



# BTO Verkennend Onderzoek



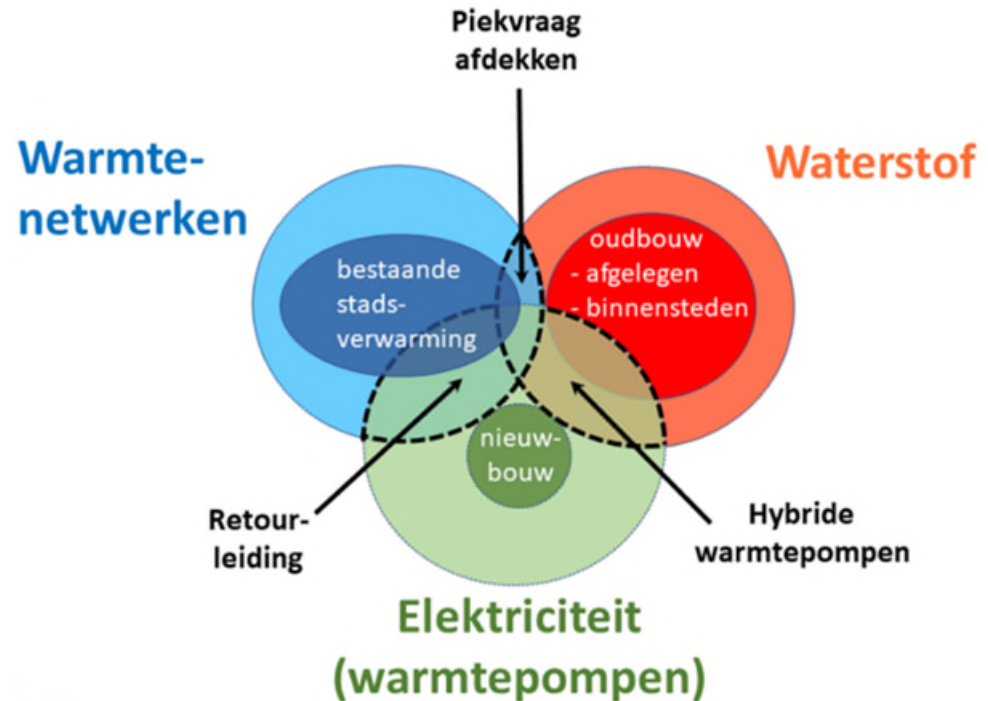
## Drinkwaterbedrijven in de energietransitie - waterstof in de gebouwde omgeving

### Samenvatting

Waterstof wordt een steeds belangrijkere energiedrager in het toekomstige energiesysteem. Een aantrekkelijk beeld is dat in de toekomst waterstof door onze bestaande gas-infrastructuur gaat stromen. Die groene waterstof kan worden gebruikt voor verwarming van onze woningen en de opwarming van tapwater. Dat kan onder andere met een CV-ketel of een micro WKK met brandstofcel. Die laatste genereert zowel warmte als elektriciteit waarbij de elektriciteit qua seizoen complementair is met de PV-panelen op de huizen die in de winter minder opleveren. Voor de drinkwaterbedrijven is het een interessante ontwikkeling om te volgen vanwege de samenhang tussen warmte en drinkwaterinfrastructuur.

### Consequenties voor u

	Laag	Middel	Hoog	Beknopte uitleg
Impact				De keuze voor H <sub>2</sub> voor verwarming van woningen en tapwater kan voor de drinkwatersector interessant zijn. Er worden weinig gevolgen voor de drinkwaterinfrastructuur verwacht.
Zekerheid				In een duurzaam energiesysteem is een energiedrager als waterstof onvermijdelijk.



Verskillende opties voor het verwarmen van woningen



## Trendbeschrijving en achtergrond

### Inleiding

Bijna veertig procent van het energieverbruik in Nederland wordt gebruikt voor de warmtevoorziening. Om de doelstellingen van internationale klimaat-afspraken van Parijs uit 2015 te halen is de noodzaak om de warmtevoorziening te verduurzamen dus hoog. Parijs heeft in 2019 in Nederland geresulteerd in het Klimaatakkoord. Eén van de afspraken in dat akkoord is dat 30 energieregio's in Nederland onderzoeken waar en hoe het best duurzame elektriciteit op land (wind en zon) opgewekt kan worden. De uitkomsten van deze analyse worden vastgelegd in een Regionale Energie Strategie (RES).

Maar ook wordt gekeken welke warmtebronnen te gebruiken zijn zodat wijken en gebouwen van het aardgas af kunnen. Hiervoor moet elke gemeente een Transitievisie Warmte opstellen voor eind 2021. In deze visie wordt een tijdsplan geschetst waarin duidelijk wordt welke wijken wanneer van het aardgas afgaan. Voor wijken die in de periode tot 2030 van het aardgas afgaan worden ook de mogelijke warmte-alternatieven geschetst. Er zijn momenteel drie verschillende denkrichtingen te onderscheiden als het gaat om

warmte-alternatieven; warmtenetten, all-electric met warmtepompen, of een vorm van groen gas.

De tendens is dat all-electric oplossingen vooral worden toegepast bij (goed geïsoleerde) nieuwbouw. In dat geval worden woningen verwarmd door middel van een warmtepomp die warmte haalt uit de bodem of uit de lucht. Een andere optie voor het verwarmen van woningen is een warmtenet. Er gaat in de berichtgeving relatief veel aandacht uit naar de aanleg van warmtenetten die worden gevoed met restwarmte uit de industrie of datacenters en/of warmte afkomstig van geothermie of aquathermie. Drinkwaterbedrijven hebben de mogelijkheid om voor (een klein deel) bij te dragen aan warmtenetten met thermische energie uit drinkwater (TED). Een techniek die verder wordt ontwikkeld binnen het project 'Energietransitie Versnellen met Aquathermie' (EVA) als thema binnen het Onderzoeksprogramma WarmingUP<sup>1</sup>.

Ten slotte kan een alternatief gas zoals groengas of waterstof worden gebruikt om middels een (aangepaste) cv ketel woningen te verwarmen. Het verwarmen van woningen met waterstof wordt steeds vaker genoemd als optie. In dit geval kan gebruik worden gemaakt van

het huidige gasnet waarbij aardgas vervangen wordt door waterstof.

Aan alle verschillende alternatieven voor aardgas kleven voor- en nadelen en per wijk zal gekeken moeten worden wat maatschappelijk en kostentechnisch gezien de beste oplossing is, hierop zal in dit stuk nog verder worden ingegaan.

De warmtetransitie is voor drinkwaterbedrijven belangrijk om te volgen omdat er gevolgen zullen zijn voor de warmte-infrastructuur die vaak in de buurt ligt van drinkwaterleidingen. De recent sterk toegenomen belangstelling voor waterstof in de maatschappij leidt ertoe dat het ook voor drinkwaterbedrijven interessant is om hier meer over te weten. In dit stuk wordt verder ingegaan op de optie om woningen te verwarmen met waterstof.

<sup>1</sup> WarmingUp nieuw innovatief duurzaam warmtecollectief dat voor onderzoek 9,3 miljoen euro subsidie ontvangt in het kader van het Meerjarige Missie-gedreven Innovatieprogramma (MMIP).



## Huidige situatie in een woning

Zo'n 90 procent van alle woningen gebruikt op dit moment nog aardgas voor verwarming, warm water en koken. De overheid wil dat alle huizen in 2050 van het aardgas af zijn. Dat betekent dat veel woningeigenaren afscheid moeten gaan nemen van de CV-ketel, althans als het gaat om de verbranding van aardgas als fossiele brandstof.

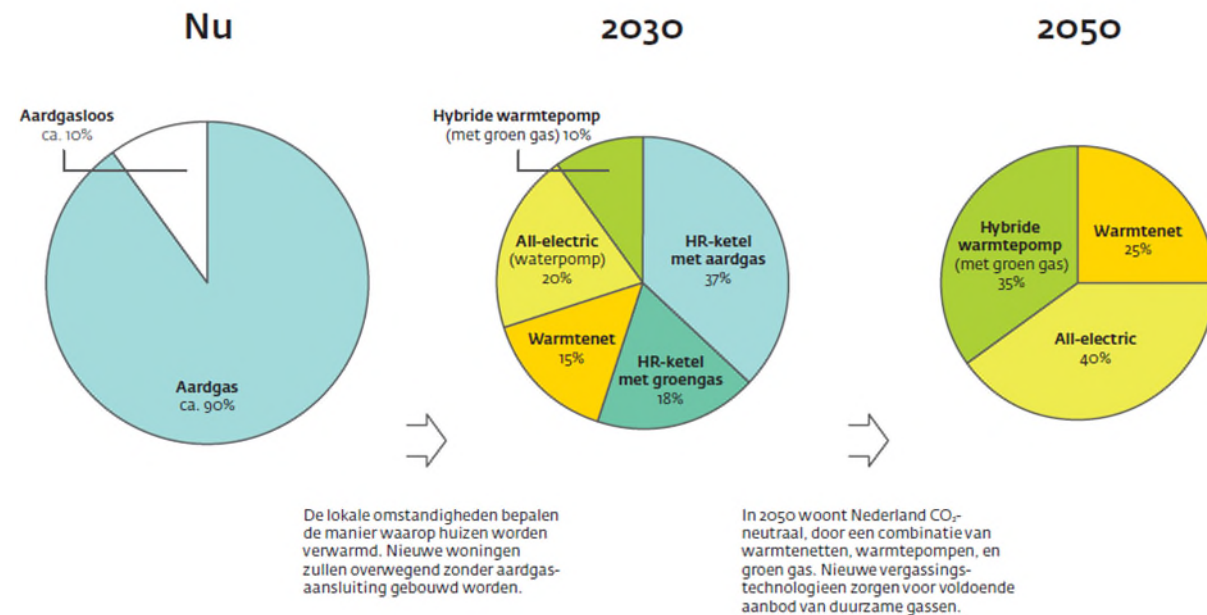
In dit rapport geven we een overzicht van de verschillende alternatieven voor ruimteverwarming en de verwarming van warm tapwater. Vervolgens wordt speciale aandacht besteed aan de optie om waterstof te gebruiken als alternatief voor aardgas.

Hierbij is het goed te beseffen dat voor bestaande woningen de aanvoercapaciteit voor energie van de gasaansluiting over het algemeen 10 keer hoger (rond 60 kW) is dan de capaciteit van de elektriciteitsaansluiting (rond 6 kW).

## Het vervangen van aardgas door andere bronnen voor verwarming in woningen

Het Klimaatakkoord in Nederland zal ertoe leiden dat aardgas voor de warmtevoorziening in woningen en gebouwen geleidelijk vervangen gaat worden door CO<sub>2</sub> arme bronnen. Er zijn hier ruwweg drie

opties te onderscheiden: 1) een warmtenet gevoed door restwarmte/geothermie, 2) all-electric met warmtepompen, en 3) groen gas (waterstof/niet-fossiel methaan) via het huidige aardgasnet. Verschillende instanties hebben hier al over nagedacht en hebben projecties gemaakt voor aardgasloze verwarming in 2050, de streefdatum in het



Figuur 1. Hoe verwarmen wij onze huizen en gebouwen, nu en straks? (Bron; Gasunie 2019)



Klimaatakkoord<sup>2</sup>. Figuur 1 toont de projectie voor het verwarmen van gebouwen gemaakt door de Gasunie in 2019<sup>3</sup>.

Andere projecties laten soortgelijke scenario's zien. De linker taartpuntgrafiek laat zien hoe het nu, begin 2020, zit met verwarming in woningen: 90% gebruikt aardgas en de resterende 10% is verdeeld over opties 1 en 2; zo'n 400.000 woningen zijn aangesloten op een warmtenet en 230.000 maken gebruik van een warmtepomp. In figuur 1 wordt een hybride warmtepomp genoemd, dit is een combinatie van opties 2 en 3, een compacte lucht-warmtepomp met een kleine hulpbrander op groen gas/waterstof. Technisch en economisch gezien is de hybride warmtepomp een oplossing die voor veel bestaande bouw wellicht aantrekkelijk kan zijn. We hebben immers al een gasnet waar groen gas/waterstof doorheen kan en kleine luchtwarmtepomp vormt niet een heel grote belasting voor het elektriciteitsnetwerk. Onderstaand werken we de opties rond het gebruik van waterstof voor verwarmen van gebouwen nader uit.

<sup>2</sup> pbl-2019-klimaat-en-energieverkenning-2019-3508.pdf, <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-klimaat-en-energieverkenning-2019-3508.pdf>

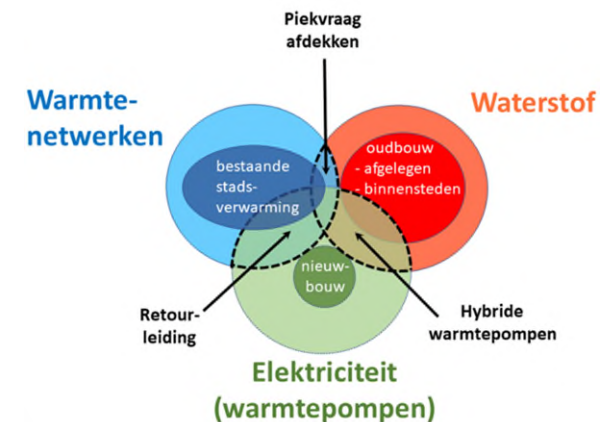
## De opties: warmtenetten, warmtepompen, waterstof of combinaties?

Technisch zijn de warmtenetten en de warmte-afleversets in de woningen volwassen, de vraag zit veel meer bij hoe betaalbaar deze oplossingen zijn – achter de voordeur en maatschappelijk – de kosten van versterkte en/of nieuwe energienetwerken, enzovoort. En daarmee samenhangend – hoe snel kunnen we de slag gaan maken naar een werkelijke CO<sub>2</sub> vrije gebouwde omgeving. Voor iedere technische oplossing is het verder uiteraard belangrijk dat we ook gaan besparen op onze warmtevraag met isolatie-maatregelen. Hoe ver je met isolatiemaatregelen moet gaan om voldoende comfort te houden hangt daarbij af van de gekozen optie. Warmtenetwerken leveren de warmte op een hogere temperatuur af dan warmtepompen, wat verwarming in de koude periodes eenvoudiger maakt en wat met gewone radiatoren kan. Warmtepompen vragen om lage temperatuur verwarmingssystemen als vloerverwarming en lage temperatuur radiatoren, met daarbij vrij strenge eisen aan de mate van isolatie. Daarnaast heeft een warmtepomp een hoog piekvermogen van ca. 6kW waardoor de piekvraag van een huishouden behoorlijk toeneemt (nu gemiddeld 3kW) waardoor het

<sup>3</sup> Gasunie Infographic 2050, Gasunie, 2019.

<sup>4</sup> Waterstof –belangrijk voor ruimteverwarming, Chris Hellinga, Ad van Wijk juni 2019.

noodzakelijk kan worden om het elektriciteitsnet aanzienlijk te verzwaren. De optelsom van de nieuwe energierekeningen en de kosten die voortvloeien uit de benodigde investeringen door gebouweigenaren en netwerkbeheerders bepalen hoe realistisch verschillende scenario's zijn, wat per wijk of per gebouw kan verschillen. In figuur 2 vatten we het één en ander samen. We zien de drie opties – waterstof, warmtenetwerken en warmtepompen in drie cirkels, voorzien van een kern waar de toepassing van die opties onomstreden is<sup>4</sup>.



Figuur 2. De opties voor verwarmen: warmtenetwerken, warmtepompen en waterstof.



Goed geïsoleerde nieuwbouwwoningen zijn prima uit te rusten met warmtepompen (en zonnepanelen om het jaar rond klimaatneutraal te worden). Bestaande warmtenetwerken kunnen een duurzame invoeding krijgen, als de ligging ten opzichte van duurzame bronnen voor geothermie of restwarmte dat toelaat. Waterstof kan in ieder geval een belangrijke rol spelen in woonwijken als de aanleg van warmte-netwerken niet mogelijk of te duur is, en oude gebouwen niet kosteneffectief zijn aan te passen voor het gebruik van warmtepompen. Vaak worden dan afgelegen, landelijke gebieden genoemd of historische stadscentra. Kortom, voor het grootste deel van de gebouwde omgeving is de keuze voor een bepaalde optie nog geen uitgemaakte zaak en zal dit veelal maatwerk vragen.

Verder zijn de verschillende opties niet strikt gescheiden. Bij warmtenetwerken is het bijvoorbeeld een belangrijke vraag hoe in de winterse warmtepiekvraag moet worden voorzien. Opties zijn bijvoorbeeld ondergrondse warmteopslag (zoals in het SPX-project, zie verderop in deze notitie), al of niet in combinatie met warmtepompen, of de inzet van waterstof in combinatie met brandstofcellen (die tevens elektriciteit produceren) of gasketels.

Warmtenetten kennen een retourleiding met nog relatief warm water, dat gebruikt zou kunnen worden als toevoer voor warmtepompen. Warmtepompen hebben immers de aanvoer van warmte uit de lucht of uit water

nodig, die met behulp van elektriciteit op een hoger temperatuurniveau wordt gebracht.

En de combinatie van warmtepompen met CV-ketels op waterstof in hybride systemen kan wel eens in veel gebouwen een aantrekkelijke oplossing blijken. Het voordeel van energie-efficiënte warmtepompen wordt dan gecombineerd met bijverwarming met waterstof, wat noodzakelijke eisen aan woningaanpassingen (sterke isolatie en vloerverwarming) terugdringt. Daarnaast kan ook netverzwaring worden voorkomen omdat de warmtepiekvraag niet meer door de warmtepomp hoeft te worden geleverd en deze dus op een lager vermogen kan werken. Het is een kwestie van kostenoptimalisatie wat de voorkeur krijgt. Een hogere energierekening bij alleen een CV-ketel op waterstof versus een duurdere installatie in de hybride optie.

## Waterstof voor verwarming in gebouwen

Waterstof kan op verschillende manieren worden gebruikt voor verwarming. Als waterstof via het huidige aardgas distributienetwerk wordt aangeboden kan dat in gebouwen op drie manieren worden omgezet in warmte:

- Met een CV-ketel die op waterstof draait;
- In een hybride systeem: de combinatie van een warmtepomp met een CV-ketel op waterstof;
- Met een brandstofcel die warmte en elektriciteit produceert. De elektriciteit kan dan

ook nog voor een warmtepomp gebruikt worden.

Maar ook bij warmtenetwerken kan waterstof een rol spelen om in de piekvraag te voorzien. Warmtenetwerken die gevoed worden vanuit restwarmte van de industrie of (vooralsnog) elektriciteitscentrales, worden ontworpen om te kunnen voorzien in de basislast (de hoeveelheid warmte die in de koudere maanden altijd kan worden afgezet). Echter, de piekvraag kan op de zeer koude dagen vele malen hoger zijn dan de gemiddelde warmtevraag door het jaar. De industrie kan op zulke momenten niet “zomaar even” al die warmte leveren, omdat warmte een bijproduct is van het productieproces.

Ook geothermie bronnen zullen niet op die piekvraag worden aangelegd, want dan draaien ze een groot deel van het jaar maar op een klein deel van hun vermogen, wat de hoeveelheid geleverde warmte behoorlijk duur maakt. De kostbare installatie moet immers in ongeveer dezelfde tijd worden afgeschreven als wanneer die wel steeds op een hoog vermogen kan draaien. Er zijn dus extra warmtebronnen nodig die bij kunnen springen als de vraag groot is. Waterstof is dan een goede kandidaat om via gasketels of -beter- brandstofcellen (die dan ook elektriciteit leveren, in de winter complementair aan PV-panelen in de zomer) in die vraag te voorzien. Dat zou in de gebouwen zelf kunnen, of in centrale opwekkingseenheden, vergelijk de



warmtekrachtcentrales die op dit moment vaak de piekwarmte leveren bij stadsverwarming. Als dat inderdaad de beste, meest kosteneffectieve oplossing in veel gevallen zou zijn (er zijn ook alternatieven als ondergrondse warmteopslag, of het gebruik van grote warmtepompen), is het uiteraard wel de vraag of het verstandig is zowel een warmtenet aan te leggen, als een waterstofnet die dan de pieken moet opvangen. Er kan ook gedacht worden aan een uitgebreid warmtenetwerk en een waterstofnet wat minder fijnmazig is uitgelegd en alleen op specifieke locaties komt (waar grote piekketels staan). Ook zou een waterstofnetwerk alléén een verstandige route kunnen zijn in sommige gevallen, maar dat vergt uitgebreidere analyse.

## Bijmengen in het gasnet

Een andere mogelijkheid is om waterstof bij te mengen in het bestaande gasnet, wat ook als een overgangsmaatregelen gezien kan worden. Er wordt vanuit gegaan dat het overgrote deel van de bestaande gasfornuizen en CV-ketels geen problemen hebben met maximaal 20 volume % waterstof in het aangeboden aardgas. Overigens is het milieueffect bescheiden. Omdat waterstof per m<sup>3</sup> zo'n 3 maal minder energie bevat dan aardgas bij dezelfde druk is op energiebasis de bijdrage van waterstof dan ongeveer 7%. Als die waterstof groen (of blauw) is, is de CO<sub>2</sub>-emissie reductie

dan dus ook ongeveer 7%. De gasnetwerken vragen hiervoor geen bijzondere aanpassingen, afgezien van de vervanging van de compressorstations die het hogedruk gasnetwerk invoeden. Wel moeten achter de voordeur gasmeters worden aangepast, zal de apparatuur gecontroleerd moeten worden en zijn er nieuwe systemen nodig om de gaskwaliteit constant te houden. Al met al is zo'n omschakeling een vrij complexe operatie, maar het voordeel is wel dat de productie kant van waterstof vrij snel op gang kan komen. De meningen verschillen nog of het verstandig is deze route te lopen, of dat het kosteneffectiever is meteen in te zetten op het aanbod van 100% waterstof. De omschakeling van 7,7 miljoen woningen op aardgas met 20 vol. % waterstof heeft hetzelfde milieueffect als het omzetten van 530.000 woningen op pure waterstof. Wel moet hierbij worden opgemerkt dat bijmengen met een stabiel percentage moet gebeuren. Door fluctuatie in vraag (bijv. winter versus zomer) een aanbod (duurzame energie) zitten hier nog wel wat haken en ogen aan, zoals ook eerder bij bijmenging van biogas het geval is geweest.

## Waterstof in een woning, CV-ketels op waterstof of een brandstofcel micro-WKK

Zoals boven aangegeven kunnen we waterstof in de woningen gebruiken op ruwweg twee manieren. De eerste manier is een CV-ketel op waterstof. Dit is feitelijk een klassieke CV-ketel maar dan ontworpen voor waterstof. Verschillende grote fabrikanten hebben deze inmiddels in productie genomen<sup>5</sup>, evenals waterstof-ready cv-ketels die later kunnen worden omgeschakeld. In een beeld dat in de toekomst waterstof door de gasleidingen naar onze huizen stroomt ontstaat een heel ander perspectief. Ingrepen achter de voordeur blijven beperkt tot het vervangen van de CV-ketel en de gasmeter. Onzeker is nog of we in de toekomst ook op waterstof kunnen gaan koken, voorlopig moeten we ook een elektrische kookplaat aanschaffen (net als bij de andere opties). Isolatiemaatregelen kunnen worden afgestemd op hun betaalbaarheid uit een lagere energierekening (net als bij warmtenetwerken) – wat per gebouw verschilt. Het leidt geen twijfel dat de kosten achter de voordeur van de drie opties bij waterstof het laagst zijn.

De tweede manier heeft betrekking op een brandstofcel micro-WKK. Een brandstofcel micro-WKK is vergelijkbaar met een Stirling micro-WKK. Bijvoorbeeld, de huidige

<sup>5</sup> <https://www.gawalo.nl/klimaattechniek/nieuws/2019/06/eerste-cv-ketel-op-100-waterstof-geïnstalleerd->

[1017507?\\_ga=2.184642730.2003154877.1581671454-156500702.1581671454](https://www.gawalo.nl/klimaattechniek/nieuws/2019/06/1017507?_ga=2.184642730.2003154877.1581671454-156500702.1581671454)



Remeha Evita Stirling micro-WKK levert 0,85 kW<sub>e</sub> en 5,5 kW<sub>th</sub>, praktijkervaring laat zien dat in een label A woning dit jaarlijks 1000 kWh<sub>e</sub> levert en 6000 kWh<sub>th</sub> (waarbij de 6000 kWh<sub>th</sub> naar schatting 80% van de behoefte aan ruimteverwarming invult). De nieuwe Remeha eLecta 300 brandstofcel micro WKK levert 0,75 kW<sub>e</sub> en 1,1 kW<sub>th</sub> en wordt geleverd met een ingebouwde pieklastketel (nu nog op aardgas maar geschikt voor waterstof) met een vermogen van 5,2-21,8 kW<sub>th</sub>. De Remeha eLecta 300 brandstofcel micro WKK is warmte-gestuurd is en levert elektriciteit bij zowel ruimteverwarmingsvraag als bij de vraag naar warm tapwater<sup>6</sup>.

Een brandstofcel micro-WKK is toekomstvast omdat deze zowel op aardgas als op pure waterstof kan werken, en kan dus een aanvang worden gemaakt op aardgas en overgeschakeld worden naar waterstof als dit via het aardgasnetwerk beschikbaar komt. Bij het overschakelen van aardgas naar waterstof wordt de reformer (die de waterstof uit aardgas haalt met CO<sub>2</sub> als afvalproduct) verwijderd en kan het systeem op pure waterstof werken. De reformer levert echter ook warmte, als die warmteproductie wegvalt zal een extra (kleine) warmtepomp naar verwachting nodig zijn om aan de warmtevraag te kunnen voldoen.

<sup>6</sup> [https://www.installatie.nl/ish\\_2019/remeha-presenteert-brandstofcel-op-ish/](https://www.installatie.nl/ish_2019/remeha-presenteert-brandstofcel-op-ish/)  
<https://www.erdgas.info/neue-heizung/heizungstechnik/brennstoffzelle/electa-300-von-remeha/>

Een brandstofcel micro-WKK genereert zowel warmte als elektriciteit, de elektriciteit is qua seizoen complementair met de PV-panelen op de huizen die in de winter minder opleveren. Bewoners wekken dus voor een groter deel van het jaar hun eigen stroom op. Omdat de warmte en de elektriciteit direct in het huishouden worden gebruikt leidt dit tot een lagere netbelasting. Een ander voordeel is dat het aardgasnetwerk nog gebruikt kan worden voor de aanvoer van waterstof, en ook hier wordt het elektriciteitsnetwerk ontlast doordat er niet all-electric verwarmd hoeft te worden.

### Waterstof naar een woning

Een aantrekkelijk beeld is dat in de toekomst waterstof door onze gasleidingen gaat stromen. Recente studies laten zien dat zowel het hoofdtransportnet van aardgas als het distributienet naar de wijken met bescheiden aanpassingen geschikt gemaakt kunnen worden voor het transport van voldoende waterstof<sup>7</sup>. Als we gebruik blijven maken van de gasleidingen vermindert dat dus de druk op de aanleg van nieuwe warmtenetwerken, dan wel de versterking van elektriciteitsnetwerken om in een

<https://www.senertec.de/dachs-0-8/>  
<https://senertec-center-hessen-süd.de/wp-content/uploads/2019/04/4797-313-003-Infoblatt-Dachs-0.8.pdf>

sterk toenemende elektriciteitsvraag van gebouwen te kunnen voorzien.

### Wat gebeurt er al?

Het gebruik van waterstof voor ruimteverwarming in woningen is in 2019 gestart in een experiment door netbeheerder Stedin<sup>8</sup>. In dit experiment draaien drie CV-ketels op groene waterstof dat met een elektrolyser geproduceerd wordt die op zijn beurt gevoed wordt door PV-panelen. Figuur 3 geeft een beeld van de drie waterstof CV-ketels in dit experiment.

Daarnaast zijn er op dit moment zijn twee grotere projecten in Nederland in voorbereiding voor omschakeling van de verwarming in bebouwing op waterstof. Op Goeree Overflakkee wordt gewerkt aan de omschakeling van Stad aan 't Haringvliet (600 woningen, agrarische bedrijven en de utiliteitssector). Inmiddels is in de Stad aan 't Haringvliet de eerste proefwoning opgeleverd met naast flinke isolatie en domotica een set PV-panelen, een huisbatterij, een omkeerbare

<sup>7</sup> <https://www.fluxenergie.nl/huidige-gasnet-eenvoudig-geschikt-te-maken-voor-waterstof/?gclid=accept>  
<sup>8</sup> <https://www.stedin.net/over-stedin/pers-en-media/persberichten/eerste-huizen-verwarmd-met-waterstof-komen-in-rotterdam-rozenburg>



elektrolyser/brandstofcel combinatie en 1200 l opslag van waterstof<sup>9</sup>.



*Figuur 3. Stedin experiment met 3 CV-ketels op waterstof, Remeha, Beckaert en Gasterra.*

In Hoogeveen wordt een nieuwbouwwijk ontwikkeld (80 woningen) die op waterstof zal worden aangesloten. Daarna is het de bedoeling het project te verbreden naar 1100 bestaande woningen. Deze projecten zullen moeten aantonen dat de omschakeling goed uitvoerbaar is, waarbij op dit moment nog tal van vragen spelen op het gebied van technische aanpassingen, de rol van de netbeheerder en andere partijen, het betrekken van de inwoners,

<sup>9</sup> <http://www.innovathuis.nl>, [https://stadaantharingvliet.nl/site/waterstofnieuws/2463-opening-waterstofhuis-op-stad?utm\\_source=dvtr.it&utm\\_medium=facebook](https://stadaantharingvliet.nl/site/waterstofnieuws/2463-opening-waterstofhuis-op-stad?utm_source=dvtr.it&utm_medium=facebook)

aanpassingen van de gaswet (100% waterstof bestaat nog niet in de gaswet, wat de inzet van bijvoorbeeld de netbeheerder bemoeilijkt), enzovoort. Deze zaken vragen geconcentreerde inzet en aandacht van de sleutelspelers. Een recent rapport van TNO laat zien dat de aanpassingen op woningniveau ca. 200 €/woning zullen kosten<sup>10</sup>.

De aanvoer/lokale (groene) productie van waterstof speelt hierbij uiteraard ook een rol, alsmede de opslag van waterstof om in de wintermaanden voldoende aanbod te kunnen regelen. Ook zijn back-up functies nodig om leveringszekerheid te garanderen – in een opzet die ook op de langere termijn voldoende garanties biedt voor de afnemers. Dit vraagt vrij grote investeringen en daarmee overheidsondersteuning. Op het moment dat grotere infrastructures beschikbaar gaan komen, dalen de kosten per aansluiting. We gaan er daarom van uit dat in de komende 5 jaar het aantal demonstratie-gebieden beperkt zal blijven. Wel kunnen met het groeiende inzicht transitieplannen voor de navolgende jaren vast vorm gaan krijgen, die niet in de laatste plaats ook een belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de gemeentelijke, regionale en nationale planning voor de verduurzaming van de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving.

<sup>10</sup> TNO rapport 'Waterstof als optie voor een klimaatneutrale warmtevoorziening in de bestaande bouw' door Marcel Weeda en Robin

Niessink. <https://energy.nl/publication/waterstof-als-optie-voor-een-klimaatneutrale-warmtevoorziening-in-de-bestaande-bouw/>





## Initiatief vanuit het SPX-project bij KWR

In het project Systeemontwerp Power to X (SPX) wordt onderzocht hoe lokale opwek, verbruik, conversie, en opslag een bijdrage kunnen leveren aan de energietransitie. Hierin wordt een geïntegreerde nutsfunctie onderzocht waarin groene elektriciteit, groene warmte, groene waterstof en regenwater worden gebruikt voor een koolstofarme nutsvoorziening van energie en water. De hernieuwbare elektriciteit komt van lokale PV-panelen op daken, in zonneparken en lokale windturbines op land, de warmte komt van lokale aquathermie (oppervlaktewater) en restwarmte.

In het SPX-project is ook onderzocht op welke wijze in de warmtebehoefte van woningen voorzien kan worden. Hier dient zich een bouwtechnische scheiding aan, nieuwere goed geïsoleerde woningen lenen zich voor lage temperatuurverwarming uit een lage temperatuur warmtenet of warmtepompen (all-electric). De voeding voor dit warmtenet komt van ondergronds opgeslagen hernieuwbare warmte uit aquathermie. Bij oudere huizen is lage temperatuurverwarming alleen mogelijk tegen hoge isolatiekosten. Daarom is in dit project ook gekeken naar de rol van (groene) waterstof voor verwarming, waarbij de huidige aardgasinfrastructuur, weliswaar aangepast, mogelijk gebruikt kan worden.

<sup>11</sup> Inclusief belastingen, die bij waterstof nu nog niet gelden maar in een latere fase ook zullen moeten worden meegenomen.

Hierbij is in detail gekeken naar de opties en de bijbehorende kosten.

Een belangrijk uitgangspunt is dat er voor de bewoner gelijkblijvende of lagere kosten en gelijkaardig of verhoogd comfort zal zijn. Daarnaast zou verduurzaming van de woning minder overlast moeten opleveren dan bij een all-electric oplossing. Er zal er wel geïsoleerd moeten worden, maar niet zodanig dat een bewoner (tijdelijk) het huis uit moet of dat de investeringen voor de woningcorporatie onrendabel zijn. Als er niet geïsoleerd wordt, zullen de brandstofkosten voor de bewoner namelijk toenemen, omdat waterstof duurder is dan aardgas. Onderstaand een rekenvoorbeeld betreffende een voorgesteld project in Nieuwegein, zie figuur 4. Het gaat in dit geval om lokaal opgewekte, groene waterstof die naar woningen wordt getransporteerd.

Bij gelijkblijvend aardgasverbruik van 1500 m<sup>3</sup> per jaar, dan gaat dit omgerekend in waterstof om ca. 405kg (ca. 4500 m<sup>3</sup>). De huidige kosten voor de bewoners met aardgas (0,79 €/m<sup>3</sup>) zijn rond de 1185 €/jaar<sup>11</sup>. De kosten voor lokale groene waterstof (bij 6 €/kg) zullen rond de 2430 €/jaar liggen, ruim het dubbele. Om dit te voorkomen, kan wel worden na-geïsoleerd, een eerste inschatting met behulp van de 'verbeter je huis'-tool van

<sup>12</sup> [Op basis van 5 maanden stookseizoen en ook een deel van het tapwaterverbruik.](#)

Milieucentraal is dat met vloer-, spouwmuur- en dakisolatie het gasverbruik kan worden gehalveerd. Op die manier is er maar ca 200 kg waterstof per jaar nodig en zijn de jaarlijkse kosten ca. 1200 €/jaar voor warmte. Voor woningen met een brandstofcel-micro-WKK met 1500 vollasturen per jaar (eerste inschatting)<sup>12</sup> is ca 16% meer waterstof nodig omdat dit apparaat ook een deel van de elektriciteitsvoorziening overneemt. Totaal gaat het om ca 230 kg per jaar per woning. Er is naar een casus gekeken van 6 of 12 oudere rijwoningen (jaren '50) in Nieuwegein. Voor 6 geïsoleerde woningen zou 1,3 ton waterstof per jaar nodig zijn en voor 12 woningen 2,6 ton. De elektriciteitsproductie van de brandstofcel zal bij 1500 draaiuren ca. 1125 kWh zijn. Hiermee wordt met een gemiddelde prijs van 0,23 €/kWh ongeveer 260 €/jaar bespaard. Als je de bespaarde stroomkosten mee zou nemen komen de netto jaarlijkse kosten voor de brandstofcel-micro-wkk uit op 1120 €/jaar.



Figuur 4 Overzicht van gasnetwerk (boven) in de Bernhardstraat, met bovenin een lus die gemakkelijk kan worden geïsoleerd uit de rest van het gasnet. Onder een beeld van de woningen.

Ter vergelijking wordt ook een all-electric woning meegenomen. Het is de vraag of de woningen een voldoende isolatieniveau kunnen bereiken om met een warmtepomp en vloerverwarming te kunnen verwarmen, maar in deze vergelijking is dat nu even het uitgangspunt. Qua isolatie moeten het dak, de vloer en de muren zeer goed geïsoleerd worden en worden ook alle ramen voorzien van HR++ glas, totale investeringen zijn dan ca. 16.600 € (opnieuw via Milieuentraal) en het energieverbruik voor verwarming wordt met 75% verminderd. Naar schatting is er dan 1660 kWh/jaar nodig om met een warmtepomp (gemiddelde COP = 3) deze warmte te produceren, wat ca. 300 €/jaar kost. Daarnaast is de kans groot dat voor deze optie het net verzwakt moet worden, deze kosten zijn nu nog niet gekwantificeerd maar moeten eigenlijk ook nog worden meegenomen.

In Tabel 1 is een vergelijking tussen de waterstofketel, micro-WKK op waterstof en all-electric woning weergegeven. In alle gevallen wordt ook een pv-installatie van 8 zonnepanelen van 270 Wp op de daken meegenomen met een specifieke opbrengst van 875 kWh/kWp, totaal 1.890 kWh/jaar. Om de totale CO<sub>2</sub> uitstoot voor een woning te berekenen, is uitgegaan van een gemiddeld stroomverbruik van 3000 kWh/jaar. Als referentie voor de huidige situatie met aardgas zijn ook een aardgasketel en aardgas-micro WKK opgenomen in de tabel, maar wel in een lichtere kleur, omdat dit in

feite geen alternatieven meer zijn in een duurzame energievoorziening.

Tabel 1 Vergelijking van de waterstofketel en brandstofcel-micro-WKK in de situatie voor sociale huurwoningen in Nieuwegein zonder groene-stroom contract

	Waterstofketel	Brandstofcel Micro-WKK op waterstof	All-electric	Aardgasketel	Brandstofcel Micro – WKK op aardgas
Tweede leven gasnetwerk	+	+	0		
Levering warmte	+	+	+		
Levering elektriciteit	0	+	0		
Flexibiliteit aardgas/waterstof	0	+	0		
Complementariteit met PV-panelen – load shifting	0	+	0		
Voorkomen netverzwaring	0	0	-		
Uitgaven voor aanschaf incl. aanvullende voorzieningen (€)	2.000 <sup>13</sup>	11.000 <sup>15</sup>	12.500 (warmtepomp & LT verwarming)	1.500	11.000
Kosten isolatie (€)	7.500	7.500	16.600		
Jaarlijkse kosten warmte (€/jr.)	1.200	1.380	300	1.185	1.280
Jaarlijkse kosten stroom uit net (€/jr.)	255	0 (bij huidige saldering) <sup>14</sup>	255	690	430
Totale jaarlijkse energiekosten	1.455	1.380	555	1.875	1.710
CO <sub>2</sub> – uitstoot (kg/jaar) met H <sub>2</sub> uit groene stroom	460	0	460	4.070	3.890

<sup>13</sup> Deze bedragen gelden voor de fase van ontwikkeling, waarbij er nog geen schaalvergroting heeft plaatsgevonden, in de toekomst zullen deze kosten dus (fors) dalen

<sup>14</sup> Er is recent besloten om de salderingsregeling af te bouwen vanaf 2023, waardoor deze getallen iets kunnen gaan wijzigen. In de gepresenteerde casus wordt nog gehanteerd dat de huishoudens de zelf opgewekte duurzame stroom kunnen verrekenen met hun energierekening. Het scenario inclusief brandstofcel wekt dan precies genoeg stroom op voor het hele huishouden waardoor er netto geen stroom meer hoeft te worden ingekocht.

## Conclusies

Wat zijn de belangrijkste lessen uit deze analyse?

- Voor het verwarmen van woningen zijn grofweg drie opties mogelijk; all-electric, warmtenet of een vorm van groen gas (bijv. waterstof).
- Hybride oplossingen zoals een warmtepomp plus ketel op groen gas/waterstof voor de piekvraag, of een warmtenet gevoed door geothermie maar met piekketel op waterstof behoren tot de mogelijkheden.
- Om te bepalen welke warmteoplossing het beste is moet gekeken worden naar de totale systeemkosten van nulmissie oplossingen waarbij locatiespecifieke aspecten worden meegewogen.
- Als een woning wordt omgebouwd naar waterstof, zijn relatief weinig aanpassingen in de woning nodig. Isolatie is altijd een goed idee, want alle energie die je niet gebruikt hoeft niet te worden opgewekt en zo bespaard de bewoner kosten op de energierekening.
- Er is potentie voor waterstof in de gebouwde omgeving en daarom blijft het een interessante ontwikkeling voor drinkwaterbedrijven om van op de hoogte te blijven.

## Meer informatie

- pbl-2019-klimaat-en-energieverkenning-2019-3508.pdf, <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-klimaat-en-energieverkenning-2019-3508.pdf>
- Gasunie Infographic 2050, Gasunie, 2019.
- Rapport - Nationaal Warmtepomp Trendrapport 2018
- Waterstof –belangrijk voor ruimteverwarming, Chris Hellinga, Ad van Wijk juni 2019.
- Solar Power to the People, Ad van Wijk, Els van der Roest en Jos Boere, November 2017 (uitgave KWR Water Research Institute)
- <https://www.gawalo.nl/klimaattechniek/nieuws/2019/06/06/017507?ga=2.184642730.2003154877.1581671454-156500702.1581671454>
- [https://www.installatie.nl/ish\\_2019/remeha-presenteert-brandstofcel-op-ish/](https://www.installatie.nl/ish_2019/remeha-presenteert-brandstofcel-op-ish/)
- <https://www.erdgas.info/neue-heizung/heizungstechnik/brennstoffzelle/electa-300-von-remeha/>
- <https://www.senertec.de/dachs-0-8/>
- <https://senertec-center-hessen-sued.de/wp-content/uploads/2019/04/4797-313-003-Infoblatt-Dachs-0.8.pdf>
- <https://www.fluxenergie.nl/huidige-gasnet-eenvoudig-geschied-te-maken-voor-waterstof/?gdpr=accept>
- <https://www.stedin.net/over-stedin/pers-en-media/persberichten/eerste-huizen-verwarmd-met-waterstof-komen-in-rotterdam-rozenburg>
- <http://www.innovathuis.nl>
- [https://stadaantharingvliet.nl/site/waterstofnieuws/2463-opening-waterstofhuis-op-stad?utm\\_source=dlvr.it&utm\\_medium=facebook](https://stadaantharingvliet.nl/site/waterstofnieuws/2463-opening-waterstofhuis-op-stad?utm_source=dlvr.it&utm_medium=facebook)
- TNO rapport 'Waterstof als optie voor een klimaatneutrale warmtevoorziening in de bestaande bouw' door Marcel Weeda en Robin Niessink. <https://energy.nl/publication/waterstof-als-optie-voor-een-klimaatneutrale-warmtevoorziening-in-de-bestaande-bouw/>



## Keywords

energietransitie, warmtenetten, waterstof

## Colofon

### Auteurs

Els van der Roest (KWR), Frank Oesterholt (KWR), Chris Hellinga (TUD), Theo Fens (TUD)

## Kwaliteitsborger

Ad van Wijk