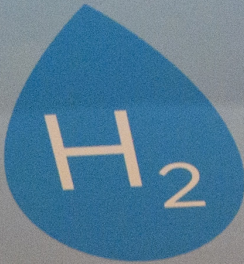




remeha



...site zonder CO₂-uitstoot
...zame binnenklimaat-opl
Waterstof zien wij als e
duurzame samenlevin

TECHNISCH EINDRAPPORT OMBOUWPROJECT UITHOORN

Bestaande woningen succesvol verwarmd met waterstof | juni 2021

ZAK.DOC-ST.05706.21

VOOR HET EERST IN NEDERLAND: BESTAANDE WONINGEN SUCCESVOL VERWARMD MET WATERSTOF

Voor het eerst is in Nederland een ombouw van aardgas naar waterstof gerealiseerd in bestaande woningen. Waterstof gaat in de toekomst een rol spelen in de verduurzaming van woningen. Daarom is het belangrijk om nu al ervaring op te doen. Het project vond eind 2020 plaats in Uithoorn en is uitgevoerd door een consortium onder leiding van netbeheerder Stedin met verder energie-expert DNV, de gemeente Uithoorn en woningstichting Eigen Haard. Dit zijn de leringen die we uit dit succesvolle project kunnen trekken.

DE CONTEXT: WAAROM WATERSTOF NODIG IS

Laten we het verzorgingsgebied van Stedin als voorbeeld nemen. Het gebied heeft relatief veel industrie en bebouwde omgeving, veel oude binnensteden en weinig landelijk gebied. Stedin heeft ruim 2 miljoen klanten die gebruik maken van elektriciteit en gas. Bij een gemiddelde woning komt ca. 80% van het totale energieverbruik via de gasleiding binnen en circa 20% via de elektriciteitskabel. De uitdaging is om deze warmtevoorziening in de gebouwde omgeving te verduurzamen. Inmiddels worden bijna geen nieuwbouwhuizen meer aangesloten op het aardgasnet. Deze huizen worden verwarmd met een warmtepomp of zijn aangesloten op een warmtenet. De grote uitdaging zit in de verduurzaming van de bestaande woningvoorraad en dan met name oudere woningen.

Hoe verduurzaam je oudere woningen?

Oude woningen vergaand isoleren om daarna over te kunnen stappen naar een all-electric warmtepomp kan een uitdaging zijn. Zowel in technische als financiële zin. Ook kunnen deze woningen niet altijd aan een warmtenet gekoppeld worden. Voor deze woningen, met een relatief hoge energievraag, blijft het gebruik van duurzaam gas voor verwarming noodzakelijk. Dit blijkt ook uit diverse analyses.¹

Waterstof biedt een uitweg

Duurzame elektriciteit wordt opgewekt met zonnepanelen of windmolens. Elektriciteitsproductie uit deze bronnen is hierdoor niet constant, maar fluctueert. Op sommige dagen is er dan te veel en op andere dagen te weinig energie om

aan de vraag op dat moment te voldoen. Voor het balanceren van vraag en aanbod biedt het gassysteem een oplossing. Overschotten aan elektriciteit kunnen geconverteerd worden in waterstof. De waterstof kan vervolgens via het bestaande, wijd vermaasde gasnet naar eindgebruikers toe. Cv-ketels gestookt op waterstof zorgen vervolgens voor warmte.

PROJECTEN TOT NU TOE: NIEUWE INSTALLATIES

Uit diverse studies en praktijkproeven blijkt dat het huidige aardgasnetwerk geschikt is voor de distributie van waterstof². En projecten zoals Rozenburg³, The Green Village⁴ en Leeds (UK)⁵. Deze projecten zijn vooral met nieuwe installaties en netwerken. Maar is waterstof ook toepasbaar in het bestaande gasnetwerk?

Om daar een indruk van te krijgen, heeft Stedin in het vierde kwartaal van 2020 met het consortium 14 leegstaande woningen aan de Prinses Christinalaan in Uithoorn tijdelijk omgebouwd van aardgas naar 100% duurzame waterstof.

1 <https://www.stedin.net/zakelijk/branches/overheden/het-openingsbod>
2 https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Toekomstbestendige_gasdistributienetten_133.pdf

3 <https://www.dnv.com/oilgas/perspectives/heating-dutch-homes-with-hydrogen.html>

4 <https://www.tudelft.nl/3me/over/afdelingen/process-energy/facilities/the-green-village>

5 <https://www.h2-international.com/2018/09/03/h21-leeds-tests-switch-to-hydrogen/>

De doelstellingen van dit project:

- Opbouw van praktijkkennis over de ombouw van aardgas naar waterstof met zo weinig mogelijk aanpassingen aan het bestaande gasnetwerk. Dit zijn het 8 bar-druk-reduceerstation, het 100 mbar-lagedruk distributienet en de binnenleidingen in de woningen;
- Bepalen van de technische toestand en geschiktheid voor waterstoftransport van het lokale distributienet en de binnenleidingen;
- Inzicht krijgen of we lekdichtheidproeven met stikstof kunnen gebruiken om de lekdichtheid bij gebruik van waterstof te toetsen;
- Inzicht krijgen in de complete ombouwwerkzaamheden per woning: geld, tijd, mensen en middelen;
- Validatie: naast de verschillende theoretische studies willen we in de praktijk aantonen dat waterstof, bepaalde mate, hetzelfde werkt is als aardgas.

ZO GINGEN WE TE WERK: VAN RISICO-INVENTARISATIE NAAR PLAATSIING



Figuur 1: Stappenplan voor waterstof praktijkproef in Uithoorn

Stap 1: risico's in kaart

Tijdens het hele project heeft veiligheid de hoogste prioriteit gehad. Voorafgaand aan de werkzaamheden is een uitgebreide risico-inventarisatie uitgevoerd. Eén van de risico's die uit de inventarisatie naar voren kwam, is de vraag of de binnen installaties lekdicht zijn voor waterstof: we willen uiteraard niet dat er waterstof gaat lekken. Daarom hebben we in de beproevingsmethodiek een extra lekdichtheidscontrole met helium uitgevoerd. Helium komt qua fysische eigenschappen (klein molecuul) het dichtst bij waterstof in de buurt, maar is niet brandbaar en gaat geen chemische reactie aan met andere stoffen.

Stap 2: voorbereidende testen en inspecties

Voor de levering van stikstof, helium en waterstof is **een container gebouwd**, waarin de verschillende gassen aangesloten zaten op een manifold. Hiermee is het mogelijk om van gas te wisselen zonder het systeem drukloos te maken of lucht in het systeem te laten. De ingaande gasdruk was 8 bar(g), vergelijkbaar met de druk van het hogedruk-distributienetwerk. De laatste stap in de container was de druk terug te brengen naar 100 mbar(g). Dit gebeurde met een standaard hogedrukaansluitset (HAS) van Stedin.

Voorafgaand aan de ombouw is **het gassysteem in de container uitgebreid getest** op lekdichtheid en functionaliteit. Hieruit bleek dat de bestaande HAS zonder aanpassingen inzetbaar is voor waterstof. Ook zijn gebruikte kunststof zakstukken (om de grondzetting op te vangen) getest. Die bleken ook lekdicht voor waterstof.

Vervolgens zijn **alle verbindingen en koppelingen in de woningen in kaart gebracht en gecodeerd**. Bij een mogelijke lekkage kunnen we eenvoudig terugvinden om welk type verbinding het gaat en wat de uitgevoerde actie is geweest. Aan de binnenhuisinstallaties hebben we verder een spoelpunt bij de meter geplaatst en de leidingen voor de waterstofketels aangepast. Het spoelpunt heeft als doel de bewuste woning drukloos te maken en de gasleiding in de woning te spoelen, zonder het hele leidingnetwerk te moeten spoelen met een inert gas en/of drukloos te maken.

Tijdens de schouwing zijn in de woningen **de volgende koppelingen**, verbindingen en overige materialen gecontroleerd:

- (opgetrommelde) soldeerverbindingen;
- knelkoppelingen;
- persverbindingen;
- draadverbindingen;
- huisdrukregelaars;
- gasmeters;
- koperen leidingen;
- stalen leidingen.

De distributieleiding en alle binneninstallaties zijn voor de ombouw door Stedin en installateur Feenstra met aardgas **getest op lekkages**. Dit is conform NPR- 3378-1: in 15 minuten mag de druk in het systeem niet meer dan 3 mbar zijn gezakt. Vervolgens is de distributieleiding gespoeld en



gevuld met stikstof. Na een geslaagde sterkte/dichtheidsbeproeving van de leiding zijn de huisaansluitingen één voor één weer overgezet op de distributieleiding. Deze zijn ook getest op lekkages. Hierna hebben we de procedure herhaald voor helium en vervolgens voor waterstof. Voor de dichtheidsbeproeving voor stikstof, helium en waterstof hebben we de gasafsluiters in de woning dichtgedraaid en over de nacht de druk gecontroleerd op een mogelijke drukdaling.

Om **de veiligheid van personeel en omwonenden te garanderen**, zijn de container en woningen dusdanig goed geventileerd dat in geen enkele situatie de grenswaarde van 10% van de onderste explosiegrens (10%-LEL, overeenkomend met 4000 volppm) is overschreden. Ook zijn de woningen voorzien van koolmonoxidetectoren, waarvan bekend is dat deze ook waterstof kunnen detecteren.⁶

Alle werkzaamheden zijn uitgevoerd **in nauw overleg** met de Omgevingsdienst, Veiligheidsregio en lokale brandweer. Ook zijn de omwonenden regelmatig geïnformeerd over de plannen en de voortgang van de werkzaamheden. Alle partijen hebben zeer positief gereageerd en hun volledige medewerking gegeven, waardoor dit project succesvol is afgerond. Ook zijn de inspecteurs van de toezichthouder Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) regelmatig bijgepraat en hebben de locatie bezocht.

Stap 3: Overzetten distributieleiding met tijdelijke leiding

Op hoofdlijnen zijn er drie methodieken om een ombouw van aardgas naar waterstof te realiseren. Elk methodiek heeft technische en economische voor- en nadelen (zie kader pagina 5). In dit project is ervoor gekozen om een 'tijdelijke leiding' aan te leggen om zo de aangesloten woningen zo lang mogelijk te kunnen belevaren met aardgas.

De ombouwmethodiek met de tijdelijke leiding:

1. We legden een tijdelijke leiding volgens de aardgas-procedures naast de bestaande distributieleiding. Vervolgens is deze tijdelijke leiding op aardgas gezet door deze te koppelen aan het gasnet. Daarna zijn de huisaansluitingen overgezet van de bestaande naar de tijdelijke leiding. Zo voorkomen we dat de woningen, die tijdens een ombouw wél bewoond zijn, zonder aardgas komen te zitten. Dit is comfortabeler voor de bewoner en biedt flexibiliteit in de uitvoeringsvolgorde.

2. Wanneer alle aansluitingen zijn overgeplaatst van de bestaande naar de tijdelijke leiding kan de bestaande gasleiding losgekoppeld worden van het gasnet. We controleren de los gekoppelde leiding op sterkte en dichtheid. Na akkoord kunnen we deze leiding aansluiten op het waterstof-gasnet.
3. De installateur draait achter de voordeur de hoofdkraan dicht en vervangt de aardgas-cv-ketel voor een waterstof-cv-ketel. Waar nodig past deze de binnen-installatie aan. Overige eindverbruikstoestellen moeten al vervangen zijn. Denk bijvoorbeeld aan een kooktoestel op aardgas. Door de ombouwperiode te verkorten, kan het vervangen van de cv-ketel parallel lopen met stap 2 en kunnen de overige toestellen al op een eerder moment aangepast worden.
4. Nadat de installateur de "GO" gegeven heeft, kan de huisaansluiting overgezet worden van de tijdelijke leiding (aardgas) naar de bestaande gasleiding (waterstof).
5. Stap 3 en 4 herhalen zich meerdere keren tot dat alle woningen over zijn gezet op 100% waterstof. Op dat moment heeft de tijdelijke leiding geen functie meer. Deze gaat mee naar het volgende blok woningen waar het proces zich weer herhaalt.

In dit project hebben we een heliumbeproeving toegevoegd en waren er geen bewoners in de woningen aanwezig. Daardoor konden we stap 4 en 5 samenvoegen en zo het hele systeem testen met helium voordat we daadwerkelijk de overgang naar waterstof maakten.

⁶ https://www.researchgate.net/publication/345429782_Waterstofwijk_Plan_voor_Waterstof_in_Hoogeveen_-_Hydrogen_plan_in_the_Dutch_town_of_Hoogeveen



Ombouw en uitvoeringmethodieken

Er zijn in hoofdlijnen drie manieren om een ombouw van aardgas naar waterstof te realiseren:

1. Waterstof in het gasnet meenemen

Met het meenemen van waterstof in het gasnet gebruik je het bestaande gasnet. Hierbij neemt de netbeheerder het waterstof in het gasnet mee en schuift (als de woningen gereed zijn) de werkgrens steeds verder op. Zo gaan de ombouwwerkzaamheden als een treintje door de wijk heen.



ZADELS EN VERBINDINGSMOF ▲

▲ BLAZEN, EINDKAPPEN, ZADELS

Voordelen van deze methodiek:

- We maken gebruik van de bestaande gasleiding.
- Per onderbroken sectie kunnen we de hoofdleiding en aansluitleidingen controleren.
- Tijdens het werk is er een duidelijk overzicht welk deel is overgezet naar waterstof en welk deel niet.

Nadelen van deze methodiek zijn:

- Minimale tot geen flexibiliteit in de uitvoeringsvolgorde. De woning moet klaar zijn voor waterstof. Ook ligt de volgorde vast, omdat de hoofdleiding voor de woningen een bepaalde route creëert.
- Voor uitvoering van de ombouwwerkzaamheden is het noodzakelijk dat de bewoner thuis is. Dit vraagt om veel afstemming.
- Door leidingdelen in secties op te delen, ontstaan er veel verbindingen in het gasnet. Die blijven er na de ombouw en elke verbinding is een potentieel lek.

2. Nieuwe leiding

Met deze methodiek komt er een nieuwe definitieve leiding naast de bestaande gasleiding.



Voordelen van deze methodiek:

- Maximale flexibiliteit qua uitvoering en werkvolgorde. De werkzaamheden in de straat staan los van het werk achter de voordeur. De klant kan dus een eigen ombouwmoment bepalen.

Nadelen van deze methodiek:

- In het nieuwe waterstofgasnet maak je geen gebruik meer van het bestaande gasnet. Als de woningen over zijn naar het waterstofnet is het aardgasnet niet meer nodig.
- Hogere kosten (dubbele infrastructuur).

3. Tijdelijke leiding

Met deze methodiek is er een tijdelijke leiding voor het om te bouwen deel. Zo gaat de energielevering door; de onderbrekingsduur is minimaal. Nadat alle woningen over zijn, kan de tijdelijke leiding mee naar het volgende deel.



Voordelen van deze methodiek:

- Gebruikmaken van de bestaande gasleiding in de straat.
- Tijdelijke leiding kan hergebruikt worden bij een volgende ombouw
- Minimale hulpstukken in het gasnet na de ombouw
- Creëert ruimte in de uitvoering voor de klant om een ombouwmoment te kiezen, zolang de tijdelijke leiding voor de woning ligt.

Nadelen van deze methodiek:

- Het ingraven, aanbrengen en meenemen van de tijdelijke leiding kost tijd en geld.

Stap 4: Evaluatie project

Dit zijn onze belangrijkste bevindingen:

- **Alle gebruikte materialen geschikt voor waterstof.** Uit deze praktijkervaringen in Uithoorn blijkt dat alle materialen die zijn gebruikt in de hogedrukaansluitset (HAS), het 100 mbar lagedruk distributienet en de woningen zowel qua functionaliteit als lekdichtheid geschikt zijn voor waterstof.
- **Vrijwel alle koppelingen lekdicht.** Met uitzondering van drie knelkoppelingen zijn alle appendages, koppelingen en verbindingen lekdicht voor zowel aardgas, stikstof, helium en waterstof. De bewuste knelverbindingen bleken met helium te 'zweten' en zijn vervolgens nagetrokken. Ze bleken dicht te zijn bij alle vervolgtesten met waterstof. Eén huisdrukregelaar had tijdens de test met stikstof lekkage en is vervangen.
- **Waterstofketels werken goed.** Na de sterkte/dichtheidstests zijn twee waterstofketels geplaatst, één van Remeha (onderdeel van BDR Thermea) en één van Nefit-Bosch. Tijdens de installatie en werking van de toestellen hebben zich geen problemen of afwijkingen voorgedaan.
- **Systeem lekdicht voor waterstof.** Op basis van de sterkte/dichtheidstests die zijn uitgevoerd met aardgas of stikstof, hebben we voldoende inzicht om te concluderen dat het systeem ook generiek lekdicht is voor waterstof. We verwachten dan ook dat we de aardgasprocedures kunnen toepassen voor waterstof. Met als aandachtspunt de knelkoppelingen, die we bij waterstof extra moeten controleren op zweetverschijnselen. Nut en noodzaak van de heliumstap is niet aangetoond en kan in vervolgprouwen achterwege worden gelaten.
- **Ombouwwerkzaamheden.** Tijdens het project zijn er extra testen uitgevoerd om theorie en praktijk te valideren. Als de ombouwwerkzaamheden meer routine en gestandaardiseerd worden, wijken deze werkzaamheden niet veel af van aardgaswerkzaamheden die we nu uitvoeren. Wel moeten de standaarden, normen en werkinstructies verder ontwikkeld worden.



- **Veiligheid.** Tijdens het hele project heeft veiligheid de hoogste prioriteit gehad en zijn er geen onveilige situaties voorgekomen. We concluderen dan ook dat er geen onoverkomelijke technische uitdagingen zijn. De woningen werden gedurende het ombouwproject niet bewoond. Voor een grootschalige ombouw van aardgas naar waterstof in bestaande omgeving met bewoonde woningen, is meer onderzoek nodig naar alle aspecten van waterstof in en om de woning met bewoners.

OMBOUWTIJD IN DE PRAKTIJK & OF HET SNELLER KAN

De praktijkoefening laat zien dat bij een daadwerkelijke ombouw van aardgas naar waterstof dit **per woning ca. 1 werkdag per installatiemedewerker kost**. De totale ombouw heeft in Uithoorn 7 werkdagen in beslag genomen, 3 dagen voor de daadwerkelijke ombouw en 4 dagen voor het testen vooraf.

Hierin is alles inbegrepen: de sterkte/dichtheidstests, spoelen met stikstof en waterstof, doorvoeren van de benodigde aanpassingen aan het gas- en cv-systeem, het verwijderen van de oude aardgasketel en het installeren en opstarten van de nieuwe waterstofketel.

Kan het werk sneller?

Omdat het om maatwerk gaat, is er weinig ruimte om de ombouwtijd te verkorten. Optimalisatie van methodes en proces kan tijds winst opleveren:

- **De water- en gasaansluitingen naar de ketel standaardiseren.** Deze methode is vergelijkbaar met de gasmeterbeugel, die we al decennia in het gasnet gebruiken. Hierdoor is het aanpassen van leidingen voor water, gas en Cv niet nodig als de Cv-ketel vervangen wordt.
- **Niet de hele ketel vervangen,** maar alleen het gasblok, de brander en de warmtewisselaar omwisselen. Door alleen een deel van het binnenwerk van het toestel te vervangen, kunnen de ombouwwerkzaamheden veel sneller uitgevoerd worden omdat aan- en afvoerleidingen van het toestel niet aangepast hoeven te worden.
- Het grootste tijdsvoordeel is te behalen door **de woningen ruim van tevoren te schouwen** en de gasappendages en staat van de binnenleiding in kaart te brengen. Zo kun je tijdig al het benodigde materiaal aanschaffen en de werkzaamheden efficiënt inplannen.



Figuur 2: Stappenplan voor een ombouw van aardgas naar waterstof kan korter

WAT IS ER NODIG VOOR EEN GROOTSE UITROL VAN WATERSTOF?

De snelheid waarmee een ombouw van aardgas naar waterstof plaatsvindt, is van een aantal factoren afhankelijk:

- **maatschappelijke acceptatie**
- **de snelheid en daadkracht van netbeheerders en installateurs**
- **de beschikbaarheid van waterstof gestookte toestellen.**
Om zo'n toestel in Nederland te verkopen en toe te passen, moet het een EN45011-keuringscertificaat hebben. Die toestellen zijn nog niet commercieel verkrijgbaar. De toestellen in dit project maken deel uit van een groep met een certificering specifiek voor veldtesten.
- **wet- en regelgeving.** Voor een grootse uitrol van waterstof als brandstof in de gebouwde omgeving zijn er vanuit de wet- en regelgeving een aantal veranderingen nodig:
 - **Waterstofsificatie:** conform de Regeling Gaskwaliteit⁷ mogen de regionale netbeheerders niet meer dan 0,5 mol% waterstof in het distributienet distribueren. Om naar een situatie te gaan van 100% waterstof is een aanvulling op de huidige Regeling nodig.
 - **Doorzettingsmacht:** bij de ombouw maken huishoudens gebruik van een nieuwe collectieve voorziening: waterstof via het voormalige aardgasnet. Hierbij kunnen de bewoners voor een individuele oplossing kiezen, zoals bijvoorbeeld een all-electric warmtepomp. Niet alle bewoners hoeven dan de stap naar waterstof te maken. De ombouw betekent ook dat andere aardgastoepassingen dan verwarmingsketels, zoals sfeerhaarden en kookbranders, niet meer kunnen worden gebruikt. Dit kan leiden tot situaties waarbij één of meerdere eindgebruikers niet akkoord gaan met de overstap van aardgas op waterstof. Dit is vergelijkbaar met de zogenoemde "aardgasplakkers" bij de huidige uitrol van warmtenetten binnen het Programma Aardgasvrije Wijken. Het is dan ook noodzakelijk dat de lokale overheid (gemeente) doorzettingsmacht krijgt om de aardgasvoorziening te laten vervallen en te kiezen voor waterstof.

Conclusie: ombouw naar waterstof is technisch mogelijk in bestaande woningen

We concluderen dat er geen onoverkomelijke technische uitdagingen zijn: een grootschalige ombouw van aardgas naar waterstof in bestaande woonhuizen is mogelijk. Dit is nog wel een beperkt onderzoek. Aanvullende, grootschaliger pilotprojecten zijn nodig voordat een generieke uitrol van waterstof mogelijk is. Daarnaast is een verruiming van de wet- en regelgeving en de beslissingsmacht van de gemeenten nodig.

Door het tijdig en frequent informeren van omwonenden en het tijdig betrekken van de lokale veiligheidsregio (brandweer) zijn er geen negatieve signalen vanuit de omgeving gekomen. Hieruit blijkt het belang van goed omgevingsmanagement.

⁷ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0035367/2019-01-01>



Colofon & dankwoord

Dit eindrapport is geschreven door energie-expert DNV en Stedin Netbeheer B.V. Voor vragen kunt u Frank van Alphen (frank.vanalphen@stedin.net) van Stedin of Harm Vlap (Harm.Vlap@dnv.com) van DNV benaderen.

Het ombouwproject Uithoorn is tot stand gekomen en succesvol uitgevoerd dankzij goede samenwerking met de gemeente Uithoorn, woningcorporatie Eigen Haard, Feenstra, Remeha en Nefit Bosch.

Stedin Netbeheer B.V.

Postbus 49
3000 AA Rotterdam

twitter.com/Stedin

facebook.com/stedinnetbeheer

[linkedin Stedin](https://linkedin.com/company/stedin)

Versie 1.0 | juni 2021

