

WATERSTOF HELPT, MAAR WAARMEE?

In dit nummer vindt u vier artikelen over waterstof. Om te beginnen dit korte inleidende overzicht, dat ingaat op het waarom van waterstof in de energie- en grondstofvoorziening en op de verschillende rollen die waterstof daarin kan vervullen. Er wordt op veel fronten onderzoek gedaan aan waterstof: fundamenteel onderzoek, maar ook toegepast, beleids-, economisch onderzoek et cetera. In drie artikelen elders in dit nummer wordt ingegaan op onderzoek naar waterstof waarbij veel natuurkunde komt kijken: grootschalige ondergrondse opslag van waterstof in zoutcavernes, de productie van waterstof met elektriciteit in elektrolyzers en de toepassing van waterstof in brandstofcellen.

Waarom waterstof?

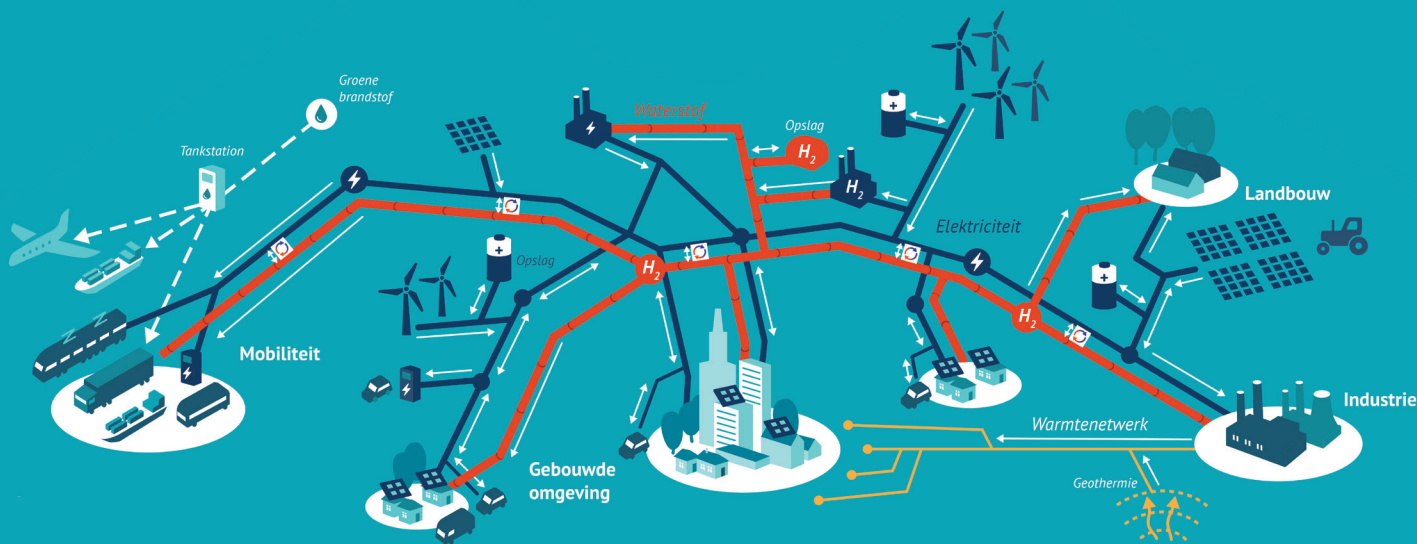
Een energievoorziening is het geheel van productie, transport, opslag, conversies en eindgebruik van de verschillende energiedragers. De huidige energievoorziening is nog vooral op fossiele brandstoffen gebaseerd [1]. Onder druk van de mondiale klimaatcrisis sturen overheden aan op een klimaatneutrale energievoorziening. Om de verhoging van de mondiale temperatuur ruim onder de 2°C te houden moet de emissie van broeikasgassen zoals CO₂ fors omlaag, naar ‘netto nul’ in 2050. Dat het energievoorzieningssysteem daardoor drastisch gaat veranderen en dat waterstof daarin een rol heeft, staat niet ter discussie. Welke rollen waterstof dan precies krijgt, voor welke toepassingen en in welke omvang, is echter nog lang geen uitgemaakte zaak. In dit korte inleidende artikel wordt op het waarom en op die verschillende mogelijke rollen ingegaan. Voor de goede orde: waar in dit artikel waterstof staat, wordt steeds moleculair waterstof (H₂) bedoeld.

Verschillende ‘kleuren’ waterstof

Waterstof is een energiedrager (dus geen energiebron!) waarbij bij eind-

gebruik geen broeikasgassen vrijkomen [2]. Er zijn verschillende manieren om waterstof te maken. Dat kan bijvoorbeeld met een elektrolyser die aangesloten is op een duurzame elektriciteitsbron, zoals een windpark of een zonnecelstelsel. De gangbare term daarvoor is groene waterstof. De CO₂-voetafdruk van de hele keten is in dat geval heel klein. Je kunt ook waterstof maken uit aardgas met bijvoorbeeld een *steam methane reformer* (SMR), en de vrijkomende CO₂ in de atmosfeer lozen. Dat wordt grijze waterstof genoemd. Dit is wat nu gangbaar is in de industrie. In dat geval is de CO₂-voetafdruk over de keten groter dan die van aardgas; voor de conversie is immers ook energie nodig. Je kunt die CO₂ ook afvangen en permanent opslaan in een leeg aardgasveld, de term daarvoor is blauwe waterstof. De CO₂-voetafdruk daarvan is aanzienlijk kleiner dan bij grijs, maar is niet nul, en is met name afhankelijk van de methaanlekken in de voorafgaande aardgasketen en van het afvangpercentage van CO₂ bij de SMR.

Met andere woorden: of en in hoeverre waterstof een oplossing is voor het klimaatprobleem hangt af van de manier waarop het wordt gemaakt. Als dat wordt gedaan op een (bijna



Het energiesysteem van de toekomst.

geheel klimaatneutrale manier dan past waterstof als energiedrager in een klimaatneutraal energiesysteem.

Toepassingen van waterstof

Waterstof is natuurlijk niet de enige energiedrager. Ook bijvoorbeeld elektriciteit zal als energiedrager een belangrijke rol spelen in zo'n klimaatneutraal energiesysteem. Die elektriciteit wordt dan geproduceerd vanuit hernieuwbare bronnen, zoals de al genoemde wind en zon. Een belangrijk kenmerk van dat soort bronnen is dat ze aanbodgestuurd zijn en niet vraagvolgend zoals de elektriciteitscentrales in het huidige elektriciteitssysteem. De consequentie daarvan is dat er in een systeem met een groeiende bijdrage van wind en zon meer en meer momenten in het jaar zullen zijn waarop er meer elektriciteitsaanbod is dan vraag en omgekeerd. Waterstof kan de oplossing leveren voor dat balansprobleem, vooral bij seizoensopslag van energie.

Daarnaast kan waterstof worden gebruikt voor toepassingen die zich niet of alleen tegen hoge kosten laten elektrificeren. Denk aan ver en/of zwaar transport met bijvoorbeeld schepen en trucks, aan de warmtevoorziening van oudere gebouwen

en aan hoog-temperatuurprocessen in de industrie. En er is ook nog de vraag naar waterstof als grondstof voor de industrie.

Waterstof kan dus het balansprobleem oplossen, toegepast worden voor moeilijk te elektrificeren situaties en als grondstof in de industrie. Voor de eerste twee toepassingen geldt dat het ook anders kan dan met waterstof. Veel hangt af van de kosten, zowel van waterstof als van alternatieven. En die kostenontwikkeling hangt weer samen met innovaties vanuit onder andere natuurkundig onderzoek.

Vier scenario's

Om uitspraken te kunnen doen over de toekomst van het energiesysteem en de rol van waterstof daarin moeten veel aannames worden gedaan. Samenhangende sets van aannames vormen scenario's. Een rapport van Netbeheer Nederland *Het energiesysteem van de toekomst – Integrale infrastructuurverkenning 2030-2050*, kortweg verder *II3050* genoemd, schetst voor het Nederlands Klimaatakkoord vier klimaatneutrale scenario's, die de hoeken van het speelveld opspannen [3]. Ergens op dat speelveld zal de werkelijkheid van 2050 liggen, zo is het achterliggende idee. De scenario's worden ook door

de Rijksoverheid gebruikt [4].

Die vier scenario's gaan elk uit van een ander beleid, van regionale sturing waarin de regio's in Nederland zo veel mogelijk autarkisch worden qua energievoorziening en ook de industrie in Nederland flink krimpt, tot internationale sturing waarbij de hele wereld samenwerkt aan klimaatneutraliteit, met als gevolg voor Nederland veel import van klimaatneutrale energiedragers zoals waterstof. De andere twee scenario's zijn nationale sturing en Europese sturing.

De *II3050*-scenario's regionale sturing en internationale sturing hebben respectievelijk de kleinste en de grootste inzet van waterstof in het energiesysteem, zie tabel 1. Dat van de andere twee scenario's ligt daar tussenin. Ter vergelijking: het huidige gebruik van (grijze) waterstof door de Nederlandse industrie en raffinaderijen is ongeveer 180 PJ [5] (peta is 10^{15}). Bij de andere toepassingen die in de tabel staan gaat het nu nog om demonstratieprojecten met heel weinig huidig waterstofgebruik vergeleken bij de industrie.

Waterstof kan zowel direct als brandstof of grondstof worden ingezet als gebruikt worden voor productie van andere brandstoffen zoals in de toekomst de productie van synthe-

Toepassing van waterstof	Regionale sturing (PJ)	Internationale sturing (PJ)
1. Industrie – grondstof	14	134
2. Industrie – brandstof	83	264
3. Gebouwde omgeving (warmte)	0	165
4. Mobiliteit (weg en binnenvaart)	12	104
5. Elektriciteitsproductie	234	403
Totaal	343	1070
Daarnaast:		
6. Bunkering (scheepvaart) en productie van synthetische kerosine (luchtvaart)	523	1055

Tabel 1. Waterstofgebruik in Nederland voor de verschillende toepassingen in het energiesysteem in 2050 [4].

tische kerosine. In tabel 1 betekent bunkering het tanken van schepen, het gebruik van die brandstoffen vindt voor een belangrijk deel plaats buiten Nederland. Dat laatste geldt ook voor geproduceerde synthetische kerosine. Om die reden staan ze op een aparte regel in de tabel. Conclusies uit de cijfers in tabel 1 zijn:

- Het totale gebruik van waterstof in Nederland zal fors toenemen.
- De scenario's verschillen sterk in het totale waterstofgebruik.
- Dat geldt ook voor de verschillende toepassingen, bijvoorbeeld bij warmtevoorziening van de gebouwde omgeving.
- Waterstof wordt belangrijk voor flexibele elektriciteitsproductie.
- De grootste onzekerheid qua volumes zit in het gebruik van waterstof als brandstof in de lucht- en scheepvaart.

1. Waterstof als grondstof voor de industrie

Grijze waterstof wordt momenteel al op grote schaal gebruikt als

grondstof in de industrie, met name voor productie van ammoniak in de kunstmestindustrie en voor methanolproductie, daarnaast bij raffinaderijen en krakers van olieproducten [5].

De Europese Commissie heeft – als onderdeel van het beleidspakket om 55% CO₂-emissiereductie in 2030 te realiseren – voorgesteld dat 50% van alle industriële waterstofgebruik in de Europese Unie in 2030 groen moet zijn [6].

Nieuwe industriële toepassingen voor waterstof als grondstof zijn er ook. Voor de productie van staal uit ijzererts wordt nu bijvoorbeeld koolstof uit steenkool gebruikt als chemische reductor. In de toekomst kan dat ook met waterstof, de eerste proeffabrieken worden inmiddels gebouwd. Tata Steel heeft in 2020 een plan gepubliceerd om over te schakelen op waterstof voor de staalproductie uit ijzererts. Verder wordt er gewerkt aan synthetische brandstoffen, waarbij waterstof en afgevangen CO₂ wordt omgezet naar bijvoorbeeld synthetische kerosine. Op de langere termijn kan dat met CO₂ uit de lucht met *direct air capture* (DAC), zo is het idee.

Ook voor productie van biobrandstoffen is waterstof nodig.

2, 3 en 4. Brandstof: industrie, gebouwde omgeving, mobiliteit

Naast het gebruik als grondstof kan waterstof ook worden gebruikt als brandstof in de industrie, de gebouwde omgeving en in mobiliteit. Bijvoorbeeld als vervanger van het aardgas dat nu wordt gebruikt als brandstof in de industrie in fornuizen en boilers voor hoogtemperatuurprocessen. Maar ook voor warmteproductie in de gebouwde omgeving als vervanger van het huidige aardgas, zowel in hr-ketels of hybride warmtepompen in gebouwen, als in pieklastketels in warmtedistributienetten. Bij mobiliteit kan waterstof als vervanger worden gebruikt voor de huidige vloeibare brandstoffen zoals diesel en benzine, bijvoorbeeld in combinatie met een brandstofcel (die de waterstof gebruikt om elektriciteit te produceren).

Tabel 1 laat zien dat inzet van waterstof voor warmteproductie in de gebouwde omgeving nog ter discussie staat, te zien aan de ondergrens van nul in 2050 bij regionale sturing.

5. Elektriciteitsproductie en energieopslag

Waterstof kan worden gebruikt om overschotten en tekorten van elektriciteit op te vangen in een systeem met steeds meer wind en zon, vooral voor grootschalige seizoensopslag. Kortdurende opslag kan ook met andere technieken, zoals accu's. Omzetting van elektriciteit in waterstof vergt conversie met een elektrolyser, en omgekeerd (productie van elektriciteit met waterstof) met een brandstofcel of een gasturbine. Bij een volledige cyclus (elektriciteit → H₂ → elektriciteit) gaat meer dan de helft van de energie verloren en komt vrij in de vorm van restwarmte. Naar de vermindering van die verliezen wordt onderzoek gedaan.

Daarnaast is er ook opslag nodig. In Nederland wordt daarvoor ondergrondse opslag in zoutcavernes voorzien, in combinatie met een landelijk waterstoftransportsysteem van pijpleidingen, de waterstofbackbone. De waterstof hoeft niet per se in Nederland te worden geproduceerd, een (wellicht groot) deel zal worden geïmporteerd.

6. Scheepvaart en luchtvaart

Voor de mobiliteit is waterstof een oplossing voor met name ver en zwaar transport en mogelijk ook voor personenvervoer. Op zichzelf kan waterstof direct in een verbrandingsmotor worden verbrand, maar meestal wordt uitgegaan van toepassing in een brandstofcel voor elektrische aandrijving. Ook kan waterstof in de vorm van een waterstofdrager zoals ammoniak of methanol worden ingezet. Redenen voor dat laatste zijn de lage energiedichtheid (per eenheid volume) van waterstofgas en de zeer lage temperatuur waarbij het vloeibaar wordt.

Transport van energie over de wereld

In het huidige wereldenergiesysteem worden grote hoeveelheden aardolie, aardgas en steenkool over de wereld getransporteerd met tankers en leidingen. Het totale mondiaal energiegebruik in 2019 was 585 exajoule

“Waterstof kan worden gebruikt om overschotten en tekorten van elektriciteit op te vangen in een systeem met steeds meer wind en zon, vooral voor grootschalige seizoensopslag.”

(exa is 10¹⁸). De transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem vergt ook een transitie van dat mondiale energietransport. Waterstof – en waterstofdragers zoals ammoniak – zullen daar een rol in gaan spelen zo is de algemene verwachting. De elektriciteitsproductie met wind en zon ten behoeve van de productie van waterstof vergt immers ruimte voor de benodigde zonnepanelen en windturbines. Andere delen van de wereld, die soms ook meer wind- en zonnuren hebben, beschikken over meer ruimte dan Noordwest-Europa. Het is goed mogelijk om die elektriciteit te produceren in Afrika, het Midden-Oosten, Zuid-Amerika en Australië, en die energie vervolgens in de vorm van waterstof (dragers) over de wereld te transporteren. Klinkt dit als verre toekomstmuziek? Dat is het niet. Japan en Australië hebben er bijvoorbeeld al afspraken over gemaakt en ook grote mondiale brandstofbedrijven en Nederlandse havenbedrijven zijn daar mee bezig.

Tot slot

Het energievoorzieningssysteem gaat drastisch veranderen, naar klimaatneutraal in 2050. Waterstofmoleculen zullen een rol spelen in dat toekomstige systeem. Welke rollen dat precies zullen zijn, en in welke omvang, is nog geen uitgemaakte zaak. Om daar meer duidelijkheid over te krijgen is onderzoek en innovatie nodig. In de andere artikelen over waterstof in dit

nummer staan drie van die onderzoeksgebieden centraal.

Cor Leguijt is natuurkundige en gepromoveerd (1995) op zonnecelonderzoek. Na een carrière bij Nuon en rechtsvoorgangers is hij in 2007 bij onderzoeks- en adviesbureau CE Delft gaan werken. Cor is sectorleider Energie en Brandstoffen, en themaleider Schone Gassen. leguijt@ce.nl

REFERENTIES EN NOTEN

- 1 In 2020 was 11,5% van de energie in Nederland duurzaam www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2021/49/bijstelling-aandeel-hernieuwbare-energie-2020, en de rest gebaseerd op fossiele energiebronnen. Voorlopige cijfers voor 2021: 12,5% van de energie in Nederland was duurzaam, bij elektriciteit was dat circa 33% <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/126179/nederland-produceert-25-procent-meer-stroom-met-zonnepanelen-ruim-33-procent-stroom-is-duurzaam>.
- 2 Waterstof draagt als molecuul wel indirect bij aan klimaatverandering doordat het een effect in de atmosfeer heeft op methaan en op troposferische ozon. Het is zeer waarschijnlijk dat het een klein opwarmend effect heeft, maar er is nog veel onzekerheid over de exacte cijfers. Het betekent wel dat waterstoflekage geminimaliseerd dient te worden. Zie bijvoorbeeld: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/760538/Hydrogen_atmospheric_impact_report.pdf.
- 3 Studie integraal energiesysteem 2050: Kompas bij urgente keuzes energietransitie, 29 april 2021 www.netbeheernederland.nl/nieuws/studie-integraal-energiesysteem-2050-kompas-bij-urgente-keuzes-energietransitie-1455.
- 4 www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/03/31/klimaatneutrale-energiescenario-2050.
- 5 M. Weeda en R. Segers, *The Dutch hydrogen balance, and the current and future representation of hydrogen in the energy statistics*, TNO (2020).
- 6 Zie voor een analyse van dat voorstel: <https://ce.nl/publicaties/50-green-hydrogen-for-dutch-industry>.