

HyDelta

WP 1C Leidingen en binneninstallaties (componenten)

D1C.5 vraagnummer 101 – Risico's bij het gebruik van waterstof in plaats van aardgas

Status: definitief

Dit project is medegefinancierd door TKI Nieuw Gas | Topssector Energie uit de PPS-toeslag onder referentie nummer TKI2020-HyDelta.

Document samenvatting

Corresponderende auteur

Corresponderend auteur	ing. Henk Salomons
Verbonden aan	Kiwa Technology B.V.
Email adres	henk.salomons@kiwa.com

Document historie

Versie	Datum	Auteurs	Verbonden aan	Samenvatting van de wijzigingen
1	03-09-2021	ir. H.J.M. Rijpkema, ing. H. Salomons	Kiwa Technology	n.v.t.
2	29-09-2021	ir. H.J.M. Rijpkema, ing. H. Salomons, ing. S.L.M. Lueb	Kiwa Technology	Verwerking diverse commentaren
3	21-10-2021	ir. H.J.M. Rijpkema, ing. H. Salomons, ing. S.L.M. Lueb	Kiwa Technology	Verwerking diverse commentaren
4	08-11-2021	ir. H.J.M. Rijpkema, ing. H. Salomons, ing. S.L.M. Lueb	Kiwa Technology	Verwerking commentaar supervisory group en rectificatie cijfers opzet uit tabel 1
5	04-02-2022	ir. H.J.M. Rijpkema, ing. H. Salomons, ing. S.L.M. Lueb	Kiwa Technology	Opname toelichtende tekst in de samenvatting en in H6. Aanpassing lay-out tabellen Bijlage III.

Verspreidingsniveau

Verspreidingsniveau		
PU	Public	X
R1	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> Partners inclusief Expert Assessment Group Andere deelnemers aan het project inclusief Sounding Board Externe entiteit gespecificeerd door het consortium 	
R2	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> Partners inclusief Expert Assessment Group Andere deelnemers aan het project inclusief Sounding Board 	
R3	Beperkt tot <ul style="list-style-type: none"> Partners inclusief Expert Assessment Group 	

Document beoordeling

Partner	Naam
Stedin	Dick Nieuwenhuizen
Enexis	Henk Smit
Enexis	Walter Koppenol
Alliander	Rob Nispeling
Westland Infra	Rick den Hartog
Rendo	Johan Jonkman
Coteq	Sytze Buruma
Remeha	Raymond van den Tempel
Henco	Dirk Vroman
HSF	Alexander Barendrecht
DNV	Albert van den Noort
Kiwa Technology	Sander Lueb
NEC, Kiwa Technology, DNV, TNO, Gasunie, NBNL, Stedin, Alliander	HyDelta Supervisory Group

Samenvatting

In het kader van het nationale onderzoeksprogramma HyDelta is een onderzoek uitgevoerd naar de risico's met betrekking tot bestaande gasinstallaties bij huishoudelijke gasafnemers na het overschakelen van aardgas naar 100% waterstof.

Hiermee is beoogd inzicht te krijgen of er aanvullende maatregelen getroffen moeten worden om een binneninstallatie het bestaande veiligheidsniveau te doen behouden. Het bepalen van het effect van deze maatregelen op het risico maakt geen onderdeel uit van deze studie.

Daarnaast zijn praktijkgegevens geanalyseerd van aardgasongevallen uit de periode 2010 t/m 2020. Het betreft branden/steekvlammen, explosies en koolmonoxidevergiftigingen. Bij het overschakelen op waterstof is er geen kans meer op koolmonoxidevergiftiging. De kans op brand of explosie zal echter mogelijk toenemen.

Ook zijn er praktijkgegevens geanalyseerd van lekdichtheidsbeproevingen, in totaal drie bronnen, waarvan de grootste bron 1,4 miljoen aansluitingen betreft. Hieruit blijkt dat 1 tot 2% van de bestaande leidinginstallaties lek is ($0,1 - 1 \text{ dm}^3/\text{h}$) zonder dat dit tot problemen leidt én zonder dat dit door de bewoners wordt opgemerkt.

Uit proefprojecten met woningen met een waterstofinstallatie blijkt dat bij elk project aanvullende technische en organisatorische veiligheidsmaatregelen zijn of worden getroffen vanwege het experimentele karakter van de proef. In de huidige proefprojecten in Nederland worden kooktoestellen op waterstof uitgesloten.

Met een risicomodel, gebaseerd op het model van Fine en Kinney zijn scenario's in kaart gebracht waarbij een incident leidt tot letsel of de dood. Elk scenario kreeg hierbij een risico-index, zowel bij aardgas als bij waterstof.

De hoofdconclusies met betrekking tot de extra risico's bij de overschakeling van aardgas naar waterstof zijn:

- De kans op koolmonoxidevergiftiging wordt gereduceerd van 19,6 getroffen personen per miljoen gasaansluitingen per jaar (waarvan 0,37 dodelijk)¹ naar 0.
- De kans op letsel bij kleine gaslekkages blijft uiterst klein.
- De kans op letsel anders dan een CO-vergiftiging bij grote gaslekkages wordt groter. Op dit moment is het aantal gewonden 1,16 per miljoen aansluitingen per jaar (waarvan 0,06 dodelijk).

Enkele extra mitigerende maatregelen die grote gaslekkages en/of nadelige gevolgen daarvan kunnen voorkomen zijn het toepassen van een doorstroombegrenzer² en een controle van de gasleidinginstallatie (visueel, op sterkte en dichtheid) vóór het overschakelen op waterstof.

Context van dit rapport

Voor de inzet van waterstofdistributie in de energietransitie, wordt uitgegaan van een veiligheidsniveau dat minimaal gelijkwaardig moet zijn aan die van de bestaande aardgasdistributie. Dit rapport geeft een beeld van welke risico's groter of kleiner zijn bij waterstof, indien de set mitigerende maatregelen van aardgas aangehouden wordt. Voor de situaties waarin een risico groter is, zal de set mitigerende maatregelen voor waterstof aangepast moeten worden om het veiligheidsniveau op peil te houden. Dit rapport geeft slechts een kwalitatieve vergelijking van de risico's voor waterstof ten opzichte van aardgas, uitgaande van de set mitigerende maatregelen zoals bij aardgas: is het hoger, lager of gelijk. In HyDelta werkpakket 1a wordt kwantitatief onderzoek gedaan naar de mate waarin risico's veranderen en welke aangepaste mitigerende maatregelen in die situaties effectief zijn.

¹ De Onderzoeksraad voor Veiligheid schat deze aantallen nog vele malen hoger.

² Doorstroombegrenzer: Automatisch werkende gasafsluiter die sluit wanneer het ingestelde gasdebiet wordt overschreden. Ook wel bekend onder de namen Excess Flow Valve (EFV) of doorstroombegrenzer.

Inhoud

Document samenvatting	2
Samenvatting.....	4
1. Aanleiding.....	7
1.1 Algemeen.....	7
1.2 Probleemstelling.....	7
1.3 Onderzoeksvraag 101.....	7
2. Doel	8
3. Werkwijze.....	9
4. Praktijkgegevens kleine gaslekkages.....	10
4.1 Bron a: Gaslekkages aardgas, gemeten bij gasmeterwisselingen	10
4.2 Bron b: Gaslekkages in leidingen van woningbestanden van woningcorporaties	11
4.3 Bron c: Ongevallen, veroorzaakt door geringe aardgaslekkages	11
4.4 Vergelijking risico kleine aardgas- en waterstoflekkages.....	11
4.5 Conclusie	12
5. Praktijkgegevens van aardgasongevallen.....	13
5.1 Verzamelde gegevens.....	13
5.2 Analyse van de gasincidenten	16
Ongevallen, veroorzaakt door gas.....	16
Brand, verhevigd door bezwijken gasinstallatie.....	16
Opzet	16
6. Risicoscenario's aardgas versus waterstof	17
6.1 Het model van risicobeoordeling volgens Fine en Kinney	17
6.2 Uitgangspunten bij het bepalen van de score.....	20
6.3 Onderbouwing van de scores.....	22
6.4 Analyse/bespreking resultaten risicotabel.....	24
7. Proefprojecten: woningen met waterstof.....	25
7.1 Niet bewoonde proefprojecten.....	25
7.1.1 Apeldoorn, Waterstofwoning Alliander/Kiwa	25
7.1.2 Uithoorn	25
7.1.3 Spadeadam, UK	26
7.2 Bewoonde proefprojecten	26
7.2.1 Rozenburg.....	26

7.2.2	Stad aan 't Haringvliet (in voorbereiding)	26
7.2.3	Hoogeveen, Lochem en Wagenborgen (projecten in voorbereiding).....	26
7.2.4	The Green Village/TU Delft, Project H2@home (project in voorbereiding).	27
7.2.5	UK Hy4Heat Community Trial (project in voorbereiding)	27
8.	Mitigerende maatregelen	28
8.1	Aardgas (huidige mitigerende maatregelen voor de binneninstallatie)	28
8.2	Aanbevolen aanvullende mitigerende maatregelen.....	28
8.3	Optionele maatregelen	29
9.	Conclusies en aanbevelingen	30
9.1	Conclusies.....	30
9.2	Aanbevelingen.....	30
	Referenties	31
I	Overzicht van vragen HyDelta WP1C	32
II	Overzicht samenstelling Expert- and Assessment Group (EAG) deelvraag 101.....	33
III	Risicotabel (3 bladzijden)	34
IV	Gemeten lekkages van binnenleidingen bij meterwisseling	37
	Meetmethode lekdichtheid.....	37
	Meetgegevens.....	37
	Analyse	39
	Conclusie	39

1. Aanleiding

1.1 Algemeen

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van het nationale onderzoeksprogramma HyDelta. Dit programma is gericht op het veilig inpassen van waterstof in de bestaande infrastructuur voor gastransport en gasdistributie en heeft als doel om barrières voor innovatieve waterstofprojecten weg te nemen. Het volledige onderzoeksprogramma is ingedeeld in werkpakketten. Voor een toelichting op de verschillende werkpakketten zie www.hydelta.nl.

1.2 Probleemstelling

Bij de ombouw van het aardgasnet naar een waterstofnet zal het aardgas in de leidingen worden vervangen door waterstof. Dat betekent dat er waterstof door de binnenleidingen³ stroomt en dat de verbrandingstoestellen waterstof verbranden. Als hier geen passende extra maatregelen worden getroffen bestaat de kans dat hiermee het veiligheidsrisico voor de gebruiker hoger wordt.

1.3 Onderzoeksvraag 101

Deze rapportage geeft antwoord op de onderzoeksvraag 101 uit het werkpakket 1C Leidingen en binneninstallaties⁴.

De onderzoeksvraag is als volgt⁵:

Vraagnummer HyDelta 101: Wat zijn de risico's met betrekking tot bestaande gasinstallaties (bij de klant) **na** omzetting van aardgas naar 100% waterstof?

³ Binnenleiding, binneninstallatie: Het leiding/installatiegedeelte *achter* de gasmeter.

⁴ De overige vragen uit dit werkpakket zijn opgenomen in Bijlage I.

⁵ De oorspronkelijke vraag zoals omschreven in de werkpakketomschrijving is: Onderzoek naar de risico's met betrekking tot bestaande gasinstallaties (bij de klant) bij omzetting van aardgas naar 100% waterstof. De tekst is enigszins gewijzigd t.b.v. de duidelijkheid.

2. Doel

Doel van dit onderzoek is vast te stellen welke risico's de gebruiker van de binneninstallatie en derden lopen nadat deze is omgezet van aardgas naar waterstof. Deze risico's worden afgezet tegen de risico's van aardgas.

Hiermee is beoogd inzicht te krijgen waar er aanvullende maatregelen getroffen moeten worden bij het overschakelen op waterstof, zodat de situatie (inclusief mitigerende maatregelen) minstens zo veilig is als de situatie met aardgas.

LET WEL

Het gaat hierbij dus **niet** om de risico's bij de **handelingen** van het ombouwen van aardgas naar waterstof.

3. Werkwijze

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag is een deskstudie uitgevoerd die twee paden kent:

Een pad is erop gericht de informatie en kennis die bekend is uit (inter-)nationale onderzoeken en proefprojecten te verzamelen, te bundelen en te vertalen naar de Nederlandse situatie, bijvoorbeeld de resultaten van Hy4Heat en H21 uit de UK, Hoozevee, Green Village, Stad aan 't Haringvliet, en de demo-woning op het Kiwa-terrein te Apeldoorn in Nederland.

Het andere pad is erop gericht om de bestaande kennis over risico's verbonden aan de aardgas binneninstallaties zoals die in Nederland worden aangetroffen (op basis van normen en praktijkervaringen opgedaan tijdens inspecties van de binneninstallaties door Kiwa Technology), te vertalen naar de risico's voor binneninstallaties indien deze worden gebruikt voor waterstof. Voor de vertaling van de risico's van aardgas naar waterstof is gebruik gemaakt van de resultaten van het onderzoek naar kleine lekken zoals weergegeven in "Eerste inventarisatie naar waterstofuitstromen bij kleine toelaatbare lekken" [7] als ook van het resultaat behaald door DNV GL en weergegeven "Gedrag van waterstof bij lekkages in het gasdistributienet⁶" [6] en andere rapportages.

De uitvoering van dit onderzoek is afgestemd met een Expert- and Assessment Group (EAG). Deze groep bestaat uit deelnemers vanuit de netbeheerders, fabrikanten, installatiebranche en Kiwa Technology (zie Bijlage II). In samenspraak met hen zijn de risico's in kaart gebracht van (aardgas voerende) installaties vóórdat en nadat het aardgas is "vervangen" door waterstof. Zodoende is op elk aspect te zien of het risico met waterstof lager, hoger of gelijk is aan dat van aardgas.

De volgende risico's zijn beschouwd voor zowel aardgas als waterstof:

- brand/steekvlam,
- explosie,
- koolmonoxidevergiftiging, en
- verergering van een brand met een andere oorzaak, door het bezwijken van de gasinstallatie.

Het risico op verstikking is niet beschouwd. Bij aardgasinstallaties zijn namelijk geen gevallen bekend waarbij een gasuitstroming achter de gasmeter heeft geleid tot verstikking⁷.

Het onderzoek bestaat uit een aantal onderdelen:

In hoofdstuk 4 worden praktijkgegevens van vele kleine aardgaslekkages besproken die **niet** tot een ongeval hebben geleid. Hieraan is een beschouwing toegevoegd over de kans dat dit bij waterstof wel fout was afgelopen.

Hoofdstuk 5 gaat over praktijksituaties die juist wel tot een ongeval hebben geleid. Het zijn gegevens van incidenten, branden, explosies, koolmonoxidevergiftigingen over de periode 2010 t/m 2020.

In hoofdstuk 6 worden aan de hand van een risicomodel vele risico-scenario's van aardgas vergeleken met dat van waterstof. Hierbij wordt het model van Fine en Kinney gebruikt als basis, dat is aangepast voor dit doel.

In hoofdstuk 7 worden diverse proefprojecten beschreven, met vooral de mitigerende maatregelen. Helaas was geen van deze projecten al zo ver gerealiseerd om te weten of ze ook effectief zijn.

In hoofdstuk 8 worden de mogelijke mitigerende maatregelen benoemd.

In hoofdstuk 9 zijn de bevindingen samengevat in een eindconclusie.

⁶ De onderzoeksresultaten m.b.t. gedrag van waterstof zijn namelijk ook bruikbaar voor *binnen*installaties.

⁷ Gebaseerd op verzamelde ongevalcijfers van Kiwa Technology BV. Meer over deze cijfers in paragraaf 5.1.

4. Praktijkgegevens kleine gaslekkages

Drie bronnen met praktijkgegevens van aardgaslekkages zijn onderzocht:

- Lekkages gemeten bij gasmeterwisselingen (max. 1 dm³/h).
- Gaslekkages in leidingen van woningbestanden van woningcorporaties (circa 5 à 10 dm³/h).
- Gegevensdatabank gasongevallen (tot circa 10 dm³/h).

4.1 Bron a: Gaslekkages aardgas, gemeten bij gasmeterwisselingen

Sinds januari 2015 hebben netbeheerders op grote schaal gasmeters uitgewisseld met zogenaamde slimme meters. Bij dergelijke meterwisselingen controleren monteurs vooraf of er geen ontoelaatbare lekkages in de binnenleiding voorkomen. De meetgegevens die bij deze meterwisselingen worden verzameld zijn bruikbaar om een beeld te krijgen van de mate waarin lekkages voorkomen in bestaande gasbinnenleidingen. Daarom zijn deze meetgegevens opgevraagd bij vier verschillende netbeheerders. Dit heeft geresulteerd in lektheidgegevens van bijna 1,4 miljoen binneninstallaties met een G4 of G6 gasmeter, de typische grootten van huishoudelijke gasmeters. Zie Bijlage IV. In deze bijlage is ook een analyse van deze gegevens weergegeven. De bijlage begint met een uiteenzetting van de methode volgens VIAG G07. Een korte omschrijving staat in het volgende kader:

Meetmethode lektheid volgens VIAG G07 [1].

Deze gasdichtheidscontrole wordt uitgevoerd aan de hand van de drukdaling in de binnenleiding gedurende 3 minuten en bestaat uit twee metingen:

1^e meting

De drukdaling van de binnenleiding inclusief de aansluitleidingen van de gastoestellen en de gasblokken/toestelafsluiters in deze toestellen wordt gemeten.

- Als de drukdaling meer dan 10 mbar is, is de leiding afgekeurd (geen 2^e meting).
- Als de drukdaling maximaal 3 mbar is, is de leiding goedgekeurd (geen 2^e meting).
- Als de drukdaling tussen 3 en 10 mbar ligt, wordt de 2^e meting uitgevoerd:

2^e meting

Alleen de drukdaling van de binnenleiding wordt gemeten (dus zonder aansluitleidingen en gasblokken), door het meten met gesloten aansluitkranen.

- Als de drukdaling meer dan 1 mbar is, is de leiding afgekeurd.
- Als de drukdaling niet hoger dan 1 mbar is, is de leiding goedgekeurd.

Bij deze meterwisselingen is in totaal 1,8% van alle binnenleidinginstallaties afgekeurd vanwege gaslekkages, te weten 0,8% bij de 1^e metingen en nog eens 1,0% bij de 2^e meting. De 1% lekke installaties van de 2^e meting wordt geheel veroorzaakt door lekkages in de binnenleiding. Van de 0,8% installaties bij de 1^e meting komt slechts een deel hiervan (naar schatting 0,6 procentpunten, zie Bijlage IV) in de woning terecht. Het andere deel wordt via het gastoestel en de rookgasafvoer en/of luchttoevoerleiding direct naar buiten afgevoerd.

OPMERKING: Een aantal van deze lekkages zullen vervolgens hersteld zijn. Dat betekent dat na deze 1,4 miljoen meterwisselingen de gemiddelde lektheid iets is verbeterd. We gaan hier echter uit van de situatie vóór de meterwisselingen.

Samenvattend:

- Circa 0,6% van de huishoudelijke installaties (\pm 42.000 woningen) heeft een lek in de orde van 1 dm^3 per uur.
- Circa 1% van de huishoudelijke installaties (\pm 70.000 woningen) heeft een lek in de orde van circa $0,1 \text{ dm}^3$ per uur.

Aangezien deze metingen zijn uitgevoerd zonder dat de bewoner een lekmelding had gedaan, volgt uit deze metingen in combinatie met enkele berekeningen en aannamen dat een groot aandeel van de bestaande huishoudelijke aardgasleidingen lek is, zonder dat dit leidt tot een ongeval.

Het is daarom verdedigbaar te stellen dat een kleine gaslekkage als $1 \text{ dm}^3/\text{h}$ niet zal leiden tot een gasongeval.

4.2 Bron b: Gaslekkages in leidingen van woningbestanden van woningcorporaties

Kiwa Technology heeft tot op heden voor diverse opdrachtgevers woningeenheden geïnspecteerd. Dit betrof controles aan de gasleidingen al dan niet bij kwaliteitscontroles op het uitgevoerde onderhoud aan gastoestellen én controles naar aanleiding van gasluchtmeldingen van bewoners. Een deel van deze controles vond plaats daar waar men twijfel had over de staat van de binneninstallaties. De resultaten kunnen daardoor slechter uitpakken dan bij een aselechte steekproef in heel Nederland.

Meerdere malen werd een gaslekkage aangetroffen van $5 - 10 \text{ dm}^3/\text{h}$, of een situatie waarbij de leiding nog (net) niet lek was.

In een enkel geval was door bewoners gaslucht geroken, in de meeste gevallen is de lekkage bij de preventieve controle geconstateerd en zijn maatregelen getroffen. Hetzelfde geldt voor de herstelacties naar aanleiding van aangetroffen gevaarlijke situaties, zoals bijvoorbeeld ernstige corrosie van gasleidingen en scheurtjes in gaslangen. Ondanks de gevaarlijke situaties die zijn aangetroffen, heeft dit niet tot een gasongeval (brand, explosie) geleid.

4.3 Bron c: Ongevallen, veroorzaakt door geringe aardgaslekkages

De bij Kiwa Technology geregistreerde aardgasongevallen (waarover meer in hoofdstuk 5) tijdens de periode 2010 t/m 2020 zijn doorgenomen om na te gaan of er ongevallen bekend zijn als gevolg van kleine lekkages. Hierbij bleek dat voor zover bekend geen enkele bekende brand en/of explosie werd veroorzaakt door een klein gaslek (maximaal $10 \text{ dm}^3/\text{h}$).

Het is verdedigbaar te stellen dat bij een aardgaslekkage tot $10 \text{ dm}^3/\text{h}$ de kans op een gasongeval zeer klein is.

4.4 Vergelijking risico kleine aardgas- en waterstoflekkages

Uit bron a, b en c blijkt dat de kans op een ongeval als gevolg van een kleine aardgaslekkage (tot $10 \text{ dm}^3/\text{h}$) uiterst klein is. Dit komt doordat er maar heel weinig ventilatie nodig is om de gasconcentratie onder de onderste ontstekingsgrens van aardgas (LFL=5,7%) te houden.

Bijvoorbeeld in een zeer kleine keuken van 10 m^3 ($2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$) met een uiterst klein ventilatievoud⁸ (worst case) van $1/\text{h}$ met daarin een aardgasuitstroming van $10 \text{ dm}^3/\text{h}$ zal de

⁸ Ventilatievoud van een ruimte: aantal luchtverversingen per uur.

eindconcentratie 0,1% gas bedragen. Dit is dus maar een fractie van de LFL. Een explosie kan bij dit aardgasdebiet alleen plaatsvinden als de ruimte veel kleiner is; in dit voorbeeld bij een inhoud kleiner dan 170 dm³. Dit is al fors kleiner dan bijvoorbeeld de inhoud van een standaard meterruimte. (Overigens zijn meterruimten ontworpen voor een veel groter ventilatievoud.)

Bij waterstof is de onderste ontstekingsgrens 4%. Het lekdebiet zal (vanwege laminaire stroming) 1,2 tot 1,6 keer zo groot⁹ zijn als bij aardgas. Daarom is te verwachten dat de gasconcentratie bij een gelijke lekopening en gelijke gasdruk ook ongeveer een factor 1,2 à 1,6 hoger is. Bij gelijke ventilatievouden wordt de concentratie dan navenant hoger dan bij aardgas. Echter omdat kleine lekken (vergelijkbaar met een ronde opening tot 2 mm doorsnede) onvoldoende grote onsteekbare gaswolken creëren om te leiden tot verwondingen [2], is het aannemelijk dat de kans op een incident bij een kleine gaslekkage bij waterstof niet hoger is dan bij aardgas. Bij het invullen van de risicobeoordeling is dit dan ook als uitgangspunt genomen.

Dat neemt niet weg dat er situaties denkbaar zijn waarbij waterstof juist een hoger risico vormt. Of dergelijke situaties in de Nederlandse bouwpraktijk ook veel voorkomen is niet op voorhand te zeggen. Nader onderzoek naar het ventilatievoud van het huidige woningbestand moet hier meer inzicht in geven. Dit onderwerp heeft aandacht in WP1A.

4.5 Conclusie

Bij kleine aardgaslekkages (tot 10 dm³/h) is de kans op een gasongeval zeer klein. Het is aannemelijk dat na omschakeling op waterstof de kans op een ongeval zeer klein blijft, hoewel de gasuitstroming een factor 1,2 à 1,6 toeneemt.

⁹ bron [6]: factor 1,3 (t.o.v. aardgas)

bron [7]: factor 1,6 (t.o.v. aardgas)

bron [10]: factor 1,2 (t.o.v. methaan). *In het werkpakket HyDelta WP1C is bij vraag 124 onderzoek gedaan naar de verhoudingen tussen lekkages gemeten met verschillende gassen te weten stikstof (vergelijkbaar met lucht), aardgas en waterstof bij drukken van 30, 100 en 200 mbar. Het betreft een onderzoek aan kleine lekkages in de aansluitleiding van de netbeheerder (eindigt in de meterkast). Op het moment van schrijven van dit rapport was die rapportage nog niet afgerond.*

5. Praktijkgegevens van aardgasongevallen

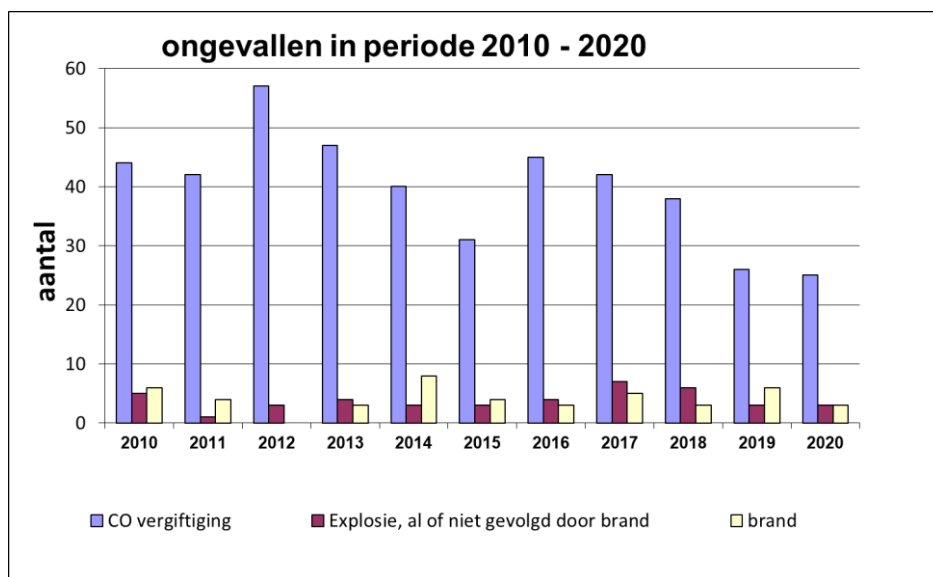
5.1 Verzamelde gegevens

Kiwa Technology registreert al vele decennia de aardgasongevallen die in Nederland, zowel voor als achter de gasmeter optreden. Op basis hiervan worden jaarlijks trendanalyses uitgevoerd, waarvan de resultaten gerapporteerd worden aan de Nederlandse netbeheerders (Zie bijvoorbeeld [3] voor de gasongevallen van 2020). Het doel hiervan is lessen te leren van incidenten en maatregelen te treffen om het aantal incidenten te verminderen.

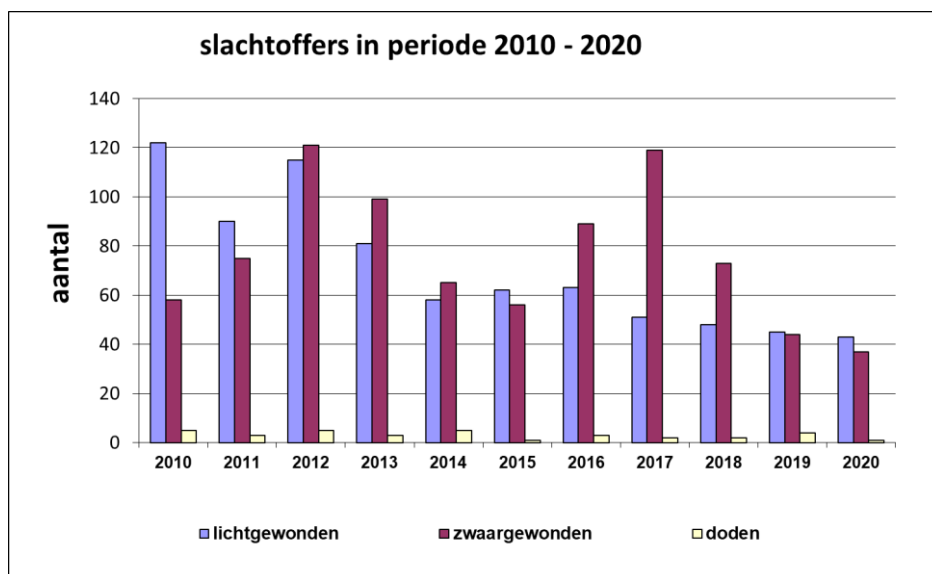
Kiwa Technology verzamelt deze informatie via mediaberichten, via bestaande contacten en via onderzoeksopdrachten. De specialisten van Kiwa Technology onderzoeken de oorzaak van (ernstige) gasongevallen waar mogelijk ter plaatse. Dit laatste gebeurt in een beperkt aantal gevallen, namelijk alleen als er een opdrachtgever voor is.

Kiwa trekt mediaberichten na bij betrokken partijen, omdat de toedracht op het moment van publicatie vaak nog niet bekend is en omdat later vaak blijkt dat de oorzaak anders is dan het kranten- of internetbericht vermeldde.

Gasongevallen achter de gasmeter worden ingedeeld in de categorieën koolmonoxidevergiftiging (CO-vergiftiging), explosie (met of zonder brand) en brand. In Figuur 1 is over de periode 2010 t/m 2020 van elk jaar het aantal geregistreerde incidenten weergegeven. Figuur 2 toont het aantal geregistreerde slachtoffers.



Figuur 1: Gasongevallen achter de gasmeter naar aard van het gasincident: CO-vergiftiging / explosie al of niet gevolgd door brand en brand, totaal waren er in deze periode 597 incidenten (Exclusief Opzet/diefstal/vandalisme)



Figuur 2: Slachtoffers door gasongevallen achter de gasmeter in de periode 2010 t/m 2020, voor zover bekend uit de gegevens. In totaal waren er in deze periode: 778 lichtgewonden, 836 zwaargewonden en 34 doden te betreuren (exclusief Opzet/diefstal/vandalisme)

Naast de gasongevallen registreert Kiwa ook de gevallen van opzettelijke gasuitstroming. In de voornoemde ongefallenregistraties [3] worden deze opzetgevallen niet meegenomen; opzettelijke schade of verwonding is immers geen ongeval. In dit voorliggende HyDelta-rapport zijn opzetgevallen met aardgas echter wel opgenomen. Zie Tabel 1.

Tabel 1. Overzicht incidenten (ongevallen en opzet-incidenten) met **aardgas** (periode 2010 t/m 2020) vertaald naar gemiddeld aantal per jaar. Kans per aansluiting ($\leq G6$), betrokken op 7,2 miljoen aansluitingen.

Soort incident na de gasmeter	Aantal aardgas-incidenten	Kans Incident per aansluiting $\times 10^{-6}$	Aantal dodelijke slachtoffers	Aantal gewonden	Aantal grote schades #)	Kans slachtoffer per gasaansluiting $\times 10^{-6}$	Kans incident bij toepassing waterstof ipv aardgas (inschatting)
Koolmonoxidevergiftiging	39,5	5,5	2,64	138,2	-	0,37 (dodelijk) 19,2 (gewond)	nihil
Brand en/of explosie (exclusief opzetgevallen*)	14,5	2,0	0,45	7,8	14,5	0,06 (dodelijk) 1,1 (gewond)	groter ¹⁰
Opzet* resulterend in brand en/of explosie	9,8	1,4	2,18	6,5	9,8		groter ¹⁰
Opzet* niet resulterend in brand of explosie)	4,9	0,7	-	-	-		kleiner ¹¹
TOTAAL	68,7	9,6	5,27	152,5	24,3		

*) Opzet: vandalisme, leidingdiefstal, doelbewust veel aardgas laten ontsnappen, etc.
 #) Grote schade: meer dan € 10.000,-.

Niet alle opgetreden incidenten zullen echter in Tabel 1 zijn opgenomen. Niet elk incident haalt namelijk het nieuws, en Kiwa wordt vaak niet op de hoogte gebracht.

Wat betreft de koolmonoxideongevallen schat de Onderzoeksraad voor Veiligheid [4] het aantal slachtoffers aanzienlijk hoger dan de cijfers van Kiwa, omdat klachten en sterfgevallen niet altijd aan koolmonoxide worden gerelateerd en daardoor onopgemerkt blijven:

“Elk jaar overlijden gemiddeld vijf tot tien personen door een koolmonoxidevergiftiging en leidt koolmonoxidevergiftiging tot circa tweehonderd ziekenhuisopnamen en enkele honderden behandelingen op een spoedeisendehulpafdeling (SEH). De aantallen per jaar variëren sterk. Er zijn indicatoren dat de werkelijke aantallen drie tot vijf keer zo hoog liggen.”

¹⁰ Van grote aardgasuitstromingen (bedoeld en onbedoeld) kan het voorkomen dat er dagenlang gas uitstroomt in een pand voordat dit tot een ontsteking komt. Dit komt mede doordat aardgas “moeilijk te ontsteken” is (smalle bandbreedte van ontstekingsgrenzen, hoge minimale ontstekingsenergie). Waterstof heeft een veel grotere bandbreedte en lagere minimale ontstekingsenergie. Bij het overgaan op waterstof wordt de kans op brand of explosie daardoor mogelijk groter.

Anderzijds is het *effect* van de ontsteking van waterstof wellicht minder heftig doordat het eerder ontsteekt. Ook is de energiedichtheid van een waterstofvlam lager dan die van aardgas.

Per saldo is op basis van de gegevens de geraadpleegde bronnen niet met zekerheid te zeggen welk effect de doorslag geeft. Veiligheidshalve is in deze tabel gekozen voor “groter”.

¹¹ Van de opzettelijke gasuitstromingen is er een grotere kans op ontsteking of explosie dan met aardgas. Als het aantal opzettelijke gasuitstromingen met waterstof gelijk blijft als bij aardgas, is dus het resterende aantal, dat NIET resulteert in brand/explosie, kleiner.

Wat betreft branden en explosies geldt: hoe ernstiger of opzienbarender het incident, hoe groter de kans dat het in de media verschijnt. Zo zal een explosie vrijwel zeker door de media worden gemeld. Echter als iemand lichte brandwonden oploopt zal dit de media meestal niet halen.

5.2 Analyse van de gasincidenten

Voor de analyse van gasincidenten maken we onderscheid tussen ongevallen en opzetgevallen. Daarnaast bespreken we verheviging van een reeds bestaande brand.

Ongevallen, veroorzaakt door gas

In de genoemde periode is het aantal geregistreerde dodelijke slachtoffers door koolmonoxide 2,6 per jaar en 0,5 per jaar door brand en/of explosies. Dat zijn circa 5 keer zoveel doden door koolmonoxide als door brand en/of explosie. Het aantal geregistreerde CO-gewonden is 138 per jaar.

Bij het overgaan op waterstof wordt de kans op brand of explosie mogelijk groter, vanwege de grotere verbrandingssnelheid, de lagere minimale ontstekingsenergie en de ruimere ontstekingsgrenzen. Anderzijds is het effect van de ontsteking van waterstof wellicht minder heftig doordat het eerder ontsteekt. Verder is de vlam bij waterstof kleiner en de stralingswarmte van de vlam is geringer (alleen zeer dicht bij de vlam is het heter dan bij aardgas).

Per saldo is op basis van de gegevens van de geraadpleegde bronnen niet te zeggen welk effect de doorslag geeft.

Bij waterstof is de kans op koolmonoxidevergiftiging nihil aangezien er geen koolmonoxide vrijkomt bij de verbranding. Op de schaal van heel Nederland zijn dat dus 2,6 doden en 138 geregistreerde gewonden **minder** in vergelijking met aardgas. Uitgaande van de schatting van de Onderzoeksraad voor Veiligheid zijn de werkelijke aantallen koolmonoxidedoden en -gewonden, die dus met waterstof worden voorkomen, een veelvoud van deze cijfers.

Brand, verhevigd door bezwijken gasinstallatie

Volgens de huidige gasinstallatievoorschriften (NEN 1078, NEN-EN 1775) mag, als er -door welke oorzaak dan ook- een brand uitbreekt in een gebouw, de aanwezigheid van een gasinstallatie niet leiden tot significante verheviging van deze brand. Dat betekent dat ofwel de leiding niet mag bezwijken, ofwel, als dat toch gebeurt, de "extra" toevoer van brandstof (het gas) in het gebouw niet significant bijdraagt aan de verergering hiervan. Bestaande installaties, gebaseerd op oudere voorschriften zullen hier niet altijd aan voldoen.

Als er sprake is van waterstof in bestaande installaties zal de kans op verergering ongeveer gelijk zijn aan die van aardgas. Het uitstromende debiet is (vanwege turbulente stroming) ongeveer driemaal zo groot als bij aardgas, echter de calorische waarde is ongeveer driemaal zo klein.

Opzet

Onder opzet wordt verstaan het bewust laten uitstromen van een grote hoeveelheid gas. Zoals uit het overzicht blijkt, heeft dat niet altijd tot een brand of explosie geleid. Zou er sprake zijn geweest van waterstof dan zou het aantal branden en explosies waarschijnlijk zijn toegenomen.

6. Risicoscenario's aardgas versus waterstof

6.1 Het model van risicobeoordeling volgens Fine en Kinney

Voor de inzet van waterstof distributie in de energietransitie, wordt uitgegaan van een veiligheidsniveau dat minimaal gelijkwaardig moet zijn aan die van de bestaande aardgas distributie. Bij dit onderzoek wordt ingeschat welke risico's groter of kleiner zijn bij waterstof, indien de set mitigerende maatregelen van aardgas aangehouden wordt. Voor de situaties waarin een risico groter is, zal de set mitigerende maatregelen voor waterstof aangepast moeten worden om het veiligheidsniveau op peil te houden. Deze beoordeling geeft slechts een kwalitatieve vergelijking van de risico's voor waterstof ten opzichte van aardgas, uitgaande van de set mitigerende maatregelen zoals bij aardgas: is het hoger, lager of gelijk. In HyDelta werkpakket 1a wordt kwantitatief onderzoek gedaan naar de mate waarin risico's veranderen en welke aangepaste mitigerende maatregelen in die situaties effectief zijn.

Bij het vaststellen van risico's in huishoudens is de methode van Fine en Kinney¹² gebruikt omdat deze methode gangbaar is in de sector van netbeheerders (wordt gebruikt door de werkgroep VIAG) en omdat deze methode ook wordt gebruikt in het rapport van WP1C-vraag 187. Het is een kwalitatief model, in tegenstelling tot het kwantitatieve risicomodel (QRA) dat in WP1A wordt toegepast. Dat heeft echter een bredere scope dan alleen achter de meter.

Bij Fine en Kinney wordt de **risico-index** bepaald d.m.v. het toekennen van een waarde voor de **kans** op het risico, de **frequentie** van de blootstelling aan het risico en het **effect** van de ongewenste gebeurtenis. Elk van deze aspecten wordt een kental toegekend. Zie Tabel 2. De risico-index wordt gegeven door de volgende formule:

$$\text{Risico-index} = \text{kans} \times \text{blootstellingsfrequentie} \times \text{effect}$$

Voor de bepaling van het effect is uitgegaan van het potentieel gevolg **dat redelijkerwijs kan optreden** (worst case scenario) bij een ongewenste gebeurtenis.

De originele methode is niet geheel toepasbaar op het risico van een bestaande installatie in huishoudens, omdat Fine en Kinney uitgaan van risico's in een bedrijf, en niet in een woning. Het is dus een model voor arbeidsomstandigheden. Voor dit rapport is de methode daarom enigszins aangepast, zoals hieronder uitgelegd. Het resultaat staat in Bijlage III.

Bij de uitwerking van deze tabel zijn eerst de kans, de frequentie en het effect bepaald voor aardgas. Deze geven het risico weer van de huidige situatie.

RISICO(-SCENARIO) : ongewenste gebeurtenis + effect

Wanneer er in deze methode wordt gesproken over een risico gaat het eigenlijk over een **risico-scenario**. Een risico-scenario bestaat uit twee aspecten:

1. een ongewenste gebeurtenis, en
2. een vorm van letsel¹³ als gevolg van deze ongewenste gebeurtenis. Het letsel leidt tot een kental voor het effect:

¹² Bij deze inleiding op de risicobeoordelingsmethode is onder meer gebruik gemaakt van de RI&E Gastechische risico's (versie 2, d.d. 02-12-2019) zoals deze is geactualiseerd door werkgroep VIAG 2019. Zie voor de volledigheid www.beiviag.nl onder 'overige documenten'.

¹³ De methode omvat geen schade maar alleen letsel.

EFFECT

In Tabel 2 is te zien dat het effect van het risico een kental krijgt variërend van 1 (gering letsel) tot 40 (ramp).

Tabel 2: Risico-index volgens Fine en Kinney

Kans van het risico: K

Waarde	Omschrijving
0,1	Bijna niet denkbaar (nooit van gehoord)
0,2	Praktisch onmogelijk (nooit van gehoord binnen bedrijfstak en branche)
0,5	Denkbaar, maar onwaarschijnlijk (wel van gehoord binnen bedrijfstak, maar niet in Nederland)
1	Onwaarschijnlijk, maar mogelijk in grensgeval (in laatste 10 jaar niet voorgekomen)
3	Ongewoon, maar mogelijk (in de laatste jaren wel eens gebeurd in Nederland)
6	Zeer wel mogelijk (enkele keren per jaar in Nederland gebeurd)
10	Te verwachten (komt vaak/vaker voor in Nederland)

Blootstellingsfrequentie van het risico: B

Waarde	Omschrijving
0,5	Zeer zelden (1x per jaar)
1	Zelden (jaarlijks)
2	Soms (maandelijks)
3	Af en toe (wekelijks)
6	Geregeld (dagelijks)
10	Voortdurend

Effect van het risico: E

Waarde	Omschrijving
1	Gering: letsel zonder verzuim (EHBO) of hinder
3	Belangrijk: letsel en verzuim
7	Ernstig: irreversibel effect (invaliditeit)
15	Zeer ernstig: één dode (acuut of op termijn)
40	Ramp: enkele doden (acuut of op termijn)

Risico-index: $R=K*B*E$

Klasse	Risico-index ¹⁴
5	$R \leq 20$
4	$20 < R \leq 70$
3	$70 < R \leq 200$
2	$200 < R \leq 400$
1	$R > 400$

¹⁴ De originele tabel, voor arbeidsomstandigheden, vermeldt bij elke klasse ook een actie. Deze acties zijn hier echter niet van toepassing aangezien de scores alleen voor onderlinge vergelijking dienen.

Een van de situaties uit Bijlage III behandelen we hier als voorbeeld:

Voorbeeld 1

Een ongewenste gebeurtenis kan zijn: gaslekkage door het onbedoeld doorzagen of -boren van een leiding. Bij deze ongewenste gebeurtenis beschouwen we twee mogelijke effecten (bij veel andere ongewenste gebeurtenissen volstaan we overigens met één mogelijk effect):

Effect a: Er stroomt onverbrand gas uit, dit ontsteekt en het leidt tot een steekvlam met als gevolg: een persoon raakt blijvend invalide. Het kental voor Effect E= 7 (Tabel 2).

Effect b: Er stroomt onverbrand gas uit, dit ontsteekt en leidt tot een woningexplosie met gevolg: een dodelijk slachtoffer. Het kental voor Effect E= 15 (Tabel 2).

KANS

Voor het vaststellen van het kental voor de kans (K) wordt nu gekeken naar de kans op elk van deze risico(-scenario)'s:

- De leiding wordt doorgezaagd/doorboord, EN iemand raakt blijvend invalide (effect a). Er is bij Kiwa over de afgelopen 10 jaren ten minste één dergelijk ongeval met ernstige brandwonden bekend. De kans dat het vaker is voorgekomen is reëel, want dergelijke incidenten halen het nieuws vaak niet. We schatten de kans op “ongewoon, maar mogelijk (de laatste jaren wel eens gebeurd in Nederland). Dus Kans K= 3 volgens Tabel 2.
- Een leiding wordt doorgezaagd/doorboord EN iemand komt om door een gasexplosie (effect b). Hiervan is Kiwa geen voorbeeld uit de praktijk bekend. We schatten de kans op “Onwaarschijnlijk, maar mogelijk in een grensgeval (in de laatste 10 jaar niet voorgekomen)”.
Dus Kans K = 1 volgens Tabel 2.

De kans dat de leiding wordt doorgezaagd/doorboord waarbij er vrijelijk gas uitstroomt **zonder** te ontsteken en dus zonder letsel te veroorzaken wordt dus niet meegenomen in het model.

BLOOTSTELLINGSFREQUENTIE

De blootstellingsfrequentie geeft aan hoeveel en hoe vaak er personen aanwezig zijn op de plaats waar het risico zich voordoet. In de meeste woningen is er vaak of voortdurend iemand thuis; kental 6 of 10 (Tabel 2).

In de uitwerking van risicobeoordeling is steeds gekozen voor “voortdurend” omdat er gemiddeld over het jaar altijd wel een persoon aanwezig is. En bij een lekkage als onmiddellijk gevolg van boren/zagen is er per definitie al iemand aanwezig. Dus voor blootstellingsfrequentie is in alle risico-scenario's in Bijlage III gekozen voor B=10.

RISICO-INDEX

De risico-index voor effect a (blijvende invaliditeit) bij het boren of zagen in een aardgasleiding in voorbeeld 1 wordt nu:

Risico-index (R) = Kans x Blootstellingsfrequentie x Effect = $K \times B \times E = 3 \times 10 \times 7 = 210$ (zie Figuur III, onder “Aardgas”).

Vervolgens zijn deze waarden opnieuw bepaald voor het geval dat het geen aardgas maar waterstof is zou zijn (zie dezelfde figuur onder “Waterstof”). Daardoor kan de risico-index voor waterstof worden vergeleken met die van aardgas. Omdat waterstof veel gemakkelijker ontsteekt is de kans nu één trap hoger, op 6 geschat.

Ongewenste gebeurtenis	Mecha-nisme	Effect	Aardgas				Waterstof (indien zonder aanvullende maatregelen)			
			Kans op dit scenario K	Bloot-stellings-frequentie B	Effect E	Risico-score K x B x E	Kans op dit scenario K	Bloot-stellings-frequentie B	Effect E	Risico-score K x B x E
Lekkage door doorzagen/doorboren leiding met letsel	Zagen/boren	Steekvlam raakt persoon	3	10	7	210	6	10	7	420
		Explosie treft persoon	1	10	15	150	3	10	15	450

Figuur 3: Voorbeeld bepaling risico-index bij aardgas (geel) en waterstof (blauw). De complete tabel staat in Bijlage III.

Opmerking over de risico-scores

De risico-indices geven een vertekend beeld wanneer deze worden getoetst aan het VIAG-document (zie voetnoot 12).

De risico-indices lopen conform Tabel 2 van klasse 5 (klein risico) naar klasse 1 (hoog risico) conform het VIAG-document. De werkgroep VIAG kent aan elke klasse een actie toe. Bijvoorbeeld voor $200 < R \leq 400$ (klasse 2) geldt de actie: "Directe verbetering vereist (hoog risico)". In Figuur 3 en Bijlage III van dit rapport lijken de risicoscores hoog uit te vallen. Deze scores geven echter een vertekend beeld: ze hebben namelijk niet betrekking op één installatie maar op alle 7,2 miljoen huishoudelijke gasaansluitingen in de BV Nederland tezamen.

Per gasaansluiting is de kans op een scenario een factor dus $7,2 \times 10^6$ keer zo laag. Daarmee is de risico-index per aansluiting eveneens $7,2 \times 10^6$ keer zo laag.

Daarom wordt de risico-index in dit rapport alleen gebruikt om het risico voor waterstof te vergelijken met dat van aardgas.

6.2 Uitgangspunten bij het bepalen van de score

Het resultaat van de risicobeoordeling staat in Bijlage III. De uitgangspunten bij het bepalen van de risico-index zijn naar aanleiding van de EAG bespreking van 16 juli 2021 aangescherpt en de tabellen zoals uiteindelijk opgenomen in Bijlage III zijn ingedikt. Bij het opstellen van deze tabellen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- In eerste instantie is de risico-score vastgesteld op basis van kans (K), blootstellings-frequentie (B) en effect (E) in de huidige situatie, dus bij aardgas. Dit is de referentiescore. Vervolgens is de risico-score vastgesteld als de leidinginstallatie ongewijzigd blijft maar deze is nu overgezet op waterstof, met dezelfde mitigerende maatregelen zoals bij aardgas worden toegepast (zoals het toevoegen van odorant). Alle verbrandingstoestellen zijn echter vervangen door toestellen die geschikt zijn voor waterstof, voorzien van CE-markering en van hetzelfde veiligheidsniveau. Door deze risico-score te vergelijken met die van aardgas is te zien of het betreffende risico groter of kleiner wordt dan wel gelijk blijft.
- Dit houdt in dat ook aardgas-kookapparatuur wordt vervangen door geschikte waterstof-apparaten, hoewel huidige Nederlandse proefprojecten nu uitgaan van volledig elektrisch koken¹⁵. Zo wordt namelijk de vergelijking van aardgas met waterstof niet vertroebeld door verschillende apparatuur en gasleidingen. (Wel kan het toepassen van elektrische apparatuur als mitigerende maatregel worden ingezet). Ook voor andere soorten gastoestellen,

¹⁵ Bij het vervangen van aardgasgestookte door elektrische kookapparatuur zal het risico op grote gasuitstromingen afnemen. Dit geldt voor zowel gevallen van opzet als van ongevallen.

- bijvoorbeeld gaskachels of sfeerhaarden, geldt dat deze worden vervangen door geschikte waterstofapparaten.
- c. Er is vooral gekeken naar het algemene gastechnische risico's van gaslekkage al dan niet gevolgd door een steekvlam, brand of explosie en leidend tot letsel. Materiele schade wordt in de methode niet meegenomen. Ook is er gekeken naar koolmonoxidevergiftiging. Dit risico is alleen aanwezig bij aardgas.
 - d. De hoofdleiding tot en met de gasmeter is vakbekwaam aangelegd conform de geldende voorschriften.
 - e. De aanleg van de binneninstallatie (na de gasmeter) kan zijn uitgevoerd:
 - e1. Conform de regelgeving
 - e2. Niet conform de regelgeving
 - f. In de tabel is, bij het bepalen van de risico-index, het verschil tussen e1 en e2 en bij enkele ongewenste gebeurtenissen aangegeven door het benoemen wel of niet volgens de voorschriften.
 - g. Bij bepaling van de risico-index is er, tenzij anders vermeld, rekening gehouden met de reeds gangbare maatregelen om de risico's te beperken (installeren conform regelgeving).
 - h. De kans op het risico is betrokken op 7,2 miljoen huishoudelijke installaties over een periode van 1 jaar.
 - i. Naast de cijfers voor aardgas is beschreven hoe de risico-index verandert als er waterstof wordt gedistribueerd.
 - j. Bij het risico op verergering van een brand met andere oorzaak is de risico-index niet gebaseerd op de brand als geheel, maar alleen op de mate van verergering van een reeds bestaande brand.
 - k. Maximale levensduur van een vaste gasleidinginstallatie is 50 jaar (NEN 8078), van de toestellen en de afvoeren is dat 15 jaar¹⁶.
 - l. De risico's van activiteiten van professionele installateurs zijn niet meegenomen. Hiervoor wordt verwezen naar de Arbocatalogus Netwerkbedrijven, relevante normen en bedrijfseigen voorschriften/procedures en risico inventarisaties.

Voorbeeld 2

We kiezen opnieuw de ongewenste gebeurtenis: gaslekkage door het onbedoeld doorzagen of boren van een leiding. Hoe veranderen nu de kentallen voor het scenario met effect a (blijvende invaliditeit) uit Voorbeeld 1?

De kans dat een waterstofleiding per ongeluk wordt doorgezaagd is gelijk aan die van aardgas, maar de kans dat dit tot een steekvlam leidt die een persoon raakt is niet gelijk.

Enerzijds is de kans op ontsteking van waterstof groter omdat dit een lagere minimale ontstekingsenergie heeft en de ontstekingsgrenzen een grotere bandbreedte omvatten.

Anderzijds is het effect van de ontsteking van waterstof wellicht minder heftig doordat het eerder ontsteekt. Ook is de energiedichtheid van een waterstofvlam lager dan die van aardgas.

¹⁶ Uitgangspunt is hetzelfde voor aardgas en waterstof. In de praktijk wordt er niets met de 50 jaar /15 jaar levensduur gedaan. Vervanging vindt plaats op basis van praktische gegevens zoals visuele inspectie en lektheidsbeproeving: bijvoorbeeld een leiding vertoont te veel corrosie in de kruipruimte en aanvullend onderzoek heeft uitgewezen dat er nog maar weinig wanddikte over is. Of in het geval van een toestel: het toestel vertoont te veel storingsen doordat bijvoorbeeld de warmtewisselaar lek is geraakt. Dan kan het economisch gezien beter zijn om het toestel te vervangen.

Voorzichtigheidshalve schatten we dat de negatieve effecten het zwaarst wegen, door te stellen dat de kans op blijvende invaliditeit na het doorzagen van een gasleiding bij waterstof een klasse hoger ligt dan bij aardgas.

Aangezien de risico-index voor aardgas 3 bedraagt, is die van waterstof dus op 6 gesteld.

Het kental voor blootstelling B blijft gelijk aan 10

Het kental voor effect E blijft gelijk aan 7

De risico-index voor effect a (blijvende invaliditeit) bij het boren of zagen in een aardgasleiding in Voorbeeld 1 wordt nu:

$$R = K \times B \times E = 6 \times 10 \times 7 = 420$$

6.3 Onderbouwing van de scores

Bij het bepalen van kans, blootstellingsfrequentie en effect is een inschatting gemaakt op basis van literatuur (zie referentielijst), de database van ongevallen in beheer van Kiwa Technology en op basis van meerdere decennia eigen ervaring van de drie auteurs op het gebied van veiligheid en ongevallen van gasinstallaties achter de gasmeter. Ondanks dat blijven het vaak schattingen, waarvoor hard bewijs dikwijls ontbreekt. Dat geldt zeker voor de toepassing van waterstof omdat daar nog geen praktijkgegevens van bekend zijn. Op basis van het verschil in eigenschappen tussen aardgas en waterstof en op basis van technisch onderzoek is hier een inschatting gemaakt.

De volgende keuzen zijn gemaakt:

Voor de blootstellingsfrequentie is bij elk scenario gekozen: $B = 10$ (voortdurende aanwezigheid), zoals al toegelicht in paragraaf 6.1.

Bij het opstellen van de scenario's zijn alle mogelijke installatie-onderdelen uitgesplitst. Vervolgens is bij elk onderdeel nagegaan wat er redelijkerwijs mis kan gaan (ongewenste gebeurtenis), door welke mogelijke oorzaken, en tot welk letsel dit redelijkerwijs kan leiden. Doorgaans leidde dit tot één scenario. In een enkel geval echter zijn er bij één ongewenste gebeurtenis twee scenario's uitgewerkt (zoals in voorbeeld 1).

De **kans** en het **effect** van een scenario bij aardgas is vooral gebaseerd op gegevens uit de ongevallendatabank van Kiwa en op eigen ervaring van de auteurs.

De kans en het effect van hetzelfde scenario op waterstofgas is moeilijker te bepalen, aangezien hier nog geen ervaringsgegevens van zijn. Deze zijn daarom afgeleid van de kans en het effect van aardgas, waarbij de specifieke eigenschappen van waterstof in ogenschouw zijn genomen.

Bij scenario's met een kleine gaslekkages is voor beide gassen gekozen voor dezelfde kans K, omdat voor beide de kans op een gasongeval zeer klein is (zie paragraaf 4.5).

Bij grotere lekkages is de kans K op een bepaald scenario volgens Tabel 1 steeds een trede hoger gekozen bij waterstof ten opzichte van aardgas. Dus bijvoorbeeld $K = 0,2$ bij aardgas wordt $K = 0,5$ voor waterstof. De reden is als volgt: Bij scenario's met een grote gaslekkages is gekozen voor dezelfde kans dat er een grote hoeveelheid vrij komt, onafhankelijk van de gassoort. De kans dat dit tot een bepaald letsel leidt, is echter afhankelijk van de omstandigheden:

Factoren die de kans op een bepaald letsel bij waterstof ernstiger kunnen maken:

- In de meeste situaties is de kans dat waterstof wordt ontstoken groter dan in het geval van aardgas. Dit komt doordat de onderste ontstekingsgrens wat lager ligt (4,0% versus 5,9%), doordat de bandbreedte tussen de onderste en bovenste ontstekingsgrens aanzienlijk groter is en doordat de minimale ontstekingsenergie van waterstof lager is.
- Bij hogere concentraties is de explosiedruk groter.

Factoren waardoor de kans op letsel minder ernstig kan zijn:

- Doordat het gemakkelijk ontsteekt ontstaat er minder eenvoudig en groot volume onverbrand gas.
- Doordat de dichtheid veel lager is dan die van aardgas vervliegt waterstof sneller.

Omdat deze kans niet in algemene zin te voorspellen valt, is veiligheidshalve bij grote lekkages bij bijna elke ongewenste gebeurtenis een trede hoger gekozen bij de toepassing van waterstof in vergelijking van aardgas.

Voor scenario's met koolmonoxidevergiftiging zijn de kentallen vooral gebaseerd op de gegevens in de databank gasongevallen. Bij waterstofgas is de betreffende risico-index vanzelfsprekend 0.

Voorbeeld bij de eerste regel van bijlage III

Scenario

Lekkage van leiding door onbedoeld gedrag; stoten met brand of explosie tot gevolg. De leiding scheurt of breekt. Er stroomt een grote hoeveelheid gas uit, dat na enige tijd ontsteekt. Het gasluchtmengsel ontsteekt, er vindt een explosie plaats, een bewoner raakt invalide

Aardgas

Kans

Dit scenario is denkbaar. Er is over de afgelopen decennia geen geval bekend waarbij dit tot de dood heeft geleid. Dus score $K = 0,5$.

Blootstellingsfrequentie

(zoals bij elke casus) één persoon aanwezig, dus $B = 10$.

Effect

Eén invalide, dus $E = 7$.

Risicoscore

$K \times B \times E = 0,5 \times 10 \times 7 = 35$.

Waterstof, zonder aanvullende maatregelen

Kans

Eén trede hoger dan bij aardgas, dus $K = 1$

Blootstellingsfrequentie

(zoals bij elke casus) één persoon aanwezig, dus $B = 10$.

Effect

Eén invalide, dus $E = 7$.

Risicoscore

$K \times B \times E = 1 \times 10 \times 7 = 70$

6.4 Analyse/bespreking resultaten risicotabel

Uit de risicotabel in Bijlage III blijkt het volgende:

- Het risicocijfer bij **alle** gevallen van koolmonoxidevergiftiging verandert van risico 450 naar 0 bij de omschakeling naar waterstof.
- Het risicocijfer bij alle gevallen bij grote lekkages wordt hoger van range 15-1500 naar 30-3000 bij de omschakeling naar waterstof.
- Het risicocijfer bij alle gevallen bij kleine lekkages blijft relatief klein: range 5-100 bij zowel aardgas als waterstof.

7. Proefprojecten: woningen met waterstof

Om een indruk te krijgen welke risico's er worden onderkend worden hier diverse proefprojecten besproken, met de mitigerende maatregelen. De oorspronkelijke reden om proefprojecten in dit onderzoek op te nemen (projectplan in 2018) was, te leren van opgedane ervaringen. Echter bij het schrijven van het voorliggende rapport is nog geen van deze projecten al ver genoeg gerealiseerd om te weten of ze ook effectief zijn. Ondanks dat worden de projecten hier wel genoemd. Een kanttekening bij de mitigerende maatregelen bij deze projecten is dat er extra zware maatregelen zijn getroffen omdat er nog weinig praktijkervaring is. De verwachting is dat de toegepaste maatregelen in de loop der jaren minder zwaar zullen zijn.¹⁷

In het onderstaande is onderscheid gemaakt tussen niet bewoonde en bewoonde proefprojecten.

7.1 Niet bewoonde proefprojecten

7.1.1 Apeldoorn, Waterstofwoning Alliander/Kiwa

Het betreft een nieuwe kleine woning met een zolderverdieping, inclusief een gasregelstation en distributieleidingen naar deze woning voor opleidings- en demonstratiedoeleinden.

Mitigerende maatregelen:

- Automatische beveiligingsafsluiter in de gastoevoer buiten de woning. Deze wordt dichtgestuurd bij activering door:
 - Gasdetectie in de woning (tevens akoestisch signaal),
 - Vaste noodstoppen in de woning,
 - Draagbare noodstoppen voor werkzaamheden aan de distributieleidingen,
 - Draagbare noodstoppen voor docenten.
- Odorisatie
- Doorstroombegrenzer in aansluitleiding
- Periodieke controles

7.1.2 Uithoorn

Dit project is uitgevoerd in 14 leegstaande woningen. Doel van het project was ervaring opdoen met de ombouw van aardgas naar waterstof met zo min mogelijk aanpassingen in de bestaande installatie en/of woning.

Mitigerende maatregelen:

- Gasdetectie met detectoren voor CO, die ook waterstof detecteren.
- Gasdetectieapparatuur "op de man" gedragen (aardgas en waterstof)
- Specifieke componenten waar vooraf twijfel over was zijn elders uit het gasnet gehaald en getest in het laboratorium.
- Dichtheidscontrole van verbindingen, huisdrukregelaars, gasmeters en leidingen uitgevoerd. Testen zijn uitgevoerd met aardgas, stikstof en helium. Waarbij de helium stap geen toegevoegde waarde heeft laten zien met deze test.
- Onderbrekingsmogelijkheid op locatie t.a.v. de toevoer van gas (4 noodknoppen) en inbelmogelijkheid op afstand.
- Leidingdelen afgesloten op momenten waarop er geen toezicht was.
- Ventilatie als primaire eis tijdens de ombouw.

¹⁷ Bij de introductie van PE-X voor aardgasbinnenleidingen is het eind jaren '90 ook zo gegaan. Aanvankelijk was hier een thermische klep en per toestel een doorstroombegrenzer voorgeschreven. Later zijn deze extra maatregelen vervallen.

7.1.3 Spadeadam, UK

Dit project betreft Fase 1 in het onderzoek in drie speciaal hiervoor gebouwde rijtjeswoningen met verschillende vloertypen als proefobjecten voor het onderzoeken van het stromingsgedrag van waterstof. Mitigerende maatregelen zijn nog niet onderzocht; dit volgt in fase 2 van het onderzoek. (zie blz. 89 van [5]).

7.2 Bewoonde proefprojecten

7.2.1 Rozenburg

Dit project is uitgevoerd bij een appartementengebouw. In het ketelhuis bevinden zich zowel een aardgas- als een waterstofketel.

Mitigerende maatregelen:

- Geen gasleidingen in het gebouw, maar een gemeenschappelijk ketelhuis op afstand.
- In ketelhuis zijn sensoren opgehangen die bij detectie de productie toevoer onderbreken.
- De leidingen worden regelmatig gecontroleerd/ lekgezocht en sensoren meten de druk.

7.2.2 Stad aan 't Haringvliet (in voorbereiding)

Doel is een groot deel van de stad (600 wooneenheden) aan te sluiten op lokaal op te wekken waterstof. Over mitigerende maatregelen is nog weinig informatie te vinden.

7.2.3 Hoogeveen, Lochem en Wagenborgen (projecten in voorbereiding)

In deze drie plaatsen zijn pilots gepland met de toepassing van waterstof in meerdere bewoonde woningen. Deze verschillende projecten worden ook door verschillende partijen uitgevoerd. Wel hebben deze partijen op dit moment (september 2021) afstemming van de te nemen mitigerende maatregelen om de schijn te vermijden dat er “veilige” en “minder veilige” waterstofwoningen zijn. HyDelta Werkpakket 1A is hierbij ook betrokken.

Maatregelen waarover op dit moment wordt gesproken zijn de volgende (maar dit kan nog worden aangevuld):

- aanleg in de geest van de aardgasvoorschriften (NEN 1078, NPR 3378).
- periodieke controle van potentiële lekbronnen
- plaatsen waterstofsensoren met akoestisch, optisch alarm en opvolging (wegnemen bron).
- instructies voor gebruikers, omgeving en hulpdiensten
- voorinspectie van binnenleidingen
- gemodificeerd materieel indien noodzakelijk
- geen kookplaten op waterstof
- toezien op de juiste ventilatie van de meterkast
- automatische drukvaltest met akoestisch-, optisch alarm en opvolging (wegnemen bron) – en het opsporen en reparatie van lekkages bij drukval, bij druk- en lekttest
- personeel voorzien van gas- en waterstofdetectie apparatuur
- odorisatie van het gas
- extra maatregelen i.v.m. stikstof (ten behoeve van spoelen)

7.2.4 The Green Village/TU Delft, Project H2@home (project in voorbereiding).
Het betreft een bewoonde woning in openbaar gebied, verwarmd met een waterstofgestookt cv-toestel¹⁸. Inhoudelijke informatie is nog niet publiek beschikbaar. Communicatie over het project geschiedt t.z.t. door H2@home.

7.2.5 UK Hy4Heat Community Trial (project in voorbereiding)
Na het uitvoeren van een uitgebreid onderzoeksprogramma in opdracht van de overheid zijn er in dit project de volgende mitigerende maatregelen vastgesteld voor de praktijkproef [2]. Voor huishoudelijke aansluitingen tot 20 m³/h, zijn deze maatregelen onder andere:

- twee excess flow valves (doorstroombegrenzers) in serie, waarvan één binnen in de gasmeter
- een nieuw voor H₂ goedgekeurd cv-toestel
- een nieuw voor H₂ goedgekeurde gasmeter
- plaatsing van de gasmeter buiten het gebouw (als dat niet kan, een risico-inventarisatie op maat)
- voorgeschreven afmetingen van niet-afsluitbare ventilatie in ruimten met gasleidingen en -toestellen
- vooraf inspectie en dichtheidsbeproeving van gasleidingen
- vervanging van gietijzeren onderdelen
- hetzelfde odorant als aardgas
- gasdetectie indien bewoners geen reukvermogen hebben
- vooraf een beoordeling van elk gasleveringspunt en rapportage van bevindingen
- op elke locatie een overeenkomst met de eigenaar of beheerder met betrekking tot de veiligheid van de installatie
- vakbekwame en op waterstof bijgeschoolde technici dienen de aanleg te verzorgen.
- alle gegevens tijdens deze community trial moeten worden verzameld teneinde het systeem indien mogelijk nog verder te verbeteren.

¹⁸ Het project wordt uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Regeling Nationale EZ-subsidies, Topsector Energiesubsidie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”

8. Mitigerende maatregelen

De volgende mitigerende maatregelen zijn zinvol bij de overgang van aardgas naar waterstof. Hierbij is onderscheid gemaakt in aanbevolen maatregelen en optionele maatregelen. De koppeling tussen enerzijds risicoscenario en anderzijds mitigerende maatregel is hier niet gemaakt omdat dit buiten de scope van werkpakket 1C (WP1C) valt. In dit hoofdstuk staat dus een eerste inschatting van waar bij pilots aan gedacht kan worden. Voor een verdere onderbouwing, uitwerking en toetsing op effectiviteit en noodzaak van de maatregelen, wordt verwezen naar de uitkomsten van WP1A.

8.1 Aardgas (huidige mitigerende maatregelen voor de binneninstallatie)

De volgende mitigerende maatregelen zijn nu al gangbaar tegen het vrijkomen van onverbrand gas uit de binneninstallatie:

- Odoriseren van gas
- (Soms) plaatsen van doorstroombegrenzer in nieuwe aansluitleidingen door de netbeheerder
- Aanleg met materialen met een keurmerk
- Controle sterkte van de leiding bij aanleg (drukstoot)
- Dichtheidsbeproeving van de leiding bij aanleg
- Ventilatie van de meterkast
- Aanleg en onderhoud erkende en vakbekwame installateurs (op vrijwillige basis)
- Beschermen kunststof en meerlagenbuizen met mantelbuizen

8.2 Aanbevolen aanvullende mitigerende maatregelen

Onderstaande maatregelen zijn specifiek voor de ombouw naar waterstof. Uitgangspunt is dat de gangbare mitigerende aardgasmaatregelen (paragraaf 8.1) bij waterstof ook worden toegepast. Bouwwerken en gasinstallaties zullen uiteraard moeten voldoen aan betreffende regelgeving. Dat is het geval bij aardgas, maar ook bij de toepassing van waterstof. De specifieke aanvullende maatregelen zijn als volgt:

- Plaatsen van doorstroombegrenzer in alle aansluitleidingen en/of in de woning.
- Controle sterkte van de leiding voor het overschakelen op waterstof
- Dichtheidsbeproeving van de leiding voor het overschakelen op waterstof
- Visuele inspectie van de gasleiding, voor het bepalen van de conditie en de geschiktheid voor waterstof. Ongeschikte leiding(del)en vervangen.
- Verplichting om aanleg en onderhoud door erkende en vakbekwame installateurs te laten uitvoeren.
- Beschermen kunststof en meerlagenbuizen met mantelbuizen
- Controle op aanwezigheid van ventilatievoorzieningen in de meterkast conform Bouwbesluit.
- Controle op gasbelemmerendheid van geveldoorvoeringen.
- Communicatie inclusief instructie rondom de waterstofinstallatie in huis naar bewoners/ eigenaren / omgeving / hulpdiensten
- Verplichting tot periodieke inspectie van de gasleidinginstallatie (bijvoorbeeld eens per 10 jaar)
- Bij ombouw enkel toestellen toepassen die specifiek gecertificeerd zijn voor waterstof.
- Bij ombouw controleren of toestellen die niet gecertificeerd zijn voor waterstof zijn afgekoppeld en nagaan of de binneninstallatie correct is ingekort en afgedopt.
- Bewoners wijzen op eigen verantwoordelijkheid met betrekking tot de meterkast: geen opslag van goederen in verband met ventilatie en de kans op beschadiging van componenten.

8.3 Optionele maatregelen

Ondergenoemde optionele maatregelen kunnen bijvoorbeeld worden beschouwd bij pilot-projecten.

- Aanbrengen spoelpunten nabij de gasmeter en een gastoestel ten behoeve van spoelen met stikstof of vacumeren van de leiding (dit laatste vergt nader onderzoek).
- Gasdetectie (sensoren) gekoppeld aan centrale afsluiter (in meterkast): akoestisch- en optisch alarm
- Extra doorstroombegrenzer in de gasmeter en/of per gastoestel
- Bij kooktoestellen: vlam afschermen of kleurstof toevoegen aan het gas,
- Kooktoestellen enkel elektrisch (gaskooktoestellen verbieden).

Na ervaring te hebben opgedaan in de pilotprojecten plus de effectiviteit van de voorgestelde maatregelen te hebben getoetst in aanvullend onderzoek, kunnen de mitigerende maatregelen wellicht worden ingeperkt voor grootschalige uitrol.

9. Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

Op dit moment is het jaarlijkse aantal koolmonoxidevergiftigingen 19,6 personen per miljoen aardgasaansluitingen, waarvan 0,37 dodelijk. Deze cijfers zijn gebaseerd op door Kiwa verzamelde gegevens uit eigen onderzoek en uit de media. De Onderzoeksraad voor Veiligheid schat dat de werkelijke aantallen aanzienlijk hoger zijn. Bij het omschakelen op waterstof wordt deze kans nihil.

De kans op incidenten met kleine lekkages is bij aardgas zeer klein. E.e.a. is afhankelijk van de ruimte waar het gas uitstroomt. Het is aannemelijk dat de kans op incidenten met kleine lekkages met waterstof eveneens zeer klein is. Dat neemt niet weg dat er situaties denkbaar zijn waarbij waterstof een hoger risico vormt. Of dergelijke situaties in de Nederlandse bouwpraktijk ook veel voorkomen is niet op voorhand te zeggen.

Bij een grote lekkage is de kans op een incident (zowel bij ongeval als opzet) bij waterstof, groter dan bij aardgas, indien alle overige condities gelijk zijn. Daarom zullen vooral mitigerende maatregelen toegepast moeten worden, die effectief zijn bij grote gaslekkages. Voor een onderbouwing, uitwerking en toetsing op effectiviteit en noodzaak van deze maatregelen, wordt verwezen naar de uitkomsten van HyDelta Werkpakket 1A (WP1A).

9.2 Aanbevelingen

Voer indien nodig aanvullend onderzoek uit naar de effectiviteit van de mitigerende maatregelen.

Voer nader onderzoek uit naar de risico's van kleine gaslekkages (ordegrootte tot 10 dm³ aardgas per uur/16 dm³ waterstof per uur) in kleine slecht geventileerde ruimten (kasten en koven tot circa 250 dm³), in relatie tot in Nederland veel voorkomende situaties.

Referenties

- [1] NetbeheerNederland, „VIAG Veiligheidsinstructie Aardgas G-07; Binneninstallaties en meteropstellingen ≤G25 veilig beproeven op dichtheid, versie 15-04-2021,“ Netbeheer Nederland.
- [2] Sophie_Brown.e.a., „Hy4Heat WP7 Safety Assessment: Conclusions Report,“ Ove Arup & Partners Ltd, London, 2021.
- [3] ir.H.J.M.Rijpkema, „Registratie van gasinstallatieongevallen achter de meter; jaaroverzicht 2020,“ Kiwa Technology, Apeldoorn, 2021.
- [4] Onderzoeksraad_voor_Veiligheid, Koolmonoxide; Onderschat en onbegrepen gevaar, den Haag: Onderzoeksraad voor veiligheid, 2015.
- [5] H21_Project, „H21 Phase 1 Technical Summary Report,“ H21, May 2021.
- [6] DNV-GL, „Gedrag van waterstof bij lekkages in het gasdistributienet,“ DNV-GL, Groningen, 2020.
- [7] ing.J.Caanen, „Onderzoek naar waterstofuitstroom bij kleine toelaatbare lekken; Kiwa GT-180259,“ Kiwa Technology, Apeldoorn, 2018.
- [8] ing.R.Hermkens.e.a., „Toekomstbestendige gasdistributienetten,“ Kiwa Technology, Apeldoorn, 2018.
- [9] Nikhil_Hardy.e.a., „Hy4Heat WP7 Safety Assessment: Gas Ignition and Explosion Data Analysis,“ Kiwa Gastec UK, Cheltenham UK, Mei 2021.
- [10] N.Ryan.e.a., „Hy4Heat WP7 Safety Assessment: Experimental Testing - Domestic Pipework Leakage,“ H4Heat, 2021.

I Overzicht van vragen HyDelta WP1C

In dit werkpakket worden de volgende vragen behandeld:

- Vraagnummer HyDelta 187: Onderzoek naar het veilig in- en uitbedrijf nemen van leidingsecties bij distributie van waterstof tijdens de ombouw naar een waterstofnet en wat zijn de daaraan gepaarde kosten.
- Vraagnummer HyDelta 124: Onderzoek naar uitvoering van de sterkte- en dichtheidsbeproevingen.
- Vraagnummer HyDelta 135: Wat is het effect van het bestaande gasnet op de kwaliteit van waterstof bij distributie en transport? (Zoals onder andere stof en vuil en THT).
- Vraagnummer HyDelta 185: Huisdrukregelaar: Wat is het risico indien deze niet aangepast wordt?
- Vraagnummer HyDelta 101: Onderzoek naar de risico's met betrekking tot bestaande gasinstallaties (bij de klant) bij omzetting van aardgas naar 100% waterstof.
- Vraagnummer HyDelta 61: Hoe sluiten de ontwikkelingen van alle componenten , die geschikt zijn voor 100% waterstof, in het distributienet (incl. aansluitingen), bij de binnen installatie en de gasverbruikstoestellen achter de meter op elkaar aan, zodat de hele keten op elkaar afgestemd is?
- Vraagnummer HyDelta 55: Hoe gaat een ombouw naar een waterstofnet eruit zien?

II Overzicht samenstelling Expert- and Assessment Group (EAG) deelvraag 101

Tabel 3. Samenstelling Expert- and Assessment Group (EAG)

Naam	Werkgever
D. Nieuwenhuizen	Stedin
H. Smit	Enexis
W. Koppenol	Enexis
W.R. Nispeling	Alliander
R. den Hartog	Westland Infra
J. Jonkman	RENDO
R. Scholten	RENDO
C.H. Hermsen	Hermsen Installatiegroep
F. van Gijtenbeek	Henco
D. Vroman	Henco
F. Vos	Techniek NL
R. van den Tempel	Remeha
V.M.A. Barendrecht	HSF
S. Lueb	Kiwa Technology
H.J.M. Rijpkema	Kiwa Technology
H. Salomons	Kiwa Technology

Het concept-rapport is tevens verstuurd naar de projectleider van WP1A (A. van den Noort)

III Risicotabel (3 bladzijden)

Leidingmateriaal	Verbinding	Ongewenste gebeurtenis	Mechanisme	Effect	Aardgas				Opmerkingen	Waterstof (indien zonder aanvullende maatregelen)				Waterstof (na aanvullende maatregelen)
					Kans op dit scenario K	Blootstellingsfrequentie B	Effect E	Risicoscore K x B x E		Kans op dit scenario K	Blootstellingsfrequentie B	Effect E	Risicoscore K x B x E	Risicoscore K x B x E
Alle	n.v.t.	Lekkage van leiding door onbedoeld gedrag; stoten met brand of explosie tot gevolg.	Breken, scheuren	Brand of explosie treft persoon	0,5	10	7	35	Explosie leidt vaak alleen tot materiële schade. Deze is vooral hoog als installatie niet is aangelegd volgens regelgeving	1	10	7	70	Toepassen van aanvullende maatregelen (zie H8) zullen de risicoscore's doen verlagen. Voor een verdere onderbouwing, uitwerking en toetsing op effectiviteit en noodzaak van maatregelen wordt verwezen naar de rapportages zoals uitgebracht door WP1A.
Alle	n.v.t.	Lekkage door doorzagen/doorboren leiding met letsel	Zagen/boren	Steekvlam raakt persoon	3	10	7	210		6	10	7	420	
				Explosie treft persoon	1	10	15	150		3	10	15	450	
PE, PEX, meertlagen	n.v.t.	Lekkage van binnen leiding (na de gasmeter) door vonken vanaf E-installatie in de meterkast	Smelten	Brand treft persoon	3	10	15	450	Bepert zich veelal tot alleen schade op basis van G+E ongevallencijfers.	6	10	15	900	
PE, PEX, meertlagen, koper	n.v.t.	Bij reeds aanwezige brand elders in de woning het extra risico van lekkage van leiding	Smelten	Fellere of snellere brand *)	10	10	3	300		20	10	3	600	
vooral koper en staal	n.v.t.	Lekkage door corrosie bij aanleg conform regelgeving	Corrosie	Explosie treft persoon	0,2	10	15	30		0,5	10	15	75	
Vooral koper en staal	n.v.t.	Lekkage door corrosie bij aanleg afwijkend van regelgeving	Corrosie	Explosie treft persoon	3	10	15	450		6	10	15	900	
Vooral koper en staal	n.v.t.	Lekkage bij uitreedlocaties door diverse onbedoeld gedrag (als ophangrek of uit vloer toilet, keuken en douche)	Corrosie, vermoeiing	Brand treft persoon	6	10	3	180		10	10	3	300	
Alle	n.v.t.	Lekkage door opzet/diefstal/vandalisme met brand of explosie tot gevolg	Zagen, breken, losschroeven etc..	Explosie treft persoon	10	10	15	1500	zie nadere toelichting m.b.t. ongevallencijfers	20	10	15	3000	

*) Door brand die elders is ontstaan in de woning kunnen uiteindelijk de gasleidinginstallaties het begeven. Ook branden van buiten het huis: schuur / auto naast huis / vuilcontainer etc. kunnen leiden tot woningbranden. Achtergrondinformatie: In 2019 waren er gemiddeld 440 woningbranden per maand, in 2020 waren dat er 550 per maand.
 Bron: www.ifv.nl en : www.pricewise.nl/blog/aantal-brandmeldingen-in-2020-gestegen/

Leidingmateriaal	Verbinding	Ongewenste gebeurtenis	Mechanisme	Effect	Aardgas				Opmerkingen	Waterstof (indien zonder aanvullende maatregelen)				Waterstof (na aanvullende maatregelen)
					Kans op dit scenario K	Blootstellingsfrequentie B	Effect E	Risicoscore K x B x E		Kans op dit scenario K	Blootstellingsfrequentie B	Effect E	Risicoscore K x B x E	Risicoscore K x B x E
Stalen buis	Schroefdraad (max2") Persverbinding Metalen koppeling Lasverbinding	Lekkage van de verbinding	Diverse mechanismen; verbinding lekt gas maar verbinding blijft vast, beperkte lekkage	Vlam treft persoon	0,5	10	1	5	Het betreft een beperkte lekkage aangezien deze meestal tijdig wordt waargenomen door de geur	0,5	10	1	5	Toepassen van aanvullende maatregelen (zie H8) zullen de risicoscore's doen verlagen. Voor een verdere onderbouwing, uitwerking en toetsing op effectiviteit en noodzaak van maatregelen wordt verwezen naar de rapportages zoals uitgebracht door WP1A.
			Verbinding schiet los of breekt, grote lekkage.	Explosie/ brand treft persoon	0,2	10	15	30		0,4	10	15	60	
Koperen buis	Knelkoppeling Soldeefitting Persfitting	Lekkage van de verbinding	Diverse mechanismen; verbinding lekt gas maar verbinding blijft vast, beperkte lekkage	Brand treft persoon	0,5	10	1	5	Het betreft een beperkte lekkage aangezien deze meestal tijdig wordt waargenomen door de geur	0,5	10	1	5	
			Verbinding schiet los of breekt, grote lekkage.	Explosie treft persoon	0,2	10	15	30		0,5	10	15	75	
Polyetheen (PE) buis	Stuiklasverbinding, Elektrolasverbinding, Trekvaste verbinding met koppeling	Lekkage van de verbinding	Diverse mechanismen; verbinding lekt gas maar verbinding blijft vast, beperkte lekkage	Brand treft persoon	0,5	10	1	5		0,5	10	1	5	
			Verbinding schiet los of breekt, grote lekkage.	Explosie treft persoon	10	10	3	300		20	10	3	600	
Multilayer en PEX buis	Pers-schuifhulsverbindingen	Lekkage van de verbinding	Diverse mechanismen; verbinding lekt gas maar verbinding blijft vast, beperkte lekkage	Brand treft persoon	0,5	10	1	5	Het betreft een beperkte lekkage aangezien deze meestal tijdig wordt waargenomen door de geur	0,5	10	1	5	
			Verbinding schiet los of breekt, grote lekkage.	Explosie treft persoon	0,2	10	15	30		0,5	10	15	75	
Geribbelde RVS-buis / gasmeter / drukregelaar	Flareverbinding (anaconda gasmeter)	Lekkage van de verbinding	Diverse mechanismen; verbinding lekt gas maar verbinding blijft vast, beperkte lekkage	Brand treft persoon	10	10	1	100		10	10	1	100	
			Verbinding schiet los of breekt, grote lekkage.	Explosie treft persoon	0,1	10	15	15		0,2	10	15	30	

*) Op basis van gegevensbank "Nestor" (gegevens Kiwa); ruim 300 meldingen m.b.t. gaslucht/gaslekkage. Dit kunnen lekkages op de anaconda zijn, maar ook op andere posities in de meterkast. Nestor is de landelijke methode voor het registreren van storingen en onderbrekingen waar alle netbeheerders mee werken.

Toestel	Type	Ongewenste gebeurtenis	Effect	Aardgas				Waterstof (indien zonder aanvullende maatregelen)				Waterstof (na aanvullende maatregelen)
				Kans op dit scenario K	Blootstellings-frequentie B	Effect E	Risico-score K x B x E	Kans op dit scenario K	Blootstellings-frequentie B	Effect E	Risico-score K x B x E	Risico-score K x B x E
ruimte- en tapwaterverwarming	cv-ketel (combi en solo) / tapwaterstoestel (geiser) / lokaal verwarmingstoestel (gevelkachel, gashaard) / voorraadtapwaterstoestel (direct gestookte gasboiler)	beperkte gaslekkage in het toestel door lekkend gasblok	Brand of explosie treft persoon	0,5	10	7	35	1	10	7	70	Toepassen van aanvullende maatregelen (zie H8) zullen de risicoscore's doen verlagen. Voor een verdere onderbouwing, uitwerking en toetsing op effectiviteit en noodzaak van maatregelen wordt verwezen naar de rapportages zoals uitgebracht door WP1A.
		beperkte gaslekkage in het toestel in verbrandingsluchtmantel	Brand of explosie treft persoon	0,5	10	7	35	1	10	7	70	
		grote gaslekkage in het toestel met brand of explosie tot gevolg	Brand of explosie treft persoon	0,5	10	7	35	1	10	7	70	
		oververhitting met stoomexplosie tot gevolg	Brand of explosie treft persoon	1	10	7	70	1	10	7	70	
		overmatige CO-emissie en grote rookgaslekkage / vrijkomen CO bij open toestel	Persoon dodelijk vergiftigd	3	10	15	450	0	0	0	0	
		instabiele verbranding	Brand of explosie treft persoon	6	10	1	60	6	10	1	60	
		toestel niet geschikt voor de juiste brandstof met onjuiste verbranding tot gevolg	Brand of explosie treft persoon	3	10	7	210	6	10	7	420	
kooktoestel	Fornuis/ kookplaat/ oven	Beperkte gaslekkage	Persoon gewond	3	10	1	30	3	10	1	30	Toepassen van aanvullende maatregelen (zie H8) zullen de risicoscore's doen verlagen. Voor een verdere onderbouwing, uitwerking en toetsing op effectiviteit en noodzaak van maatregelen wordt verwezen naar de rapportages zoals uitgebracht door WP1A.
		Grote gaslekkage met explosie tot gevolg	Persoon gewond	1	10	7	70	2	10	7	140	
		Niet dichtdraaien van gas van het fornuis met explosie tot gevolg	Persoon gewond	0,2	10	1	2	0,4	10	1	4	
		Uitgeharde gasslang met beperkte gaslekkage	Persoon gewond	6	10	1	60	6	10	1	60	
		Uitgeharde gasslang met grote gaslekkage met explosie tot gevolg	Persoon gewond	3	10	7	210	6	10	7	420	
		Gaskraan gesmolten met gevolg beperkte gaslekkage	Persoon gewond	3	10	1	30	3	10	1	30	
		Onvoldoende verbrandingsluchtoevoer met gevolg onvolledige verbranding overmatige CO-emissie	Persoon gewond	1	10	1	10	0	0	0	0	

IV Gemeten lekkages van binnenleidingen bij meterwisseling

Netbeheerders hebben sinds januari 2015 op grote schaal gasmeters uitgewisseld met zogenaamde slimme meters. Bij deze meterwisselingen moeten de monteurs vooraf controleren of de binnenleiding gasdicht genoeg is. Een procedure voor deze beproeving staat in veiligheids-werkinstructie VIAG G07 [1].

De meetgegevens die bij deze meterwisselingen worden verzameld zijn goed bruikbaar om een beeld te krijgen van de mate waarin lekkages voorkomen in bestaande gasbinnenleidingen. Daarom zijn deze meetgegevens opgevraagd bij vier verschillende netbeheerders, waarover verderop meer.

Meetmethode lekdichtheid

Deze gasdichtheidscontrole wordt uitgevoerd aan de hand van de drukdaling in de binnenleiding gedurende 3 minuten¹⁹ en bestaat uit twee metingen:

1^e meting

Deze meting omvat de binnenleiding met geopende aansluitkranen van de gastoestellen. Dat betekent dat de dichtheid wordt gecontroleerd van de binnenleiding inclusief de aansluitleidingen van de gastoestellen en de gasblokken in deze toestellen.

- Als de drukdaling meer dan 10 mbar is, is de leiding afgekeurd.
- Als de drukdaling maximaal 3 mbar is, is de leiding goedgekeurd.
- Als de drukdaling tussen 3 en 10 mbar ligt, wordt de **2^e meting** uitgevoerd:

2^e meting

Bij deze meting worden de aansluitkranen van de gastoestellen gesloten. Alleen de dichtheid van de binnenleiding wordt dus gecontroleerd, zonder aansluitleidingen en gasblokken.

- Als de drukdaling meer dan 1 mbar is, is de leiding afgekeurd.
- Als de drukdaling niet hoger dan 1 mbar is, is de leiding goedgekeurd.

Meetgegevens

Een samenvatting van de verzamelde meetgegevens van vier netbeheerders staat in Tabel 4.

¹⁹ De meting kan ook met lucht worden uitgevoerd. De meettijd is dan 4,5 minuten. Dit komt op hetzelfde neer als 3 minuten met gas.

Tabel 4: Aantal afgekeurde binneninstallaties per meterwisseling

Gasmeter/ netbeheerder	Aantal meterwisselingen	Aantal afkeur bij 1 ^e meting	Aantal afkeur bij 2 ^e meting	Aantal afkeur totaal
G4	1.326.488	9.960	13.293	23.513
Enexis	61.812	592	491	1.083
Liander	246.989	976	940	1.916
Stedin	1.001.764	8.392	11.862	20.254
Westland Infra	15.923	onbekend	onbekend	260
G6	55.013	441	629	1.070
Enexis	4.888	66	47	113
Liander	11.584	60	58	118
Stedin	38.541	315	524	839
G10	4.750	48	51	99
Enexis	133	1	3	4
Liander	1.216	15	12	27
Stedin	3.401	32	36	68
G16	7.324	86	82	168
Enexis	618	4	6	10
Liander	1.755	24	22	46
Stedin	4.951	58	54	112
G25	2.178	13	12	25
Enexis	149	1	1	2
Liander	657	4	1	5
Stedin	1.372	8	10	18
EINDTOTAAL	1.395.753	10.548	14.067	24.875

Aangezien gasmeters groter dan G6 doorgaans niet voorkomen in woningen is Tabel 4 verder gecompriemd voor meterwisselingen van G4 en G6. Zie Tabel 5. In totaal omvat deze tabel bijna 1,4 miljoen meterwisselingen, en even zoveel lekdichtheidscontroles .

Tabel 5: Afkeur op lekdichtheid bij meterwisselingen van circa 1,4 miljoen gasmeters

Gasmeter	Aantal meterwisselingen	Aantal afkeur bij 1 ^e meting	Aantal afkeur bij 2 ^e meting	Aantal afkeur Totaal	% afkeur bij 1 ^e meting	% afkeur bij 2 ^e meting	% afkeur totaal
G4	1.326.488	9.960	13.293	23.513	0,8%	1,0%	1,8%
G6	55.013	441	629	1.070	0,8%	1,1%	1,9%
EINDTOTAAL	1.381.501	10.401	13.922	24.583	0,8%	1,0%	1,8%

Tabel 5 laat zien dat er bij de eerste metingen 10.401 binnenleidingen zijn afgekeurd en bij de tweede metingen nog eens 13.922 binnenleidingen. Dat is respectievelijk 0,8% en 1,0% van de leidingen.

Analyse

Om een beeld te krijgen van de lekgrootte die de gemeten drukdaling kan veroorzaken volgt hier een korte beschouwing:

De gemeten drukdaling wordt vanzelfsprekend veroorzaakt door een lek van een bepaalde grootte. Deze lekgrootte kan worden bepaald als de inhoud van de leiding bekend is. Helaas zijn de leidinginhouden bij deze meetgegevens niet bekend. Doorgaans zal de leidinginhoud in de ordegrootte liggen van 5 dm³. Dit komt overeen met 16 meter koperen leiding van 22 mm, voldoende om de afstand van een gasmeter op de begane grond naar een huishoudelijk cv-toestel op zolder te overbruggen. Bij een drukdaling van 10 mbar in 3 minuten is de lekgrootte 1 dm³ per uur (zie Tabel 6 onder "V=5 dm³"). In dezelfde tabel is ook het lek bij een zeer kleine leidinginhoud (0,5 dm³) en een zeer grote leidinginhoud (50 dm³) voor een woning weergegeven.

Tabel 6: Lekgrootte in dm³/uur als functie van de drukdaling bij afkeurcriteria

Meting	Beproefd leidingdeel	Afkeurcriterium drukdaling gas (3 minuten*)	Lekgrootte afhankelijk van inhoud V		
			Lekgrootte als V=0,5 dm ³	lekgrootte als V=5 dm ³	lekgrootte als V=50 dm ³
1 ^e meting	binnenleiding, aansluitleidingen en gasblokken	>10 mbar	>0,1 dm ³ /h	>1 dm ³ /h	>10 dm ³ /h
2 ^e meting	alleen binnenleiding	> 1 mbar	>0,01 dm ³ /h	> 0,1 dm ³ /h	>1 dm ³ /h

* De meting kan ook met lucht worden uitgevoerd. De meettijd is dan 4,5 minuten. Dit komt op hetzelfde neer als 3 minuten met aardgas.

Een deel van de lekkages van de 1^e meting zal veroorzaakt zijn door inwendig en uitwendig lekkende gasblokken. Dit gas komt niet vrij in de woning maar het stroomt via de rookgasafvoer naar buiten. We schatten dit een kwart van de gemeten lekkages is (op basis van eigen ervaring van de auteurs). De overige lekkages (driekwart van de gemeten lekkages) komt vrij in de woning. Dit zijn lekken in binnenleidingen, aansluitleidingen, leidingappendages en/of fornuisslangen.

Uit deze meetgegevens volgt dat circa 0,8% van alle woningen in Nederland een binnenleiding-installatie heeft met een lekgrootte van circa 1 dm³ per uur (sommige groter, andere kleiner), waarvan naar schatting ongeveer driekwart (0,6%) in de woning uitstroomt.

Bij de tweede meting werd een volgende 1,0% afgekeurd. Dit zijn lekkages alleen in de binnenleiding, zonder de aansluitleidingen en gasblokken van gastoestellen. In combinatie met Tabel 5 volgt hieruit dat nog eens circa 1% van alle woningen in Nederland een lekgrootte van circa 0,1 dm³ per uur.

Conclusie

Uit de meetgegevens blijkt dat een groot aandeel van de huishoudelijk bestaande gasleidingen lek is, zonder dat:

- bewoners dit merken (ervan uitgaande dat zij actie nemen bij een gaslucht); of
- dit leidt tot een ongeval.

Ordegrootte van deze aantallen:

- Circa 0,6% van de huishoudelijke installaties (\pm 43.000 woningen) heeft een lek in de orde van 1 dm^3 per uur.
- Circa 1% van de huishoudelijke installaties (\pm 72.000 woningen) heeft een lek in de orde van circa $0,1 \text{ dm}^3$ per uur.

Hieruit blijkt dat de kans op een aardgasongeval door een kleine gaslekkage zeer klein is.