

## Auteurs

Peter Luscure<sup>a,b</sup> Ad van Wijk<sup>a,c</sup>

a. Delft University of Technology,

b. Inspired Ambitions

c. KWR Waterresearch

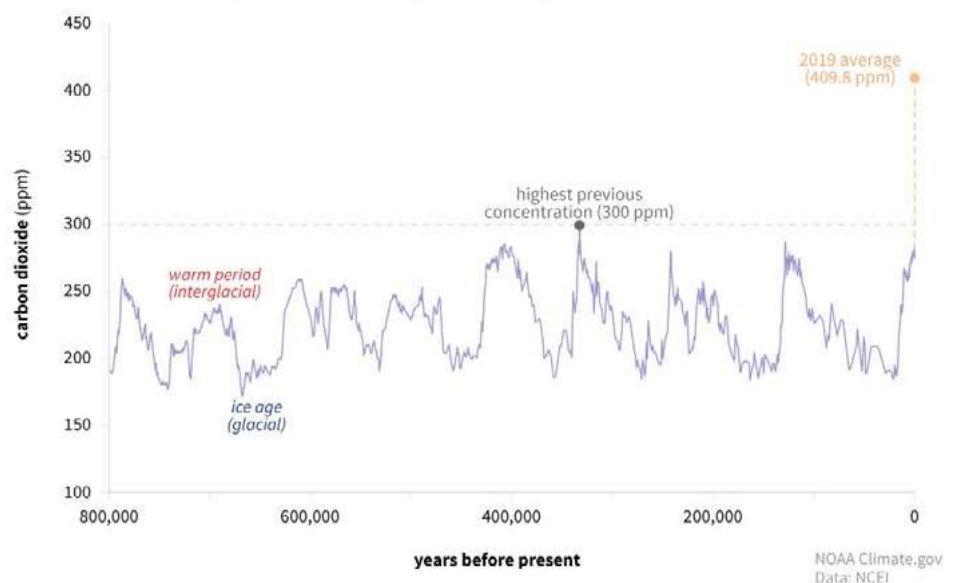
# Waterstof: de weg naar een hernieuwbare energie-economie

*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<sub>2</sub>-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 leidt mogelijk tot een op hol geslagen klimaateffect.[3]*

Het verlagen van de CO<sub>2</sub>-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 is voldoende voor de

## CARBON DIOXIDE OVER 800,000 YEARS



**Figuur 1:** De wereldwijde emissies nemen toe, hetgeen leidt tot een temperatuurstijging van meer dan 2°C. Dat leidt mogelijk tot een op hol geslagen klimaateffect.

wereldbehoefte. [5] 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. 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 energieparks 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% wordt bereikt [8]. 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 gecompriemd 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.

## Hydrogen Rocks!

Het nieuwe boek Hydrogen Rocks, dat op 22 april jl is aangeboden aan ZKH Koning Willem Alexander bij de TU Delft, bespreekt de mogelijkheden van waterstof bij een mondiale hernieuwbare energietransitie en de positie van Nederland daarin vanuit een variëteit van aandachtspunten. Peter Luscuere en Ad van Wijk hebben het eerste hoofdstuk geschreven ter inspiratie, waarna meer dan 40 auteurs in zo'n 30 hoofdstukken hun visie vanuit hun eigen fascinatie hebben gegeven. Het gaat hierbij om mensen uit: wetenschap, onderzoek, advisering, industrie, beleid, normering, dienstverlening, energiebedrijven, distributie, netbeheer, investeringsmaatschappij, bancaire wereld, infrastructuur, geopolitiek en economie, overheid, omroep en museale wereld.

Door de relatief korte hoofdstukken is het een makkelijk toegankelijk werk, waarbij vele aspecten aan de orde komen met interessante bijdragen voor zowel leken als gevorderden op dit zeer actuele thema.

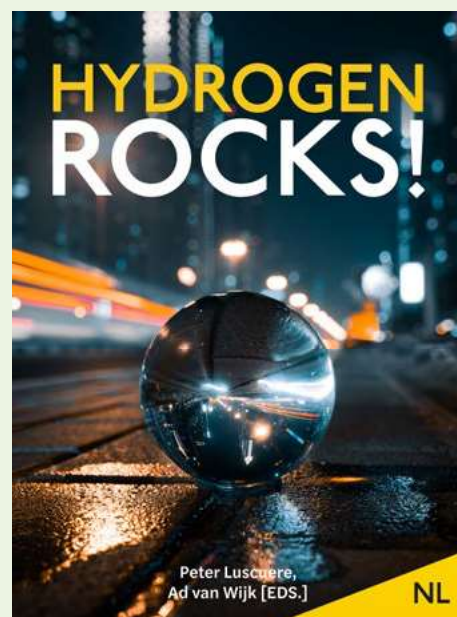
Het boek zal ook nog in een Engelstalige versie verschijnen en beide zijn te bestellen als 'print on demand' bij iedere boekhandel. Ze zullen ook gratis te downloaden zijn.

Ter inleiding zijn twee hoofdstukken uit dit boek in TVVL-Magazine opgenomen:

1. Waterstof: De weg naar een hernieuwbare energie-economie, een lange termijn-perspectief. Peter Luscuere en Ad van Wijk
2. Verborgene vooronderstellingen en andere misvattingen rond de waterstofeconomie. Peter Luscuere, Henk Willem van Dorp & Wart Luscuere

Het boek – met voorwoord van EU-commissaris Frans Timmermans – is een uitgave door TU Delft ism Van Dorp, Orange Climate, Beyond Sustainability, Inspired Ambitions en TVVL.

ISBN/EAN: 978-94-6366-385-4  
Prof.ir. Peter Luscuere





**Figuur 2:** Als voorbeeld moge de Olympische Spelen in Tokyo 2021 dienen die draaien op waterstof uit Australië, getransporteerd in vloeibare vorm.

#### 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 daarbij 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 auto brandstofcel 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 €/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. De geproduceerde energie

moet getransporteerd en op de juiste tijd en plaats bij de klant afgeleverd worden. Vandaar dat de gehele energiebevoorradingketen 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 overadig 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 energiebevoorradingketen, 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 zijn [11]. 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 A.J.M. van Wijk en F. Wouters [7] te lezen. Daarin komt naar voren dat investeringen in Noord-Afrika de lokale economie en welzijn bevorderen door ze in een gemeenschappelijke onderneming te betrekken. Daardoor neemt de immigratie-druk af, 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.

**Figuur 3:** Investerings in zonne-energie voor waterstofproductie in Noord-Afrika kan de lokale economie en welzijn bevorderen door ze in een gemeenschappelijke onderneming te betrekken.



#### Referenties

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](https://en.wikipedia.org/wiki/Runaway_greenhouse_effect)
4. <http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/2015-11-Solar-Update-Newsletter.pdf>
5. Ad van Wijk, Els van der Roest, Jos Boere: Solar power to the people, IOS Press BV, 2017.
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
10. [https://www.eerstekamer.nl/wetsvoorstel/34534\\_initiatiefvoorstel\\_klaver](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.