

Waterstof in de energietransitie

Waterstof is een hot item in de energietransitie-discussie en wordt vaak genoemd als de oplossing voor het vraagstuk. De belangrijkste argumenten die worden genoemd:

- Waterstof is schoon en CO₂neutraal.
- Het waterstof kan via de bestaande aardgasinfrastructuur worden getransporteerd naar de woningen en daar in speciale ketels worden "verbrand" om de woning via de bestaande CV installatie te verwarmen.
- Waterstof kan middels elektrolyse door windmolens op zee worden geproduceerd.

Het is een goed verhaal en waterstof zal in de toekomst zeker een rol gaan spelen in de energietransitie. In dit artikel willen we echter uitleggen waarom duurzaam geproduceerd waterstof niet de oplossing van de energietransitie kan zijn.

Hoe schoon en CO₂ neutraal is waterstof?

Waterstof is het meest voorkomende element in het universum. Ook op aarde is het een veel voorkomend element. Ongeveer 2/3 van de moleculen op aarde bevat één of meer waterstofatomen. Het waterstofmolecuul verbindt zich echter graag met andere moleculen waardoor het in zuivere vorm op aarde nauwelijks voorkomt. De bekendste en meest voorkomende verbinding is water wat bestaat uit 2 waterstofatomen en 1 zuurstofatoom (H₂O).

Waterstof is geen energiebron maar een energiedrager. Bij de omzetting van waterstof naar water in een brandstofcel of bij verbranding komt energie¹ vrij in de vorm van warmte. Deze energie kan worden gebruikt als warmte, voor opwekking van elektrische energie of worden omgezet in beweging. De verbranding van waterstof is schoon en CO₂ vrij met als restproduct (heet) water. Of de energie die wordt opgewekt bij de verbranding van waterstof schoon en CO₂neutraal is hangt echter af van de extractiemethode waarmee het waterstof is geïsoleerd.

Om de energie van waterstof te kunnen gebruiken moet het geïsoleerd (zuiver) zijn. Omdat waterstof op aarde vrijwel alleen gebonden voorkomt moet het worden geëxtraheerd uit componenten die waterstof bevatten. Het extraheren kost vrij veel energie en is in slechts enkele gevallen potentieel CO₂neutraal.

Op dit moment² wordt waterstof vooral gemaakt uit aardgas door methaan en stoom met elkaar te laten reageren³. Dit is geen CO₂vrije productie en energetisch levert het verliezen op. Wat het laatste betreft is het dus verstandiger aardgas direct te verbranden.

Er zijn in potentie CO₂neutrale conversietechnieken. Een aantal technieken zoals kunstmatige fotosynthese of biologische waterstof zijn nog in de onderzoekfase, het zal nog vele jaren vergen eer hiermee op grote schaal waterstof kan worden geproduceerd en waarschijnlijk zal de schaal nooit voldoende zijn om te voorzien in de vraag. Een andere techniek, het zuurstofvrij ontleden van biomassa tot waterstof en koolstof kost erg veel energie en is voorlopig geen rendabele techniek.

De bekendste en eenvoudigste CO₂neutrale conversietechniek is elektrolyse. Een gelijkstroom door wordt water gevoerd waarbij zuurstofgas en waterstofgas wordt gevormd en separaat worden afgevangen. Op industriële schaal ligt op dit moment de efficiëntie van deze techniek tussen 50% en 70% waardoor het voor de industrie economisch voordeliger is waterstof te produceren uit gas. Waterstof geproduceerd middels elektrolyse is pas CO₂ neutraal als de elektriciteit in het proces wordt opgewekt zonder CO₂ uitstoot, dus door energie uit waterkracht, zonne-energie, windenergie of kernenergie. Waterstof geproduceerd zonder dat CO₂ vrij komt wordt groene waterstof genoemd.

Conclusie: Het verbranden van waterstof is schoon en vormt geen CO₂. De productiemethode van waterstof bepaald echter of het proces CO₂ neutraal is. Op dit moment is er nauwelijks groene waterstof en is het voor de industrie nog niet rendabel groene waterstof te produceren.

Waterstof via de bestaande aardgasinfrastructuur?

Hoewel er nog veel onzeker is, verwachten de Nederlandse netbeheerders de bestaande aardgasnetwerken geschikt te kunnen maken voor waterstof. Belangrijke vraag is of de capaciteit van het netwerk voldoende is omdat voor 1 m³ aardgas bij dezelfde druk 3 m³ waterstof door hetzelfde netwerk moet. Een grote operatie wordt het ontwikkelen van het vervangen van de gasmeter in de woning en de omschakeling naar een ander gas in het systeem. De grote vraag is of en hoe het vervangen van aardgas in het netwerk door waterstofgas gefaseerd kan worden uitgevoerd?

De aanpassingen kosten de netwerkbeheerders volgens een voorzichtige schatting 700 miljoen euro. De grootste kosten zijn echter voor de eindgebruiker en betreffen het vervangen van het verwarmingstoestel en de te verwachten jaarlijkse netwerkkosten die tot 50% kunnen stijgen.

Conclusie: De netwerkbeheerders verwachten dat het bestaande netwerk geschikt kan worden gemaakt voor waterstof. De capaciteit is echter een risico en de jaarlijkse netwerkkosten voor de eindgebruiker zullen naar verwachting aanzienlijk stijgen.

Kunnen windmolens op zee het waterstof produceren?

Windmolens op land en op zee produceren elektriciteit wat op dit moment het landelijke elektriciteitsnetwerk voedt. Met elektriciteit kan door middel van elektrolyse waterstof worden geproduceerd. Het eenvoudige antwoord op bovenstaande vraag is dus: Ja, windmolens op zee kunnen waterstof produceren. De vervolgvragen zijn dan of er voldoende kan worden geproduceerd om de bestaande Nederlandse woningvoorraad te verwarmen, of het efficiënt is woningen met waterstof te verwarmen en of het efficiënt is om waterstof op grote schaal te produceren? Hieronder zullen deze vervolgvragen worden beantwoord.

Met een eenvoudige rekensom kunnen we globaal berekenen of windmolens voldoende waterstof kunnen produceren om via het bestaande gasleidingnet de Nederlandse woningvoorraad te kunnen voorzien van waterstof voor de verwarming van de woningen.

Om van de bestaande infrastructuur gebruik te kunnen maken moet waterstof in gasvorm worden gebruikt en worden getransporteerd met dezelfde druk als het huidige aardgas. In die vorm is de hoeveelheid energie van waterstof ongeveer 1/3 van aardgas (11 kJ tegen 31,7 kJ). Voor 1 m³ aardgas is dus ongeveer 3 m³ waterstof nodig.

Een gemiddelde woning in Nederland verbruikt 1.270 m³ aardgas, omgerekend naar waterstof is dat 3.810 m³. Nederland telt ongeveer 8 miljoen woningen. Het overgrote deel daarvan wordt met aardgas verwarmd. Laten we er voor deze berekening van uitgaan dat 6 miljoen woningen met waterstof worden verwarmd. De hoeveel waterstof om deze woningvoorraad te verwarmen is dan ongeveer 23 miljard m³.

1 liter waterstofgas maken uit water kost theoretisch 10,6 kJ aan energie. Zonder het rendementsverlies van ca. 25% mee te rekenen kost het produceren van 1 m³ waterstof uit water theoretisch ongeveer 10.600 kJ aan energie = 2,9 kWh.

Het verwarmen van een woning met door elektriciteit geproduceerd waterstofgas kost gemiddeld 3.810 m³ x 2,9 kWh = 11.049 kWh per jaar. Dat is 3x het huidige elektriciteitsverbruik van een gemiddelde woning⁴. Ter vergelijking; het elektriciteitsverbruik door een warmtepomp voor een gemiddelde woning⁵ ligt tussen 2.000 en 3.600 kWh per jaar en is daarmee veel zuiniger met energie.

Om 23 miljard m³ waterstof te produceren is $23 \cdot 10^9 \times 2,9 \text{ kWh} = 66,7 \text{ miljard kWh} = 66.700 \text{ GWh}$ stroom nodig.

De grootste windmolens op zee kunnen op dit moment op vol vermogen 8 MW produceren. Met een gemiddelde van 3700⁶ vollast uren per jaar op zee levert een dergelijke molen per jaar een kleine 30 GWh aan energie. Om de hoeveelheid waterstofgas te produceren zijn 2.223 van deze grote windmolens op zee nodig.

Op dit moment⁷ staan er in het Nederlandse deel van de Noordzee ongeveer 250 windturbines. Op het land staan op dit moment 2.029 windturbines maar met een gemiddelde van 3,5 MWh is de capaciteit op het land beduidend lager en ook de vollasturen is gemiddeld 1.914 uren veel lager dan op zee. Op zee moeten er voor de productie een kleine 2.000 windturbines worden bijgebouwd of op land een kleine 10 duizend. Vrijwel de volledige capaciteit wordt in dat geval gebruikt voor de waterstofproductie waardoor de productie van groene stroom uit windenergie stopt.

Naast het verwarmen van woningen wordt aardgas in Nederland ook gebruikt door de industrie, land- en tuinbouw, handel, diensten en overheid. Deze sectoren gebruiken per jaar ongeveer 3x de hoeveelheid gas van huishoudens. Willen we de totale huidige gasbehoefte dekken met groen waterstofgas geproduceerd door windturbines dan zijn daar grofweg 9 duizend windmolens nodig van elk 8 MW.

Naast de onrealistische hoeveelheid windmolens nodig voor de productie zijn er nog veel praktische en technische problemen zoals het transport van de molen naar het bestaande gasnet en het bijproduct zuiver zuurstof.

Technieken worden verder ontwikkeld en zullen efficiënter worden. In de berekening is hierop al een voorschot genomen waardoor ook in de toekomst niet veel meer waterstofgas per windturbine kan worden geproduceerd. Het produceren van waterstofgas in gebieden met veel zonuren zoals woestijnen zorgt naast capaciteit voor weer hele andere problemen zoals globalisering (verdeling van het gas), transport en waterproblemen.

Conclusie: Het is onmogelijk met windmolens voldoende waterstof te produceren voor de verwarming van een substantieel deel van de Nederlandse woningvoorraad. Het energieverbruik van een gemiddelde woning neemt door de inefficiëntie met een factor 4 toe.

¹ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 250 \text{ kJ/mol}$

² In 2020 wordt 95% van het waterstof in de wereld gemaakt door reforming van aardgas

³ Steam Methane Reforming (SMR)

⁴ Gemiddeld elektriciteitsverbruik van een woning in Nederland is ca. 3.500 kWh.

⁵ Energieverbruik van een warmtepomp is afhankelijk van de thermische isolatie van de woning, de warmteverliezen (ventilatie) en de soort installatie.

⁶ Gemiddelde vollast uren zijn ongeveer 3700 op zee en 1900 op land.

⁷ In 2018 stonden er op zee ongeveer 250 windturbines en op het land 2029.