

# HyDelta 2

## **WP7 – Ombouw van aardgasdistributienetten naar waterstof**

### D7.1 – Inventarisatie van relevante aspecten voor ombouw van gasdistributienetten naar waterstof

Status: FINAL

## Document samenvatting

### Corresponderende auteur

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| <b>Corresponderende auteur</b> | Martin Scheepers        |
| <b>Verbonden aan</b>           | TNO                     |
| <b>E-mailadres</b>             | martin.scheepers@tno.nl |

### Document historie

| Versie | Datum             | Auteur                                       | Verbonden aan      | Samenvatting van de wijzigingen                                       |
|--------|-------------------|--|--------------------|---|
| 1      | 22 augustus 2022  | Martin Scheepers<br>Bo de Wildt<br>Rashi Mor | TNO<br>TNO<br>KIWA | 1 <sup>e</sup> Conceptversie voor review door projectteam             |
| 2      | 21 september 2022 | Martin Scheepers<br>Bo de Wildt<br>Rashi Mor | TNO<br>TNO<br>KIWA | 2 <sup>e</sup> Conceptversie voor review door Expert Assessment Group |
| 3      | 28 oktober 2022   | Martin Scheepers<br>Bo de Wildt<br>Rashi Mor | TNO<br>TNO<br>KIWA | Finaal concept waarin commentaar Expert Assessment Group is verwerkt  |
| 4      | 22 december 2022  | Martin Scheepers<br>Bo de Wildt<br>Rashi Mor | TNO<br>TNO<br>KIWA | Finaal versie waarin commentaar sparring groep NBN is verwerkt        |

### Verspreidingsniveau

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| <b>PU</b> | Publiek   | X |
| <b>RE</b> | Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> <li>Project partners inclusief Expert Assessment Group</li> <li>Externe entiteit met wie een geheimhoudingsplicht bestaat</li> </ul> |   |

### Document review

| Partner                                   | Naam                      |
|---|---------------------------|
| Stedin                                    | Gilles de Kok             |
| Coteg                                     | Sytze Buruma              |
| Stedin                                    | Tessa Hillen              |
| Alliander                                 | Elbert Huijzer            |
| Alliander                                 | Stijn de Flart            |
| Enexis                                    | Sybe bij de Leij          |
| NBNL, Gasunie, Kiwa, DNV, TNO, NEC, Hanze | HyDelta Supervisory Group |

## Executive summary

A model conversion plan is being developed in work package 7 of HyDelta 2 “Conversion of a natural gas distribution network to hydrogen” for large-scale conversion of gas distribution networks to hydrogen. This is done on the basis of some distribution networks from practice. The conversion plans for these practical cases are based on existing knowledge about and experience with converting distribution networks to hydrogen. This knowledge and experience is listed in this inventory report and provides an overview of the aspects that are relevant when drawing up a model conversion plan.

### *Projects and studies*

Based on literature, an overview has been made of hydrogen projects and conversion studies. The overview includes 11 projects (mainly field tests and pilots) and 8 studies. Of these 19 projects and studies, 14 are from the Netherlands, 3 from Germany and 2 from the United Kingdom.

### *Regulation*

Similar to the natural gas market, regulation will apply to the hydrogen market. This regulation is still under development. The European Commission intends to amend the Gas Regulation and the Gas Directive for this purpose. In the proposed new regulation, among other things, a hydrogen distribution network will require a separate network operator, separate from the network management of the natural gas distribution network. If the natural gas distribution network is to be used for hydrogen, those assets must be transferred to the operator of the hydrogen distribution network.

In the absence of a specific legal framework (the current framework prohibits network operators from playing a role in hydrogen pilots), ACM has drawn up a Temporary Framework for Hydrogen Pilots for the next 5 years. A pilot must relate to the built environment and have a specific learning objective. Grid operators are allowed to distribute hydrogen over the grid, but have no role in the production, trade and supply of hydrogen.

### *Materials, components and technical knowledge and skills*

Based on the available literature, an overview has been compiled of components and materials present in the current gas distribution network and installations at end users, indicating whether they are suitable for hydrogen, or whether they need to be replaced or require adjustments. In this overview for some components it is indicated that the suitability for hydrogen is not yet sufficiently known and that further research is required. An inventory was also made of the required technical skills and knowledge for the conversion.

### *Supply areas for hydrogen*

Before plans can be made for the actual conversion of gas distribution networks to hydrogen, municipalities will draw up plans in consultation with property owners, residents and network operators (DSO and TSO) to determine which customers will continue to be supplied with gas or which will switch to another form of heat supply. In the areas where the gas supply is maintained, a choice is made for the type of sustainable gas: green gas or hydrogen.

For the built environment, the most cost-effective sustainable heat supply can be determined per neighbourhood, such as green gas or hydrogen supply. A similar consideration can be made for business customers (business parks, horticulture greenhouses). In the case of hydrogen, the basic principle is that the existing gas network of DSOs and TSO is used, because this is cost-effective and accelerates implementation. A distribution network of a DSO consisting of a medium and low pressure

network behind a city gate station (GOS) comprises several tens of thousands of customers. A low-pressure system just behind a district station provides about 250 to 500 home connections. There are major differences between distribution networks of a DSO in urban areas, rural areas and business parks. If the hydrogen supply is provided from the regional transport pipeline network of a TSO (RTL), other distribution networks and industry connected to this RTL network must be taken into account.

#### *Hydrogen supply*

Five situations can be distinguished for hydrogen supply, of which 4 relate to the supply of (almost) pure hydrogen. Delivery from a GOS that is connected to the HTL hydrogen backbone via an RTL seems to be the most attractive in the long term, considering cost effectiveness and security of supply. Hydrogen supply areas behind a GOS can have a size of several tens of thousands of customers. Smaller hydrogen projects with several tens to hundreds customers, which will probably be the first to be developed, can be supplied with hydrogen via tube trailers and/or hydrogen produced locally with electrolyzers. These projects can be scaled up at a later stage and connected to a GOS that supplies hydrogen from the RTL network that is connected to the hydrogen backbone. This will improve security of supply and reduce the need to store hydrogen locally. Hydrogen distribution networks that are fed from the hydrogen backbone will be the first to arise in the vicinity of this backbone and where RTL pipelines are converted to hydrogen transport, for example for supplying hydrogen to industrial customers.

#### *Step-by-step plans*

In some of the conversion projects and studies that were analysed, a step-by-step plan has been developed for the conversion of natural gas distribution networks to hydrogen. These step-by-step plans relate to the preparation and the actual implementation. Although the step-by-step plans are quite different and therefore difficult to compare with each other, they offer different starting points for developing a model conversion plan in the remainder of the study.

## Samenvatting

In het projectonderdeel (werkpakket 7) van HyDelta 2 “Ombouw van aardgasdistributienetten naar waterstof” wordt een model ombouwplan ontwikkeld voor grootschalige conversie van gasdistributienetten naar waterstof. Dit gebeurt aan de hand van enkele distributienetten uit de praktijk. De ombouwplannen voor deze praktijkcases worden gebaseerd op al bestaande kennis over en ervaring met ombouwen van distributienetten naar waterstof. Deze kennis en ervaring wordt in dit inventarisatierapport op een rij gezet en biedt een overzicht van de aspecten die relevant zijn bij het opstellen van een model ombouwplan.

### *Projecten en studies*

Op basis van literatuur is een overzicht gemaakt van waterstofprojecten en ombouwstudies. Het overzicht omvat 11 projecten (overwegend praktijktesten en pilots) en 8 studies. Van deze 19 projecten en studies zijn er 14 uit Nederland, 3 uit Duitsland en 2 uit het Verenigd Koninkrijk.

### *Regulering*

Vergelijkbaar met de aardgasmarkt zal voor de waterstofmarkt regulering van toepassing zijn. Deze regulering is nog in ontwikkeling. De Europese Commissie is voornemens hiervoor de Gasverordening en de Gasrichtlijn te wijzigen. In deze voorgestelde nieuwe regulering zal voor een waterstofdistributienet onder meer een aparte netbeheerder nodig zijn, los van het netbeheer van het aardgasdistributienet. Als het aardgasdistributienet voor waterstof gebruikt gaat worden moeten die assets worden overgedragen aan de beheerder van het waterstofdistributienet.

De ACM heeft, bij gebrek aan een specifiek wettelijk kader (huidig kader verbiedt netbeheerders een rol bij waterstofpilots), een Tijdelijk Kader Waterstofpilots opgesteld voor de komende 5 jaar. Een pilot moet betrekking hebben op de gebouwde omgeving en een specifiek leerdoel hebben. Netbeheerders mogen de distributie van waterstof over het net verrichten, maar hebben geen rol bij de productie, handel en levering van waterstof.

### *Materialen, componenten en technische kennis en kunde*

Op basis van beschikbare literatuur is een overzicht samengesteld van aanwezige componenten en materialen in het huidige gasdistributienet en installaties bij eindgebruikers waarbij wordt aangegeven of deze geschikt zijn voor waterstof, dan wel moeten worden vervangen of aanpassingen behoeven. In dit overzicht is voor sommige componenten aangegeven dat de geschiktheid voor waterstof nog onvoldoende bekend is en dat daarvoor nog nader onderzoek nodig is. Ook is een inventarisatie gemaakt van de benodigde technische kunde en kennis die nodig is voor de ombouw.

### *Voorzieningsgebieden voor waterstof*

Alvorens plannen gemaakt kunnen worden voor de daadwerkelijke ombouw van gasdistributienetten naar waterstof worden door gemeenten, in samenspraak met vastgoedeigenaren, bewoners en landelijke en regionale netbeheerders, plannen opgesteld om te bepalen welke afnemers voorzien blijven worden van gas of overgaan naar een andere vorm van warmtevoorziening. In de gebieden waar de gasvoorziening gehandhaafd blijft, wordt een keuze gemaakt voor het soort duurzaam gas: groengas of waterstof.

Voor de gebouwde omgeving kan per buurt worden bepaald wat de meest kosteneffectieve duurzame warmtevoorziening is, zoals een voorziening met groengas of waterstof. Voor zakelijke afnemers (bedrijventerrein, tuinders) kan een vergelijkbare afweging worden gemaakt. Bij waterstof is daarbij

het uitgangspunt dat het bestaande gastransport en -distributienet wordt ingezet, omdat dit kosteneffectief is en zorgt voor versnelling in de uitvoering. Een distributienet van een regionale netbeheerder, dat bestaat uit een midden- en lagedruknet achter een gasontvangststation (GOS), omvat enkele tienduizenden afnemers. Een lagedruknet achter een districtsstation voorziet zo'n 250 tot 500 woningaansluitingen. Er zijn grote verschillen tussen distributienetten in stedelijk gebied, landelijk gebied en bij bedrijventerreinen. Als de waterstofaanvoer vanuit het regionale transport leidingnet (RTL) van de landelijke netbeheerder wordt voorzien, moet rekening worden gehouden met andere distributienetten en industrie die op dit RTL-net is aangesloten.

#### *Waterstofaanvoer*

Er kunnen 5 situaties worden onderscheiden voor waterstofaanvoer, waarvan 4 betrekking hebben op levering van (nagenoeg) zuivere waterstof. Levering vanuit een GOS dat via een RTL verbonden is met een landelijk waterstofnet lijkt, gelet op kosteneffectiviteit en leveringszekerheid, op de lange termijn het meest aantrekkelijk. Voorzieningsgebieden voor waterstof achter een GOS kunnen een omvang hebben van enkele tienduizenden afnemers. Kleinere waterstofprojecten met enkele tientallen tot honderden afnemers, die waarschijnlijk als eerste worden ontwikkeld, kunnen van waterstof worden voorzien via tubetrailers en/of waterstof dat lokaal met elektrolyzers wordt geproduceerd. Deze projecten kunnen in een latere fase worden opgeschaald en aangesloten op een GOS die waterstof aanvoert vanuit het RTL netwerk omdat dit de leveringszekerheid zal verbeteren en de noodzaak om lokaal waterstof op te slaan verminderd. Waterstofdistributienetten die gevoed worden vanuit het landelijk waterstofnet zullen het eerste ontstaan in de nabijheid dit transportnetwerk en waar RTL-leidingen worden omgezet naar waterstoftransport, bijvoorbeeld voor het leveren van waterstof aan industriële afnemers.

#### *Stappenplan*

In enkele van de bestudeerde ombouwprojecten en -studies is een stappenplan uitgewerkt voor de ombouw van aardgasdistributienetten naar waterstof. Deze stappenplannen hebben betrekking op de voorbereiding en de daadwerkelijke uitvoering. Hoewel de stappenplannen nogal verschillend zijn en daardoor onderling moeilijk vergelijkbaar, bieden ze verschillende aanknopingspunten voor het uitwerken van een model ombouwplan in het vervolg van de studie.

## Inhoud

|   |    |
|---|----|
| Document samenvatting .....   | 2  |
| Executive summary .....   | 3  |
| Samenvatting.....   | 5  |
| 1. Aanleiding.....  | 8  |
| 2. Waterstofprojecten en ombouwstudies .....  | 10 |
| 3. Regelgeving in relatie tot marktordening .....                                   | 12 |
| 3.1 Introductie marktordering.....  | 12 |
| 3.2 Decarbonistepakket.....   | 13 |
| 3.3 Tijdelijk kader waterstofpilots.....  | 17 |
| 4. Materialen en componenten en technische kennis/kunde voor de ombouw.....         | 19 |
| 4.1 GOS tot en met de gasmeter.....   | 19 |
| 4.1.1 Componenten in het net vanaf gasontvangststation tot en met de gasmeter ..... | 19 |
| 4.1.2 Gasleidingen en materialen.....   | 22 |
| 4.1.3 Werkprocedure en benodigdheden tijdens onderhoud en werkzaamheden .....       | 22 |
| 4.1.3.1 <i>Werkzaamheden aan gasstations</i> .....                                  | 22 |
| 4.1.3.2 <i>In- en uit bedrijf stellen van waterstofleidingen</i> .....              | 23 |
| 4.1.3.3 <i>Persoonlijk beschermingsmiddel (PBM) en gereedschappen</i> .....         | 24 |
| 4.2 Binneninstallatie: toestellen en binnenleidingwerk.....                         | 24 |
| 4.2.1 Woningen .....  | 25 |
| 4.2.2 Utiliteitsgebouwen .....  | 25 |
| 4.2.3 Zakelijke grootverbruikers.....   | 26 |
| 5. Opties voor aanbod en levering .....   | 28 |
| 5.1 Levering van waterstof.....   | 28 |
| 5.2 Aanbodopties voor waterstof .....   | 30 |
| 6. Stappenplan voor conversie.....  | 32 |
| Bijlage 1 – Beschikbaarheid van vervangende toestellen .....                        | 35 |
| References.....   | 37 |

## 1. Aanleiding

Waterstof kan via een gasdistributienet worden geleverd aan woningen, utiliteitsgebouwen en bedrijven. In deze studie wordt uitgegaan van het distribueren van (nagenoeg) zuivere waterstof. Voor distributie van waterstof kan het bestaande aardgasdistributienet worden gebruikt nadat het hiervoor geschikt is gemaakt. Ook de installaties en gasapparaten bij de afnemers moeten geschikt gemaakt worden voor toepassing van waterstof. De mogelijkheid om (in een overgangsfase) waterstof bij te mengen met aardgas valt buiten de scope van dit onderzoek.

Doel van dit projectonderdeel (werkpakket 7) is het opstellen van een model ombouwplan (D7.3) voor grootschalige conversie van gasdistributienetten naar waterstof. Dit model plan zal worden gebaseerd op een aantal concrete cases (D7.2). Alvorens de cases kunnen worden uitgewerkt is in dit rapport (D7.1) een analyse uitgevoerd naar een aantal aspecten die relevant zijn voor een ombouwplan. Deze aspecten kunnen in drie categorieën worden opgedeeld:

### 1. Regelgeving

De Europese commissie en de Autoriteit Consument & Markt (ACM), het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) en het ministerie van Economische Zaken Klimaat (EZK) hebben nieuwe regelgeving opgesteld voor waterstof. Dit gaat onder meer over de rol van netbeheerders en het bieden van leveringszekerheid aan afnemers. Met welke (regulatorische) randvoorwaarden moet worden rekening worden gehouden?

### 2. Techniek

Om waterstof te kunnen distribueren dienen aardgasdistributienetten technisch te worden aangepast. Daarvoor dienen een aantal vragen te worden beantwoord, zoals: welke componenten moeten worden vervangen? Kan dit voorafgaand aan de ombouw of het beste tijdens de ombouw plaatsvinden. Hoe groot zijn de secties die per keer worden omgebouwd? Welke aanpassingen zijn er 'achter de meter' nodig en hoe kan dat worden gecoördineerd? Hoe kan het spoelen van de leidingen veilig plaatsvinden? Wat is de personeelsbehoefte en welke deskundigheid is vereist, m.n. bij de netbeheerder? Etc.

### 3. Markt

Welke gasdistributienetten zullen worden omgebouwd naar waterstof? Om deze vraag te kunnen beantwoorden zal bekend moeten zijn welke afnemers in de toekomst van waterstof zullen worden voorzien. Scenario's die door de netbeheerders zijn opgesteld gaan er van uit dat 20% tot 60% van de huishoudens worden voorzien van duurzaam gas [1]. Duurzaam gas is groengas (methaan)<sup>1</sup> of waterstof. In twee scenario's bestaat het duurzame gas volledig uit groengas en wordt geleverd aan 20% van de huishoudens, in één scenario wordt 40% van de huishoudens met groengas voorzien en 20% door waterstof en in één scenario wordt 60% van de huishoudens voorzien van waterstof. Naast huishoudens kan via gasdistributienetten ook waterstof worden geleverd aan zakelijke klanten (utiliteitsgebouwen, bedrijven) en mogelijk aan waterstoftankstations.

---

<sup>1</sup> In het Klimaatakkoord is een ambitie van 2 BCM (miljard m<sup>3</sup>) groen gas vastgelegd. De Rijksoverheid heeft het voornemen om via een bijmengverplichting een afzet van 1,6 BCM groen gas in de gebouwde omgeving te realiseren. Deze verplichting die opgelegd wordt aan gasleveranciers kan naast fysieke levering ook met groencertificaten worden ingevuld.



Een gasdistributienet kan op verschillende manieren worden voorzien van waterstof. Wat betekent dit voor het ombouwplan? Waterstof kan in de toekomst worden geleverd via een regionale transportleiding (RTL-net) die is aangesloten op een landelijk waterstofnet (HTL-net). Waterstof kan ook lokaal worden geproduceerd uit duurzame elektriciteit met een electrolyzer. Daarnaast is denkbaar dat netten met lokale productie onderling worden verbonden en/of op termijn worden voorzien vanuit het landelijk waterstofnet [2].

Dit rapport vormt de basis voor het opstellen van een model ombouwplan en biedt een overzicht van de belangrijke aspecten die voor een ombouwplan relevant zijn. Ook worden mogelijke kennisleemtes aangegeven. Dit overzicht is gebaseerd op informatie over bestaande waterstofprojecten, casestudies en literatuur.

Hoofdstuk 2 biedt een overzicht van bekende waterstofprojecten en ombouwstudies, zowel in Nederland als in enkele landen buiten Nederland. Hoofdstuk 3 beschrijft de regulatorische randvoorwaarden die bij ombouw van een gasdistributienet naar waterstof in acht moeten worden genomen. Hoofdstuk 4 biedt een overzicht van de technische aspecten die een rol spelen bij de ombouw van gasdistributienetten naar waterstof. In hoofdstuk 5 wordt, gebaseerd op de informatie uit de bestudeerde projecten en studies, ingegaan op verschillende mogelijkheden voor aanbod en levering van waterstof. Tenslotte biedt hoofdstuk 6 een overzicht van een stappenplan voor conversie van aardgas- naar waterstofnetten uit enkele ombouwstudies.

## 2. Waterstofprojecten en ombouwstudies

Tabel 1 geeft een overzicht van thans, op basis van beschikbare literatuur en andere bronnen, bekende projecten en studies. Bij projecten gaat het om pilot-, proef- of demoprojecten waarbij waterstof fysiek geleverd is, vaak experimenteel. Studies betreffen uitwerkingen van analyses en plannen om een gasdistributienet om te bouwen naar waterstof.<sup>2</sup>

Voor Nederland zijn 8 projecten geïdentificeerd waarbij (het voornemen bestaat om) op kleine schaal waterstof te distribueren, c.q. toe te passen. Bij deze projecten gaat het op dit moment om hoogstens enkele tientallen woningen. Voor enkele projecten bestaat het voornemen tot uitbreiding naar enkele honderden woningen. De studies gaan over ombouw van gasdistributienetten met honderden tot enkele duizenden aansluitingen. Dit betreft niet alleen woningen maar ook grootverbruikers (waaronder ook zogenoemde cluster 6 bedrijven). De casestudies van Alliander (Haarlem, IJmuiden, Drachten en Heerenveen) – gebaseerd op leerervaringen in de pilot Lochem – en de studies van Stedin (Stad aan 't Haringvliet, Gouda en Noord-Beveland) geven daarbij de meeste informatie over de uitdagingen en mogelijke oplossingen bij ombouw van gasdistributienetten naar waterstof (zie volgende paragrafen). De studie voor Stad aan 't Haringvliet is uitgevoerd als voorbereiding op het daadwerkelijk realiseren van de ombouw.

Er zijn ook enkele projecten en studies in Duitsland en het Verenigd Koninkrijk gevonden. Voor het Verenigd Koninkrijk is een Hydrogen Network Plan opgesteld, inclusief het geschikt maken van aardgasdistributienetten voor waterstof [3]. De H21 studie uit Leeds biedt informatie over ombouw van het gasdistributienet. De meeste projecten in Duitsland (meer dan 60 ontvangen financiële ondersteuning van het Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz) hebben betrekking op grootschalige waterstofproductie, transport en toepassing in de industrie. Het LHyVE-project in Leipzig vormt hierop een uitzondering en overweegt ook waterstof te distribueren naar de gebouwde omgeving.

In de kleinere pilot- en demoprojecten vindt waterstoflevering plaats vanuit gasflessen, tubetrailers of met een lokale electrolyzer. Bij toepassing van electrolyzers is, voor het in stand houden van de vraag/aanbodbalans opslag van waterstof nodig. Bij levering van waterstof aan duizenden eindgebruikers wordt de benodigde waterstofopslag erg groot. Daarom wordt bij de studies naar ombouw van grotere delen van het distributienet uitgegaan van aansluiting, via het RTL-net, op het landelijk waterstofnet en de daarop aangesloten grootschalige ondergrondse waterstofopslag.

---

<sup>2</sup> Aan projecten gaan studies vooraf. Is er een voornemen om daadwerkelijk fysieke waterstof te distribueren en leveren spreken we hier over een project. Met een studie wordt aangeduid dat het een onderzoek betreft waarbij nog geen concreet voornemen bestaat om het distributienet van waterstof te voorzien.



Tabel 1 – Projecten en casestudies waterstofdistributie

| Naam                                     | Locatie                           | Land | Type    | Netbeheerder            | Waterstofaanbod                                      | Waterstofgebruik                   | Referentie |
|--|-----------------------------------|------|---------|-------------------------|--|------------------------------------|------------|
| Entrance                                 | Groningen                         | NL   | Project |                         | Lokale elektrolyzer                                  | CV-ketels                          | [4]        |
| Waterstofwijk Wagenborgen                | Wagenborgen                       | NL   | Project | Enexis                  | Tubetrailer (fase 1)<br>Lokale elektrolyzer (fase 2) | Hybride WP in 33 woningen          | [5]        |
| Waterstofpilot Hoogeveen                 | Hoogeveen                         | NL   | Project | Cogas/Rendo             | Tubetrailer/lokale elektrolyzer                      | 80-100 woningen, daarna ruim 400   | [6]        |
| Tijdelijke ombouw Uithoorn               | Uithoorn                          | NL   | Project | Stedin                  | Gasflessen   | 14 woningen                        | [7]        |
| Waterstofpilot Lochem                    | Lochem                            | NL   | Project | Alliander               | Tubetrailer  | 10 monumentale woningen            | [8]        |
| Waterstofpilot The Green Village         | Delft                             | NL   | Project | Alliander/Enexis/Stedin | Gasflessen   | Project afhankelijk                | [9]        |
| Waterstofpilot P2G                       | Rotterdam                         | NL   | Project | Stedin                  | Lokale elektrolyzer                                  | Gebouwde omgeving                  | [10]       |
| Waterstofombouw                          | Stad aan 't Haringvliet           | NL   | Project | Stedin                  | Lokale elektrolyzer                                  | 600 woningen                       | [11]       |
| Analysis on splitting up the gas network | Gouda                             | NL   | Studie  | Stedin                  | Landelijk waterstofnetwerk                           | Stedelijk gebied                   | [12]       |
|  | Noord-Beveland                    |      |         |                         |  | Landelijk gebied                   |            |
| H2.0                                     | Haarlem                           | NL   | Studie  | Alliander               | Landelijk waterstofnetwerk                           | Gebouwde omgeving, oude binnenstad | [13] [14]  |
|  | Ijmuiden                          |      |         |                         |  | Havengebied                        |            |
|  | Drachten                          |      |         |                         |  | Gebouwde omgeving                  |            |
| Theoretische studie                      | Heerenveen                        | NL   | Studie  | Alliander/Gasunie       | Landelijkwaterstofnetwerk                            | 5 industriële klanten              | [14]       |
| LHyVE                                    | Leipzig                           | D    | Studie  |                         | Landelijkwaterstofnetwerk                            | o.m. gebouwde omgeving             | [15]       |
| H2HoWi                                   | Holzwickede                       | D    | Project | Westnetz                | Tubetrailer  | 4 bedrijfsgebouwen                 | [16]       |
| H2Direkt                                 | Hohenwart                         | D    | Project | Thüga                   | Tubetrailer met groene waterstof                     | 10 woningen en een bedrijfsgebouw  | [17]       |
| H21                                      | Leeds                             | UK   | Studie  |                         | Blue H2 via HTL/RTL netwerk                          | Gebouwde omgeving                  | [18]       |
| H100 Five                                | Buckhaven en Denbeath (Schotland) | UK   | Project | SGN                     | Lokale elektrolyzer                                  | 300 woningen                       | [19]       |

### 3. Regelgeving in relatie tot marktordening

#### 3.1 Introductie marktordening

Marktordening is [20]:

“(…) het geheel aan regels en wetten dat beschrijft welke bedrijven op de markt actief mogen zijn (toetredingsregulering) en onder welke voorwaarden (gedragsregulering), en ook welke keuzemogelijkheden de consumenten hebben. Goede marktordening is erop gericht markten zo in te richten dat ze maatschappelijke optimaal kunnen werken.”

Met het ordenen van een markt kan de overheid deze bijsturen in haar ontwikkeling of functioneren zodat de hiermee gemoeide publieke belangen voldoende geborgd zijn [21]. Voor energie zijn de relevante publieke belangen betaalbaarheid, betrouwbaarheid, duurzaamheid, veiligheid en ruimtelijke inpasbaarheid [22].

De marktordening voor aardgas heeft zich door de jaren heen gevormd. Sinds de eeuwwisseling is onder invloed van EU-beleid ingezet op herstructurering en liberalisering van de gasmarkt. Dit krijgt vorm via een gelaagd regelgevend kader dat de gasmarkt ordent. Het regelgevend kader bestaat uit:

- Europese wetgeving, met name de Gasrichtlijn, Gasverordening, Gas Leveringszekerheidsverordening en netwerkcodes;
- Nationale wetgeving, met name de Gaswet;
- Nationale lagere regelgeving, met name op de Gaswet gebaseerde Algemene Maatregelen van Bestuur, Ministeriële Regelingen en door de ACM vastgestelde tariefstructuren en voorwaarden.

Het regelgevend kader bevat onder andere de elementen weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 – Elementen van de huidige marktordening voor aardgas

| Element                               | Uitleg   |
|---------------------------------------|--|
| Afbakening segmenten                  | Verschillende infrastructuursegmenten zijn gedefinieerd, zoals transmissiesysteem, distributiesysteem, opslaginstallatie en LNG-installatie.   |
| Ontvlechting                          | Er gelden regels over de ontvlechting van verschillende activiteiten, zoals de ontvlechting van netbeheer enerzijds en productie en levering anderzijds.   |
| Derdentoeegang                        | Marktpartijen moeten onder niet-discriminerende voorwaarden toegang kunnen krijgen tot belangrijke infrastructuur, zoals transmissiesystemen, distributiesystemen, opslaginstallaties en LNG-terminals.  |
| Nettarieven                           | De nettarieven voor de toegang tot de netten worden gereguleerd door een onafhankelijke toezichthouder.  |
| Groothandelsmarkt                     | Regels over de werking van de groothandelsmarkt (entry-exit zones, balancering, capaciteitsallocatie, congestiemanagement) zijn vastgelegd in het regelgevend kader.   |
| Retailmarkt en consumentenbescherming | Uitgangspunt is dat de retailmarkt een vrije markt is waarbij leveranciers hun prijzen bepalen en consumenten hun leverancier kiezen. Onder voorwaarden is ook regulering van de retailprijs toegestaan voor kwetsbare en energiearme huishoudens. Daarnaast zijn er verschillende maatregelen om consumenten te beschermen opgenomen in het regelgevend kader. Het gaat bijvoorbeeld om het recht om van leverancier te |

|                    |  |
|--------------------|--|
|                    | wisselen, het recht op een slimme meter, het recht op geschilbeslechting buiten de rechtbank of het recht op prijsvergelijking.  |
| Leveringszekerheid | Rollen en verantwoordelijkheden van partijen t.a.v. leveringszekerheid zijn gedefinieerd in de Gasleveringszekerheidsverordening. Het beleid is er op gericht de levering aan kleinverbruikers te verzekeren. Er geldt een Europese infrastructuurnorm (N-1 criterium transmissienet) en leveringsnorm (ook levering op koude dagen of bij grote onderbreking). Lidstaten moeten preventieve actieplannen en noodplannen maken om de leveringszekerheid te garanderen. In geval van nood moeten andere lidstaten te hulp schieten. Recent is ook een verplichting voor het vullen van gasopslagen opgenomen in de Gasleveringszekerheidsverordening. |

Een soortgelijk regelgevend kader voor waterstof ontbreekt nog, maar is wel in ontwikkeling. De Europese Commissie heeft in december 2021 voorgesteld om de Gasverordening en Gasrichtlijn te wijzigen, zodanig dat waterstofinfrastructuur en waterstofmarkten onderdeel worden van het regelgevend kader (hierna: Decarbonisatiepakket) [23]. Hoewel de onderhandelingen over het pakket nog lopen is het de verwachting dat in grote lijnen het Decarbonisatiepakket zal worden aangenomen [24]. Onderdelen van het pakket kunnen natuurlijk wel wijzigen als gevolg van de onderhandelingen. De regels treden naar verwachting rond 2025 in werking.<sup>3</sup>

De plannen voor omschakeling van distributienetten zullen dus naar alle waarschijnlijkheid aan moeten sluiten bij dit regelgevend kader. We gaan daarom in dit hoofdstuk in op de marktordening zoals opgenomen in het Decarbonisatiepakket. Daarbij beschrijven we welke verplichtingen dit voor partijen met zich mee brengt bij ombouw van het gasdistributienet. Daarbij gaan we ook in op de vraag of het nodig is om bij ombouw van gasdistributienetten aanvullende regels vast te stellen om de publieke belangen te borgen.

In de periode tot circa 2025 gelden er geen specifieke regels voor waterstof. Hoewel het niet de verwachting is dat in de periode tot 2025 op grote schaal ombouw van aardgasdistributienetten naar waterstof plaatsvindt, zullen er wel pilots plaatsvinden. De ACM heeft bij gebrek aan een specifiek wettelijk kader zelf bepaalde eisen gesteld aan waterstofpilots in de gebouwde omgeving (hierna: Tijdelijk kader waterstofpilots) [25]. We gaan ook in op deze eisen.

### 3.2 Decarbonisatiepakket

Het voorgestelde Decarbonisatiepakket maakt de waterstofinfrastructuur en -markten onderdeel van het regelgevend kader voor gas. De voorgestelde marktordening voor waterstof bevat dan ook grotendeels dezelfde elementen als voor aardgas. Daarbij zijn er wel een aantal belangrijke verschillen per element. Voor sommige onderdelen geldt daarbij gedurende een overgangperiode tot 2031 meer flexibiliteit om rekening te houden met de ontwikkelingsfase van de waterstofinfrastructuur en -markt. Tabel 3 geeft het overzicht hiervan weer.

Uit Tabel 3 kunnen we drie rode draden destilleren:

1. Het voorgestelde Decarbonisatiepakket stelt een aantal concrete eisen waar de partijen betrokken bij de omschakeling aan moeten voldoen. Zo moet een waterstofnetbeheerder

<sup>3</sup> De gewijzigde Gasrichtlijn zal moeten worden omgezet in nationale wetgeving. Naar verwachting wordt rond 2025 de gewijzigde Gasrichtlijn omgezet in de Energiewet.

worden opgericht, ontvlecht zijn van productie en levering en aangewezen en gecertificeerd. Er moet duidelijkheid zijn over de tarieven en voorwaarden voor toegang tot het net. Voor de bepaling van de hoogte van de tarieven is de overdracht van de activa van de aardgasdistributienetbeheerder naar de waterstofnetbeheerder een belangrijke stap.

2. Het voorgestelde Decarbonisatiepakket is opgesteld op basis van de aanname dat waterstof vooral gebruikt zal worden door de industrie en zwaar transport. Het lijkt er daarom op dat de regels geen rekening houden met levering van waterstof via een distributienet aan kleinverbruikers. Dit kan ervoor zorgen dat zonder aanvullend (nationaal) beleid bij omschakeling van aardgas naar waterstof de afnemers minder bescherming genieten (zoals consumentenbescherming of leveringszekerheidsbeleid) en daarmee een belemmering voor overstap van aardgas naar waterstof vormen. Bij aanbod van waterstof via het landelijk waterstofnet lijkt het wel mogelijk om nationaal met aanvullend beleid de bescherming van waterstofverbruikers gelijk te trekken met aardgasverbruikers.
3. Het voorgestelde Decarbonisatiepakket gaat uit van een geografisch grote markt waarin er – in theorie – voldoende concurrentie mogelijk is tussen producenten, niet-ondergrondse waterstofopslag en waterstofterminals. Als waterstof niet via het landelijk waterstofnet geleverd wordt maar op een andere manier (opties 1 t/m 3 in Figuur 1) is het daarom goed denkbaar dat de marktordening zoals voorgesteld in het voorgestelde Decarbonisatiepakket niet goed past bij de feitelijke situatie. Levering van waterstof via een lokale elektrolyzer met opslag vraagt mogelijk om regulering van de hele keten, zoals bij warmtenetten. Het is echter de vraag of het voorgestelde Decarbonisatiepakket daar de ruimte voor geeft.

Tabel 3 – Eisen voor omschakeling op basis van het voorgestelde Decarbonisatiepakket

| Element              | Eisen voor omschakeling waterstofdistributienet   |
|----------------------|---|
| Afbakening segmenten | Het pakket definieert de verschillende segmenten van de waterstofketen, zoals waterstofnetwerk, waterstofterminal, waterstofopslag en waterstofinterconnector. Een belangrijk verschil met aardgas is dat er voor waterstof geen onderscheid wordt gemaakt tussen transmissiesysteembeheerders en distributiesysteembeheerders, maar dat er in beide gevallen sprake is van een waterstofnetbeheerder. Voor een waterstofdistributienetbeheerder gelden dus dezelfde regels als voor een waterstoftransmissiesysteembeheerder. Bij omschakeling is van belang om te bepalen onder welke definitie verschillende activiteiten van de waterstofketen vallen. Zo lijkt het er bijvoorbeeld op dat naast terminals waar waterstofscheppen aanmeren ook een klein station voor de ontlading van tubetrailers onder de definitie van een waterstofterminal vallen. Voor waterstofterminals gelden vervolgens specifieke verplichtingen op basis van het pakket. |
| Ontvlechting         | Op hoofdlijnen gelden voor waterstofnetbeheerders dezelfde ontvlechtingseisen als voor aardgastransmissiesysteembeheerders. Het pakket staat drie verschillende ontvlechtingsmethodes toe ( <i>ownership unbundling</i> , <i>independent system operator</i> en <i>independent transmission system operator</i> ). Deze drie methodes zorgen ervoor dat waterstofnetbeheer onafhankelijk is van waterstofproductie of -levering (verticale ontvlechting). Om te controleren of een waterstofnetbeheerder aan de eisen voldoet moet de waterstofnetbeheerder worden aangewezen en vervolgens gecertificeerd door de toezichthouder. Daarnaast gelden er  |

|                       |  |
|-----------------------|--|
|                       | <p>horizontale ontvlechtingseisen. Als een waterstofnetbeheerder onderdeel is van een onderneming die ook actief is bij transmissie en distributie van aardgas, dan moet de waterstofnetbeheerder op zijn minst een onafhankelijke juridische entiteit zijn (aparte B.V.) en een gescheiden boekhouding voor deze verschillende activiteiten hanteren. Kortom, voordat een aardgasdistributienet kan worden omgezet naar een waterstofdistributienet moet binnen de netwerkgroep een aparte B.V. worden opgericht die wordt aangewezen als waterstofnetbeheerder en gecertificeerd door de ACM. Uitzonderingen op de ontvlechtingseisen zijn slechts toegestaan voor “geografisch afgebakende netten” en “bestaande waterstofnetten”. Deze uitzonderingsmogelijkheden lijken beperkter dan voor bijvoorbeeld een gesloten distributiesysteem bij aardgas.</p>  |
| <p>Derdentoeegang</p> | <p>Waterstofnetbeheerders moeten toegang verlenen tot hun net. Vanaf 2031 geldt daarbij een systeem van gereguleerde derdentoeegang, wat betekent dat de toezichthouder de tarieven en toegangvoorwaarden goedkeurt of vaststelt. In de periode tot 2031 mag een lidstaat kiezen voor onderhandelde derdentoeegang, waarbij de netbeheerder in onderhandeling met aangeslotenen de tarieven en voorwaarden bepaalt. Een keuze voor onderhandelde derdentoeegang tot 2031 zou kunnen betekenen dat afnemers die switchen van aardgas naar waterstof in de periode voor 2031 minder bescherming tegen de marktmacht van de netbeheerder genieten. Ongeacht of er sprake is van gereguleerde of onderhandelde derdentoeegang, is van belang dat er vóór de omschakeling van aardgas naar waterstof duidelijkheid is over de tarieven en voorwaarden om gebruik te maken van het waterstofnet. Daarbij gelden een aantal verplichtingen voor waterstofnetbeheerders. Zo moet (i) een waterstofnetbeheerder non-discriminatoire toegang verlenen, (ii) mag de waterstofnetbeheerder geen capaciteit achterhouden (rekening houdend met systeemintegriteit), (iii) geldt er een maximale duur van capaciteitscontracten en (iv) moet de waterstofnetbeheerder congestiemanagementprocedures implementeren.</p> |
| <p>Nettarieven</p>    | <p>Bij gereguleerde derdentoeegang stelt de toezichthouder de tarieven vast of keurt deze goed. Bij de regulering van nettarieven kunnen we een onderscheid maken tussen de tariefstructuur en de inkomstenregulering. De inkomstenregulering bepaalt hoe hoog de inkomsten zijn die een waterstofnetbeheerder mag verkrijgen. De tariefstructuur bepaalt hoe die inkomsten worden omgeslagen naar tarieven voor verschillende categorieën netgebruikers. Bij omschakeling naar waterstof is van belang dat er duidelijkheid is over de tariefstructuur. Voor de inkomstenregulering is een belangrijk element dat er sprake is van een waardeoverdracht van de aardgasdistributiesysteembeheerder naar de waterstofnetbeheerder. Het Decarbonisatiepakket eist in principe dat de waarde van de overgedragen assets bepaald wordt door de toezichthouder. Dat betekent dat de waterstofnetbeheerder de aardgasdistributiesysteembeheerder die waarde moet betalen om de assets te verkrijgen. Vervolgens kan de waterstofdistributiesysteembeheerder via de tarieven de kosten daarvan dekken. Een optie die het Decarbonisatiepakket biedt is om</p>   |

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
|                                       | <p>een deel van de kosten van de overgedragen assets tijdelijk nog bij afnemers aangesloten op het aardgasnet in rekening te brengen. Er gelden specifieke voorwaarden voor deze optie.</p>   |
| Groothandelsmarkt                     | <p>Het Decarbonisatiepakket laat voor de werking van de groothandelsmarkt nog veel open. Regels over balancerings, congestiemanagement of capaciteitsallocatie worden vermoedelijk opgenomen in nog te ontwikkelen netwerkcodes. Bij de omschakeling van een distributienet van aardgas naar waterstof is van belang om te bepalen wat hierbij de interactie is met de groothandelsmarkt. Als het distributienet is aangesloten op het landelijke waterstofnet zijn bijvoorbeeld regels over balancerings nodig. Bij opties waarbij waterstof niet via het landelijk waterstofnet geleverd wordt is de werking van de markt een aandachtspunt. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat er geen concurrentie is tussen opslagen of tussen terminals voor het ontladen van tubetrailers. Vrije marktwerking in die segmenten is bij een gebrek aan concurrentie waarschijnlijk niet wenselijk, maar is wel waar het Decarbonisatiepakket in principe van uitgaat.</p>  |
| Retailmarkt en consumentenbescherming | <p>Het Decarbonisatiepakket is gebaseerd op de aanname dat waterstof vooral verbruikt zal worden door de industrie en bij zwaar transport. Het is niet de verwachting van de Europese Commissie dat waterstofverbruik door kleinverbruikers in de gebouwde omgeving een grote rol zal krijgen. Daarom bevat het Decarbonisatiepakket minder regels die de bescherming van consumenten in de retailmarkt regelen. Voor zowel waterstof als aardgas is het uitgangspunt dat er sprake is van een vrije retailmarkt waarbij consumenten vrij zijn hun leverancier te kiezen en leveranciers vrij zijn om hun prijzen te bepalen. Voor aardgas bevat het pakket wel de mogelijkheid om bij wijze van uitzondering de prijs voor de levering aan kwetsbare en energiearme huishoudens te reguleren. Voor waterstof bestaat een soortgelijke mogelijkheid niet. Ook een aantal andere artikelen over retailmarkten en consumentenbescherming die van toepassing zijn op aardgas zijn niet van toepassing op waterstof. In feite is de bescherming van waterstofkleinverbruikers op basis van het pakket gelijk aan de bescherming van waterstofgrootverbruikers, terwijl bij aardgas kleinverbruikers meer bescherming genieten. Het lijkt er op dat het pakket de lidstaat wel de mogelijkheid laat om uit eigen beweging een hoger beschermingsniveau voor kleinverbruikers te implementeren.</p> |
| Leveringszekerheid                    | <p>De Gasleveringszekerheidsverordening is niet van toepassing op waterstof. De consequentie daarvan is dat op basis van het Decarbonisatiepakket de leveringszekerheid van waterstof niet of nauwelijks geregeld is. Voor de levering van waterstof in de gebouwde omgeving en aan kleinverbruikers is zulke bescherming wel wenselijk.</p>  |



### 3.3 Tijdelijk kader waterstofpilots

In de periode tot 2025 is er waarschijnlijk nog geen regelgevend kader dat de marktordening voor waterstof beschrijft.<sup>4</sup> In die periode zullen er wel pilots plaatsvinden, maar de veiligheid en consumentenbescherming zijn daarbij onvoldoende beschermd op basis van de huidige wetgeving. De ACM vindt dit onwenselijk en heeft daarom een Tijdelijk kader waterstofpilots opgesteld [25]. De ACM geeft daarin aan dat zij de rol van netbeheerders bij waterstofpilots gedooft, mits de pilot aan bepaalde voorwaarden voldoet. De voorwaarden zijn onderverdeeld in generieke voorwaarden, voorwaarden m.b.t. consumentenbescherming en voorwaarden met betrekking tot veiligheid.

#### *Gedogen rol netbeheerders*

Het huidige wettelijke kader verbiedt netbeheerders om een rol te hebben bij waterstofpilots, omdat netbeheerders zich volgens de wet moeten beperken tot hun wettelijke taken voor gas en elektriciteit. Een ander bedrijf in de netwerkgroep mag op basis van de huidige wetgeving overigens wel betrokken zijn bij waterstofpilots (maar niet bij productie, handel of levering). De ACM wil juist netbeheerders de ruimte geven om via pilots te leren en gedooft daarom de rol van netbeheerders bij waterstofpilots.

Dit betekent dat voor pilots en totdat een specifiek wettelijk kader in werking is getreden het niet nodig is een aparte waterstofnetbeheerder op te richten binnen de netwerkgroep om deel te kunnen nemen aan pilots.

#### *Generieke voorwaarden*

De ACM stelt de volgende generieke voorwaarden aan waterstofpilots [25]:

- De pilot heeft betrekking op de toepassing van waterstof als warmtevoorziening in de gebouwde omgeving.
- De rol van de netbeheerder is beperkt tot de aanleg (of hergebruik van gasnetten), het beheer en onderhoud van het waterstofnet en daarbij behorende hulpmiddelen. Netbeheerders mogen de distributie van waterstof over het net verrichten, maar hebben geen rol bij de productie, handel en levering van waterstof.<sup>5</sup>
- De pilot draagt bij aan een duidelijk vooraf vastgesteld leerdoel voor de netbeheerder dat is vastgesteld met instemming van alle betrokken partijen, waarbij de netbeheerder de resultaten tussentijds en achteraf transparant deelt met de markt.
- De omvang van de pilot is niet groter dan nodig om het leerdoel te bereiken.
- De geboden ruimte is tijdelijk, totdat de rol van de netbeheerder wettelijk is geregeld, het leerdoel van het experiment is bereikt of het doel in de praktijk toch niet haalbaar blijkt.
- De geboden ruimte is voor een duur van maximaal vijf jaar vanaf het moment van publicatie van deze voorwaarden. Organisatoren van pilots kunnen voor een looptijd van langer dan vijf jaar kiezen. De pilot is dan voor voltooiing van de looptijd afhankelijk van het binnen vijf jaar gereedkomen van nieuwe wet- en regelgeving omtrent die betrokkenheid van de netbeheerder bij pilots met waterstof mogelijk maakt.

---

<sup>4</sup> Het is wel mogelijk dat nationaal de marktordening voor waterstof al voor 2025 wordt opgenomen in wetgeving.

<sup>5</sup> Netwerkbedrijven (een ander bedrijf dan de netbeheerder, binnen de netwerkgroep) mogen in een minderheidsbelang wel een rol hebben bij productie en levering van waterstof, zolang er geen sprake is van zeggenschap over productie en levering.

### *Consumentenbeschermingsvoorwaarden (waaronder ook leveringszekerheid)*

De ACM stelt als eis dat consumentenbescherming bij waterstofpilots ten minste op hetzelfde niveau is als bij aardgas. Dit betekent onder andere dat potentiële afnemers bij een waterstofpilot goed en volledig geïnformeerd moeten worden en dat een aantal artikelen uit de Gaswet en daarop gebaseerde lagere regelgeving die consumentenbescherming voor aardgas regelen naar analogie ook van toepassing zijn waterstofpilots. Het gaat dan om regels met betrekking tot een klachtenprocedure bij de netbeheerder, een meldpunt voor gebreken, energiekostenramingen en facturen, informatie in contracten en rekeningen, een leveringsplicht tegen redelijke tarieven en voorwaarden, het afsluitbeleid, consumentenbescherming en een klachtenprocedure bij de leverancier. Tot slot stelt de ACM een aantal aanvullende voorwaarden voor waterstofpilots. De aanvullende voorwaarden hebben betrekking op (i) de contractopzet en looptijd van de pilot, (ii) de leveringszekerheid, (iii) de ombouw van de binnen-installatie en (iv) de kosten en tarieven. Kort samengevat volgt uit deze aanvullende eisen dat deelnemers aan een pilot daar geen nadeel van mogen ondervinden. Het moet bijvoorbeeld duidelijk zijn wat de rechten van de consument zijn bij beëindiging van de pilot, hetzelfde niveau van leveringszekerheid als bij aardgas moet worden verzekerd, de binneninstallatie moet worden geïnstalleerd, gecontroleerd en onderhouden door één van de pilotpartijen en de kosten moeten transparant zijn en mogen niet hoger zijn dan aardgaslevering.

### *Veiligheidsvoorwaarden*

Voor de veiligheidsvoorwaarden verwijst de ACM naar een door EZK af te ronden tijdelijk beleidskader [26] [27] [28].

## 4. Materialen en componenten en technische kennis/kunde voor de ombouw

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van alle aanwezige componenten en materialen in het huidige gasdistributienet en gasinstallaties. Verder wordt informatie gegeven of deze componenten kunnen worden gebruikt voor het transport van waterstof of dat er aanpassingen of installatie van nieuwe componenten nodig zijn. Er wordt ook een inventarisatie gemaakt van de benodigde gereedschappen, PBM's, technische kunde en kennis die nodig zijn voor de ombouw.

Dit hoofdstuk is opgedeeld in twee delen. De eerste paragraaf richt zich op het gasdistributienet vanaf het gasontvangstation (GOS) tot aan de gasmeter van de klant. De tweede paragraaf geeft inzicht in componenten en installaties achter de meter. Hierbij wordt gekeken naar drie categorieën eindgebruikers: huishoudens/woningen, utiliteitsgebouwen en zakelijke grootverbruikers.

### 4.1 GOS tot en met de gasmeter

#### 4.1.1 Componenten in het net vanaf gasontvangstation tot en met de gasmeter

Het gasontvangstation (GOS) vormt de verbinding tussen het transportnet van de landelijke netbeheerder (Gasunie Transport Services) en het distributienet van de regionale netbeheerder. Hier wordt de gasdruk verlaagd tot circa 8 bar. Het gas wordt vervolgens via verschillende soorten gasdrukregel- en meetstations aan de eindgebruikers geleverd. Verder zitten er afsluiters, verbindingstukken, huisdrukregelaars en andere componenten in het gasdistributienet.

Tabel 4 geeft een overzicht van alle componenten in het gasdistributienet samen met de status van onderzoek naar compatibiliteit met waterstof.

Tabel 4 – Componenten in het gasdistributienet en de huidige status van onderzoek naar waterstof

| Componenten                               | Status van onderzoek  |
|---|---|
| Gasontvangstation (GOS)                   | Er zijn tot nu toe geen testen uitgevoerd om de functionaliteit van een bestaande GOS met waterstof te controleren. Gezien de testen uitgevoerd op hogedruk afleverstations (HAS) en districtstations (DS), zijn er geen redenen om te vermoeden dat waterstof een negatieve invloed heeft op de drukregeling en veiligheidsmechanismen. Veldproeven worden echter aanbevolen om dit te bevestigen. De meetapparatuur in een GOS zal vervangen moeten worden. Verder is het aan te raden om de gasfilters vaker te inspecteren na omschakeling want het is de verwachting dat meer stof getransporteerd zal worden met waterstof vanwege de hogere snelheid [29]. |
| Hogedruk afleverstation/aansluitset (HAS) | Er zijn twee verschillende onderzoeken waarin een standaard HAS werd getest met waterstof. Het geteste HAS met veerbelaste regelaar in HyDelta 1 kan zonder aanpassingen worden toegepast voor waterstof [30]. Dit betreft alleen het technisch functioneren. Het bestaande getest HAS in Uithoorn werkte ook goed met waterstof zonder aanpassingen [7]. Het wordt aangeraden om de gasfilters vaker te inspecteren na omschakeling want het is de verwachting dat meer stof getransporteerd zal worden met waterstof vanwege de hogere snelheid [29].   |
| Open eindlevering (OEL)                   | De meetapparatuur zal vervangen moeten worden afhankelijk van de meetcapaciteit en het meetprincipe. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de bestaande grootverbruik gasmeters met  |

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
|                                 | waterstof is nog niet onderzocht. Normaal wordt rotorgasmeter of turbinegasmeter gebruikt in OELs.  |
| Afleverstation (AS)             | Er zijn tot nu toe geen testen uitgevoerd om de functionaliteit van een bestaande AS met waterstof te controleren. Gezien de testen uitgevoerd op een HAS en een DS, zijn er geen redenen om te vermoeden dat waterstof een negatieve invloed heeft op de technische functionaliteit. Veldproeven worden echter aanbevolen om dit te bevestigen. Beschikbaarheid van gecertificeerde componenten kan de overstap naar waterstof helpen versnellen.  |
| Overslagstation (OS)            | Er zijn tot nu toe geen testen uitgevoerd om de functionaliteit van een bestaande OS met waterstof te controleren. Er zijn geen redenen om te vermoeden dat waterstof een negatieve invloed heeft op de technische functionaliteit. Veldproeven worden echter aanbevolen om dit te bevestigen. De meetapparatuur in een OS zal vervangen moeten worden, afhankelijk van de meetcapaciteit en het meetprincipe. Het wordt aangeraden om de gasfilters vaker te inspecteren na omschakeling want het is de verwachting dat meer stof getransporteerd zal worden met waterstof vanwege de hogere snelheid [29].  |
| Districtstation (DS)            | Twee DS's werden getest – één met gasgestuurde regelaar en een tweede met veerbelaste regelaar [31] [30]. De geteste districtstations kunnen zonder aanpassingen toegepast worden voor waterstof. Dit betreft alleen het technisch functioneren. Het wordt aangeraden om de gasfilters vaker te inspecteren na omschakeling want het is de verwachting dat meer stof getransporteerd zal worden met waterstof vanwege de hogere snelheid [29].  |
| Meteropstelling lagedruk (MOLD) | De meetapparatuur zal vervangen moeten worden afhankelijk van de meetcapaciteit en het meetprincipe. De nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de bestaande gasmeters (rotorgas- of turbinegasmeters) met waterstof is nog niet onderzocht. Bij Entrance werden G4 en G6 balgenmeter getest. Het bleek dat zij wel ingezet kunnen worden voor het meten van waterstofdebieten, maar de geconstateerde afwijkingen waren groter dan vanuit de Measuring Instrument Directive (MID) vereist is [6].  |
| Drukregelaars                   | De bestaande huisgasdrukregelaar bleek goed te werken met waterstof tot 10 Nm <sup>3</sup> /h en er werd geen geluid van resonantie waargenomen [7]. In het kader van HyDelta 1, werden 40 huisdrukregelaars getest met waterstof. Er werd geconcludeerd dat er geen veiligheidsrisico's zijn wanneer de drukregelaars gebruikt worden met waterstof. Mogelijk kunnen wel meer storingen ontstaan door het gevoeliger ingrijpen van de gasgebrekbeveiliging. Ook zullen sluitdrukken enkele mbars hoger worden bij waterstof. Het wordt aangeraden om de beslissing over het vervangen van de huisdrukregelaar te maken op het basis van de beslisboom in figuur 6 in het rapport D1C.4 (van HyDelta 1) [32]. |
| Gasmeters                       | Deze moeten vervangen worden door exemplaren die op dezelfde fysieke plek passen. Bij dezelfde energievraag wordt een circa drie keer zo groot waterstof volume getransporteerd in dezelfde leiding. De bestaande balgengasmeters kunnen niet gebruikt worden met waterstof want de verhoogde volumestroom valt   |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>buiten het bereik van de bestaande meters op piekmomenten. Er is weinig ruimte in de meterkast om een grotere balgenmeter te plaatsen. Daarnaast hebben deze gasmeters aardgaskeur en de nauwkeurigheid met waterstof is nog niet onderzocht. Een paar leveranciers zijn bezig met ontwikkeling van waterstofmeters op basis van een ultrasoon en thermische massastroom meetprincipe. Het is verwacht dat toegelaten waterstofmeters door de leveranciers op korte termijn (eind 2024) kunnen geleverd worden [33]. Tijdens de ombouw in Uithoorn bleven de ‘oude’ balgenmeters zitten. Deze deden het wel maar de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de metingen is niet onderzocht [7]. Bij Entrance werden G4 en G6 balgenmeter getest. Het bleek dat zij wel ingezet kunnen worden voor het meten van waterstofdebieten, maar de geconstateerde afwijkingen waren groter dan vanuit de Measuring Instrument Directive (MID) vereist is. Bij Entrance is ook een G6-Ultrasoon meter getest en deze bleek op de aangeboden waterstofdebieten niet te reageren.</p> |
| Verbindingen (mof-, las-, flens-, draad-, soldeer-, klem-, knelverbindingen)               | <p>Tijdens de ombouw in Uithoorn zijn soldeer-, knel-, pers- en draadverbindingen gecontroleerd op lekdichtheid. Het bleek dat alle verbindingen behalve drie knelkoppelingen vrijwel lekdicht waren voor waterstof. Het wordt aanbevolen om knelkoppelingen goed te controleren op doorzweten met waterstof [7]. Dit kan met behulp van een waterstoflekdetector rond de koppelingen wanneer de installatie onder druk is met waterstof. De las- en draadverbindingen zijn geschikt en lekdicht voor zowel aardgas als waterstof [34].</p>   |
| Afdichtingen   | <p>Het blijkt uit literatuurstudie dat de gebruikte zachte materialen wel geschikt zijn voor waterstof [35]. Echter de lekdichtheid en permeatie effect nog niet volledig onderzocht is.</p>  |
| Hulpstukken en gaszadels (aftakkingen en overgangstukken zoals T-stukken, knieën, bochten) | <p>Hulpstukken van PVC-U en PVC-Hi zijn getest in het Kiwa-lab en zij voldoen aan de eisen gesteld in NEN7231. Er wordt geconcludeerd dat PVC-hulpstukken in het gasdistributienet lekdicht zijn voor waterstof [36].</p>   |
| Kunststof zakstuk  | <p>De kunststof zakstukken, gebruikt als verbinding tussen de PVC-aansluitleiding en de koperen binnenleiding, werden getest voor lekkages in DNV-laboratorium op 150 mbarg. Ze bleken lekdicht te zijn [7].</p>  |
| Afsluiters   | <p>De materialen in de afsluiters zijn compatibel met waterstof. Echter de externe en interne lekdichtheid van de afsluiters met waterstof nog niet onderzocht is. Het wordt aangeraden om een paar bestaande afsluiters van het gasdistributienet uit te halen (mogelijk tijdens gassanering) en testen uitvoeren voor externe en interne lekdichtheid en Bedienbaarheid.</p>  |
| Gasstopper   | <p>Er werd een gasstopper, type G4, van het fabricaat Pipelife op verzoek van Alliander bij Kiwa getest. De gasstopper greep in bij een gasdebiet waterstof van ca. 25 m<sup>3</sup> per uur [37]. Voor de gasstoppers loopt er een onderzoek bij Kiwa in opdracht van Netbeheer Nederland waarbij drie verschillende gasstoppers worden getest op 100% waterstof. De resultaten daarvan zijn verwachten voor het eind van het jaar 2022.</p>   |

#### 4.1.2 Gasleidingen en materialen

Het gasdistributienet bestaat voor ongeveer 82% uit lagedruk distributienetten (30 en 100 mbar) en 18% hogedruk distributienetten (1, 3, 4 of 8 bar). Het gas van het distributienet wordt geleverd naar de leveringspunt van de eindverbruiker via aansluitleidingen. Diverse leidingmaterialen gebruikt in het gasdistributienet zijn:

- Kunststoffen
  - Polyetheen (PE) - Aansluitleidingen, hoge- en lagedruk distributienet
  - Slagvast polyvinylchloride (slagvast PVC) - Aansluitleidingen en lagedruk distributienet
  - Hard polyvinylchloride (hard PVC) - Aansluitleidingen en lagedruk distributienet
- Metalen
  - Staal – Aansluitleidingen, hoge- en lagedruk distributienet
  - Grijs gietijzer – Hoge- en lagedruk distributienet
  - Nodulair gietijzer – Hoge- en lagedruk distributienet
  - Koper - Aansluitleidingen en binnenleidingen

Uit inventarisatie van literatuur en uitgevoerde laboratoriumproeven en praktijktesten werd in het onderzoek 'Toekomstbestendige gasdistributienetten' geconcludeerd dat alle PE, PVC en staal materialen in het bestaande gasdistributienetwerk geschikt zijn voor waterstof [38]. Er werd ook geconcludeerd op het basis van een literatuurstudie dat zachte materialen - rubbers, plastics, smeermiddelen (hoofdbestanddeel olie), epoxyharsen en lijmen in gasdistributienet geschikt zijn voor waterstof [35]. Het wordt echter aanbevolen om rekening te houden met de mogelijk hogere permeatie van waterstof. De gasleidingen in het distributienet hoeven niet vervangen te worden voor het gebruik met waterstof. Alle grijs gietijzer en nodulair gietijzer leidingen in Nederland worden sowieso vervangen door de Netbeheerders in verband met de veiligheid van het gasnet omdat gietijzer breukgevoelig is. In Lochem is het besloten om alle stalen- en hard pvc-aansluitleidingen te vervangen voor het gebruik met waterstof vanwege hoge faalfrequentie waarden van deze aansluitleidingen.

#### 4.1.3 Werkprocedure en benodigdheden tijdens onderhoud en werkzaamheden

##### 4.1.3.1 Werkzaamheden aan gasstations

Werkzaamheden aan gasstations omvatten activiteiten zoals:

- in- en uit bedrijf nemen van stations
- het druk vereffenen in het geval dat de veiligheden aangesproken zijn
- B-inspecties
- C-inspecties
- vervangen van onderdelen
- reparatie van een defect onderdeel

Tijdens de voornoemde activiteiten zijn er situaties waarbij gas zal vrijkomen. Binnen het HyDelta 1 onderzoeksprogramma werd onderzocht of de huidige beheersmaatregelen bij werkzaamheden aan aardgasstations aangepast moeten worden in het geval ze als waterstofstations worden gebruikt [39]. De conclusie was dat de maatregelen beschreven in G-51-, G-52-, G-53- en G-54-Veiligheidswerkinstructies<sup>6</sup> (VWI's) ook voor waterstof gevolgd moeten worden met als enige aanpassing het gebruik van geschikte apparatuur voor waterstofdetectie en geschikte antistatische

<sup>6</sup> Een VWI is een veiligheidstechnische beschrijving van de uitvoering van een activiteit. Deze moet gebruikt worden naast de bestaande montage-instructies.

kleding. Verder wordt aangeraden om gebruik te maken van een afblaas/affakkelininstallatie bij het drukloos maken van de gasregelinstallatie. Gasuitstromingen direct op de installatie moeten worden vermeden. Een waterstofvlamdoover moet toegepast worden bij affakkelen en afblazen. Zorg ervoor dat er zich geen obstakels in de directe nabijheid van het uitstroompunt van de fakkels of afblaasinstallatie bevinden. Geschat wordt dat een afstand tussen uitstroompunt en mogelijke ontstekingsbronnen 2 tot 3 keer groter dan bij aardgas gehanteerd moet worden. Dit is indicatief 7 meter. Praktijkonderzoek wordt aanbevolen om deze afstand te verifiëren.

#### 4.1.3.2 In- en uit bedrijf stellen van waterstofleidingen

Bij het in- en uit bedrijf stellen van de leidingen (behalve tijdens de ombouw van netten van aardgas naar waterstof, want dan het aardgas direct met waterstof te verdringen veiliger is) moeten de waterstofleidingen met een inert gas (meestal stikstof) gespoeld worden. Dit wordt aangeraden om aanwezigheid van een brandbaar mengsel in de leiding te voorkomen. Uit onderzoek en praktijktesten blijkt dat een minimale spoelsnelheid van 0,4 m/s nodig is en er wordt geadviseerd een spoelsnelheid van 1,0 m/s aan te houden [40]. Bij het spoelen van waterstofleidingen met stikstof hoeft er geen waterstof vlamdoover bij de afblaas- en affakkelininstallatie toegepast te worden want de kans op vlaminslag is niet aanwezig [41].

Tabel 5 toont het benodigde debiet voor spoelen per leidingdiameter [40].

Tabel 5 – Benodigde debiet voor spoelen

| Leidingdiameter | Minimaal benodigde spoelsnelheid [m/s] | Benodigd debiet bij de minimaal benodigde spoelsnelheid [m <sup>3</sup> /h] | Benodigd debiet bij de geadviseerde spoelsnelheid van 1,0 m/s [m <sup>3</sup> /h] |
|-----------------|--|---|---|
| DN 32           | 0,4                                    | 2   | 3   |
| DN 50           | 0,4                                    | 3   | 8   |
| DN 80           | 0,4                                    | 8   | 19  |
| DN 100          | 0,4                                    | 12  | 29  |
| DN 150          | 0,4                                    | 26  | 64  |
| DN 200          | 0,4                                    | 46  | 113   |
| DN 250          | 0,5                                    | 89  | 177   |
| DN 300          | 0,6                                    | 153   | 255   |
| DN 400          | 0,8                                    | 362   | 452   |

Bij de ombouw van netten van aardgas naar waterstof is het veiliger om het aardgas direct met waterstof te verdringen. Het spoelen met stikstof is niet nodig [40]. Geadviseerd wordt om een spoelsnelheid van 1,0 m/s en een affakkelininstallatie te gebruiken [42]. Echter, men moet zich ervan bewust zijn dat de waterstofvlam minder goed zichtbaar is. Het gebruik van een vlamdoover moet nog onderzocht worden.

Bij het spoelen van waterstofleidingen met lucht wordt het onderstaande aangeraden [41]:

- De kans van ontsteking en daarbij vlaminslag bij afblazen is afwezig. Daarvoor is het gebruik van waterstofvlamdoover niet nodig. Echter, hierbij is geen rekening gehouden met de kans dat stof (roest) uit de leiding wordt meegenomen. Dit moet onderzocht worden.
- Een waterstofvlamdoover moet wel toegepast worden bij affakkelen. Men moet zich ervan bewust zijn dat de waterstofvlam minder goed zichtbaar is.

#### 4.1.3.3 Persoonlijk beschermingsmiddel (PBM) en gereedschappen

Het persoonlijk beschermingsmiddel wordt vastgehouden of gedragen door personeel tijdens werkzaamheden aan het gasdistributienet. Het gedrag van waterstof is anders dan aardgas en dus komt de vraag naar voren of de huidige gebruikte PBM's en gereedschappen ook geschikt zijn voor waterstof, en welke PBM's en gereedschappen aanvullend nodig zijn voor waterstof.

##### *Gasmeetapparatuur*

Binnen het Kenniscentrum Gasnetbeheer werd onderzocht of de gebruikte gasmeetapparatuur geschikt is voor waterstof. Een paar gasmeetapparaten van verschillende leveranciers die in gebruik zijn door de netwerkbedrijven met aardgas zijn getest bij Kiwa met waterstof. Deze gasmeetapparaten behoren tot drie soorten – gassignaleringsmeter, gasdetectiemeter en gasconcentratiemeter. Het bleek dat de huidig gebruikte gasmeetapparaten voor aardgas niet geschikt zijn voor waterstof [43]. Het wordt aangeraden om gasmeetapparaten uitsluitend geschikt voor waterstof te gebruiken. Er wordt nu onderzocht door Kiwa welke apparaten beschikbaar in de markt zijn voor het gebruik met waterstof.

##### *Beschermende kleding*

Bij werkzaamheden aan het aardgasdistributienet wordt aangeraden om antistatische en vlamvertragende werkkleding te dragen. Er moet nog onderzocht worden of de huidige beschermende kleding voor aardgas ook voor waterstof geschikt is. Verder wordt er ook gekeken of hittedetectie wenselijk is.

Hieronder staat een lijst van waterstof specifieke apparaten en gereedschappen die nodig zijn tijdens werkzaamheden:

1. Afblaas/affakkelinstallatie met waterstofvlamdover
2. Waterstof geschikt gasmeetapparaten (gassignaleringsmeter, gasdetectiemeter en gasconcentratiemeter)
3. Zuurstofsignaleringsmeter
4. Antistatische vlamvertragende werkkleding (geschiktheid van de huidige beschermkleding voor waterstof wordt onderzocht)
5. Stikstof spoelinstallatie

#### 4.2 Binneninstallatie: toestellen en binnenleidingwerk

Voor conversie zal ook de geschiktheid van de huidige aardgastoestellen en het binnenleidingwerk voor waterstof in de doelregio moeten worden beoordeeld. Niet geschikte elementen zullen moeten worden vervangen, waarvoor de beschikbaarheid en levertijd van vervangende elementen voor de planning en organisatie van de conversie van belang is. Voor zowel woningen als utiliteitsgebouwen en zakelijke grootverbruikers is een zo volledig mogelijke inventarisatie van veel voorkomende toestellen, leidingwerk en componenten gemaakt. Deze inventarisatie kan als leidraad worden gebruikt voor de inventarisatie van toestellenparken in gebieden die overgezet worden op waterstof. Echter, daar iedere voorzieningsgebied uniek is, dient een gedetailleerde nauwkeurige screening op basis van bezoeken te worden uitgevoerd, zodat ook niet veel voorkomende toestellen in het toestellenpark mee worden genomen.

Bijlage 1 toont de beschikbaarheid van de vervangende toestellen voor waterstof in de markt. De leveranciers zijn benaderd om een inzicht in de verwachte levertijd te krijgen maar helaas zijn er nog geen reacties ontvangen.



#### 4.2.1 Woningen

Onder woningen worden de gebouwen beschouwd die de bestemming 'wonen' hebben. Hieronder vallen ook specifieke vormen van woningbouw, gebouwen met meerdere woonlagen zoals hoogbouw.

- *CV-ketel (combi)*: De combi CV-ketel is een combinatie van een boiler en een cv-ketel. De combiketel voorziet de gehele woning van warm water, zowel verwarming als tapwater. In woningen wordt voor het overgrote deel combiketels geïnstalleerd. Aanpassingen aan de ketel zijn noodzakelijk door de verschillen in eigenschappen van waterstof vergeleken bij aardgas, zoals bijvoorbeeld de verbrandingssnelheid van het gas. Er worden door ketelfabrikanten H<sub>2</sub>-ready ketels ontwikkeld die geschikt is voor aardgas en binnen een uur kan worden omgezet naar 100% waterstof. Naar verwachting komt het toestel in 2025 op de markt. Een fabrikant is ook bezig met validatie van een Super Rendement Adsorptieketel die kan de bestaande cv-ketels vervangen en geschikt is voor aardgas, aardgas-waterstof mengsel en 100% waterstof. Meer ontwikkelingen en leveranciers staan in **Error! Reference source not found.**
- *Rookgasafvoer*: Het rookgasafvoersysteem zorgt voor de afvoer van verbrandingsgassen, afkomstig van de het verbrandingsproces in de ketel, naar buiten. Alle onderdelen die met de rookgassen en het condensaat van een 100% waterstofketel in aanraking komen, het kunststof buismateriaal en de afdichtingsringen, dienen daar bestand tegen te zijn. Op basis van een beperkte theoretische analyse lijkt het huidige materiaal voor afvoerbuizen en afdichtingsringen geschikt voor condenserende toestellen op 100% waterstof [44]. Bij Entrance is dit ook geconstateerd. Op dit moment is nog niet duidelijk of er aanvullende testen moeten plaatsvinden op materiaal dat al een keurmerk voor aardgas heeft.
- *Kooktoestel*: De kookplaat van gaskooktoestellen verwarmt pannen door verbranding van gas. De grootste uitdagingen voor de ontwikkeling van varianten geschikt voor 100% waterstof zijn: zichtbaarheid van de vlam, materiaal van de brander en het systeem voor vlambeveiliging [45]. De verwachting is dat de consumenten in Nederland zullen overstappen op elektrisch koken.
- *Sfeerhaard*: Gashaarden worden, afhankelijk van hun vermogen, uitsluitend gebruikt voor de sfeer, dan wel ook deels voor de verwarming van een woning. Aanpassingen aan het toestel zijn noodzakelijk door de verschillen in eigenschappen van waterstof vergeleken bij aardgas, zoals bijvoorbeeld de verbrandingssnelheid van het gas. Tevens is de zichtbaarheid van de vlam een van de grootste uitdagingen.
- *Leidingen, koppelingen en appendages (koper en meerlagenbuis)*: Binnenshuis stroomt het gas door een combinatie van leidingen, koppelingen en appendages. Deze voldoen doorgaans aan de keuringseisen van het vrijwillige keurmerk Gastec Qa. Zodra het mogelijk is, willen de benaderde fabrikanten hun producten laten certificeren voor Gastec Qa voor waterstof.
- *Overige gastoestellen (niet meegenomen in de uitwerking)*: Bij de marktinventarisatie voor toestellen geschikt voor waterstof in woningen zijn gasovens niet meegenomen. Bekend is dat er in Nederland slechts enkele op de markt zijn gekomen, maar zal naar grote waarschijnlijkheid niet (meer) in Nederlandse huishoudens te vinden zijn. Gashaarden en gasbarbecues voor buiten zullen meestal gebruik maken van een propaantank als brandstof. Deze zijn daarom ook niet meegenomen. Alsmede de op het gasnet aangesloten gasheaters zijn zogenaamde exoten in de markt en daarom ook in dit onderzoek niet beschouwd. Deze toestellen staan wel genoemd in de overzichtstabel.

#### 4.2.2 Utiliteitsgebouwen

Onder utiliteitsgebouwen wordt vastgoed verstaan dat geen woonbestemming heeft. Hierbij kan gedacht worden aan bedrijfshallen, gebouwen om in te werken zoals kantoren en scholen, maar ook gebouwen voor commerciële dienstverlening zoals winkels en bakkerijen. Afhankelijk van de definitie

is de groep gebouwen die onder utiliteit wordt geschaard groter of kleiner. Er dient rekening mee te worden gehouden dat in de om te schakelen voorzieningsgebied wellicht een grotere selectie aan toestellen aanwezig is dan hier wordt meegenomen.

- *CV-ketel (verwarming)*: De CV-ketel voorziet gebouwen van warm water voor verwarming. Aanpassingen aan de ketel zijn noodzakelijk door de verschillen in eigenschappen van waterstof vergeleken bij aardgas, zoals bijvoorbeeld de verbrandingssnelheid van het gas.
- *Boiler (tapwater)*: Boilers voorzien utiliteitsgebouwen van verwarmd tapwater. Aanpassingen aan de ketel zijn noodzakelijk door de verschillen in eigenschappen van waterstof vergeleken bij aardgas, zoals bijvoorbeeld de verbrandingssnelheid van het gas.
- *Rookgasafvoer*: Het rookgasafvoersysteem zorgt voor de afvoer van verbrandingsgassen, afkomstig van de het verbrandingsproces in de ketel, naar buiten. Alle onderdelen die met de rookgassen en het condensaat van een 100% waterstofketel in aanraking komen, het kunststof buismateriaal en de afdichtingsringen, dienen daar bestand tegen te zijn. De verwachte rookgassen van een 100% waterstofketel zijn stoom en NO<sub>x</sub>. De mate van condensaat van verbranding van waterstof wordt hoger dan met verbranding van aardgas.
- *Kooktoestel*: De kookplaat van gaskooktoestellen verwarmt pannen door verbranding van gas. De grootste uitdagingen voor de ontwikkeling van varianten geschikt voor 100% waterstof zijn: zichtbaarheid van de vlam, materiaal van de brander en het systeem voor vlambeveiliging.
- *Gasoven*: In een gasoven wordt gas verbrand om warme, licht vochtige, lucht te creëren voor voedselbereiding. Aanpassingen aan gasovens zijn noodzakelijk door de verschillen in eigenschappen van waterstof vergeleken bij aardgas, zoals bijvoorbeeld de verbrandingssnelheid van het gas. Waterstof gestookte tunneloven wordt ontwikkeld en getest door AMF den Boer samen met Kiwa.
- *Gas friteuse*: In gas gasfriteuses wordt gas verbrand om olie, gebruikt voor het frituren van voedsel, te verwarmen. Aanpassingen aan gas friteuse zijn noodzakelijk door de verschillen in eigenschappen van waterstof vergeleken bij aardgas, zoals bijvoorbeeld de verbrandingssnelheid van het gas.

#### 4.2.3 Zakelijke grootverbruikers

Onder zakelijke grootverbruikers vallen bedrijven die zijn aangesloten op het distributienet met een capaciteit die groter is dan 40 m<sup>3</sup> per uur. Het gaat hierbij om glastuinbouw, papier – en kartonfabrieken, chemische industrie, industrie met proceswarmtevraag, stookinstallaties en warmtebehandelingsprocessen, etc. Het is niet eenvoudig om een lijst met alle voorkomende toestellen te maken. Voorbeelden van dergelijke apparaten bij zakelijke grootverbruikers zijn: industriële branders, gasovens, apparaten voor warmtebehandeling, processen zoals drogen, smelten, etc. Bij verschillende leveranciers lopen enkele pilots om industriële branders voor waterstof geschikt te maken. Heattec heeft een proefopstelling ontwikkeld die bestaat uit een vraaggestuurde waterstofgeneratorunit, een gasregelunit, een Bentone waterstofbrander en een Osby Parca warmwaterketel. Dit waterstofbrander-concept kan worden toegepast bij installaties vanaf 80 kW brandervermogen. Verder is ook ICE-BT bezig mee met de ontwikkeling van een industriële brander voor waterstof.

Per zakelijke gebruiker dient een volledige lijst van gasafhankelijke installaties te worden gemaakt waarna de mogelijkheden onderzocht moet worden om deze installaties geschikt te maken voor waterstof. Hieronder is een voorbeeld van zo'n inventarisatie voor gastuinbouw.

Glastuinbouw is een onderdeel van de tuinbouwsector waarbij gebruikgemaakt wordt van kassen van glas (of sommige kunststoffen) voor de teelt van planten. In de kassen is de atmosfeer te controleren en zijn de omstandigheden zo gunstig mogelijk te maken voor de groei van planten.

- *Verwarmingsketels (ook wel genoemd: tuinbouwketels):* Verwarmingsketels worden gebruikt voor de verwarming van de kas. Qua constructie vergelijkbaar met een cv-ketel, qua regelgeving vallen deze toestellen echter niet onder de GAR (Gas Appliances Regulations) zoals deze wel geldt voor bijvoorbeeld cv-ketels.
- *Stoomketels:* Deze worden gebruikt om de aarde in de kas te “stomen” om onkruid (en wellicht ook ongedierte) te doden.
- *CO<sub>2</sub>-kanon:* In een CO<sub>2</sub>-kanon vindt directe verbranding van gas plaats. De verbrandingsgassen worden met een grote ventilator de kas in geblazen. Het is dus een combinatie van CO<sub>2</sub>-bemesting en verwarming van de kas. Omdat met waterstofverbranding geen CO<sub>2</sub> wordt geproduceerd moet CO<sub>2</sub> via een andere bron worden toegevoerd of er moet zonder CO<sub>2</sub> worden geteeld.
- *CO<sub>2</sub>-doseringsinstallatie:* Deze installaties kunnen rookgassen uit het afvoersysteem van een verbrandingsinstallatie (bijvoorbeeld tuindersketel) zuigen en in de kassen blazen, ten dienste van CO<sub>2</sub>-bemesting. Dit systeem werkt niet wanneer waterstof wordt verbrand en CO<sub>2</sub> niet in verbrandingsgassen aanwezig is.
- *Gasmotoren:* Deze worden ingezet als warmtekrachtinstallatie. De gasmotor is gekoppeld aan een generator. De generator produceert elektriciteit voor de kassen (vooral verlichting voor de gewassen). De warmte die vrijkomt in de gasmotor wordt gebruikt voor verwarming van de kas.

## 5. Opties voor aanbod en levering

De ombouw van gasdistributienetten naar waterstof zal geleidelijk plaatsvinden. Dit hangt samen met het beschikbaar komen van duurzame waterstof, maar ook met de tijd die nodig is om tot besluitvorming en realisatie van ombouw te komen. Voor distributie van waterstof via gasdistributienetten zijn in principe drie routes mogelijk [2]:

1. Bottom-up: lokale initiatieven kunnen leiden tot ombouw van (een gedeelte) van de distributienetten. Het aanbod van waterstof vindt lokaal plaats met tubetrailers of een electrolyzer met opslag van waterstof. Een variant hierop is de productie van waterstof bij een industriecluster. Van hieruit wordt dan ook (nagenoeg zuivere) waterstof geleverd aan een gasdistributienet. Deze lokale netten kunnen op een later moment aan elkaar worden verbonden en/of worden aangesloten op het landelijk waterstofnet.
2. Top-down: via het landelijk waterstofnet (HTL) en RTL-net wordt (nagenoeg zuivere) waterstof getransporteerd en geleverd aan een gasdistributienet.
3. Bijmengen van waterstof in aardgas: Dit kan plaatsvinden in het RTL-net tot maximaal 20% zonder dat ombouw van het gasdistributienet hoeft plaats te vinden [46]. Deze route valt buiten de scope van deze studie. Het is bovendien een tijdelijke oplossing omdat deze route afhankelijk blijft van aardgas en niet leidt tot een klimaatneutrale energievoorziening. Mede om deze reden zien Stedin en Alliander bijmengen niet als gewenste route [12] [13].

### 5.1 Levering van waterstof

Alvorens plannen gemaakt kunnen worden voor de daadwerkelijke ombouw van gasdistributienetten naar waterstof zal eerst moeten worden bepaald welke afnemers voorzien blijven worden van gas of overgaan naar een andere vorm van warmtevoorziening. In de gebieden waar de gasvoorziening gehandhaafd blijft zal een keuze gemaakt moeten worden over het soort duurzaam gas: groengas of waterstof. Gemeenten stellen hiervoor in samenspraak met vastgoedeigenaren, bewoners en netbeheerders een Transitievisie Warmte op waarin per wijk wordt aangegeven op welke manier de woningen en utiliteitsgebouwen in de toekomst van warmte worden voorzien. Regionale netbeheerders hebben hierbij een adviserende rol. Voor deze strategische keuze hebben netbeheerders strategieplannen opgesteld (bijvoorbeeld: [1] [3] [47]).

Om te bepalen welke gasverbruikers in de toekomst voorzien kunnen worden van waterstof zijn er verschillende benaderingen.

#### *Gebouwde omgeving*

De Startanalyse [48] is een hulpmiddel voor gemeenten, regionale netbeheerders en andere partijen bij het opstellen van een Transitievisie Warmte voor de gebouwde omgeving. Met behulp van het VESTA-MAIS-model is voor de Startanalyse door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) een analyse gemaakt van de meest, vanuit maatschappelijk perspectief, kosteneffectieve duurzame vormen van warmtevoorziening op buurtniveau. Een buurt heeft de omvang van enkele tientallen tot meer dan duizend woningequivalenten<sup>7</sup>. Er worden verschillende strategieën onderscheiden (combinaties van energieaanbod, -gebruik en gebouwrenovatie), waaronder aanbod en gebruik van groengas en waterstof.

---

<sup>7</sup> Woningen en utiliteitsgebouwen; utiliteitsgebouwen worden omgerekend naar woningequivalenten

### *Gasdistributienetten*

Worden de bestaande gasdistributienetten als uitgangspunt genomen, dan zijn de voorzieningsgebieden bepalend. Het gasdistributienet is als volgt opgebouwd:

- Gas wordt geleverd vanuit het RTL-net via een gasontvangststation (GOS). Een gasdistributienet is via verschillende GOS-en zijn aangesloten op het RTL-net.
- Het gas wordt in het voorzieningsgebied eerst gedistribueerd via een 8-bar net. Afhankelijk van het specifieke net, zijn hier netdelen op 4, 2 en/of 1 bar aangesloten.
- Op deze hogedruk (HD) netten zijn districtstations aangesloten die de gasdruk verlagen tot de lagedruk (LD) netten (100 of 30 mbar) die het gas vervolgens distribueren naar de kleingebruikers. Grootgebruikers zijn via een afleveringsstation aangesloten op het HD-net.
- De lagedruknetten zijn vaak ringvormig uitgevoerd (vermaasd) en worden via verschillende districtstations van gas voorzien.

De grootste eenheid is het voorzieningsgebied achter een GOS (eventueel gevoed uit meerdere GOS-en), waarbij het kan gaan om enkele tienduizenden afnemers. Dit gebied wordt ook wel een pseudo-GOS-gebied genoemd [2] [12]. De kleinste eenheid is het voorzieningsgebied achter een districtstation met zo'n 250 tot 500 woningaansluitingen [2]. Er zijn grote verschillen in nettopologie, met name tussen stedelijke en landelijke gebieden.

Of het wenselijk en haalbaar is om een (een deel) van het gasdistributienet van waterstof te voorzien hangt van veel factoren af. Een gebied dat in de buurt ligt van industrie die toegang heeft tot het landelijk waterstofnet, maakt de levering van waterstof aan afnemers van het distributienet mogelijk aantrekkelijk. Ligt het landelijk waterstofnet op relatief grote afstand van het gasdistributienet dan is waterstoflevering alleen mogelijk vanuit tubetrailers of lokale productie; waarschijnlijk een veel duurdere optie. De aan- of afwezigheid van alternatieven, zoals een warmtenet of mogelijkheid van levering voor groengas, zijn ook bepalend of waterstofdistributie in een voorzieningsgebied wel of niet aantrekkelijk is.

Het gasdistributienet dat voorzien gaat worden met waterstof kan worden 'losgeknipt' van het overige gasdistributienet waarin de voorziening met aardgas in stand gehouden moet worden. In veel gevallen kan het nodig zijn om hier extra leidingen voor aan te leggen, bijvoorbeeld om de leveringszekerheid in stand te houden.

### *Verschillende situaties voor levering van waterstof*

Als waterstof geleverd wordt aan afnemers via bestaande gasdistributienetten, dan is de gebiedsindeling van de gasnetten bepalend [13]. Hiermee rekening houdend kunnen drie verschillende situaties worden onderscheiden:

- Stedelijk gebied, zoals bijvoorbeeld Gouda [12], Drachten en binnenstad van Haarlem [13].
- Landelijk gebied, zoals bijvoorbeeld Stad aan 't Haringvliet [11], Noord-Beveland [12].
- Bedrijventerrein, zoals bijvoorbeeld havengebied IJmuiden [13] en grootverbruikers Heerenveen [14].

### *Verandering afnemers*

Afnemers in een gebied kunnen er voor kiezen af te zien van een gasaansluiting (bijv. door de warmtevraag volledig te elektrificeren). Daardoor zullen niet alle afnemers die nu een aardgasaansluiting hebben in de toekomst op het waterstofnet aangesloten hoeven te worden. Er zijn ook nieuwe afnemers mogelijk, zoals waterstoftankstations voor vrachtauto's en schepen [2] [13]. Als

deze vrachtauto's en schepen waterstof gebruiken in brandstofcellen (battery electric fuel cell, BEFC) is een zuiveringsstap nodig om het zwavel bevattende odorant uit het gas te verwijderen [13]. Er kunnen echter ook odoranten toegepast worden waarbij dit niet nodig is [38]. Netbeheer Nederland gaat er voorsnog van uit dat tankstations voor vrachtauto's en schepen beleverd worden met tankauto's en niet worden aangesloten op het waterstofdistributienet [47].

## 5.2 Aanbodopties voor waterstof

Voor het aanbod van waterstof gaan de meeste Nederlandse casestudies (met uitzondering van Stad aan 't Haringvliet) uit van een top-down benadering, d.w.z. van waterstofaanbod via het RTL-net en een GOS. Voor waterstofaanbod via het RTL-net is het gasdistributiebedrijf afhankelijk van Gasunie, de beheerder van het RTL-net. Als Gasunie een RTL-leiding overzet van aardgas naar waterstof, kan dit betekenen dat andere GOS-en ook van waterstof worden voorzien. Dit kunnen ook GOS-en zijn van andere regionale netbeheerders. Bovendien kunnen op het RTL-net industriële grootverbruikers zijn aangesloten. De schaal en complexiteit van de ombouw neemt hierdoor toe. Van de vermazing van het RTL-net kan deels gebruik worden gemaakt door een 'knip' te maken in de RTL-leiding, waarbij één zijde van de leiding wordt aangesloten op het landelijk waterstofnet en de andere op het aardgas HTL-net aangesloten blijft [14].

### *Transitie van kleine naar grotere schaal*

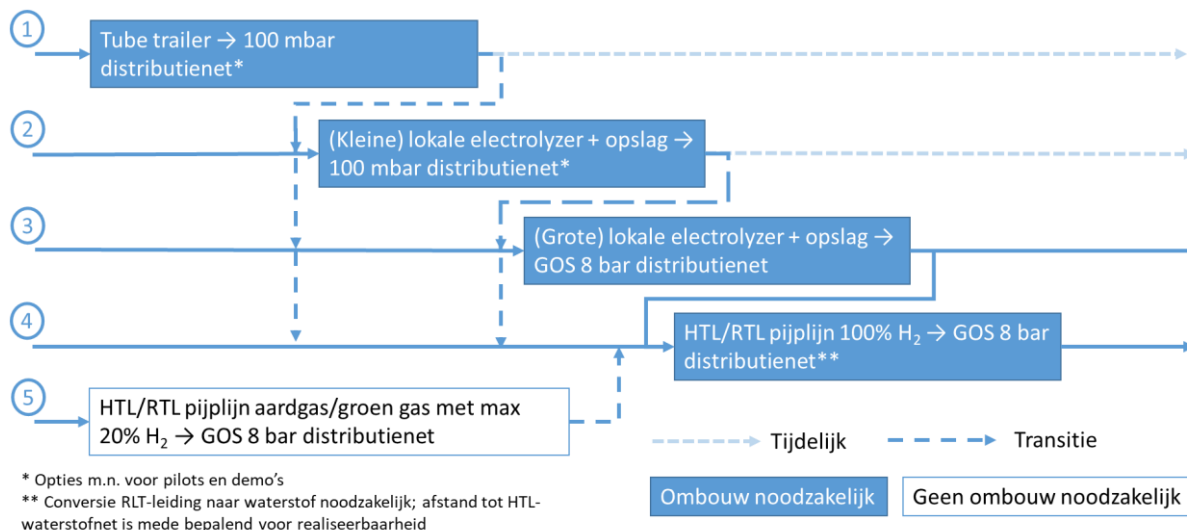
Omdat kennis- en ervaring met de ombouw naar waterstof aanvankelijk nog beperkt is en/of aanbod van waterstof nog beperkt, zullen de waterstofprojecten in de beginsituatie kleiner van omvang zijn en nog niet worden gevoed vanuit het landelijk waterstofnet<sup>8</sup>. Waterstof kan in die situatie worden aangevoerd via tubetrailers en/of lokaal worden geproduceerd met elektrolyzers. De kleinste schaal<sup>9</sup> is daarbij enkele tientallen tot honderden kleinverbruikers die aangesloten zijn op een lage druk waterstofnet. Deze projecten kunnen in een latere fase worden opgeschaald waarbij het distributienet wordt voorzien van lokale waterstofproductie of vanuit een GOS dat via een RTL verbonden is met het landelijk waterstofnet.

Figuur 1 laat 5 mogelijke startsituaties zien en 2 eindsituaties. Opties 1 en 2 (kleinschalige projecten met een lage druk waterstofnet) en 5 (bijmenging) kunnen via één of meerdere tussenstappen transformeren tot een eindsituatie aangegeven met optie 3 en 4. Optie 3 geeft de situatie weer van een elektrolyzer bij een lokaal wind- of zonnepark [11] of een elektrolyzer op een industriële site waarop het gasnet wordt aangesloten [2]. Optie 4 is de situatie die in de meeste casestudies wordt beschreven [12] [14] [13].

---

<sup>8</sup> Mogelijk dat een deel van het landelijk waterstofnet al voor 2030 in gebruik wordt genomen. De mogelijkheid waterstof te leveren aan distributienetten hangt echter ook af van omvang van de (groene) waterstofproductie. In de eerste jaren zal waterstof vooral aan de industrie worden geleverd.

<sup>9</sup> Pilots met enkele huizen buiten beschouwing gelaten.



Figuur 1 – Opties voor (tijdelijk) aanbod van waterstof

### Invoeding van waterstof

Het is voorstelbaar dat lokale waterstofproductie met een elektrolyzer aangesloten is op een waterstofnet dat, via RTL en GOS, gevoed wordt vanuit het landelijk waterstofnet. Op het moment dat de lokale waterstofproductie de lokale vraag overstijgt kan dit overschot vanuit het gasdistributenet (met eventueel een booster) ingevoerd worden in het RTL-net. Is dit niet mogelijk dan zal de lokale waterstofproductie moeten worden afgeschakeld.

### Leveringszekerheid

Door opknippen van RTL-net en gasdistributenetten wordt de vermazing (voor een deel) losgelaten en daarmee de redundantie verkleind. Hierdoor kan de leveringszekerheid van waterstof afnemen ten opzichte van de oorspronkelijke aardgasvoorziening, maar ook die van het resterende gasnet waarin nog aardgas wordt gedistribueerd. Door aanleggen van extra leidingen kan de vermazing (gedeeltelijk) worden hersteld [12]. Ook kan het nodig zijn een extra districtsstation te plaatsen [14]. Andere opties voor verbetering van de leveringszekerheid zijn gaslevering uit tubetrailers of lokale opslagtanks.

## 6. Stappenplan voor conversie

In enkele ombouwprojecten en -studies is een stappenplan voor de conversie uitgewerkt. Het betreft projecten en studies van Alliander en Stedin en de H21-studie uit Leeds (UK). De informatie die de verschillende projecten en studies over de conversieplannen verstrekken is zeer verschillend en moeilijk vergelijkbaar. De verschillende stappenplannen geven maar in beperkte mate inzicht in wie verantwoordelijk is voor het uitvoeren van de verschillende stappen, zoals het inventariseren van technische aanpassing bij eindgebruikers. Zowel de rolscheiding als vereiste coördinatie tussen de verschillende verantwoordelijkheden verdient aandacht.

*Alliander, Haarlem, IJmuiden en Drachten [14]*

Op basis van ervaringen met het pilotproject in Lochem is door Alliander voor Haarlem, IJmuiden en Drachten een conversieplan uitgewerkt waarin 8 stappen worden onderscheiden. De eerste 6 stappen hebben betrekking op de voorbereiding. De laatste twee op de uitvoering van de conversie. Uitgangspunt is het omschakelen van een netgedeelte in één week.

- *Stap 1 – Waterstofgebieden definiëren:* Op basis van de Transitievisie Warmte en de bestaande netsituatie worden door de netbeheerder voorkeursgebieden aangewezen voor waterstofdistributie. Het resultaat is een Energiemix Plan per gebied, met aangewezen waterstofgebieden.
- *Stap 2 – Opdelen in behapbare grootte:* Het gasdistributienet dat van waterstof zal worden voorzien wordt vanaf het HD-net (8, 4 of 3 bar distributienet) opgedeeld in secties van ca. 1000 tot 3000 aansluitingen. Vervolgens wordt het aanleverpunt van waterstof bepaald en de volgorde waarin de verschillende deelgebieden worden omgezet naar waterstof. Netberekeningen worden uitgevoerd voor het waterstofnet (waarbij 30 mbar netten worden opgewaardeerd tot 100 mbar) en netberekeningen voor de omliggende gebieden die voorzien blijven worden met aardgas. Het resultaat is een opdeling in waterstofgebieden en inzicht in benodigde netverzwaringen.
- *Stap 3 – Inventarisatie opbouw gasnet in deelgebieden:* In deze stap wordt bepaald welke aanpassingen in het gasdistributienet nodig zijn voor de distributie van waterstof. De benodigde aanpassingen worden gedocumenteerd en vormen input voor het Technisch Omschakelplan.
- *Stap 4 – Inventarisatie klanten deelgebied:* In deze stap wordt onderzocht welke technische aanpassingen nodig zijn bij de toekomstige waterstofklanten. De benodigde aanpassingen worden gedocumenteerd en vormen input voor het Technisch Omschakelplan.
- *Stap 5 – Technisch omschakelplan:* Dit plan, waarin de resultaten van de voorgaande stappen samenkomen, biedt een totaaloverzicht van de uit te voeren werkzaamheden. Dit omvat de aanleg van nieuwe infrastructuur voor waterstofinvoeding, het sectioneren van waterstofgebieden (plaatsen HD- en LD-netscheiders), de benodigde net- en klantaanpassingen en een beschrijving van omschakelhandelingen in het HD-net.
- *Stap 6 – Planning:* In het Uitvoeringsplan wordt beschreven hoe het Technisch omschakelplan wordt uitgevoerd. Hierin staat welke materialen en gereedschappen nodig zijn, de capaciteitsplanning voor Liander en aannemers en een overall tijdsplanning. Dit plan is onderverdeeld in gasnet, klantinstallatie kleinverbruik (woningen) en klantinstallatie grootverbruik. Randvoorwaarde is de conversie per deelgebied uit te voeren in één week.
- *Stap 7 – Ombouwen gasnet:* Dit omvat de ombouwwerkzaamheden die uitgevoerd worden geruime tijd vóór de daadwerkelijke conversie naar waterstof.
- *Stap 8 – Omschakelen:* De levering van aardgas wordt onderbroken, de conversie wordt uitgevoerd en de waterstoflevering begint.



*Stedin, Uithoorn [7]*

In 2020 is de gasvoorziening van 14 (leegstaande) woningen omgebouwd naar waterstof. Het betreft ombouw van 8-bar, 100-mbar en binnenleidingen. Het stappenplan geeft geen inzicht in voorbereidingsactiviteiten, zoals inventarisatie van netopbouw en aanwezige materialen en componenten, maar legt de nadruk op de praktische uitvoering:

- *Stap 1 – Risico-inventarisatie:* inventarisatie van onder meer lekdichtheid en een lekdichtheidscontrole met helium.
- *Stap 2 – voorbereidende testen en inspecties:* Levering van waterstof en testgassen (stikstof en helium) via een hogedrukaansluitset (HAS). Alle verbindingen gasdistributie- en binnenleidingen zijn gecontroleerd en getest. Bij de binneninstallatie is een spoelpunt bij de gasmeter geplaatst die het mogelijk maakt de binnenleiding drukloos te maken en te spoel met een inert gas. De woningen zijn voorzien van koolmonoxidedetectors, waarvan bekend is dat deze ook waterstof kunnen detecteren. In een parallel proces worden in deze fase de verbruikstoestellen vervangen door toestellen die geschikt zijn voor waterstof.
- *Stap 3 – Overzetten distributieleiding met tijdelijke leiding:* Met een tijdelijke leiding naast de bestaande gasleiding<sup>10</sup>. De huisaansluitingen worden overgezet van de bestaande naar de tijdelijke leiding. Daarmee wordt de aardgasvoorziening in stand gehouden. Vervolgens wordt de bestaande gasleiding losgekoppeld van het aardgasnet en aangesloten op de waterstofvoorziening. De huisaansluitingen worden één voor één overgezet van de tijdelijke leiding (aardgas) naar de bestaande gasleiding (waterstof).
- *Stap 4 – Evaluatie project:* Alle ombouwwerkzaamheden zijn geëvalueerd. Het project heeft laten zien dat de daadwerkelijke ombouw van aardgas naar waterstof per woning ca. 1 werkdag per installatiemedewerker kost. De totale ombouw van 14 woningen heeft 7 werkdagen in beslag genomen, 3 dagen voor de daadwerkelijke ombouw en 4 dagen voor het testen vooraf.

*Stedin, Stad aan 't Haringvliet [11]*

Het uitgangspunt voor het conversieplan van Stad aan 't Haringvliet is dat de woningen niet langer dan één dag zonder gas zitten. Het aantal sectioneringen (met een gasblaas/gasstopper) wordt in verband met veiligheidsrisico's beperkt gehouden. Het conversieplan omvat 30 secties opgedeeld in 2 fasen (180 en 342 aansluitingen). De conversie kan in 30 dagen worden uitgevoerd waarbij de ombouw/vervanging van toestellen en bijbehorende controlewerkzaamheden van de meteropstelling en binneninstallatie in 3½ uur kan plaatsvinden door twee monteurs.

*H21, Leeds [18]*

Waterstof in het Leeds-project zal worden geproduceerd met een steam-methane-reforming (SMR) fabriek, voorzien van CO<sub>2</sub>-capture & Storage (CCS), waarbij de CO<sub>2</sub> wordt opgeslagen in een leeg gasveld in de Noordzee. De SMR-fabriek is aangesloten op het Local Transmission System (vergelijkbaar met RTL-net), waarbij de invoeding op het distributienet plaatsvindt via district governors (vergelijkbaar met GOS).

---

<sup>10</sup> Hier is gekozen voor een ombouwmethodiek met een tijdelijke leiding. Twee andere methoden zijn: gebruik van alleen de bestaande leiding (minder flexibel dan tijdelijke leiding) en een nieuwe leiding (duurder en bestaande leiding wordt niet hergebruikt).

Uitgangspunten voor de conversie zijn dat (1) de onderbreking van de gaslevering aan woningen tussen de 1 tot maximaal 5 dagen mag duren en (2) de conversie alleen zal plaatsvinden buiten het stookseizoen (april-september). Dit betekent dat voor de conversie van het gehele gasdistributienet van Leeds een periode van 3 jaar nodig is. In deze overgangsperiode zijn er netgedeelten waarin waterstof wordt gedistribueerd naast netgedeelten die nog worden voorzien van aardgas. Het netgedeelte waarin voor een bepaald jaar de conversie zal worden uitgevoerd wordt in netgedeelten opgedeeld in conversiesecties voor een maand en conversiesecties voor een week. Deze laatste secties hebben een omvang van ca. 2.500 woningen.

In de voorbereiding wordt met behulp van netberekeningen de benodigde netverzwaring bepaald en de 'zones of influence' vanaf de invoedingspunten, waarbij ook nieuwe invoedingspunten van waterstof op het 2 bar middendruknet mogelijk zijn. Voor de (tijdelijke) scheiding van een netgedeelte met waterstof en een netgedeelte met aardgas wordt een 'double block and bleed valve configuration' toegepast.

Er zijn twee conversiestrategieën uitgewerkt:

- *Incremental Conversion with Zone Isolations*: In dit scenario worden nieuwe invoedingspunten voor waterstof gecreëerd en vindt conversie plaats van een reeks opvolgende zones. In dit scenario is de gasonderbreking van afnemers het kortst en kan de conversie met een relatief kleine groep mensen worden uitgevoerd.
- *Minimal Network Interference*: De invoeding van waterstof vindt plaats op een bestaand aardgasinvoedingspunt. De gasonderbreking van afnemers is relatief lang en er is een groter aantal mensen nodig bij de uitvoering.

## Bijlage 1 – Beschikbaarheid van vervangende toestellen

| Component        | Vervanging/ aanpassing noodzakelijk  | Vervanging beschikbaar  |
|------------------|--|---|
| CV-ketel (combi) | Ja   | <p><b>Intergas, Remeha, Nefit Bosch en Cooll</b><br/>Werkend <u>prototype</u> van een cv-combitoestel is ontwikkeld. Een voorlopige versie is op bescheiden schaal (10 tot 100-tallen) ingezet in <u>veldtests</u>. Naar verwachting cv-toestellen geschikt voor waterstof met CE-markering (<u>vanaf 2023</u>) [45].</p> <p><b>Intergas:</b> 100%-waterstoftoestel (veldtesten: waterstof Tiny House Hoogeveen, Wagenborgen)</p> <p><b>Nefit Bosch:</b> H2-readytoestel (veldtest VK). <u>Eind 2022 - begin 2023</u> op de markt.</p> <p><b>Remeha:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aardgas-waterstof toestel (geschikt voor een fluctuerende bijmenging met 0-20% waterstof)</li> <li>- 100%-waterstoftoestel <ul style="list-style-type: none"> <li>o Eén type: massaproductie vanaf 2023</li> <li>o Meerdere typen (diverse vermogens): productie vanaf 2024</li> </ul> </li> <li>- H2-readytoestel (veldtest waterstofhuis, Stad aan 't Haringvliet)</li> </ul> <p><b>Cooll:</b> Adsorptieketel die geschikt is voor aardgas, biogas, aardgas-waterstof mengsel en 100 % waterstof.</p> <p>*beoogde massaproductie vanaf 2024</p> |
| Rookgasafvoer    | <p><b>Onbeslist, mogelijk niet allemaal geschikt voor H<sub>2</sub></b></p> <p>Op basis van een beperkte theoretische analyse lijkt het huidige materiaal voor afvoerbuizen en afdichtingsringen geschikt voor condenserende toestellen op 100% waterstof [44].<br/>Op dit moment is nog niet duidelijk of er aanvullende testen moeten plaatsvinden op materiaal dat al een</p> | <p><b>Muelink en Grol</b><br/>Afvoermateriaal van PP (polypropyleen, onder handelsnaam: Burgerhout) is al ter keuring aangeboden bij een 'Notified Body' [45].</p>  |

|             |  |   |
|-------------|--|---|
|             | keurmerk voor aardgas heeft. De diverse normcommissies werken nog aan de aanpassing van de normen. Meer informatie, zie paragraaf 3.2 in [45]. |   |
| Kooktoestel | <b>Ja</b>  | <b>Atag Keukentechniek</b><br>Is voornemens toestellen op waterstof te gaan ontwikkelen binnen een “zichtbare horizon”, orde grootte binnen 1-5 jaar (oktober2021) [45] |
| Sfeerhaard  | <b>Ja</b>  | <b>Glen Dimplex Group</b> geen duidelijke aanknopingspunten – elektrische opties mogelijk   |
|             |  |   |

## Referenties

- [1] Nebeheer Nederland, “Het Energiesysteem van de Toekomst - Integrale Infrastructuurverkenning 2030-2050,” 2021.
- [2] Berenschot & Kalavasta, “Uitrolpaden voor het waterstofsysteem van Nederland 2050 - Studie naar de mogelijke uitrolpaden voor het waterstofsysteem van Nederland in 2050 en verdiepende analyse naar drie factoren die de ontwikkeling van het waterstofsysteem beïnvloeden,” 2020.
- [3] ENA/DNV, “Gas goes green - Britain's hydrogen network plan”.
- [4] Entrance, “Onderzoeken en projecten”.
- [5] Enexis, 2021.
- [6] Hanze Hogeschool, “Waterstofwijk - Plan voor waterstof in Hoogeveen,” 2020.
- [7] Stedin, “Technisch Eindrapport - Ombouwproject Uithoorn,” 2021.
- [8] Alliander.
- [9] TU Delft.
- [10] Stedin, “Factsheet Power-to-Gas Rozenburg 2018-2023 - Demonstratie eerste waterstofketels in Nederland,” 2019.
- [11] Stedin & Kiwa, “Van aardgas naar waterstof - De overstap van Stad aan het Haringvliet,” 2019.
- [12] Stedin, “Analyse over het opsplitsen van het gasnet van landelijk naar een regionaal gasnet,” 2021.
- [13] Alliander, “Eindrapportage project H2.0 - Transitiepaden naar duurzame gassen,” 2022.
- [14] Alliander, “H2.0 Werkstroom Techniek,” 2022.
- [15] Fraunhofer, “Wasserstoffperspektiven für Leipzig - Potenzialeinschätzung,” 2021.
- [16] Westenergie, 2020.
- [17] Thüga, 2022.
- [18] H21, “H21 Leeds City Gate Report”.
- [19] H100 Five, SGN.
- [20] E. J. M. & S. M. P. van Damme, “Canon deel 25: Marktordening,” Economische Statistische Berichten, 2016.

- [21] Ministerie van Economische Zaken & Klimaat, “Kamerbrief marktordening en marktontwikkeling waterstof,” 2021.
- [22] Ministerie van Economische Zaken & Klimaat, “Kamerbrief Rijksvisie marktontwikkeling voor de energietransitie,” 2020.
- [23] Europese Commissie, “Hydrogen and decarbonised gas market package,” 2021.
- [24] Ministerie van Economische Zaken & Klimaat, “Kamerbrief ontwikkeling transportnet voor waterstof,” 2022.
- [25] Autoriteit Consument & Markt, “Tijdelijk kader waterstofpilots,” 2022.
- [26] Staatstoezicht op de Mijnen, *Toezichtsarrangement Waterstofpilots*, 2022 (concept).
- [27] RVO, *Generiek richtsnoer voor het omgaan met de veiligheidsrisico’s van waterstof in de energietransitie*, 2022.
- [28] RVO, *Aanvullend veiligheidsrichtsnoer voor waterstofpilots in de gebouwde omgeving*, 2022.
- [29] S. van Woudenberg and N. Vermeltfoort, “HyDelta: D1B.4 Dust transport properties of hydrogen and natural gas in filters of gas stations,” 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6483247>.
- [30] S. v. Woudenberg, “HyDelta: D1B.1 Operation of gas stations with spring loaded regulators with hydrogen,” 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6469611>.
- [31] C. lock, “Gasdrukregelstation voor waterstof,” 2021.
- [32] A. Kooiman, “HyDelta: D1C.4 Domestic pressure regulators,” 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5902014>.
- [33] H. d. Laat, “HyDelta: D1D.1 Hydrogen flow metering for the built environment,” 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6424111>.
- [34] J. de Bruin, W. Rittel, F. L. Scholten, E. J. W. van der Stok and J. Weller, “Impact of Sustainable Gases on Joints used in Gas Distribution Networks. Final Report,” May 2015.
- [35] M. van der Laan and N. Vleugels, “De invloed van waterstof op de zachte materialen in RNB gasdrukregelinstallaties,” January 2021.
- [36] R. Hermkens and S. Jansma, “Leak tightness of PVC fittings with hydrogen,” March 2022.
- [37] H. Salomons, “Test gasstopper waterstofwoning, memo aan werkgroep Demowoning H2,” 2021.
- [38] Kiwa, Netbeheer Nederland, “Toekomstbestendige gasdistributienetten,” 2018.
- [39] R. v. Aerde, “HyDelta: D1B.2 Safety during maintenance works for hydrogen gasstations,” 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6469666>.

- [40] A. J. Kooiman, C. Lock and C. J. A. Pulles, “Spoelen van waterstofleidingen,” 2021.
- [41] C. J. A. Pulles, J. C. de Laat and C. Lock, “Affakkelen en afblazen van waterstof,” 2021.
- [42] S. Leub and C. Lock, “HyDelta: D1C.1 Purging of natural gas pipelines with H<sub>2</sub>,” 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.5142228>.
- [43] R. Hermkens, A. Kooiman and M. van der Laan, “Geschiktheid gasmeetapparatuur voor waterstof,” 2021.
- [44] H. Bruining, “Blog 3: Burgerhout Primeur, Waterstof en Energietransitie,” [Online]. Available: <https://burgerhout.nl/burgerhout-primeur-waterstof-en-energietransitie/>. [Accessed 18 Augustus 2022].
- [45] H. Salomons and H. J. M. Rijpkema, “HyDelta: D1C.6 Development of 100%-hydrogen compatible domestic components (NL + EN version),” 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6011450>.
- [46] Netbeheer Nederland/Kiwa, *De impact van het bijmengen van waterstof op het gasdistributienet en de gebruiksapparatuur*, 2020.
- [47] Netbeheer Nederland, *Visie op de landelijke en regionale uitrol van waterstof*, 2022.
- [48] PBL, “Startanalyse aardgasvrije buurten,” 2020.