijn voor de stimulering van zowel aanbod als de vraag om voldoende zekerheid te bieden voor het aangaan van langetermijninvesteringen.

Veel banken houden tegenwoordig een bepaalde hoeveelheid risicokapitaal aan om hogerrisicoprojecten binnen de energietransitie te financieren. Daarmee willen ze een bijdrage leveren aan de versnelling van de energietransitie. In het geval van ABN AMRO geldt dit voor het *Energy Transition Fund* van EUR 400 miljoen. Toch wordt er, vanwege het gematigde risicoprofiel van banken, vooral gekeken naar *Private Equity*-partijen die met hun durfkapitaal het grootste deel van de ontwikkelingsfase voor hun rekening zullen moeten nemen. Op het moment dat langetermijninvesteringen aantrekkelijker worden door investeringszekerheden zoals voldoende volume, aanbod en vraag, en de investeringsrisico's afnemen, wordt het voor een bank interessanter om grotere projecten te financieren.

Conclusie

Is waterstof de energiedrager van de toekomst? Ja, in potentie wel. Toch moet er nog heel veel gebeuren. Dit betreft onder andere verdere innovatie om waterstof economisch toepasbaar te maken in andere sectoren. Verder is het vergroten van het aanbod en in het verlengde daarvan het creëren van meer vraag naar waterstof cruciaal voor het realiseren van kostenverlagingen.

Een lagere kostprijs en voldoende zekerheden ten aanzien van langetermijninvesteringen zijn nodig om de afhankelijkheid van subsidies en durfkapitaal te verlagen ten behoeve van projectfinanciering door banken. Dit alles maakt dat het nog een flinke tijd zal duren voordat waterstof een volwassen markt is geworden. Maar de recente ontwikkelingen bij zon- en windenergie bieden hoop dat met voldoende wil waterstof uiteindelijk een vergelijkbare ontwikkeling kan doormaken.

Joep Coenen

JOEP COENEN STARTTE NA ZIJN OPLEIDING WERKTUIGBOUWKUNDE (ENERGIEVOORZIENING) AAN DE TU DELFT ZIJN CARRIÈRE BIJ SHELL ALS ONTWERPER VAN ZUINIGE EN BETROUWBARE ENERGIESYSTEMEN.

Bij Shell in Engeland heeft Joep veel hands-on operationele ervaring opgedaan. Uit die periode stamt ook de passie van Joep voor veiligheid en het veilig opereren van systemen. Na zijn periode bij Shell heeft Joep diverse functies vervuld in de advisering en op het gebied van veiligheid, milieu en projectmanagement van biogasprojecten van chemiereus Solvay.

Na Solvay heeft Joep diverse gasplatformen van Shell op de Noordzee geoptimaliseerd en milieutechnisch sterk verbeterd. Joep heeft ook de proces- en veiligheidsaspecten van bedrijven als TATA Steel en Allseas vormgegeven en begeleid. Het laatste grote project was Southstream – het ontwerp, constructie en inbedrijfname van twee gaspijpleidingen van Rusland via de Zwarte Zee naar Turkije.

Joep was als projectmanager verantwoordelijk voor het gasontvangstation in Turkije. Het project is op tijd en binnen budget eind 2019 veilig in bedrijf genomen.

Sinds 2019 geeft Joep als mede-oprichter en CTO van Hystream richting aan het laten stromen van waterstof via schaalbare, gestandaardiseerde en haalbare projecten op het gebied van waterstof, mobiliteit, productie en power oplossingen.

LAAT WATERSTOF STROMEN!

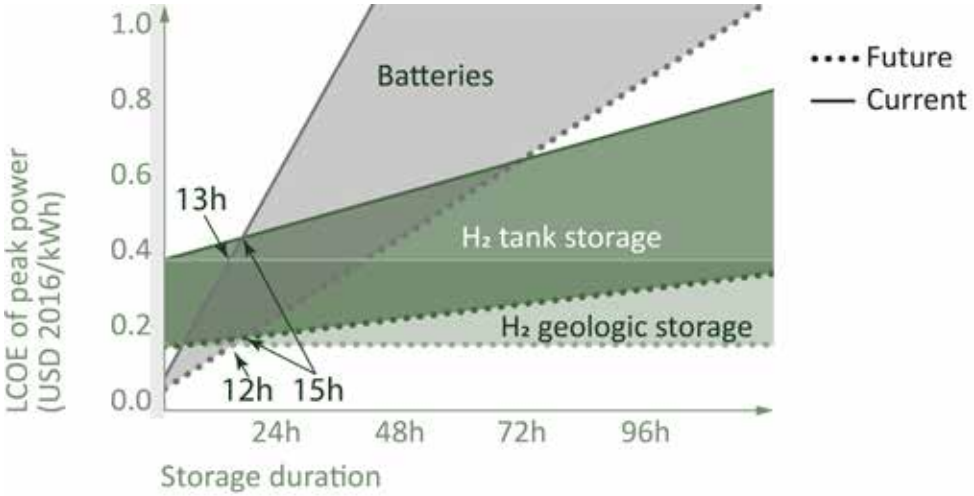
JOEP COENEN

HYSTREAM B.V.

Waarom waterstof?

Het Europese energiebeleid ('Green Deal') vraagt om het reduceren van het gebruik van fossiele brandstoffen en het verregaand reduceren van emissies (o.a. CO_2, NO_x). Hiervoor is het essentieel dat het aandeel duurzaam geproduceerde elektriciteit (uit zon- en windenergie) fors toeneemt. Energetisch is het natuurlijk het beste om deze duurzaam geproduceerde elektriciteit direct in te zetten voor nuttige toepassingen. Echter, de zon schijnt niet altijd en de wind waait ook niet altijd. Hoe kan op dit soort momenten toch worden voorzien in duurzame elektriciteit of energie? Het simpele antwoord hierop is het opslaan van de duurzame energie zodat deze op een later tijdstip en/of plek weer kan worden omgezet naar elektriciteit. Het elektriciteitsnetwerk – in tegenstelling tot een gasnetwerk – is geen opslagmedium. Duurzame elektriciteit die ergens op het net wordt ingevoed moet op hetzelfde moment elders worden benut om het net stabiel te houden.

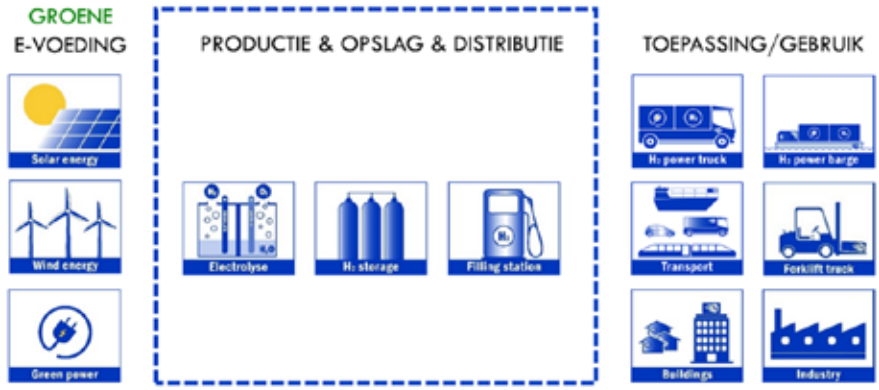
Batterijen zijn wel een voorbeeld van een opslagmedium. En dat werkt commercieel goed voor toepassingen waarbij de energievraag relatief niet al te groot is zoals in telefoons, laptops en auto's. Als duurzame energie in grotere hoeveelheden en/of voor langere tijd moet worden opgeslagen of beschikbaar moet worden gemaakt op plaatsen waar geen elektriciteitsnet voorhanden is – zoals op bouwplaatsen – dan gaat de relatief lage energiedichtheid van batterijen nadelig uitwerken ten opzichte van andere opslagmedia zoals waterstof. Zie figuur [1] hieronder. Per kilogram 'materiaal' kan waterstof ongeveer een factor 140 meer energie opslaan dan bijvoorbeeld de batterij van een Tesla Model 3.



Figuur 1: Waterstof en Li-ion batterijen als opslagmedium[1].

1 *Hydrogen Energy Infrastructure, SUSI Partners, www.susi-partners.com, 2020*

Waterstof geeft daarmee de mogelijkheid om duurzame elektriciteit in grote commerciële hoeveelheden op te slaan en op een ander moment en/of andere locatie weer om te zetten in emissieloze energietoepassingen zoals weergegeven in onderstaande figuur [2]. Te denken valt aan bouwstroom, mobiliteit, verwarming en industriële toepassingen.



Figuur 2: De waterstofketen, www.hystream.nl

Bij de productie van waterstof treden er op dit moment – net als bij ieder ander proces – omzettingsverliezen in de vorm van warmte op. Deze verliezen dienen uiteraard door technologische innovaties tot een minimum te worden beperkt en gegeneerde warmte dient – waar mogelijk – te worden ingezet voor andere nuttige toepassingen.

Ondanks de verliezen die optreden bij de productie van groene waterstof biedt het dus zoals gezegd de mogelijkheid om volledig over te stappen naar een duurzame energievoorziening, omdat het een opslagfunctie geeft. De Aarde ontvangt iedere dag een hoeveelheid energie van de Zon[2] die een veelvoud is aan wat de mensheid op Aarde nodig heeft. Het omzettingsverlies bij de productie van waterstof (ca. 35% verlies) hoeft daarmee geen barrière te zijn om volledig te verduurzamen. Het is vooral een kwestie dat er voldoende zon- en windenergie wordt 'geoogst' en deze deels op te slaan in de vorm van waterstof om op ander plekken en momenten weer in te zetten.

Kwestie van doen dus?

Waarom maakt waterstof dan nog geen significant deel uit van ons huidige energielandschap van zonnepanelen, zonneweides en windmolenparken? Wij zien daar een aantal oorzaken voor.

In gesprekken met bestuurders en ondernemers over waterstof horen wij nog wel eens opmerkingen dat waterstof iets is "voor de lange termijn" of "waarvan de technologie eerst nog verder ontwikkeld moet worden". Puur economisch bezien zit hier een kern van waarheid in: de technologie om waterstof te produceren zou baat hebben bij een kostenreductie. Althans, zeker als je de vergelijking maakt met energie die niet duurzaam is opgewekt zoals grijze stroom en aardgas.

2 *Circulariteit Op weg naar 2050?, Peter Luscuere, ISBN 978-94-6366-054-9*

Misschien is het goed om daarbij een tweetal zaken te scheiden: (1) De techniek en (2) de economie om waterstof te produceren.

Ten aanzien van de techniek kan worden geconcludeerd dat deze beschikbaar is en technisch voldoende betrouwbaar werkt. Er zijn inmiddels de nodige aanbieders van elektrolyse-installaties. Op het punt van de economie zou je appels met appels moeten vergelijken. De kostprijs van een MJ geproduceerde groene waterstof is nog altijd stukken duurder dan een MJ aardgas. Het zijn echter appels die met peren worden vergeleken. Het aardgas leidt tot CO_2-uitstoot bij verbranding. De groene waterstof niet. Hoe eerlijk is dan zo'n vergelijk? Tegelijkertijd is dit wel hoe de meeste consumenten ernaar kijken: "Wat kost mij een pakketje energie en waar kan ik die het goedkoopst krijgen (...ongeacht welke impact dit heeft op het milieu)?".

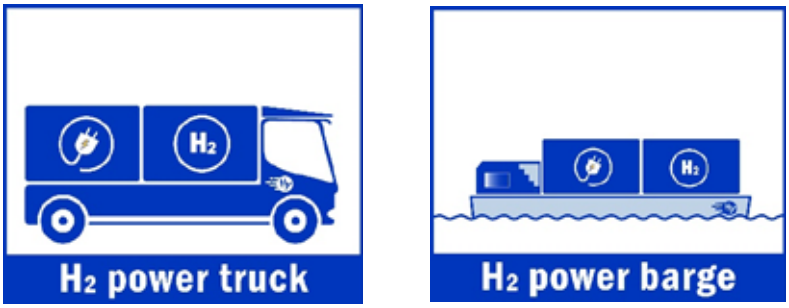
Dit brengt ons op het punt van de rol van de overheid. Als emissies zoals CO_2- en NO_x-uitstoot als dermate 'gevaarlijk' worden gezien voor onze Aarde, dan zou de overheid de inzet van brandstoffen die daartoe leiden moeten verbieden. Hetzelfde als bijvoorbeeld in het verleden is gedaan met asbest. Praktisch gezien is dit echter (nog) geen reële optie. Simpelweg omdat de hoeveelheid duurzaam opgewekte energie nog lang niet voldoende is om de niet-duurzame energie te kunnen vervangen. Verbieden kan dus (nog) niet.

Stimuleren kan daarentegen wel. Gezien het belang van waterstof als opslagmedium zou een stimulans – net als dat gedaan is voor zon- en windenergie en elektrisch rijden – niet alleen fair zijn, maar ook noodzakelijk om de energietransitie te versnellen.

Tot slot zien wij nog iets waardoor waterstof nog geen grote vlucht heeft genomen. Of eigenlijk zien wij het onvoldoende: daadkrachtige partijen die doen. Veel partijen dromen erover. Veel partijen praten over waterstof. Veel partijen studeren erover. Ongetwijfeld allemaal belangrijke en nuttige activiteiten. Echter, zonder doeners zal de waterstoftransitie niet plaatsvinden anders dan op papier.

Doen?!

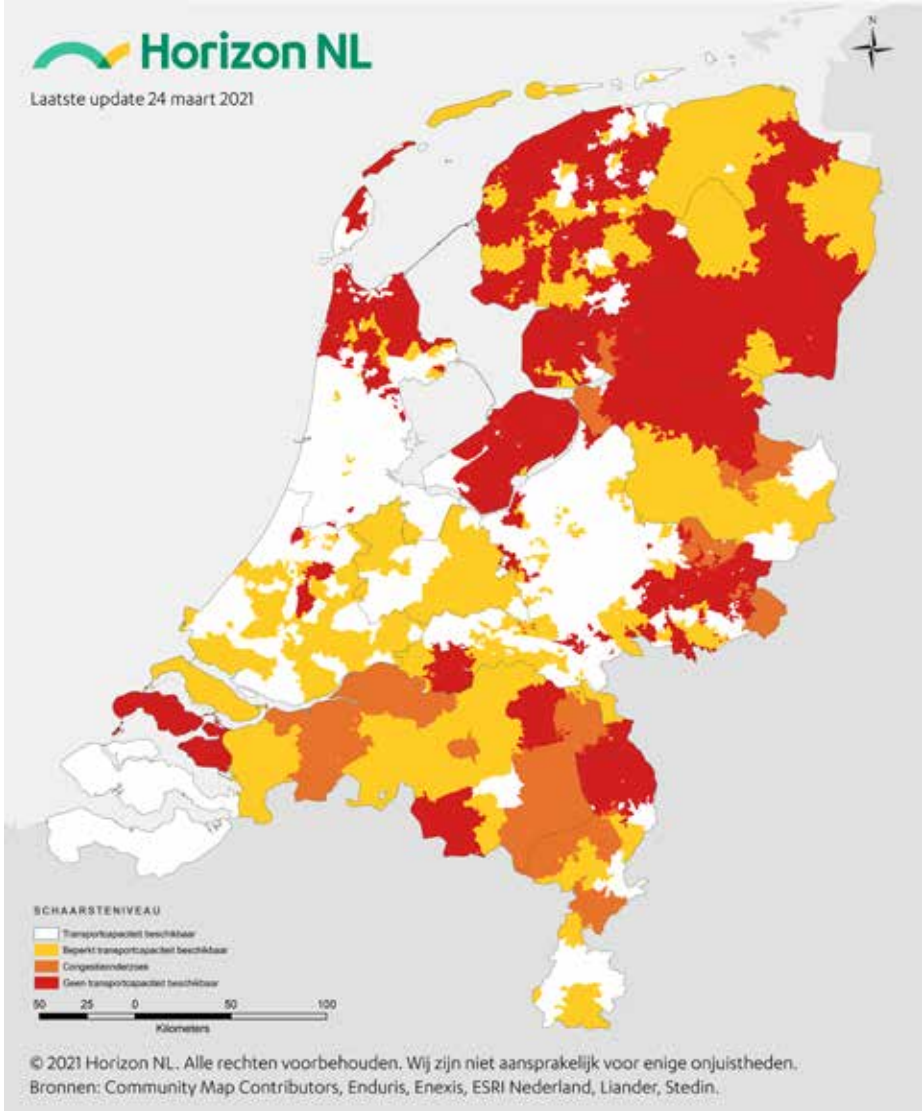
Dus wat valt er zoal te doen in de waterstoftransitie? Samen met één van onze partners hebben we een concept ontwikkeld dat groene stroom levert op locaties waar stroom niet voorhanden is of niet in voldoende mate voorhanden. Wij noemen dit onze waterstof power barge voor maritieme doeleinden respectievelijk waterstof power truck voor landapplicaties.



Figuur 3: Hystream Power Barge en Hystream Power Truck, www.hystream.nl

Voorbeeld: Een Power Barge kan langdurig emissieloze stroom leveren aan schepen die niet aan een kade liggen of hoeven te liggen. Ook onderhoud vanaf het water kan geheel zonder emissies worden uitgevoerd. Zo kan de power truck worden ingezet op bouwlocaties die momenteel stilliggen vanwege NO_x-problemen. Een geheel ander voorbeeld van doen is het oplossen van het netcongestieprobleem. Figuur 4 laat zien dat het stroomnet van een aanzienlijk deel van Nederland geen tot weinig transport-capaciteit heeft om nieuw te bouwen wind- en/of zonneparken aan te sluiten.

Om meer duurzame energie op te wekken zullen dus aanzienlijke netverzwaringen moeten worden doorgevoerd. Dit kost veel tijd en geld. Wij hebben met één van onze partners de eerste combinatie aangeboden van een zonnepark en groene waterstofproductie in de Brabantse gemeente Someren. Hiermee kan het aandeel groene waterstof groeien en tegelijkertijd het bestaande elektriciteitsnet worden ontlast in plaats van verder belast.



Figuur 4: Netcongestiekaart Nederland[3].

3 *https://www.horizonnl.nl/toenemende-transportschaartse/*

Tot slot nog een voorbeeld in de waterstofmobiliteit. Het beroemde "kip-en-ei-probleem". Er zijn nog te weinig voertuigen op waterstof waardoor de business case voor tankstations niet (snel genoeg) rendabel is. Tegelijkertijd zijn er te weinig tankstations waardoor potentiële waterstofrijders geen waterstofvoertuigen aanschaffen. Hoe kan je deze impasse doorbreken?

Samen met een andere partner hebben we een concept waarbij truckeigenaren direct en tegen weinig kosten hun voertuigen al deels op waterstof kunnen laten rijden, zonder hun bestaande wagenpark versneld te moeten afschrijven voor 100% nieuwe waterstofvoertuigen. Op deze manier komt er afzet voor exploitanten van waterstoftankstations en wordt de broodnodige versnelling gerealiseerd in de waterstoftransitie.

Door te doen realiseren we:

- Het ‘sluiten’ van de waterstofketen: toevoegen wat er nodig is om waterstof te laten stromen.
- Het realiseren van waterstofprojecten op een veilige manier door inzet van jarenlange ervaring met complexe internationale projecten.
- Standaardisatie en daarmee kostenreductie.
- Ontwikkelen en vermarkten van waterstofconcepten en combinaties die ons allen verder helpen.

Marcel Galjee

MARCEL GALJEE, IS VICE PRESIDENT & MANAGING DIRECTOR ENERGY & NEW BUSINESS BINNEN NOURYON INDUSTRIAL CHEMICALS. NOURYON IS EEN WERELDWIJD OPERERENDE SPECIALTY CHEMICALS BEDRIJF MET 10.000 MEDEWERKERS EN ACTIEF IN TACHTIG LANDEN.

Binnen Nouryon Industrial Chemicals is het Energy & New Business team verantwoordelijk voor het managen van de energie- en utiliteitenportfolio. Daarnaast wordt tegelijkertijd een nieuwe business opgebouwd op het gebied van groene waterstof en circulaire carbon. Het team initieert en ontwikkelt actief kansen in de elektrochemie, circulaire en waterstofeconomie, resulterend in een sterke internationale projectontwikkelingsportfolio.

Voorafgaand aan zijn huidige rol, is Marcel werkzaam geweest bij PwC als internationaal consultant binnen het brede energiespectrum en heeft hij acht jaar bij Vattenfall gewerkt in diverse functies in Zweden, Duitsland en Nederland.

13

OPBOUW VAN EEN DUURZAME EN CIRCULAIRE INDUSTRIE MET PARTNERSCHAPPEN EN DE FACILITERENDE ROL VAN WATERSTOF

MARCEL GALJEE

VICE PRESIDENT & MANAGING DIRECTOR ENERGY AND NEW BUSINESS,
NOURYON INDUSTRIAL CHEMICALS

We bevinden ons op een moment dat het debat over klimaatverandering verandert van 'Bestaat het?' naar 'Wat moeten we eraan doen?'. Na de overeenkomst van Parijs ontwikkelen veel landen individuele doelstellingen voor koolstofemissiereducties, ondersteund door een Europabrede versterking van het emissiehandelssysteem (ETS) en de meer recentelijk aangekondigde European Green Deal[1].

Voorzitter van de Europese Commissie, Ursula von der Leyen: "De European Green Deal is onze nieuwe groeistrategie - voor een groei die meer teruggeeft dan wegneemt. Het laat zien hoe we onze manier van leven en werken, van produceren en consumeren kunnen transformeren, zodat we gezonder leven en onze bedrijven innovatief maken. We kunnen allemaal betrokken zijn bij de transitie en we kunnen allemaal profiteren van de mogelijkheden. We zullen onze economie helpen om een wereldleider te zijn door als eerste en vooral snel te handelen. We zijn vastbesloten om te slagen in het belang van deze planeet en het leven op deze planeet – voor het natuurlijk erfgoed van Europa, voor de biodiversiteit, voor onze bossen en onze zeeën. Door de rest van de wereld te laten zien hoe je duurzaam en concurrerend kunt zijn, kunnen we andere landen ervan overtuigen om met ons mee te gaan."

Afbeelding 1: December 2019 aankondiging EU Green Deal

Het algemene traject lijkt te evolueren naar een vermindering van de koolstofuitstoot met 50% tegen 2030 en volledige koolstofneutraliteit in 2050. Een dergelijke overgang vereist meer dan de opwekking van groene stroom: de volgende uitdaging is het ontkolen van ons warmtesysteem en, nog complexer, de transitie van onze industrie naar circulaire en biogebaseerde productie.

Waterstof zal een essentiële rol spelen in deze transitie, waarbij de wereld van 'elektronen' wordt gekoppeld aan de 'moleculen' die nodig zijn voor onze materialen. Er zijn nieuwe partnerschappen nodig om nieuwe waardeketens te creëren, die een uitstekende gelegenheid bieden om nieuwe biogebaseerde en circulaire industrieën op te bouwen, en daarmee nieuwe banen en economisch perspectief te creëren.

1 *https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/news/european-green-deal*

De industriële transitie

Tot nu toe was de energietransitie vooral gericht op de wereld van het elektron: hoe kan er een verschuiving plaatsvinden van fossiele elektriciteit, opgewekt uit olie, kolen en gas, naar een duurzame elektriciteitsmarkt op basis van windenergie, zonne-energie en biomassa? De wereldwijde investeringen in hernieuwbare energie zijn de afgelopen jaren dan ook groter geworden dan die in de traditionele fossiele industrie. Innovaties en industrialisatie hebben de kosten van hernieuwbare technologieën teruggebracht tot een niveau dat door de meeste mensen als onmogelijk werd beschouwd. In sommige gebieden kunnen wind en zon al met traditionele alternatieven concurreren, en we hebben het einde van de curve nog niet gezien.

Na de verschuiving naar hernieuwbare energie moeten we nadenken over de transitie van ons warmtesysteem. Met 50% van het mondiale eindverbruik van energie in 2018 is de warmteproductie de grootste bron van energieconsumptie en draagt zij voor 40% bij aan de wereldwijde uitstoot[2] van kooldioxide (CO_2). We zien de warmte-uitdaging langzaam de aandacht trekken, waarbij de elektrificatie een van de meest veelbelovende opties voor het ontkolen is.

Het laatste obstakel op onze weg naar de bestrijding van de klimaatverandering is veruit het meest complexe. Het is de transitie van de wereld van de molecuul. Het merendeel van de producten die we dagelijks gebruiken, is nog steeds afhankelijk van grondstoffen die gemaakt zijn van fossiele brandstoffen, waaronder kunststoffen en veel cosmetica en farmaceutische producten. Hoe kunnen we deze producten op een duurzame, biogebaseerde en circulaire manier maken? Dit is niet alleen het meest complexe deel van de transitie, het kan ook het meest belonende zijn. Er zullen volledig nieuwe waardeketens ontstaan en daarmee verschijnt een nieuwe circulaire economie aan de horizon, waarin waterstof een centrale rol zal spelen.

De faciliterende rol van waterstof

Het realiseren van een reductie van 50% in 2030 en het tot nul terugbrengen van de CO_2-uitstoot in 2050 vormt een enorme uitdaging voor de grote industrieën. Ze plannen grote investeringen in cycli van vier tot acht jaar, wat betekent dat voor sommige bedrijven 2030 slechts één investeringscyclus weg is. En hoewel 2050 ver weg lijkt, is het net zo ver vooruit als 1990 achter ons ligt. Hoewel er sinds 1990 veel is veranderd, zijn de meeste waardeketens die we toen hadden nog steeds in gebruik.

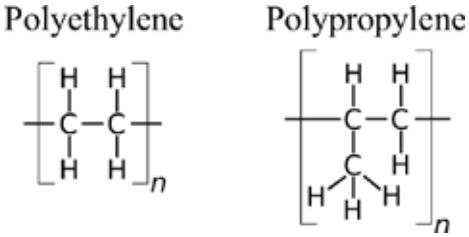
Voorbeelden van industrieën die worden getroffen zijn staal, kunststoffen, scheepvaart, luchtvaart en chemicaliën. Al deze industrieën zullen nieuwe processen, nieuwe grondstoffen en soms zelfs nieuwe oplossingen nodig hebben om aan een aanzienlijke vermindering van de koolstofuitstoot te voldoen.

Om de nulemissiematerialen en -brandstoffen te produceren, moeten we beginnen met nulemissiegrondstoffen. Hier zal waterstof een centrale en faciliterende rol spelen. We zullen het koolstofatoom nog steeds nodig hebben om in de toekomst materialen te produceren, zelfs in het nulemissiescenario van 2050. Maar deze koolstof zal afkomstig zijn uit circulaire en hernieuwbare bronnen, zoals afvalstromen en biomassa, die dan worden gecombineerd met waterstof ter vervanging van de huidige fossiele brandstoffen, of 'hydrocarbons'.

2 *IEA, 2019*

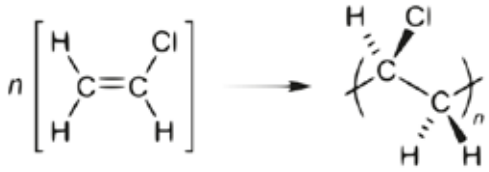
Groene waterstof kan worden gewonnen op basis van hernieuwbare energie via een proces genoemd elektrolyse: water (H_2O) kan worden opgesplitst in H_2 (waterstof) en O_2 (zuurstof). Door het gebruik van groene stroom wordt er in het proces geen koolstof gebruikt of uitgestoten. Nulemissiewaterstof en -zuurstof kunnen worden gebruikt als grondstoffen voor het creëren van chemische waardeketens. Diverse platformchemicaliën, die de basis vormen voor bijna alle brandstoffen en producten, kunnen worden geproduceerd door waterstofatomen te combineren met koolstof, bijvoorbeeld uit CO_2-emissies. De eerste toepassingen waaraan vandaag wordt gewerkt zijn methanol (CH_3OH) en ethanol (C_2H_6O), waaruit andere (complexere) koolwaterstoffen zullen volgen.

Veel van de producten die we in ons dagelijks leven gebruiken zijn gebaseerd op een combinatie van C- en H-atomen. Polyethyleen en polypropyleen zijn hiervan duidelijke voorbeelden, ze vormen de basis van veel kunststoffen die we gebruiken.



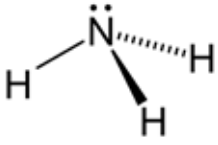
Afbeelding 2: Polyethyleen en polypropyleen

Een veel gebruikt materiaal op basis van koolstof en waterstof is polyvinylchloride. Het heeft zijn voornaamste toepassing in de bouwsector en de meeste mensen kennen het onder de afkorting PVC.



Afbeelding 3: Vinylchloride Monomeer (VCM) en Polyvinylchloride (PVC)

Een ander voorbeeld van een materiaal op waterstofbasis is ammoniak. Ammoniak bevat geen koolstofatoom, maar is opgebouwd uit een combinatie van waterstof- en stikstofatomen. In de landbouwsector is ammoniak het hoofdbestanddeel van kunstmest.



Afbeelding 4: Ammoniak

Deze eenvoudige voorbeelden tonen de essentie van chemie en de noodzaak om nulemissiekoolstofbronnen en groene waterstof beschikbaar te maken. Beide staan aan de basis van de huidige samenleving en dat zal ook in de toekomst zo blijven.

Met nieuwe processen en technieken kunnen nulemissiematerialen en -brandstoffen worden geproduceerd door het creëren van nieuwe waardeketens uit nulemissiegrondstoffen. Maar er zullen nieuwe combinaties nodig zijn die partijen die momenteel in geheel verschillende sectoren actief zijn, moeten vormen. Het opzetten van nieuwe partnerschappen zal in deze transitie van essentieel belang zijn.

Opbouw van nieuwe samenwerkingsverbanden

De toegang tot nulemissiegrondstoffen vereist nauwe samenwerking en nieuwe samenwerkingsstructuren om nieuwe waardeketens op te bouwen. Ten eerste moeten grote hoeveelheden hernieuwbare elektriciteit worden gecontracteerd via directe contracten met projectontwikkelaars (PPA's[3]) of indirect via de traditionele inkoop van energiebedrijven. Ten tweede moeten we circulaire koolstof veiligstellen, bijvoorbeeld uit afvalbronnen zoals afvalgassen van staalfabrieken of andere industrieën of uit vaste afvalstromen die momenteel naar stortplaatsen of verbrandingsovens gaan. Al deze koolstofbronnen hebben verschillende voorbehandelingen nodig voordat ze kunnen worden gebruikt in chemische waardeketens. Technieken als vergassing en pyrolyse zijn platformtechnologieën om de afvalstroom om te zetten in een uniforme olie of gas. Deze olie of dit gas kan dan de basis vormen voor de volgende stappen in de chemische waardeketen. Vergelijkbare technieken kunnen worden toegepast voor de omzetting van biogebaseerde materialen in een bruikbare olie of gas. Voor de toegang tot biogebaseerde materialen zijn nieuwe partners in de bosbouw en de landbouw nodig. Reststromen van de voedsel- en landbouwsector kunnen een waardevolle bron zijn voor biogebaseerde koolstofmoleculen.

Het voordeel van aardgas en olie als primaire grondstof voor onze bestaande industrieën is hun uniformiteit. Het vergemakkelijkt de standaardisatie en de hoge schaalbaarheid van de processen die op deze producten baseren. Om de verschillende koolstofbronnen om te zetten in nieuwe platformproducten zijn technische innovatie, schaalvergroting en de ontwikkeling van meerdere routes nodig. Dit moet gebeuren in nauwe samenwerking met technologieontwikkelaars, afvalindustrieën, universiteiten en de landbouwsector. Maar niet te vergeten de bedrijven met grote koolstofemissies, die als grondstof kunnen worden gebruikt. Dit wordt ook wel Carbon Capture and Utilisation (CCU) genoemd; het voorkomen dat koolstof in de lucht wordt uitgestoten, het omzetten hiervan in waardevolle producten en het creëren van nieuwe economische perspectieven. Duidelijke voorbeelden van sectoren met een hoge koolstofuitstoot en dus CCU-mogelijkheden zijn de staal- en cementindustrie.

Er moet een nieuwe industrie worden ontwikkeld en opgeschaald om alle waterstof te produceren die nodig is voor de industriële transitie. De traditionele, op fossiele brandstoffen gebaseerde industrie heeft het voordeel van meer dan honderd jaar industriële ontwikkeling. Hoewel de meeste van de elektrochemische routes niet nieuw zijn, zijn ze de afgelopen decennia niet actief verbeterd en geraffineerd, omdat olie en aardgas als competitiever werden beschouwd. Nu de koolstofprijzen stijgen en de hernieuwbare energiebronnen worden uitgebreid, moet de elektrochemie zich voorbereiden op haar rol in de industriële decarbonisatie. In dit verband zullen ook nieuwe samenwerkingsstructuren nodig zijn om technologieën te ontwikkelen samen met universiteiten, starters en technologie-instituten.

3 Power Purchase Agreement

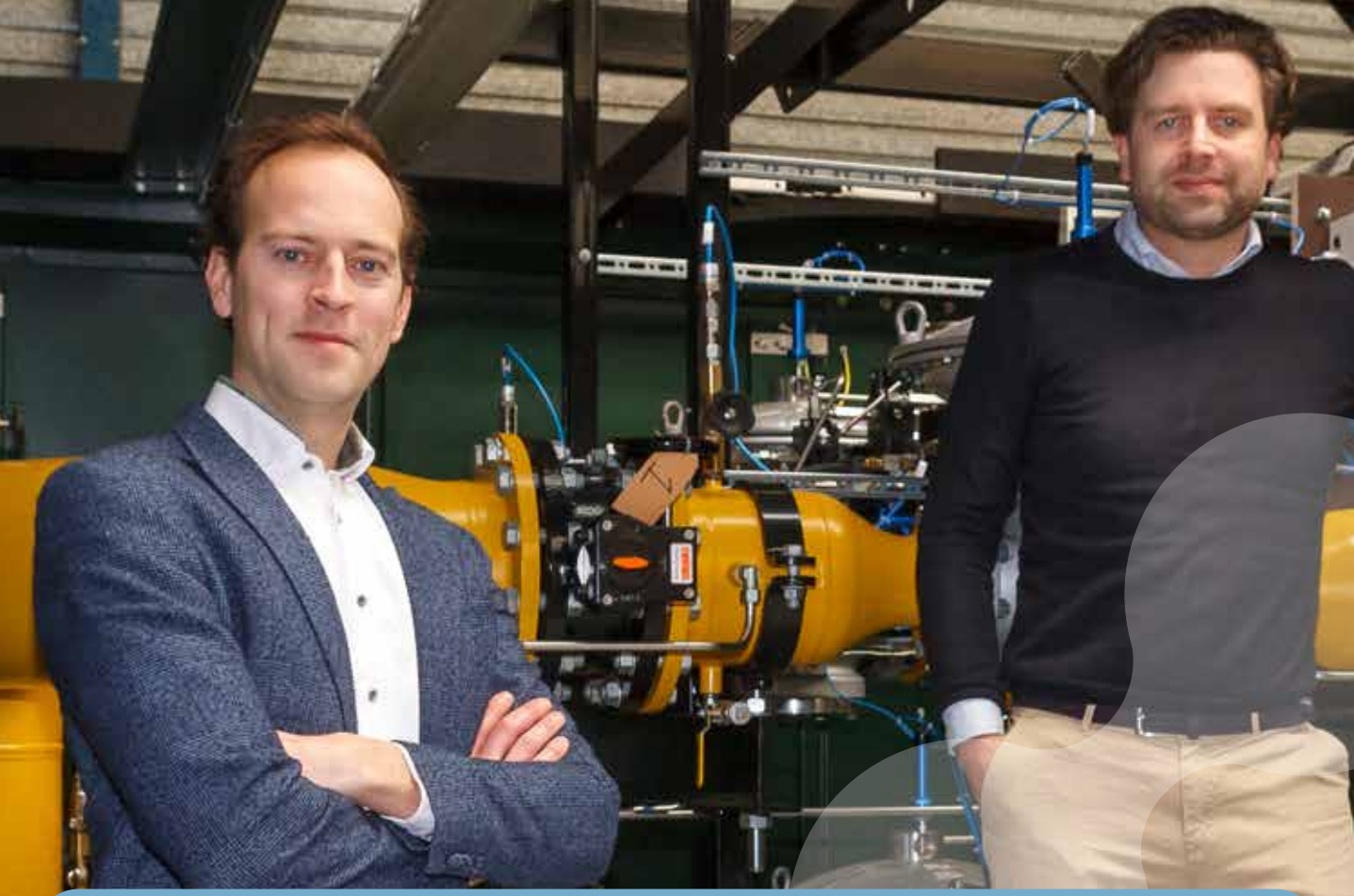
De belangrijkste grondstof voor de elektrochemische route is elektriciteit. De toegang tot groene stroom zal voor bijna alle routes essentieel zijn. Deze volumes gewoon van de energiemarkten kopen zal de kans op prijszekerheid op lange termijn beperken. De energiemarkt heeft een beperkte liquiditeit voorbij de twee tot drie jaar horizon, terwijl deze decarbonisatieopties op langere termijn zekerheid vereisen over de beschikbaarheid, de volumes en de prijsstelling. Daarom zal de ontwikkeling van nieuwe coöperatieve en contractuele structuren nodig zijn, waardoor de projecten toegang krijgen tot duurzame, beveiligde groene elektriciteit. Veel bedrijven onderzoeken de mogelijkheden om voor een periode van tien tot vijftien jaar concurrerende hernieuwbare energie te garanderen[4], soms met vaste of anders met vlottende/flexibele prijzen.

Economische kansen

Naast de vermindering van de CO_2-uitstoot is er nog een andere agenda die moet worden nagestreefd: de ontwikkeling van een nieuwe biogebaseerde en circulaire industrie met nieuwe economische kansen. In een maatschappij met een nulkoolstofuitstoot zullen producten nodig zijn die duurzaam geproduceerd moeten worden. Het creëren en aantrekken van dergelijke industrieën biedt een kans voor economische groei, duurzame banen, innovatie en een toekomstbestendige duurzame industrie.

Waterstof zal een cruciale rol spelen in deze overgang naar de biogebaseerde en circulaire economie. Het opzetten van nieuwe partnerschapsstructuren tussen sectoren die op dit moment geen connecties hebben, zal de andere belangrijke factor zijn voor onze toekomstbestendige industrie. Alleen samen kunnen we duurzame oplossingen voor onze toekomstige economie initiëren, bouwen en ontwikkelen, en waterstof zal in dit proces een essentiële rol spelen.

4 *WBCSD 2018: http://docs.wbcsd.org/2018/03/WBCSD_Innovation_PPA.PDF*



Christian Haket & Rutger de Vos

CHRISTIAN HAKET (1987) HEEFT WERKTUIGBOUWKUNDE GESTUDEERD AAN DE TU DELFT EN ZIJN OPLEIDING TIJDENS ZIJN CARRIÈRE AANGEVULD MET EEN PARTTIME BEDRIJFSKUNDIGE MASTER AAN NYENRODE.

Na zijn studie is hij zeven jaar werkzaam geweest bij Van Dorp, een van de grootste installatiebedrijven van Nederland, als bestuurssecretaris, sales & marketingmanager en interim-directeur van de vestiging Utrecht. Christian is investment manager bij Anders Invest van een viertal bedrijven en verantwoordelijk voor het leggen van de basis van het Greentech Fonds. Met dit fonds wil Anders Invest investeren in proposities op het snijvlak van techniek en de verduurzaming, onder andere op het gebied van biogas en waterstof.

Rutger de Vos (1984) heeft bedrijfskunde gestudeerd aan de Radboud Universiteit Nijmegen. Na zijn studie is hij drie jaar werkzaam geweest bij Capgemini, als projectmanager en consultant. Daarna werkte hij als manager corporate development vier jaar bij de Ubbink Groep (dochteronderneming Centrotec Sustainable AG).

In 2014 heeft Rutger Anders Invest mede opgericht. Anders Invest is een investeringsmaatschappij die op de lange termijn investeert in industriële MKB-bedrijven, Huurwoningen, Zorgvastgoed en Food&Agri in Nederland. Inmiddels werken er een kleine twintig mensen bij Anders Invest en zijn er zo'n 350 ondernemende investeerders die circa 200 miljoen euro hebben ingelegd. Rutger is sinds 2016 betrokken bij gAvilar, een deelneming van Anders Invest. gAvilar is ruim 160 jaar oud en produceert en ontwerpt oplossingen voor gasdrukregeltechniek. De laatste jaren werkt gAvilar proactief aan waterstofdistributie-oplossingen.

HET PERSPECTIEF VAN EEN LANGETERMIJNINVESTEERDER OP DE ENERGIETRANSITIE EN WATERSTOF

CHRISTIAN HAKET & RUTGER DE VOS

Energietransitie

De energietransitie die we als samenleving moeten maken is op nationaal niveau al een zeer complex geheel waar zowel politiek als technisch gezien de meningen diametraal ten opzichte van elkaar staan. Soms lijkt het dat je moet kiezen tussen óf (aard)gas óf elektriciteit. Er is veel discussie over wat wel of niet duurzaam is en over de route naar een CO_2-neutrale energievoorziening. Waar de meeste mensen het wel over eens zijn is dat onze energievoorziening op de schop moet. De problemen zitten echter niet alleen in de opwekking van energie, maar zeker ook bij het transport.

Er is internationale samenwerking en flexibiliteit nodig om tot de juiste oplossingen te komen. Flexibiliteit in energieopwekkers en in energiedragers. Anders Invest ziet waterstof hierin op lange termijn als een cruciaal element, waarbij we ervanuit gaan dat er een overschot zal ontstaan aan duurzame energie, dat de kosten van het maken van groene (en blauwe) waterstof radicaal zullen dalen, en dat waterstof daardoor een significante rol kan gaan vervullen in ons energiesysteem.

Anders Invest ziet de energietransitie daarom als een kans voor ondernemingen om op een financieel, maar ook maatschappelijk rendabele wijze een bijdrage te kunnen leveren aan deze grote uitdaging. Wij zien onszelf via onze portfoliobedrijven met name in de rol van ‘enabler’. Anders Invest zoekt naar innovatie binnen haar portfoliobedrijven om een bijdrage te kunnen leveren. Het gaat daarbij om initiatieven en technieken met een positieve businesscase die binnen een voor ons overzichtelijke termijn een bijdrage leveren. Daarmee is Anders Invest zelf niet zozeer een kennisvoerende partij, al hebben we wel een achtergrond in de industrie en hebben we affiniteit met techniek. Onze langetermijngerichtheid onderscheidt ons van de meeste andere investeringsmaatschappijen en stelt ons in staat om stabiliteit en focus te brengen bij bedrijven, twee randvoorwaarden voor investeringen nodig voor de energietransitie.

We investeren in bedrijven die technologie en producten ontwikkelen om de energietransitie mogelijk te maken. Veelal zijn dergelijke productontwikkelingen op de korte termijn niet rendabel, maar we zijn realistisch genoeg om te beseffen dat we er binnen een overzichtelijke termijn geld aan moeten kunnen verdienen. Voor gAvilar (zie verderop) is de energietransitie corebusiness, en anderen zijn zijdelings betrokken (bijvoorbeeld Vitotherm). We proberen vanuit de technische invalshoek sturing te geven aan ontwikkelingen, maar wel altijd vanuit een solide financiële basis, zo ook in ons duurzame energiefonds.

Duurzaam energiefonds

In 2019 zijn we van start gegaan met een nieuw fonds dat zich richt op investeringen in duurzame energie. De eerste investeringen doen we in enkele tienduizenden zonnepanelen op daken van ons eigen vastgoed. Om het ook voor externe partijen beschikbaar te stellen, hebben we een huurmodel ontwikkeld waarmee daken gehuurd kunnen worden om deze ook te voorzien van zonnepanelen. Vanuit deze basis kunnen we ook projecten aanpakken die op de korte termijn wellicht wat minder renderend zijn, maar op de langere termijn grote potentie laten zien. Richting de toekomst zal het duurzame energiefonds zich breder ontwikkelen, te denken aan windmolenparken, decentrale energieopwekking en distributie, geothermie én waterstof.

Investeringen in zonne- en windenergie zijn hard nodig en effectief als het gaat om kosten versus opbrengsten (inmiddels ook vaak zonder subsidie). Echter, de onbalans in de gelijktijdigheid met het gebruik zorgt ervoor dat stroom ergens opgeslagen moet worden en dat is zeker op grotere schaal niet te doen met accu's. Los van de milieubelasting van accu's zijn er onvoldoende grondstoffen beschikbaar. Het is nu zaak om net als in het begin van de ontwikkelingen in windmolens en zonnepanelen met behulp van subsidie een ontwikkelingssprong te gaan maken met waterstof. We zien dit bijvoorbeeld in Duitsland waar de overheid ervoor gezorgd heeft dat er in rap tempo veel waterstoftankstations gebouwd zijn. Gemeentes met zo'n waterstoftankstation kijken vervolgens welke toepassingen ze kunnen bedenken om de tankstations te benutten, aanbod creëert vraag.

Op het gebied van industrie en de gebouwde omgeving komen er inmiddels vragen over waterstoftoepassingen uit de markt richting enkele van onze deelnemingen. Veel van de oplossingen die we bedenken zijn op dit moment nog te duur, maar we zijn ervan overtuigd dat er een moment komt dat het economisch haalbaar wordt en dat is het moment waarop onze bedrijven klaar staan om oplossingen te bieden. Daarnaast is het goed te noemen dat we aardgas (en biogas) zeker niet uitsluiten, omdat buiten Nederland dit juist als relatief duurzaam alternatief gezien wordt. We kiezen vooralsnog voor flexibiliteit, een multigassenstrategie.

Voorwaardenscheppende overheid

De innovatiekracht van het bedrijfsleven is essentieel om de uitdaging van de energietransitie op te kunnen lossen. Het bedrijfsleven heeft hierbij de regie van de centrale overheid nodig. Het zou nog beter zijn wanneer dit vanuit Europa gebeurt, want het is veel effectiever om de Nederlandse uitgaven aan de energietransitie te gebruiken om bijvoorbeeld oude Poolse kolencentrales te vervangen in plaats van onze eigen moderne kolen- en gascentrales te sluiten en onze energieopwekking met zonnepanelen te doen (waar Nederland bepaald niet de beste plek voor is). We zien in ieder geval dat het gebrek aan regie nu een beperkende factor voor onze bedrijven is.

De uitdaging in Nederland zit wat ons betreft in de politiek waar enerzijds wel landelijke doelstellingen opgeschreven worden, maar waar anderzijds de uitvoering bij de lagere overheden wordt neergelegd die daar vervolgens stokt. Vergelijk het met het bouwen van woningen, dat verzandt nu ook in allerlei lokale procedures. Net als de woningbouw is de energietransitie te belangrijk om de uitvoering hiervan lokaal neer te leggen. Gemeentes maken afzonderlijk plannen om van het aardgas af te komen; daar krijg je de meest afwijkende suboptimale oplossingen van.

Daarnaast is er bij lagere overheden vaak weinig technische kennis aanwezig en dit wordt nog versterkt doordat een groot deel van de landelijke politiek slecht geïnformeerd wordt. Kamerleden moeten zich over dit soort thema's beter laten informeren en meer de regie pakken; de energietransitie moet geen lappendeken van lokale oplossingen worden, er moet een heldere landelijke strategie komen zonder oplossingsrichtingen dogmatisch uit te sluiten.

Dogmatisch versus pragmatisch

Waar we in de praktijk ook tegenaan lopen is dat in discussies over de energietransitie het veelal gaat over het na te streven ideaal. Er wordt weleens erg makkelijk gedaan over het pad naar dat ideaal, maar het meest efficiënte pad naar dit ideaal kan wel eens een richting op gaan die op het eerste gezicht niet voor de hand ligt. In onze ogen moeten en kunnen we nu geen oplossingsroutes gaan afsluiten, omdat we op dit moment nog niet precies weten hoe we ons ideaal moeten bereiken. Zo is het paradoxaal dat milieuorganisaties als Greenpeace bezwaar maken tegen het grootste klimaatproject in de Rotterdamse haven, namelijk de Carbon Capture Storage in de Noordzeebodem. Er zijn voldoende bezwaren te noemen, maar in één keer vanuit de huidige situatie naar een 100% CO_2-vrije economie is simpelweg onhaalbaar. Ook kernenergie moet een eerlijke kans krijgen, ondanks de politieke gevoeligheid rondom dit onderwerp.

Er is vanuit veel milieuorganisaties standaard een aversie tegen grote bedrijven. Het lijkt wel alsof bedrijven als Shell en de Gasunie per definitie fout zijn en het gebruik van (waterstof) gas in de energietransitie die bedrijven onterecht in de kaart speelt. Uiteraard valt er genoeg over Shell en hun rol in de klimaatdiscussie te zeggen, maar een gasloos all-electric Nederland is een utopie, zeker als je de exorbitante investeringen als argument in de discussie meeneemt. Ook zullen we voorlopig 'grijze' en 'blauwe' waterstof nodig hebben om een waterstofeconomie op te bouwen. 'Groene' waterstof is het ideaal, maar onze verwachting is dat de vraag naar waterstof voorlopig vele malen groter zal zijn dan het aanbod aan volledig duurzame waterstof.

gAvilar

gAvilar, opgericht als Meterfabriek Dordrecht in 1858, produceert en verkoopt onderdelen van gasnetwerken: gasdrukregelaars, gasdistributiestations en gasvoerende meterbeugels. Het bedrijf heeft al meerdere transities meegemaakt waaronder de groei van stadsgas midden 19de eeuw (stadsgas bestond al voor meer dan 50% uit waterstof!), de ontdekking van de aardgasbel in Slochteren in 1959 waardoor Nederland in razend tempo een gasnetwerk kreeg, en nu de transitie naar een verscheidenheid aan gassen (H-Gas, L-Gas, Groengas, Waterstof).

Zeer waarschijnlijk heeft u thuis een gasdrukregelaar gemaakt in Dordrecht in uw meterkast. Mede door de uitrol van het slimmemeterprogramma van de afgelopen jaren heeft gAvilar grote aantallen regelaars mogen leveren door heel Nederland. gAvilar zet haar diepgaande kennis op het gebied van gastechniek in om ons gasnet geschikt te maken voor het gebruik van verschillende soorten gassen, waaronder waterstof. Dit resulteert in enkele nieuwe producten die nu in de meest prominente pilotprojecten voor de gebouwde omgeving kunnen worden toegepast, momenteel is gAvilar vooral een kennispartner vanwege haar kennis op gas- en drukregeling en gasdistributie.

Op dit moment is meestoken van waterstof in de CV-ketel in Nederland nog geen hot topic, omdat waterstof een veel hogere economische waarde heeft in de industrie en de mobiliteit. Maar als bedrijf en als sector is er wel de wens om voorop te lopen in de ontwikkelingen om in ieder geval klaar te staan op het moment dat dergelijke ontwikkelingen in Nederland gaan versnellen. Mede door goede ondersteuning door KIWA en TKI Nieuw Gas, is het klimaat om vanuit de industrie nieuwe gasgerelateerde producten te ontwikkelen goed. Dat biedt kansen om in andere landen competitief te kunnen zijn waar meerdere projecten met betrekking tot waterstof in woningen opgestart worden, bijvoorbeeld in Denemarken, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk.

gAvilar is samen met partners, met ondersteuning van de drie grote netbeheerders in Nederland en met subsidie van de Topsector Energie het H2@Home-project gestart, wat gedemonstreerd gaat worden op de Green Village van de TU Delft. In dit project worden verschillende producten getest om veilig gebruik van waterstof in de woning te bereiken. gAvilar heeft de bestaande gasdrukregelaar voor woningen aangepast voor waterstof en deze tevens voorzien van een extra veiligheid. Deze veiligheid is gepatenteerd en sluit de gastoevoer af wanneer er waterstof of een brand in de woning gedetecteerd wordt door verschillende sensoren die in de woning geplaatst worden. Deze regelaar is zo ontwikkeld dat deze op smart home systemen aan te sluiten is. Voor het Entrance project in Hoogeveen wordt de apparatuur van gAvilar getest.

Naast gasdrukregeling in de woning is gAvilar actief in het distributienet, in toenemende mate met oplossingen voor het hogedruknet (Gasunie) en gAvilar levert al jaren distributiestations voor het lagedrukdistributienet beheerd door de netbeheerders. Er is een distributiestation aangepast om met waterstof te kunnen functioneren en deze wordt getest op de Green Village in Delft. gAvilar heeft in het verlengde hiervan een bijzonder meetsysteem ontwikkeld dat niet alleen het volume, maar ook de energie-inhoud van gasmengsels meet. Dit is een toevoeging op een Elektronisch Volume Herleidingsinstrument (EVHI) dat al langer wordt gebruikt op grotere gasaansluitingen om een mechanische gasmeting naar temperatuur en druk te corrigeren. De nieuwe EVHI die in 2020 wordt geïntroduceerd kan toegepast worden in situaties waarin de gassamenstelling varieert en daarmee dus ook de calorische waarde en de prijs.

gAvilar is ook actief op het beoordelen van de kwaliteit van biogas voordat het als groengas in het gasnetwerk wordt geïnjecteerd (Bio2Grid). Er zijn enkele tientallen systemen in Nederland, België en enkele andere landen geleverd. Deze systemen zouden met aanpassingen ook geschikt gemaakt kunnen worden voor het invoeden van waterstof in bestaande gasnetwerken.

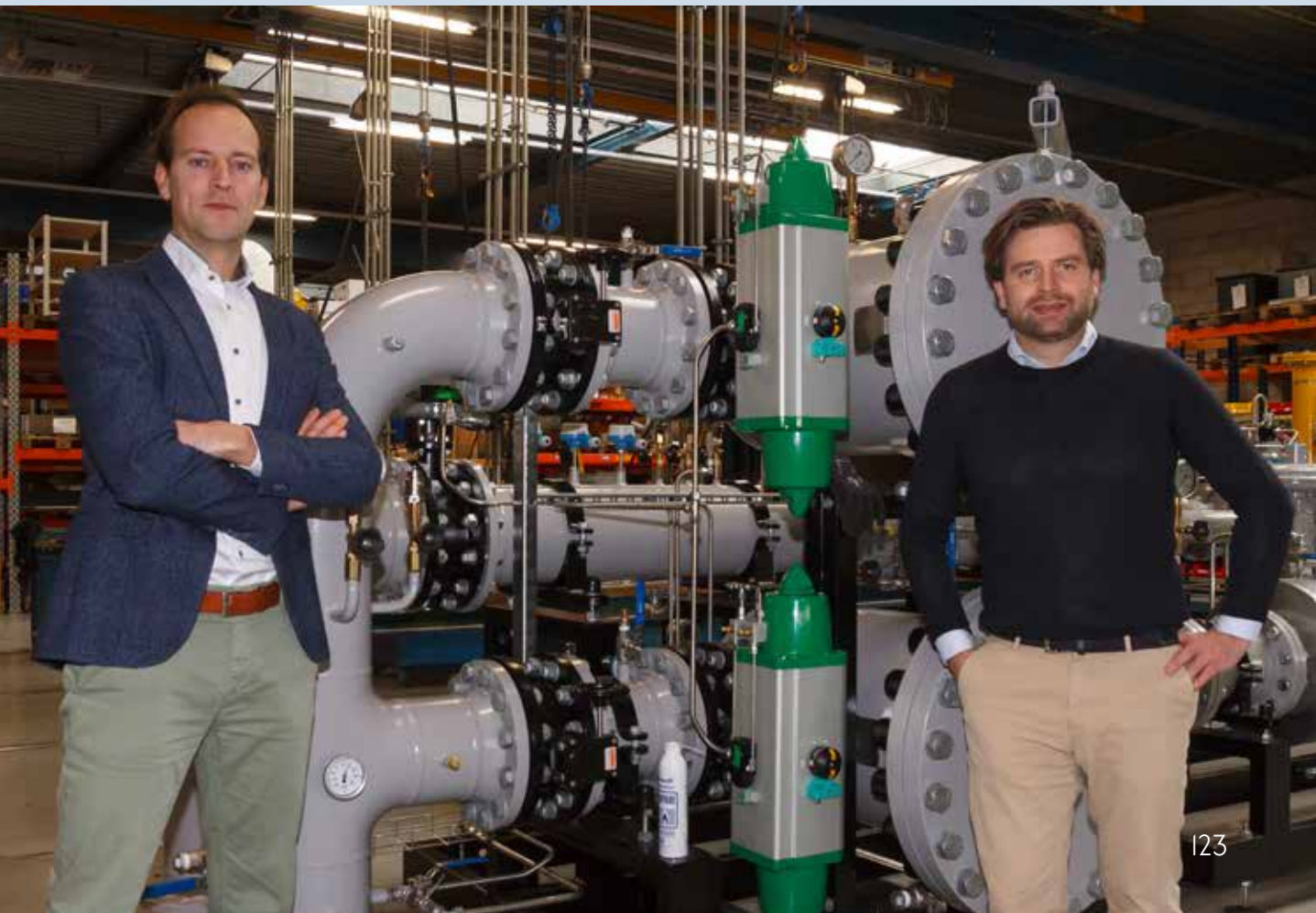
Waterstoftoekomst binnen Anders Invest

Een ander bedrijf binnen het portfolio die ontwikkelingen op het vlak van waterstof maakt, is Vitotherm. Vitotherm is een branderfabrikant, hoofdzakelijk actief in branders voor de glastuinbouw, deze worden wereldwijd geleverd. In toenemende mate zien we interesse ontstaan van afnemers buiten de glastuinbouw om een brander op waterstof te gaan ontwikkelen. Tot op heden zijn dit soort initiatieven nog niet uitvoerbaar, omdat er technische of financiële barrières zijn. Echter zodra het tot concrete aanvragen komt dan is Vitotherm in staat en bereid om haar kennis in te zetten om een dergelijke brander te ontwikkelen.

Er is een gerede kans dat waterstofbranders in allerlei toepassingsgebieden in de toekomst onderdeel zullen gaan uitmaken van de corebusiness van Vitotherm.

We zijn ons bewust dat waterstof een weg van een lange adem is, en dat de toekomstige impact op dit moment nog wordt onderschat. Wat wij echter ook constateren is dat het bouwen aan het energiesysteem van de toekomst nu al leidt tot concrete afgeleide ideeën die al op veel kortere termijn toepasbaar zijn. Daar zien we nu al de eerste voordelen van. Dus wij zullen binnen ons portfolio waterstofontwikkelingen op pragmatische wijze blijven ondersteunen. Wat we hierbij wel nodig hebben om als langetermijninvesteerder succesvol te zijn is een overheid die zich beter laat informeren, haar rol beter gaat pakken en met een duidelijke strategie komt die geen oplossingen dogmatisch uitsluit.

Anders Invest is een investeringsmaatschappij die zich richt op het Nederlandse MKB met een technisch karakter en bewezen omzet- en winstcapaciteit. Zij stelt risicodragend kapitaal ter beschikking van € 1 tot € 50 miljoen ten behoeve van zowel minderheids- als meerderheidsbelangen. Het Anders Invest Evergreen Fund heeft geïnvesteerd in zestien succesvolle en groeiende ondernemingen: Metalura, gAvilar, Stackdoor/Multideur, Kiekens, Bos Machines, Lagersmit, Vitotherm, Brabant Groep, Numafa, Mosman/Solex, Groku, De Waal Staal, Aldowa, Visscher Caravelle en Van Dam Machine. De aanpak van Anders Invest onderscheidt zich door focus op de lange termijn, duurzame waardeontwikkeling (slow equity), praktische en actieve managementondersteuning (supportive) en een eerlijke en transparante benadering (straight).



Rob van Hattum

ROB VAN HATTUM (1955) MAAKT AL RUIM VEERTIG JAAR RADIO- EN TELEVISIEPROGRAMMA'S OVER WETENSCHAP EN TECHNOLOGIE. HIJ IS EINDREDACTEUR WETENSCHAP BIJ DE VPRO EN VOORMALIG PRESENTATOR VAN DE NATIONALE WETENSCHAPS QUIZ. DAARNAAST HEEFT HIJ DE LAATSTE JAREN EEN AANTAL SPRAAKMAKENDE DOCUMENTAIRES VOOR HET PROGRAMMA TEGENLICHT GEMAAKT.

Zijn programma 'Afval is voedsel' introduceerde het Cradle to Cradle- concept in Nederland en ontketende een ware revolutie in het denken over duurzaamheid.

In 2008 leidde zijn documentaire Here Comes The Sun – over het Duitse Zonne-energiemodel – tot Kamervragen of Nederland ook niet moest beginnen aan grootschalige invoering van zonne-energie.

Hij won met zijn programma's verschillende nationale en internationale prijzen. In 2012 kreeg hij van NWO en de KNAW de Eurekaprijs voor zijn gehele oeuvre. Naast zijn werk voor 'Tegenlicht' presenteerde hij onlangs de wetenschapsserie 'Grote Vragen'.

Rob van Hattum is sinds 2000 ook betrokken bij NEMO Science Museum, eerst als inhoudelijk directeur en momenteel als Chief Science Officer. NEMO heeft als missie om op een interactieve en laagdrempelige manier wetenschap en technologie dichter bij het publiek te brengen. Van Hattum is verantwoordelijk voor de wetenschappelijke invulling van het wetenschapsmuseum aan het IJ in Amsterdam. NEMO is het vijfde best bezochte museum van Nederland.

WATERSTOF: DE EEUWIGE BELOFTE?

ROB VAN HATTUM

In 1980 verscheen het boek 'Wasserstoff, Energie für alle Zeiten' van Bockris en Justi. Ik studeerde filosofie en natuurkunde en kwam het boek toevallig tegen in de wetenschappelijke boekhandel. Wellicht pakte ik het boek uit het schap, omdat ik een paar maanden daarvoor op een minibijeenkomst, van bouwers van voornamelijk goedbedoelde, veelal zelfgemaakte windmolens en zonnecollectoren, iemand zag staan die zelf waterstof maakte. Hij had een kleine waterstofgenerator gebouwd en sloeg zo de elektriciteit van zijn kleine windmolen op. Eind jaren 70 begin 80 was de tijd van de 'alternatieve energiebronnen', eigenlijk door iedereen beschouwd als een vorm van hippie-technologie. Het was de tijd van Grenzen aan de Groei, de autarkische communes en de Kleine Aarde.

Het Duitse boek van Bockris en Justi bleek duidelijk een stap verder te gaan. Het was zeker geen hippieboekje, maar een gedegen overzichtswerk van de mogelijkheid om een waterstofeconomie op te zetten. Een maatschappij waarin waterstof een belangrijke energiedrager was, een samenleving waarin grootschalige elektriciteitsproductie zou plaats gaan vinden als gevolg van de ontwikkeling van de explosieve groei van kernenergie, snelle kweekreactoren, hogetemperatuurreactoren, fusiereactoren en misschien ook wel zonnecentrales en windenergie. Elektriciteit was de toekomst, alleen was er één probleem, het laat zich lastig opslaan en lang niet alle energie-intensieve industriële processen zijn met elektriciteit te realiseren. Het klinkt bekend in de oren: er was grote behoefte aan een schone energiedrager.

In 1981 kreeg ik het aanbod om een radioprogramma te maken voor de KRO, ik pitchte een verhaal met als titel Brandend Water en mocht vervolgens een twee uur durende radiodocumentaire[1] maken over de mogelijkheden van een Waterstofeconomie.

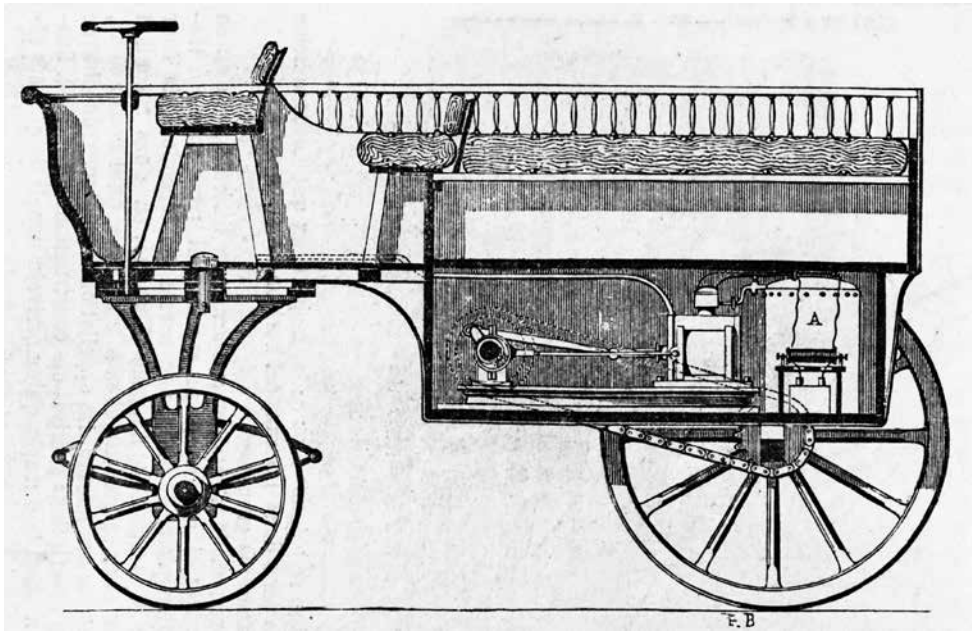
Ik ging onder andere langs bij deskundigen van DSM, TNO, Bekeart en zocht de amateur op die zijn eigen waterstofgenerator had gebouwd.

De documentaire leerde mij een paar belangrijke dingen. Waterstof als energiedrager is een oud idee en heeft enorme potentie. TNO had halverwege de jaren zeventig een uiterst volledig rapport[2] over de mogelijkheden van een waterstofeconomie in Nederland geschreven. Alle elementen waren uitgewerkt en doorgerekend en technisch leken er geen belemmeringen. Economisch natuurlijk wel en ook waren olie en gas nog dermate dominant dat de weerstand tegen een nieuwe energiedrager enorm was. Voor de 'gewone man' was waterstof iets van de middelbare school (knalgas) of men moest denken aan het ongeluk met de Hindenburg.

1 *Deze documentaire is nog te beluisteren via : https://www.vpro.nl/programmas/tegenlicht/lees/bijlagen/2018-2019/Deltaplan-waterstof/brandend-water.html*

2 *Waterstof als energiedrager, toekomstige mogelijkheden in Nederland (TNO - 1975).*

Maar de Jules Verne lezers, wisten beter. Verne had het in 1872 al over waterstof als brandstof in zijn boek Het Geheimzinnige Eiland. Dat was een paar jaar nadat Etienne Lenoir zijn Hippomobiel bouwde, de eerste auto op waterstofgas die toch al gauw een snelheid van acht kilometer per uur haalde. Het 'Watergas' werd gemaakt met elektrolyse.



De Hippomobiel, het eerste waterstofvoertuig, (CC)

Ik leerde ook van de deskundigen dat het zeker nog tot het jaar 2000 zou duren voor waterstof een rol van betekenis zou gaan spelen.

Inderdaad gebeurde er de decennia die erop volgden niet veel op waterstofgebied. De snelle kweekreactoren kwamen er niet, kernenergie had zo z'n ongelukken en kwam de belofte van een mondiale overproductie van elektriciteit niet na en zonne- en windenergie bleven vooralsnog het predicaat 'hippietechnologie' houden.
Ik bleef de ontwikkelingen volgen. Duitsland bleek het meest vasthoudend. In de jaren 80 kwam de Duitse natuurkundige Reinhard Dahlberg al met het idee om grootschalig waterstof-zonnecentrales te bouwen in tropische gebieden. Ik maakte in 1991 voor NOS-Laat een reportage over de opening van de eerste experimentele zonne-waterstofcentrale in Duitsland, in Neunburg vorm Wald. Ook BMW en Linde Gas en Bölkow Bohm hielden zich toen in Duitsland al serieus bezig met waterstof-verbrandingsmotoren in auto's. Maar desondanks schoot het niet op.

25 Jaar na mijn eerste documentaire over waterstof werkte ik voor het programma Tegenlicht van de VPRO en bracht Jeremy Rifkin het boek 'The Hydrogen Economy' uit. Rifkin was een soort duurzaamheidgoeroe en adviseur van de Europese Unie. Ik had het geluk dat ik hem in Brussel kon interviewen en hij had een meesterlijk verhaal over de mogelijkheden van waterstof. Zo voorspelde hij een soort energie-internet waarin zelfopgewekte elektriciteit verhandeld kan worden via zogeheten Microgrids waarin waterstofopslag een belangrijke rol zou gaan spelen.

De tijd leek dus rijp voor een nieuwe documentaire over waterstof. Opnieuw twee uur, maar nu voor televisie; 'De waterstof revolutie'[3]. Naast Rifkin zat ook toenmalig Shell CEO, Jeroen van der Veer in de uitzending, omdat hij het eerste Shell waterstoftankstation opende, op IJsland, want IJsland zou volledig overgaan op waterstof. Daarnaast voorspelden verschillende mensen dat de olieproductie alleen nog maar kon afnemen, een theorie beter bekend als Peak Oil. General Motors bouwde een proeffabriek voor waterstofauto's die binnen tien jaar op de markt moesten verschijnen. Er leek inderdaad een ware revolutie op komst en Rifkin was de profeet.

Het pakte anders uit, IJsland werd geen waterstofeiland, brandstofcellen bleven duur, General Motors kwam in zwaar weer, de behoefte aan olie bleek alleen maar te stijgen en van een tekort aan fossiele brandstof bleek vooralsnog geen sprake. Daarnaast kreeg de waterstofauto in 2004 een geduchte concurrent, de batterijauto. Idee was dat je met waterstof een schone elektrische auto kon ontwikkelen. Dat idee klopt natuurlijk, alleen begon de batterij aan een niet te stuiten opmars als gevolg van de opkomst van draagbare elektronica, vooral laptops. En een nieuwe profeet stond op, eentje die niets ophad met waterstof: Elon Musk. General Motors had in een vlaag van verstandsverbijstering zijn volledig elektrische auto, de EV1, in 2003 ten grave gedragen. Voor Elon Musk was dat het signaal om een begin te maken met een nieuwe onderneming: Tesla. Hij maakte de elektrische auto opeens hip en bouwde de stoere Roadster. De rest is geschiedenis.

De batterijauto maakte de waterstofauto overbodig. Voorlopig in ieder geval. Maar na 2010 begon ook de duurzame energieomslag vorm te krijgen. Het klimaat werd letterlijk een hot-topic. De 'Hippietechnologie' van weleer was volwassen en betaalbaar geworden. Zonne- en windenergie daalde snel in prijs en werd zelfs hier en daar goedkoper dan fossiele elektriciteit. Alleen het fluctuerende aanbod van duurzame bronnen bleef een grote bron van zorgen. Opnieuw komt waterstof als energiedrager naar boven. Als we op grote schaal over willen gaan op het duurzaam opwekken van elektriciteit, als we ons fossiele autopark willen omschakelen naar elektrische auto's, als de mondiale elektrificatie doorzet dan hebben we opslagsystemen nodig. Opslag voor de momenten dat het niet waait of nacht is, een schoon opslagmiddel voor elektronen dat gebruikt kan worden als batterijen geen optie zijn. Een systeem waarin we met groot gemak de duurzame energie kunnen opslaan in moleculen, waarin elektrochemie de standaard wordt voor de opslag van energie voor industriële processen, voor verwarming, voor vervoer... voor alles. En dat kan allemaal met waterstof.

In 2019 maakte ik opnieuw een Tegenlicht over waterstof, deze keer met de illustere titel: Deltaplan Waterstof[4]. Waarom? De Nederlandse overheid kwam met de mededeling dat we van het gas af moeten. Paniek en onbegrip was het gevolg. We zijn een gasland. Zo'n 7.500.000 woningen zijn in Nederland aangesloten op het gasnet en verreweg het grootste deel daarvan is voor verwarming afhankelijk van aardgas. Maar ook de industrie is voor een groot deel afhankelijk van gas. Hoe gaan we dat doen?

---

3 *https://www.vpro.nl/programmas/tegenlicht/kijk/afleveringen/2003-2004/de-waterstofrevolutie.html*

4 *https://www.vpro.nl/programmas/tegenlicht/kijk/afleveringen/2018-2019/deltaplan-waterstof.html*

Waterstofstation IJsland

De Tegenlicht Deltaplan Waterstof ging over de ideeën van de Gasunie die experimenteert met de opslag van waterstof in enorme zoutcavernes, over de Kiwa die ons gasnet analyseerde en tot de conclusie kwam dat ons gasnet met enige aanpassing en relatief weinig geld heel geschikt te maken is voor waterstof. Het ging over de provincie Groningen die met haar kennis van gas heel graag de waterstofprovincie van Nederland zou willen worden. Over mooie experimenten met waterstofverwarmingsketels, over waterstofwindparken op zee en over een dorp in Zeeuws-Vlaanderen waar men zelf waterstof wil opwekken met hun eigen windmolen. Ik heb het gevoel dat ik terug bij het begin ben.

In 2018 werd in Nederland de waterstofcoalitie opgericht, een bonte verzameling van 27 kennisinstituten, milieuorganisaties en bedrijven die pleiten voor .... een duurzame waterstofeconomie. Japan gaat de Waterstof Olympische Spelen organiseren. Wang Gang, de Chinese minister van Wetenschap en Technologie kondigde in september 2019 aan dat China een Waterstofland[5] gaat worden. In juli 2020 maakte de EU bekend dat ze in 2030 10 miljoen ton groene waterstof willen produceren. En in november 2020 werd het European Green Hydrogen Acceleration Center gelanceerd, daar werd de verwachting uitgesproken dat de waterstofeconomie de komende 5 jaar met 100 miljard euro gaat groeien. Nederlandse bedrijven presenteerden rond diezelfde tijd samen een investeringsplan om de komende jaren 9 miljard in waterstof te gaan stoppen.

Gaat het er nu eindelijk echt van komen of blijft waterstof de eeuwige belofte?

5 *https://www.cleantech.com/hydrogen-in-china/*

“GAAT HET ER NU
EINDELIJK ECHT
VAN KOMEN OF BLIJFT
WATERSTOF DE
EEUWIGE BELOFTE?”

Peter Heijboer & Babette Korevaar

Ing. Peter Heijboer is senior adviseur bij DWA en werkt daar al 25 jaar aan allerlei warmte- en koude-concepten en het verduurzamen van gebouwen en gebieden. De laatste jaren heeft hij zich verdiept in met name transitiestudies, waarbij hij voor gebieden – van een buurt of wijk tot een complexer gebied met gemengde functies – analyseert wat voor aardgas het meest kansrijke alternatief is; technisch, organisatorisch en financieel.

Babette Korevaar MSc, werkte begin 2020 als afstudeerder voor DWA aan het onderwerp waterstof. Waar het uitgangspunt van DWA steeds was dat dit op de korte termijn geen relevant alternatief is voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving, werkt DWA steeds vaker in opdracht van collectieven van bewoners. Die vragen om het uitwerken van dit alternatief, dus dan is het belangrijk dat de kennis actueel blijft.

Ing. Jaap Dijkgraaf is algemeen directeur van DWA en is een belangrijke aanjager van de gemeenschappelijke drijfveer van het bureau: wij maken duurzaamheid werkend. Als ingenieurs- en adviesbureau dat al ruim drie decennia aan de verduurzaming van de gebouwde omgeving werkt, bevindt het zich voor op de transitiegolf. Dat vraagt om een open en onderzoekende houding naar alle alternatieven die bijdragen aan de verduurzaming van onze leefomgeving.

WATERSTOF: EEN KORTSTONDIGE HYPE OF HÉT ULTIEME AARDGASVRIJE ALTERNATIEF

WATERSTOF IN VERGELIJKING MET ALTERNATIEVE AARDGASVRIJE OPTIES IN DE GEBOUWDE OMGEVING

PETER HEIJBOER, BABETTE KOREVAAR & JAAP DIJKGRAAF

DWA

Nederland gaat van het aardgas af. Stip op de horizon is 2050. Hoe we dat precies gaan doen, is nog een zoektocht. Momenteel wordt waterstof gezien als een belangrijke doorbraak in duurzame energie en is daardoor veel besproken in de media. 'Shell en Gasunie investeren in Europa's grootste waterstofproject', 'Flat in Rozenburg deels verwarmd door waterstof', 'De wereld kan rekenen op waterstof' en 'Hoogeveen bouwt de eerste waterstofwijk in Nederland' zijn onderwerpen waarmee we dagelijks worden geconfronteerd. Sommige initiatieven lijken zich zelfs te richten op waterstofproductie voor Nederland in de Sahara. Deze waterstofhype beïnvloedt de publieke opinie, waardoor de indruk ontstaat dat waterstof dé oplossing is voor de energietransitie in de gebouwde omgeving. Bewoners, maar ook overheden worden hierdoor beïnvloed. De vraag is hoe we de ontwikkelingen rondom waterstof moeten duiden bij het aardgasvrij maken van bestaande woonwijken.

Waar hebben we het over?

Waterstof is een hoogenergetische stof die voor veel doeleinden gebruikt kan worden. In veel sectoren kan deze energiedrager worden ingezet, zowel als brandstof, opslag van energie of als grondstof. Denk aan de Industrie of aan Transport & Mobiliteit. Waterstof zou ook gebruikt kunnen worden als alternatief voor aardgas in de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving. De potentie van waterstof is over het algemeen bekend, maar er is weinig zicht op hoe waterstofsystemen zich verhouden tot andere aardgasvrije opties; niet vanuit een technisch en niet vanuit economisch oogpunt. Sommige visies in de media wekken het idee dat we kunnen vertrouwen op de opkomst van waterstof. Waterstof wordt daarbij geschetst als het 'makkelijke' aardgasvrije alternatief. Men gaat ervan uit dat over een aantal jaar waterstof tegen een betaalbare prijs door de bestaande aardgasleidingen wordt gepompt. Waterstof is tot op heden echter een schaars goed. En aan schaarse goederen hangen hoge prijzen. De vraag is of de inzet van waterstof ooit de goedkopere aardgasvrije optie wordt voor de gebouwde omgeving. En: moeten we hier op wachten? Alles valt of staat met de kostprijs van waterstof en hoe deze zich in de toekomst gaat ontwikkelen.

Prijsopbouw van waterstof

Het aardgasvrij maken van gebouwen wordt gedaan om de CO_2-emissie van de gebouwde omgeving te verlagen. In dat kader is het van belang om voor ons betoog uit te gaan van groene waterstof. Groene waterstof wordt geproduceerd door elektrolyse, die wordt gevoed met hernieuwbare elektriciteit. Er zijn recente onderzoeken waarin wordt verondersteld dat de productiekosten voor waterstofproductie op 1,0 €/kg zouden kunnen uitkomen rond 2030. Aangenomen wordt dat dit haalbaar is vanwege opschaling, technologische vernieuwing en lage kosten van elektriciteitsproductie uit de zon, bijvoorbeeld in de Sahara. De productiekosten van waterstof zijn dan omgerekend 8,3 €/GJ. Ter vergelijking: voor aardgas betaalt een bewoner momenteel 18,7 €/GJ (inclusief energiebelasting).

Om die productiekosten van 1,0 €/kg op waarde te kunnen schatten, moeten ook de aanvullende kosten in de waterstofketen meegenomen worden; van productie tot eindgebruiker. Zo spelen opslagkosten een rol, vanwege de mismatch tussen de waterstofvraag (met name in de winter) en elektriciteitsproductie (met zon is dit vooral in de zomer). In een onderzoek van CE Delft zijn de integrale ketenkosten voor het produceren van groene waterstof, met gebruik van Nederlandse elektriciteit geproduceerd door windturbines op zee, geschat op ongeveer 5,2 €/kg in de huidige situatie (2020) en circa 3,0 €/kg in 2030. De integrale ketenkosten voor waterstof dat geïmporteerd wordt uit Noord-Afrika zou in 2030 op circa 2,2 €/kg kunnen uitkomen.

De productiekosten, al dan niet over de gehele keten, is nog iets anders dan de consumentenprijs. Kijkend naar de kostenopbouw van aardgas bepaalt de handelsprijs van aardgas momenteel slechts zo'n 26% procent van de totale kosten. De overige kosten worden gemaakt voor de distributie, levering, klantenservice, energiebelasting en toeslagen. Naar dat laatste kunnen we nu alleen een slag slaan, maar het lijkt waarschijnlijk dat belastingen en toeslagen ook van toepassing zullen zijn op waterstof.

Laten we kijken naar de kosten voor die distributie. Waterstof heeft een ruim driemaal lagere energie-inhoud per m^3 dan aardgas. Er moet dus meer m^3 waterstofgas naar eindgebruikers worden getransporteerd om dezelfde hoeveelheid energie te leveren. Hierdoor dient de stroomsnelheid door of de capaciteit van de pijpleiding opgevoerd te worden, wat veel complexiteit meebrengt voor de netbeheerders. In een onderzoek door Kiwa wordt verwacht dat de netwerkkosten zullen stijgen met 10 tot 50% per woning per jaar. Waterstofgas heeft namelijk een kleinere moleculaire dichtheid dan aardgas, dus het aardgasnet moet extra beschermd worden tegen lekkages.

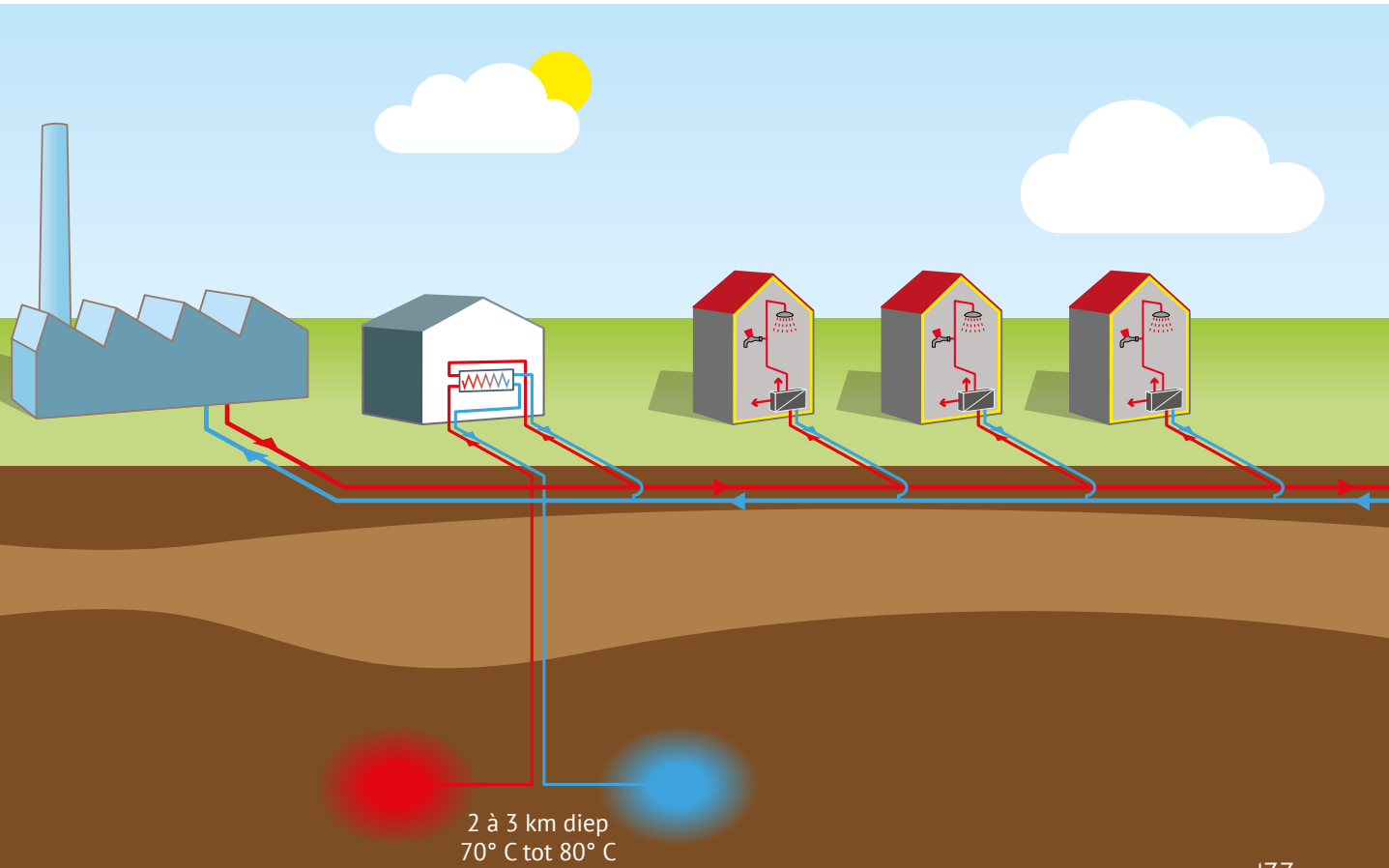
Wanneer we het bestaande aardgasnet in zijn geheel omzetten naar waterstof, is een ombouwactie nodig. Netbeheerders gaan de kosten die daarmee gemoeid zijn doorberekenen aan eindgebruikers. Hoe deze kosten precies verdeeld worden over vaste en variabele leveringskosten is nog gissen. Resultaat is dat ook de waterstof uit de Sahara uiteindelijk een totaalprijs krijgt die alle kosten in de keten moet dekken. En dan is het concurrentie-effect nog niet meegenomen. Het aardgasverbruik in de transportsector en in de industrie terugdringen is immers een veel lastiger klus dan in de gebouwde omgeving, dus de bereidheid om voor waterstof te betalen zal groter zijn aangezien zij minder alternatieven ter beschikking zullen hebben. Dit zal mogelijk de prijs op kunnen drijven.

Voor de berekeningen in dit artikel gaan we van een optimistisch prijsscenario uit voor waterstof, namelijk van een huidige prijs van 5,5 €/kg en 2% prijsreductie per jaar. Dan kom je op 4,5 €/kg in 2030 en 3,7 €/kg in 2040.

Waterstof ten opzichte van andere aardgasvrije alternatieven

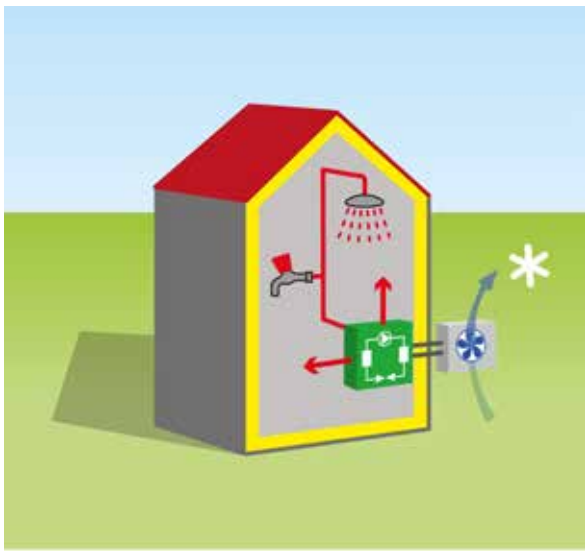
Om inzicht te krijgen in de kosten van het aardgasvrij maken van een woonwijk, nemen we een concrete (maar geanonimiseerde) casus van een dichtbebouwde stadswijk met 5.000 woningen die gebouwd zijn rond 1910. Daarbij vergelijken we drie verschillende routes naar aardgasvrij, die we hieronder toelichten.

Route 1 – Warmtenet met aanvoertemperatuur van 70 °C
De eerste route gaat uit van de aanleg van een warmtenet met een aanvoertemperatuur van 70 °C. Deze temperatuur is te produceren vanuit geothermie of restwarmte uit de industrie. Bij deze oplossing wordt iedere woning uitgerust met een afleverset, die de stadswarmte omzet naar direct bruikbare warmte voor ruimteverwarming of tapwaterverwarming. Door de relatief hoge temperatuur van de bron is het niet strikt noodzakelijk om de schilisolatie van de woning aan te passen, hoewel dit vanuit energiebesparingsoogpunt altijd aan te bevelen is. Veel woningen zijn in de loop der tijd al extra geïsoleerd waardoor de bestaande radiatoren met cv-water van 70 °C kunnen functioneren. Als dit niet het geval is, zullen de radiatoren enigszins moeten worden vergroot en/of voorzien worden van boosterventilatoren. Nadat het warmtenet in bedrijf is, kan bij route 1 de bestaande aardgasinfrastuctuur verwijderd worden.



Route 2 – Waterstof via het bestaande aardgasnet
Het voordeel van route 2 is dat de bestaande aardgasinfrastructuur gehandhaafd blijft. Waarschijnlijk moeten bepaalde delen van het gasnet vervangen worden om dit geschikt te maken voor waterstofdistributie. In de woningen dient enkel de bestaande cv-ketel te worden vervangen door een waterstofketel. Er zijn geen aanpassingen nodig aan de radiatoren gezien de afgiftetemperatuur van de cv-ketel en waterstofketel overeenkomen. Verbetering van de schilisolatie is, net als in route 1, niet vereist.

Route 3 – Individuele all-electric oplossing
Als derde route is een all-electric oplossing uitgewerkt, waarbij elke woning een buitenluchtwarmtepomp krijgt.



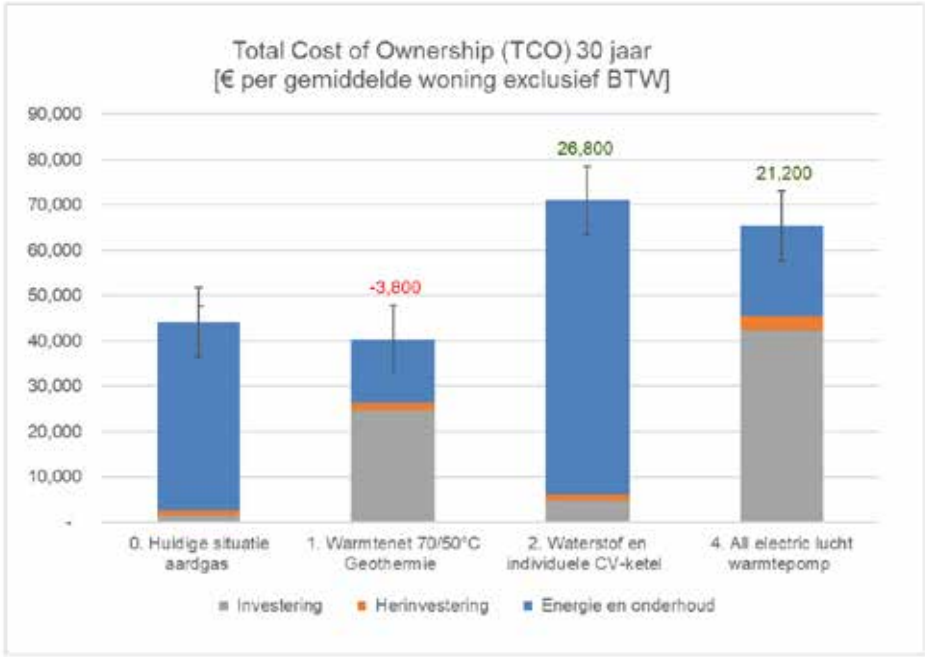
Deze luchtwarmtepompen benutten de energie uit de buitenlucht om warmte mee te maken voor ruimteverwarming en de bereiding van warm tapwater. Voor het behalen van een acceptabel comfort moet de woning voorzien worden van een vergaand pakket van isolatiemaatregelen. We gaan ervan uit dat de cv-temperatuur maximaal 50 °C wordt. Bestaande radiatoren moeten worden vervangen door convectoren, vloerverwarming of vergrote radiatoren.

Het elektriciteitsnet is in deze bestaande wijk niet berekend op het extra elektrische vermogen die de warmtepompen vragen en moet dus verzwaard worden. De bestaande aardgasinfrastuctuur kan verwijderd worden.

Integrale kostenanalyse

Om een goed beeld te kunnen geven van de financiële consequenties van de verschillende routes is een integrale kostenanalyse (IKA) opgezet. Een integrale kostenanalyse is een methode om alle kosten in de keten van warmteopwekking tot en met aanpassingen in de woningen te kunnen berekenen. In deze berekening zijn ook kosten voor de infrastructuur meegenomen, zoals het verzwaren van het elektriciteitsnet, het aanpassen of verwijderen van het aardgasnet.

Deze integrale kosten zijn uitgedrukt als Total Costs of Ownership (TCO) per woning over een periode van dertig jaar. In deze TCO zijn de investeringen, jaarlijkse energie- en onderhoudskosten en de benodigde herinvesteringen opgenomen. De resultaten voor de drie onderzochte routes naar aardgasvrij staan in Grafiek 1. Ter vergelijking is ook de huidige situatie met aardgasketels doorgerekend waarbij de huidige consumentenprijs voor aardgas is aangehouden. Route 1 met warmtenet 70 °C gaat uit van geothermie als warmtebron. In de waterstofprijs is geen energiebelasting opgenomen. In alle routes gaan de bewoners elektrisch koken.



Grafiek 1: Total Cost of Ownership (TCO) 30 jaar voor de huidige situatie en de 3 voorgestelde aardgasvrij routes

Waterstof lijkt een goedkope oplossing omdat het aardgasnet grotendeels gehandhaafd kan blijven en er nauwelijks aanpassingen aan de woningen nodig zijn. Echter, de hoge kosten van waterstof zorgen ervoor dat de TCO voor de onderzochte wijk hoger uitkomen dan de andere alternatieven.

Route 1 leidt tot de laagste kosten wanneer naar het gehele kostenplaatje wordt gekeken. Voorwaarde is wel dat voldoende bewoners willen aansluiten op het warmtenet, en dat ze dat ook binnen enkele jaren doen.

Gevoeligheid van de uitkomst

Ook DWA heeft geen glazen bol, dus een belangrijk gesprek bij dit soort analyses is over de gehanteerde aannames. Gaan we uit van belastingen, en hoeveel dan? Zijn er subsidies, maar hoe lang dan nog? Discontovoet, indexatie, allemaal aannames die we graag transparant maken bij het rekenen aan alternatieven. Ook de gevoeligheid van de uitkomst van de voorgaande casus is op een aantal aspecten onderzocht. Tabel 1 geeft het verschil in TCO ten opzichte van de huidige situatie met aardgas weer voor de drie routes. In alle gevallen blijft route 1 het beste scoren, al kunnen de kosten wel hoger uitkomen dan in de huidige situatie.

Tabel 1: Verschil van de TCO ten opzichte van de huidige situatie met aardgas

	1. Warmtenet 70°C	2. Waterstof	4. All-electric
Basisscenario	€ -3.800	€ 26.800	€ 21.200
Zonder subsidies	€ 1.300	€ 26.800	€ 24.800
Discontovoet 5% i.p.v. 3,0%	€ 2.400	€ 22.700	€ 26.100
Indexatie H_2 tarief -3,0% i.p.v. -2,0%	€ -3.800	€ 19.300	€ 21.200

Andere aspecten die van invloed zijn op de totale kosten zijn vanzelfsprekend: de aanwezigheid van geschikte warmtebronnen voor het warmtenet en de bebouwingsdichtheid van de wijk.

Niet alleen de kosten zijn bepalend voor de keuze voor de beste aardgasvrije oplossing, maar ook welke CO_2-reductie kan worden bereikt, gaan de bewoners het accepteren en wat is het ambitieniveau: hoe snel willen we van het aardgas af? In onderstaande Tabel 2 zijn een aantal van deze criteria samengevat.

Tabel 2: Overige beoordelingscriteria voor de routes naar aardgasvrij

	Huidige situatie	1. Warmtenet 70°C	2. Waterstof	3. All electric
Milieu-effecten				
CO_2-emissie per jaar (elektriciteitsmix 2020)	3300 kg	700 kg	400 kg	1300 kg
Geluidsoverlast woningen		niet	niet	beperkt
Veiligheid	gas in huis		gas in huis	
Praktische aspecten				
Extra ruimtebeslag in de woning		niet	niet	groot
Overlast aanleg infrastructuur in de straat		groot	beperkt	beperkt
Ruimtebeslag energiecentrale in de wijk		groot	beperkt	niet
Afhankelijkheid en organisatie				
Deelname nodig gehele buurt		groot	groot	niet
Externe exploitant warmtelevering [1]		groot	groot	niet
Flexibiliteit tijdstip individuele keuze		beperkt	beperkt	groot
Aardgasvrij binnen 10 jaar		mogelijk	niet	beperkt

1) Een coöperatiemodel geeft minder afhankelijkheid van exploitant (monopolist)

Besluit

De kop van dit betoog is niet 'DWA is tegen waterstof in de gebouwde omgeving'. Een kritische en onafhankelijke houding zit ons in het bloed. Daarbij stellen we ons vooral een aantal relevante vragen bij de start van het energietransitieproces in een wijk: hoe snel kunnen we van het aardgas? – waterstof is er nu nog niet in voldoende mate immers, en: wat voor soort wijk is het? – want soms zijn andere alternatieven goedkoper.

We hebben onze bedenkingen bij de stelling dat het verbranden van waterstof in cv-ketels de weg is die we als universele oplossing in Nederland moeten inslaan. Waterstof verbranden kan ons inziens een goede oplossing zijn voor de dun bebouwde gebieden, waar aardgasvrije alternatieven erg duur zijn. We zien voor waterstof echter ook andere hoogwaardigere perspectieven, zoals als brandstof in grote elektriciteitscentrales waarbij de restwarmte benut wordt. Of voor kleinere lokaal in de wijk te plaatsen warmtecentrales met brandstofcelltechnieken die de lokale elektriciteitsnetten gaan ontlasten.

Maatwerk per type wijk
Dichtbebouwde gebieden lenen zich goed voor warmtenetten. Zeker als er bruikbare lokale warmtebronnen aanwezig zijn, zoals geothermie, restwarmte en aquathermie. De uitdaging is bewoners meenemen in het proces en draagvlak creëren. Voor een rendabele uitrol van warmte moet 75 tot 85% van de huiseigenaren meedoen. Een waardevolle nieuwe ontwikkeling is de snelle groei van buurt(warmte)coöperaties. Deze lokale initiatieven kunnen het draagvlak voor warmtenetten in de wijk sterk vergroten en tevens laagdrempelige financiële producten aanbieden voor de transitie naar aardgasvrij wonen.

Import van energie of lokale bronnen benutten
En tot slot: lokale energieproductie in Nederland zelf is te prefereren boven import van energie. Was onafhankelijkheid van buitenlandse machten al een drijfveer achter de verduurzaming, we doen dat met grootschalige import van waterstof weer teniet. Het heeft dan de voorkeur om lokale energiebronnen te benutten, waar die beschikbaar en betaalbaar zijn. Voor bijvoorbeeld Zuidwest-Nederland biedt geothermie grote kansen, vanwege de geschikte ondergrond en vanwege de hoge bebouwingsdichtheid.

Relevante bronnen

De Groot, N. (2020). Shell en Gasunie zetten in op grootste waterstofproject van Europa. Algemeen Dagblad. Geraadpleegd van: https://www.ad.nl/economie/shell-en-gasunie-zetten-in-op-grootste-waterstofproject-van-europa~a4c53aa4/

Hermkens, R., Jansma, S., van der Laan, M., de Laat, H., Pilzer, B., & Pulles, K. (2018). Toekomstbestendige gasdistributienetten. Apeldoorn, Kiwa N.V.

Hers, S., Scholten, T., van der Veen, R., van de Water, S., Leguijt, C., & Rooijers, F. (2018). Waterstofroutes Nederland; Blauw, groen en import. Delft, CE Delft.

Rijnmond. (2019). Flat in Rozenburg deels verwarmd door waterstof. Rijnmond. Geraadpleegd van: https://www.rijnmond.nl/nieuws/183252/Flat-in-Rozenburg-deels-verwarmd-door-waterstof

Van der Walle, E. (2020). De wereld kan op waterstof rekenen. NRC. Geraadpleegd van: https://www.nrc.nl/nieuws/2020/01/10/de-wereld-kan-op-waterstof-rekenen-a3986468

Van Wijk, A., & Hellinga, C. (2018). Hydrogen. De sleutel voor de energietransitie. Delft, TU Delft.

Van Wijk, A., van Rhee, G., Reijerkerk, J., & Hellinga, C. (2019). Naar een groene waterstofeconomie in Zuid-Holland. Een visie voor 2030.

H2

Carola Hein

CAROLA HEIN IS HOOGLERAAR ARCHITECTUUR & STEDENBOUW GESCHIEDENIS BIJ DE TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT. ZIJ HEEFT VELE LEZINGEN GEGEVEN EN HEEFT UITGEBREID GEPUBLICEERD OVER HEDENDAAGSE EN HISTORISCHE ARCHITECTONISCHE EN STEDENBOUWKUNDIGE PLANNING, MET NAME IN EUROPA EN JAPAN.

Naast andere substantiële beurzen ontving zij in 2007 een Guggenheim Fellowship om onderzoek te doen naar 'The Global Architecture of Oil' en een Alexander von Humboldt Fellowship om de grootschalige stedelijke transformatie van Hamburg in internationale context tussen 1842 en 2008 te onderzoeken.

Haar huidige interesse richt zich naar de studie van internationale netwerken en de overdracht van architectonische en stedelijke ideeën hierover, met een specifieke focus op havensteden en de rol van olie op architectuur in de wereld.

Carola Hein is auteur van:
'The Capital of Europe', ' Architecture and Urban Planning for the European Union'

Zij is (co-)editor van:
'The Urbanisation of the Sea' (with Nancy Couling); 'Adaptive Strategies for Water Heritage: Past, Present and Future'; 'The Routledge Handbook of Planning History'; 'Port Cities: Dynamic Landscapes and Global Networks'; ' Brussels: Perspectives on a European Capital' (with Pierre Laconte (eds.)); 'Bruxelles l'Européenne: Capitale de qui? Ville de qui?/ European Brussels. Whose capital? Whose city?'; 'Cities, Autonomy and Decentralization in Japan' (with Philippe Pelletier (eds.)); 'Rebuilding Urban Japan after 1945' (with Jeffry Diefendorf, and Yorifusa Ishida (eds.)).

HOE EEN COOL WATERSTOFSTATION TE CREËREN?

LESSEN UIT HET PETROLEUMSCAPE

CAROLA HEIN

Tankstations lijken misschien klein en onbelangrijk, maar het zijn iconische elementen in een complex proces van ruimtelijke en sociale transformatie. Hoewel ze lokale bijzonderheden hebben, zijn tankstations knooppunten in een wereldwijd energiesysteem dat de fysieke structuren van brandstofproductie, transport, administratie en consumptie integreert met afbeeldingen en denkbeelden van ruimtes.[1] Om consumenten te voorzien van nieuwe mobiliteitsbrandstof, zoals waterstof, is een uitgebreid netwerk van tankstations nodig, dat moet inspelen op de behoeften van mensen die gewend zijn aan de snelheid en het gemak van op petroleum gebaseerde mobiliteit. Tot nu toe blijven waterstofstations schaars. In 2012 trok de opening in Hamburg van het toenmalige grootste waterstofstation van Europa de aandacht van de pers en de aanwezigheid van senatoren en andere hooggeplaatste vertegenwoordigers van Hamburg.[2] Het nieuwe station levert waterstof voor bussen en auto's met brandstofcellen. Een filmpje op YouTube viert dit nieuwe station als model van de toekomst.[3] Waterstoftankstations in Helmond of Kopenhagen hebben vergelijkbare persaandacht gekregen.

Het aantal waterstofstations neemt toe, zij het niet zo snel als oorspronkelijk was beloofd of gehoopt door bedrijven als H2 Mobility.[4] Zes bedrijven, waarvan een aantal nauw verbonden met het petroleumtijdperk - Air Liquide, Daimler, Linde, OMV, Shell en TOTAL - richten een landelijk netwerk op voor brandstofcelmobiliteit in Duitsland. Hun doel is om in de loop van 2020, ongeacht het voertuig, honderd waterstofstations te exploiteren in zeven Duitse grootstedelijke gebieden (Hamburg, Berlijn, Rijn--Ruhr, Frankfurt, Neurenberg, Stuttgart en München) en langs de verbindingswegen en snelwegen als voorwaarde voor waterstofmobiliteit.[5] Nu deze stations langzaam opduiken, kan het de moeite waard zijn om de groei van hun voorgangersnetwerk te verkennen: het op aardolie gebaseerde gas- of benzinestation, dat ongeveer honderd jaar geleden begon. De vroege fase van tankstations is ontstaan in verband met de aanleg van een wegennet. Momenteel bestaan er al routes en structuren, die de implementatie van een nieuw systeem zouden moeten vergemakkelijken.

---

1 *Carola Hein, 'Old Refineries Rarely Die': Port City Refineries as Key Nodes in the Global Petroleumscape,' Canadian Journal of History/Annales canadiennes d'histoire (CJH/ACH) 55, no. 3 (2018); 'Oil Spaces: The Global Petroleumscape in the Rotterdam/the Hague Area,' Journal of Urban History 44, no. 5 (2018).*

2 *FuelCell Today, Europe's Largest Hydrogen Refuelling Station Opens in Hamburg https://www.h2euro.org/whats-h2appening/europes-largest-hydrogen-refuelling-station-opens-in-hamburg/*

3 *Hydrogen Societies, HafenCity hydrogen station, Hamburg, Germany with onsite electrolysis, https://www.youtube.com/watch?v=yYn_dCZVX8Y (last accessed May 6 2020)*

4 *H2, Filling up with H2 Hydrogen mobility starts now, https://h2.live/en (last accessed May 6 2020)*

5 *H2, H2 MOBILITY We are building the filling station network of the future, https://h2.live/en/h2mobility*

Desalniettemin kan een blik op de historische ontwikkeling van benzinestations ideeën inspireren om de groei van een netwerk van waterstofstations te vergemakkelijken.

In de afgelopen eeuw heeft petroleum enorme hoeveelheden stedelijke en landelijke ruimte veroverd (zelfs mariene ruimte, waar tankstations brandstof bevoorraden). Open voor consumenten van alle leeftijden, klassen, geslachten en rassen, ze dienden als sociaal-ruimtelijke kruispunten. In tegenstelling tot enorme raffinaderijen of iconische hoofdkantoren, zijn benzinestations het belangrijkste contactpunt geweest tussen bedrijf en consument.[6] Dit onderscheidt het benzinestation van de meer ontoegankelijke industriële ruimtes van olieraffinage, opslag en transport; gedeelde spoor-, weg- en waterinfrastructuur; de verheven en exclusieve ruimtes van petroleumadministratie en onderzoek; en de locaties van huisvesting en vrije tijd gebouwd voor werknemers van oliemaatschappijen.

De locaties van benzinestations in steden of langs landwegen, op drukke straathoeken of in de buurt van parkeerterreinen waren vaak het gevolg van complexe interacties tussen bedrijfsstrategieën, openbaar landgebruik en ruimtelijke ordening, architectonisch ontwerp en het dagelijkse gedrag van burgers. Benzinestations zijn bedrijfsmarkeringen en plaatsen waar bedrijven informatie en reclamemateriaal verspreiden - pamfletten, kaarten of speelgoed (vaak gratis) - om nieuwe klanten te werven en om veranderende technologie en nieuwe consumptiepatronen te bevorderen. Als lokale structuren hebben ze de aandacht getrokken van kunstenaars, filmmakers, architecten, beleidsmakers en het grote publiek. Omdat benzinestations regelmatig verschijnen in steden en op het platteland, hebben ze bij een groot deel van de bevolking een buy-in kunnen krijgen voor een auto- en petroleumlevensstijl. Om al deze redenen illustreert het benzinestation de manieren waarop het gebruik van aardolie onze waardesystemen, denkbeelden en besluitvorming heeft gevormd. Socio-ruimtelijke kaarten van de groei van benzinestations in de Randstad (figuur 1a-d),[7] respectievelijk uit 1910, 1940, 1970 en 2000, helpen bij het identificeren van potentieel typische relaties tussen benzinestations, steden en landschappen. Door de opeenvolging van kaarten krijgt de kijker een uitgebreid overzicht van de locatie en het aantal benzinestations, hun relatie tot groeiende wegeninfrastructuur en hun verbinding met gelijktijdige industriële, stedelijke en plattelandsontwikkeling.

Tot het einde van de 19de eeuw werd aardolie voornamelijk geraffineerd tot brandstof en vet. De raffinage van ruwe olie om kerosine te produceren gaf eveneens benzine dat als een afvalproduct werd beschouwd, totdat de explosieve eigenschappen ervan werden gebruikt in de eerste praktische verbrandingsmotor die in 1886 door Karl Benz werd ontwikkeld. In de beginjaren konden alleen de zeer rijken auto's betalen, maar zelfs zij konden ze niet altijd gebruiken. Aan het einde van de 19de eeuw moesten eigenaren van de eerste auto's de ritten zorgvuldig plannen op basis van de beschikbaarheid van benzine - en op wegen die waren ontwikkeld voor voetgangers, paarden en paardenkarren. Ze moesten benzine kopen bij de apotheek, zoals Bertha Benz in 1888 deed tijdens haar beroemde rit van 100 km van Mannheim naar Pforzheim in een auto die door haar man was gebouwd. Autoraces over lange afstanden hielpen het nieuwe transportmiddel populair te maken.

---

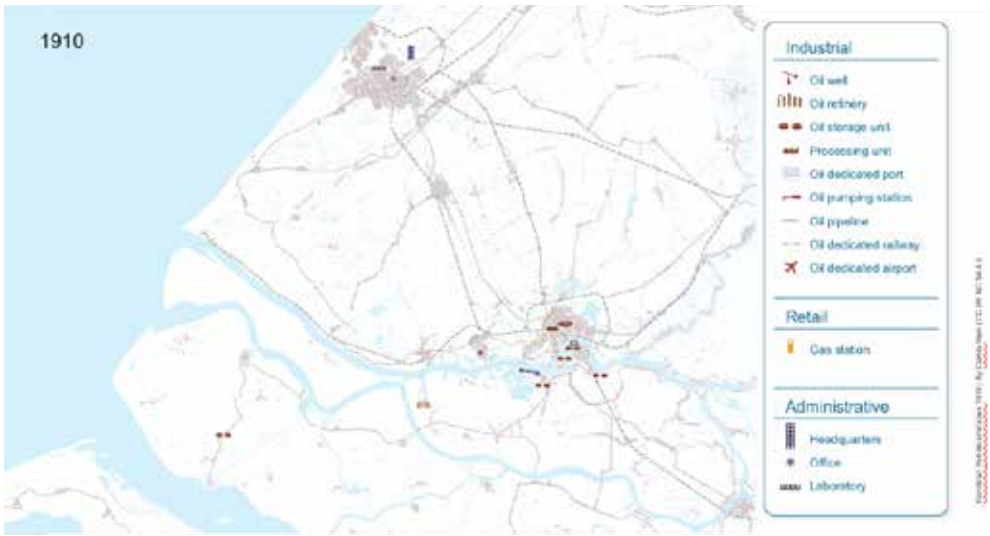
6 *Keith A. Sculle John A. Jakle, The Gas Station in America, Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2002.*

7 *Source: Carola Hein, Arnoud De Waiijer, Iskandar Pané, Otto Diesfeld*

Het parcours van de race Parijs-Amsterdam-Parijs uit 1898 onderstreepte het belang van Frankrijk als een van de Europese landen met de meeste auto's: 1700 in 1900, waarvan 300 in Parijs.[8] Voor dergelijke evenementen moesten de tankstops zorgvuldig worden geselecteerd. Er waren geen speciale benzinepompen of -stations. Het duurde tientallen jaren voordat de brand- en waterregelgeving bedrijven ertoe aanzette gespecialiseerde opslagruimten, speciale schepen en transportinfrastructuur te bouwen. Het zou nog langer duren voordat ze winkellocaties aan petroleum zouden wijden. Vóór 1910 was de ad-hocverkoop van benzine voor de eerste auto's geen katalysator voor een herkenbaar netwerk van winkelpanden.

De ontwikkeling van een netwerk van speciale tankstations vereiste eerst de groei van een klantenbestand. Technologie, economie, marketing en esthetiek speelden allemaal een rol bij de vormgeving van het tankstation en de locatie in de ruimte. Benzinepompen werden al in 1885 in de Verenigde Staten gebruikt; hun aantal nam toe na 1913 toen de massaproductie van Ford-auto's leidde tot een voldoende groot aantal Amerikaanse consumenten. De Eerste Wereldoorlog remde de petroleumactiviteiten af en in Europa werden auto's over het algemeen langzamer geadopteerd dan in de VS. Toch breidde in het grootste deel van Europa, inclusief Nederland, wat begon als een elite-tijdverdrijf, zich snel uit tot een tijdverdrijf van een grotere bevolkingsgroep, en de wijdverbreide populariteit van de auto bracht de petroleumindustrie naar een nieuw niveau. Kaarten van oliegerelateerde gebouwen in de omgeving van Rotterdam en Den Haag suggereren dat er in 1910 geen benzinestations waren (figuur 1a). Mogelijk waren er vrijstaande pompen en depots die het onderzoek niet heeft ontdekt.

Figuur 1a



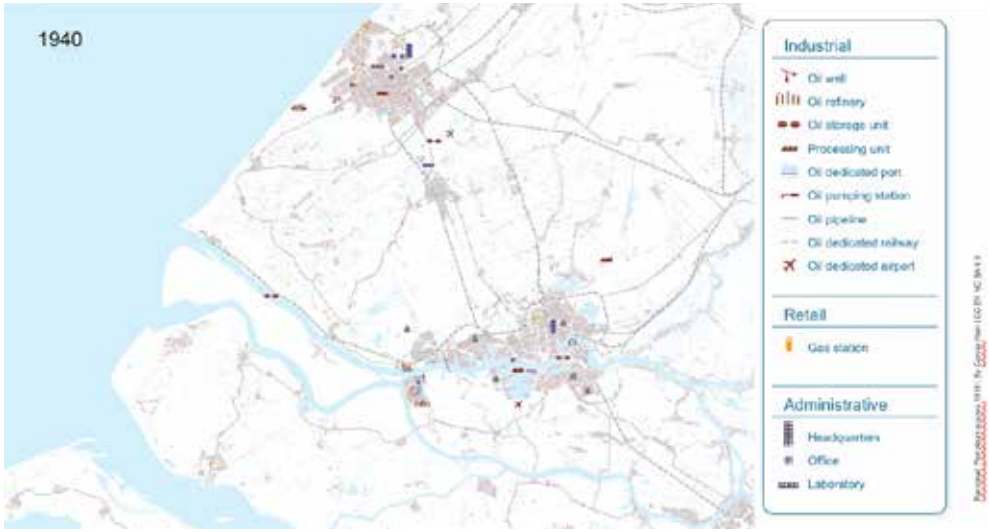
Benzinepompen ontstonden meestal op plaatsen waar mensen het zich konden veroorloven om auto's te kopen of te gebruiken (en ze gingen dienen als een indicator voor de aanwezigheid van dergelijke rijkdom).

8 *Rutger Booy and Bas de Voogd, Van Blik Naar Pomp: Hoe Benzine En Auto Elkaar Vonden: Een Fascinerende Zoektocht over Benzineverkoop Van 1885 Tot 1940, Rotterdam: AD. Donker, 2015.*

Ze stonden onberispelijk vaak langs de straat, soms in een rij met verschillende merken. Vóór 1940 waren pompen vaak een aanvullende dienst in plaats van het hoofddoel van een bedrijf. Hotels, garages of fietsenwinkels zouden benzinestations opzetten. De kaart van de Randstad uit 1940 suggereert dat benzinepompen en -stations voor het eerst verschenen in of nabij steden.

Ze geven ook aan dat sommige steden hogere dichtheden van benzinepompen hadden dan andere. Voertuigen reisden niet ver met een paar liter benzine voordat ze moesten worden bijgevuld, dus mensen moeten van stad naar stad zijn gegaan waar benzinepompen stonden (of ze gebruikten landelijke petroleumdepots die het onderzoek niet heeft ontdekt). De kaart van 1940 (figuur 1b) toont meer dan tien benzinepompen in de hoofdstad Den Haag, waar besluitvormers van het bedrijfsleven en de publieke sector samenkwamen en waar traditioneel rijke mensen woonden.

Figuur 1b



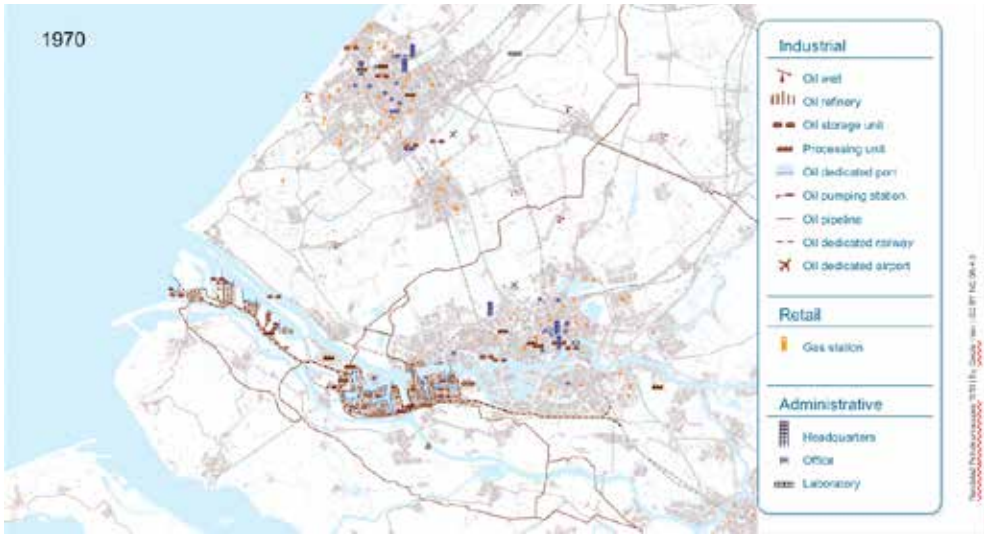
Veiligheidsproblemen deden zich ook voor en leidden tot de bouw van pompen op kleine eilanden naast de straten. Benzinestations die leken op de structuren die we nu kennen, ontstonden rond 1910 in de Verenigde Staten. In plaats van een onberispelijke pomp langs de weg, bouwden bedrijven toegang vanaf de weg tot een speciaal perceel met onderscheidende nieuwe functies. Het omvatte pompen op een eiland, een luifel die de werknemer en klanten onderdak bood terwijl de auto werd bediend, en een klein gebouw voor de werknemers. Veel benzinestations in de VS waren commercieel gebouwde constructies, maar architecten maakten ook van de gelegenheid gebruik om gebouwen met een nieuwe functie te ontwerpen: het creëren van iconische gebouwen of ze aanpassen aan de architectuur van de omgeving. De nieuwe benzinestationgebouwen dienden ook als herkenningspunten: grote borden kondigden de aanwezigheid van de stations aan bestuurders aan die met grotere snelheid op hoofdwegen reden. De nieuwe gebouwen werden al snel onderdeel in een nieuw automobiellandschap.

Na de Tweede Wereldoorlog werd de auto in veel geïndustrialiseerde landen, waaronder Nederland, het vervoermiddel voor een dagelijkse manier van reizen voor een groot deel van de bevolking.

Benzinestations werden nog nauwer verbonden met de rijvrijheid en het plezier van vrije tijd. Auto's, wegen en benzinestations lieten mensen toe om landelijke gebieden te verkennen en te bezetten (figuur 1c). Ze faciliteerden de uitbreiding van landschappen in de voorsteden en nieuwe culturele praktijken.

De nieuwe tankstations dienden als iconen in het landschap. Ze dienden ook als een plaats waar oliemaatschappijen de consument konden bereiken en verder rijden konden stimuleren. Kaarten, brochures en boekjes hielpen bij het opbouwen van een ruimtelijke identiteit die verschilde van de sterk vervuilde gebieden van aardolietransformatie en benzineproductie. Eerst in de Verenigde Staten en later in andere landen erkenden onafhankelijke kunstenaars het groeiende belang van benzinestations in het landschap en ze legden die vast in hun schilderijen, fotografie en films. Hun werk illustreerde zowel de groeiende aanwezigheid van olie in het dagelijks leven als dat het hielp benzine in het sociale denkbeeld te verankeren.

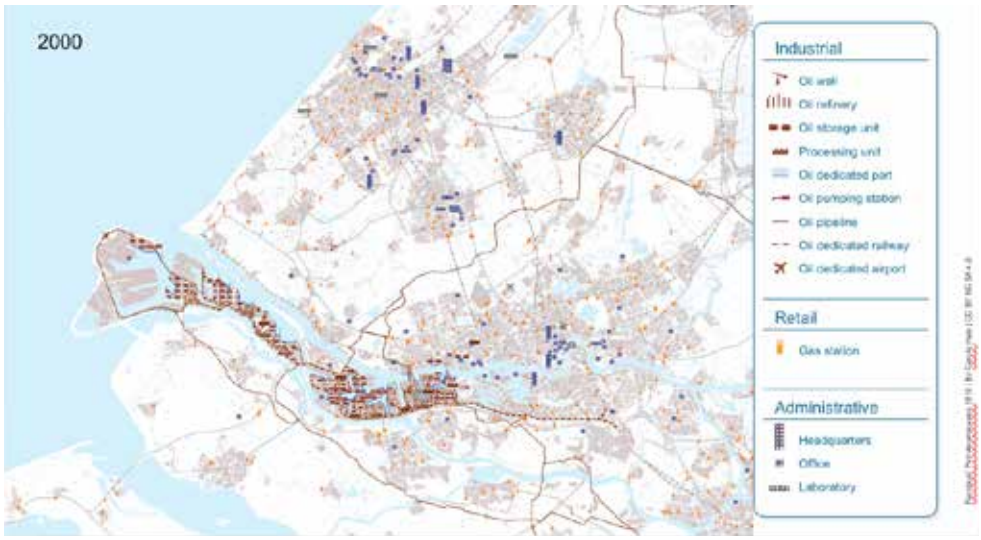
Figuur 1c



In de jaren zeventig waren benzinestations zowel een dagelijkse behoefte als een hoofdbestanddeel van de gebouwde omgeving geworden. Ze hadden de openbare ruimte overgenomen en de ruimtelijke ordening zorgde voor brede ruimtes langs straten en snelwegen. Misschien wel de meest opvallende uitbreiding van het aardolielandschap, zoals blijkt uit de kaarten van het jaar 2000 (figuur 1d), is de toename van benzinestations langs snelwegen en regionale straten.

De relevantie van benzinestations als merkinstrument begon te verschuiven en dat geldt ook voor de verwachting van hun service, uitstraling en bijdrage aan de gebouwde omgeving. Naarmate mensen overdag verder reisden, combineerden ze tanken en winkelen. Benzinestations voegden diensten en producten toe onder een groeiende luifel. Op sommige locaties namen supermarkten de gasverkoop over.

Figuur 1d



Omdat de inkomsten uit benzine na de jaren negentig daalden, begonnen verschillende grote bedrijven, zoals Exxon, hun retailnetwerk te verkopen, zelfs terwijl kopers het bedrijfslabel behielden.[9] Op sommige locaties begonnen verschillende grote supermarktketens, zoals de Amerikaanse Wawa of de Franse Leclerc, benzine te verkopen onder hun eigen label en op hetzelfde terrein als andere artikelen. Architecten over de hele wereld zijn opnieuw uitgenodigd om opvallende en zelfs milieuvriendelijke constructies te ontwerpen. In Nederland heeft Knevel Architecten een duurzaam tankstation gebouwd voor AVIA Marees in Wieringen. In opdracht om een duurzaam tankstation te ontwerpen nabij de Afsluitdijk en de A7, hebben de architecten een zogenaamd klimaatstation voorgesteld.[10] Het gebouw combineert de ruimte van het tankstation met kantoorruimte en een visboer.

Waterstofbrandstof kwam traag op gang als nieuwe energiebron voor mobiliteit, ook al vertrouwde de ruimtevaart er al in de jaren zestig op. Overheidsinvesteringen in een netwerk van tankstations voor waterstof zijn nodig. Zoals Shell het verwoordt: 'Sleutelelementen van een dergelijke infrastructuurstrategie zijn ruimtelijke netwerkplanning, de keuze voor optimale tankstationconcepten en -groottes, de coördinatie van infrastructuur en wagenpark en de standaardisatie van technische en regelgevende oplossingen.'[11] Er zijn particuliere en openbare investeringen nodig om een betrouwbaar tanknetwerk te creëren. Benzinestations zijn nu het deel van de olie-industrie die we het beste kennen, een vaste waarde in onze dagelijkse omgeving en routines, in kunst en films. Hoe kan de waterstofmobiliteitsindustrie de lessen uit het verleden gebruiken om hun expansie te vergemakkelijken?

---

9 *https://www.reuters.com/article/us-exxon/exxon-to-exit-u-s-retail-gas-business-idUSN1238193020080612*

10 *https://www.archdaily.com/283889/sustainable-gas-station-avia-marees-knevel-architecten*

11 *Shell. "Shell Hydrogen Study Energy of the Future? Sustainable Mobility through Fuel Cells and H2." https://www.shell.com/energy-and-innovation/new-energies/hydrogen/_jcr_content/par/keybenefits_150847174/link.stream/1496312627865/6a3564d61b9aff43e087972db5212be68d1fb2e8/shell-h2-study-new.pdf (last accessed May 6 2020)*

ESSO
Snack & Shop
Synergy
Diesel
Euro

Chris Hellinga

CHRIS HELLINGA (1956) IS ALS PROCESTECHNOLOOG IN 1982 AFGESTUDEERD AAN DE WUR EN IS NA DIVERSE FUNCTIES SINDS 2006 WERKZAAM BIJ DE TU DELFT ALS WETENSCHAPPELIJK ADVISEUR VAN HET DELFT ENERGY INITIATIVE.

Hij heeft onder meer de basis gelegd voor de introductie van een aardwarmtebron op de TU Delft, ondersteunde de oprichting van het Nederlands Onderzoeksplatform Duurzame Energievoorziening, was duurzaamheidscoördinator van de TU Delft en afdelingshoofd van TU Delft Green Office. Hij richt zich momenteel op vraagstukken rond de rol van waterstof bij de energietransitie, waarvoor enkele publicaties op zijn naam staan. Hij vertegenwoordigt de TU Delft in de regiegroep van H2GO, het programma om het eiland Goeree-Overflakkee te transformeren naar een waterstofeconomie.

WATERSTOF VOOR GEBOUWVERWARMING EN HET KLIMAATAKKOORD

CHRIS HELLINGA & AD VAN WIJK

TU DELFT, AFDELING PROCESS & ENERGY, FACULTEIT 3ME

Samenvatting

De belangstelling voor waterstof als energiedrager voor de gebouwde omgeving ontwikkelt zich snel. Veel indicatoren wijzen inmiddels in de richting dat waterstof een significante bijdrage gaat leveren in de verduurzamingsopgave, ook voor ruimteverwarming. Essentieel is de beschikbaarheid van een grootschalige infrastructuur voor waterstoftoelevering. De voorzichtige positiekeuze in het Nederlandse klimaatakkoord ten aanzien van waterstofbeschikbaarheid in 2030 is achterhaald met de Gasunieplannen voor een Nederlandse waterstofbackbone. De plannen richten zich weliswaar in eerste instantie op de waterstofvoorziening van de industrie, maar een inschatting laat zien dat ook belevering van honderdduizenden woningen in 2030 via deze waterstofbackbone mogelijk is. Gericht beleid om waterstof te integreren in de verduurzamingsrichtlijnen voor 2030 zou niet alleen het risico op de haalbaarheid van de CO_2-emissiereductiedoelstellingen voor de gebouwde omgeving verlagen, maar legt ook een fundament voor de vergaande maatregelen die na 2030 nog nodig zijn. Een realistisch en haalbare doelstelling voor 2030 is om 500.000 woningen te verwarmen op waterstof middels een waterstof CV-ketel of op een combinatie van waterstof en elektriciteit middels een hybride warmtepomp-waterstof CV-ketel.

Het klimaatakkoord: een gestructureerde aanpak van de energietransitie

Het Nederlandse klimaatakkoord is opgesteld om structuur te bieden aan de energietransitie tot 2030, wanneer de nationale CO_2-emissies met 49% gedaald moeten zijn ten opzichte van 1990. Plannen zijn uitgewerkt voor vijf sectoren: gebouwde omgeving, elektriciteit, industrie, mobiliteit en landbouw & landgebruik. Aan sectortafels zijn met de meest betrokken partijen specifieke doelstellingen geformuleerd en zijn inspanningen toegezegd.

Een belangrijke sectoroverkoepelende uitdaging is om de goede match te vinden van de energiedragers van de toekomst, die een duurzaam aanbod verbinden met leveringszekerheid en betaalbaarheid. Hier horen nieuwe infrastructurele voorzieningen bij zoals: versterkte elektriciteitsnetwerken, nieuwe warmtenetten en de ombouw van het aardgasnetwerk voor waterstoftransport, in combinatie met opslag. Kansen en behoeftes binnen sectoren kunnen niet los van elkaar worden gezien, en dat geldt zeker voor de gebouwde omgeving, met in Nederland 7,7 miljoen woningen en 1 miljoen overige gebouwen.

Voor waterstof geeft het klimaatakkoord voor de industrie een vraagtoename van 50-153 PJ/jaar in 2030, in de grootteorde van en verdubbeling van de huidige waterstofvraag. Voor de vervoerssector wordt genoemd dat mogelijk 300.000 personenvoertuigen in 2030 op waterstof rijden, en daarbij bussen en ander zwaar wegvervoer. Voor de gebouwde omgeving wordt het belang van pilots en demonstratiegebieden benadrukt, maar grootschaliger toepassing wordt pas voorzien na 2030. In deze bijdrage stellen we dat uitgangspunt ter discussie.

Doelstellingen en aanpak uit het klimaatakkoord

Het klimaatakkoord geeft een raamwerk voor de maatregelen tot 2030:

- 1,5 miljoen bestaande gebouwen verduurzamen
- Alle nieuwbouw na 2021 zonder gasaansluiting
- 40 PJ/jaar duurzame warmtelevering (aansluitingen op warmtenetten)
- De inzet van groen gas (gas geproduceerd uit biomassa dat is opgewerkt naar aardgaskwaliteit)

Als doelstelling noemt het klimaatakkoord een CO_2-emissiereductie van de gebouwde omgeving van 3,4 Mton/jaar bovenop de reductie voortvloeiend uit vastgesteld en voorgenomen (vv) beleid, wat is benoemd in de Nationale Energieverkenning 2017 [1]. We zien in tabel 1 dat de destijds voorspelde CO_2-emissies van de gebouwde omgeving in 2020 met ongeveer eenderde moeten dalen van 21,2 Mton per jaar naar 14,4 Mton per jaar in 2030. Dit betekent dus dat van 2030 tot 2050 nog de dubbele opgave resteert, om de gebouwde omgeving volledig klimaatneutraal te maken.

	NEV 2017 (vv) CO_2-Emissies		Klimaatakkoord Extra reductie		Totaal
	Woningen	Utiliteit	Woningen	Utiliteit	
	Mton CO_2/jaar				
2020	14,3	6,9			21,2
2030	12,4	5,4	-2,4	-1,0	14,4

Tabel 1. CO_2-doelstellingen voor de te bereiken CO_2-emissies voor de gebouwde omgeving in 2030. Het klimaatakkoord geeft een toevoeging op vastgesteld en voorgenomen beleid (vv), zoals opgenomen in de Nationale Energieverkenning (NEV) 2017 [1].

Het PBL heeft op basis van het concept klimaatakkoord berekend dat de warmtevraag van de gebouwde omgeving in 2030 gedaald zal zijn tot 333 PJ/jaar [2].
Als we dit afzetten tegen de gas- en warmtevraag van de gebouwde omgeving in 2018, die volgens het CBS 440 PJ bedroeg, gaat het om een besparing op de warmtevraag van 25%. Uit de PBL-analyse van het ontwerp klimaatakkoord [3] is af te leiden dat het tot 2030 om de aanpak van 1,75 miljoen woningequivalenten gaat (woningbouw en utiliteitssector – nieuwbouw (717.000 woningen) en bestaande bouw).

OVERALL TOTAAL	OKA (2019)
All electric	742.250
Hybride	590.000
Warmtenet	417.750
Totaal	**1.750.000**

Tabel 2. Totaal te realiseren installaties en aansluitingen voor 2030 (vastgesteld en voorgenomen beleid, aangevuld met de maatregelen volgens het klimaatakkoord)

Volgens het CBS waren er in 2018 ongeveer 550.000 warmtepompen in de gebouwde omgeving geïnstalleerd. Met de extra te plaatsen systemen (1,3 miljoen) zou dit aantal in 2030 bijna 3,5 maal zo groot geworden zijn. Het aantal aansluitingen op grote warmtenetten bedraagt op dit moment naar schatting 420.000 [4], zodat het hier ruwweg om een verdubbeling gaat. In aanvulling op deze technische installaties dient de utiliteitssector nog een energiebesparingsslag te maken om de doelstelling van 1,0 Mton emissiereductie te halen. In totaal gaat het om ongeveer 2,8 miljoen woningequivalenten die tot 2030 aangepakt moeten worden (gemiddeld 250.000 per jaar). Tussen 2030 en 2050 stijgt dat aantal tot ruim 400.000 per jaar.

De optelsom van dit pakket zou inderdaad leiden tot de emissiereductiedoelstelling. Daarbij moet aangetekend worden dat alleen gerekend wordt met de directe CO_2-emissies uit de gebouwde omgeving: 'de CO_2 die uit de schoorstenen komt'. De CO_2 die ontstaat bij de warmteproductie voor warmtenetten (denk ook aan de piekwarmte, waar mogelijk nog aardgasbijstook voor nodig is) en bij de productie van de elektriciteit voor de warmtepompen is voor rekening van de energiesector. Wij schatten die overheveling op 0,6 Mton/jaar[1].

Hoewel de voorgestelde technische invulling dus consistent is met de doelstelling, zijn er nog veel vragen over de feitelijke haalbaarheid, die vooral voortvloeien uit de organisatorische en financiële randvoorwaarden. 3,4 Mton reductie wordt door het PBL alleen haalbaar geacht, wanneer bestaande subsidieruimte wordt aangevuld met langlopende leningen, de overheveling van energiebelasting van elektriciteit op aardgas, en wanneer voldoende kostenreductie op technische installaties en isolatiemaatregelen gaat plaatsvinden. Voor de aanpak van bestaande gebouwen wordt de bandbreedte geschetst in figuur 1[2], die correspondeert met een CO_2-emissiereductie tussen de 0,8 en 3,7 Mton/jaar[3].

In het gunstigste scenario, waarbij 1 miljoen woningequivalenten tot 2030 uitgerust worden met een warmtenetwerk, een hybride systeem of een all electric warmtepomp, speelt de introductie van hybride systemen bij koopwoningen (70% van de Nederlandse woningvoorraad) een belangrijke rol. Dit is de meest kosteneffectieve variant. Afhankelijk van de mate waarin de systeemprijs gaat dalen kan in de tweede helft van de jaren 20 kostenneutraliteit ten opzichte van een aardgasgestookte CV-ketel gaan ontstaan. De meerprijs verdient zich dan terug uit een lagere energierekening. Voor de andere systemen blijft een onrendabele top over van 2.000-13.000 Euro per woning.

Hybride systemen hebben uiteraard het nadeel dat ongeveer de helft van de warmte nog met een aardgasgestookte CV-ketel geleverd moet worden, en het klimaatakkoord geeft geen aanknopingspunten voor de vergroening van de gastoevoer tot en na 2030[4]. In de PBL-scenario's wordt daarom gerekend met 'spijtvrije isolatie'. Gebouwen die worden uitgerust met hybride systemen dienen dezelfde isolatiemaatregelen te treffen als gebouwen die worden uitgerust met een all electric warmtepomp, zodat na de afschrijftermijn een all electric systeem kan worden geïnstalleerd.

---

1 *Onder de aanname dat de elektriciteitsproductie voor 70% met duurzame energie plaatsvindt in 2030, en de CO_2-emissie van warmtenetten gedaald is tot de klimaatakkoord doelstelling van 18,9 kg CO_2.GJ (70% minder dan bij verwarming met gasgestookte CV ketels).*

2 *De doelstelling van 1,5 miljoen 'aardgasvrije' woningequivalenten uit het klimaatakkoord ('de wijkaanpak') wordt niet haalbaar geacht.*

3 *3,7 Mton wordt als streefwaarde gehanteerd – dus iets hoger dan de opdracht voor de gebouwde omgeving: 3,4 Mton.*

4 *Ook als de indicaties van de groen gassector gerealiseerd worden, is de bijdrage aan de totale bestaande gasvraag (circa 40 miljard m^3 per jaar) zeer bescheiden.*

Figuur 1. De onzekerheidsmarge bij de realisatie van de introductie van aardgasvrije en hybride verwarmingsvormen in de 'wijkaanpak' uit het klimaatakkoord (doelstelling: 1,5 miljoen bestaande woningequivalenten) volgens het PBL [3].

Hier lopen we tegen belangrijke principiële beperkingen van het klimaatakkoord aan.

- Een langetermijnbeeld (2030-2050) ontbreekt.
- Infrastructurele consequenties worden niet uitgewerkt: afwegingen tussen de aanleg van warmtenetwerken, versterking van het elektriciteitsnetwerk, de (toekomstige) rol van gasnetwerken.
- Sectoroverschrijdende effecten zijn nog onvoldoende uitgewerkt.

Duurzame gassen

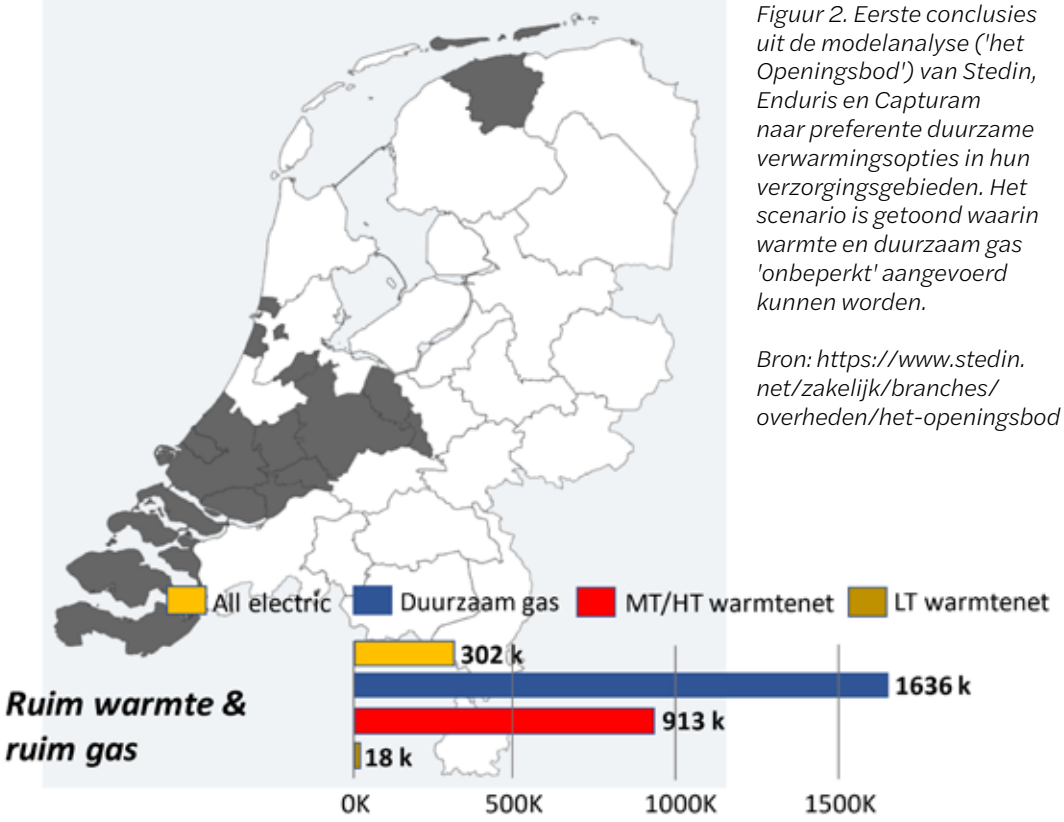
Het klimaatakkoord noemt dat de groen gassector inzet op een productievolume van 70 PJ/jaar (2,2 miljard m^3 a.e.) in 2030. Het PBL neemt dat evenwel niet mee in de doorrekening voor een bijdrage aan de gebouwde omgeving. Het pad naar dat productievolume (ongeveer het vijfvoudige van de productie in 2018) is nog onvoldoende helder, en ook andere sectoren rekenen met de inzet van groen gas/biomassa. Een gedeeltelijke inzet van groen gas – bijgemengd in het aardgasnetwerk – zou dus gezien kunnen worden als een vangnet, voor het geval bovengenoemde maatregelen in deze omvang niet haalbaar blijken. Omdat groen gasproductie gesubsidieerd moet worden, gaat de groen gas inzet ten koste van de andere maatregelen binnen dezelfde subsidieruimte.

Waterstof is een alternatief, maar in het klimaatakkoord wordt de inzet daarvan nog niet haalbaar geacht voor 2030. Wel wordt het belang van demonstratie-/pilotprojecten benadrukt. Recente ontwikkelingen kunnen dit beeld evenwel doen kantelen, waar we onderstaand op terugkomen. Strategisch verdient het gebruik van duurzame gassen beslist aandacht – zeker ook in relatie tot maatregelen die na 2030 nog nodig zijn.

In een studie uit 2016 van CE Delft [5] is een ketenkostenanalyse gemaakt van de inzet van warmtenetten, elektrische warmtepompen en duurzaam gas[5] voor 12.000 Nederlandse buurten.

5 *Voor verspreiding met het gasnetwerk is alleen nog groen gas aangenomen. Wel wordt genoemd dat waterstof bijvoorbeeld voor piekverwarming van warmtenetwerken kan worden ingezet.*

Per buurt kunnen de voorkeursopties verschillen, afhankelijk van de leeftijd van gebouwen, de nabijheid van duurzame warmtebronnen, de bebouwingsdichtheid, de benodigde versterking van elektriciteitsnetwerken, enzovoort. Indien voldoende groen gas beschikbaar zou zijn, zou ongeveer 75% van het finale energiegebruik (restwarmte, elektriciteit en groen/duurzaam gas) uit groen gas bestaan voor een kostenminimale invulling. Men rekende daarbij met een groen gasprijs zonder belastingen van 75 €ct/m^3. 4-5 maal de huidige aardgasprijs.



Figuur 2. Eerste conclusies uit de modelanalyse ('het Openingsbod') van Stedin, Enduris en Capturam naar preferente duurzame verwarmingsopties in hun verzorgingsgebieden. Het scenario is getoond waarin warmte en duurzaam gas 'onbeperkt' aangevoerd kunnen worden.

Bron: https://www.stedin.net/zakelijk/branches/overheden/het-openingsbod

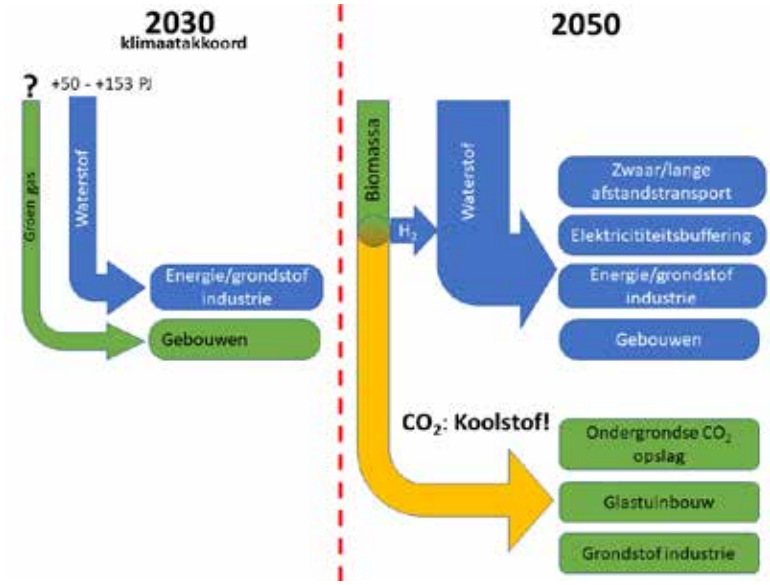
Stedin heeft in samenwerking met de Zeeuwse netbeheerder Enduris en Capturam in het Westland in 2020 vergelijkbare berekeningen met 3 modellen voor 3 scenario's laten doen voor de ruim 3.500 buurten in het verzorgingsgebied, met in totaal 3,1 miljoen woningequivalenten. Gemeentes kunnen de resultaten voor de eigen buurten op internet inzien. De studie wordt aangeduid met 'het Openingsbod' – bruikbaar voor de afwegingen die gemeentes moeten maken bij het opstellen van de Transitievisie Warmte die in 2021 moet worden opgeleverd, als uitvloeisel van het Klimaatakkoord. Voor 20% van de buurten kon in maart 2021 een robuuste voorkeursoptie worden benoemd, voor 80% van de buurten was er nog onvoldoende coherentie in de modeluitkomsten voor een robuuste eindoplossing. Als geen beperkingen worden aangenomen voor de beschikbaarheid van waterstof gaat de indicatie voorlopig in dezelfde richting als de conclusie van CE Delft. 2/3 van de buurten (een kleine 60% van de woningequivalenten) zou het meest gebaat zijn bij een aansluiting op duurzaam gas.

Duurzaam gas: groen gas en/of waterstof?

Invoeding van groen gas uit biomassa in het bestaande aardgasnetwerk is aantrekkelijk. Behalve de financiering en organisatie van productiecapaciteit zijn er geen aanpassingen nodig. Iedere CV-ketel kan een mengsel van aardgas en groen gas verbranden en het gasnetwerk behoeft geen aanpassingen.

Voor de langere termijn zijn er evenwel twee belangrijke beperkingen.

1. Ook in optimistische scenario's zal de productiecapaciteit onvoldoende blijven om in een substantieel deel van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving te voorzien, zeker ook gezien de vraag uit andere sectoren.
2. Maar minstens zo belangrijk is de waarde die biomassa/groen gas vertegenwoordigt voor de koolstofbehoefte in een duurzame samenleving, zonder fossiele brandstoffen. Koolstof die bijvoorbeeld nodig is voor de productie van kunststoffen en duurzame brandstoffen in de transportsector (zeker in de luchtvaart, maar misschien ook voor de scheepvaart en het zware/lange afstandswegtransport). Maar ook de glastuinbouwsector heeft in Nederland een substantiële vraag naar CO_2 om te kunnen verduurzamen. En duurzame koolstof/CO_2 die een marktvraag zou overstijgen, kan ondergronds worden opgeslagen om netto CO_2 aan de atmosfeer te onttrekken. Het verbranden van groen gas in de gebouwde omgeving vermindert de inzetmogelijkheden van CO_2/koolstof aan sectoren die daar behoefte aan hebben, waarmee ook economische waarde verloren gaat.



Figuur 3. De inzet van biomassa/groen gas zal opschuiven naar toepassingen waar koolstof nodig is, dan wel CO_2 kan worden opgeslagen (negatieve CO_2-emissies).

Ook CE Delft concludeert dat biomassa/groen gas zal op de langere termijn moeten worden ingezet in sectoren die een gebrek aan een alternatief hebben [6]. Eventuele inzet voor gebouwverwarming moet derhalve als een overgangsmaatregel gezien worden. Groen gasproductie vindt momenteel nog vrijwel uitsluitend met vergistingsinstallaties plaats, maar in de toekomst zal vergassing dominant gaan worden.

Voor de 70 PJ doelstelling van de groen gassector zal de uitrol van superkritische vergassing bijvoorbeeld noodzakelijk zijn [7], waarvoor nu een eerste demonstratie-fabriek in Alkmaar draait.

Bij vergassing ontstaat waterstof – en een logische denkrichting is dan ook dat biomassa in de toekomst wordt omgezet in waterstof en CO_2 om zo in een energie- en grondstoffenbehoefte te kunnen voorzien, met bijbehorende revenuen. Het aardgasnet in Nederland kan dan worden omgebouwd naar een waterstofnet (figuur 3).

Waterstof

Recente ontwikkelingen ondersteunen het beeld dat waterstof een goede kandidaat is voor de verwarming van gebouwen. Eerste HR CV-ketels op waterstof worden momenteel in een flat in een door Stedin aangezet project in Rozenburg gedemonstreerd en meerdere fabrikanten zullen dit jaar waterstof (ready) CV-ketels op de markt brengen. In combinatie met een warmtepomp (een hybride systeem) ontstaat belangrijke energiebesparing – typisch in de orde van 40-50%. De introductie van brandstofcellen, die waterstof in warmte en elektriciteit omzetten, kan de energievraag verder verlagen[6].

Aardgastransport en -distributieleidingen kunnen met bescheiden investeringen op nationaal niveau voor waterstoftransport geschikt worden gemaakt, en qua veiligheid is er weinig twijfel dat waterstof niet onder doet voor aardgas. Door de grote stijgsnelheid van het lichte waterstof is de kans op het ontstaan van een brandbaar lucht/waterstof mengsel klein, en een belangrijk voordeel is dat er bij verbranding geen koolmonoxide kan vrijkomen. Voor normering krijgen veiligheidsaspecten overigens veel aandacht in lopend onderzoek.

Substantiële productie van groene waterstof (middels elektrolyse verkregen uit wind- en zonne-energie) moet nog van de grond komen, maar eerste stappen worden nu gezet. Zo hebben Shell en de Gasunie aangekondigd voor 2030 3-4 GW aan extra windturbines op de Noordzee te gaan plaatsen, die stroom gaan leveren voor elektrolysers in het Eemshavengebied. In 2040 moet de capaciteit zijn vergroot tot 10 GW, met ook waterstofproductie op de Noordzee zelf. 1 GW aan windenergie kan waterstof leveren voor de verwarming van zo'n 320.000 woningen met een waterstof CV-ketel, of 640.000 woningen met een hybride verwarmingssysteem[7].

De snelle daling van de kosten van duurzame elektriciteit is één van de redenen waarom de belangstelling voor waterstof zo sterk gegroeid is de laatste jaren. Recente biedingen voor de ontwikkeling van zonne-energieparken in het Midden-Oosten en Portugal liggen tussen de 1,11[8] en 1,7 €ct/kWh, ongeveer 30% van de groothandelsprijs van 'fossiele elektriciteit'. In 2015 lag de bieding nog rond de 5 €ct/kWh[9]. Voor de productie van waterstof is verder de prijs van de elektrolyse-installatie van belang.

---

6 *In Japan zijn inmiddels ruim 300.000 'Ene-farm' brandstofcellen in woningen geïnstalleerd, die aardgas in waterstof omzetten, waaruit met de brandstofcel elektriciteit en warmte wordt geproduceerd. De kostprijs is gezakt tot onder de $ 10.000. De ambitie ligt op 5,3 miljoen systemen in 2025. http://www.pace-energy.eu/japan-a-success-story-in-deploying-fuel-cell-micro-cogeneration/*

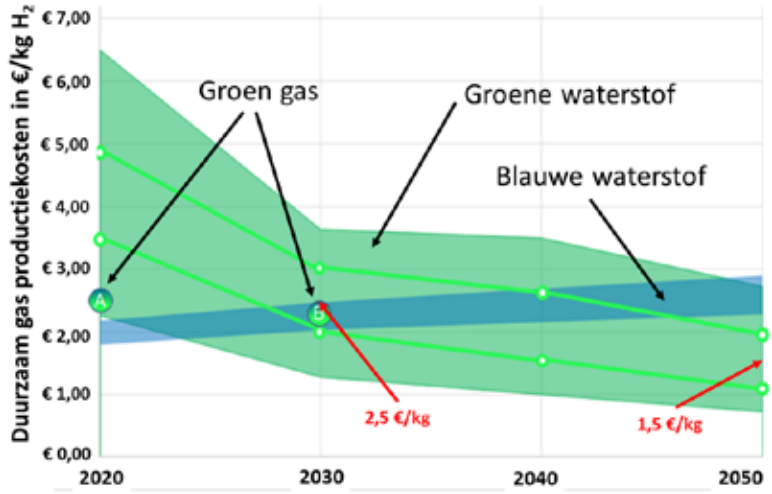
7 *Bij 5000 vollasturen, een elektrolyserendement van 80% op bovenwaarde en een vraag van 1200 m^3 aardgas per woning.*

8 *https://www.pv-magazine.com/2020/07/27/worlds-lowest-bid-of-0-0135-kwh-wins-in-abu-dhabis-2-gw-solar-tender/*

9 *Mohammed bin Rashid Al Maktoum Solar Park – phase 2. https://www.wattisduurzaam.nl/5969/energie-opwekken/zonne-energie/zonnestroom-mexico-duikt-4-dollarcent-per-kilowattuur/*

Bloomberg New Energy Finance wijst erop dat waar in het Westen de systeemprijzen nog rond de 1.000 €/kW liggen, in China al systemen gebouwd worden voor 200 €/kW [8], ondermeer door lagere arbeidskosten – de constructie vraagt nog veel handwerk – en door een betere benutting van de productiecapaciteit. Bij geautomatiseerde massaproductie voor een grote afzetmarkt moet dit ook in het Westen als een haalbaar prijsniveau worden gezien, met de huidige stand van de techniek. Verdere prijsdaling volgt de technologische ontwikkeling.

In Figuur 4 toont de bandbreedte van prijzen die in de literatuur gevonden worden voor de productieprijs van groene waterstof[10]. De spreiding heeft bijvoorbeeld te maken met de beschouwde productiecapaciteit van kW tot GW-schaal, aangenomen elektriciteitsprijzen voor verschillende productielocaties en de prijsontwikkeling van de elektrolysers. De doorgetrokken groene lijnen geven de gemiddelde waarden van de hoge en lage voorspellingen. 1 Euro per kg waterstof komt overeen met 0,25 €/m^3 aardgas – de prijs die in de Klimaat- en Energieverkenning 2019 [9] aangehouden wordt als de verwachte prijs in 2030. De analyse van Bloomberg NEF leidt tot de laagste prijs in de grafiek (0,7 €/kg in 2050)[11].



Figuur 4. Vergelijking van de verwachte productieprijzen van groene waterstof uit literatuurgegevens met een prognose voor blauwe waterstof en groengasprijzen in 2020 en 2030 [6]. 1 €/kg correspondeert met 0,25 €/m3 aardgas.

Waterstofproductie in zon- en windrijke gebieden wordt relevant, gegeven de potentiële bijdrage van waterstof aan de nationale energievraag. In de kabinetsvisie over waterstof uit 2020 wordt erop gewezen dat bronnen een inzet van 30-50% noemen [10]. Ook in de Europese context worden nu plannen ontwikkeld voor een pan-Europese waterstofinfrastructuur, met pijpleidingen en waterstofopslag in zoutkoepels, waarbij als eerste streefwaarde voor het productievolume 2*40 GW wordt genoemd. 40 GW in Noord-Afrika en 40 GW in Europa en de Oekraïne. De transportkosten per pijpleiding tussen Noord-Afrika en Noordwest-Europa worden geraamd op 0,2 €/kg [11]. Dit kan er dus op wijzen dat de prijs van waterstof gaat tenderen naar de aardgasprijs.

10 *Samengesteld door Richard van As-Jacobsson (HVW Advisory) en Tom Odijk*
11 *Bij een aangenomen groene elektriciteitsprijs van 1,3 €ct/kWh en elektrolyserkosten van ca. 70 €/kW in 2050.*

In de figuur zijn ook indicaties voor de productieprijs van groen gas[12] en blauwe waterstof opgenomen. Blauwe waterstof ontstaat wanneer bij de waterstofproductie uit aardgas (vrijwel alle waterstof wordt momenteel nog op deze manier geproduceerd) CO_2 wordt afgevangen en ondergronds wordt opgeslagen. Tot 90% afvang is mogelijk [12]. Het H-Vision en Porthos project bereiden deze optie voor met respectievelijk aandacht voor de afvang van CO_2 in de industrie in het Rotterdamse havengebied en het transport en de ondergrondse opslag daarvan. De stijgende tendens van de prijs van blauwe waterstof heeft met aannames omtrent de aardgasprijs te maken.

We zien in figuur 4 dat in 2030 de productieprijzen van blauwe waterstof en groen gas vermoedelijk dicht bij elkaar liggen, binnen de bandbreedte voor de groene waterstofprijs. Op de langere termijn biedt groene waterstof het beste kostenperspectief. De prijsontwikkeling van groen gas is nog slecht te voorzien met de opkomende nieuwe technieken, en de marktwaarde van de koolstof.

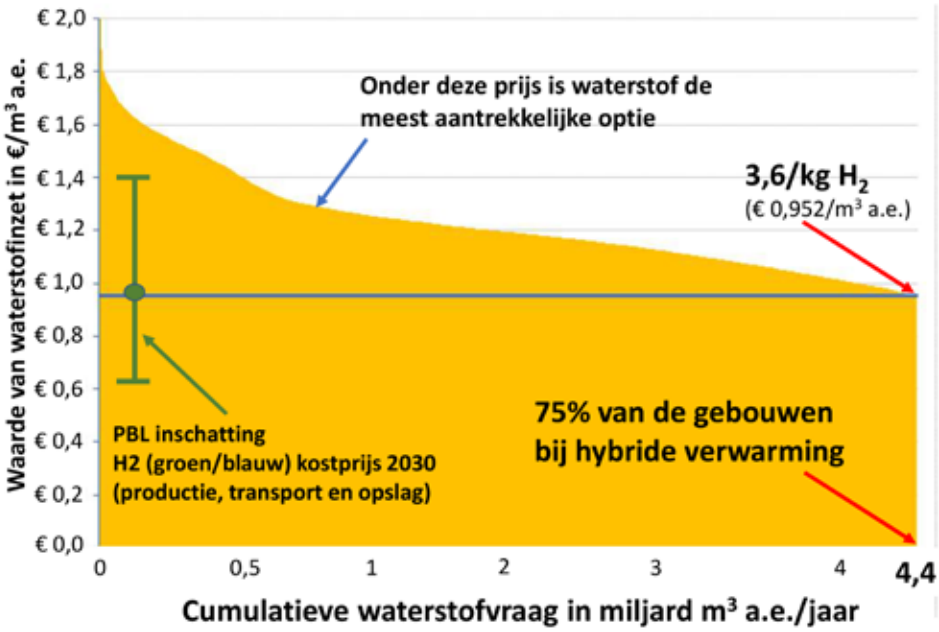
In de genoemde studies van CE Delft en van Stedin en andere netbeheerders, werd gekeken naar de inzet van duurzaam gas. Het PBL heeft eind 2020 de 'Startanalyse aardgasvrij buurten' gepubliceerd om de gemeentes te ondersteunen bij het ontwikkelen van de transitievisies warmte [13], waarin ook expliciet naar waterstofverwarming wordt gekeken. Daarvoor is met het Vesta-MAIS model voor alle Nederlandse buurten doorgerekend bij welke prijs waterstof de meest aantrekkelijke optie is, rekening houdend met de integrale ketenkosten van de alternatieven [14]. Door de warmtevraag van de 'waterstofbuurten' te sommeren, kan dan de totale hoeveelheid waterstof berekend worden die op dat prijsniveau in principe is af te zetten (figuur 5). Langs de horizontale as is de waterstofvraag uitgedrukt in miljarden m^3 aardgasequivalenten per jaar. Langs de verticale as staat de waterstofprijs waarbij die vraag ontstaat in Euro's per m^3 aardgasequivalenten (0,25 €/m^3 = 1 €/kg H_2). Links in de figuur gaat het typisch om oude buurten waar de installatie van warmtepompen tot kostbare gebouwaanpassingen zou leiden en waar bovendien geen warmtenet aangelegd kan worden of waar dat te duur is (bijvoorbeeld door te weinig aansluitingen). Waterstof mag dan een hoge prijs hebben. Rechts in de figuur komen de buurten erbij waar de alternatieve opties financieel aantrekkelijker worden. Voor een waterstofprijs van 3,6 €/kg zou in totaal 4,4 miljard m^3 waterstof per jaar afgezet kunnen worden. Als we ervan uitgaan dat het hoofdzakelijk om hybride systemen zal gaan, is met 4,4 miljard m^3/jaar ongeveer 75% van de woningequivalenten in Nederland te bedienen[13].

Een prijs van 3,6 €/kg is naar verwachting niet onredelijk in 2030, gegeven de prijsprognose voor dat jaar van het PBL voor blauwe en groene waterstof (geproduceerd op de Noordzee), waarbij men ook rekening houdt met waterstoftransport- en opslagkosten [15].

---

12 *In de SDE++ regeling wordt gerekend met productiekosten voor grootschalige vergisting van 0,064 €/kWh en voor vergassing van 0,1 €/kWh. Omgerekend naar waterstof is dit respectievelijk 2,1 en 3,3 €/kg [18].*

13 *De Nederlandse gebouwen (11,3 miljoen woningequivalenten) zouden volgens het lopende beleid in 2030 333 PJ aan warmtevraag moeten hebben, na isolatiemaatregelen. Wij blijven aan de voorzichtige kant en rekenen met 370 PJ, equivalent met 11,7 miljard m^3 aardgasequivalenten. Bij hybride verwarming is ongeveer de helft van de verwarmingsvraag een vraag naar waterstof. 0,75*11,7/2=4,4 miljard m^3 aardgasequivalenten.*



Figuur 5. Waterstofprijsprognose in 2030 en kritische waterstofprijs voor gebouwaansluiting, beide volgens het PBL.

De drie genoemde studies komen dus tot de vergelijkbare conclusie dat duurzaam gas/waterstof de meest aantrekkelijke optie voor het grootste deel van de gebouwen in Nederland is, als er uiteraard voldoende van beschikbaar komt.

Een toekomstperspectief (2030-2050)

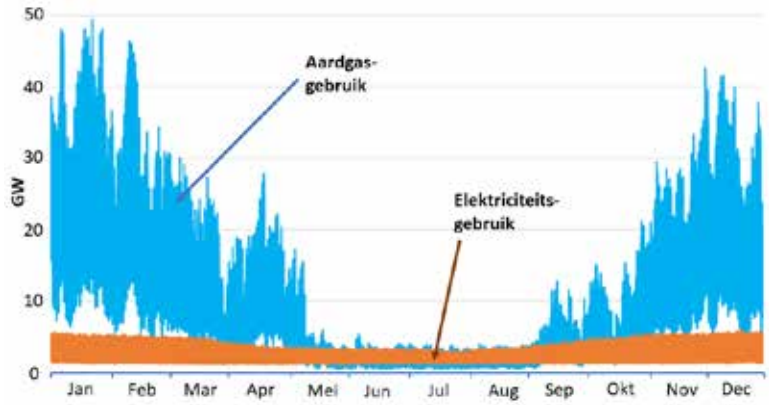
Er zijn goede argumenten om waterstof als een serieus alternatief te zien voor gebouwverwarming. Als we dat beeld omarmen, dan ontstaat er een interessant perspectief voor de langere termijn.

- Het aanbod van waterstof als duurzaam gas aan gebouwen maakt de keuze voor de kosteneffectieve hybride verwarmingssystemen uit het klimaatakkoord logischer. Zeker als deze uitgevoerd kunnen worden met 'waterstof-ready' CV-ketels, is de omschakeling naar een volledig CO_2-vrije verwarming eenvoudig, en vermindert dat de druk om ook bij de installaties van hybride systemen al vast 'spijtvrije isolatiemaatregelen' toe te passen, die nodig zijn voor volledig elektrische verwarming met een warmtepomp. Dit vertaalt zich dus in lagere transitiekosten.
- De omschakeling naar een duurzaam gas verschuift een veelheid aan inspanningen op decentraal niveau naar een centrale aanpak, die bovendien aansluit bij inspanningen die nodig zijn voor het integrale energiesysteem – grootschalige energieopslag [16] en het voorzien in een energie- en grondstoffenvraag die uitstijgt boven duurzame elektriciteitsvoorziening, vanuit het totaal der sectoren. Na 2030 moeten nog ruim 400.000 gebouwequivalenten per jaar worden aangepakt (zo'n 1600 per werkdag), en bij eenvoudige aanpassingen achter de voordeur wordt dat beter behapbaar qua inzet van de bouw-/installatiesector.

- Een focus op waterstof, die in onbeperkte hoeveelheden in de internationale context produceerbaar is, haalt de druk op biomassa/groen gas weg. Zeker met moderne vergassingstechnieken kan biomassa ook gebruik worden voor waterstoftoelevering, maar de rationele inzet moet vooral recht doen aan maatschappelijke behoeftes voorbij de energielevering alleen, als een koolstofbehoefte uit de industrie en de glastuinbouwsector.
- Wat we bovenstaand nog niet uitgebreider hebben geadresseerd is de inzet van brandstofcellen in gebouwen, maar ook hier ligt een belangrijk perspectief. Brandstofcellen die aangeboden waterstof omzetten naar warmte en elektriciteit, maar die ook in een moderne variant het omgekeerde kunnen doen – zelf opgewekte elektriciteit (met zonnepanelen) omzetten in warmte (voor tapwater in de zomer) en waterstof – die via het gasnetwerk kan worden afgevoerd en centraal kan worden opgeslagen. Veel zonnepanelen in de steden zullen in belangrijke mate bepalend worden voor de capaciteit van elektriciteitsnetwerken. Bij een blauwe hemel moet er in de zomer een grote elektriciteitspiek worden afgevoerd. Als die elektriciteit lokaal naar waterstof wordt omgezet, kan dat via de goedkope gasnetwerken. Omgekeerd kan in de winter gekozen worden tussen het gebruik van waterstof en van elektriciteit (bij hybride systemen) om pieken in de elektriciteitsvraag voor verwarming op te vangen, wat de flexibiliteit vergroot in de afname van elektriciteit, die niet meer op afroep geproduceerd kan worden met windmolens en zonnepanelen. Ook krijg je op het nationale niveau zo omzettingscapaciteit van waterstof naar elektriciteit voor de momenten van een elektriciteitstekort, wat de elektriciteitssector investeringen bespaart en de gebouweigenaar extra inkomsten kan geven. Lopende ontwikkelingen in de automobielsector voor de massaproductie van brandstofcellen gaan bijdragen aan een lage kostprijs voor stationaire toepassingen.

Naar 500.000 woningen op waterstof in 2030

Vanuit dit perspectief achten we het raadzaam dat in aanvulling op de benoemde maatregelen in het klimaatakkoord, ook een doelstelling voor de inzet van waterstof voor de gebouwde omgeving in 2030 wordt geformuleerd en nagestreefd.
Voor de haalbaarheid daarvan is een belangrijk ingrediënt dat de Gasunie heeft aangekondigd om een 'waterstofbackbone' te ontwikkelen, die de grote industriegebieden in Nederland met elkaar en met waterstofaanvoer en opslaglocaties verbindt.



Figuur 7. Het dagelijkse gas- en elektriciteitsgebruik van Nederlandse huishoudens door het jaar. Bron: Kellner, 2018 [15]

Waterstofbackbone Gasunie

Gasunie werkt aan een duurzame energievoorziening voor Nederland en Europa met minder CO_2-uitstoot. Om de uitdagingen uit het Klimaatakkoord te realiseren is duurzame waterstof als energiedrager en grondstof onmisbaar. Voor veilig en betrouwbaar transport en opslag van deze CO_2-vrije moleculen wordt een waterstofbackbone gerealiseerd. Deze backbone brengt vraag en aanbod bij elkaar en bestaat grotendeels uit bestaande leidingen.

- **Gasunie waterstofbackbone verbindt regionale backbones met elkaar, het buitenland en waterstofopslag.**
- **Grootschalig hergebruik bestaande infrastructuur (85%) maakt waterstoftransport betaalbaar, goed inpasbaar en snel beschikbaar.**
- **Koppeling met waterstofopslag vangt fluctuaties op in vraag, industrie en aanbod duurzame energie.**
- **Grootschalige capaciteit maakt verduurzamingsindustrie mogelijk: 10 GW capaciteit maakt ± 10 Mton CO2-reductie mogelijk (70% van 2030-doelstelling industrie).**
- **Landelijke dekking in 2030 met 1400 km leiding (dit is gelijk aan de afstand van Groningen naar bijvoorbeeld Marseille).**

Fasering

- **Ontwikkeling regionale backbones, inclusief verbinding met Duisland en Noord-Nederland.**
- **Industriële clusters verbonden met elkaar en met waterstofopslag.**
- **Backbone verbonden met Europese waterstofbackbone.**

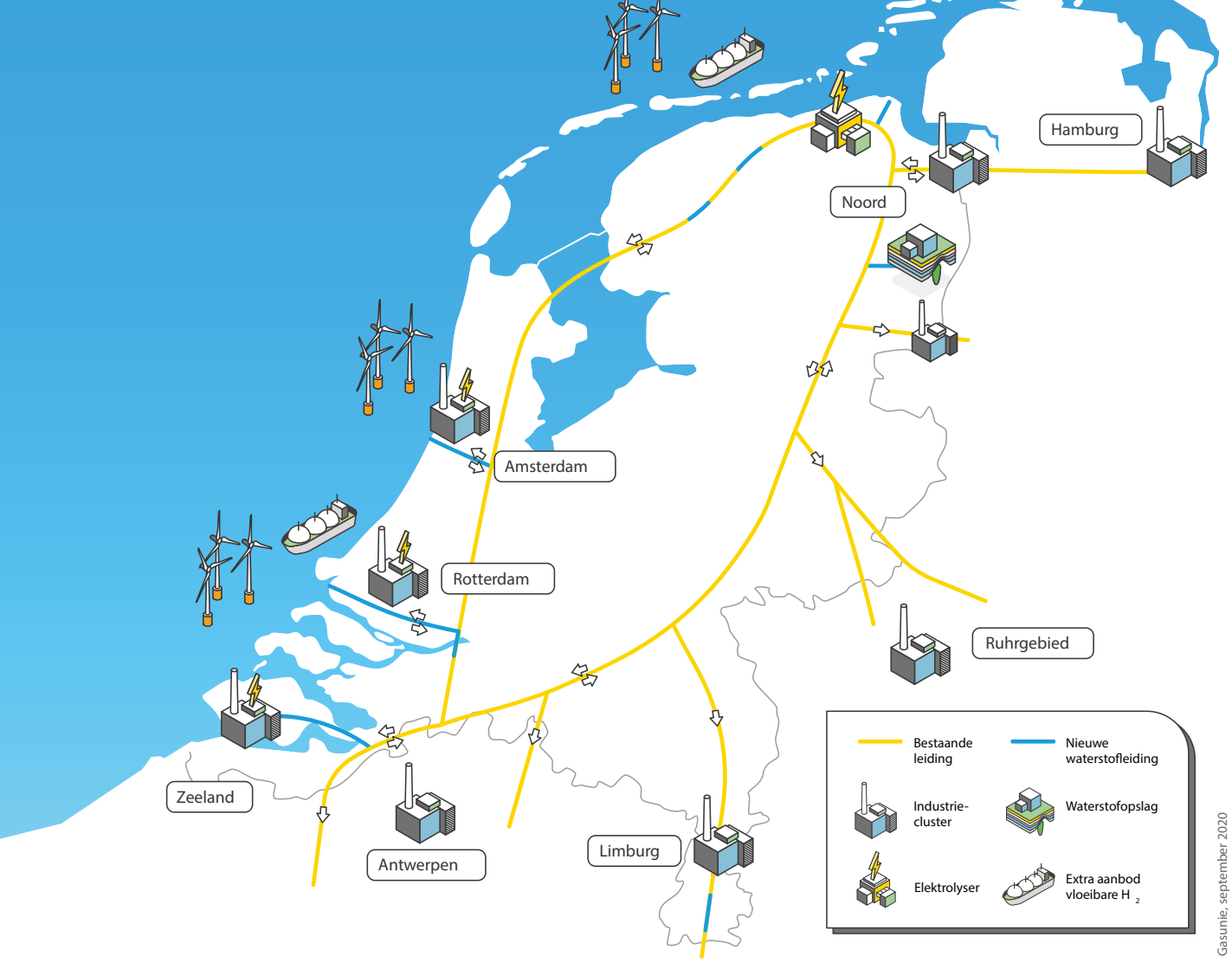
gasunie
crossing borders in energy

Hiervoor worden bestaande, redundante aardgastransportleidingen omgezet, enkele nieuwe tracés aangelegd, en worden compressorstations aangepast (figuur 6). Na de aanvankelijk indicatie dat de transportleidingen in 2030 operationeel moeten zijn, wordt nu als oplevermoment 2026 aangehouden[14]. De capaciteit van de leiding gaat 10-15 GW bedragen. Als we de nieuwe, extra vraag van de industrie zoals benoemd in het klimaatakkoord (+50-153 PJ/jaar) hiervan aftrekken[15], vraagt dit bij continue afname maximaal 5 GW aan leidingcapaciteit.

In figuur 7 zien we dat de maximale gasafzet in de piekmaanden voor de 7,7 miljoen Nederlandse woningen 50 GW aan aardgas bedroeg in 2018. Zonder besparingsmaatregelen of energiezuinger apparatuur als hybride systemen, zou een overblijvende leidingcapaciteit van 5-10 GW voldoende waterstof kunnen bieden voor de piekvraag van 750.000 tot 1,5 miljoen woningen bij gebruik van waterstof CV-ketels, en het dubbele aantal (1,5-3 miljoen) bij hybride verwarmingssystemen.

Als we aan het klimaatakkoord een ambitie toevoegen om 500.000 woningen te voorzien van waterstof in 2030, in buurten nabij de Gasunie backbone,

14 *René Schutte, programmamanager waterstof van de Gasunie, persoonlijke communicatie, 5-3-2020.*
15 *Ervan uitgaande dat de nu bestaande vraag lokaal blijvend wordt afgedekt*



Figuur 6. Gasunie-ambitie voor de aanleg van de 10-15 GW industriële waterstof-backbone met veel bestaande gastransportleidingen. Verwachte oplevering: 2026.

zou dat dus ruim binnen de bandbreedte van de leidingcapaciteit vallen. Bij invulling met groene waterstof, vraagt dat ongeveer 1 GW aan extra windenergiecapaciteit op de Noordzee met bijbehorend elektrolyservermogen, maar invulling met blauwe waterstof is voorlopig nog een alternatief.

Van de demonstratieprojecten die momenteel onder andere in Hoogeveen en Stad aan 't Haringvliet worden opgezet om eerste woonkernen te verwarmen met waterstof mag verwacht worden dat voor 2025 de resultaten opgeleverd zijn in termen van: bewonersacceptatie, een betere onderbouwing van de kosteneffectiviteit, eisen die gesteld moeten worden aan wet-, regelgeving en normering, de rollen van partijen als de netbeheerders, enzovoort. In de tweede helft van de jaren twintig kan bij voldoende resultaat dan gewerkt worden aan de ombouw van eerste wijken in Nederland. De bijbehorende CO_2-emissiereductie is ongeveer 1 Mton per jaar, wat dus een relevante risicospreiding geeft voor het realiseren van de doelstelling van 3,4 Mton/jaar.

Referenties

[1] K. Schoots, M. Hekkenberg en P. Hamming, „Nationale energieverkenning 2017," ECN, PBL, CBS, RVO, 2018.

[2] „Klimaatakkoord," Den Haag, 2019.

[3] M. Hekkenberg, R. Koelemeijer, G. J. van den Born, C. Brink, H. Hilbers, N. Hoogervorst, P. Koutstaal, J. Ros, J. Notenboom, H. Vrijburg, J. van Dam, B. Daniëls, G. Geilenkirchen, A. van Hinsberg en M. van Hout, „Effecten ontwerp klimaatakkoord," PBL, 2019.

[4] R. Segers, R. Van den Oever, R. Niessink en M. Menkveld, „Warmtemonitor 2017," CBS, ECN, TNO, 2019.

[5] N. Naber, B. Schepers, M. Schuurbiers en F. Rooijers, „Een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving – update 2016," CE Delft, 2016.

[6] C. Leguit, K. Kruit en F. Rooijers, „Contouren en instrumenten voor een Routekaart Groengas 2020- 2050," CE Delft, 2018.

[7] H. Warmenhoven en P. Van Soest, „Green Liaisons - Hernieuwbare moleculen naast duurzame gassen," De Gemeynt, 2018.

[8] „Hydrogen: the economics of production from renewables," Bloomberg NEF, 2019.

[9] K. Schoots en P. Hammingh, „Klimaat- en energieverkenning 2019," PBL, 2019.

[10] E. Wiebes, „Kabinetsvisie Waterstof," Ministerie van Economische Zaken, 2020.

[11] A. van Wijk en F. Wouters, „Hydrogen. The Bridge between Africa and Europe," in Shaping an inclusive energy transition, Springer, 2020, p. 31.

[12] S. Hers, T. Scholten, R. v. d. Veen, S. v. d. Water en C. Leguijt, „Waterstofroutes Nederland. Blauw, groen en import.," CE Delft, Nuon, Gasunie, 2018.

[13] M. Weeda en R. Niessink, „Waterstof als optie voor een klimaatneutrale warmtevoorziening in de bestaande bouw," TNO, 2020.

[14] N. Hoogervorst, M. Menkveld en C. Tigchelaar, „Achtergronddocument effecten ontwerp klimaatakkoord: gebouwde omgeving," PBL, 2019.

[15] M. Kellner, „De snelste route naar aardgasvrije wijken," Smart Energy NL, 2018.

Ad van Wijk

AD VAN WIJK IS DEELTIJDHOOGLERAAR FUTURE ENERGY SYSTEMS AAN DE TU DELFT. HIJ IS GASTHOOGLERAAR BIJ KWR WATER RESEARCH INSTITUTE, WAAR HIJ HET ONDERZOEKSPROGRAMMA ENERGY AND WATER ONTWIKKELT EN IMPLEMENTEERT.

LEES HET VOLLEDIGE CV VAN AD VAN WIJK OP PAGINA 14.

Wim Peels

WIM PEELS **IS EINDVERANTWOORDELIJK VOOR TWINNING ENERGY IN MAARN, EEN ORGANISATIE DIE EEN COMPLEET PAKKET VOOR ZAKELIJK RIJDEN OP WATERSTOF BIEDT EN TEVENS ANDERE PRODUCTEN EN DIENSTEN VOOR DUURZAAM ONDERNEMEN, ZOALS BIJVOORBEELD HET ZELF LOKAAL PRODUCEREN VAN WATERSTOF.**

Wim heeft een achtergrond in de olie- en gasindustrie en heeft bij diverse ondernemingen een leidinggevende, eindverantwoordelijke en constructieve rol gehad.

Waar het voorlopig met de infrastructuur op het gebied van waterstof enigszins traag verloopt, heeft hij met Twinning Energy en partners reeds een tiental lokale tankinstallaties gerealiseerd waarmee nu reeds tientallen en een nog steeds groeiend aantal waterstofvoertuigen in gebruik is en wordt genomen.

Wim rijdt sinds begin 2019 uiteraard zelf ook in een waterstofauto.

ZONDER WATERSTOF GEEN OPSCHALING EMISSIELOOS RIJDEN

DE ROL VAN WATERSTOF BIJ KANSBENUTTING EN RISICOBEHEERSING VAN OPSCHALING DUURZAME MOBILITEIT

ROBERT VAN HOOF & WIM PEELS

INFRAM & TWINNING ENERGY

Rijden op waterstof, heeft dat de toekomst of toch niet? Aan (stellige) meningen over de waterstofauto is geen gebrek, alleen zijn die meningen verre van gelijkluidend:

“Professor Schrödl van het Onderzoeksinstituut voor Energiesystemen en Elektrische Aandrijvingen van de Technische Universiteit van Wenen heeft de cijfers bekeken en is duidelijk tegen de waterstoftechnologie voor het particuliere personenvervoer.” (RTL Nieuws, 3 september 2019).

“Waterstof is de brandstof van de toekomst, stelt het Internationaal Energieagentschap”(Bloomberg, 14 juni 2019).

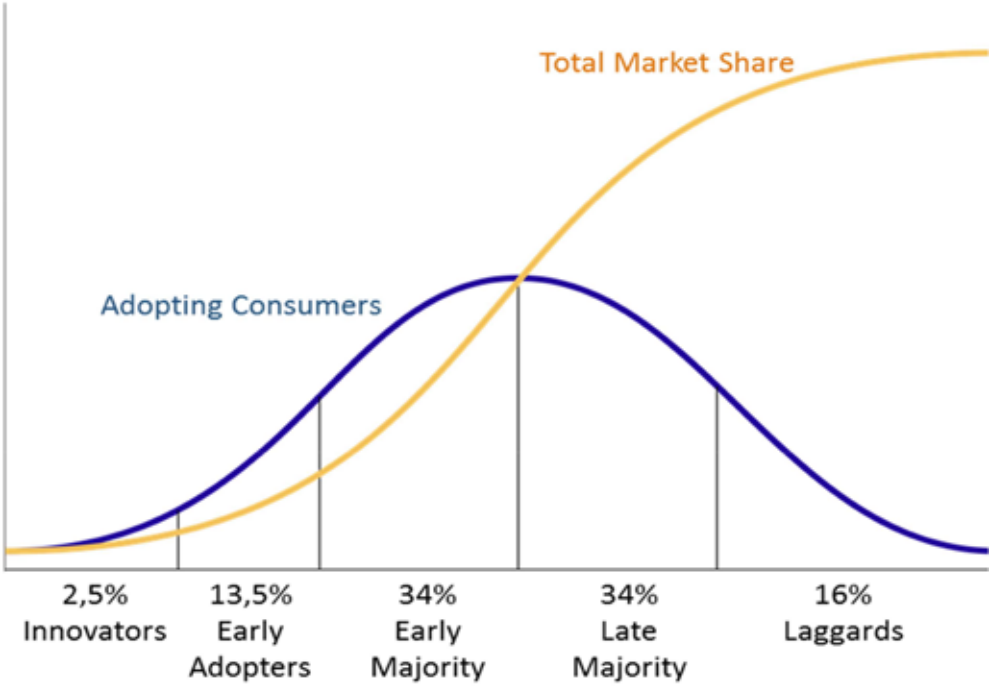
"Rijden elektrische auto’s in de toekomst op waterstof of op accu’s? Allebei", verwacht hoogleraar elektrochemie Hubert Gasteiger[1].

Diverse gezaghebbende instanties en personen denken dus nogal verschillend over de potentie van waterstof voor onze toekomstige mobiliteit. Die uiteenlopende zienswijzen zien we in een veel breder veld waarin de discussie over hoe onze toekomstige mobiliteit eruit moet zien met veel passie wordt gevoerd. Het is daarbij opvallend dat die meningen vrijwel altijd op technische deelaspecten zijn gebaseerd. Het gaat dan met name om waterstofproductiemethoden: op dit moment is vooral veel grijze waterstof (geproduceerd uit fossiele energiebronnen) beschikbaar en blauwe waterstof (waarbij de bij de productie vrijkomende koolstofdioxide wordt afgevangen en opgeslagen). Waterstof heeft dus dezelfde vergroeningsopgave als onze gemiddelde elektriciteitsvoorziening die op dit moment voor 80% uit fossiele bronnen (steenkool, aardgas) afkomstig is. In relatie tot de productie van groene waterstof uit hernieuwbare bronnen (zon, wind) richt de discussie zich vooral op de de energie-efficiëntie, oftewel het energieverlies dat optreedt bij power-to-gas (het omzetten van groene elektriciteit in waterstof) en vervolgens gas-to-power (het omzetten van waterstof in elektriciteit in de waterstofauto middels een brandstofcel). Daarnaast gaat het om eigenschappen waarin de waterstofauto zich onderscheidt van een volledig elektrische auto (met accu en stekker) zoals actieradius en tank-/laadtijden.

1 *Technisch Weekblad 1 februari 2019*

Het is daarbij opvallend dat die discussie vaak met grote passie en soms zelfs venijnig wordt gevoerd, vaak met als gevolg, of als expliciet doel, dat keuzes beïnvloed worden, van partijen die veel minder technisch onderlegd zijn: overheden die de ontwikkeling naar nulemissie reguleren en stimuleren en automobilisten, wagenparkbeheerders en leasemaatschappijen als voertuigeigenaren en -berijders.

Onze conclusie dat de gewenste opschaling van emissieloos rijden zonder waterstof niet mogelijk is, is echter op geheel andere gronden gebaseerd. We lichten dit toe aan de hand van de curve die schetst hoe innovatie de weg naar de consument vindt.



Figuur 1. Diffusie van innovatie-adoptie door Rogers)[2]

De grafiek toont het verloop van de mate waarin innovaties door consumenten geaccepteerd en gebruikt worden. Tevens toont de grafiek een aantal te onderscheiden fasen en een typering van de klantgroep die een fase domineert. Van innovator naar vroege acceptatie, de vroege en late meerderheden en uiteindelijk de hekkensluiters (laggards).

Rijden op waterstof bevindt zich nu in de fase van 'early adopters', oftewel de eerste wat grotere groep die in een waterstofauto rijdt, waarvoor over het algemeen goed functionerende waterstoftankpunten beschikbaar zijn, maar nog op zeer beperkte schaal.

De hiervoor vermelde citaten over waterstof hebben een nauwe relatie met de wereld van de Innovators en Early Adopters. Fascinatie voor een nieuwe technologie speelt in die fasen een grote rol bij het besluit om een waterstofauto aan te schaffen of te leasen. Het is dus ook niet vreemd dat de discussie over waterstof zich veelal toespitst op een beperkt aantal technische aspecten, zoals de energiebron en energie-efficiëntie.

2 *Diffusion of Innovations, Everett M. Rogers, The Free Press, 1962*

Het rijden op waterstof beweegt zich nu langzamerhand richting de fase van de early majority: meer autofabrikanten brengen hun waterstofvoertuigen op de markt, het aantal waterstoftankstations groeit en grotere aantallen waterstofvoertuigen vinden hun weg naar de consument. Voor autofabrikanten betekent opschaling het halen van verkooptargets.

Opschaling gaat samen met commerciële activiteiten om klanten te interesseren en auto's te verkopen. Met name in het personenwagensegment zijn de criteria op basis waarvan een auto wordt uitgekozen divers. Het gaat vaak om het uiterlijk van de auto, rijcomfort, acceleratie, bagageruimte en de totaalprijs per kilometer. Op dit moment levert een waterstofauto in een relatieve korte tankbeurt van een paar minuten een bereik van meer dan 500 kilometer op een volle tank. Op dit moment is de waterstofauto duurder dan een vergelijkbare volledig elektrische auto.

Zowel de waterstof- als de accutechnologie worden steeds verder verbeterd. Het zal nog wel even duren voordat er in beide technieken weinig meer te verbeteren valt, zoals nu bij diesel en benzine het geval is. Waarom beweren we nu dan reeds dat de opschaling van emissieloos rijden zonder waterstof niet lukt? Nou, simpelweg omdat dat emissieloos rijden niet mogelijk is zonder de inzet van nulemissievoertuigen.

Voor het slagen van de energietransitie komt de laatste tijd steeds nadrukkelijker een kritische succesfactor boven drijven: maatschappelijke acceptatie, waaronder kosten en keuze. Het liefst willen we veel keuze tegen lage kosten. Het gaat hierbij om de potentiële afnemers van nulemissieauto's. Dat zijn partijen die meestal ook al op andere fronten met de energietransitie worden geconfronteerd, denk bijvoorbeeld aan hen die in wijken wonen waar men van het gas afgaat. De warmtetransitie laat al weinig keuze aan de consument. Het is te duur en om andere reden onhaalbaar om bijvoorbeeld én het elektriciteitsnet te verzwaren én een warmtenet aan te leggen. Hier worden vaak collectieve keuzes gemaakt. Geen keuze en vaak hogere kosten, dat maakt de maatschappelijke acceptatie vaak al lastig.

In de mobiliteit is de mogelijkheid er wel om keuzevrijheid te creëren: bijvoorbeeld door de keuze voor een bepaald type voertuig aan de consument te laten. Een duurdere waterstofauto met korte tanktijd en groot bereik of een volledig elektrische auto met iets langere laadtijd en kleiner bereik, maar wel tegen lagere kosten dan de waterstofauto. Toekomstige innovaties en efficiëntieslagen in zowel volledige elektrische als waterstofauto's kunnen de verhoudingen qua prestatie en kosten van beide voertuigtypen nog flink beïnvloeden. Eén ding is daarbij zeker: de consument kiest en bepaalt hoe de samenstelling van het voertuigaanbod eruit ziet.

Tegen deze achtergrond is de brandstofvisie van het Rijk goed te begrijpen. Deze visie zet in op het bereiken van de doelen door een breed scala aan duurzamere brandstoffen de kans te geven zich te bewijzen als een volwaardig emissieloos alternatief voor de benzine- en/of dieselauto.

Les vijf uit het artikel 'Innovating in Uncertain Markets: 10 Lessons for Green Technologies'[3] luidt: "Embrace uncertainty by maintaining options", oftewel krijg vat op onzekerheid door middel van alternatieven. De kern van deze les: "The shift requires moving away from trying to predict and control risk to embracing techniques that accept as a given that the best we can do is navigate the uncertainty (...)".

3 *10 Lessons for Green Technologies, George Day en Paul Schoemaker. MITSloan Management Review, summer 2011*

Rijden op waterstof heeft de potentie om een doelgroep aan te spreken die qua tankervaring (bij een tankstation), tanktijd en bereik van het voertuig zo weinig mogelijk verandering wil ten opzichte van de huidige situatie.

In de toekomst zal blijken of waterstofvoertuigen op het gebied van deze eigenschappen voldoende onderscheidend blijven en of deze qua kosten ook kunnen concurreren met beschikbare alternatieven, zoals de volledige elektrische auto. Niemand kan met zekerheid voorspellen hoe de verschillende nulemissie voertuigalternatieven zich uiteindelijk tot elkaar zullen verhouden. Technieken zijn nog volop in (door)ontwikkeling en de klant maakt bij de aanschaf een brede afweging, op basis van een veelheid aan beslisfactoren. Wij ondersteunen dus van harte de aanpak van de Brandstofvisie waarbij verschillende technieken, inclusief het rijden op waterstof, de kans krijgen om zich tot volwaardig alternatief voor de huidige benzine- en dieselauto's te ontwikkelen. Inzetten op meerdere technieken kost meer geld, bijvoorbeeld voor een overheid die zowel de aanleg van laadpalen als de ontwikkeling van waterstoftankstations ondersteunt. Onze stelling is dat die hogere uitgaven goed gemaakt worden door vermindering van het opschaalrisico.

De conclusie die wij trekken uit de citaten aan het begin van dit artikel, is dat verschillende als deskundig te bestempelen bronnen komen tot verschillende conclusies over de haalbaarheid en wenselijkheid van waterstof als nulemissie alternatief voor benzine en diesel. Er is nog veel te verbeteren qua techniek en kosten. Vanwege het feit dat sommige autofabrikanten al flink hebben geïnvesteerd in de ontwikkeling en productie van waterstofauto's, kunnen we er ook wel vanuit gaan dat hun commerciële belangen voldoende groot zijn om er zeker van te zijn dat ze alles uit de kast halen om hun product ook tot een commercieel succes te maken.

En in de praktijk blijkt dat factoren die een product uiteindelijk meer of minder succesvol maken vaak verrassend zijn en van een hele andere aard dan men altijd dacht. Een uitstekend voorbeeld hiervan is de introductie van de videorecorder in de jaren 80. Philips ontwikkelde het Video 2000-systeem. Sony had Betamax ontwikkeld en JVC bracht het VHS-systeem op de markt. In technisch/functioneel opzicht scoorden Video 2000 en Betamax beter dan VHS. Video 2000 bood als enige de mogelijkheid om dubbelzijdige videobanden te gebruiken. Met superieure techniek en gebruiksvriendelijkheid had Video 2000 het in zich om marktleider te worden. Het resultaat? Philips is enkele jaren later VHS-videorecorders gaan produceren. Het 'inferieure' VHS werd de standaard, omdat het eerder in grotere aantallen op de markt kwam én omdat van meet af aan pornografische titels beschikbaar waren op VHS, daar waar het preutse Philips dat filmgenre aanvankelijk buiten de deur hield.

Maar met alleen de omarming van waterstof als één van de kansrijke emissieloze alternatieven voor de benzine- en dieselauto zijn we er nog niet. Want, anders dan in het bovengenoemde voorbeeld van de videorecorder, hangt de ontwikkeling van de waterstofauto nauw samen met de maatschappelijke noodzaak om mobiliteit te verduurzamen. Naast de autobranche zijn er veel meer partijen die een belang hebben bij een succesvolle uitrol van de waterstofauto, namelijk alle partijen die een belang hebben bij de reductie van de uitstoot van koolstofdioxide. Dat zijn wij dus eigenlijk allemaal, de burgers en bedrijven.

Dat betekent dat we ook gezamenlijk verantwoordelijk zijn voor het creëren van de omstandigheden waarbinnen het rijden op waterstof zich op de langere termijn kan bewijzen.

Dat kunnen we niet alleen overlaten aan autofabrikanten, tankstationexploitanten en overheden. Adviesbureau Inframstuurt in de mobiliteitsregeling voor zijn werknemers sterk op verduurzaming, in combinatie met zoveel mogelijke keuzevrijheid voor het individu. Medewerkers die een emissieloze auto overwegen, kunnen kiezen voor een volledig elektrische auto maar ook voor de waterstofauto. Eén van de grotere nadelen van het rijden op waterstof is het vooralsnog beperkt aantal waterstoftankstations. Inframonderving dit door een kleine eigen waterstofvulinstallatie van Twinning Energy bij het kantoor te plaatsen. Daardoor werd de waterstofauto voor een aantal medewerkers interessant: zij die veel kilometers maken en die wonen in een regio met een reeds bestaand waterstoftankstation. Het resultaat is dat Inframnu al negen waterstofauto's in de vloot (van totaal ongeveer vijftig auto's) heeft. De berijders van die auto's wonen overwegend in de regio Arnhem, waar onlangs een geheel nieuw waterstoftankstation werd geopend.

Twinning Energy is de aanbieder van alles wat nodig is om op waterstof te kunnen rijden. Dat betreft zowel het zorgen voor voldoende waterstofauto's maar ook het realiseren en exploiteren van kleine tankvoorzieningen zoals die van Inframs. De mogelijkheid voor bedrijven en instellingen om al dan niet tijdelijk een eigen waterstofvulpunt te hebben, blijkt een schot in de roos. Veel bedrijven en instellingen waren tamelijk terughoudend ten aanzien van de waterstofauto, met name omdat het aantal waterstoftankstations in Nederland nog erg beperkt is. Met een eigen tankvoorziening maken deze partijen zich minder afhankelijk van derden. Het op de markt komen van kleinere en goedkopere waterstofvulinstallaties is een goed voorbeeld van een innovatie waar enkele jaren geleden niemand nog rekening mee hield maar die, naar de inzichten van nu, wel eens een belangrijke component kan vormen voor opschaling: kleinere vulpunten die een snel te realiseren alternatief vormen voor een groter tankstation, waardoor de trage opschaling van waterstoftankstations minder een bottleneck wordt. Daardoor zal in meer gevallen de waterstofauto nu al een reëel te overwegen alternatief voor de benzine- of dieselauto worden. Dit zal ook de opschaling van grotere openbare waterstoftankstations stimuleren, omdat er al vraag naar waterstof is en het voor exploitanten commercieel aantrekkelijk wordt om in die gebieden openbare waterstoftankvoorzieningen aan te bieden.

Wij zelf zijn erg enthousiast over de waterstofauto en zijn vol vertrouwen dat de waterstofauto naast de volledige elektrische auto de hoofdmoot van de emissieloze automobiliteit zal vormen. Maar evenzeer realiseren wij ons dat daarvoor nog veel moet gebeuren en dat we de daarmee gepaard gaande onzekerheden maar beperkt kunnen sturen. Wat we wel doen, is het leveren van onze bijdrage aan het creëren van de randvoorwaarden om de waterstofauto volwaardig in de opschaling van emissieloos rijden te kunnen meenemen. Gezien het grote maatschappelijke belang van verduurzaming, is het beter om alles een kans te geven dan het vooraf op basis van relatief beperkte inzichten en argumenten te diskwalificeren.

Robert van Hoof

ROBERT VAN HOOF IS EEN VAN INFRAM'S SPECIALISTEN OP HET GEBIED VAN DE FINANCIEEL-ORGANISATORISCHE STRUCTURERING VAN RUIMTELIJKE INVESTERINGSPROJECTEN. HET GAAT DAARBIJ VAAK OM HET SMEDEN VAN PUBLIEK-PRIVATE SAMENWERKINGEN.

Voor het Ministerie van Infrastuctuur en Milieu ontwikkelde hij een serie van business-case-instrumenten voor de productie, distributie en het gebruik van schone(re) brandstoffen. Daarbij ging het bijvoorbeeld om een rekentool die aan de hand van ervaringen van Heineken en Simon Loos de financiële aspecten van de inzet van elektrische vrachtwagens doorrekent.

Aan de hand van ervaringen van Albert Heijn stelde hij een rekentool op voor de inzet van LNG-vrachtwagens. Specifiek voor waterstof ontwikkelde hij de Hydrogen Integrated Business-case Impact Tool (HIBIT). Die tool is onder andere gebruikt als financieel fundament voor het onlangs geopende waterstoftankstation in Arnhem.

Mede op basis van de inzichten die deze tool de betrokken partijen gaf, besloten de gemeente Arnhem en de provincie Gelderland tot het opzetten van een vraagcreatie-initiatief dat onder de naam H2-Drive zo'n zeventig waterstofelektrische auto's in de directe omgeving van het tankstation op de weg wist te krijgen.

Robert rijdt sinds 2019 in een waterstofauto.

“WIJ ZELF ZIJN ERG ENTHOUSIAST OVER DE WATERSTOFAUTO EN ZIJN VOL VERTROUWEN DAT DE WATERSTOF-AUTO NAAST DE VOLLEDIGE ELEKTRISCHE AUTO DE HOOFDMOOT VAN DE EMISSIELOZE AUTO MOBILITEIT ZAL VORMEN.”

Noé van Hulst

NOÉ VAN HULST IS VOORZITTER VAN DE INTERNATIONAL PARTNERSHIP FOR HYDROGEN AND FUEL CELLS IN THE ECONOMY (IPHE), WATERSTOFADVISEUR VAN IEA & GASUNIE EN SENIOR FELLOW BIJ HET CLINGENDAEL INTERNATIONAL ENERGY PROGRAMME (CIEP). HIERVOOR WAS HIJ WATERSTOFGEZANT BIJ HET MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN EN KLIMAAT.

Noé van Hulst was de ambassadeur van Nederland bij de OECD van september 2013 tot september 2018 en voorzitter van de IEA Governing Board in 2017-2018. Van 2003 tot 2007 werkte hij bij het Internationaal Energie Agentschap (IEA) in Parijs als Directeur Long-Term Co-operation & Policy Analysis. Vervolgens werd hij Secretaris-Generaal bij het Internationaal Energie Forum (IEF) in Riyad, Saoedi Arabië van 2008 tot 2011. Hij was Directeur van de Energy Academy Europe in 2012-2013.

Eerder in zijn loopbaan werkte Noé van Hulst bij de Vrije Universiteit in Amsterdam, de Sociaal-Economische Raad (SER) in Den Haag en het Ministerie van Economische Zaken vanaf 1988, laatstelijk als Directeur-Generaal van Energie.

OPSCHALING VAN DUURZAME WATERSTOF IN EUROPA

NOÉ VAN HULST

CHAIR IPHE, INTERNATIONAL HYDROGEN ADVISOR GASUNIE
SPECIAL ADVISOR HYDROGEN IEA AND SENIOR FELLOW CIEP

Duurzame waterstof als de missende schakel in de energietransitie

De kernboodschap van het IEA G20 rapport over *The Future of Hydrogen* was glashelder[1]. Er is een grote potentiële rol voor duurzame waterstof in de energietransitie, in het bijzonder om de zogenoemde 'hard-to-abate sectors' te decarboniseren zoals de industrie en het zware vervoer waar weinig emissieloze alternatieven bestaan, alsmede om seizoensopslag te verzorgen. Duurzame waterstof kan ook een rol spelen bij de verwarming van huizen, daar waar alternatieven duurder zijn of lastiger te realiseren[2]. Het is niet alleen een krachtige technologie, maar nog belangrijker ook een nieuwe energiedrager met de potentie om de moleculen te vergroenen. Maar duurzame waterstof is geen '***silver bullet'***, reden waarom ik liever niet spreek van de 'waterstofeconomie'. Overal waar we direct duurzame stroom kunnen inzetten, moeten we dat natuurlijk doen omdat dit het meest efficiënt is. Maar voor de 'hard-to-abate sectors' is er een onmisbare complementaire rol voor duurzame waterstof. Dat is de reden waarom we duurzame waterstof de missende schakel noemen in de energietransitie[3].

Als we het grote potentieel van duurzame waterstof willen realiseren dan moeten we de grote uitdaging aan om de kosten te verlagen via opschaling in de komende tien jaar. Een recent McKinsey-rapport verwacht dat de kosten van duurzame waterstof kunnen dalen met tegen de 60% in het komende decennium[4]. De analyse richt zich op 35 representatieve toepassingen en laat zien dat in 22 gevallen duurzame waterstof concurrerend zal zijn met andere duurzame alternatieven in 2030. In totaal omvatten deze 22 waterstoftoepassingen ruwweg 15% van de mondiale energieconsumptie, hetgeen het pad effent naar een significante penetratie in de energiemix. Om de opschaling van duurzame waterstof te realiseren in de komende tien jaar beveelt het IEA aan dat landen zich richten op industriële havenclusters en de daarmee verbonden logistieke stromen, de benutting van de bestaande gaspijpleidingen en de bevordering van internationale handel.

De mondiale actieagenda

De Hydrogen Energy Ministerial Meeting in september 2019 in Tokyo liet een ongekend groot momentum zien van dertig landen en meer dan 600 topmanagers van ondernemingen, onderzoeksinstellingen en internationale organisaties.

---

1 *The Future of Hydrogen, IEA, juni 2019.*
2 *Zie bijvoorbeeld Waterstof als alternatief voor aardgas in de bestaande bouw, TNO, 13 maart 2020.*
3 *Hydrogen: A renewable energy perspective, september 2019.*
4 *Path to hydrogen competitiveness; a cost perspective, McKinsey report for the Hydrogen Council, januari 2020.*

Het Japanse voorzitterschap toonde leiderschap en presenteerde een ambitieuze Mondiale Actie Agenda voor duurzame waterstof[5]. De belangrijkste pijlers van deze agenda zijn het investeren in de opbouw van internationale waterstof- waardeketens, de uitbreiding van het gebruik van waterstof in de verschillende sectoren (sectorintegratie) en de bevordering van waterstof in de verschillende vervoersmodaliteiten door het formuleren van indicatieve doelen zoals tien miljoen waterstofvoertuigen en tienduizend waterstofpompstations in tien jaar (*'Ten, Ten, Ten'*). Implementatie van deze doelstelling zou een significante opschaling van waterstof in het vervoer realiseren. Het bleek nog te vroeg om overeenstemming te krijgen over indicatieve doelstellingen voor andere toepassingsgebieden dan vervoer op het mondiale niveau.

Voortgang in de verschillende werelddelen

De mondiale actieagenda waterstof heeft tot doel om een richtsnoer te zijn voor nadere acties in de verschillende deelnemende landen. Het IEA Secretariaat staat gereed om landen te assisteren om de geëigende beleidsmaatregelen te ontwerpen, bijvoorbeeld via het waterstofinitiatief van de Clean Energy Ministerial (CEM). Daarnaast zal de International Partnership for Fuel Cells and Hydrogen in the Economy (IPHE) landen helpen om te komen tot gemeenschappelijke codes, standaarden en regels (bijvoorbeeld ten aanzien van veiligheid), hetgeen internationale handel en de ontluikende mondiale waterstofmarkt kan ondersteunen.

In Azië kunnen we al het begin zien van een zich ontwikkelende mondiale duurzame waterstofmarkt. Japan en Korea hebben heldere langetermijnstrategieën geformuleerd gericht op een gefaseerde opschaling van waterstof[6]. Het tempo ligt er hoog, waarbij China al bezig is met een inhaalrace. Omdat Japan en Korea aangeven op grote schaal behoefte te hebben aan import van duurzame waterstof, overwegen Australië, Nieuw-Zeeland, Brunei en landen in het Midden-Oosten de opbouw van nieuwe duurzame waterstofexportindustrieën[7].

Wat zijn hiervan de consequenties voor Europa? Niet minder dan 25 van de 27 EU-lidstaten hebben de doelstelling omarmd van klimaatneutraliteit in 2050. De nieuwe EC heeft verklaard dat het oogmerk is om Europa het eerste emissievrije continent te maken. Alle serieuze energiescenario's laten zien dat de ambities van de EU alleen maar realiseerbaar zijn met een significante rol voor duurzame waterstof. Zelfs in de meest optimistische elektrificatiescenario's kunnen groene elektronen hooguit de helft van het finale energieverbruik dekken. Dat laat de andere helft van de energiemix nog om te decarboniseren via de vergroening van moleculen, dat wil zeggen via groen gas en duurzame waterstof (in enigerlei vorm, inclusief ammoniak en synthetische brandstoffen die ook waterstof behoeven)[8]. Ook voor Europa geldt dat het continent vermoedelijk op termijn een netto-importeur zal worden van duurzame waterstof, gelet op de benodigde volumes.

Sinds vorig jaar is het momentum voor duurzame waterstof snel gegroeid.

---

5 *https://www.meti.go.jp/press/2019/09/20190927003/20190927003-5.pdf Global Action Agenda of Tokyo Statement, 25 september 2019.*

6 *See e.g. https://www.meti.go.jp/english/press/2019/0312_002.html Formulation of a new Strategic Roadmap for Hydrogen and Fuel Cells, 12 March 2019.*

7 *See e.g. https://www.industry.gov.au/data-and-publications/australias-national-hydrogen-strategy Australia's National Hydrogen Strategy, Department of Industry, Science, Energy and Resources, 22 november 2019.*

8 *Zie Hydrogen and decarbonisation of gas: False dawn or silver bullet?, The Oxford Institute for Energy Studies, maart 2020 en specifiek over ammoniak, Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store, Policy Briefing The Royal Society, februari 2020.*

Overal in Europa zien we pilots en demonstratieprojecten opkomen voor blauwe en groene waterstof in industrie, vervoer, gebouwde omgeving en opslag. Het IEA schat dat er in totaal ongeveer 3 GW aan groene waterstof (electrolyse) projecten onder handen zijn om nieuwe toepassingen te testen voor duurzame waterstof.

Een groeiend aantal landen en regio's werken aan waterstofstrategieën. Duitsland, Nederland, Noorwegen, Oostenrijk en Portugal zullen een nationale waterstofstrategie publiceren in de eerste helft van 2020. Tegen deze achtergrond heeft de nieuwe EC een unieke kans om te komen met een ambitieuze waterstofstrategie die kan helpen de klimaatdoelen te bereiken en een drastische verbetering te realiseren van de luchtkwaliteit, daarmee tegelijkertijd direct nieuwe banen en groei scheppend in de duurzame energiesector, omdat Europese bedrijven al leidend zijn in de groene waterstofproductie. Een recent onderzoek van FME laat zien dat alleen al in Nederland een dynamische waterstofsector bestaat van 260+ MKB bedrijven[9].

Hoe Europa koploper kan worden in duurzame waterstof: een zes-pijlers strategie

De nieuwe EC kan een pro-actieve duurzame waterstofstrategie lanceren die de energietransitie vooruit stuwt via vergroening van moleculen, gebruikmakend van het grote potentieel aan wind offshore en zon-PV en de bestaande gaspijpleidingen omvormend tot een waterstofinfrastructuur, daarmee ook nieuwe groene banen en groei scheppend. De sleutelelementen van zo'n strategie rusten op de volgende zes pijlers.

Ten eerste zou de EU een hoger doel moeten stellen dan het proportionele deel in de 'Ten, Ten, Ten' mondiale mobiliteitsdoelstelling van de Tokyo Mondiale Actie Agenda. Dit zou moeten helpen om EU-waterstofcorridors te realiseren die probleemloze grensoverschrijdende verkeersstromen mogelijk maken voor waterstofvoertuigen (zakenauto's, vrachtwagens en schepen). De waterstofmobiliteitsdoelstelling in het Nederlandse Klimaatakkoord ligt trouwens verhoudingsgewijs al drie keer hoger dan ons proportionele aandeel in de Tokyo-doelstelling[10]. Echter, ambitieuze doelen stellen en voortvarende plannen maken is niet voldoende. Op dit moment ontberen veel landen effectieve beleidsmaatregelen die deze doelen kunnen verwezenlijken, zelfs in Azië. We moeten leren van de zogenoemde 'best practices' zoals in Californië (Zero Emission Vehicle/ZEV programma) en regio's in de EU[11]. Een van de sleutelelementen hierin kan zijn een sterkere focus op 'captive fleets' (taxi's, bezorgdiensten en dergelijke) en voorspelbare logistieke stromen in industriële havenclusters. Door een gecombineerde vraag/aanbod benadering kunnen we wellicht eindelijk de noodzakelijke opschaling uitlokken van de productie van waterstofvoertuigen door Europese automotive fabrikanten.

Ten tweede zou de EU de duurzame waterstoftoepassingen moeten uitbreiden buiten de vervoerssector en sectorintegratie moeten bevorderen. Een krachtige manier om dit te doen is de invoering in het toekomstige EU-gaswetgevingspakket van een verplichting voor lidstaten om in de range van 5% tot 10% van de gasconsumptie in 2030 te vervangen door duurzame waterstof als een eerste mijpaal op een pad naar gedecarboniseerd gas (of een hoger percentage als het wenselijk wordt geacht om biogas erin te betrekken)[12].

---

9 Waterstof: kansen voor de Nederlandse industrie, FME, oktober 2019.
10 https://www.klimaatakkoord.nl/klimaatakkoord Klimaat Akkoord, 28 juni 2019.
11 https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/zero-emission-vehicle-program Zero-Emission Vehicle Program, California Air Resources Board, 2020.
12 Zoals voorgesteld door de SNAM CEO Marco Alvera, The EU can use hydrogen to stop climate change and create jobs, Financial Times, 29 november 2019.

Zo'n stap zou min of meer consistent zijn met het zogenoemde 'Sustainable Development Scenario' van het IEA dat voorziet in 15% gedecarboniseerd gas in de EU in 2040[13].

Dit is te realiseren door fysieke bijmenging van duurzame waterstof in de gaspijpleidingen, maar dat is niet noodzakelijk als we een gezonde EU-waterstofcertificatenmarkt weten te scheppen. Deze beleidsmaatregel heeft veel voordelen, maar het belangrijkste voordeel is in mijn ogen de sterke vraagcreatie die kan helpen om de duurzame waterstofmarkt in Europa tot stand te brengen. Daar komt bij dat een verplicht aandeel duurzame waterstof een krachtige impuls geeft aan de financierbaarheid van duurzame waterstofprojecten, afgaand op signalen uit de financiële wereld. Als een 5% verplicht aandeel volledig zou worden ingevuld via groene waterstof- productie, dan zou dit volgens onze berekeningen ruwweg een capaciteit vergen van 50 GW electrolyse in de EU in 2030, wat aardig in de buurt zit van de doelstellingen die zijn geformuleerd door Hydrogen Europe[14]. De EIB zou expliciet de taak kunnen meekrijgen om samen met de commerciële banken de versnelde opschaling van duuurzame waterstof in Europa te helpen financieren. Ik ben me er volledig van bewust dat veel mensen huiverig zijn voor de introductie van meer verplichte quota in het energiesysteem en een voorkeur hebben voor prijsprikkels. Als econoom heb ik daar veel sympathie voor. Maar de harde realiteit is dat de huidige prijsprikkels, in het bijzonder de CO_2-prijzen, te zwak zijn. Met de relatief lage gasprijzen vandaag en in de nabije toekomst, en geen perspectief op veel hogere CO_2-prijzen, betwijfel ik sterk of prijsprikkels in de komende tien jaar de klus kunnen klaren. Om de gedachten te bepalen, de Climate Leadership Council heeft in 2017 berekend dat een gezonde marktbenadering van de energietransitie een CO_2-prijs vergt van minstens $40 en stijgend met jaarlijks 5% boven de inflatie[15]. We zitten ver af van deze orde van grootte van prijssignaal om marktfalen te corrigeren. Gegeven de urgentie van klimaatmitigatiebeleid, denk ik dat we weinig andere keus hebben dan 'second- or third-best measures' zoals verplichte quota om de noodzakelijke markt re-allocatie te versnellen in de richting van duurzame waterstofinvesteringen. Dit gezegd zijnde, zou de EU samen met de private sector er alles aan moeten doen om 'premium markets' te scheppen voor groene waterstof, bijvoorbeeld labels voor auto's geproduceerd met '***groen staal'***. Berekeningen laten zien dat de invloed van duurzame waterstofproductieprocessen op het finale product doorgaans beperkt is tot 1-3% van de consumentenprijs. Ontwikkeling van premiummarkten kan de nieuwe 'business cases' ondersteunen en tegelijkertijd het consumentenbewustzijn verbeteren.

Ten derde zou de EU er goed aan doen de regulering van de ontluikende duurzame waterstofmarkt gelijk op te laten gaan met de evolutie van de markt. Zoals een EC--expert terecht opmerkte: "We should avoid regulating the traffic before there are even cars on the road". Het is wellicht verleidelijk om direct de duurzame waterstof geheel onder de gaswetgeving te brengen, maar dat zou niet noodzakelijkerwijs het meest geëigend zijn. Zeker in de komende tien jaar zouden we een meer flexibele benadering moeten toestaan waarin ruimte wordt geboden aan experimenten en innovatie, terwijl de markt zich ontwikkelt.

---

13 World Energy Outlook, IEA, november 2019. Het Sustainable Development Scenario van het IEA is consistent met het Parijs Akkoord.

14 See https://hydrogeneurope.eu

15 The Four Pillars of Our Carbon Dividends Plan, Updated September 2019, www.clcouncil.org

Netbedrijven hebben een belangrijke rol te spelen in het hergebruik van de gaspijpleidingen voor transport van waterstof en het gereedmaken van de geëigende plekken voor seizoensopslag.

Dit vergt de nodige transformatie-investeringen. Er is wellicht ook een rol voor onze Europese gasinfrastructuurbedrijven weggelegd in joint ventures met private sectorpartijen om de 'power-to-gas'-markt in de EU op gang te krijgen. In alle gevallen blijft uiteraard de algemene mededingingswet van toepassing, inclusief het misbruik van machtsposities.

Ten vierde moet de EU gemeenschappelijke en geharmoniseerde Europese standaarden zetten die de creatie van een geïntegreerde duurzame waterstofmarkt faciliteren waarin grensoverschrijdend verkeer ongehinderd kan plaatsvinden. In het bijzonder gemeenschappelijke veiligheidsnormen van hoog niveau zijn van belang, alsmede een gemeenschappelijke methodologie voor certificaten van oorsprong, op basis van het veel belovende EU Initiatief CertifHY. Een goed functionerende EU-certificatenmarkt met duidelijk gedefinieerde certificaten voor groene en CO_2-arme waterstof is erg wezenlijk. Des te meer is dit het geval, als het EU-model de basis kan vormen voor een mondiale aanpak die ook Noord-Amerika omvat en de Azië-Pacific regio (Japan, Australië). De International Partnership on Hydrogen & Fuel Cells in the Economy (IPHE) werkt op dit moment aan zo'n mondiale aanpak[16].

Ten vijfde zou de EU sterk moeten bevorderen dat het belastingstelsel in de EU-lidstaten via vergroening een permanente financiële prikkel geeft aan de penetratie van duurzame waterstof in het energiesysteem. De energiebelasting zou idealiter zodanig moeten functioneren dat het gebruik van fossiele brandstoffen stevig wordt belast, terwijl niet-fossiele alternatieven zoals duurzame waterstof krachtig worden bevorderd in alle relevante toepassingen. Op zijn minst is er een urgente noodzaak om dubbele belasting te vermijden, zodat de conversie van elektriciteit naar waterstof bij de productie van groene waterstof niet wordt belast als zijnde finale energieconsumptie.

Ten zesde zou de EU volledig moeten participeren in het Mission Innovation Initiatief dat moet helpen de mondiale R&D-inspanning op duurzame waterstof te verdubbelen. Een belangrijk en succesvol EU-programma zoals de Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking kan de technologische koploperspositie van de EU in bijvoorbeeld electrolyse bestendigen door adequate financiële middelen[17].

Nederland is ondertussen druk bezig met het ontwerpen van een passend nationaal innovatie & financieel instrumentarium voor duurzame waterstof zoals aangekondigd in het Klimaatakkoord, in consultatie met stakeholders. Een ambitieuze nationale waterstofstrategie is gepubliceerd voor de zomer van 2020. Tegelijkertijd voert Nederland een pro-actieve internationale strategie uit, die loopt van actieve participatie in multilaterale gremia (IEA/CEM, IPHE) en sterke samenwerking met mondiale sleutellanden (zoals Japan en de VS) tot samenwerking in het kader van de EU, het Pentalateraal Energie Forum, de Noordzeelanden en onze buurlanden, Duitsland en België.

16 *IPHE is een intergouvernementeel network van 20 landen en de EC, inclusief de G7 & BRIC landen, zie https://www.iphe.net*

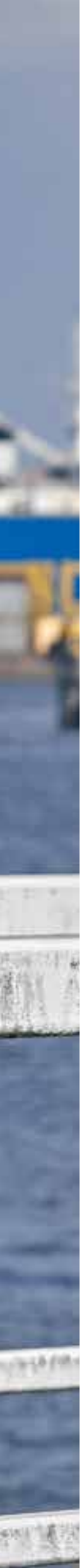
17 *http://www.fch.europa.eu*

Alice Krekt

ALICE KREKT (1971) IS PROGRAMMADIRECTEUR BIJ DELTALINQS. ZE IS VERANTWOORDELIJK VOOR HET DELTALINQS CLIMATE PROGRAM, EN VOORZITTER VAN DE CLUSTERTAFEL ROTTERDAM-MOERDIJK VOOR HET KLIMAATAKKOORD

Deltalinqs is de ondernemersvereniging van de Rotterdamse haven en industrie. Binnen het klimaat-programma werken bedrijven, Havenbedrijf Rotterdam, kennisinstellingen en overheden samen aan het behalen van de klimaatdoelen. Waterstof is een belangrijke pijler in het programma. Veel projecten zijn hiervoor in ontwik-keling, zoals H-vision en diverse elektrolyse projecten.

Voorheen werkte Alice onder andere bij het Havenbedrijf Rotterdam (HbR) en Arcadis. In haar werkzame functies legt ze de verbinding tussen economische ontwikkeling en duurzame groei, zoals bij de Tweede Maasvlakte, verzelfstandiging HbR, voor UN Habitat en het nationaal plan voor de binnenvaart in Brazilië. Alice studeerde in Utrecht Sociale Geografie/Planologie.



ROTTERDAM UNIEK GEPOSITIONEERD VOOR INTERNATIONALE ROL ALS WATERSTOFHUB

ALICE KREKT

PROGRAMMADIRECTEUR DELTALINQS CLIMATE PROGRAM

Als bron voor het ontstaan van sterren in het heelal en als brandstof voor NASA-raketten op weg naar de ruimte, leek waterstof lange tijd alleen in hogere sferen een rol te spelen. Daarin komt in rap tempo verandering.

Al geruime tijd wordt het meest voorkomende, lichtste en eenvoudigste element ingezet voor de productie van kunstmest, methanol en om in raffinaderijen brandstoffen te ontzwavelen en lichte producten te maken. De laatste jaren is de lijst van toepassingen echter aanzienlijk langer geworden en groeit de overtuiging dat waterstof een belangrijke sleutel is in een succesvolle transitie naar een nieuw energiesysteem – en in het klimaatneutrale energiesysteem van de toekomst.

Het nationale klimaatakkoord van juni 2019 karakteriseert waterstof in dit verband als de 'robuuste oplossing in het eindbeeld van een CO_2-vrije energie- en grondstoffenhuishouding'. Daarmee komt waterstof definitief uit de hogere sferen en krijgt het een brede, aardse toepassing. Waterstof geldt niet langer als louter een belofte voor de toekomst.

De vele auteurs in dit boek zullen de toekomstige rollen van waterstof ongetwijfeld breed toelichten. Iedere gebruikstoepassing heeft zijn eigen kenmerken. Ik wil graag de rol van waterstof in het decarboniseren van de industrie bespreken. Daarvoor is het molecuul in de toekomst van belang als industriële grondstof, maar ook als de CO_2-arme brandstof voor het opwekken van hoge temperaturen voor de procesindustrie.
Ook onderstreep ik graag de kansrijke positie van Nederland om op waterstofgebied een belangrijke voortrekkersrol te gaan vervullen. Twee zaken spelen hierbij een onderscheidende rol: de aanwezigheid van een internationaal opererend industrieel cluster en de strategische ligging van Rotterdam.

Twee brillen

Deltalinqs is de belangenbehartiger van zo'n zevenhonderd bedrijven uit veertien sectoren in de haven van Rotterdam. Via ons Climate Program zijn wij actief betrokken bij de toepassing van waterstof in de industrie. Daarbij kijken wij op verschillende manieren naar de toekomst.

Zo is daar de bril van de duurzaamheid om de afspraken uit het klimaatakkoord te realiseren om in 2050 over een CO_2-neutraal havenindustriegebied te beschikken. Dat is nog eens bevestigd in het Rotterdams klimaatakkoord uit november 2019.

Die bril is vooral noodzakelijk om de negatieve effecten van klimaatverandering tegen te gaan. Tegelijkertijd kijken we ook door een andere belangrijke bril, namelijk die van een gezonde en duurzame economische toekomst. De haven van Rotterdam levert een toegevoegde waarde van 46 miljard euro (iets meer dan 6%) aan de nationale economie en biedt aan ruim 385.000 mensen werk in directe en indirecte zin. Die waarde is stap voor stap met opgestroopte mouwen opgebouwd – en moet worden bewaakt.

De economische blik wekt wel eens kritiek van groeperingen die geloven dat een klimaatneutrale toekomst alleen kan worden bereikt zonder aanwezigheid van de energie-intensieve petrochemische en maakindustrie. Ik ben ervan overtuigd dat wij beide aspecten moeten meenemen om het beste en meest evenwichtige beeld van de toekomst te krijgen. Juist een gezonde en sterke industrie kan een transitie vormgeven zonder schoksgewijs verlies van welzijn en welvaart.

Een eindbeeld voor de Rotterdamse haven

Naast een van de sterkste Europese industrieclusters, beschikt Rotterdam met de mondiale toonaangevende haven over een strategische, internationale handelspositie. Daarmee heeft Rotterdam de potentie om zich te ontwikkelen tot de strategische hub voor import, productie, toepassing, verhandeling en export van waterstof richting achterland en andere Europese bestemmingen. De ideale ligging aan de Noordzee biedt tevens de aanvoer van schone windstroom over relatief korte afstand. Dit alles maakt Rotterdam uniek.

Er wordt in vele studies en scenario's graag gesproken over een eindbeeld voor de haven, ergens tussen 2050 en het einde van deze eeuw. Kijkend door de ooghaven zien wij als Deltalinqs dan Rotterdam vooral als een dynamisch internationaal knooppunt waar industrie en logistiek samen een keur aan activiteiten bijeenbrengen die een essentiële bijdrage leveren aan een gezonde en duurzame economische toekomst.

Nieuwe en getransformeerde industrieën floreren in een circulaire economie waarbij bedrijven als satellieten aan een slimme infrastructuur geknoopt zijn voor aanvoer en afgifte van onder andere waterstof, elektriciteit, stoom, warmte, CO_2 en een variëteit aan reststromen die de basis vormen voor nieuwe grondstoffen. Het haven- en industriegebied is in 2050 ingrijpend veranderd, heeft zijn belang en internationale rol geconsolideerd, en zich tijdig opnieuw uitgevonden.

Infrastructuur van fundamenteel belang

Een dergelijk toekomstbeeld kan vrij eenvoudig vanachter een laptop worden geformuleerd – verwezenlijking is echter verre van eenvoudig. Dan gaat het om een visie omzetten in beleid dat de basis vormt voor ondernemerschap en continue innovatie.

Met het Deltalinqs Climate Program richten wij ons op het gebied van waterstof met name op technologische innovaties en kijken wij naar mogelijkheden voor aanpassingen aan de bestaande infrastructuur. De realisatie van een dergelijke waterstofinfrastructuur is van belang om de verschillende productie- en gebruiksclusters van waterstof te kunnen voorzien.

Hierbij gaat het om een waterstofbackbone door de haven die is aangesloten op een nationale infrastructuur met doorvoer richting achterland. Hiermee kunnen distributie en opslag met elkaar worden verbonden.

Veel duurzame stroom nodig

De procesindustrie in ons land gebruikt op dit moment vooral grijze waterstof, geproduceerd op basis van aardgas. Het gaat dan voor Rotterdam om circa 0,4 miljoen ton waterstof op jaarbasis; de helft van de totale Nederlandse vraag. Bij de productie van deze grijze waterstof komt CO_2 vrij.

Het langetermijndoel is om groene waterstof te gaan gebruiken op basis van duurzame stroom. Die wordt verkregen door water met behulp van door zonne- en windenergie aangedreven elektrolyse om te zetten in waterstof. Hier komt helemaal geen CO_2 meer bij vrij. Echter, het ontbreekt aan voldoende duurzame stroom en ook de capaciteit van electrolysers is niet zover om op industriële schaal groene waterstof te produceren.

Groene waterstof is prijzig met nu ongeveer € 5 per kg. De verwachting is dat dit op termijn veel goedkoper wordt. Makers van electrolysers schatten in dat opschaling en standaardisatie van productie zal leiden tot een aanzienlijke reductie van de kapitaallasten. Volgens CE Delft komen blauwe en groene waterstof rond 2030 in dezelfde range van 2 tot 3 euro per kg. Vervolgens duurt het nog jaren voordat er voldoende betaalbare groene waterstof voorhanden is om aan de vraag uit de markt te kunnen voldoen. Het is daarom zaak nu al wel de infrastructuur en de markt voor de toekomst te ontwikkelen om de doelen van 2050 nog binnen handbereik te houden. Daarom hebben we transitieprojecten nodig die al vóór 2030 bijdragen aan een aanzienlijke vermindering van de CO_2-uitstoot in Nederland en die daarmee de weg plaveien voor een duurzame en klimaatneutrale energievoorziening in het midden van de eeuw.

H-vision: wegbereider voor de waterstofeconomie

Een goed voorbeeld hiervan is H-vision, een consortium van partijen uit overwegend het havenindustriegebied Rotterdam die samen de waterstofketen van de toekomst kunnen opzetten. Zij willen met H-vision een substantiële bijdrage leveren aan het realiseren van de klimaatdoelen en de versnelling van de energietransitie in ons land. Het consortium wordt nu gevormd door Air Liquide, BP, Deltalinqs, Gasunie, Havenbedrijf Rotterdam, ONYX Power, Shell, Koninklijke Vopak, ExxonMobil, EBN en Equinor. Het idee is om in het havengebied nieuwe waterstoffabrieken te bouwen op basis van een technologie die raffinaderijgassen en aardgas splitst in kooldioxide en waterstof. Bij de productie van deze waterstof wordt de vrijkomende CO_2 afgevangen en opgeslagen in onderzeese gasvelden of gebruikt voor allerhande doeleinden; zoals nu al als groeiversneller in kassen.

Deze zogeheten blauwe waterstof biedt uitzicht op een snelle uitrol, mede omdat deels bestaande infrastructuur kan worden gebruikt. Deze benadering helpt de kosten beheersbaar te houden, terwijl de installaties en infrastructuur al in gereedheid worden gebracht om de weg naar groene waterstof voor te bereiden. Het is dan ook niet overdreven te stellen dat H-vision een cruciale stap is naar een duurzame, klimaatneutrale en betrouwbare energievoorziening voor de industrie én de wegbereider van de groene waterstofeconomie.

Als een van de eerste te nemen projectstappen coördineerde Deltalinqs in 2018-2019 een omvangrijke studie naar de technische, economische en financiële haalbaarheid van blauwe waterstof als energievoorziening van de industrie. De conclusie van de studie waren destijds positief: met de eerste fabriek in 2026/2027 is een jaarlijkse CO_2-reductie van ongeveer 2,2 miljoen ton haalbaar. Dit kan oplopen tot zo'n 4,3 miljoen ton per jaar in 2031 als de tweede fabriek gereed is.

Voortekenen van een omvangrijke waterstofmarkt

Met het voorafgaande wordt duidelijk dat H-vision in belangrijke mate bijdraagt aan de verwachting uit het klimaatakkoord dat 'op termijn een omvangrijke internationale waterstofmarkt zal ontstaan, waarop Nederland een sterke rol kan spelen'. De Routekaart Waterstof van de Topsector Energie uit maart 2018 verwacht dat de totale vraag in ons land kan oplopen van nu 0,8 miljoen ton naar zo'n 14 miljoen ton in 2050.

Los van H-vision werken BP, Nouryon en het Havenbedrijf Rotterdam in het project H2-Fifty aan de ontwikkeling van een electrolyser met een capaciteit van 250 MW. Aangedreven door hernieuwbare energie kan hiermee op jaarbasis circa 45.000 ton groene waterstof worden geproduceerd voor gebruik in de BP raffinaderij. Voor ontzwaveling wordt daar nu grijze waterstof gebruikt, maar met H2-Fifty wordt nu al ingezet om hiervoor in de toekomst groene waterstof te gebruiken.

De rol van het Havenbedrijf Rotterdam in H2-Fifty is vooral het faciliteren van de lokale infrastructuur. Daarbij werkt het Havenbedrijf met partners aan de realisatie van een waterstof-backbone in combinatie met de komst van een zogenoemd 2GW-conversiepark. Een dergelijke constructie leidt tot kostenreductie aangezien het aanzienlijk goedkoper is om waterstof van een centrale plaats per pijpleiding te transporteren, in plaats van het elektriciteitsnet te verzwaren naar een reeks individuele bedrijven die een electrolyser op hun eigen terrein zouden prefereren.

Havens als zenuwcentra

Inmiddels staat ons land voor een belangrijke fase. Op basis van het klimaatakkoord en nieuwe regelgeving moeten nu doordachte en verstrekkende beslissingen worden genomen.

Dat wordt ook onderschreven door de International Energy Agency (IEA). Vooral de havens staan centraal in de vorming van een internationale waterstofeconomie, omdat zich hier aan met name de Noordzee, de Golf van Mexico en aan de kust van Zuidoost-China grote industriële clusters bevinden die de marktontwikkeling een belangrijke push kunnen geven.

Als deze industriële clusters kunnen worden aangesloten op een goede infrastructuur en daarmee massaal overstappen op waterstof voor energievoorziening en als grondstof, zullen kosten omlaag gaan. Bij een grootschalige overgang is het overigens de verwachting dat de offshore productie van groene stroom de vraag naar groene waterstof vooralsnog niet zal kunnen bijhouden.

Daarmee gaan havenfuncties een cruciale rol spelen in de aanvoer en doorvoer richting achterland van waterstofstromen onder meer uit Zuid-Europa, het Midden-Oosten en Noord-Afrika.

Niet voor niets omschrijft de Internationale Energy Agency in zijn eerste waterstofstudie vorig jaar havens als de zenuwcentra in de opschaling van het gebruik van waterstof.

Nederland krijgt soms als verwijt dat het in internationaal opzicht uit de kopgroep van duurzame landen is weggevallen. Met alle ontwikkelingen op het gebied van waterstof en een groeiend elan van samenwerking tussen de meest uiteenlopende partijen ligt nu echter weer een belangrijke voortrekkersrol in het verschiet. En dat geeft vertrouwen.

Over Deltalinqs

Deltalinqs behartigt de gezamenlijke belangen van meer dan 95% van alle logistieke, haven- en industriële bedrijven in de mainport Rotterdam. Bij onze ondernemersvereniging zijn ruim 700 bedrijven aangesloten uit veertien verschillende sectoren. De Rotterdamse haven draagt voor 6,2% (€ 45,6 miljard) bij aan het Bruto Nationaal Product van Nederland en biedt direct en indirect werk aan ruim 385.000. Namens de leden, zet Deltalinqs zich in voor het versterken van de concurrentiekracht van Rotterdam, voor duurzame groei en voor maatschappelijk c.q. politiek draagvlak voor alle activiteiten in het haven- en industriegebied.

In het Deltalinqs Climate Program (DCP) werkt Deltalinqs met zijn leden en partners aan drie thema's: energie-efficiëntie, duurzame brandstoffen en duurzame grondstoffen. Binnen deze drie thema's is de rol van het DCP om de juiste partijen met elkaar te verbinden, die partijen van informatie en inspiratie te voorzien en innovatieprojecten te starten. Daarom maken de leden van Deltalinqs, vertegenwoordigd door de ambassadeurs, jaarlijks afspraken over de samenwerking en over de projecten. Deze afspraken noemt Deltalinqs 'Letters of Cooperation' (LOC's). Voor 2021 zijn vijf LOC's getekend door de ambassadeurs en Deltalinqs. Eén van de lopende projecten is H-vision, over de toepassing van blauwe waterstof in de industrie en energiesector. Andere projecten zijn het bepalen van de energiemix & infrastructuur van de toekomst, alternatieve brandstoffen & energiedragers en een circulaire haven & industrie.

Albert van der Molen

ALBERT VAN DER MOLEN STUDEERDE AAN DE TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN EN AAN UNIVERSITY OF CALIFORNIA IN BERKELEY.

Sinds 2007 is hij betrokken bij diverse waterstof-gerelateerde projecten bij regionale netbeheerder Stedin, variërend van ‘bijmenging van waterstof in het reguliere aardgasnet op Ameland’ tot en met ‘100% waterstof via het bestaande aardgasnet voor verwarming van alle woningen in een bestaand dorp in 2025’.

PRAKTIJKERVARING WATERSTOF IN BESTAANDE GEBOUWDE OMGEVING

ALBERT VAN DER MOLEN

EXPERT ASSET MANAGEMENT BIJ STEDIN NETBEHEER B.V.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de activiteiten met waterstof in de bestaande gebouwde omgeving door regionale netbeheerder Stedin, vanaf 2007 tot heden. Tevens wordt een doorkijkje gegeven naar wat reeds op stapel staat op het gebied van waterstof.

2007-2011: 'waterstof in aardgas' op Ameland

De eerste ervaring van Stedin met waterstof begon in 2007 op Ameland. Daar is een deel van het bestaande aardgasnet losgekoppeld. Op het ontstane deelnet was slechts een beperkt aantal woningen aangesloten. De bewoners van deze panden waren partner in het project en lieten vooraf hun gasapparaten controleren. Stedin plaatste in de buurt een installatie die tot maximaal 20% waterstof bij fossiel aardgas mengde. Voorwaarde was 'geen aanpassing van apparatuur van eindgebruikers', vandaar maximaal 20% waterstof. In eerste instantie kwam de waterstof uit flessen, later is een elektrolyser geplaatst die werd gevoed met groene elektriciteit. Tussen de menginstallatie en de woningen werd een testnet aangelegd met daarin allerlei soorten leidingmaterialen. Een vergelijkbaar net werd iets verderop aangelegd. Door het ene testnet ging het mengsel van maximaal 20% waterstof in aardgas, door het andere ging enkel aardgas, teneinde na afloop van het project te kunnen zien of er verschillen opgetreden waren. Uiteindelijk is deze proef succesvol verlopen. Bijmengen van 20% waterstof bleek geen waarneembaar effect te hebben gehad, noch op de gasapparaten noch op het gasnet. Ook de bewoners waren tevreden. Een geslaagd experiment waarbij zonder aanpassing aan apparatuur en gasnet tot maximaal 20% van het fossiele aardgas is vergroend.

Onderstaand: Waterstofproject Ameland (foto's Stedin)

2013-2018: Rozenburg fase 1, synthetisch aardgas

Na de proef op Ameland werd de discussie over de invloed van verbranding van fossiele brandstoffen op het klimaat steeds heftiger. Daarom is in 2012 de volgende vraag gesteld: kunnen we niet beter een ander gas maken dan waterstof, om meer dan 20% van het fossiele aardgas te kunnen vergroenen, zonder aanpassing van gasapparaten van eindgebruikers? Het antwoord kwam snel: fossiel aardgas is voor 100% te vervangen door groen synthetisch aardgas. Daarvoor is een Sabatier-reactor ontworpen en gebouwd die waterstof en kooldioxide onder de juiste condities converteerde naar water en methaan – het hoofdbestanddeel van aardgas (volgens de Sabatier-reactie). Stedin kreeg een locatie aangeboden in Rozenburg waar het synthetische aardgas geproduceerd kon worden en waar bewoners van een nabijgelegen appartementencomplex het gas – een beperkte hoeveelheid – cadeau kregen. Waarom een beperkte hoeveelheid en waarom cadeau? Omdat een regionale netbeheerder als Stedin niet mag produceren. De installatie is daarom zodanig klein gedimensioneerd dat demonstratie mogelijk was, niet meer dan dat. Naast vergroening van aardgas waren er extra redenen om deze proef uit te voeren. Ten eerste wilde Stedin weten hoe stabiel de kwaliteit van dergelijk synthetisch aardgas is, waar wellicht op gelet moet worden wanneer een grote industriële partij zich meldt met het verzoek om een vergelijkbare installatie aan te sluiten op het regionale aardgasnet. Ten tweede is het via deze power-to-gas-route mogelijk om energie vanuit de elektriciteitsinfrastructuur over te hevelen naar de gasinfrastructuur, wat investeringen in het elektriciteitsnet kan voorkomen. In Rozenburg is aangetoond dat power-to-gas op kleine schaal mogelijk is, met een constante gaskwaliteit. In 2018 is deze fase van productie van synthetisch aardgas afgesloten. Technisch is het prima mogelijk, feit is echter dat elke extra conversiestap extra energie kost. Daarnaast is groene kooldioxide niet op grote schaal beschikbaar. Werd in 2012 aardgas nog gezien als de ideale transitiebrandstof, in 2018 resulteerde de aardbevingsproblematiek in Groningen in een negatief sentiment ten aanzien van aardgas. Daarom is besloten in Rozenburg een tweede fase in te gaan, deze keer geheel zonder aardgas.

Foto A: Power-to-Gas-locatie Rozenburg (foto DNV GL)

2018-2023: Rozenburg fase 2, 100% waterstof

In 2018 zijn de eerste stappen gezet op weg naar een gassysteem met 100% waterstof. Productie van waterstof kan groen, de techniek van elektrolyse is verre van nieuw. Hoe zit het met het gasnet, hoe zit het met apparatuur van eindgebruikers? Landelijk onderzoek naar de geschiktheid van de bestaande aardgasinfrastructuur wees uit dat tegen relatief beperkte kosten de bestaande aardgasinfrastructuur geschikt gemaakt kan worden voor gebruik met 100% waterstof. Vervolgens is samenwerking gezocht met diverse partijen in binnen- en buitenland om de beschikking te krijgen over – in sommige gevallen nog te ontwikkelen – 100% waterstof-cv-ketels. Dat is gelukt: in 2019 zijn drie verschillende waterstof-cv-ketels van drie verschillende partijen geplaatst in hetzelfde appartementencomplex waar voorheen synthetisch aardgas heen ging. Voor het transport van de waterstof is een bestaande aardgasleiding in gebruik genomen. Aanpassing van deze leiding bleek niet nodig. Het doel van dit project is niet verwarming van woningen. Het doel is laten zien dat het mogelijk is met lokaal geproduceerde groene waterstof, getransporteerd via het bestaande aardgasnet, speciaal daarvoor ontwikkelde waterstof-cv-ketels te laten functioneren. 'Van het gas' nuanceren tot 'van het aardgas', waarbij verwijdering van bestaande gasinfrastructuur geen vanzelfsprekendheid is. Er zijn diverse redenen voor plaatsing van de waterstofketels in het appartementencomplex: laten zien dat verwarming met waterstof in de bestaande gebouwde omgeving technisch al mogelijk is, dat waterstof getransporteerd kan worden via het reeds aanwezige aardgasnet, en dat de door de waterstofketels geproduceerde warmte nuttig gebruikt kan worden; deze warmte verloren laten gaan zou het duurzame karakter van het gehele project aantasten. De waterstofketels zijn nog uniek, de komende jaren worden ze – onder andere op basis van ervaringen in Rozenburg – uitontwikkeld opdat ze met ingang van 2025 'echt' kunnen worden ingezet.

Foto B: Elektrolyser voor de productie van waterstof in Rozenburg (foto Stedin)
Foto C: De eerste waterstof-cv-ketels van Remeha, Bekaert en GasTerra/DNV GL in Rozenburg (foto Stedin)

Vanaf 2025: verwarming met waterstof in Stad aan 't Haringvliet?

Eind 2017 is door diverse partijen – waaronder Stedin – het convenant 'Groene waterstofeconomie Goeree-Overflakkee' ondertekend. Een van de uit dit convenant voortkomende initiatieven is onderzoek naar de mogelijkheid om de kern van Stad aan 't Haringvliet – 550 bestaande woningen – te verwarmen met waterstof met ingang van 2025, gedistribueerd via het bestaande aardgasnet. Daartoe zijn diverse alternatieven voor verwarming met aardgas in beeld gebracht en vervolgens met elkaar vergeleken op basis van gemeenschappelijke kosten. Vanwege de opbouw van het woningbestand in Stad aan 't Haringvliet bleken varianten op basis van lagetemperatuurverwarming maatschappelijk gezien kostbaarder dan alternatieven met een duurzaam gas. Een collectief warmtenet bleek kostbaar vanwege het ontbreken van geschikte warmtebronnen en vanwege de lage aansluitdichtheid. Duurzaam gas zou groen gas kunnen zijn – tot aardgaskwaliteit opgewaardeerd biogas – of groene waterstof. Teneinde de leveringszekerheid van duurzaam gas te kunnen garanderen, is vervolgens gefocust op lokaal te produceren groene waterstof. De voor deze analyse gebruikte methodiek staat bekend onder de naam Infrastructurele Footprint. De maatschappelijke wenselijkheid van gebruik van waterstof voor verwarming van Stad aan 't Haringvliet – gedistribueerd via het bestaande aardgasnet – werd ook bevestigd door de analyse van Openingsbod Warmtetransitie [1] dat begin 2020 door Stedin is uitgebracht.

Ondanks het feit dat 2025 niet meer ver weg is, zijn er nog talloze hobbels te nemen. Op het gebied van techniek zijn er bijvoorbeeld nog witte vlekken op het gebied van odorisatie van waterstof. Op financieel gebied is ondersteuning nodig gedurende een aantal jaren aangezien groene waterstof in een dergelijke eerste casus simpelweg nog te duur is om acceptabel te zijn voor een eindgebruiker. Dat wordt versterkt door het feit dat er in Nederland nog geen landelijk dekkend waterstofnetwerk is waarop aangesloten kan worden; de eerste periode zal waterstof lokaal – en dus op kleine schaal – geproduceerd moeten worden. Voor wat betreft transport: het is een regionale netbeheerder zoals Stedin niet toegestaan waterstof te distribueren via het bestaande aardgasnetwerk. Een tweede leven van een uitstekend functionerende gasinfrastructuur is echter een van de redenen om überhaupt de schouders onder dit project te zetten. Geconstateerd kan worden dat op het gebied van regelgeving veel moet worden aangepast, overleg daarover met onder andere het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat verloopt constructief. De positieve houding van de landelijke overheid blijkt ook uit de in maart 2020 in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat gepubliceerde rapportage getiteld 'Waterstof als optie voor een klimaatneutrale warmtevoorziening in de bestaande bouw'[2] waarin mogelijkheden en uitdagingen op een objectieve en feitelijke wijze worden beschreven. De belangrijkste uitdaging is echter noch technisch of financieel, noch regulatorisch van aard. Zonder twijfel het cruciaalste aspect van dit project is draagvlak bij eindgebruikers. Vooralsnog staan er geen seinen op rood, maar voor wat betreft draagvlak dient continu de vinger aan de pols te worden gehouden. Doordrukken tegen de wil van bewoners is geen optie. Anders gesteld: zonder acceptatie geen innovatie.

Bewoners zijn geen proefkonijnen, daarvoor is warmtevoorziening te belangrijk. Daarom moet de toegepaste techniek volwassen zijn, iets waar onder andere in Rozenburg aan gewerkt wordt.

---

1 Openingsbod Warmtetransitie, februari 2020, http://www.stedin.net/openingsbod

2 Rapportage TNO, 'Waterstof als optie voor een klimaatneutrale warmtevoorziening in bestaande bouw', maart 2020,https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2020/3/waterstof-als-alternatief-voor-aardgas

Daarnaast dient de overstap van aardgas naar waterstof – inclusief benodigde aanpassingen in woningen – in korte tijd plaats te vinden aangezien een eindgebruiker niet langer dan bijvoorbeeld een dag zonder aardgas dan wel waterstof kan[3]. De logistieke inschattingen – hoe lang een dergelijke ombouw duurt en hoeveel personen daarvoor nodig zijn – zal de komende jaren inzichtelijk worden gemaakt door simpelweg te oefenen. Als alles gaat zoals gepland, zal reeds in 2020 op een nog bekend te maken locatie de eerste van waarschijnlijk een serie ombouwoefeningen van aardgas naar waterstof plaatsvinden. Hiervoor zijn buurten voorzien die vanwege renovatie gesloopt gaan worden en waar bewoners reeds zijn vertrokken. De ombouwoefeningen zullen zich niet beperken tot controle en wellicht noodzakelijke aanpassingen aan het gasnet, ook de binnenhuisinstallaties zullen worden gecontroleerd en eventueel geschikt worden gemaakt voor waterstof. Ten slotte zullen – om het plaatje te completeren – enkele waterstofketels worden geïnstalleerd. Veel mensen van verschillende partijen zetten de schouders eronder. En dat is maar goed ook, want alleen in gezamenlijkheid kunnen de noodzakelijke stappen worden gezet. Stappen die ervoor zorgen dat we niet afwachten maar actief de toekomst vormgeven: een toekomst waar op plekken waar dat maatschappelijk beschouwd verstandig is ook groene waterstof wordt ingezet voor verwarming van bestaande woningen.

Bovenstaand: Stad aan 't Haringvliet op Goeree-Overflakkee (foto Herman Maas)

3 Rapportage Stedin en Kiwa, 'Van aardgas naar waterstof – De overstap van Stad aan 't Haringvliet', september 2019, https://www.stedin.net/over-stedin/pers-en-media/persberichten/gasnet-van-stad-aan-t-haringvliet-kan-over-op-groene-waterstof

Patricia Osseweijer

PROFESSOR PATRICIA OSSEWEIJER LEIDT DE SECTIE BIOTECHNOLOGY AND SOCIETY IN DE FACULTEIT TOEGEPASTE NATUURWETENSCHAPPEN BIJ DE TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT.

Haar ambitie is om technologische innovatie in duurzame productie- en watersystemen te koppelen met sociale ontwikkeling voor een duurzame en circulaire (bio)economie en hierbij een verband te leggen met de Sustainable Development Goals. Met haar multidisciplinaire onderzoeksgroep werkt zij aan methodologie voor sociale impact assessment, inclusieve innovatie, sociale duurzaamheid, publieke perceptie, communicatie en ethiek.

In 2015 ontving zij de KNAW Distinguished Lorentz Fellowship voor het integreren van sociale wetenschappen met technologie. Patricia is Universiteits Ambassadeur Brazilië, adviseur van het College van Bestuur en coördinator van een 19 MEuro EU-Horizon2020 project Water Mining, waarin 38 publieke en private partners demonstraties ontwikkelen op het gebied van nutrient recycling en waterherwinning op diverse plaatsen in Europa.

MORELE OVERWEGINGEN BIJ EEN WATERSTOFECONOMIE

PATRICIA OSSEWEIJER[1], LAURENS LANDEWEERD[2] & LOTTE ASVELD[3]

Doen we de goede dingen? En, doen we de dingen ook goed? Vragen die gaan over 'wat is goed' zijn ethische vraagstellingen. Ethische of morele afwegingen in innovatie vinden vaak pas achteraf plaats. Al jaren worstelen we over de wijze waarop we ethische vragen vooraf kunnen stellen en in kunnen bouwen in het innovatieproces. Dit begon met een reflectie op ethische, juridische en maatschappelijke aspecten (ELSA: ethical, legal and societal aspects).

Men probeerde deze aspecten in te bouwen in de technology assessment, echter de behandeling van deze aspecten bestond meer uit een identificatie en analyse en gaf weinig handelingsperspectief voor integratie in de innovatieprocessen. Het beleidskader van Responsible Research Innovation (RRI) dat na een aantal jaren discussie breder werd gelanceerd rond 2012[4] probeert juist door nadruk te leggen op stakeholder engagement hier aan bij te dragen. Echter, de wijze waarop dat geoperationaliseerd kan worden, staat nog steeds in de kinderschoenen. In techniekinnovatie zien we de inbreng van 'Value Sensitive Design' waarin waarden van stakeholders meegenomen worden in het iteratieve proces van technologische ontwikkelingen[5], waarmee in wezen de vraag of we 'de dingen goed doen' aan de orde gesteld wordt.

Deze vraag is namelijk vaak beperkt tot de context van de technologische toepassing en sluit nog niet goed aan bij de bredere impact van een technologische ontwikkeling. De laatste tijd komen er meer pogingen van zowel industrie als academische instellingen om research and development agenda's te beschouwen in het licht van de 17 Sustainable Development Goals. Deze zijn uiteraard breder van karakter en vergen een reflectie op de wereldcontext waarin de innovaties impact hebben.

Dit artikel beoogt de morele vragen rondom de ontwikkelingen van waterstof op een rijtje te zetten en te vergelijken met andere vormen van duurzame energie-innovatie.

1 *Technische Universiteit Delft, Afdeling Biotechnologie, van der Maasweg 9, 2629 HZ Delft*
2 *Radboud Universiteit Nijmegen, Institute for Science in Society, Heyendaalseweg 135, 6525 AJ Nijmegen*
3 *Technische Universiteit Delft, Afdeling Biotechnologie, van der Maasweg 9, 2629 HZ Delft*
4 *De termen 'responsible innovation' en 'responsible research and innovation' zijn al meer dan 10 jaar geleden geïntroduceerd (e.g. Hellstrom, 2003; Guston, 2006; Owen et al 2009a; Owen and Goldberg, 2010, von Schomberg, 2011 a;b; Lee, 2012; Armstrong et al, 2012), terwijl termen als 'responsible development' al veel eerder werden geïntroduceerd (bv de NNI 2004 en National Research Council 20061 in de VS.*
Zie ook https://www.wur.nl/en/download/Responsible-research-and-innovation-from-science-in-society-to-science-for-society-with-society.htm
5 *Friedman, Batya; Kahn, Peter H.; Borning, Alan; Huldtgren, Alina (2013), Doorn, Neelke; Schuurbiers, Daan; van de Poel, Ibo; Gorman, Michael E. (eds.), 'Value Sensitive Design and Information Systems', Early engagement and new technologies: Opening up the laboratory, Philosophy of Engineering and Technology, Springer Netherlands, pp. 55–95.*

De beloften, voor- en nadelen van waterstof

Diverse bijdragen in dit boek (Hoofdstuk 18, Hellinga en Van Wijk) wijzen erop dat we met slechts een zeer klein gebied in de Stille Oceaan (1,5%) en slechts 10% van het landoppervlak in Australië (Hoofdstuk 1, Luscuere en Van Wijk) met wind- en zonne-energie in de gehele wereldbehoefte kunnen voorzien, waardoor we niet meer afhankelijk zijn van vervuilende fossiele bronnen. Probleem met zowel wind- als zonne-energie is dat de opgewekte elektriciteit opgeslagen dient te worden voor toepassingen elders in plaats en tijd. Waterstof kan gemaakt worden uit die hernieuwbare energie en als drager voor energie- toepassingen elders en op andere tijden ingezet worden. Zelfs al is de efficiëntie van die opslag niet erg hoog dan nog is deze opvang van zon en wind in waterstof (en de omzetting van waterstof in de benodigde energievorm) voldoende voor de behoefte. Het voorkomt het gebruik van fossiele bronnen zoals aardolie en aardgas, welke bij toepassing voor energie de koolstof die miljoenen jaren 'gevangen' zat als netto CO_2 in de atmosfeer brengt en aldus de belangrijkste oorzaak vormen voor klimaatverandering. Tevens, waterstof is flexibel: het kan ingezet worden als transportbrandstof, warmtevoorziening en elektriciteit, zowel voor de industrie als voor huishoudelijk gebruik. Via waterstof worden dus elektronen vastgelegd in moleculen voor gebruik later in tijd en/of elders in plaats.

In principe is de technologie om waterstof te maken al lang beschikbaar. Wellicht niet enorm efficiënt, maar dat is slechts belangrijk als er tekorten zijn of dreigen van de te gebruiken grondstoffen. Luscuere en Van Wijk (Hoofdstuk 1) noemen wel als nadeel de afhankelijkheid van materialen (voor waterstofproductie en -opslag) en geven aan dat recycling hiervoor de oplossing moet bieden. Technische problemen voor toepassing zijn gerelateerd aan het grote volume dat waterstof per energie-eenheid inneemt, hetgeen het bijvoorbeeld lastig maakt voor gebruik als brandstof in de luchtvaart. Deze zijn echter in vele gevallen te ondervangen bijvoorbeeld door hogedruk(vaten) voor opslag.

Veiligheid (voor menselijke gezondheid) is ook een mogelijk probleem, vanwege incidentrisico's (ontploffing, verbranding), echter onderzoek concludeert dat de risico's acceptabel zijn, in ieder geval niet hoger, zo mogelijk lager dan met gebruik van de huidige fossiele bronnen (P.G. Luscuere, H.W. van Dorp en W.M. Luscuere, hoofdstuk 3).

In de transitie van aardgas en olieproducten naar waterstof als energiebron worden nog wel de nodige problemen erkend voor toepassing in de transportsector en bebouwde infrastructuur (Hoofdstuk 18, Hellinga en Van Wijk). Kosten spelen daarbij een hoofdrol, op dit moment is het nog te duur en vergt de transitie behoorlijke investeringen. Afgezet tegen investeringen voor aanpassingen die nodig zijn om klimaatverandering het hoofd te bieden en met het oog op verwachte kostenverlagingen voor waterstofproductie en -opslag zijn er velen die de hogere kosten acceptabel vinden en pleiten voor een snelle transitie naar grootschalig gebruik van waterstof. Daarbij worden als voordelen genoemd dat de productie minder afhankelijk is van politiek onstabiele gebieden, dat de aanpassingen voor huishoudelijk gebruik beperkt zijn, dat de uitstoot bij gebruik 'schoon' water is, en dat de potentiële hoeveelheid beschikbare zon- en windenergie voor de electrolyse naar waterstof meer dan voldoende is voor de gehele wereldbehoefte. In dit hoofdstuk willen we echter wat dieper naar de mogelijke maatschappelijke impact kijken. Dat doen we aan de hand van ethische vraagstellingen in RRI en de SDGs.

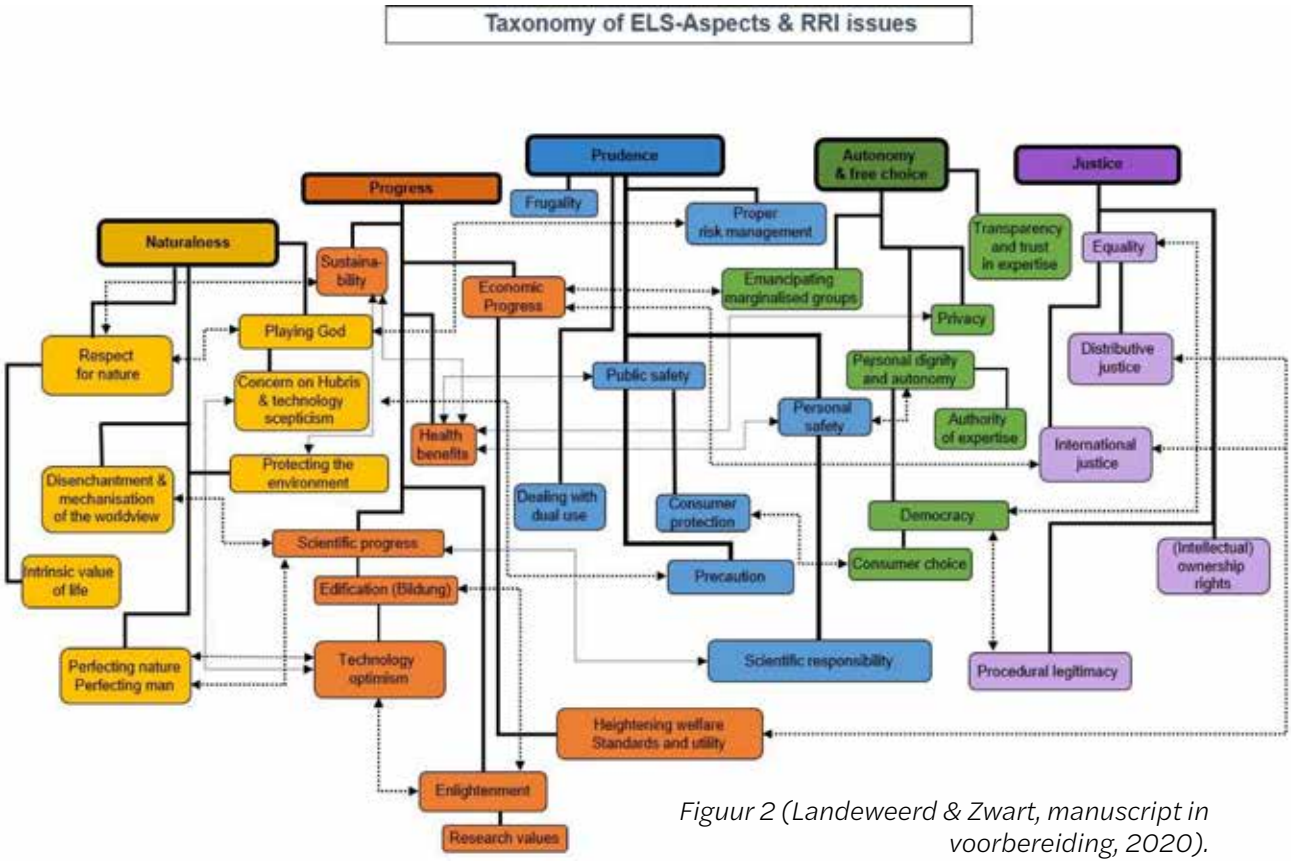
Waterstof en de Sustainable Development Goals

Figuur 1. Sustainable Development Goals (United Nations).

Een waterstofeconomie heeft directe relatie met doelstelling 7, betaalbare en duurzame energie. Daartoe moeten uiteraard de kosten wel naar beneden. Doelstelling 9, industrie, innovatie en infrastructuur: waterstoftoepassingen dragen bij aan innovatie en industriële ontwikkeling. Doelstelling 11 is ook relevant, als waterstof de huidige fossiele warmte en elektriciteitsbronnen vervangt, draagt dat bij aan duurzame steden en gemeenschappen. De bijdrage aan doelstelling 13, klimaatactie, is de beweegreden om waterstof als vervanger van onze huidige energie-infrastructuur te stimuleren. Indirect draagt een transitie naar een waterstofeconomie ook bij aan 14, leven in het water, met name door de verwachte verminderde vervuiling en aan 3 (goede gezondheid en welzijn) en 15, leven op het land, voor diezelfde reden. Aan doelstelling 6 kan (gedeeltelijk) bijgedragen worden als het ontstane water opgevangen en gemineraliseerd wordt. Echter, om een waterstofeconomie bij te laten dragen aan 1 (geen armoede); 2 (geen honger); 4 (kwaliteitsonderwijs); 5 (gender gelijkheid); 8 (eerlijk werk en economische groei); 10 (verminderde ongelijkheid); 12 (verantwoorde consumptie en productie); 16 (vrede, justitie en sterke publieke diensten); en 17 (partnerschap om doelstellingen te bereiken) zijn er bijzondere voorwaarden nodig. De meeste van deze doelstellingen hebben een normatief karakter en worden nu nader beschouwd.

De productie en toepassing van waterstof ethisch beschouwd

Teneinde de productie en toepassing van waterstof ethisch te beschouwen, moeten we eerst de ethische kaders vaststellen waarover we die beschouwing willen maken. Hiervoor maken we gebruik van de indeling zoals voorgesteld voor technologische innovatie door Landeweerd en Zwart gebaseerd op ethical, legal and societal aspects (ELSA) en RRI. Zij onderscheiden vijf clusters, te weten natuurlijkheid, vooruitgang, autonomie, vrije keuze en rechtvaardigheid. Voor elk cluster is er een reeks van normatieve oriëntatiepunten benoemd die ook onderling verband houden (figuur 2).



Figuur 2 (Landeweerd & Zwart, manuscript in voorbereiding, 2020).

Natuurlijkheid

Aspecten die onder 'natuurlijkheid' vallen zijn onder andere 'respect voor de natuur', 'de intrinsieke waarde van leven' en 'scepsis tegen technologie'. Het laatste aspect zou een issue kunnen zijn, 'mogen we steeds meer en meer ingewikkelde technologie gebruiken in onze natuurlijke systemen?' Er zijn culturen en stromingen die wantrouwig tegenover innovatie staan en liever 'teruggaan naar de natuur'. Waterstof gemaakt met hernieuwbare energie als alternatief voor fossiele grondstoffen blijft hoog technologisch en staat ver van natuurlijke kringlopen vandaan. Implementatie van vooral waterstofproductie, maar mogelijk ook in toepassingen die veel technische infrastructuur behoeven in landelijke gebieden kan daarom opgevat worden als een te 'onnatuurlijke' input op een natuurlijk systeem. Gebruik van fossiele bronnen voor de behoefte aan energie is evenmin 'natuurlijk' en vaak afhankelijk van import van bewerkte fossiele grondstoffen.

Waterstof geeft hier niet direct een oplossing voor sluitende lokale kringlopen passend in een natuurlijke omgeving. Lokaal gebruik van biomassa kan dat mogelijk beter, al dan niet met omzetting naar waterstof voor opslag, mits dit technologisch ook op een circulaire wijze gerealiseerd kan worden.

Vooruitgang

Vooruitgang relateert aan duurzaamheid, economische vooruitgang, gezondheidsvoordelen, wetenschappelijke vooruitgang, onderwijs, hogere standaarden in welzijn en gebruik. Een grootschalige transitie naar waterstof als energiedrager zal op deze punten goed kunnen scoren, mits er aan bepaalde voorwaarden wordt voldaan. De cradle to cradle duurzaamheidsanalyse van de gehele keten van hernieuwbare energie voor waterstofomzetting naar gebruik van waterstof in de auto of in de keuken is nog in ontwikkeling en kan sterk variëren afhankelijk van de gebruikte hernieuwbare energie, materialen en locaties. Uitgedrukt in CO_2-equivalentemissies in vergelijking met fossiele alternatieven kan waterstof beduidend beter scoren. Echter, de vraag is of dit (op termijn) ook geldt voor de economische analyse.

Nog lastiger is het om inzicht te krijgen in de sociale duurzaamheid. Mogelijk is redelijk snel kwantitatief te berekenen hoeveel beter deze keten is op een aantal gezondheidsrisico's en hoeveel werkgelegenheid dit biedt. Maar hoe draagt zo'n transitie bij aan lokaal welzijn en lokale educatie? Het voorbehoud wat hier gemaakt kan worden relateert aan de wijze waarop waterstofopwekking en -toepassing ook bij kan dragen aan 'vooruitgang' in minder ontwikkelde landen. Indien een grootschalige transitie slechts dan kan plaatsvinden met grote kapitaalinput en hoogtechnologische (en vaak grootschalige) infrastructuur is de toegevoegde economische waarde veelal beperkt tot 'rijke' investeringspartijen en hoogontwikkelde economiëen. Vaak wordt dan ingezet op de economisch veelal meer kansrijke grootschalige productie, waarbij de kans groot is dat multinationals er wel bij varen. Kleinschalige innovatie is dan minder kansrijk en blijft daardoor duurder, hetgeen weer nadelig is voor de innovatieve ontwikkeling van de minder ontwikkelde gebieden. Dit leidt tot onevenredigheid voor verschillende bevolkingsgroepen.

De potentie voor hernieuwbare energie (zon- en windenergie en biomassa) is veelal wel plaatselijk aanwezig. Beschikbaarheid van energie is belangrijk voor sociale ontwikkeling; stimulering van lokale opwekking van hernieuwbare energie en toepassing in waterstof voor opslag en gebruik kan deze normatieve doelstelling voor sociale ontwikkeling in achterstandsgebieden dus enorm verbeteren. Dit cluster is gerelateerd aan SDG 4 (kwaliteitsonderwijs) en 8 (eerlijk werk en economische groei), maar ook aan 10 (ongelijkheid verminderen), omdat een groei in de waterstofeconomie die slechts in de rijke landen gerealiseerd wordt de ongelijkheid alleen vergroot.

Voorzichtigheid

In het cluster 'voorzichtigheid' komen zaken aan de orde als risicomanagement, publieke veiligheid, 'dual use' en wetenschappelijke verantwoordelijkheid. Vooral dit laatste is ook kernonderdeel van de 'value sensitive design' approach, waarin deze aspecten in detail beschouwd worden. In de ketens rondom waterstof kunnen veel van deze aspecten in afgesproken standaarden in de praktijk worden geregeld. Hierin verschilt de aanpak niet van de huidige fossiele ketens.

Echter in het licht van de SDGs is de wetenschappelijke verantwoordelijkheid ook belangrijk voor het realiseren van doelstelling 10 en 12 – minder ongelijkheid en verantwoorde consumptie en productie. Dat betekent dat er ook ruimte is voor ontwerp en ontwikkeling voor minderbedeelde communities en dat er aandacht is voor sociale aspecten zoals gedrag voor gebruik en recycling.

Autonomie en vrije keuze

Als de waterstofeconomie ingevuld wordt door voornamelijk grootschalige opwekking van elektriciteit en waterstofproductie beperkt deze de vrije keuze en dus de autonomie van gebruikers. Gemarginaliseerde groepen kunnen hierdoor weinig baat hebben bij de nieuwe infrastructuur en innovaties. Echter als er tevens investeringen worden gedaan in kleinschalige ketens kunnen ook deze gemeenschappen van de vernieuwingen profiteren. Een overkoepelende vraag die hier gesteld kan worden is het eigenaarschap in de keten. Als een flink deel van onze energie gewonnen wordt in Australië, is Australië dan ook het land dat bepaalt wie wat krijgt? Of worden de eigenaren van de opslagtechnologie de traders van de energie? Ketens die gebaseerd zijn op een flinke basisinvestering kunnen leiden tot machtssystemen, waar velen geen vrije keuze meer in hebben. Als de autonomie vermindert, staat 'gelijkheid' ook onder druk en wordt de afhankelijkheid naar de eigenaren groter. Dit kan als er onvrede bestaat over de regels wat uiteindelijk een negatieve invloed zal hebben op SDG 16, vrede.

Rechtvaardigheid

Rechtvaardigheid is een cluster waar veel ethische vragen met betrekking tot het creëren van gelijke kansen en goede verdeling van voordelen over de keten in vallen. Bij de huidige fossiele infrastructuur en ketens veroorzaken juist deze vragen problemen, die ook toegewezen worden als oorzaak van de steeds groter wordende noord-zuid kloof. Als de waterstoftransitie een positieve bijdrage op deze ethische aspecten wil leveren zal er ook geïdentificeerd moeten worden hoe de ketens dusdanig opgezet kunnen worden dat er wel een rechtvaardige verdeling plaatsvindt, wat overigens ook samengaat met een gelijkgedragen verantwoordelijkheid. Vragen die hierin een rol spelen zijn eigenaarschap (van de hernieuwbare energie en de omzettingsinfrastructuur) en innovatievermogen – IP-rechten. Deze vragen overlappen die uit de vorige clusters en zijn ook de basis van de SDGs. Hoe creëer je een rechtvaardige verdeling en rechtvaardig gebruik van hernieuwbare energie en waterstofopslag terwijl er nu grote ongelijkheid in economieën bestaat? Kan een transitie naar een waterstofeconomie dusdanig opgezet worden dat er bijgedragen wordt aan het bereiken van de SDGs? Welke randvoorwaarden moeten er aan zo'n transitie gesteld worden om dit te realiseren?

Zoals met elke invoering van een nieuw systeem biedt de overstap naar waterstof van hernieuwbare energie mogelijkheden een aantal van de huidige morele kwesties te verbeteren, maar dan moet er wel oog zijn voor die sociale en ethische vragen in de investeringsagenda.

Conclusie

We hebben ons de vraag gesteld of we de goede dingen doen. We kunnen ook concluderen dat er meer en meer aandacht is voor hoe we 'de dingen goed kunnen doen'. Echter om aan te sluiten bij de SDGs moeten we naar de vervolgvraag kijken: 'doen we de *goede* dingen *goed*'. Het is vooral die laatste probleemstelling die zich bezighoudt met hoe de wereld een meer aangename plaats voor iedereen kan bieden. Alleen als de investeringsagenda oog heeft voor die ethische vraagstukken kunnen er mogelijke systemen en ketens ontwikkeld worden die een duidelijke verbetering beogen.

Een aantal direct in het vizier springende voorwaarden voor een duurzame transitie zijn:

- Ruimte en aandacht voor innovatie in minder ontwikkelde gebieden toegespitst op het oplossen van lokale problematiek met oog voor lokale kringlopen en duurzame sociale ontwikkeling. Hieronder valt ook het heroverwegen van hernieuwbare energiebronnen voor de waterstofproductie.
- Duidelijkheid over eigenaarschap in de ketens en regels voor rechtvaardige verdeling van costs en benefits, inclusief sociale en milieuaspecten.
- Aandacht en actie voor verantwoorde consumptie en productie zowel voor spelers in de keten als voor eindgebruikers. Dit vereist aandacht voor gedrag in gebruik en recycling.

Het feit dat we met slechts een klein deel van het oppervlak van de Stille Oceaan en 10% van het landoppervlak in Australië alle benodigde energie van de gehele wereldbevolking kunnen maken, is dus normatief beschouwd niet interessant. De wijze waarop deze energie verdeeld en beheerd en ingezet wordt om een bijdrage te leveren aan de SDGs is de sleutelvraag. Daar zou waterstof als energiedrager een rol bij kunnen spelen, maar dat kunnen ook andere dragers zijn, zoals batterijen, biomassa of andere chemische verbindingen, afhankelijk van de te realiseren sociale ontwikkeling in de lokale context. En dat vereist een gedegen kennis van de situatie, ontwikkelingsmogelijkheden en waarden van gemeenschappen en dus een multidisciplinaire aanpak van de transitie.

Michel Rademaker

MICHEL RADEMAKER IS EEN VAN DE MEDE-OPRICHTERS VAN HCSS EN PLAATS-VERVANGEND DIRECTEUR DEN HAAG CENTRUM VOOR STRATEGISCHE STUDIES.

Bij HCSS is hij verantwoordelijk voor product- en projectontwikkeling. Hij is met name geïnteresseerd in het opzetten van (inter)nationale multi-stake-holder projecten, zowel met een gecombineerde kwalitatieve als kwantitatieve focus, op nieuwe en opkomende strategische veiligheids- en geo-econo-mische thema's. Zijn expertisegebieden omvatten veiligheidsstrategie, beleid, concepten en doctrines, technologiebeoordelingen, geopolitieke en econo-mische veiligheidsimplicaties van klimaatverande-ring, grondstoffen en energievoorziening en serious gaming-technieken. Hij implementeerde met zijn teams big data-analyses voor interactieve monitoren en dashboards.

Lucia van Geuns

LUCIA VAN GEUNS IS SENIOR ADVISEUR ENERGIE BIJ HET DEN HAAG CENTRUM VOOR STRATEGISCHE STUDIES (HCSS).

Ze is een ervaren energiedeskundige en werkte eerder bij TNO en het energieprogramma (CIEP) van Instituut Clingendael na een carrière bij Royal Dutch Shell (1980- 2002).

Ze houdt zich voornamelijk bezig met de internatio-nale politieke en economische ontwikkelingen in de energiesector (olie, gas, duurzame energiebronnen).

Lucia is in 1980 afgestudeerd aan de Universiteit Leiden als geoloog. Ze was tevens voorzitter van het Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap (KNGMG) van 2013 tot 2019.

ENERGIE EN GEOPOLITIEK

MICHEL RADEMAKER & LUCIA VAN GEUNS

HCSS

Introductie

Energie is geopolitiek. In de twintigste eeuw is de geopolitiek van energie synoniem geweest met de geopolitiek van olie en gas. In 1956 werd de Europese olie-import bemoeilijkt door de Suez-crisis: het conflict tussen Egypte en het Verenigd Koninkrijk (VK) en Frankrijk resulteerde in een tijdelijke sluiting van het Suezkanaal. De oliecrisis van 1973 was het gevolg van een boycot van olietransporten door de organisatie van olie-exporterende landen (OPEC) naar het Westen. In 1979 volgde een nieuwe oliecrisis door een wisseling van de macht in Iran.[1]

De World Energy Outlook (WEO) van het Internationaal Energieagentschap (IEA)[2] is elk jaar weer een interessant ijkpunt met betrekking tot de wereldwijde energie-productie, het energiegebruik, en de energievooruitzichten. De laatste jaren slaat het IEA een voorzichtige toon aan: het gebruik van energie zal naar 2040 blijven stijgen aangevoerd door de bevolkingsaanwas en een groeiende wereldeconomie; daarnaast nemen fossiele brandstoffen nog ruim tachtig procent van de primaire energiebehoefte voor hun rekening ondanks de inzet van alternatieve energie-vormen, energie-efficiëntie maatregelen en duurzaam overheidsbeleid. De haalbaar-heid van de Parijse klimaatakkoorden van 2015 worden in de WEO aan de hand van verschillende scenario's geanalyseerd. De algemene teneur is dat het omlaag bren-gen van de uitstoot van CO_2 te langzaam gaat! Ook staat geopolitiek weer volop op de energie-agenda: crisis in Venezuela, het Midden-Oosten, Nigeria, de handelsconflic-ten tussen de Verenigde Staten (VS) en China, en de schalie-revolutie in de VS zijn maar een aantal ontwikkelingen die de energiesector raken. Zo zagen we in 2019 dat de Iraanse aanvallen in de Straat van Hormuz zich niet alleen richtten op handelsschepen maar ook op olietankers en olie-installaties. Dit waren regelrechte geopolitieke acties naar aanleiding van de door de VS opgelegde sancties en het verbreken van de nucleaire deal.

De eenentwintigste eeuw zal echter mede in het teken staan van de transformatie van een fossiele naar een duurzame energiehuishouding. Er komen nieuwe uitdagingen die gevolgen zullen hebben op de wereldwijde energie-economie en de geopolitiek oftewel de internationale machtsverhoudingen en concurrentie die door geografie worden beïnvloed. Zullen de geopolitieke kwetsbaarheden verschuiven van fysieke handelsknelpunten zoals de Straat van Hormuz naar elektriciteitsinfrastructuren en cybercriminaliteit? In hoeverre maken, op de korte en middellange termijn, de huidi-ge afhankelijkheden van gasproducerende landen Europa kwetsbaar voor machts-politieke beïnvloeding? Naarmate de overgang naar hernieuwbare energie versnelt, kunnen de nieuwe technologische ontwikkelingen rond grondstoffen en materialen ook gebruikt worden om geopolitieke invloed uit te oefenen?

1 *Daniel Yergin (1990): The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*
2 *https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020*

Olie en geopolitiek

Geopolitiek en olie lijken onlosmakelijk met elkaar verbonden te zijn. Begin 2020 werd het pijnlijk duidelijk dat de overvloed aan ruwe olie op de internationale markten niet leidde tot een stabiele economie, maar een ruzie veroorzaakte tussen Saoedi-Arabië en Rusland over het minder oppompen van ruwe olie vanwege de dramatische vraaguitval door de Covid-19-pandemie. Dit conflict bracht een ware prijzenoorlog en onrust op de internationale markten op gang. In maart 2020 was de olieprijs gedaald tot $25 per vat en kleurden de beurzen rood. Rusland en Saoedi-Arabië hadden zo hun eigen motivatie om de oliekraan flink open te zetten. Rusland wil de VS dwars zitten door met een lage olieprijs de schalieolieproducenten te schaden en hen zo een hak te zetten voor de boycots die de VS Rusland heeft opgelegd voor onder andere de annexatie van Krim en de gaspijpleiding Nordstream 2 et cetera. Saoedi-Arabië is vooral bang om marktaandeel te verliezen, heeft een lange adem vanwege de grote oliereserves, maar is tegelijkertijd sterk afhankelijk van exportinkomsten van ruwe olie.

Voor de langere termijn moeten we ons afvragen wat een mondiale daling van het gebruik van fossiele brandstoffen betekent voor de grote olieproducenten. Als Rusland niet snel genoeg heeft geanticipeerd op de slinkende markten kan dit economische achteruitgang veroorzaken en mogelijke instabiliteit. Het immense Rusland, waar olie-inkomsten een belangrijke economische factor zijn, zal moeite krijgen om het land bij elkaar te houden. Voor een dichtbevolkte en complexe oliestaat als Nigeria zouden minder olie-inkomsten een potentieel intern of regionaal conflict kunnen veroorzaken. Daarentegen kan een land als Algerije gebruikmaken van zijn ruimtelijk potentieel door uitgebreid in te zetten op zonne-energie en groene waterstof. Ruimte en goed bestuur lijken belangrijke ingrediënten om de transitie van fossiele naar groene energie te kunnen maken.[3]

Aardgas en politiek

Over dertig jaar is het streven dat de Europese energievoorziening duurzaam is. Dat is zo afgesproken, internationaal en nationaal. Hoe de duurzame samenleving eruit gaat zien weten we niet, behalve dat er geen broeikasgassen worden uitgestoten. Aardgas zal in de komende decennia in dienst gaan staan van de energietransitie.[4] Door de versnelde afbouw van gaswinning in het Groninger gasveld vanwege de aardbevingsproblematiek, importeert Nederland al enige tijd aardgas uit Noorwegen en Rusland en ook het aandeel vloeibaar aardgas (LNG) uit onder andere Qatar en de VS is toegenomen. In het VK en Denemarken daalt de aardgasproductie. Het gevolg is dat er van buiten de EU meer energie moet worden aangekocht. Moest Europa in 2018 nog zo'n 350 miljard kubieke meter gas importeren, in 2030 zal dat vermoedelijk toenemen tot zo'n 400 miljard kubieke meter.[5] Hiermee wordt ook de invloed van de geopolitiek op de energievoorziening van Europa relevanter.

Nederland was lange tijd de grootste gasproducent van Europa en we ontvingen jaarlijks nogal wat gasopbrengsten vanuit het Groninger gasveld en de kleinere gasvelden op land en op de Noordzee.

---

3 *Indra Overland et al. The GeGaLo index: Geopolitical gains and losses after energy transition Energy Strategy Reviews Volume 26, November 2019, 100406* https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19300999

4 *Planbureau voor de Leefomgeving (2020). Klimaat- en Energieverkenning 2020. Den Haag: PBL*

5 *BP Outlook, 2019*

Na de oliecrisis in 1973 werd het besluit genomen het Groninger gasveld vooral als strategische reserve te gebruiken en via de exploitatie van onze kleine gasvelden en import uit derde landen de afhankelijkheid te beperken. Noorwegen is ook een groot producent van aardgas in Europa. Samen met het VK en Nederland was het land goed voor 85% van de 'binnenlandse productie' in Europa. Tegenwoordig is dat slechts 30-35%. De import van gas uit Rusland is in ons land nu ook flink op gang gekomen net als in de rest van Europa. In tegenstelling tot Noorwegen kampt Rusland niet met een verwachte terugval in de gasproductie. Het Russische Gazprom investeerde de afgelopen tien jaar in transportinfrastructuur (bijvoorbeeld de Nordstream 1&2 pijpleidingen) naar Noord-West Europa en is daarmee goed gepositioneerd om de Nederlandse markt van meer aardgas te voorzien.

Moeten we ons daarover zorgen maken? In 2016 was 36 procent van de Europese gasimport afkomstig uit Rusland, in 2010 was dat nog 24 procent.[6] Russisch gas is relatief goedkoop en de levering naar Europa is tot nu redelijk betrouwbaar gebleken. En ook Rusland heeft er belang bij dat de bevoorrading ongestoord verloopt. Europa is immers voor Rusland de grootste afzetmarkt en goed voor zo'n negentig procent van de gasexport.[7]

Rusland en Nederland

De risico's van energieafhankelijkheid tussen landen worden vaak beperkt als beide geen belang hebben bij geopolitieke machtsspelletjes. De relatie tussen Nederland en Rusland lijkt hier een voorbeeld van. De vraag is uiteraard of dit op termijn standhoudt.

Gazprom is het grootste aardgasbedrijf ter wereld.[8] Het is in 1989 ontstaan als staatsbedrijf; in 1992 werd Gazprom geprivatiseerd. Rusland kent een apart ministerie voor gas en de invloed van de staat blijft in de praktijk groot. Zo bezit de Russische staat de helft van de aandelen van Gazprom. De verwevenheid van Poetin en Gazprom is al meermaals aangetoond. Poetin vergrootte de macht van het bedrijf sinds zijn aantreden. Ook zitten goede relaties van Poetin in de top van het bedrijf.

Rusland exporteert veel aardgas en aardolie, maar ook metalen als koper en nikkel naar Nederland. De import vanuit Rusland bedraagt ruim twintig miljard euro.[9] Deze grondstoffen worden via Nederlandse havens ook verhandeld naar het Europese achterland. De havens zijn het centrale punt voor omslag en vervoer. Omdat Nederland een exportland is, zijn we hiervoor voor een belangrijk deel afhankelijk van Rusland. Maar ook Rusland heeft hierbij grote belangen. Het geld dat verdiend wordt met deze export is een belangrijke inkomstenbron dat het land niet kan missen. Daarom zal er altijd naar oplossingen worden gezocht om leveringen van energie niet in gevaar te brengen.

---

6 ***Russia to keep its dominance in European gas market,*** *Atradius Economic Research, July 2018*

7 *Europe's Energy Relations – Franza et al (2018) Clingendael International Energy Programme (CIEP)*

8 *https://nl.wikipedia.org/wiki/Gazprom*

9 *De Nederlandse importafhankelijkheid van China, Rusland en de VS . Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 2019.*

De beide Nord Stream pijpleidingen zijn voor Rusland van strategisch belang. De recent aangelegde NordStream 2 aardgaspijpleiding verbindt Europa vaster aan Rusland en heeft Oekraïne verzwakt.[10] Daarnaast kan Gazprom nu beter concurreren met andere gasproducenten, bijvoorbeeld vloeibaar gas uit de VS. Dit heeft tot verdeeldheid geleid binnen de EU en tussen Europese landen en de VS.[11] NordStream 1 & -2 hebben Nederlandse deelname (Gasunie, Shell), daarnaast heeft Gazprom een groot belang in de gasopslag in Bergermeer waardoor het gemakkelijk gas kan doorvoeren naar het VK. De aardgasrelatie tussen Rusland en Nederland is sterk hetgeen niet altijd goed te rijmen valt gezien de spanning tussen beide landen als gevolg van de ramp met het MH17-vliegtuig en de rol die Rusland hierbij heeft gespeeld.

Alternatieve energiebronnen

De geografische en technische eigenschappen van hernieuwbare energie-systemen zijn fundamenteel anders dan die van fossiele brandstoffen. Hernieuwbare bronnen zijn wijdverspreid, decentraal en variabel. Daarmee is de kwetsbaarheid voor geopolitieke beïnvloeding beperkter. De onuitputtelijkheid van de wereldwijd beschikbare hernieuwbare energiebronnen levert verschuiving op de mondiale energiemarkten naar een situatie waarin veel landen energieproducent kunnen zijn en hun energiemix kunnen diversifiëren.

Overheden hebben de keuze tussen nationale productie (producent) en goedkopere import (consument), voor zover de eigen capaciteit het toelaat. Hierdoor worden de huidige gas- en oliestaten veelal als de verliezers van de energietransitie gezien. Waar strategische overwegingen rond energie voorheen betrekking hadden op toegang tot bronnen, importafhankelijkheid, diversificatie en strategische reserves, is de vraag nu of we energie gaan produceren of importeren, of energie beschikbaar is op het juiste moment en hoe we onze toegang tot geografisch gebonden bronnen en opslagmogelijkheden verzekeren.

Ten opzichte van veel andere EU-lidstaten blijft Nederland achter: in 2011 en 2012 behaalden Estland, Bulgarije en Zweden de 2020-doelstelling van alternatieve energiebronnen al en de meeste lidstaten hebben inmiddels de helft van hun doelstelling gerealiseerd. Duurzame energie kwam in 2019 voor 8,6% van de in Nederland verbruikte energie uit hernieuwbare bronnen.

Het Nederlandse aandeel van 14% voor de Europese doelstelling in 2020 wordt naar verwachting niet gehaald. Geen ander EU-land presteerde slechter.[12] In 2019 heeft Nederland een breedgedragen Klimaatakkoord gesloten om de uitstoot van broeikasgassen in Nederland in 2030 ongeveer te halveren (vergeleken met 1990).[13] Dit akkoord is in lijn met de ambities van de EU om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Deze aspiraties zijn vastgelegd in de EU Green Deal voor duurzame groei.[14]

---

10 *https://www.volkskrant.nl/economie/hoe-het-russische-gas-europa-in-de-houdgreep-heeft~b6a8501e/*

11 *https://nos.nl/artikel/2267196-hoe-nederland-speelbal-werd-in-een-russisch-amerikaans-conflict.html*

12 *https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/44/klimaat-en-energieverkenning-2019*

13 *https://www.klimaatakkoord.nl en https://www.klimaatakkoord.nl/actueel/nieuws/2019/12/30/duurzame-energie-groeit-13-procent-in-2019*

14 *https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_nl*

Naast elektriciteit uit zon en wind geven verschillende energiescenario's aan dat in een volledig duurzame energievoorziening in 2050 ook gasvormige energiedragers, zoals waterstof, zullen voorzien in minimaal 30% van het finale energiegebruik.[15,16]

De overgang op waterstof zal niet snel genoeg gaan om de olie- en gasafhankelijkheid te reduceren, maar wordt vooral ingezet als alternatief om de klimaatdoelen dichterbij te brengen. In de EU-industriestrategie is waterstof een van de speerpunten. Deze strategie is erop gericht het concurrentievermogen en de strategische autonomie van Europa te stimuleren in een periode van geopolitieke verschuivingen en toenemende wereldwijde concurrentie.[17]

De levering van kritieke grondstoffen moet worden gewaarborgd door middel van een actieplan dat deel uitmaakt van de Europese Green Deal. Gebruikte producten moeten zo lang mogelijk binnen de EU-economie worden bewaard, hergebruikt, gerepareerd of gerecycled. Sommige landen raken hun gevestigde belangen daardoor kwijt en zullen wellicht tegenstribbelen, andere kunnen door hun inzet op duurzame energie juist hun invloed in de wereld vergroten.

Supermacht China

Duidelijk is wel dat één land nu veruit de beste uitgangspositie heeft: China. Dat heeft de meeste patenten op het gebied van duurzame energie en is de grootste in windmolens en zonnepanelen. China is met afstand de nummer één. Het is de supermacht in duurzame energie ondanks alle vervuiling door kolencentrales die het tegelijkertijd ook nog produceert.

Peking ziet de waarde in van de omslag naar duurzame energie. Luchtvervuiling is niet de enige reden waarom China hernieuwbare energie zo serieus neemt, ook de bijdrage aan het klimaatakkoord van Parijs wordt belangrijk gevonden. Daarnaast dient de ontwikkeling rond nieuwe energiebronnen ook een strategisch doel: met hun kennis, innovatie en knowhow willen ze concurreren met de fossiele sector. De capaciteit die ze nu al hebben geïnstalleerd is bijna drie keer zo groot als die van de nummer twee, de Verenigde Staten.

Omdat China hoopt op dit gebied mondiaal leider te worden, investeert ze in eigen land jaarlijks al meer dan honderd miljard in hernieuwbare energie. Dat is het dubbele van de Amerikaanse investeringen in binnenlandse hernieuwbare energie en meer dan de investeringen van de Verenigde Staten en de Europese Unie samen. Naast laadpalen en zonnecellen gaat het om elektriciteitsnetwerken en nutsbedrijven. Zo wordt China leidend in de omschakeling naar duurzame energie.

---

15 *IRENA, Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019); Navigant, Gas for Climate. The optimal role for gas in a net-zero emissions energy (2019) https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition;*

16 *Gasunie & Tennet, Infrastructure Outlook 2050 (2019) https://www.gasunie.nl/expertise/systeemintegratie/infrastructure-outlook-2050*

17 *https://ec.europa.eu/netherlands/news/een-nieuwe-industriestrategie-voor-een-wereldwijd-concurrerend-groen-en-digitaal-europa_nl*

Europese afhankelijkheid

Maken de Europese en ook Nederlandse afhankelijkheden van energie- of grondstoffen producerende landen de EU nu kwetsbaar voor beïnvloeding?

Een statement uit de kaderstrategie van de EU uit 2015 hierover stelt: "Uit de laatste gegevens blijkt dat de EU 53% van haar energie invoert tegen een kostprijs van ongeveer 400 miljard EUR, wat van de EU de grootste energie-importeur ter wereld maakt. Zes lidstaten hangen voor hun hele gasinvoer af van één externe leverancier en zijn dus uiterst kwetsbaar voor onderbrekingen van de voorziening. Naar raming zal elke bijkomende energiebesparing van 1% resulteren in een vermindering van de gasinvoer met 2,6%. Het vervoer is voor 94% afhankelijk van olieproducten, waarvan 90% geïmporteerd wordt. In het tijdvak tot 2020 moet alleen al in de energiesector van de EU meer dan 1000 miljard EUR worden geïnvesteerd." [18] Het lijkt daarmee inderdaad zo te zijn dat de afhankelijkheden groot zijn. Is de beïnvloeding door Rusland ook groot?

Het antwoord daarop is mogelijk wat gemengd. In principe zou geen enkel land haar afhankelijkheid voor de energievoorziening moeten laten afhangen van één leverancier. En een energiemix van verschillende ingrediënten is sowieso verstandig, om dezelfde reden. Wat verder meestal een goede strategie blijkt, is om interdependenties te hebben met je leveranciers, oftewel een goede balans van afhankelijkheden waardoor beide partijen belang bij stabiliteit en continuïteit hebben. Dit kan door middel van investeringen in gezamenlijke infrastructuur, gemengde staven en directieleden van hoofdkantoren. De dossiers kunnen verschillend zijn, maar het geheel maakt dat iedereen de status quo wil handhaven omdat men onderling afhankelijk is. Kortom, hoewel Rusland voor Nederland een belangrijk gasleverend land is, lijken de onderlinge afhankelijkheden in de praktijk machtsbeïnvloeding niet te laten gebeuren. Voor andere EU-landen lijkt dat minder op te gaan. Daar heeft de EU met haar energieveiligheidsstrategie een punt.

De Europese afhankelijkheid van China voor de directe energievoorziening is beperkt en raakt de levering van de EU-energiebehoefte minder. Het speelt vooral via economische concurrentie op het energiedossier. In tegenstelling van vele andere dossiers met China, is daarom op dat dossier op afzienbare termijn niet veel geopolitieke beïnvloeding te verwachten, tenzij China dossiers gaat combineren. Dat zie je wel gebeuren met bijvoorbeeld zeldzame aardmetalen.

Deze grondstoffen zijn nodig voor de elektrificatie van onze economie. Hier heeft China een quasi-monopolie wat ze in economische zin al twee decennia inzet. Ze dwingt bijvoorbeeld producenten delen van de productie naar China over te hevelen en hanteert via vergunningen quota voor uitvoer. Bijna alle mijnbouw, productie en verwerking van zeldzame aardmetalen en nog meer mineralen en metalen waar de EU van afhankelijk is, vindt plaats in China.

18 *https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015DC0080&from=EN*

Beschouwing

Om zeker te zijn van voldoende en betaalbare energie in Europa is het noodzakelijk dat de afhankelijkheid van een enkele leverancier van gas en andere energiebronnen wordt verminderd.

De geopolitieke gevolgen van een wereldwijde verschuiving naar hernieuwbare energie zijn nog nauwelijks in kaart gebracht. Er zouden zich kartels kunnen ontwikkelen rond materialen die belangrijk zijn voor schone energietechnologieën zoals zeldzame aardmetalen, lithium, kobalt en indium.

Voor olie- en gasproducenten kan een daling van de inkomsten een impuls betekenen voor politieke hervormingen en economische diversificatie, maar het zou ook kunnen leiden tot politieke instabiliteit, vooral op de korte tot middellange termijn.

Jaco Reijerkerk

JACO REIJERKERK IS ALS INGENIEUR (MSc) SINDS 1999 ACTIEF IN WATERSTOF EN BRANDSTOFCELLEN. HIJ HEEFT EEN INTERNATIONALE ACHTERGROND IN DE AUTOMOTIVE EN INDUSTRIELE GASSEN. HIJ STOND AAN DE WIEG VAN DE CLEAN ENERGY PARTNERSHIP, H2MOBILITY DUITSLAND, FCHJU EN HYDROGEN EUROPE. NA FUNCTIES IN R&D, STRATEGY, INNOVATIE EN BUSINESS DEVELOPMENT IS HIJ SINDS 2016 ALS COMMERCIEEL DIRECTEUR EN SENIOR CONSULTANT BIJ ADVIES EN INGENIEURSBUREAU EKINETIX ACTIEF.

Naast het werk in de eigen onderneming Ekinetix (DGA) bekleedt hij verschillende nevenfuncties waaronder kernteamlid bij het publiek private waterstofplatform (H2platform) speerpunt onderwerpen Techniek en Veiligheid en daarnaast betrokkenheid bij de gebouwde omgeving; Voorzitter van de NEN normcommissie waterstof en brandstofcellen (NC310197); Lid NEN beleidscommissie energie; Lid technische expertcommissie (TEC) waterstof veiligheid en innovatieprogramma (WVIP); Lid Cross sectorale werkgroep 'maakindustrie', nationaal waterstof programma; Lid expertgroep Wasserstoff und Brennstofzellen NRW (D),Trainer post academisch onderwijs (PAO) techniek en management.

Françoise van den Brink

FRANÇOISE VAN DEN BRINK IS ALS SENIOR CONSULTANT AL MEER DAN 25 JAAR WERKZAAM EN SINDS 2011 ALS NORMALISATIE-CONSULTANT BIJ NEN GESPECIALISEERD OP HET GEBIED VAN ENERGIE. ZE HEEFT STANDAARDISATIE-ERVARING MET ONDERWERPEN GERELATEERD AAN DE ENERGIETRANSITIE MET EEN SPECIFIEKE FOCUS OP WATERSTOF.

Daarnaast is zij committee manager voor de internationale olie- en gasindustrie standaardisatie. Haarervaring met waterstof is op nationaal, Europees en internationaal niveau. Op nationaal niveau is ze kernteamlid van het H2Platform (een samenwerkingsverband tussen industrie en de Nederlandse overheid) hierin heeft zij als speerpunt veiligheid en daarnaast betrokkenheid bij de gebouwde omgeving. Zij is binnen het H2Platform tevens coördinator van het Waterstof Veiligheid Innovatie Programma. Daarnaast is zij secretaris van het Normalisatie Platform voor waterstof in de industrie en de gebouwde omgeving. Ook is zij namens NEN partner van het North Sea Energy Programma. Op Europees niveau is zij secretaris van CEN/CENELEC/JTC 6 ‘Waterstof in energiesystemen’ en CEN/CENELEC/Sectorforum Energie Werkgroep Waterstof (CEN/CLC/SFEM/WG hydrogen). Ze was co-auteur van het SFEM/WG hydrogen rapport in 2015. Ze was en is nog steeds partner in verschillende Europese FCH JU-projecten bijvoorbeeld het HyLAW-project.

DAADWERKELIJKE EN WAARGENOMEN VEILIGHEID VAN NIEUWE WATERSTOFTOEPASSINGEN

JACO REIJERKERK & FRANÇOISE VAN DEN BRINK

De veiligheid van gassen in het algemeen is een zeer breed onderwerp dat vele aspecten omvat. Omdat waterstof wereldwijd van groot belang is en er met grote regelmaat nieuwe waterstofinitiatieven worden gepresenteerd, is het belangrijk om de vraag te stellen: is waterstof veilig, en bent u dat ook?

De definitie van veiligheid is de mate van bescherming tegen gevaar of schade (Bron: Cambridge Dictionary). Het risico van gevaar hangt af van de manier waarop met waterstof of een andere energiedrager wordt omgegaan. Er zijn een paar regels waaraan moet worden voldaan om veilig te blijven. Zolang de energie in een brandstof besloten op een verantwoorde manier wordt gehanteerd, kan deze op een veilige manier worden gebruikt. Maar honderd procent veiligheid bij het werken met welke brandstof dan ook is nooit mogelijk. Veel dingen die we in het dagelijks leven doen brengen risico's met zich mee, zoals autorijden, water koken, zwemmen, accu's opladen. We beheren de risico's tot een aanvaardbaar niveau door middel van regels en mitigatie-inspanningen, zoals links en rechts en nog een keer links kijken voor het oversteken van de straat en het stoppen voor verkeerslichten.

De nieuwe rol van waterstof kan zeer breed zijn en de toepassingsgebieden van waterstof zijn divers: brandstof voor mobiliteit, verwarming voor gebouwen – de gebouwde omgeving – en warmte voor de industrie, chemische grondstoffen en als chemische bouwsteen. Belangrijk is dat waterstof een brede systeemrol kan spelen, om de systeemintegratie te vergemakkelijken. In ons toekomstige energiesysteem zal waterstof (moleculen) waarschijnlijk een belangrijke rol spelen naast elektriciteit (elektronen). Ze zijn complementair en naar elkaar converteerbaar, en beide zijn energiedragers – van toepassing in de systeemintegratie. Aan het veilig gebruik van elektriciteit zijn we al lang gewend en het wordt dan ook breed geaccepteerd. Maar elektriciteit is echter moeilijk op te slaan op grote schaal en is zeer materiaalintensief; dat is waar waterstof deze belangrijke aanvullende rol – naast het gebruik als energiedrager – kan hebben in de energietransitie.

Momenteel is de productie en het gebruik van energie goed voor 75% van de uitstoot van broeikasgassen in de EU. Waterstof kan een essentiële rol spelen in de decarbonisatie van de energiesector, bij energiebronnen met een koolstofneutrale oorsprong, zoals wind- en zonne-energie en misschien in de toekomst zelfs kernfusie.

Is waterstof al geaccepteerd in deze nieuwe rol of is er nog een weg te gaan in het opleiden van het grote publiek en het opbouwen van vertrouwen? Veel mensen vertonen nog een cognitieve dissonantie als het gaat om het accepteren van waterstof als een alledaagse brandstof en als logische opvolger van hout, turf, steenkool, olie en aardgas.

Als we kijken naar de grote verscheidenheid aan rollen die waterstof kan spelen, moeten verschillende potentiële veiligheidsaspecten worden onderzocht, zoals:

- de verbetering van de veiligheidsaspecten voor meer technisch gerelateerde aspecten, zoals hogedruktanks en vulprotocollen;
- de waterstofeigenschappen;
- de plaats waar de waterstof wordt gebruikt, bijvoorbeeld in afgesloten ruimtes;
- de toepassing;
- de waterstofinfrastructuur; waterstof verschilt van aardgas door de kleinere molecuulgrootte;
- metrologie zoals volume- en kwaliteitsmeting, en aanvaardbare waterstofkwaliteiten;
- gezondheids- en veiligheidsnormen voor verschillende toepassingen in de mobiliteit, de gebouwde omgeving en de industrie;
- veiligheid in verband met menselijke factoren en de behoefte aan meer educatie: feitelijke informatie, duidelijke regels en begeleiding van een nieuwe groep gebruikers, namelijk het grote publiek.

Het is dus van belang om de geïdentificeerde veiligheidsaspecten en -risico's binnen een aanvaardbaar beschermingsniveau voor mens en milieu te brengen, rekening houdend met alle relevante en voorzienbare risico's.

Waterstof is niet nieuw

Het gebruik van waterstof is bekend bij professionals. Al tientallen jaren wordt waterstof in de industrie dagelijks in kleine en grote hoeveelheden gebruikt. Grootschalige productie, transport, opslag en consumptie onder hoge druk of zelfs vloeibaar gemaakt bij extreem lage temperaturen (-253 ^{0}C) zijn een gangbare praktijk voor professionals in diverse industrieën. Het algemene veiligheidsrecord voor waterstof is in feite uitstekend. De industrie en haar geschoolde vakmensen nemen passende maatregelen om dit zo te houden.

Een belangrijke vraag die we ons moeten stellen is: heeft waterstof echte veiligheidsproblemen, of gaat het om het beheer van het onbekende en het opbouwen van een vertrouwensbasis?

Ten eerste

Waterstof is het eerste element in het periodiek systeem en het meest voorkomende element in het universum. In feite zijn waterstof, zuurstof, stikstof en koolstof de belangrijkste bouwstenen van onze fysieke wereld. En toch lijken we zo weinig te weten over waterstof. En wat we denken te weten heeft vaak te maken met aannames. Zijn het allemaal vooroordelen? Wat zijn de feiten? Moeten we misschien meer vertrouwd raken met waterstof en de positieve en misschien zelfs negatieve aspecten ervan beter leren kennen?

Waterstof leeft al decennialang een prominent maar verborgen bestaan in de industrie, als grondstof, bouwsteen, beschermgas, koelmiddel in energiecentrales of als brandstof in de ruimtevaart.

Het voormalige stadsgas bevatte vroeger ook zeer hoge niveaus waterstof (tot 60%), maar in ons dagelijks leven leek waterstof nooit een belangrijke rol te spelen. Voor degenen onder ons die wel over waterstof hebben gehoord, was het waarschijnlijk in de scheikundeklas, waar knalgas (een mengsel van waterstof en zuurstof) werd gemaakt dat de leerkracht met een knal liet ontbranden.

De basis

Het is goed om de basiseigenschappen van waterstof te kennen. Het is een brandbaar gas dat veel overeenkomsten vertoont met aardgas, maar ook specifieke kenmerken heeft:

Waterstof is:

- *gasvormig*
- *zeer ontvlambaar*
- *lichter dan lucht*
- *kleurloos*
- *reukloos*
- *van hoge energiedichtheid*
- *niet giftig*
- *niet kankerverwekkend*
- *niet radioactief*
- *niet explosief*
- *niet corrosief*

Waterstof is reukloos, net als aardgas, en net als bij aardgas kunnen er geurstoffen aan worden toegevoegd. In sommige gevallen is dat echter niet ideaal, bijvoorbeeld in combinatie met brandstofcellen, die een hoge zuiverheidsgraad waterstof vereisen. Het brede scala aan ontvlambaarheid in lucht (4-75%) is een potentieel risico, terwijl het hoge drijfvermogen en diffusievermogen het gevaar kan beperken in praktische situaties waar voldoende ventilatie is voorzien.

Als we waterstof gewoon als aardgas behandelen, en niet op de juiste manier, kan het juist gevaarlijk worden. Een belangrijk verschil met aardgas is dat waterstofmoleculen zeer klein zijn, zozeer zelfs dat een gasdichte afdichting voor aardgas wel waterstof kan doorlaten. Andere opvallende verschillen zijn dat een zuivere waterstofvlam bij helder daglicht bijna onzichtbaar brandt door de afwezigheid van koolstof, waardoor het moeilijk te detecteren is met het blote oog. Anderzijds laat dat zien dat het een schoonbrandende brandstof is.

Het nieuwe gebruik van waterstof

Voor het 'nieuwe' grote uitrollen van waterstof zijn verschillende overkoepelende thema's cruciaal. Vooral als we kijken naar het nieuwe gebruik van waterstof en de introductie ervan in het publieke domein – het dichter bij het grote publiek brengen van waterstof. Dat vereist dat de juiste randvoorwaarden worden gecreëerd.

Veiligheid is één van verschillende overkoepelende thema's, die – waar mogelijk – samen moeten worden aangepakt. De synergievoordelen moeten worden benut en er moet voor worden gezorgd dat de activiteiten snel en efficiënt kunnen worden uitgevoerd, zodat (potentiële) knelpunten worden opgelost.

De overkoepelende thema's die vaak met veiligheid en risicomanagement worden verbonden, zijn onder meer wetgeving, regelgeving, normalisatie en menselijk kapitaal.

Om de juiste randvoorwaarden te creëren, is het belangrijk om een duidelijk beeld te krijgen van de potentiële veiligheidsrisico's in de gehele waardeketen en de interpretatie daarvan. Dit overzicht is nodig om op nationaal niveau gecoördineerde maatregelen en instrumenten voor veiligheidsaspecten en risicobeheer vast te stellen. Vanwege het feit dat waterstof in het publieke domein wordt gebracht, is er speciale aandacht nodig voor de menselijke factor, die onderwijs en opleiding vereist voor onderwerpen als veilig onderhoud, reactie op incidenten en menselijke behoeften.

Als we kijken naar het creëren van synergievoordelen van de overkoepelende thema's, is het ook van belang om belemmeringen in verband met de veiligheid van waterstof binnen bestaande wettelijke kaders en administratieve processen uit de weg te ruimen. De wetgeving is vaak gebaseerd op gevestigde technologieën. Normalisatie en veiligheid zijn sterk met elkaar verbonden. Normalisatie kan hulp bieden bij het verwijderen van barrières. Het kan bijvoorbeeld de perceptie van het publiek van kwesties met betrekking tot veiligheid, betrouwbaarheid en efficiëntie verbeteren. Als de veiligheid door algemeen aanvaarde normen wordt gewaarborgd, kan dit ook bijdragen aan een grotere markt- en publieksacceptatie van waterstof in het publieke domein. Bovendien kunnen normen worden gebruikt om de conformiteit met (wettelijke) voorschriften aan te tonen, tegen lagere kosten. Door thema's als veiligheid, wetgeving, menselijk kapitaal en maatschappelijke acceptatie in samenhang aan te pakken, kunnen synergievoordelen worden gecreëerd.

Menselijke fouten blijven het grootste risico

De natuurlijke risico's zijn afhankelijk van de toepassing. Zo zijn de natuurlijke risico's van tankstations anders dan die van een huishoudelijke condensatieketel, en weer heel anders dan die van een voertuig dat op de openbare weg wordt gebruikt.

Voor de waardeketen van de waterstofmobiliteit zijn er codes en normen voor toepassingen zoals bij motorvoertuigen en tankstations. Er komen steeds meer waterstoftoepassingen beschikbaar zoals bij generatorsets, drones, schepen, warmtekrachtkoppelingssystemen en bij condensatieketels. Al deze toepassingen moeten worden gereguleerd, gestandaardiseerd en gecertificeerd om op een veilige manier te kunnen worden gebruikt tijdens hun ontwerplevensduur, inclusief preventief onderhoud en incidentele reparaties van defecten. De aanvaardbare veiligheidsniveaus zijn in de loop van de tijd over het algemeen veranderd, waardoor de verwachtingen vandaag de dag hoger liggen dan in het verleden.

Voor zaken waar mensen gewend aan zijn geraakt, worden over het algemeen hogere risico's getolereerd dan voor nieuwe dingen. Maar ook het inzicht in het omgaan met bestaande zaken verandert door nieuwe ontwikkelingen. Zo is het dragen van een veiligheidsgordel tijdens het rijden over het algemeen veiliger en vandaag de dag verplicht, maar deze verbetering werd niet direct algemeen geaccepteerd. Ook gewoontes veranderen niet direct wanneer het inzicht in de risico's wordt geschapen. Zo is roken in een tankstation verboden, en toch zijn er mensen die het doen, zich niet bewust van de hieraan verbonden risico's of vanuit totale onverschilligheid.

De eis dat een toepassing 'fail-safe' en 'fool-proof' moet zijn, is een menselijke neiging. Moderne technologie kan inderdaad worden ondersteund door intelligente geautomatiseerde veiligheidssystemen. Het is belangrijk om rekening te houden met de veiligheidsrisico's (verandering x impact) en voorzorgs- en mitigatieaspecten in acht te nemen. Het toevoegen van meer sensoren en veiligheidssystemen kan juist ook de oorzaak zijn van storingen en kostenverhogingen. Uiteindelijk blijven menselijke fouten de grootste risicofactor in de hightechwereld waarin we leven, en dat is niet anders voor de waterstoftechnologie.

Informatie is essentieel, onderwijs en opleiding vormen de weg naar een veilige toepassing

Geïdentificeerde veiligheidsaspecten en -risico's moeten binnen een aanvaardbaar beschermingsniveau voor mens en milieu worden gebracht, waarbij rekening moet worden gehouden met alle relevante en voorzienbare risico's, met een zeer belangrijke nadruk op de menselijke factor.

Om mogelijke menselijke fouten te verminderen, heeft de gebruiker van waterstof-toepassingen begeleiding nodig door de hele activiteitenketen heen. Het gaat hierbij om duidelijke gebruiksinstructies om functioneel, veilig, milieuvriendelijk, binnen de wet, zuinig enzovoort te blijven. De gebruiker kan in dit opzicht de technisch ingenieur zijn, maar ook de eindgebruiker. Afhankelijk van het type gebruiker kunnen de instructies significant of minder belangrijk zijn. De bestuurder van een waterstof-bus in het openbaar vervoer heeft misschien specifieke instructies nodig, maar de passagiers hebben niet meer instructies nodig dan bij een conventionele bus.

De periode na de verkoop vereist dat servicetechnici worden opgeleid en getraind voor onderhouds- en reparatiewerkzaamheden. Bijvoorbeeld op hoogspannings- en waterstofsystemen voor moderne hybride (HEV), volledig elektrische (BEV) en brandstofcel-elektrische voertuigen (FCEV), of voor de installatie van waterstof-verwarmingssystemen voor huishoudelijk gebruik.

Noodhulpverleners of bergingswerkers moeten weten hoe ze veilig en effectief kunnen reageren wanneer er een waterstoftoepassing bij hun reddingsoperatie is betrokken, zelfs als die niet de bron van het probleem is. Hoe benadert men een verongelukt voertuig, hoe blust men een brandende parkeergarage, hoe vervoert men geïmmobiliseerde voertuigen of hoe handelt men in geval van een waterstofgaslek in een huis? Professionals die mogelijk hun leven riskeren, moeten adequaat worden op-geleid en getraind om op basis van een vaste routine de juiste maatregelen te nemen.

Tot slot: waterstof is niet onbekend, maar het is nieuw in het publieke domein. Dit betekent een nieuwe toepassingsarena en nieuwe gebruikers. Elke brandstof- of energiedrager kan veilig, gevaarlijk of zelfs dodelijk zijn, afhankelijk van de manier waarop hij wordt behandeld. De menselijke factor is uiterst belangrijk bij de beheersing van de risico's. Het gebruik van waterstof als brandstof is als zodanig niet gevaarlijker dan conventionele brandstoffen.

De invoering van waterstof voor dagelijks openbaar en veilig gebruik vereist onderwijs, het delen van betrouwbare informatie, toegepast onderzoek, adequate en geschikte communicatie, certificering, codes en normen, en niet te vergeten een open geest.

GROHW Consortium

Witteveen+Bos

WITTEVEEN+BOS IS EEN ADVIES- EN INGENIEURSBUREAU, DAT WERELDWIJD OPLOSSINGEN BIEDT VOOR COMPLEXE, TECHNISCHE EN MAATSCHAPPELIJKE VRAAGSTUKKEN OP HET GEBIED VAN WATER, INFRASTRUCTUUR, MILIEU EN BOUW.

We streven ernaar om op een hoogstaand, internationaal ingenieursniveau te werken. Vanuit een inspirerende werkomgeving werken onze ruim 1.300 medewerkers in multidisciplinaire projectteams aan fascinerende projecten in binnen- en buitenland. De energietransitie, klimaataanpassing, overstromingsproblemen, gezonde steden, circulaire economie en grootschalige vervanging van infrastructuur zijn slechts enkele van de grote uitdagingen waarin we kunnen ondersteunen. Witteveen+Bos adviseert en helpt opdrachtgevers bij het maken van de juiste keuzes. De basis waaruit Witteveen+Bos werkt is vanuit kennis: het samenbrengen van de juiste expertise om de huidige uitdagingen op een duurzame manier op te lossen.
Kijk op www.witteveenbos.com voor meer informatie.

ZUURSTOF ALS BUSINESS CASE-VERBETERAAR VOOR GROENE WATERSTOFPRODUCTIE

HOE EEN EFFECTIEF GEBRUIK VAN HET WATER-ELEKTROLYSE 'BIJPRODUCT' ZUURSTOF BIJDRAAGT AAN DE BUSINESS-CASE VAN GROENE WATERSTOFPRODUCTIE

RASYID SALAM, ERIK VERBRUGGE & FENNA VAN DE WATERING

Achtergrond

Witteveen+Bos en partners ontwikkelen momenteel een lokaal groen waterstof (H_2) energie-ecosysteem in Deventer (GROHW). In dit ecosysteem onderzoeken we de productie, het transport en het gebruik van groene H_2 als kooldioxidevrije energiedrager voor lokale (industriële) bedrijven.

Elektrolyse wordt beschouwd als een veelbelovende methode voor groene H_2-productie. Elektrolyse is gebaseerd op de dissociatie van water, waarbij twee moleculen water (H_2O) worden gescheiden in twee moleculen H_2 en één molecuul zuurstof (O_2). Momenteel is de productie van groen H_2 door elektrolyse duur in vergelijking met conventionele productiemethoden: de prijs van groen H_2 kan hoger zijn dan € 3,5/kg[1,2]$_{2017}$, waarbij grijs H_2 afkomstig van stoommethaanreformen (SMR) slechts € 1,3/kg[2]$_{2017}$ kost. Verschillende ontwikkelingen zijn op weg om de groene H_2-productie concurrerend te maken met grijze H_2-productietechnieken in verband met bijna-nul elektriciteitsprijzen en hogere kosten[3] voor koolstofuitstoot. Dit zijn echter allemaal langetermijnontwikkelingen in een massaproductiescenario. Om de ontwikkeling van groene H_2 te versnellen is het belangrijk om vandaag de dag groene H_2-projecten te initiëren, wat betekent dat we strategieën moeten onderzoeken om de business case van groene H_2-productie op korte termijn te verbeteren.

De productie van groene H_2 via elektrolyse produceert ook de 'bijproducten' O_2 en warmte. Witteveen+Bos onderzocht of het gebruik van 'groen' O_2 in het Deventer H_2-energie-ecosysteem de business case voor groen H_2 effectief kan versterken. Het resultaat was dat voor de meeste van de gepresenteerde scenario's de winst van het gebruik van O_2 binnen dit ecosysteem de business case van de groene H_2-productie verbetert. Dit artikel presenteert onze bevindingen.

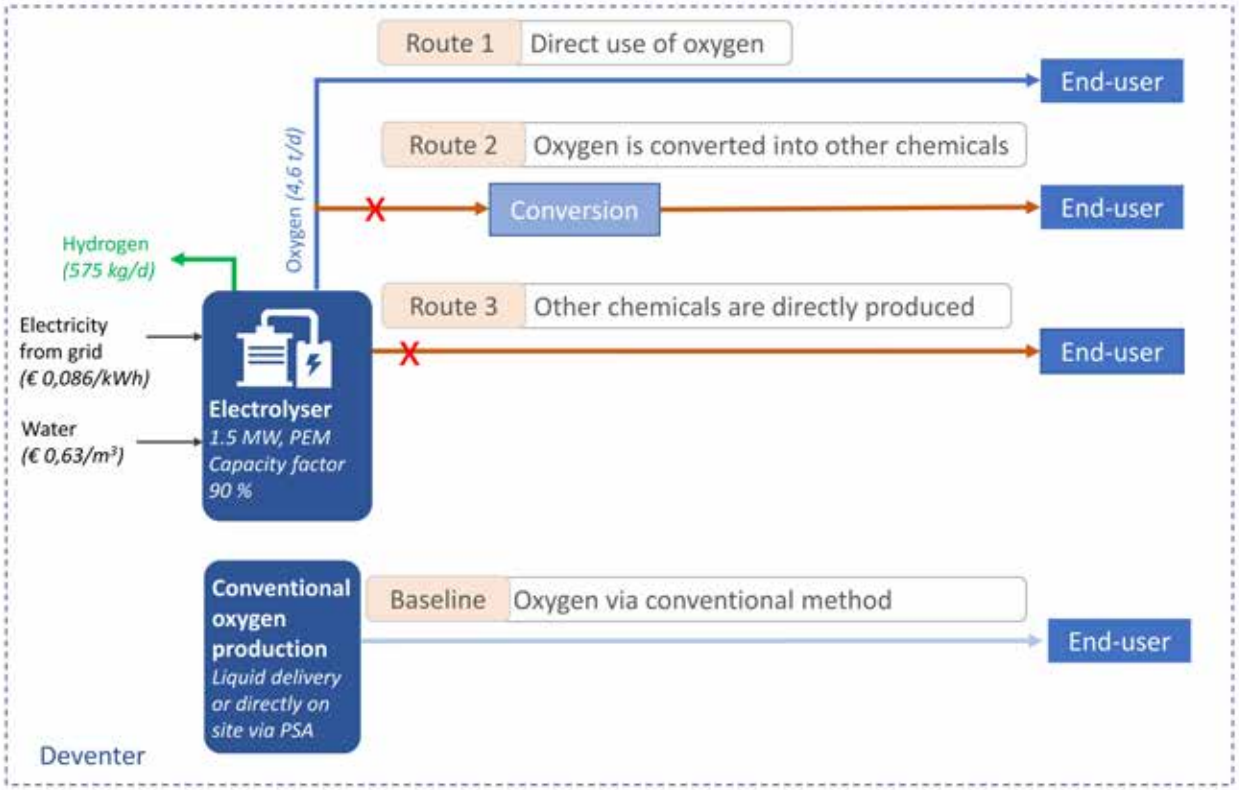
---

1 *M. Junginger, A. Louwe; Technological Learning in the Transition to a Low-Carbon Energy System, 2020*
2 *www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen*
3 *J. Cihlar (Ecofys, A Navigant Company) & K. Blok (TU Delft, Ecofys, A Navigant Company); Green Hydrogen, Can low-cost renewable electricity bring us closer to a carbon neutral fuel? June 2017*

Voorbereiding

De O_2-business case-analyse baseert op de volgende belangrijke beperkingen en aannames:

1. gebied: gemeente Deventer; maximale afstand tussen de industrieën: 5 km
2. elektrolyser: 1,5 MW, capaciteitsfactor: 90%; productie van O_2: 4,6 t/dag
3. netstroomprijs: € 0,086/kWh[4]
4. gewogen gemiddelde kapitaalkosten (WACC): 7%[5]
5. waterprijs: € 0,63/m^3[3,6]
6. Geen zuivering van O_2[7]
7. Bereidheid om te betalen voor vloeibaar O_2: € 95 (laag) - 141 (hoog)/t O_2[8]; voor O_2 van PSA: € 50-85/t O_2



Afbeelding1: Overzicht van O_2 van de routes voor het gebruik van de elektrolyse, de basislijn en de beperkingen/veronderstellingen

Zoals blijkt uit Afbeelding 1 zijn er verschillende O_2-gebruiksroutes geïdentificeerd. In dit artikel bespreken we echter alleen route 1: het directe gebruik van O_2 door een eindgebruiker.

4 *2018 industriële elektriciteitsprijzen (www.statista.com/statistics/596254/electricity-industry-price-netherlands).*

5 *www.rug.nl/news/2019/03/groene-waterstof-alleen-rendabel-bij-hoge-gasprijzen-en-streng-klimaatbeleid; www.enpuls.nl/media/2350/eindrapport-module-3-_-businessmodel-en-businesscase-_-enpuls.pdf*

6 *www.vitens.nl/-/media/over-water/pdf/tarieven-2019/tarievenregeling-zakelijk-2019-v2.pdf?la=nl-nl*

7 *Zonder zuivering zijn de waterstof- en watergehaltes laag: concentraties (15 bar_{out}): H_2 < 2% (W. Hug, J. Divisek, J. Mergel, W. Seeger, and H. Steeb, Highly efficient advanced alkaline electrolyzer for solar operation, Int. J. Hydrogen Energ., vol. 17, no. 9, pp. 699–705, 1992) en H_2O < 1% (berekende waarde gebaseerd op evenwichtsverzadiging van water in zuurstof)*

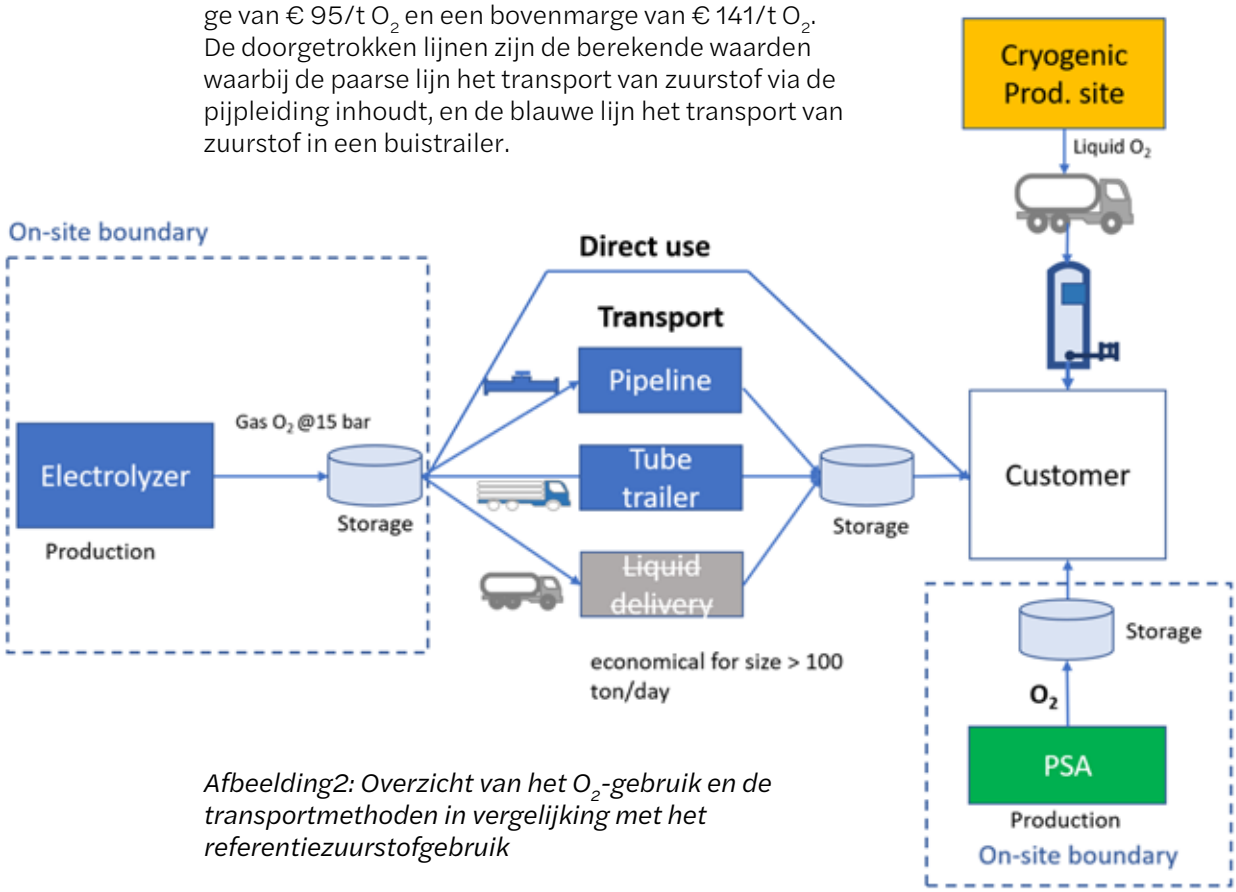
8 *Bereidheid om te betalen waarden zijn gebaseerd op interviews met industriële belanghebbenden in Deventer: zuurstofkosten (80 - 126 €/t O^2) + opslag (10 €/t O^2) en levering (4 €/t O^2) = totale zuurstofprijs (95 - 141 €/t O^2)*

Dit betekent dat de conversie (van de zuurstof) naar andere chemicaliën niet in aanmerking wordt genomen, omdat deze conversieroutes ofwel verwaarloosbare financiële voordelen hebben voor het lokale systeem in Deventer, ofwel een laag technologisch gereedheidsniveau (TRL) tonen. Bijgevolg werd route 1 vergeleken met een basislijn: de conventionele route om O_2 te verkrijgen, waarbij ofwel vloeibare O_2 wordt geleverd door een gasbedrijf, ofwel de zuurstof rechtstreeks ter plaatse wordt geproduceerd door middel van drukwisseladsorptie (PSA).

Aangezien alleen route 1, het directe gebruik van zuurstof via elektrolyse, in aanmerking komt, kan zuurstof door de gebruikers direct ter plaatse worden gebruikt, of via pijpleidingen of buistrailer naar andere klanten worden getransporteerd (Afbeelding 2). De vloeibare toediening van 'groene' zuurstof is alleen zuinig bij een niveau van > 100 t O_2/d, en in dit geval wordt slechts 4,6 t O_2/d geproduceerd. Opmerking: het transport en de daaropvolgende opslag van de 'groene' zuurstof heeft een negatieve invloed op de business case. Deze twee opties kunnen worden vergeleken met de basislijn waarbij zuurstof ter plaatse wordt geproduceerd via PSA of in vloeibare vorm wordt geleverd door het gasbedrijf.

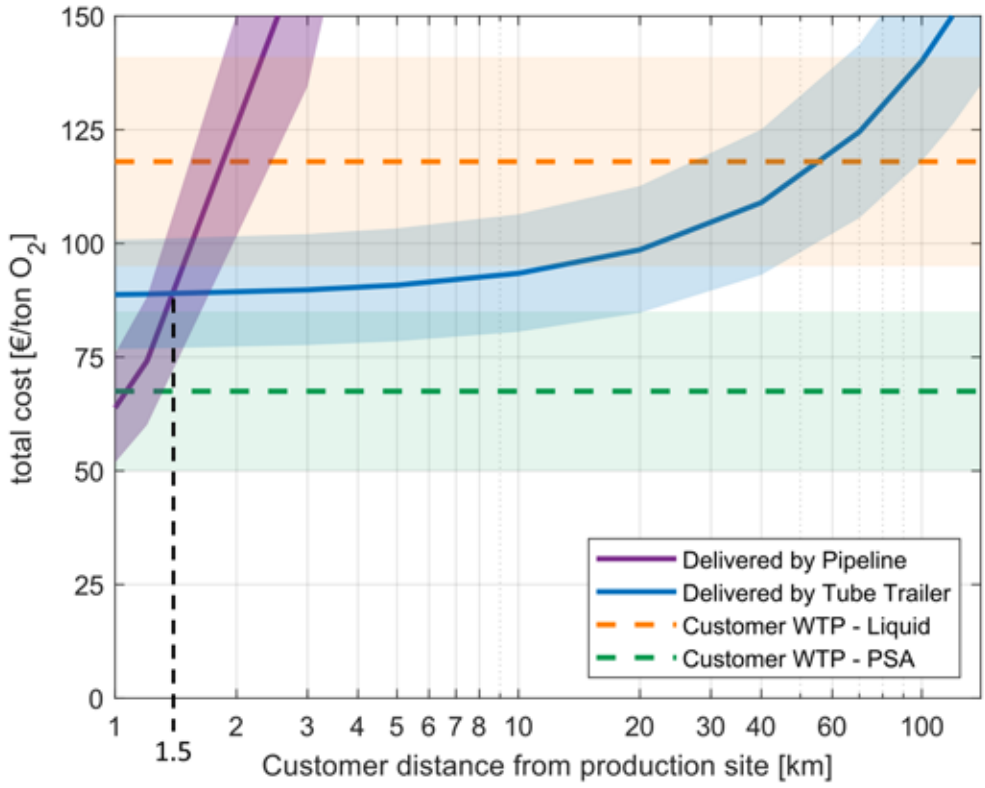
Resultaten

Afbeelding 3 geeft de uitkomsten van onze berekeningen weer, waarbij we de totale kosten van de zuurstof vergelijken met de afstand van de klant tot de productielocatie. De stippellijnen zijn de basislijnen, waarbij de groene lijn de mediaan voor PSA is en de oranje lijn de mediaan voor vloeibare zuurstof met een ondermarge van € 95/t O_2 en een bovenmarge van € 141/t O_2.
De doorgetrokken lijnen zijn de berekende waarden waarbij de paarse lijn het transport van zuurstof via de pijpleiding inhoudt, en de blauwe lijn het transport van zuurstof in een buistrailer.



Afbeelding2: Overzicht van het O_2-gebruik en de transportmethoden in vergelijking met het referentiezuurstofgebruik

Het transport van zuurstof via pijpleidingen wordt snel duurder op lange afstanden, terwijl het transport van zuurstof via buistrailers relatief constant blijft op afstanden tot ~10 km. Ook laten onze bevindingen duidelijk zien dat 'groene' O_2 kan concurreren met PSA wanneer de zuurstof direct ter plaatse wordt gebruikt (afstand < 1 km), en ook met vloeibare zuurstof als het via pijpleidingen voor minder dan 1,5 km wordt getransporteerd. Voor afstanden tussen 1,5 en 60 km bleek het vervoer met buistrailers de meest economische O_2-transportmethode.



Afbeelding 3 Vergelijking van de totale kosten van de zuurstof met de afstand tussen de klant en de productielocatie

Op basis van bovenstaande bevindingen hebben we vijf scenario's gedefinieerd om de geschatte winst voor het zuurstofgebruik te evalueren. De scenario's varieerden op basis van het gebruikspercentage en de afstand tussen de zuurstofgebruiker en de productielocatie: Case 1: 100% ter plaatse; Case 2: 100% < 1,5 km; Case 3: 100% tussen 1,5 en 5 km; Case 4: 80% ter plaatse, 20% < 1,5 km; Case 5: 50% ter plaatse, 50% <1,5 km. Om het gevolg van de O_2-prijs op de business case te evalueren gebruikten we een lage (€ 95/t O_2) en een hoge (€ 141/t O_2) marktprijs voor vloeibare zuurstofvoorziening en een lage (€ 50/t O_2) en hoge (€ 85/t O_2) marktprijs voor PSA (zie voetnoot 8). Om de winst van 'groen' zuurstofgebruik voor een groen waterstofproject beter te begrijpen, wordt de winst gepresenteerd in verband met de impact ervan op de vermindering van de kosten van groene waterstof. Tabel 1 geeft **een samenvatting van de resultaten van deze economische beoordeling. Een van de bevindingen was dat het gebruik van O_2 met een hoge prijs voor vloeibare zuurstof van € 141/t O_2 in alle gevallen positief bijdraagt aan de groene H_2-productie.**

De geschatte winst ligt tussen € 0,32-0,95/kg H_2, afhankelijk van de vervoersmethode van het O_2. Voor de lage vloeibare O_2-prijs (€ 95/t O_2) blijft de business case positief (€ 0,16-0,58/kg H_2) in bijna alle gevallen ondanks de lage O_2-prijs. Alleen in Case 3, waarbij 100% van de O_2 wordt gebruikt op afstanden tussen 1,5 en 5 km, is de business case negatief: € 0,05/kg H_2. Zoals al bleek uit Afbeelding 3 kan het gebruik van zuurstof alleen concurreren met PSA wanneer het grootste deel van de 'groene' zuurstof ter plaatse wordt gebruikt.

Tabel 1: Resultaten van de economische analyse van de winst van 'groen' O_2-gebruik, variërend in gebruikspercentage en afstand van de O_2-gebruiker tot de productielocatie. Case 1: 100% ter plaatse; Case 2: 100% < 1,5 km; Case 3: 100% tussen 1,5 en 5 km; Case 4: 80% ter plaatse, 20% < 1,5 km; Case 5: 50% ter plaatse, 50% < 1,5 km

Scenarios	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Sales percentage	100%	100%	100%	100%	100%
On-site	100%	0%	0%	80%	50%
Near (< 1.5 km)	0%	100%	0%	20%	50%
Moderate (1.5 - 5 km)	0%	0%	100%	0%	0%
Cost [€/ ton O_2]	22	74	101	31	44
Comparison to liquid oxygen					
Market price [€/ ton O_2] (low)	95	95	95	95	95
Market price [€/ ton O_2] (high)	141	141	141	141	141
Hydrogen cost reduction [€/kg H_2] (low)	€ 0,58	€ 0,16	€ -0,05	€ 0,51	€ 0,40
Hydrogen cost reduction [€/kg H_2] (high)	€ 0,95	€ 0,53	€ 0,32	€ 0,88	€ 0,77
Comparison to PSA oxygen					
Market price [€/ ton O_2] (low)	50	50	50	50	50
Market price [€/ ton O_2] (high)	85	85	85	85	85
Hydrogen cost reduction [€/kg H_2] (low)	€ 0,23	€ -0,19	€ -0,41	€ 0,15	€ 0,05
Hydrogen cost reduction [€/kg H_2] (high)	€ 0,51	€ 0,09	€ -0,13	€ 0,43	€ 0,33

Conclusies en vooruitzichten

Het gebruik van O_2 kan in bijna alle gevallen de business case van groen H_2 voor ons lokale ecosysteem in Deventer verbeteren. De omvang van de winst die wordt behaald met het gebruik van 'groene' zuurstof is afhankelijk van het gebruikspercentage en de afstand van de zuurstofgebruiker tot de productielocatie. De grootste voordelen doen zich voor in de gevallen waarin het grootste deel van de O_2 ter plaatse wordt gebruikt of wanneer deze over kleine afstanden wordt vervoerd (<1,5 km). De resultaten van deze studie kunnen worden gebruikt in casestudies die vergelijkbaar zijn met ons ecosysteem in Deventer, wanneer 'groene' zuurstofgebruikers aanwezig zijn nabij de waterstofgebruikers. Wij stellen daarom voor altijd onderzoek te doen naar het zuurstofgebruik in het kader van een business case binnen lokale groene H_2-projecten. Daarnaast moet verder onderzoek worden gedaan naar de verbetering van de business case van groene waterstof, bijvoorbeeld naar de effecten van het gebruik van afvalwarmte en andere toepassingen van zuurstof als toekomstige vermeden kosten in verband met CO_2/NO_x-reductie en de verbranding van oxyfuel.

Waterstof

De nieuwsberichten over waterstofprojecten vliegen je om de oren. Grappig is dat het element waterstof het meest voorkomende atoom op aarde is en dus bijna overal aanwezig! Wat is waterstof nou precies en wat kan je er eigenlijk mee doen? In deze infographic geven we hier antwoord op.

Kun je waterstof **vastpakken?**

Nee! Waterstof is het lichtste en kleinste molecuul op aarde. Wist je dat waterstof met ongeveer 20 meter per seconde opstijgt? Dat is zo'n 70 km/uur! Omdat het zo klein is ontsnapt het gemakkelijk en sneller door de kleinste gaatjes dan bijvoorbeeld aardgas. Lekdichtheid is dus wel een aandachtspunt voor als je het wilt opslaan of vervoeren.

Kun je waterstof **zien?**

Nee, je kunt waterstof niet zien, maar als je het verbrandt (zoals je aardgas ook verbrandt in bijvoorbeeld een Cv-ketel) zou je een lichte vlam kunnen waarnemen. Dit geeft nog wel wat uitdagingen als je waterstof wilt gebruiken in bijvoorbeeld Cv-ketels, omdat de kleur van de vlam wordt gebruikt om inzichten te geven in het verbrandingsproces.

Kun je waterstof **ruiken?**

Nee, maar wist je dat je aardgas ook niet kunt ruiken? Aan aardgas wordt wereldwijd dezelfde geurstof toegevoegd. Een gelijke soort geurstof moet er dus ook voor waterstof worden ontwikkeld. Het is nog best een uitdaging om daar één standaard wereldwijd geaccepteerde geurstof voor te ontwikkelen. Daarnaast zijn sommige waterstoftoepassingen gevoelig voor deze geurstof: een extra uitdaging!

Is waterstof **veilig?**

Waterstofgas is een energiedrager, je kunt er dus behoorlijk wat energie uithalen. Uit onderzoek van Kiwa Technology blijkt dat waterstof even veilig is in het gebruik in huis als aardgas. Dit heeft er onder andere mee te maken dat waterstof zo licht en klein is, dat de concentratie in de lucht veel sneller afneemt dan bij aardgas. Onderstaande afbeelding geeft nog een voorbeeld over waterstofveiligheid.

Waterstof | Benzine

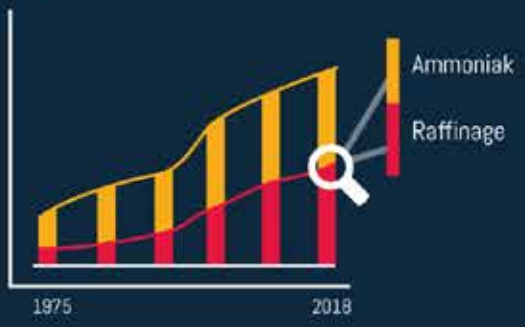
Het gebruik van waterstof als brandstof in de mobiliteit ten opzichte van benzine heeft ook een voordeel. In de afbeelding hierboven zie je een experiment van een waterstofauto en een benzineauto. Stel dat er een lekkage en ontsteking met een vlam ontstaat in de auto, dan stijgt de waterstofvlam op en kun je nog uit je auto stappen. Benzine is daarentegen zwaarder dan lucht en zorgt er daardoor voor dat de hele auto in vlammen opgaat.

Je hebt net veel gelezen over de eigenschappen van waterstof, maar wat is nu de rol van waterstof in de energietransitie? Lees verder hoe we waterstof inzetten als bouwsteen in de energietransitie.

Waar wordt waterstof op dit moment al gebruikt?

Grondstof in de industrie

Waterstof wordt al een lange tijd gebruikt in de industrie, vooral in olieraffinage, voor het maken van plastics en bij de productie van ammoniak voor kunstmest. We kennen waterstof dus al heel lang en we weten hoe je waterstof veilig kunt gebruiken. Zie je dat het gebruik als grondstof de afgelopen tijd steeds meer is gestegen?



Bron: IEA, The Future of Hydrogen, 2019

Waar kun je waterstof nog meer gebruiken?

Waterstof is ook een energiedrager. Je kunt waterstof gebruiken voor hoge en lage temperatuurwarmte, in de mobiliteit en voor seizoensopslag.

Mobiliteit

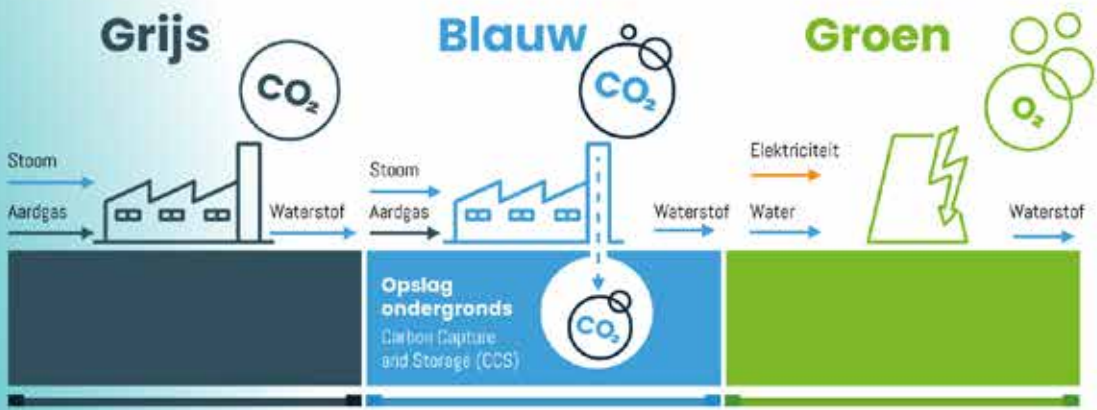
Hoge temperatuurwarmte voor industrie

Seizoensopslag

Lage temperatuurwarmte voor gebouwde omgeving

Kleuren van waterstof?

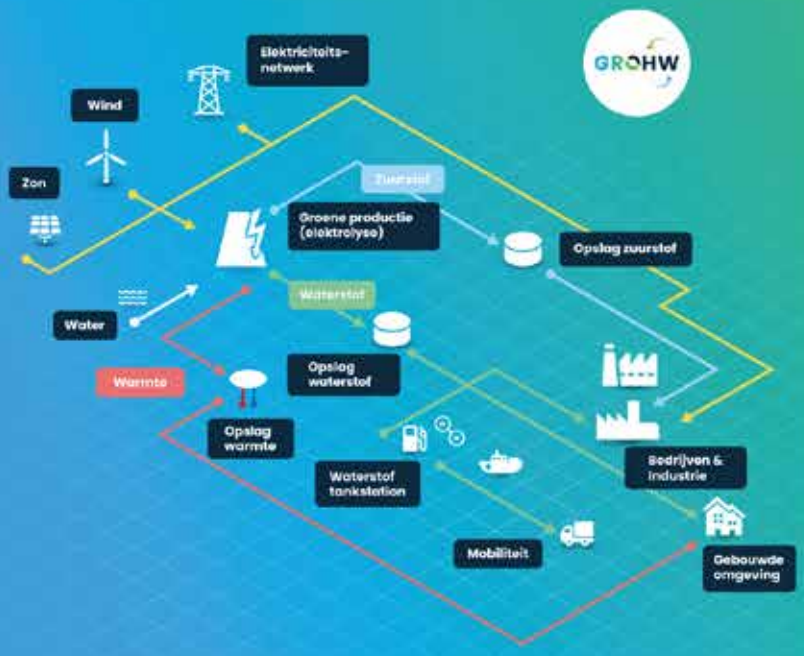
Er bestaan verschillende kleuren van waterstof, deze beschrijven hoe de waterstof gemaakt wordt. Waterstof kan als duurzame energiedrager worden gebruikt, als er daarbij geen CO_2-uitstoot plaatsvindt. Op dit moment gebruikt de chemische industrie al heel veel waterstof. Dit is echter nog 'grijze' waterstof. Deze 'grijze' waterstof wordt in Nederland nog voornamelijk geproduceerd door met stoom aardgas om te zetten in CO_2, waarbij de CO_2 wordt uitgestoten. Omdat we de CO_2-uitstoot willen voorkomen, kunnen we een andere productiemethode van waterstof gebruiken die tot 'groene' waterstof leidt: middels elektrolyse van water door groene elektriciteit te gebruiken. De enige uitstoot van dit elektrolyseproces is zuurstof. Dit betekent wel dat we veel groene stroom en elektrolyseapparaten nodig hebben. Hiervan zijn er nu en de komende 10 jaar nog niet voldoende aanwezig. Daarom kan 'blauwe' waterstof een goede tussenoplossing zijn. Bij de productie hiervan wordt er nog steeds aardgas en stoom gebruikt om waterstof te maken, maar hierbij wordt de CO_2 afgevangen en ondergronds opgeslagen. Door het gebruiken van 'blauwe' waterstof stoten we dus minder CO_2 uit dan bij 'grijze' waterstof, maar blijven we wel fossiele energiedragers gebruiken.



Bron: www.dewereldvanwaterstof.nl/gasunie/wat-is-waterstof/

Hoe werkt de keten van groene waterstof?

De productie van groene waterstof begint met groene energie en een elektrolyser. De elektrolyser is het apparaat dat groene waterstof (~70 %), zuurstof an warmte (~30 %) produceert. Waterstof is een gas en neemt erg veel ruimte in. Daarom moet je het eigenlijk wel comprimeren, zodat er meer waterstof in dezelfde ruimte kan worden opgeslagen of vervoerd. Je kunt waterstof ook opslaan in allerlei andere vormen om meer energie in dezelfde ruimte kwijt te kunnen. Bijvoorbeeld door het op te slaan in methanol. Na het transporteren van waterstof kun je het gebruiken als grondstof voor de chemische industrie of als energiedrager. Zoals eerder uitgelegd kun je waterstof als energiedrager verbranden (zoals je bijvoorbeeld aardgas ook verbrandt in een Cv-ketel) of door omgekeerde elektrolyse toe te passen. Het apparaat wat je hierbij nodig hebt heet een brandstofcel.



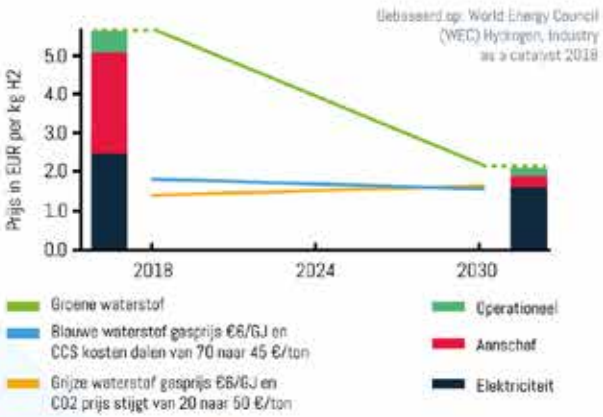
Waarom gebruiken we nu nog niet zoveel groene waterstof?

Dit ligt voornamelijk aan de volgende drie onderwerpen:

1. **Voldoende beschikbaarheid**
2. **Hoge kosten**
3. **Kennis**

1 Op dit moment zijn er niet genoeg groene stroom, elektrolysers en/of brandstofcellen beschikbaar. Om hierop in te spelen wordt er nu al vol ingezet op het installeren van meer wind op zee en het bouwen van grote elektrolysers langs de kust. Daarnaast wordt er onderzocht hoe we waterstof kunnen transporteren en opslaan. Het huidige aardgasnet is de komende 10 jaar alleen nog niet beschikbaar hiervoor.

2 Daarnaast is een andere uitdaging de kosten. Dit geldt voor de kosten van de groene stroom, de elektrolysers en de brandstofcellen. De verwachting is dat deze kosten de komende 10 jaar zullen dalen en zo meer met blauwe en grijze waterstof kunnen concurreren, maar dit blijft in de huidige tijd een uitdaging.



3 Tenslotte is er meer kennis nodig op het gebied van waterstof. Met meer kennis kunnen we waterstof op de juiste manier inzetten en kan het fungeren als bouwsteen van de energietransitie! Deze infographic heeft jou hopelijk een eerste inzicht gegeven, heb je nog vragen, neem dan contact met ons op via grohw.nl.

Consortium: groene waterstofproductie en meer

Een consortium gaat over de productie en het gebruik van groene waterstof in een lokale omgeving. Op dit moment is 'groene' waterstofproductie en gebruik nog niet rendabel, maar willen we ermee aan de slag. Daarom onderzoeken we ook andere producten zoals zuurstof en warmte. Dit resulteert in het project GROHW, wat staat voor GReen Oxygen, Hydrogen and Wasteheat. Een collectief van lokale bedrijven en instellingen bundelen hun krachten om samen de energietransitie te versnellen. Samen bouwen zij aan de energietransitie met groene waterstof als belangrijkste bouwsteen. De stad Deventer is de pilotlocatie, maar dit is slechts het begin van GROHW. Het uiteindelijke doel is het maken van een blauwdruk, die toepasbaar is in soortgelijke gebieden in heel de wereld.

Blauwdruk

Onze gebiedsaanpak willen we zo inrichten dat we een blauwdruk maken die toepasbaar is in soortgelijke gebieden in heel de wereld. Hierdoor wordt de aanpak schaalbaar en met geringe extra kosten toepasbaar voor andere soortgelijke gebieden. Zo kunnen we de energietransitie versnellen.

Netcongestie

Netcongestie betekent dat er niet voldoende ruimte beschikbaar is op het net om alle energie te transporteren. Hierdoor kunnen nieuw geïnstalleerde 'energieopwekkers' mogelijk geen energie terugleveren aan het net. Problemen met netcongestie komen al voor in Oost- en Noord-Nederland en dit zal alleen nog maar toenemen. GROHW biedt een oplossing voor dit probleem. Doordat we de duurzame energie aansluiten op onze elektrolyser, kan de duurzaam opgewekte energie worden opgeslagen in waterstof om zo de energie op een andere manier te transporteren en te benutten!

Engineers/Adviseurs

De engineers van Witteveen+Bos en MSTA zorgen voor de systeemintegratie van het gehele project, die zowel integraal bruikbaar als efficiënt ontworpen moeten zijn. Zo kiezen we slimme productielocaties maken we schaalbare ontwerpen en knopen we alle verschillende deelnemende partijen op een zo goed mogelijke manier aan elkaar. Het eindproduct is een rendabele blauwdruk voor het lokaal gebruik van waterstof.

Gebruikers

In het consortium hebben we ook een gebruikersgroep opgenomen die in meer of mindere mate gebruik zullen maken van de in dit project geproduceerde producten. Zo willen de Deventer bedrijven VOS Transport Van Dorp en Koninklijke Auping een aantal van hun voertuigen laten rijden op waterstof en wil de Deventer asfaltcentrale ACS en de Koninklijke Auping waterstof gebruiken voor hun verwarmingsproces in plaats van het aardgas dat ze nu gebruiken. Daarnaast kan de asfaltcentrale misschien zuurstof gebruiken tijdens hun verwarmingsproces van het asfalt. Het gebruiken van beide producten kan ervoor zorgen dat er een rendabeler project ontstaat en geen stikstof (NOx) meer vrijkomt bij de verbranding.

Handelsplatform ontwikkelaar

Geen innovatie zonder startup. Onze startup Hanzenet gaat een handelsplatform ontwikkelen voor het onderling uitwisselen van energie door de deelnemers. Het handelsplatform maakt gebruik van blockchain technologie waarmee we door het gebruik van 'smart contracts' snel en veilig energietransacties kunnen realiseren.

Hogescholen

Door hogescholen Saxion en HAN te betrekken, leiden we jonge mensen op en staan we dichtbij innovatie. Door nu studenten op te leiden, zorgen we dat we in de toekomst ook blijven bouwen aan een duurzame leefomgeving. Daarnaast zitten hogescholen dichtbij innovatie waardoor we altijd op de hoogte zijn van de meest innovatieve ontwerpen.

Financiers

Samen met de Rabobank gaan we onderzoeken hoe deze gebiedsaanpak kan resulteren in een positieve businesscase. Dit doen we door de verschillende producten te laten bijdragen aan het rendabel maken, maar ook door de toekomstige financieringsmogelijkheden te onderzoeken.

Marketeers

Duidelijke marketing en communicatie is belangrijk om het project onder de aandacht te brengen. Het Deventerse bedrijf Brandeniers is toegewijd om dit project van zijn beste kant te laten zien: zo hebben ze bijvoorbeeld deze infographic vormgegeven. Middels goede communicatie leren we iedereen op een objectieve manier over de energietransitie en de mogelijkheden die waterstof biedt. Daarnaast zorgt Brandeniers voor een breed bereik en worden daardoor ook andere partijen enthousiast.

1. Witteveen+Bos
2. Saxion Hogeschool
3. Hanzenet
4. Brandeniers
5. Gasfabriek
6. Rabobank
7. ACS
8. Enexis
9. S Park
10. Vos transport
11. Van Dorp
12. Auping
13. MTSA (Arnhem)
14. HAN (Arnhem)

ONE TO ZERO EMISSION

GROHW

René Schutte

RENÉ SCHUTTE WERKT SINDS 2006 BIJ GASUNIE EN HEEFT DIVERSE COMMERCIËLE POSITIES BEKLEED IN ENERGIE-INKOOP EN DE FRONT OFFICE BIJ GASUNIE TRANSPORT SERVICES.

In zijn vorige rol was René verantwoordelijk voor direct aangeslotenen aan het GTS-gasnet en voor implementatie van wet- en regelgeving.

Sinds juli 2018 is René Programmamanager Waterstof bij Gasunie. In deze functie is hij verantwoordelijk voor de ontwikkeling en implementatie van het waterstofprogramma, een kernonderdeel van de strategie van Gasunie voor de energietransitie en toekomstige activiteiten.

René is ook bestuurslid van de Europese waterstofassociatie Hydrogen Europe en bestuurslid van de Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU).

INFRASTRUCTUUR EN SYSTEEM-INTEGRATIE

RENÉ SCHUTTE

GASUNIE

Infrastructuur maakt grootschalige waterstof mogelijk

De verwachting is dat we in Europa in 2050 ongeveer vijftig procent van onze energievraag met elektriciteit zullen invullen. De andere helft wordt door moleculen (gassen en warmte) ingevuld. Om de in verschillende klimaatakkoorden afgesproken CO_2-reductie te behalen, zullen deze moleculen in 2050 groen moeten zijn. Waterstof is bij uitstek geschikt als groene energiedrager. Waterstof is bovendien een manier om sectoren, zoals industrie en transport, te verduurzamen. Andere auteurs zullen hier in dit boek dieper op ingaan. Dit hoofdstuk gaat over het belang van een goede infrastructuur, zowel voor transport en opslag als voor conversie van elektronen naar moleculen. Hoe ziet deze infrastructuur er in de toekomst uit? Daarvoor moeten we kijken naar wat we al hebben, wat er aanvullend nog nodig is en vervolgens moeten we alle oplossingen naast elkaar (en met elkaar) inzetten. Dit is geen kwestie van of-of-of, maar van en-en-en.

Bestaande infrastructuur Nederland

Nederland is bij uitstek geschikt voor het transport en de opslag van waterstof. In Nederland hebben we sinds jaar en dag veel aardgas gebruikt, omdat we een grote voorraad hadden. Door de ontwikkeling van onze aardgasproductie in de jaren 60 van de vorige eeuw, is een uniek gasnetwerk ontstaan. Dit gasnetwerk verbindt industrieclusters met aardgasaanbod en heeft aansluitingen met netwerken in de omringende landen. Zo'n 95 procent van de Nederlandse huishoudens heeft een gasaansluiting; een enorm hoog percentage in vergelijking met andere landen. Hierdoor heeft Nederland een fijnmazige, goed onderhouden infrastructuur voor gastransport. Nu de Nederlandse gasproductie ten einde loopt, komt er infrastructuur vrij voor ander gas: waterstof. Natuurlijk moeten er aanpassingen worden gedaan, maar dat gaat om relatief kleine veranderingen. Zo moeten bestaande compressoren worden vervangen. Voor de benodigde opslag kunnen we zoutcavernes gebruiken[1]. Door die aanwezigheid van infrastructuur voor transport en opslag kan Nederland, net als met aardgas, vooroplopen in dit deel van de energietransitie. De kennis en ervaring die we opdoen met het inrichten van een waterstofinfrastructuur, kunnen we vervolgens delen met andere landen.

Waterstofbackbone

Een belangrijk onderdeel van de Nederlandse waterstofinfrastructuur waar Gasunie nu aan werkt, is een zogenaamde waterstofbackbone. In Zeeland hebben we eind 2018 twee bedrijven met een pijpleiding van twaalf kilometer lang met elkaar verbonden. De waterstof die als bijproduct vrijkomt bij Dow Benelux wordt door Yara gebruikt als grondstof voor kunstmest. Deze waterstofsymbiose blijkt goed te werken en is een eerste aanzet voor een landelijke backbone waarmee de belangrijkste industriële centra ook voor waterstof met elkaar verbonden worden.

1 *https://kennisbank.ebn.nl/ondergrondse-opslag-in-nederland-technische-verkenning-2018/*

Hiermee leggen we de basis voor een hoofdtransportnet waarmee waterstof van aanbodlocaties naar afnemers in Nederland en omliggende landen kan worden getransporteerd. Ook de opslagfaciliteiten worden op de backbone aangesloten. Deze waterstofbackbone kan al vanaf 2026 gefaseerd in gebruik worden genomen, mede doordat we veel van de bestaande infrastructuur kunnen hergebruiken.

Transport van energie

De infrastructuur aan pijpleidingen ligt er en dus is het logisch om deze in de toekomst ook voor waterstof te gebruiken. Hiermee worden onnodige en hoge investeringen in nieuwe infrastructuur vermeden. Het zal in veel gevallen zelfs vele malen voordeliger en efficiënter zijn dan het transporteren van dezelfde hoeveelheid energie in de vorm van elektriciteit. Er past simpelweg meer energie door een pijpleiding dan door een stroomkabel, waardoor het transport een factor tien tot twintig goedkoper is. Voor kleinere volumes kan gebruik worden gemaakt van vrachtwagens en schepen. Schepen zijn bovendien interessant voor transport over lange afstanden. De waterstof zal dan eerst vloeibaar gemaakt worden of chemisch worden verbonden met andere moleculen, zodat de energiedichtheid toeneemt. Voor de reikwijdte van dit hoofdstuk gaat het echter te ver om alle vormen van transport uitgebreid te bespreken. Ook moeten we waterstof niet zien als hét wondermiddel om de energietransitie te realiseren. De energietransitie gaat voor een groot deel om economische afwegingen. Maar het gaat niet alleen om de kosten die je maakt. We moeten ook kijken naar betrouwbaarheid. Naar leveringszekerheid. Naar flexibiliteit. Naar hergebruik van wat er al is. De meest optimale oplossing ligt niet in kiezen voor één nieuwe vorm van energie, maar in gebruikmaken van alles wat er is. En dat binnen een geïntegreerd systeem.

Belang van systeemintegratie

Hoe zou het energiesysteem van de toekomst eruit kunnen zien? Hoe kunnen we de totale energievraag zo betaalbaar mogelijk en met behoud van de huidige hoge leveringszekerheid vormgeven? Gasunie heeft samen met TenneT, de beheerder van het hoogspanningsnet, het initiatief genomen om dit te onderzoeken. Dit heeft geresulteerd in de Infrastructure Outlook 2050[2]. Een van de belangrijkste conclusies is dat de leveringszekerheid, flexibiliteit en betaalbaarheid van de energievoorziening alleen kunnen worden gewaarborgd wanneer de infrastructuren voor gas (zoals waterstof en methaan) en elektriciteit met elkaar worden verbonden. Waterstof kan binnen dit energiesysteem een sleutelrol spelen, omdat het de flexibiliteit van het systeem mogelijk maakt.

Flexibiliteit en capaciteit

Die flexibiliteit is noodzakelijk, omdat de vraag naar energie constant fluctueert. Door het toenemende aandeel zonne- en windenergie, gaat ook het aanbod van energie steeds meer fluctueren. Soms is die fluctuatie voorspelbaar, vaak ook niet. Zo is de behoefte aan energie overdag hoger dan 's nachts. In de winter is de vraag naar warmte (meestal moleculen) hoger dan in de zomer. In de zomer zijn de opbrengsten uit zonnepanelen in ons deel van de wereld hoger dan in de winter. En hoe hard het waait en dus hoeveel energie windmolens opwekken verschilt helemaal van dag tot dag. Bij energieprojecten wordt vaak gesproken over jaarlijkse productievolumes. Welke hoeveelheid energie kan er gemaakt worden en voor hoeveel huishoudens kan die energie vervolgens gebruikt worden. Dit geeft een goed beeld, maar zegt weinig over de piekvraag, ofwel de benodigde energie op piekmomenten.

2 *https://www.gasunie.nl/expertise/systeemintegratie/infrastructure-outlook-2050*

Het gaat niet alleen om volume, we moeten ook aan de capaciteitsvraag kunnen voldoen, precies op het gewenste moment. Dat is de hamvraag van de energietransitie. De piekvraag moet worden geleverd, tenzij je als samenleving accepteert dat je bijvoorbeeld af en toe geen stroom hebt. Maar als je gaat voor behoud van leveringszekerheid, dan moet je op elk moment en op elke locatie voldoende kunnen leveren. Waterstof kan in dit vraagstuk de schakel zijn. We kunnen immers waterstof maken met elektriciteit en van waterstof elektriciteit maken. Bovendien is waterstof goed te transporteren en op te slaan.

Elektrolyse en systeemintegratie

Een techniek die zeker onderdeel zal zijn van zo'n geïntegreerd systeem is elektrolyse. Door elektriciteit door water te geleiden, wordt het water gesplitst in zuurstof en waterstof. De zuurstof wordt benut of gewoon in de lucht losgelaten. De waterstof wordt direct gebruikt of eerst opgeslagen. De opgeslagen waterstof kun je op een later moment alsnog transporteren en gebruiken. Maar je kunt er ook weer elektriciteit van maken. Natuurlijk verlies je hiermee, net als bij elke andere omzetting, energie; van elektriciteit naar waterstof en weer terug leidt tot een verlies van zo'n zestig procent. Maar de zon en de wind doen het niet altijd. We moeten ook elektriciteit kunnen maken als het niet waait of als er geen zon is en we bovendien geen kolen- en aardgascentrales meer hebben. Zo'n flexibele infrastructuur kunnen we ontwikkelen met waterstof. De efficiëntie zal in de toekomst bovendien verder vergroot worden.

Leren van de hele keten

Gasunie probeert nu zo veel mogelijk te leren over waterstof, elektrolyse en de benodigde infrastructuur voor de hele keten. In 2019 werd HyStock bij het Groningse Zuidwending geopend. Voor het eerst in Nederland is een installatie in bedrijf genomen waarbij op een schaal van 1 MW ervaring wordt opgedaan met het maken van waterstof met water en duurzame stroom. Dit wordt nu nog opgeslagen in tanks, maar dat kan in de toekomst ook in zoutcavernes. De waterstof wordt benut in de industrie en voor mobiliteit. HyStock is de hele keten op demonstratieschaal. Daar kunnen we veel van leren, zodat we vervolgens de waterstofketen kunnen opschalen.

Uitdagingen in opschaling

Deze opschaling is wel een ander belangrijk vraagstuk in de ontwikkeling van een waterstofketen. We bevinden ons wat betreft waterstof op dit moment in een zogenaamde valley of death. De techniek is voorhanden, maar de schaal nog niet. Daar moeten we doorheen, ook al is dat nu nog duur. Uiteindelijk zal waterstof veel goedkoper worden, in absolute zin door deze opschaling en in relatieve zin doordat andere energiebronnen, zoals aardgas, duurder zullen worden.

Andere regelgeving

Een volgend vraagstuk dat meespeelt in de ontwikkeling en uitrol van de benodigde infrastructuur betreft de huidige regelgeving. Deze is nu nog niet op alle punten klaar voor waterstof. Heel praktisch: waterstof wordt nu nog gezien als chemisch product. En dus mag je het niet zomaar in een tanker stoppen en over een rivier laten gaan. De veiligheidsregels die momenteel gelden voor aardgas en elektriciteit, zijn er nog niet voor de inzet van waterstof als energiedrager. Ook internationaal zijn er regels nodig. Want als waterstof zich tot de Europese of zelfs wereldwijde markt gaat ontwikkelen zoals Gasunie verwacht, dan zullen er afspraken gemaakt moeten worden.

Bijvoorbeeld rondom meetsystemen voor het vaststellen van de hoeveelheid getransporteerde energie. Op het gebied van bijvoorbeeld normen, standaarden en meetmethoden hebben we nog een flinke weg te gaan.

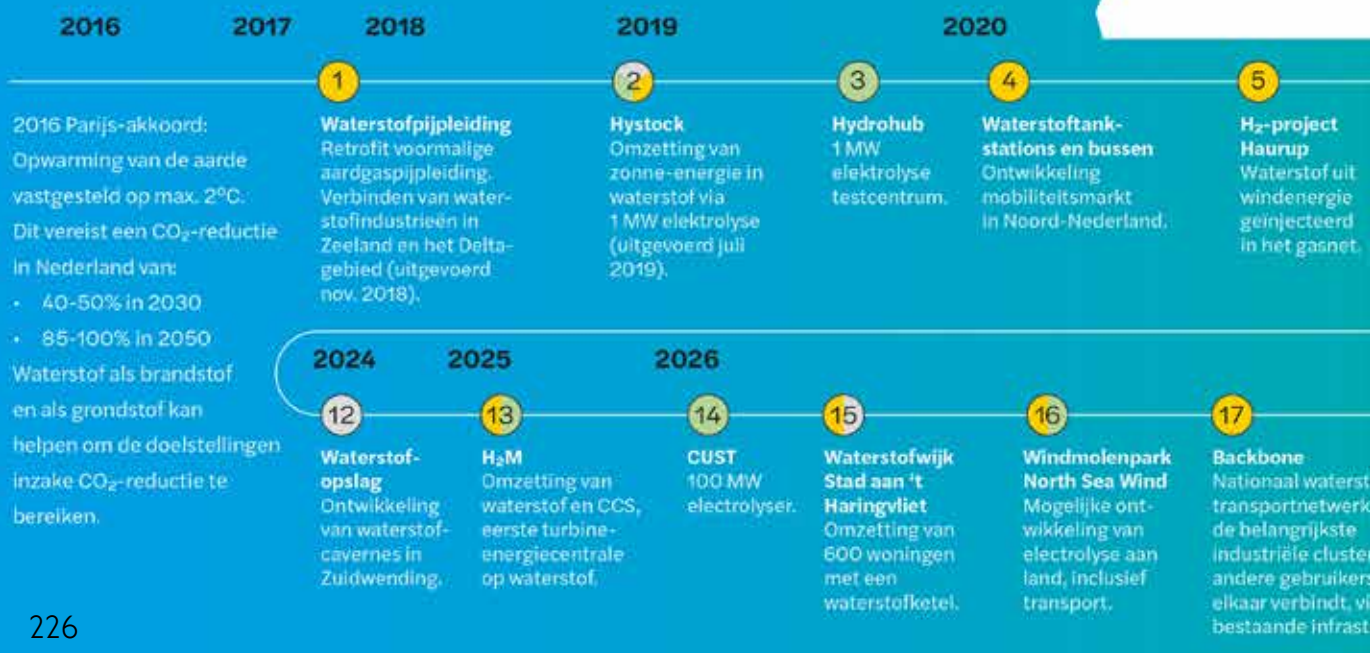
Europese infrastructuur

Energie stopt niet bij de grens. Nederland heeft nu al een systeem waarbinnen we niet zelfvoorzienend zijn in het vervullen van onze energiebehoefte, waarom we dus naast eigen productie ook energie importeren. Er is geen enkele reden om aan te nemen dat dat in de toekomst anders zal worden. Als maatschappij willen we voldoende aanbod op het moment dat we het nodig hebben, en liefst tegen de laagste kosten. We willen niet afhankelijk zijn van slechts een paar aanbieders. Of waterstof nu via pijpleidingen of per schip getransporteerd zal worden: er zullen verbindingen gelegd moeten gaan worden. In Nederland kunnen wij hier een start mee maken, omdat we gebruik kunnen maken van de gasinfrastructuur die er al ligt. Geleidelijk aan kunnen we internationale verbindingen leggen en toewerken naar een groter netwerk. Precies zoals dit ook voor aardgas is gebeurd.

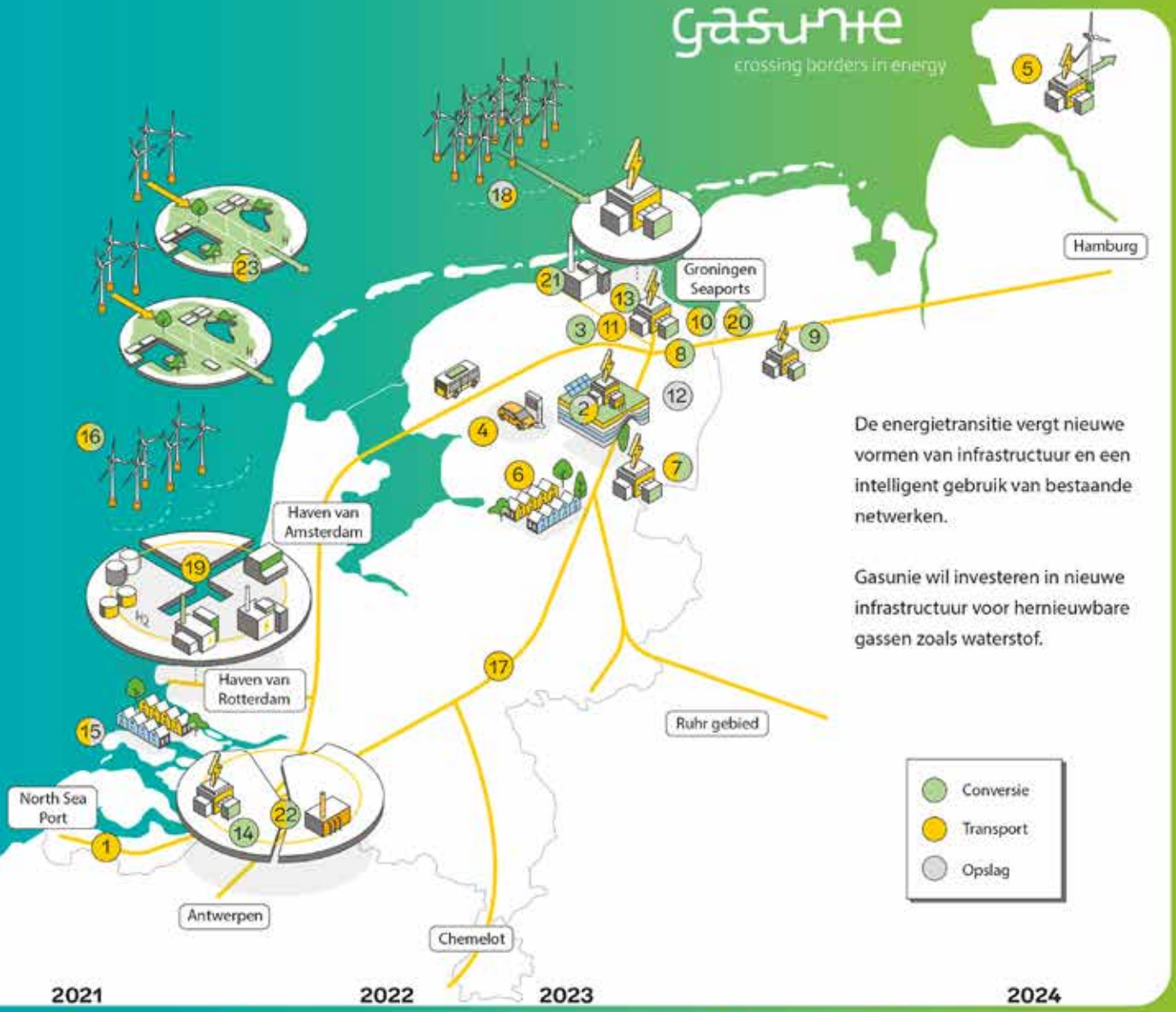
Waterstofinfrastructuur in 2050

Waterstof kan in korte tijd een grote markt worden. De verwachting is dat waterstof in 2050 een belangrijk onderdeel is van onze energiemix en grondstofvoorziening, zowel in Europa als wereldwijd. Vraag en aanbod zullen het transport bepalen, net zoals we dat nu gewend zijn met aardgas. Wel zullen de hotspots veranderen. Deze zullen verplaatsen van plekken waar gasproductie is naar plekken waar waterstof wordt gemaakt. Bijvoorbeeld naar waar veel zon is, zoals Portugal en Afrika, en waar veel wind is, zoals op de Noordzee. Er komt een nieuwe balans van vraag en aanbod en dat zal op het niveau van geopolitiek zeker wat betekenen. Wind en zon zijn nu eenmaal daar waar ze zijn. We zullen ook in de toekomst afhankelijk van andere landen blijven. Juist daarom speelt infrastructuur zo'n belangrijke rol in de groei van de waterstofmarkt.

Op weg naar 2030 en 2050 met waterstof



gasunie
crossing borders in energy



De energietransitie vergt nieuwe vormen van infrastructuur en een intelligent gebruik van bestaande netwerken.

Gasunie wil investeren in nieuwe infrastructuur voor hernieuwbare gassen zoals waterstof.

2021

6 Waterstofwijk Hoogeveen
Bouw van 80 nieuwe woningen met een waterstofketel.

7 GZI Next
2-4 MW Waterstofinstallatie en tankstation.

2022

8 Djewels
20-60 MW electrolyser, inclusief transport.

2023

9 Element 1
100 MW power-to-gas pilotinstallatie uit offshore-wind energie.

10 HyNetherlands
100 MW electrolyser, inclusief transport.

11 Noordelijke H_2 Infra
Begin van de waterstofbackbone in het noorden van Nederland. Verbinding tussen Eemshaven, Delfzijl, Emmen en cavernes.

2027

18 NorthH_2
Ontwikkeling van offshore-windenergie en onshore-elektrolyse, inclusief transport.

19 H-vision
Grootschalige overschakeling op waterstof voor elektriciteitscentrales, raffinaderijen en de chemische industrie, inclusief CCS.

2028

20 HyNetherlands
Opschaling electrolyser tot 750 MW-1 GW, inclusief transport.

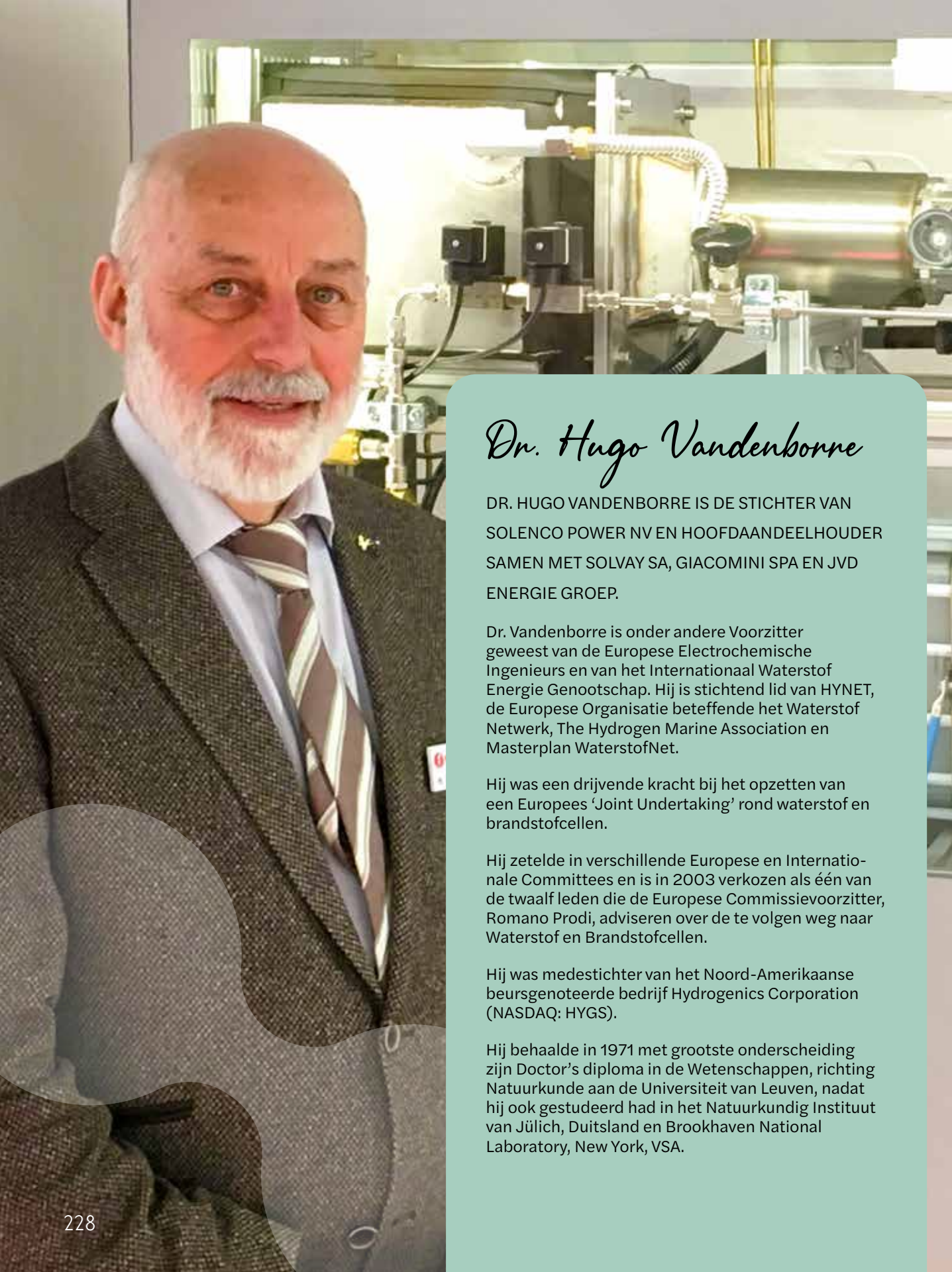
2029

21 H2M fase 2
Alle drie turbinegedreven energiecentrales op waterstof en CCS: stroom voor >2 miljoen woningen.

2030

22 CUST
Verdere uitbouw van het waterstof- en CO_2-netwerk in het Deltagebied.

23 North Sea Wind Power Hub
Energie-eilanden waar de stroom van offshore-windmolenparken gedeeltelijk wordt omgezet in waterstof, verbonden met het vasteland via pijpleidingen.



Dr. Hugo Vandenborre

DR. HUGO VANDENBORRE IS DE STICHTER VAN SOLENCO POWER NV EN HOOFDAANDEELHOUDER SAMEN MET SOLVAY SA, GIACOMINI SPA EN JVD ENERGIE GROEP.

Dr. Vandenborre is onder andere Voorzitter geweest van de Europese Electrochemische Ingenieurs en van het Internationaal Waterstof Energie Genootschap. Hij is stichtend lid van HYNET, de Europese Organisatie beteffende het Waterstof Netwerk, The Hydrogen Marine Association en Masterplan WaterstofNet.

Hij was een drijvende kracht bij het opzetten van een Europees 'Joint Undertaking' rond waterstof en brandstofcellen.

Hij zetelde in verschillende Europese en Internationale Committees en is in 2003 verkozen als één van de twaalf leden die de Europese Commissievoorzitter, Romano Prodi, adviseren over de te volgen weg naar Waterstof en Brandstofcellen.

Hij was medestichter van het Noord-Amerikaanse beursgenoteerde bedrijf Hydrogenics Corporation (NASDAQ: HYGS).

Hij behaalde in 1971 met grootste onderscheiding zijn Doctor's diploma in de Wetenschappen, richting Natuurkunde aan de Universiteit van Leuven, nadat hij ook gestudeerd had in het Natuurkundig Instituut van Jülich, Duitsland en Brookhaven National Laboratory, New York, VSA.

DE ONTBREKENDE SCHAKEL VOOR HET GROOTSCHALIGE GEBRUIK VAN RESIDENTIËLE FOTOVOLTAÏSCHE ZONNEMODULES

DR. HUGO VANDENBORRE

Een op te lossen probleem

De energieprijzen kennen sinds 1999 een aanzienlijke opwaartse trend. Volgens het IMF zijn de prijsindexen van petroleum en gas evenals hun globale gemiddelde meer dan verdubbeld in amper tien jaar tijd, met pieken die meer dan het drievoud bereiken.

Voor Eurostat zijn de schommelingen in de elektriciteitsprijzen binnen de Europese Unie minder sprekend dan die van de belangrijkste fossiele brandstoffen, maar een opwaartse trend van de publieksprijzen voor elektriciteit is eveneens opmerkelijk. Zelfs tijdens de financiële crisis van 2007-2008 werd geen enkele daling van de elektriciteitsprijzen geregistreerd, maar werd er een status quo waargenomen. Eurostat maakt melding van een opwaartse tendens van de gasprijzen binnen de Europese Unie, waarbij de schommelingen van de gasprijzen (jaarlijkse toename van 10%) hierbij groter zijn dan die van de elektriciteitsprijzen (jaarlijkse toename van 5%).

De samenstelling van de huidige energiemarkt en de (centrale) productie- en distributiewijze van de energie maken de gezinnen en bedrijven erg afhankelijk van deze fossiele brandstofbronnen, van de energieleveranciers en van het distributienet. De impact op hun budget vergroot en gebeurt onverwachts.

Ursula Von der Leyen, de nieuwe voorzitter van de Europese Commissie wil in 2050 een klimaatneutraal Europa. Ze wil dit bereiken door onder andere de eerste Europese klimaatwet, die de klimaatdoelen juridisch moet vastleggen, en door een nieuwe industriële strategie. Een duurzaam Europees investeringsplan ten bedrage van duizend miljard euro en een just transition fund moeten dit mogelijk maken.

Vandaag de dag bieden alternatieve energie zoals fotovoltaïsche zonnemodules en windmolens een zeer interessante oplossing omdat ze kunnen zorgen voor duurzame energiebronnen. Met uitzondering van de initiële investering, zijn ze gratis. Deze energiebronnen fungeren echter met tussenpozen, zijn moeilijk te voorspellen en bijgevolg moeilijk te beheren, wat een groot nadeel betekent voor de ontwikkeling van de duurzame energiebronnen als pijler van de energetische systemen.

Onvoldoende vermogen om deze fluctuaties te compenseren is geen scenario voor de lange termijn. In sommige gebieden is de elektrische voorziening die voortkomt uit duurzame bronnen nu al soms hoger dan het elektriciteitsverbruik in dalperiodes (bijvoorbeeld in Denemarken of in Duitsland).

Om het geheel van deze uitdagingen het hoofd te bieden is een nieuw product ontwikkeld, de Solar Energy Conversion Powerbox oftewel de Solenco Powerbox™.

Concept

Solenco Powerbox (SPB™) is een energieopslagsysteem en werkt binnen het kader van een geïntegreerde oplossing. Deze oplossing vertegenwoordigt een hele kringloop van duurzame energieproductie, over energieopslag en -verbruik van elektriciteit en warmte in de residentiële zones. Deze oplossing zorgt voor de energetische autonomie en onafhankelijkheid van zijn gebruiker ten opzichte van de betrouwbaarheid van het netwerk, met andere woorden het gaat hier om het in de praktijk opzetten van gedecentraliseerde energieproductie.

SPB™ is een energieopslagsysteem dat gebruikmaakt van de waterstoftechnologie. Ze laadt zich op aan een duurzame bron (bijvoorbeeld fotovoltaïsche zonnemodule) en geeft deze opgeslagen energie weer vrij in de vorm van elektrische energie en warmte als er geen zon is.

Als ontbrekende schakel tussen de residentiële noden en het beschikbare zonne-energiesysteem, biedt ze de mogelijkheid om energie op te slaan wanneer ze voorhanden is en ze te gebruiken in geval van nood.

SPB™ is een alles-in-één oplossing die de noden in verwarming en elektriciteit dekt en de aansluiting op een elektriciteitsnet en aardgasnet niet nodig heeft. In tegenstelling tot batterijsystemen maakt zij het mogelijk om energie dagen- of maandenlang op te slaan zonder verlies/degradatie, omdat zij gebruikmaakt van samengeperste waterstof als energieopslagvorm waardoor een energietransfer van één seizoen naar een ander mogelijk is.

De opgeslagen energie in de vorm van waterstofgas kan ook gebruikt worden als brandstof met nul CO_2-uitstoot voor de waterstofwagens.

SPB™ integreert en controleert ook informatie van andere huishoudapparaten via Internet of Things.

Werking

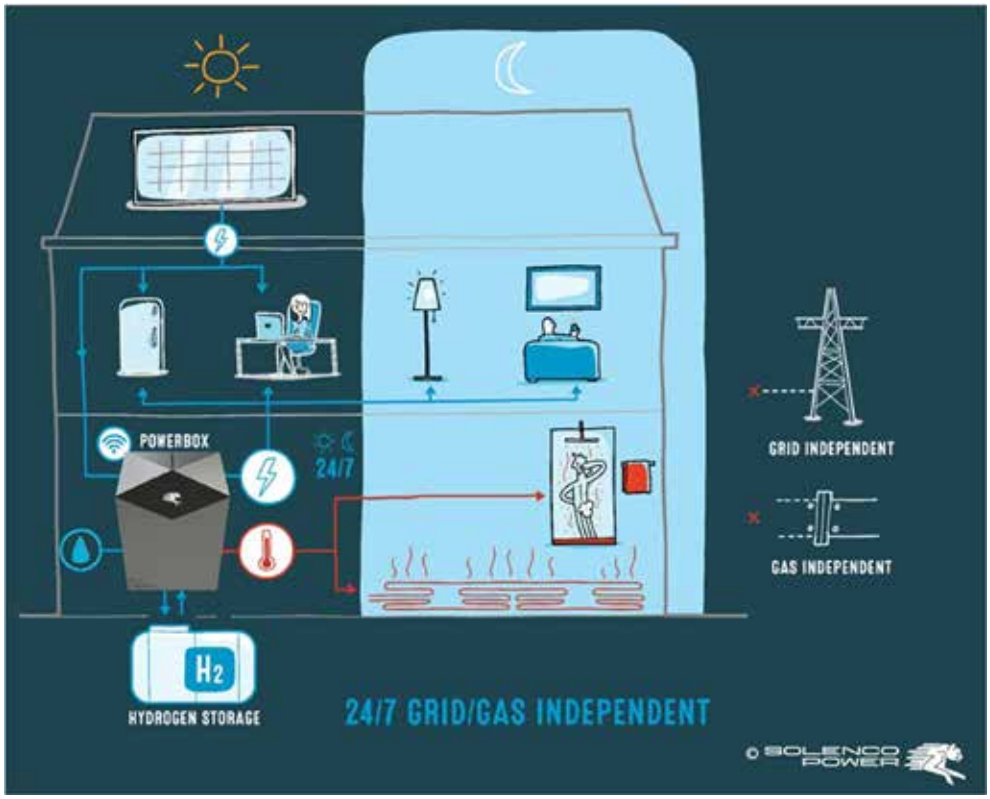
De zonnepanelen leveren de elektrische energie. SPB™ kan werken met of zonder aansluiting op het elektriciteitsnet. Een aansluiting op het aardgasnet, zoals bij andere oplossingen, is eveneens niet nodig, vermits warmte kan opgewekt worden door de opgeslagen waterstof.

Tijdens de dag zijn de noden in elektriciteit gedekt door de zonnepanelen en alleen het overschot wordt gezonden naar SPB™ om er opgeslagen te worden in de vorm van waterstof.

Als de zon niet schijnt, dan worden de elektriciteit en de warmte geproduceerd door SPB™ vanaf de opgeslagen waterstof, met een elektrisch rendement van 55% waarbij de warmteverliezen grotendeels kunnen opgevangen worden, zodat het overall-rendement op 90-95% ligt.

De werking dekt de noden in warm water voor de verwarming (liefst vloerverwarming) en de sanitaire voorzieningen. Indien de warmteproductie de noden overtreft, zal de warmte worden opgeslagen in een warmwatertank. Indien de vraag naar warmte hoger is dan de productie, wordt er meer warmte geproduceerd dankzij een katalytische brander. Deze laatste is een hoogrendement brander (97%) zonder vlam, die waterstof gebruikt als energiebron.

Een conceptdiagram is hieronder weergegeven



De CO_2-productie binnen het gehele systeem bedraagt 0 gram. Het product is dus driemaal koolstofvrij: noch de productie, noch de distributie, noch het verbruik maken broeikasgassen aan. Dit product werd recent getest en door KIWA goedgekeurd in een residentieel huis, gelegen in Zuid- Holland, Stad aan ‘t Haringvliet.

De belangrijkste componenten van SPB™ zijn de volgende:
- omkeerbare brandstof levert vermogen in kW;
- waterstofopslagtank levert energie in kWh;
- controle-eenheid;
- Cloud interface.

De SPB™ beschikt over een 5G/GPRS-module die een aangepaste controle en besturing mogelijk maken, en dit zelfs op afstand.

Veiligheid van waterstof

Waterstof heeft een sterke energiedichtheid maar minder volumedichtheid, wat een uitdaging vormt voor de opslag. Teneinde voldoende hoeveelheden gasvormige waterstof op te slaan, wordt deze laatste samengeperst en opgeslagen in gasflessen van industriële kwaliteit.

Het ontwerp van de SPB™ voorziet een lekkendetector en voldoende ventilatie. Alle ontvlambare brandstoffen moeten niettemin worden behandeld met zorg. Net zoals benzine en aardgas, is waterstof ontvlambaar en kan het gevaarlijk zijn in bepaalde omstandigheden. Het is industrieel reeds vele jaren bewezen om waterstof op te slaan op een veilige manier en overeenkomstig eenvoudige aanbevelingen.

Om waterstof te behandelen, moet de wetgeving van kracht nageleefd worden. Bijgevolg wordt voor de indienststelling van de SPB™ nauw samengewerkt met KIWA, Apeldoorn, Nederland (https://www.kiwa.com/en/service/erp-compliance/), met het Instituut voor Fysieke Veiligheid afgekort IFV, Arnhem, Nederland (info@ifv.nl) en met DCMR, Milieudienst Rijnmond, Schiedam, Nederland (info@dcmr.nl).

Een uniek voorstel in vergelijking met andere opslagsystemen

Daar SPB™ het mogelijk maakt elektriciteit, warmte en brandstof met nul CO_2-uitstoot te produceren door absoluut koolstofdioxidevrij te werken, lost ze de meeste problemen op waarmee de residentiële eindgebruikers over het algemeen worden geconfronteerd.

1. De waarde van de fotovoltaïsche zonnetoestellen vermeerdert, want er is geen enkele verplichting meer die oplegt wanneer de energie mag worden geproduceerd en er wordt geen energie verkwist. Zeker als binnenkort de salderingsregeling teruggedraaid wordt door de Nederlandse overheid, kan nu het teveel aan energie zelf worden opgeslagen en de opgeslagen energie kan worden omgezet in elektriciteit of in warmte op het gepaste ogenblik. Bijgevolg is Solenco Powerbox™ volgens ons de ontbrekende schakel voor het massale gebruik van fotovoltaïsche zonnemodules.

2. Opslag van energie: het is mogelijk het teveel aan energie van duurzame oorsprong dat tijdens de dag wordt geproduceerd langer op te slaan en haar dan later opnieuw te gebruiken in de vorm van elektriciteit of warmte op het juiste tijdstip. Opgeslagen waterstof kan zelfs dienen als geheel niet-vervuilende brandstof, bijvoorbeeld in een wagen (modellen Toyota/Hyundai, al op de markt gebracht in 2015). In tegenstelling tot batterijen kan energie economisch rendabel dagen-, weken- en zelfs maandenlang veilig en zonder degradatie/verlies opgeslagen worden.

3. Een ecologische oplossing: de wereldvraag naar energieoplossingen die respectvol omgaan met het milieu wordt hoger en de wens de koolstofdioxide-afdruk te verminderen wordt steeds zichtbaarder. Solenco Powerbox™ is een oplossing die geen koolstofdioxide teweegbrengt: noch de productie, noch de distributie, noch het gebruik ervan brengt koolstofdioxide voort.

4. De Solenco Powerbox™ (van 1 tot 10 kW) is een modulaire oplossing die in een netwerk geplaatst kan worden en aldus de mogelijkheid biedt om op wijkniveau te worden ingezet.

5. Rekening houdende met de schommelingen van de energieprijzen en de onzekerheid inzake beschikbaarheid van conventionele energiebronnen, is de zekerheid omtrent de bevoorrading een grote troefkaart. Solenco Powerbox™ maakt het de residentiële eindgebruiker mogelijk niet meer afhankelijk te zijn van de politieke en economische situatie en de noden te dekken, want deze oplossing maakt die zelfvoorzienend.

6. Evenwicht tussen aanbod en vraag: voor de conventionele energiesystemen is de klant afhankelijk van de piek- en dalperiodes. De bevoorrading van personen die een fotovoltaïsche zonne-installatie hebben is overmatig wanneer de zon schijnt, terwijl de werkelijke noden zich 's avonds laten voelen. De Solenco Powerbox™ biedt een doeltreffende oplossing voor dit probleem.

7. Ten slotte bestaat de grootste troef van Solenco Powerbox™ erin een volledige autonomie te garanderen ten overstaan van andere oplossingen, die alleen maar proberen één enkel aspect te dekken (de elektriciteit of de verwarming).

Ton van Wingerden

TON VAN WINGERDEN IS 39 JAAR ACTIEF IN DE WATERSTOFWAARDEKETEN. HIJ STARTTE IN 1982 BIJ DE HOOGOVENS GROEP WAAR HIJ WERKTE ALS ADVISEUR VOOR DE GASREINIGINGSINSTALLATIE VOOR COKESGAS MET 60% WATERSTOF. DAARNA WERKTE HIJ BIJ KIWA GASTEC WAAR HIJ VERSCHILLENDE MANIEREN ONTWIKKELDE VOOR KATALYTISCHE PRODUCTIE VAN WATERSTOF, WAARONDER NIEUWE WARMTEOVERDRACHTSREACTOREN VOOR STOOMREFORMING VOOR BRANDSTOFCELLEN EN HIJ WAS BETROKKEN BIJ HET INITIATIEF OM WATERSTOF IN HET AARDGASNET TE INJECTEREN OP BASIS VAN HET NOORSE CARBON BLACK AND HYDROGEN-PROCES.

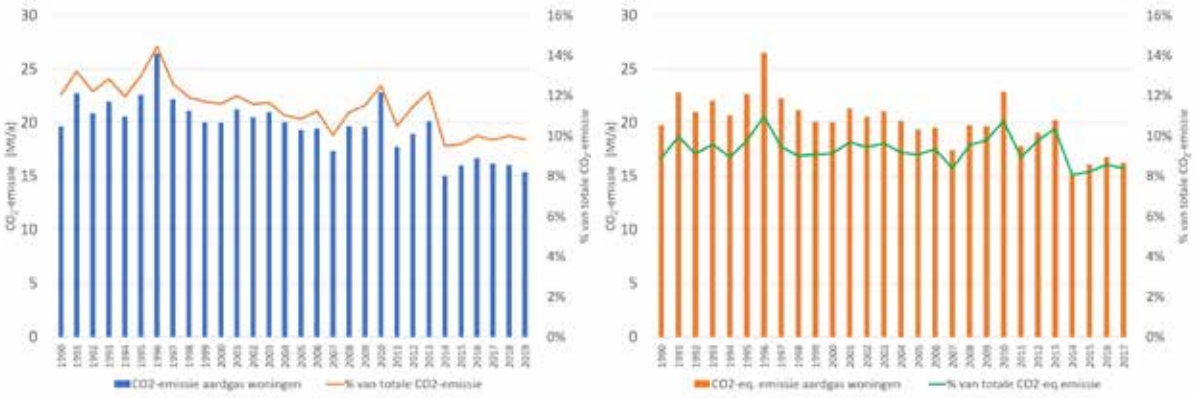
Hij ontwikkelde de assetmanagementstrategie voor windparken, onderzocht zowel de economie als incidenten van opslag onder druk in zoutcavernes, beoordeelde de technologische ontwikkeling van verschillende elektrolyserfabrikanten voor PEM, Alkaline en AEM. Daarnaast werkte hij aan waterstoftransport (via leidingen, onder druk en vloeibaar gemaakt). Hij publiceerde over waterstof-opslag, geschiktheid van pijpleidingen, roadmaps naar een waterstofmaatschappij en een visie en transitie roadmap naar een duurzaam energiesysteem.
Ton van Wingerden is tevens convener van CenCenelec TC6 Waterstofsystemen werkgroep 3 over veiligheid.

WATERSTOF IN WONINGEN

TON VAN WINGERDEN

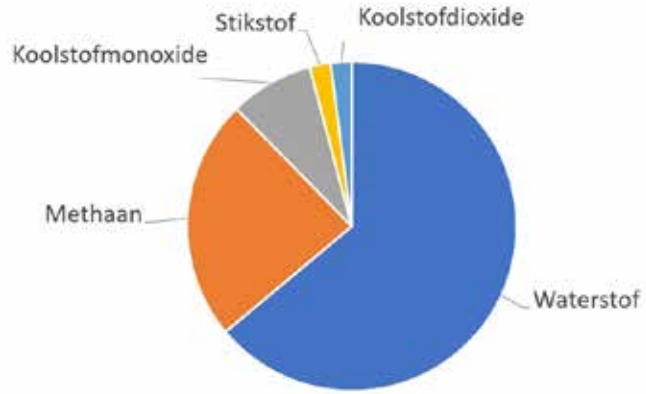
Inleiding

Aardgas wordt sinds de jaren zestig gebruikt om het overgrote deel van de Nederlandse woningen te verwarmen en daarnaast om te koken en voor warm water. Na de vondst in Slochteren van het eerste Groningse gas, is het in Nederland in rap tempo ingezet voor zo'n vijfduizend bedrijven, tienduizend kassen en tot 99% van de huizen. Aardgas draagt echter bij aan CO_2-emissie van Nederland en het aan woningen geleverde aardgas is voor ongeveer 10% debet hieraan (zie onderstaande figuren).



Figuur 1. Bijdrage aan CO2-emissie (links) en het totaal aan broeikasgassen door aardgaslevering aan woningen. (Het distributienet lekt ongeveer 0,04%)[1].

Technisch is het heel goed mogelijk om het aardgas door waterstof te vervangen. Het is zelfs zo dat er nog een aanzienlijk deel van het gasdistributienet is aangelegd voor gebruik van stadsgas, wat voor het grootste deel uit waterstof bestond (zie Figuur 2). De situatie van de gasdistributie in 1962, voor de volledige uitrol van aardgas, is weergegeven in Figuur 3. Aan ruim 80% van de bevolking werd al gas geleverd via een leidingnet en 75% bevatte voor een aanzienlijk deel waterstof.



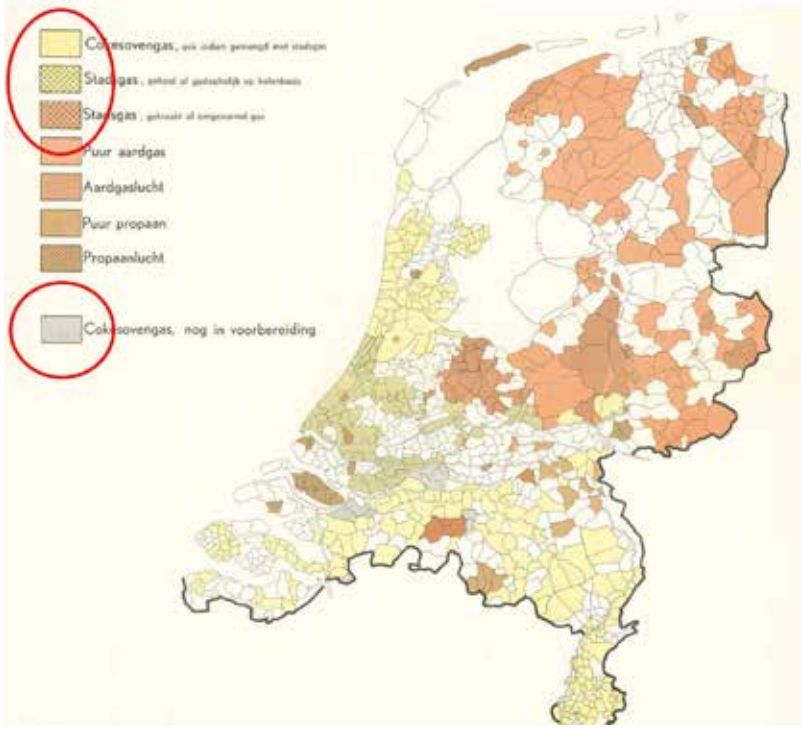
Figuur 2. Voorbeeld van samenstelling van stadsgas

1 *Gegevens: CBS, NBNL*

Netwerk

Na de grootschalige introductie van aardgas zijn vrijwel alle huizen in Nederland op het aardgasnet aangesloten. Door de introductie van stadsverwarming en warmtepompen (bijvoorbeeld in zogenaamde 'vlamloze' wijken) in combinatie met het vervallen van de aansluitplicht loopt het aantal nu terug. De totale lengte van het distributienet is echter nog steeds ruim 120.000 km en vertegenwoordigt een waarde van vier tot zes miljard euro. Dit netwerk kan worden ingezet voor het transport van waterstof naar woningen[2]:

1. De capaciteit is voldoende. Hoewel de energie-inhoud van één kubieke meter waterstof slechts een derde is van die van aardgas, stroomt er gemakkelijk driemaal zoveel doorheen omdat waterstof zoveel lichter is en omdat het Groningen-gas 14,3 % stikstof bevat.
2. De materialen waaruit het distributienet bestaat, worden niet door waterstof aangetast of beïnvloed. Dit geldt zowel voor de nieuwe materialen zoals slagvast PVC, PE en kathodisch beschermd staal[3] als voor de eerder aangelegde delen van het net.
3. De toegestane gassnelheid in de leidingen is maximaal 30 m/s. Dit is gelimiteerd omdat dit tot geluidsoverlast kan leiden, met name in de buurt van gasstations. Als de geleverde energie gelijk moet blijven betekent dit een driemaal hogere snelheid, maar de eerste berekeningen geven aan dat (met name door de lagere dichtheid) de geluidshinder niet (merkbaar) toeneemt.



Figuur 3. Gasdistributie in Nederland op 1 juli 1962. Er werden zeven verschillende gassen via leidingen naar afnemers getransporteerd. Drie van die gassen bevatten waterstof (aangegeven met de rode cirkels). 50% van de gemeenten hadden nog geen leidingnet maar daar woonde slechts 16% van de bevolking. Het gasverbruik was voornamelijk voor koken (gemiddeld 20% van wat er nu, in veel beter geïsoleerde woningen, wordt verbruikt). Bron: Tijdschrift GAS, 1963.

2 *Er wordt wel gesuggereerd dat daarmee de verzwaring (voor het aansluiten van warmtepompen) van het elektriciteitsnet kan worden voorkomen, maar dat is ook afhankelijk van de benodigde capaciteit voor de afvoer van elektriciteit uit bijvoorbeeld zonnepanelen.*

3 *'Toekomstbestendige gasdistributienetten', KIWA, iov Netbeheer Nederland, 2018.*

Apparatuur

De verwarming in een woning wordt nu verzorgd door een cv-ketel. Dit is vaak een combiketel waarin ook warmwater wordt geproduceerd. Als alternatief voor warm tapwater kan ook een aparte geiser worden gebruikt. Ook keukenapparatuur (oven en gasstel) zijn vaak op basis van gas.

Figuur 4. Verbranding van waterstof: links: een vergelijking tussen een aardgasvlam (l), en een waterstofvlam (met vlaminslag); midden: gasstel op waterstof (Almaas Technologies); rechts: laboratoriumopstelling van (onzichtbare) waterstofvlam en detector

Bij overgang naar waterstof kunnen de aardgasketel en geiser niet meer worden gebruikt:

- Door de hogere verbrandingssnelheid van waterstof kan er vlaminslag plaatsvinden (zie Figuur 4).
- Ook de warmteoverdracht verschilt, omdat een waterstofvlam minder straalt dan een aardgasvlam[4] en er is voor een hoog rendement een andere warmtewisselaar nodig.

De nieuw ontwikkelde waterstofketels zijn echter in grootte vergelijkbaar en kunnen op dezelfde plek worden opgehangen.

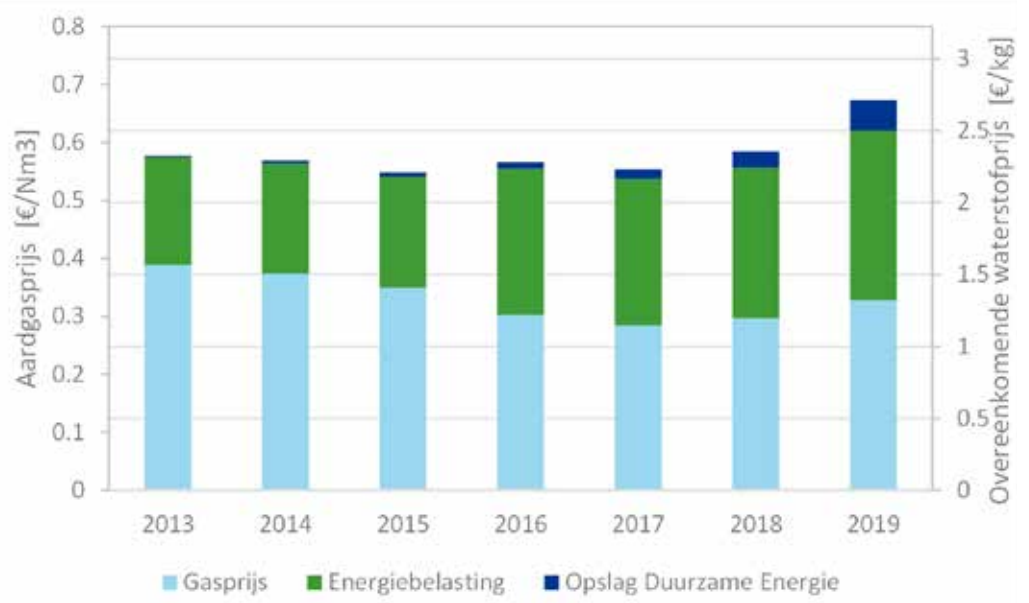
Koken op waterstof is ook goed mogelijk (zie Figuur 4). Wel is de vlam veel minder zichtbaar en dat kan een veiligheidsrisico betekenen. Er wordt daarom onderzocht of het zinvol en mogelijk is een illuminant aan waterstof toe te voegen. Als alternatief kan er natuurlijk elektrisch worden gekookt[5].

Behalve deze gastoepassingen zal ook de gasmeter vervangen moeten worden. Het geleverde volume wordt immers ongeveer driemaal zo hoog en de bestaande gasmeter kan dit bereik niet aan.

Kosten

De aardgasprijs is de afgelopen jaren gestegen, vooral door de stijging van de energiebelasting en de Opslag Duurzame Energie en Klimaattransitie. Dit is weergegeven in Figuur 5 waarin op de rechteras ook de overeenkomende prijs voor waterstof staat. Volgens de IEA[6] is de waterstofprijs in Nederland op de lange termijn rond 3,5 €/kg en als deze wordt geïmporteerd uit Zuid-Europa of Noord-Afrika rond de 2,0 €/kg (exclusief transportkosten).

4 *met name door de koolstofatomen in de vlam*
5 *koken betreft ongeveer 5% van de totale gasvraag*
6 *The future of hydrogen, IEA, juni 2019*



Figuur 5. Ontwikkeling van de gasprijs. Excl. netwerkkosten en BTW. Op de rechteras is de overeenkomende (o.b.v. bovenwaarde) waterstofprijs gegeven; Bron: CBS, Belastingdienst

Voor de overgang van aardgas naar waterstof moeten daarnaast een nieuwe ketel en een nieuw kooktoestel door de eigenaar worden aangeschaft. De prijzen hiervan liggen naar verwachting 20 tot 50% hoger dan de conventionele aardgasketel maar zullen op lange termijn lager worden. Het netwerkbedrijf moet de gasmeter vervangen, maar hoeft geen kosten te maken om de gasleiding te verwijderen. Ten aanzien van de energiebelasting en eventuele subsidies is het vooralsnog onbekend hoe deze gehanteerd zullen worden om de energietransitie te bewerkstelligen.

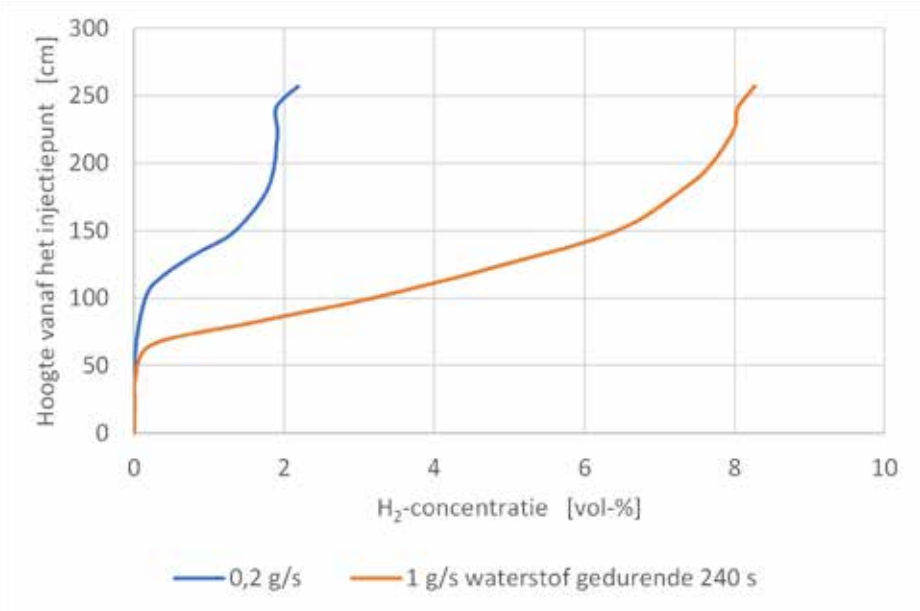
Veiligheid

Hoewel de perceptie bestaat dat waterstof gevaarlijk is en in ieder geval een groter risico inhoudt dan aardgas, is dat maar zeer de vraag. Indien naar het brand- en explosiegevaar gekeken wordt in de meterkast, de keuken of een ander vertrek in een huis dan zijn er vijf aspecten die daarbij een rol spelen.

1. **Aantal en grootte van lekken.** Omdat de materialen in het gasnet, inclusief de meteropstelling en de binnenleidingen niet aangetast worden door waterstof zullen het aantal lekken en de grootte ervan niet verschillen van de situatie met aardgas. Een lek in en rond het huis wordt vrijwel altijd ontdekt doordat er een gaslucht wordt waargenomen.

2. **Uitstroomhoeveelheid.** Bij kleine lekken zal de uitstroming zich laminair gedragen en is de hoeveelheid ongeveer 30% meer en bij grote lekken zal er ongeveer driemaal de hoeveelheid uitstromen.

3. **Verspreiding van waterstof.** in de ruimte waar het lek is ontstaan. Omdat waterstof lichter is, zal het zich aanvankelijk boven in het vertrek waar de lekkage plaatsvindt verzamelen en daarna, indien er ventilatie kan plaatsvinden (bijvoorbeeld via openingen langs deuren en kozijnen en dergelijke) sneller wegstromen door het dichtheidsverschil. In het kader van Hysafe[7] zijn door Lacome et.al. metingen gedaan aan uitstroom van waterstof in een isotherme, afgesloten (niet geventileerde) ruimte, met constante druk. De experimenten werden uitgevoerd in een garageachtige situatie met afmetingen 7,2x3,78x2,88 m. De resulterende concentraties zijn weergegeven in Figuur 6.



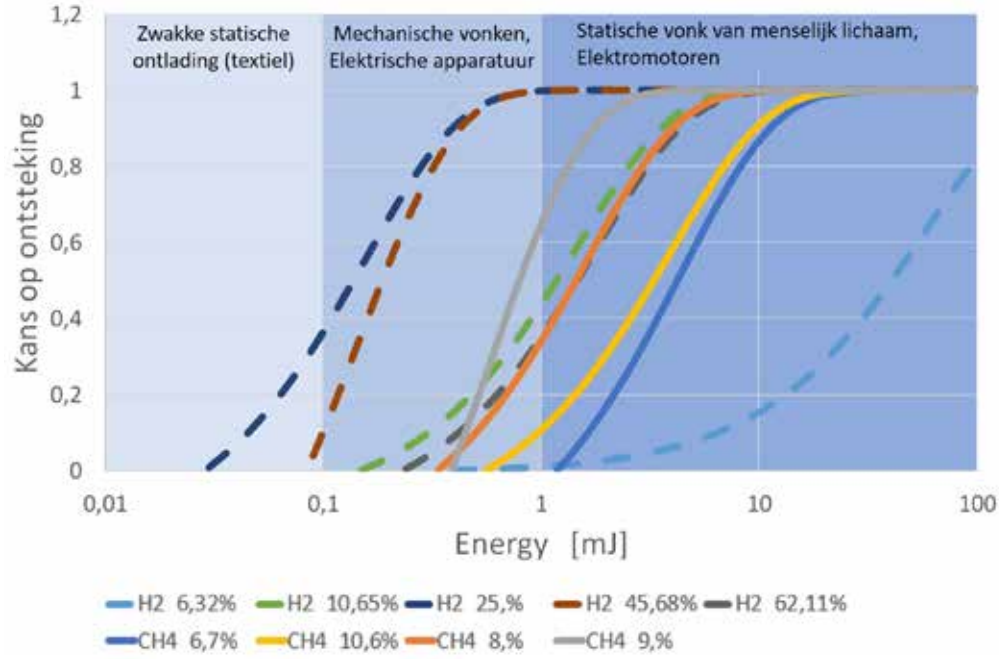
Figuur 6. Verspreiding van waterstof in een afgesloten garagebox na 240s. Het verzamelt zich aanvankelijk bovenin.

4. **Kans op ontsteking.** Hoewel de minimale ontstekingsenergie van waterstof veel lager is dan van aardgas (0,017 mJ t.o.v. 0,274 mJ) blijkt dat de kans op ontsteking niet heel groot is. Pas bij concentraties boven 10% kunnen kleinere ontstekingsbronnen een rol gaan spelen. Dit wordt weergegeven in Figuur 9.

5. **Effect na een ontsteking.** Voor waterstof zal een ontsteking voor lage concentraties slechts een brand ten gevolge hebben. Bij concentraties boven 10% kunnen ook explosies een gevolg zijn. Omdat de vlamsnelheden veel hoger zijn, zullen de effecten van de ontploffing groter zijn en kunnen er zelfs detonaties ontstaan.

In de meeste gevallen zullen de lekkages van waterstof vergelijkbaar zijn met die van aardgas en niet tot desastreuze gevolgen leiden. Het is wel belangrijk om ook waterstof van een odorant te voorzien, omdat dit de belangrijkste bron voor het constateren van een lek is. Daarnaast kan gedacht worden aan speciale waterstofdetectoren die waarschuwen of die automatisch de toevoer afsluiten.

7 *Zie. http://www.hysafe.org/*

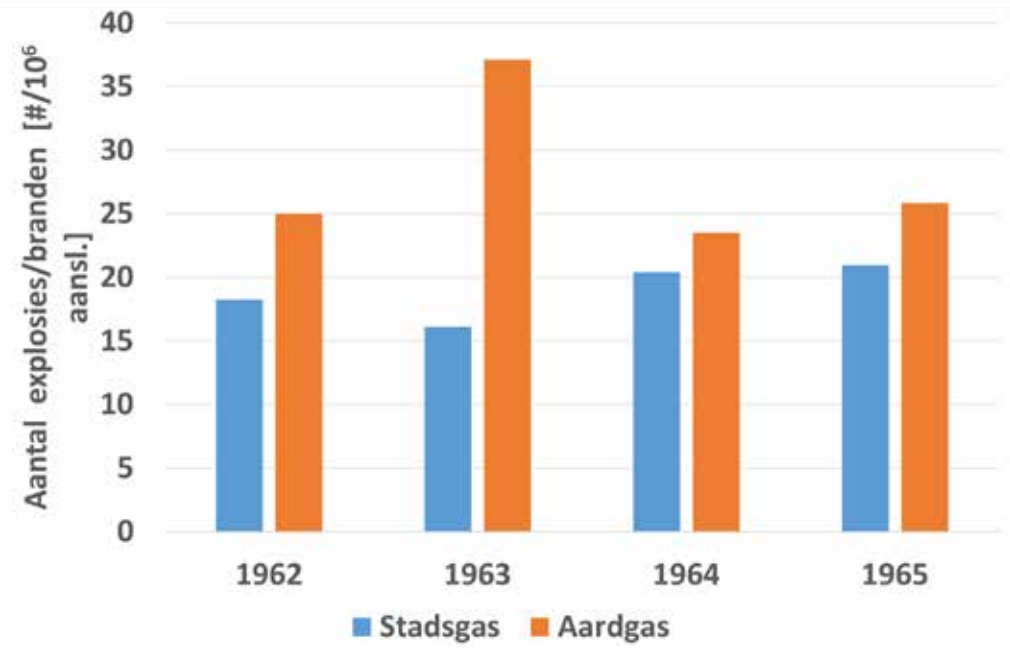


Figuur 7. Kans op ontsteking voor verschillende concentraties van aardgas (doorgetrokken lijnen) of waterstof (stippellijnen) voor variërende ontstekingsenergieën.

Ter ondersteuning van de introductie van waterstof in de gebouwde omgeving wordt er internationaal veel onderzoek gedaan naar de veiligheid van waterstof in de gebouwde omgeving. In Figuur 8 zijn bijvoorbeeld de huizen te zien die speciaal gebouwd zijn om de verspreiding van waterstof te bestuderen. Dit gebeurt in het kader van het H21[8]-project in het Noorden van Engeland.

Figuur 8. Onderzoekswoningen op de site van DNV GL in Spadeadam als onderdeel van het H21-initiatief

8 *Zie www.h21.green*



Figuur 9. Branden en explosies ten tijde van de ombouw van stadsgas naar aardgas.

In Figuur 9 zijn de aantallen branden en explosies per miljoen aansluitingen weergegeven in de jaren dat het gasnet van Nederland van stadsgas naar aardgas werd omgezet. Hoewel de werkmethoden voor beide gassen ongeveer gelijk zullen zijn geweest, zijn er ook een aantal verschillen (bijvoorbeeld meer aardgasapplicaties, volledige inspectie van de binneninstallatie bij de introductie van aardgas, lekkage in de loodstriktouwverbindingen van gietijzeren pijpen) die een volledige vergelijking bemoeilijken. Wel kan gesteld worden dat het aantal incidenten in dezelfde ordegrootte is.

Een ander veiligheidsaspect echter betreft koolmonoxidevergiftiging, met name door slecht en achterstallig onderhoud van gastoestellen. In het rapport van de Onderzoeksraad voor Veiligheid uit 2015 'Koolmonoxide, onderschat en onbegrepen gevaar', wordt geconcludeerd dat "jaarlijks vijf tot tien dodelijke slachtoffers en honderden gewonden worden geregistreerd als gevolg van een ongeval met koolmonoxide. [..] Er zijn indicatoren dat de werkelijke aantallen slachtoffers drie tot vijf keer zo hoog liggen'. Dit gevaar wordt door de introductie van waterstof uitgesloten.

Samenvattend

Indien voldoende waterstof beschikbaar is, voor een aanvaardbare prijs dan kan het een belangrijke rol spelen in de vergroening van huizen. Het is geen volledig nieuw concept, redelijk gemakkelijk in te passen, met name in de bestaande bouw en de benodigde investeringen zijn te overzien en zeker concurrerend met alternatieven. De prijs van waterstof zal naar verwachting nog dalen. Ook ten aanzien van veiligheid zal waterstof geen probleem vormen.

Frank Wouters

FRANK WOUTERS LEIDT AL MEER DAN DERTIG JAAR DUURZAME ENERGIE-PROJECTEN, TRANSACTIES EN TECHNOLOGIEONTWIKKELING.

Tussen 2012 en 2014 was hij Plaatsvervangend Directeur-Generaal van de International Renewable Energy Agency (IRENA), de eerste wereldwijde intergouvernementele organisatie die zich bezighoudt met alle hernieuwbare energiebronnen.

Frank Wouters zat in de raad van bestuur van energiebedrijven in Europa, de VS, Afrika, Australië en Azië en hij is momenteel werkzaam als VP Clean Hydrogen in Worley en directeur van het EU GCC Clean Energy Technology Network. Dit platform heeft tot doel partnerschappen voor schone energie tussen Europa en de Golf te bevorderen.

Hij adviseert de Wereldbank over duurzame energie, is Fellow bij Payne Institute, Colorado School of Mines, is Board Advisor van Vast Solar, Sydney, en is non-executive Board Director van Gore Street Capital, Londen. Hij is tevens voorzitter van de MENA Hydrogen Alliance, die hij in 2020 mede opgericht heeft.

De standpunten die in dit document naar voren worden gebracht zijn van hem en geven niet noodzakelijkerwijs het standpunt van Worley weer.

Hij is co-auteur van verschillende boeken en artikelen, waaronder;
Varadi, Peter - Wouters, Frank - Hoffmann, Allan, 'The Sun is Rising in Africa and the Middle East - On the Road to a Solar Energy Future' Pan Stanford Publishing 2018 (ISBN 978-981-4774-89-5)
Wijk, Ad van, Wouters, Frank 'Hydrogen, the bridge between Africa and Europe' pre-published September 2019. Final publication in: Weijnen and Lukszo (editors), 'Shaping an Inclusive Energy Transition', Springer (2020)

frank@frank-wouters.com

WATERSTOF, HOE SNEL KAN HET GROEIEN?

FRANK WOUTERS

GLOBAL LEAD LOW-CARBON HYDROGEN – WORLEY

Inleiding

Waterstof als energiedrager en grondstof verkeert nu nog in de 'niesfase'. De rol van waterstof als een zeer belangrijk element van ons toekomstig energiesysteem is onomstreden, maar de introductie duurt nog iets langer dan verwacht. Wanneer de markt evenwel van start gaat, zal de groei explosief zijn. Een groeiend aantal scenario's beschrijft de toekomstige rol van waterstof. In die scenario's varieert het percentage waterstof als deel van het eindenergiegebruik van 5% tot 50% in de meest ambitieuze decarbonisatiescenario's. Een rode draad is de erkenning dat weinig technologieën zo universeel en schaalbaar zijn als waterstof. Maar er zijn niet alleen scenario's, er wordt ook een groeiend aantal pilootprojecten ontwikkeld, waarvan de meerderheid gebruik maken van waterelektrolyse.

De huidige waterstofmarkt produceert ongeveer 70 miljoen ton per jaar, hoofdzakelijk gemaakt van aardgas en kool, met slechts 0,7% gemaakt met behulp van groene stroom of conventioneel met kooldioxide-afvang[1]. Klimaatverandering is een urgent probleem dus koolstofarme oplossingen zijn gevraagd. Er zijn twee belangrijke wegen beschikbaar, waterelektrolyse met groene stroom, en waterstof gemaakt van aardgas of kool met koolstofafvang. Waterelektrolyse gebruikt zon, wind en water als grondstoffen en technologieën die goedkoper worden naarmate ze meer toegepast worden, een leercurve volgend. De zogenaamde groene waterstof die op deze manier gemaakt wordt, zal met de tijd met waterstof gemaakt van fossiele brandstoffen kunnen concurreren. Blauwe waterstof, gemaakt van aardgas of kool met koolstofafvang zal met de tijd duurder worden, omdat de grondstof duurder wordt en ook koolstofafvang duurder zal worden naarmate de goedkope reservoirs gevuld zijn.

Waterelektrolyse is niet nieuw en was eens de belangrijkste manier om ammoniak te maken in de buurt van grote waterkrachtcentrales die veel goedkope stroom produceerden. De opkomst van goedkope grondstoffen heeft waterelektrolyse evenwel verdrongen en nu is stoomreforming van aardgas en kool de dominante manier om waterstof te maken. De huidige wereldwijde productiecapaciteit van elektrolyseapparaten bedraagt ongeveer 1 GW per jaar, hetgeen in sterk contrast staat met de productie van bijvoorbeeld zonnepanelen, waar individuele bedrijven al productiecapaciteiten hebben van meer dan 10 GW per jaar.

Deze publicatie analyseert enkele belangrijke waterstofscenario's en groeipaden voor productiecapaciteiten van elektrolyseapparaten.

1 *https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen*

Groeiscenario's voor waterstof

In november 2017 publiceerde de Hydrogen Council het rapport 'Hydrogen – Scaling Up'[2]. Daarin werd een visie voor een waterstofeconomie geformuleerd, waarin 18% van het wereldwijde eindenergiegebruik bestreken wordt door waterstof.

Dat zou 6GT kooldioxide-emissies besparen en een nieuwe economie vormen met jaarlijkse investeringen van 2,5 biljoen (10E12) dollar in de sectoren energie, industrie en grondstoffen. In januari 2019 publiceerde de Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU) de 'Hydrogen Roadmap Europe'[3], waarin enkele scenario's de groei van waterstof in Europa beschrijven. Het meest ambitieuze scenario stelt dat waterstof 24% van het eindenergiegebruik in Europa kan afdekken in 2050.

In augustus 2019 analyseerde Bloomberg vervolgens in hun rapport 'Hydrogen – The Economics of Production from Renewables' hoe de concurrentiepositie van schone waterstof zich ontwikkelt tot en met 2050. Voor dat jaar gaat Bloomberg uit van een vergelijkbaar aandeel in het eindenergiegebruik als de Hydrogen Council (18%), maar zij gaan ervan uit dat slechts de helft van de waterstof door waterelektrolyse gemaakt wordt, de andere helft wordt conventioneel geproduceerd met koolstofafvang.

De volgende tabel geeft een overzicht van de ambitieuze scenario's in de drie rapporten.

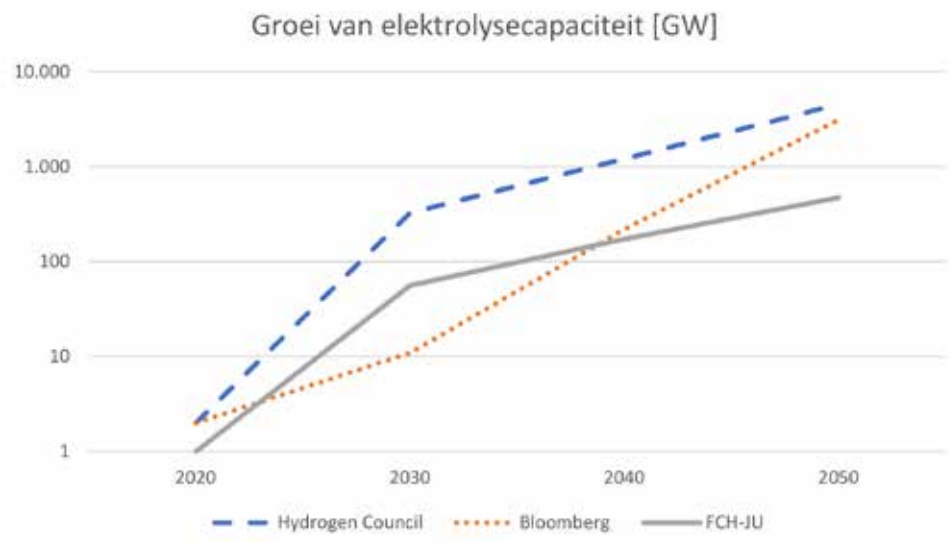
[GW geïnstalleerde elektrolyseapparaten]	2020	2030	2040	2050
Hydrogen Council (18% van wereldwijd eindenergiegebruik)	2	328	1,210	4,557
Bloomberg (18% van wereldwijd eindenergiegebruik)	2	11	220	3,139
FCH – JU (24% van Europa's vraag)	1	56	172	473

Sommige scenario's bevatten de vraagontwikkeling van waterstof, maar gaven niet aan hoeveel geproduceerd zou worden door middel van elektrolyse of conventioneel met koolstofafvang. Voor deze gevallen ben ik uitgegaan van een percentage elektrolyse van 40% in 2030, 70% in 2040 en 90% in 2050. In groeipercentages, die per decade constant aangenomen worden, ziet het er zo uit

[Jaarlijkse groei]	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Hydrogen Council (18% van wereldwijd eindenergiegebruik)	67%	14%	14%
Bloomberg (18% van wereldwijd eindenergiegebruik)	18%	35%	30%
FCH – JU (24% van Europa's vraag)	50%	12%	11%

2 *https://hydrogencouncil.com/en/study-hydrogen-scaling-up/*
3 *https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Report.pdf*

Op een logaritmische schaal zien de drie groeiscenario's eruit zoals in Figuur 1:



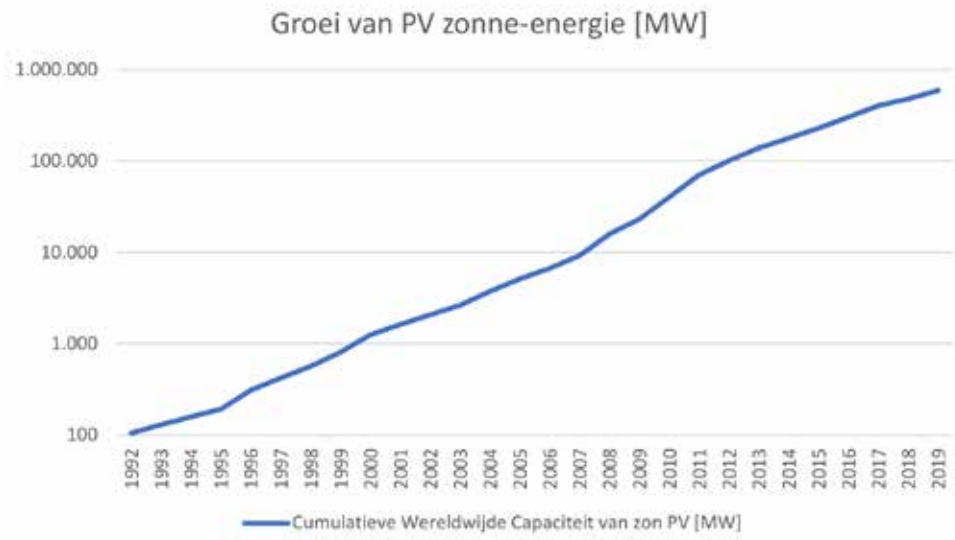
Figuur 1. Elektrolyse groeiscenario's.

Het groeipad van Bloomberg laat een relatief constant percentage zien tot 2050. De scenario's van de Hydrogen Council en FCH-JU groeien in het begin zeer snel, maar vlakken vanaf 2030 snel af. Het is aannemelijk dat er een beter zicht is op de marktontwikkeling voor de komende tien jaar, geïnformeerd door een bottom-up analyse van gepubliceerde initiatieven en projecten, gevolgd door een meer generieke benadering in de periode van 2030 tot 2050. Het lijkt aannemelijk dat we een nauwkeuriger beeld hebben van de komende tien jaar, dan van de verwachte marktontwikkeling daarna.

Groei van zonne-energie

Het is interessant om te kijken hoe de markt voor zonne-energie zich globaal heeft ontwikkeld de afgelopen 28 jaar, zie Figuur 2. In 1992 was er slechts een bescheiden 105 MW, dat evenwel tot 593 GW groeide in 2019. Het gemiddelde jaarlijkse groeipercentage was 38%. Het is belangrijk om vast te stellen dat het groeipercentage relatief constant was gedurende die periode, hetgeen blijkt uit een relatief rechte lijn in de grafiek op logaritmische schaal.

Natuurlijk groeide de markt niet overal even snel. Een analyse laat zien dat individuele markten zich in het begin sneller ontwikkelen, waarna de groei wat afvlakt. Doordat er echter steeds nieuwe markten ontstaan, levert dit wereldwijd een vrijwel constante groei op.



Figuur 2. Groei van zonne-energie in de periode 1992 tot 2019.

Waterelektrolyse lijkt erg veel op zonne-energie. Zoals het merendeel van zonnepanelen worden elektrolyseapparaten gemaakt van materialen die goed verkrijgbaar zijn zoals staal, zink, nikkel en koper. Elektrolyse is, net als zonne-energie, een modulaire technologie die zowel decentraal op kleine schaal, als geconcentreerd op grote schaal toegepast kan worden. De groei van zonne-energie is gestimuleerd door een combinatie van ondersteunend beleid, groeiende marktvraag, steeds hogere omzettingsefficiëntie en schaalvergroting. Met iedere verdubbeling van geïnstalleerde zonne-energiecapaciteit gingen de kosten met de leercurve van 22% omlaag, hetgeen de exponentiële groei weer bevorderde. Het is aannemelijk dat vergelijkbare mechanismen de groei van waterelektrolyse gaan bevorderen. Analyses[4] beschrijven leercurves voor elektrolyseapparaten van 18%, hetgeen vergelijkbaar is met de leercurve van zonnepanelen.

Een constant groeipercentage van elektrolyse lijkt aannemelijker dan de afvlakkende curves na 2030 zoals beschreven door de Hydrogen Council. Men kan beargumenteren dat de groeicurve van de FCH-JU, aangezien die slechts Europa betreft, toch accuraat zou kunnen zijn, zoals ook individuele PV-markten zich zo ontwikkelden.

Discussie

Aannemende dat waterelektrolyse exponentieel gaat groeien de komende dertig jaar en aannemende dat de analyses voor de komende tien jaar nauwkeuriger zijn dan erna, zouden we kunnen argumenteren dat de globale elektrolysecapaciteit met een gezond 67% jaarlijks percentage blijft groeien tot 2050, zoals de Hydrogen Council voorspelt tot 2030. Dat zou evenwel leiden tot een cumulatieve capaciteit van bijna 10.000 TW, hetgeen dan enkele honderd keer de globale eindenergievraag zou bedragen. Het is niet aannemelijk dat waterstof meer dan 50% van de eindenergievraag zal afdekken, want elektriciteit kan de andere 50% schoon en kosteneffectief bestrijken.

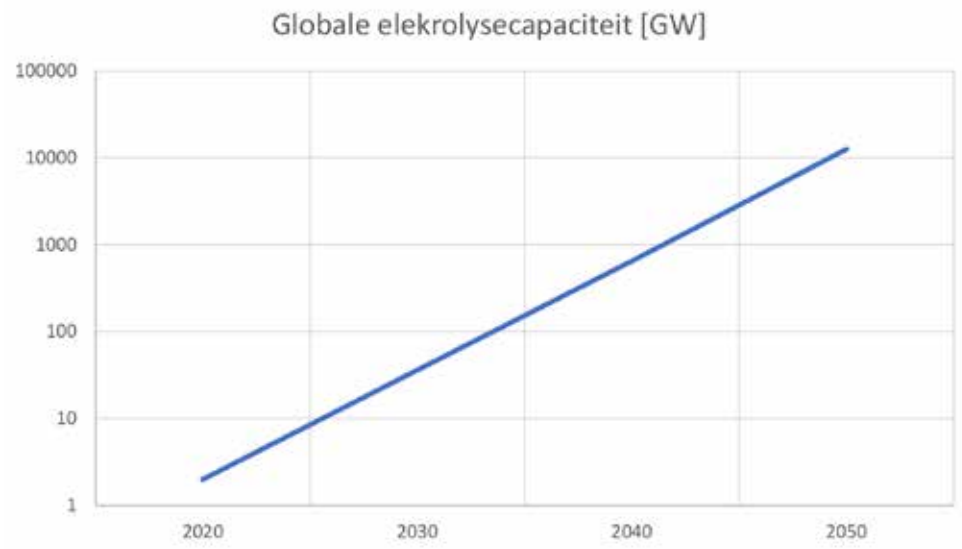
4 *https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319908002954*

Het waterstofaandeel van 18% van de Hydrogen Council vraagt een elektrolysecapaciteit van 4.557 GW, dus voor 50% is een capaciteit van 12.650 GW nodig. Een constant jaarlijks groeipercentage van 33,5% zou dat opleveren. Alhoewel dit lager is dan het percentage van de Hydrogen Council tot 2030, is het hoger dan het Bloomberg-percentage tot 2030 en ongeveer gelijk met Bloomberg in de periode erna.

De volgende tabel beschrijft de resulterende capaciteiten:

[GW geïnstalleerd]	2020	2030	2040	2050
Plausibel scenario, leidend tot 50% van de wereldwijde eindenergievraag	2	36	647	12,650

De resulterende groeicurve ziet eruit als in Figuur 3:



Figuur 3. Groei van wereldwijde elektrolysecapaciteit om 50% van de eindenergievraag af te dekken.

Conclusie

Zoals de Denen zeggen: "Voorspellen is moeilijk, vooral wanneer het de toekomst betreft." De auteur heeft in de afgelopen 25 jaar de groei van zonne-energie stelselmatig onderschat, in welke periode zonne-energie sneller groeide dan zelfs in de meest ambitieuze scenario's. We zijn nu in 2020 en er lijkt weinig dat de groei van waterstof in de weg staat. Een analyse van enkele belangrijke groeiscenario's en een vergelijking met de groei van zonne-energie leidt tot een potentieel opgestelde elektrolysecapaciteit van 12.650 GW in 2050, genoeg om 50% van de eindenergievraag met waterstof te kunnen voldoen, met een constant jaarlijks groeipercentage.

Twinning Energy
100 BAR
H_2O

NAAR EEN EUROPESE WATERSTOF-GEMEENSCHAP

VOORSTEL VOOR EEN NIEUW BELEIDSKADER

FRANK WOUTERS[1] & AD VAN WIJK[2]

1) Worley; Masdar City – Abu Dhabi, UAE, 2) Technische Universiteit Delft; Delft

Samenvatting

Hernieuwbare waterstof heeft, in combinatie met hernieuwbare elektriciteit, het potentieel om tegen 2050 de koolwaterstoffen in Europa volledig te vervangen. Dit artikel beschrijft een routekaart daarnaartoe met verschillende stappen. In de eerste fase worden waterstofprojecten gerealiseerd bij de waterstofvraag en gekoppeld aan het elektriciteitsnet, wordt een zogenaamde pan-Europese Hydrogen Backbone gebouwd en wordt, om de markt voor elektrolysers op te starten, begonnen met het bijmengen van waterstof in het gastransportnet. Na verloop van tijd zullen de meeste waterstofprojecten worden geïntegreerd en verbonden met de hydrogen backbone en zullen steeds meer klanten van aardgas en andere fossiele brandstoffen naar waterstof overstappen. De laatste fase betreft de volledige transformatie naar een 100% waterstofinfrastructuur.

Op dit moment zijn de beleidsinstrumenten die nodig zijn om die groei te structureren en te stimuleren verdeeld over verschillende beleidssectoren: onder andere elektriciteit, transport, klimaat, industrie, aardgas, gebouwde omgeving en infrastructuur. Deze huidige versnipperde aanpak is niet optimaal en zal hoogstwaarschijnlijk tot vertraging leiden. Om recht te doen aan de centrale rol die waterstof in het Europese economische bestel kan vervullen en voor de uitvoering van de hierboven beschreven routekaart voor de transitie van de gasmarkt is een robuust en eigen beleidskader nodig. Het kader, dat tot doel heeft aardgas en andere koolwaterstoffen tegen 2050 volledig te vervangen door waterstof, moet juridische, commerciële en technische aspecten van de transitie omvatten.

Daarom wordt de **Clean Hydrogen Act** voorgesteld, bestaande uit een **Hydrogen Infrastructure Act** en een **Hydrogen Market Act**. Samen vormen zij het beleidskader om de aardgasinfrastructuur en -markt tegen 2050 volledig om te vormen tot een hernieuwbare waterstofinfrastructuur en -markt.

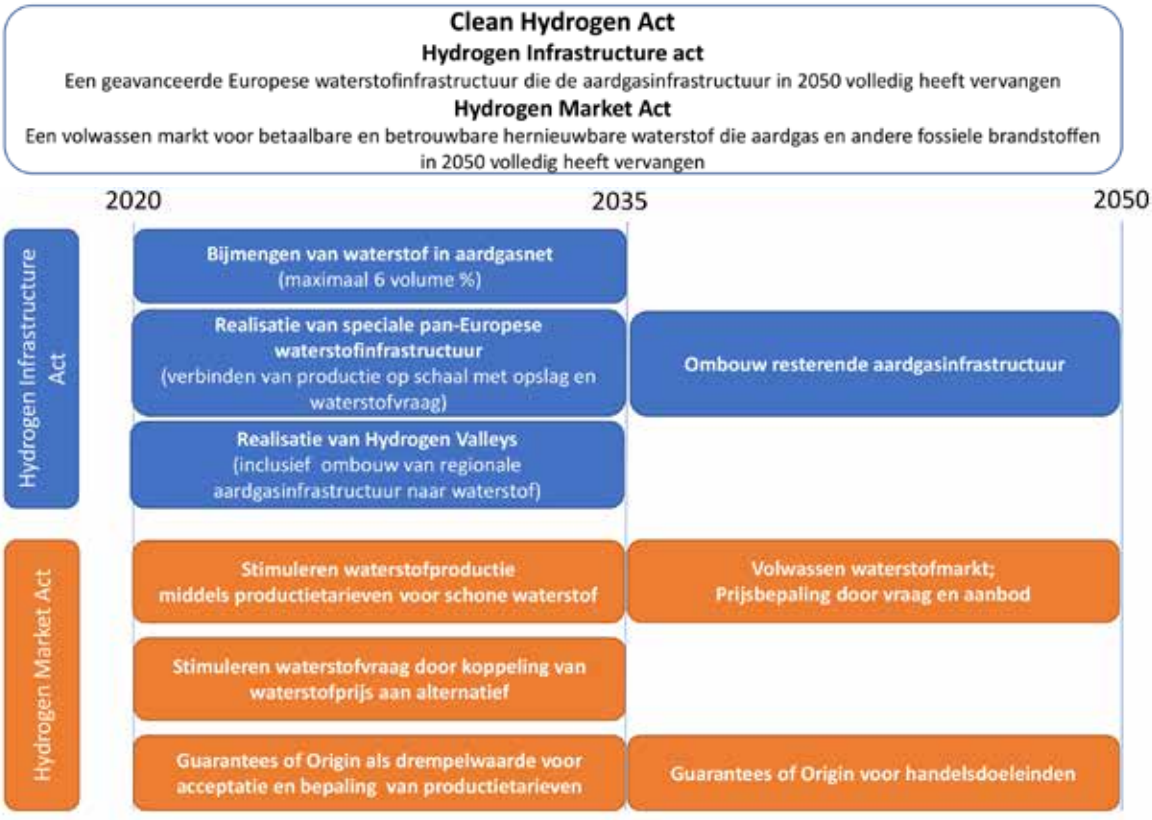
Het doel van de Hydrogen Infrastructure Act is 'Een geavanceerde Europese waterstofinfrastructuur die de aardgasinfrastructuur in 2050 volledig heeft vervangen' met de volgende routekaart:

- In de eerste fase tot 2035 kan waterstof tot een maximum van 6% worden bijgemengd in het aardgasnet.
- Tot 2035 zal een speciale pan-Europese waterstofinfrastructuur, een Hydrogen Backbone, samen met waterstofregio's, 'Hydrogen Valleys', worden gerealiseerd, deels door het ombouwen van de aardgasinfrastructuur en deels door het realiseren van nieuwe waterstofinfrastructuur.
- Ten slotte zal de aardgasinfrastructuur tot 2050 volledig worden omgezet naar waterstof.

Het doel van de Hydrogen Market Act is 'Een volwassen markt voor betaalbare en betrouwbare hernieuwbare waterstof die aardgas en andere fossiele brandstoffen volledig heeft vervangen':

- Tot 2035 wordt de waterstofproductie gestimuleerd door productietarieven en een Europese clearing pool voor het bijmengen in het gasnet en het invoeden in het waterstofnet.
- Naast productietarieven zal de vraag gestimuleerd worden door quota's in geselecteerde sectoren en toepassingen zoals wegtransport en lucht- en zeevaart.
- Tot 2035 wordt de vraag naar waterstof gestimuleerd door de verkoopprijs van waterstof te koppelen aan de prijs van het alternatief dat het vervangt, voornamelijk de aardgasprijs.
- Vanaf 2035 zal er een waterstofmarkt worden ontwikkeld, waardoor het productietariefsysteem overbodig wordt en er een prijsstelling voor waterstof wordt ingevoerd.
- Er moet een Waterstof Guarantee of Origin-systeem worden ingevoerd:
  - Tot 2035, in het productietariefsysteem om het koolstofgehalte van waterstof als drempelwaarde voor acceptatie en het werkelijke tarief te bepalen.
  - Na 2035, wanneer een waterstofmarkt tot stand is gekomen, om de handel in de vermeden broeikasgasemissies mogelijk te maken.

De volgende afbeelding geeft een overzicht van de voorgestelde Clean Hydrogen Act, de Hydrogen Infrastructure Act, de Hydrogen Market Act en de bijbehorende routekaart.



Het voorgestelde rechtskader en de routekaart zijn nieuw en innovatief en verschillen fundamenteel van het huidige beleid en de huidige rechtskaders van de EU. Met het voorgestelde EU-rechtskader en de routekaart zijn wij er vast van overtuigd dat een energiesysteem met nuluitstoot sneller, goedkoper en betrouwbaarder kan worden gerealiseerd. Dit EU-brede systeem, dat ook openstaat voor toegang van landen buiten de Europese Unie, kan helpen om een innovatieve, concurrerende, schone en duurzame waterstofindustrie en -markt op te bouwen.

Inleiding

Vele recente scenario's tonen aan dat hernieuwbare waterstof een cruciale rol zal spelen in de koolstofvrije toekomstige economie van Europa. In een systeem dat al snel wordt gedomineerd door variabele hernieuwbare energiebronnen zoals zon en wind, verbindt waterstof elektriciteit met industriële warmte, materialen zoals staal en kunstmest, ruimteverwarming en transportbrandstoffen. Bovendien kan waterstof op seizoensbasis worden opgeslagen en kostenefficiënt over lange afstanden worden getransporteerd, voor een groot deel met behulp van de bestaande aardgasinfrastructuur. Hernieuwbare waterstof in combinatie met hernieuwbare elektriciteit heeft het potentieel om koolwaterstoffen volledig te vervangen, hoewel fossiele waterstof met een laag koolstofgehalte op korte tot middellange termijn nog zal helpen aan de vraag naar waterstof te voldoen. Voorspellingen voor het aandeel van waterstof in de finale energievraag van de EU tegen 2050 variëren van 24% tot 50% (FCHJU, 2019) (Van Wijk, Wouters, Rachidi, & Ikken, 2019).

Momenteel is Europa toonaangevend op het gebied van waterstoftechnologie en Europese bedrijven en kennisinstellingen kunnen een belangrijke rol spelen bij de ontwikkeling van technologie en industriële schaalvergroting en daarmee bijdragen aan kostenconcurrerende koolstofarme waterstof. Vele andere landen en regio's zijn echter even ambitieus en het is geenszins gegarandeerd dat Europa zijn leidende positie kan behouden. De snelle ontwikkeling van een binnenlandse Europese markt is dan ook van cruciaal belang voor het veiligstellen van werkgelegenheid en het creëren van waarde in deze hightechsector.

In het jaar 2020 zijn in vele Europese landen en in de Europese Unie als geheel waterstofstrategieën ontstaan. Europese landen met een waterstofstrategie zijn onder meer Noorwegen, Nederland, Oostenrijk en Duitsland. Maar het belangrijkste is dat de Europese Commissie op 8 juli 2020 de Hydrogen Strategy voor een klimaatneutraal Europa heeft gepubliceerd (European Commission, 2020) als onderdeel van de European Green Deal. De European Hydrogen Strategy verwijst onder meer naar de '2x40GW Green Hydrogen Initiative' (Van Wijk & Chatzimarkakis, 2020), uitgegeven door Hydrogen Europe, waarin de rol van de waterelektrolyse tot 2030 wordt geschetst op basis van het 'ambitieuze scenario 2030' van de 'Hydrogen Roadmap Europe' (FCHJU, 2019). Deze strategieën hebben tot doel een gunstig klimaat te scheppen voor de ontwikkeling van een veilige, betaalbare en rechtvaardige waterstofeconomie in Europa. Hoewel de Hydrogen Council verwacht dat waterstof in het komende decennium voor vele toepassingen commercieel levensvatbaar zal worden (Hydrogen Council, 2020) is de realiteit dat er een ondersteunend beleidskader nodig is om de kostenkloof met alternatieven te overbruggen.

Een pan-Europese waterstofinfrastructuur die goedkope productie met opslag en de vraagcentra verbindt, is veiliger en kostenefficiënter dan nationale oplossingen. Waterstof kan worden opgeslagen in zoutcavernes, en het potentieel voor een dergelijke opslag is aanzienlijk, maar de beschikbaarheid ervan is geografisch beperkt. Een pan-Europees waterstofinfrastructuurplan moet dus een pan-Europees masterplan voor de opslag van waterstof bevatten. Naast deze fysieke waterstofinfrastructuur is het van cruciaal belang om een markt voor waterstof in Europa tot stand te brengen.

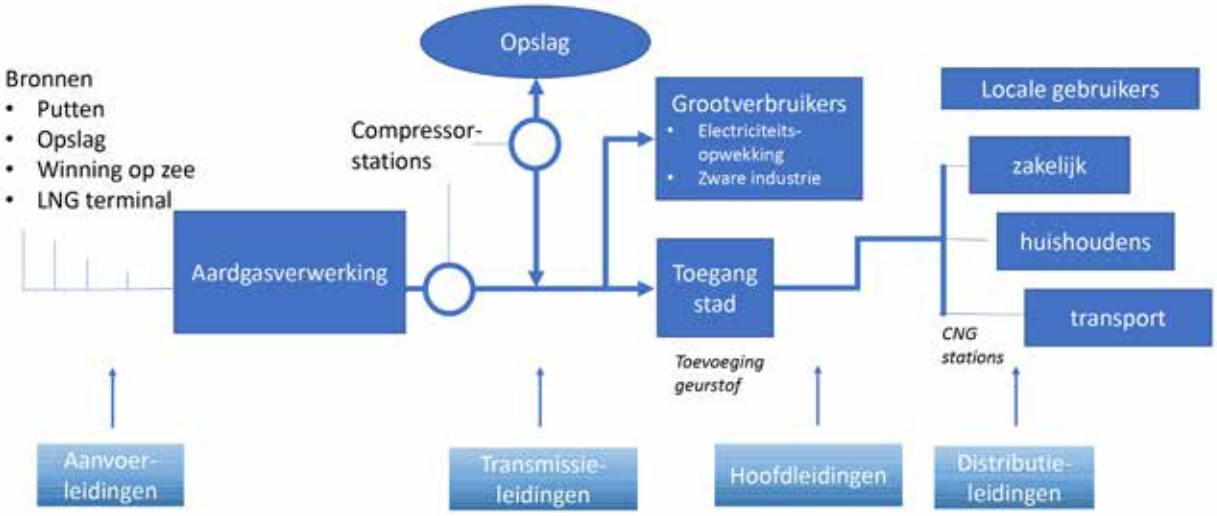
Dit artikel schetst de **Clean Hydrogen Act,** die bestaat uit twee delen, een **Hydrogen Infrastructure Act** en een **Hydrogen Market Act.** Het is een innovatief en nieuw beleidskader om de overgang van de gasinfrastructuur van aardgas naar waterstof te ondersteunen, een functionerende markt te introduceren en de kostenkloof voor waterstof te overbruggen. De **Hydrogen Infrastructure Act** is hierbij het wettelijke kader voor de volledige omzetting van de aardgasinfrastructuur in een waterstofinfrastructuur en de **Hydrogen Market Act** biedt een kader voor de wijze waarop een duurzame waterstofmarkt uit de huidige aardgasmarkt kan ontstaan. Dit laatste weerspiegelt de succesvolle Duitse wet op hernieuwbare energie (2000) (Federal Ministry for the Environment, 2000) om waterstofvolume in het systeem te brengen en tegelijkertijd de kostenkloof te overbruggen.

De routekaart voor de transitie van de gasinfrastructuur

Hernieuwbare waterstof heeft het potentieel om aardgas volledig te vervangen en, naast hernieuwbare elektriciteit, een fundament te worden voor het Europese energiesysteem. Aangezien Europa heeft toegezegd tegen 2050 koolstofneutraal te zijn en aangezien het grootste deel van het gas wordt geïmporteerd, zou het nuttig zijn om tegen 2050 al het aardgas te vervangen door hernieuwbare waterstof.

Het Europese transportnet voor aardgas is ongeveer 200.000 km lang, met een distributienet dat een veelvoud ervan is. Afbeelding 1 geeft een schematisch overzicht van het aardgassysteem en de infrastructuur. Het grootste deel van die bestaande infrastructuur kan worden gebruikt voor waterstof, wat een belangrijk voordeel is ten opzichte van elektriciteit, omdat grote extra investeringen nodig zijn om de toekomstige offshore-windenergieproductie uit Noordwest-Europa en de zonne-energieproductie uit Zuid-Europa te verbinden met de waterstofvraag. Naast het aardgasnet zijn er 10.000 km pijpleidingen die andere stoffen vervoeren zoals olie, kerosine, waterstof, ethyleen en stikstof. De meeste van deze pijpleidingsystemen zijn in privébezit en in eigen beheer, bijvoorbeeld om olieraffinaderijen te verbinden met chemieparken.

Opgemerkt moet worden dat Europa op dit moment al een dubbel gasnet heeft, voor laagcalorisch en hoogcalorisch gas. Het laagcalorische gas, of L-gas, is afkomstig uit het Groningen-gasveld in Nederland en wordt gebruikt in Nederland, België, Frankrijk en Duitsland. H-gas is afkomstig uit het Verenigd Koninkrijk, Noorwegen, Rusland, Algerije en via de invoer van LNG. Aangezien Nederland tegen 2022 de productie van L-gas zal stopzetten, wordt momenteel gewerkt aan een gasnetconversie. De L-gas- en H-gassystemen zijn gescheiden en veel elementen van het net, de meters, de eindgebruiksystemen enzovoort moeten worden omgebouwd. Bij de omzetting van aardgas naar waterstof kan een soortgelijk draaiboek worden gebruikt.



Afbeelding 1: Een schematische weergave van een aardgassysteem

Een gefaseerde infrastructuurroutekaart voor de gastransitie tot 2050 zou de volgende structuur kunnen hebben:

- het bijmengen van waterstof in aardgas (2020-2035)
- een pan-Europese Hydrogen Backbone opbouwen (2020-2035)
- Hydrogen Valleys met regionale en lokale waterstofinfrastructuur opbouwen (2020-2035)
- omzetten van de resterende gasinfrastructuur naar waterstof (2035-2050)

Het bijmengen van waterstof in aardgas (2020-2035)
Het bijmengen van maximaal zes volumeprocent waterstof in aardgas. Wanneer er geen waterstofinfrastructuur beschikbaar of voorzien is over een periode van vijf jaar, is bijmenging in de regionale midden/hogedrukgaspijpleidingen mogelijk als aan een reeks eisen wordt voldaan. Bijmengen is een kortetermijnoplossing die het mogelijk maakt om de waterstofproductie op gang te brengen zonder dat er specifieke klanten of een waterstofinfrastructuur nodig is. Daarom is het slechts een tijdelijke oplossing, en de suggestie is dat er na 2035 geen nieuwe bijmengprojecten meer nodig zijn. Natuurlijk kunnen bestaande bijmengprojecten hun waterstof nog steeds bijmengen.

Waterstof kan worden gemengd met aardgas en biedt zo een gemakkelijke toegang tot de waterstofeconomie, waardoor elektrolysers snel kunnen worden ingezet om de industrie een impuls te geven en een Europese leiderspositie te verzekeren. Hoewel de energie-inhoud van waterstof per m^3 ongeveer een factor drie lager is dan die van aardgas, en de fysisch-chemische eigenschappen verschillen, is het mengen van een klein percentage waterstof met aardgas mogelijk zonder grote investeringen, of het compromitteren van gasspecificaties en gebruikersapparatuur.

Sommigen stellen dat methanisering van hernieuwbare waterstof een optie zou kunnen zijn. Dergelijke projecten combineren hernieuwbare waterstof met CO of CO_2 uit biomassa of uit fossiele rookgassen om synthetisch methaan te produceren, dat volledig compatibel is met aardgas. Het belangrijkste argument is dat dergelijke projecten snel en zonder grote investeringen in het huidige systeem kunnen worden geïntegreerd.

Echter, als het uiteindelijke doel is om over te schakelen van aardgas op waterstof, zal methanisering slechts een kleine of zelfs helemaal geen rol spelen. En gezien de conversie naar waterstof in de nabije toekomst, kunnen potentiële ontwikkelaars het risico lopen om te investeren in activa die in de toekomst hun waarde verliezen.

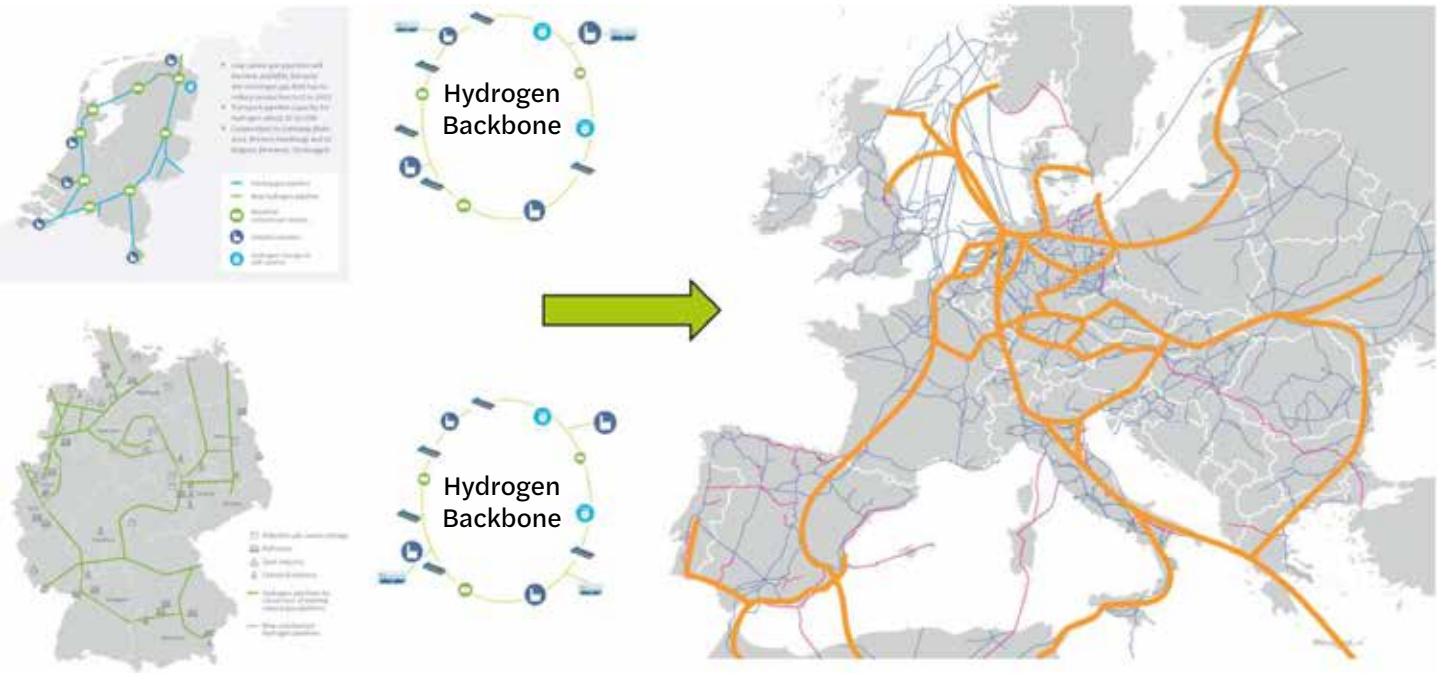
Volgens een studie van de Franse gastransmissienetbeheerders (GRTGaz, 2019) laten de gasspecificaties van de dragers, de opslagunits en de distributeurs momenteel een maximumwaterstofgehalte van zes volumeprocent toe. Dit percentage kan op korte termijn worden bereikt in de meeste subzones van het Franse netwerk, met uitzondering van bepaalde eindapparatuur of bepaalde gevoelige klanteninstallaties (bv. CNG-stations, waar de tanks momenteel gecertificeerd zijn voor maximaal 2% waterstof, of installaties voor glasproductie). Het onderzoek concludeerde verder dat in de toekomst, met meer kennis en praktijkervaring, en nadat netwerk- en downstreamapparatuur is aangepast aan waterstof, het percentage van waterstofbijmenging kan oplopen tot 10%, en uiteindelijk tot 20%. De drempel van 20% lijkt de bovengrens te zijn, waarboven aanzienlijke investeringen nodig zijn, met name voor downstreamtoepassingen. Door zowel de schommelingen in de waterstofproductie als in de gasvraag moeten de gemiddelde mengpercentages echter veel lager zijn dan 20% om te voorkomen dat de gebruikersapparatuur wordt beschadigd. Elektrolysers die op het elektriciteitsnet zijn aangesloten, zouden waterstof kunnen produceren in een modus die de schommelende gasvraag volgt. De vraag naar gas is echter het laagst in het zomerseizoen, wanneer de productie van zonne-energie het hoogst is. Deze combinatie draagt niet bij aan de verlichting van elektriciteitsnetbeperkingen, noch aan goedkope waterstofproductie. Aan de andere kant, als elektrolysers direct verbonden zijn met variabele zonne- en windbronnen, is de waterstofproductie ook variabel en kan deze de variaties in de gasvraag niet volgen. Dynamische simulaties van het invoeren van waterstof uit zonne-elektriciteit in een gasdistributienetwerk in Italië tonen aan dat, zelfs met zeer lage jaarlijkse gemiddelde mengpercentages, het waterstofpercentage sterk varieert en tot 100% stroomafwaarts van het invoerpunt kan liggen (Cavani, april 2020).

We kunnen concluderen dat het mengen van waterstof in aardgasnetwerken ernstige beperkingen heeft. Het is raadzaam om het mengpercentage te beperken tot zes volumeprocent en alleen in te voeren in de midden/hogedruktransportleidingen op zorgvuldig geselecteerde locaties.

Opbouw van een pan-Europese Hydrogen Backbone-infrastructuur (2020-2035)
Bouw van nationale Hydrogen Backbones, het verbinden van grootschalige koolstofarme en hernieuwbare waterstofproductie en voorzieningen voor zoutcaverneopslag met grootschalige industriële waterstofvraag in de chemische, petrochemische en staalsector. Het verbinden van deze nationale Hydrogen Backbones op pan-Europees niveau en met de waterstofproductie in de buurlanden (Noord-Afrika, Oekraïne, Noorwegen, het Verenigd Koninkrijk, Rusland enzovoort).

Waterstof als grondstof in de chemische, petrochemische en staalindustrie en voor mobiliteit vraagt om pure waterstof. Een mengsel van aardgas met een klein percentage waterstof kan niet worden gebruikt. Daarom moeten we een infrastructuur voor zuivere waterstof ontwikkelen. Een dergelijke waterstofinfrastructuur is echter niet alleen noodzakelijk voor het fysieke transport van waterstof, maar ook van cruciaal belang, en dus een voorwaarde voor een markt voor vloeibaar waterstofgas.

Zogenaamde Hydrogen Backbones verbinden gebieden van goedkope waterstofproductie met grootschalige opslag- en vraagcentra elders. Deze backbones moeten zo snel mogelijk beschikbaar worden gesteld en de ontwikkeling ervan moet prioriteit krijgen, zodat tegen 2035 een pan-Europees Hydrogen Backbone-systeem met verbindingen met de buurlanden, met name Noord-Afrika, Oekraïne, het Verenigd Koninkrijk, Noorwegen en Rusland, tot stand is gebracht. Dergelijke backbones kunnen nieuwe pijpleidingen zijn of omgebouwde aardgasleidingen. De Europese gasinfrastructuur kan, op enkele uitzonderingen na, worden gebruikt om 100% waterstof te vervoeren. Gasleidingen kunnen geschikt zijn voor zuivere waterstof, maar compressoren en debietmeters moeten worden aangepast of vervangen. Zoutcavernes kunnen worden gebruikt voor de opslag van waterstof, en Europa is gezegend met een aanzienlijk potentieel daarvoor. De meeste aardgasdistributieleidingen, meestal gemaakt van PVC of PE, kunnen ook 100% waterstof accommoderen. Duitsland en Nederland hebben al plannen om een deel van hun aardgastransportsysteem om te bouwen tot een speciale Hydrogen Backbone. En in juli 2020 lanceerden elf Europese gasnetbeheerders hun plan om een geïntegreerde Europese Hydrogen Backbone te ontwikkelen (Enagás, 2020).



Afbeelding 2: Nationale Hydrogen Backbone-infrastructuur die zich ontwikkelt tot een pan-Europese Hydrogen Backbone-infrastructuur

Realisatie van Hydrogen Valleys met regionale en lokale waterstofinfrastructuur (2020-2035)

Ontwikkeling van regionale Hydrogen Valleys met waterstofproductie en -verbruik. De omzetting van hernieuwbare elektriciteit in waterstof zou ook de beperkingen van het elektriciteitsnet kunnen verlichten. In de loop van de tijd worden de regionale Hydrogen Valleys verbonden met de nationale en Europese Hydrogen Backbones. Het in evenwicht brengen van vraag en aanbod van waterstof kan dan worden gerealiseerd via de Hydrogen Backbone, inclusief zoutcavernewaterstofopslag.

Een Hydrogen Valley is een geografisch gebied waar verschillende waterstof-toepassingen worden gecombineerd tot een geïntegreerd ecosysteem dat de hele waardeketen omvat: productie, opslag, distributie en eindgebruik. Het concept van de Hydrogen Valleys heeft geleid tot vele initiatieven in heel Europa, die tot de eerste Europese waterstofprojecten op schaal behoren. De regionale aardgasinfrastructuur (middendruktransport- en distributieleidingen) kan worden omgebouwd tot een regionale waterstofinfrastructuur. De vraag naar waterstof in de industrie (bakkerijen, wasserijen, voedingsindustrie, glas- en keramiekindustrie enzovoort), de mobiliteit en de verwarming van gebouwen is verbonden met de regionale waterstofinfrastructuur. Het evenwicht tussen waterstofvraag en -aanbod wordt bereikt via lokale opslag of import/export van waterstof per vrachtwagen, trein of schip. Uiteindelijk zullen deze hydrogen valleys worden aangesloten op een hydrogen backbone, waarmee het mogelijk is om vraag en aanbod in de regio op een meer kostenefficiënte manier in evenwicht te brengen door de integratie van zoutcaverneopslagvoorzieningen. Ook zou de invoer van goedkope hernieuwbare waterstof de energiekosten in dat specifieke Hydrogen Valley kunnen verlagen.

Omzetten van de resterende gasinfrastructuur naar waterstof (2035-2050)
Tussen 2035 en 2050 moet alle resterende aardgasinfrastructuur worden omgezet in waterstof, op basis van een Europese routekaart voor de komende tien jaar.

Aardgas moet volledig worden uitgefaseerd om tegen 2050 een nul-emissie-energiesysteem te bereiken. Hernieuwbare waterstof zal in 2050 het aardgas en het grootste deel van de vraag naar olie en kolen hebben vervangen. Europa zal een geïntegreerd systeem van hydrogen backbones hebben, dat het hele continent afdekt en aansluit op de aangrenzende regio's. Hydrogen valleys zullen op hun beurt verbonden zijn met deze backbones. Van 2035 tot 2050 moeten alle resterende aardgasinfrastructuur, transportleidingen, zoutcaverneopslag en distributieleidingen worden omgebouwd tot waterstof. Dit betekent ook dat apparatuur voor eindgebruik moet worden omgebouwd of aangepast aan de waterstofproblematiek. Vooral de brandstofceltechnologie zal belangrijk worden voor elektriciteitsbalans- en verwarmingstoepassingen, bijvoorbeeld door het combineren van brandstofcellen met warmtepomptechnologie.

Overzicht van de routekaart voor de transitie naar gasinfrastructuur
In het blokdiagram in Afbeelding 3 is een overzicht weergegeven van de infrastructuurtransitieroutekaart van aardgas naar waterstof.

Afbeelding 3: Routekaart van de gasinfrastructuurtransitie

De gasmarkttransitieroutekaart

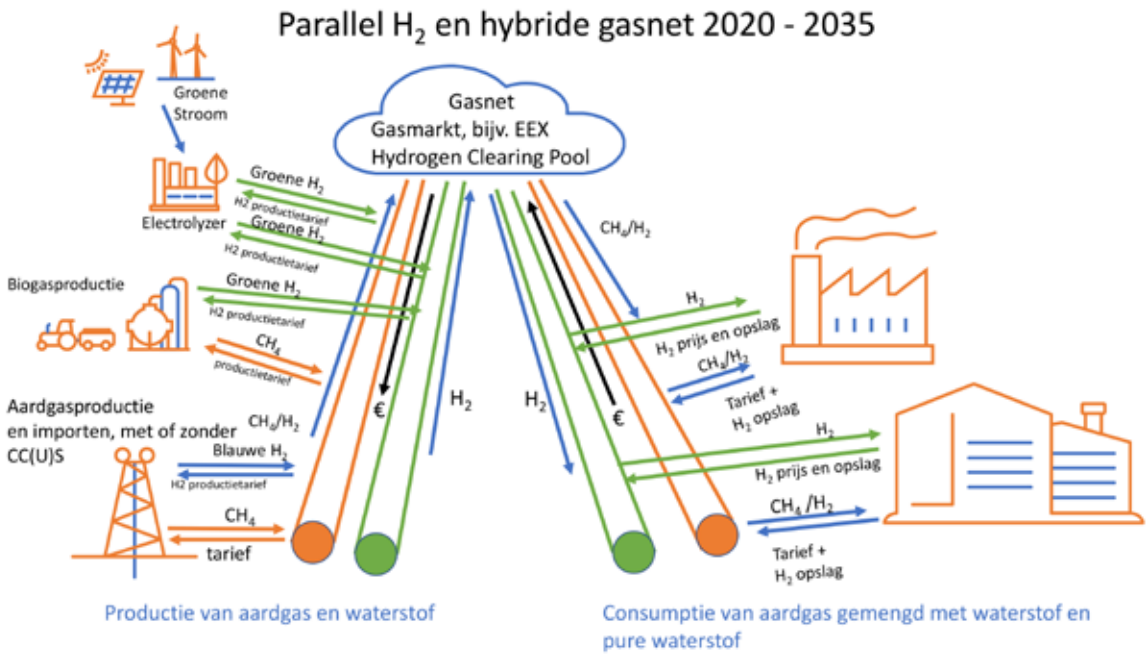
Op dit moment heeft Europa een aardgasmarkt met de gerelateerde instellingen, regelgeving, open infrastructuur, handelsplatformen, velerlei leveranciers en afnemers. Een open en transparante markt is essentieel om de laagste kosten te bereiken door een dynamische koppeling tussen vraag en aanbod. Wij verwachten dat waterstof en zijn derivaten de rol van olie en gas als de primaire wereldwijd verhandelde energiegrondstoffen zullen overnemen en dat er continentale en intercontinentale markten voor waterstof en waterstofderivaten zullen ontstaan. Als wereldwijde koploper kan de Europese Unie het voortouw nemen bij het ontwerp en de ontwikkeling van een gemeenschappelijke waterstofmarkt, waarin normen en voorschriften, regels voor de toegang tot de infrastructuur, handelsplatforms voor de energie-inhoud van waterstof en andere kwaliteiten zoals CO_2-intensiteit, prijsbepalingsmechanisme, systeemdiensten en andere elementen zijn opgenomen.

De vraag is hoe een dergelijke waterstofmarkt in de Europese Unie kan worden ontworpen en geïmplementeerd vanuit de huidige situatie, waarin er geen markt is, geen infrastructuur, en alleen besloten leveranciers en afnemers. Het is zinvol om een waterstofmarkt te ontwikkelen uit de aardgasmarkt, aangezien een groot deel van de waterstofapplicaties aardgas zal vervangen. Bij die transitie zal gebruik worden gemaakt van beleid dat in eerdere energietransities effectief is gebleken, met name totdat waterstof concurrerend is. Tot die tijd zal een onderscheid worden gemaakt tussen gebruiksgevallen die aardgas vervangen en diegene die andere energiedragers vervangen, met name wat betreft de prijsstelling. In de staalproductie kan waterstof bijvoorbeeld cokeskool vervangen en de waterstofprijs moet dan ook worden gekoppeld aan de koolprijs om een stimulans te geven voor de overschakeling op een andere brandstof.

Stimulering van de aanbodkant van de Europese waterstofmarkt (2020-2035)
In een eerste fase, totdat de kosten van de waterstofproductie kunnen worden afgestemd op de aardgasprijzen, wordt een Europees tariefmechanisme voorgesteld met een waterstof clearing pool om de kosten te verdelen over alle gasklanten, zodat er waterstofvolume op de markt wordt gecreëerd.

Op dit moment is hernieuwbare en koolstofarme waterstof duurder dan aardgas, zelfs als we rekening houden met de koolstofprijs. De meeste analyses voorspellen echter dat hernieuwbare waterstof in 2050 de goedkoopste gasoptie zal zijn vanwege de leercurves van elektrolyse en hernieuwbare elektriciteit.

Een tariefmechanisme voor schone waterstof kan de productie stimuleren en waterstofvolume creëren door de aanvankelijke kostenkloof voor hernieuwbare en koolstofarme waterstof te bundelen in de periode tot de kostenpariteit voor waterstof op de markt is bereikt. De cumulatieve betaling voor de kostenkloof wordt via een verrekeningsmechanisme gelijkmatig en eerlijk verdeeld over alle aardgasklanten. Afbeelding 4 toont het gasnet, bestaande uit parallelle aardgas- en waterstofnetten, met een productietariefmechanisme voor schone waterstof en een waterstof clearing pool.



Afbeelding 4. Parallel gasnet en waterstof clearing pool

Een wettelijk kader zal de waterstofproducenten in staat stellen om waterstof in het aardgasnet te voeden voor bijmenging of in een zuiver waterstofgasnet. Zij zullen recht hebben op een twintigjarige afnameovereenkomst voor waterstof met een tarief dat een eerlijk rendement op de investering garandeert. Het voorstel is een typisch rendement in de orde van 10% in het begin. De afnemer is ofwel een transmissienetbeheerder (TSO) voor grootschalige hogedrukwaterstof of een distributienetbeheerder (DSO) voor kleinschalige middendrukwaterstof. De DSO's en TSO's kunnen de marginale kosten, dat wil zeggen het verschil tussen het lokale productietarief voor waterstof en de (markt)prijs voor waterstof, doorberekenen aan een Europese waterstof clearing pool. Het marginale kostenverschil in de vorm van een hernieuwbare waterstoftoeslag wordt gelijkmatig en eerlijk verdeeld over alle Europese aardgas- en waterstofverbruikers. Er zij op gewezen dat de cumulatieve toeslag in verband met de waterstofhoeveelheden die worden gebruikt door andere sectoren dan de gassector, zoals de staal- en de vervoerssector, niet mag worden doorberekend aan de gasklanten.

Wat we voorstellen is om de kosten te socialiseren door de hierboven beschreven waterstof clearing pool, in plaats van gebruik te maken van publieke middelen, of die nu nationaal of Europees zijn. Op die manier is het verschil tussen de kosten van waterstof en de som van de CO_2- en aardgasprijs, die mettertijd zal dalen, fiscaal neutraal en niet afhankelijk van nationaal of Europees belastinggeld, waarvan de beschikbaarheid volatiel is en in concurrentie met andere waardevolle zaken.

Bepaalde aardgas- of waterstofintensieve sectoren die in een internationale, concurrerende omgeving actief zijn, kunnen een vrijstelling krijgen voor het betalen van de toeslag voor hernieuwbare waterstof. Wij verwachten dat hernieuwbare waterstof tegen 2035 concurrerend zal zijn en dat een productietariefmechanisme niet langer nodig is en vervangen kan worden door veilingen en aanbestedingen.

Er moet een herzieningsmechanisme worden gedefinieerd om de vooruitgang te evalueren, een voortschrijdende prognose op te stellen en de kosten- en prijsniveaus te beoordelen. Om de drie jaar wordt een grote evaluatie uitgevoerd, in overeenstemming met de huidige praktijken over langlopende aardgascontracten. Er is echter een halfjaarlijkse herziening nodig om de niveaus van de productietarieven te benchmarken om over- of onderbetaling te voorkomen. Ook zal een zogenaamde sunset clausule voorgesteld worden, die bepaalt dat het mechanisme in 2030 eindigt. Een voortijdige evaluatie zal bepalen of een beperkte verlenging tot 2035 noodzakelijk is.

De Europese waterstofstrategie noemt een systeem van Carbon Contracts for Difference als mogelijk beleidsinstrument voor het opschalen van waterstof. Een dergelijk langetermijncontract met een publieke partij zou de investeerder vergoeden door het verschil tussen de CO_2-uitoefenprijs en de werkelijke CO_2-prijs in de Emissions Trading System (ETS) expliciet te betalen, waardoor de kostenkloof wordt overbrugd. Een verschil met het voorstel van de Europese Commissie is dat wij voorstellen de Carbon Contracts for Difference aan de producent te betalen, in plaats van aan de gasklant. Dit zal de kredietwaardigheid van de productieprojecten aanmerkelijk verhogen.

Stimulering van de vraagkant van de Europese waterstofmarkt (2020-2035)
Een liquide, diepe en transparante waterstofmarkt zal zich in de loop van de tijd ontwikkelen. Een vereiste is een Hydrogen Backbone-infrastructuur met voldoende waterstofleveranciers, afnemers en handelsplatformen. Om de markt een impuls te geven, moet de waterstofprijs in eerste instantie worden gekoppeld aan de energiedrager die hij vervangt.

De Europese aardgasmarkt heeft zich in de jaren zestig ontwikkeld en heeft in de loop van de tijd en op de meeste plaatsen de markten voor stadsgas, kool en gasolie vervangen. Aangezien nutsbedrijven voornamelijk monopolies waren, was een kostprijs-plus-methode gebruikelijk, bijvoorbeeld voor stadsgas. Toen het Nederlandse aardgas voor het eerst werd verkocht aan België, Duitsland en Frankrijk, werd echter een netback tariferingssysteem ingevoerd dat was gelinkt aan de 'marktwaarde' van het gas en bedoeld om klanten te winnen in de brandstofconcurrentie, die per regio verschilde (Melling, 2010). Duitsland, een belangrijke klant van Groningen-gas, was een grote afnemer van kolengas. Als het marktaandeel van aardgas zou groeien, was een concurrerende prijsstelling voor kolengas nodig. In andere regio's werd de prijsstelling voor andere brandstoffen ingevoerd.

Momenteel wordt waterstof geproduceerd in de buurt van of op de locaties van de raffinaderijen en chemische fabrieken waar de waterstof wordt verbruikt. Het is een besloten markt zonder transparante prijsstelling en er is geen handelsplatform voor waterstof of waterstofsysteemdiensten. Er zijn stimulansen nodig om de waterstofmarkt uit te breiden, vooral voor diegene die van brandstof zullen veranderen.

Om de waterstofmarkt effectief te kunnen lanceren, moeten we de prijsstelling van alternatieven evenaren. Wanneer waterstof in de plaats komt van aardgas, bijvoorbeeld in industriële verwarming met een hoge temperatuur, huisverwarming of raffinaderijen, moet de prijs van waterstof overeenkomen met de prijs van aardgas. Deze volumes vallen onder het hierboven beschreven waterstoftoeslagmechanisme. Wanneer waterstof in de plaats komt van kolen, bijvoorbeeld bij de staalproductie, moet de waterstofprijs overeenkomen met de kosten van cokeskool.

Wanneer waterstof vloeibare brandstoffen vervangt, bijvoorbeeld als transportbrandstof (kerosine, zware stookolie, diesel, benzine enzovoort), moet er een bijbehorend prijsmechanisme worden vastgesteld.

Naast concurrerende brandstofprijzen zijn verplichtingen, zoals vastgelegd in de herschikking van de Renewable Energy Directive (REDII), concessionaire kredieten en investeringssteun nodig om investeringen van de particuliere sector in de waterstoftransitie te stimuleren.

Transitie naar een sterke, liquide en transparante waterstofmarkt (2035-2050)
Naarmate de kosten van hernieuwbare waterstof in de loop van de tijd dalen, zullen steeds meer toepassingen mogelijk worden zonder steun van het monetaire beleid. Vanaf 2035 zal waterstof steeds concurrerender worden en kan de beleidsondersteuning worden teruggebracht tot transparantie over het koolstofgehalte en de geografische herkomst van waterstof. De invoer van waterstof zal worden opgevoerd om tegen 2050 uiteindelijk de Europese productie te evenaren.

De recente studie 'Path to hydrogen competitiveness — a cost perspective', uitgevoerd door de Hydrogen Council, voorspelt in een analyse van 35 representatieve gebruiksgevallen dat waterstof sneller concurrerend zal worden dan vaak wordt gedacht. In 22 van deze toepassingen zullen de totale cost of ownership tegen 2030 gelijk zijn aan die van andere koolstofarme alternatieven, en negen zullen tegen die tijd ook concurrerend zijn met de conventionele opties. Dit zal bijvoorbeeld het geval zijn voor zware vrachtwagens, touringcars voor lange afstanden en vorkheftrucks (Hydrogen Council, 2020).

Naarmate meer en meer waterstoftoepassingen commercieel levensvatbaar worden, moet het beleidskader worden aangepast. Verwacht wordt dat tegen 2035 een omslagpunt is bereikt, vanaf wanneer waterstof kan worden geproduceerd tegen een prijs waarop het merendeel van de toepassingen concurrerend is met alternatieven. Als waterstof concurrerend kan worden geproduceerd, kan het tariefsysteem worden vervangen door een veilingsysteem. Toch zal de waterstof clearing pool intact blijven tot de laatst overgebleven productietariefcontracten zijn afgelopen. Er moet een sterke, transparante en liquide markt voor waterstof ontstaan. Verschillende waterstofproducten en -diensten zullen op meerdere marktplatforms worden verhandeld.

Waterstof Guarantees of Origin

Guarantees of Origin (GO's) kunnen zorgen voor transparantie over het koolstofgehalte gedurende de levenscyclus, de waterstofproductietechnologie en de temporele en geografische oorsprong van de waterstofvolumes. GO's met een certificatiesysteem maken het mogelijk bepaalde kwaliteiten waterstof te managen en uiteindelijk te handelen, ongeacht de fysieke levering van moleculen.

Waterstof Guarantees of Origin, systeemontwikkeling
Een Guarantee of Origin kan het koolstofgehalte van de geproduceerde waterstof tonen, evenals andere kenmerken. De EU moet een geharmoniseerd systeem van Waterstof Guarantees of Origin ontwikkelen, dat de handel in het koolstofgehalte in verband met de productie van waterstof mogelijk maakt.

Het Europese CertifHy-project (certifhy) heeft een Europees certificeringssysteem uitgewerkt dat garanties van oorsprong voor waterstof omvat. Het bevat momenteel definities voor zogenaamde 'CertifHy Green Hydrogen' en 'CertifHy Low-carbon Hydrogen'. Het eerste betreft waterstof die wordt gemaakt met elektrolyse met behulp van hernieuwbare elektriciteit. Het volgt de methode van de herschikking van de Renewable Energy Directive (REDII) in 2018. Het tweede betreft waterstof uit aardgas door stoommethaanreforming met koolstofafvang en -opslag, waarbij de vermindering van de CO_2-emissies ten minste 60% bedraagt.

Er zijn echter nog veel meer 'waterstoftinten': groen, geel, grijs, zwart, bruin, blauw, turquoise enzovoort, waarvoor we geen duidelijke definitie hebben. De Europese Commissie is van plan een Europees systeem van GO's toe te passen en voor waterstof zou het CertifHy-project een startpunt kunnen zijn. Als het doel echter is om het gassysteem koolstofvrij te maken, moet de belangrijkste 'valuta' het koolstofgehalte van het resulterende gas over de gehele levenscyclus zijn. Er is extra werk nodig om de verschillende trajecten vast te leggen om uit elektriciteit, biogene residuen, biomassa en fossiele brandstoffen koolstofvrije en koolstofarme waterstof te produceren. Speciale aandacht moet worden besteed aan de productie van waterstof uit biomassa en biogene residuen, processen die ook hernieuwbare CO_2 produceren. Als deze hernieuwbare CO_2 wordt afgevangen en opgeslagen of als grondstof wordt gebruikt, kan de netto CO_2-uitstoot zelfs negatief zijn.

Waterstof Guarantees of Origin in een productietariefsysteem (tot 2035)
Guarantees of Origin zijn nodig om te bepalen of de geproduceerde waterstof voldoet aan de minimumdrempel voor toelating tot bijmenging in het aardgas- of waterleidingnet. Bovendien zullen de GO's worden gebruikt om het werkelijke terugleveringstarief vast te stellen. Certificaten zullen worden afgelost wanneer waterstof aan het gas- of waterleidingnet wordt toegevoerd. De TSO's zijn verantwoordelijk voor het beheer van de bepaling van de jaarlijkse gemiddelde broeikasgasemissies voor zowel de gasmix als voor de zuivere waterstofsystemen.

Bij het begin van een productietariefsysteem moet er een GO-systeem bestaan. Aangezien het hoofddoel is het gassysteem koolstofvrij te maken, moet het koolstofgehalte van de waterstof die in het gasnet mag worden gemengd of aan het waterstofnet mag worden toegevoerd, onder een bepaalde drempel liggen. Het voorgestelde maximum is 1 kg CO_2 per kg H_2, gemeten en gevalideerd via het GO-systeem. Dit maximum impliceert waterstofproductie uit aardgas met minstens 90% koolstofafvang en -opslag. Bovendien kan met het GO-systeem het terugleveringstarief worden bepaald op basis van de waterstofproductietechnologie en de temporele en geografische oorsprong.

Certificaten op basis van deze GO's worden uitgegeven op het moment van productie en worden onmiddellijk afgelost wanneer de waterstof in het gasnet wordt gemengd of aan een waterstofnet wordt toegevoerd. Het is aan te raden om hiervoor een blockchain-gebaseerd grootboek te gebruiken, om manipulatievrije transparantie te waarborgen. De TSO's zullen verantwoordelijk zijn voor de administratie van zowel de waterstof met aardgas als de waterstof die aan een waterstofnetwerk wordt toegevoerd. Aan het einde van elk jaar zullen de TSO's de totale hoeveelheid waterstof die in het gasnet wordt gemengd en aan het waterstofnet wordt toegevoerd, samen met het gemiddelde en het cumulatieve koolstofgehalte, publiceren.

Met deze methode kan het jaarlijkse gemiddelde koolstofgehalte van de aardgas- en waterstoftoevoer voor het door die specifieke TSO bestreken dienstengebied specifiek bepaald worden. Deze waarden kunnen door bedrijven en installaties worden gebruikt voor de administratie en rapportage van koolstofemissies.

Waterstof Guarantees of Origin in een waterstofmarktsysteem (vanaf 2035)
Certificaten op basis van GO's kunnen worden verhandeld in een emissiemarkt. Een cap- en tradesysteem kan de uitstoot verminderen. Afhankelijk van een aantal factoren kan later worden bepaald en besloten of dit systeem deel uitmaakt van het Europese ETS-systeem of dat er een specifiek waterstof-ETS-systeem nodig is.

Naast een markt voor de energie-inhoud van de waterstof, uitgedrukt in volumes, kunnen ook andere elementen worden verhandeld, waaronder opslagcapaciteit, futures en andere netwerkdiensten. Certificaten op basis van Guarantees of Origin worden op het moment van productie uitgegeven. Deze certificaten kunnen worden verhandeld op een certificatenmarkt. Bij gebruik zullen deze certificaten moeten worden ingelost.

Met behulp van de hierboven beschreven drempel weten we dat het koolstofgehalte van de geproduceerde waterstof gelijk is aan of lager is dan 1 kg CO_2 per kg H_2. Aangezien de totale kooldioxide-uitstoot in de EU tegen 2050 echter nul moet zijn, wordt een cap- en tradesysteem voorgesteld om dat doel te ondersteunen.

Op dit moment is het nog niet duidelijk of deze waterstof-GO's kunnen worden gehandeld in het EU Emissions Trading System (ETS) of dat er een specifiek waterstofemissiehandelssysteem nodig is. De filosofie achter het EU ETS is dat een markt voor de handel in emissierechten leidt tot de laagste kosten voor de vermindering van de kooldioxide-uitstoot. Er zij op gewezen dat in het huidige ETS, dat een belangrijke rol speelt bij het koolstofvrij maken van de elektriciteitssector, de kosten als productiekosten worden gedefinieerd. Het voordeel van waterstof is echter dat vooral de transport- en opslagkosten lager zijn dan bij elektriciteit. Daarom moet een eerlijk ETS de systeemkosten vergelijken en niet alleen de productiekosten. Als het ETS in 2035 nog steeds beperkt is tot de productiekosten, moet de handel in waterstofcertificaten in een specifiek systeem voor de handel in waterstofemissierechten worden overwogen.

Waterstof Guarantees of Origin, import en export
Voor de in- en uitvoer van waterstof is een door de EU geïnitieerd internationaal GO-systeem vereist.

De GO's zijn ook nodig om de kwaliteit van ingevoerde waterstof of waterstofproducten zoals hernieuwbare ammoniak te certificeren. Voorgesteld wordt dat de Europese Unie het initiatief neemt tot de ontwikkeling van een wereldwijd systeem voor Waterstof Guarantees of Origin, met track-and-trace- en auditfunctionaliteit. Bedrijven of landen die hun waterstof naar de EU willen exporteren, moeten certificaten op basis van GO's kunnen inwisselen die door een EU-orgaan aan de EU-grens zijn goedgekeurd en gevalideerd.

In de periode tot 2035, wanneer er een systeem van productietarieven is, maar er nog geen markt voor waterstof bestaat, moet er een procedure zijn om te bepalen

hoeveel waterstof tegen welke prijs mag worden ingevoerd. Een mogelijke aanpak is dat in bilaterale overeenkomsten met buurlanden afspraken worden gemaakt over jaarlijkse volumes en waterstofprijzen. Waterstof Guarantees of Origin zijn nodig om te bepalen of de geproduceerde waterstof op de EU-markt mag worden gebracht.

Na 2035, wanneer er een waterstofmarkt is, zullen deze overeenkomsten achterhaald zijn. Het internationale systeem van de Guarantees of Origin voor waterstof moet echter volwassen, fraudevrij en transparant zijn, wil het als basis dienen voor een solide, internationaal systeem voor de handel in emissierechten.

De totstandbrenging van een waterstof GO-systeem is cruciaal voor de ontwikkeling van een waterstofmarkt. Wanneer de Europese lange termijn energie- en klimaatdoelen wettelijk zijn vastgelegd, zal de koolstofinhoud de nieuwe valuta worden in het energiesysteem en het economische herstelprogramma. Voor een betrouwbaar en robuust GO-systeem is het van belang dat de GO's trackable, traceable, tradeable, transportable en trustworthy zijn, oftewel, volgbaar, traceerbaar, verhandelbaar, te transporteren en betrouwbaar.

Overzicht van de routekaart voor de transitie naar een gasinfrastructuur

Het volgende blokdiagram toont een overzicht van de markttransitieroutekaart van aardgas naar waterstof.

2020-2035	2035-2050
•Productietarieven voor het bijmengen van waterstof in het gasnet en het voeden in het waterstofnet •Clearing pool opgericht •Geen waterstofmarkt •Prijsstelling waterstof koppeling aan de prijs van alternatieven (gas, kool, transportbrandstoffen) •Waterstof Garantees of Origin systeem om de acceptatie, het tarief en de gemiddelde CO_2-uitstoot voor aardgasmengsel en waterstof te bepalen	•Geen productietarief meer voor schone waterstof •De clearing pool zal geleidelijk worden afgebouwd •Volwassen waterstofmarkt •Prijsstelling waterstof door waterstofmarkt •Waterstof Garantees of Origin zijn bepalend voor de acceptatie en kunnen worden verhandeld. •Een cap- and tradesysteem, als onderdeel van een emissiehandelssysteem (ETS), zal bepalend zijn voor de vaststelling van de emissieprijzen

De Clean Hydrogen Act: Een nieuw Europees beleidskader

De Europese waterstofstrategie voorziet een zeer belangrijke rol voor waterstof in de toekomst, met een sterk groeiend aandeel in het energiesysteem in de periode tot 2050. Op dit moment zijn de beleidsinstrumenten die nodig zijn om die groei te structureren en te stimuleren verdeeld over verschillende beleidssectoren: onder andere elektriciteit, transport, klimaat, industrie, aardgas, gebouwde omgeving en infrastructuur. Deze huidige versnipperde aanpak is niet optimaal en zal hoogstwaarschijnlijk tot vertraging leiden. Om recht te doen aan de centrale rol die waterstof in het Europese economische bestel kan vervullen en voor de uitvoering van de hierboven beschreven routekaart voor de transitie van de gasmarkt is een robuust en eigen beleidskader nodig. Het kader, dat tot doel heeft aardgas en andere koolwaterstoffen tegen 2050 volledig te vervangen door waterstof, moet juridische, commerciële en technische aspecten van de transitie omvatten.

Daarom wordt de **Clean Hydrogen Act** voorgesteld, bestaande uit een **Hydrogen Infrastructure Act** en een **Hydrogen Market Act**. Samen vormen zij het beleidskader om de aardgasinfrastructuur en -markt tegen 2050 volledig om te vormen tot een hernieuwbare waterstofinfrastructuur en -markt.

De Clean Hydrogen Act biedt het wettelijk kader voor de gasmarkttransitieroutekaart, zoals hierboven geschetst. Een dergelijke Clean Hydrogen Act kan worden geïntegreerd in komende initiatieven gelanceerd door de Europese Commissie, bijvoorbeeld: De Hydrogen Infrastructure Act kan in een herziening van de Trans-European Networks for Energy Regulation (TEN-E) geïntegreerd worden. Tevens kunnen belangrijke elementen van de Act die gerelateerd zijn aan infrastructuur in de revisie van de Directive betreffende alternatieve bandstoffen, alsmede de revisie van de Trans-European Networks for Transport Regulation (TEN-T) geïntegreerd worden.

De Hydrogen Market Act kan de revisie van de Gas Market Legislation en Renewable Energy Directive positief beïnvloeden, waardoor het fundament van een Europese waterstofmarkt gelegd wordt.

Clean Hydrogen Act	
Hydrogen Infrastructure Act Doel 2050 **Een geavanceerde Europese waterstofinfrastructuur die de aardgasinfrastructuur volledig heeft vervangen**	Hydrogen Market Act Doel 2050 **Een volwassen markt voor schone, betaalbare en betrouwbare hernieuwbare waterstof die aardgas en andere fossiele brandstoffen volledig heeft vervangen**

Clean Hydrogen Act deel 1: Hydrogen Infrastructure Act

De uitgangspunten van de Hydrogen Infrastructure Act kunnen als volgt worden beschreven:

Doel 2050: Een geavanceerde Europese waterstofinfrastructuur die de aardgasinfrastructuur volledig heeft vervangen.

Inclusief:

- Wettelijk kader om de aardgasinfrastructuur om te zetten in een zuivere waterstofinfrastructuur.
- Wettelijk kader voor de bouw van nieuwe infrastructuur voor het vervoer en de opslag van waterstof.
- Wettelijk kader voor het bijmengen van waterstof in het aardgasnet tot een maximum van gemiddeld 6% van het volume.
- Wettelijk kader voor de ontwikkeling van Hydrogen Valleys door de omzetting van regionale transmissie- en distributiegasnetwerken in waterstofinfrastructuur en -netwerken of de aanleg van nieuwe infrastructuur.
- Wettelijk kader om het bijmengen van waterstof geleidelijk af te schaffen en over te schakelen op een zuivere waterstofinfrastructuur.

Naar aanleiding van de in dit document beschreven elementen van de gasinfrastructuurtransitieroutekaart zouden verschillende elementen moeten worden opgenomen in de Hydrogen Infrastructure Act:

Rechtszekerheid

Het is belangrijk om de Hydrogen Infrastructure Act in elke Europese lidstaat in wetgeving om te zetten, zodat er in de hele EU een gelijk speelveld ontstaat, maar zodat ook de investeerders zekerheid wordt geboden. Zo zou het voor producenten mogelijk moeten zijn om waterstof in Spanje in het net in te voeren en voor Duitse gebruikers om die waterstof te kopen en vice versa. Een Hydrogen Infrastructure Act moet een bepaling bevatten die het mogelijk maakt dat niet-EU-leden toetreden.

Geharmoniseerde technische normen en standaards

De Europese Commissie of een andere onpartijdige Europese actor zorgt voor een geharmoniseerde reeks richtlijnen, specificaties en voorschriften voor de bijmenging van waterstof in het aardgassysteem. Deze omvatten alle veiligheidsaspecten, aspecten van de gaskwaliteit en meten en regelen van gas.

De Europese Commissie of een andere onpartijdige Europese actor zorgt voor een geharmoniseerde reeks richtlijnen, specificaties en voorschriften voor de infrastructuur, het vervoer en de opslag van waterstof. Dit zijn onder meer de kwaliteitsnormen voor waterstof (druk, zuiverheid, stroomsnelheden), veiligheidsnormen en -procedures, en protocollen en procedures voor meten en regelen.

Nettoegang en de kosten

Er moet worden gezorgd voor een prioritaire open toegang met minimale administratieve belemmeringen voor producenten om waterstof aan de waterstofinfrastructuur te leveren of om waterstof in het aardgasnet te mengen, met bijzondere aandacht voor producenten van kleine volumes.

De open toegang moet ook worden gegarandeerd voor de consumenten, van grote industriële consumenten tot kleine huishoudens.

De kosten van het netwerk moeten worden gesocialiseerd over alle gasverbruikers, waterstof en aardgas samen.

Geharmoniseerde kosten voor het waterstofvervoer in de hele Europese Unie zijn belangrijk.

Reverse flow

Op basis van de recente ervaringen met het aardgassysteem moet voldoende aandacht worden besteed aan het mogelijk maken van reverse flow oftewel bidirectionale pijpleidingen in de primaire pijpleidingsystemen, die zowel de concurrentie ondersteunen als de voorzieningszekerheid vergroten. Het realiseren van reverse flow-mogelijkheden is technisch gezien relatief eenvoudig, omdat hiervoor meestal alleen een aanpassing van de meetstations nodig is.

Geharmoniseerd transitieproces

De lidstaten van de Europese Unie zijn verplicht om een waterstofinfrastructuur-vooruitzicht voor 2030, 2040 en 2050 op te stellen volgens een reeks EU-richtlijnen. Om de twee jaar worden de vooruitzichten voor de waterstofinfrastructuur geactualiseerd.

Om de twee jaar stellen de EU-lidstaten een verslag op over het mengen van waterstof en de vooruitzichten. De EU zal toezicht houden op de waterstofbijmengingsvolumes, op technische, organisatorische en juridische kwesties en op de vooruitgang.

Om de twee jaar stellen de EU-lidstaten ook een routekaart op wanneer en hoe de Hydrogen Valleys en andere regio's op een zuivere waterstofinfrastructuur zullen aansluiten.

De EU zal deze nationale vooruitzichten integreren in een EU Hydrogen Infrastructure Outlook, waarbij minimale capaciteitseisen voor grensoverschrijdende gasinfrastructuur tussen de lidstaten en internationaal zullen worden geformuleerd.

Hydrogen Infrastructure Fund

Er is een speciaal EU Hydrogen Infrastructure Fund nodig dat leningen of leninggaranties verstrekt voor aardgas en waterstof TSO's/DSO's voor het financieren in overeenstemming met de vastgestelde vooruitzichten voor de waterstofinfrastructuur van:

- technische aanpassingen aan de infrastructuur voor het bijmengen van waterstof,
- waterstofinfrastructuur, inclusief waterstofpijpleidingenverbindingen en andere infrastructuur met buurlanden en waterstofopslagfaciliteiten.

Hervorming van Europese Concurrentiebeleid om de Green Deal te ondersteunen

Het gecombineerde probleem van versnellende klimaatverandering en de economische malaise door COVID-19 vraagt om bijzondere maatregelen.
Een speciaal hoofdstuk betreffende staatssteun voor schone waterstof zal de volgende elementen bevatten:

1. Tot 100% staatssteun voor schone waterstoftechnologieën wanneer ze voor het eerst op grote schaal toegepast worden,
2. het cumuleren van de maximale steun zal gebaseerd worden op een analyse van de redelijkheid van de financieringskloof, in plaats van een rigide systeem van toelaatbare kosten,
3. snellere en simpelere procedures,
4. verhogen van kennisgevingsdrempel naar € 200 miljoen,
5. duidelijke regels voor het cumuleren van staatssteun.

Ook zou het mogelijk moeten zijn de staatssteun voor Important Projects of Common European Interest die kwetsbaar of door COVID-19 getroffen zijn te verhogen naar 100%.

Clean Hydrogen Act deel 2: Hydrogen Market Act

De leidende principes van de Hydrogen Market Act zijn:

Doel 2050:
Een volwassen markt voor schone, betaalbare en betrouwbare hernieuwbare waterstof die aardgas en andere fossiele brandstoffen volledig heeft vervangen.

Inclusief:
- Wettelijk kader voor een waterstofproductietariefmechanisme en een clearing pool.
- Wettelijk kader voor het ontwerp en de implementatie van een waterstofmarkt.
- Wettelijk kader voor een taxonomie- en handelssysteem voor de Waterstof Guarantees of Origin.
- Wettelijk kader voor de geleidelijke afschaffing van het aardgasverbruik tot nul in 2050.

Naar aanleiding van de in dit document beschreven elementen van de gasmarkt-transitieroutekaart zouden verschillende elementen moeten worden opgenomen in de Hydrogen Market Act:

Rechtszekerheid

De Hydrogen Market Act wordt in elke Europese lidstaat in wetgeving omgezet, zodat er in de hele EU een gelijk speelveld ontstaat, maar dat ook de investeerders zekerheid biedt. Zo zou het voor producenten mogelijk moeten zijn om waterstof in Spanje in het net in te voeren en voor Duitse gebruikers om die waterstof te kopen en vice versa.

Een Hydrogen Market Act moet een clausule bevatten dat niet-EU-leden kunnen toetreden, waarbij specifieke voorwaarden, tariefregelingen en prijzen en boekhoudkundige beginselen zullen worden overeengekomen.

Hydrogen Market Design

Er wordt een wettelijk kader vastgesteld om de waterstofprijs in eerste instantie te koppelen aan de energiedrager die hij vervangt, die voornamelijk aardgas is, maar die ook cokeskool in de staalproductie, kerosine in de luchtvaart of diesel in de scheepvaart en het wegvervoer kan zijn.

Er is behoefte aan een ontwerp en een wettelijk kader voor de waterstofmarkt met een duidelijke definitie van de rollen en verantwoordelijkheden van de marktspelers, vergelijkbaar met de huidige gasmarkt.

Daarnaast moet er, geïntegreerd in het marktontwerp, een wettelijk kader met duidelijke definities voor de Guarantees of Origin voor waterstof worden ingevoerd ter ondersteuning van het tariefsysteem, de ontwikkeling van de waterstofmarkt en import/export.

Duidelijkheid van de rollen

TSO 's en DSO's opereren in een gereguleerde omgeving en moeten zich richten op het leveren van eerlijke, betrouwbare en kostengeoriënteerde netdiensten. Een onafhankelijke regelgever met pan-Europees toezicht bepaalt hun vergoedingen. TSO's en DSO 's mogen technisch gezien waterstofopslaginstallaties onderhouden om de bevoorrading te garanderen, maar zij mogen geen commerciële waterstofproductiefaciliteiten exploiteren om belangenconflicten te vermijden.

TSO's mogen kleine waterstofproductie-installaties bedrijven, enkel wanneer ze netdiensten bieden. Waterstofproductie zal in het algemeen door niet-gereguleerde bedrijven gedaan worden.

Fiscale neutraliteit

Het waterstof productietariefsysteem en de clearing pool is geen belasting- en uitgavensysteem en is dus begrotingsneutraal voor de Europese regeringen. Dit maakt het zeer robuust en grotendeels onafhankelijk van politieke veranderingen, zoals te zien is bij de Duitse wet op hernieuwbare energie, die een vergelijkbare structuur heeft en die al lange tijd door verschillende Duitse regeringen wordt gesteund. Een dergelijke beleidsstabiliteit is belangrijk om stop-and-go-effecten die elders worden gezien, te voorkomen.

Sunset Clausule

Een zogenaamde sunset clausule zal voorgesteld worden, die bepaalt dat het productietariefmechanisme voor schone waterstof in 2030 eindigt. Een voortijdige evaluatie zal bepalen of een beperkte verlenging tot 2035 noodzakelijk is.

Samenvatting

In dit document wordt een nieuw beleidskader en een routekaart voor de ontwikkeling van een waterstofmarkt beschreven. De Clean Hydrogen Act wordt voorgesteld, bestaande uit een Hydrogen Infrastructure Act en een Hydrogen Market Act.

Het doel van de Hydrogen Infrastructure Act is 'Een geavanceerde Europese waterstofinfrastructuur die de aardgasinfrastructuur in 2050 volledig heeft vervangen' met de volgende routekaart:

- In een eerste fase tot 2035 kan waterstof tot maximaal 6% in de gasinfrastructuur worden bijgemengd.
- Tot 2035 zal een speciale pan-Europese waterstofruggengraat, een Hydrogen Backbone, samen met waterstofregio's, Hydrogen Valleys, worden gerealiseerd, deels door het ombouwen van de aardgasinfrastructuur en deels door het realiseren van een nieuwe waterstofinfrastructuur.
- Ten slotte zal de aardgasinfrastructuur tot 2050 volledig worden omgezet naar waterstof.

Het doel van de Hydrogen Market Act is 'Een volwassen markt voor betaalbare en betrouwbare hernieuwbare waterstof die aardgas en andere fossiele brandstoffen volledig heeft vervangen':

- Tot 2035 wordt de waterstofproductie gestimuleerd door productietarieven en een Europese clearingpool, voor het bijmengen in het gasnet en het voeden in het waterstofnet.
- Tot 2035 wordt de vraag naar waterstof gestimuleerd door de verkoopprijs van waterstof te koppelen aan de prijs van het alternatief dat het vervangt, voornamelijk de aardgasprijs.
- Vanaf 2035 zal er een waterstofmarkt worden ontwikkeld, waardoor het productietariefsysteem overbodig wordt en de prijsstelling voor waterstof wordt overgenomen.
- Er moet een Waterstof Guarantee of Origin-systeem worden ingevoerd:
  - tot 2035, om het koolstofgehalte van de waterstof te bepalen voor de aanvaardingsdrempel en het productietariefsysteem.
  - na 2035, om de handel in de vermeden broeikasgasemissies mogelijk te maken.

Afbeelding 5 toont de Clean Hydrogen Act, de Hydrogen Infrastructure Act en de Hydrogen Market Act, en de elementen van de routekaart die hieronder vallen.

Afbeelding 5: Clean Hydrogen Act met routekaarten voor de ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur en de waterstofmarkt

Het voorgestelde rechtskader en de routekaart zijn nieuw en innovatief en verschillen fundamenteel van het huidige beleid en de huidige rechtskaders van de EU. Het uitgangspunt en de voorwaarde voor dit rechtskader is dat de EU, in onderlinge samenwerking met de lidstaten, de handelende en leidende partij is bij de ontwikkeling van een waterstofmarkt. De traditionele energiemarkten ontwikkelden zich eerst (sub-)nationaal en werden later verbreed en geharmoniseerd. De reden voor deze nieuwe aanpak is dat waterstof de dominante, internationaal verhandelbare grondstof zal worden, waarbij grote hoeveelheden waterstof in de EU zullen worden getransporteerd en over de grenzen heen zullen worden verhandeld, samen met grote import- en exportvolumes van buiten de EU. Met het voorgestelde EU-rechtskader en de roadmap zijn wij er vast van overtuigd dat een energiesysteem met nuluitstoot sneller, goedkoper en betrouwbaarder kan worden gerealiseerd. Dit EU-brede systeem, dat ook openstaat voor toegang van landen buiten de Europese Unie, kan helpen om een innovatieve, concurrerende, schone en duurzame waterstofindustrie en -markt op te bouwen.

Referenties

Cavani, M. (April 2020). Gas network modelling for a multi-gas system. Torino: PhD Thesis, Politecnico di Torino.
certifhy. (n.d.). Retrieved from https://www.certifhy.eu/

Enagás, E. F. (2020, July 17). European Hydrogen Backbone, how a dedicated hydrogen infrastructure can be created. Retrieved from https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/european-hydrogen-backbone/

EuropeanCommission. (2020, July 8). Retrieved from A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf

FCHJU. (2019). Hydrogen Roadmap Europe, a sustainable pathway for the european energy transition. Retrieved from https://fch.europa.eu

Federal Ministry for the Environment, N. C. (2000, March). Retrieved from Act on Granting Priority to Renewable Energy Sources (Renewable Energy Sources Act): https://web.archive.org/web/20160921012408/http:/www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/res-act.pdf

GRTGaz. (2019, June). Retrieved from Technical and economic conditions for injecting hydrogen into natural gas networks: https://www.grtgaz.com/fileadmin/plaquettes/en/2019/Technical-economic-conditions-for-injecting-hydrogen-into-natural-gas-networks-report2019.pdf

HydrogenCouncil. (2017, November). Hydrogen scaling up; a sustainable pathway to the global energy transition. Retrieved from http://hydrogencouncil.com/study-hydrogen-scaling-up/

HydrogenCouncil. (2020, January). Path to Hydrogen Competitiveness, A cost perspective. Retrieved from https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf

Melling, A. (2010). Natural gas pricing and its future, Europe as the battleground. Retrieved from Carnegie Endowment for International Peace: https://carnegieendowment.org/files/gas_pricing_europe.pdf

van Wijk, A., & Chatzimarkakis, J. (2020, March). Retrieved from Green Hydrogen for a European Green Deal; A 2x40 GW Initiative: https://hydrogeneurope.eu/sites/default/files/Hydrogen%20Europe_2x40%20GW%20Green%20H2%20Initative%20Paper.pdf

van Wijk, A., Wouters, F., Rachidi, S., & Ikken, B. (2019, November). A North Africa - Europe Hydrogen Manifesto. Retrieved from DII-desertenergy: https://dii-desertenergy.org/wp-content/uploads/2019/12/Dii-hydrogen-study-November-2019.pdf

De auteurs

Frank Wouters *leidt al meer dan dertig jaar duurzame energieprojecten, transacties en technologieontwikkeling. Tussen 2012 en 2014 was hij Plaatsvervangend Directeur-Generaal van de International Renewable Energy Agency (IRENA), de eerste wereldwijde intergouvernementele organisatie die zich bezighoudt met alle hernieuwbare energiebronnen. Frank Wouters zat in de raad van bestuur van energiebedrijven in Europa, de VS, Afrika, Australië en Azië en hij is momenteel werkzaam als Global Lead Low-Carbon Hydrogen in Worley en directeur van het EU GCC Clean Energy Technology Network. Dit platform heeft tot doel partnerschappen voor schone energie tussen Europa en de Golf te bevorderen. Hij adviseert de Wereldbank over duurzame energie, is Fellow bij Payne Institute, Colorado School of Mines, is Board Advisor van Vast Solar, Sydney, en is non-executive Board Director van Gore Street Capital, Londen. De standpunten die in dit document naar voren worden gebracht zijn van hem en geven niet noodzakelijkerwijs het standpunt van Worley weer. e-mail: frank@frank-wouters.com*

Ad van Wijk *is deeltijdhoogleraar Future Energy Systems aan de TU Delft. Hij is gasthoogleraar bij KWR Water Research Institute, waar hij het onderzoeksprogramma Energy and Water ontwikkelt en implementeert. Hij is speciaal adviseur voor Hydrogen Europa, dat de Europese industrie, nationale verenigingen en onderzoekscentra vertegenwoordigt, om samen met de EU-commissie een Europees waterstofbeleid te ontwikkelen. Hij is waterstofambassadeur bij de 'New Energy Coalition' om de groene waterstofeconomie in Noord-Nederland te realiseren. Van Wijk bekleedt verschillende adviserende en toezichthoudende functies. In 1984 richtte Van Wijk het bedrijf Ecofys op, dat uiteindelijk uitgroeide tot Econcern. Econcern heeft veel nieuwe duurzame energieproducten, -diensten en -projecten ontwikkeld. Voorbeelden hiervan zijn het 120 MW offshore windmolenpark Prinses Amalia in de Noordzee, verschillende multi-MW zonneparken in Spanje en een biomethanolfabriek in Nederland, de grootste tweede-generatie biomassa-installatie ter wereld. Van Wijk won vele prestigieuze prijzen voor uitstekend ondernemerschap. Hij was onder meer Nederlands ondernemer van het jaar in 2007 en Nederlands top-executive in 2008. Ad van Wijk is in 2019 benoemd tot Honorary Fellow bij KWR Water Research Institute. Aan de TU Delft richt professor Van Wijk zich op de energiesystemen van de toekomst met bijzondere aandacht voor onderzoek naar waterstof- en brandstofcelauto's en de realisatie van 'the Green Village'. www.thegreenvillage.org*

Volg Ad van Wijk op twitter @advanwijk of via zijn website www.profadvanwijk.com - Nederland e-mail: a.j.m.vanwijk@tudelft.nl