

WATERSTOF

in de gebouwde omgeving



Waterstof
LAB



THEMATIEK

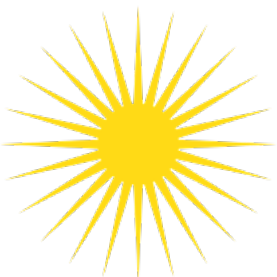
16 februari 2021

Synthese Thematiek WaterstofLab

16 februari 2021 - Er ligt een gemeenschappelijke uitdaging om de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving CO₂-neutraal te maken. In de meeste huishoudens is aardgas nu nog een vanzelfsprekende keuze voor verwarmen en koken. Daar komt de komende 30 jaar verandering in. Niet in één keer, maar geleidelijk en gefaseerd. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat iedere gemeente voor eind 2021 een transitievisie warmte heeft.

Waterstof kan hier als klimaatneutraal gas mogelijk een rol in spelen, maar er zijn ook nog veel vragen. Het WaterstofLab, gestart in 2020, beoogt door het organiseren van dialoog tussen een breed scala aan betrokkenen en belanghebbenden op zoek te gaan naar een meer eenduidig beeld omtrent de rol die waterstof kan spelen als onderdeel van de oplossing voor een CO₂-neutrale gebouwde omgeving, de huidige stand van zaken rond waterstof, en de termijn waarop een bijdrage verwacht zou kunnen worden.

Dit document is het resultaat van de voorbeschuiving. Het geeft weer waar de regiegroep van het WaterstofLab het in grote lijnen over eens is en waar nog de grote vraagtekens zitten. Dit is nadrukkelijk geen eindconclusie, maar een tussenstand op basis van huidige inzichten in de groep. Het is bedoeld als start van een bredere dialoog.



Waterstof in de gebouwde omgeving

Aanleiding voor dialoog

Er ligt een gemeenschappelijke uitdaging om de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving CO₂-neutraal te maken. Op weg daarnaartoe ligt er voor de komende periode al een aanvullende opgave van 3,4 Mton reductie van CO₂-emissies, ten opzichte van lopende ontwikkelingen, om in 2030 uit te komen op maximaal 15,3 Mton in de gebouwde omgeving. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat ongeveer 1,5 miljoen bestaande woningen verduurzaamd worden en dat de CO₂-uitstoot in de bestaande utiliteitsbouw in 2030 met 1 Mton extra worden teruggebracht.

In de meeste huishoudens is aardgas nu nog een vanzelfsprekende keuze voor verwarmen en koken. Daar komt de komende 30 jaar verandering in. Niet in één keer, maar geleidelijk en gefaseerd, door middel van een wijkgerichte aanpak. In het Klimaatakkoord staat dat gemeenten hierbij de regierol krijgen. Hoe een gemeente dit gaat oppakken en in welke wijk ze wanneer aan de slag gaat, beschrijft de gemeente in de transitievisie warmte (TVW). Het gaat daarbij om aspecten als het tijdpad, het schaalniveau en de doelstelling van isoleren en/of aardgasvrij maken van het verduurzamen van 1,5 miljoen woningen en andere gebouwen. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat iedere gemeente voor het eind van 2021 een transitievisie warmte heeft.

Er zijn grofweg drie opties voor de warmtetransitie in de gebouwde omgeving:

1. Overgang naar een “all-electric” systeem met elektrische warmtepompen (EWP)
2. Overgang naar warmtenetten die restwarmte leveren en warmte van hernieuwbare bronnen, inclusief inzet van klimaatneutraal gas in piekcentrales indien nodig,
3. Vervanging van aardgas door klimaatneutraal gas op woningniveau.

Een vierde optie is een hybride variant op woningniveau waarbij gedeeltelijke elektrificatie door een EWP wordt gecombineerd met een gasketel voor het leveren van warmte op momenten van piekvraag.

Een recente ontwikkeling is dat waterstof als klimaatneutraal gas in toenemende mate een rol speelt in de discussies rond verduurzaming van de gebouwde omgeving. Dit wordt door menigeen als verstorend en vertragend ervaren omdat waterstof niet wordt gezien als realistische optie, terwijl anderen in waterstof juist de optimale oplossing zien.

Het WaterstofLab, dat in 2020 is opgestart, beoogt door het organiseren van dialoog tussen een breed scala aan betrokkenen en belanghebbenden op zoek te gaan naar een meer eenduidig beeld omtrent de rol die waterstof kan spelen als onderdeel van de oplossing voor een CO₂-neutrale gebouwde omgeving, de huidige stand van zaken rond waterstof, en de termijn waarop een bijdrage verwacht zou kunnen worden.

Doel van de dialoog

De vraag die we in het WaterstofLab willen beantwoorden, is:

“Hoe creëren we helderheid over de rol van waterstof in de energiemix voor de gebouwde omgeving?”



Het WaterstofLab hanteert de volgende uitgangspunten en randvoorwaarden voor het proces en de inhoudelijke uitkomsten van de activiteiten van het WaterstofLab:

- De toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving is afgewogen en gepositioneerd ten opzichte van de alternatieven; waterstof als middel, niet als doel.
- Maatschappelijke partijen zijn geïnformeerd en betrokken en kunnen realistische keuzes maken. Er ontstaat korte termijn handelingsperspectief met betrekking tot waterstof in de gebouwde omgeving ondanks onzekerheden.
- Samen leren en experimenteren.

Vertrekpunt voor dialoog

Het WaterstofLab wordt gecoördineerd door een procesteam, en wordt inhoudelijk begeleid door een regiegroep waarin mensen op persoonlijke titel deelnemen, maar vanuit hun werk wel een meer dan gemiddeld zicht hebben op het vraagstuk. Voorafgaand aan het brede consultatie- en leertraject dat binnen het WaterstofLab wordt voorzien, is het onderwerp voorbeschouwd vanuit de diverse perspectieven die in de groep zijn vertegenwoordigd, zoals bewoners, de gebouwde omgeving en het energiesysteem. Dit om de dialoog van een kader te voorzien en thema's te identificeren die nadere verdieping behoeven.

Dit document is het resultaat van de voorbeschouwing, en geeft per saldo weer waar de groep het in grote lijnen over eens is, en waar nog de grote vraagtekens zitten. Dit is nadrukkelijk geen eindconclusie, maar een tussenstand op basis van huidige inzichten in de groep. Het is bedoeld als start van een bredere dialoog. Dit vervolproces kan tot verificatie leiden, maar ook tot aanscherping of weerlegging van de bevindingen. Verwacht wordt dat daarbij ook verdere verrijking en uitbreiding van inzichten plaatsvindt met feiten, cijfers en ervaringen.

Hoewel de gebouwde omgeving bestaat uit woningen en utiliteitsbouw is de discussie vooral gevoerd met woningen op het netvlies. Daar is de impact van de warmtetransitie het grootst. Dit is niet alleen omdat de warmtevraag in woningen het grootst is, of dat het aantal woningen veel groter is dan het aantal gebouwen, maar ook en vooral omdat het daar burgers het meest direct treft. De warmtetransitie is daarmee niet alleen een technisch en organisatorisch vraagstuk. Er is ook een grote sociaal-maatschappelijke component vanwege het brede draagvlak dat nodig is bij bewoners om optimaal geachte aanpassingen tijdig of zelfs überhaupt te kunnen realiseren. In het vervolg van het document wordt daarom alleen gesproken over woningen.

Een andere opmerking vooraf is dat de groep zich bewust is van alle discussies die spelen rond bijvoorbeeld de efficiency van inzet van hernieuwbare elektriciteit voor productie van waterstof via elektrolyse, het effect van elektrolyse op CO₂-emissies bij gebruik van elektriciteit uit het net, en de nu nog hoge kosten. De introductie en inzet van waterstof zal echter niet van vandaag op morgen plaatsvinden maar geleidelijk gaan. Het moet dan ook niet worden beoordeeld vanuit de huidige situatie maar tegen de achtergrond van de veranderingen die op gaan treden tijdens de energietransitie. De energiemix in 2030 zal er heel anders uit zien dan die in 2020, en de transitie zal ook daarna gewoon doorgaan. De meest ideale situatie hoeft dan ook niet altijd gelijk te worden gerealiseerd. Er is nu vooral behoefte aan betaalbare, praktisch haalbare en robuuste oplossingen die met voldoende snelheid zijn te realiseren. Wel is van belang dat deze oplossingen het bereiken van een nog idealere situatie niet in de weg staan. Deze overwegingen zijn meegenomen in de bevindingen die in dit document zijn weergegeven. Daarbij is in een aantal voetnoten aanvullende informatie gegeven om waterstof in een transitieperspectief te kunnen plaatsen.



Zienswijze: 'waterstof in de gebouwde omgeving'



Hieronder de punten waar de regiegroep het in grote lijnen over eens is.

1. Waterstof in de gebouwde omgeving gaat over de bestaande bouw, niet over nieuwbouw.

Voor zeer goed geïsoleerde nieuwbouwwoningen is verwarming met een hoge temperatuur verwarmingssysteem op basis van aardgas niet nodig. Op 1 juli 2018 verviel daarom de plicht voor netbeheerders om nieuwe huizen en kleine bedrijfspanden aan te sluiten op het aardgasnet. Uitzonderingen daargelaten geeft de overheid sinds die datum geen vergunning meer voor nieuwbouwplannen met een (aard)gasaansluiting. De discussie over waterstof in de gebouwde omgeving is daarom alleen van belang voor de bestaande bouw.¹

2. Waterstof gaat een belangrijke rol spelen in de energietransitie.

Waterstof is onlosmakelijk verbonden met de behoefte om in de overgang van fossiele naar hernieuwbare energiebronnen steeds meer en op grote schaal gebruik te maken van wind- en zonne-energie. Dit zijn twee van onze belangrijkste, zo niet de belangrijkste alternatieve energiebronnen voor de energietransitie. Vanwege de onbalans tussen aanbod en vraag als gevolg van het variabele karakter van de bronnen, het feit dat niet alle energietoepassingen zijn te elektrificeren, en de grote uitdagingen qua ruimtelijke inpassing en kosten van de benodigde uitbreiding van de elektriciteitsinfrastructuur, zal maar een beperkt potentieel aan wind- en zonne-energie in de energievoorziening zijn te benutten en direct als elektriciteit zijn in te passen. Waterstof, en dan met name de productie door splitsing van water via elektrolyse, kan door het bieden van flexibele elektriciteitsvraag en het vastleggen van de energie in waterstof, de inpassing van hernieuwbare elektriciteit ondersteunen. Tegelijkertijd biedt het een route voor veel grotere benutting van de energiebronnen doordat waterstof ook een bijdrage kan leveren aan invulling van de behoefte aan duurzame klimaatneutrale grondstoffen voor de chemische industrie,² en aan invulling van een zekere mate van blijvende behoefte aan gasvormige en vloeibare brandstoffen voor toepassingen die (voorlopig) niet met een stekker of batterijen zijn te elektrificeren.³

Noten

¹ Een pilot- of demonstratieproject dat is bedoeld om ervaring op te doen onder zo gecontroleerd mogelijke condities kan hier een uitzondering op vormen.

² Vervanging van aardgas als bron voor productie van de huidige "grijze" waterstof die in de industrie voor niet-energetische doeleinden wordt ingezet. Daarnaast is waterstof nodig om samen met duurzame koolstof (circulaire koolstof uit afval en CO₂ uit de lucht) en koolwaterstofbronnen (biomassa) aardolie te vervangen als grondstof voor de chemische industrie.

³ O.a. brandstof voor productie van hoge temperatuur warmte in de industrie, brandstof voor brandstofcel-elektrische voertuigen en grondstof voor productie van synthetische vloeibare brandstoffen voor de luchtvaart en de zeescheepvaart.

⁴ CO₂-arme fossiele waterstof is waterstof die wordt geproduceerd met aardgas waarbij de CO₂ die daarbij wordt gevormd zo veel mogelijk wordt afgevangen en permanent wordt opgeslagen, ondergronds of anderszins.

⁵ In het Klimaatakkoord zijn ambities geformuleerd voor realisatie van 500 MW elektrolyse in 2025 en 3000 à 4000 MW in 2030. Hier wordt ervan uitgegaan dat deze cijfers betrekking hebben op het elektrisch vermogen van de installaties. Bij een elektriciteitsverbruik van 50 à 60 kWh/kg waterstof, 4200 vollasturen (koppeling met



3. Waterstof is van belang maar niet een een-op-een vervanging voor aardgas in de gebouwde omgeving.

Dat waterstof een belangrijke rol gaat spelen in de energietransitie wil niet automatisch zeggen dat het ook een grote rol gaat spelen in de vervanging van aardgas in de warmtevoorziening van bestaande woningen die nu een aardgasaansluiting hebben. Het is een mogelijke optie die in samenhang met diverse andere opties een bijdrage kan leveren. Op het ogenblik zijn er echter nog geen significante hoeveelheden hernieuwbare of CO₂-arme fossiele waterstof beschikbaar,⁴ noch voor de gebouwde omgeving, noch voor andere toepassingen. Daar komt in het komende decennium slechts mondjesmaat verandering in, zelfs als de ambities die er zijn voor 2025 en 2030 daadwerkelijk gerealiseerd worden.⁵ Daarnaast ligt één op één niet voor de hand om het voor waterstof, net als overigens voor andere alternatieven, lastig concurreren is met goedkoop aardgas.⁶ Tot slot, hoewel veilige toepassing zeker mogelijk is, is er nog onvoldoende kennis en ervaring om de randvoorwaarden of systeemeisen te kunnen specificeren waarmee waterstof op grotere schaal en voor onbepaalde tijd binnen de vereiste veiligheidsnormen in de gebouwde omgeving kan worden toegepast.

4. Niet gebruikte energie is de meest duurzame energie; zet in op isolatie.

Nut en noodzaak van het reduceren van de warmtevraag door isolatie van woningen staat niet ter discussie, hoewel aandacht voor de balans tussen kosten en effect van belang is. Het is een robuuste optie die, voor zover dat nog niet het geval is, integraal onderdeel zou moeten zijn van elke TVW en altijd de eerste stap zou moeten vormen in uitvoeringsplannen in het kader van de warmtetransitie. Daarmee is er op korte termijn vrijwel altijd een *handelingsperspectief* in de gebouwde omgeving zodat het niets doen 'omdat gewacht wordt op waterstof' simpelweg geen optie is.

5. Niet gebruikte energie is de meest duurzame energie; zet in op efficiënte systemen.

Indien mogelijk is een elektrische warmtepomp de meest efficiënte vorm van verwarming. Een elektrische warmtepomp (EWP) werkt lage temperatuur omgevingswarmte op tot hogere temperatuur warmte die gebruikt kan worden voor verwarming.⁷ Dit kan warmte zijn uit bijvoorbeeld de buitenlucht, de bodem, oppervlaktewater, en zelfs rioolwater en drinkwater, maar ook koelwarmte van supermarkten of andere bedrijvigheid. Omdat het grootste deel van de warmte die wordt geleverd door een EWP afkomstig is van omgevingswarmte is elektrificatie van de warmtevoorziening met behulp van EWPs een zeer efficiënte vorm van verwarming.⁸ Daarbij sluit elektrificatie

offshore windpark) en een energie-inhoud van 120 MJ/kg levert dit 4 tot maximaal 40 PJ waterstof op. Ter vergelijking: op het ogenblik wordt er ruim 100 PJ waterstof in de industrie geproduceerd op basis van aardgas, en is er in 2030 nog ruim 900 PJ aan aardgas nodig voor productie van elektriciteit en warmte waarvan ruim 300 PJ voor warmte in de gebouwde omgeving (PBL, KEV2020).

⁶ Voor productie van een kilogram waterstof via elektrolyse is ongeveer 50 à 60 kWh elektriciteit nodig. In de periode 2007-2019 varieerde de gemiddelde elektriciteitsprijs voor zeer grote afnemers gemiddeld van 39 tot 55 €/MWh met een uitschieter naar 62 €/MWh in 2008 (CBS-statline database). Dit levert 1,95 tot 3,30 €/kg waterstof. Bij een energie-inhoud van 141,8 MJ/kg (HHV) resulteert dit in een waterstof prijs van minimaal 13,8 tot 23,3 €/GJ. Dit is nog zonder dat netwerkkosten en heffingen zijn meegenomen in de elektriciteitsprijs, en zonder dat rekening wordt gehouden met vaste en variabele kosten voor bedrijfsvoering en onderhoud van een waterstoffabriek op basis van elektrolyse, en eventuele bijdragen voor de investering en financiering van zo'n fabriek. Deze minimale prijs moet worden afgezet tegen de aardgasprijs exclusief netwerkkosten en belastingen. Die varieerde in dezelfde periode 2007-2019 van 4,4 tot 7,7 €/GJ. Indien een extra CO₂-prijs van toepassing zou zijn op het aardgas dan zou er 5,7 €/GJ bij komen voor elke 100 €/ton CO₂. Terwijl de huidige prijs rond 30-35 €/ton ligt is op basis van bovenstaande cijfers minimaal 105 tot mogelijk wel 330 €/ton nodig om het verschil te overbruggen. Hoewel aardgas voor de toekomst geen referentie kan zijn omdat het niet duurzaam



ook goed aan bij de primaire energiedrager (elektriciteit) die verbonden is met de toenemende benutting van wind- en zonne-energie.

6. Niet gebruikte energie is de meest duurzame energie; houdt oog voor haalbaarheid.

Een hybride warmtepomp is een goed alternatief indien een EWP niet mogelijk is. Het temperatuurniveau van de warmte van een EWP ligt een stuk lager dan wat nu wordt geleverd met een aardgasketel. Voorwaarde voor toepassing van een EWP is daarom dat woningen zeer goed zijn geïsoleerd zodat lage temperatuur verwarming toereikend is om de ruimtes die in woningen verwarmd worden op temperatuur te houden. Dit kan prima in nieuwbouwwoningen, maar kan voor bestaande woningen hoge kosten voor isolatie vergen, naast aanpassing van het warmte-afgiftesysteem. Daarnaast daalt het rendement van een EWP naarmate een groter temperatuurverschil moet worden overbrugd. Voor woningen die niet zeer goed zijn geïsoleerd kan dit bij winterse kou leiden tot een hoge piekvraag naar elektriciteit met grote belasting van het elektriciteitsnet in de wijk,⁹ en hoge elektriciteitskosten. Gedeeltelijke elektrificatie met een hybride warmtepomp (HWP) is in veel gevallen een goed alternatief. Dit is een combinatie van een relatief kleine EWP en een HR-ketel, waarbij standaard de warmtevraag efficiënt wordt gedekt door de EWP en de gasketel bijspringt op piekmomenten. De EWP zorgt dan voor de bulk van de energie (de kilowatturen, kWh) terwijl de waterstof zorgt voor benodigd vermogen bij koude (de kilowatt, kW). Naast isoleren levert deze hybride optie daarmee een aanvullend robuust element voor een *handelingsperspectief* op korte termijn voor de situaties waar een overstap naar all-electric of een warmtenet niet mogelijk is of nog te hoog is gegrepen.

7. Aardgas is voorlopig het uitgangspunt in situaties waar een gasvoorziening nodig blijft.

In situaties waar een overgang naar all-electric of een warmtenet vooralsnog geen haalbare optie is blijft een warmtevoorziening met gas noodzakelijk al dan niet in combinatie met gedeeltelijke elektrificatie door toepassing van HWP's. Aardgas blijft hierbij voorlopig het uitgangspunt. Naar verwachting zal er een klein en langzaam toenemend aandeel groen gas zijn.¹⁰ Dit gas is van biogene oorsprong maar heeft dezelfde kwaliteit als aardgas. Daarnaast wordt er nagedacht over het nut en de mogelijkheden om waterstof in beperkte hoeveelheden bij te mengen bij aardgas om zodoende een flexibele afzetmarkt voor waterstof te creëren in de opschalingsfase van waterstofproductie via elektrolyse en de ontwikkeling van waterstof als energiedrager.¹¹

is en tot te veel CO₂-emissie leidt, illustreren deze cijfers wel hoe goedkoop aardgas is, en hoe lastig het zal zijn om de warmtetransitie kostenneutraal te realiseren. Voor de toekomst zou de waterstof-optie vergeleken moeten worden met de andere alternatieven zoals de all-electric- en de warmtenet-optie. Die vergelijking is echter een studie op zich en valt buiten het kader van dit document.

⁷ Een EWP kan worden toegepast in individuele woningen, maar kan in grote uitvoering ook centraal worden ingezet voor levering van warmte aan een collectief warmtenet. Dit kan aantrekkelijk zijn wanneer combinatie mogelijk is met warmte van geothermie en lage temperatuur restwarmte van industrie en afvalverbranders. Naarmate het aandeel van een EWP in het warmtenet toeneemt, en daarnaast ook een hulpwarmtecentrale nodig blijft voor de echte pieken, dan wordt het warmteverlies van een warmtenet een steeds grotere factor van belang in de afweging individueel of collectief. Daar komt bij dat een warmtenet een geheel nieuwe infrastructuur vergt terwijl het overgrote deel van de woningen naast elektriciteit al een gasaansluiting heeft. De pijpleidingen van het gasnet blijken daarnaast al geschikt voor transport en distributie van waterstof hoewel nog nader onderzoek nodig is naar andere componenten en materialen in het gasnet, en eventueel noodzakelijke aanpassingen bij toepassing van waterstof.

⁸ Zeer efficiënt betekent in de huidige situatie niet dat een EWP op elk moment de optie is met de minste emissies. De emissiefactor van aardgas is 56,6 g CO₂/MJ aardgas. Met een gemiddeld rendement van een HR-ketel van



8. Waterstof voorlopig alleen in een beperkt aantal gecontroleerde praktijkprojecten.

Enige uitzondering op aardgas als uitgangspunt betreft een beperkt aantal praktijkprojecten met waterstof die nu worden voorbereid om in de loop van de komende jaren tot uitvoering te kunnen komen. Deze projecten zijn onderdeel van brede onderzoeksprogramma's die als doel hebben om voldoende waterstofkennis en -ervaring op te doen om passende normen en regelgeving voor verantwoorde inzet van waterstof in de gebouwde omgeving te kunnen ontwikkelen. Dit dient ter voorbereiding op mogelijk bredere toepassing van waterstof, indien noodzakelijk voor het realiseren van een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050.

9. De tijd zal het leren of en hoeveel waterstof er nodig is in de gebouwde omgeving.

Waterstof gaat een belangrijke rol spelen in de energietransitie, en zou ook toepassing kunnen vinden in de gebouwde omgeving in de vervanging van het resterende deel aardgas, hoewel bredere toepassing op z'n vroegst pas rond 2030 haalbaar lijkt te zijn. Tegen die tijd zal er ook meer zicht zijn op de technische, economische, ecologische en maatschappelijke haalbaarheid van andere alternatieven, zoals:

- Verdere isolatie en verdere elektrificatie naar all-electric, met name in die gevallen waar op korte termijn toepassing van een HWP al mogelijk is;
- Verdere isolatie en verbeterde HWPs voor de gevallen waar op korte termijn een HWP nog niet toereikend is;
- Grotere beschikbaarheid van groen gas uit biomassa-reststromen, waardoor de resterende gasvraag in de gebouwde omgeving misschien volledig met groen gas gedekt kan worden;
- Ontwikkeling van geothermie en andere duurzame warmtebronnen voor het kunnen vullen van warmtenetten met hernieuwbare warmte, zodat die niet (grotendeels) afhankelijk zijn of blijven van industriële restwarmte met een fossiele oorsprong.

10. Waterstof als voorkeursoptie betekent niet nu niets doen en afwachten.

Het potentieel van groen gas voor invulling van een resterende gasvraag in de gebouwde omgeving kan tegenvallen waardoor waterstof als alternatief overblijft. Voor die gevallen is het van belang dat er nu onderzoek plaatsvindt naar manieren waarop inzet van waterstof in de gebouwde omgeving op verantwoorde wijze kan plaatsvinden. Verder is het zeer aannemelijk dat het nog lange tijd lastig voor waterstof om te concurreren met goedkoop aardgas,⁶

90% betekent dat een emissie van 62,2 g CO₂/MJ warmte. Op koude windstille winterdagen met weinig zon zal elektriciteit vooral afkomstig zijn van fossiele centrales. Als dit alleen efficiënte gascentrales zijn met een rendement van 60% dan is de emissiefactor van de elektriciteit 94,3 g CO₂/MJ elektriciteit. De 'coëfficiënt of performance' (COP) van de EWP moet op dat moment dan minimaal 1,5 zijn om het beter te doen dan de HR-ketel op aardgas. Deze lat ligt hoger naarmate de centrales gemiddeld minder efficiënt zijn en naarmate er een groter aandeel steenkool in de elektriciteitsmix zit. Omdat het rendement van een EWP afneemt naarmate het kouder wordt zal een HR-ketel op aardgas op sommige momenten dus tot minder emissies leiden. De duur van de momenten of perioden dat deze situatie zich voordoet is echter beperkt. Daarbij komt dat winters gemiddeld warmer worden, het aandeel steenkool in de mix afneemt en steenkool voor 2030 wordt uitgefaseerd. Tegelijkertijd neemt het aandeel hernieuwbare elektriciteit de komende jaren sterk toe. Hoewel het er op het ogenblik nog om zou kunnen hangen of een EWP ook gemiddeld genomen het schoonst is, is het slechts een kwestie van tijd voordat dit zeker het geval is.

⁹ De noodzaak van verzwaring van netten wordt vaak als een knelpunt aangevoerd voor warmtepompen. Mogelijk is dit echter sowieso nodig gezien met de toename van zon-PV op daken (grote gelijktijdigheidsfactor) en de behoefte aan laadpunten voor elektrische auto's. Deze ontwikkelingen moeten dan ook in samenhang worden gezien, samen met de mogelijkheden voor optimalisatie door slimme regeling van vraag en aanbod.



net zoals dat zeer waarschijnlijk geldt voor verwarming via een EWP, een warmtenet, of met groen gas als naar totale systeemkosten wordt gekeken. Voor de energierekening is het daarom van belang om de benodigde hoeveelheid waterstof te beperken door de warmtevraag zoveel mogelijk te reduceren. Daar komt bij dat op termijn zowel elektriciteit als waterstof grotendeels afkomstig zullen zijn van dezelfde bronnen, te weten zon en wind. Zowel elektriciteit als waterstof zijn nodig voor vergaande benutting van deze bronnen. Maar vanwege het conversieverlies dat optreedt van elektriciteit naar waterstof is streven naar maximaal direct gebruik van elektriciteit en minimale conversie naar waterstof van belang. Hoe meer vraag naar conversie, hoe meer wind- en zonneparken er nodig zijn met bijbehorende behoefte aan ruimte en impact op de omgeving. Waterstof betekent dus niet nu niets doen en afwachten. Voor nu geldt isoleren, zo veel mogelijk elektrificeren, inclusief slimme regeling van vraag en aanbod, en de ontwikkeling rond waterstofpilots maar ook andere alternatieven nauwgezet blijven volgen.

11. De productie van waterstof via elektrolyse moet bij voorkeur gepaard gaan met verdere uitbreiding van wind op zee boven op de huidige plannen voor 11,5 GW in 2030.

Gebruik van duurzame elektriciteit voor productie van waterstof kan op korte termijn leiden tot zogenaamde verdringing. Hiervan is sprake indien de duurzame elektriciteit nog direct zou kunnen worden ingezet voor eindgebruik, en het vermijden van elektriciteitsproductie in fossiele centrales tot meer CO₂-reductie zou leiden dan inzet van de elektriciteit voor splitsing van water en benutting van waterstof in eindgebruikstoepassingen. Het overall CO₂-effect zal afhangen van de specifieke waterstoftoepassing, maar op korte termijn zal er waarschijnlijk altijd sprake zijn van een zekere mate van verdringing. Dit lijkt niet te voorkomen als gevolg van het ontbreken van een significante stuurbare vorm van hernieuwbare elektriciteitsproductie, zoals waterkracht- en biomassacentrales. Op weg naar volledig duurzame productie op basis van wind en zon, blijft productie met gascentrales van belang om de balans op het net te kunnen handhaven, los van de mogelijkheden die import van elektriciteit biedt. Voorlopig zal de gemiddelde emissiefactor van elektriciteit daarom niet nul zijn en zal de emissiefactor van waterstof via elektrolyse vanuit een integraal systeemperspectief waarschijnlijk zelfs hoger zijn dan die van grijze waterstof op basis van aardgas.¹² Tegelijkertijd zullen bij uitbouw van zon en wind periodes van overaanbod toenemen met als gevolg toenemende periodes met lage prijzen. Hierdoor nemen risico's op verder investeren toe en bestaat de kans dat verdere ontwikkeling van wind en zon stopt. Inzet van elektriciteit voor waterstof kan het investeringsperspectief

¹⁰ In 2019 bedroeg de winning van stortgas/biogas ca. 14,8 PJ, equivalent aan 0,47 miljoen m³ aardgas. Hiervan is slechts 4,5 PJ opgewerkt tot groen gas van aardgaskwaliteit (0,14 Mm³ AE). De rest is voornamelijk ingezet in warmte-kracht-installaties. De hoeveelheid groen gas bedroeg in 2019 minder dan 2% van het aardgasverbruik in huishoudens (280 PJ) en net iets meer dan 1% van de hoeveelheid aardgas in de gebouwde omgeving (402 PJ). De doelstelling van de sector is om te groeien naar 2 Mm³ AE aan hernieuwbaar gas van biogene oorsprong in 2030. In de KEV2020 wordt op basis van de huidige ontwikkelingen en het voorgenomen beleid voorsnog uitgegaan van een veel lagere toename van ca. 15% ten opzichte van 2019.

¹¹ Fysieke bijmenging is nog allerminst zeker en ook geen optie die zo maar op korte termijn gerealiseerd kan worden. Het wordt hooguit beschouwd als tussenoplossing. Randvoorwaarde is dan ook dat het kan met zeer beperkte aanpassingen aan het gasnet en gastoepassingen zodat systemen niet keer op keer aangepast hoeven worden op weg naar een meer definitieve eindoplossing.

¹² Bij de productie van waterstof op basis van aardgas wordt circa 9 kg CO₂ gevormd. Bij een verbruik van 50 à 60 kWh elektriciteit voor de productie van een kilogram waterstof betekent dit dat de emissiefactor van elektriciteit lager moet zijn dan 0,15-0,18 kg CO₂/kWh om waterstof met een lagere emissiefactor te produceren dan op basis van aardgas. Volgens de meest recente projecties zal bij de geplande en verwachte uitbreiding van wind en zon de gemiddelde emissiefactor van elektriciteit 0,12 kg CO₂/kWh bedragen in 2030 en nog 0,23 kg

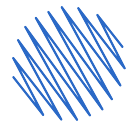
voor wind en zon verbeteren waardoor grotere benutting van die bronnen mogelijk wordt en waarbij de flexibele elektrolyzers ook de inpassing van de hernieuwbare energie als elektriciteit kunnen ondersteunen. Hernieuwbare elektriciteit en groene waterstof worden op die manier communicerende vaten voor inpassing van wind- en zonne-energie. Op weg daarnaartoe is het zaak de mate van verdringing zoveel mogelijk te beperken. In dit verband dient er naast de eerste ontwikkeling van waterstofproductie via elektrolyse ook te worden gestreefd naar een versnelling in uitrol van met name wind op zee.

CO₂/kWh in 2025. Hierin is echter de elektriciteit die nodig is voor waterstofproductie met 500 - 4000 MW elektrolyse nog niet is meegenomen. Als dit niet gepaard gaat met uitbreiding van productie van duurzame elektriciteit zal de benodigde elektriciteit per saldo uit een fossiele centrale komen waardoor de gemiddelde emissiefactor zal toenemen.



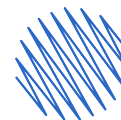
Aspecten die nog minder duidelijk zijn

Naast de hierboven genoemde punten zijn er nog meer zaken waar in grote lijnen overeenstemming over is, maar dan vooral in de zin dat dit nog grote vraagtekens zijn waarover inzichten en gedachten nog verre van eenduidig zijn. Naast inhoudelijke aspecten, omvat dit ook meer procesmatige aspecten rond de centrale vraag. Dit overzicht van vraagtekens is ongetwijfeld niet uitputtend, maar betreft in ieder geval de (antwoorden op de) volgende vragen:



1. Dient waterstof gelijk vanaf het begin “groen” te zijn of is er in een overgangsfase ook ruimte voor CO₂-arme fossiele waterstof?

De beschikbaarheid van groene, hernieuwbare waterstof is afhankelijk van de uitbouw van wind- en zonne-energie. Hoewel dit snel groeit kan uitbouw hier en elders mogelijk niet snel genoeg, waarbij ook rekening moet worden gehouden met de ontwikkeling van voldoende productiecapaciteit aan elektrolyse voor productie van waterstof uit water. Op het ogenblik wordt waterstof in grote hoeveelheden geproduceerd op basis van aardgas in de industrie voor een reeks aan verschillende toepassingen. Dit proces kan worden gecombineerd met afvang en opslag van CO₂ waardoor emissie van waterstofproductie sterk kunnen worden verminderd. Dit kan ook worden toegepast op (een deel van) het aardgas dat als brandstof wordt ingezet. Per saldo wordt dan de koolstof van aardgas afgehaald voordat het als brandstof wordt ingezet. Dit wordt blauwe waterstof genoemd en is in feite emissiearm gebruik van aardgas. Aardgas is er voorlopig voldoende en de productie is relatief snel op grote schaal te realiseren. Dit kan bijdragen aan tijdige



reductie van CO₂-emissies en biedt een gunstig perspectief voor tijdige aanpassing van infrastructuur en ontwikkeling van eindgebruikstoepassingen. Het kan daarmee de transitie naar bredere inzet van waterstof en ontwikkeling van groene waterstof makkelijker maken. Opslag van CO₂ is echter niet onomstreden, aardgas blijft fossiel, en er is het gevaar dat als het eenmaal praktisch is dat je er lastig weer vanaf komt (ook wel “gevaar voor lock-in” genoemd).

2. Wat zijn de mogelijkheden voor bijmengen van waterstof in het aardgasnet, en kan dit een zinvolle bijdrage leveren aan verduurzaming van de gebouwde omgeving?

Mogelijk kan waterstof tot 10 à 20 volume procent worden bijgemengd bij aardgas zonder dat daar grote aanpassingen voor nodig zijn. In Duitsland is bijmengen tot 10% zelf al toegestaan. Zijn er inderdaad weinig tot geen aanpassingen nodig, behalve bijvoorbeeld sterk verouderde ketels, en stopt het bij 20% of is verdere doorgroei mogelijk? Als iedere verhoging weer leidt tot noodzakelijke aanpassingen dan is de waarde van de optie voor de transitie mogelijk beperkt. En omdat de energie-inhoud van een kubieke meter waterstof ongeveer een derde is van aardgas vervangt 10 à 20 volume procent aan waterstof slechts 3,4 tot 6,8 procent aardgas. Niettemin kan het in combinatie met andere maatregelen een significante bijdrage leveren. Ook kan de toepassing een vroeg afzetkanaal vormen voor verdergaande benutting van wind- en zonne-energie via elektrolyse en zo een rol spelen in de opschalingsfase van die technologie.¹

3. Wat is het potentieel aan hernieuwbare energie in Nederland om in een toekomstige vraag naar waterstof te kunnen voorzien, gelet op wind-zoncondities en beschikbare ruimte?

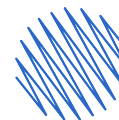
Nederland is een dichtbevolkt land met beperkte ruimte voor duurzame energie. Niettemin zijn er ambitieuze lange termijn doelen. Voor wind op zee wordt een potentieel gezien van 50 tot 75 GW. Meestal wordt 60 GW gehanteerd.² Het potentieel voor wind op land ligt met 15 GW een stuk lager. Maar of het zover komt is de vraag. Voorlopig blijkt het al lastig genoeg om 6 GW te realiseren. Het geïnstalleerd vermogen aan zon-PV groeit snel. In 2018 was de groei 50% en in 2019 was er opnieuw een groei met een recordhoeveelheid van 4,5 GW naar 6,8 GW, een toename van 51%. In 2030 ligt het naar verwachting boven de 20 GW terwijl het potentieel mogelijk nog een orde groter is. De opbrengst van 60 GW wind op zee, 6 GW wind op land en 100 GW zon-PV is circa 370 TWh. Het totale elektriciteitsverbruik in

Noten

¹ Ter indicatie: naar verwachting is er in 2030 nog ordegrrootte 300 PJ aardgas in de gebouwde omgeving nodig (KEV2020). Bij 10% bijmenging, een gemiddeld elektriciteitsverbruik voor elektrolyse van 55 kWh/kg, en 4200 vollasturen (bij koppeling met wind op zee) zou dan 1,1 GW aan elektrolysevermogen nodig zijn voor productie van de waterstof. Het vermijden van de inzet van ruim 10 PJ aardgas door extra inzet van windenergie zou bij een emissiefactor van 56,6 g/MJ een reductie geven van bijna 0,6 Mton CO₂ in de gebouwde omgeving. Deze cijfers kunnen naar rato worden verlaagd als er minder aardgas nodig blijkt te zijn, of waterstof nog niet bij alle aardgas wordt gemengd. Het omgekeerde geldt ook als wordt ingezet op een hoger percentage bijmenging.

² 60 GW is 60.000 MW. De huidige parken hebben een vermogensdichtheid van ongeveer 5 MW/km². Mogelijk neemt dit toe naarmate parken verder op zee liggen. Voor 60 GW is dus ordegrrootte 12.000 km² oppervlak nodig. Het oppervlak van het Nederlandse continentale plat is ongeveer 57.000 km². Voor 60 GW zou daarmee circa 20% van het oppervlak nodig zijn.

³ Ter indicatie: 8 miljoen elektrische auto's die in Nederland gemiddeld circa 13.000 km/jaar rijden bij een verbruik van 0,2 kWh/km geven een extra elektriciteitsverbruik van 21 TWh. Het aardgasverbruik in de gebouwde omgeving bedraagt op het ogenblik circa 400 PJ, waarvan 280 PJ in woningen en 120 PJ in winkels en gebouwen. Bij een gemiddeld ketelrendement van 90% betekent dat een warmtevraag van 360 PJ. Stel dat die warmtevraag volledig is in te vullen met EWP's met een COP



Nederland bedraagt al jaren circa 110-120 TWh. Naar verwachting blijft dit zo richting 2030 omdat toenemende elektrificatie tot dan nog steeds wordt gecompenseerd door efficiencyverbetering. Uiteindelijk zal het elektriciteitsverbruik wel stijgen, maar zelfs bij verdubbeling lijkt er nog een behoorlijk potentieel voor waterstof over.^{3,4}

4. Indien het binnenlands potentieel niet toereikend is, op welke termijn en in welke mate kan dan import van waterstof tot ontwikkeling komen, en tegen welke prijs, en welke duurzaamheidsvoorwaarden?

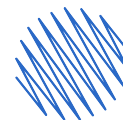
Mogelijk is op termijn import van wind- en zonne-energie nodig ter vervanging van de huidige import van aardgas en aardolie. Elders zijn er gebieden met veel gunstigere condities voor duurzame energie waardoor waterstof tegen lagere kosten is te produceren dan in Nederland. De kosten voor transport zijn echter significant en kunnen het voordeel tenietdoen. Ook moet er rekening mee worden gehouden dat de prijs hoger ligt dan de kosten; de prijs komt uiteindelijk tot stand op de markt. Verder geldt voor de locaties elders hetzelfde als in Nederland; er zal eerst uitbouw van duurzame energie gerealiseerd moeten worden en hele ketens voor levering van waterstof moeten ontwikkeld worden. De vraag is hoe snel dit is te realiseren. Overigens is import van koolstofarme waterstof op basis van aardgas met CCS ook mogelijk. De koolstof zou er direct bij de bron afgehaald kunnen worden wat wellicht efficiënter is dan eerst het aardgas met koolstof te distribueren en de koolstof er pas vlak voor het eindgebruik af te halen.

5. Hoe vindt verdeling van schaarste plaats indien er een behoefte aan waterstof ontstaat in de gebouwde omgeving naast een vraag naar waterstof in andere sectoren, zoals industrie en vervoer?

Waterstof kent potentieel vele toepassingen. Het is nog niet duidelijk hoe verschillende toepassingen in de industrie, de vervoerssector, de elektriciteitsproductie en in de gebouwde omgeving zich gaan ontwikkelen en of er “voorkeursopties” gaan ontstaan. Indien de beschikbaarheid van waterstof toch beperkt blijft is de vraag hoe verdeling tot stand komt over de verschillende toepassingen waarvoor het allemaal nodig zou kunnen zijn. Streven naar maximale CO₂-reductie tegen laagste maatschappelijke kosten is van belang, maar er zijn meer maatschappelijke aspecten van belang; verdeling van schaarste is vooral een politiek vraagstuk.

van 4. Dan zou dat een extra elektriciteitsverbruik opleveren van circa 25 TWh. Het aardgasverbruik in de industrie bedraagt op het ogenblik ongeveer 140 PJ. Dat is een warmtevraag van circa 120 PJ. Zou die helemaal worden ingevuld met elektrische weerstandsverwarming dan levert dat een extra elektriciteitsverbruik van circa 35 TWh. Tezamen zou dit een extra vraag geven van ordegrootte 80 TWh, nog niet eens een verdubbeling van het huidige elektriciteitsverbruik.

⁴ Bij een potentieel van 370 TWh duurzame elektriciteit, een huidig verbruik van 120 TWh en een extra verbruik van 80 TWh door elektrificatie van eindgebruikstoepassingen (zie voorgaande voetnoot), dan zou er nog 170 TWh voor waterstof zijn. Bij een gemiddeld verbruik van 55 kWh/kg voor productie van waterstof (61% efficiency LHV) zou dit ruim 100 TWh of 360 PJ aan waterstof op kunnen leveren. De huidige industriële productie van grijze waterstof op basis van aardgas is ongeveer 110 PJ zodat dan nog 250 PJ beschikbaar zou zijn voor nieuwe toepassingen. Voor een miljoen brandstofcelauto's die 13.000 km/jaar rijden met een verbruik van 1 kg waterstof per 100 km is circa 16 PJ nodig. Indien uiteindelijk 10-20% van de huidige aardgasvraag in de gebouwde omgeving vervangen zou moeten worden door waterstof dan zou daar 40-80 PJ voor nodig zijn. Deze verkenning is erg grofstoffelijk maar illustreert dat er een behoorlijk potentieel in Nederland kan zijn.



6. Zijn er voordelen in maatschappelijke kosten te bereiken door verdere hybridisering op wijkniveau, dat wil zeggen door op wijkniveau een all-electric strategie te combineren met HWP op waterstof?

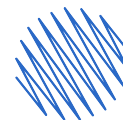
Veel wijken hebben woningen van na de invoering van het eerste Bouwbesluit in 1992 die je met relatief beperkte middelen volledig kan elektrificeren. Er zullen echter ook woningen van voor die tijd tussen zitten die hybride nodig zullen hebben voor piekwarmtevraag. Door de relatief goedkope infrastructuur van gasleidingen en de beperkte kosten impact bij enkel piekverbruik kan een gemengde strategie een goede oplossing zijn voor gemengde wijken. Het kan om meer maatwerk vragen.

7. Welke waarde kan waterstof brengen in de gebouwde omgeving als je het combineert met productie van elektriciteit (en warmte) in woningen of centraler in de wijk?

Kleinschalige lokale stuurbare productie, in plaats van grootschalige centrale stuurbare productie, biedt een extra mogelijkheid tot lokale optimalisatie van vraag en aanbod van elektriciteit. Hierdoor is minder transport en distributie nodig door landelijke en regionale netten wat tot besparingen kan leiden in uitbreiding van relatief dure elektriciteitsinfrastructuur. Dit moet worden afgewogen tegen het kostenverschil tussen lokale en centrale productie. Brandstofcellen zijn nog duur, maar het is een modulaire technologie die bij voldoende volume nog sterk in prijs kan dalen.

8. Communicatie speelt een sleutelrol voor realisatie van de warmtetransitie, maar wat is een goede manier voor feitelijke informatievoorziening aan relevante stakeholders, met name aan burgers?

Weten we voldoende waar behoeften bij stakeholders liggen en wat hun standpunten zijn? Hoe betrek je de gemeenschap in het maken van keuzes tussen verschillende opties en hoe kan je consequenties van keuzes inzichtelijk maken? Feiten lijken momenteel ouderwets te zijn in het debat, maar besluitvorming over zaken die zeker 50 jaar impact zullen blijven hebben moet zorgvuldig gebeuren. Initiatieven zoals de waterstofmonitor en het waterstof kennisplatform dragen hieraan bij, maar het debat zullen we ook naar (wetenschappelijke) tv-programma's of krantenbijlages moeten brengen.



9. Hoe zorgen we ervoor dat de energievraagreductie zo snel mogelijk plaatsvindt ongeacht welke duurzame warmtevoorzieningsoptie uiteindelijk toegepast gaat worden?

Voor bestaande bouw lijkt isoleren een 'saaie' optie te zijn. Het plaatsen van zonnepanelen of een elektrische auto zijn tastbaarder en leiden direct tot een duurzaamheid bevrediging. Daarnaast lijkt isoleren van je huis voor veel mensen een hoop gedoe. Wat zijn er voor maatregelen te nemen om laagdrempeliger regelingen rond isoleren te bewerkstelligen? Vertalen in meerwaarde van je huis, goed kunnen meefinancieren, duidelijke arrangementen, makkelijkere subsidies?

10. Welke (mix van) argumenten gaan doorslaggevend zijn voor keuzes, zowel voor politiek, bestuur als burgers; wat bepaalt het draagvlak voor de ene of de andere oplossingsrichting?

Het belangrijkste lijkt te zijn dat we de onzekerheden moeten reduceren. Onzekerheid lokt niet uit tot het doen van investeringen. Helderheid rond beleid en belastingbeleid voor langere tijd kan rust brengen. Daarnaast zullen we eerlijk met elkaar moeten zijn: er is vooralsnog geen beste oplossing en ja: de kans is groot dat de toekomst een betere oplossing brengt. Maar de urgentie vraagt ons nu te acteren. Ook helderheid over de prijsdiscussie is van belang. Betaalbaarheid is een belangrijke voorwaarde voor draagvlak. Maar hoe een (consumenten)prijs wordt opgebouwd is lastig te doorgronden en in het maken van keuzes worden snel appels met peren vergeleken. Transparantie en inzicht in ketenkosten (en opbrengsten) is van groot belang. Tenslotte is er oog voor de nadelen nodig. Bij keuze voor duurzame maatregelen die goed passen voor de meerderheid kunnen de belangen sneuvelen van minderheden. Maar oog hebben van het belang van de minderheid maakt een goede democratie. Hoe compenseer je mensen voor de nadelen die ze ondervinden?

Het WaterstofLab

Het WaterstofLab brengt partijen en kennis samen om de dialoog aan te gaan over de rol van waterstof in de gebouwde omgeving. Daarmee worden inzichten verbreed en met elkaar verbonden, en komen handelingsperspectieven op tafel voor alle betrokkenen.

Regie & proces

Het labproces wordt inhoudelijk aangedreven door de regiegroep. De deelnemers vormen met elkaar een afspiegeling van het stakeholderveld. De regiegroepleden nemen deel op persoonlijke titel. De inhoud van dit document is niet noodzakelijkerwijs de visie van de organisaties waar zij voor werken.

Albert van der Molen, Carla Robledo, Edwin Edelenbos, Harry Welch, Jan-jaap Aué, Jan Willem van de Groep, Jörg Gigler, Marcel Weeda, Mark Peterse, Petie Slangen, Roald Arkesteijn, Stefanie van Kleef en Vera Haaksma.

De organisatie en facilitatie zijn in handen van het procesteam: Ton Bontekoe (Topsector Energie MVI), Marlies Kok (RVO) en Michiel Damoiseaux, Han Rakels en Petra de Boer (Perspectivity).

Meer info: waterstoflab.nl