

GT-190250
8 september

De impact van het bijmengen van waterstof op het gasdistributienet en de gebruiksapparatuur



Trust
Quality
Progress



GT-190250

8 september 2020

De impact van het bijmengen van waterstof op het gasdistributienet en de gebruiksapparatuur

© 2020 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
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,
alsmede van de
opdrachtgever.

Kiwa Technology B.V.
Wilmersdorf 50
Postbus 137
7300 AC Apeldoorn

Tel. 088 998 33 93
Fax 088 998 34 94
www.kiwatechnology.nl

Colofon

Titel	De impact van het bijmengen van waterstof op het gasdistributienet en de gebruiksapparatuur
Projectnummer	004P001621
Projectmanager	Erik Polman
Opdrachtgever	Netbeheer Nederland
Kwaliteitsborger(s)	Hanneke Peters
Auteur(s)	Erik Polman, Hans de Laat, René Hermkens, Kees Pulles

Dit rapport is tot stand gekomen in opdracht van Netbeheer Nederland. Het is beschikbaar voor Netbeheer Nederland, de bij Netbeheer Nederland aangesloten netbeheerders en de aan deze netbeheerders verbonden bedrijven.

Voorwoord

Dit rapport beschrijft een onderzoek naar de mogelijkheid om waterstof bij te mengen in het bestaande openbare gasdistributienet. Dit onderzoek is door Kiwa Technology uitgevoerd in opdracht van Netbeheer Nederland.

Het onderzoek betreft de technische mogelijkheden en de stappen die gezet moeten worden om waterstof bij te mengen bij aardgas, groen gas en verrijkt biogas. De bevindingen zijn gebaseerd op nationaal en internationaal onderzoek dat in de laatste 20 jaren is gedaan. De resultaten daarvan zijn geïnterpreteerd voor de Nederlandse situatie en de te verwachten ontwikkelingen.

Het onderzoek is mede tot stand gekomen dankzij de inbreng van een begeleidingsgroep met specialisten vanuit de Nederlandse gasnetbeheerders. De deelnemers aan deze groep waren:

- Gilles de Kok (Enduris)
- Frank van Alphen (Stedin)
- Jelle Lieferring (Gasunie Transport Services)
- Pascal te Morsche (Liander)

De begeleidingsgroep heeft een grote bijdrage geleverd aan het onderzoek door richting te geven aan de uitvoering, actief deel te nemen aan de discussies en door informatie en input aan te leveren.

Afkortingen en begrippenlijst

Afkortingen:

CO ₂	Koolstofdioxide
CEDEC	Europese federatie van lokale energiemaatschappijen
CNG	Compressed Natural Gas, aardgas op hoge druk (350 tot 700 bar) voor mobiele toepassingen
EDGaR	Energy Delta Gas Research, Nederlands R&D programma gas, lopend van het jaar 2010 tot 2015
E-gas	Aardgas met een gaskwaliteit conform EN 437 met als Wobbe-grenzen 40,9 MJ/m ³ respectievelijk 54,7 MJ/m ³ onder normaalcondities en gebaseerd op calorische bovenwaarde
EASEE gas	Europese associatie, die de gastransfer en handel wil stroomlijnen
EMPIR	European Metrology Programme for Innovation and Research
ENTSOG	European Network of Transmission System Operators for Gas
Eurogas	Associatie die de Europese handel en distributie vertegenwoordigt naar de EU toe
Farecogaz	Europese associatie van fabrikanten van gasmeters en gasdrukregelaars
GERG	Groupe Européen de Recherches Gazières (Europese gas research organisatie)
GEODE	Associatie van Europese onafhankelijke distributiebedrijven van gas en elektriciteit
G-gas	Aardgas met als Wobbe-grenzen 43,46 MJ/m ³ respectievelijk 44,41 MJ/m ³ onder normaalcondities en gebaseerd op calorische bovenwaarde
G+ gas	Aardgas met als Wobbe-grenzen 43,46 MJ/m ³ respectievelijk 45,3 MJ/m ³ onder normaalcondities en gebaseerd op calorische bovenwaarde
GIE	Gas Infrastructure Europe (belangenorganisatie)
GOS	Gasontvangstation

GTS	Gasunie Transport Services B.V. eigenaar en beheerder van het landelijk gastransportnet in Nederland.
H-gas	Aardgas met als Wobbe-grenzen 49,9 MJ/m ³ respectievelijk 55,7 MJ/m ³ onder normaalcondities en gebaseerd op calorische bovenwaarde
IEA	International Energy Agency, associatie gericht op een betrouwbare en duurzame energievoorziening
HIPS	Hydrogen in Pipeline Systems (R&D project)
L-gas	Laagcalorisch gas met een gaskwaliteit conform EN 437 met een Wobbe-index met als Wobbe-grenzen 39,1 MJ/m ³ respectievelijk 44,8 MJ/m ³ onder normaalcondities en gebaseerd op calorische bovenwaarde
Marcogaz	Technische associatie van de Europese gasindustrie
MID	Measuring Instruments Directive, Europese richtlijn voor meetinstrumenten
NREL	National Renewable Energy Laboratory R&D organisatie in de Verenigde Staten
PBM	Persoonlijk beschermingsmiddel
RENDO	Regionaal netwerkbedrijf, verantwoordelijk voor distributie van gas en elektriciteit in Zuid-Drenthe en Noord-Overijssel.
RNB	Regionale netbeheerder
TSO	Transmission System Operator
vol%	Volumeprocent

Begrippen:

Adiabatische vlamtemperatuur	De hoogst mogelijke temperatuur die de verbrandingsgassen theoretisch kunnen bereiken als geen energie aan de omgeving wordt afgestaan
Afwobben	Het veranderen van de gaskwaliteit door bijmenging met andere inerte gassen met als doel om de Wobbe-index binnen de gewenste specificaties te krijgen.
Calorische waarde	De energie die vrijkomt bij de verbranding van gas
Gasdistributienet	Het geheel van leidingen, componenten en stations vanaf het gasontvangstation (GOS) tot en met de gasmeter van de afnemer op een overdruk van 8 bar of lager.
Gastransportnet	Met elkaar verbonden leidingen, componenten en stations bestemd of gebruikt voor het transport van gas, met inbegrip van hulpmiddelen en installaties waarmee ondersteunende diensten voor dat transport worden verricht op een overdruk van 80 bar tot 8 bar.
Groen gas	Duurzaam geproduceerd gas uit biomassa dat is opgewerkt, zodat het nagenoeg dezelfde kwaliteit heeft als aardgas en voldoet aan de MR Gaskwaliteit.
Meetcode Gas RNB	Uitwerking van de wijze waarop netbeheerders en afnemers alsmede netbeheerders zich jegens elkaar gedragen ten aanzien van het meten van gegevens betreffende het transport van gas.
MR Gaskwaliteit	Regeling van de Minister van Economische Zaken van 11 juli 2014, nr. WJZ/13196684, tot vaststelling van regels voor de gaskwaliteit (Regeling Gaskwaliteit) geldend vanaf 1-1-2019.
Relatieve dichtheid	De verhouding tussen de soortelijke massa van een gas en de soortelijke massa van lucht.
Verrijkt biogas	(specifiek voor dit rapport) Gedeeltelijk gezuiverd of opgewerkt duurzaam gas op basis van biomassa, van mogelijk ruimere specificaties dan volgens de momenteel geldende MR Gaskwaliteit.
Vlamlift	Ongewenste situatie, waarbij de vlam loskomt van het branderdek
Vlamliftformule	Algoritme waarmee het optreden van vlamlift kan worden berekend
Waterstofbrosheid	Degradatie van metalen doordat waterstof in het metaalrooster wordt opgenomen
Wobbe-band	Het interval tussen de twee grenswaarden voor de Wobbe-index van gas, die in de MR Gaskwaliteit is vastgelegd.

Wobbe-index

Het quotiënt van de calorische waarde van een gas en de wortel uit de relatieve dichtheid van dat gas. De Wobbe-index is een maat voor de hoeveelheid energie die aan een toestel wordt toegevoerd.

Inhoud

	Voorwoord	1
	Afkortingen en begrippenlijst	2
	Inhoud	6
1	Samenvatting	8
2	Inleiding en achtergrond	12
2.1	Leeswijzer	14
3	Basisscenario aardgasdistributie	15
3.1	Bijmenging van waterstof bij aardgas	15
3.1.1	Fysische eigenschappen en veiligheid	15
3.2	Milieuwinst	15
3.2.1	CO ₂ reductie	15
3.2.2	NO _x reductie	16
3.2.3	CO-emissies	16
3.3	Overzicht van onderzoek en studies	17
3.3.1	Informatie per toepassing of component	17
3.3.1.1	Rijden op CNG	17
3.3.1.2	Gashoeveelheidmeters	19
3.3.1.3	Gaskwaliteit en gedrag van gastoepassingen	20
3.3.1.4	Gasdrukreginstallaties en componenten	22
3.3.1.5	Proceschromatografen	22
3.3.1.6	Gasdetectie en odorisatie	23
3.4	Conclusies onderzoeken	23
3.4.1	Vertaling van de onderzoeken naar de Nederlandse situatie	24
3.5	Transitiepad en technologische ontwikkelingen	25
3.5.1	Bijmenging tot 1 vol% waterstof	25
3.5.2	Bijmenging tot 2 vol%	25
3.5.3	Bijmenging tot 3 vol%	26
3.5.4	Bijmenging tot 8 vol%	26
3.5.5	Bijmenging tot 10 vol%	26
3.5.6	Bijmenging tot 20 vol%	26
3.5.7	Bijmenging met gehalten vanaf 20 vol%	27
3.5.8	Innovaties en ontwikkelingen	27
3.5.8.1	Gasverbruikstoestellen	28
3.5.8.2	Gasmeters	28
3.5.8.3	Regelgeving en keuringseisen	28
3.5.8.4	Initiatieven overheden en TSO's	29
3.6	Kosten van de transitie	29
3.7	Analyse	31
3.8	Ontwikkelingen die de toepassing van waterstof stimuleren	32
4	Scenario groen gas distributie	33

4.1	Bijmenging van waterstof bij groen gas	33
4.2	Status groen gas in Nederland	33
4.3	Gaskwaliteit groen gas	33
4.4	Technische analyse	34
4.5	Innovaties en ontwikkelingen	34
4.6	Analyse	35
5	Scenario verrijkt biogas	36
5.1	Bijmenging van waterstof bij verrijkt biogas	36
5.2	Gaskwaliteit verrijkt biogas	36
5.3	Technische analyse	37
5.4	Technologische ontwikkelingen	37
5.5	Conclusie	37
6	Waterstofdistributie	38
6.1	Beschrijving situatie	38
6.2	Gaskwaliteit	38
6.3	Technische analyse	38
6.3.1	Het gasdistributienet	38
6.3.2	Gasmeters	39
6.3.3	Gastoepassingen	39
7	Conclusies	41
8	Literatuurlijst	43
I	BIJLAGE : Overzicht literatuur	46
I.1.1	Naturalhy	46
I.1.2	NREL studie	46
I.1.3	HIPS (Hydrogen in Pipeline Systems)	46
I.1.4	EDGaR	47
I.1.5	Hydrogen scaling up, by Mc Kinsey Company en Hydrogen Council	48
I.1.6	Toekomstbestendige gasdistributienetten	48
I.1.7	Marcogaz studie	49
I.1.8	Franse studie: Technical and economic conditions for injecting hydrogen into natural gas networks	51
I.1.8.1	Technische maatregelen	52
I.1.8.2	Kosten voor aanpassingen	52
I.1.9	Praktijktesten waterstofbijmenging	53
I.1.9.1	Ameland	53
I.1.9.2	Duinkerken (GRHYD)	54
I.1.9.3	Klankxbüll	54
I.1.9.4	Schoppsdorf	55

1 Samenvatting

Waterstof als duurzame energiedrager staat momenteel volop in de belangstelling. Naar aanleiding van vragen van de Europese Commissie wordt door de lidstaten onderzocht welke mogelijkheden bestaande gasnetten hebben om waterstof te kunnen transporteren (*Hydrogen Roadmap Europe* en *ENTSOG 2050 roadmap for renewable gas*).

Gasnetten zijn in staat om hoge vermogens te transporteren tegen betrekkelijk lage kosten. Daarnaast beschikt Nederland over een zeer uitgebreid gastransport- en gasdistributienet (>94% van de Nederlandse huishoudens heeft een gasaansluiting). Om deze redenen spelen de gasnetten in Nederland een belangrijke rol binnen de energietransitie.

De onderzoeksvraag die in dit rapport besproken wordt is welke impact het bijmengen van waterstof kan hebben op het gasdistributienet en de gebruiksaanbeiding. Hierbij is in de analyse geen vergelijking gemaakt ten opzichte van andere verduurzamingsopties.

Om deze vraag te beantwoorden zijn de vele onderzoeken op het gebied van waterstofbijmenging geanalyseerd.

Wat is nu al mogelijk?

Bijmengen van waterstof bij aardgas lijkt technisch mogelijk voor de meeste toepassingen tot 3 vol%. Hierbij moet aangemerkt worden dat de meeste bestaande toestellen, niet voor dit gehalte zijn gekeurd. Voor deze toestellen zullen veiligheidsaspecten moeten worden afgedekt, bijvoorbeeld door het opstellen van een risicoanalyse. Daarnaast voorziet de huidige regelgeving niet in hogere percentages dan 0,5 vol% en deze zal dus op 3 vol% moeten worden aangepast.

Wat is op termijn mogelijk?

Doorgroei naar 20 vol% waterstof lijkt mogelijk. Voor veel zakelijke gastoeepassingen, zoals gasturbines en gasmotoren, gelden echter beperkingen. Het aantal zakelijke toepassingen in het gasdistributienet kan per gebied variëren van gering tot substantieel.

De mogelijkheden en de te nemen stappen voor het bijmengen van waterstof aan aardgas, zijn gepresenteerd in onderstaande tabel.

Overzicht van technische barrières voor de componentgroepen voor Nederland

Component / waterstof%	0,5	1	2	3	8	10	15	20	25	30	35	40	50	100
Proceschromatograaf/ Meetinstrument [3,78]	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	White	White	White	White
Gasturbine ¹ [45]	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Aardgas als grondstof ² [45]	Green	Green	Green	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White
CNG tankstations [8,35]	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	White	White	White	White
Huishoudelijke gastoestellen* [7,45],	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
PBM's en gereedschappen [8]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow
Lekzoekapparatuur [8]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Yellow
Industriële branders ³ [51]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	White
Gasdrukregelstations [45]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	White
Afsluiters [45]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	White
Gashoeveelheidsmeters [3,8,15,28,51]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Gasmotor ⁴ [51]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Huisdrukregelaars [7]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Gasleidingen incl. componenten [6,7]	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Inpandige gasleidingen [6]	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Status	Kleurcode
Kan nu al	Green
Mogelijk bij geschikte keuze apparatuur	Light Green
Modificatie instellingen/typekeuring	Yellow
Gehele vervanging of vervanging kritische componenten	Orange
Onbekend. Nader onderzoek nodig	White

* Bestaande toestellen zijn alleen geschikt voor 3% waterstof als voor deze toestellen veiligheidsaspecten zijn afgedekt bijvoorbeeld door het opstellen van een risicoanalyse.

Kan een gefaseerde groei plaatsvinden naar 20 vol% waterstof in aardgas?

Er zijn discrete stappen mogelijk naar 3, 8, 10 respectievelijk 20 vol% waterstofbijmenging.

Welke inspanningen moeten gedaan worden om de transitie naar waterstof in het aardgasnet te realiseren?

Indien het gehalte waterstof dat aan aardgas wordt bijgemengd hoger is dan de thans toegestane 0,5 vol% in RNB-netten, is een aanpassing van de regelgeving noodzakelijk, waaronder ook de Ministeriële Regeling Gaskwaliteit.

¹ Afhankelijk van het type regeling en de gassamenstelling

² Vanaf 2% wordt aangeraden om de waterstof uit het gas te verwijderen

³ Geregelde branders tot 5% geschikt en tot 50% met aanpassing

⁴ Afhankelijk van het type regeling en het methaangetal van het aardgas

Bij doorgroei naar 20 vol% waterstof zal veel apparatuur (zie overzichtstabel) opnieuw moeten worden afgesteld.

Voor de grootste groep van huishoudelijke gebruikers is een verdere bijmenging tot 20 vol% waterstof bij aardgas mogelijk, indien toesteltypen worden gebruikt, die door de fabrikant geschikt zijn verklaard voor dit waterstofgehalte.

De hoogste kostenpost in de transitie is namelijk het vervangen van niet-afgeschreven gasverbruikstoestellen, die niet geschikt zijn voor waterstofbijmenging. Bij een gehalte van 20 vol% waterstof is het noodzakelijk om de huidige Wobbe-grenzen voor G-gas aan te passen.

Er zijn studies die er op duiden dat veel toestellen technisch geschikt zijn voor gehalten aan waterstof, hoger dan 3 vol%. Een studie naar de technische en juridische consequenties en de risico's van bijmenging van waterstof aan aardgas voor bestaande toestellen, kan inzicht bieden in de juiste beleidskeuzes.

Een positieve ontwikkeling is, dat recentelijk een drietal fabrikanten meerdere typen ketels beschikbaar heeft, die geschikt zijn voor 20 vol% waterstof. Een aantal van deze toesteltypen wordt al enkele jaren verkocht en een deel van de toestellen is dus al gereed voor gehalten variërend van 0 tot 20 vol% waterstof. Verdere doorgroei wordt gefaciliteerd, als er nog meer fabrikanten volgen en indien ook andere gasverbruikstoestellen, zoals geisers en kookbranders, hiervoor geschikt worden verklaard. Een grootschalige introductie van deze gasverbruikstoestellen geeft lagere vervangingskosten op het moment dat op waterstofbijmenging wordt overgestapt.

Een verdere versnelling is mogelijk door;

- het monitoren van de toename van het aandeel toestellen dat geschikt is voor waterstofhoudende gassen
- het stimuleren van het afgeven van een geschiktheidsverklaring voor waterstofhoudende gassen van bestaande toestellen door fabrikanten
- overheidsbeleid dat gericht is op het versneld moderniseren van het toestelpark met toestellen die geschikt zijn voor een bredere gaskwaliteit, waaronder ook waterstofhoudende gassen.

Is het mogelijk om meer dan 20 vol% waterstof bij aardgas te mengen?

Doorgroei naar een percentage van bijvoorbeeld 50 vol% waterstof is technisch mogelijk. In dat geval zullen er door de fabrikanten een volledig nieuwe CV-toestellen en andere gastoeepassingen (kooktoestellen, fornuizen etc.) ontwikkeld moeten worden in combinatie met aanpassingen in de van toepassing zijnde keuringsnormen en - in aansluiting daarop - vervanging van de bestaande toestellen in het desbetreffende netdeel. Het is de vraag of deze toestellen het gehele bereik van 0 tot bijvoorbeeld 50 vol% waterstof aankunnen. Er is een toestel ontwikkeld dat zowel op 100 vol% waterstof als op 100 vol% aardgas kan functioneren, maar dit kan alleen na ombouw door de installateur.

De inspanningen en kosten, die voor bijvoorbeeld 50 vol% waterstof distributie gemaakt moeten worden, zijn vergelijkbaar met die voor 100 vol% waterstof distributie.

Indien er zoveel waterstof beschikbaar is, dat het vanuit technisch oogpunt wenselijk is om tot hogere bijmenggehalten dan 20 vol% over te gaan, kan de stap naar 100 vol% waterstof distributie worden overwogen. Hierbij moeten eenmalig aanzienlijke kosten worden gemaakt, namelijk het voortijdig afschrijven van de aardgastoestellen, een mogelijke meerprijs voor de eerste generatie waterstofstoestellen, het vervangen van de gasmeters en mogelijk het toepassen van een nieuw type odorant.

Welke voordelen heeft waterstofbijmenging?

De waterstofbijmenging zou al op relatief korte termijn kunnen worden toegepast. De infrastructurele aanpassingen en kosten zijn relatief laag. In een eerdere studie "Toekomstbestendige gasnetten" is geconcludeerd, dat het huidige gasdistributienet geschikt is voor waterstof distributie [6]. Het voordeel hiervan is, dat - althans in geval van duurzaam waterstof - de gasdistributie volledig wordt verduurzaamd.

20 vol% duurzaam waterstof bijmengen bij fossiel aardgas geeft een vervanging van 8,3 vol% fossiel aardgas. Voor alle huishoudens gezamenlijk zou dit een CO₂ besparing van 1,3 miljard kg opleveren en 7,7 miljard kg, indien alle aardgas (ook de industriële toepassingen) met 20 vol% wordt bijgemengd. Dit zou een wezenlijke bijdrage leveren aan de doelstellingen voor CO₂ reductie. Bijkomend voordeel is een verlaging van de CO-emissies. De grootste kostenpost betreft de versnelde afschrijving van toestellen die niet geschikt zijn voor 20 vol% waterstof. De CO₂ besparing bij hoge waterstofpercentages groeit meer dan evenredig en bovendien zal bij 100 vol% waterstofverbranding geen CO-emissie door gasverbruikstoestellen meer plaatsvinden.

Gelden de genoemde conclusies ook voor groen gas?

Voor waterstofbijmenging bij groen gas gelden dezelfde conclusies als voor toevoeging van waterstof aan aardgas, aangezien groen gas volledig uitwisselbaar is met aardgas (G-gas) volgens de MR Gaskwaliteit. Omdat bij de productie van groen gas CO₂ uit het gas wordt gehaald, is het een relatief eenvoudige procesmodificatie om nog meer CO₂ uit het gas te halen en hiermee de calorische waarde te verhogen om hiermee ruimte te geven aan waterstofbijmenging. Dit kan er toe leiden dat het gas niet meer aan de eisen voor G-gas voldoet. Er is dan sprake van een lokale gaskwaliteit.

Waterstof kan toegevoegd worden aan verrijkt biogas (een mengsel van CO₂ en methaan). Toch is dit vanuit technisch perspectief een minder logische route, aangezien de introductie van verrijkt biogas in het gasdistributienet betekent, dat veel van de huidige gastoe toepassingen vervangen moeten worden en ook aanzienlijke aanpassingen aan het aardgasnet noodzakelijk zijn.

2 Inleiding en achtergrond

Het zeer uitgebreide Nederlandse gasnet zal volgens de Minister van Economische Zaken en Klimaat een belangrijke rol blijven spelen in de energietransitie naar een duurzame energievoorziening [66]. Duurzaam geproduceerd waterstof zal samen met groen gas op termijn de rol van aardgas als gasvormige energiedrager kunnen overnemen [63].

Vigerende wet- en regelgeving en beleid

De huidige distributiegas-kwaliteit betreft G-gas met als Wobbe-grenzen 43,46 – 44,41 MJ/ m_n³ [72]. Gezien de uitputting van het Groningenveld heeft het ministerie van Economische Zaken (EZ) met de gasnetbeheerders in 2012 afgesproken, dat de samenstellingsbandbreedte van het G-gas ten minste de komende tien jaar (tot na 2021) niet zal veranderen. Energy Delta Gas Research (EDGaR) heeft in opdracht van EZ onderzocht of deze tienjaarstermijn verlengd kan worden. Begin 2013 is het onderzoeksrapport 'Transitiestudie G-gas' naar de Tweede Kamer gestuurd. Dit onderzoek maakt aannemelijk, dat de periode waarin de gassamenstelling van het laagcalorisch gas onveranderd kan blijven, onder voorwaarden, verlengd kan worden tot ten minste 2030 [50].

Er zijn afspraken gemaakt dat vanaf 1 januari 2017 toestellen verkocht worden, die geschikt zijn voor G+ gas met Wobbe-grenzen 43,46 – 45,3 MJ/ m_n³. Deze toestellen zijn tevens geschikt voor de toepassing van hoogcalorisch gas conform de zogenaamde E- band nadat ze door de installateur zijn omgebouwd. Dit zou het mogelijk maken om in de toekomst ook H-gas te gebruiken.

Overwegingen

De huidige regelgeving in Nederland laat niet meer dan 0,5 vol% waterstof in gasdistributienetten toe.

In tegenstelling tot andere landen, die hoogcalorisch gas met een brede kwaliteitsband gebruiken, is de Nederlandse gasdistributie gebaseerd op een smalle en laagcalorische kwaliteitsband. Hierdoor verschilt de Nederlandse situatie van die in de landen om ons heen, met name voor wat betreft de bandbreedte van de gastoeestellen.

In de kamerbrief van 30 maart 2020 van de Minister van Economische Zaken en Klimaat, wordt vermeld dat gasvormige energiedragers in 2050 naar verwachting in minimaal 30% van het finale energieverbruik voorzien (nu 41%). Ook aardgas zal naast duurzame gasvormige energiedragers als waterstof en groen gas, tot 2050 een rol blijven spelen [66].

Verwacht wordt, dat de inzet van G-gas vanaf 2050 naar nul is teruggebracht, waardoor uiteindelijk alleen CO₂ neutrale gassen door het gasdistributienet zullen stromen (uitsluitend waterstof, groen gas al dan niet in combinatie met waterstof, of gedeeltelijk opgewerkt biogas [in dit rapport verder te noemen "verrijkt biogas"], al dan niet in combinatie met waterstof).

Op de weg daarnaartoe kan waterstof - bij wijze van vergroenende tussenoplossing - worden bijgemengd met G-gas en/of groen gas.

In een kamerbrief van de Minister van Economische Zaken en Klimaat, eveneens van 30 maart 2020, wordt de rol van waterstof in de energietransitie benoemd. Een verplichting tot het (fysiek of via certificaten) bijmengen van waterstof, wordt als een mogelijkheid gezien om de vraag naar groene waterstof te vergroten. Ook wordt gesteld dat fysieke bijmenging tot 2% nu al mogelijk is met geringe aanpassingen en met verdere aanpassingen kan het aandeel stapsgewijs worden verhoogd tot circa 10 á 20% [63].

Op dit moment ontbreekt bij de Nederlandse regionale netbeheerders, verenigd in Netbeheer Nederland, het inzicht in de rol en de consequenties van waterstofbijmenging in de situatie, waarbij gekozen wordt voor de bovenomschreven

tussenoplossing (bijmenging van waterstof bij laagcalorisch aardgas), alsook in de bovenomschreven eindsituaties, waarbij groen gas en verrijkt biogas worden bijgemengd met waterstof.

Doelstelling

Doelstelling van dit onderzoek is het beantwoorden van de onderzoeksvraag:

Welke rol en consequenties kan het bijmengen van waterstof hebben in de wijkgerichte energietransitie (gebouwde omgeving) in de volgende scenario's:

1. Overgangssituatie: bijmenging van waterstof bij aardgas en/of groen gas (startsituatie: G-gas en G+ gas);
2. Einddoel: bijmenging van waterstof bij groen gas (startsituatie: G-gas en G+ gas);
3. Einddoel: bijmenging van waterstof bij verrijkt biogas (startsituatie: methaan/CO₂-mengsels).

Voor de beide eerstgenoemde scenario's is het huidige aardgasdistributiesysteem met het huidige toestelpark het vertrekpunt. Voor het scenario "waterstofbijmenging bij verrijkt biogas is uitgegaan van een lokaal gasdistributiesysteem met gedeeltelijk opgewerkt biogas, waarbij andere toestellen dan de huidige aardgastoestellen worden toegepast.

Speelveld

1. Techniek

In dit onderzoek is gekozen voor een technische insteek, waarbij voor het bestaande gasdistributienet en de gastoeepassingen gekeken is, welk bijmengpercentage technisch mogelijk is.

De onderzochte gastoeepassingen zijn:

- CV-toestellen
- gasovens
- gasfornuizen
- sfeerhaarden
- gasmotoren
- gasturbines
- aardgasvulstations

De productiewijzen van waterstof en het proces van het bijmengen van waterstof aan aardgas is niet onderzocht.

2. Regelgeving

Het transport, de distributie en de toepassing van aardgas is gebaseerd op fossiel aardgas. De huidige regelgeving is onvoldoende om bijmenggehalten van meer dan 0,5 vol% waterstof in aardgas toe te staan. Aanpassing van de regelgeving, zoals de MR Gaskwaliteit, Technische codes, normen en keuringseisen, is een intensief traject. Deze noodzakelijke aanpassingen worden in dit rapport aangestipt.

3. Productaansprakelijkheid

De transitie naar waterstof zal ook juridische implicaties hebben. Voor producten zoals bijvoorbeeld CV-toestellen, gasdistributieleidingen en gasdistributiecomponenten is het belangrijk dat fabrikanten een garantie voor de geschiktheid van het product afgeven.

Wanneer het technisch mogelijk is om de transitie naar hogere waterstofpercentages in aardgas te maken, zal de overheid in overleg met de belanghebbenden de regie moeten nemen om aanpassingen in het wettelijk kader aan te brengen en hiermee ook een zekere verantwoordelijkheid voor het transitietraject te nemen.

Aanpak

De voor het onderzoek benodigde informatie is zoveel mogelijk ontleend aan bestaande, recente publicaties (veelal technische rapporten, richtlijnen en

standaarden) van de relevante (inter)nationale partijen, waaronder onder meer IGU, Marcogaz, EASEE-Gas, DNV-GL, DVGW, Kiwa Technology, Kiwa UK, CEN (met name CEN/TC234 en CEN/TC109), ISO (met name ISO/TC193), het Normalisatieplatform Waterstof in de Industriële en Gebouwde Omgeving), consortia en onderzoeksprogramma's (EDGaR, HIPS-NET, NATURALHY). Zie hiervoor de lijst van referenties.

Op basis van de aldus gestructureerde informatie is voor elk van de drie scenario's:

- een overzicht gegeven van de transitiekosten naar de diverse eindsituaties (met betrekking tot gassoort en maximum percentage H₂), als functie van de gekozen transitietijd;
- aangegeven, welke positieve effecten (in termen van kansen, nut en noodzaak) bijmenging van waterstof heeft ten opzichte van de huidige situatie;
- aangegeven, welke nadelige effecten (in termen van kosten, inspanningen en risico's) bijmenging van waterstof heeft ten opzichte van de huidige situatie.

2.1 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 bevat de samenvatting van dit rapport.

Hoofdstuk 2 bevat de inleiding, de beschrijving van het speelveld en de onderzoeksdoelstelling.

Hoofdstuk 3 geeft het basisscenario van bijmenging van waterstof in de huidige gasdistributie-infrastructuur. Hierbij is aandacht voor de technische mogelijkheden en uitdagingen, de kosten die hiermee gemoeid zijn, de behaalde milieuwinst en het tijdspad dat bewandeld kan worden.

Hoofdstuk 4 geeft de mogelijkheden weer van bijmenging van waterstof bij groen gas en in hoofdstuk 5 worden de mogelijkheden van bijmenging bij verrijkt biogas geduid. Hoofdstuk 6 beschrijft de mogelijke eindsituatie waarbij 100% waterstof wordt gedistribueerd.

Tenslotte worden in hoofdstuk 7 de onderzoekconclusies samengevat en worden de aanbevelingen gepresenteerd, die uit het onderzoek zijn voortgekomen.

Het onderzoek naar de geschiktheid van componenten en gastoepassingen voor aardgas bijgemengd met waterstof is gebaseerd op een groot aantal onderzoeken. Om deze bronnen goed te duiden, zijn de belangrijkste conclusies uit deze onderzoeken samengevat. Voor de leesbaarheid van het rapport zijn deze samenvattingen opgenomen in een bijlage.

3 Basisscenario aardgasdistributie

3.1 Bijmenging van waterstof bij aardgas

Het onderzoek betreft het gasdistributienet. Vanwege de variatie in het verbruik van gas wordt rekening gehouden met een variatie in het waterstofgehalte over het seizoen, maar ook met een variatie in het waterstofgehalte binnen een dag.

Uitgangssituatie is het huidige aardgasnet. Het eindscenario is 100% waterstof in het gasnet. De vraag is welke discrete stappen technisch mogelijk zijn op weg naar 100% waterstof. Hierbij kunnen op relatief korte termijn al stappen worden gezet in de verduurzaming van de energievoorziening. Daarbij zal ook duidelijk worden, of het geleidelijk en stapsgewijs verhogen van het waterstofgehalte in aardgas een logische route is, of dat er beperkingen zijn aan deze route.

De keuze voor een onderzoek, waarbij uitsluitend het gasdistributienet wordt beschouwd, houdt in, dat de aspecten die samenhangen met het transportnet niet in beschouwing worden genomen. Onderwerpen als grootschalige gasopslag in zoutcavernes, aquifers en lege gasvelden, maar ook grootindustriële gastoepassingen, zoals het gebruik van aardgas als grondstof, komen in deze studie dan ook niet aan de orde. De productiewijzen van waterstof en het proces van het bijmengen van waterstof aan aardgas is ook niet onderzocht.

Wanneer in dit hoofdstuk wordt gesproken over bijmengen tot x vol%, bijvoorbeeld 20 vol%, dan wordt daarmee bedoeld alle variaties tussen 0 en 20 vol% waterstof in aardgas.

3.1.1 Fysische eigenschappen en veiligheid

De relevante fysisch-chemische eigenschappen van mengsels van aardgas en waterstof zijn met relatief eenvoudige formules te berekenen uit de eigenschappen van de twee afzonderlijke componenten. Vaak is dat op basis van de volumeverhouding (dichtheid, calorische waarde), soms betreft het een weging met correctie voor molecuulmassa (viscositeit). Een handig naslagwerk is 'Physical properties of natural gases' van de Nederlandse Gasunie [69]. Waterstof en methaan reageren niet met elkaar. Bij de in de distributie gangbare drukken en temperaturen gedragen ze zich in goede benadering als ideale gassen. Waterstof en methaan gescheiden ingebracht in een vat mengen zich in korte tijd door convectie en diffusie (typisch in minder dan een uur over een afstand van één meter) en ontmengen zich niet.

Hoe hoger het bijmengpercentage waterstof, hoe meer het gedrag van het gasmengsel en daarmee de veiligheidsaspecten zullen veranderen. Denk hierbij aan explosiegrenzen, ontsteekgedrag, stroming door kleine openingen en permeatie. De verwachting is dat deze aspecten in de normering van componenten en in werkinstructies worden afgedekt.

3.2 Milieuwinst

3.2.1 CO₂ reductie

Bij het bepalen van de bijdrage van waterstofbijmenging in de reductie van CO₂ wordt uitgegaan van de aanname dat er duurzaam waterstof wordt bijgemengd. Bij verbranding van waterstof komt geen CO₂ vrij. De verbrandingswaarde van waterstof is lager dan die van aardgas. G-gas heeft een verbrandingswaarde van ongeveer 35 MJ/m³ en die van een kubieke meter waterstof bedraagt 12,7 MJ/m³.

De CO₂-reductie is vermeld in tabel 1. Hieruit blijkt, dat de reductie meer dan evenredig toeneemt bij hogere waterstofgehaltenes.

Tabel 1: CO₂-reductie bij de volledige verbranding van waterstof/aardgas mengsels ten opzichte van aardgasverbranding

Volume % H ₂ in aardgas	% CO ₂ reductie van het aardgasverbruik
0	0
1	0,37
2	0,74
3	1,11
5	1,87
10	3,88
15	6,02
20	8,32
30	13,46
40	19,48
50	26,63
60	35,25
70	45,86
80	59,21
90	76,56
100	100,00

Het aardgasverbruik in Nederland bedroeg in 2018 ongeveer 50 miljard m_n³ met een totale CO₂ uitstoot van 90 miljard kg. Dit is ongeveer 54% van de totale CO₂ uitstoot in Nederland van 167 miljard kg. De verdeling van het aardgasverbruik in Nederland was in 2018 als volgt [56,57]:

- 18% huishoudens
- 18% middelgrote verbruikers
- 45% grootverbruikers
- 19% elektriciteitscentrales

Het bijmengen van 20 vol% waterstof aan het aardgas voor alle huishoudens zou bijvoorbeeld 1,3 miljard kg CO₂-uitstoot besparen en 7,7 miljard kg, indien alle aardgas met 20 vol% wordt bijgemengd.

3.2.2 NO_x reductie

Het is goed mogelijk dat bijmengen van waterstof tot een reductie van de NO_x uitstoot door verbrandingstoestellen leidt. Bij metingen aan CV-toestellen binnen het Ameland-project is in het algemeen een lagere NO_x uitstoot gemeten [7].

Dit betrof nieuwe toestellen, die niet specifiek zijn aangepast voor waterstof maar wel zijn gekozen door de deelnemende fabrikanten.

Het toevoegen van waterstof aan aardgas geeft een hogere adiabatisc vlamtemperatuur. Door de hogere adiabatisc vlamtemperatuur wordt de vorming van NO_x verhoogd. De vergroting van de luchtvermaat zorgt er echter voor, dat de vlamtemperatuur en daarmee de NO_x vorming daalt. De NO_x verlagende invloed bleek bij deze experimenten groter te zijn dan de NO_x verhogende invloed.

Door technische maatregelen te nemen, zoals interne rookgasrecirculatie, kan de NO_x emissie van CV-toestellen, die branden op aardgas met hoge waterstofpercentages, gelijk blijven aan die van de huidige aardgasgestookte toestellen.

3.2.3 CO-emissies

100 vol% waterstof distributie zal bij toepassing geen CO₂ emissie geven. Een ander belangrijk voordeel is dat door de afwezigheid van koolwaterstoffen ook geen CO-emissie optreedt.

Voor waterstof/aardgas mengsels zal er wel CO-emissie optreden, vanwege de aanwezigheid van koolwaterstoffen in het gasmengsel. Maar er blijkt er een gunstig effect te zijn op de CO-uitstoot van CV-ketels. Uit de metingen op Ameland aan 10 en

20 vol% waterstof blijkt, dat de CO-emissie daalt. De verklaring hiervoor wordt gezocht, naast het effect van een afnemende C/H verhouding, in het aanwezig zijn van meer waterdamp in de rookgassen door toevoeging van waterstof. Deze waterdamp zorgt voor een hogere concentratie aan OH radicalen, die met CO reageren tot CO₂ [7].

De gemeten toestellen voldeden voor zowel aardgas als aardgas bijgemengd met waterstof ruimschoots aan de keuringseis voor Schonere Verbranding.

3.3 Overzicht van onderzoek en studies

Vanaf omstreeks 1990 is onderzoek gedaan naar de effecten van het bijmengen van waterstof bij aardgas. In 1999 heeft het toenmalige Gastec Technology (nu Kiwa Technology) onderzoek gedaan naar de invloed van bijmenging van waterstof op de gasdistributie-infrastructuur en op gasverbruikstoestellen [1,2]. Dit betrof drie kookbranders (hiervan één met een keramische gas kookplaat) en zes CV-toestellen (vijf modulerend en één aan/uit toestel). Hierbij zijn geen significante belemmeringen gevonden voor het bijmengen van waterstof tot een gehalte van 15 vol % voor de gasinfrastructuur. Voor de onderzochte gastoeepassingen wordt een bovengrens van 17 vol% waterstof aangegeven.

Daarnaast zijn veel beschouwingen over de mogelijke transitie van aardgas naar waterstof gedaan. Veel van deze beschouwingen maken gebruik van dezelfde bronnen. In deze paragraaf worden de meest relevante bronnen vanaf 2005 samengevat en geïnterpreteerd.

De meeste onderzoeken hebben betrekking op H-gas. In paragraaf 3.4.1 zullen de resultaten naar de Nederlandse situatie vertaald worden. De onderzoeken zijn samengevat in Bijlage I.

3.3.1 Informatie per toepassing of component

3.3.1.1 Rijden op CNG

Oude opslagtanks materiaaltechnisch

2 vol% H₂ is het maximaal toelaatbare gehalte voor stalen tanks van het CNG1 type [8]. Bestaande CNG-voertuigen zijn hierdoor een probleem, want hun verwachte levensduur is 20 jaar. De combinatie van CO₂ en H₂ in een stalen voertuigtank bij een vuldruk van 200 bar kan tot versnelde scheurgroei leiden, want CO₂ heeft een versnellend effect op scheurgroei door H₂. De aanwezigheid van H₂S heeft ook een versnellend effect [36].

Het kenmerkend fenomeen is dat hierbij door de combinatie van materiaalkwaliteit en de hoge waterstofdruk van 350 of 700 bar, scheuren ontstaan. De scheur ontstaat doordat H₂ via atomair waterstof in het materiaal dringt. De hoge druk kan ervoor zorgen dat atomair waterstof uit waterstofgas (H₂) ontstaat. In het distributienet is de materiaalsoort (staal 235 of vergelijkbaar) hier ontvankelijk voor maar ontbreekt deze hoge druk en is de maximale druk van 8 bar bij lange na niet voldoende om atomair waterstof te vormen. Hierdoor zal aantasting door waterstofbrosheid niet voorkomen. Daarnaast is bij het mengen van waterstof bij aardgas, sprake van een lagere partiaaldruk aan waterstof.

Nieuwe opslagtanks materiaaltechnisch

Er is een onderzoek gaande van Erdgasmobil / ERG naar het falen van stalen tanks onder gelijktijdige variatie van de tankdruk en aanwezigheid van waterstof in het aardgas. Permeatie van waterstof of aardgas door de tankwand vormt geen probleem. Waterstofbrosheid van afdichtingen kan wel een probleem geven. Het is onbekend welke materialen voor de tanks in het veld gebruikt zijn, waardoor 100% zekerheid niet te geven is.

Volgens een position paper van ISO/TC22/SC25/WG5 is de tolerantie van moderne opslagtanks voor waterstof 20 vol%, in tegenstelling tot 2 vol% voor oude stalen tanks, type I tanks (zie ook ref. 51).

In de HIPPS studie [8] wordt gemeld dat hooggelegeerd staal met een treksterkte van meer dan 950 MPa, beperkt is tot 2 vol% waterstof. Staal 34CrMo4 wordt gebruikt voor CNG tanks en zou geschikt moeten zijn voor hoge gehalten tot wel 100% waterstof wanneer de treksterkte lager is dan 950 MPa, aangezien dit materiaal ook wordt gebruikt voor waterstof tubetrailers. Echter veel CNG tanks worden uitgevoerd met materiaal met een hoge treksterkte omdat de wand dan dunner kan worden uitgevoerd. In de studie wordt gewaarschuwd dat er wel een inspectie op defecten in de wand moet worden uitgevoerd en dat de lektheid van afdichtingen (zowel metallisch als polymere materialen) getest moet worden.

In een beschouwing onderschrijven Keller et al.[74] de conclusies uit HIPPS voor alle metallische tanks en tanks omwikkeld met composiet (hoop wrapped). Voor type 3 tanks (metalen liner volledig omhuld met composietmateriaal) en type 4 tanks (plastic liner volledig omhuld met composietmateriaal) stelt Keller dat beide typen geschikt zijn voor alle samenstellingen.

Dit komt er op neer dat voor stalen tanks altijd een check op materiaalkeuze en een inspectie van de tank nodig is vanaf 2 vol% waterstof en dat voor type 3 en 4 tanks geen beperkingen gelden.

Motorafstelling:

Voor wat betreft de motoren (WKK-gasmotoren en gasmotoren voor tractie), is er tot 20 vol% waterstof geen wezenlijke teruggang in prestatie te verwachten [51]. Een groot aandeel hogere koolwaterstoffen in het basis(aard)gas leidt echter wel tot een verhoogde kans op problemen vanaf 10 vol% [51].

Wel zal een andere afstelling van de motoren nodig zijn. De tolerantie is afhankelijk van het type regeling en het methaangetal van het aardgas.

Stationaire gasmotoren hebben een laag specifiek vermogen en daarmee een lage belasting voor de gebruikte materialen, waarmee een lange levensduur is gegarandeerd. Daarnaast is de samenstelling van aardgas in het distributienet constant en is methaan een zeer stabiel molecuul met een hoge ontstekingsenergie. Deze combinatie van factoren zorgt ervoor dat klopp in stationaire gasmotoren niet vaak voorkomt. De motoren kunnen hierdoor draaien met een vast ingesteld ontstekingstijdstip.

Waterstof verlaagt het methaangetal van het gas waardoor:

- het rendement van de motor kan afnemen en
- de kans op klopp toeneemt.

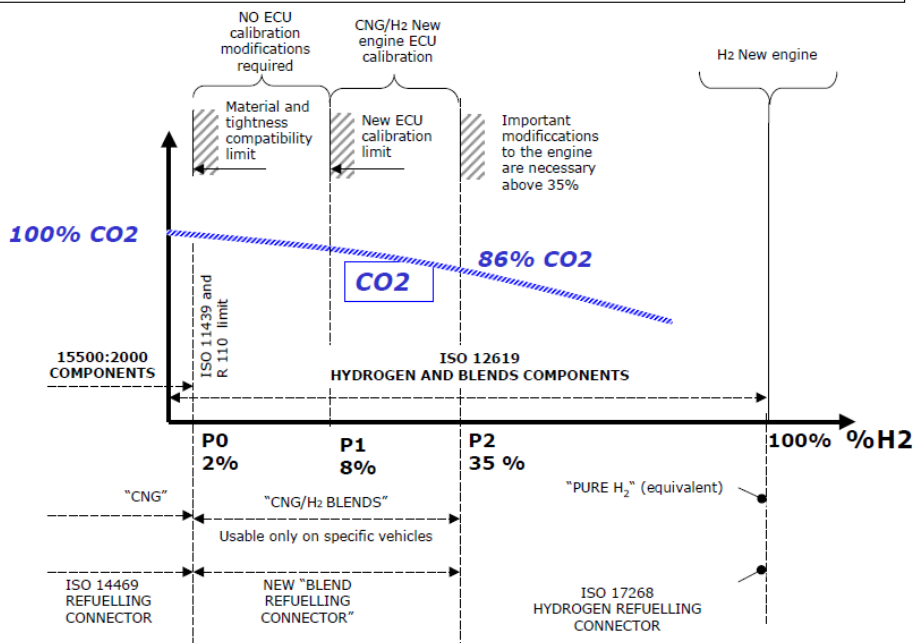
Bovendien is niet altijd duidelijk hoeveel waterstof in het gas aanwezig is gedurende de tijd. Waarschijnlijk is er in de zomer meer waterstof in het gas dan in de winter, maar over de dag kunnen ook variaties voorkomen.

Een oplossing voor beide negatieve effecten is variatie van het ontstekingstijdstip van de motor. Het ontstekingstijdstip is nu een vaste instelling. Om het ontstekingstijdstip te corrigeren voor trage variaties van het waterstofgehalte kan het motorrendement als ingangssignaal dienen [75]. Daarvoor moet het gasverbruik en de elektriciteitsproductie worden teruggekoppeld naar de regeling van het ontstekingstijdstip.

Zijn er snellere variaties in het waterstofgehalte, dan kan een anti-kloppregeling die gebaseerd is op trillingsmeting [76] in de motor ervoor zorgen dat het tijdstip van de ontsteking snel wordt aangepast. Dergelijke anti-kloppregelingen worden nu al toegepast in hoogbelaste motoren.

Het is logisch dat een ultrasone of thermische gasmeter, die momentaan het waterstofgehalte van het gas kan meten, ook een nieuw en waardevol ingangssignaal genereert voor de afstelling van de ontsteking.

Vanaf 35 vol% waterstof zal een geheel nieuw motormanagementsysteem nodig zijn.



Figuur 3: Schema uit het position paper van ISO/TC22/SC25/WG5

Dit zou betekenen dat 8 vol% waterstofbijmenging voor CNG-voertuigen nu al mogelijk is, mits geen type 1 stalen opslagtank wordt gebruikt. Gasmotoren functioneren optimaal bij een stabiele gaskwaliteit. Sterke variaties in het waterstofgehalte verlagen het rendement van de motor.

3.3.1.2 Gashoeveelheidmeters

Indien een gasmeter een mengsel van waterstof en aardgas moet bemeten, zijn er behalve de voor de hand liggende verandering van de energie-inhoud per volume, nog andere gaseigenschappen die het meetresultaten en werking van de meter kunnen beïnvloeden.

We onderscheiden bij *kleinverbruik* balgengasmeters, ultrasone meters en thermische meters. De balgengasmeter meet het volume van het gas. De ultrasone meter registreert de akoestische eigenschappen van het gas, te weten de geluidssnelheid en de geluidsdemping. De thermische meter meet de thermische eigenschappen, namelijk de warmtecapaciteit en de thermische geleidbaarheid. Een balgengasmeter geeft geen informatie over de samenstelling van het gas. Thermische en ultrasone meters kunnen dat in principe wel, want zowel voor de akoestische als de thermische eigenschappen is er een groot verschil tussen waterstof en methaan (en andere gassen die in aardgas aanwezig kunnen zijn). De frequentie waarmee ultrasone en thermische meters de gaseigenschappen bemonsteren is meer dan éénmaal per 10 seconden. Hierdoor kunnen ze snelle variaties in de gaskwaliteit registreren. Voor alle typen volumegasmeters geldt, dat er geen nadelige effecten op de metrologische kwaliteit zijn als er tot 10 vol% waterstof in aardgas wordt bijgemengd [3, 8, 15, 28, 51]. In een Marcogaz publicatie [26] wordt over een geringe invloed gesproken. Deze uitspraak geldt echter niet voor het lange termijn gedrag van de gebruikte materialen. Men verwacht weliswaar tot 10 vol% geen effect, maar men heeft er ook geen ervaring mee. Alleen langeduur proeven kunnen voldoende zekerheid verschaffen [52]. Maar kunnen we van slimme meters nog de gebruikelijke levensduur verwachten?

De uitrol van slimme gasmeters heeft geleid tot een nieuwe beschouwing van de levensduur van dit type gasmeter. Die zou wel eens korter kunnen zijn dan tot nu toe is aangenomen door de beperkte capaciteit van de batterij, het verouderen van communicatieprotocollen en de benodigde bescherming van de privacygevoelige

gegevens. In België heeft men de levensduur van slimme meters onlangs gelijkgesteld aan 15 jaar (Marcogaz Working Group Gas Measurement). Eén van de redenen hiervoor is, dat de levensduur van de batterij 15 jaar is en dat vervanging van de meter dan de beste optie is.

In Nederland wordt een technische levensduur van de gasmeter door de netbeheerder aan de meterleverancier opgelegd. Een veel voorkomende eis is 20 jaar. Het kan vóórkomen dat één batterij hiervoor onvoldoende is en dat er twee batterijen parallel in de meter worden geplaatst. De verwachte levensduur van de batterijen is dan substantieel langer dan de eis.

Het streven is om de meter zo lang mogelijk in het net te laten verblijven. Hiervoor wordt elke vijf jaar een steekproefsgewijze metrologische controle uitgevoerd. Marcogaz en Farecogaz meldde in 2018, dat vanaf 10 vol% waterstof in aardgas de gaseigenschappen veranderen, waardoor aan een juiste hoeveelheidsmeting wordt getwijfeld. Zij stellen dat meer onderzoek nodig is naar dit effect. Ultrasonische meters hebben als voordeel ten opzichte van balgengasmeters dat deze alleen opnieuw gekalibreerd moeten worden in geval van waterstofbijmenging. Echter, bij bestaande ultrasonische gasmeters voor kleinverbruik is herkalibratie niet mogelijk [26]. Het is daarom noodzakelijk om bij nieuwe ultrasonische meters voor kleinverbruik de aanwezigheid van waterstof vooraf in de eisen voor de meter op te nemen. Franse netbeheerders hebben vastgesteld, dat bijmenging tot 20 vol% waterstof in aardgas een afwijking in de gasmeting tot gevolg kan hebben, die net buiten de toelaatbare miswijzing volgens de MID valt [35]. Dit moet nog wel geverifieerd worden met voor waterstof herleidbare kalibratieopstellingen. Deze opstellingen zijn echter nu nog niet beschikbaar. Er is daarom in het kader van EMPIR door Euramet in 2019 een driejarig onderzoekproject gestart genaamd "NewGasMet", waarin wordt onderzocht hoe gasmeters, die een gas meten dat waterstof bevat, binnen de eisen van de MID kunnen functioneren. Er wordt verwacht dat de projectresultaten duidelijkheid gaan geven over de wijze van het kalibreren en controleren van meters. Het is verstandig dat bij plannen voor waterstofbijmenging al op voorhand kalibraties bij verschillende percentages waterstof uit te voeren.

Bij *grootverbruikers* wordt de gashoeveelheid gemeten met rotormeters en turbinemeters. Ook voor grootverbruikers heeft Marcogaz aangegeven dat de invloed nihil is voor bijmenggehalten tot 10 vol% [26].

De onderdelen in deze meters waarmee de hoeveelheid wordt gemeten draaien in één richting op een gelagerde as. Ze worden in beweging gehouden door de impuls van de gasstroom. Bij oplopende waterstofgehalten boven de 10 vol% resulteren de eigenschappen van waterstof in afwijkingen op de gashoeveelheidsmetingen. Hoewel waterstof driemaal sneller dan aardgas moet stromen om dezelfde hoeveelheid energie te transporteren zal de impuls lager zijn, want waterstof is acht maal lichter dan methaan. Wegens de lagere impuls zullen rotormeters en turbinemeters trager reageren op variaties in de gassnelheid. Tussen de bewegende delen en het meterhuis zit altijd een spleet. De spleetverliezen zullen toenemen want de viscositeit van waterstof is iets lager dan van methaan. De meters gaan hierdoor negatiever aanwijzen. Dit is ter verhelpen door de meters bij hogere waterstofgehalten te kalibreren voor waterstof.

3.3.1.3 *Gaskwaliteit en gedrag van gastoeepassingen*

Voor de nieuwe gassen zijn nog geen gasfamilies en testgassen gedefinieerd. Van verschillende zijden wordt gesteld, dat de families en testgassen beschikbaar moeten zijn om producten te kunnen ontwikkelen. Dit is het geval voor toestellen [43] en ook voor gasmeters (discussie in CEN TC 237 Gas Meters). Om waterstof te kunnen bijmengen zou de keuring van nieuwe toestellen voor de Nederlandse markt op korte termijn moeten worden uitgebreid met waterstofhoudend aardgas.

Voor waterstof distributie en de distributie van verrijkt biogas zullen nieuwe keuringsgassen en gasfamilies moeten worden gedefinieerd. In het Verenigd

Koninkrijk is een norm in ontwikkeling, die de kwaliteit van waterstofgas voor distributie vastlegt.

Tijdens de Ameland-proeven waarbij gedurende drie jaar is beproefd, bleek dat door de fabrikanten geselecteerde CV-toestellen en kooktoestellen functioneren op 20 vol% waterstof, ondanks dat dit een overschrijding betekent van de wettelijk toegestane Wobbe-grens en de toestellen hier ook niet voor gecertificeerd waren [7]. Het gedrag van gasfornuizen en sfeerhaarden bij gebruik van aardgas-waterstofmengsels is voor zover bekend nog niet eerder onderzocht. In het algemeen kan gesteld worden dat arm voorgemengde gastoevoeringen zoals CV-toestellen technisch beter geschikt zijn voor waterstofhoudende gassen dan rijk voorgemengde gastoevoeringen zoals kookbranders en geisers. Dit laat onverlet dat alleen gastoevoeringen geschikt zijn, die een geschiktheidsverklaring van de fabrikant hebben.

Effect van de adiabatiese vlamtemperatuur

De adiabatiese vlamtemperatuur van waterstof is ongeveer 300 K hoger dan die van methaan. Afhankelijk van de instelling van het toestel, of de regeling van de verbranding in het toestel, verandert de temperatuur van de vlam wanneer waterstof wordt bijgemengd. Als er meer lucht wordt bijgemengd daalt de vlamtemperatuur, wordt er minder lucht bijgemengd dan stijgt de vlamtemperatuur. Dit komt voornamelijk door de koelende werking van stikstof in de lucht en in mindere mate van zuurstof.

Waterstof heeft een lagere luchtbehoefte dan methaan, bijna viermaal minder. Het effect van bijmengen van waterstof is weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 2: effecten van waterstofbijmenging op de vlamtemperatuur afhankelijk van het type regeling

Type regeling	Effect van waterstof in aardgas	Variatie in vlamtemperatuur	Toestel/toepassing
Vaste verhouding van de gas- en luchthoeveelheid	Relatief meer lucht	Dalend	Industrie
Geen regeling aanwezig	Relatief meer gas, maar met lagere luchtbehoefte	Dalend	Kookbranders
Constant CO ₂ percentage in de rookgassen	Relatief meer lucht	Dalend	
Constant O ₂ percentage in de rookgassen	Relatief meer gas	Stijgend	
Minimale NO _x in de rookgassen	Minder toegevoerd gas	Blijft gelijk	Gasmotoren
Vast CO gehalte in de rookgassen	Relatief meer gas	Stijgend	

Praktische implicatie ten aanzien van productverantwoordelijkheid

Om toestellen op waterstof of op aardgas/waterstof-mengsels te laten functioneren, is het allereerst noodzakelijk dat de desbetreffende fabrikant de veilige werking kan garanderen. Onderdeel hiervan is, dat de fabrikant een typekeuring laat uitvoeren voor zijn toestel.

Een recente ontwikkeling is, dat fabrikanten aanvullende testen hebben laten uitvoeren bij de typekeuring van een toestel. Eén van de eisen in de EN 15502 norm in het kader van het doelmatig gebruik van gastoestellen is, dat de belasting van het toestel onder testcondities niet meer dan 5% mag afwijken van de nominale belasting. Bij iets meer dan 20 vol% waterstofbijmenging aan G-gas, wordt deze grens overschreden.

Na het uitvoeren van deze aanvullende typekeuring met een verhoogd waterstofgehalte, kan de fabrikant besluiten om zijn toestel aan te bieden als geschikt voor 20 vol% waterstofbijmenging.

Anno februari 2020 is een aantal toestellen door fabrikanten geschikt verklaard voor 20 vol% bijmenging. Voor Remeha betreft dit de toesteltypen Tzerra, Calenta en Avanta.

ATAG heeft een CV-ketel (type i28CZ-H) die door de toepassing van een restrictor door ATAG zelfs geschikt is verklaard voor 30 vol% waterstof.

Intergas zegt dat haar Xtreme HR ketel op het punt staat om geschikt verklaard te worden voor 20 vol% waterstof.

Bosch Nefit heeft een "Hydrogen ready" toestel ontwikkeld, dat geschikt is voor 100 vol% aardgas en dat met een extra investering van € 200,- in een uur kan worden omgebouwd naar gebruik voor 100 vol% waterstof. Het toestel zou €100,- meer kosten dan een standaard CV-ketel [67]. Dit toestel is gekeurd in de UK en zal onder ander in Leeds ingezet kunnen worden, waar 1.000 woningen volgens plan in 2021 van 100 vol% waterstof worden voorzien [55].

Remeha heeft een prototype van een 100 vol% waterstoftoestel beschikbaar en ATAG zegt dat zij in 2021 een 100 vol% waterstofketel heeft, die ingezet kan worden in proefprojecten.

De toestellen die Remeha geschikt heeft verklaard, zijn met terugwerkende kracht geschikt verklaard voor typen vanaf een bepaalde productiedatum. Dit wil zeggen dat een deel van het CV-toestelpark in Nederland hiermee al een verklaring van de fabrikant heeft voor een geschiktheid voor 20 vol% waterstofbijmenging.

3.3.1.4 *Gasdrukreginstallaties en componenten*

De normeringswerkgroep TC234 WG6 heeft voor Marcogaz het advies met betrekking tot gasdrukreginstallaties opgesteld. Omdat er op voorhand geen volledige zekerheid is over de veiligheid en probleemloze werking, zal de goede werking bij waterstofmengsels onderzocht moeten worden. Mogelijk moeten ventilatievoorzieningen aangepast worden en leveranciers van componenten zoals regelaars en afsluiters moeten garanderen dat hun producten waterstofbestendig zijn bij de toegepaste druk.

In het Ameland project is geconstateerd dat de drie onderzochte typen huisdrukregelaars tot 20 vol% probleemloos kunnen functioneren [7].

In een Marcogaz-studie wordt een beperking van 10 vol% voor waterstofbijmenging voor de componenten in een gasdrukregelstation genoemd, waarbij het mogelijk is om tot 40 vol% bij te mengen na het doen van aanpassingen [45].

Afsluiters kunnen tot 10 vol% waterstof goed functioneren en zijn na inspectie en of aanpassing tot 60 vol% geschikt [45].

3.3.1.5 *Proceschromatografen*

Bij toenemende gehalten aan waterstof gaat de warmtegeleiding van het gas afwijken. Tot 5 vol% kan met het gebruikelijke dragergas helium worden volstaan. Daarboven is een ander dragergas noodzakelijk, bijvoorbeeld argon. DVGW noemt 30% als grens voor argon [3]. Tevens zal de samenstelling van de te gebruiken kalibratiegassen moeten worden aangepast.

De huidige proceschromatografen zoals bij GTS in gebruik, zijn niet geschikt om waterstof te meten aangezien de huidige apparatuur niet is voorzien van een zogenaamde waterstofkolom om waterstof te meten. Indien waterstof ingevoerd gaat worden in het aardgasnet dan dienen de huidige proceschromatografen aangepast en/of vervangen te worden.

3.3.1.6 *Gasdetectie en odorisatie*

Onder gasdetectie wordt hier verstaan de lekdetectie van leidingen en apparatuur voor persoonlijke bescherming.

De apparatuur zal opnieuw gekalibreerd moeten worden vanwege de aanwezigheid van waterstof. Het gehalte aan methaan, dat wordt gemeten, zal bij bijmenging afnemen, waardoor een vertraagd alarm wordt aangegeven voor het bereiken van de onderste explosiegrens [8]. Een oplossing is om de apparatuur te kalibreren gebaseerd op het hoogste te verwachten percentage waterstof. Aanname van Kiwa Technology is dat boven 50% waterstofapparatuur op basis van waterstofdetectie nodig is. Boven dit gehalte zal ook onderzocht moeten worden of het huidige odorant THT nog geschikt is i.v.m. de juiste functie van het odorant (waarneembaar, onderscheidend en penetrant in geval van een gaslek). Zo niet, dan zal of een nieuw odorant gekozen moeten worden of mogelijk kan de functie van het odorant door detectieapparatuur worden overgenomen.

3.4 **Conclusies onderzoeken**

De bevindingen uit paragraaf 3.3 leiden tot onderstaande tabel 3, waarin de technische mogelijkheden voor waterstofbijmenging bij aardgas voor de componenten van het gasdistributienet zijn opgenomen.

Voor gasturbines werd in 2013 geadviseerd om het waterstofgehalte met niet meer dan 2 vol% per minuut te variëren. Het is de vraag of gasturbines voorkomen in het gasdistributienet, omdat deze op hoge druk worden bedreven en daarom bij voorkeur op het gastransportnet van GTS zijn aangesloten.

Een gaschromatograaf (GC), die gebruikt wordt om de samenstelling van het gas te meten voor de bewaking van de gaskwaliteit en ook voor de toerekening van de calorische waarde aan de aangeslotenen en de afrekening, moet voorzien zijn van een kolom en detector die waterstof kan meten. Het is ook mogelijk om een ander meetinstrument te gebruiken, waarvan de meetnauwkeurigheid en -onzekerheid voldoet aan de meetcode gas RNB. Veel van de huidige GC's die nu gebruikt worden voor meting van de gaskwaliteit, hebben geen kolom om waterstof te meten.

Indien waterstof wordt bijgemengd in het gasdistributienet, zal op een aantal punten de regelgeving moeten worden aangepast. Op dit moment is het mogelijk om slechts 0,5 vol% waterstof in het aardgasnet bij te mengen, volgens de Ministeriële Regeling Gaskwaliteit. De mogelijkheid hiervoor zal verruimd moeten worden.

De huidige grenzen van de Wobbe-index van 43,46 en 44,41 MJ/ m³ geven een beperkte mogelijkheid om waterstof bij te mengen. Vanaf de maximale waarde van de Wobbe-index is het mogelijk om tot ten hoogste ongeveer 10 vol% waterstof bij te mengen om nog binnen de Wobbe-band te blijven. De landelijke netbeheerder GTS zal enige bandbreedte nodig hebben voor de regeling van de Wobbe-index. Dit betekent, dat waterstofbijmenging tot wat hogere bijmenggehalten - van 8 vol% of hoger - in de huidige situatie alleen mogelijk is bij een verruiming van de Wobbe-banden binnen de Ministeriële Regeling Gaskwaliteit. Bovenal zullen de leveranciers en fabrikanten van gastoestellen een verklaring voor de geschiktheid van hun fabricaat voor het gebruik van een opgegeven percentage waterstof moeten geven. Naast de Ministeriële Regeling Gaskwaliteit zal nog meer regelgeving, zoals de gascodes en diverse NEN-normen, moeten worden aangepast om meer dan 0,5 vol% waterstof distributie mogelijk te maken.

Onderstaande tabel is daarom uitsluitend geldig onder de voorwaarden van een aangepaste regelgeving.

Tabel 3: Overzicht van technische barrières voor de componentgroepen voor Nederland¹

Component / waterstof%	0,5	1	2	3	8	10	15	20	25	30	35	40	50	100
Proceschromatograaf/ Meetinstrument [3,78]	Green	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	White	White	White	White
Gasturbine ² [45]	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange
Aardgas als grondstof ³ [45]	Green	Green	Green	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White	White
CNG tankstations [8,35]	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	White	White	White	White
Huishoudelijke gastoestellen* [7,45],	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Orange	Orange	Orange	Orange
PBM's en gereedschappen [8]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Orange
Lekzoekapparatuur [8]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Orange
Industriële branders ⁴ [51]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	White
Gasdrukregelstations [45]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	White
Afsluiters [45]	Green	Green	Green	Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	White
Gashoeveelheidsmeters [3,8,15,28,51]	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange
Gasmotor ⁵ [51]	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange
Huisdrukregelaars [7]	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Gasleidingen incl. componenten [6,7]	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Inpandige gasleidingen [6]	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Status	Kleurcode
Kan nu al	Green
Mogelijk bij geschikte keuze apparatuur	Light Green
Modificatie instellingen/typekeuring	Yellow
Gehele vervanging of vervanging kritische componenten	Orange
Onbekend. Nader onderzoek nodig	White

* Bestaande toestellen zijn alleen geschikt voor 3% waterstof als voor deze toestellen veiligheidsaspecten zijn afgedekt bijvoorbeeld door het opstellen van een risicoanalyse.

3.4.1 Vertaling van de onderzoeken naar de Nederlandse situatie

De onderzoeken naar het waterstofgehalte in aardgas geven geen specifiek onderscheid voor de verschillende kwaliteitsbanden. Opvallend is, dat de Nederlandse onderzoeken over de technische grenzen met betrekking tot bijmenging van waterstof aan L-gas geciteerd worden in buitenlandse publicaties, zonder kanttekening over het verschil in de gaskwaliteit.

Het wezenlijk verschil tussen de toepassing van het Nederlandse L-gas en de toepassing van H-gas in het buitenland betreft de wettelijke ruimte, die er is in de Wobbe-band volgens de lokale regelgeving. In Duitsland bijvoorbeeld is de Wobbe-band voor H-gas tussen de 49,0 en 56,5 MJ/m³ met een nominale waarde van 54,0 MJ/m³. Hierbij is "op papier" sprake van een ruimte van 5 MJ/m³ aan de ondergrens

¹ Na aanpassing van de geldende regelgeving

² Afhankelijk van het type regeling en de gassamenstelling

³ Vanaf 2% wordt aangeraden om de waterstof uit het gas te verwijderen

⁴ Geregelde branders tot 5% geschikt en tot 50% met aanpassing

⁵ Afhankelijk van het type regeling en het methaangetal van het aardgas

en 2,5 MJ/m³ aan de bovengrens [58]. Op het eerste oog geeft dit ook veel ruimte voor waterstofbijmenging.

In de praktijk heeft de lokale gaskwaliteit een variatie van +/- 1 MJ/m³ en volgens een onderzoek van DNV-GL leidt een gaskwaliteit buiten deze range van +/- 1 MJ/m³ in de praktijk tot meer storingen, waaronder verhoogde CO-emissies [59]. Volgens een publicatie uit 2012 van het toenmalige E.ON Ruhrgas kan deze brede band wel probleemloos worden gebruikt, indien een goede gas/lucht-verhoudingsregeling is ingesteld, zoals een SCOT elektrode in de gasvlam of een zuurstofsensor in de verbrandingslucht. Een dergelijke regeling heeft een meerprijs van € 200,- voor het toestel, aldus E.ON Ruhrgas [60].

Gas/lucht verhoudingsregelingen worden ook toegepast in toestellen voor de Nederlandse markt door fabrikanten, die nu een bijmenggehalte van 20 vol% garanderen.

Al met al kan geconcludeerd worden, dat de getroffen technische maatregelen meer bepalend zijn voor het technisch haalbare waterstofgehalte dan de aardgaskwaliteit. Resultaten uit onderzoek naar H-gas zijn dan ook bruikbaar voor en te vertalen naar de Nederlandse situatie.

3.5 Transitiepad en technologische ontwikkelingen

Uitgaande van invoeding in het gasnet, waarin G-gas wordt gedistribueerd, kan op grond van de huidige kennis een aantal stappen voor waterstofbijmenging worden onderscheiden. De indeling in een aantal discrete stappen is gebaseerd op de technische barrières, die schematisch zijn weergegeven in tabel 3 (paragraaf 3.4) en waarbij gekozen is voor een beperkt aantal stappen. Dit stappenplan kan gehanteerd worden als een checklist, die aangehouden kan worden indien de vraag voor invoeding van waterstof in een RNB GOS-gebied actueel wordt. Wanneer een beperkt aantal aangesloten problemen ondervindt van een te hoog waterstofgehalte, kan overwogen worden om op het afleverpunt plaatselijk met membranen de waterstof uit het gas te verwijderen (zie Bijlage I, paragraaf 1.2). De kosten hiervan zijn echter hoog.

3.5.1 *Bijmenging tot 1 vol% waterstof*

Naast het aanpassen van de regelgeving, waarbij de maximaal toegestane hoeveelheid van 0,5 vol% waterstof moet worden aangepast tot 1 vol% waterstof, zijn er verder geen belemmeringen. Alle gastoepassingen zijn hiervoor geschikt. Bij variabele waterstof gehalten zal een verrekeningssysteem moeten worden opgezet, zodat de consument op de juiste geleverde kwaliteit wordt afgerekend. De toestelfabrikant zal voor elk waterstofgehalte vanaf 0,5 vol% een verklaring van geschiktheid voor dat waterstofpercentage moeten afgeven. Volgens de huidige wetgeving is 0,5% namelijk het maximale waterstofgehalte in aardgas.

Bij levering van waterstof uit het gastransportnet zal GTS de huidige gaschromatografen moeten vervangen of aanpassen, omdat deze geen waterstofkolom hebben.

Voor elk bijmengpercentage geldt dat de huidige smalle Wobbe-band een beperkte ruimte biedt voor bijmenging. De Wobbe-index zal hierop gecontroleerd moeten worden.

De normen voor componenten en werkinstructies zullen vanaf 1 vol% waterstof aangepast worden naar inzicht van experts.

Er zal een check op het gebruik van aardgas als feedstock in het verzorgingsgebied gedaan moeten worden.

3.5.2 *Bijmenging tot 2 vol%*

Bij het aansluiten van een netdeel zal nagegaan moeten worden of de aangesloten een gasturbine als toepassing hebben. In dat geval zal een inspectie op het type gasturbine moeten plaatsvinden om na te gaan of deze geschikt is, en zo niet, of aanpassing mogelijk is. In een RNB GOS-gebied zijn geen tot weinig gasturbines aangesloten. Deze zijn generiek op het landelijk gasnet van GTS aangesloten.

3.5.3 Bijmenging tot 3 vol%

In het geval dat aardgas als grondstof wordt gebruikt, moet overlegd worden met de aangeslotene. De kans dat in een GOS-gebied aardgas als grondstof wordt gebruikt is niet groot. Aanvullend op de eerdergenoemde maatregelen zal nagegaan moeten worden of een CNG-tankstation tot de aangeslotenen behoort. In dat geval zal nagegaan moeten worden in hoeverre de oude type 1 tanks met een tolerantie van maximaal 2 vol% waterstof, nog in gebruik zijn. Dit geldt ook voor de tanks in voertuigen. Mogelijk zijn deze al uitgefaseerd. Dezelfde check moet uitgevoerd worden bij aangeslotenen met een thuintankinstallatie.

Bijmengen van waterstof bij aardgas lijkt technisch mogelijk voor de meeste toepassingen tot 3 vol%. Hierbij moet aangemerkt worden dat de meeste bestaande toestellen, niet voor dit gehalte zijn gekeurd. Voor deze toestellen zullen veiligheidsaspecten moeten worden afgedekt, bijvoorbeeld door het opstellen van een risicoanalyse. Daarnaast voorziet de huidige regelgeving niet in hogere percentages dan 0,5 vol% en deze zal dus op 3 vol% moeten worden aangepast.

3.5.4 Bijmenging tot 8 vol%

Het is goed om het minimale methaangetal van het gasmengsel vast te stellen en na te gaan of dit strookt met de minimum specificaties van de aangeslotenen met een gasturbine en of een gasmotor. Dit geldt ook voor elke volgende stap waarbij een hoger waterstofgehalte wordt gedistribueerd.

Om de werking van de gastoestellen te garanderen moet nagegaan worden of de grenzen van de Wobbe-index niet overschreden worden en of er een verklaring van de toestelfabrikant is voor de geschiktheid tot 8 vol% waterstof.

Aanvullend op de eerdergenoemde maatregelen zal nagegaan moeten worden bij aangeslotenen met een CNG-tankstation dan wel een thuintankinstallatie, of de voertuigmotoren kunnen functioneren op dit mengsel. Dit is het geval voor nieuwe voertuigen met een ECU (Engine Control Unit) kalibratie.

Voor de gaskwaliteitsbepaling zal het dragergas argon gebruikt moeten worden in combinatie met een gevalideerde bepalingsmethode.

3.5.5 Bijmenging tot 10 vol%

Vanaf 10 vol% waterstofbijmenging wordt het risico op het niet goed functioneren van gasmotoren groot, vanwege de verdere afname van het methaangetal.

Aanvullend op de eerdergenoemde maatregelen zullen persoonlijke beschermingsmiddelen en gereedschappen getest moeten worden op geschiktheid. Het accent ligt hier op gaslekdetectie. Bij meten van het methaangehalte zal de nauwkeurigheid afnemen omdat er ook minder methaan in het menggas zit. Hiermee moet rekening worden bij de meting en het meetprincipe.

Ook moeten industriële branders bij de aangeslotenen gecontroleerd worden op geschiktheid voor dit gehalte en mogelijk omgebouwd worden tot een toepassing met een gas/lucht-verhoudingsregeling.

3.5.6 Bijmenging tot 20 vol%

Aanvullend op de eerdergenoemde maatregelen zal een controle op de werking van de afsluiters en gasdrukregelininstallaties moeten plaatsvinden, vanwege de mogelijk toegenomen stromingssnelheid.

Met afsluiters worden hoofdafsluiters, veiligheidsafsluiters, gasgebrekafsluiters en excess flow valves (EFV) bedoeld.

Over het gebruik van specifieke smeermiddelen voor waterstoftoepassingen is niets bekend. De Amerikaanse norm ASME B31.12-2014 Hydrogen piping and pipelines, vermeldt hier niets over [70]. Dit zal nog gecheckt moeten worden. Wel is het fenomeen van "oil carry-over" bekend bij waterstoftoepassingen. Voor toepassingen waarbij men zeer zuivere waterstof nodig heeft, wil men verontreiniging via de doorslag van olie voorkomen. Compressoren voor dergelijke systemen zijn daarom vrij van smeermiddelen (non lubricated) [71].

De normeringswerkgroep TC234 WG6 heeft het advies met betrekking tot gasdrukregelininstallaties opgesteld. Omdat er op voorhand geen volledige zekerheid is

over de veiligheid en probleemloze werking, zal de goede werking bij waterstofmengsels onderzocht moeten worden. Mogelijk moeten ventilatievoorzieningen aangepast worden en leveranciers van componenten zoals regelaars en afsluiters moeten garanderen dat hun producten waterstofbestendig zijn bij de toegepaste druk

De CV-ketels bij de aangeslotenen moeten geschikt zijn, dat wil zeggen dat ze in de regel zijn aangeschaft na 1 januari 2017 en een verklaring van de fabrikant hebben voor een geschiktheid tot 20 vol% waterstof. Recent heeft een aantal toesteltypen deze verklaring gekregen, nadat deze getest zijn op de toevoeging van waterstof. Dit zijn gedeeltelijk al bestaande toestellen die de laatste jaren zijn verkocht in Nederland. Dit wil zeggen dat al een aanzienlijk aantal moderne CV-toestellen geschikt is of in de toekomst geschikt verklaard kan worden.

Kooktoestellen zullen ook een verklaring van de fabrikant moeten hebben, waarmee de geschiktheid voor 20 vol% waterstof wordt verklaard.

Een inspectie van het aanwezige toestellenpark bij de aangeslotenen is noodzakelijk, waarbij een deel van de toestellen opnieuw ingesteld of vervangen moet worden. Vanaf 10% waterstofbijmenging zullen de meeste gasmeters mogelijk vervangen moeten worden. Hierover is nu nog geen zekerheid.

3.5.7 *Bijmenging met gehalten vanaf 20 vol%*

Voor CV-ketels geldt, dat deze een verklaring van de fabrikant moeten hebben voor geschiktheid voor hogere waterstofgehaltenes.

Er is nu een type ATAG CV-toestel, waarvan de fabrikant de veilige en doelmatige werking van 0 tot 30 vol% waterstof garandeert. Het geleverde vermogen mag met niet meer dan 5% dalen in het werkingsgebied. Deze doelmatigheidseis in de keuringseisen kan alleen gehaald worden door adaptieve regelingen, zoals een restrictor, in te bouwen. Dit betekent, dat fabrikanten hiervoor nieuwe toestellen zullen moeten ontwikkelen.

Naast het halen van de doelmatigheidseis gelden er andere uitdagingen. Het meten van de ionisatiestroom zal vanaf 50 vol% waterstof problemen kunnen geven. Het signaleren van de aanwezigheid van een vlam zal dan op een andere wijze moeten gebeuren.

Op korte termijn is het niet te verwachten dat er ketels op de markt komen die een percentage waterstof van meer dan 30 vol% aankunnen en eveneens op 100% aardgas kunnen functioneren zonder aanpassingen door een installateur.

Ook het effect van de verhoging van de adiabatische vlamtemperatuur op de branderdektemperatuur zal opgelost moeten worden (zie paragraaf 3.3.1.3).

Daarnaast is het adaptief regelen tussen 0 en X vol% waterstof een uitdaging.

Vooralsnog lijken er geen beperkingen te zijn in de snelheid van de variatie van het gehalte aan waterstof voor CV-toestellen.

De verwachting is, dat het technisch mogelijk is om een ketel te ontwikkelen die hogere en wisselende percentages waterstof aan kan. Dit zal naar verwachting tot hogere prijzen leiden. Voor een dergelijk type toestel zullen nieuwe normen moeten worden opgesteld, waarna de fabrikanten hun nieuwe toesteltypen aan een keuring zullen moeten onderwerpen teneinde een verklaring van geschiktheid te kunnen overleggen. Fabrikanten zullen een dergelijk type toestel uitsluitend ontwikkelen, indien zij daar een markt voor zien.

Voor kooktoestellen is het lastiger om hogere gehalten waterstof bij te mengen, omdat de gas/lucht-verhoudingsregeling simpeler is. In het Ameland project bleek, dat een kookplaat bij 30 vol% waterstof te veel koolmonoxide uitstootte.

3.5.8 *Innovaties en ontwikkelingen*

Innovaties of techno-economische keuzes kunnen de verduurzaming van het te distribueren gas versnellen dan wel faciliteren. Het is in dit verband van belang om nu reeds keuzes te maken, die bijmenging van waterstof in de toekomst kunnen faciliteren.

3.5.8.1 *Gasverbruikstoestellen*

De nieuwe toestellen vanaf 1 januari 2017 zijn geschikt voor de K-band en elk jaar neemt het toestellenpark met hiervoor geschikte toestellen met 700.000 toe. De nieuwe toestellen zijn vanaf 1 januari 2017 bovendien voorbereid op de E-band. Deze nieuwe toestellen zijn niet per definitie geschikt voor waterstof.

Een aantal fabrikanten heeft al verklaard dat hun toestellen geschikt zijn voor bijmenging tot en met 20 vol% waterstof. Verwacht mag worden, dat meer fabrikanten en meer typen toestellen zullen volgen. Een deel van deze toesteltypen behoort al tot het bestaande toestellenpark. Het aantal geschikte toestellen zal hiermee gestaag oplopen.

De restwaarde van het toestellenpark dat nog niet geschikt is voor waterstofdistributie, neemt elk jaar af door afschrijvingen. Het tijdstip waarop de bijmenging van waterstof plaatsvindt, zal dus bepalen hoeveel kosten gemoeid zijn met de vervanging van niet geschikte toestellen.

Een verdere versnelling is mogelijk door;

- het monitoren van de toename van het aandeel toestellen dat geschikt is voor waterstofhoudende gassen
- het stimuleren van het afgeven van een geschiktheidsverklaring voor waterstofhoudende gassen van bestaande toestellen door fabrikanten
- overheidsbeleid dat gericht is op het versneld moderniseren van het toestelpark met toestellen die geschikt zijn voor een bredere gaskwaliteit, waaronder ook waterstofhoudende gassen.

3.5.8.2 *Gasmeters*

De nieuwe gassen waterstof en verrijkt biogas hebben een lagere calorische waarde dan aardgas. Hierdoor zal het verbruikte gasvolume toenemen bij gelijkblijvende energievraag. In meterkasten is weinig tot geen ruimte voor een grotere balgengasmeter. Ultrasoonmeters, maar ook thermische meters, bieden uitkomst aangezien deze niet afhankelijk zijn van het gasvolume. Thermische gasmeters voor kleinverbruik, G4 en G6, zijn verkrijgbaar voor de Nederlandse markt. Een bijkomend voordeel van doorstroommeters is, dat deze meters gebruik maken van gaseigenschappen. Hierdoor is het in beginsel mogelijk om per adres de gassamenstelling real-time te meten. Deze toepassing moet nog wel ontwikkeld worden. Dit biedt meer mogelijkheden voor calorische verrekening dan tot nu toe gebruikelijk is. Indien lokaal waterstof wordt bijgemengd, dan zal ook bepaald moeten worden wat de kwaliteit is van het gas dat aan de aangeslotene wordt geleverd.

Het meten van de gassamenstelling lukt het beste met gasmengsels, waarvan de eigenschappen van de componenten onderling sterk verschillen. Dit is het geval bij waterstof en methaan. Hun geluidssnelheid en thermische geleidbaarheid verschillen sterk. Met een ultrasone of een thermische gasmeter zou de gassamenstelling kunnen worden bepaald. Dit opent de weg naar directe afrekening op kWh.

In Nederland is over het algemeen stikstof in het aardgas aanwezig. In geval van groen gas zit er koolstofdioxide of stikstof in het gas. De verhouding van deze twee gassen met methaan, binnen de nu geldende Wobbe range, is vast. Men kan de doorstroommeter programmeren met deze verwachte vaste verhoudingen.

Als er drie gascomponenten in variabele samenstelling aanwezig zijn, bijvoorbeeld in verrijkt biogas vermengd met waterstof, dan is één meetprincipe niet toereikend. Een oplossing is serieschakeling van beide meetprincipes. Het samenbouwen van twee principes in een gasmeter voor kleinverbruik is een technologiespoor, dat door de meterleveranciers nog niet is verkend. Twee aparte meters in serie is al wel mogelijk. Bij vervanging van gasmeters zal bij voorkeur voor een gasmeter gekozen moeten worden, die voorbereid is op de nieuwe gassen.

3.5.8.3 *Regelgeving en keuringseisen*

Op dit moment is het niet toegestaan om meer dan 0,5 vol% waterstof in aardgas te distribueren. Tot die tijd zal het alleen mogelijk zijn om in het kader van een praktijkproef meer waterstof bij te mengen.

Om meer bij te mogen mengen zal allereerst de huidige MR Gaskwaliteit hiervoor moeten worden aangepast. Dit is een traject dat door het Ministerie van EZK zou moeten worden gefaciliteerd in overleg met de marktpartijen. Dit proces zal enkele maanden kunnen duren en zou nu al gestart kunnen worden. Flankerend zullen regelgeving en keuringseisen voor nieuwe toestellen die op de markt komen, moeten worden aangepast. In Duitsland zijn op nationaal niveau hiervoor al acties uitgezet. In Nederland is het nu reeds mogelijk om een vrijwillig keurmerk te verkrijgen voor alle componenten in het gasdistributienet. Voor gasmeters bestaan nog geen keuringseisen voor aardgas/waterstof-mengsels of voor 100 vol% waterstof. Gastoestellen kunnen nu al bij de typekeuring aanvullende testen ondergaan, waarna de fabrikant zijn toestel voor bijmenging tot en met 20 vol% waterstof geschikt kan verklaren. Er is in het Verenigd Koninkrijk al een toestel gekeurd op geschiktheid voor 100 vol% waterstof. Bijmenging tot en met 20 vol% waterstof bij het huidige L-gas zal praktisch gezien tot een onderschrijding van de huidige grenzen van de Wobbe-index leiden. Bijmengen tot 20 vol% zal voor gastoestellen daarom alleen mogelijk zijn als deze grenzen in de huidige MR Gaskwaliteit worden aangepast.

3.5.8.4 *Initiatieven overheden en TSO's*

In de kamer brief kabinetsvisie waterstof van 20 maart 2020 wordt het instrument van een administratieve of fysieke bijmengverplichting van groene waterstof bij aardgas genoemd [63]. Het idee is dat de vraag naar waterstof leidt tot een opschaling van de productie en daarmee een kostenreductie. In de brief wordt genoemd dat fysieke bijmenging mogelijk is en dat stapsgewijs tot 10 à 20% bijmenging kan worden gerealiseerd. Deze mogelijkheid zal door de Nederlandse overheid verkend worden met Gasunie, regionale netbeheerders en gebruikers. In de kamerbrief wordt aangegeven dat het bijmengen via groencertificaten het beste in Europees verband gevoerd kan worden.

Op 15 november 2019 hebben de Franse bedrijven GRTgaz, GRDF, Elengy en enkele andere Franse gasdistributiebedrijven verklaard dat zij nu al 6% waterstof in het Franse gasnet kunnen bijmengen. Zij pleiten voor het verhogen van het toegestane gehalte in 2030 naar 10% en hierna naar 20% [35]. Hierbij zij opgemerkt dat gasmotoren en gasturbines niet zijn beschouwd in dit onderzoek en dat de gasdistributiebepaling anders is dan in Nederland.

Het consortium "Gas for climate" bestaande uit de zeven gastransporteurs Fluxys, OGE, Gasunie, SNAM, Enagas, GRTgaz, Swedegas, Energinet en Ontras en de twee brancheorganisaties European Biogas Association (EBA) en Consorzio Italiano Biogas, heeft in april 2020 een visiedocument uitgebracht [64]. Zij opteren voor een bijmengverplichting van duurzaam gas (biomethaan of waterstof) van 10% vanaf het jaar 2030. De nationale overheden zouden zo'n doel aan de gastransporteurs moeten opleggen waarmee de productie van duurzaam gas wordt gefaciliteerd. Verder pleit het consortium voor het bevorderen van de internationale handel in duurzaam gas, onder ander door het uitgeven van garanties van oorsprong certificaten.

In een rapport van het IEA (International Energy Agency) "The future of Hydrogen", wordt gesteld dat bijmengen van waterstof aan aardgas in bestaande gasnetten, een enorme stimulans voor de ontwikkeling van de waterstofproductie zou zijn [65]. Een harmonisatie van de nationale normen voor de toegestane hoeveelheid waterstof is hiervoor zeer wenselijk.

3.6 **Kosten van de transitie**

Omdat deze studie de bijmenging op regionaal niveau betreft, zijn deze kosten zoveel mogelijk geschat en weergegeven als specifieke kosten per aansluiting. Er wordt uitdrukkelijk geen uitspraak gedaan over wie de kosten gaat dragen.

In tabel 4 zijn de maatregelen aangegeven, die gelden bij een stapsgewijze verhoging van het waterstofgehalte in L-gas. In tabel 5 zijn de kosten voor deze maatregelen te vinden.

Uitgaande van waterstofbijmenging tot en met 20 vol% in 2020 zou dit per huishouden neerkomen op een eenmalig bedrag van € 900,- (peildatum 1 januari 2020), zijnde gemiddelde afschrijvingskosten voor de toestellen [50] (kan voor individuele huishoudens ook € 0,- zijn), alsmede € 100,- voor een nieuwe gasmeter en mogelijk licht verhoogde jaarlijkse netwerkkosten (ordegrootte € 10,- à € 20,-).

Tabel 4: Maatregelen bij transitie van 0,5 naar 100 vol% waterstofbijmenging voor het gasdistributienet

Max. vol% H ₂ →	1	2	3	8	10	20	100
Maatregel ↓							
Aanpassing MR Gaskwaliteit							
Aanpassen normen en werkinstructies							
Overeenkomst met waterstof invoeder opstellen							
Controle op geschiktheid van toestellen bij kleinverbruikers							
Check geschiktheid CNG tanks							
Check gasturbines op geschiktheid							
Eventuele aanpassingskosten of ontmenginstallatie							
Opzetten verrekeningssysteem							
Check methaangetal							
Check geschiktheid PBM's en gereedschappen							
Check en vervanging niet geschikte apparatuur van vóór 1-1-2017							
Check geschiktheid afsluiters en gasdrukregelininstallatie							
Check geschiktheid lekdetectie							
Aanpassen ongeschikte industriële branders							
Geschikte gasmeters							
Aanpassing gasmotoren							
Netwerken aanpassen (meerprijs; zie rapport Toekomstbestendige Gasdistributienetten)							
Aanschaf waterstoftoestellen							
Uitzoeken welke distributiekwaliteit waterstof nodig is							
Geschikte gasmeters							
Nieuw odorant (als hiertoe mocht worden besloten) of H ₂ detectie							

Status	Kleurcode
Geen maatregelen nodig	
Actie noodzakelijk	

Tabel 5: Geschatte kosten transitie van 0,5 vol% naar 100 vol% H₂ bijmenging voor het gasdistributienet

Maatregel	Kosten
Aanpassing MR Gaskwaliteit	Ca. 60 k€ eenmalig
Aanpassen werkinstructies en normen	Uren netbeheerders
Overeenkomst met waterstof invoeder opstellen	Gering
Check gasturbines en geschiktheid	2 tot 5 k€ per RNB GOS
Ontmenginstallatie	0,3 tot 1,2 €/kg H ₂ bij 20 bar voordruk en hoog debiet ¹
Opzetten verrekeningssysteem	Eenmalig 60 k€ opzetten systematiek en regelgeving Eenmalig 30 k€ per gebied
Check methaangetal	Nihil (opvragen bij netbeheerder)
Check geschiktheid CNG tanks	2 tot 5 k€ per RNB GOS
Check geschiktheid PBM's en gereedschappen	PM. Nader onderzoek nodig
Check en vervanging niet geschikte apparatuur van vóór 1-1-2017	€ 900,- gemiddeld per aansluiting en per huishouden op 1-1-2020 en lineair afnemend tot 1-1-2037 ²
Check geschiktheid afsluiters en gasdrukregelininstallatie	Collectief onderzoek 50 - 100 k€
Check geschiktheid lekdetectie-apparatuur	Collectief onderzoek: 100 k€
Geschikte gasmeters	€ 100,- per huishouden
Aanpassen ongeschikte industriële branders en installaties	€ 1.000,- tot € 20.000,- per stuk voor ombouwset tot 1 MW _{th} ³
Aanpassing gasmotoren	Vervangen van rotorgasmeter door ultrasone of thermische gasmeter met de calorische waarde en het waterstofgehalte als extra uitgangssignalen (€ 5000,-) Vervangen van de instelling van het ontstekingstijdstip door een uitgebreider motormanagementsysteem (€ 2500,-) Uitgebreider motormanagementsysteem (software) n met als extra ingangssignalen de calorische waarde van het gas, de geproduceerde elektrische energie en het waterstofgehalte van het gas. Kosten nihil. De prijzen van de eerste twee onderdelen zijn schattingen voor serielevering. Het laatste onderdeel is software, wat als nihil is opgevat ten opzichte van de referentie.
Netwerken aanpassen (meerprijs; zie rapport Toekomstbestendige Gasdistributienetten)	€ 50,- per jaar per huishouden
Aanschaf waterstoftoestellen	€ 1.600,- á € 2.000,- per huishouden ⁴
Geschikte gasmeters	€ 100,- per huishouden
Nieuw odorant of detectie van waterstof	Eenmalig 200 k€ onderzoekskosten 100 k€ eenmalig voor aanpassen instellingen en procedures voor controle en inspectie

3.7 Analyse

In paragraaf 3.5 is een traject geschetst, dat dient om geleidelijk een groei tot 20 vol% waterstof in het lokale distributienet te realiseren. Met de huidige technische ontwikkelingen, geflankeerd door aanpassingen in de regelgeving, lijkt deze groei tot 20 vol% mogelijk, zeker indien steeds meer fabrikanten een geschiktheid van hun type toestel voor 20 vol% waterstof kunnen overleggen.

¹ Bij 8 bar overdruk zullen de kosten hoger zijn. Alleen voor gebruik aardgas als grondstof.

² Aanne: gemiddeld vervanging van 1 CV toestel en 1 ander toestel. Gemiddelde restwaarde van € 1.000,- gemiddeld is 50% van de nieuwwaarde afgeschreven en 20% van de populatie is al voorzien van een garantie van de fabrikant voor geschiktheid tot 20 vol% waterstof. Resteert € 800,- afschrijving plus € 100,- inspectiekosten per huishouden.

³ Expert opinion Kiwa

⁴ Dit is de afschrijving van de oude toestellen plus de meerprijs. De meerprijs kan in de toekomst afnemen, indien dit een massaproduct wordt.

Het zwaartepunt van de transitie ligt vanwege de grote aantallen bij huishoudelijke toestellen. Voor industriële toepassingen als gasmotoren of stookinstallaties zal veelal maatwerk worden toegepast. Gasmotoren functioneren optimaal bij een stabiele gaskwaliteit. Sterke variaties in het waterstofgehalte verlagen het rendement van de motor.

Indien het wenselijk is om meer dan 20 vol% waterstof bij te mengen, is er een significante barrière. De huidige keuringseis voor toestellen geeft aan, dat vanuit het uitgangspunt van doelmatigheid het thermisch vermogen, dat aangeboden wordt aan een toestel tijdens de keuring, niet meer dan 5% mag afwijken van het nominale vermogen.

Bijmengpercentages van meer dan 20 vol% zullen alleen mogelijk zijn met een nieuw type toestel, waarvoor oudere toestellen moeten worden omgebouwd of nieuwe toestellen op de markt moeten komen. Omdat de kosten daarvoor vergelijkbaar zijn met de kosten voor het ontwikkelen van een toestel dat geschikt is voor 100 vol% waterstof, is vanuit technisch oogpunt voor een verdere verduurzaming van de lokale gasvoorziening een doorgroei naar 100 vol% waterstof te overwegen.

3.8 Ontwikkelingen die de toepassing van waterstof stimuleren

Er is een aantal technologische en bestuurlijke ontwikkelingen gaande, die gunstig zijn voor een toekomstige distributie van waterstofhoudende aardgassen:

- het garanderen door toestelfabrikanten van de geschiktheid van toesteltypen tot 20 of 30 vol% waterstof. Het is niet bekend hoeveel van de huidige toestellen nu al geschikt zijn. Dit aantal kan groeien, indien nog meer toesteltypen een verklaring van geschiktheid voor 20 vol% verkrijgen;
- het gebruik van ultrasone en thermische gasmeters;
- de ontwikkeling van een toestel, dat geschikt is voor zowel aardgas als 100 vol% waterstof;
- de mogelijkheid om alle componenten in het gasdistributienet van een geschiktheidsverklaring voor waterstof te voorzien, zoals bijvoorbeeld het Gastec QA KE 214 keurmerk 'Geschiktheid voor waterstofgas'
- het toepassen van adaptieve regelingen voor verbrandingstoestellen en industriële branders;
- het toepassen van composietmaterialen voor opslagtanks;
- harmoniseren van de (Europese) normen voor het toegestane percentage waterstof in aardgas;
- een bijmengverplichting, bij voorkeur in Europees verband;
- het opzetten van een Europees handelssysteem van duurzaam gas met certificaten met garantie van oorsprong.

4 Scenario groen gas distributie

4.1 Bijmenging van waterstof bij groen gas

Het onderzoek betreft het gasdistributienet, waarbij sprake is van lokale invoeding. Invoeding van groen gas kan zowel dicht bij het RNB GOS als in de periferie van het net plaatsvinden.

Er zijn hierbij twee situaties mogelijk:

- het gehele GOS-gebied wordt voorzien van groen gas en de bijmenging is niet direct gekoppeld met de groen gas invoeding;
- de waterstofbijmenging vindt plaats op één of meer groen gasinvoedingspunten.

Vanwege de variatie in het verbruik van gas, wordt rekening gehouden met een variatie in het waterstofgehalte over het seizoen, maar ook van een variatie van het waterstofgehalte binnen een dag.

Uitgangssituatie is een groen gas kwaliteit conform de huidige G-gas kwaliteit.

De specificatie voor groen gas is beschreven in de huidige Ministeriële Regeling Gaskwaliteit.

4.2 Status groen gas in Nederland

Momenteel (maart 2020) zijn er ongeveer 50 groen gas invoeders. In heel 2019 is er 148 miljoen m_n^3 groen gas in het aardgasnet geïnjecteerd en deze hoeveelheid zal geleidelijk stijgen tot 250 miljoen m_n^3 in 2022 [62]. In 2030 is een productie van 2 miljard m_n^3 voorzien in het klimaatakkoord (bron: KVGn, september 2019).

In Oost-Nederland worden binnenkort enkele grote groen gas invoeders op het gasnet aangesloten. RENDO heeft de ambitie uitgesproken om in 2030 alleen nog maar duurzaam gas (groengas en waterstof) in haar netten te distribueren.

Het is onduidelijk hoe de productie van groen gas zich zal ontwikkelen. Nieuwe productietechnieken, zoals hogedruk vergassing, thermische vergassing en superkritische watervergassing, worden nu ontwikkeld en kunnen tot een versnelling leiden, zeker indien de kostprijs omlaag zal gaan ten opzichte van conventionele vergisting, die nog steeds duur is en alleen rendabel is indien er subsidies op de productie worden verstrekt.

Ook de route Power to Gas, waarbij koolstofdioxide samen met waterstof geproduceerd uit elektriciteit wordt gemethaniseerd, is een interessante optie omdat hierbij overschotten aan duurzame elektriciteit worden omgezet en afgevangen koolstofdioxide wordt benut.

Momenteel vindt vrijwel alle groen gas productie plaats via thermofiele (50 tot 60 °C) of mesofiele (30 tot 40 °C) vergisting.

In de Routekaart Groen Gas van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat wordt de ambitie uitgesproken dat in 2030 een hoeveelheid van 70 PJoule (PJ) aan duurzame gasen wordt opgewekt [68]. Anno 2020 wordt 9,6 PJ energie via duurzaam gas opgewekt, waarvan 3,4 PJ in de vorm van groen gas (3,2 PJ via elektriciteit en 0,2 PJ warmte). De instrumenten die de overheid wil inzetten om deze groei te realiseren zijn innovatie (o.a. biomassavergassing), subsidie-instrumenten en mogelijk een bijmengverplichting. Op basis hiervan mag een sterke groei van groen gas in de komende jaren verwacht worden.

4.3 Gaskwaliteit groen gas

Het wezenlijke verschil tussen aardgas en het huidige groen gas is, dat in groen gas meer koolstofdioxide kan zitten. Het product van vergisting is een gasmengsel van 50 à 60% methaan, waarbij de rest van het gas vrijwel geheel uit CO₂ bestaat. Verder zitten er geen hogere koolwaterstoffen, zoals ethaan en propaan, in groen gas. Door verwijdering van de koolstofdioxide en na reiniging van het gas ontstaat een

gasmengsel, dat voldoet aan de kwaliteitseisen van de G-band. Als alle koolstofdioxide wordt verwijderd zou het gas vrijwel geheel uit methaan bestaan en zou de Wobbe-index 53,4 MJ/ m_n³ bedragen, ver buiten de G-gas band (43,46 – 44,41 MJ/ m_n³) vallen en daarmee in feite hoogcalorisch gas zijn en ook binnen de E-band vallen. Daarom is het noodzakelijk om circa 12% inerte componenten als koolstofdioxide, stikstof of zuurstof in het gas te hebben. Voor het CO₂-gehalte geldt een grens van maximaal 10,3 vol%.

Bij een gehalte hoger dan 6 vol% CO₂ bestaat het risico op vlamlift. Om dit te voorkomen moet in dat geval voldaan worden aan de vlamliftformule. Dit wil zeggen, dat het CO₂ gehalte getoetst wordt op een toelaatbaar gehalte met behulp van twee formules die als variabelen het koolstofdioxide-, stikstof- en zuurstofgehalte kennen. Deze formules zijn beschreven in de MR Gaskwaliteit [72]. Veel groen gas invoeders kiezen voor het bijmengen met stikstof, omdat het lastig is om altijd te voldoen aan de criteria van de vlamliftformule. Waterstofbijmenging verhoogt de vlamsnelheid en zal daarom niet tot extra vlamlift leiden.

4.4 Technische analyse

De analyse die in hoofdstuk 3 is gemaakt voor G-gas, geldt ook voor het huidige groen gas. Groen gas is volledig uitwisselbaar met G-gas. De stappen, beschreven in paragraaf 3.5 gelden daarom ook voor groen gas.

4.5 Innovaties en ontwikkelingen

Voor een groen gasproducent is het mogelijk om de calorische waarde en de Wobbe-index te verhogen door meer koolstofdioxide uit het gas te halen. Dit heeft als bijkomende voordelen, dat het wat makkelijker wordt voor de groen gas invoeder om de gaskwaliteit te sturen en dat het ook niet nodig is om stikstof te produceren als menggas. 100 procent methaan heeft een Wobbe-index van 53,4 MJ/ m_n³.

Er zijn dan twee mogelijkheden:

- de kwaliteit van groen gas volgt bijlage 1 van de MR Gaskwaliteit, indien besloten wordt om hoogcalorisch gas in plaats van G-gas te distribueren;
- binnen een GOS-gebied wordt besloten om een lokale hoogcalorische gaskwaliteit te distribueren.

Als in het betreffende GOS-gebied alle toestellen zijn ingesteld op de E-band (dit is instelbaar voor CV-toestellen verkocht na 1 januari 2017), dan verruimt dit de mogelijkheden voor waterstofbijmenging, omdat in dat geval tot 50 vol% waterstof kan worden bijgemengd, voordat de Wobbe-index buiten de E-band valt. Bijmenging tot 20 vol% waterstof moet in dat geval mogelijk zijn voor de gastoestellen om nog goed te kunnen blijven functioneren. Uiteraard geldt ook hier, dat de fabrikant de geschiktheid van zijn toestel voor waterstofbijmenging moet aantonen en de productaansprakelijkheid op zich neemt.

In geval besloten wordt om een heel GOS-gebied van E-gas te voorzien, gelden wel enige randvoorwaarden:

- er moet geborgd zijn dat het gas niet naar andere GOS-gebieden wordt gedistribueerd;
- de lokale afwijking van de G-gas kwaliteit zal wettelijk geregeld moeten worden;
- de gastoestellen moeten geschikt zijn voor de E-band. Dit kan wanneer de gastoestellen zijn aangeschaft na 1 januari 2017 en deze zijn voorbereid op de E-band. Alle niet geschikte toestellen zullen moeten worden vervangen door nieuwe toestellen;
- Industriële branders, gasmotoren en gasturbines moeten op het gas kunnen functioneren.

4.6 Analyse

Bijmengen van waterstof bij groen gas is nu mogelijk voor de meeste toepassingen tot 3 vol%.

De conclusies uit hoofdstuk 3 gelden ook voor groen gas.

Omdat bij de productie van groen gas al koolstofdioxide uit het gas wordt gehaald, is het een relatief eenvoudige procesmodificatie voor een groen gas producent om nog meer koolstofdioxide uit het gas te halen en hiermee de calorische waarde te verhogen om hiermee ruimte te geven aan waterstofbijmenging. Ook hier geldt, dat alleen die toestellen gebruikt kunnen worden, waarvan de fabrikant de geschiktheid voor waterstofbijmenging heeft aangetoond.

Sinds 1 januari 2017 worden alleen nog maar toestellen verkocht, die geschikt zijn voor G+ gas en die zijn voorbereid op E-gas. Deze toestellen zouden goed moeten functioneren op gas met een hogere calorische waarde, waarmee ook de mogelijkheden voor een hoger bijmengpercentage toenemen. Bij het vervangen van niet geschikte toestellen zal het uifasieren van oude toestellen steeds goedkoper worden, aangezien deze vanaf 1 januari 2017 niet meer worden verkocht.

Aangezien groen gas al uit duurzame bronnen wordt geproduceerd geeft bijmenging en levering van duurzaam waterstof geen extra CO₂ besparing. Er is wel een voordeel indien de waterstof anders niet benut kan worden.

5 Scenario verrijkt biogas

5.1 Bijmenging van waterstof bij verrijkt biogas

Verrijkt biogas is het product van vergisting, waarbij het vergistingsgas is gereinigd, maar niet verrijkt naar aardgaskwaliteit. Een typische samenstelling van biogas is 60 vol% methaan en 40 vol% koolstofdioxide.

Momenteel wordt verrijkt biogas in Nederland in separate biogasnetten getransporteerd. Op dit moment (maart 2020) is de nationale norm "NEN 8770 Leidingen voor transport van ruw biogas en voorbehandeld biogas met een maximale bedrijfsdruk tot 8 bar en buiten de installatie en niet behorend tot het openbare gasnetwerk" vrijwel gereed. Deze norm geldt alleen voor het leidingnet en niet voor de gasinstallaties. In het hier beschouwde scenario wordt het gebruik van het huidige aardgasnet beschouwd voor verrijkt biogas.

5.2 Gaskwaliteit verrijkt biogas

Om biogas geschikt te maken voor distributie in het huidige G-gasnet en voor gebruik in een woning en gasinstallaties is de huidige biogaskwaliteit, zoals gedefinieerd in de norm NEN 8770, onvoldoende. De NEN 8770 betreft een norm voor biogastransportleidingen. Biogastransportleidingen maken geen onderdeel uit van de openbare gasvoorziening en de NEN 8770 heeft dan ook geen relatie met de MR gaskwaliteit.

De norm NEN 8770 geeft aan, dat maximaal 20 vol% waterstof gedistribueerd kan worden en er mag maximaal 3 vol% zuurstof in het distributiegas zitten.

Verder is een waterdauwpunt van maximaal -3 °C bij de heersende gasdruk en een waterstofsulfide gehalte van maximaal 160 ppm toegestaan.

Om corrosie van netonderdelen te voorkomen zal condensatie van waterdamp altijd vermeden moeten worden en de maximale waterdauwpuntstemperatuur zal daarom verlaagd moeten worden.

Het is ook onveilig om gas met een gehalte van 160 ppm waterstofsulfide in een woning te distribueren, voornamelijk vanwege het risico van vergiftiging in geval van een gaslek. Dit geldt ook voor CO₂ dat een toxisch effect heeft. Ook de materialen in een verbrandingstoestel en de materialen in de rookgasafvoer kunnen aangetast worden door de vorming van zwavelig- of zwavelzuur. Het lijkt logisch om dit gehalte aan te passen naar de eis in de MR Gaskwaliteit van maximaal 5 mg anorganisch zwavel per m_n³.

De grootste afwijking van verrijkt biogas volgens de specificatie in NEN 8770 in verhouding tot G-gas of groen gas betreft de Wobbe-index.

Een typische samenstelling van biogas uit bijvoorbeeld een rioolwaterzuiveringsinstallatie is 60 vol% methaan en 40 vol% koolstofdioxide. Dit gas heeft een Wobbe-index met een bovenwaarde van 25 MJ/ m_n³. Deze waarde is geheel afwijkend van de G-gas en de E-gas band en de huidige gastoestellen zijn daarom niet geschikt voor deze gaskwaliteit.

Een mogelijkheid om deze gaskwaliteit regionaal in te zetten, kan zijn om aan te sluiten bij een andere bestaande gaskwaliteit. De Wobbe-index van biogas valt namelijk wel binnen de eerste gasfamilie voor stadsgassen. De band voor de bovenste Wobbe-grenzen voor stadsgas ligt tussen 23,6 en 26,2 MJ/ m_n³.

Bijmengingen van 20 vol% waterstof aan dit gas geeft een Wobbe-index van circa 24,7 MJ/ m_n³, waarmee het gas nog steeds binnen de Wobbe-grenzen voor de eerste gasfamilie voor stadsgassen valt.

In Kopenhagen zijn 300.000 huishoudens op stadsgas aangesloten. Volgens de norm voor keuring van gastoestellen EN 437 worden toestellen volgens de II 1A2H categorie (geschikt voor stadsgas, maar ook hoogcalorisch gas) verhandeld in Italië, Denemarken en Zweden [49].

5.3 Technische analyse

Waterstof kan verbrandingstechnisch goed bij verrijkt biogas worden bijgemengd, omdat het gas dan nog steeds in de kwaliteitsband van de eerste gasfamilie, de zogenaamde stadgassen valt.

Het kritische punt zit hier in het distribueren van verrijkt biogas in plaats van aardgas in het gasdistributienet. Om dit te gaan doen is een scala van maatregelen noodzakelijk, die hier kort worden vermeld in willekeurige volgorde:

- verscherpen van de specificaties voor biogas (zie paragraaf 5.2);
- opstellen van een MR Gaskwaliteit voor verrijkt biogas;
- vervangen gasmeters door biogasmeters;
- vervangen gastoestellen door toestellen geschikt voor de eerste gasfamilie;
- aanpassen lekzoekapparatuur en persoonlijke beschermingsmiddelen;
- afsluiten van bedrijven die aardgas als grondstof gebruiken;
- notificatie dat aardgasmotoren en gasturbines niet meer op dit gas kunnen functioneren (er zijn wel dedicated biogasmotoren op de markt);
- afsluiten van aardgasvulstations en eventuele gasthuistankinstallaties;
- inventarisatie geschiktheid aardgasnetten;
- onderzoek naar de capaciteit van het gasnet (de verbrandingswaarde is significant lager dan van aardgas).

5.4 Technologische ontwikkelingen

Omdat hier mogelijk al vanaf de introductie sprake zal zijn van nieuwe toestellen, is dit een interessant scenario. Verder kan qua certificering van gastoestellen aangesloten worden bij de bestaande eisen voor de eerste gasfamilie.

In dat geval moet zowel voor verrijkt biogas zonder waterstofbijmenging, maar ook in het geval van waterstofbijmenging, bewaakt worden dat de kwaliteit van het gas zich daadwerkelijk binnen de band van de eerste gasfamilie bevindt.

5.5 Conclusie

De route van het distribueren van verrijkt biogas in het openbare gasnet is zeer ingrijpend en zeer kostbaar. De grootste kosten zijn gemoeid met het afschrijven van alle gastoestellen en gasmeters hetgeen een afschrijvingspost van minimaal circa € 1.250,- zal zijn per aansluiting, uitgaande van de aanname dat elk gastoestel gemiddeld op de helft van zijn technische en economische levensduur zit, uitgaande van een CV-toestel, een gasfornuis en een gasmeter.

Hierbovenop komen de kosten van de onderdelen uit paragraaf 5.3. Dit scenario lijkt daarom niet zinvol in vergelijking tot de andere scenario's.

6 Waterstof distributie

6.1 Beschrijving situatie

Uitgegaan wordt van de distributie van waterstof via een injectiepunt op het GOS, dan wel via het gastransportnet. In dit geval wordt uitgegaan van een constante gaskwaliteit, waarbij alleen waterstof door het onderliggende gasdistributienet wordt gedistribueerd.

Deze situatie kan gezien worden als een mogelijke eindsituatie in de energietransitie van de gasdistributienetten, waarbij steeds meer waterstof wordt toegevoegd aan het aardgas.

6.2 Gaskwaliteit

Waterstof kan omgezet worden in verbrandingstoestellen, maar kan ook met een hoog totaalrendement worden omgezet in elektriciteit en warmte in brandstofcellen. De eisen die gesteld worden aan de gaskwaliteit voor brandstofcellen zijn erg hoog. Het is de verwachting dat distributie van waterstof door aardgasnetten tot een minimale verontreiniging kan leiden, bijvoorbeeld ten gevolge van permeatie van lucht door de leidingwand (minder dan 0,1 vol%) of door de afgifte van aan de wand geadsorbeerde stoffen. Een aanvullende reiniging voor de brandstofcel kan daarom nodig zijn. Voor verbrandingstoestellen lijkt een kwaliteit van 98 vol% waterstof voldoende. In het Verenigd Koninkrijk wordt momenteel regelgeving ontwikkeld voor de eisen die gesteld worden aan waterstofstoestellen. Hoewel er nog geen besluit is genomen, is de huidige consensus dat een zuiverheid van 98 vol% een goed compromis is tussen de kosten voor waterstofproductie en de effecten op het toestelgedrag van verbrandingstoestellen [77]. Voor de toepassing van waterstof in Nederland zal nog onderzoek gedaan moeten worden naar een acceptabele zuiverheid.

6.3 Technische analyse

6.3.1 *Het gasdistributienet*

In het onderzoek "Toekomstbestendige gasdistributienetten" is geconcludeerd, dat de huidige infrastructuur geschikt is voor waterstof distributie.

De algehele bevinding uit deze inventarisatie is, dat het huidige gasdistributienetwerk geen significante invloed zal ondervinden van waterstof. Voor alle bekende distributiematerialen, met als belangrijkste staal, PE en PVC, is zowel op basis van de geraadpleegde literatuur, als op basis van de uitgevoerde laboratoriumproeven en praktijktesten geen merkbare degradatie te verwachten en waargenomen.

Daarnaast kan de transportcapaciteit van de leidingen gelijk blijven aan die van aardgas, indien de stromingssnelheid in het net wordt verhoogd met een factor drie, zonder dat dit nadelige effecten heeft voor het gasnet.

De overige effecten zijn onbekend of verwaarloosbaar.

De totale kosten voor het omschakelen en aanpassen van de netwerken kunnen oplopen tot 700 miljoen Euro (dit geldt voor het gehele gasdistributienet) [6].

Omgerekend naar het huidige aantal aansluitingen is dit ongeveer €100,- per aansluiting. De netwerkkosten bedragen nu € 100,- à € 150,- per aansluiting per jaar. Voor 100% waterstof distributie stijgen de netwerkkosten grofweg met 10 tot 50% per woning per jaar. Deze kosten betreffen met name inspectiekosten van woningen.

De grootste kostenpost, die is meegenomen bij de overstap naar waterstof, is het vervangen van de gasmeter. Ook moet rekening worden gehouden met het vernieuwen van de procedure voor verrekening van de gaskosten als gevolg van verschillen in gassamenstelling.

Andere items in de kosten zijn toegenomen inspectiekosten, vervanging van het type odorant en vervanging van apparatuur en PBM's van monteurs.

Recent is een studie uitgevoerd naar de diffusie van zuurstof door MDPE op basis van een diffusiemodel met de mogelijke consequenties voor het gebruik van PEM-brandstofcellen met een lage zuurstoftolerantie [61].

Dit is een punt van aandacht voor verder onderzoek naar de werkelijke diffusie in kunststoffen en de tolerantie van brandstofcellensystemen. Eerst zal een onderzoek naar de daadwerkelijke diffusie moeten plaatsvinden. Daarna zal de afweging gemaakt moeten worden welke kwaliteitseisen mogelijk zijn. Hierbij geldt ook een afweging tussen de zuiverheid van het waterstof in relatie tot de productiekosten. Aanvullende eisen voor specifieke gastoepassingen, zoals die anno 2020 bijvoorbeeld gelden voor PEM-brandstofcellen, zullen dan met een filter voor de toepassing moeten worden gehaald.

Berekeningen van Kiwa Technology tonen aan dat de capaciteit van het gasnet (op basis van energietransport) bij gebruik van waterstof en bij gelijkblijvende drukvallen 11 à 13% lager zijn dan voor aardgas [73]. Hiermee zal rekening moeten worden gehouden bij de energielevering.

6.3.2 Gasmeters

Bij een gelijkblijvende energievraag wordt er een drie keer zo groot gasvolume getransporteerd. Het gevolg hiervan is, dat het overgrote deel van de gasmeters, die gebaseerd zijn op volumemeting, op piekmomenten een te kleine capaciteit kunnen hebben. De lagere energiedichtheid heeft bovendien een hogere stromingssnelheid tot gevolg.

6.3.3 Gastoepassingen

Bij de distributie van waterstof zullen de huidige gastoepassingen, die zijn verbonden met het gasdistributienet, niet meer functioneren. Dit betreft:

- CV-toestellen
- gasovens
- gasfornuizen
- sfeerhaarden
- gasmotoren
- gasturbines
- aardgasvulstations

De kosten voor vervanging van de gastoepassingen in de huishoudens zullen in het geval van een 100% waterstof distributienet de grootste kostenpost zijn.

In een rapport van de Hydrogen Council is een schatting gemaakt van de vervangingskosten van gasapparatuur en de aanpassingskosten in een huishouden. Deze kosten bedragen in totaal circa € 3.700,-.[16]. Deze kosten zijn de kosten voor aanschaf, zonder rekening te houden met de afschrijving van de bestaande apparatuur.

De nieuwere eerste generatie waterstoftoestellen zal naar verwachting duurder zijn dan een aardgastoestel en bij massaproductie van CV-toestellen zullen de extra kosten marginaal zijn.

Een schatting van Kiwa Technology is, dat de extra kosten ongeveer 50% bedragen voor de eerste generatie toestellen. Dit extra bedrag zal dan op ongeveer € 800,- à € 1.000,- uitkomen.

Ook zal de bestaande apparatuur afgeschreven moeten worden. Gemiddeld zal voor een populatie de gasapparatuur voor 50% zijn afgeschreven en deze kosten bedragen dan eveneens € 800,- à € 1.000,-.

De uitgenomen nieuwere typen toestellen zijn mogelijk geschikt om in andere gebieden te worden ingezet en hebben hiermee nog een zekere restwaarde. Hiermee wordt nu geen rekening gehouden.

De totale meerkosten bij een transitie naar 100% waterstof worden dan € 1.600,- à € 2.000,- gemiddeld per huishouden. Uitgesmeerd over de levensduur van de gastoepassingen zijn de extra kosten € 100,- per jaar per huishouden.

Er moet bovendien rekening worden gehouden met extra inspectiekosten en er is nog geen zekerheid of waterstoftoestellen dezelfde levensduur hebben als aardgastoestellen.

Bosch Nefit heeft een toestel ontwikkeld dat geschikt is voor 100 vol% waterstof en bovendien ook op 100 vol% aardgas kan functioneren. Dit toestel is gekeurd in het Verenigd Koninkrijk en zal onder andere in Leeds ingezet kunnen worden, waar 1.000 woningen volgens plan in 2021 van 100 vol% waterstof worden voorzien [55].

7 Conclusies

Indien er waterstof beschikbaar is voor bijmenging aan aardgas en levering via het aardgasdistributienet zijn er mogelijkheden om dit bij te mengen.

Bijmengen van waterstof aan aardgas

Het bijmengen van waterstof bij aardgas is technisch mogelijk. Er zijn veel onderzoeken die een grens aangeven van 20 vol% voor de meeste huishoudelijke toestellen.

Bij de toevoeging van waterstof kan een stappenplan worden aangehouden, waarbij stapsgewijs de kritische toepassingen in het lokale gasnet worden geïnventariseerd. Voor veel industriële toepassingen, zoals gasturbines, CNG opslagtanks en industriële gasbranders, zullen bij lage bijmenggehalten aan waterstof al maatregelen nodig zijn, zoals aanpassing van de instellingen, vervanging van branders of vervanging van complete toestellen. Voor specifieke gebruikers, zoals producenten die aardgas als grondstof gebruiken of wanneer de investeringen in aanpassingen erg hoog zijn, kan het noodzakelijk zijn om de waterstof uit het mengsel te verwijderen. In een RNB-gebied is het de vraag of er gebruikers zijn aangesloten, die gebruik maken van deze specifieke gastoepassingen.

De meeste (buitenlandse) onderzoeken zijn uitgevoerd aan hoogcalorisch gas. In Nederland hebben we te maken met laagcalorisch gas met een smalle Wobbe-band. Dit betekent dat de speelruimte voor waterstofbijmenging in Nederland beperkt is, indien de huidige grenzen voor de Wobbe-index worden gehandhaafd.

Indien we de grootste groep van huishoudelijke gebruikers beschouwen, dan is nu 3 vol% waterstof aan het huidige aardgas technisch mogelijk in het gasdistributienet. Hierbij moet aangemerkt worden dat de meeste bestaande toestellen, niet voor dit gehalte zijn gekeurd. Voor deze toestellen zullen veiligheidsaspecten moeten worden afgedekt, bijvoorbeeld door het opstellen van een risicoanalyse. Daarnaast voorziet de huidige regelgeving niet in hogere percentages dan 0,5 vol% en deze zal dus op 3 vol% moeten worden aangepast.

Om tot hogere gehalten tot maximaal 20 vol% te gaan is het - naast het veranderen van de MR Gaskwaliteit - noodzakelijk dat toestellen worden gebruikt, die geschikt zijn voor dit gehalte aan waterstof. De fabrikant van het toestel zal deze geschiktheid moeten aantonen. Dit betekent dat uitsluitend nieuwe toestellen gebruikt kunnen worden of toestellen die recent zijn aangeschaft en door de fabrikant geschikt zijn verklaard vanaf een opgegeven productiedatum.

Een verdere versnelling is mogelijk door;

- het monitoren van de toename van het aandeel toestellen dat geschikt is voor waterstofhoudende gassen
- het stimuleren van het afgeven van een geschiktheidsverklaring voor waterstofhoudende gassen van bestaande toestellen door fabrikanten
- overheidsbeleid dat gericht is op het versneld moderniseren van het toestelpark met toestellen die geschikt zijn voor een bredere gaskwaliteit, waaronder ook waterstofhoudende gassen.

Vanaf een gehalte van 10 vol% waterstof zijn andere gasmeters nodig.

Bij voorkeur wordt een vast gehalte waterstof bijgemengd bij aardgas. Dit heeft als voordeel, dat invloeden op het toestelgedrag door een te sterke wisseling worden voorkomen en ook de verrekening van de waarde van het gas eenvoudiger wordt. Voor CV-toestellen lijkt het niet bezwaarlijk om het waterstofgehalte te variëren. Voor gasturbines werd in 2013 geadviseerd om het waterstofgehalte met niet meer dan 2 vol% per minuut te variëren.

Bij een ambitie om tot gehalten boven de 20 vol% waterstof te gaan, is het te overwegen om volledig naar 100 vol% waterstof over te gaan. Op dit moment is een

belangrijke grens de eis uit de EN 15502 uit het oogpunt van doelmatigheid, dat de belasting van een CV-toestel niet verder afneemt dan 5% van de nominale belasting. Zonder adaptieve regeling betekent dit, dat maximaal 20 vol% waterstof bijgemengd kan worden.

In het rapport "Toekomstbestendige gasdistributienetten" is aangegeven, dat het huidige gasdistributienet met enige maatregelen geschikt is voor de distributie van 100% waterstof. Het nadeel is, dat een nieuw type gastoestel moet worden aangeschaft en de oude toestellen (deels) moeten worden afgeschreven. Het voordeel is, dat in geval van duurzaam waterstof de milieuwinst groot is, want alle fossiele aardgas wordt vervangen. Bij 20 vol% duurzaam waterstof bijmenging aan fossiel aardgas wordt 8,3% fossiel aardgas vervangen, aangezien de verbrandingswaarde van waterstof lager is dan van aardgas. Dit is een goede stap in de verduurzaming van de energievoorziening.

Kennishiaten

Uit de beschrijving van de onderzoeken blijkt dat een aantal technische zaken met betrekking tot de geschiktheid van het gasdistributienet en gastoepassingen nog onzeker zijn. Van deze technische vragen zijn op dit moment al benaderende antwoorden bekend, maar de hoge mate van zekerheid die nodig is als waterstof geleverd moet worden aan miljoenen kleinverbruikers, ontbreekt nog. Deze onzekerheden kunnen weggenomen worden door het uitvoeren van onderzoeksprogramma's en demonstratieprojecten.

Voor implementatie zal in ieder geval nadere kennis verworven moeten worden over:

- de invloed van waterstof op smeermiddelen en weke delen (rubbers);
- de invloed op lekdetectie en het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen;
- de verspreiding van gas in de bodem;
- de verspreiding van een gaslek binnenshuis;
- de invloed op de ruikbaarheid van het gas;
- de toepassing van gasmeters;
- invloed op veiligheidsafstanden;
- de verspreiding en kans op ontsteking van een gaslek binnenshuis (bij 100% waterstof)
- de risico's van graafschade en de eventueel te nemen aanvullende beheersmaatregelen (bij distributie van 100% waterstof)
- de maximaal aanvaardbare variatie in de gaskwaliteit en in het waterstofgehalte per tijdseenheid.

Groen gas

Indien waterstof bij groen gas wordt gemengd, gelden overwegend dezelfde conclusies als voor aardgas. Het voordeel van bijmengen bij groen gas is, dat het relatief eenvoudig is om de calorische waarde van groen gas te verhogen door meer koolstofdioxide uit het gas te halen. Dit geeft meer mogelijkheden om gehalten waterstof tot 20 vol% bij te mengen.

Verrijkt biogas

De kwaliteit van verrijkt biogas en mengsels van waterstof en verrijkt biogas zijn nog niet beschreven in de MR gaskwaliteit en distributie in het openbare gasnet is pas mogelijk na een aanpassing van de MR gaskwaliteit. Technisch lijkt het goed mogelijk om waterstof te mengen bij verrijkt biogas (een mengsel van methaan en koolstofdioxide, verkregen uit vergisting van biomassa) voor wat betreft het gebruik in huishoudelijke gastoestellen. Hiervoor is wel een nieuw type toestel nodig, geschikt voor een andere gasfamilie. Er zijn nog vraagtekens voor wat betreft de capaciteit van het gasnet. Verder zal de levering van verrijkt biogas in plaats van aardgas in een deel van het openbare gasnet leiden tot een gehele ombouw dan wel vervanging ineens van alle gasmeters en gastoepassingen in het voorzieningsgebied. Door de hoge kosten die hiermee gepaard gaan, lijkt dit geen zinvolle route.

8 Literatuurlijst

1. Inzet waterstof in het huidige gasnet, deel 1 Huishoudelijke toestellen, Gastec 1999, Hondeman et al.
2. Inzet waterstof in het huidige gasnet, deel 2 Distributie: netcapaciteit, leidingverlies, menging en gasmeting, Gastec 1999, Van Dongen et al.
3. Einfluss von Wasserstoff auf die Energiemessung, management summary, DVGW Forschung, april 2014, Peter Schley et al.
4. Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz, management summary, DVGW Forschung, februari 2013, Gert Muller Syring et al.
5. Metastudie zur Untersuchung der Potenziale von Wasserstoff für die Integration von Verkehrs- und Energiewirtschaft, DVGW Forschung, oktober 2013, Gert Muller Syring et al.
6. Toekomstbestendige gasdistributienetten, Netbeheer Nederland/Kiwa, juli 2018, René Hermkens et al.
7. Waterstof in aardgas op Ameland, Joulz, Gasterra, Stedin/Kiwa, april 2012, Hans de Laat et al.
8. Admissible hydrogen concentrations in natural gas systems (Higgs net), Gas for Energy, maart 2013, Klaus Altfeld , Dave Pinchbeck
9. Impact of hydrogen in natural gas on end-use applications, Marcogaz publication, 23/10/2017.
10. Transformation pathways to greenhouse gas neutrality of gas networks and gas storage after COP21, Powerpoint Round Table oktober 2018, Gert Muller Syring et al.
11. Power to gas and the need for establishing a pan-European understanding of admissible hydrogen concentrations in the natural gas system, Powerpoint Egatec 2015, Gert Muller Syring et al.
12. Naturalhy first step of assessing the potential of existing natural gas network for hydrogen delivery, Powerpoint, Ingas 2009, Onno Florisson
13. Work Package 3 Durability of existing Natural Gas Infrastructures, Powerpoint, 2008, Isabelle Alliat
14. Blending hydrogen into natural gas pipeline networks, A review of key issues, NREL, maart 2013, W.W. Melaina
15. Admissible hydrogen concentrations in natural gas systems, HIPS final report, GERG et al., oktober 2013, Klaus Altfeld, Dave Pinchbeck,
16. Hydrogen scaling up, by Mc Kinsey Company, Hydrogen Council, september 2017
17. NATURALHY: Assessing the potential of the existing natural gas network for hydrogen delivery, Powerpoint, juni 2010, Onno Florisson
18. Pressure loss and compression in transmission pipelines for two hydrogen methane mixtures, Naturalhy WP-3, oktober 2008, Charron et al.
19. Permeation of molecular hydrogen through steel, Naturalhy WP-3, januari 2008, Odru et al.
20. Reliability of metering of methane – hydrogen mixtures on domestic diaphragm meters, Naturalhy WP-3, januari 2010, Le Strat et al.
21. Permeation properties of Polymers-comparison of natural gas with hydrogen services, Naturalhy WP-3, augustus 2008, Gert Muller Syring et al.
22. Study of hydrogen ageing of ductile PVC pipes (Impact resistance and tensile tests), Naturalhy WP-3, januari 2010, Nony et al.
23. Report on the effect of H₂ on polymers: Effect on the ageing of PE discs, Naturalhy WP-3, september 2008, Nony et al.
24. Effect of H₂ on the materials for inner grids (task 3.4), Naturalhy WP-3, januari 2009, Essbach et al.

25. CEN TC 234 WG 3 position paper hydrogen gas in pipelines, Krom et al., Gasunie, januari 2019
26. Marcogaz – Farecogaz – CEN/TC 237 The use of conventional meters for non-conventional gases, 28/09/2018
27. Untersuchung der Auswirkung von Wasserstoff-Zumischung ins Erdgasnetz auf industrielle Feuerungsprozesse in Thermoprozesstechnische Anlagen, GWI, 2017, Nowakowski
28. Overview of available test results and regulatory limits for hydrogen admission into existing natural gas infrastructure and end use, Infographic, Marcogaz, 1-10-2019
29. Hydrogen pipeline systems, EIGA, 2014
30. Ontwerpnorm NEN 8771, 2019, Biogasininstallaties
31. Ontwerpnorm NEN 8770, 2019, Leidingen voor transport van ruw biogas
32. The effects of injecting hydrogen (renewable gases), Powerpoint EASEE Gas, Marcogaz, maart 2018, Jos Dehaeseleer,
33. Effect of biogas enriched with hydrogen on the operation and performance of a diesel-biogas dual fuel engine, CT&F, vol 5, juni 2013, p61-72, Motoya et al
34. EDGAR: Behaviour of Gas Appliances on Variations in Natural Gas Composition, Hans de Laat, Wim Bouwman, Mathijs Kippers and J. Veldhuis
35. Technical and economic conditions for injecting hydrogen into natural gas networks, juni 2019, GRT Gaz, GRDF et al.
36. Compatibility of metallic materials with hydrogen. Review of the present knowledge, H, Barthelemy, Air liquid
37. TF_H2-172-Influence of Hydrogen and Low Temperature on Pipeline. P. Fassini et al. Proceedings Engineering, 10 (2011) p3226 – 3234
38. TF_H2-174-PRCI - Webinar - The integrity impact of transporting hydrogen via existing pipelines, december 2018, C. San Marchi and J. Ronevich, Sandia National Laboratories, SAND2018-14013 PE
39. TF_H2-299-[Briottet 2015a] Fatigue crack initiation in a CrMo steel
40. TF_H2-302-[ckd2018] Elastomere Medien Beständigkeit
41. TF_H2-158-Admixture topic_AWP2019_as published 2019-01-15 EU HFCJU proposal
42. Transformationspfade zum Treibhausgasneutralität der Gasnetze und Gasspeicher nach COP21, Marek Poltrum et al, DBI GUT en DVGW
43. Domhydro report, oktober 2015, Behaviour of domestic appliances using hydrogen enriched gases, Domhydro partners (Kiwa, EoN, Gas System, GWI)
44. Sicherheitstechnische Eigenschaften von Erdgas-Wasserstoff Gemischen, Bundesanstalt Materialprüfung, september 2016, Schroder et al,
45. Presentatie van Marcogaz studie op Egateg 2019
46. Verkenning waterstof infrastructuur, DNV GL en GTS i.o.v. Min EZ, nov. 2017
47. Obleutetagung H2 Readiness 13 september 2019 DVGW
48. Website hofor.dk
49. NEN-EN 437:2018 Proefgassen, proefdrukken, toestel categorieën
50. Staatsblad 2017, 217, publicatie 10 juni 2016, Besluit van 10 mei 2016 tot wijziging van het Besluit gastoestellen en het Warenwetbesluit bestuurlijke boete in verband met de veranderde samenstelling van gas in Nederland, alsmede technische wijziging van enige andere besluiten
51. Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusiv aller assoziierten Anlagen, G. Muller-Syring, DBI, februari 2014
52. Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen 2 Joint Undertaking, 2019
53. ENTSOE 2050 roadmap for renewable gas, ENTSOE 2019
54. Anforderungen, Möglichkeiten und Grenzen der Abtrennung von Wasserstoff aus Wasserstoff-Erdgas-Gemischen“ van Udo Lubenau (DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH) & Peter Kussin (DVGW-Forschungsstelle am Engler-

- Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie) uit het tijdschrift Energie Wasser Praxis 2020-01.
55. <https://www.installatie.nl/nieuws/ketelhandel-omarmt-waterstof/>
 56. Publicatie 9 mei 2019 RIVM over CO₂ uitstoot in het jaar 2018
 57. CBS rapporten: energiebalans 2018, verbruik huishoudens en midden- en grootverbruik van gas
 58. DVGW Arbeitsblatt G 260 (Gasbeschaffenheit) (2012)
 59. Requirements for gas quality and gas appliances, Ministry of Economic Affairs - Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), uitgevoerd door DNV-GL, Report No.: 74106553.01b, oktober 2015
 60. Gasbeschaffenheiten in Deutschland: Was zum Wobbe-Index gesagt werden muss, Dr. Petra Nitschke-Kowsky et al. (E.ON Ruhrgas), Gwf Gas Erdgas, juni 2012
 61. The gas quality in a hydrogen distribution grid, T. Hillen, Msc Thesis, U-Delft, November 2019
 62. Nieuwsbericht Netbeheer Nederland: "Aandeel groen gas neemt fors toe", 30 januari 2020
 63. Kamerbrief over Kabinetsvisie waterstof, 30 maart 2020, kenmerk DGKE / 20087869
 64. Gas Decarbonisation Pathways 2020–2050, April 2020
 65. The Future of Hydrogen, IEA, juni 2019
 66. Kamerbrief over de rol van gas in het energiesysteem van nu en in toekomst, 30 maart 2020, kenmerk DGKE / 20062063
 67. <https://allesoverwaterstof.nl/zijn-alle-nieuwe-britse-cv-ketels-binnenkort-hydrogen-ready/>
 68. Routekaart Groen Gas, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat; Kamerstuk Tweede Kamer, vergaderjaar 2019–2020, 32 813, nr. 487
 69. Physical properties of natural gases, N.V. Nederlandse Gasunie, 1980
 70. ASME B31.12-2014 Hydrogen piping and pipelines
 71. <http://www.rixindustries.com/blog/rix-industries-delivers-ten-hydrogen-compressors-environmentally-friendly-applications/>
 72. Regeling van de Minister van Economische Zaken van 11 juli 2014, nr. WJZ/13196684, tot vaststelling van regels voor de gaskwaliteit (Regeling Gaskwaliteit) geldend vanaf 1-1-2019.
 73. De capaciteit van een (aard)gasnet blijft vrijwel gelijk voor waterstof! C. Pulles, artikel op Kenniscentrum Gasnetbeheer maart 2020, website uitsluitend toegankelijk voor netbeheerders
 74. Keller, Sommerday en Farese, Sandia Laboratories, Air Products, Presentatie International Hydrogen Fuel and Pressure Vessel Forum 2010
 75. EDGAR project A13
 76. Robert Bosch GmbH : trillingssensoren voor anti-klopregelingen
 77. M.Brown et al, DNV GL, Hy4Heat WP2, Hydrogen quality
 78. Informatie versterkt door GTS aan Kiwa Technology

I BIJLAGE : Overzicht literatuur

I.1.1 *Naturalhy*

Het Naturalhy onderzoek is uitgevoerd in de periode 2004 tot en met 2009, waarbij het budget 17,3 M€ bedroeg. In een presentatie voor GERG zijn de belangrijkste resultaten samengevat [17]:

- het effect van ontsteking van een gaswolk is tot 30 vol% waterstof niet veel anders dan voor aardgas;
- vanaf 40 vol% waterstofbijmenging zal de impact van een ontsteking groter zijn, omdat er dan een grotere kans is op het overgaan van deflagratie naar detonatie;
- het explosierisico wordt serieus verminderd, indien ophoping van gas niet kan plaatsvinden;
- Injectie tot 50 vol% waterstof is mogelijk voor X52 staal, dat gebruikt wordt in gastransportleidingen;
- voor de gasdistributiematerialen PE en PVC worden geen problemen voorzien, hoewel de permeatie van waterstofgas door de wand iets hoger zal zijn dan voor aardgas;
- conventionele huishoudelijke gastoestellen kunnen op een mengsel van maximaal 20 vol% waterstof werken. Dit geldt uitsluitend voor correct afgestelde gastoestellen. Het maximale bijmengpercentage is afhankelijk van de lokale aardgaskwaliteit;
- stationaire gasmotoren en gasturbines moeten aangepast of gemodificeerd worden om op een aardgas/waterstofmengsel te kunnen werken;
- voor processen waarbij aardgas als grondstof voor productie wordt gebruikt en voor industriële verbrandingsinstallaties moet van geval tot geval nagegaan worden hoeveel waterstof kan worden bijgemengd.

I.1.2 *NREL studie*

Dit rapport uit maart 2013 geeft een mooi overzicht van de stand van zaken inclusief de resultaten van het Naturalhy project [14]. De algehele conclusie is, dat bijmengen van 5 tot 15 vol% waterstof bij aardgas geen tot weinig aanpassingen aan de infrastructuur en de toestellen zal geven, hoewel dit van geval tot geval geïnventariseerd moet worden.

Om gebruikers, die problemen kunnen ondervinden van een te hoog waterstofgehalte in het aardgas, tegemoet te komen kan het waterstof uit het aardgas/waterstof mengsel gehaald worden. De kosten hiervoor worden op 0,3 tot 1,2 €/kg waterstof berekend, indien dit bij een gasdrukregelstation wordt toegepast en wel bij een drukval van 20 naar 2 bar. Het debiet waarmee dit is berekend is niet gespecificeerd.

NB. De kosten van scheiding van waterstof en methaan zijn erg afhankelijk van de drukval en het debiet. Volgens een recente publicatie [54] van DBI en DVGW zijn de kosten voor toepassingen bij debieten van minder dan 1.000 m³/uur hoog en worden de kosten geleidelijk lager bij hogere debieten.

I.1.3 *HIPS (Hydrogen in Pipeline Systems)*

Van dit project, uitgevoerd onder de vlag van GERG, zijn in oktober 2013 de bevindingen gepresenteerd [15]. Het doel van het onderzoek was om de mogelijkheid van waterstofbijmenging in de aardgasketen te onderzoeken. Hierbij is vooral aandacht gegeven aan de aspecten die in Naturalhy niet zijn onderzocht of aan de vragen die het Naturalhy onderzoek heeft opgeworpen.

De conclusie is, dat voor grote delen van het gasnet het mogelijk is om 10 vol% waterstof bij aardgas bij te mengen.

Voor ondergrondse gasoplagen in rotsgesteente met fijne poriestructuren wordt een groot risico voorzien, doordat waterstof kan leiden tot extra activiteit van sulfaatreducerende en zwavelreducerende bacteriën. Dit kan weer leiden tot verstopping van de fijne poriestructuren. Het is nog niet mogelijk om aan te geven tot welk gehalte waterstof kan worden bijgemengd.

Stalen tanks in aardgasvoertuigen die volgens de UN ECE R 110 norm zijn getest, hebben een productcertificaat waarmee de geschiktheid voor maximaal 2 vol% waterstof wordt aangetoond. Mogelijk is de tolerantie voor waterstof groter, maar meer dan 2 vol% waterstof is alleen mogelijk voor dit type tanks, indien een productcertificaat wordt overlegd waarin de geschiktheid voor hogere waterstofgehalten is vastgelegd.

De meeste gasturbines hebben specificaties waarbij maximaal 1 vol% waterstof mogelijk is. Met aanpassingen of een afgestelde regeling zou 5 vol% mogelijk moeten zijn. Nieuwe gasturbines of aangepaste gasturbines kunnen tot 15 vol% waterstof worden toegepast.

Voor gasmotoren wordt aangeraden om niet meer dan 2 vol% waterstof toe te passen. 10 vol% is mogelijk voor specifieke gasmotoren met een geavanceerde regeling. Voorwaarde is wel dat het methaangetal boven de minimale opgegeven specificatie blijft.

Veel procesgaschromatografen, die de gaskwaliteit meten, zijn niet toegerust op het meten van waterstof/aardgas mengsels.

Om na te gaan of het bijmengen van waterstof in een gebied mogelijk is, wordt voorgesteld om per geval een analyse uit te voeren.

Gasopslag in fijne poriestructuren lijkt een showstopper en veel procesgaschromatografen zullen een upgrade nodig hebben.

In geval een CNG-station is aangesloten, wordt aangeraden om het gehalte aan waterstof tot 2 vol% te maximeren.

5 vol% is mogelijk als geen CNG-station, geen gasturbines en geen gasmotoren met een waterstoftolerantie van minder dan 5 vol% zijn aangesloten.

10 vol% is mogelijk als er geen CNG-station, geen gasturbines en geen gasmotoren met een waterstoftolerantie van minder dan 10 vol% zijn aangesloten.

In het algemeen moet er gecontroleerd worden of de grenswaarden van de Wobbe-index en ook de specificaties van de fabrikant voor het methaangetal niet worden overschreden.

De auteurs geven aan dat er geen plotselinge schommelingen in de waterstofgehalten mogen optreden. De verandering in samenstelling mag niet meer bedragen dan 2 vol% per minuut. De onderbouwing voor de hoogte van deze grens wordt niet in het artikel gegeven, evenmin voor welke toepassingen dit kritisch is. In de onderliggende technische rapporten wordt alleen voor gasturbines aangegeven dat een te snelle fluctuatie tot problemen zou kunnen leiden.

I.1.4 EDGaR

Energy Delta Gas Research (EDGaR) was een nationaal initiatief, dat van 2010 tot 2015 liep en waarin de in Nederland aanwezige kennis op gasgebied is gebundeld om onderzoek te doen naar de inzetmogelijkheden van (aard)gas en duurzame energiesystemen. Achterliggende gedachte daarbij was om het wetenschappelijke kennisniveau hierover te verhogen en innovatieve technologieën te ontwikkelen. Aangezien in het Domhydro project [43] een combinatie van koude start en veel waterstof in het gas door enkele Duitse toestelleveranciers als kritisch werd beschouwd, zijn in het EDGaR project [34] vijf nieuwe Nederlandse toestellen getest. Hierbij werd koude lucht van buiten aangezogen en is met 30 vol% waterstof in aardgas getest. De toestellen startten zonder problemen, weliswaar met een hoge koolmonoxide-emissie gedurende de start, maar ze vertoonden vergelijkbaar gedrag met aanzuiging van lucht bij een gebruikelijke laboratoriumtemperatuur.

Veel toestellen zijn uitgerust met een ionisatiebeveiliging. De ionisatiestroom, die door de beveiliging wordt gemeten als er een vlam aanwezig is, bewijst dat het toestel is ontstoken.

De beveiliging sluit de gastoevoer als de ionisatiestroom lager is dan een ingestelde drempelwaarde. Tijdens de koude start is bij één toestel vastgesteld, dat de ionisatiestroom zeer sterk daalde tot juist boven de drempelwaarde. Dit geeft aan dat er een verhoogde kans is op het niet starten van toestellen bij een combinatie van een hoge concentratie waterstof in aardgas en een lage buitentemperatuur. Het is echter de vraag of deze combinatie van factoren in de praktijk zal optreden.

In totaal werden 30 toestellen getest, die vallen binnen iets meer dan de helft van de in Europa gangbare categorieën gastoestellen.

De onderzoekers concluderen, dat er geen technisch vernieuwende

toestelontwikkeling noodzakelijk is om waterstof in aardgas veilig te verbranden.

De barrière wordt gevormd door de reikwijdte van de certificering van de toestellen.

1.1.5 Hydrogen scaling up, by Mc Kinsey Company en Hydrogen Council

De Hydrogen Council heeft in november 2017 haar visie op de waterstofeconomie gepresenteerd [16]. De Hydrogen Council bestaat voornamelijk uit waterstofproducenten, de automobieliindustrie, brandstofcelproducenten, motorfabrikanten, maar ook Statoil (sinds 2018 Equinor) en Shell.

Voor de gebouwde omgeving is het volgende gemeld:

- waterstof is ideaal toe te passen in landen met een aardgasinfrastructuur;
- waterstof kan zonder problemen met 5 tot 20 vol% worden bijgemengd bij aardgas. Als onderbouwing hiervoor wordt het NREL-rapport geciteerd;
- puur waterstof in huishoudens kost 3.100 English Pound (€ 3.700,- aan vervangings- of aanpassingskosten voor een huishouden volgens informatie uit het Leeds 21 project (ketel, kooktoestel, boilers). Dit bedrag is veel lager dan de kosten die met elektrificatie gepaard gaan;
- In de wat koudere landen kan waterstof in 2050 in 18% van de energiebehoefte voor warmteopwekking voorzien. In 2030 zal dit slechts 1% zijn;
- Tot 2030 moet het mogelijk zijn om 50 miljoen huishoudens van een waterstof/aardgas mengsel te voorzien en 1,5 miljoen huishoudens van zuiver waterstof. Hiervoor is 3,5 miljoen ton waterstofproductiecapaciteit nodig. De investeringen hiervoor zijn: 10 miljard \$ voor waterstofproductie-eenheden, 3 miljard \$ voor infrastructuur en 1,5 miljard \$ voor de ontwikkeling van ketels en kleine warmte/kracht-eenheden.

1.1.6 Toekomstbestendige gasdistributienetten

Kiwa Technology heeft in opdracht van Netbeheer Nederland nagegaan of de gasdistributienetten toekomstvast gemaakt kunnen worden [6].

De belangrijkste conclusie uit dit onderzoek is, dat het bestaande gasnetwerk met de juiste maatregelen prima ingezet kan worden om duurzame gassen, zoals (100%) waterstof en biomethaan, te distribueren.

Daar waar distributie van duurzame gassen gewenst is, kan het gasnet van de toekomst in grote mate gelijk blijven aan het huidige aardgasnetwerk.

De belangrijkste aanpassing voor de netbeheerders betreft het meten en de verrekening van de geleverde hoeveelheid energie. Een voorwaarde is verder, dat bij de eindgebruiker de toestellen geschikt gemaakt worden voor 100% waterstof en biomethaan.

De totale kosten voor het omschakelen en aanpassen van de netwerken naar 100% waterstof kunnen oplopen tot 700 miljoen Euro. De netwerkkosten stijgen grofweg met 10 tot 50% per woning per jaar.

De grootste kostenpost die is meegenomen bij de overstap naar waterstof is het vervangen van de gasmeter en het vernieuwen van de procedure voor verrekening

van de gaskosten als gevolg van verschillen in gassamenstelling. Een significante periodieke kostenpost hangt samen met verscherpt toezicht bij graafwerkzaamheden. Voor biomethaan wordt aanbevolen om de bandbreedte van de gaskwaliteit te verruimen. In dat geval komen er nog extra kosten bij voor het kunnen omgaan met de variërende calorische waarde.

De in dit rapport genoemde aanvullende netbeheerderskosten zijn overigens beperkt ten opzichte van de verwachte aanpassingskosten van toestellen bij de eindgebruikers.

I.1.7 Marcogaz studie

Marcogaz heeft in 2019 de resultaten gepresenteerd van een onderzoek dat in haar beheer is uitgevoerd. Het onderzoek is gedaan met behulp van 60 literatuurbronnen, waarin onderzoek naar de effecten van bijmenging van waterstof aan aardgas is opgenomen [28]. Verder zijn de van toepassing zijnde normen en technische productspecificaties beschouwd en zijn interviews gehouden met fabrikanten van apparatuur en appendages en met leden van Marcogaz. De reden om deze studie uit te voeren was, dat er inmiddels veel onderzoek is gedaan en dat de conclusies van de onderzoeken niet altijd met elkaar overeenkomen. De resultaten van het Marcogaz onderzoek worden inmiddels breed gedragen door verschillende belangenorganisaties als CEDEC, EBA, ENTSOG, Eurogas, GIE, Hydrogen Europe en GEODE.

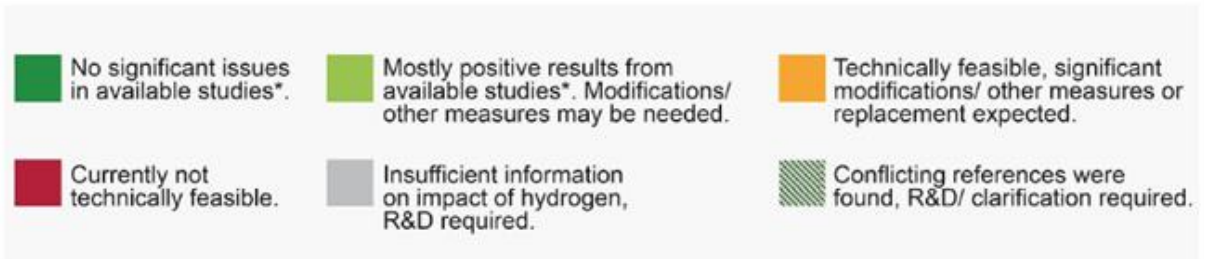
Omdat er al veel voorwerk is verricht (zie literatuurlijst), is de informatie van Marcogaz, waarbij een aantal experts de mogelijkheid van bijmenging van waterstof bij aardgas reeds heeft beschouwd (zie onderstaande figuur ter toelichting), als voorbeeld gebruikt.

De data zijn gecheckt en zonodig bijgesteld op basis van voortschrijdend inzicht, of omdat de Nederlandse situatie anders is vanwege het gas dat nu in het gasnet wordt gedistribueerd. Het gas dat in Nederland wordt gedistribueerd is uniek in Europa qua samenstelling. Het is laagcalorisch gas met een smalle Wobbe-band en wordt G-gas genoemd. Laagcalorisch gas wordt als L-gas beperkt geëxporteerd en gebruikt in delen van België, Noord-Frankrijk en Noordwest Duitsland. De komende jaren zal de export ervan snel afnemen. Met name in Duitsland is men al ver in het omzetten van de gasinfrastructuur van L-gas naar H-gas.

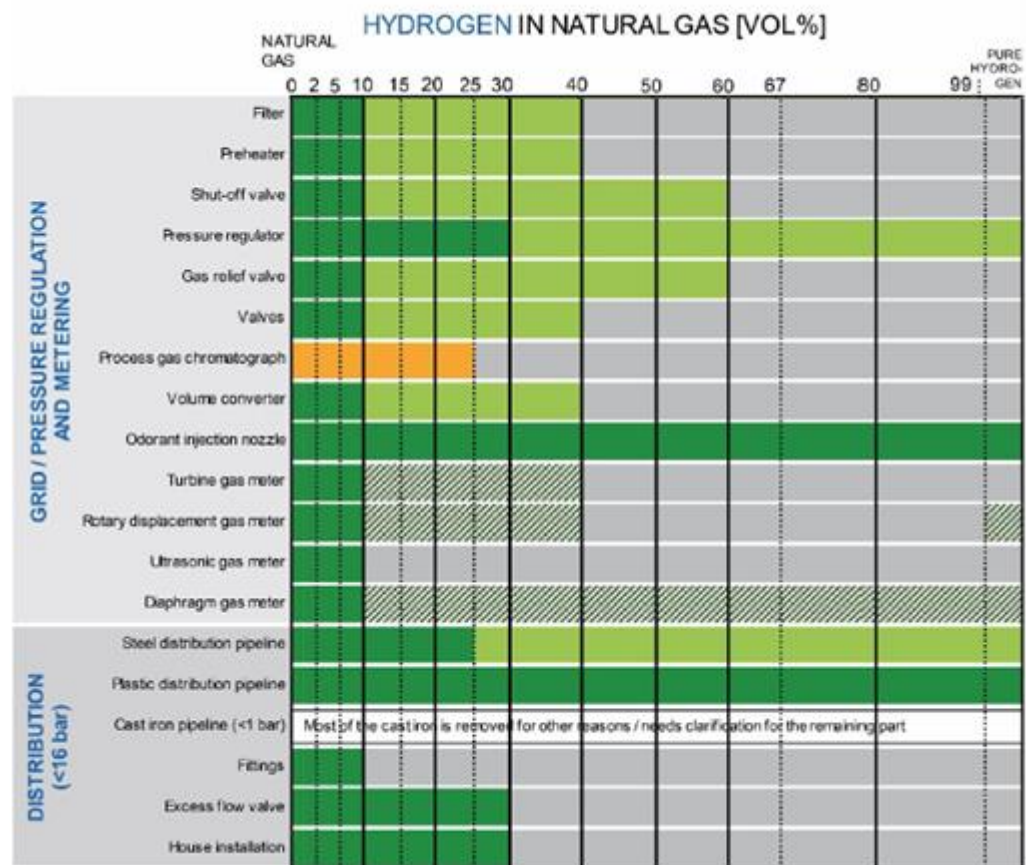
De conclusies die zijn getrokken voor de bijmenging van waterstof bij H-gas, kunnen anders zijn voor L-gas.

De Marcogaz studie is opgeleverd in de vorm van Infographics. Hierbij is met een kleurencode aangegeven wat de status is. De verschillende beschrijvingen hierbij zijn als volgt:

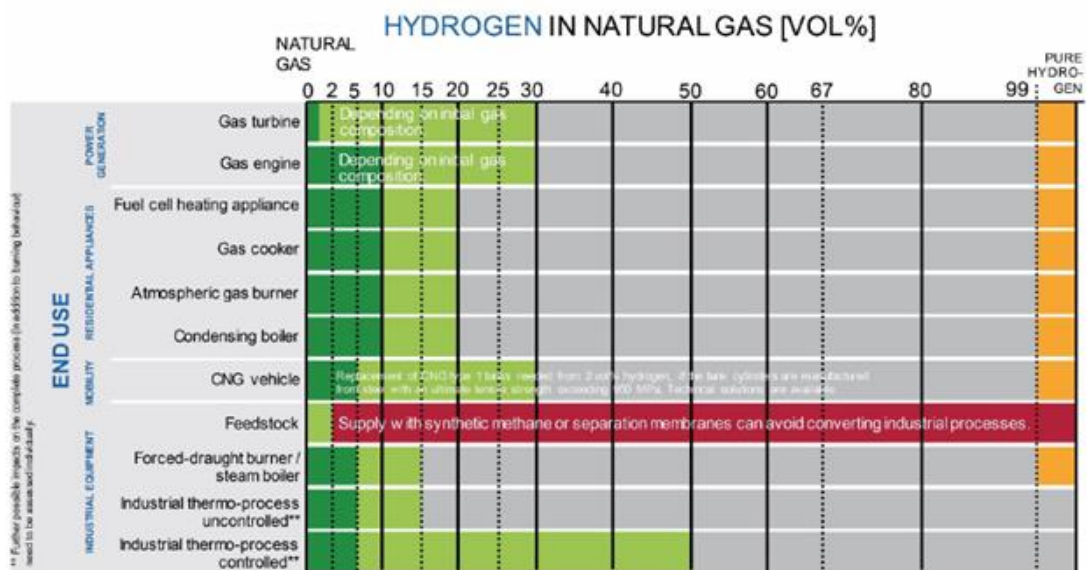
- Geen belangrijke belemmeringen (donkergroen)
- Overwegend geen belemmeringen, maar er zijn wel aanpassingen of maatregelen nodig (lichtgroen)
- Technisch mogelijk maar er zijn belangrijke aanpassingen en maatregelen nodig (oranje)
- Momenteel niet mogelijk (rood)
- Onvoldoende informatie beschikbaar (lila)
- De referenties zijn strijdig en dit moet verduidelijkt worden (gearceerd)



Figuur B1: Kleurencode, die in de studie van Marcogaz is gebruikt om de geschiktheid van het gasnet, appendages en toepassingen voor het bijmengen van waterstof te duiden.



Figuur B2: Infographic waterstofbijmenging in het gasnet t/m 16 bar



Figuur B3: Infographic waterstofbijmenging gastoeepassingen

De belangrijkste conclusies van de Marcogaz-studie luiden:

- voor de belangrijkste onderdelen van zowel het gastransport-, het gasopslag- als het gasdistributiesysteem is het mogelijk om tot 10 vol% waterstof toe te passen zonder verdere aanpassingen;
- 20 vol% toevoeging is mogelijk mits er aanpassingen worden gedaan;
- bijmengpercentages van meer dan 20 vol% waterstof zijn mogelijk na verder onderzoek, noodzakelijke aanpassingen dan wel vervanging van onderdelen van de gasinfrastructuur.

Met betrekking tot de onderdelen van de gasinfrastructuur die wel gevoelig zijn voor waterstof zijn de samenvattende conclusies:

- voor processen, waarbij aardgas een grondstof is, kan zeer weinig waterstof worden bijgemengd
- voor veel industriële processen is tot 5 vol% waterstoftoevoeging mogelijk;
- voor thermische industriële processen, zoals de toepassing van ovens of industriële branders, wordt verwacht dat tot 15 vol% waterstofbijmenging mogelijk is, zonder aanpassingen;
- hogere gehalten dan 15 vol% zijn mogelijk na verder onderzoek, noodzakelijke aanpassingen dan wel vervanging.

1.1.8 Franse studie: Technical and economic conditions for injecting hydrogen into natural gas networks

Dit rapport van juni 2019 lijkt de visie van de gehele Franse (aard)gassector weer te geven [35]. De scope betreft zowel het transport- als het distributienet.

Momenteel is 6 vol% waterstofbijmenging toegestaan in het Franse net. Voor enkele industriële gebruikers zou 6 vol% te veel zijn. Stalen CNG-tanks kunnen niet meer dan 2 vol % waterstof aan en sommige industriële gebruikers, zoals de glasindustrie en bedrijven die aardgas als grondstof gebruiken, kunnen volgens de opstellers van het rapport nu niet zonder meer 6 vol% waterstof aan. Omdat de voorziene problemen oplosbaar zijn, is er geen reden om de huidige 6% naar beneden bij te stellen.

6 vol% wordt als een haalbaar doel gezien voor een spoedige toepassing in geselecteerde en geschikte regio's. Wel moet van tevoren een grondige inventarisatie van de knelpunten plaatsvinden en deze moeten uiteraard opgelost worden. Voor 2030 wordt een gehalte van 10 vol% nagestreefd met als een van de argumenten, dat men in dat geval in lijn is met de Duitse visie. Een volgende stap is een gehalte van 20 vol%. Dit wordt als een voorlopig eindstadium gezien, aangezien de aanpassingskosten voor nog hogere gehalten dan erg hoog worden.

1.1.8.1 Technische maatregelen

Voor de invoering van 6 vol% waterstof zullen bepaalde industriële eindgebruikers en CNG-stations (stalen tanks in voertuigen en tanks voor opslag) moeten worden ontzien. Dit kan door plaatselijk waterstof uit het gasmengsel te halen met behulp van membranen. De kosten worden niet benoemd. Wel wordt gesteld dat dit vanaf 1 vol% waterstof, zal moeten plaatsvinden.

Tot 10 vol% waterstof zijn de volgende maatregelen noodzakelijk:

- installatie van geschikte gaschromatografen t.b.v. fiscale verrekening;
- keuze voor geschikte lekdetectoren;
- gecertificeerde gasmeters;
- coaten van een beperkt aantal transportleidingen;
- ontzwellen en ontvochtigen van gas voor toepassing in ondergrondse gasopslagen.

Er zijn geen kosten voor de eindgebruikstoestellen opgenomen.

Voor de stap van 10 naar 20 vol% waterstof zijn de volgende maatregelen voorzien:

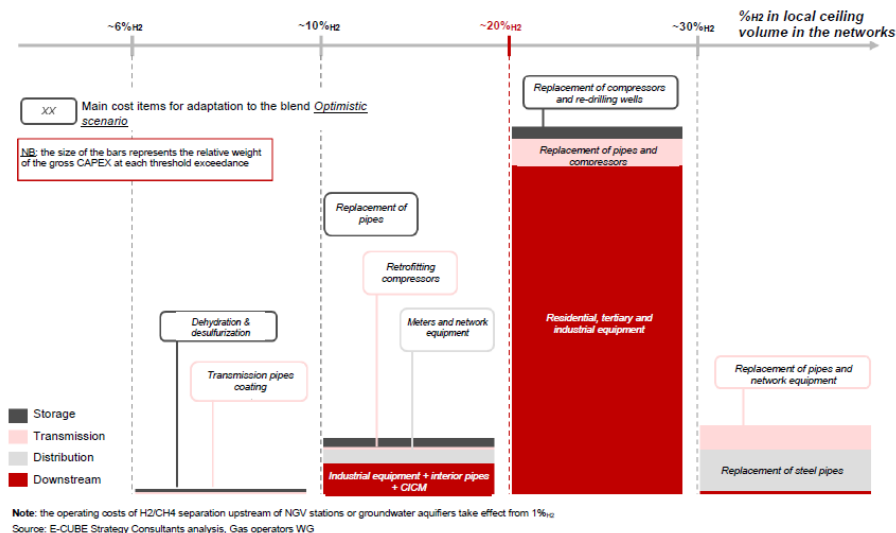
- vervanging van leidingen;
- aanpassing van compressoren (gastransport en gasdistributie);
- aanpassing/vervangen van gasmeters en gasdrukregelinstallaties (gastransport en gasdistributie);
- aanpassing van industriële toestellen, binnenleidingen en membranen voor ontmenging (eindgebruikers).

Voor de stap van 20 naar 30 vol% waterstof zijn de volgende maatregelen voorzien:

- vervanging van compressoren (ten behoeve van gasopslag);
- vervanging van compressoren en leidingen (gastransport);
- vervanging en aanpassing van toestellen en installaties voor zowel huishoudens, industrie als de tertiaire sector.

1.1.8.2 Kosten voor aanpassingen

De kosten voor aanpassingen bij de eindgebruikers van 20 naar 30 vol% waterstof worden als zeer hoog ingeschat. Opvallend genoeg zijn in het schematisch overzicht, geen kosten voor aanpassingen bij de huishoudens voor de stap naar 20% opgenomen. Hierbij wordt verwezen naar de studies Duinkerken en Ameland (zie de paragrafen 1.1.9.1 en 1.1.9.2). Mogelijk wordt door de auteurs aangenomen, dat tegen die tijd de toestellen geschikt zijn voor 20 vol% waterstof.



Figuur B4: Relatieve investeringen in de gasinfrastructuur

In het rapport is verder geduid dat duurzame oplossingen, zoals 100% waterstof, bijmenging en methaniseren (synthese van methaan uit waterstof en CO₂) naast elkaar zullen bestaan. Tot 10 vol% waterstof bijmenging wordt als een logische stap gezien, daarna zullen de diverse opties concurreren.

1.1.9 Praktijktesten waterstofbijmenging

Er is een aantal praktijktesten in kleine lokale gasnetten gehouden of nog gaande. Deze zijn:

- Ameland
- Duinkerken
- Klankxbüll
- Schoppsdorf

De belangrijkste resultaten uit deze demonstratieprojecten worden beknopt weergegeven.

1.1.9.1 Ameland

Hierbij is een gasnet, waarop 14 woningen zijn aangesloten, gedurende vier jaar getest met een mengsel tot maximaal 20 vol% waterstof [7].

Uit het onderzoek komt naar voren, dat gasdistributiematerialen na blootstelling gedurende vier jaar aan verschillende concentraties waterstof (tot 20 vol%) in aardgas geen zichtbare en meetbare verandering in kwaliteit hebben ondergaan. 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 op basis van de visuele inspecties geconcludeerd worden, dat de kwaliteit van de gasmeters niet verslechtert 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. De CV-toestellen functioneren zowel voor als na de blootstelling aan waterstof conform de gastechnische specificaties. De toestellen zijn lekdicht 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 L-gas en niet speciaal zijn aangepast voor het bijmengen van waterstof. Bij de meting van CV-toestellen op Ameland is in het algemeen een lagere NO_x uitstoot gemeten.

Het toevoegen van waterstof aan aardgas geeft een hogere adiabatische vlamtemperatuur. Door de hogere adiabatische vlamtemperatuur wordt de vorming van NO_x verhoogd. De verhoging van de luchtvermaat zorgt er echter voor, dat de temperatuur, en daarmee de NO_x vorming daalt. De NO_x verlagende invloed bleek bij deze experimenten groter te zijn dan de NO_x verhogende invloed.

Uit de metingen op Ameland aan 10 en 20 vol% waterstof blijkt, dat de CO-emissie daalt. De verklaring hiervoor wordt gezocht in het aanwezig zijn van meer waterdamp in de rookgassen door toevoeging van waterstof. Deze waterdamp zorgt voor een grotere concentratie aan OH radicalen, die met CO reageren tot CO₂.

De kooktoestellen functioneren volgens de gastechnische specificaties, zijn lek dicht en hebben geen waterstofgerelateerde schades opgelopen in de vier jaar dat ze belast zijn met waterstofverrijkt aardgas. Het betreft nieuwe standaard toestellen, die zijn bedoeld voor het gebruik van L-gas en niet speciaal zijn aangepast voor het bijmengen van waterstof.

Bij één kooktoestel werd in de referentiemeting een te hoog gehalte koolmonoxide gemeten in laaglast. Dit was bij 30% waterstof in aardgas, bij één pit in laaglast. Omdat dit waterstofgehalte in de proef niet zou voorkomen en alle andere metingen een toelaatbaar koolmonoxidegehalte lieten zien, is besloten het toestel in de proef op te nemen.

1.1.9.2 Duinkerken (GRHYD)

Dit project betreft het bijmengen tot 20 vol% waterstof aan aardgas voor de levering aan 103 gebouwen en een zorginstelling [35]. Het betreft hier condenserende CV-ketels, kooktoestellen en twee grote ketels.

De eerste testen met 6 vol% en 10 vol% bijmenging laten zien dat de CV-ketels normaal functioneren. Ook het gasnetwerk en de appendages functioneren goed bij deze gehaltenes.

1.1.9.3 Klankxbüll

Schleswig-Holstein Netz AG heeft de mogelijkheid van invoeding tot 10 vol% waterstof in aardgas getest. Doel was om na te gaan of het maximaal toegestane gehalte van 2 vol% waterstof in aardgas in de toekomst verhoogd kan worden. De proef kende twee fasen [47].

In een testomgeving zijn allereerst verschillende gastoestellen tot 30 vol% waterstof in aardgas beproefd. Dit was tevens een voorbereiding op de veldtest.

In de veldtest is in stappen, oplopend met steeds 2 vol% waterstofbijmenging bij aardgas, getest tot een maximumgehalte van 10 vol% waterstof. De veldtest vond plaats in een 18 km lang gasnet, waarop 171 gastoestellen bij 164 klanten waren aangesloten. Het toestellenpark bestond voornamelijk uit HR-ketels en boilers. Tot het toestellenpark behoorden ook twee micro-WK opstellingen en enkele gaskachels. Er is rekening gehouden met toepassingen die gevoelig zijn voor waterstofbijmenging, zoals CNG-tanks. Potentieel gevoelige toepassingen zijn niet in de proef opgenomen.

Bij het begin van de test zijn nulmetingen aan de toestelemissies gedaan.

De resultaten waren zeer positief. In de meeste gevallen daalde de emissie van CO en NO_x. Het thermisch vermogen van de toestellen nam nauwelijks af. Zelfs bij een bijmenggehalte van 30 vol% nam het thermisch vermogen van de toestellen maar in geringe mate af.

Twee toestellen vertoonden storingen. Na een onderhoudsbeurt en opnieuw instellen functioneerden de toestellen goed.

Het in PE uitgevoerde gasnet, vertoonde geen lekkages. De huisdrukregelaars functioneerden goed en dit gold ook voor de balgengasmeters.

I.1.9.4 Schoppsdorf

DVGW en de netbeheerder Avacon Netz GmbH, gaan een grootschalige proef houden in Schoppsdorf in de deelstaat Saksen-Anhalt [47]. Hierbij zal in een gasnet tot een maximumgehalte van 20 vol% waterstof aan aardgas worden toegevoegd.

DVGW ziet dit als een logische stap. 10 vol% toevoeging lijkt mogelijk voor de meeste gastoepassingen en volgens DVGW is een hoger bijmengpercentage technisch mogelijk.

In totaal zullen 400 tot 500 gastoepassingen worden aangesloten op het gasnet. Het waterstofgehalte zal vanaf 10 vol%, naar 15 vol% tot aan 20 vol% worden opgevoerd. In juni 2022 is het project afgerond.

Het is interessant om de visie van DVGW met betrekking tot de regelgeving van waterstofbijmenging te vermelden. In een workshop, georganiseerd door DVGW op 13 september 2019, werden de plannen ontvouwd. In 2030 moet het mogelijk zijn om 10 vol% waterstof bij te mengen en moet dit ook in regelgeving zijn vastgelegd. Kort hierna moet 20 vol% waterstof mogelijk zijn. Voor specifieke toepassingen moet het gebruik van 100 vol% waterstof in regelgeving zijn vastgelegd.