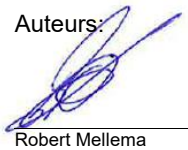
Inventarisatie waterstofveiligheid in en om woningen in pilotprojecten

Een uitgave van DNV in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

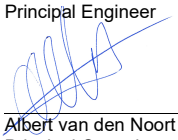
Rapport nr.: 24-1153, versie 8.0
Datum: 25 juli 2024

Rapport titel:	Inventarisatie waterstofveiligheid in en om woningen Een uitgave van DNV in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en het Klimaat	DNV Netherlands B.V. Energy Systems Zernikelaan 14
Rapport nr.	24-1153, versie 9.0	9747 AA Groningen 09006404

Auteurs:



Robert Mellema
Principal Engineer



Albert van den Noort
Principal Consultant

Harm Vlap
Senior Consultant

Harm Jan Fonk
Safety Engineer

Goedgekeurd door:

Johan Knijp
Head of Section

Copyright © DNV 2024. All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited.

Inhoudsopgave

SUMMARY 4

SAMENVATTING 5

1 INLEIDING 6
1.1 Achtergrond en doel van dit document 6
1.2 Deelnemende partijen 7
1.3 Leeswijzer 7
1.4 Systeemgrenzen voor dit document 7
1.5 Vergelijking met aardgassystemen 8

2 EIGENSCHAPPEN WATERSTOF 9
2.1 Permeatie- en stromingseigenschappen 9
2.2 Verbrandingseigenschappen 9
2.3 Overige eigenschappen 11

3 OVERZICHT VAN MITIGERENDE MAATREGELEN 12
3.1 Inherente eigenschappen van waterstof versus aardgas; specifieke risico's voor waterstof 12
3.2 Distributie en toepassing: waterstof versus aardgas 12
3.3 Mitigerende maatregelen 13
3.3.1 Odorisatie 13
3.3.2 Voorkomen van graafschade aan hoofd- en aansluitleidingen 13
3.3.3 Aftakzadels met gasstopper 14
3.3.4 Spoelen 14
3.3.5 Vlamdovers 14
3.3.6 Ventilatie 14
3.3.7 Waterstofdetectie 14
3.3.8 Mantelbuizen in combinatie met waterstofdetectie 15
3.3.9 Sterktetest 15
3.3.10 Lekdichtheidstest 15
3.3.11 Eindgebruikersapparatuur 15

4 WATERSTOFPILOT LOCHEM 16
4.1 Achtergrond 16
4.2 Technische beschrijving van de waterstofvoorziening 16

5 WATERSTOFPILOT WAGENBORGEN 19

6 WATERSTOF PILOTPROJECT HOOGEVEEN 22

7 WATERSTOFPILOT STAD AAN'T HARINGVLIET 25

8 DNV-VISIE OP MITIGERENDE MAATREGELEN 28

BIJLAGE A: OPSOMMING VAN ALLE NORMEN EN RICHTLIJNEN VAN TOEPASSING OP AARDGASINSTALLATIES, TOEPASBAAR IN WATERSTOF SYSTEMEN 29

BIJLAGE B: DEELNEMENDE PARTIJEN BIJ DE TOTSTANDKOMING VAN 36

DEZE INVENTARISATIE 36

SUMMARY

This document discusses the safety considerations and risk management strategies for introducing hydrogen in residential settings, particularly in pilot projects in the Netherlands. It emphasizes the importance of safety and risk management, using natural gas practices as a reference for acceptable safety levels. The document outlines the collaborative efforts of various parties, including the Ministry of Economic Affairs and Climate Policy, network operators, and other stakeholders to deliver the safety case for hydrogen in homes, including grid connections.

For the four pilot projects (Lochem, Wagenborgen, Hoogeveen and Inspiratiehuis Stad aan't Haringvliet) the respective project leaders (Liander, Enexis, Rendo and Stedin) developed and applied their own safety philosophy. In parallel the Dutch government recently issued guidelines regarding the safety aspects of using hydrogen in the built environment. This has led to four different operational packages of safety measures, but equivalent in terms of safety level achieved.

It can be noted that the safety measures taken are primarily aimed at preventing gas leaks and detecting them as quickly and effectively as possible. By means of such measures, the greatest safety risk when using hydrogen, namely ignition of a flammable hydrogen/air mixture in and around homes, can be reduced to an acceptable level comparable to the use of natural gas. The (combinations of) risk mitigating measures that have been taken vary per project.

The most important of these are:

- Carrying out strength tests (during installation) and repeated leak tightness tests of the indoor installation;
- Use of modern fitting techniques, such as press fit connectors that, if applied properly, guarantee a leak-tight installation;
- Application of excess flow valves to shut off the hydrogen supply in the event of uncontrolled outflow;
- Hydrogen odorization.

The safety measures taken in the pilot projects are equivalent to or better than those when using natural gas. Currently, odorization and strength tests are mandatory for natural gas, but other measures such as excess flow valves are not.

It should be noted that measures and components can always fail. Particularly in pilot projects that often come under close scrutiny regarding safety, it would be undesirable for incidents to occur due to carelessness, lack of experience or incorrect use of components and materials. Such incidents could potentially harm the reputation of hydrogen, aside from their personal effects. It is therefore understandable that the involved parties take extra precautions to ensure safety beyond what is strictly necessary. However, there is also the risk that certain measures applied in pilot projects may inadvertently become part of normal daily practice and thus affecting the overall costs. It is therefore first and foremost important to recognize that the measures described in this document only relate to pilot projects for the time being.

It is recommended to monitor all mitigating measures applied within the pilot projects during the project's duration, in order to gain experience and learn about the effectiveness thereof. Naturally, it is recommended to share this information with other stakeholders.

SAMENVATTING

Dit document bespreekt de veiligheidsoverwegingen en risicobeheerstrategieën voor de introductie van waterstof in de gebouwde omgeving, met name in pilotprojecten in Nederland. Het benadrukt het belang van veiligheid en risicobeheer, waarbij aardgaspraktijken als referentie worden gebruikt voor aanvaardbare veiligheidsniveaus. Het document schetst de samenwerking van verschillende partijen, waaronder het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, netbeheerders en andere belanghebbenden.

Door de rijksoverheid zijn richtsnoeren uitgegeven met betrekking tot de veiligheidsaspecten bij toepassing van waterstof in de gebouwde omgeving, echter in de vier pilotprojecten (Lochem, Wagenborgen, Hoogeveen en Inspiratiehuis Stad aan't Haringvliet) hebben de respectievelijke projectleiders (Liander, Enexis, Rendo en Stedin) hun eigen veiligheidsfilosofie ontwikkeld en toegepast. Dit heeft geleid tot vier verschillende, maar qua bereikt veiligheidsniveau gelijkwaardige pakketten aan veiligheidsmaatregelen.

Er kan worden geconstateerd dat de genomen veiligheidsmaatregelen primair zijn gericht op het voorkomen van lekkages en het zo snel en effectief mogelijk detecteren daarvan. Door middel van dergelijke maatregelen kan het grootste veiligheidsrisico bij toepassing van waterstof, namelijk een ontsteking van een brandbaar waterstof/luchtmengsel in en om woningen worden verlaagd tot een aanvaardbaar niveau vergelijkbaar met toepassing van aardgas.

De (combinaties van) risico mitigerende maatregelen die zijn genomen variëren per project. De belangrijkste hiervan zijn:

- Uitvoering van sterktetest (bij aanleg) en lektests (bij herhaling) van de binneninstallatie;
- Gebruikmaken van moderne verbindingstechnieken, zoals persverbindingen die, mits ordentelijk toegepast, een lekdichte installatie garanderen;
- Toepassing van gasstoppers om de waterstoftoevoer af te sluiten bij ongecontroleerde uitstroom;
- Waterstof odorisatie;

De in de pilot projecten genomen veiligheidsmaatregelen zijn gelijkwaardig aan, of beter dan die bij toepassing van aardgas. Momenteel zijn odorisatie en sterktetests voor aardgas verplicht maar andere maatregelen zoals gasstoppers niet.

Bedacht moet echter worden dat maatregelen en componenten altijd kunnen falen. Juist in pilotprojecten die ten aanzien van veiligheid vaak onder een vergrootglas liggen zou het onwenselijk zijn dat door onachtzaamheid, gebrek aan ervaring of onjuist gebruik van componenten en materialen incidenten plaatshebben die de reputatie van waterstof zouden kunnen schaden, los van de persoonlijke effecten die dergelijke incidenten kunnen hebben. Het is daarom begrijpelijk dat vanuit risicomijdend gedrag de betrokken partijen veel meer doen om de veiligheid te waarborgen dan strikt genomen noodzakelijk zou zijn. Hierin schuilt echter ook het gevaar dat bepaalde maatregelen die in pilotprojecten worden toegepast ongemerkt aan de normale dagelijkse praktijk worden toegevoegd. Het is daarom in de eerste plaats belangrijk te onderkennen dat de in dit document beschreven maatregelen vooralsnog alleen betrekking hebben op pilotprojecten.

Het is aan te bevelen om de alle, binnen de pilotprojecten toegepaste mitigerende maatregelen gedurende de looptijd van de pilot te monitoren, teneinde ervaring op te doen en te leren over de effectiviteit van de maatregel. Uiteraard is het aan te bevelen om deze informatie met de andere belanghebbenden onderling te delen.

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond en doel van dit document

In de afgelopen jaren is in Nederland een viertal waterstof pilotprojecten geïnitieerd met als doel het verkennen van de verschillende, met name technische-, implicaties bij de introductie van waterstof in- en rondom woningen. Hierbij is met name het onderwerp risico -en dus veiligheid- van belang. Naast het feit dat veiligheidsincidenten natuurlijk zoveel mogelijk vermeden dienen te worden, dient met name in pilotprojecten extra zorgvuldig met veiligheid te worden omgegaan.
Van de zijde van EZK is de wens uitgesproken om met betrekking tot veiligheid en risico de gangbare praktijk in Nederland met aardgas als referentie te nemen. Het veiligheidsniveau van aardgastoepassingen wordt in Nederland als voldoende beschouwd en extra inspanningen om een nog lager veiligheidsrisico te realiseren worden economisch niet nodig geacht. Dit laat onverlet dat in pilot projecten meer of andere mitigerende maatregelen gedemonstreerd kunnen worden. Dit, omdat soms nog niet alle veiligheidsaspecten met betrekking tot waterstofdistributie en -toepassing in de praktijk zijn getest en er zich gaandeweg nieuwe uitdagingen kunnen aandienen. Dergelijke maatregelen kunnen achteraf worden beoordeeld op wenselijkheid van grootschalige toepassing in de waterstofpraktijk.

Pilotprojecten zijn vooral om van te leren en ervaring op te doen, niet alleen bij de uitvoering, maar ook in het voortraject en (technische) planning. Dergelijke projecten mogen zich verheugen op een grote (internationale) belangstelling. Ongevallen die door goed ontwerp voorkomen hadden kunnen worden zouden in deze fase kunnen leiden tot een negatieve pers, waardoor de transitie naar waterstof sterk zou worden bemoeilijkt.
Een voorbeeld hiervan betreft het ongeval met een waterstof vulstation in Sandvika, Noorwegen in 2019[1]. Deze incidenten galmen nog lang na en worden vaak als voorbeeld aangehaald om te argumenteren dat toepassing van waterstof te risicovol zou zijn en hebben daarmee een stigmatiserende werking op de discussie over het wel of niet toepassen van waterstof. Veiligheidsexperts zijn echter van mening dat de risico's van waterstof, zoals die in de pilotprojecten is gerealiseerd, op hetzelfde niveau kan worden gebracht als bij aflevering en gebruik van aardgas zodat geconstateerd kan worden dat de veiligheid tenminste gelijkwaardig kan zijn aan de aardgasveiligheid.

Omwille van de voortgang van pilotprojecten en om elk mogelijk bezwaar op voorhand weg te nemen zijn er in een aantal pilots maatregelen genomen, die na evaluatie op termijn uiteindelijk achterwege kunnen blijven, zodanig dat met minimale- en wellicht zelfs zonder aanvullende maatregelen een gelijk veiligheidsniveau als met aardgas kan worden gerealiseerd.
Vanuit de pilotprojecten is de behoefte geuit om te kunnen beschikken over een document waarin de verschillende pilot projecten worden beschreven, inclusief de mitigerende maatregelen die zijn genomen om risico's zoveel mogelijk te vermijden. Dit document is ervoor bedoeld om aan verschillende belanghebbenden zoals autoriteiten, bewoners, commerciële partijen en verzekeraars te tonen welke veiligheidsmaatregelen genomen zijn, respectievelijk genomen zullen worden. Dit document is expliciet niet bedoeld als norm of standaard, waarin het gebruik van bepaalde veiligheidsmaatregelen of voorzieningen wordt voorgeschreven of zelfs maar geadviseerd. Dit mede om in nieuwe pilotprojecten ruimte te houden voor het opdoen van ervaring met een zo divers mogelijk scala aan mitigerende maatregelen. Een dergelijk doel om leerervaring op te doen wordt ook omschreven als randvoorwaarde voor deelname van netbeheerders aan nieuwe pilotprojecten in het 'Tijdelijk kader waterstofpilots' van de ACM[2]. In dit document zijn alle voorwaarden voor het gedogen van de uitvoering van een waterstofpilot beschreven.
In de richtsnoeren van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (Min EZK)[3] is beschreven wat de overheid beschouwt als een verantwoorde manier van het omgaan met waterstofveiligheid.

[1] https://www.fleeteurope.com/en/new-energies/norway/article/norway-hydrogen-explosion-mystery-solved?a=BUY03&t%5B0%5D=Hydrogen&t%5B1%5D=Fuel%20Cell&t%5B2%5D=Safety&curl=1
[2] https://www.acm.nl/nl/publicaties/tijdelijk-kader-voor-waterstofpilots
[3] https://www.rvo.nl/onderwerpen/richtsnoeren-waterstof

Door het Ministerie is aan DNV opdracht gegeven tot het opstellen van deze inventarisatie, waarbij via een dialoog met de betrokkenen bij vier genoemde pilotprojecten de verschillende risico's zijn geïnventariseerd. Verwacht mag worden dat in de loop der tijd meer bindende normen en voorschriften zullen worden opgesteld. Op het moment van schrijven is EZK bezig een tijdelijk beleidskader voor waterstofveiligheid op te stellen.[4]

1.2 Deelnemende partijen

Aan dit document hebben de volgende partijen meegewerkt:

- **Ministerie van Economische Zaken en Klimaat**
- **Liander** (penvoerder Lochem)
- **Enexis** (penvoerder Wagenborgen)
- **Rendo** (penvoerder Hoogeveen)
- **Stedin** (penvoerder Stad aan 't Haringvliet)

Door dialoog met- en tussen bovengenoemde partijen is getracht zoveel mogelijk overeenstemming te bereiken ten aanzien van de verschillende in deze inventarisatie beschreven onderwerpen. Hierbij moet worden opgemerkt dat het, gelet op verschillende achtergronden en belangen van de deelnemende partijen, niet altijd mogelijk is gebleken volledige consensus te bereiken.

1.3 Leeswijzer

Dit document is een inventarisatie m.b.t. de waterstofveiligheid in woningen. Hierbij gaat het specifiek om het viertal projecten waar de vraag van EZK betrekking op heeft: Lochem, Wagenborgen, Hoogeveen, Stad aan 't Haringvliet (demoproject 'Inspiratiehuis').
De structuur van het document is als volgt:

- Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van eigenschappen en mogelijke veiligheidsrisico's bij de aflevering en het gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving;
- In hoofdstuk 3 worden de meest voorkomende methoden en voorzieningen besproken die tot doel hebben veiligheidsrisico's zoveel mogelijk te mitigeren.
- In hoofdstukken 4 tot en met 7 wordt een beschrijving van de vier pilot projecten gegeven met daarin een uiteenzetting van de gehanteerde veiligheidsfilosofie en de op basis daarvan genomen veiligheidsmaatregelen;
- Hoofdstuk 8 tenslotte betreft een nabeschouwing waarin nut en noodzaak van de verschillende veiligheidsmaatregelen vanuit de DNV-visie worden becommentarieerd.

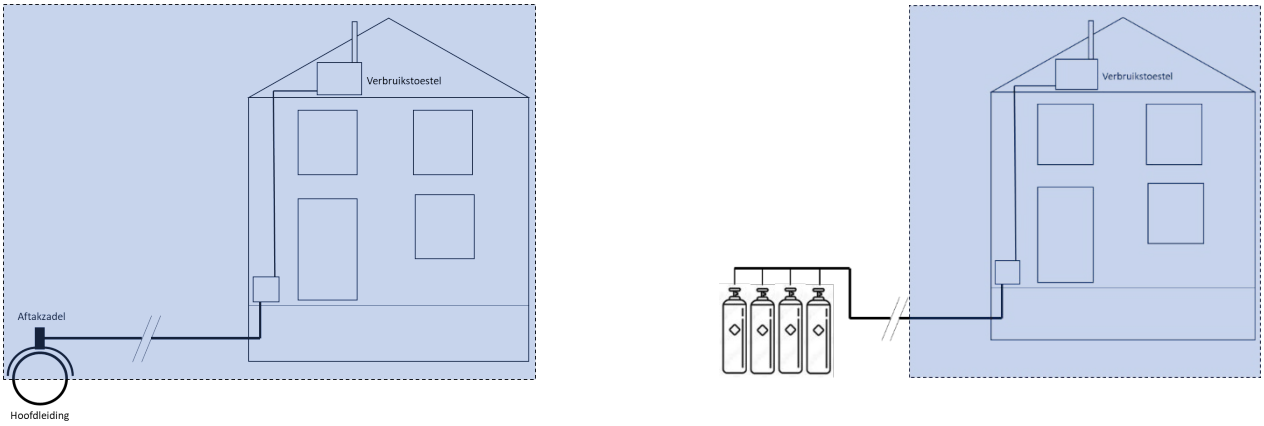
In de beschrijving van de pilotprojecten is een schematische voorstelling opgenomen, waarin wordt aangegeven waar de verschillende veiligheidsmaatregelen zijn of worden genomen. De veiligheidsvoorzieningen in het leveringssysteem vallen buiten de scope van dit document, ter informatie is weergegeven welke overwegingen in dit deel van de installatie een rol spelen. Reden hiervoor is dat de veiligheidseisen aan de leveringsinstallatie duidelijk vastliggen in de PGS-35[5].

1.4 Systeemgrenzen voor dit document

Deze inventarisatie gaat in op de veiligheidsrisico's met betrekking tot de levering aan- en het gebruik van waterstof in woningen voor ruimteverwarming en warm tapwaterbereiding. Een voorwaarde is dat de woningen zijn voorzien van een eigen aansluiting op een waterstofvoorziening. Collectieve installaties met meerdere afnemers op één aansluiting of met een centrale warmtevoorziening zoals bijvoorbeeld in appartementsgebouwen zijn/worden niet in de vier beschreven pilot projecten gerealiseerd en maken geen deel uit van de inventarisatie.

[4] Kamerbrief over voortgang beleidsagenda kabinetsvisie waterstof van 11 december 2020, p. 5-6.

Uitgangspunt is dat de gebruikte gastoestellen beschikken over de juiste keuringscertificaten; voor nieuwe pilots maakt het dan niet uit welk type apparaat (CV-ketels, gasgestookte warmtepompen, brandstofcellen, enz.) het betreft. Er dient te worden opgemerkt dat ten tijde van dit schrijven (2023) er nog slechts een zeer beperkt aantal waterstoftoestellen van een (veldtest) keuringscertificaat was voorzien.
Na beraad met de toekomstige gebruikersgroep is besloten om de werkingssfeer van dit document de woning als zodanig, en de aansluitleiding van de woning vanaf het distributienet te laten omvatten. De waterstofproductie, -distributie of -opslag valt buiten de scope van dit document (zie Figuur 1-1).



Figuur 1-1: Systeemgrenzen van dit rapport bij aanvoer via distributienet (links) en een lokale waterstofbron (rechts)

In sommige gevallen wordt in pilotprojecten waterstof ingevoed vanuit een lokale voorraad, bijvoorbeeld gascilinders, die in de nabijheid van de woning zijn opgesteld. In dat geval heeft deze inventarisatie betrekking op de situatie, zoals rechts in Figuur 1-1 is weergegeven. De waterstofvoorraad of flessenpakketten en de bijbehorende leveringsinstallatie moeten voldoen aan een specifieke set eisen en regels zoals zijn opgenomen in de recent aangepaste PGS-35[5] *'Waterstofinstallaties voor het afleveren van waterstof aan voertuigen en werktuigen; Richtlijn voor de arbeidsveilige, milieuveilige en brandveilige toepassing van installaties voor het afleveren van waterstof aan voertuigen en werktuigen'*, die buiten de scope van dit document valt."

Dit document gaat nadrukkelijk niet in op de organisatorische aspecten van pilot projecten.

1.5 Vergelijking met aardgassystemen

Systemen voor waterstoflevering aan woningen zullen sterke gelijkenissen vertonen met die voor aardgas, immers het betreft in beide gevallen een gasvormige brandstof, hoewel beide gassen verschillende eigenschappen hebben. Uitgangspunt is dat de voor aardgas geldende eisen aan de gasinstallatie en verbruikstoestellen, mits deskundig uitgevoerd, ook voldoende zijn voor de veilige toepassing van waterstof. Hierop wordt in hoofdstuk 2 nader ingegaan. Referentie aan de aardgasvoorziening voor de levering van waterstof zou een voldoende veilige installatie moeten garanderen. In dit document zijn afwijkingen in de systeemuitvoering voor waterstof in de vier pilotprojecten ten opzichte van aardgas nadrukkelijk vermeld.

[5] https://publicatiereeksgevaarlijkestoffen.nl/publicaties/online/pgs-35/2021/1-0-augustus-2021#top

2 EIGENSCHAPPEN WATERSTOF

Om een mening te kunnen vormen van waterstof in een distributienet en een binneninstallatie is het van belang om inzicht te hebben van de eigenschappen van het waterstofgas en de verschillen daarvan met aardgas. In dit hoofdstuk wordt een aantal fysische en technische eigenschappen beschreven die ten grondslag liggen aan het gedrag van waterstof wat bij toepassing daarvan zowel een verlaagd als een verhoogd risico met zich mee kan brengen. Dit laatste kan echter met de juiste maatregelen goed worden gemitigeerd zodat een even hoog veiligheidsniveau als met aardgas kan worden bereikt.

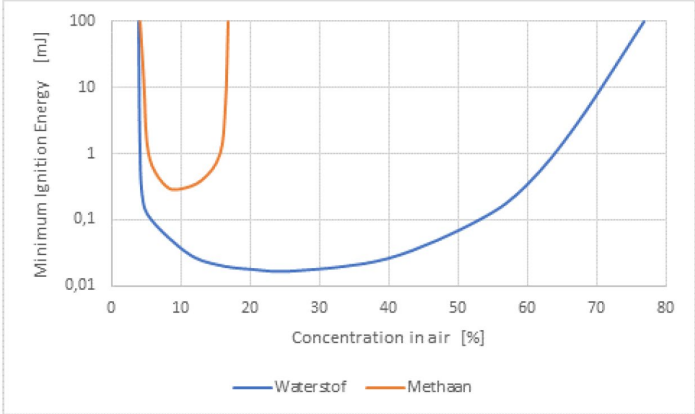
2.1 Permeatie- en stromingseigenschappen

Waterstof is het kleinste en lichtste element en komt voornamelijk als waterstofgas (H_2) voor. Aangetoond is dat ondanks de geringe molecuulgrootte waterstof niet sneller door kleine openingen in leidingen of aansluitingen lekt dan aardgas. Als een leiding of koppeling dicht is voor aardgas, dan is die ook dicht voor waterstof. Bij een lek kan door de specifieke stromingseigenschappen van waterstofgas wel meer waterstof ontsnappen bij gelijke druk en gatgrootte. Waterstof kan sneller naar andere ruimten migreren, maar ook naar buiten door een grotere diffusie coëfficiënt. Waterstof kan onder specifieke omstandigheden binnendringen in de kristallijne structuur van de meeste metalen waardoor de mechanische sterkte nadelig wordt beïnvloed (waterstofbrosheid). Echter in onderzoek is gevonden dat waterstof geen negatieve invloed heeft op de materialen die in het (Nederlandse) aardgasdistributienet worden gebruikt (KIWA, 2018); Waterstofbrosheid is een verschijnsel dat met name bij stalen leidingen en hoge drukken en grote drukvariaties plaats vindt. Voor leidingen geldt dat aantasting afhankelijk is van factoren als druk, tijdsduur, temperatuur en gassamenstelling. In duurproeven is na 10 jaar geen degradatie van PE (polyethyleen) leidingen waargenomen, zodat Kiwa verwacht dat de lange termijn bestendigheid tegen waterstof voldoende is. Hetzelfde geldt voor PVC (polyvinylchloride) hoewel de proeven in dit geval 4 jaar hebben geduurd. Ook voor de overige materialen worden geen lange termijn effecten voorzien.

Een gegeven van waterstof is de relatief geringe energiedichtheid per eenheid van volume (1/3 van die aardgas). Daarentegen is de energiedichtheid van waterstof per eenheid van massa juist een factor 3,15 hoger dan die van aardgas. Door de geringere volumetrische energiedichtheid van waterstof wordt bij distributie de stroomsnelheid in leidingen hoger dan bij een gelijk energietransport bij aardgas. Echter de fysische eigenschappen van het waterstofgas zijn zodanig dat bij hogere snelheden het drukverlies in de leiding veel geringer is dan bij aardgas zodat hogere stromingssnelheden kunnen worden aangehouden en waardoor de capaciteit van het bestaande distributienet toereikend zal blijven. Voor eindgebruikers zullen deze specifieke eigenschap van waterstof niet merkbaar zijn.

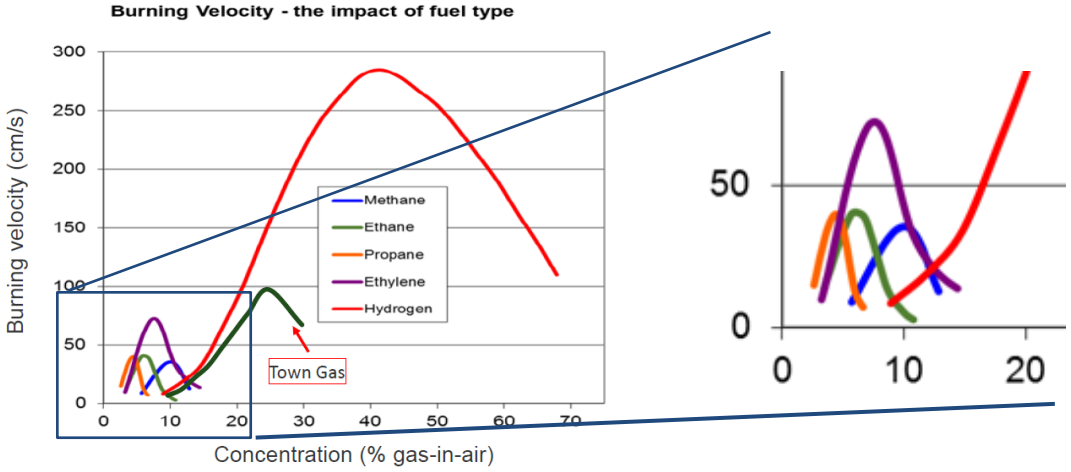
2.2 Verbrandingseigenschappen

Mocht waterstof door een lekkage vrijkomen dan kan een brandbaar mengsel met de lucht ontstaan. De ontvlambaarheidsgrenzen van waterstof in lucht zijn in het onderste concentratiegebied ongeveer gelijk aan die van aardgas (ca. 4 vol% voor waterstof tegen ca. 5 vol% voor aardgas). De bovenste ontvlambaarheidsgrens van waterstof ligt veel hoger (ca. 76 vol% versus 15 vol%). De benodigde ontstekingsenergie voor waterstof is (factoren) lager dan die voor aardgas (hoofdzakelijk methaan), met andere woorden, waterstof ontsteekt gemakkelijker, zie onderstaande figuur.



Figuur 2-1: Minimaal benodigde ontstekingsenergie voor waterstof en aardgas in lucht

Waterstof in lucht is in een breder bereik van mengverhoudingen ontbrandbaar dan aardgas. Bij lekkages uit leidingen zullen concentraties zich echter meestal van onderen opbouwen zodat bij een permanent aanwezige ontstekingsbron het risico van ontbranden niet significant afwijkt van die van aardgas. Wanneer echter een discontinue ontstekingsbron aanwezig is (bijvoorbeeld een intermitterend werkend elektrisch apparaat) zou de waterstofconcentratie tot verder boven de onderste ontvlambaarheidsgrens kunnen oplopen voordat het mengsel tot ontsteking wordt gebracht. In het geval van aardgas zal de concentratie op een bepaald moment dermate hoog worden dat de bovenste ontvlambaarheidsgrens wordt overschreden en er geen ontsteking meer zal plaatsvinden; bij waterstof ligt dat moment verder weg en is de kans dat op een bepaald moment alsnog een ontsteking plaatsvindt dus groter.
Er is in de literatuur geen eenduidig beeld over welke bronnen wel of niet tot ontsteking leiden: ook ontstekingsbronnen met (in theorie) voldoende energie blijken niet altijd een brandbaar mengsel te ontsteken.
Bij een ontsteking van een brandbaar waterstofmengsel is de verbrandingssnelheid een belangrijke eigenschap die de effecten van de verbranding beïnvloedt



Figuur 2-2: Verbrandingssnelheden van verschillende gassoorten met rechts een uitsnede bij lage concentraties (bron: HyDelta)

In bovenstaande grafieken is te zien dat de verbrandingssnelheid van waterstof achterblijft bij die van andere gasvormige brandstoffen bij concentraties van lager dan 10-15%. In open ruimten en concentraties tot ca. 10% zal bij ontsteking van het brandbare waterstof/lucht mengsel deflagratie optreden waarbij eventueel sprake kan zijn van een verhoogde druk die als explosie kan worden ervaren. Bij concentraties boven de 10-15vol% in besloten ruimten wordt de verbrandingssnelheid een stuk groter dan voor aardgas.

Indien de snelheid van het verbrandingsfront tijdens de verbranding (deflagratie) groter wordt dan de geluidssnelheid verloopt de verbranding explosief (detonatie). Hierbij zal als gevolg van de hogere verbrandingssnelheid van waterstof een grotere drukgolf ontstaan dan bij aardgas waarbij potentieel grotere schade wordt veroorzaakt. In de praktijk wordt verwacht dat detonatie kan optreden tussen 18 en 59% waterstof in lucht, echter is de benodigde ontstekingsenergie veel (10^8 x) hoger dan bij deflagratie zodat de kans hierop gering is. Ook mag worden geconstateerd dat de kans op het optreden van een dergelijke waterstofconcentratie kleiner zal zijn dan met aardgas gelet op de hogere diffusiesnelheid van waterstof ten opzichte van aardgas en de kans op vorming van brandbare mengsels wordt verlaagd. Omdat het vraagstuk van ontbranding van waterstof-luchtmengsels gecompliceerd is, wordt hiernaar nog nader onderzoek verricht.

Het mitigeren van veiligheidsrisico's in en rond de woning moet erop gericht zijn de mogelijk optredende concentraties laag te houden (<10 vol%), zodat bij een eventuele onbedoelde ontsteking de verbranding relatief traag verloopt en drukgolven minder schade aanrichten dan bijvoorbeeld bij aardgas. Dit kan bijvoorbeeld door het volledig gasdicht maken van de gasvoerende onderdelen van de toegepaste installaties, wegnemen van ontstekingsbronnen, detecteren van opbouwende gasconcentraties en voldoende ventileren van ruimtes waarin het gas zou kunnen ophopen. Dit geldt voor waterstof, maar evengoed voor aardgas.

2.3 Overige eigenschappen

Tenslotte kan nog worden opgemerkt dat waterstof geschikt is voor toepassing in de meeste verbrandingstoestellen. Zuivere waterstof verbrandt met een nagenoeg onzichtbare vlam. Waterstof is van nature geur-, smaak- en kleurloos en kan door mensen niet zonder hulpmiddelen worden waargenomen. Dat bij de verbranding van waterstof geen koolmonoxide wordt gevormd geeft ontegenzeggelijk een verlaagd veiligheidsrisico ten opzichte van aardgas.

3 OVERZICHT VAN MITIGERENDE MAATREGELEN

3.1 Inherente eigenschappen van waterstof versus aardgas; specifieke risico's voor waterstof

De in hoofdstuk 2 genoemde eigenschappen vormen de basis voor de grootste risico's bij het transport-, distributie- en gebruik van waterstof. Uiteindelijk is bij de toepassing van waterstof de enige grondoorzaak voor risico ongewenste uittreding uit leidingen en toestellen, in de industrie bekend onder het begrip 'Loss of Containment'. Alle bekende risico's zijn gevolgen daarvan. Samengevat behelzen deze risico's de verspreiding van het gas door de grond en door woningen bij lekkages, mogelijk gevolgd door ontsteking van opgehoopte waterstof.

Een risico is gedefinieerd als het product van kans dat een bepaalde ongewenste gebeurtenis zich voordoet en het effect dat deze gebeurtenis heeft (kans x effect). Het effect van een (waterstof)explosie kan slecht worden beperkt. Over het algemeen heeft het de voorkeur om de kans op een ongewenste gebeurtenis te verkleinen. Hierop zijn dan ook de meeste mitigerende maatregelen gebaseerd.

Risico's bij het gebruik van waterstof komen goeddeels overeen met die van aardgas. Een waterstofdetonatie gaat onder specifieke omstandigheden weliswaar gepaard met een grotere drukgolf, maar de kans daarop is juist weer kleiner is (effect groter, kans kleiner). Onder andere omstandigheden is de kans groter (bijvoorbeeld door het bredere brandbaarheidsgebied in combinatie met een lagere benodigde ontstekingsenergie), maar zijn de gevolgen van ontsteking minder ernstig, bijvoorbeeld als gevolg van de lagere energie-inhoud van waterstof per eenheid van volume. Waterstof kent met name geringere risico's ten opzichte van aardgas door:

- Afwezigheid van het gevaar op koolmonoxidevorming, respectievelijk -vergiftiging bij verbranding;
- Versnelde afvoer van waterstof uit de bodem en woningen.

De versnelde afvoer van waterstof uit de bodem en woningen kan ook als nadeel worden gezien. Waterstof kan zich gemakkelijker door woningen of de grond verplaatsen en elders een ruimte vinden waar ophoping van grotere volumes alsnog mogelijk is als deze ruimte aan de bovenzijde volledig gasdicht is. Dit laatste zal in de praktijk echter zelden het geval zijn.
Uiteindelijk zal het al of niet optreden van een gevaarlijke gasophoping afhangen van de grootte van het lek in relatie tot de gasdichtheid van de woning of omgeving.

3.2 Distributie en toepassing: waterstof versus aardgas

Sinds het begin van de twintigste eeuw werd gas (stadsgas en/of aardgas) gebruikt als brandstof in woningen. Eerst voor verlichtingsdoeleinden, maar later ook voor verwarming toen elektrische verlichting meer in zwang kwam. Er bestaat in Nederland daardoor meer dan een eeuw ervaring met het leveren en het gebruik van gasvormige brandstoffen in woningen. In de loop der tijd zijn er tal van normen ontwikkeld ter bevordering van de veiligheid bij het gebruik van (aard)gas, waarbij bij toepassing van aardgas de normen vanuit het stadsgas zijn doorontwikkeld. Aangezien waterstof eveneens een gasvormige brandstof is, ligt het voor de hand om bij het gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving zoveel mogelijk gebruik te maken van de ervaringen die met aardgas zijn opgedaan. Verwacht mag worden dat voor deze brandstof specifieke aanpassing aan de normen voor aardgas zal plaatsvinden. Het kan nodig zijn om bepaalde uitgangspunten die voor aardgas gelden te heroverwegen. Ook kan het nodig zijn om normen voor de aanleg, het gebruik en het beheer van gasinstallaties op toepasbaarheid voor waterstof te beoordelen.

Voorbeelden van relevante bestaande normen voor gasinstallaties zijn:

- NEN 1078: Voorziening voor gas met een werkdruk tot en met 500 mbar - Prestatie-eisen - Nieuwbouw
- NEN 8078: Voorziening voor gas met een werkdruk tot en met 500 mbar - Prestatie-eisen - Bestaande bouw
- NPR 3378: Praktijkrichtlijn gasinstallaties
- NEN 2768: Meterruimten en bijbehorende bouwkundige voorzieningen in woningen
- NEN 2757: Bepalingsmethoden voor de geschiktheid van systemen voor de afvoer van rookgas van gebouwgebonden installaties
- NEN 8757: Afvoer van rook van verbrandingstoestellen in gebouwen - Bepalingsmethoden voor bestaande bouw
- NEN 3028: Eisen voor verbrandingsinstallaties
- NEN-EN 15001: Gasinfrastructuur - Gasinstallatieleidingen met bedrijfsdrukken groter dan 0,5 bar voor industriële en groter dan 5 bar voor industriële en niet-industriële gasinstallaties

Naast deze specifieke normen zijn er vele andere normen die direct of zijdelings gelden voor de gasinstallatie en de toepassing van aardgas in woningen. Zie Bijlage B voor een uitgebreide opsomming van de van toepassing zijnde normen, zoals geïnventariseerd in het pilotproject in Hoogeveen.

De tientallen (al of niet voor waterstof aangepaste) normen bieden in principe veel houvast bij het maken van een waterstofvoorziening, echter het tot in het kleinste detail volgen van de verschillende normen zullen pilotprojecten naar verwachting doen verzanden in een woud van voorschriften, vooral ook omdat veel van de bestaande normen met elkaar en met andere verweven zijn en nog niet (volledig) voor waterstof zijn aangepast. Het kan nuttig zijn kennis te nemen van de betreffende normen en standaarden, echter het verdient aanbeveling om op basis van aardgas normering tot individuele en pragmatische aanpassingen voor waterstof te komen. In Bijlage B is ter informatie een opsomming opgenomen van alle normen die gelden rond gastoepassing in de woning. Formeel gelden voor waterstof de aardgasvoorschriften niet, maar moeten installaties voldoen aan de eisen zoals beschreven in de richtsnoeren van MinEZK. Voor de technische praktijk kan verwacht worden dat ook wordt gerefereerd aan de aardgas uitvoeringsvorm.

3.3 Mitigerende maatregelen

Nagenoeg alle gebruikte methoden en middelen om risico's op ongevallen met zowel aardgas als waterstof te vermijden zijn gericht op het voorkomen of het detecteren van gasontsnapping. Er zijn in de aardgas- of waterstofpraktijk in de gebouwde omgeving geen methoden bekend om eventuele gevolgen van ontbranding of detonatie te beperken, zoals bij de toepassing van explosieluiken in de industrie.
Met de gasstroom mee worden navolgend de meest voorkomende mitigerende maatregelen besproken.

3.3.1 Odorisatie

Een belangrijke en wettelijk verplichte veiligheidsmaatregel bij toepassing van aardgas in de gebouwde omgeving betreft odorisatie met THT. Door aan het gas een stof met een kenmerkende geur toe te voegen kunnen gaslekkages al vroeg worden ontdekt. De norm schrijft voor dat 1% gas in lucht waarneembaar dient te zijn. Het is de vraag welke odorant voor waterstof gaat worden gebruikt omdat THT zwavel bevat wat bij toepassing van bijvoorbeeld brandstofcellen tot schade kan leiden. Omdat in de pilotprojecten geen sprake is van het gebruik van brandstofcellen is toepassing van THT geen probleem, maar toch dient hier op termijn, bij een bredere uitrol van waterstof, aandacht aan te worden besteed.

3.3.2 Voorkomen van graafschade aan hoofd- en aansluitleidingen

Graafschade is een veel voorkomende oorzaak van gaslekkages. Hoewel (aard)gas voerende leidingen over het algemeen voldoende gronddek hebben kan het voorkomen dat bij het gebruik van graafmachines gasleidingen worden geraakt. Dit zal niet anders zijn bij waterstofleidingen.

Mogelijke mitigerende maatregelen ter beperking van graafschade is het gebruik van waarschuwingslint, verscherpt toezicht bij graafwerkzaamheden en het (doen) melden van graafwerk door middel van een KLIC-melding.

3.3.3 Aftakzadels met gasstopper

Voor individuele levering vanuit de distributieleidingen wordt per woning een aftakking gemaakt, die afhankelijk van de plaatselijke situatie bestaat uit een T-stuk of een aftakzadel waarop zich een inrichting kan bevinden om de distributieleiding (onder gasdruk) aan te boren. In figuur 1-2 zijn twee voorbeelden van aftakzadels weergegeven, met links een klemzadel voor PVC-leidingen en rechts een elektrolas zadel voor PE-leidingen.

Figuur 1-2: Voorbeelden van aftakzadels (bronnen: Pipelife en Wavin)

In waterstofprojecten kunnen aftakzadels met gasstopper worden toegepast. Deze voorzieningen sluiten een ingebouwde gasklep indien de gasstroom te hoog wordt, hetgeen het geval zou kunnen zijn bij een stroomafwaarts optredende leidingbreuk, bijvoorbeeld door graafschade in de voortuin. Het nadeel van gasstoppers op het aftakzadel of in de dienstleiding is dat deze handmatig weer moeten worden geopend wat opgraving van de leiding met zich meebrengt.

3.3.4 Spoelen

Ten behoeve van het verdringen van gas uit leidingen (bijvoorbeeld bij de overgang van aardgas naar waterstof of bij het verdringen van lucht uit de leidingen) is het nodig dat de leiding gespoeld kan worden met een inert gas alvorens het nieuwe gas wordt ingevoerd. Hiertoe kunnen spoelpunten worden geplaatst op verschillende plaatsen in de leiding en/of de binneninstallatie.

3.3.5 Vlamdovers

Vlamdovers zijn barrières die in leidingen kunnen worden opgenomen om ervoor te zorgen dat vlammen die bijvoorbeeld in de ketel ontstaan zich niet verder stroomopwaarts in de leiding kunnen voortplanten.

3.3.6 Ventilatie

Door middel van ventilatie kan worden voorkomen dat gasophoping in bepaalde ruimten zoals de kruipruimte of de meterkast plaatsvindt. Ventilatie kan zowel op basis van natuurlijke trek als geforceerd plaatsvinden. In het laatste geval dient er wel op te worden toegezien dat de toegepaste ventilator EX-proof is.

3.3.7 Waterstofdetectie

In ruimten waarin zich gasophoping zou kunnen voordoen kan elektronische gasdetectie worden toegepast. Een dergelijke detector geeft een signaal wanneer de gasconcentratie in de ruimte te hoog wordt. Het is de vraag hoe met een detectiealarm wordt omgegaan. Het door de detector afgegeven signaal kan alleen een akoestisch alarm geven, maar ook een gasklep doen dichtvallen. Er zijn vele uitvoeringsvormen denkbaar ten aanzien van de plaats(en) waarop gasdetectors worden aangebracht en de te nemen maatregelen bij een alarm.

3.3.8 Mantelbuizen in combinatie met waterstofdetectie

Een met name bij de aanleg van nieuwe waterstofleidingen in woningen gebruikte methode om lekken te kunnen detecteren betreft het gebruik van mantelbuizen. Door de leidingen van de binneninstallatie volledig door een mantelbuis aan te leggen wordt bewerkstelligd dat bij een eventueel lek in de leiding de waterstof zich verzameld in de mantelbuis en daarin opstijgt. Door op het hoogste punt waar de mantelbuis uitmondt in de woning, bijvoorbeeld ter plaatse van het verbrandingstoestel of gasmeterbeugel, een waterstofdetector te plaatsen kunnen eventuele lekken worden gedetecteerd.

3.3.9 Sterktetest

Bij de ingebruikname van de binneninstallatie wordt met stikstof of lucht een hoge druk in de leidingen gebracht (5 bar); eventuele zwakke punten in de leidingconstructie kunnen op deze manier worden opgemerkt.

3.3.10 Lekdichtheidstest

Bij de inbedrijfname van gasvoerende binneninstallaties in woningen dient een lektest te worden uitgevoerd. Dit betekent in de meeste gevallen dat het systeem op druk wordt gebracht, en het verloop van de druk gedurende een bepaalde tijd wordt gemeten. Bij een te grote drukdaling in te korte tijd wordt de installatie afgekeurd en dient de lekkage te worden verholpen voordat de installatie in gebruik mag worden genomen. In de huidige aardgaspraktijk worden lektests slechts eenmaal bij inbedrijfname uitgevoerd en daarna niet weer zolang er geen wijzigingen aan de installatie worden aangebracht. Omwille van het verlagen van het veiligheidsrisico zou kunnen worden overwogen om lektests vaker uit te voeren, hetgeen zowel handmatig als geautomatiseerd kan worden gedaan.

3.3.11 Eindgebruikersapparatuur

Om een veilige toepassing van waterstof in eindgebruikersapparatuur te kunnen garanderen, dienen deze apparaten te zijn gecertificeerd. Ten tijde van het schrijven van dit rapport is dit alleen nog maar het geval voor gesloten ketels, die kunnen worden ingezet voor ruimteverwarming of tapwater. Hiermee worden (ten minste voorlopig) koken op waterstof en sfeerhaarden uitgesloten, waarmee direct contact met de onzichtbare waterstofvlam en de kans op ongecontroleerde gasuitstroom wordt vermeden. De lengte binnenleiding kan hierdoor beperkt blijven, waardoor de kans op beschadiging kan worden beperkt.
Toepassing van waterstof in een ketel heeft tevens als voordeel dat ongelukken ten gevolge van koolmonoxide, zoals bij aardgasverbranding kan voorkomen, tot het verleden behoren.

Alle bovengenoemde maatregelen zijn er op gericht de kans op uitstromen van gas en het vormen van ontbrandbare mengsels te verkleinen. Vanzelfsprekend zouden alle genoemde maatregelen tegelijkertijd kunnen worden genomen, maar dit zou in de praktijk veel extra kosten en complexiteit met zich meebrengen. In de pilot projecten wordt vaak al met een kritische blik naar de beschikbare mitigerende maatregelen gekeken, en stapeling wordt tot op zekere hoogte vermeden.
In de volgende hoofdstukken wordt verder ingegaan op de keuzes die in de verschillende pilotprojecten ten aanzien hiervan zijn gemaakt.

4 WATERSTOFPILOT LOCHEM

4.1 Achtergrond

Het waterstof pilotproject in Lochem is het eerste project dat op een grotere schaal is gerealiseerd. In 2022 is de levering van waterstof aan 12 monumentale woningen in de wijk Berkeloord gestart. Het doel volgens initiatiefnemer Liander is om ervaring op te doen met het distribueren van waterstof door het bestaande aardgasnet en met de nieuwe technologie van waterstofketels. De waterstof wordt geleverd met flessenwagens (tubetrailers), die op een nabijgelegen industrieterrein staan opgesteld. Aanvoer van waterstof vanuit de flessenwagen naar de woningen vindt plaats door de bestaande aardgas distributieleidingen. In de woningen zijn waterstofketels van het merk Remeha geplaatst.

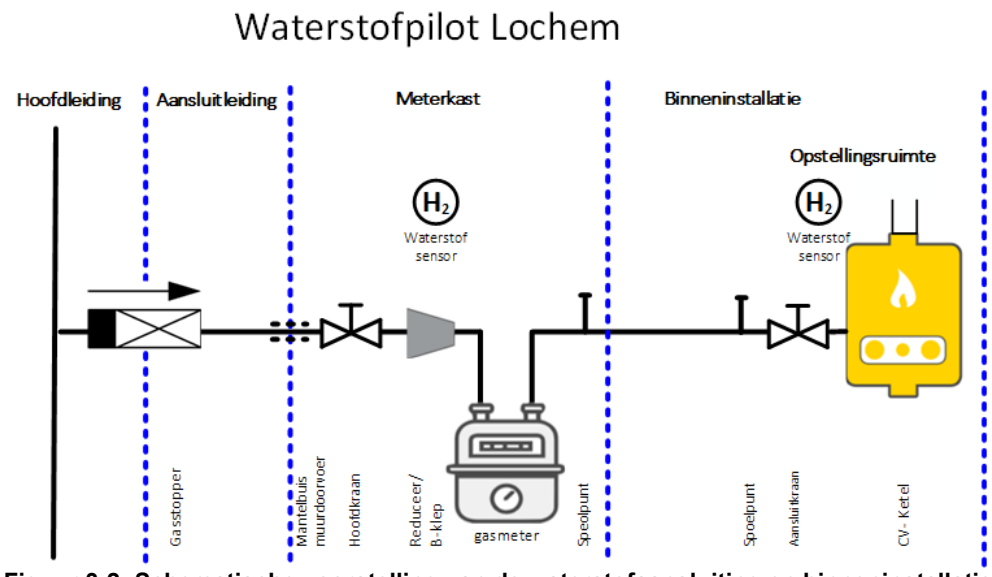
De pilot zal voor een periode van 2 jaren lopen. Daarna wordt alles teruggebouwd naar de oorspronkelijke aardgassituatie. Om deze reden zijn in de wijk en (ten dele) zowel een aardgas- als een waterstof infrastructuur aanwezig.

Penvoerder van het waterstof pilotproject in Lochem is netbeheerder Liander.

Figuur 3-1: Deelnemende woningen in de wijk Berkeloord (bron: Liander)

4.2 Technische beschrijving van de waterstofvoorziening

In onderstaand schema wordt een overzicht gegeven van de waterstofvoorziening aan de deelnemende woningen en de genomen veiligheidsmaatregelen.



Figuur 3-2: Schematische voorstelling van de waterstofaansluiting en binneninstallatie in pilotproject Lochem

Van links naar rechts door het schema, met de waterstofstroom mee, zijn de volgende voorzieningen in en om de woning aangebracht:

Hoofd- en aansluitleiding:

- Er is zo veel mogelijk gebruik gemaakt van de bestaande leidingen. Eventuele 'verdachte materialen, zoals stalen aansluitleidingen en met hennep afgedichte koppelingen, zijn verwijderd. Reden is dat deze toch op termijn dienen te worden verwijderd en Liander heeft besloten dit te combineren met de waterstofinpassing, zodat de overlast voor de bewoners beperkt blijft tot deze ene keer. In de hoofdleidingen is zowel PVC als PE gebruikt. De aansluitleidingen zijn van PE en PEKO.
- Met een camera is gezocht naar eventuele weesleidingen.
- Op de bestaande hoofdleiding, met drukmeter en monstername/spoelpunt, is een aftakzadel aangebracht waarop een gasstopper is gemonteerd.
- De leidingdruk van de waterstofleiding is op 80 mbar ingesteld, zodat bij het per abuis koppelen van deze leiding met de aardgasleiding, geen waterstof in de aardgasleiding zal stromen. De impact van aardgas in de waterstof wordt veel kleiner ingeschat dat waterstof in aardgas omdat de waterstofketels zijn beveiligd tegen een te hoge aardgasconcentratie.
- Na doorvoer van de Peko aansluitleiding door de gevel of vanonder de fundering loopt deze door de kelders naar de gasdruk-regelaar- en meteropstelling. Vanwege het grote volume van de kelders is een omkasting om de gasdrukregel- en meteropstelling gebouwd; door het verkleinen van het volume van de 'meterkast' konden de eisen ten aanzien van ventilatiecapaciteit worden versoepeld.

Meterkast/kruipruimte:

- De gasdrukregelaar is gecombineerd met een B-klep, van waaruit het gas door de gasmeter wordt gevoerd.
- Na de (ultrasone) gasmeter is nog een spoelpunt aangebracht ten behoeve van het spoelen van de leiding.
- Er worden geen bijzondere eisen gesteld aan de ventilatie, dan wel gasmonitoring in de kruipruimte. In de woningen in Lochem komt de gasleiding in kelders binnen, waarin zich ook de gasdrukregelaar en de gasmeter bevinden. Bestaande ventilatie via de aanwezige kelderramen wordt voldoende geacht.
- Er zijn houten kasten om de gasregelinstallatie geplaatst teneinde het volume daarvan te verkleinen en een geringere ventilatiebehoefte te creëren.
- Door het beperken van het volume om de meter is het eenvoudiger geworden om met een waterstofsensor lekkages waar te nemen. Deze waterstofsensor geeft een akoestisch signaal bij overschrijding van de alarmgrens.

Binneninstallatie:

- De bestaande binneninstallaties voor aardgas zijn niet aangepast of vernieuwd.
- In de woningen zijn vooral koperen leidingen aanwezig.

Opstellingsruimte/eindgebruikersapparatuur:

- Waterstof wordt alleen toegepast in gesloten ketels. Er wordt geen gebruik gemaakt van kooktoestellen omdat deze ten tijde van de ontwikkeling van dit pilotproject nog niet voldoende waren uitontwikkeld. Liander sluit voor de toekomst kooktoestellen nog niet uit. Het feit dat de waterstof alleen wordt toegepast in gesloten toestellen en directe aanraking met waterstof, zoals bij een kooktoestel, kan als een belangrijke (eerste) mitigerende maatregel worden gezien.
- In de opstellingsruimte bevindt zich een spoelkraan waarmee het spoelen of verdringen gecontroleerd kan worden uitgevoerd.
- De (gesloten) waterstofketel is via de aansluitkraan aan de gasleiding gekoppeld.
- In de opstellingsruimte van de ketel bevindt zich een waterstofsensor die een akoestisch signaal geeft bij overschrijding van de alarmgrens.

Ten aanzien van de gehanteerde veiligheidsfilosofie en de uitvoering van het project heeft penvoerder Liander de volgende overwegingen gemaakt:

- De veiligheidsmaatregelen zijn er primair op gericht om waterstoflekkages in- en naar de woningen te voorkomen, door het gebruik van deugdelijke materialen en verbindingen. Hierbij is de filosofie gehanteerd dat waterstofconcentraties boven 10% moeten worden voorkomen, omdat de ontstekingsenergie van waterstof/lucht-mengsels bij concentratie lager dan 10% hoger is dan die voor aardgas (zie ook hoofdstuk 2).
- De noodzaak van adequate odorisatie wordt door Liander onderschreven. In Lochem wordt THT als odorant gebruikt omdat de bewoners bekend zijn met deze geur. De odorantconcentratie mag tussen 10-40 mg/m^3n variëren. Buiten deze grenswaarden wordt de installatie uitgeschakeld. Ten behoeve van de metingen van de odorant concentratie worden in Lochem drie meetpunten gebruikt.
- Liander heeft voor het spoelen met stikstof bij het verdringen van lucht of aardgas door waterstof gekozen vanwege de vrij grote inhoud van de aansluitleidingen buiten de woningen. Hoewel de inhoud van de binneninstallaties zelf relatief gering is, zouden er zonder stikstofspoeling hierdoor toch aanzienlijke hoeveelheden waterstof een brandbaar mengsel in de leidingen kunnen vormen. Om dezelfde redenen, en ook vanwege het afblazen van een broeikasgas als waterstof is voor affakkelen met UV vlambewaking gekozen.
- Liander gebruikt standaard B-kleppen (gasgebrekbeveiliging) in zowel aardgas- als waterstofaansluitingen. Nu er niet met waterstof wordt gekookt zou de B-klep overbodig worden omdat er geen kans bestaat op een openstaande gaspit bij herstel van de gasvoorziening na het wegvallen van de druk. Gasdrukregelaars zijn standaard voorzien van een B-klep, maar het betreft in dit geval dus niet (langer) een veiligheidsmaatregel.
- De binnenleidingen worden 3-maandelijks gecontroleerd op lekkages. Hierbij wordt de leiding op 125 mbar gezet en mag de drukdaling niet meer zijn dan 1 mbar/3 minuten.

5 WATERSTOFPILOT WAGENBORGEN

In het Groninger dorp Wagenborgen worden 33 woningen uit de jaren 70 omgezet van aardgas naar waterstof. De betreffende woningen zijn in een renovatieproject, waarin o.a. ook de thermische isolatie is verbeterd, voorzien van een nieuwe binneninstallatie, inclusief waterstofketel. De (Intergas) waterstofketel fungeert als een aanvulling op een eveneens nieuw geplaatste elektrisch aangedreven warmtepomp die bij meer gematigde buitentemperaturen de warmtevoorziening verzorgt. Warm tapwater wordt met de waterstofketel bereid. Koken gebeurt in het vervolg elektrisch. Terwijl sommige van de woningen nog worden aangepast is de waterstoflevering aan de eerste woningen reeds gestart.

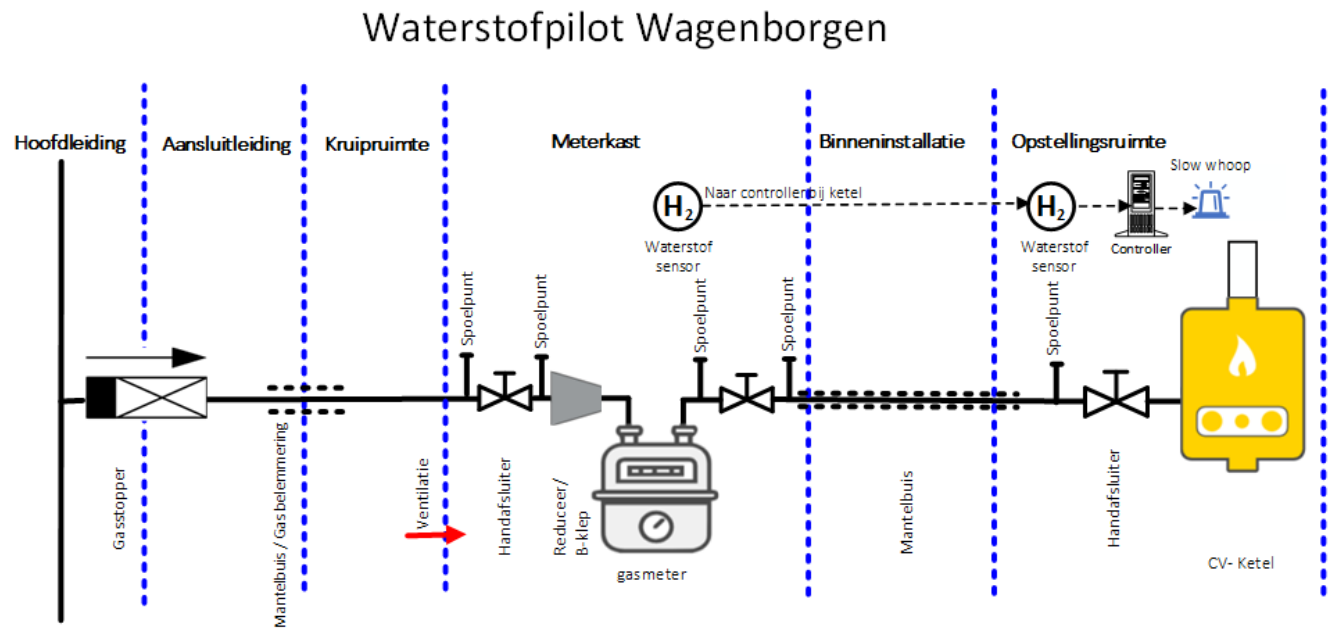
Waterstof wordt aangevoerd vanaf een op 2 km afstand gelegen boerderij waar nu nog een flessenwagen aan het (reeds bestaande) distributienet is aangesloten. Binnen twee jaar zal de waterstofvoorziening worden overgenomen door een met groene stroom gevoede electrolyzer-installatie op dezelfde locatie.

De pilot heeft een looptijd van 10 jaar. Omdat slecht eens beperkt aantal woningen is overgezet op waterstof, is er zowel een aardgas- als een waterstof infrastructuur in het dorp aanwezig.

Penvoerder van het waterstof pilotproject Wagenborgen is netbeheerder Enexis.

Figuur 5-1: Luchtopnamen van de waterstofwijk in Wagenborgen en de boerderij waar de waterstof in het net wordt ingevoed (Bron: Enexis)

In figuur 5-2 is de waterstofvoorziening in en om de woningen weergegeven.



Figuur 5-2: Schematische voorstelling van de waterstofaansluiting en binneninstallatie in pilotproject Wagenborgen

Van links naar rechts door het schema, met de waterstofstroom mee, zijn de volgende voorzieningen in en om de woning aangebracht:

Hoofd- en aansluitleiding:

- Er is voor waterstofnetwerk zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande leidingen. Eventuele 'verdachte' materialen zijn vervangen.
- Op de deels PE en deels PVC hoofdleiding is een aftakzadel aangebracht waarop een gasstopper is gemonteerd.

Meterkast/kruipruimte:

- Na (gasdichte) doorvoer van de PEKO aansluitleiding door de gevel loopt deze door de kruipruimte naar de naar de gasdruk-regelaar- en meteropstelling in de meterkast.
- Voor en na de aansluitkraan zijn spoelpunten aangebracht.
- De spoelpunten zijn waar mogelijk op de meterbeugel bevestigd.
- De gasdrukregelaar is gecombineerd met een B-klep, van waaruit het gas door de gasmeter wordt gevoerd. Enexis past voor aardgas geen B-kleppen toe en was ook niet van plan deze toe te passen in dit pilotproject. De reden dat deze wel zijn toegepast is dat deze door SodM zijn geëist.
- Na de gasmeter zijn nog twee spoelpunten aangebracht ten behoeve van het spoelen van de gasmeter.
- In de meterkast bevindt zich een waterstofsensor die verbonden is met een controller in de opstellingsruimte van de ketel (zolder), waar zich ook een tweede sensor bevindt. Bij een overschrijding van de alarmgrens.(10, 15 of 20% LEL) treedt het akoestische alarm (Slow Whoop) in werking. Voorafgaand aan de ingebruikneming zijn de sensoren gecontroleerd op 10 en 20% LEL.
- De kruipruimtes zijn voorafgaand aan de omzetting geïnspecteerd en eventuele lekkages of doorvoeren met de naastgelegen woningen zijn dichtgemaakt. Dit laatste was niet nodig geweest indien de belendende kruipruimtes ook van voldoende ventilatie voorzien waren geworden maar Enexis heeft voor eerstgenoemde maatregel gekozen.
- In de vloer van de meterkast is een gat gemaakt, zodat eventueel aanwezige waterstof in de kruipruimte hierlangs kan ontsnappen en kan worden gedetecteerd met de in de meterkast geplaatste waterstofsensor.

Binneninstallatie:

- De binneninstallatie is volledig nieuw aangelegd voor waterstof waarbij alle onnodige koppelingen zijn verwijderd. De installatie is getoetst aan de eisen voor nieuwbouwinstallaties.
- Vanaf de meterkast tot aan de zolder is de binnenleiding volledig ommanteld, waardoor eventueel vrijkomende waterstof door de mantelbuis naar zolder wordt gevoerd en daar kan worden gedetecteerd.
- Bij oplevering wordt een sterktetest gedaan door de druk in de leidingen op te voeren tot 500 mbar. Daarna wordt een lektest gedaan waarbij de drukdaling niet meer mag bedragen dan 1 mbar/ 3 minuten.

Opstellingsruimte/eindgebruikersapparatuur:

- Waterstof wordt alleen toegepast in gesloten ketels. Er wordt geen gebruik gemaakt van kooktoestellen omdat deze ten tijde van de ontwikkeling van dit pilotproject nog niet voldoende waren uitontwikkeld.
- In de opstellingsruimte, voor de aansluitkraan van de ketel bevindt zich nog een spoelpunt.
- De waterstofketel is via de aansluitkraan aan de gasleiding gekoppeld.

Ten aanzien van de gehanteerde veiligheidsfilosofie en de uitvoering van het project heeft projectuitvoerder Enexis de volgende overwegingen gemaakt:

- De veiligheidsmaatregelen zijn er primair op gericht om waterstoflekkages in- en naar de woningen te voorkomen, door het gebruik van deugdelijke materialen en verbindingen. Hierbij is de filosofie gehanteerd dat waterstofconcentraties boven 10% moeten worden voorkomen, omdat de ontstekingsenergie van waterstof/lucht-mengsels bij concentratie lager dan 10% hoger is dan die voor aardgas (zie ook hoofdstuk 2).
- De waterstof wordt toegepast in gesloten en gecertificeerde ketels hetgeen voldoende zekerheid biedt ten aanzien van een veilige werking.
- De noodzaak van adequate odorisatie wordt door Enexis onderschreven. Een punt van aandacht hierbij is wel de juiste dosering bij lage waterstofafname; de meet- en regelinrichting moet een groot regelbereik hebben. De odorantconcentratie mag tussen 10-40 mg/m^{3}n variëren. Buiten deze grenswaarden wordt de installatie uitgeschakeld. Ten behoeve van de periodieke metingen van de odorant concentratie is een werkinstructie opgesteld.
-
- De beide waterstofsensoren zijn aangesloten op een controller die in de opstellingsruimte van de ketel is geplaatst. Bij een waargenomen waterstoflek stuurt deze controller een akoestisch alarm met een luide Slow-Whoop functie aan. In dit geval is het hele alarmsysteem zeer kostbaar gebleken en is daardoor zeker niet geschikt om bij een grootschaliger uitrol van waterstof in de gebouwde omgeving te worden overwogen.
- Enexis heeft werkinstructies voor het aansluiten van woningen op een waterstofvoorziening ontwikkeld.
- Op de buitenmuur van de woning, nabij de voordeur is een bordje geplaatst met een aanduiding waaraan kan worden herkend dat er een waterstofaansluiting aanwezig is.

6 WATERSTOF PILOTPROJECT HOOGEVEEN

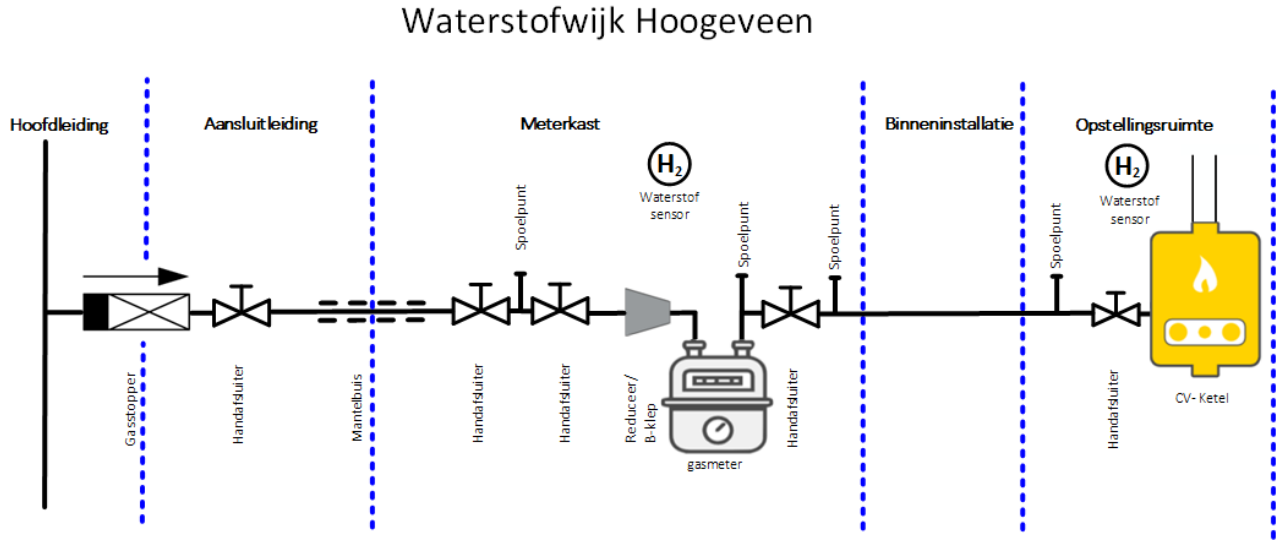
Binnen het project Waterstof Hoogeveen bestaan meerdere deelprojecten, één daarvan is Waterstofwijk Erflanden met netbeheerder Rendo als penvoerder.

Binnen het project worden ca. 100 bestaande woningen definitief van aardgas op waterstof omgeschakeld. Het project wordt in de toekomst nog met ca. 100 nieuwbouwwoningen uitgebreid, maar de hieronder volgende beschrijving heeft betrekking op de bestaande woningen. De woningen in de wijk zijn omstreeks het jaar 2000 gebouwd en zijn van verschillende typen. De verwarming van de woningen gebeurt uitsluitend met (Remeha) waterstofketels; koken gebeurt elektrisch. Naar verwachting vindt de omschakeling op waterstof in september 2024 plaats.

Figuur 6-1: Twee van de woningen die deelnemen aan het project (Bron: Google)

Waterstof wordt geleverd vanuit flessenwagens die op het bestaande distributienet invoeden. De hoofd- en aansluitleidingen zijn gemaakt van PE en behoeven geen nadere aanpassingen.

In onderstaand schema wordt de waterstofvoorziening in en om de woningen weergegeven.



Figuur 6-2: Schematische voorstelling van de waterstofaansluiting en binneninstallatie in pilotproject Hoogeveen

Van links naar rechts door het schema, met de waterstofstroom mee, zijn de volgende voorzieningen in en om de woning aangebracht:

Hoofd- en aansluitleiding:

- Op de PE hoofdleiding is een aftakzadel aangebracht waarop een gasstopper is gemonteerd. Het gebruik van gasstoppers is bij Rendo voor aardgas niet standaard. Aanleiding om wel gasstoppers voor waterstof toe te passen is enerzijds de perceptie dat gebruik van waterstof meer risico's met zich meebrengt gelet op de bredere brandbaarheidsgrenzen, en anderzijds dat nu er toch aanpassingen aan de voorzieningen worden gedaan dit beter in één keer goed kan worden gedaan.
- Direct na de gasstopper is in de aansluitleiding een handafsluiter aangebracht die via een straatpotje kan worden bediend. De reden hiervoor is dat in geval van calamiteiten hulpdiensten niet een woning hoeven te betreden waar waterstof in aanwezig kan zijn; de toevoer kan van buitenaf worden afgesloten. Rendo heeft aangegeven dergelijke afsluiters niet in het aardgasnetwerk te hebben.
- De PE aansluitleiding loopt middels een (gasdichte) doorvoer door de gevel naar de meterkast.

Meterkast/kruipruimte:

- Door de lange looptijd van deze pilot is rekening gehouden met de mogelijkheid dat er eventueel een gasmeterwissel dient plaats te vinden.
- Een spoelpunt is aangebracht tussen twee afsluiters. In samenhang met een tweede spoelpunt na de gasmeter kunnen de gasdrukregelaar en de gasmeter worden gespoeld.
- De gasdrukregelaar is gecombineerd met een B-klep, van waaruit het gas door de gasmeter wordt gevoerd.
- Door ketelfabrikant Remeha is geëist dat een gasdrukregelaar van het 'Dokkum-type' (geschikt voor voordrukken tot 200 mbar) wordt gebruikt om eventuele drukverhogingen in de binneninstallatie zo laag mogelijk te houden.
- In de meterkast bevindt zich een waterstofsensor die een akoestisch alarm geeft bij een overschrijding van de alarmgrens.
- Alle meterkasten zijn gebouwd na 2000 en voldoen aan NEN 2768.
- In een aantal huizen is een waterontharder geïnstalleerd in de meterkast. In opdracht van RENDO is door KIWA onderzocht of dit veilig kan in relatie tot het toepassen van waterstof. Hoofdconclusie is dat het veilig kan mits de ventilatie voldoet aan het BBL (Besluit Bouwwerken Leefomgeving).
- Voorafgaand aan de ombouw worden eventuele lekkages in de kruipruimtes naar de naastgelegen woningen gedicht.

Binneninstallatie:

- De bestaande binneninstallatie is relatief nieuw en is niet aangepast voor waterstof; aftakkingen, bijvoorbeeld voor kooktoestellen, worden verwijderd.
- Bij oplevering wordt een sterktetest gedaan door de druk in de leidingen op te voeren tot 500 mbar. Daarna wordt een lektest gedaan waarbij de drukdaling niet meer mag bedragen dan 1 mbar per 3 minuten. Na uitvoering van werkzaamheden wordt de lektest herhaald.

Opstellingsruimte/eindgebruikersapparatuur:

- Waterstof wordt alleen toegepast in gesloten ketels. Er wordt geen gebruik gemaakt van kooktoestellen omdat deze ten tijde van de ontwikkeling van dit pilotproject nog niet voldoende waren uitontwikkeld.
- In de opstellingsruimte, voor de aansluitkraan van de ketel bevindt zich nog een spoelpunt.
- De (gesloten) waterstofketel is via de aansluitkraan aan de gasleiding gekoppeld.

Ten aanzien van de gehanteerde veiligheidsfilosofie en de uitvoering van het project heeft projectuitvoerder Rendo de volgende overwegingen gemaakt:

- De veiligheidsmaatregelen zijn er primair op gericht om waterstoflekkages in- en naar de woningen te voorkomen, door het gebruik van deugdelijke materialen en verbindingen. Hierbij is de filosofie gehanteerd dat

waterstofconcentraties boven 10% moeten worden voorkomen, omdat de ontstekingsenergie van waterstof/lucht-mengsels bij concentratie lager dan 10% hoger is dan die voor aardgas (zie ook hoofdstuk 2).

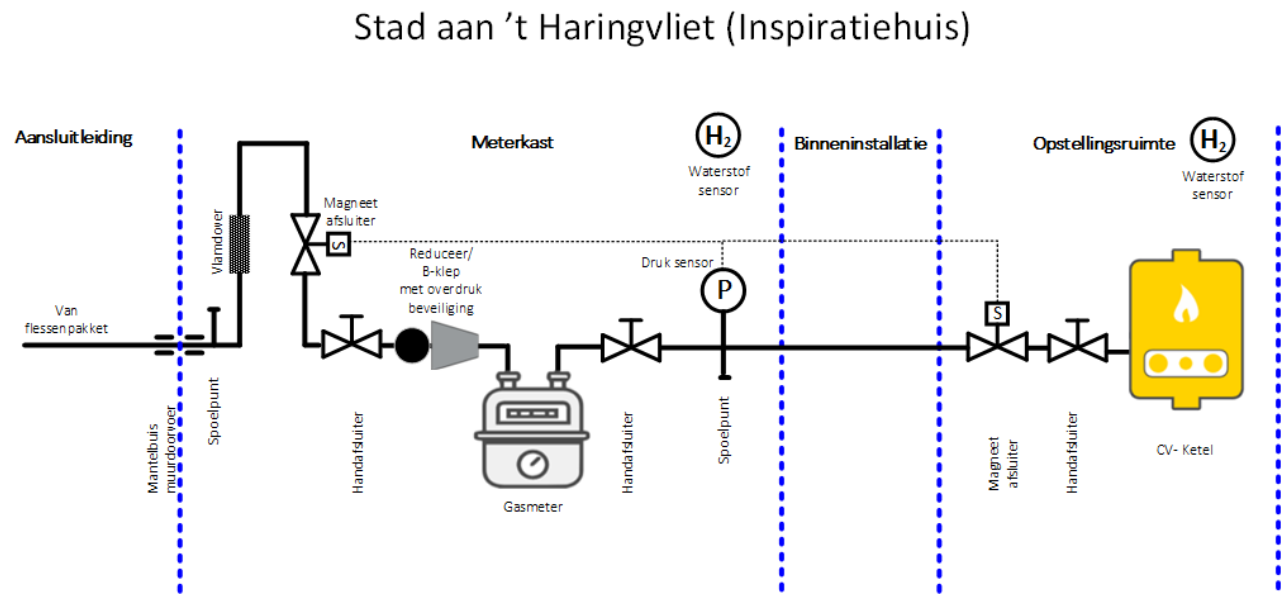
- De waterstof wordt toegepast in gesloten en gecertificeerde ketels hetgeen voldoende zekerheid biedt ten aanzien van een veilige werking.
- De noodzaak van adequate odorisatie wordt door Rendo onderschreven. De odorantconcentratie mag tussen 10-40 mg/m^{3}n variëren. Buiten deze grenswaarden wordt de installatie uitgeschakeld. Ten behoeve van de periodieke metingen van de odorant concentratie is een werkinstructie opgesteld.
- Door SodM is geëist dat een B-klep wordt toegepast, hoewel Rendo daar voor aardgas geen gebruik van maakt omdat de toegevoegde waarde niet wordt gezien.
- Bij het spoelen van de waterstofleiding wordt het spoelgas via een slang naar buiten afgevoerd en in de atmosfeer gebracht. Remeha staat niet toe dat het verwijderen van het spoelgas via de ketel verloopt in verband met het in storing treden van de ketel na een vijftal startpogingen.
- Rendo past bij nieuwbouw ook een mantelbuis op de gehele binneninstallatie toe om langs deze weg eventueel gelekt gas af te voeren naar een plaats waar het gas veilig kan worden afgevoerd of gedetecteerd.

7 WATERSTOFPILOT STAD AAN'T HARINGVLIET

In Stad aan 't Haringvliet is sprake van twee verschillende proeven met de levering aan, en het gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving. Een grootschalig project (Stad Aardgasvrij) beoogd de omschakeling van aardgas op waterstof van ruim 600 bestaande woningen in het gehele dorp Stad aan 't Haringvliet; dit project moet in 2025 van start gaan. In 2022 is een demonstratieproject uitgevoerd genaamd 'het Inspiratiehuis' waarin de toe te passen techniek in de definitieve uitvoering van de grootschalige pilot aan de verschillende betrokkenen is getoond. De belangrijkste doelen van het inspiratiehuis waren om te laten zien dat de toestellen die voor waterstof zijn ontwikkeld werken, dat de veiligheid voldoende kan worden gewaarborgd en om ervaring met de ombouw naar waterstof op te doen.

Figuur 7-1: Luchtopname van een deel van Stad aan 't Haringvliet (Bron: Stedin)

Er dient te worden opgemerkt dat de wijze waarop het Inspiratiehuis is ingericht en de veiligheidsvoorzieningen die daarin zijn genomen, niet per definitie de definitieve situatie in het grootschalige project zal worden. In de komende tijd zal worden beoordeeld welke van de maatregelen eventueel zullen worden overgenomen, onder meer op basis van de resultaten van verder onderzoek. De in dit document besproken veiligheidsmaatregelen hebben dan ook alleen betrekking op de situatie in het Inspiratiehuis.



Figuur 7-2: Schematische voorstelling van de waterstofvoorziening in het Inspiratiehuis

De waterstofvoorziening in het Inspiratiehuis is gerealiseerd door middel van gasflessen die in een nabijgelegen container zijn opgesteld. 's Nachts is de waterstofvoorziening gestopt. In de definitieve situatie zal de waterstof via het Stedin distributienet worden aangeleverd vanuit een op enige afstand buiten het dorp op te stellen electrolyzer.

In het inspiratiehuis zijn met de waterstofstroom mee de volgende veiligheidsmaatregelen genomen:

Hoofd- en aansluitleiding:

- De waterstof is aan de woning geleverd via het bestaande netwerk, dat bestond uit wit PVC.

Meterkast/kruipruimte:

- In de meterkast bevindt zich direct na binnenkomst een spoelpunt, gevolgd door een vlamdover die ervoor moet zorgen dat er geen vlaminslag in de aansluitleiding, respectievelijk de gascilinders kan plaatsvinden.
- De hierop volgende magneetafsluiter heeft een functie in de automatische lektest die in het inspiratiehuis is beproefd.
- Na de hoofdafsluiter volgen de reduceer- en B-klep met overdrukbeveiliging, de gasmeter, een handafsluiter, een drukopnemer en een tweede spoelpunt.
- In de meterkast bevindt zich een waterstofdetector met een akoestische functie.

Binneninstallatie:

- Na de meterkast gaat de binnenleiding weer door de vloer de kruipruimte in en komt in de keuken weer boven. De oorspronkelijke stalen leiding is vervangen door een leiding van koper.
- De leiding onder de vloer bleek voor de aardgassituatie al niet lekdicht en is vervangen door een kunststof leiding.

Opstellingsruimte/eindgebruikersapparatuur:

- Waterstof wordt alleen toegepast in gesloten ketels. Er wordt geen gebruik gemaakt van kooktoestellen omdat deze ten tijde van de ontwikkeling van dit pilotproject nog niet voldoende waren uitontwikkeld.
- In de opstellingsruimte van de drie ketels is voor elke ketel een tweede magneetafsluiter geplaatst, die is gekoppeld met de lekdetector.
- Elke ketel is met een handafsluiter gekoppeld met de gasleiding.
- In de ruimte is een waterstofdetector met akoestische functie geplaatst.

Ten aanzien van de gehanteerde veiligheidsfilosofie en de uitvoering van het project heeft projectuitvoerder Stedin de volgende overwegingen gemaakt:

- De waterstofaansluiting in het Inspiratiehuis is in 2021 ontworpen op basis van de toenmalige kennis en inzichten; nu en in de toekomst, zeker bij een grootschalige invoering van waterstof zouden, respectievelijk zullen andere keuzes gemaakt worden.
- Er is in het Inspiratiehuis niet geodoriseerd omdat het technisch onmogelijk bleek om een dergelijk kleine gasstroom te odoriseren. Tevens had het odoriseren in de wijk moeten plaatsvinden, wat tot geuroverlast had kunnen leiden, met als gevolg dat echte lekkages niet meer zouden zijn waar te nemen. In de grootschalige uitrol zal de waterstof zeker worden geodoriseerd. Het staat echter nog niet vast dat dit met THT zal worden gedaan.
- Er is geen gasstopper toegepast in de aansluitleiding. Dit wordt met aardgas ook niet gedaan en het eveneens weglaten van een gasstopper in de waterstofaansluiting is een bewuste keuze geweest. In het geval van het Inspiratiehuis was er in de beperkte tijd die het project duurde geen kans op graafschade. In de toekomst zal er aan de bewoners voorlichting t.a.v. de gevaren van graafwerkzaamheden worden gegeven.
- Er zijn verschillende mogelijkheden ten aanzien van de te gebruiken materialen voor aansluitleidingen. In het geval van het Inspiratiehuis is gebruik gemaakt van wit PVC omdat dit er al lag. Er kon hierdoor wel ervaring worden opgedaan (één van de doelen van de pilot) met dit materiaal en de gebruikte afdichtingsmiddelen. Er zal nader moeten worden bepaald welke materialen er in het grootschalige project zullen worden gebruikt.

- De gebruikte vlamdover is bedoeld om de stroomopwaarts gelegen installatie te beschermen. Dit zal mogelijk niet in het grootschalige project worden toegepast omdat eisen aan de ketels worden gesteld ten aanzien van het risico van vlaminslag.
- De functie van de gebruikte overdrukbeveiliging op de gasdrukregelaar kan worden vergeleken met die van een gasstopper. Bij een te groot drukverschil zal een veiligheidsklep sluiten.
- Er wordt gebruik gemaakt van een automatische lektest. Op geregelde tijden worden de beide magneetafsluiters en wordt de drukdaling in de binnenleiding gemeten met de drukopnemer in de meterkast (de ketels moeten dan uit bedrijf zijn). Ook deze maatregel had tot doel dit principe te testen.
- De combinatie van bovenstaande maatregel met de waterstofdetectoren is wellicht overbodig (een klein lek wordt ook door middel van de lektest gevonden), het betreft echter een demonstratieproject waarbij het niet vaststaat dat deze combinatie ook in het grootschalige project zal worden gebruikt.
- In het Inspiratiehuis bevindt zich geen spoelpunt in de opstellingsruimte. Bij nader inzicht was het beter geweest hier wel een spoelpunt te plaatsen. Dit was één van de leerpunten van deze pilot.

8 DNV-VISIE OP MITIGERENDE MAATREGELEN

Het grootste risico bij de toepassing van waterstof bestaat uit het uitstomen van waterstof uit het leveringssysteem, leidend tot een explosie. De gekozen materialen, de aanlegmethode, eindgebruikerstoepassingen en de mitigerende maatregelen (waarbij ook toezicht op naleving daarvan van belang is) zijn erop gericht om lekkage te voorkomen. Dit kan worden bereikt door:

- gebruik te maken van moderne verbindingstechnieken, zoals persverbindingen die, mits ordentelijk toegepast, een lekdichte installatie garanderen;
- periodieke lekdichtheidstesten;
- gebruik te maken van tegen ongecontroleerde uitstroom beveiligde toestellen.

Daarnaast dient in de visie van DNV het gas in de gebouwde omgeving altijd te zijn geodoriseerd, net zoals nu bij aardgas het geval is, zodat eventuele lekken in het distributienet en de woning kunnen worden opgemerkt.

De combinatie van deze vier maatregelen zou het veiligheidsniveau ten opzichte van aardgas voldoende moeten waarborgen. Daarnaast is het in pilotprojecten natuurlijk mogelijk om additionele maatregelen toe te passen om de werking en werkbaarheid te testen.

Bedacht moet echter worden dat maatregelen en componenten altijd kunnen falen. Juist in pilotprojecten die ten aanzien van veiligheid vaak onder een vergrootglas liggen zou het onwenselijk zijn dat door onachtzaamheid, gebrek aan ervaring of onjuist gebruik van componenten en materialen incidenten plaatshebben die de reputatie van waterstof zouden kunnen schaden, los van de persoonlijke effecten die dergelijke incidenten kunnen hebben. Het is daarom begrijpelijk dat vanuit risicomijdend gedrag de betrokken partijen veel meer doen om de veiligheid te waarborgen dan strikt genomen noodzakelijk zou zijn. Hierin schuilt echter ook het gevaar dat bepaalde maatregelen die in pilotprojecten worden toegepast ongemerkt aan de normale dagelijkse praktijk worden toegevoegd. Het is daarom in de eerste plaats belangrijk te onderkennen dat de in dit document beschreven maatregelen vooralsnog alleen betrekking hebben op pilotprojecten.

In de tweede plaats kan worden betoogd dat de extra veiligheidsmaatregelen die in de verschillende pilotprojecten zijn genomen ook toegepast kunnen worden op de huidige aardgaspraktijk zodat deze nóg veiliger zou worden. Om deze stelling te verdedigen zou het nodig zijn om over statistische gegevens te beschikken die bijvoorbeeld aangeven hoe vaak het gebruik van een gasstopper op een aftakzadel in de praktijk tot het voorkomen van ernstige ongevallen heeft geleid. Voor zover bekend zijn hiernaar geen gerichte onderzoeken verricht en we zullen het veelal moeten doen met theoretische analyses op basis waarvan risicoprofielen worden afgeleid. Bedacht moet echter worden dat de huidige aardgaspraktijk door de betrokken instanties als voldoende veilig wordt aangemerkt. Het hoeft niet beter als dat hogere kosten en inspanningen met zich mee zou brengen, hoewel dat voor slachtoffers van ongevallen vanzelfsprekend een bittere conclusie is.

Het is aan te bevelen om de alle, binnen de pilotprojecten toegepaste mitigerende maatregelen gedurende de looptijd van de pilot te monitoren, teneinde ervaring op te doen en te leren over de effectiviteit van de maatregel. Uiteraard is het aan te bevelen om deze informatie met de andere belanghebbenden onderling te delen.

BIJLAGE A: OPSOMMING VAN ALLE NORMEN EN RICHTLIJNEN VAN TOEPASSING OP AARDGASINSTALLATIES, TOEPASBAAR IN WATERSTOF SYSTEMEN

Component(en) of ruimte	Item	Stakeholder	Nieuwbouw/ bestaand	Geldende norm/richtlijn "aardgas"
Algemeen	Overheid / Gemeente	Gemeente	Nieuwbouw	Omgevings(bouw)vergunning Bouwbesluit 2012
Algemeen	Overheid / Gemeente	Gemeente	Bestaande bouw	Omgevings(bouw)vergunning Bouwbesluit 2012
Algemeen	Energieprestatie	Gemeente	Nieuwbouw	NTA 8800 (wetgeving per 1-1-2021) beoordelingsrichtlijnen, opna8meprotocollen en software 'Energieprestatie van gebouwen'
Vakbekwaamheid	Erkenningsregeling	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	Erkend gastechnisch installateur (InstallQ)
Vakbekwaamheid	Certificering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	BRL6000-00*; Ontwerpen, installeren en beheren van installaties - Algemeen Deel
Vakbekwaamheid	Certificering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	BRL6000-04*; Ontwerpen en installeren van gasinstallaties en installeren van gasverbrandingstoestellen (<130 kW) van individuele woningen
Vakbekwaamheid	Certificering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	BRL6000-16*; Onderhoud van gasverbrandingstoestellen < 100 kW
Vakbekwaamheid	Certificering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	BRL6000-25* werken / onderhoud aan aardgastoestellen (wettelijk per 1-1-2021)
Vakbekwaamheid	Certificering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	VCA
Vakbekwaamheid	Certificering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	Veiligheidwerkinstructie (VI)?
Vakbekwaamheid	Certificering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	Beproeving van bekwaamheid?
Vakbekwaamheid	Instanties	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	Instructies veiligheidsinstanties handelen?
CV-ruimte	Eigenaar	Aannemer (bouwkundig)	Nieuw en bestaande bouw	Bewoner
CV-ruimte	NEN-normering	Aannemer (bouwkundig)	Nieuwbouw	NEN 1087 "ventilatie van gebouwen"; op basis van bouwbesluit 2012
CV-ruimte	NEN-normering	Aannemer (bouwkundig)	Bestaande bouw	Toegepaste norm bij bouw is geen garantie: individuele beoordeling noodzakelijk
Rookgasafvoer	NEN-normering	Installateur	Nieuwbouw	NEN 8757; bepalingsmethoden voor voorzieningen voor de afvoer van rook
Rookgasafvoer	NEN-normering	Installateur	Bestaande bouw	Toegepaste norm bij bouw is geen garantie: individuele beoordeling noodzakelijk

Component(en) of ruimte	Item	Stakeholder	Nieuwbouw/ bestaand	Geldende norm/richtlijn "aardgas"
Rookgasafvoer	NEN-normering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	NEN 2757-1; bepalingsmethoden voor de geschiktheid van systemen voor de afvoer van rookgas van gebouwgebonden installaties - Deel 1; Installaties met een belasting kleiner dan of gelijk aan 130kW op bovenwaarde
Rookgasafvoer	NEN-normering	Installateur	Bestaande bouw	Toegepaste norm bij bouw is geen garantie: individuele beoordeling noodzakelijk
Rookgasafvoer	NPR-normering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	NPR 3378-40; Afvoersystemen; ; afmetingen CLV-systeem;
Rookgasafvoer	NPR-normering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	NPR 3378-45; Afvoersystemen; ; toevoer verbrandingslucht en afvoer rookgas, en richtlijnen aanpassingen ventilatie vs gebouwschil vs gasinstallatie;
Rookgasafvoer	NPR-normering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	NPR 3378-60+C1; Uitmondingen; ; plaats uitmonding ivm hinder;
Rookgasafvoer	NPR-normering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	NPR 3378-61; Uitmondingen; ; plaats uitmonding ivm goede werking;
CV (verwarmings- en tapwatertoestel)	Eigenaar	Gemeente	Nieuw en bestaande bouw	Bewoner
CV (verwarmings- en tapwatertoestel)	Certificering	CV-fabrikant	Nieuw en bestaande bouw	CE keur
CV (verwarmings- en tapwatertoestel)	Certificering	CV-fabrikant	Nieuw en bestaande bouw	EN 15502-1+A1; met gas gestookte centrale verwarmingsketels - Deel 1: Algemene eisen en beproevingen
CV (verwarmings- en tapwatertoestel)	Certificering	CV-fabrikant	Nieuw en bestaande bouw	EN 15502-2-2 Centrale verwarmingsketels - Deel 2-2: Specifieke standaard voor type B1 toestellen met een nominale belasting tpt en met 70 kW
CV (verwarmings- en tapwatertoestel)	NEN-normering	Aannemer (bouwkundig) installateur	Nieuw en bestaande bouw	NEN 3028; Deze norm bevat eisen voor stookruimten en opstellingsruimten en regelt met name de brandveilige opstelling van verbrandingstoestellen volgens Bouwbesluit 2012
CV (verwarmings- en tapwatertoestel)	NPR-normering	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	NPR 3378-22; Gastoestellen; ; opstelling gastoestellen; nieuwbouw
CV (verwarmings- en tapwatertoestel)	NPR-normering	CV-fabrikant	Nieuw en bestaande bouw	NPR 3378-80; diversen; ; CE-markering;
Koppelingen en leidingen	Eigenaar	Gemeente		Bewoner
Koppelingen en leidingen	NEN-normering	Installateur	Nieuwbouw	NEN 1078 geeft eisen en beproevingsmethoden voor een gebouwgebonden voorziening voor gas in nieuwbouw met een werkdruk tot en met 500 mbar (0,05 MPa)

Component(en) of ruimte	Item	Stakeholder	Nieuwbouw/ bestaand	Geldende norm/richtlijn "aardgas"
Koppelingen en leidingen	NEN-normering	Installateur	Bestaande bouw	NEN 8078+A1 geeft eisen en bepalingsmethoden voor een gebouwgebonden voorziening voor gas in bestaande bouw met een werkdruk tot en met 500 mbar (0,05 MPa)
Koppelingen en leidingen	NPR-normen	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	NPR 3378-1; Gasleidingen; NEN 1078 en NEN 8078; Sterkte en dichtheid gasleidingen; nieuw en bestaande bouw
Koppelingen en leidingen	NPR-normen	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	NPR 3378-2; Gasleidingen; NEN 1078 en NEN 8078; alternatieve sterkte en dichtheid gasleidingen; nieuw en bestaande bouw
Koppelingen en leidingen	NPR-normen	Installateur	Nieuw en bestaande bouw	NPR 3378-3; Gasleidingen; NEN 1078 en NEN 8078; Werkwijze dimensioneren gasleidingen; nieuw en bestaande bouw
Leidingen	Materiaal	Installateur	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk welke uitgegeven wordt door Kiwa
Leidingen	Materiaal	Installateur	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk welke uitgegeven wordt door Kiwa
Koppelingen	Materiaal	Installateur	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk welke uitgegeven wordt door Kiwa
Koppelingen	Materiaal	Installateur	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk welke uitgegeven wordt door Kiwa
Ruimtes, doorvoer leidingen	Eigenaar	Aannemer (bouwkundig)		Bewoner
Ruimtes, doorvoer leidingen	NEN-normering	Aannemer (bouwkundig)	Nieuwbouw	NEN 1078 "ventilatie van gebouwen"; op basis van bouwbesluit 2012
Ruimtes, doorvoer leidingen	NEN-normering	Aannemer (bouwkundig)	Bestaande bouw	Toegepaste norm bij bouw is geen garantie: individuele beoordeling noodzakelijk
Meterkast	Eigenaar	Aannemer (bouwkundig)		Bewoner
Meterkast	Ventilatie	Aannemer (bouwkundig)	Nieuwbouw	NEN 2768; Meterruimten en bijbehorende bouwkundige voorzieningen in woningen
Meterkast	Ventilatie	Aannemer (bouwkundig)	Bestaande bouw	Toegepaste norm bij bouw is geen garantie: individuele beoordeling noodzakelijk
Vakbekwaamheid	Certificering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	VCA
Vakbekwaamheid	Certificering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	VIAG-aanwijzing
Vakbekwaamheid	Certificering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	VeiligheidWerkInstructie (VWI)
Vakbekwaamheid	Certificering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Ervaringseis t.b.v. aanwijzing (valt onder de VIAG + waterstof aanwijzing)
Vakbekwaamheid	Certificering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Beproeving van bekwaamheid
Vakbekwaamheid	Instanties	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Instructies veiligheidsinstanties
Gereedschappen en PBM's	PBM's	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Certificering

Component(en) of ruimte	Item	Stakeholder	Nieuwbouw/ bestaand	Geldende norm/richtlijn "aardgas"
Gereedschappen en PBM's	Gereedschap	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Certificering
Distributienet (t/m klantkraan)	Eigenaar	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Netbeheerder
Distributienet (t/m klantkraan)	Uitvoering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Netbeheerder of 'aannemer in opdracht netbeheerder'
Distributienet (t/m klantkraan)	NEN-normering beheer	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	NEN 7244-1:2014 nl - Gasvoorzieningsystemen - Leidingen voor maximale bedrijfsdruk tot en met 16 bar - Deel 1: Nederlandse editie op basis van NEN-EN 12007-1 - Algemene functionele eisen
Distributienet (t/m klantkraan)	NEN-normering beheer	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	NEN 7244-9:2008 nl - Gasvoorzieningsystemen - Leidingen voor maximale bedrijfsdruk tot en met 16 bar - Deel 9: Specifieke functionele eisen voor de afhandeling van gasmeldingen en periodiek gaslek zoeken
Distributienet (t/m klantkraan)	NEN-normering beheer	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	NEN 7244-7:2019 nl - Nederlandse editie op basis van NEN-EN 12327 - Gasvoorzieningssystemen - Leidingen voor maximale bedrijfsdruk tot en met 16 bar - Deel 7: Specifieke functionele eisen voor sterkte- en dichtheidsbeproeving en voor het in bedrijf en buiten bedrijf stellen van gasdistributieleidingen
Distributienet (t/m klantkraan)	Werkinstructies/ technische instructies	Netbeheerder	Nieuwbouw	Technische instructie/ montage-instructies
Distributienet (t/m klantkraan)	Werkinstructies/ technische instructies	Netbeheerder	Bestaande bouw	Technische instructie/ montage-instructies
Distributienet (t/m klantkraan)	Risicomatrix/analyse waterstof	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Risicomatrix
Distributienet (t/m klantkraan)	Storingsproces	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Storingsproces
Distributienet (t/m klantkraan)	Onderhoudsproces	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Onderhoudsproces
Distributienet (t/m klantkraan)	Graafschade	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	WIBON
Meterkastopstelling**	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	NEN 7244-10:2010 nl - Gasvoorzieningsystemen - Leidingen voor maximale bedrijfsdruk tot en met 16 bar - Deel 10: Specifieke functionele eisen voor opstellingsruimten en meteropstellingen met een maximale inlaatdruk van 100 mbar en een maximale ontwerpcapaciteit van 650 mn3/h
Meterkastopstelling**	NEN-normering	Netbeheerder	Bestaande bouw	Toegepaste norm bij bouw is geen garantie: individuele beoordeling noodzakelijk

Component(en) of ruimte	Item	Stakeholder	Nieuwbouw/ bestaand	Geldende norm/richtlijn "aardgas"
Gasmeter	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Gashoeveelheidsmeting en energiebepaling; CEN TC234
Gasmeter	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	Verrekening: TC 193
Gasmeter	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	ATEX richtlijn / gasgroep IIC
Gasmeter	NPR-normering	Netbeheerder	Nieuw en bestaande bouw	NPR 7028: Gasmeters, wartelmoeren en puntstukken - Afmetingen
Meterbeugel (gasvoerend)	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk welke uitgegeven wordt door Kiwa
Meterbeugel (gasvoerend)	Materiaal	Netbeheerder	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk
Klantkraan	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Klantkraan	Materiaal	Netbeheerder	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk
Muurbevestings-beugel	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	
Muurbevestings-beugel	Materiaal	Netbeheerder	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk
Aansluitpunten	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Aansluitpunten	Materiaal	Netbeheerder	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk
Nippels (drukmeting en spoeling)	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Nippels (drukmeting en spoeling)	Materiaal	Netbeheerder	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk
Huisdrukregelaar	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	NEN 7239. Gasdrukregelaars voor huisaansluitingen voor inlaatdrukken (MOPu) tot 100 mbar.
Huisdrukregelaar	NEN-normering	Netbeheerder	Bestaande bouw	Dichtheidsbeproeving
Huisdrukregelaar	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Huisdrukregelaar	Materiaal	Netbeheerder	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk
Hoofdkraan	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Hoofdkraan	Materiaal	Netbeheerder	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk
Kruipruimte	Eigenaar	Aannemer (bouwkundig)	Nieuw en bestaande bouw	Bewoner
Kruipruimte	ventilatie	Aannemer (bouwkundig)	Nieuwbouw	NEN 2690: Luchtdoorlatendheid van gebouwen - Meetmethode voor de specifieke luchtvolumestroom tussen kruipruimte en woning
Kruipruimte	ventilatie	Aannemer (bouwkundig)	Bestaande bouw	Toegepaste norm bij bouw is geen garantie: individuele beoordeling noodzakelijk
Mantelbuis	??		Nieuw en bestaande bouw	??
Aansluitleiding	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	NEN 7244-5:2014 nl - Gasvoorzieningsystemen - Leidingen voor maximale druk tot en met 16 bar - Deel 5: Specifieke functionele eisen voor slagvaste PVC-leidingen (MOP tot en met 200 mbar)
Aansluitleiding	NEN-normering	Netbeheerder	Bestaande bouw	Volgens toen geldende NEN

Component(en) of ruimte	Item	Stakeholder	Nieuwbouw/ bestaand	Geldende norm/richtlijn "aardgas"
Aansluitleiding	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	NEN 7244-6:2018 nl - Gasvoorzieningsystemen - Leidingen voor maximale bedrijfsdruk tot en met 16 bar - Deel 6: Specifieke functionele eisen voor aansluitleidingen
Aansluitleiding	NEN-normering	Netbeheerder	Bestaande bouw	Volgens toen geldende NEN
Aansluitleiding	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Aansluitleiding	Materiaal	Netbeheerder	Bestaande bouw	GASTEC QA-keurmerk
Gasstopper	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Afsluiter in aansluitleiding	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Aansluitpunt	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
LD-net	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	NEN 7244-5:2014 nl - Gasvoorzieningsystemen - Leidingen voor maximale druk tot en met 16 bar - Deel 5: Specifieke functionele eisen voor slagvaste PVC-leidingen (MOP tot en met 200 mbar)
Buizen	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	
Buizen	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	
Hulpstukken (verbindingsmoffen, bochten, T-stukken)	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	
Drukregel-en meetstation	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	NEN 1059; Nederlandse editie op basis van NEN-EN 12186 en NEN-EN 12279 – Gasvoorzieningsystemen – Gasdrukregel- en meetstations voor transport en distributie.
Drukregelaar	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
1e beveiliging; veiligheidsafsluitklep (VAK)	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
2e beveiliging; afslagveiligheid	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Stoffilter;	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Uitlaatafsluiter (vlinderklep)	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Inlaatleiding	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Uitlaatleiding	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Stuurdruk leiding	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Meetleidingen	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Manometer	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Hulpstukken (o.a. flenzen, bochten, T-stukken etc)	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Meetpunten voor druk- en temperatuurmeting	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Extra meetpunten (o.a. voor monstername)	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk

Component(en) of ruimte	Item	Stakeholder	Nieuwbouw/ bestaand	Geldende norm/richtlijn "aardgas"
HD-net	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	NEN 7244-2:2016 nl - Gasvoorzieningsystemen - Leidingen voor maximale bedrijfsdruk tot en met 16 bar - Deel 2: Nederlandse editie op basis van NEN-EN 12007-2 - Specifieke functionele eisen voor polyetheen (MOP tot en met 10 bar)
Buizen	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	
Buizen	NEN-normering	Netbeheerder	Nieuwbouw	
Buizen inclusief hulpstukken (verbindingsmoffen, bochten, T-stukken) - PE100 met een drukklasse PN10 en een diameter/wanddikte verhouding van SDR-11	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk
Afsluitersschema's bestaande uit afsluiters, afblaasunits en straatpotten.	Materiaal	Netbeheerder	Nieuwbouw	GASTEC QA-keurmerk

BIJLAGE B: DEELNEMENDE PARTIJEN BIJ DE TOTSTANDKOMING VAN DEZE INVENTARISATIE

- **Consumentenorganisaties:** Vertegenwoordigers van de eindgebruikers.
- **DNV:** Opdrachtnemer, verantwoordelijk voor de procesbegeleiding en het doen van onderzoek naar veiligheidsrisico's en te nemen mitigerende maatregelen, en tevens beheerder van dit document;
- **Min EZK**: Opdrachtgever vanuit de maatschappelijke verantwoordelijkheid van het bevorderen van veiligheid om economische schade door het verlies van levens en eigendom zoveel mogelijk te voorkomen;
- **IFV:** Als overkoepelend kenniscentrum voor de verschillende brandweerkorpsen in Nederland;
- **Installateurs:** Direct betrokkenen bij de aanleg en het onderhoud van huisinstallaties en verbruikstoestellen;
- **Ketelleveranciers**: Als verantwoordelijken voor de veilige, efficiënte en doelmatige werking van de door hen geproduceerde verbruikstoestellen;
- **KIWA:** Kennisdrager met betrekking tot gasdistributienetten, huisinstallaties en verbruikstoestellen;
- **Netbeheerders:** Als direct betrokkenen bij de realisatie van waterstofaansluitingen en de levering van waterstof;
- **Onderdelenleveranciers:** Verantwoordelijk voor de veilige en doelmatige werking van onderdelen van de gasleveringsinstallatie;
- **Pilotprojecten**: Het aanleveren van informatie, kennis en benadering van veiligheidsrisico's en te nemen mitigerende maatregelen. Deelnemende pilotprojecten:
    - Rozenburg
    - Stad aan 't Haringvliet
    - Hoogeveen
    - Wagenborgen
    - Uithoorn
    - Lochem
- **RVO**: Vanuit de maatschappelijke verantwoordelijkheid voor de totstandkoming van een duurzame samenleving;
- **TNO:** Als kennisinstituut voor tal van onderwerpen en adviseur van de overheid;
- **Toezichthouders:** Vanuit de rol van toezichthouder op de veiligheid van inwoners en bezoekers van een gebied, waaronder:
    - Veiligheidsregio's
    - SodM;
    - Milieudiensten.
- **Verzekeraars:** Als commerciële belanghebbende bij de veiligheid van levering en het gebruik van waterstof.

About DNV

DNV is the independent expert in risk management and assurance, operating in more than 100 countries. Through its broad experience and deep expertise DNV advances safety and sustainable performance, sets industry benchmarks, and inspires and invents solutions.

Whether assessing a new ship design, optimizing the performance of a wind farm, analyzing sensor data from a gas pipeline or certifying a food company's supply chain, DNV enables its customers and their stakeholders to make critical decisions with confidence.

Driven by its purpose, to safeguard life, property, and the environment, DNV helps tackle the challenges and global transformations facing its customers and the world today and is a trusted voice for many of the world's most successful and forward-thinking companies.