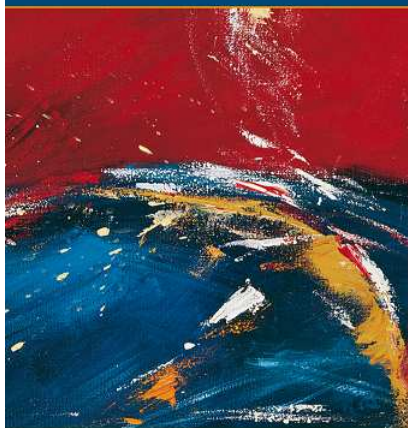


GT-120093
10 april 2012

Waterstof in aardgas op Ameland



De invloed van maximaal 20% waterstof in het
aardgasdistributienet op materialen en
gastoestellen; aangevuld met de ervaringen van
bewoners

GT-120093
10 april 2012

Waterstof in aardgas op Ameland

© 2011 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden vervaelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of
openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch,
mechanisch, door
fotokopieën, opnamen, of
enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de
uitgever.

Kiwa Gas Technology B.V.
Wilmsdorf 50
Postbus 137
7300 AC Apeldoorn

Tel. 055 539 32 52
Fax 055 539 32 23
www.kiwagastechnology.nl

De invloed van maximaal 20% waterstof in het
aardgasdistributienet op materialen en gastoestellen;
aangevuld met de ervaringen van bewoners

Colofon

Titel	Waterstof in aardgas op Ameland
Projectnummer	070200688
Projectmanager	ir. Hans de Laat (gaskwaliteit, gastoestellen) ing. René Hermkens (gasdistributie)
Opdrachtgevers	Joulz GasTerra Stedin
Kwaliteitsborger	ing. Wim Bouwman ir. Frans Scholten
Auteurs	ir. Mathijs Kippers ir. Harald Ophoff

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers
van het Contractonderzoekproject/adviesproject. Eventuele verspreiding
daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Samenvatting

Het project “Waterstof in aardgas op Ameland” demonstreert de bijmenging van duurzame waterstof in het Nederlandse aardgasdistributienet en maakt het mogelijk deze energietransitieroute in de praktijk te verkennen.

Stroom uit zonnepanelen is gebruikt om waterstof duurzaam te produceren met elektrolyse. De waterstofproductie was zodanig ingericht dat ze kon reageren op de snelle variaties in de gasvraag van 14 woningen die deel uitmaken van het appartementencomplex “Noorderlicht”. De duur van de proef was ruim vier jaar.

Het is de eerste keer dat waterstofinjectie in aardgas in een praktijksituatie in Nederland is onderzocht. Met proefnemingen is de invloed op materialen die in het Nederlandse gasdistributienet en in de binnenhuisinstallatie worden toegepast onderzocht. Nieuwe, standaard gastoestellen van verschillende bouwwijze zijn met de instemming van de fabrikanten gecertificeerd en bij de gebruikers voor de periode van de proef geïnstalleerd.

De bewoners van het appartementencomplex “Noorderlicht” hebben hun mening over het comfort in huis via enquêtes in het project ingebracht.

De projectpartners zijn Joulz, GasTerra en Stedin. Joulz en Stedin zijn onderdeel van Eneco Holding. De gemeente Ameland heeft het project als onderdeel van het programma “Duurzaam Ameland” mogelijk gemaakt door de locatie en het appartementencomplex voor de activiteiten ter beschikking te stellen. De projectleiding is in handen van Joulz. Kiwa Technology heeft de menginstallatie en de waterstofproductie gebouwd en de materialen en toestellen beproefd.

In de eerste fase van het project vanaf eind december 2007 is waterstof afkomstig uit flessenpakketten in het aardgasnet gemengd. Na het eerste stookseizoen, toen bleek dat de menginstallatie betrouwbaar functioneerde, zijn de pakketten verwijderd en vervangen door waterstofproductie met elektrolyse. De duurzame elektriciteit hiervoor is geleverd door zonnepanelen op het nabij gelegen “Kennis en Innovatie Centrum”. Begin april 2011 is het project beëindigd.

Zowel het net als de binnenhuisinstallaties voor gas zijn gemaakt van representatieve materialen voor leidingen, slangen, koppelingen, huisdrukregelaars en gasmeters.

De hoogrendement CV-toestellen en kooktoestellen zijn zodanig geselecteerd dat diverse bouwvormen van branders en warmtewisselaars in de proef zijn opgenomen. De standaard toestellen zijn gebruikelijk voor Nederland. Vanwege de veiligheid zijn alle typen gastoestellen vooraf in het laboratorium getest met gassen die tot 30% waterstof bevatten.

De ervaringen van de bewoners met koken en verwarmen zijn door middel van vijf enquêtes onderzocht. Uit veiligheidsoverwegingen valt het moment van enquêteren steeds kort na een verhoging van het waterstofpercentage. De bewoners zijn over het algemeen tevreden en van de klachten kan geen enkele met de aanwezigheid van waterstof in het aardgas in verband worden gebracht.

Na afloop van het project zijn de installaties, de toestellen en de leidingen weggehaald of vervangen en is de gaslevering aan “Noorderlicht” weer in de oorspronkelijke staat teruggebracht.

Het project toont aan dat bijmenging van waterstof in aardgas geen aanwijsbare invloed heeft gehad op de gasdistributiematerialen, op de binnenhuisinstallaties en op de moderne toestellen die in de proef zijn opgenomen. Dit resultaat rechtvaardigt verder onderzoek naar de toepassing van waterstof in aardgas op onderwerpen die nog niet aan bod zijn gekomen, te weten: duurproeven van vier jaar en langer, testen van bestaande toestellen en van industriële installaties.

Summary

The project "Hydrogen in natural gas on Ameland" demonstrates the incorporation of sustainable hydrogen in the Dutch natural gas distribution network and allows this energy route to be explored in practice.

Electricity from solar panels is used to produce hydrogen sustainably with electrolysis. The hydrogen production was arranged so that it could respond to the rapid variations in the gas demand of fourteen homes. The duration of the field trial was over four years.

It is the first time hydrogen injection in natural gas has been investigated in a practical situation in the Netherlands. In the trials, the effect on materials used in the Dutch gas distribution network and in the domestic installation are examined. For the period of the trial new, standard gas appliances of several different designs have been certified and installed in the homes with the consent of the appliance manufacturers.

The residents of the apartment building "Northern Lights" contributed to the project by expressing their opinion about the domestic comfort in regular surveys.

The project partners are Joulz, GasTerra and Stedin. Joulz and Stedin are part of the Eneco Holding. The municipality of Ameland made the project possible as part of the program "Sustainable Ameland", by making the location and the apartment building available for the activities. The project is owned by Joulz. Kiwa Technology has supplied the mixing plant and the hydrogen production and has tested the piping materials and gas appliances.

In the first phase of the project from the end of december 2007, hydrogen from cylinders has been mixed in the natural gas. After the first heating season, when it appeared that the mixing plant functioned reliably, the cylinders have been removed and replaced with hydrogen production by electrolysis. The renewable electricity for production is provided by solar panels on roof of the nearby "Knowledge and Innovation Centre". In early April 2011 the project ended.

Both the gas network and the indoor gas installations are made from representative materials for pipes, hoses, fittings, pressure regulators and gas meters.

The high-efficiency heating and cooking appliances are selected so that various construction types of burners and heat exchangers in the trial are included. The standard appliances are common in the Netherlands. For safety reasons, all gas appliances are pre-tested in the laboratory with gases containing up to 30% hydrogen.

The experiences of the residents with cooking and heating are investigated by means of five surveys. For safety reasons, the time of the survey is always shortly after an increase in the rate of hydrogen. The occupants are generally satisfied, and none of their remarks can be associated to presence of hydrogen in the gas.

After completion of the project the facilities, the equipment and the piping have been

removed or replaced and the gas supply to "Northern Lights" has been restored to its original state.

The project shows that introducing hydrogen into natural gas has no apparent influence on the gas distribution materials, nor on the domestic system and the modern appliances included in the test. This result justifies further research into the use of hydrogen gas on topics that have not been addressed, namely: endurance tests of four years or more and the testing of existing equipment and of industrial installations.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	9
1.1	Achtergrond	9
1.2	Doelstelling	9
1.3	Aanpak en betrokken partijen	9
1.4	Duurzaam Ameland	10
2	Waterstof in Noorderlicht	11
2.1	Locatie	11
2.1.1	Waterstofinjectie in aardgas	11
2.1.2	Netaanleg en het zeker stellen van materiaalmonsters	12
2.2	CV- en kooktoestellen	14
3	Gasdistributieleidingen	15
3.1	Samenvatting	15
3.2	Resultaten distributiematerialen	15
3.3	Conclusie en aanbevelingen distributiematerialen	15
4	Gasdistributie appendages	17
4.1	Samenvatting	17
4.2	Conclusie en aanbevelingen appendages	17
5	CV- en kooktoestellen	18
5.1	Samenvatting	18
5.2	Beproevingsoepzet	18
5.3	Onderzochte CV-toestellen	18
5.3.1	Emissies CO ₂ , CO en NO _x	18
5.3.2	Ontsteekgedrag	19
5.3.3	Inslag	19
5.3.4	Vlambeeld	19
5.3.5	Vlambeveiliging	20
5.3.6	Visuele inspectie	20
5.4	Resultaten kooktoestellen	20
5.4.1	Emissies CO ₂ en CO	20
5.4.2	Inslag	20
5.4.3	Visuele inspectie	20
6	Bewoners	21
6.1	Inleiding	21
6.2	Enquêtes onder de bewoners van appartementencomplex "Noorderlicht"	22
7	Conclusies	23
8	Aanbevelingen	25

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Nederland streeft naar een groot aandeel duurzame energie en een efficiënte toepassing van energie. Waterstof kan daarbij een belangrijke rol spelen. Het gebruik van waterstof, grootschalig geproduceerd op duurzame wijze, kan de CO₂ emissies substantieel verminderen. Injectie van waterstof in het aardgasnet is volgens het platform Nieuw Gas één van de mogelijkheden in de transitie naar duurzaam gas.

Hoewel tot in de jaren zestig van de twintigste eeuw een groot deel van de gasdistributie plaatsvond met waterstofhoudend stadsgas, is onvoldoende bekend of de moderne gasdistributie-infrastructuur en de daaraan gekoppelde moderne gastoestellen, waterstofhoudend aardgas kunnen verdragen.

De gaskwaliteit beïnvloedt het functioneren van de gastoestellen. Het maximale waterstofpercentage dat kan worden bijgemengd hangt af van de lokale gaskwaliteit en de correctheid waarmee toestellen zijn afgesteld en onderhouden. Conventionele huishoudelijke toestellen kunnen in principe goed functioneren op aardgas dat tot 20% waterstof bevat, indien ze goed zijn afgesteld.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van dit proefproject is om tot 20% duurzame waterstof te injecteren in het Nederlandse aardgas om zodoende in de praktijk de invloed van dit gasmengsel op het bestaande gasdistributienet en de bestaande gastoestellen gedurende vier jaar te onderzoeken. De ervaring en mening van de eindgebruikers zijn een belangrijk onderdeel van dit proefproject.

1.3 Aanpak en betrokken partijen

Waterstof wordt bijgemengd in een klein deel van het gasdistributienet in Nes op Ameland. Voor het proefproject is een deel van het bestaande net losgekoppeld en wordt gevoed met waterstof en aardgas via een menginstallatie. De afnemers van het aardgas-waterstofnet zijn de bewoners van het appartementencomplex "Noorderlicht". Ze gebruiken het gas voor verwarmen en koken. Speciaal voor deze proef zijn nieuwe standaard aardgastoestellen geïnstalleerd, die vooraf met waterstof zijn getest.

De betrokkenheid van de bewoners is zeer belangrijk. Om draagvlak bij de bewoners te creëren is het project vooraf gepresenteerd, en zijn de bewoners regelmatig geïnformeerd over de voortgang van het project en zijn zij financieel gecompenseerd. De ervaringen van de bewoners zijn opgevraagd door middel van periodieke enquêtes.

De betrokken partijen en hun rol is weergegeven in tabel 1. GasTerra en Eneco Holding hebben het project gefinancierd. Het project is uitgevoerd door Joulz, in samenwerking met Kiwa Technology als onderaannemer.

Partij	Rol in het project
Gemeente Ameland	Gezaghebbende overheidsinstantie en eigenaar van appartementencomplex "Noorderlicht"
Eneco Holding - Joulz - Stedin	Opdrachtgever en projectleider (aannemer energie infrastructuur) (regionale netbeheerder gas en elektriciteit)
GasTerra	Opdrachtgever (internationale handelsonderneming in aardgas)
Kiwa Technology	Onderaannemer (leverancier technologie)
Nefit, Remeha en Vaillant	Leverancier (fabrikant van CV ketels)
Atag, Etna en Pelgrim (AEP)	Leverancier (fabrikant van kooktoestellen)

Tabel 1: Betrokken partijen en hun rol in het project

De gemeente Ameland is de gezaghebbende overheidsinstantie die vergunning heeft verleend voor het project. Gemeente Ameland stimuleert de toepassing van duurzame energie en geeft hiermee een voorbeeld aan andere overheden. De gemeente Ameland heeft appartementencomplex "Noorderlicht" in eigendom en verhuurt de appartementen aan particulieren.

Joulz is een aannemer voor energie-infrastructuur. Zij zorgt 24/7 voor een betrouwbare energievoorziening voor onder andere netbeheerders, industrie en gemeenten. De decennialange ervaring staat garant voor het slim bedenken, bouwen en beheren van onder- en bovengrondse energie-infrastructuur voor zowel gas, elektriciteit, water en warmte als voor duurzame energieoplossingen.

In dit project is Joulz verantwoordelijk voor het projectmanagement, de coördinatie van activiteiten en de realisatie van het project. Joulz heeft het gasnet op Ameland geïnstalleerd. Joulz heeft succesvol een uitgebreide risico-inventarisatie en -evaluatie, een onderhoud- en inspectieprogramma, en een full time storingsdienst opgezet om de veiligheid te garanderen. Joulz is onderdeel van Eneco Holding.

GasTerra is een internationaal opererende handelsonderneming in aardgas. De onderneming is werkzaam op de Europese energiemarkt en levert een belangrijke bijdrage aan de Nederlandse gasvoorziening. GasTerra vindt het belangrijk dat de winstfactor in balans is met maatschappelijke en ecologische belangen. Dit vormt het fundament voor de strategie en acties binnen GasTerra. GasTerra bevordert een veilige en doelmatige inzet van aardgas en is actief in de ontwikkeling van schone en zuinige gastoeepassingen. GasTerra onderkent het grote belang van het transitietraject naar een duurzame energievoorziening en is daarom partner in dit project.

Stedin is verantwoordelijk voor de elektriciteits- en gasinfrastructuur in de Randstad, Weert en Noord-Oost Friesland (op de laatstgenoemde locatie alleen voor gas). Deze netbeheerder maakt het mogelijk dat het gasnet voldoet aan de gasvraag van vandaag en anticipeert op de veranderende gasvraag van morgen.

Daarom investeert Stedin continu in modernisering, vervanging, uitbreiding en onderhoud van het gasnet. Verder initieert Stedin projecten voor duurzame energie. Stedin is onderdeel van Eneco Holding.

1.4 Duurzaam Ameland

Dit proefproject vindt plaats op Ameland als onderdeel van samenwerkingsverband Duurzaam Ameland. Duurzaam Ameland is een initiatief van de Gemeente Ameland, GasTerra, Eneco Holding en de Nederlandse Aardolie Maatschappij (NAM). Samen werken ze op het eiland aan demonstratieprojecten op het gebied van duurzame energie. Ameland vervult hiermee een belangrijke voorbeeldfunctie voor andere overheden of bedrijven die duurzame energie willen opwekken of inzetten.

2 Waterstof in Noorderlicht

Na vier jaar succesvol “stoken en koken” op waterstofhoudend aardgas in het appartementencomplex “Noorderlicht” is op maandag 4 april 2011 gestopt met de proef. Gasleidingen, gasmeters, ketels en kooktoestellen werden nog nooit eerder zolang blootgesteld aan waterstof in Nederland.

Tijdens het proefproject is een deel van het bestaande net losgekoppeld en via een nieuw geïnstalleerde menginstallatie op de parkeerplaats tegenover het appartementencomplex gevoed, zie figuur 1. Aanvankelijk is de waterstof aangeleverd in flessenpakketten. Vanaf 13 november 2008 is een elektrolyser op locatie geplaatst die waterstof produceerde met behulp van groene stroom van zonnecellen. Het bestaande gasdistributienet is uitgebreid met een beproevingsnet en referentienet met verschillende materialen en verbindingen. In de appartementen stonden nieuwe cv-ketels en kooktoestellen voor Gronings aardgas, die voor de veldtest waren toegelaten op basis van testen met waterstofhoudend aardgas.

2.1 Locatie

De locatie “Noorderlicht” bevindt zich aan de Strandweg in Nes op Ameland (zie Figuur 1).



Figuur 1: De menginstallatie en appartementencomplex 'Noorderlicht' in Nes op Ameland

2.1.1 Waterstofinjectie in aardgas

Bij de start van het project in december 2007 is waterstof bijgemengd uit flessenpakketten zoals te zien is in Figuur 2. Vanaf november 2008 is een container met elektrolyser op locatie geplaatst die waterstof produceerde met behulp van groene stroom, zie hiervoor figuur 3. De elektriciteit die de elektrolyser verbruikt komt van zonnepanelen op het dak van het nabij gelegen kennis- en innovatiecentrum via een groene stroom contract. Dit benadrukt het duurzame aspect van het bijmengen van waterstof in aardgas.



Figuur 2: Menginstallatie gevoed met waterstof uit flessenpakketten



Figuur 3: Menginstallatie gevoed met waterstof uit de elektrolyser

De instelling van de menginstallatie is in stappen van 5% verhoogd van 0% naar 20% waterstof. Voor het veilig functioneren van de gastoestellen wordt het bijmengen vergrendeld als het waterstofpercentage hoger blijkt dan 30%. Het gehalte waterstof in aardgas per kalenderjaar staat vermeld in Tabel 2.

2.1.2 Netaanleg en het zeker stellen van materiaalmonsters

In de figuren 4, 5, en 6 is te zien hoe het gasnet is aangelegd en hoe na afloop van de proef de materialen voor verder onderzoek zijn opgegraven en geconserveerd.

	Waterstofgehalte: gemiddeld over de periode dat er waterstof werd bijgemengd	Waterstofgehalte: maximum weekgemiddelde
2008	9,3%	14,8%
2009	11,3%	18,1%
2010	13,3%	18,6%
2011	11,9%	17,8%
Totaal	11,5%	18,6%

Tabel 2: Het waterstofpercentage op de momenten dat waterstof is bijgemengd.



Figuur 4: Aanleg referentienet door Joulz



Figuur 5: Uitnemen referentienet door Joulz



Figuur 6: Inpakken referentienet door Joulz

2.2 CV- en kooktoestellen

Aan diverse ketelfabrikanten is gevraagd of zij ketels voor het onderzoek ter beschikking wilden stellen. Er is een selectie gemaakt uit de modellen die de geïnteresseerde partijen voeren op basis van aandeel in de markt en bouwwijze van de brander en de warmtewisselaars. Figuur 7 toont de laboratoriumtest van een gaskooktoestel op waterstofhoudend aardgas. In Figuur 8 wordt een cv-toestel getest.



*Figuur 7: Kooktoestel
laboratoriumtest*



Figuur 8: CV toestel laboratoriumtest

3 Gasdistributieleidingen

3.1 Samenvatting

De uitgenomen leidingen bestonden uit de meest voorkomende distributieleidingmaterialen zoals polyethyleen, hard en slagvast PVC, POM, koper en messing en verscheidene soorten en toepassingen van rubbers.

Bij het interpreteren van de meetresultaten is niet alleen gelet op de kwantitatieve uitkomst, maar zijn er ook verbanden gelegd naar ervaringen uit de praktijk en overeenkomsten tussen mechanische en fysisch-chemische eigenschappen.

Op deze manier zijn een aantal opmerkelijke uitkomsten verklaard en kan gesteld worden dat op de onderzochte materialen en verbindingen geen meetbare effecten van het waterstofhoudende aardgas te ontdekken zijn. Deze conclusie wordt mede ondersteund door het gegeven dat tijdens het bijmengen van het waterstof op Ameland zich geen bijzonderheden hebben voorgedaan met betrekking tot de lektheid van het distributienet.

3.2 Resultaten distributiematerialen

Hard PVC

Uit geen van de resultaten kan worden afgeleid dat de kwaliteit van de PVC buizen door blootstelling aan waterstof negatief wordt beïnvloed.

PVC/CPE

Er is geen enkele aanwijzing dat blootstelling aan waterstof een negatieve invloed op de kwaliteit van de onderzochte PVC/CPE buizen heeft.

PVC/A

Aan de PVC/A buizen is minder onderzoek gedaan dan aan de PVC/CPE buizen. Bovendien zijn er geen opvallende verschillen tussen de buizen die aan de verschillende omstandigheden zijn blootgesteld.

PE100

Alle gemeten waarden liggen binnen de normale spreiding in eigenschappen die tussen verschillende typen PE100 buizen aanwezig zijn. Enige achteruitgang in de materiaalkwaliteit door de blootstelling aan maximaal 20% waterstof aardgasmengsels is tijdens deze expositie in de praktijk niet vastgesteld.

POM

Wat betreft POM zijn er geen aanwijzingen dat waterstof van invloed is op de eigenschappen van dit materiaal.

Rubberen aansluitslang

Het jaarlijkse waterstofverlies is uitermate laag, door de kleine diameter en korte lengte van de rubberen aansluitslang.

Wat betreft de invloed van waterstof op de onderzochte leidingcomponenten blijkt distributie van een mengsel van aardgas (80%) en waterstof (20%) geen probleem, met de aantekening dat invloed van waterstof op een termijn langer dan 4 jaar nog onvoldoende onderzocht is.

3.3 Conclusie en aanbevelingen distributiematerialen

Uit het onderzoek blijkt dat gasdistributiematerialen na blootstelling gedurende vier jaar aan verschillende concentraties waterstof (tot 20%) in aardgas, geen zichtbare en

meetbare verandering in kwaliteit hebben ondergaan. Gezien de lange beoogde levensduur van distributiematerialen van zeker 50 jaar is de beproevingsperiode relatief kort geweest. Hierdoor mag op basis van enkel dit uitgevoerde onderzoek niet geconcludeerd worden dat het bijmengen van waterstof op de lange termijn geen invloed zal hebben. Wel mag op basis van de resultaten van dit onderzoek worden verwacht dat aantasting van de kwaliteit onwaarschijnlijk is. Vanuit het gebruik van gasdistributiematerialen mag dan ook geconcludeerd worden dat deze een toepassing van waterstofbijmenging tot 20% in aardgas in principe mogelijk maken.

4 Gasdistributie appendages

4.1 Samenvatting

Op de uitgenomen gasmeters zijn geen bijzonderheden aan te merken. Nergens is een zichtbare aantasting van behuizingen, meteronderdelen of de rubber membranen te zien wat op aantasting door waterstof zou kunnen duiden. Of het gebruik van waterstofhoudend aardgas invloed heeft op de meetnauwkeurigheid van de gasmeters is niet onderzocht.

De (gezamenlijke) invloed van waterstof en de normale kwaliteitsveranderingen, als gevolg van de distributie van aardgas op de huisdrukregelaars, is aan de hand van sluitdrukken en regelgedrag moeilijk vast te stellen. Gezien het feit dat er geen significante verslechtering van regelwerking of sluitdrukken gemeten is, lijkt de conclusie dat het waterstof geen meetbaar effect op de regelaars heeft gehad, gerechtvaardigd. Ook de visuele inspectie van de regelaars laat geen bijzonderheden aan behuizing, filters en membranen zien en ondersteunen deze conclusie.

Aanbevelingen.

Vanwege de beperkte beproevingsduur van vier jaar, wordt voor de huisdrukregelaars een aanvullend onderzoek in de vorm van een duurproef, waarbij de invloed van zowel aardgas als waterstofhoudend aardgas op de regelwerking wordt onderzocht, aanbevolen.

Voor gasmeters wordt aanbevolen een onderzoek naar de invloed van waterstofhoudend aardgas op het functioneren van de balgengasmeter uit te voeren. Hierbij kan vooral aandacht gegeven worden aan de miswijzing als gevolg van het gebruik van waterstofhoudend aardgas.

4.2 Conclusie en aanbevelingen appendages

Voor huisdrukregelaars wordt geconcludeerd dat de regelwerking enigermate is veranderd. Of dit veroorzaakt is door de distributie van waterstofhoudend aardgas, is onduidelijk. De verandering is klein, waardoor de regelaars na vier jaar belasting met waterstof nog voldoen aan de keuringseisen voor nieuwe regelaars. Of dit ook voor een langere expositieduur zo is, is onbekend. Nader onderzoek, waarbij een duurproef met zowel waterstofhoudend als alleen aardgas wordt gedistribueerd, lijkt zeer zinvol.

Voor gasmeters mag geconcludeerd worden dat er op basis van de visuele inspecties de kwaliteit van de gasmeters niet verslechterd door de distributie van waterstofhoudend aardgas. Of dit ook betekent dat de gasmeter goed blijft functioneren en binnen de toegestane miswijzing blijft is niet onderzocht. Het is wel aan te bevelen een dergelijk onderzoek uit te voeren.

5 CV- en kooktoestellen

5.1 Samenvatting

De CV- en kooktoestellen functioneren zowel voor als na de blootstelling aan waterstof conform de gastechnische specificaties. De toestellen zijn lek dicht en hebben geen waterstofgerelateerde schades opgelopen in de vier jaar dat ze belast zijn met waterstofverrijkt aardgas. Het betreft nieuwe toestellen die zijn bedoeld voor het gebruik van aardgas en niet speciaal zijn aangepast voor het bijmengen van waterstof.

5.2 Beproevingsoepzet

Voorafgaand aan de veldtest zijn de toestellen in het laboratorium getest op veiligheid tot 30% waterstof in het aardgas. Op basis van deze testen is een ontheffing voor deelname aan de veldtest verleend door Kiwa Certification. De toestelfabrikanten hebben ingestemd met de deelname aan de test. Het betreft nieuwe standaard toestellen die gebruikelijk zijn in Nederland.

5.3 Onderzochte CV-toestellen

De toestellen zijn geselecteerd op basis van hun opbouw. Van elk type zijn vier exemplaren in de appartementen, gemeenschappelijke ruimte en fietsenberging geïnstalleerd. De opbouw van de ketels is omschreven in tabel 3.

Toestelnummer	1	2	3	4
Vermogen (80/60°C)	5.5 – 24.0 kW	5.6 – 22.5 kW	4.8 – 22.9 kW	8.7 – 24.0 kW
Brander	Cilindervormig branderdek van dunne metalen plaat	Cilindervormig branderdek van dunne metalen plaat	Vlakke, geperforeerde keramische plaat	Cilindervormig branderdek van dunne metalen plaat
Warmte-wisselaar	Roestvaststaal cilindervormig	Gegoten aluminium blok met vinnen	Gevinde buizen van gegoten aluminium	Roestvaststaal cilindervormig
Ontsteking	Vonkontsteking	Vonkontsteking	Gloeiontsteking	Vonkontsteking
Vlam-bewaking	Vlamionisatie detector	Vlamionisatie detector	Vlamionisatie detector	Vlamionisatie detector
Gasblok	Fabriikaat a	Fabriikaat b	Fabriikaat c	Fabriikaat b

Tabel 3: De bouw wijze van de geïnstalleerde keteltypen

5.3.1 Emissies CO₂, CO en NO_x

Een gunstig effect van het toevoegen van waterstof aan aardgas is dat de CO₂, CO en NO_x emissies per eenheid van energie afnemen.

Uit de metingen blijkt dat zoals verwacht de CO₂ emissies afnemen door het toevoegen van waterstof aan het aardgas. Uit de metingen blijkt ook dat, zowel in hooglast als laaglast, het toevoegen van waterstof de CO emissies verlaagt. Het afnemen van (giftige) CO emissies is een gunstig effect van het bijmengen van waterstof aan aardgas.

Het toevoegen van waterstof aan aardgas geeft een hogere adiabatische vlamtemperatuur. Door de hogere adiabatische vlamtemperatuur wordt de vorming van NO_x verhoogd. De vergroting van de luchtvermaat zorgt er echter voor dat de

temperatuur, en daarmee de NO_x vorming daalt. Het blijkt dat de NO_x verlagende invloed groter is de NO_x verhogende invloed.

5.3.2 *Ontsteekgedrag*

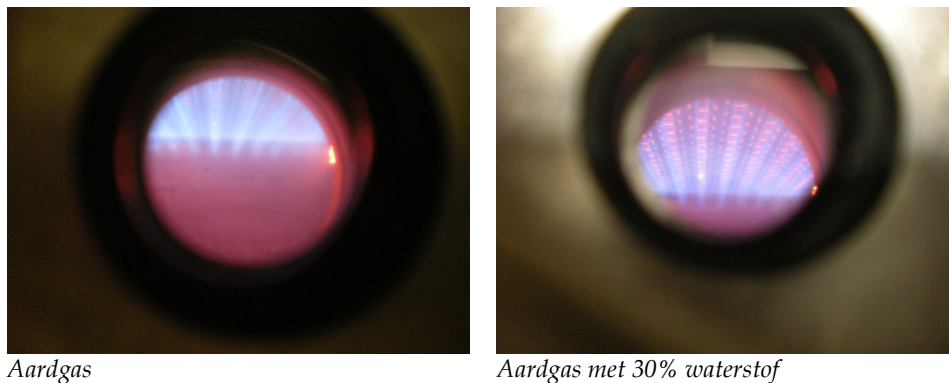
De CV ketels starten probleemloos met waterstofverrijkt aardgas. Zowel tijdens nulmeting als tijdens de eindmeting startten alle ketels normaal en blies de vlam niet af.

5.3.3 *Inslag*

Vlaminslag treedt niet op bij de gemeten CV ketels. Door waterstof aan het aardgas toe te voegen neemt de verbrandingssnelheid verder toe. Hierdoor branden de vlammen nog dichter op het branderdek, waardoor de vlam in het branderdek kan slaan. Zowel tijdens de nulmeting als tijdens de eindmeting werd bij alle ketels geen vlaminslag vastgesteld.

5.3.4 *Vlambeeld*

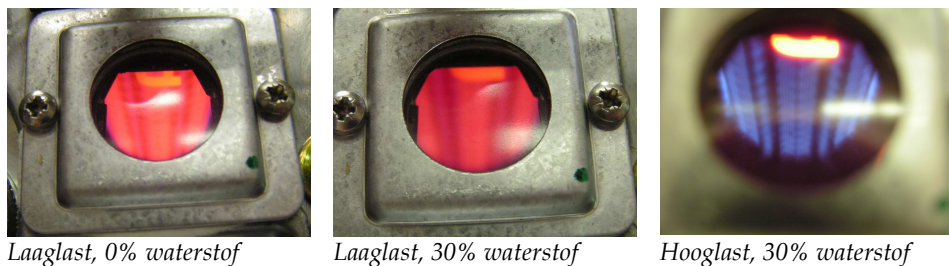
De toevoeging van waterstof beïnvloedt het vlambeeld. In figuur 9 is een voorbeeld van vlammen in een CV-toestel weergegeven. Het toestel brandt in hooglast.



Figuur 9: Branderdek van een CV-toestel brandend op aardgas in hooglast. Bij het toevoegen van waterstof gloeit het branderdek.

Door het toevoegen van 20% of 30% waterstof ontstaat aan het branderdek een rode gloed in plaats van een geheel blauwe vlam. De verbrandingssnelheid neemt toe door het bijmengen van waterstof, hierdoor branden de vlammen dichter op het branderdek en gaat het branderdek stralen.

In figuur 10 is het branderdek van een CV-toestel, brandend op laag- en hooglast weergegeven.



Figuur 10: Branderdek van een cv-toestel brandend op aardgas met 30% waterstof. Op laaglast gloeit het branderdek

Uit figuur 10 blijkt dat niet alleen de toevoeging van waterstof het vlambeeld beïnvloedt maar ook het branden in hoog- of laaglast. Het branderdek gloeit in laaglast onafhankelijk van het toevoegen van waterstof. In hooglast brandt de vlam blauw eveneens onafhankelijk van het toevoegen van waterstof. De vlammen staan in laaglast dichter op het branderdek omdat de stroomsnelheid van het gas lager is.

5.3.5 Vlambeveiliging

De vlambeveiliging constateert of er een vlam aanwezig is zodat onbedoeld uitstromen van onverbrand gas wordt voorkomen. De CV's die zijn toegepast in het project hebben allemaal een ionisatiebeveiliging.

Uit de meting blijkt dat de ionisatiestroom nauwelijks wordt beïnvloed door het bijmengen van 20% tot 30% waterstof. Er zijn geen aanwijzingen dat dit in de praktijk tot problemen heeft geleid.

5.3.6 Visuele inspectie

De luchtaanzuigpijp, brander, ontsteking, ionisatiepen, warmtewisselaar, venturi, gasblok en condensafvoer zijn geïnspecteerd inclusief pakkingen, membranen en afdichtingsringen. Enkele onderdelen zijn aangetast door corrosie, door condenswater en zijn vuil. Er zijn geen echter waterstofgerelateerde schades aan het licht gekomen bij de visuele inspectie.

5.4 Resultaten kooktoestellen

5.4.1 Emissies CO₂ en CO

Uit de metingen blijkt dat zowel de CO₂ emissies als de CO emissies afnemen door het toevoegen van waterstof.

5.4.2 Inslag

Vlaminslag treedt niet op bij de kooktoestellen onder de gemeten condities. De testen zijn uitgevoerd met met waterstofpercentages van 20% en 30%. Zowel tijdens de nulmeting als tijdens de eindmeting sloeg de vlam niet in; ook niet bij het snel sluiten van de gaskraan.

5.4.3 Visuele inspectie

De panhouder, pitdeksels, pitten, inspuiters, ontstekers, afdekplaat en gaskranen zijn geïnspecteerd inclusief afdichtingen en montage. Er zijn geen waterstofgerelateerde schades aan het licht gekomen bij de visuele inspectie van de kooktoestellen.

6 Bewoners

6.1 Inleiding

De bewoners van appartementencomplex "Noorderlicht" kijken terug op een positieve ervaring met stoken en koken op waterstofverrijkt aardgas. Dit blijkt uit de enquêtes die zijn gehouden onder de bewoners van het appartementencomplex. De bewoners van het "Noorderlicht" zijn financieel gecompenseerd voor het ontvangen van gas met een lagere verbrandingswaarde en voor de huishoudelijke plichten die verbonden waren aan de deelname aan het project, zoals het toelaten van een monteur die de gasinstallatie periodiek inspecteerde. Het project is bekend gemaakt onder een breed publiek in verschillende media.



Figuur 11: Informatiebord bij appartementencomplex "Noorderlicht"

6.2 Enquêtes onder de bewoners van appartementencomplex "Noorderlicht"

Er is door de bewoners van appartementencomplex "Noorderlicht" geen verschil ervaren tussen gewoon aardgas en waterstofhoudend aardgas. De overgrote meerderheid is tevreden over de verwarmingsinstallatie (ketel, radiatoren en thermostaat).

De bewoners ervaren de verwarmingsketel als ongevoelig voor storingen en ervaren de geluidsproductie van de verwarmingsketel als niet hinderlijk of niet opvallend. Circa 70 tot 90% van de bewoners vindt het warm genoeg in de verschillende vertrekken van hun woning. Er was één persoon die klaagde over een te lage temperatuur in de badkamer, maar deze klacht bestond al vóórdat de proef was gestart.

Na het toevoegen van waterstof aan aardgas is men iets minder tevreden geworden over de warmte in de verschillende vertrekken maar een verband tussen het waterstofpercentage en de tevredenheid kan niet gelegd worden.

De meerderheid vindt dat het snel genoeg warm wordt in de verschillende vertrekken. Over het algemeen is men tevreden over de verwarming van de verschillende vertrekken.

Verder is de meerderheid tevreden over de snelheid waarmee water uit de keukenkraan komt en waarmee het douchewater warm wordt. Iedereen is tevreden over het kookcomfort van het kooktoestel en de snelheid van het kookproces.

7 Conclusies

Gastoestellen algemeen

Door het toevoegen van waterstof aan aardgas dalen de milieubelastende en giftige emissies kooldioxide (CO₂), koolmonoxide (CO) en stikstofdioxide (NO_x) in de rookgassen van de gastoestellen.

Het decentraal bijmengen van waterstof in aardgas leidt tot een lagere belasting van het toestel en een verhoging van de vlamsnelheid. Bij gelijkblijvende instelling van het toestel stijgt echter de luchtfactor waardoor de stroomsnelheid van het mengsel hoger wordt. De twee effecten heffen elkaar nagenoeg op waardoor een verhoogd risico op vlaminslag bij het toegepaste waterstofgehalte nauwelijks aanwezig is.

Het functioneren van de onderzochte toestellen is gedurende de proefperiode niet veranderd.

Gasdistributieleidingen

Uit het onderzoek, dat volgde op de ca. 4 jaar durende blootstelling van gasdistributiematerialen aan met waterstofverrijkt aardgas, wordt geconcludeerd dat aan de onderzochte materialen en verbindingen geen meetbare effecten van het waterstofhoudende aardgas te ontdekken zijn. Deze conclusie wordt ondersteund door het gegeven dat tijdens het bijmengen van het waterstof op Ameland zich geen bijzonderheden hebben voorgedaan met betrekking tot de lektheid van het distributienet en de gasbinnenleidingen.

Gasdistributie-appendages

Voor huisdrukregelaars wordt geconcludeerd dat de regelwerking enigermate is veranderd. Of dit veroorzaakt is door de distributie van waterstofhoudend aardgas, is onduidelijk. De verandering is klein, waardoor de regelaars na vier jaar belasting met waterstof nog voldoen aan de keuringseisen voor nieuwe regelaars.

Voor gasmeters mag geconcludeerd worden dat, op basis van de visuele inspecties, de kwaliteit van de gasmeters niet verslechtert door de distributie van waterstofhoudend aardgas.

CV ketels

De CV ketels hebben in de vier jaar dat ze belast zijn met een mengsel van waterstof in aardgas gefunctioneerd conform de gastechnische specificaties. Ze hebben geen ongeoorloofde lekken vertoond en hebben geen waterstofgerelateerde schade opgelopen.

Kooktoestellen

De kooktoestellen hebben in de vier jaar dat ze belast zijn met een mengsel van waterstof in aardgas gefunctioneerd conform de gastechnische specificaties, hebben geen ongeoorloofde lekken vertoond en hebben geen waterstofgerelateerde schade opgelopen.

Bewoners

De bewoners van "Noorderlicht" kijken terug op een positieve ervaring met stoken en koken op een mengsel van aardgas en waterstof. Er is er geen noemenswaardig verschil ervaren tussen "gewoon" aardgas en een mengsel van aardgas en waterstof.

Verrekening van energie

De bewoners zijn gedurende de proef door de opdrachtgevers financieel gecompenseerd voor de lagere energie-inhoud van het gas en voor de medewerking

aan het project. Er is geen aandacht besteed aan het corrigeren van de hoeveelheid geleverde energie op basis van de continu veranderende calorische waarde van het gas.

Andere groepen toestellen

Door het lage aantal van 14 appartementen in de proef kon slechts een klein deel van het huishoudelijke toestelpark in Nederland worden onderzocht. Voor de toepassing van waterstof in aardgas op grotere schaal is steekproefsgewijs onderzoek naar het gedrag van andere, vooral oudere huishoudelijke toestellen noodzakelijk, wegens onzekerheden over hun gedrag, hun conditie en over de manier waarop ze zijn geïnstalleerd.

Vooruitblik

Het positieve resultaat schept de verwachting dat verschillende groepen moderne toestellen, zoals klein-commerciële en industriële, mogelijk goed zullen reageren op waterstof in aardgas. Deze groepen toestellen zijn echter zeer divers en er zal eerst een categorisering van deze toestellen moeten worden geformuleerd die een uitspraak over de geschiktheid voor mengsels van waterstof en aardgas mogelijk maakt.

8 Aanbevelingen

Ondanks de succesvolle demonstratie van waterstof-aardgasmengsels in project “Duurzaam Ameland” zijn er nog gastoepassingen bij industriële eindgebruikers met complexe installaties die geen onderdeel vormden van dit project. Bijvoorbeeld bij energieproducenten die stationaire gasmotoren en gasturbines toepassen, en bij industriële gebruikers in de grondstofverwerking en industriële verbranding. Deze gastoepassingen vereisen mogelijk verandering van de afstelling of aanpassingen als ze moeten werken op een mengsel van waterstof en aardgas. Onderzoek naar de technische uitvoering en kosten van de wijzigingen wordt aanbevolen.

Een volgende stap in de toepassing van waterstofverrijkt aardgas voor huishoudelijk gebruik zou een pilotproject op grotere schaal en met een grotere verscheidenheid aan toestellen kunnen zijn, met een langere looptijd. Toepassing van waterstofverrijkt aardgas voor langere periode vergroot het inzicht in levensduurverwachting van aan waterstof blootgestelde leidingssystemen en toestellen. Daarbij wordt aanbevolen om de functionele gedrag van zowel de huisdrukregelaar als die van de gasmeter door middel van aanvullend onderzoek vast te stellen. Verder wordt aanbevolen om kritische bestaande toestellen te testen, zoals afvoerloze toestellen, omdat deze nog in grote aantallen in gebruik zijn.

Een veelbelovend concept is het gebruik van het gasnet als buffer voor windenergie. Dit betekent dat het overschot aan windenergie wordt gebruikt voor de productie van waterstofgas, dat vervolgens wordt gedistribueerd via het gasnet. Dit “Windgas” concept biedt een alternatief voor het stilzetten van windmolens en wordt aanbevolen voor verder onderzoek en toepassing in pilotprojecten.

Stel een verrekeningsmethode op waarmee de gebruikers van aardgas, waarin decentraal waterstof is bijgemengd, voldoende nauwkeurig op de hoeveelheid geleverde energie kunnen worden afgerekend. Ga hierbij uit van de gebruikelijke calorische verrekening van aardgas. De opgestelde verrekenmethode zou kunnen worden gevalideerd met de tien-seconden meetgegevens van de gasvraag en van de gassamenstelling die met het project op Ameland zijn gegenereerd.

