Beperkte verspreiding

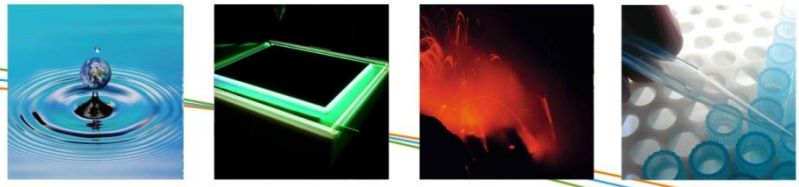
EINDRAPPORT

Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor Waterstoftankstations

Kristof Custers, Philip Marynissen, Diane Huybrechts

Studie uitgevoerd door het Vlaams Kenniscentrum
voor Beste Beschikbare Technieken (VITO)
in opdracht van het Vlaams Gewest

November 2020



Alle rechten, waaronder het auteursrecht, op de informatie vermeld in dit document berusten bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek NV ("VITO"), Boeretang 200, BE-2400 Mol, RPR Turnhout BTW BE 0244.195.916. De informatie zoals verstrekt in dit document is vertrouwelijke informatie van VITO. Zonder de voorafgaande schriftelijke toestemming van VITO mag dit document niet worden gereproduceerd of verspreid worden noch geheel of gedeeltelijk gebruikt worden voor het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin aangewend worden

De gegevens uit deze studie zijn geactualiseerd tot 05/10/2020.

INLEIDING

Voor u ligt één van de BBT-studies die worden gepubliceerd door het BBT-kenniscentrum. Dit sectorrapport behandelt de Beste Beschikbare Technieken voor Waterstoftankstations.

Wat zijn BBT-studies?

De BBT-studies zijn rapporten die per sector de BBT beschrijven. Deze sectorrapporten worden actief en zowel digitaal (www.emis.vito.be) als in gedrukte vorm verspreid, zowel naar de overheid als naar de bedrijven.

Wat zijn BBT?

Milieuvriendelijke technieken hebben als doel de milieu-impact van bedrijven te beperken. Het kunnen technieken zijn om afval te hergebruiken of te recycleren, bodem en grondwater te saneren, of afgassen en afvalwater te zuiveren. Vaker nog zijn het preventieve maatregelen die de emissie van vervuilende stoffen voorkomen en het gebruik van energie, grondstoffen en hulpstoffen verminderen. Wanneer zulke technieken, in vergelijking met alle andere, gelijkaardige technieken, ecologisch gezien het best scoren én ze bovendien betaalbaar zijn, dan spreken we over Beste Beschikbare Technieken (BBT).

Wat is het BBT-kenniscentrum?

In opdracht van de Vlaamse Regering heeft de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO) in 1995 een kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken (BBT) opgericht. Het BBT-kenniscentrum inventariseert informatie over milieuvriendelijke technieken, evalueert per bedrijfstak de Beste Beschikbare Technieken (BBT) en formuleert BBT-aanbevelingen naar de Vlaamse overheid en bedrijven.

Het BBT-kenniscentrum wordt, samen met het zusterproject EMIS (http://www.emis.vito.be) gefinancierd door het Vlaamse Gewest. Het kenniscentrum wordt begeleid door een stuurgroep die wordt voorgezeten door het Departement Omgeving, afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten (GOP). De andere betrokken entiteiten in het beleidsdomein (diverse afdelingen van het Departement Omgeving en de Vlaamse Milieumaatschappij, OVAM, VEA, VLM) zetelen eveneens in de stuurgroep.

Waarom zijn BBT-studies nuttig?

De vergunningsvoorwaarden die aan de bedrijven worden opgelegd en de ecologiepremie die in Vlaanderen van kracht is, zijn in belangrijke mate gebaseerd op de BBT. Zo geven de sectorale voorwaarden uit VLAREM II vaak de mate van milieubescherming weer die met de BBT haalbaar is. Het bepalen van BBT is dus niet alleen nuttig voor de bedrijven, maar ook als referentie voor de overheid in het kader van het vergunningenbeleid. In bepaalde gevallen verleent de Vlaamse overheid ook subsidies aan de bedrijven als zij investeren in BBT.

Het BBT-kenniscentrum werkt BBT-studies uit voor een bedrijfstak of voor een groep van gelijkaardige activiteiten. Deze studies beschrijven de BBT en geven bovendien de nodige achtergrondinformatie. Die achtergrondinformatie helpt de vergunningverlenende overheid om de dagelijkse bedrijfspraktijk beter aan te voelen. Bovendien toont ze de bedrijven de wetenschappelijke basis voor hun vergunningsvoorwaarden.

De BBT-studies formuleren ook aanbevelingen om de vergunningsvoorwaarden en de regels inzake ecologiepremie aan te passen. De ervaring leert dat de Vlaamse overheid de aanbevelingen vaak ook werkelijk gebruikt voor nieuwe milieuregelgeving. In afwachting hiervan worden de aanbevelingen echter als niet-bindend beschouwd.

Hoe kwam deze studie tot stand?

Elke BBT-studie is het resultaat van een intensieve zoektocht in de literatuur, bezoeken aan bedrijven, samenwerking met experts in de sector, bevragingen van producenten en leveranciers, uitgebreide contacten met bedrijfs- en milieuverantwoordelijken en ambtenaren enzovoort. De beschreven BBT zijn een momentopname en bovendien niet noodzakelijk volledig: niet alle BBT die vandaag en in de toekomst mogelijk zijn, zijn in de studie opgenomen.

Voor de wetenschappelijke begeleiding van de studie werd een begeleidingscomité samengesteld met vertegenwoordigers van industrie en overheid. Dit comité kwam 5 keer samen om de studie inhoudelijk te sturen (op 30/11/2017, 26/09/2018, 29/03/2019, 04/10/2019, en 18/05/2020). De namen van de leden van dit comité en van de externe deskundigen die aan deze studie hebben meegewerkt, zijn opgenomen in bijlage 1. Het BBT-kenniscentrum heeft, voor zover mogelijk, rekening gehouden met de opmerkingen van de leden van het begeleidingscomité. Dit rapport is echter geen compromistekst. Het weerspiegelt de technieken die het BBT-kenniscentrum op dit moment als actueel beschouwt en de aanbevelingen die daaraan beantwoorden.

LEESWIJZER

In Hoofdstuk 1 lichten we het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT) en de invulling ervan in Vlaanderen toe en schetsten vervolgens het algemene kader van de voorliggende BBT-studie.

Hoofdstuk 2 beschrijft de sector van waterstoftankstations en de belangrijkste socio-economische aspecten en milieujuridische aspecten.

In **Hoofdstuk 3** komen de verschillende processen aan bod die in de sector worden toegepast. Ook de milieu-impact van deze processen wordt beschreven.

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van de technieken die de sector kan toepassen om milieuhinder te voorkomen of te beperken.

In **Hoofdstuk 5** evalueren we deze milieuvriendelijke technieken en selecteren we de BBT. Niet alleen de technische haalbaarheid, maar ook de milieuvoordelen en de economische haalbaarheid (kostenhaalbaarheid en -effectiviteit) worden daarbij in rekening gebracht.

Hoofdstuk 6 geeft aanbevelingen op basis van de BBT. Dit omvat aanbevelingen voor de milieuregelgeving, voor ecologiepremie en voor verder onderzoek.

Hoofdstuk 7 geeft ten slotte de technieken in opkomst weer van de sector waterstoftankstations

SAMENVATTING

Het BBT-kenniscentrum, opgericht in opdracht van de Vlaamse Regering bij VITO, heeft tot taak het inventariseren, verwerken en verspreiden van informatie rond milieuvriendelijke technieken. Tevens adviseert het BBT-kenniscentrum de Vlaamse Overheid bij het concreet maken van het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT). In dit rapport worden de BBT in kaart gebracht voor een veilige en milieuvriendelijke uitbating van waterstoftankstations.

De BBT-selectie en de adviesverlening zijn tot stand gekomen op basis van o.a. een socio-economische sectorstudie , een vergelijking met normen en buitenlandse (BBT-) documenten, bedrijfsbezoeken, en overleg met vertegenwoordigers van relevante federaties, leveranciers, specialisten uit de administratie en adviesbureaus. Het formeel overleg gebeurde in een begeleidingscomité, die sector en overheid vertegenwoordigden. Parallel werd deze studie nagelezen door een panel van externe lectoren met een diverse achtergrond qua expertisedomein. De samenstelling van het begeleidingscomité en de externe lectoren is weergegeven in Bijlage 1.

In overleg met het begeleidingscomité werd de afbakening van de studie vastgelegd, gaande van de lokale on-site productie van waterstof, de levering van waterstof via batterijvoertuigen en tube-trailers, tot de verdeling van waterstof aan voertuigen en alle daartussen vallende processen. In Vlaanderen en Europa focust de waterstofindustrie zich voornamelijk op de uitrol van gasvormig waterstof; hierdoor valt de aanlevering en opslag van vloeibaar waterstof buiten de scope.

De voornaamste potentiële impact van waterstoftankstations op milieu en omgeving is veiligheidsgerelateerd. Het voorkomen van een (ongecontroleerde) vrijzetting van waterstofgas is het centrale thema waarrond deze studie heel wat preventieve en (schade)beperkende maatregelen heeft geformuleerd. Daarnaast, maar in mindere mate, zijn ook energie-efficiëntie en geluid relevante milieuaspecten bij de exploitatie van waterstoftankstations.

In deze studie werden in hoofdstuk 4 daartoe 31 technieken beschreven die als kandidaat beste beschikbare techniek gelden, waarna in overleg met het begeleidingscomité, en na evaluatie van deze technieken in hoofdstuk 5, tot een set van 28 beste beschikbare technieken is gekomen. Het detailniveau van de beschrijving van de maatregelen is niet steeds gelijk. Maatregelen kunnen resultaatgericht zijn (bv. "Afschermen van gevoelige installatieonderdelen"), en met verschillende technieken of op verschillende manieren bekomen worden. In andere gevallen, houden de maatregelen de toepassing van een welbepaalde techniek in die in meer detail beschreven werd (bv. "voorzien van snelsmeltende persluchtbuisjes bij waterstoflosslangen"). In Hoofdstuk 6 worden tenslotte aanbevelingen gedaan voor sectorale voorwaarden voor inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof in VLAREM.

Omwille van de relevantie van het luik (externe) veiligheid werd voor deze studie een deskundige externe veiligheid ingezet om d.m.v. risicoberekening tot onderbouwde maatregelen zoals interne scheidingsafstanden en risicoafstanden te komen. Deze deskundige heeft hieraan gekoppeld eveneens twee zelfevaluatietools ontwikkeld die bepaalde exploitanten zullen kunnen gebruiken om voor de fase van vergunningsaanvraag zelf reeds de risicoafstanden en een inschatting van het groepsrisico van hun waterstoftankstation te berekenen. Deze gebruiksvriendelijke tool zal samen met deze BBT-studie publiek beschikbaar gesteld worden op de EMIS-website.

Deze studie beschrijft de huidige stand van zaken in de op internationaal niveau snel evoluerende context van infrastructuurwerken, techniekontwikkeling, formulering van

richtlijnen, en uitbreiding van toepassingsmogelijkheden van waterstof. Het is bijgevolg aangewezen om dit document in tijdsperspectief te lezen en tevens de meest recente evoluties m.b.t. de voormelde thema's in het oog te houden. In deze studie werd tot slot een hoofdstuk 7 opgenomen, waarin toegespitst wordt op bepaalde 'technieken in opkomst'. Enkele van de voormelde ontwikkelingen worden in dit laatste hoofdstuk beschreven. Tenslotte worden in ditzelfde hoofdstuk eveneens 'aanbevelingen voor verder onderzoek' geformuleerd, met als doel om de tekortkomingen die tijdens het verloop van de studie werden blootgelegd, in de toekomst te kunnen ondervangen.

ABSTRACT

The Centre for Best Available Techniques (BAT) is founded by the Flemish Government, and is hosted by VITO. The BAT centre collects, evaluates and distributes information on environmentally friendly techniques. Moreover, it advises the Flemish authorities on how to translate this information into its environmental policy. Central in this translation is the concept "BAT" (Best Available Techniques). BAT corresponds to the techniques with the best environmental performance that can be introduced at a reasonable cost. This report identifies BAT for the safe and environmentally friendly operation of hydrogen filling stations.

The BAT selection and advice were established on the basis of, among other things, a socio-economic sector study, a comparison with standards and foreign (BAT) documents, company visits, and consultations with representatives of relevant federations, suppliers, specialists from the administration and consultancies. The formal consultation took place in an advisory committee, where the sector and the government were represented. In parallel, this study was reviewed by a panel of external lecturers with a diverse background in terms of expertise. The composition of the supervisory committee and the external lecturers is shown in Appendix 1.

In consultation with the steering committee, the scope of the study was determined, ranging from the local on-site production of hydrogen, the supply of hydrogen via battery vehicles and tube-trailers, to the distribution of hydrogen to vehicles and all the processes in between. In Flanders and Europe, the hydrogen industry focuses mainly on the roll-out of gaseous hydrogen; as a result, the supply and storage of liquid hydrogen falls outside the scope.

The main potential impact of hydrogen filling stations on the environment and its surroundings is safety-related. Preventing an (uncontrolled) release of hydrogen gas is the central motif around which this study has formulated many preventive and damage limiting measures. In addition, but to a lesser extent, energy efficiency and noise are also relevant environmental aspects during the operation of hydrogen filling stations.

In Chapter 4 of this study, 31 techniques were described as candidates for best available techniques, after which, in consultation with the supervisory committee, and after evaluation of these techniques in Chapter 5, a set of 28 best available techniques were selected. The level of detail in the description of the measures is not always comparable. Measures can be result-oriented (eg "Shielding of sensitive installation parts"), and can be obtained with different techniques or in different ways. In other cases, the measures involve the application of a well-defined technique that has been described in more detail (e.g. "equipment of hydrogen discharge hoses with fast-melting compressed air tubes"). Finally, Chapter 6 recommendations are made for sectoral conditions in VLAREM for installations supplying motor vehicles with hydrogen.

Because safety is the central aspect of this study, an external safety expert was consulted to establish internal and external safety distances. In conjunction with this, this expert also developed two self-evaluation tools that operators themselves can use to calculate safety distances and estimate the societal risk of their hydrogen filling station before the permit application phase. This user-friendly tool will be made publicly available on the EMIS website together with this BAT study.

This study describes the current state-of-the-art in the rapidly evolving international context of infrastructure works, technology development, formulation of guidelines, and expansion of the possible application of hydrogen. We therefore advise to read this document in a time perspective and to keep an eye on the most recent evolutions with

regard to the aforementioned themes. Finally, a Chapter 7 was included in this study, which focuses on certain "emerging techniques". Some of the aforementioned developments are described in this final chapter. Finally, this same chapter also formulates "recommendations for further research", with the aim of overcoming the shortcomings identified during the course of the study in the future.

INHOUD

INLEIDING **4**

LEESWIJZER **6**

SAMENVATTING **7**

ABSTRACT **9**

INHOUD **11**

LIJST VAN TABELLEN **15**

LIJST VAN FIGUREN **17**

LIJST VAN AFKORTINGEN **19**

LIJST VAN BEGRIPPEN **23**

Hoofdstuk 1 OVER DEZE BBT-STUDIE **25**

1.1 Beste Beschikbare Technieken in Vlaanderen *25*
1.1.1 Definitie 25
1.1.2 Beste Beschikbare Technieken als begrip in het Vlaamse milieubeleid 25

1.2 BBT-studie voor waterstoftankstations *26*
1.2.1 Doelstellingen van studie 26
1.2.2 Inhoud van studie 27

Hoofdstuk 2 SOCIO-ECONOMISCHE & MILIEUJURIDISCHE SITUERING VAN DE SECTOR 29

2.1 Omschrijving, afbakening en indeling van de sector *29*
2.1.1 Afbakening en indeling van de sector 29
2.1.2 Bedrijfskolom 32

2.2 Socio-economische situering van de sector *33*
2.2.1 Aantal en omvang van bedrijven 33
2.2.2 Tewerkstelling 36
2.2.3 Evolutie van omzet, toegevoegde waarde en bedrijfsresultaat 36
2.2.4 Evolutie van investeringen 37
2.2.5 Productie en prijzen 38
2.2.6 Conclusie 42

2.3 Draagkracht van de sector *42*
2.3.1 Inleiding 42
2.3.2 Concurrentiepositie en marktpotentieel 42
2.3.3 Financiële situatie 43

2.4 Milieujuridische situering van de sector *44*
2.4.1 Milieuvoorwaarden 44
2.4.2 Overige Vlaamse regelgeving 49
2.4.3 Belgische wetgeving 51
2.4.4 Europese wetgeving 51
2.4.5 Buitenlandse wetgeving 54

Hoofdstuk 3 PROCESBESCHRIJVING **56**

3.1 Waterstoftankstation uitvoeringstypes, processen, en componenten 56
3.1.1 Algemeen overzicht – Uitvoeringstypen van waterstoftankstations 57
3.1.2 Waterstoftankstation met continue bevoorrading..... 59
3.1.3 Waterstoftankstation met niet-continue aanvoer via tube-trailers of batterijvoertuigen..... 67
3.1.4 Compressors 75
3.1.5 Opslag – Middendruk en hogedruk buffer 76
3.1.6 Buizenstelsel 78
3.1.7 Koelunit voor het afleveren van waterstof op 700 bar 80
3.1.8 Afleversysteem op 350 en 700 bar 80
3.1.9 Generieke faalwijzen, faalfrequenties, en potentiële vervolgscenario's van componenten voor de bepaling van de scheidingsafstanden 82

3.2 Veiligheidsaspecten 86
3.2.1 Stofeigenschappen van waterstof 86
3.2.2 Studie van de procesveiligheid d.m.v. veiligheidsfuncties 88
3.2.3 Processtoringen 89
3.2.4 Degradatie van omhullingen 90
3.2.5 Accidentele vrijzettingen 91
3.2.6 De verspreiding van waterstof en/of energie..... 92
3.2.7 Ontstekingsbronnen 92
3.2.8 Brand(schade) 93
3.2.9 Explosie(schade)..... 93
3.2.10 Blootstelling aan vrijgezette stoffen 94

3.3 Milieuaspecten 94
3.3.1 Milieu-impact van de verschillende productiemethodes 95
3.3.2 Energiegebruik 96
3.3.3 Waterverbruik..... 97
3.3.4 Grond- en hulpstoffen gebruik 97
3.3.5 Afvalstoffen 98
3.3.6 Emissies naar water 98
3.3.7 Emissies naar lucht 98
3.3.8 Geur..... 99
3.3.9 Geluid..... 99

Hoofdstuk 4 BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE EN VEILIGHEIDSBORGENDE TECHNIEKEN 101

4.1 Organisatorische maatregelen..... 106
4.1.1 Informeren van omwonenden 106
4.1.2 Risicobeheersing m.b.v. een managementsysteem 108
4.1.3 Vastleggen van afspraken en regels voor belanghebbenden over handelingen met H_2 houdende installaties 109
4.1.4 Voorzien van maatregelen voor toezicht..... 111
4.1.5 Respecteren van interne scheidingsafstanden 113
4.1.6 Respecteren van risicoafstanden 119
4.1.7 Voorzien, inoefenen en up-to-date houden van noodprocedures..... 130
4.1.8 Bouwen, exploiteren en onderhouden van de installatie volgens een code van goede praktijk..... 132
4.1.9 Voorzien van correcte signalisatie op het terrein 137
4.1.10 Voorzien van maatregelen i.v.m. brandveiligheid 141
4.1.11 Voorzien van vlotte en veilige verkeerscirculatie op de inrichting..... 142
4.1.12 Onderbouwde keuze maken over de aanlevermethode en de oorsprong van waterstof bij het ontwerp van een waterstoftankstation 143

4.2 Technische maatregelen..... 146
4.2.1 Gebruik van correcte materialen en geschikte verbindingen..... 146

4.2.2 Voorzien van druk- en temperatuurmetingen op kritische locaties 147
4.2.3 Voorzien van breekkoppelingen in de verdeelslangen 148
4.2.4 Voorzien van snelsmeltende persluchtbuisjes bij waterstof losslangen ..150
4.2.5 Gebruik van een doorstroombegrenzer, terugslagklep, of inbloksysteem bij flexibele slangen 150
4.2.6 Voorzien van overdrukbeveiliging tijdens het tanken 151
4.2.7 Uitvoeren van periodieke lekdichtheidstesten 153
4.2.8 Voorzien van een drukontlastingsysteem bij waterstofopslag containers154
4.2.9 Voorzien van waterstofgasdetectiesystemen.....156
4.2.10 Voorzien van waterstofvlamdetectie op opslagtanks 157
4.2.11 Vermijden van luchtintrede bij de compressor 160
4.2.12 Voldoende ventilatie garanderen bij installaties in besloten ruimtes.....162
4.2.13 Plaatsen van installaties in een open omgeving.....164
4.2.14 Volgen van algemene veiligheidsvoorschriften voor het vermijden van ontstekingsbronnen.....164
4.2.15 Voorzien van een noodstopsysteem (ESD - Emergency Shut Down) 166
4.2.16 Opmaken van een ATEX-zoneringsplan.....167
4.2.17 Afschermen van gevoelige installatieonderdelen 169
4.2.18 Voorzien van brandwerende muren tussen installatie-onderdelen.....171
4.2.19 Gebruik van hemelwater bij on-site elektrolyse.....173

Hoofdstuk 5 SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN 174

5.1 Evaluatie van de beschikbare milieuvriendelijke technieken.....174

5.2 Technische haalbaarheid.....174

5.3 Milieuvoordeel 175

5.4 Verhoging van het niveau van veiligheid 175

5.5 Economische haalbaarheid 175

Hoofdstuk 6 AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN 183

6.1 Aanbevelingen voor milieuregelgeving 183
6.1.1 Inleiding 183
6.1.2 Aanbevelingen voor de algemene voorwaarden in VLAREM.....183
6.1.3 Aanbevelingen voor de sectorale voorwaarden in VLAREM.....183
6.1.4 Aandachtspunten voor de bijzondere milieuvoorwaarden 201

6.2 Aanbevelingen voor ecologiepremie.....201
6.2.1 Inleiding 201
6.2.2 Toetsing van milieuvriendelijke technieken criteria voor ecologiepremie 202
6.2.3 Stand van zaken LTL 202
6.2.4 Aanbevelingen voor LTL.....203

Hoofdstuk 7 TECHNIEKEN IN OPKOMST..... 204

7.1 Technieken in opkomst 204
7.1.1 Productie van van on-site waterstof via Solid Oxide Elektrolyse (SOEC) 204
7.1.2 Coaten van opslagtanks om vuurbestendigheid te verhogen 205
7.1.3 Gebruik van fotolytische of biologische processen voor on-site waterstofproductie 206
7.1.4 Aanleveren van waterstof via vaste of vloeibare dragers 207
7.1.5 Gebruik van een elektrochemische (zuigerloze) waterstofcompressor ...208
7.1.6 Gebruik van milieuvriendelijke koelmiddelen bij waterstof- proceskoeling en tanking.....209

7.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling.....210

7.2.1 Aanbevelingen voor verbetering van huidige kennis..... 210
7.2.2 Aanbevelingen voor ontwikkeling van nieuwe milieuvriendelijke technieken 211

REFERENTIES 212

BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN BBT-STUDIE..... 216

BIJLAGE 2: FINALE OPMERKINGEN 218

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1: Overzicht van de mogelijk van toepassing zijnde NACE-BEL-klassen voor waterstoftankstations 32
Tabel 2: Overzicht huidige waterstoftankstations in de Benelux 34
Tabel 3: Aantal operationele publieke en niet publieke waterstoftankstations per land in juni 2020 (Tools, 2020) 36
Tabel 4: Kost van een waterstoftankstation volgens de Power To Gas Roadmap for Flanders (2016) 39
Tabel 5: Voorbeelden van kostprijzen van een waterstoftankstation voor verschillende uitvoeringstypen 40
Tabel 6: Verwachte toekomstige prijzen voor "grijze" waterstof of waterstof uit SMR in België in 2030 en 2050 41
Tabel 7: Algemene milieuvoorwaarden van toepassing voor waterstoftankstations 46
Tabel 8: Sectorale milieuvoorwaarden van toepassing voor waterstoftankstations 47
Tabel 9: Structuur van de RIE en relatie met oudere Europese Richtlijnen 52
Tabel 10: Europese richtlijnen die van toepassing zijn voor waterstoftankstations 53
Tabel 11: CAPEX en OPEX van een alkalische elektrolyzer (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016) 63
Tabel 12: CAPEX en OPEX van een PEM elektrolyzer 64
Tabel 13: Gecontaineriseerde elektrolyse-modules (M-Tech, 2020) 65
Tabel 14: Gecontaineriseerde stoomreformer-modules van Hygear (M-Tech, 2020) 67
Tabel 15: Standaard tube-trailers en batterijvoertuigen gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020) 74
Tabel 16: Standaard losslangen gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020) 75
Tabel 17: Standaard componenten in een lagedruk opslag gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020) 75
Tabel 18: Standaard compressoren gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020) 76
Tabel 19: Standaard componenten in een middendruk buffer (max. 500 bar) gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech 2020) 78
Tabel 20: Standaard componenten in een hogedruk buffer (max. 1.000 bar) gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020) 78
Tabel 21: Standaard componenten voor de verbindingsleidingen gebruikt voor de berekening van de risicoafstanden 79
Tabel 22: Standaard componenten van een buizenstelsel gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden 79
Tabel 23: Standaard componenten van een afleversysteem op 350 bar en 700 bar gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020) 81
Tabel 24: Generieke faalfrequenties voor ondergrondse en bovengrondse secties van een waterstoftansportleiding (M-Tech, 2020) 82
Tabel 25: Generieke faalfrequenties voor opslagdruktanks, gasflessen en cilinders (M-Tech, 2020) 83
Tabel 26: Generieke faalfrequenties voor flexibele los- en verdeelslangen (M-Tech, 2020) 83
Tabel 27: Generieke faalfrequenties voor koppelslangen (M-Tech, 2020) 84
Tabel 28: Generieke faalfrequenties voor compressoren (M-Tech, 2020) 84
Tabel 29: Generieke faalfrequenties voor lokale productie-eenheden (M-Tech, 2020) 84
Tabel 30: Gevolgscenario's bij een instantane of continue vrijzetting van waterstof 85
Tabel 31: Fysische eigenschappen van waterstof (Singh, 2015) 86
Tabel 32: Relatie tussen de in H4 beschreven maatregelen, de 8 veiligheidsfuncties en de milieuaspecten 104
Tabel 33: Overzicht van de belanghebbende van een waterstoftankstation en hun rollen (gebaseerd op (PGS35, 2015)) 110

Tabel 34: Minimale scheidingsafstanden tussen installaties in besloten ruimten en naburige personen en installaties binnen de inrichting 118
Tabel 35: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T1 122
Tabel 36: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T2 123
Tabel 37: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T3 123
Tabel 38: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T4 124
Tabel 39: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T5 124
Tabel 40: Niet-limitatief overzicht van ISO/CEN normen die als code van goede praktijk aangewend kunnen worden bij de bouw, exploitatie, en onderhoud van een samenbouw voor H_2-verdeling aan voertuigen 133
Tabel 41: Overzicht van organisaties die standaarden en codes hebben ontwikkeld m.b.t. waterstof toepassingen 134
Tabel 42: Nuttige documenten opgemaakt door het European Industrial Gases Association (EIGA) i.k.v. de bouw van een waterstoftankstation 135
Tabel 43: Nuttige documenten opgemaakt door het National Renewable Energy Laboratory (NREL) i.k.v. de bouw van een waterstoftankstation 135
Tabel 44: Nuttige documenten opgemaakt door het Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) i.k.v. de bouw van een waterstoftankstation 136
Tabel 45: Maatregelen van H4 getoetst aan verschillende criteria voor de bepaling van BBT 179
Tabel 46: Keuringschema voor inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof 196
Tabel 47: Aanbevelingen voor verder onderzoek ter verbetering van huidige kennis 210

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1: Verschillende types waterstoftankstations beschouwd in de BBT-studie ___ 31
Figuur 2: Plaats van waterstoftankstations in bedrijfskolom ___ 33
Figuur 3: Operationele waterstoftankstations in Europa (H2Stations, 2020) ___ 35
Figuur 4: Een visuele representatie van een mogelijke netwerkuitbreiding in België (Waterstofnet, 2015) ___ 37
Figuur 5: Geplande waterstoftankstations in de Benelux (Waterstofnet, 2019) ___ 38
Figuur 6: Kostenopbouw voor de waterstofprijs voor personenauto's via elektrolyse (François, Martens, Winkel, & Vanhoudt, 2018) ___ 42
Figuur 7: Illustratie van een waterstoftankstation ___ 57
Figuur 8: Uitvoeringstypen van een waterstoftankstation ___ 58
Figuur 9: Waterstoftankstation met continue bevoorrading via een pijpleiding of een lokale productie-eenheid rechtstreeks gekoppeld aan de compressor (M-Tech, 2020) ___ 59
Figuur 10: Waterstoftankstation met twee compressoren en aflevering van waterstof op 350 en 700 bar ___ 60
Figuur 11: Waterstoftransportleidingen van Air Liquide in de Benelux ___ 61
Figuur 12: Werkingsmechanisme van Alkaline Elektrolyse (Fuel Cell Today, 2013) ___ 62
Figuur 13: Werkingsmechanisme van Proton Exchange Membrane elektrolyse (Fuel Cell Today, 2013) ___ 64
Figuur 14: Stoomreforming van aardgas (New York State Energy Research and Development Authority) HTS = High Temperature Shift (350°C) LTS = Low Temperature Shift (190-210°C) ___ 66
Figuur 15: Voorbeeld van een tube-trailer met 9 stalen drukcilinders (max. 200 bar) (M-Tech, 2020) ___ 68
Figuur 16: Twee voorbeelden van een batterijvoertuig (M-Tech 2020) ___ 69
Figuur 17: Flow schema van een waterstoftankstation met een mobiele lagedruk opslag (flessen- of cilinderbatterij) (M-Tech, 2020) ___ 70
Figuur 18: Voorbeeld van een opslag in de vorm van verschillende kaders met gasflessen (Tankstation Zaventem) ___ 70
Figuur 19: Voorbeeld van een opslag in de vorm van enkele drukcilinders (tankstation Duitsland) met een volume van meer dan 1.000 liter (M-Tech, 2020) ___ 71
Figuur 20: Waterstoftankstation met niet continue aanvoer via tube-trailers of batterijvoertuigen en een vaste lagedruk bufferopslag op het station (M-Tech, 2020) ___ 72
Figuur 21: Voorbeeld van een opslag in de vorm van een bovengrondse druktank op een tankstation in Stuttgart (OMV) en in Geiselwind (TOTAL) (M-Tech, 2020) ___ 73
Figuur 22: Voorbeeld van een opslag in de vorm van een ondergrondse druktank van 87m³ op een tankstation in Hunzenschwil (COOP) (M-Tech, 2020) ___ 73
Figuur 23: Voorbeeld van de middendruk bufferopslag op het tankstation van Rhoon (M-Tech, 2020) ___ 77
Figuur 24: Broeikasgasemissies van verschillende waterstofproductie methoden (Castro, et al., 2015) ___ 96
Figuur 25: Overzicht van de preventieve (VF1-VF2) en de gevolgbeperkende (VF3-VF8) veiligheidsfuncties, met in groen een aanduiding van mogelijke oorzaken (links) en gevolgen (rechts) in relatie tot een ongewenste vrijzetting van H_2 tijdens exploitatie van een waterstoftankstation ___ 102
Figuur 26: Berekende interne scheidingsafstanden tot naburige personen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie ___ 116
Figuur 27: Berekende interne scheidingsafstanden tot installaties met gevaarlijke stoffen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie ___ 117
Figuur 28: Gehanteerde risicocriteria voor het groepsrisico van Seveso-inrichtingen in Vlaanderen ___ 121

Figuur 29: Spelregels m.b.t. het gebruik van risicoafstanden op een waterstoftankstation waarbij de functionele delen op meer dan 15 m van elkaar gelegen zijn 126
Figuur 30: Spelregels m.b.t. het gebruik van risicoafstanden op een waterstoftankstation waarbij bepaalde functionele delen op minder dan 15 m van elkaar gelegen zijn 127
Figuur 31: Groepsrisico van de vijf uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 40 pers/ha 128
Figuur 32: Groepsrisico van de vijf uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 200 pers/ha. De punten van de groepsrisicocurven die het meest kritisch liggen worden aangeduid met de letters A, B, en C. 128
Figuur 33: CLP pictogram voor "gevaar ontvlambaar gas" 138
Figuur 34: CLP pictogram voor "gevaar gecomprimeerd gas" 139
Figuur 35: Pictogram "verboden te roken" volgens het KB 17 juni 1997 139
Figuur 36: Pictogram "verboden open vuur" volgens het KB 17 juni 1997" 139
Figuur 37: Voorbeeld van een bord "verboden gebruik van elektronische toestellen" 140
Figuur 38: Voorbeeld van een bord "afzetten aandrijving" (Pictogrammen motor draaien verbod, n.d.) 140
Figuur 39: Breekkoppeling apparaat om te voorkomen dat de verdeelslang scheurt wanneer een tankend voertuig plots wegrijdt (NFPA, 2018) 149
Figuur 40: Toegelaten vulgebied voor het tanken van een voertuig op 700 bar (SAE J2601) 152
Figuur 41: PRD's in de vorm van een (a) glazen bol en (b) bajonet (Tretsiakova-McNally) 155
Figuur 42: Waarneembaarheid van een waterstofbrand met een IR camera (Luis M. Gandia, 2013). 158
Figuur 43: IR-detector gericht op een openlucht opslagtank op een waterstoftankstation in de VS 160
Figuur 44: Voorbeeld van een ATEX-zoneringsplan voor een tankstation met aanlevering via trailer en ondergrondse opslagtank (RayTec 2018) 168
Figuur 45: Omkasting van de pomp en het leidingwerk bij een H_2-leverende truck (Barilo, 2015) 170
Figuur 46: Aanrijdbeveiliging voor een opslagtank met een betonnen wand (links, (Barilo, 2015)) en voor een verdeelzuil door een betonnen borduur (rechts, bron (Autotrader, n.d.)) 170
Figuur 47: Aanrijdbeveiliging voor een verdeelzuil in de vorm van een metalen stootboog (links) of duidelijk zichtbare gele stootpalen (rechts) (Barilo, 2015) 171
Figuur 48: Brandwerende muur nabij een opslagtank aan een waterstoftankstation in de VS (NFPA, 2018) 172
Figuur 49: Selectie van BBT op basis van scores voor verschillende criteria 177
Figuur 50: Schema's met de momenteel op de markt aanwezige uitvoeringen van waterstoftankstations, inclusief aanduiding van de minimale gestuurde noodkleppen, temperatuur- en drukmeters (aangepast en opgemaakt o.b.v. PGS 35) 187
Figuur 51: Werkingsmechanisme van een Solid Oxide Elektrolyse systeem (SOEC) (Fuel Cell Today, 2013) 205

LIJST VAN AFKORTINGEN

ACR	Afdeling van het toezicht op de chemische risico's
ADR	'Accord Européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route', of 'Europees verdrag betreffende het internationaal vervoer van gevaarlijke goederen over de weg'
AFNOR	Association Française de Normalisation
AGOP	Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -projecten van het Departement Omgeving
ANSI	American National Standards Institute
AREI	Algemeen Reglement op de Elektrische Installaties
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ATEX	ATmosphères EXplosibles
BAT	Best Available Techniques
BAT-AEL	Emission levels associated with the best available techniques
BBT	Beste Beschikbare Technieken
BEV	Battery Electrical Vehicle
BREF	BAT reference document
BS	Belgisch Staatsblad
BTW	Belasting over de toegevoegde waarde
CAPEX	Capital Expenditures (investeringskost)
CCS	Carbon Capture and Storage
CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CGA	Compressed Gases Association
CLP	Classification, Labelling and Packaging
CPT	Clean Power for Transport (verwijzend naar het EU-beleidspakket in nasleep van de richtlijn 2014/94/EU betreffende de uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen)
CNG	Compressed Natural Gas
CVCE	Confined Vapor Cloud Explosion
DC	Direct Current (gelijkstroom)
EC	Europese Commissie
EG	Europese Gemeenschap
EHC	Electrochemical Hydrogen Compressor
EIGA	European Industrial Gases Association
EIPPCB	European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau
EMIS	Energie en Milieu Informatiesysteem voor het Vlaamse Gewest
EP	Ecologiepremie
EPSRC	Engineering and Physical Sciences Research Council
ESD	Emergency Shut-Down (noodstopsysteem)
EU	Europese Unie
FCEV	Fuel Cell Electrical Vehicle
GO	Garanties van Oorsprong
GPBV	Geïntegreerde Preventie en Bestrijding van Verontreiniging
HD	Hogedruk
ICC	International Code Council
IEC	International Electrotechnical Commission
IGC	Industrial Gases Council
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control
ISO	International Organization for Standardization
IWT	Instituut Innovatie door Wetenschap en Technologie
K.B.	Koninklijk Besluit
Kmo	kleine of middelgrote onderneming
LCIA	Life Cycle Impact Assessment

LFL	Lower Flammability Limit
LTL	Limitatieve Technologie Lijst
MD	Middendruk
MER	Milieu Effecten Rapportage
n.v.t.	niet van toepassing
n.v.w.b.	niet visueel waarneembaar
NACE	Nomenclature générale des activités économiques dans les Communautés Européennes
NBB	Nationale Bank van België
NBR	Nitrile Rubber
NFPA	National Fire Protection Association (US)
NREL	National Renewable Energy Laboratory (US)
NOW	National Organisation Hydrogen and Fuel Cell Technology (DE)
NIS	Nationaal Instituut voor de Statistiek
OMG	Departement Omgeving van de Vlaamse Overheid
OPEX	Operational Expenditures (operationele kosten)
OVAM	Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij
P2G	Power to Gas
PC	Project Committees
PE	Polyethyleen
PEM	Proton Exchange Membrane
PGS	Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen (NL)
PNNL	Pacific North National Laboratory (US)
POM	Polyoxymethyleen
PSA	Pressure Swing Absorption
PVC	Polyvinyl chloride
QRA	Quantitative Risk Assessment of kwantitatieve risicoanalyse
RIE	Richtlijn Industriële Emissies (2010/75/EU)
RSZ	Rijksdienst voor Sociale Zekerheid
RVS	Roestvast Staal
SAE	Society of Automotive Engineers
SBR	Styrene-Butadiene Rubber (synthetisch rubber)
SMR	Steam Methane Reforming
SPE	Solid Polymer Electrolyte
SOEC	Solid Oxide Electrolysis Cell
SWA	Samenwerkingsakkoord
TC	Technical Committees
(T)PRD	(Thermal) Pressure Relief Devices
UFL	Upper Flammability Limit
UL	Underwriters Laboratory
(U)VCE	(Unconfined) Vapor Cloud Explosion
v.g.t.g.	in de vergunning toegelaten gehalte of van geval tot geval
VEA	Vlaams Energieagentschap
VF	Veiligheidsfunctie
VITO	Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
VK	Verenigd Koninkrijk
VLAREBO	Besluit van de Vlaamse Regering houdende vaststelling van het Vlaams reglement betreffende de bodemsanering en de bodembescherming
VLAREM II	Besluit van de Vlaamse regering houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne
VLAREM III	Besluit van de Vlaamse regering houdende bijkomende algemene en sectorale voorwaarden voor GPBV-installaties
VLAREMA	Besluit van de Vlaamse Regering tot vaststelling van het Vlaams reglement betreffende het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen
VLM	Vlaamse Landmaatschappij

VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
VR	Veiligheidsrapportage
ZG	Vlaams Agentschap Zorg en Gezondheid

LIJST VAN BEGRIPPEN

Dispenser:	Een toestel, voorzien van de slangen, evenals de start- en stopknoppen en eventuele doorstroommeters en overige instrumenten, om, samen met de andere onderdelen van een waterstoftankstation waterstof van een opslagtank over te slaan naar een brandstoftank van een motorvoertuig.
Dispenserslang:	Een slang die aan de waterstof dispenser is bevestigd, en dient om waterstof tot in de brandstoftank van een motorvoertuig te leiden. Een alternatieve benaming hiervoor is verdeelslang.
Faalfrequentie:	Het verwachte aantal keren dat een component of systeem zal falen over een bepaalde periode.
Faalwijze:	Een mogelijke manier waarop een systeem kan falen.
Fakkelbrand:	Verbranding van een waterstofmengsel dat met een significante stuwkracht uit een opening tevoorschijn komt.
Fysische explosie:	Explosie ten gevolge van het instantaan falen van een houder met een gas onder druk.
Gaswolkexplosie:	Explosie ten gevolge van de ontsteking van een brandbare wolk waarin de vlammen versnellen tot voldoende hoge snelheden om een significante overdruk te produceren.
Grijze waterstof:	Waterstof geproduceerd uit standaard EU-elektriciteitsmix.
Groene waterstof:	Waterstof geproduceerd uit 100% hernieuwbare energie.
Groepsrisico:	De kans (per jaar) dat een bepaald aantal personen of meer in de omgeving van een inrichting gelijktijdig omkomt ten gevolge van een zwaar ongeval binnen die inrichting.
Interne scheidingsafstanden:	De minimale afstand tussen een gevarenbron en een object (mens, apparatuur of omgeving) binnen de inrichting. In de veiligheidsstudie van M Tech wordt hiervoor de benaming “interne risicoafstanden” gehanteerd.
Koppelslang:	Een slang die gebruikt kan worden om een tube-trailer of batterijvoertuig in verbinding te brengen met het vaste (stationaire) deel van het waterstoftankstation.
Losslang (flexibele):	Een slang die gebruikt wordt om waterstof te lossen op het station (door een tube-trailer of een batterijvoertuig).
Off-site waterstof productie:	Productie van waterstof buiten de perceelgrens van het waterstoftankstation.

On-site waterstof productie:	Productie van waterstof binnen de perceelsgrens van het waterstoftankstation.
Risicoafstanden:	De afstanden tussen een gevarenbron en een object buiten de inrichting van een waterstoftankstation, uitgedrukt als risicocontouren van 10^{-5}/j, 10^{-6}/j, en 10^{-7}/j). In de studie van M Tech wordt hiervoor de benaming "externe risicoafstanden" gehanteerd.
Verdeelslang (flexibel):	Een slang die verbonden is aan de dispenser en gebruikt wordt om een wagen te bevoorraden met waterstof.
Vervolggebeurtenis:	Fenomeen dat optreedt na een specifieke faalwijze.
Vuurbal:	Voldoende snel brandend vuur, zodat de brandende waterstofmassa opstijgt in de lucht als een wolk of bal.
Wisseloperatie:	Een aan- of afkoppeling van een los- of koppelslang
Wolkbrand:	Brand ten gevolge van de ontsteking van een brandbare waterstofwolk waarin de vlamsnelheid onvoldoende is om een significante overdruk te produceren.

HOOFDSTUK 1 OVER DEZE BBT-STUDIE

In dit hoofdstuk lichten we eerst het begrip Beste Beschikbare Technieken (BBT) toe. Vervolgens schetsen we het algemene kader van deze Vlaamse BBT-studie. Onder meer de doelstellingen, de inhoud, de begeleiding en de werkwijze van de BBT-studie worden verduidelijkt.

1.1 Beste Beschikbare Technieken in Vlaanderen

1.1.1 Definitie

Het begrip "Beste Beschikbare Technieken", afgekort BBT, wordt in VLAREM II , artikel 1.1.2, gedefinieerd als:
"het meest doeltreffende en geavanceerde ontwikkelingsstadium van de activiteiten en exploitatiemethoden, waarbij de praktische bruikbaarheid van speciale technieken om in beginsel het uitgangspunt voor de emissiegrenswaarden en andere vergunningsvoorwaarden te vormen is aangetoond, met het doel emissies en effecten op het milieu in zijn geheel te voorkomen of, wanneer dat niet mogelijk blijkt algemeen te beperken;

- "technieken": zowel de toegepaste technieken als de wijze waarop de installatie wordt ontworpen, gebouwd, onderhouden, geëxploiteerd en ontmanteld;
- "beschikbare": op zodanige schaal ontwikkeld dat de betrokken technieken, kosten en baten in aanmerking genomen, economisch en technisch haalbaar in de industriële context kunnen worden toegepast, onafhankelijk van de vraag of die technieken al dan niet op het grondgebied van het Vlaamse Gewest worden toegepast of geproduceerd, mits ze voor de exploitant op redelijke voorwaarden toegankelijk zijn;
- "beste: het meest doeltreffend voor het bereiken van een hoog algemeen niveau van bescherming van het milieu in zijn geheel."

Deze definitie vormt het vertrekpunt om het begrip BBT concreet in te vullen voor de sector waterstoftankstations in Vlaanderen.

1.1.2 Beste Beschikbare Technieken als begrip in het Vlaamse milieubeleid

Achtergrond bij begrip

Bijna elke menselijke activiteit (b.v. woningbouw, industriële activiteit, recreatie, landbouw) beïnvloedt op de één of andere manier het leefmilieu. Vaak is het niet mogelijk in te schatten hoe schadelijk die beïnvloeding is. Vanuit deze onzekerheid wordt geoordeeld dat iedere activiteit met maximale zorg moet uitgevoerd worden om het leefmilieu zo weinig mogelijk te belasten. Dit stemt overeen met het zogenaamde voorzorgsbeginsel.

In haar milieubeleid gericht op het bedrijfsleven heeft de Vlaamse overheid dit voorzorgsbeginsel vertaald naar de vraag om de "Beste Beschikbare Technieken" toe te passen. Deze vraag wordt als zodanig opgenomen in de algemene voorschriften van VLAREM II (art. 4.1.2.1). Het toepassen van de BBT betekent in de eerste plaats dat

iedere exploitant al wat technisch en economisch mogelijk is, moet doen om milieuschade te vermijden. Daarnaast wordt ook de naleving van de vergunningsvoorwaarden geacht overeen te stemmen met de verplichting om de BBT toe te passen.

Binnen het Vlaamse milieubeleid wordt het begrip BBT in hoofdzaak gehanteerd als basis voor het vastleggen van vergunningsvoorwaarden. Dergelijke voorwaarden die aan inrichtingen in Vlaanderen worden opgelegd steunen op twee pijlers:

- de toepassing van de BBT;
- de resterende milieu-effecten mogen geen afbreuk doen aan de vooropgestelde milieu-kwaliteitsdoelstellingen.

Ook de Europese Richtlijn Industriële Emissies (2010/75/EU) en haar voorganger, de "IPPC" Richtlijn (2008/1/EC), schrijven de lidstaten voor op deze twee pijlers te steunen bij het vastleggen van vergunningsvoorwaarden.

Concretisering van begrip

Om concreet inhoud te kunnen geven aan het begrip BBT, dient de algemene definitie van VLAREM II nader verduidelijkt te worden. Het BBT-kenniscentrum hanteert onderstaande invulling van de drie elementen.

- "Beste" betekent "beste voor het milieu als geheel", waarbij het effect van de beschouwde techniek op de verschillende milieucompartimenten (lucht, water, bodem, afval, …) wordt afgewogen;
- "Beschikbare" duidt op het feit dat het hier gaat over iets dat op de markt verkrijgbaar en redelijk in kostprijs is. Het zijn dus technieken die niet meer in een experimenteel stadium zijn, maar effectief hun waarde in de bedrijfspraktijk bewezen hebben. De kostprijs wordt redelijk geacht indien deze haalbaar is voor een 'gemiddeld' bedrijf uit de beschouwde sector én niet buiten verhouding is tegenover het behaalde milieuresultaat;
- "Technieken" zijn technologieën én organisatorische maatregelen. Ze hebben zowel te maken met procesaanpassingen, het gebruik van minder vervuilende grondstoffen, end-of-pipe maatregelen, als met goede bedrijfspraktijken.

Het is hierbij duidelijk dat wat voor het ene bedrijf een BBT is dat niet voor een ander hoeft te zijn. Toch heeft de ervaring in Vlaanderen en in andere regio's/landen aangetoond dat het mogelijk is algemene BBT-lijnen te trekken voor groepen van bedrijven die dezelfde processen gebruiken en/of gelijkaardige producten maken. Dergelijke sectorale of bedrijfstak-BBT maken het voor de overheid mogelijk sectorale milieuvoorwaarden vast te leggen. Hierbij zal de overheid doorgaans niet de BBT zelf opleggen, maar wel de milieuprestaties die met BBT haalbaar zijn als norm beschouwen.

Het concretiseren van BBT voor sectoren vormt tevens een nuttig referentiepunt bij het toekennen van steun bij milieuvriendelijke investeringen door de Vlaamse overheid. De regeling ecologiepremie bepaalt dat bedrijven die milieu-inspanningen leveren die verdergaan dan de wettelijke vereisten, kunnen genieten van een investeringssubsidie.

1.2 BBT-studie voor waterstoftankstations

1.2.1 Doelstellingen van studie

De inzet van 'alternatieve brandstoffen' en de ontwikkeling van hieraan aangepaste aandrijftechnologieën en verdeelinfrastructuur verwerft een groter wordend aandeel in

de betrokken industrietakken, beleidskaders, en politieke agenda's in gans Europa. Een belangrijke aanleiding voor deze opmars zijn steeds strenger wordende emissienormen voor o.a. voer- en vaartuigen. Doel van deze verstrenging is om het aandeel van de milieu-impact door transport in de totale milieu-impact te verkleinen.

Personenvervoer vertoont de laatste jaren vooral een duidelijke trend naar elektrificatie, onder andere gedreven door de hoge efficiëntie van elektro-motoren, echter is het nog onduidelijk tot op welk niveau de elektrificatie zich zal doorzetten voor zwaar transport. (Belmans & Vingerhoets, 2020). Batterijen zijn door hun lage energiedichtheid per eenheid massa en volume minder geschikt voor zwaar transport (zoals luchtvaart, internationale scheepvaart of zwaar vrachtverkeer) dan voor personenvervoer. Naast waterstof kunnen ook andere hernieuwbare brandstoffen een rol spelen; methanol heeft een drie keer hogere volumetrische energiedichtheid dan waterstof bijvoorbeeld.
Het doel van deze studie is echter niet om de wenselijkheid van waterstof als energiedrager in transport of de toekomstige economische haalbaarheid van waterstof mobiliteit te evalueren. Deze studie focust zich specifiek op de technieken om de milieu-impact en veiligheidsrisico's door uitbating van waterstoftankstations te beperken.

Om de voormelde trend naar een transportvloot met een relatief[1] lagere milieu-impact te bestendigen, en de beleidsdoelstellingen voor het gebruik van alternatieve brandstoffen te realiseren, is o.a. een voldoende dicht netwerk van verdeelinfrastructuur nodig. Een duidelijk regelgevend kader dat een veilige en milieuvriendelijke exploitatie van deze infrastructuur tot doel heeft, is dan ook onontbeerlijk. Deze noodzaak vormt de aanleiding voor de voorliggende BBT-studie. De BBT-studie heeft als doel een onderbouwd advies voor een dergelijk regelgevend kader in Vlaanderen te formuleren, meer bepaald voor de sectorale voorwaarden voor waterstoftankstations in VLAREM II.

1.2.2 Inhoud van studie

Vertrekpunt van het onderzoek naar de Beste Beschikbare Technieken voor de waterstoftankstations is een socio-economische doorlichting (Hoofdstuk 2). Dit laat ons toe de economische context van de sector in te schatten, wat van belang is bij het beoordelen van de haalbaarheid van de voorgestelde maatregelen.

In Hoofdstuk 3 wordt de procesvoering in detail beschreven en wordt nagegaan welke milieu-effecten en veiligheidsaspecten optreden.

Op basis van een uitgebreide literatuurstudie, aangevuld met gegevens van leveranciers en bedrijfsbezoeken, wordt in Hoofdstuk 4 een inventaris opgesteld van technieken voor een milieuvriendelijke en veilige werking van waterstoftankstations. Vervolgens, in Hoofdstuk 5, vindt voor elk van deze technieken een evaluatie plaats, niet alleen van het globaal milieurendement en veiligheidsniveau, maar ook van de technische en economische haalbaarheid. Deze grondige afweging laat ons toe de Beste Beschikbare Technieken te selecteren.

De BBT zijn op hun beurt de basis voor een aantal suggesties om de bestaande milieuregelgeving te evalueren, te concretiseren en aan te vullen (Hoofdstuk 6). Tevens wordt in dit hoofdstuk onderzocht welke van deze technieken in aanmerking komen voor investeringssteun in het kader van de ecologiepremie. In Hoofdstuk 7 wordt er verder ingegaan op de technieken in opkomst en worden aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling geformuleerd.

[1] Relatief, omdat alternatieve emissie-armere brandstoffen per km afgelegde afstand wel een lagere milieu-impact kunnen opleveren, maar als het aantal afgelegde kilometers door de totale transportvloot stijgt, kan dit voordeel teniet worden gedaan.

HOOFDSTUK 2 SOCIO-ECONOMISCHE & MILIEUJURIDISCHE SITUERING VAN DE SECTOR

In dit hoofdstuk geven we een situering en doorlichting van de sector waterstoftankstations, zowel socio-economisch als milieu-juridisch.

Vooreerst trachten we de bedrijfstak te omschrijven en het onderwerp van de studie zo precies mogelijk af te bakenen. Daarna bepalen we een soort barometerstand van de sector, enerzijds aan de hand van een aantal socio-economische kenmerken en anderzijds door middel van een inschatting van de draagkracht van de bedrijfstak. In een derde paragraaf gaan we dieper in op de belangrijkste milieu-juridische aspecten voor de sector van waterstoftankstations.

2.1 Omschrijving, afbakening en indeling van de sector

2.1.1 Afbakening en indeling van de sector

Afbakening

De BBT-studie voor waterstoftankstations is gericht op inrichtingen waar elektrische voertuigen die gevoed worden vanuit een brandstofcel (de zogenaamde 'fuel cell electric vehicles', of FCEV's), of voertuigen met een H_2-verbrandingsmotor, bevoorraad worden met waterstof.

De productie van **gasvormig waterstof** valt **binnen de studiescope** indien deze binnen de inrichting van het tankstation (on-site) plaatsvindt. Buiten de studiescope valt de off-site productie van waterstof.

Ook de aanlevering en de opslag van **vloeibare waterstof** valt **buiten de studiescope**. De reden hiervoor is dat de bevoorrading van waterstoftankstations met vloeibaar waterstof op dit moment nog beperkt is in Europa. M.b.t. de veiligheidsaspecten van opslag van vloeibaar waterstof zullen er grotere risicocontouren ontstaan in vergelijking met gasvormig waterstof en zal een veiligheidsstudie door een erkende deskundige noodzakelijk zijn.

Technische indeling van de sector

De technische indeling kan op verschillende manieren gebeuren, zoals hieronder op alvast **drie** wijzen is voorgesteld:

1. <u>Indeling volgens de **bevoorradingswijze**</u>:
   a) stations met een **continue** bevoorrading van waterstof, dit d.m.v. een **pijpleiding** of een **lokale productie-eenheid**;
   b) stations met een **discontinue** aanvoer, d.m.v. **tube-trailers** of **batterijvoertuigen** met een lagedruk tussenopslag, of met het lossen van **flessen- of cilinderbatterijen**

2. Indeling volgens **locatie** van de waterstofproductie:
   a) **on-site** waterstofproductie (via elektrolyse of stoomreforming);
   b) **off-site** waterstofproductie.

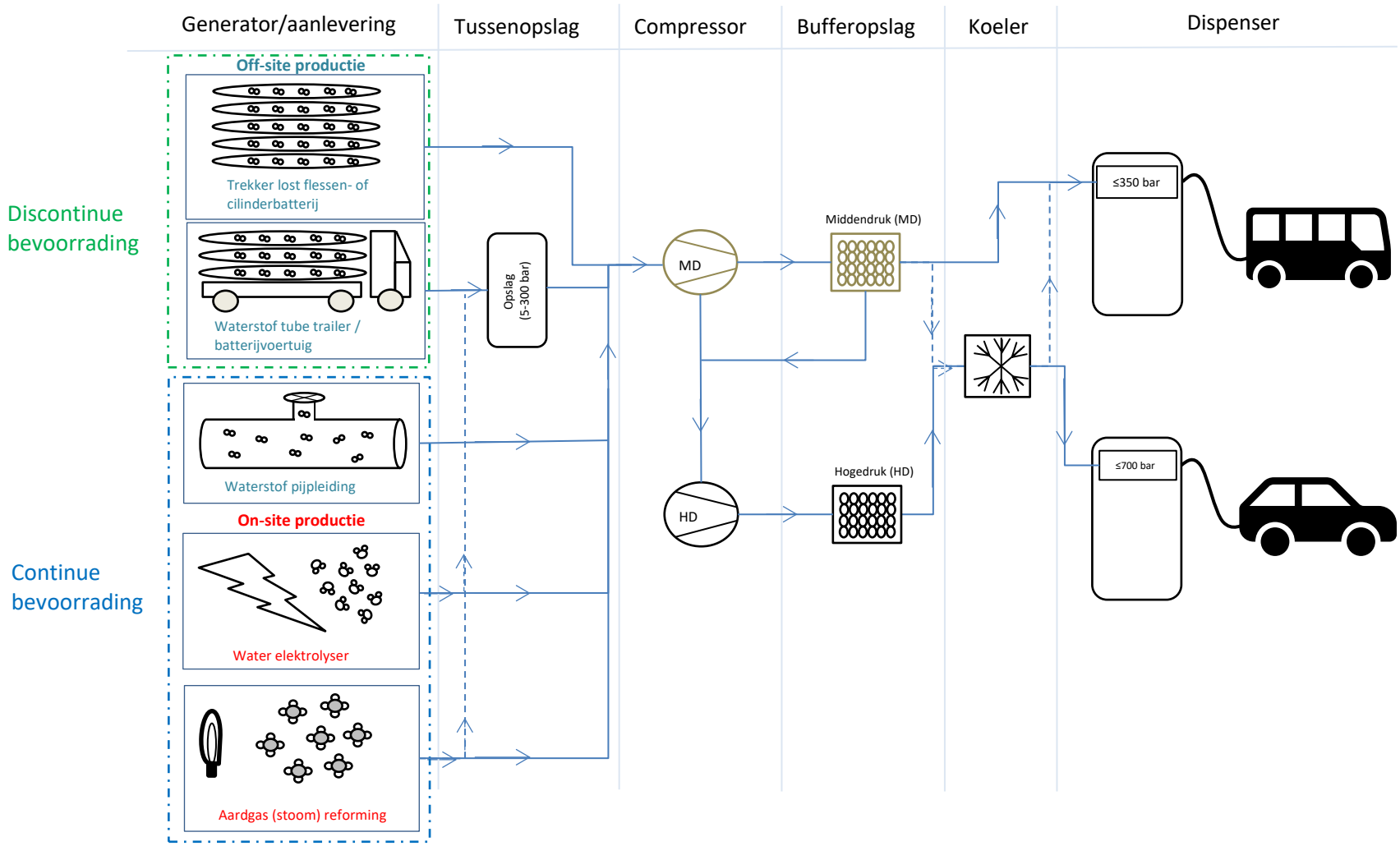
3. Indeling naargelang de **afleverdruk**:
   a) een druk van **350 bar**[2] (bedoeld voor verdeling aan zwaardere voertuigen zoals bussen, vrachtwagens, vuilniswagens, vorkheftrucks, enz.);
   b) een druk van **700 bar** (bedoeld voor verdeling aan personenauto's);
   c) een **combinatie** van beiden.

Figuur 1 geeft een schema weer van de verschillende types waterstoftankstations[3]. Vijf verschillende aanlevermethodes worden in deze studie meegenomen:

1) De **discontinue** bevoorrading waar **flessen- of cilinderbatterijen** gelost worden door een trekker op het tankstation(in dit geval blijft de trekker niet op het tankstation)
2) De discontinue bevoorrading waar een **waterstof tube-trailer** of een batterijvoertuig waterstof over laat vloeien naar een (boven- of ondergrondse) **tussenopslagtank** op het tankstation. Bijkomende optie is dat (bij grote afnames) de tube-trailer blijft staan en na een paar dagen weer wordt gewisseld;
3) De **continue** bevoorrading waar een waterstof**pijpleiding** wordt aangesloten aan het tankstation;
4) De **continue** bevoorrading door een on-site productie-eenheid d.m.v. **water elektrolyse**;
5) De **continue** bevoorrading door een on-site productie-eenheid d.m.v. **stoomreforming van aardgas**

[2] Met de opkomst van grotere busstations en de ontwikkeling van waterstof vrachtwagens worden de 350 bar dispensers ook steeds meer uitgerust met koeling. De standaard lijkt zich naar de -20°C te ontwikkelen (Marnix Van Berkum, persoonlijke communicatie, 2020)

[3] De stippelijnen in Figuur 1 wijzen op een flow die in sommige gevallen toegepast kan worden. Zo is lagedruk opslag ook mogelijk in het geval van een elektrolyser of een stoomreforming unit. Elektrolysers/reformers zijn namelijk de duurste onderdelen van het tankstation, en i.f.v. de kosteneffectiviteit is het belangrijk dat zij zoveel mogelijk draaiuren maken, met name op momenten dat er weinig of geen afname is (bvb in het weekend of 's nachts). Als de elektrolyser/reformer voldoende druk levert (bvb 35 bar), dan kan het interessant zijn om rechtstreeks een lage druk tussenopslag te vullen i.p.v. een compressor te hypothekeren voor vulling van midden- of hogedruk buffers. (Gert Theys, persoonlijke communicatie, 2019)



Figuur 1: Verschillende types waterstoftankstations beschouwd in de BBT-studie

NACE-BEL indeling van de sector

De NACE-BEL nomenclatuur is een benadering om sectoren volgens economische activiteit in te delen. Officiële statistieken, zoals gegevens van de Rijksdienst voor Sociale Zekerheid (RSZ) of het Nationaal Instituut voor de Statistiek (NIS), volgen meestal de indeling van NACE-BEL.

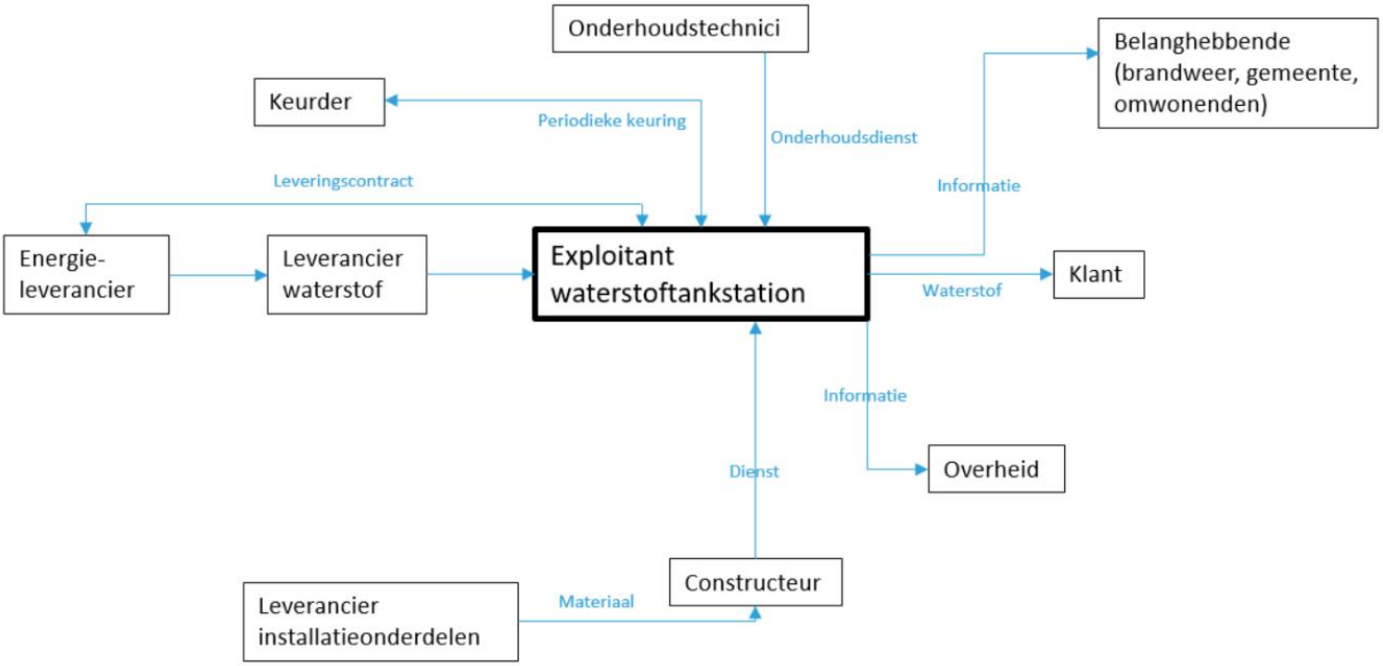
Waterstoftankstations vallen niet onder één welbepaalde NACE-klasse. De hieronder opgelijste NACE-BEL klassen in Tabel 1 kunnen van toepassing zijn voor waterstoftankstations. In geval de uitbating van het waterstoftankstation niet de hoofdactiviteit van de installatie is (bv. voor een bedrijf dat een waterstoftankstation heeft voor de eigen bedrijfsvoertuigen), kunnen nog andere NACE-BEL klassen van toepassing zijn.

Tabel 1: Overzicht van de mogelijk van toepassing zijnde NACE-BEL-klassen voor waterstoftankstations

Sectie	Afdeling	Groep	Klasse	Omschrijving van de klasse
G	46	46.7	46.71	Groothandel in vaste, vloeibare en gasvormige brandstoffen en aanverwante producten
	47	47.3	47.30	Detailhandel in motorbrandstoffen in gespecialiseerde winkels
H	52			Opslag en vervoersondersteunende activiteiten

2.1.2 Bedrijfskolom

De plaats van de bedrijven die waterstoftankstations exploiteren in de bedrijfskolom wordt schematisch weergegeven in Figuur 2.



Figuur 2: Plaats van waterstoftankstations in bedrijfskolom

2.2 Socio-economische situering van de sector

In deze paragraaf wordt de toestand van de sector geschetst aan de hand van enkele socio-economische indicatoren. Deze geven ons een algemeen beeld van de structuur van de sector en vormen de basis om in de volgende paragraaf de draagkracht van de sector in te schatten. Deze draagkracht bepaalt mede de mate waarin de sector in staat is om bepaalde milieuvriendelijke of veiligheidsborgende maatregelen te nemen.

2.2.1 Aantal en omvang van bedrijven

Benelux:

Hoewel België niet de reputatie heeft een koploper in waterstof te zijn, heeft het wel unieke en sterke troeven op vlak van waterstof. In Antwerpen bevindt zich het centrum van het grootste ondergrondse pijplijntransportnetwerk van waterstof, geëxploiteerd door Air Liquide. Daarnaast is de haven van Antwerpen één van Europa's grootste gebieden voor de productie van waterstof (afkomstig van aardgas en een bijproduct van de chemische industrie). Tenslotte is België ook de thuisbasis van een uitgebreide overkoepelende waardeketen op waterstof met bedrijven als Hydrogenics, Umicore, Solvay, Van Hool, De Lijn, en nog vele andere (Waterstofnet, 2015).

In 2020 reden er in de Benelux zo'n 300-tal waterstofauto's en een vijftiental waterstofbussen rond. De tankinfrastructuur is vrij beperkt: Vlaanderen telt in 2020 slechts twee openbare waterstoftankstations, en 1 niet openbaar station. Nederland telt 4 openbare waterstoftankstations. Tabel 2 geeft een overzicht van de waterstoftankstation in de Benelux.

Tabel 2: Overzicht huidige waterstoftankstations in de Benelux

Locatie	Exploitant	Openbaar	Bevoorradingswijze	Afleverdruk
Zaventem, BE	Air Liquide	Ja	Aanvoer via tube-trailer (max. 200 bar)	350 & 700 bar
Rhoon – Rotterdam, NL	Air Liquide	Ja	Aanvoer via pijpleiding (max. 100 bar)	350 & 700 bar
Helmond (Automotive Campus), NL	WaterstofNet	Ja	Lokale productie (elektrolyse, 60 Nm³/h)	350 & 700 bar
Arnhem , NL	Total-Pitpoint	Ja	Lokale productie (stoomreforming)	350 (& 700) bar
Halle (terrein Colruyt), BE	Colruyt	Ja (700 bar) Nee (350 bar)	Lokale productie (elektrolyse, 2x 30 Nm³/h)	350 bar & 700 bar
Antwerpen (terrein Solvay), BE	PitPoint	Nee (De Lijn)	Aanvoer via pijpleiding (max. 100)	350 bar
Delfzijl , NL	PitPoint	Nee (Q-buzz)	Pijpleiding 1.9 barg	350 bar
Den Haag, NL	BP Kerkof	Ja	Aanvoer via truck	350 & 700 bar

Europa:

Wanneer we uitvergroten naar de rest van Europa, zien we dat Duitsland de koploper is op vlak van operationele waterstoftankstations[4], zoals geïllustreerd in Figuur 3.

[4] Een nuttige bron die een overzicht geeft van de huidige en geplande waterstoftankstations in de wereld is www.h2stations.org.

Figuur 3: Operationele waterstoftankstations in Europa (H2Stations, 2020)

Rest van de wereld:

In de rest van de wereld, zien we Californië en Japan sterk investeren in waterstof infrastructuur. Opmerkelijk is dat meer dan één vierde van de 409 actieve waterstoftankstations in de wereld gevestigd zijn in Japan. Tabel 3 geeft het aantal operationele waterstoftankstations weer per land (gegevens zijn geupdate tot 30/06/2020)

Tabel 3: Aantal operationele publieke en niet publieke waterstoftankstations per land in juni 2020 (Tools, 2020)

Operationele stations in de wereld	409					
	Japan	113	Schotland	5	Costa Rica	1
	Duitsland	81	Zweden	5	Emiraten	1
	Verenigde Staten	44	Nederland	4	Maleisië	1
	China	36	Australië	3	Saoedi-Arabië	1
	Zuid Korea	31	België	3	Slovenië	1
	Frankrijk	18	Ijsland	3	Taiwan	1
	Engeland	11	India	3	Tschechië	1
	Noorwegen	10	Spanje	3	Turkije	1
	Canada	8	Italië	2	Wales	1
	Denemarken	8	Zwitserland	2		
	Oostenrijk	5	Brazilië	1		

2.2.2 Tewerkstelling

Over de tewerkstelling in de sector van de waterstoftankstations in Vlaanderen zijn geen officiële cijfers beschikbaar. Gezien echter het aantal stations in Vlaanderen nog beperkt is (zie paragraaf 2.2.1), en de tewerkstelling per station beperkt is tot maximum enkele personen, is de totale tewerkstelling beperkt.

2.2.3 Evolutie van omzet, toegevoegde waarde en bedrijfsresultaat

De omzet van een waterstoftankstation is nog zeer beperkt door het geringe aantal waterstofwagens die op dit moment in omloop zijn. Bij een maximale dagelijkse afname van 200 kg/dag (50 auto's die elk 4 kg H_2 tanken) aan een gemiddelde waterstofprijs van 10 €/kg H_2, is de omzet van een waterstoftankstation zo'n 730.000 €/jaar.

Toch heerst er een politiek momentum in Europa en in Vlaanderen rond groene waterstof als toepassing voor mobiliteit en kunnen we een positieve evolutie van de omzet van waterstoftankstations verwachten. De inzet van waterstoftankstations blijft echter een grote financiële uitdaging en is cruciaal om de ontwikkeling van waterstoftankstations te koppelen aan de ontwikkeling van 'Fuel Cell Electric Vehicles' (afgekort FCEV) , dit om voldoende vraag te genereren en de prijzen te drukken.

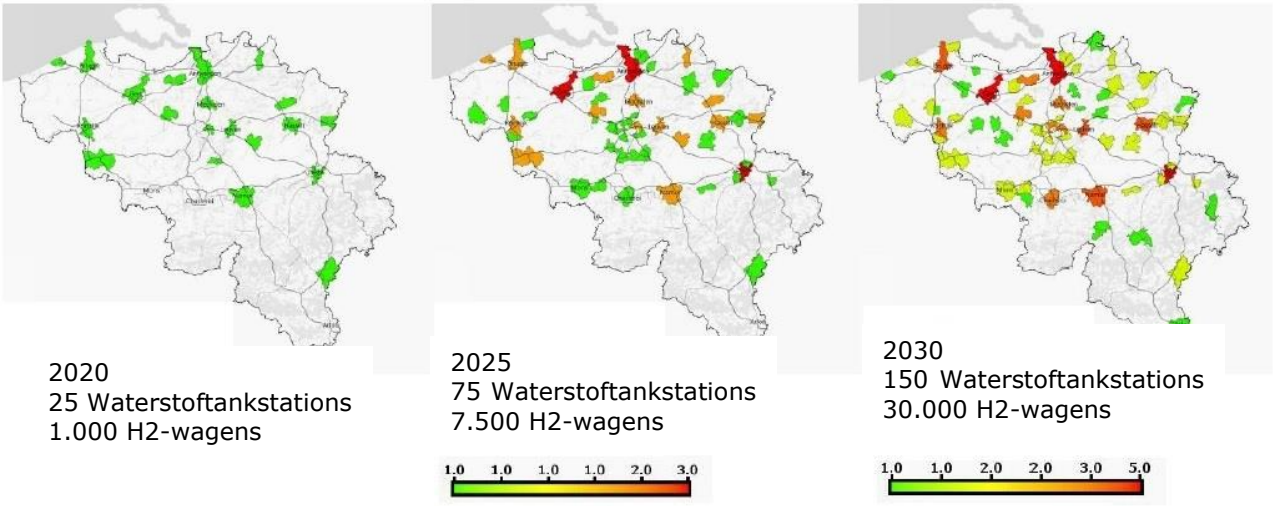
De huidige financiële situatie samen met de prognose voor 2030 en 2050 worden aan de hand van een case study meer in detail toegelicht in paragraaf 2.3.3.

2.2.4 Evolutie van investeringen

De verwachting van de waterstofsector is dat het aantal waterstoftankstations en -auto's op middellange termijn significant zal toenemen en dat een marktintroductie van start zal gaan.

Het uitgangspunt voor het aantal waterstoftankstations in België zou in overeenstemming zijn met dat in onze buurlanden: zo'n 25 tegen 2020, waarvan 20 in Vlaanderen en 5 in Wallonië. Voor Vlaanderen geldt de Vlaamse beleidsnota 'Clean Power for Transport' van het departement omgeving (Vlaamse Overheid, 2019) hiervoor als het ankerpunt vanuit het Vlaamse beleid. Tussen 2020 en 2025 zijn een extra 45 stations gepland, en dit netwerk zou verder uit groeien tot 150 stations in 2030. De eerste reeks stations zal zoveel mogelijk langs de Europese corridors ('Trans-European Transport Network', afgekort TEN-T) ingepland worden, zodat internationaal verkeer grote afstanden op waterstof kan afleggen en zonder onderweg met een tekort aan brandstof geconfronteerd te geraken. Verrekend met ongeveer 3.200 benzinestations in België, zal het aandeel waterstoftankstations stijgen van 0,8% (2020) tot 4,7% (2030), wat volledig in lijn is met de doelstellingen in andere waterstof mobiliteitslanden.

Figuur 4 geeft een scenario weer van de evolutie van waterstoftankstations en -wagens tot 2030. De kleuren onderaan stellen het aantal stations voor die ontwikkeld zullen worden in een bepaalde stad/streek.



Figuur 4: Een visuele representatie van een mogelijke netwerkuitbreiding in België (Waterstofnet, 2015)

Geplande waterstoftankstations in de Benelux:

Figuur 5 geeft een representatie weer van de geplande waterstoftankstations in de Benelux. Specifiek in België staan volgende locaties in de pijplijn:

- Regio Gent
- Antwerpen (ISVAG aan de A12)
- Antwerpen haven
- Verplaatsing tankstation DeLijn naar de Vaartkaai in Antwerpen
- Regio Leuven (Haasrode, Colruyt Group, 2020)
- Regio Luik

Operationele openbare waterstof tankstations

Plaats	Adres	Vuldruk	Uitbater	Voertuig	Betaling
Rhoon (NL)	Groene Kruisweg 397	350/700 bar	Air Liquide		
Helmond (NL)	Automotive Campus 30	350/700 bar	WaterstofNet		
Delfzijl (NL)	Oosterhorn 4f	350 bar	PitPoint		
Arnhem (NL)	Westervoortsedijk 71	350/700 bar	PitPoint		€
Antwerpen (BE)	Scheldelaan 480	350 bar	PitPoint		
Zaventem (BE)	Leuvensesteenweg 546	350/700 bar	Air Liquide		
Halle (BE)	Zinkstraat 1	700 bar	DATS24		€

Figuur 5: Geplande waterstoftankstations in de Benelux (Waterstofnet, 2019)

2.2.5 Productie en prijzen

Prijs(evolutie) voor een waterstoftankstation

In de Power To Gas Roadmap for Flanders (2016) werd een inschatting gemaakt van de investeringskosten voor een waterstoftankstation in 2015, 2030 en 2050. Deze kostgegevens zijn samengevat in Tabel 4[5].

Tabel 4: Kost van een waterstoftankstation volgens de Power To Gas Roadmap for Flanders (2016)

	2015	**2030**	**2050**
Station exclusief elektrolyse, compressor en opslag	700.000 €	420.000 €	315.000 €
Compressor 120 Nm³/h (10 > 450 bar)	300.000 €	240.000 €	210.000 €
Compressor 120 Nm³/h (450 > 900 bar)[6]	120.000 €	96.000 €	84.000 €
Opslag bij 200 bar	225 €/kg H_2	225 €/kg H_2	225 €/kg H_2
Opslag bij 450 bar	1.600 €/kg H_2	960 €/kg H_2	768 €/kg H_2
Opslag bij 900 bar	2.200 €/kg H_2	1.320 €/kg H_2	990 €/kg H_2
Electrolyse – PEM MW schaal (200 Nm³/h)	1.560.000 €	1.020.000 €	550.000 €
Civiele werken[7]	100.000 €	100.000 €	100.000 €
Aansluiting op het elektriciteitsnet	50.000 €	50.000 €	50.000 €
Totaal - tankstation voor personenwagens met alkalische electrolyse	2.500.000 € (60 Nm³/h)	1.630.000 € (300 Nm³/h)	1.200.000 € (300 Nm³/h)
Totaal - tankstation voor bussen met PEM electrolyse (capaciteit niet vermeld)	5.970.000 €	4.120.000 €	2.850.000 €

[5] Deze Tabel is indicatief/informatief en is niet geschikt om als vergelijkingsbasis te dienen voor 'Proton Exchange Membrane' (afgekort PEM) en alkaline waterstofproductie, omdat verschillende productiecapaciteiten gehanteerd zijn.

[6] Recentelijk (2020) worden er eveneens compressoren (450 > 900 bar) tussen 300-700 Nm³ toegepast, waarvan de prijs zich tussen € 200.000 – 300.000 situeert (Marnix Van Berkum, persoonlijke communicatie, 2020)

[7] De kost van € 100.000 voor de civiele werken is een onderschatting en van toepassing voor een bestaand station met een waterstofuitbreiding. Bij een Greenfield of een station waar meer aanpassingen nodig zijn kan dit al snel oplopen tot € 200.000 – 300.000. (Marnix Van Berkum, persoonlijke communicatie, 2020)

Onderstaande Tabel 5 geeft een overzicht van de indicatieve kostprijs van een waterstoftankstation voor drie verschillende aanlevermethodes voor een afleverdruk van 350 en 700 bar[8]:

- Gasvormige levering via tube-trailer
- On-site productie via elektrolyse
- On-site productie via SMR

Tabel 5: Voorbeelden van kostprijzen van een waterstoftankstation voor verschillende uitvoeringstypen

Aanlevering	**Capaciteit**	**Kost**	**Bron**
Gasvormige levering via tube-trailer	180 kg/dag	$ 2.000.000	California Energy Commission (2015)
On-site productie dmv elektrolyse	200 kg/dag	€ 2.500.000	P2G roadmap Flanders (2016)
On-site productie dmv SMR	Uitbreiding 100 kg/dag	$ 930.000[9]	California Energy Commission (2015)

De kost van een waterstoftankstation zoals opgenomen in Tabel 5 omvat apparatuur, ontwerp, constructie, en inbedrijfstelling.

Naarmate de wereldwijde vraag naar waterstof toeneemt, zullen de kostenbesparingen op economische schaal in gang worden gezet. Omdat waterstoftankstations nog aan hun opmars moeten beginnen, wordt er een daling verwacht van de investeringskost van 35% in 2030 tot bijna 50% in 2050 (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016). Dit blijkt ook uit de cijfers in Tabel 4.

Prijs(evolutie) van waterstof aan de pomp:

Voor de economische haalbaarheid van een waterstoftankstation is de waterstofprijs aan de pomp ook een belangrijke factor. Voor de exploitant is dit het belangrijkste middel om zijn gemaakte kosten voor het gebruik, het onderhoud, en de investeringskost terug te verdienen. Voor consumenten zal naast de aanwezigheid van een station de waterstof brandstofprijs eveneens een factor zijn in de beslissing om al dan niet een waterstofwagen aan te kopen.

Wereldwijd wordt de meeste waterstof (95%) on-site geproduceerd, en slechts 5% wordt verhandeld op de vrije markt. In België is de situatie enigszins anders, door de aanwezigheid van het waterstoftransportleidingennet van Air Liquide (zie paragraaf 3.1.2). In de Power To Gas Roadmap for Flanders (2016) wordt de prijs van waterstof in België ingeschat voor 2015, 2030 en 2050. Voor deze inschatting is uitgegaan van stoomreforming als dominante technologie. De verwachte prijsstijging wordt verklaard door de verwachte stijging van de kosten voor aardgas en CO_2 emissierechten.

[8] Deze Tabel is indicatief/informatief en is niet geschikt om als vergelijkingsbasis te dienen tussen de levering via tube-trailer en on-site waterstofproductie, omdat verschillende productiecapaciteiten gehanteerd zijn.

[9] Dit betreft de kost voor een uitbreiding van 100 kg/dag via SMR

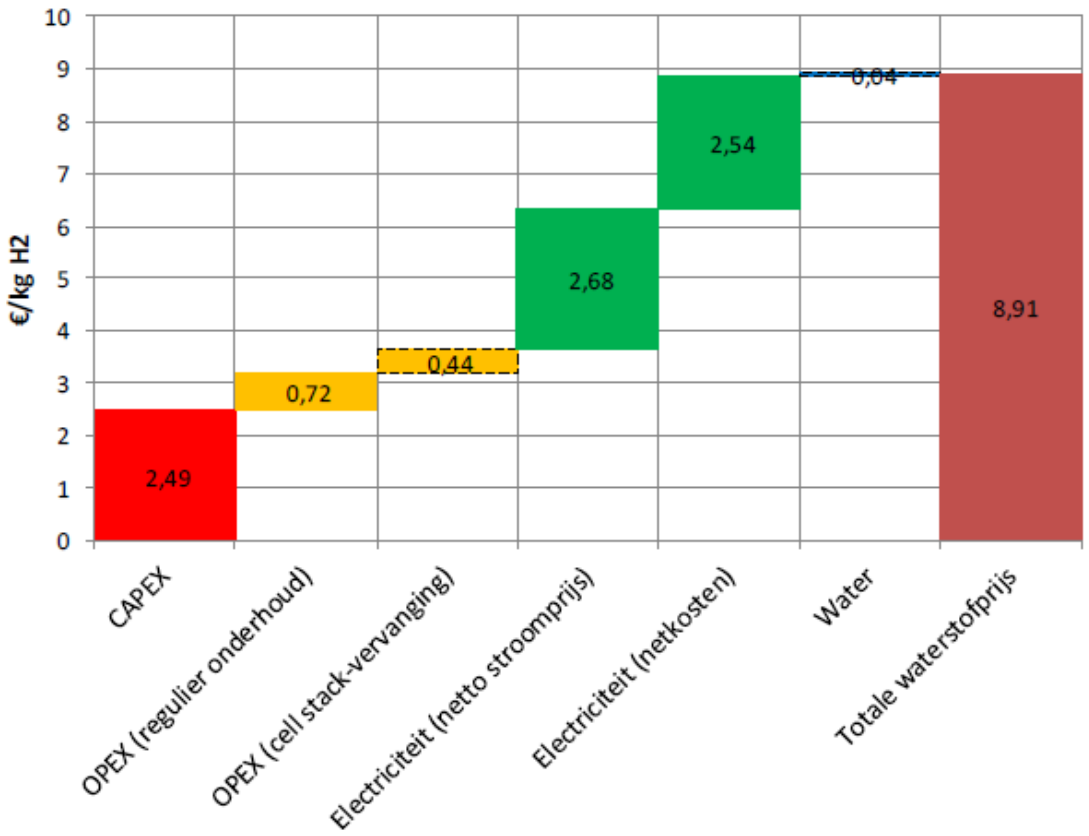
Tabel 6: Verwachte toekomstige prijzen voor "grijze" waterstof of waterstof uit SMR[10] in België in 2030 en 2050

H_2-prijs (€/kg)	**2015**	**2030**	**2050**
On-site SMR[11]	2,05	2,72	3,59
Tube-trailer levering	6,00	6,71	7,60

- Ter illustratie wordt de kostenopbouw van de "groene" waterstofprijs afgebeeld in

Figuur 6 met volgende aannames:

- On-site productie via net-geconnecteerde elektrolyse
- Gebruik van groene energie
- Afleverdruk van 700 bar



[10] Voor waterstof uit SMR zijn geen CO_2 emissiekosten of kosten CCS ingerekend

[11] Dit is de prijs voor een grootschalige industriële productie. Voor een kleinschalige (30 voet) container zal de prijs hoger liggen (Marnix Van Berkum, persoonlijke communicatie, 2020)

Figuur 6: Kostenopbouw[12] *voor de waterstofprijs voor personenauto's via elektrolyse* (François, Martens, Winkel, & Vanhoudt, 2018)

Deze kostenopbouw toont aan dat vooral de **elektriciteitsprijzen uit het net** en de **investeringskosten** voor de elektrolyse-eenheid van het waterstoftankstation bepalend zijn.

Tot slot heeft het Amerikaanse NREL (National Renewable Energy Laboratory) een tool ontworpen om individuele stations of groepen van stations financieel te modelleren. Het biedt de gebruikers jaarlijkse financieringsprognoses in de vorm van winst- en verliesrekeningen, kasstroomoverzichten en balansen[13].

2.2.6 Conclusie

De sector van waterstoftankstations is een jonge sector, waardoor het aantal en de omvang van bedrijven beperkt is, en waar de tewerkstelling eveneens beperkt is tot enkele personen per station. Door het kleine aantal waterstofwagens in omloop op dit moment, blijft de omzet relatief laag. Momenteel zijn er nog slechts een handvol installaties, maar onder impuls van stimuleringsprogramma's, beleid, emissieregulering en maatschappelijke vraag naar zero-emissie transportbrandstoffen, wordt verwacht dat de waterstofsector, en dus ook het onderdeel waterstoftankstation in het aantal bedrijven, zal toenemen. De investeringskost van een waterstoftankstation is nog hoog, maar er kan rekening gehouden met een mogelijke daling tot 50% in 2050 door een combinatie van enerzijds de toenemende vraag naar waterstof en anderzijds de verdere technologische ontwikkelingen van installatie-onderdelen.

2.3 Draagkracht van de sector

2.3.1 Inleiding

De draagkracht van een bedrijfstak wordt bepaald door enerzijds haar concurrentiepositie en anderzijds haar financiële situatie.

Op basis van de Power to Gas Roadmap voor Vlaanderen (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016) bespreken we in paragraaf 2.3.2 de concurrentiepositie en het martkpotentieel van waterstof als transportbrandstof. De financiële situatie van waterstoftankstations wordt besproken in paragraaf 2.3.3 op basis van de business cases die werden uitgewerkt in de eerder vermelde roadmap.

2.3.2 Concurrentiepositie en marktpotentieel

Samen met elektrische voertuigen, speelt het waterstoftransport (en bijgevolg ook de uitrol van waterstoftankstations) een belangrijke rol in de verduurzaming van transport.

[12] De brandstofcelstacks hebben een levensduur van ca. 25.000 uur en dienen daarna vervangen te worden

[13] De tool is gratis te downloaden via volgende link: https://www.nrel.gov/hydrogen/h2fast.html.

Er wordt vaak gesproken over de mogelijke concurrentie tussen BEV ('Battery Electric Vehicle') en FCEV, maar beide zijn complementair en kunnen samen ingezet worden in het proces van zogenaamde *elektrificatie van transport*. Beide type wagens hebben hun eigen voor- en nadelen t.o.v. elkaar. Waterstofvoertuigen hebben vergeleken met elektrische wagens een snellere tanksnelheid (+/- 3 min tov 60-75 min[14] (om een Tesla model S 100% vol te laden met een supercharger)) en een vergelijkbaar rijbereik (ca. 500 km), maar een pijnpunt is de beperkte aanwezigheid van tanklocaties waardoor het voor veel mensen nog niet interessant is om een waterstofwagen te kopen. Een nationaal netwerk van stations verder uitbouwen is dus noodzakelijk om de waterstof mobiliteit te lanceren. Een bijkomend pijnpunt is dat waterstof nog niet (voldoende) competitief is met traditionele brandstoffen of met elektrische wagens. Incentives van de overheid zijn dus tevens noodzakelijk om de waterstofmobiliteit te lanceren. Enkel op deze wijze zal de vraagzijde (waterstofmobiliteit) effectief gestimuleerd worden, en heeft de aanbodzijde (tankstations) kans op een positieve business case.

Het is mogelijk om door middel van belastingskortingen en de ontwikkelingen op technologisch niveau de marktgroei van waterstofmobiliteit verder te voeden. Ook de activiteit en interesse van belangrijke automerken zoals Hyundai, Honda, Toyota, Daimler, Audi, BMW, Volvo, General Motors en MAN zullen de sector een boost geven. Tot slot zijn er al veel H_2-mobiliteitsplannen reeds gedefinieerd in belangrijke EU-landen, en geeft de Vlaamse overheid ondersteuning bij het kopen van een FCEV.

2.3.3 Financiële situatie

Op basis van uitgewerkte business cases uit de Roadmap Power to Gas for Flanders (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016) wordt de financiële situatie van een waterstoftankstation geschetst voor het jaar 2015, samen met de verwachtingen voor 2030 en 2050. In deze case wordt waterstof lokaal gegenereerd met behulp van elektriciteit uit het laagspanningsnet. De geproduceerde waterstof wordt gedurende minstens een dag gebufferd om tegemoet te komen aan het variërende tankschema van klanten. Enkele belangrijke aannames[15] om de case te kaderen zijn:

- 50 tankbeurten per dag
- 4kg waterstof per tankbeurt
- Jaarlijkse waterstofproductie van 200 kg/dag (of 73 ton per jaar, ca. 800.000 Nm^3/jaar)

Zoals reeds aangegeven in paragraaf 2.2.5, heeft de waterstofprijs een cruciale invloed op het bedrijfsresultaat. Op basis van het verbruik van een waterstofwagen en de traditionele brandstofprijzen bestaat er een "referentie verkoopprijs" van waterstof. Dat is de maximale prijs van waterstof aan de pomp om te kunnen concurreren met de

[14] https://www.energysage.com/electric-vehicles/charging-your-ev/charging-a-tesla/

[15] Voor de overige aannames refereren we naar de specifieke case op pagina 52 van het Power to Gas Roadmap for Flanders rapport

huidige traditionele brandstoffen. Deze prijs werd berekend op 5 €/kg in 2015, 8,5 €/kg in 2030, en 11 €/kg in 2050[16].

Rekening houdend met een referentie verkoopprijs voor waterstof van 5 €/kg in 2015, is de business case niet winstgevend, en zou de prijs voor waterstof >10,5 €/kg moeten bedragen om winst te maken. In 2030 zou de business case winstgevend zijn met een waterstofverkoopprijs van 9,1 €/kg (de referentieprijs ligt op dat moment op 8,5 €/kg, dus is het net niet winstgevend). Volgens de Roadmap Power to Gas for Flanders (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016) wordt verwacht dat het bedrijf in 2050 wél winstgevend zal zijn, als gevolg van een hogere dieselprijs en een lagere investeringskost (CAPEX) en operationele kost (OPEX) voor waterstoftankstations.. Volgens de P2G studie zal er voor een betere business case "zoveel mogelijk rechtstreeks aan de energiebron gekoppeld worden, of moet de wetgeving aangepast worden zodat er geen of lagere distributiekosten zijn voor groene waterstof."

De belangrijkste veranderingen tussen 2015 en 2050 zijn de daling in investeringskost (voornamelijk op de elektrolyser, maar ook op de compressie en opslag), de daling in operationele kosten en de toename van de vermeden brandstofkosten (diesel). De variatie van deze parameters compenseert grotendeels het negatieve effect van de verhoogde energieprijzen. Brandstof- en energieprijzen zijn de parameters met de steilste curves en hebben daarom ook de meeste invloed op de winstgevendheid (de invloed van energieprijzen zal afvlakken in de loop der jaren).

Tot slot, een aspect dat niet binnen de scope van deze studie valt, maar wel belangrijk is voor de economische haalbaarheid van waterstoftransport is de aanschafprijs van een waterstofwagen. Op dit moment (2020) liggen de prijzen tussen 50.000 € – 70.000 € per auto, wat duurder is dan auto's in hetzelfde segment waar doorgaans meer dan 30.000 km/jaar mee wordt gereden.

2.4 Milieujuridische situering van de sector

In onderstaande paragrafen wordt het milieujuridisch kader van deze BBT-studie geschetst. De aandacht gaat hierbij voornamelijk uit naar de regelgeving in Vlaanderen. Daarnaast komen ook de nationale, Europese, en overige buitenlandse regelgeving aan bod.

2.4.1 Milieuvoorwaarden

VLAREM II (Besluit van de Vlaamse regering houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne) regelt de indeling en milieuvoorwaarden voor de hinderlijke inrichtingen in het Vlaamse Gewest. VLAREM III (Besluit van de Vlaamse regering houdende bijkomende algemene en sectorale bepalingen voor GPBV (Geïntegreerde Preventie en Bestrijding van Verontreiniging) -installaties) geeft bijkomende milieuvoorwaarden voor GPBV-installaties.

[16] Deze prijzen werden berekend op basis van:

- Waterstofverbruik in auto's: 0,95 kg/100 km in 2015; 0,76 kg/100km in 2030; en 0,73 kg/100 km in 2050
- Vermeden brandstofkosten (diesel), inclusief belastingen maar exclusief BTW, op basis van een diesel verbruik van 5L/100 km: 4,75 €/100 km in 2015; 6,49€/100km in 2030; en 7,85€/100km in 2050 (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016)

Voor de veiligheid (van personen) wordt in Vlaanderen een (artificieel) onderscheid gemaakt tussen externe veiligheid en interne veiligheid (welzijn van de werknemer), waarbij de externe veiligheid onder Vlaamse bevoegdheid valt en het welzijn van de werknemer onder de federale bevoegdheid. Onder welzijn van de werknemer wordt de arbeidsveiligheid verstaan en deze bevoegdheid wordt gedekt door de federale welzijnswetgeving en bijhorende uitvoeringsbesluit: de Wet en de Codex over het welzijn op het werk en het Algemeen Reglement voor de Arbeidsbescherming (ARAB). Borging van externe veiligheid beoogt de veiligheid te garanderen van personen die zich buiten de terreingrens van een exploitatie bevinden, en beoogt dat personen in de omgeving van de activiteit waar met gevaarlijke stoffen wordt gewerkt, geen slachtoffer worden van een ongeval met die gevaarlijke stoffen; dit door het risico tot een aanvaardbaar niveau te beperken (Karen Goris, persoonlijke communicatie, 8 maart 2016).

VLAREM II

VLAREM II bevat sinds het van kracht gaan van het omgevingsvergunningendecreet en bijhorende uitvoeringsbesluiten, eveneens de voormalige bepalingen uit VLAREM I, en beschrijft daarnaast nog steeds de voorwaarden waaraan ingedeelde inrichtingen moeten voldoen.

Er worden drie soorten voorwaarden onderscheiden: algemene, sectorale en bijzondere. De algemene milieuvoorwaarden zijn van toepassing op alle hinderlijke inrichtingen uit de rubriekenlijst in bijlage I van VLAREM II. De sectorale milieuvoorschriften zijn specifiek van toepassing op welbepaalde hinderlijke inrichtingen, en primeren op de algemene voorwaarden. Daarnaast voorziet VLAREM II ook de mogelijkheid om bijzondere milieuvoorwaarden op te leggen in de vergunning. Hiervoor wordt verwezen naar de volgende titel.

Indelingslijst

De **verdeling van waterstof** is ingedeeld in **rubriek 16.4.1** ('inrichtingen voor het niet-huishoudelijk vullen van verplaatsbare recipiënten en voor de bevoorrading van motorvoertuigen – met uitzondering van deze bedoeld in rubriek 16.9. (aardgas) – met gevaarlijk gassen, op basis van de etikettering gekenmerkt door het gevarenpictogram GHS02 of GHS06).

De **H_2-opslag** valt onder de **rubriek 17.1.2**: de opslag van gevaarlijke gassen ('samengeperste, vloeibaar gemaakte, in oplossing gehouden of sterk gekoelde vloeibare gassen volgens de CLP-verordening).

Verder valt de **compressor** op het tankstation onder **rubriek 16.3.2.1**: 'inrichting voor het fysisch behandelen van gassen (samenpersen – ontspannen) – andere inrichtingen dan de inrichtingen die ingedeeld zijn onder 16.3.1 en 16.9.c, met een geïnstalleerde drijfkracht van:

- 5 kW tot en met 200 kW, als de inrichting volledig is gelegen in een industriegebied, of;
- 5 kW tot en met 100 kW, als de inrichting volledig of gedeeltelijk is gelegen in een ander gebied dan industriegebied.'

Daarenboven kan de compressor in sommige gevallen ook onder **rubriek 16.3.2.2** 'meer dan 100 kW buiten industriegebied' vallen.

Voor de **on-site productie van waterstof** (bij een productiecapaciteit vanaf 1 Nm^3/h) is **rubriek 16.1.b** ('De productie (met inbegrip van de raffinage) of omzetting van gassen, cokesgas uitgezonderd') van toepassing.

Naast de installaties die dienen voor de veilige aflevering van waterstof aan voertuigen, kunnen er op de site van een waterstoftankstation nog andere hinderlijke inrichtingen voorkomen, waardoor ook andere rubrieken van VLAREM van toepassing kunnen zijn. Het kan ondermeer gaan om:

- rubriek 3: 'Afvalwater en koelwater', indien in de inrichting afvalwater ontstaat;
- rubriek 6: 'Brandstoffen en brandbare vloeistoffen', indien het waterstoftankstation bijvoorbeeld deel uitmaakt van een multifuel-installatie;
- rubriek 12: 'Transformatoren'
- rubriek 15: 'Garages, parkeerplaatsen en herstellingswerkplaatsen voor motorvoertuigen;
- rubriek 16: 'Inrichtingen voor het fysisch behandelen van gassen (samenpersen - ontspannen);
- rubriek 17: 'Gevaarlijke stoffen';
- rubriek 31: 'Motoren met inwendige verbranding (stationaire motoren en gasturbines)' (bv. noodgenerator);
- …

Algemene en sectorale milieuvoorwaarden

De meest relevante algemene en momenteel bestaande sectorale voorwaarden die van toepassing zijn op waterstoftankstations, zijn hieronder weergegeven in Tabel 7 en Tabel 8.

Tabel 7: Algemene milieuvoorwaarden van toepassing voor waterstoftankstations

Algemene milieuvoorwaarden	
Algemeen	
Hoofdstuk 4.1	Algemene voorschriften
Bijlage 4.1.9.2.3.1	Voorschriften inzake milieubeleidsmaatregelen, milieuprogramma's en milieubeheersystemen
Thema geluid	
Hoofdstuk 4.5	Beheersing van geluidshinder
Bijlage 4.5.6	Beslissingsschema's
Bijlage 4.5.1	Algemene bepalingen
Bijlage 4.5.2	Richtwaarde voor geluidemissies
Bijlage 4.5.4	Richtwaarden voor het specifieke geluid in open lucht van als hinderlijk ingedeelde inrichtingen

Tabel 8: Sectorale milieuvoorwaarden van toepassing voor waterstoftankstations

Sectorale milieuvoorwaarden	
Hoofdstuk 5.16	**BEHANDELEN VAN GASSEN**
Afdeling 5.16.1	Behandelen van gassen – gemeenschappelijke bepalingen
Afdeling 5.16.2	Behandelen van gassen – Productie of omzetting van gassen
Afdeling 5.16.3	Behandelen van gassen – Installaties voor het fysisch behandelen van gassen
Afdeling 5.16.4	Behandelen van gassen – Niet-huishoudelijk vullen van verplaatsbare recipiënten en bevoorrading van motorvoertuigen met lpg
Afdeling 5.16.9	Inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof
Hoofdstuk 5.17	**OPSLAG VAN GEVAARLIJKE PRODUCTEN**

Artikel 5.16.9.2 van VLAREM II voorziet in de gedeeltelijke omzetting van de richtlijn 2014/94/EU van het Europees Parlement en de Raad van 22 oktober 2014 betreffende de uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen. Onderstaande sectorale voorwaarden (Afdeling 5.16.9) zijn van toepassing specifiek voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof:

Publiek toegankelijke inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof die met ingang van 18 november 2017 in gebruik worden genomen of worden vernieuwd, voldoen aan de volgende technische specificaties:

1° Inrichtingen in de open lucht waar gasvormige waterstof kan worden getankt voor gebruik in motorvoertuigen, dienen te voldoen aan de technische voorschriften van de ISO/TS 19880-1 specificatie voor de brandstofvoorziening met gasvormige waterstof;

2° De zuiverheid van de waterstof die bij inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof kan worden getankt, dient te voldoen aan de technische specificaties van de ISO 14687:2019-2-norm;

3° Inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof dienen gebruik te maken van algoritmen en apparatuur die voldoen aan de ISO/TS 19880-1 specificatie voor de brandstofvoorziening met gasvormige waterstof;

4° Connectoren voor motorvoertuigen voor het tanken van gasvormige waterstof moeten voldoen aan de norm EN ISO 17268 voor "Vulaansluitingen voor wegvoertuigen met gasvormige waterstof als motorbrandstof" vanaf het moment dat de certificering van connectoren die voldoen aan de norm EN ISO 17268 is afgerond. Connectoren die geïnstalleerd worden voor deze datum, voldoen alleen aan de norm ISO 17268.

Bijzondere milieuvoorwaarden

Overeenkomstig hoofdstuk 3.3 van VLAREM II, kan de bevoegde overheid bijzondere milieuvoorwaarden opleggen in de vergunning.
Bijzondere milieuvoorwaarden vullen de algemene en/of sectorale milieuvoorwaarden aan, of stellen bijkomende eisen. Ze worden opgelegd met het oog op de bescherming van de mens en het leefmilieu, en met het oog op het bereiken van de milieukwaliteitsnormen.

Voor de bouw en exploitatie van een waterstoftankstation in Vlaanderen worden, bij een voorlopig gebrek aan een daarop specifiek van toepassing zijnde VLAREM-voorwaardenkader, vaak bijzondere milieuvoorwaarden opgelegd.

Concrete voorbeelden van bijzondere milieuvoorwaarden die zijn opgelegd aan Vlaamse tankstations om waterstof te tanken zijn hieronder niet-limitatief opgelijst. Het betreft een reeks voorwaarden die op de organisatie van de exploitatie zijn gericht. Technische bijzondere voorwaarden werden minder frequent opgelegd.

- Bij de ingebruikname van het tankstation dient een controlebezoek door de plaatselijke brandweer te gebeuren. Aan de eventuele opmerkingen dient onverwijld gevolg te worden gegeven. Communicatie en interactie met de plaatselijke brandweer moet voorafgaand de vergunningsaanvraag plaatsvinden. Op deze manier kan de plaatselijke brandweer opmerkingen geven en kunnen deze tijdens de engineerings- en de designfase van het waterstoftankstation mee opgenomen worden.
- In kader van de veiligheid, dienen volgende maatregelen genomen te worden (lijst is niet limitatief):
    - aanwezigheid op verschillende strategische plaatsen van permanente waterstofgasdetectie;
    - in geval van onregelmatigheden of calamiteiten dient de volledige installatie automatisch te worden afgesloten en dient een auditief en/of visueel alarmsignaal af te gaan;
    - er dient een noodstop aanwezig te zijn, welke bij activering de installaties uitschakelt. Deze dient goed zichtbaar en bereikbaar te zijn voor iedere persoon welke een vuloperatie verricht;
    - de elektrische installaties dienen middels een brandwerende en gasdichte scheidingswand van de rest van de inrichting te worden gescheiden;
    - de verdeelslangen zijn voorzien van een breekkoppeling;
    - op de inrichting dienen pictogrammen een absoluut rookverbod aan te geven;
    - de installaties dienen extra te worden beveiligd tegen mechanische impact van voertuigen en vandalisme.

VLAREM III

VLAREM III geeft bijkomende milieuvoorwaarden voor GPBV-installaties. Het gaat hier om activiteiten die vallen onder het toepassingsgebied van Hoofdstuk II van de Richtlijn Industriële Emissies (RIE, 2010/75/EU, zie paragraaf 2.4.4). Deze zogenaamde GPBV activiteiten zijn in de indelingslijst (Bijlage I van VLAREM II) aangeduid met een X in de kolom 'Opmerkingen'.

De exploitatie van een waterstoftankstation zoals in deze BBT-studie gedefinieerd, valt niet onder één van de GPBV-activiteiten van belang (zie toelichting hierbij in paragraaf 2.4.4). VLAREM III bevat bijgevolg geen relevante voorwaarden voor de exploitatie van een H_2-tankstation.

2.4.2 Overige Vlaamse regelgeving

De onderstaande paragraaf geeft een oplijsting (niet-limitatieve lijst) van overige Vlaamse milieuregelgeving die relevant is voor de exploitatie van waterstoftankstations:

→ ***Materialendecreet en VLAREMA***

Bij de implementatie van de kaderrichtlijn afval (2008/98/EG) in Vlaamse wetgeving is ervoor gekozen de weg in te slaan van het duurzaam materialenbeheer via een Materialendecreet (goedgekeurd op 14 december 2011). Dit decreet legt een nieuwe basis voor het beter sluiten van de materialenkringlopen in Vlaanderen. Ter uitvoering van het Materialendecreet werd het Vlaams Reglement voor het duurzaam beheer van materiaalkringlopen en afvalstoffen (VLAREMA) uitgewerkt (goedgekeurd 17 februari 2012). Het VLAREMA bevat meer gedetailleerde voorschriften over (bijzondere) afvalstoffen, grondstoffen, selectieve inzameling, vervoer, de registerplicht en de uitgebreide producentenverantwoordelijkheid. Met de inwerkingtreding van het materialendecreet en het VLAREMA (op 1 juni 2012) zijn het vroegere afvalstoffendecreet en het bijhorende VLAREA (Vlaams reglement inzake afvalvoorkoming en beheer) komen te vervallen.

Deze regelgeving is doorgaans minder relevant voor waterstoftankstations, aangezien bij deze activiteiten geen relevante afvalstromen vrijkomen. Indien deze activiteiten voorkomen in combinatie met andere activiteiten, zoals de uitbating van een shop, en er met huishoudelijk afval vergelijkbare bedrijfsafvalstoffen geproduceerd worden, is deze regelgeving wel relevant.

→ ***Decreet algemeen milieubeleid***

Het decreet van 5 april 1995 houdende algemene bepalingen inzake milieubeleid (DABM) regelt in een titel IV de procedure omgevingsveiligheidsrapport (hoofdstuk 5), de procedure ruimtelijk veiligheidsrapport (hoofdstuk 4) en de erkenning van deskundigen voor het opstellen van omgevingsveiligheidsrapporten en/of ruimtelijke veiligheidsrapporten (hoofdstuk 6).

Titel IV werd in het DABM ingebracht door het zogenaamde decreet MER-VR (of MER/VR-decreet) (LNE, s.d.c). Deze titel legt o.a. de procedure vast m.b.t. het omgevingsveiligheidsrapport. Dit is "*een openbaar document waarin -naast een beschrijving van het veiligheidsbeheersysteem van een inrichting- van een project en van de redelijkerwijze in beschouwing te nemen alternatieven, de scenario's voor zware ongevallen in hun onderlinge samenhang op een systematische en wetenschappelijk verantwoorde wijze worden geïdentificeerd, geanalyseerd en geëvalueerd, en wordt aangetoond welke maatregelen kunnen en zullen worden getroffen om die zware ongevallen te voorkomen en de gevolgen ervan voor mens en milieu te beperken, hierna OVR te noemen*".

A. Milieueffectenrapportage

Het uitgangspunt van **milieueffectrapportage** (MER) is dat al in het stadium van de planning en de besluitvorming van bepaalde activiteiten de mogelijke schadelijke effecten voor mens en milieu in kaart worden gebracht, samen met die van de bestaande alternatieven voor die activiteiten. Deze regel volgt uit het voorzorgsbeginsel en het beginsel van preventief handelen (ook wel het voorkomingsbeginsel genoemd).

Volgens het besluit van de Vlaamse regering van 10 december 2004 houdende vaststelling van de categorieën van projecten onderworpen aan milieueffectrapportage, zijn waterstoftankstations niet onderworpen aan milieueffectenrapportage.

Voor meer informatie in verband met MER verwijzen we naar: http://www.mervlaanderen.be.

B. Veiligheidsrapportage

Bovenop de verplichtingen in het kader van milieueffectenrapportage, kan een inrichting waar waterstof opgeslagen wordt eveneens onder de regels van veiligheidsrapportage vallen.

Veiligheidsrapportage (VR) is net als milieueffectenrapportage een praktisch middel om vorm te geven aan het voorkomingsbeginsel. VR is erop gericht om de risico's van zware ongevallen te identificeren. Het beoogt zware ongevallen te voorkomen en de gevolgen ervan voor mens en milieu te beperken.

Vlaanderen kent drie typen van veiligheidsrapportage:

- de omgevingsveiligheidsrapportage in het kader van de vergunningverlening aan een hogedrempelinrichting; deze rapportagevorm leidt tot het opstellen en het beoordelen van een omgevingsveiligheidsrapport;
- de ruimtelijke veiligheidsrapportage in het kader van de ruimtelijke ordening; deze rapportagevorm leidt tot het opstellen en het beoordelen van een ruimtelijk veiligheidsrapport;
- de Samenwerkingsakkoord-veiligheidsrapportage (SWA) in het kader van het Samenwerkingsakkoord; deze rapportagevorm leidt tot het opstellen en het beoordelen van een Samenwerkingsakkoord-veiligheidsrapport van een hogedrempelinrichting.

Naast veiligheidsrapporten bestaat er ook nog een veiligheidsnota voor een hogedrempelinrichting. Een veiligheidsnota is een aanvulling op een bestaand veiligheidsrapport en verwijst dus steeds naar dit veiligheidsrapport (Luc Vandebroek, persoonlijke communicatie, 13 december 2015; Danny De Baere, persoonlijke communicatie, 17 september 2017).

Volgens de bijlage I, deel 1 van de Seveso III-richtlijn/het Samenwerkingsakkoord (SWA3)[17] kan een inrichting als **lagedrempel**- of drempel 1-inrichting beschouwd worden indien er 5 ton (60.000 Nm³) of meer, en minder dan 50 ton (600.000 Nm³) waterstof wordt opgeslagen.

Indien er 50 ton of meer waterstof wordt opgeslagen, dan wordt de inrichting in kwestie als **hogedrempelinrichting** (drempel 2) gecategoriseerd.
"*Hogedrempelinrichtingen zijn inrichtingen waar gevaarlijke stoffen aanwezig zijn in hoeveelheden die gelijk zijn aan of groter zijn dan de hoge drempelwaarde. Hierbij dient opgemerkt dat een inrichting die geen enkele hoge drempelwaarde overschrijdt, toch nog als hogedrempelinrichting kan aangeduid worden als gevolg van de sommatieregel. Hogedrempelinrichtingen moeten:*

- *in het kader van het Samenwerkingsakkoord een kennisgeving (artikel 8 van het SWA) indienen, een preventiebeleid voeren en een veiligheidsbeheersysteem invoeren ter uitvoering van dit beleid (artikel 10 van*

[17] Het Samenwerkingsakkoord is het resultaat van de omzetting van de Seveso III-richtlijn in België (LNE, s.d.)

het SWA), en een veiligheidsrapport (het SWA-VR) (artikel 12 van het SWA) indienen;
- *in het kader van de Vlaamse vergunningsprocedure een omgevingsveiligheidsrapport (het OVR) indienen."* (LNE, s.d.).

Omwille van de verplichting tot het opmaken van een veiligheidsrapport worden hogedrempelinrichtingen ook VR-plichtige inrichtingen of VR-inrichtingen genoemd.

Voor meer informatie in verband met VR verwijzen we naar:
https://www.lne.be/veiligheidsrapportage

2.4.3 Belgische wetgeving

De onderstaande paragraaf geeft een oplijsting (niet-limitatieve lijst) van nationale milieuwetgeving die relevant is voor waterstoftankstations.

- **AREI Artikels 105 t.e.m. 113** inzake zonering en zoneringsplan, omstandig verslag, keuze van elektrisch materieel, ontploffingsgevaar in ontplofbare gasatmosfeer. Deze bepalingen zijn terug te vinden in Hoofdstuk 7.102 van het nieuwe AREI.

- **Koninklijk Besluit Explosieve atmosfeer:** KB van 26/03/2003 betreffende het welzijn van de werknemers die door explosieve atmosferen gevaar kunnen lopen (BS 05/05/2003) o.a. risicoanalyse, explosieveiligheidsdocument, zonering, minimumvoorschriften, verificatie, …

- **Koninklijk Besluit** houdende algemeen reglement op de **technische eisen** waaraan de auto's, hun aanhangwagens, hun onderdelen en hun veiligheidstoebehoren moeten voldoen (afgekort **KB van 1968**)

- **Koninklijk Besluit drukapparatuur:** KB van 11/07/2016 betreffende het op de markt aanbieden van drukapparatuur.

- **Koninklijk Besluit gevaarlijke mengsels**: KB van 21/04/2016 inzake kennisgeving van mengsels die als gevaarlijk worden ingedeeld wegens hun gevolgen voor de gezondheid of hun fysische effecten aan het Nationaal centrum ter voorkoming en behandeling van intoxicaties. Het ATEX 114 (zie ook paragraaf 2.4.4) werd in dit KB omgezet naar het Belgisch recht.

- **Codex Welzijn op het werk:**

  - Boek III Titel 3: Brandpreventie op de arbeidsplaatsen
  - Boek III Titel 6: Veiligheids- en gezondheidssignalering

2.4.4 Europese wetgeving

Richtlijn Industriële Emissies (Richtlijn 2010/75/EG)

Op 6 januari 2011 is de Europese **Richtlijn Industriële Emissies, kortweg de RIE,** (Industrial Emissions Directive, 2010/75/EU) in werking getreden. Deze richtlijn omvat een integratie (en een herziening) van de IPPC of GPBV-richtlijn met de Richtlijn Grote Stookinstallaties, de Afvalverbrandingsrichtlijn, de Solventrichtlijn en drie Richtlijnen

voor de titaniumdioxide-industrie. De structuur van de RIE en de relatie met de oudere Europese Richtlijnen zijn weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9: Structuur van de RIE en relatie met oudere Europese Richtlijnen

Structuur van de RIE (2010/75/EU)	Herziening en herschikking van richtlijn
H I: Gemeenschappelijke bepalingen	
H II: Bepalingen voor de in Bijlage I genoemde activiteiten	GPBV-richtlijn (geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging) (96/61/EG, gecodificeerd 2008/1/EG)
H III: Bijzondere bepalingen voor stookinstallaties	Richtlijn grote stookinstallaties (2001/80/EG)
H IV: Bijzondere bepalingen voor afval(mee)verbrandingsinstallaties	Afvalverbrandingsrichtlijn (2000/76/EG)
H V: Bijzondere bepalingen voor installaties en activiteiten die organische oplosmiddelen gebruiken	Solventrichtlijn (1999/13/EG)
H VI: Bijzondere bepalingen voor productie van TiO_2	3 TiO_2-richtlijnen (78/176/EEG – 82/883/EEG – 92/112/EEG)
H VII: Comité, overgangsbepalingen, slotbepalingen	
Bijlagen	

Zoals de oudere GPBV-richtlijn, verplicht de RIE de lidstaten van de EU om grote milieuvervuilende bedrijven te reguleren middels een integrale vergunning gebaseerd op de Beste Beschikbare Technieken (BBT). Bovendien moeten volgens de RIE bepaalde inrichtingen aan minimale voorwaarden voldoen (waaronder voor VOS-emissies: de verplichtingen van de Solventrichtlijn). Met de RIE wordt de reikwijdte uitgebreid ten opzichte van de oorspronkelijke IPPC-richtlijn. Zo werd bijlage I (met daarin een overzicht van de IPPC activiteiten) verduidelijkt en uitgebreid (t.o.v. van de IPPC Richtlijn).

Volgens Annex 1 valt **productie van waterstof** op industriële schaal door chemische of biologische omzetting onder de Richtlijn Industriële Emissie (RIE):

4. Chemische industrie
Voor de doeleinden van dit deel wordt onder fabricage in de zin van de categorieën activiteiten in dit deel verstaan de fabricage van de in 4.1 tot en met 4.6 genoemde stoffen of groepen stoffen op industriële schaal door chemische of biologische omzetting.
…
4.2. De fabricage van anorganisch-chemische producten, zoals: a) gassen, zoals ammoniak, chloor of chloorwaterstof, fluor of fluorwaterstof, kooloxiden, zwavelverbindingen, stikstofoxiden, <u>waterstof</u>, zwaveldioxide, carbonylchloride,
…

De productie van waterstof op een waterstoftankstation gebeurt door chemische omzetting. De vraag kan gesteld worden of er ook sprake is van productie op industriële schaal. De Europese Commissie heeft op haar website met FAQ over de RIE (European Commission, 2017) haar interpretatie gegeven van 'productie op industriële schaal'. Er wordt hierbij geen drempelwaarde gegeven voor capaciteit. De factoren die wel in aanmerking moeten worden genomen om te beslissen of een productie al of niet op industriële schaal gebeurt, omvatten de aard van het product, het industriële karakter van de installaties, het productievolume, de commerciële doeleinden, het gebruik

uitsluitend voor eigen doeleinden, en de milieu-impact. Een voorbeeld dat vermeld wordt: als de productie van een intermediair (chemisch) product plaatsvindt op dezelfde site als waar het wordt gebruikt (bv. productie van natriumhypochloriet voor desinfectie van wateropslagtanks), zonder dat dit een significant effect heeft op het milieu, kan het overdreven zijn om deze activiteit te beschouwen als 'productie op industriële schaal'.

In een position paper door EIGA (European Industrial Gases Association (EIGA), 2007) werd geargumenteerd dat productie van waterstof met een capaciteit lager dan 450 kg/h niet zou moeten beschouwd worden als productie op industriële schaal. Argumenten die hiervoor aangehaald werden zijn het feit dat waterstof geen verontreinigende of toxische stof is, en dat kleinschalige (on-site) productie een beperkte milieu-impact heeft. De genoemde (productie)capaciteiten in de EIGA position paper zijn een grootteorde groter dan de productie die we verwachten op een waterstoftankstation (450 kg/h versus 20 kg/h voor het tanken van bussen). Bovendien, wanneer we kijken naar stookinstallaties zijn deze GPBV vanaf 50 MW (thermische input). De SMR-eenheden gehanteerd voor de on-site productie (zie paragraaf 3.1.2) zitten hier ruimschoots onder, met een maximum van 0,65 MW voor de grootste capaciteit (14 kg/h).

Gebaseerd op de genoemde argumenten en de FAQ RIE, is het voorstel tot interpretatie dat de productie van waterstof op een waterstoftankstation niet moet beschouwd worden als productie op industriële schaal, en dus niet onder de RIE valt, en bijgevolg zal een waterstoftankstation in Vlaanderen geen GPBV-installatie zijn.

Overige Europese Richtlijnen

De **Europese richtlijnen** omvatten "Essentiële eisen" die moeten zorgen voor een hoog beschermingsniveau voor volksgezondheid, veiligheid, consumentenbescherming en milieubescherming. Een richtlijn is in zijn geheel bindend en verplicht de EU-lidstaten om de inhoud ervan binnen een bepaalde termijn om te zetten in nationale wetgeving. De taak om overeenkomstige geharmoniseerde normen op te stellen die voldoen aan de essentiële eisen van producten, zoals die zijn vastgesteld in de richtlijnen, ligt bij de Europese normalisatie-instellingen (o.a. CEN). Producten die voldoen aan de geharmoniseerde normen worden verondersteld te voldoen aan de overeenkomstige essentiële eisen (vermoeden van overeenstemming, CE-markering).

Relevante horizontale Europese richtlijnen voor H_2-installaties zijn opgenomen in Tabel 10:

Tabel 10: Europese richtlijnen die van toepassing zijn voor waterstoftankstations

Codification	Subject
Directive 2014/34/EU (ATEX 114)	Equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres
Directive 1999/92/EC (ATEX 153)	Minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres
Directive 2014/68/EU	Pressure Equipment Directive (PED)
Directive 2006/42/EC	Machinery

Directive 2014/35/EU	Low Voltage Directive (LVD)
Directive 2014/30/EU	Electromagnetic Compatibility (EMC)
Directive 2014/94/EU	Deployment of alternative fuels infrastructure

Twee belangrijke richtlijnen die ook gelinkt zijn aan de veiligheidszonering zijn de ATEX 114 (economische richtlijn) en ATEX 153 (sociale richtlijn):

ATEX 114 heeft betrekking op de **technische integriteit** en bevat doelvoorschriften voor **apparatuur en beveiligingssystemen** die worden gebruikt op plaatsen met ontploffingsgevaar. De eisen zijn vooral van belang voor fabrikanten en importeurs van explosieveilig materieel. In België is de ATEX 114 omgezet naar het Belgisch Recht door het Koninklijk Besluit van 21 april 2016 (zie paragraaf 2.4.3).

De **ATEX 153** (voormalige ATEX 137) voorziet "dat de arbeidsplaatsen waar zich explosieve atmosferen kunnen voordoen, door de werkgever in **zones worden onderverdeeld** en bepaalt welke groepen en categorieën van toestellen en beschermingssystemen in elke zone zouden moeten worden gebruikt" (Belgisch kenniscentrum over welzijn op het werk, n.d.). Deze richtlijn werd eerst naar Belgisch recht omgezet door het KB van 26 maart 2003, en is nu opgenomen in de bepalingen van titel 4 van boek III van de codex over het welzijn op het werk (zie paragraaf 2.4.3). Een aantal maatregelen die moeten genomen worden zijn o.a.:

- Risico-inventarisatie en -evaluatie
- Gebieden waar explosieve atmosferen kunnen voorkomen indelen in gevarenzones
- Nemen van organisatorische en technische maatregelen in deze gevarenzones
- Informeren van werknemers over de gevaren die aanwezig zijn
- Explosieveiligheidsdocument vastleggen met bovenstaande maatregelen (PGS35, 2015)

Naast de ATEX, is de **richtlijn drukapparatuur (PED)** (2014/68/EU) van toepassing op het ontwerp, de bouw, en de conformiteitsbeoordeling van stationaire drukapparatuur met een maximaal toelaatbare druk van meer dan 0,5 bar. Veel belangrijke installatiebeveiligingen van waterstoftankstation onderdelen volgen uit de PED.

Bovendien werkt de Europese Commissie aan een nieuwe richtlijn[18] voor de inzet van laad- en tankpunten voor alternatieve brandstoffen, waaronder waterstof.

2.4.5 Buitenlandse wetgeving

Om een overzicht te krijgen van de huidige buitenlandse wetgeving rond waterstoftankstations vormt het HyLaw project een goede bron van informatie. HyLaw staat voor Hydrogen Law en heeft als doel de juridische barrières te doorbreken voor de inzet van brandstofcellen en waterstoftoepassingen. Het is een project gericht op het stimuleren van de marktintroductie van waterstof- en brandstofceltechnologieën, waardoor marktontwikkelaars een duidelijk beeld krijgen van de toepasselijke regelgeving en tegelijkertijd de aandacht van beleidsmakers trekt om wettelijke belemmeringen aan te pakken.

Het project brengt 23 partners uit Oostenrijk, België, Bulgarije, Denemarken, Finland, Frankrijk, Duitsland, Hongarije, Italië, Letland, Noorwegen, Polen, Roemenië, Spanje,

[18] De voortgang is te vinden via volgende link: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?qid=1428913945793&uri=CELEX:52013SC0005.

Zweden, Portugal, Nederland en het Verenigd Koninkrijk samen en wordt gecoördineerd door Hydrogen Europe.

In het HyLaw project werd een analyse gemaakt van de wettelijke vereisten (in de vorm van voorschriften en normen) voor waterstoftankstations en het vergunningsproces, inclusief het administratieve proces dat betrokken is bij het verkrijgen van de vereiste goedkeuringen voor het bouwen en het exploiteren van een station. Er wordt gekeken of het vergunningsproces uit verschillende stappen bestaat met meerdere vergunningen en autoriteiten.

De belangrijkste resultaten die relevant zijn in het kader van de BBT-studie zijn:

- Bij het overwegen van het proces om de bouw en de werking van een waterstoftankstation toe te staan, zijn er maar weinig landen waar de regelgeving specifiek is ontworpen om waterstoftankstations te reguleren. De meest geavanceerde zijn Duitsland, Denemarken, het VK, en Nederland.
- Waar er geen specifieke voorschriften voor tankstations voor waterstof bestaan, wordt verwacht dat de autoriteiten zowel gebruik zullen maken van het vergunningsproces van conventionele tankstations samen met de voorschriften die van toepassing zijn voor H_2-opslag en voor H_2-productie.
- Het Duitse *National Organisation Hydrogen and Fuel Cell Technology (NOW)* heeft goedkeuringsrichtlijnen voor waterstoftankstations ontwikkeld, dewelke openbaar gemaakt zijn en als voorbeeld kunnen dienen voor andere Europese landen. Nederland en het VK hebben sindsdien soortgelijke richtlijnen ontwikkeld en gepubliceerd, waardoor ze meer ondersteuning bieden aan projectontwikkelaars die waterstoftankstations willen bouwen en exploiteren.

Tot slot heeft HyLaw een database gepubliceerd met de wetgeving rond waterstoftankstations in verschillende landen, waar ook informatie over de vergunningspraktijken te raadplegen is[19].

[19] De database is te vinden op volgende website: https://www.hylaw.eu/database/legislation?categories[]=1

HOOFDSTUK 3 PROCESBESCHRIJVING

In dit hoofdstuk beschrijven we een op dit moment[20] typische procesvoering in exploitaties waarin waterstof wordt opgeslagen en verdeeld wordt. Naast de procesbeschrijving wordt hierin ook de bijhorende milieu- en veiligheidsaspecten in beschouwing genomen.

Deze beschrijving heeft tot doel om een globaal beeld te scheppen van de toegepaste processtappen en hun mogelijke impact op het milieu en het niveau van veiligheid[21]. Dit vormt de achtergrond om in hoofdstuk 4 de milieuvriendelijke en veiligheidborgende technieken te beschrijven die de sector kan toepassen om de milieu-impact te verminderen en het niveau van veiligheid te verhogen.

De details van de procesvoering, en de volgorde van de toegepaste processen, kunnen in de praktijk variëren van bedrijf tot bedrijf. Niet alle mogelijke varianten in procesvoering worden in dit hoofdstuk beschreven. Ook kan de procesvoering in de praktijk complexer zijn dan hier beschreven.

Het is in geen geval de bedoeling van dit hoofdstuk om een uitspraak te doen over het al dan niet BBT zijn van bepaalde processtappen. Het feit dat een proces in dit hoofdstuk wel of niet vermeld wordt, betekent dus geenszins dat dit proces wel of niet BBT is.

3.1 Waterstoftankstation uitvoeringstypes, processen, en componenten

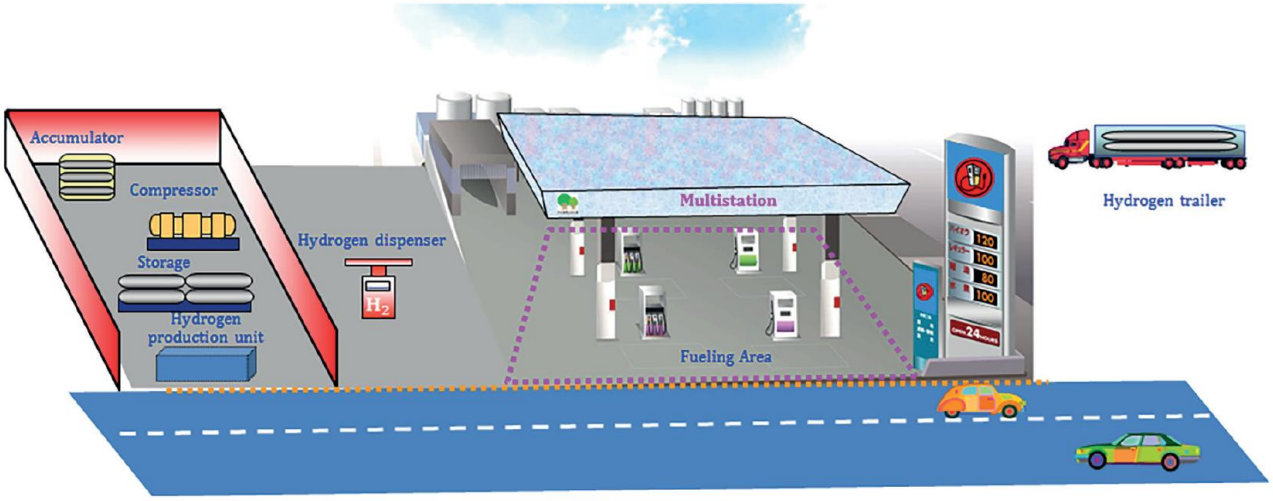
Dit deel geeft een beknopte samenvatting van de huidige stand der techniek van waterstoftankstations, een recente technologie die nog moet beginnen aan zijn opmars. Een waterstoftankstation is een samenbouw van verschillende installatie(onderdelen) die apart zullen beschreven worden. Een nuttige bron van informatie is het rapport over veiligheid waterstoftankstations opgemaakt door M-tech (2020). Daarnaast biedt het PGS (Publicatiereeks Gevaarlijke Stoffen) document "Waterstof: Afleverinstallaties van waterstof voor wegvoertuigen" (afgekort PGS-35) en het ISO document "Gaseous hydrogen – Fuelling stations" tal van details over de onderdelen, opbouw, en correct beheer van een tankstation.

[20] De sector van waterstoftankstations is in volle ontwikkeling, en relevante technische milieu- en veiligheidsinzichten veranderen snel, zo ook de procesvoering. Dit dient in het achterhoofd gehouden te worden bij het lezen van dit hoofdstuk.

[21] De veiligheidsaspecten in hoofdstuk 3 geven een algemeen beeld van mogelijke, al dan niet processpecifieke, faalscenario's en bijhorende gevolgen voor de veiligheiddie door de procesvoering en het bedienen van de betrokken installatie(s) kunnen plaatsvinden.

3.1.1 Algemeen overzicht – Uitvoeringstypen van waterstoftankstations

Een waterstoftankstation is eigenlijk een eenvoudige samenbouwinstallatie, waarbij waterstof onder druk wordt aangeleverd op het station tot 200 bar (er zijn ook tube-trailers met composietflessen op 240, 300, 450, en 500 bar in ontwikkeling die binnen afzienbare tijd (2 jaar) in omloop zullen zijn) of ter plaatse wordt geproduceerd, vervolgens op een druk wordt gebracht (500 of 1000 bar) en tenslotte wordt afgeleverd op een druk van 350 bar[22] (voertuigen zoals bussen, zware vrachtwagens, vuilniswagens, vorkheftrucks, enz.) of 700 bar (personenauto's) aan elektrische voertuigen die gevoed worden vanuit een brandstofcel (de zogenaamde 'fuel cell electric vehicles', of FCEV's). Naast FCEV's kunnen er ook wagens met een 'internal combustion engine' (ICE) gevoed worden met waterstof (op dit moment nog minder ontwikkeld vanwege de lagere efficiëntie). (M-Tech, 2020)

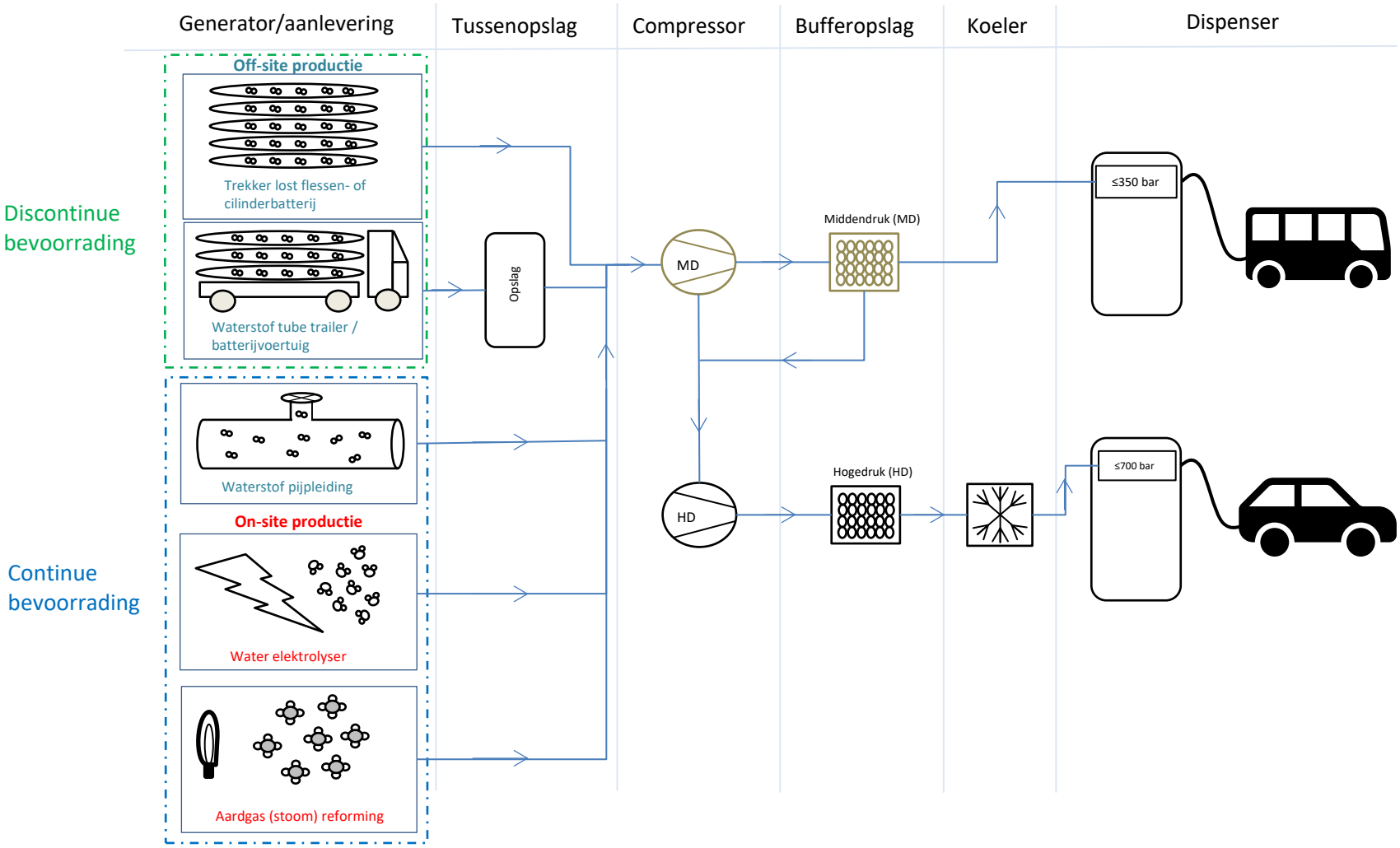


Figuur 7: Illustratie van een waterstoftankstation

De capaciteit van een waterstoftankstation varieert typisch van 50 kg/dag of 12 FCEV's/dag (personenwagens) voor een klein tankstation, 200 kg/dag of 50 FCEV's/dag voor een gemiddeld tankstation tot 1.000 kg/dag of 250 FCEV's/dag voor een groot tankstation. De uitvoeringswijze kan echter verschillen. Waterstoftankstations kunnen ingedeeld worden volgens continue of discontinue levering, en volgens on-site of off-site productie van waterstof. De mogelijke uitvoeringen zijn geïllustreerd in Figuur 8. Enerzijds is er de continue aanlevering, dit kan via een pijpleiding of via een lokale on-site productie eenheid. Anderzijds is er de discontinue aanvoer van waterstof, waar we het onderscheid maken tussen tube-trailers of batterijvoertuigen met een tussenopslag, en een trekker die verwisselbare flessen- of cilinderbatterijen neerzet en deze rechtstreeks op het station worden aangesloten (de mobiele opslag).

De uitvoeringswijzes worden in paragrafen 3.1.2 en 3.1.3 uitgebreid beschreven. Voor elke uitvoeringswijze zullen ook de componenten worden toegelicht die gebruikt worden om de bijhorende interne scheidingsafstanden en risicoafstanden (respectievelijk paragraaf 4.1.5 en 4.1.6).

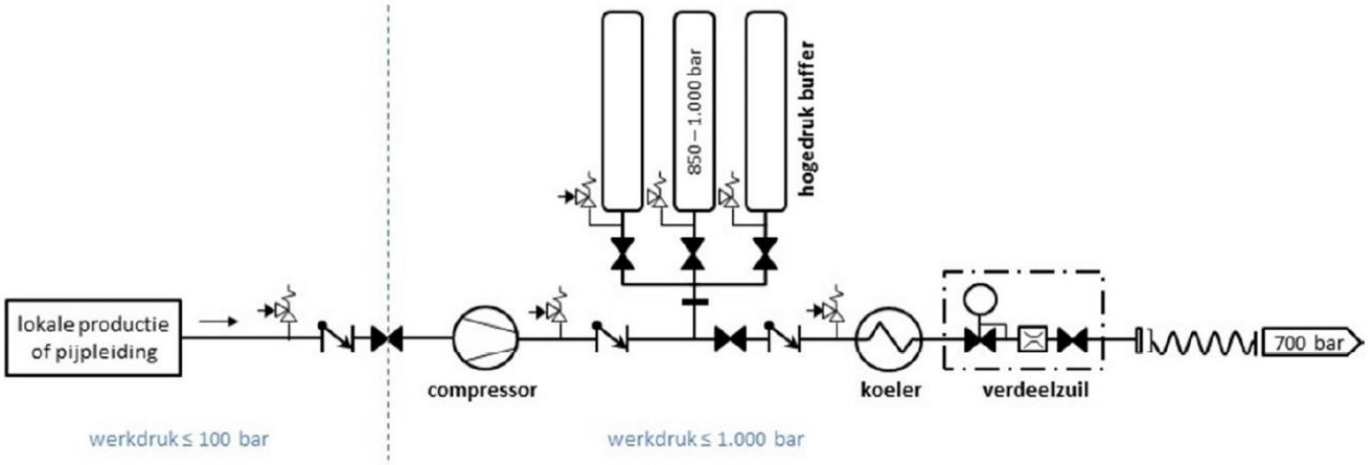
[22] Met de opkomst van grotere busstations en de ontwikkeling van waterstof vrachtwagens worden de 350 bar dispensers ook steeds meer uitgerust met koeling. De standaard lijkt zich naar de -20°C te ontwikkelen (Marnix Van Berkum, persoonlijke communicatie, 2020)



Figuur 8: Uitvoeringstypen van een waterstoftankstation

3.1.2 Waterstoftankstation met continue bevoorrading

Waterstof kan continue worden aangeleverd als een gas[23] onder druk via een pijpleiding (≤ 100 bar), of via lokale productie via elektrolyse van water of stoomreforming van aardgas, zoals geïllustreerd in Figuur 9.



Figuur 9: Waterstoftankstation met continue bevoorrading via een pijpleiding of een lokale productie-eenheid rechtstreeks gekoppeld aan de compressor (M-Tech, 2020)

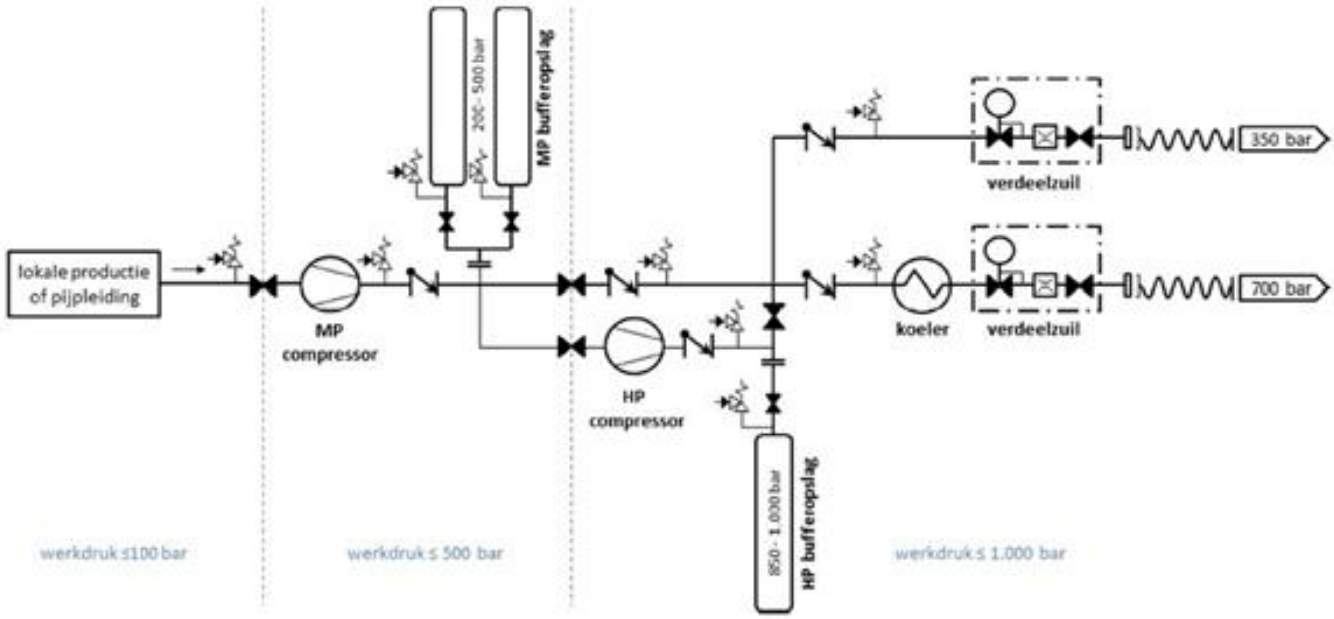
Afhankelijk van de beoogde afnemers wordt het waterstof op het station met behulp van één of twee compressoren opgedrukt tot maximaal 850 à 1000 bar en gestockeerd in een hogedrukbuffer. De capaciteit van de hogedrukbuffer is functie van het compressordebiet en van het aantal personenwagens dat in een korte tijdspanne dient te worden bevoorraad[24].

Indien naast een aflevering van waterstof op 700 bar (personenwagens) ook een aflevering van waterstof op 350 bar (kleinere personenwagens en autobussen) wordt beoogd, dan wordt de compressie doorgaans opgedeeld in twee stappen en wordt het gecomprimeerde gas na de eerste stap opgeslagen in een middendrukbuffer (200-500 bar), zoals afgebeeld in Figuur 10. De wagen wordt dan eerst gevuld vanaf de middendrukbuffer en pas daarna uit de hogedrukbuffer (dit trapsgewijs systeem verbruikt minder energie). In geval van een trage aanvoer van waterstof op een beperkte druk (bv. aanvoer via lokale productie) en daaraan gekoppeld laag compressiedebiet en/of grote afneemvolumes op 350 bar (bv. bevoorraden van meerdere autobussen), is een grote middendrukbuffer noodzakelijk. Een laatste mogelijkheid is dat er een extra lagedrukbuffer (80-250 bar) wordt geplaatst vanwaar de middendruk- of hogedrukbuffer wordt gevoed.

---

[23] Waterstof kan ook worden aangevoerd als een diepgekoelde vloeistof (bij -253°C). Echter, de aanvoer van vloeibaar waterstof is enkel economisch rendabel voor stations met een grote doorzet (≥ 1.000 kg/dag) waarbij het waterstof vanop grote afstand moet worden aangevoerd. Het valt niet te verwachten dat dergelijke stations op middellange termijn in Vlaanderen worden ontwikkeld.

[24] Met een buffervolume van 800 liter (37 kg) en een compressordebiet van ca. 200 Nm^3/h (18 kg/h) kunnen 2 personenwagens direct na elkaar worden bevoorraad met waterstof of kunnen tot 6 personenwagens per uur worden bevoorraad met waterstof.



Figuur 10: Waterstoftankstation met twee compressoren en aflevering van waterstof op 350 en 700 bar

3.1.2.1 Continue bevoorrading via een pijpleiding

In de Benelux exploiteert Air Liquide een netwerk van ondergrondse waterstoftransportleidingen met een diameter van 4” en 6” (100 en 150 mm) op een druk van maximaal 100 bar. Het volledige leidingnetwerk is ca. 900 km lang (getoond in onderstaande Figuur 11). In 2018 zijn er 3 waterstoftankstations die bevoorraad worden via een pijpleiding.

Figuur 11: Waterstoftransportleidingen van Air Liquide in de Benelux

Een waterstoftankstation kan in principe rechtstreeks worden aangesloten op dit leidingnetwerk, waarbij ondergrondse en bovengrondse leidingsegmenten op het tankstation over het algemeen een totale lengte van 5-20 meter hebben.

Standaard componenten gehanteerd voor de berekening van risicoafstanden:

Er worden vier standaard componenten gedefinieerd voor de aanvoer van waterstof via een transportleiding. Het betreft een ondergronds en bovengronds leidingsegment met een standaardlengte van 5 m, 10 m, of 15 m, en een diameter van respectievelijk 100 en 150 mm op een druk van 100 bar. Door middel van een of meerdere terugslagkleppen wordt verhinderd dat waterstof in geval van een incident met de leiding kan uitstromen vanuit de opslagbuffers op het tankstation.

3.1.2.2 Continue bevoorrading via een lokale productie-eenheid

Wanneer waterstof lokaal op het tankstation wordt geproduceerd, kan dit op dit moment via elektrolyse van water of stoomreforming van aardgas. In de Benelux zijn er op dit moment twee stations met een elektrolyse eenheid (Halle (Alkalische + PEM) en Helmond (PEM)) en één station met een SMR productie-eenheid (Arnhem).

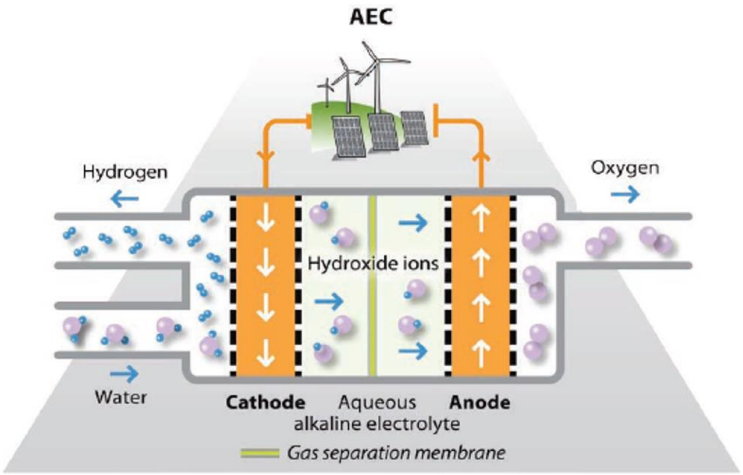
Elektrolyse:

Elektrolyzers gebruiken elektriciteit om water te splitsen in waterstof en zuurstof. Omdat de benodigde energie bij dit proces hoger is dan de energie-inhoud van het geproduceerde waterstof, wordt deze methode meestal gebruikt op sites met lokale opwekking van groene stroom uit wind- of zonne-energie, of warmte uit afval. Overschotten aan groene stroom kunnen dan worden aangewend voor de lokale productie van waterstof. Momenteel zijn er alkalische en PEM (Proton Exchange Membrane) elektrolyse-modules voor waterstoftankstations op de markt met een

productiecapaciteit van 10 tot 400 Nm³/h (21,5 tot 864 kg/dag) en een afleverdruk van 10 of 30 bar. Naast de elektrolyse-eenheid bevatten de modules ook een waterzuiveringssysteem (omgekeerde osmose en/of ionenwisselaar) en een zuurstof-eliminatie- en droogeenheid (M-Tech, 2020). De verschillende soorten elektrolyse worden hieronder kort toegelicht:

1) Alkalische elektrolyser-cellen

De alkalische elektrolyser-cellen worden al sinds de jaren 1920 in industriële toepassingen gebruikt en het is de meest volwassen elektrolyse-technologie die beschikbaar is. Het elektroliet is een waterige alkalische oplossing die natriumhydroxide (NaOH) of kaliumhydroxide (KOH) bevat en elektroden worden meestal gemaakt van nikkel-gecoat staal. Zoals afgebeeld in Figuur 12 wordt een diafragma of membraan (meestal een geïmpregneerd poreus materiaal met een elektroliet) tussen de twee elektroden geplaatst om de spontane recombinatie van H_2 en O_2 met vorming van water te voorkomen.



Figuur 12: Werkingsmechanisme van Alkaline Elektrolyse (Fuel Cell Today, 2013)

<u>Voordelen:</u>

- Goed begrepen en robuuste technologie die tientallen jaren betrouwbaar in werking kan staan.
- Gebruikt goedkopere materialen dan PEM, vanwege de alkalische chemie, wat ook een overweging is bij het aantrekken van kapitaal voor een nieuwe installatie.

<u>Nadelen:</u>

- Om gas onder druk te produceren, moet de gehele unit onder druk worden gezet, wat extra kosten met zich meebrengt.
- De (intermediaire) gaszuiverheid is lager dan met de PEM technologie, omdat er sporen van de elektrolyt achterblijven die moeten worden uitgewassen om waterstof van een bepaalde zuiverheid te produceren. De uiteindelijke gaszuiverheid (op het niveau van de gebruiker) zal na deze stap identiek zijn als de waterstof geproduceerd via PEM.

Kosten:

Een inschatting van de kosten (investering- en operationele kosten) van een alkalische elektrolyzer wordt weergegeven in Tabel 11:

Tabel 11: CAPEX en OPEX van een alkalische elektrolyzer (Denis, Mertens, Meeuws,

Item	*Unit*	2015	2030	2050
Electrolysis				
Alkaline kW-scale				
H_2 nominal production capacity	*Nm³/h*	60	300	300
Price	*€*	624.000	1.836.000	990.000
Price/kW - SYSTEM	*€/kW*	2.000	1.200	660
OPEX	*€/kW/year*	80	64	56

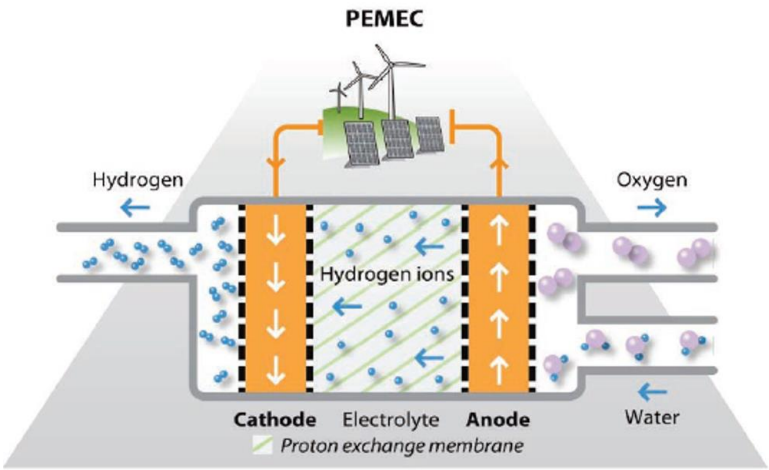
Van der Laak, & François, 2016)

2) PEM water elektrolyse

De PEM water elektrolyse maakt gebruik van een vast polymeer elektroliet (*Solid Polymer Electrolyte - SPE*) -membraan om water te splitsen. Hier is geen vloeibaar elektroliet (zuur/base) vereist. Het membraan is protongeleidend en niet-elektrisch geleidend. Het standaard membraanmateriaal gebruikt bij PEM-elektrolyse is Nafion ™ 117. Deze membranen hebben bewezen uiterst resistent te zijn tegen de oxiderende kracht van zuurstof. Andere membraanmaterialen, bijvoorbeeld koolwaterstof gebaseerd, zijn ook in opkomst in het commercieel elektrolyseveld.

De PEM bevat meestal een zeer dure platinakatalysator, die gemakkelijk vatbaar is voor vergiftiging door onzuiverheden die vaak in water worden aangetroffen. Hierdoor is het gebruik van ultrapuur (gedeïoniseerd) water (minimaal 1 MΩ) meestal een standaardvereiste voor PEM-elektrolyse. Vergiftiging van platina resulteert in een onomkeerbare afname van de elektrochemische prestaties van de elektrolyser; en degradatie is te vermijden vanwege de hoge kosten.

Bij de anode wordt water gesplitst in zuurstof, protonen en elektronen door een gelijkstroom (Direct Current - DC) toe te passen. Het zuurstofgas verlaat het elektrolyseapparaat, de elektronen circuleren door het externe circuit en de protonen gaan door het polymeermembraan. Op de kathode gaan de protonen van het membraan en de elektronen van de externe circuit recombineren om waterstof te produceren (Symes, et al., 2012).



Figuur 13: Werkingsmechanisme van Proton Exchange Membrane elektrolyse (Fuel Cell Today, 2013)

Voordelen:

- snelle responstijden voor fluctuaties in elektrische input en kunnen ook gebruikt worden tussen 0 en 100% van hun nominale capaciteit (zelfs hoger tijdens korte periodes)
- productie van zeer zuivere waterstof, die direct in vele toepassingen kan worden gebruikt zonder verdere zuivering (na de ontwateringsstap, en in minder mate de zuurstofverwijdering)
- mogelijkheid voor bediening onder verschildruk, wat betekent dat waterstof met een hogere druk dan zuurstof kan worden geproduceerd.

Nadelen:

- relatief hoge kapitaalkosten, die het gevolg zijn van het gebruik van dure membranen en elektrodematerialen
- onzekerheid over de lange levensduur (door degradatie van het membraan)

Kost:

Een inschatting van de kosten (investering- en operationele kosten) van een PEM elektrolyzer wordt weergegeven in Tabel 12 (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016):

Tabel 12: CAPEX en OPEX van een PEM elektrolyzer

Item	Unit	2015	2030	2050
Electrolysis				
PEM - MW scale				
H_2 nominal production capacity	*Nm³/h*	200	200	200
Price	*€*	1.560.000	1.020.000	550.000
Price/kW - SYSTEM	*€/kW*	1.500	1.000	550
OPEX	*€/kW/year*	60	48	42

Standaard componenten gehanteerd voor de berekening van risicoafstanden:

De standaardcomponenten die gebruikt worden voor de berekening van de interne scheidingsafstanden en risicoafstanden in resp. paragrafen 4.1.5 en 4.1.6 zijn voorgesteld in Tabel 13. Dit zijn standaard modules die door Hydrogenics op de markt zijn gebracht. McPhy produceert soortgelijke gecontaineriseerde alkalische elektrolyse-modules (type: McLyzer) voor tankstations met een capaciteit van 10 tot 400 Nm³/h (20 tot 800 kg/dag) en een afleverdruk van 30 bar.

Tabel 13: Gecontaineriseerde elektrolyse-modules (M-Tech, 2020)

Type	Afleverdebiet	Afleverdruk (insteldruk PRD's)	Waterstof-inhoud	Omvang behuizing
HySTAT 10 (alkalische elektrolyse)	4 – 10 Nm³/h	10 bar (15 bar) of 27 bar (30 bar)	max. 2,5 Nm³ (220 g)	20 ft container (ATEX-zone: 25%)
HySTAT 15 (alkalische elektrolyse)	6 – 15 Nm³/h			
HySTAT 30 (alkalische elektrolyse)	12 – 30 Nm³/h			
HySTAT 45 (alkalische elektrolyse)	18 – 45 Nm³/h	10 bar (15 bar)	max. 5,7 Nm³ (500 g)	40 ft container (ATEX-zone: 25%)
HySTAT 60 (alkalische elektrolyse)	24 – 60 Nm³/h			
HySTAT 100 (alkalische elektrolyse)	40 – 100 Nm³/h			
HyLYZER 200 (PEM elektrolyse)	2 – 200 Nm³/h	30 bar (35 bar)	max. 18 Nm³ (1500 g)	40 ft + 40 ft container (ATEX-zone: 30%)
HyLYZER 300 (PEM elektrolyse)	3 – 300 Nm³/h			
HyLYZER 400 (PEM elektrolyse)	4 – 400 Nm³/h			
HyLYZER 500 (PEM elektrolyse)	5 – 500 Nm³/h			

3) De **Solid Oxide Electrolysis Cell** (SOEC) is een nieuwe elektrolysetechniek in opkomst, en wordt beschreven in Hoofdstuk 7 Technieken in opkomst (zie paragraaf 7.1.1).

Stoomreforming van aardgas (Steam Methane Reforming – SMR):

Stoomreforming van aardgas is een volwassen productieproces waarbij stoom op hoge temperatuur (700 °C - 1000 °C) wordt gebruikt om waterstof te produceren uit een methaanbron, zoals aardgas. Bij het reformingproces reageert methaan met stoom onder een druk van 3 - 25 bar in aanwezigheid van een katalysator om waterstof, koolmonoxide en een relatief kleine hoeveelheid koolstofdioxide te produceren (reactie 1). Stoomreforming is endotherm - dat wil zeggen dat warmte aan het proces moet worden toegevoegd om de reactie voort te zetten.

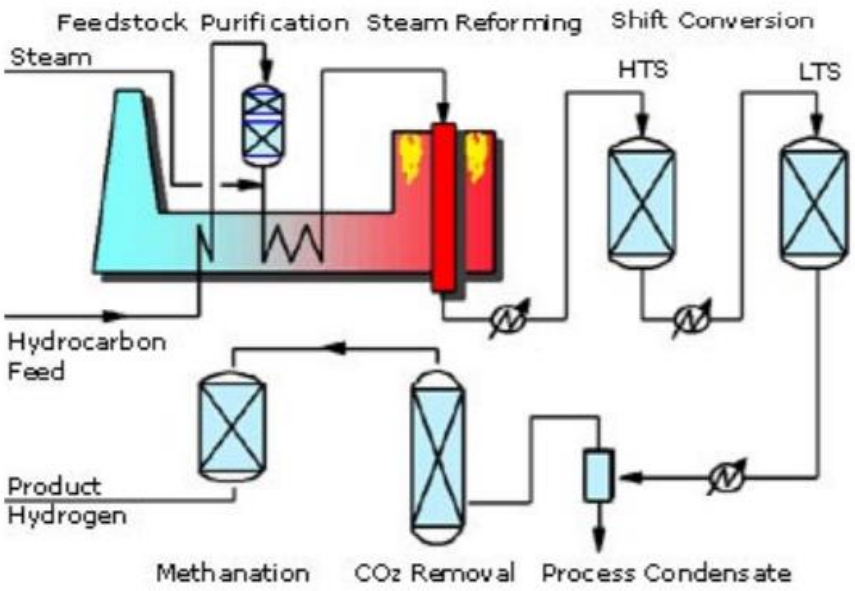
Reactie 1: $$CH_4 + H_2O\ (+warmte) \rightarrow CO + 3H_2$$

Vervolgens worden koolmonoxide en stoom in reactie gebracht met behulp van een katalysator om koolstofdioxide en meer waterstof te produceren; dit wordt de 'water-gas-shift-reactie' (WGSR) genoemd (reactie 2).

Reactie 2: $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2\ (+\ kleine\ hoeveelheid\ warmte)$

In een laatste processtap, genaamd "pressure-swing adsorption" (PSA) worden kooldioxide en andere onzuiverheden uit de gasstroom verwijderd, waardoor zuivere waterstof overblijft. Stoomreforming kan ook worden gebruikt om waterstof te produceren uit andere brandstoffen, zoals ethanol, propaan of zelfs benzine.

Figuur 14 illustreert het stoomreforming van aardgas proces om waterstof te produceren. Aardgas bestaat voornamelijk uit methaan (CH_4), gemengd met zwaardere koolwaterstoffen en CO_2. Door hoge temperatuur stoom toe te passen op het methaan, worden waterstof en koolstofoxiden gemaakt.



Figuur 14: Stoomreforming van aardgas (New York State Energy Research and Development Authority)
HTS = High Temperature Shift (350°C)
LTS = Low Temperature Shift (190-210°C)

Voordelen:
- Hoge efficiëntie van de werking
- Lage operationele- en productiekosten

Nadelen:
- Aardgas is geen hernieuwbare energiebron (tenzij gebruik gemaakt wordt van groengas)
- Uitstoot van CO_2 naar de atmosfeer
- Het veiligheidsrisico dat uitgaat van een stoomrefomer-module wordt hoger ingeschat dan het risico dat uitgaat van een elektrolyse-module omdat:
  - in een reformer-module meer onderdelen zitten die een ontvlambaar gas bevatten en de kans op vorming van een explosieve atmosfeer in de container dus groter is dan bij een elektrolyse-module, en
  - de reformer-module niet is opgedeeld in verschillende (gasdichte) zones om de verspreiding van een brandbaar gas in de container te voorkomen (Tchouvelev & Associates, n.d.).

Commerciële gecontaineriseerde stoomreforming-modules zijn beschikbaar voor waterstoftankstations met een productiecapaciteit van 52, 104 en 156 Nm³/h (4,7 tot 14 kg/h). Naast de eigenlijke reformer- en PSA-scheidingseenheid bevatten de modules ook een waterzuivering (omgekeerde osmose) en een ontzwavelingseenheid.

Kosten:

Er zijn geen kosten bekend.

Standaard componenten gehanteerd voor de berekening van risicoafstanden:

Hygear produceert gecontaineriseerde stoomreforming-modules voor waterstoftank-stations met een productiecapaciteit van ca. 50, 100 en 150 Nm³/h (5 tot 15 kg/h). Naast de eigenlijke reformer bevatten de modules zuiveringsinstallaties voor aardgas (ontzwaveling), water (omgekeerde osmose) en waterstofgas (PSA-gebaseerde gaszuivering). Tabel 14[25] geeft een overzicht van de modules die door Hygear op de markt worden gebracht voor tankstations.

Tabel 14: Gecontaineriseerde stoomreformer-modules van Hygear (M-Tech, 2020)

Type	Afleverdebiet	Werkingsdruk	Gas-inhoud	Omvang behuizing
Hy.Gen 50	max .52 Nm³/h	aardgastoevoer: 10 – 11 barg waterstofaflevering : 1,5 – 7,5 barg	aardgas: 3 Nm³ (2,5 kg) waterstof: 15 Nm³ (1,3 kg)	20 ft container (ATEX-zone: 2NE)
Hy.Gen 100	max .104 Nm³/h	aardgastoevoer: 10 – 11 barg waterstofaflevering : 1,5 – 7,5 barg	aardgas: 6 Nm³ (5 kg) waterstof: 22 Nm³ (1,9 kg)	40 ft container (ATEX-zone: 2NE)
Hy.Gen 150	max .156 Nm³/h	aardgastoevoer: 10 – 11 barg waterstofaflevering : 1,5 – 7,5 barg	aardgas: 6 Nm³ (5 kg) waterstof: 25 Nm³ (2,2 kg)	40 ft container (ATEX-zone: 2NE)

Bij de on-site productie van waterstof, wordt het **waterstof gezuiverd** door een filter om zuurstof, vocht, en andere onzuiverheden eruit te halen. Hierbij moet de controle van de filter worden uitgevoerd door vaste, regelmatige operationele controlerondes of door controleapparatuur.
Dit controleapparatuur registreert een alarmwaarde bij een druk die lager ligt dan de maximumwaarde (gespecifieerd door de filterleverancier).

Waterstof aan tankstations wordt gebruikt voor elektrische voertuigen aangedreven door PEM-brandstofcellen. Deze brandstofcellen zijn gevoelig voor sommige verontreinigingen, en zonder controle van deze onzuiverheden kunnen er aanzienlijke problemen ontstaan met de prestaties en de duurzaamheid van de brandstofcel. De waterstofkwaliteitsvereisten voor waterstoftankstations worden gedefinieerd in de ISO 14687:2019 (*Hydrogen fuel quality – Product specification)*.

3.1.3 Waterstoftankstation met niet-continue aanvoer via tube-trailers of batterijvoertuigen

Waterstofgas kan als een gas discontinu via tube-trailers (traditioneel ≤ 200 bar, maar kan tot 500 bar gaan wanneer trailers met compositietflessen worden ingezet) of batterijvoertuigen (≤ 500 bar) worden aangevoerd aan een tankstation. Bij discontinue waterstofleveringen, kan dit via tube-trailers of batterijvoertuigen met een vaste

[25] ATEX-zone 2NE betekent Negligible Extent (zone waar het gebruik van standaard elektrische apparatuur toegelaten is)

lagedruk bufferopslag op het station (waaruit de compressor wordt gevoed) of kan een trekker verwisselbare flessen- of cilinderbatterijen neerzetten aan het station die rechtstreeks op de compressor kunnen aangesloten worden. In de volgende paragrafen worden een aantal courante opstellingen toegelicht. Dit zijn voorbeelden, en moeten dus niet als enige uitvoeringstypes beschouwd worden.

Voor het transport van waterstof over de weg wordt over het algemeen gebruik gemaakt van **tube-trailers** (zie Figuur 15). Een tube-trailer kan bijvoorbeeld opgebouwd zijn uit een beperkt aantal stalen drukcilinders (typisch 9 of 18 elementen) met een diameter van 559 mm, een lengte tussen 5,5 en 11 m (18 en 36 ft), een individueel volume tussen 1.150 en 2.330 liter en een maximale werkingsdruk van 220 bar. Bij een typische vuldruk van 200 bar bevat een tube-trailer aldus tussen 155 en 630 kg waterstof (1.720 en 6.990 Nm³). De diameter van de grootste aansluiting op de drukcilinders bedraagt typisch 8 mm.

Figuur 15: Voorbeeld van een tube-trailer met 9 stalen drukcilinders (max. 200 bar) (M-Tech, 2020)

Recent werden ook batterijvoertuigen in gebruik genomen voor het transport van waterstof op een druk van 200 en 500 bar. Dit is een nieuw type voertuig dat reeds is ingezet in Duitsland (nog niet in de Benelux), dat opgebouwd is uit een groot aantal stalen of composieten cilinders met een individueel volume van 85, 165 of 350 liter gemonteerd in een vast raamwerk, die onderling zijn verbonden en opgedeeld in een aantal gescheiden banken. Ze kunnen een capaciteit hebben van respectievelijk 380 kg (stalen flessen van 85 liter, 200 bar), 570 kg (composieten cilinders, 200 of 250 bar) tot 1.170 kg (composieten cilinders, 500 bar). De typische diameter van de grootste aansluiting op de gasflessen en drukcilinders bedraagt 5 mm.

- batterijvoertuig met 295 cilinders van 85 liter (7 banken, werkingsdruk 200 bar)
- batterijvoertuig met 228 cilinders van 165 liter (8 banken, werkingsdruk 200 bar)
- batterijvoertuig met 224 cilinders van 165 liter (8 banken, werkingsdruk 500 bar)
- batterijvoertuig met 105 cilinders van 350 liter (7 banken, werkingsdruk 500 bar)

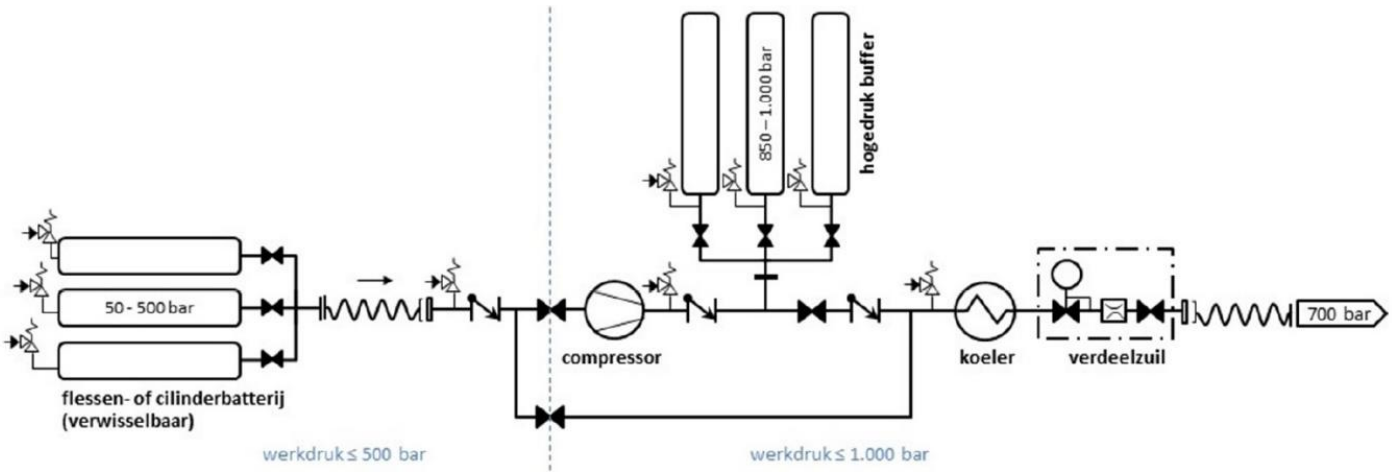
Figuur 16: Twee voorbeelden van een batterijvoertuig (M-Tech 2020)

Composietcilinders zijn een evolutie van de stalen flessen en bieden verschillende voordelen. Enerzijds wegen ze minder zwaar dan stalen flessen en kunnen ze hogere drukken verdragen waardoor er tot twee keer meer waterstof kan vervoerd worden per traject (trucks zijn beperkt tot een maximaal gewicht). Daarnaast bieden ze nog een aantal voordelen op veiligheidsniveau doordat ze op een minder catastrofale manier falen (staal explodeert t.o.v. composiet cilinders die gaan lekken en branden). (Luc Vandebroek, persoonlijke communicatie, 2019).

Bij waterstofafleverinstallaties waarbij de aanlevering plaatsvindt via tube-trailers of batterijvoertuigen zijn doorgaans twee situaties te onderscheiden:
1) de flessen- of cilinderbatterij wordt gelost en de trekker rijdt weg (mobiele opslag)
2) de tube-trailer of batterijvoertuig lost de waterstof in een tussenopslagtank aan het station, of blijft enkele dagen ter plaatse staan zonder tussenopslag.

3.1.3.1 Discontinue bevoorrading met gebruik van een mobiele opslag

Bij dit type waterstoftankstation wordt het station bevoorraad met **flessen- of cilinderbatterijen** die tijdelijk op het station worden geplaatst en via een flexibele slang worden aangekoppeld aan de vaste installaties. Wanneer de flessen- of cilinderbatterijen bijna leeg zijn, worden ze vervangen door nieuwe volle exemplaren. Figuur 17 illustreert de opstelling van dit uitvoeringstype.



Figuur 17: Flow schema van een waterstoftankstation met een mobiele lagedruk opslag (flessen- of cilinderbatterij) (M-Tech, 2020)

Een opslag in de vorm van kaders met tientallen gasflessen van 50 liter (200 bar) wordt toegepast op het tankstation van Air Liquide in Zaventem, afgebeeld in Figuur 18.

Figuur 18: Voorbeeld van een opslag in de vorm van verschillende kaders met gasflessen (Tankstation Zaventem)

Een opslag van waterstof in enkele drukcilinders van meer dan 1.000 liter (200 bar) wordt toegepast op verschillende Total tankstations in Duitsland (o.a. in de Heidestrasse en Jaffestrasse in Berlijn, in de Helmholtzstrasse in Ulm en in de Ohmstrasse in Fellbach), zoals geïllustreerd op Figuur 19. De diameter van de maximale aansluiting op de cilinders bedraagt typisch 8 mm.

Figuur 19: Voorbeeld van een opslag in de vorm van enkele drukcilinders (tankstation Duitsland) met een volume van meer dan 1.000 liter (M-Tech, 2020)

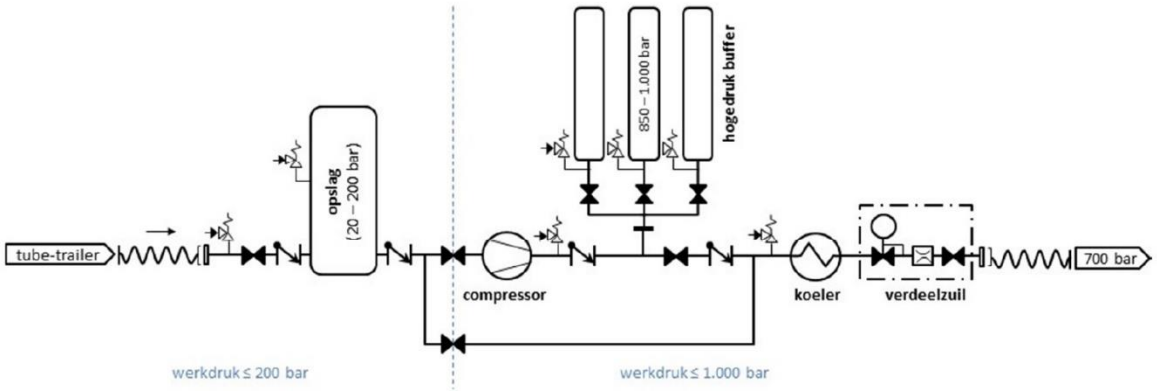
3.1.3.2 Discontinue bevoorrading met gebruik van een tussenopslagtank

Bij een discontinue bevoorrading met gebruik van een tussenopslagtank wordt bij aankomst op het tankstation een tube-trailer via een hogedruk flexibele slang met een diameter van 1/4" (6 mm) tot 1/2" (12 mm) en een vaste bovengrondse leiding in verbinding gesteld met de **lagedruk opslag van het station** (20-200 bar). De hogedruk slangen bestaan uit een flexibele roestvast stalen, polyester of polyamide buis voorzien van een verstevigende laag van gevlochten staaldraad, polyester-, en/of aramidevezels. Ter hoogte van het aansluitpunt op het station is standaard een terugslagklep aanwezig die een terugstroming vanuit de opslag verhindert bij een incident met de trailer of de losslang. De tubes op de trailer worden één voor één opgelijnd, waarbij het gecomprimeerde waterstofgas onder invloed van het drukverschil van de trailer naar de lagedruk opslag stroomt tot de druk in de trailer en de opslag is geëgaliseerd. De inhoud van de tube-trailer kan dus slechts gedeeltelijk worden gelost op het station. Het lossen van een tube-trailer op een tankstation neemt afhankelijk van de diameter van de losslang (en het daaraan gekoppelde losdebiet) ongeveer 45 tot 120 minuten in beslag[26].

Batterijvoertuigen worden op een gelijkaardige manier gelost op het tankstation als een klassieke tube-trailer, waarbij de verschillende banken van het voertuig één voor één worden opgelijnd. Door de hogere capaciteit van batterijvoertuigen kan meer waterstof worden afgeleverd per losbeurt ten opzichte van een klassieke tube-trailer. Bij een bevoorrading met een 500 bar trailer blijft de losduur bovendien beperkt tot 30 à 75 minuten afhankelijk van de diameter van de losslang.

De uitvoering van een waterstoftankstation met niet-continue aanvoer via tube-trailers of batterijvoertuigen en een vaste lagedruk bufferopslag wordt afgebeeld in Figuur 20.

[26] De verblijftijd van de trailer op het station is afhankelijk van meerdere parameters, waaronder de doorzet van het station, de diameter van de losslang en het type trailer. Voor de berekening van de interne scheidingsafstanden (paragraaf 4.1.5) wordt een verblijftijd van 250, 500 en 1.000 uren per jaar bepaald, alsook voor een permanent verblijf van de trailer op het tankstation. Voor andere waarden van de verblijftijd kunnen de risicoafstanden die uitgaan van de aanwezigheid van de trailer op het station worden bepaald via de softwaretool (zelfevaluatietool). Voor meer informatie verwijzen we naar de veiligheidsstudie paragraaf IV.1.3.



Figuur 20: Waterstoftankstation met niet continue aanvoer via tube-trailers of batterijvoertuigen en een vaste lagedruk bufferopslag op het station (M-Tech, 2020)

De lagedruk opslag kan vervolgens in verschillende types bestaan, onder andere:

1) een vaste cilindrische druktank met een waterinhoud van 50 tot 100 m³ en een maximale werkingsdruk van 50 bar,
2) een kader drukcilinders met een individueel volume tussen 1.000 en 2.500 liter en een maximale werkingsdruk van 250 bar of,
3) meerdere kaders gasflessen met een individueel volume van 50 tot 150 liter en een maximale werkingsdruk van 250 bar.

Een lokale opslag in de vorm van vaste cilindrische druktank wordt toegepast op verschillende tankstations in Duitsland en Zwitserland. De opslagtanks hebben doorgaans een diameter van 2,8 m en een lengte tussen 7,3 m en 19 m (volume: 45 tot 115 m³). Ze worden typisch bedreven op een maximale druk van 45 bar[27] en hebben een opslagcapaciteit van 150 kg (40 m³) tot 420 kg (110 m³). De opslagtanks kunnen bovengronds (Figuur 21) of ondergronds (
Figuur 22) worden geplaatst. Door de relatief lage druk in de opslag kan een tube-trailer of batterijvoertuig per bezoek meer waterstof lossen op het station.

[27] Drukken tot 80 bar worden recentelijk ook toegepast (Marnix Van Berkum, persoonlijke communicatie, 2020)

Figuur 21: Voorbeeld van een opslag in de vorm van een bovengrondse druktank op een tankstation in Stuttgart (OMV) en in Geiselwind (TOTAL) (M-Tech, 2020)

Figuur 22: Voorbeeld van een opslag in de vorm van een ondergrondse druktank van 87m³ op een tankstation in Hunzenschwil (COOP) (M-Tech, 2020)

Een aantal voordelen voor **bovengrondse opslag** is:

- Relatief makkelijke plaatsing tov ondergrondse tanken
- Betere visuele controle, en mogelijkheid om sneller in te grijpen in geval van problemen
- Onderhoud is makkelijker door een betere bereikbaarheid

Nadelen zijn dat het plaats inneemt en dat het kwetsbaar is voor mechanische impacten, en thermische impacten van een externe brand.

Het grote voordeel van een **ondergrondse opslag** is dat er geen ruimteverlies is. Nadelen zijn dat de vervanging van een tank moeilijker is, alsook het onderhoud wegens minder goed bereikbaar.

Standaard componenten voor tube-trailers en batterijvoertuigen gehanteerd voor de berekening van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)

Voor de berekening van de risicoafstanden (zie paragrafen 4.1.5 en 4.1.6) worden er zes standaard componenten gedefinieerd voor de **aanvoer van waterstof via tube-trailer en batterijvoertuigen** (zie Tabel 15). Het betreffen twee typische tube-trailers en vier batterijvoertuigen waarvan twee met een maximale werkingsdruk van 200 bar en twee met een maximale werkingsdruk van 500 bar. De aanwezigheidsduur van de voertuigen op het station is evenredig met een verhoging van het veiligheidsrisico.

Tabel 15: Standaard tube-trailers en batterijvoertuigen gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)

Trailer configuratie	Inhoud	Max. .vuldruk	Max. aansluit-diameter elementen	Losduur (*)	Afgeleverde hoeveelheid per losbeurt (**)
18x 1.150 liter (waterinhoud: 20,7 m³)	320 kg	200 bar	8 mm	45 - 120 min.	125 kg
9x 2.330 liter (waterinhoud: 21 m³)	320 kg	200 bar	8 mm	45 - 120 min.	125 kg
295x 85 liter (waterinhoud: 25,1 m³)	380 kg	200 bar	5 mm	45 - 120 min.	150 kg
224x 165 liter (waterinhoud: 37 m³)	560 kg	200 bar	5 mm	45 - 120 min.	220 kg
224x 165 liter (waterinhoud: 37 m³)	1.180 kg	500 bar	5 mm	30 - 75 min.	260 kg
105x 350 liter (waterinhoud: 36,75 m³)	1.170 kg	500 bar	5 mm	30 - 75 min.	260 kg

Standaard componenten voor de losslangen gehanteerd voor de berekening van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)**:**

Op basis van de bekomen informatie worden in de veiligheidsstudie (M-Tech, 2020) verder 8 componenten gedefinieerd voor het lossen van de tube-trailers en batterijvoertuigen op het station, waarvan de belangrijkste specificaties worden gegeven in Tabel 16. Deze data wordt gebruikt voor de berekening van de interne scheidingsafstanden en risicoafstanden in resp. paragrafen 4.1.5 en 4.1.6.

Tabel 16: Standaard losslangen gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)

Nominale diameter	Binnendiameter	Maximale werkingsdruk	Veiligheidsmaatregelen
1/4"	6 mm	200 bar	terugslagklep aan zijde station
1/4"	8 mm		
3/8"	10 mm		
1/2"	12 mm		
1/4"	6 mm	500 bar	
1/4"	8 mm		
3/8"	10 mm		
1/2"	12 mm		

Standaard componenten voor de lagedruk opslag gehanteerd voor de berekening van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)

Gelet op bovenstaande beschouwingen worden in de studie voor de berekening van de risicoafstanden 15 standaard elementen gedefinieerd die aangewend kunnen worden als een onderdeel van een lagedruk opslag op een waterstoftankstation (Tabel 17). Een gasfles is eerder beperkt in grootte, terwijl drukcilinders vaak 10-20 keer meer waterstof kunnen opslaan per eenheid. Gasflessen worden doorgaans getransporteerd in de vorm van "flessenbatterijen", zoals afgebeeld in Figuur 18.

Tabel 17: Standaard componenten in een lagedruk opslag gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)

Type element	Max. aansluitdiameter	Max. vuldruk(**)	Inhoud
Bovengrondse druktank van 50, 75, 100, 125 en 150 m³	50 mm (*)	50 bar	210 - 630 kg
Ondergrondse druktank van 50, 75, 100, 125 en 150 m³	50 mm (*)	50 bar	210 - 630 kg
Gasflessen van 50, 80 en 150 liter	5 mm	200 bar	0,75 – 2,3 kg per fles
Cilinders van 200, 250, 300, …, 700 en 750 liter	5 mm	200 bar	6,4 – 23,9 kg per cilinder
Cilinders (tubes) van 1.100, 1.300, …, 2.300 en 2.500 liter	8 mm	200 bar	16,7 – 38 kg per cilinder

(*) Deze maximale aansluitdiameter is niet bepalend voor het risico dat uitgaat van de tank omdat deze groter is dan de diameter die aanleiding geeft tot een uitstroming in 10 minuten (D_{10} = 11,8 mm voor een 50 m³ tank, D_{10} = 16,7 mm voor een 100 m³ tank).

(**) De elementen worden alle beschermd door een overdrukbeveiliging ingesteld op een druk van respectievelijk 50 en 200 bar.

3.1.4 Compressors

De noodzaak tot een bijkomende compressie van waterstof op het station is afhankelijk van de druk waarop het waterstof wordt aangevoerd of geproduceerd en van de gewenste afleverdruk op het station (350 en/of 700 bar). Met betrekking tot de compressoren die voorkomen op een waterstoftankstation wordt over het algemeen een onderscheid gemaakt tussen meertrapscompressoren met een beperkte inlaatdruk (10 - 50 bar) en een beperkte capaciteit (10 – 200 Nm³/h) en eenvoudige boostercompressoren met een hoge inlaatdruk (100 – 400 bar) en een hoge capaciteit (200 – 500 Nm³/h). De

middendruk compressor op een tankstation wordt meestal uitgevoerd als een meertrapscompressor in combinatie met een grote middendruk buffer die is opgedeeld in meerdere banken en van waaruit de effectieve aflevering op 350 bar kan plaatsvinden (zgn. cascade vulling). In combinatie met een middendruk compressor wordt de hogedruk compressor uitgevoerd als een boostercompressor gevolgd door een hogedruk buffer met een eerder beperkte capaciteit. Indien slechts één compressor wordt voorzien op het tankstation dan betreft het doorgaans een hybride compressor die de voordelen van een meertrapscompressor (geschikt voor lage inlaatdrukken) en een boostercompressor (een hogere compressorcapaciteit bij een hoge inlaatdruk) combineert.

Standaard componenten gehanteerd voor de berekening van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)

In de studie voor de berekening van de interne scheidingsafstanden en risicoafstanden (M-Tech, 2020) worden acht standaard elementen gedefinieerd voor compressoren die worden gebruikt op een waterstoftankstation (zie paragrafen 4.1.5 en 4.1.6).

Tabel 18: Standaard compressoren gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)

Omvang van de compressorruimte	Max. omvang v/d zone met explosieve atmosfeer(*)	Veiligheidsmaatregelen
10 ft compressorcontainer	10,7 m³ (2/3 van 16 m³)	standaard: voldoende ventilatie, gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
20 ft compressorcontainer	22 m³ (2/3 van 33 m³)	standaard: voldoende ventilatie, gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
30 ft compressorcontainer	33,3 m³ (2/3 van 50 m³)	standaard: voldoende ventilatie, gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken
40 ft compressorcontainer	44 m³ (2/3 van 66 m³)	standaard: voldoende ventilatie, gasdetectie + autom. noodstop optioneel: explosieluiken

(*) Er wordt aangenomen dat 1/3 van het containervolume wordt ingenomen door de aanwezige installaties in de container.

3.1.5 Opslag – Middendruk en hogedruk buffer

Om de duur van een tankbeurt tot een aanvaardbaar niveau te beperken, wordt waterstof op het tankstation opgeslagen in een middendruk buffer (200 – 450 bar) en/of hogedruk buffer (850 – 1.000 bar). Een middendruk buffer is over het algemeen opgebouwd uit stalen of composieten gasflessen (50 – 150 liter) of drukcilinders (200 – 2.500 liter) die onderling zijn verbonden en mogelijk opgedeeld zijn in een aantal gescheiden banken. Een hogedruk buffer is meestal opgebouwd uit composieten gasflessen of cilinders met een kleiner individueel volume.

Volgende configuraties van **<u>middendruk buffers</u>** komen voor op bestaande waterstoftankstations:

- 16 stalen gasflessen van 50 liter (tankstation Zaventem)
- 2 stalen cilinders van 1.000 liter (tankstation Rhoon)
- 48 stalen flessen van 50 liter en 9 composieten cilinders van 530 liter (tankstation Helmond)
- 24 cilinders van 250 liter (tankstation Berlin Holzmarktstrasse)
- 8 stalen cilinders van ca. 1.500 liter (tankstation Hamburg Hochbahn)
- 8 composieten cilinders van 530 liter (tankstation Aberdeen)

- 218 gasflessen van 50 liter (mobiel tankstation Linde)
- 48 gasflessen van 50 liter (concept tankstation CEP)

Een voorbeeld van een middendruk bufferopslag wordt afgebeeld op Figuur 23.

Figuur 23: Voorbeeld van de middendruk bufferopslag op het tankstation van Rhoon (M-Tech, 2020)

Volgende configuraties van **hogedruk buffers** komen voor op bestaande waterstoftankstations:

- 16 composieten gasflessen van 50 liter (tankstation Zaventem)
- 16 composieten gasflessen van 50 liter (tankstation Rhoon)
- 4 composieten cilinders van 254 liter (tankstation Helmond)
- 4 composieten cilinders van 254 liter (tankstation Aberdeen)
- 2 cilinders van 250 liter (tankstation Berlin Holzmarktstrasse)
- 120 composieten gasflessen van 50 liter (tankstation Hamburg Hafencity)
- 1 gasfles van 50 liter (concept tankstation CEP)

Standaard componenten gehanteerd voor de berekening van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)**:**

Gelet op bovenstaande beschouwingen worden in de veiligheidsstudie van M-Tech (2020) 19 standaard componenten gedefinieerd die aangewend kunnen worden als een onderdeel van een middendruk buffer en 15 standaard componenten die aangewend kunnen worden als een onderdeel van een hogedruk buffer op een waterstoftankstation. Deze componenten zijn weergegeven in Tabel 19 en Tabel 20.

Tabel 19: Standaard componenten in een middendruk buffer (max. 500 bar) gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech 2020)

Type element	Max. aansluitdiameter	Max. capaciteit
Gasfles 50, 80 en 150 liter	-	1,6 -4,8 kg
Cilinders 200, 250, 300, …, 700 en 750 liter	5 mm	6,4 – 23,9 kg
Cilinders 1.000, 1.500, 2.000 en 2.500 liter	8 mm	31,8 – 79,6 kg

Tabel 20: Standaard componenten in een hogedruk buffer (max. 1.000 bar) gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)

Type element	Max. aansluitdiameter	Max. capaciteit
Gasfles 50, 80 en 150 liter	-	2,4 -7,2 kg
Cilinders 200, 250, 300, …, 700 en 750 liter	5 mm	9,5 – 35,8 kg

3.1.6 Buizenstelsel

Op een waterstoftankstation staan de verschillende installatie-onderdelen met elkaar in verbinding via vaste bovengrondse leidingen met een interne diameter die kan variëren van 6 mm tot 20 mm. In het lagedruk gedeelte van de installatie (≤ 200 bar) worden typisch leidingen aangewend met een diameter van 10 tot 20 mm. In het middendruk gedeelte van de installatie (200 – 500 bar) hebben de leidingen doorgaans een diameter van 6 tot 12 mm, terwijl in het hogedruk gedeelte van de installatie (> 500 bar) enkel leidingen met een diameter ≤ 10 mm worden toegepast.

Standaard componenten gehanteerd voor de berekening van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)**:**

Voor de verschillende drukniveaus die voorkomen in een waterstoftankstation worden telkens 3 à 4 standaard verbindingsleidingen gedefinieerd met een verschillende leidingdiameter. Het betreffen bovengrondse leidingsegmenten met een standaardlengte[28] van 5 m. Gelet op bovenstaande beschouwingen worden in de veiligheidsstudie van M-Tech (2020) 13 standaardcomponenten gedefinieerd die aangewend kunnen worden als een onderdeel van het buizenstelsel. Deze componenten zijn weergegeven in Tabel 21.

[28] De aanwezigheid van langere leidingsegmenten kan in rekening worden gebracht in de zelfevaluatietool voor het bepalen van de risicoafstanden, door het aantal elementen (leidingsegmenten) te verhogen.

Tabel 21: Standaard componenten voor de verbindingsleidingen gebruikt voor de berekening van de risicoafstanden

Maximale druk	Binnendiameter	Veiligheidsmaatregelen
30 bar	12 mm	standaard: terugslagklep aan het einde van de leiding
	16 mm	
	20 mm	
200 bar	12 mm	
	16 mm	
	20 mm	
500 bar	6 mm	
	8 mm	
	10 mm	
	12 mm	
1.000 bar	6 mm	
	8 mm	
	10 mm	

Op basis van de bekomen informatie worden verder 8 componenten gedefinieerd voor de los- of koppelslangen waarmee de tube-trailers of batterijvoertuigen in verbinding worden gesteld met de vaste installaties op het station (zie Tabel 22). De belangrijkste specificaties van de standaard slangen worden getoond in onderstaande tabel. De totale jaarlijkse gebruiksduur van de slangen op het station is een variabele parameter die kan worden ingesteld door de gebruiker van de zelfevaluatietool ter bepaling van de risicoafstanden.

Tabel 22: Standaard componenten van een buizenstelsel gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden

Binnendiameter	Maximale werkingsdruk	Veiligheidsmaatregelen
6 mm	200 bar (voor het lossen van tube-trailers en batterijvoertuigen op 200 bar)	standaard: terugslagklep aan zijde station optioneel: doorstroombegrenzer aan zijde trailer
8 mm		
10 mm		
12 mm		
6 mm	500 bar (voor het lossen van batterij-voertuigen op 500 bar)	
8 mm		
10 mm		
12 mm		

3.1.7 Koelunit voor het afleveren van waterstof op 700 bar

Omdat waterstof opwarmt tijdens expansie, dient het af te leveren waterstof tijdens het snel vullen van voertuigen eerst gekoeld te worden om de maximale toegelaten temperatuur van 85°C in de brandstoftank van het voertuig niet te overschrijden. De koeling die hiervoor nodig is, is afhankelijk van de afleverdruk (350 of 700 bar) en de beoogde vulsnelheid, en bedraagt maximaal -40°C.

Voor de gaskoelers die worden aangewend op een waterstoftankstation bestaan er verschillende concepten:

- een coaxiale buis (spiraal) waarbij gasvormig waterstof in tegenstroom met een koelmiddel doorheen een lange spiraal stroomt
- een pijpenwarmtewisselaar waarbij het waterstof op hoge druk doorheen de pijpen en het koelmiddel doorheen de mantel stroomt tot een compacte warmtewisselaar met microkanalen die kan worden ingebouwd in de verdeelzuil.

Platenwarmtewisselaars zijn niet geschikt voor de gegeven toepassing omwille van de zeer hoge druk waarmee het waterstof doorheen de gaskoeler stroomt.

Standaard componenten gehanteerd voor de berekening van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)**:**

De gaskoeler die aanwezig is op een waterstoftankstation wordt doorgaans niet weerhouden in de kwantitatieve risicoanalyse van het tankstation (de waterstoftankstations van Halle, Zaventem, Rhoon, en Helmond werden hiervoor geconsulteerd). De reden hiervoor is dat dergelijke gaskoelers doorgaans worden gekenmerkt door pijpen of kanalen met een zeer kleine diameter, waardoor het vrijzettingsdebiet dat wordt berekend voor het representatieve scenario van een pijpbreuk als verwaarloosbaar wordt beschouwd.

In de berekening van de risicoafstanden wordt het risico van een gaskoeler bepaald, uitgaande van een coaxiale buiswarmtewisselaar of pijpenwarmtewisselaar met een interne buis- of pijpdiameter van 6 mm[29] en een totale buis- of pijplengte van 10 m.

3.1.8 Afleversysteem op 350 en 700 bar

Waterstof wordt standaard afgeleverd op een druk van 350 bar (voor bussen, vrachtwagens, heftrucks en kleine personenwagens) en 700 bar (grotere personenwagens). Gemiddeld wordt er ca. 4 à 5 kg waterstof geleverd aan personenwagens en ca. 20 à 40 kg aan bussen of vrachtwagens.

Volgens de veelgebruikte SAE J2601 (*Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles*) en J-2601-2 (*Fueling Protocol for Gaseous Hydrogen Powered Heavy Duty Vehicles*) protocollen zijn er drie verschillende bevoorradingsopties, elk met een eigen maximale bevoorradingssnelheid en noodzaak tot voorkoeling. Bij traag vullen (slow refuelling) wordt een maximale vulsnelheid van 30 g/s (1,8 kg/min) gehanteerd, bij normaal vullen (normal refuelling) loopt de vulsnelheid op tot 60 g/s (3,6 kg/min) en bij snel vullen (fast refuelling) wordt een maximale vulsnelheid van 120 g/s (7,2 kg/min) toegelaten. Er wordt evenwel opgemerkt dat de gemiddelde vulsnelheid meestal lager is, en afhankelijk is van verschillende parameters waaronder het volume van de middendruk en hogedruk buffers op het station en de frequentie waarmee voertuigen komen tanken.

[29] De interne pijpdiameter van de gaskoeler wordt arbitrair gelijk gesteld aan de diameter van een veelvoorkomende verdeelslang voor waterstof

Voor aflevering van waterstof op 350 of 700 bar aan personenwagens worden o.a. vulpistolen gebruikt met een inwendige doorsnede van 4 mm in combinatie met een afleverslang met een inwendige doorsnede van 6 mm. Voor aflevering van waterstof op 350 bar aan bussen en vrachtwagens worden o.a. vulpistolen gebruikt met een inwendige doorsnede van respectievelijk 8 en 12 mm in combinatie met een afleverslang met een inwendige diameter van 6 mm.

Tenslotte volgen de waterstoftankstations doorgaans de protocol SAE J2799 met betrekking tot hardware en software communicatie tussen het voertuig en de dispenser/het station (*SAE J2799 – Hydrogen Surface Vehicle to Station Communications Hardware and Software*).

Standaard componenten gehanteerd voor de berekening van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)**:**

De enige component van een afleversysteem die wordt meegenomen in de kwantitatieve risicoberekening is de vulslang. Standaard heeft deze vulslang een interne diameter van 6 mm. Omdat in sommige veiligheidsstudies sprake is van vulslangen met een grotere diameter (8 tot 12 mm), worden in deze studie berekeningen uitgevoerd voor standaard vulslangen (verdeelslang) met een diameter van 6 tot 10 mm voor de aflevering van waterstof op 700 bar en een diameter van 6 tot 12 mm voor de aflevering van waterstof op 350 bar. Het afleversysteem is voorzien van een debietsmeter met doorstroombegrenzer. Bij detectie van een abnormaal hoog transferdebiet of in geval van een abnormaal lage druk in de verdeelzuil wordt de vulling automatisch gestopt. De reactietijd van het debietregelsysteem wordt geraamd op 1 seconde. De gebruiksduur van de vulslang kan worden ingeschat op basis van een gemiddeld afleverdebiet van 0,5 tot 1 kg/min voor personenwagens en ca. 3,5 kg/min voor bussen of vrachtwagens.
Gelet op bovenstaande beschouwingen worden in de veiligheidsstudie van M-Tech 7 standaard componenten gedefinieerd die aangewend kunnen worden als een onderdeel van het buizenstelsel. Deze componenten zijn weergegeven in Tabel 23.

Tabel 23: Standaard componenten van een afleversysteem op 350 bar en 700 bar gehanteerd voor de bepaling van de risicoafstanden (M-Tech, 2020)

Binnendiameter	Maximale afleverdruk	Veiligheidsmaatregelen
6 mm	350 bar	standaard: doorstroombegrenzer in de verdeelzuil
8 mm		
10 mm		
12 mm		
6 mm	700 bar	
8 mm		
10 mm		

3.1.9 Generieke faalwijzen, faalfrequenties, en potentiële vervolgscenario's van componenten voor de bepaling van de scheidingsafstanden

In het kader van de kwantitatieve risicoanalyse voor de berekening van de interne scheidingsafstanden (paragraaf 4.1.5) en risicoafstanden (paragraaf 4.1.6) voor de uitbating van waterstoftankstations werden representatieve ongevalscenario's ontwikkeld uitgaande van generieke faalwijzen (=een mogelijke manier waarop een systeem kan falen) en faalfrequenties (= het verwachte aantal keren dat een component of systeem zal falen over een bepaalde periode), en potentiële vervolgscenario's voor verschillende componenten.

Faalwijzen en faalfrequenties:

Onderstaande Tabel 24 tot Tabel 29 geven de generieke faalwijzen en -frequenties uit het Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019) voor de componenten van het standaard waterstoftankstation zoals gehanteerd voor de berekening van de risicoafstanden (M-Tech, 2020). Voor de volledige uitwerking van de kwantitatieve risicoanalyse verwijzen we naar Hoofdstuk III.2 van de veiligheidsstudie van M-tech. Waar nodig, wordt onder de tabel een korte uitleg gegeven van de gebruikte terminologie.

Tabel 24: Generieke faalfrequenties voor ondergrondse en bovengrondse secties van een waterstoftansportleiding (M-Tech, 2020)

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
Bovengrondse leiding L: leidinglengte D: leidingdiameter	Breuk	$2{,}2\ 10^{-8}\ \frac{L}{D}$ /jaar
	Groot lek ($\varnothing_{lek}$ = 0,36 x $\varnothing_{leiding}$)	$5{,}0\ 10^{-8}\ \frac{L}{D}$ /jaar
	Middelgroot lek ($\varnothing_{lek}$ = 0,15 x $\varnothing_{leiding}$)	$1{,}2\ 10^{-7}\ \frac{L}{D}$ /jaar
	Klein lek ($\varnothing_{lek}$ = 0,1 x $\varnothing_{leiding}$)	$2{,}8\ 10^{-7}\ \frac{L}{D}$ /jaar
Ondergrondse leiding L: leidinglengte	Breuk	$2{,}8\ 10^{-8}$ L /jaar
	Gat ($\varnothing_{lek}$ = 0,5 x $\varnothing_{leiding}$)	$6{,}9\ 10^{-8}$ L /jaar
	Barst ($\varnothing_{lek}$ = 10 mm)	$7{,}9\ 10^{-8}$ L /jaar

Tabel 25: Generieke faalfrequenties voor opslagdruktanks, gasflessen en cilinders (M-Tech, 2020)

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
Vaste bovengrondse opslagdruktank	Breuk	3,2 10^{-7} /jaar
	Volledige uitstroom in 10 minuten	3,2 10^{-7} /jaar
	Groot lek ($\varnothing_{lek}$ = min(D_{max},D10)) (*)	1,1 10^{-6} /jaar
	Middelgroot lek ($\varnothing_{lek}$ = 25 mm)	1,0 10^{-5} /jaar
	Klein lek ($\varnothing_{lek}$ = 10 mm)	5,5 10^{-5} /jaar
Vaste ondergrondse opslagdruktank	Breuk	1,6 10^{-7} /jaar
	Volledige uitstroom in 10 minuten	1,6 10^{-7} /jaar
	Groot lek ($\varnothing_{lek}$ = min(D_{max},D10))	1,1 10^{-6} /jaar
	Middelgroot lek ($\varnothing_{lek}$ = 25 mm)	1,0 10^{-5} /jaar
	Klein lek ($\varnothing_{lek}$ = 10 mm)	5,5 10^{-5} /jaar
Cilinderbatterij N: aantal elementen	Breuk (**)	N x 1,1 10^{-6} /jaar
	Lek (afbreken van de grootste aansluiting)	N x 1,1 10^{-5} /jaar
Gasflessenbatterij N: aantal elementen	Breuk (**)	N x 1,1 10^{-6} /jaar
Tube-trailer of batterijvoertuig N: aantal elementen	Breuk (**)	N x 1,1 10^{-6} /jaar
	Lek (afbreken van de grootste aansluiting)	N x 1,1 10^{-5} /jaar

(*) D_{max} en D10 staan respectievelijk voor de diameter van de maximale aansluiting op de tank en de diameter die aanleiding geeftt tot een uitstroming van de volledige inhoud van de tank in een tijdspanne van 10 minuten.

(**) Wanneer verschillende gasflessen of cilinders worden aangewend in de vorm van een cilinder- of flessenbatterij, dient bij het instantaan falen van één element ook rekening gehouden te worden met het uitstromen van de inhoud van de andere elementen door een opening met een equivalente diameter gelijk aan de interne diameter van de verbindingsleidingen.

Momenteel zijn er nog geen faalfrequenties beschikbaar specifiek voor **waterstofslangen**. Voor de verlading van gevaarlijke stoffen met behulp van flexibele slangen zijn in het Handboek Risicoberekeningen (Departement Omgeving, 2019) twee sets van faalfrequenties opgenomen, nl. faalfrequenties voor **standaard slangen** en faalfrequenties voor **LPG-achtige slangen**.

Tabel 26: Generieke faalfrequenties voor flexibele los- en verdeelslangen (M-Tech, 2020)

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
standaard verlaadslang	Breuk	4,0 10^{-6} /gebruiksuur
	Lek ($\varnothing_{lek}$ = 0,1 x $\varnothing_{leiding}$)	4,0 10^{-5} /gebruiksuur
LPG-verlaadslang	Breuk	5,4 10^{-7} /gebruiksuur
	Lek ($\varnothing_{lek}$ = 0,1 x $\varnothing_{leiding}$)	5,4 10^{-6} /gebruiksuur

Flexibele losslang: Een slang die gebruikt wordt om waterstof te lossen op het station.

Flexibele verdeelslang: Een slang die verbonden is aan de dispenser en gebruikt wordt om een wagen te bevoorraden met waterstof.

Tabel 27: Generieke faalfrequenties voor koppelslangen (M-Tech, 2020)

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
standaard koppelslang L: slanglengte (5 m) D: slangdiameter X: # wisseloperaties (/jaar)	Breuk Lek ($\varnothing_{lek}$ = 0,1 x $\varnothing_{slang}$)	$\frac{(8760-X)}{8760} \cdot 7{,}2\ 10^{-8} \cdot \frac{L}{D} + x \cdot 4{,}0\ 10^{-6}$ /jaar $\frac{(8760-X)}{8760} \cdot 4{,}0\ 10^{-7} \cdot \frac{L}{D} + x \cdot 4{,}0\ 10^{-5}$ /jaar
LPG-koppelslang L: slanglengte (5 m) D: slangdiameter X: # wisseloperaties (/jaar)	Breuk Lek ($\varnothing_{lek}$ = 0,1 x $\varnothing_{leiding}$)	$\frac{(8760-X)}{8760} \cdot 7{,}2\ 10^{-8} \cdot \frac{L}{D} + x \cdot 5{,}4\ 10^{-7}$ /jaar $\frac{(8760-X)}{8760} \cdot 4{,}0\ 10^{-7} \cdot \frac{L}{D} + x \cdot 5{,}4\ 10^{-6}$ /jaar

<u>Koppelslang:</u> Een slang die gebruikt wordt om een tube-trailer of batterijvoertuig in verbinding te brengen met het vaste (stationaire) deel van het waterstoftankstation.

<u>Wisseloperatie:</u> Een aan- of afkoppeling van een los- of koppelslang.

Tabel 28: Generieke faalfrequenties voor compressoren (M-Tech, 2020)

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
compressor	Breuk (afbreken van de persleiding) Lek ($\varnothing_{lek}$ = 0,1 x $\varnothing_{persleiding}$)	$1{,}0.10^{-4}$ /jaar $4{,}4.10^{-3}$ /jaar

Tabel 29: Generieke faalfrequenties voor lokale productie-eenheden (M-Tech, 2020)

Component	Generieke faalwijzen	Generieke faalfrequenties
Elektrolyse-module	Instantane omvangrijke vrijzetting (≥ 200 g) Beperkte continue vrijzetting (< 20 g/s)	$3{,}5.10^{-5}$ /jaar $1{,}1.10^{-3}$ /jaar
Stoomreformer-module	Instantane omvangrijke vrijzetting (≥ 200 g) Beperkte continue vrijzetting (< 20 g/s)	$6{,}2.10^{-5}$ /jaar $2{,}1.10^{-2}$ /jaar

Overzicht vervolgscenario's:

Hieronder worden de vervolggebeurtenissen voor zowel instantane als continue vrijzettingen van gasvormig waterstof onder druk besproken. Een instantane vrijzetting omvat een catastrofaal scenario van een vaste druktank, cilinder of gasfles. Continue vrijzettingen houden verband met het optreden van lekken aan druktanks en cilinders of het falen van flexibele slangen, compressoren, leidingen of warmtewisselaars.

"Een catastrofale breuk van een drukhouder (druktank, gasfles of cilinder) waarin gasvormig waterstof onder druk wordt opgeslagen geeft aanleiding tot het optreden van een fysische explosie (zgn. druktankexplosie). Indien het catastrofaal begeven van de drukhouder gepaard gaat met een directe ontsteking van het vrijgezette gas ontstaat tevens een vuurbal. Wanneer het vrijgezette gas niet direct ontstoken wordt, kan dit zich in de omgeving verspreiden. Een uitgestelde ontsteking van de brandbare wolk die zich

vormt in de omgeving kan aanleiding geven tot het optreden van een wolkbrand of een gaswolkexplosie." (M tech, 2020)

Bij een continue vrijzetting van gasvormig waterstof onder hoge druk wordt een onderscheid gemaakt tussen **open- en besloten** ruimte:

- In een **open ruimte** geeft een continue vrijzetting met een directe ontsteking aanleiding tot het optreden van een **fakkelbrand**. Wanneer een directe ontsteking uitblijft, vormt zich een zeer turbulente jet in de omgeving. Een uitgestelde ontsteking van de jet of gaswolk leidt tot het optreden van een **wolkbrand** (flash fire) of een **gaswolkexplosie**.
- Bij een **continue vrijzetting** van waterstof in een besloten ruimte is enkel het scenario van een **ingesloten gaswolkexplosie** relevant voor het mensrisico. Bij een **fakkelbrand** in de ruimte zijn er buiten de ruimte immers geen relevante letale effecten te verwachten (M tech, 2020).

Onderstaande Tabel 30 geeft de scenario's weer die kunnen optreden wanneer een vrijzetting van waterstofgas niet kan worden vermeden.

Tabel 30: Gevolgscenario's bij een instantane of continue vrijzetting van waterstof

Toelichting	Instantane vrijzetting	Continue vrijzetting
Fenomenen die rechtstreeks gekoppeld zijn aan de vrijzetting	Fysische explosie	Niet van toepassing
Fenomenen die optreden na directe ontsteking	Vuurbal	Fakkelbrand
Fenomenen die optreden bij een vertraagde ontsteking van een brandbare wolk waarbij de vlammen versnellen tot voldoende hoge snelheden om een significante overdruk te produceren	Gaswolkexplosie	Gaswolkexplosie
Fenomenen die optreden bij een vertraagde ontsteking van een brandbare wolk waarin de vlamsnelheid onvoldoende is om een significante overdruk te produceren	Wolkbrand	Wolkbrand
Fenomenen die optreden bij het volledig uitblijven van ontsteking	-	-

Hieronder worden de gevolgscenario's kort toegelicht (Departement Omgeving, 2019):

- <u>Vuurbal:</u> Voldoende snel brandend vuur, zodat de brandende waterstofmassa opstijgt in de lucht als een wolk of bal.

- <u>Wolkbrand:</u> Brand ten gevolge van de ontsteking van een brandbare waterstof wolk waarin de vlamsnelheid onvoldoende is om een significante overdruk te produceren.

- <u>Fakkelbrand:</u> Verbranding van een waterstof mengsel dat met een significante stuwkracht uit een opening tevoorschijn komt.

- <u>Fysische explosie:</u> Explosie ten gevolge van het instantaan falen van een houder met een gas onder druk.

- <u>Gaswolkexplosie:</u> Explosie ten gevolge van de ontsteking van een brandbare wolk waarin de vlammen versnellen tot voldoende hoge snelheden om een significante overdruk te produceren.

3.2 Veiligheidsaspecten

De informatie m.b.t. veiligheidsaspecten in dit hoofdstuk 3 dient om een algemeen beeld te geven van mogelijke gebeurtenissen die niet tot het standaardproces bij de uitbating van waterstoftankstation behoren, en mogelijke (niet-limitatieve) gevolgen die hieraan gekoppeld kunnen worden.
In hoofdstuk 4 worden maatregelen (technieken) beschreven die deze faalscenario's kunnen voorkomen, de gevolgen ervan beperken, en dus resulteren in een verhoging van de externe veiligheid.
Een recente gebeurtenis in juni 2019 toont aan dat de veiligheidsmaatregelen van uitermate belang zijn voor waterstoftankstations. Zo heeft een explosie plaatsgevonden op een waterstoftankstation in Sandvika, Noorwegen. De oorzaak van het incident werd geïdentificeerd als een montagefout van een specifieke plug in een waterstoftank in de hogedruk opslagcontainer. Dit leidde tot een waterstoflek, waardoor een brandbaar mengsel is kunnen ontstaan en ontsteken. De specifieke ontstekingsbron wordt nog verder onderzocht (Electrive, 2019).
In paragraaf 3.2.1 worden de fysische en chemische stofeigenschappen van waterstof toegelicht, en daaropvolgend de link met het veiligheidsaspect.

Vervolgens worden in paragrafen 3.2.3 tot 3.2.10 de procesrisico's bij uitbating van een waterstoftankstation toegelicht. Voor de beschrijving/indeling hiervan baseren we ons op de generieke 'veiligheidsfuncties' zoals ontwikkeld door de FOD WASO. Deze worden toegelicht in paragraaf 3.2.2.

3.2.1 Stofeigenschappen van waterstof

3.2.2.1 Fysische eigenschappen en gevaren van waterstof

Een waterstof atoom (H) is het lichtste element, en vormt gemakkelijk H_2 moleculen (ook wel diwaterstof of moleculair waterstof genoemd), kleiner in grootte in vergelijking met de meeste andere moleculen. De moleculaire vorm van waterstof (H_2) is kleurloos, geurloos, en smaakloos en ongeveer 14 keer lichter dan lucht. Dit wil zeggen dat het sneller dan eender welk ander gas zal diffuseren.
Bij koeling (< -253°C), zal het H_2 gas condenseren naar een vloeistof, en bij -259°C naar een vaste stof. De fysische eigenschappen van waterstof zijn samengevat in Tabel 31.

Tabel 31: Fysische eigenschappen van waterstof (Singh, 2015)

Aggregatietoestand	Gasvormig
Kleur	Kleurloos
Dichtheid	8,988 x 10-5 g/cm3
Smeltpunt	-259,14°C
Kookpunt	-252,87°C
Zelfontbrandingstemperatuur	571°C
Oplosbaarheid in water	0,019 g/L
Onoplosbaar in	Water

3.2.2.2 Chemische eigenschappen van waterstof

Bij normale temperatuur is moleculaire waterstof niet reactief. Maar, het waterstof atoom is wel chemisch zeer reactief, vandaar dat atomair waterstof (H) niet chemisch vrij kan gevonden worden in de natuur. Heel hoge temperaturen (> 5000 K) zijn nodig om diwaterstof te dissociëren in atomair waterstof. In de natuur is waterstof meestal gebonden aan zuurstof of koolstofatomen. Om waterstof te verkrijgen uit natuurlijke componenten is dus een energie input nodig. Hierdoor wordt waterstof als een energiedrager gezien, een methode om energie te stockeren en over te dragen van een primaire energiebron.

Atomaire waterstof is een krachtige reducerende stof, zelfs bij kamertemperatuur. Bijvoorbeeld, het reageert met de oxides en chlorides van verschillende metalen, inclusief zilver, koper, lood, en kwik, om de vrije metalen te produceren. Ook worden zouten, zoals nitraten, door waterstof gereduceerd tot de metallische vorm.
Atomaire waterstof reageert hevig met oxidanten zoals stikstofoxide (NO) en halogenen (vooral fluoride en chloor) met intense exothermische warmte.
Wanneer waterstof met zuurstof reageert in een verbrandingsreactie of elektrochemische conversie voor energieproductie, is het resulterend reactieproduct waterdamp. Bij kamertemperatuur is deze reactie zeer traag, maar d.m.v. katalysatoren zoals platina of een elektrische vonk wordt dit versneld (Singh, 2015).

3.2.2.3 Eigenschappen gerelateerd aan de gevaren van waterstof

Vanuit het **veiligheidsoogpunt**, zijn volgende eigenschappen van waterstof de meest belangrijke in vergelijking met traditionele brandstoffen (Rigas & Sklavounos, 2009):

- *Molecuulgrootte*: Omdat het waterstofmolecuul het kleinst is, zal het door permeabele materialen heen lekken, waar methaan en benzine dat niet zullen doen.

- *Diffusie*: Waterstof verspreidt zich veel sneller door de lucht dan andere gasvormige brandstoffen. Met een diffusiecoefficient in lucht van 0,61 cm²/s, is de snelle dispersie van waterstof zijn grootste voordeel op vlak van veiligheid (m.a.w. het zal minder snel kunnen ophopen).

- *Drijfvermogen*: Waterstof zal sneller stijgen dan methaan (densiteit bij standaard condities van 1,32 kg/m²), propaan (4,23 kg/m²), of brandstofdamp (5,82 kg/m²)

- *Kleur, geur, smaak, en toxiciteit:* Waterstof is kleurloos, geurloos, smaakloos, en niet toxisch (vergelijkbaar met methaan). Aardgas is geodorizeerd zodat lekken kunnen worden gedetecteerd, terwijl benzine van nature een geur heeft. Waterstof als brandstof voor een brandstofcel mag niet geodoriseerd worden omdat zwavelhoudende stoffen (mercaptanen) de katalysatoren van een brandstofcel beschadigen.

  Ontvlambaarheid: De ontvlambaarheid van waterstof is functie van zijn concentratieniveau, en het ontvlambaarheidsgebied is veel groter dan dat van methaan of andere brandstoffen. Waterstof brandt met een slecht zichtbare vlam. De limieten van ontvlambaarheid van mengsels van waterstof met lucht, zuurstof, of andere oxidanten zijn afhankelijk van de ontstekingsenergie, temperatuur, druk, aanwezigheid van oplosmiddelen, en de afmetingen en configuratie van de installatie. Zulke mengsels kunnen verdund worden met de bestanddelen totdat de concentratie onder de lage ontvlambaarheidsgrens (Lower Flammability Limit

– LFL) of tot boven de hoge ontvlambaarheidsgrens (Upper Flammability Limit – UFL) komt. Het ontvlambaarheidsgebied van waterstof in lucht bij normale condities is 4-75% (in vergelijking voor methaan is dit 4,3-15 vol% en benzine in lucht 1,4-7,6 vol%).

- *Ontstekingsenergie*: Wanneer de concentratie zich binnen het ontvlambaarheidsgebied bevindt, kan waterstof ontbranden met een hele kleine hoeveelheid aan energie door zijn lage ontstekingsenergie van 0,02 mJ, vergeleken met 0,24 mJ voor benzine en 0,28 mJ voor methaan.

- *Detonatieniveau*: Waterstof is ontplofbaar in een breed concentratiegebied in besloten ruimtes. Maar, het is heel moeilijk ontplofbaar in open ruimtes (door zijn snelle diffusie), vergelijkbaar met andere conventionele brandstoffen.

- *Vlamsnelheid*: Waterstof heeft een grotere vlamsnelheid (1,85 m/s) in vergelijking met andere brandstoffen (benzinedamp 0,42 m/s; methaan 0,38 m/s)

- *Vlamtemperatuur*: De waterstof-lucht vlam is warmer dan de methaan-lucht vlam en kouder dan benzine bij stoichiometrische condities (2207°C in vergelijking met 1917°C voor methaan en 2307°C voor benzine).

- *Vlam zichtbaarheid*: In tegenstelling tot zichtbare methaan- en benzinebranden, verbrandt waterstof met een bijna onzichtbare vlam bij daglicht. Verontreinigingen in de lucht creëren echter wat zichtbaarheid. Waterstof branden zijn 's nachts zichtbaar en moderne detectieapparatuur kan ze zelfs bij daglicht detecteren (zie ook 4.2.10).

3.2.2 Studie van de procesveiligheid d.m.v. veiligheidsfuncties

De studie van de procesveiligheid is gebaseerd op de acht veiligheidsfuncties (VF), een methode ontwikkeld door de Afdeling van het toezicht op de chemische risico's van het FOD WASO (FOD Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg, 2011), dat bevoegd is voor de veiligheid van de werknemers in de Sevesobedrijven. Hoewel het in deze studie niet specifiek over Seveso-bedrijven gaat, vormt deze methode een goede leidraad om alle nodige maatregelen te beschrijven om zware (of lichte) ongevallen te voorkomen en om de gevolgen ervan voor mens en milieu te beperken.

Een zwaar ongeval wordt gedefinieerd als "een gebeurtenis, zoals een zware emissie, brand of explosie die het gevolg is van ongecontroleerde ontwikkelingen tijdens de exploitatie, die hetzij onmiddellijk, hetzij na verloop van tijd een ernstig gevaar oplevert voor de gezondheid van de mens binnen of buiten de inrichting of voor het milieu en waarbij één of meer gevaarlijke stoffen betrokken zijn".
De exploitant moet alle nodige maatregelen nemen om de veiligheid van mens en milieu te garanderen. Over het algemeen hebben de maatregelen als doel om:

1. zware emissies te voorkomen
2. branden en explosies te voorkomen
3. de gevolgen van zware emissies te beperken voor de mens en voor het milieu
4. de gevolgen van branden te beperken voor de mens en voor het milieu
5. de gevolgen van explosies te beperken voor de mens en voor het milieu.

De maatregelen die een bedrijf moet nemen om bovenstaande doelen te vervullen, worden afgeleid uit specifieke problematieken die kunnen optreden tijdens het uitvoeren van de activiteit. Ze zijn dus niet gebaseerd op één allesomvattende studie, maar

gebouwd op veiligheidsfuncties, die telkens overeenstemmen met één bepaalde manier om in te grijpen in de loop van een ongevallenscenario waarbij gevaarlijke stoffen of energie vrijkomen (FOD Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg, 2011):

VF1 beheersing van processtoringen;
VF2 beheersing van de degradatie van de omhullingen;
VF3 beperking van accidentele vrijzettingen;
VF4 beheersing van de verspreiding van stoffen en/of energie;
VF5 vermijden van ontstekingsbronnen;
VF6 bescherming tegen brand;
VF7 bescherming tegen explosies;
VF8 bescherming tegen blootstelling aan vrijgezette stoffen.

De acht veiligheidsfuncties zijn van toepassing voor een brede waaier aan processen, maar de gevaren van een specifiek proces of activiteit zijn natuurlijk afhankelijk van de stoffen en reacties in de installatie. De inherente gevaarlijke eigenschappen van stoffen en de fysische condities waarin ze aanwezig zijn in de installatie zijn immers bepalend voor de aard en de omvang van de schade die kan optreden wanneer ze worden vrijgezet. Daarnaast spelen stoffen en reacties een rol bij allerlei fenomenen die een ongewenste vrijzetting kunnen veroorzaken.

Stoffen kunnen een rol spelen in het veroorzaken van een vrijzetting. Een thermische ontbinding, een polymerisatiereactie of een interne explosie kunnen leiden tot hoge drukken en temperaturen.

De eigenschappen van de stoffen zijn verder bepalend voor de degraderende fenomenen die de omhullingen kunnen bedreigen, zoals allerlei vormen van corrosie en erosie. Eens vrijgezet uit de installatie, bepalen de eigenschappen van de stoffen de aard van de mogelijke gevolgen: brand, explosie, intoxicatie/verstikking, chemische brandwonden of schade aan het milieu.

De acht veiligheidsfuncties fungeren als een globale, rudimentaire checklist van te nemen maatregelen, wat de volledigheid van de procesveiligheidsstudie ten goede komt. Voor elke veiligheidsfunctie, zijn er meerdere maatregelen die genomen kunnen worden om deze functie te vervullen. In hoofdstuk 4 worden de kandidaat BBT gelinkt aan de veiligheidsfuncties. Vaak zal een maatregel (of techniek) betrekking hebben op meerdere VF, zoals in Hoofdstuk 4 zal worden aangegeven (Tabel 28 geeft de relatie weer tussen de kandidaat BBT-maatregelen en de veiligheidsfuncties).

Voor de beschrijving/indeling van de procesrisico's bij de uitbating van een waterstoftankstation in paragrafen 3.2.3 tot en met 3.2.10 baseren we ons op de veiligheidsfuncties uit de informatienota procesveiligheid van het FOD WASO (FOD Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg, 2011).

3.2.3 Processtoringen

Beschrijving: Tijdens de normale werking van een waterstoftankstation moeten de installatieonderdelen bestand zijn tegen alle interne en externe belastingen die er op inwerken, zoals de minimale en maximale operationele drukken en temperaturen, het gewicht van de normaal aanwezige stoffen, de hydrodynamische krachten, thermische spanningen, wind- en ijsbelastingen. Als gevolg van een processtoring (dit is elke afwijking van de normale, gewenste procesvoering) kan de belasting op de onderdelen groter worden dan het maximum bij normale werking (bijvoorbeeld een temperatuur >85°C of een afleverdruk van >875 bar bij een tanking op 700 bar). In tegenstelling tot de normale werking, is het niet vanzelfsprekend dat de installatieonderdelen bestand zijn

tegen de belasting bij abnormale werking. Processtoringen kunnen dus leiden tot schade aan de installatieonderdelen en tot ongewenste vrijzettingen.

Oorzaak: Oorzaken van processtoringen bij waterstofhoudende installatie-onderdelen kunnen defecte of slecht werkende apparatuur omvatten (bv. regelsystemen) of het gevolg zijn van een menselijke fout. Om processtoringen te beheersen, is het belangrijk om de procesparameters (vnl. druk, temperatuur, debieten, en concentraties) binnen het zogenaamde **operationele venster** te houden.
Naast de procesparameters wordt de normale procesvoering ook gekenmerkt door de volgorde waarin bepaalde operaties gebeuren zoals de juiste aansluiting maken bij het laden en lossen, de kleppen correct positioneren, …. Dit zijn de zogenaamde **discrete gegevens.**

Gevolg: Als gevolg van een processtoring, kan de belasting op de onderdelen buiten het operationele venster komen, en is het niet vanzelfsprekend dat de installatieonderdelen bestand zijn tegen deze belasting, met schade aan de installatieonderdelen tot gevolg en mogelijke ongewenste vrijzettingen.

3.2.4 Degradatie van omhullingen

Beschrijving: Met de term "omhulling" verwijzen we naar de wanden van de procesapparaten en leidingen die de stoffen scheiden van de omgeving. De omhullingen hebben als taak het ingesloten houden van de stoffen en energie. Deze moeten ontworpen en onderhouden zijn om weerstand te bieden aan alle invloeden die bij normale werking op hen worden uitgeoefend. Dit kunnen interne factoren zijn zoals de minimale en maximale operationele drukken en temperaturen, of externe factoren zoals bijvoorbeeld wind- en ijsbelastingen.

De weerstand en sterkte van een omhulling worden in de eerste plaats gegarandeerd door een correct ontwerp en constructie. Echter kan met de tijd de omhulling kwetsbaar worden door allerlei degraderende fenomenen, en kan er toch een vrijzetting optreden (ook al bevindt het proces zich binnen zijn 'normale' omstandigheden binnen zijn operationeel venster).

Voor waterstofhoudende installatie-onderdelen worden de fenomenen van corrosie, aantasting door waterstof, en materiaalmoeheid als belangrijkste risico's m.b.t. degradatie van omhullingen weerhouden en hieronder toegelicht.
Binnen het kader van de invloed van waterstof op diverse materialen wordt er onderscheid gemaakt tussen inwendige degradatie van **kunststoffen** en **metalen**, dit omdat beide materiaalgroepen verschillende degradatiemechanismen hebben en beide op andere manieren met waterstof reageren. Daarnaast kan **uitwendige corrosie** ook steeds een risico vormen.

Invloed op kunststoffen: De belangrijkste kunststoffen die toegepast worden in waterstoftankstations zijn PE (Polyethyleen), PVC (Polyvinyl Chloride, zowel hard als slagvast), rubbers NBR (Nitrile Rubber) en SBR (Styrene-Butadiene Rubber, of synthetisch rubber) en POM (Polyoxymethyleen) kunststof. Buiten leidingmateriaal, betreft het hier ook afdichtingen in verbindingen en afsluiters, en onderdelen van drukregelaars en gasmeters.
Kunststoffen kunnen chemisch reageren met waterstof, of afwijkende fysische eigenschappen krijgen door absorptie of zwelling. De gevoeligheid van het materiaal wordt beïnvloed door factoren zoals druk, temperatuur, tijdsduur, en gassamenstelling. Verschillende studies hebben levensduurvoorspellingen bepaald aan de hand van testen (Hermkens, 2018). De conclusies van deze experimenten worden hieronder kort toegelicht:

- Voor PE is er tot 10 jaar geen degradatie vastgesteld (wordt verwacht dat op lange termijn ook geen degradatie zal voorkomen)
- Voor PVC is er maar 4 jaar getest, zonder waargenomen degradatie.
- Voor NBR en SBR is er op korte termijn geen invloed van waterstof op de materiaaleigenschappen vastgesteld
- Voor kunstof POM is er gedurende het 2 jaar durende onderzoek geen degradatie vastgesteld. Verder onderzoek moet uitsluitsel brengen over het gedrag op lange termijn.

Invloed op metalen: De kwaliteit van metalen kan achteruit gaan door de interactie met waterstof. Verandering in treksterkte, metaalmoeheid, en het optreden van waterstofverbrossing zijn enkele kritische faalmechanismen.
Verschillende studies (Hermkens, 2018) hebben echter uitgewezen dat voor diverse koolstofstaalsoorten[30] die in waterstoftankstations gebruikt worden, er geen waterstofverbrossing zal optreden indien waterstof onder normale temperatuur (< 70°C) wordt gehouden. Enkel indien er water in de leiding staat (geen standaard proces situatie), kan dit onder ongunstige omstandigheden tot waterstofverbrossing leiden. In deze situatie is de kans echter groter dat er gewone corrosie optreedt.
De trekeigenschappen van de toegepaste staalsoorten worden niet sterk beïnvloed door waterstof. Brosheid (= de eigenschap om te breken zonder veel te rekken) en flexibiliteit van de materialen zullen afnemen, maar blijven nog ruim voldoende. Bij een lage concentratie zuurstof in waterstof (grootteorde enkele honderden ppm_v) is de vermoeiing van staal gelijkaardig aan die in aardgas. De invloed van waterstof op gietijzer is gelijkaardig met die van waterstof op staal. Voor de vaak toegepaste roestvaststaalsoorten wordt gemeld dat deze onder normale procescondities tegen waterstof bestand zijn (Hermkens, 2018).

Uitwendige corrosie: Waterstof opslagtanks kunnen ook in de loop van tijd corroderen door blootstelling aan de omgeving (grond en chemicaliën, inclusief water) en galvanische corrosie.

Oorzaak: Een toestand die aanleiding geeft tot het optreden van degradatie, onder volgende vormen: afname van de wanddikte, putvorming, scheuren, blaren, vervormingen, enz.
Gevolg: Een ongewenste vrijzetting.

3.2.5 Accidentele vrijzettingen

Beschrijving: Bij het falen van een waterstofhoudend installatie-onderdeel (bvb. druktank, cilinder, gasfles, verlaadinstallatie, leidingen, enz.), kunnen twee soorten vrijzettingen plaatsvinden: 1) continue vrijzetting of 2) instantane vrijzetting. Bij een **continue vrijzetting** zal de lekopening eerder beperkt zijn en zal de inhoud vrijkomen gedurende een relatief lange tijd (tenzij men maatregelen neemt om het lek te beperken). Hierbij wordt de vrijgezette hoeveelheid bepaald door het **lekdebiet** en de **duur** van het lek voor er wordt ingegrepen. Bij een **instantane vrijzetting** komt de inhoud van het betrokken installatieonderdeel plotseling (of binnen een korte tijdsspanne) vrij. De omvang van een instantane vrijzetting wordt in grote mate bepaald door de druk en de aanwezige hoeveelheid waterstof in het installatie-onderdeel.

[30] Toegepaste staalsoorten zijn bijvoorbeeld St 37/ 235, ASTM A106 gr. B, API 5L gr. B en roestvaststaal AISI 316 L en 316 TI [27] [43]. Het ASTM A106 gr (Hermkens, 2018)

Oorzaak: Een accidentele vrijzetting kan veroorzaakt worden door processtoringen, een menselijke fout, een degradatie van de omhulling n.a.v. een naburige brand of explosie, enz.

Gevolg: Gasvormig waterstof komt in de omgeving vrij. De specifieke gevolgen zijn sterk afhankelijk van verschillende omgevingsfactoren, en worden beschreven in paragraaf 3.1.1.

3.2.6 De verspreiding van waterstof en/of energie

Beschrijving: Eens vrijgezet, zal waterstof zich verspreiden in de omgeving. De manier waarop het zal verspreiden, is afhankelijk van een groot aantal factoren zoals:

- de inherente eigenschappen waterstof (zie ook paragraaf 3.2.1)
- de vrijgezette hoeveelheden in functie van de tijd
- de weersomstandigheden (temperatuur, wind, …)
- de omgeving waarin de stoffen worden vrijgezet (bv. ventilatiecondities).

Verspreiding kan een gunstig (bv. een explosief waterstofgasmengsel kan door verdunning onder de explosielimiet vallen waardoor het niet meer explosief is) of ongunstig (bv. een waterstof gasmengsel dat te geconcentreerd is, kan door verdunning binnen de grenzen van de explosielimieten vallen) effect hebben afhankelijk van de aard en omstandigheden.

Oorzaak: De verspreiding van waterstof wordt veroorzaakt door een vrijzetting van waterstof, continu of instantaan.

Gevolg: Vanwege de lage dichtheid zal gasvormig waterstof stijgen en ophopen bovenaan een afgesloten ruimte. Daarna zal waterstof, net als elk ander gas, de neiging hebben zijn concentratie te homogeniseren binnen de behuizing door moleculaire diffusie. De tijdsduur waarop dit zal gebeuren kan sterk verschillen. Aanvankelijk en nabij het lekpunt, zal waterstof snel getransporteerd worden door de aanwezigheid van opwaarts gedomineerd stromingsregime (hoog drijfvermogen).

3.2.7 Ontstekingsbronnen

Beschrijving : Een wolk van waterstofgas en lucht, waarvan de concentratie binnen het explosief gebied ligt, kan ontstoken worden door een ontstekingsbron die de nodige minimale ontstekingsenergie levert. Zoals reeds vermeld in paragraaf 3.2.1 heeft een waterstof gasmengsel een zeer lage minimale ontstekingsenergie, waardoor het gasmengsel snel kan ontsteken.

Oorzaak: Mogelijke ontstekingsbronnen die van belang zijn voor waterstofhoudende installatie-onderdelen zijn open vuren, elektrische apparatuur of verwarmingsapparatuur. De aanwezigheid van laadpalen/laadstations voor FCEV (fuel cell electric vehicles) vormen een verhoogd risico voor elektrische ontlading. Extra aandacht is daarom aangewezen voor multifuel stations met elektrische laadpalen én waterstof aflevering. De potentiële ontstekingsbronnen gerangschikt volgens frequentie van voorkomen zijn als volgt (gerangschikt van hoog naar laag): open vlammen, heet werk, elektrisch (kortsluiting, vonken en bogen), hete oppervlakken, rokend personeel, wrijving, spontane ontsteking, zelfontbranding, hete deeltjes, statische ontlading, andere (bijvoorbeeld bliksem) (Rigas & Sklavounos, 2009).

Gevolg: Brand of explosie (wanneer de overige twee condities, m.n. brandstof en oxidans, ook aanwezig zijn)

3.2.8 Brand(schade)

Beschrijving: Een brand is een warmteontwikkeling die optreedt als een brandbare stof een oxidatiereactie ondergaat bij hoge temperatuur.

Oorzaak: Bij de uitbating van waterstoftankstations zijn de eerder vermelde vervolgscenario's (zie paragraaf 3.1.9) relevant, m.n. een **vuurbal**, **wolkbrand** en een **fakkelbrand** die in de QRA worden bestudeerd. Daarnaast moet ook rekening gehouden worden met plafondlage brand[31]. Wanneer een traag lek accumuleert onder de plafondlaag aan een concentratie en diepte die bij ontsteking kan branden zonder voldoende overdruk te produceren en de behuizing te beschadigen, ontstaat er een **plafondlage brand**. Zuurstof uitputting voorkomt dat alle waterstof verbrandt totdat iemand de behuizingsdeur opent en een 'backdraft[32]' creëert die een persoon in de nabijheid van de deur ernstig kan verwonden.

Het blussen van een waterstofbrand:
Het blussen van vlammen treedt op wanneer de warmteverliezen van de vlammen vergelijkbaar zijn met de warmte die door verbranding wordt gegenereerd, waardoor de chemische reacties niet kunnen worden volgehouden. Waterstofvlammen zijn moeilijk te blussen, omdat deze aangewakkerd worden door zware waterstralen als gevolg van geïnduceerde turbulentie en het vermogen van het mengsel om rond de druppeltjes te branden. Hierdoor is de 'blusafstand' voor een waterstofbrand zeer laag en is het dus aangeraden om een waterstofbrand niet te blussen, maar de toevoer af te sluiten en de brand te laten opbranden.

Gevolg: Brand kan schade aanrichten aan mensen, installatie-onderdelen, draagstructuren, en kan leiden tot een verdere escalatie van de noodsituatie (domino-effecten).

3.2.9 Explosie(schade)

Beschrijving: De term "**explosie**" wordt gedefinieerd als een "snelle energievrijgave en drukstijging" en kan voorkomen in zowel reactieve als niet-reactieve systemen. Het falen van een gasvat onder druk, is een typisch voorbeeld van een niet-reactieve explosie. Daarnaast zijn er twee types van explosiegolven: **deflagratie** en **detonatie**. We zullen deze hier niet in detail verder beschrijven, maar men moet wel onthouden dat detonaties zich duizend keer sneller verplaatsen dan deflagraties, met resulterende drukken die 15-20 keer groter zijn. Detonaties hebben dus een groter potentieel om schade aan te richten dan deflagraties.

Oorzaak: Als de concentratie zich in het ontvlambare bereik bevindt en een ontstekingsbron vindt, kan de explosie de behuizing en de inhoud ervan en aangrenzende structuren beschadigen. Voor gasvormige mengsels die in de open lucht ontbranden ontstaat er een ***unconfined vapor cloud explosion*** *(UVCE)*, terwijl het in besloten

[31] Een plafondlage brand wordt niet gebruikt in de Vlaamse QRA tbv externe veiligheid

[32] Een backdraft is een fenomeen waarbij een brand die alle beschikbare zuurstof heeft verbruikt plotseling explodeert door de plotse herintroductie van zuurstof, meestal bij het openen van een deur of een raam. Backdrafts vormen een ernstig risico voor brandweerlieden.

ruimtes gaat over een ***confined vapor cloud explosion*** *(CVCE).* Voor waterstof zijn de eerder vermelde vervolgscenario's (zie paragraaf 3.1.9) relevant, m.n. een **fysische explosie** en een **gaswolkexplosie** die in de QRA worden bestudeerd.

Gevolg: Beschadiging van onderdelen en gebouwen of de eventuele gevolgen daarvan.

3.2.10 Blootstelling aan vrijgezette stoffen

Beschrijving: Rechtstreekse blootstelling aan waterstof op zich houden weinig risico's in. Blootstelling aan een brand en de impact van drukgolven en projectielen n.a.v. een ontstoken waterstof gasmengsel kan wel schade berokkenen aan de mens.

Oorzaak: Een vrijzetting van gevaarlijke stoffen

Gevolgen: Personen die aanwezig zijn tijdens vrijzettingen, branden of explosies van waterstofmengsels met lucht kunnen verschillende soorten gevolgen ondervinden. De mogelijke gevolgen van waterstoflekken in de behuizing zijn de volgende.

- *Brandwonden:* **Thermische brandwonden** zijn het gevolg van de stralingswarmte die wordt uitgestraald door een waterstofbrand en wordt geabsorbeerd door een persoon. De ernst is recht evenredig met vele factoren, waaronder blootstellingstijd, brandsnelheid, verbrandingswarmte, grootte van het brandende oppervlak en atmosferische omstandigheden (hoofdzakelijk wind en luchtvochtigheid). Zo kan bijvoorbeeld een thermische stralingsfluxbelichtingsniveau van 0,95 W/cm^2 huidverbrandingen veroorzaken in 30s. Bij onderhoudsinterventies vormen **cryogene brandwonden** ook een risico. Deze kunnen het gevolg zijn van contact met koude vloeistoffen of koude tankoppervlakken, voornamelijk stikstofhoudende componenten die gebruikt worden bij onderhoud van de installaties.

- *Explosieschade:* Schokgolven van explosies kunnen **overdrukletsels** veroorzaken als gevolg van een combinatie van overdruk en duur op een bepaalde afstand. Bijvoorbeeld, de drempel van **longruptuur** kan een overdruk hebben van 70 kPa (0,7 atm) gedurende 50 ms, of 140-210 kPa (1,4-2,0 atm) overdruk gedurende 3 ms. Schade aan personen door een ontploffing komt vaak door **projectielvorming**. De effecten van overdruk zijn het meest uitgesproken voor personen die zich binnenhuis achter glas bevinden. Aangezien de versplintering van glazen ruiten te verwachten is vanaf een invallende overdruk van 40 mbar, wordt deze waarde ook aanzien als een kritische grenswaarde voor het optreden van schade (letsels) aan personen in de omgeving van de waterstofinstallatie.

- *Verstikking:* Wanneer waterstof lekt in de behuizing, kan de concentratie aan waterstof de zuurstof in de lucht verdringen. Een persoon die binnen de omheining werkt kan het bewustzijn verliezen wanneer de zuurstofconcentratie onder een bepaald niveau bereikt (< 19,5% op volume basis).

3.3 Milieuaspecten

In paragraaf 3.3 worden de milieuaspecten van een waterstoftankstation toegelicht. Deze aspecten zijn afhankelijk van de uitvoeringswijze; meer bepaald is er een verschil tussen de tankstations met on-site en off-site productie van waterstof, dit omdat de off-site productie buiten de scope van de studie valt. Dat wil zeggen dat voor een station zonder on-site waterstofproductie het energieverbruik bijvoorbeeld lager is. Hier tegenover geldt wel dat er rekening gehouden moet worden met de energie- en milieu-aspecten van de

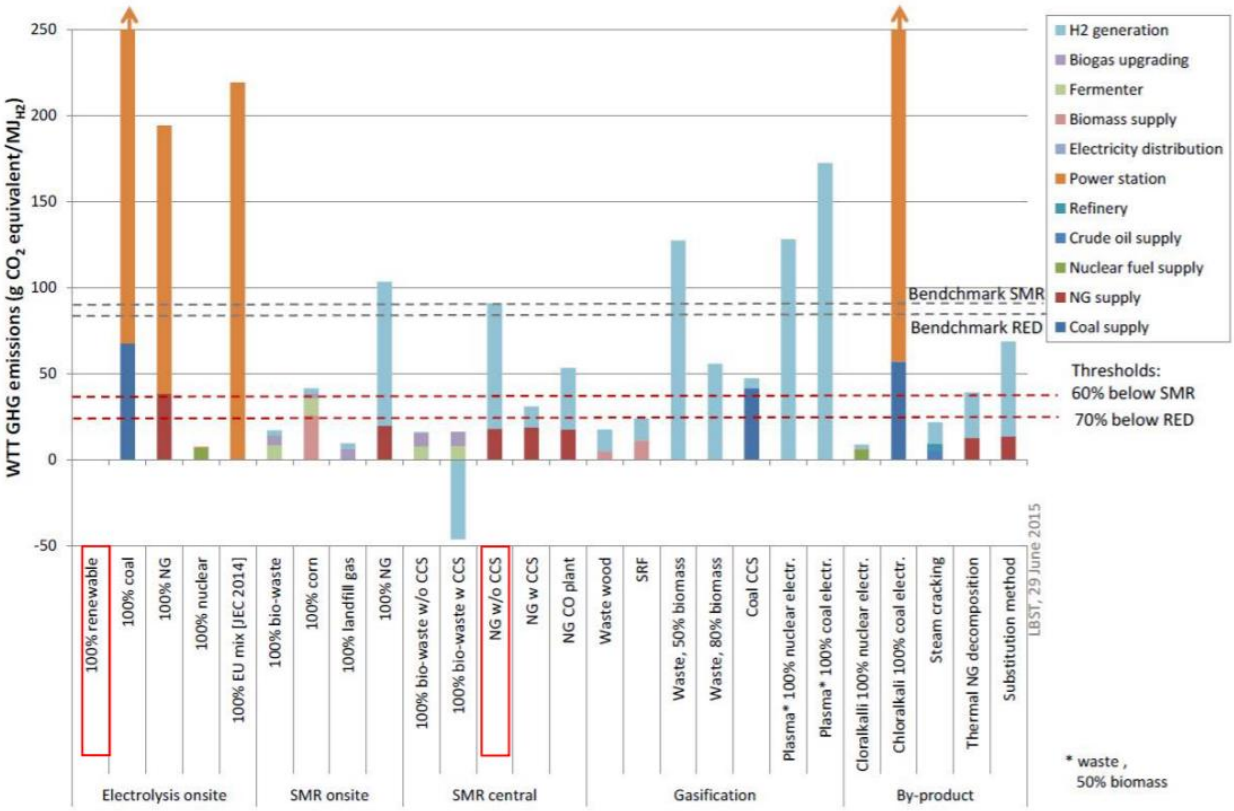
waterstofproductie off-site en van het transport van waterstof naar het tankstation. Deze studie heeft niet als doel de verschillende productiemethoden van waterstof onderling te gaan vergelijken en hier aanbevelingen rond te maken. Het is echter wel belangrijk dat bedrijven een milieubewuste keuze maken bij het ontwerpen van een waterstoftankstation. Een Life Cycle Assessment (LCA) benadering is hier een goede manier om de milieu-impact van de verschillende aanlevermethodes naast elkaar te leggen, en wordt toegelicht in paragraaf 3.3.1. In de overige paragrafen 3.3.2 – 3.3.9 worden de milieuaspecten (energie, water, emissies naar lucht en water, hinder, …) die verbonden zijn aan de exploitatie van een waterstoftankstations beschreven.

3.3.1 Milieu-impact van de verschillende productiemethodes

Waterstof is maar zo duurzaam als zijn productiemethode. Naast de specifieke uitstoten naar de omgeving (beschreven in titels 3.3.2 tot 3.3.9), geeft een levenscyclusanalyse een goed beeld van de globale impact van waterstofproductie op het milieu.
Volgens een studie van Notter et al. (2013) (Notter, Kouravelou, Karachalios, Daletou Maria, & Haberland, 2013) is het rijden op 'grijze' waterstof (=waterstof geproduceerd uit EU-elektriciteitsmix van het net[33]) zelfs minder ecologisch dan rijden op diesel of benzine.

Bovendien is het van belang om onderscheid te maken tussen verschillende soorten waterstof, afhankelijk van de bijhorende broeikasgasemissies in het productieproces en het hernieuwbare karakter. Het EU CertifHy-project heeft dit onderwerp geanalyseerd en biedt informatie over de uitstoot van broeikasgassen voor een waaier van productieprocessen in Figuur 24.

[33] De EU-elektriciteitsmix (EU-mix) bestaat uit ca. 29% hernieuwbare bronnen, 27,5% kernenergie, 25% vaste brandstoffen, en 15% gas (European Environment Agency, 2016)



Figuur 24: Broeikasgasemissies van verschillende waterstofproductie methoden (Castro, et al., 2015)

Het benchmarkproces is SMR zonder Carbon Capture and Storage (CCS) waarvoor 91 g CO_2 wordt uitgestoten voor elke MJ waterstof. Ter vergelijking, waterstof geproduceerd met een elektrolyse-unit met 100% hernieuwbare energie heeft geen broeikasgasemissies die samenhangt met haar productie. Voor een gedetailleerde analyse refereren we naar de P2G roadmap for Flanders (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016).

3.3.2 Energiegebruik

Het energiegebruik van een waterstoftankstation is direct afhankelijk van het aantal voertuigen dat waterstof komt afnemen. Ook is het afhankelijk van het uitvoeringstype, met **on-site** of **off-site** waterstofproductie. Hieronder staan de grootste verbruikers vermeld:

<u>On-site productie:</u>

- <u>Elektrolyzer:</u> Bij de on-site waterstofproductie via elektrolyse, gebruikt de elektrolyzer elektriciteit om watermoleculen te splitsen. Het energiegebruik varieert tussen 4,41 kWh/Nm³ H_2 - 6,47 kWh/Nm³ H_2 (omgerekend 48,9 – 71,7 kWh/kg H_2) afhankelijk van de efficiëntie van de installatie (M., H., M., & M., 2015). Het energieverbruik van de alkaline elektrolyzer kan lichtjes hoger zijn tov PEM, voornamelijk bij lage volumes omdat de alkaline telkens opnieuw moet opwarmen.

- Stoomreforming van aardgas: Hier zijn de belangrijke inputs aardgas, elektriciteit, en water. Het energiegebruik wordt geschat op 165 MJ aardgas / kg H_2 en een kleine hoeveelheid elektriciteit van zo'n 1,95 kWh/kg H_2. (HyGear, 2019)

Overige processen

- Compressor: Een waterstof compressor verbruikt doorgaans 0,2-0,5 kWh/Nm³ H_2 (of 2,19-5,48 kWh/kg H_2), afhankelijk van de gewenste einddruk (P2G roadmap, 2016).

- Koeling: De energie nodig om waterstof te koelen is sterk afhankelijk van de capaciteit van het station, maar benadert gemiddeld 0,3 kWh/kg H_2 voor een eindtemperatuur van -40°C (Elgowainy, Reddi, Lee, Rustagi, & Gupta, 2017).

- Verdeelzuil: Het energiegebruik van de verdeelzuil is verwaarloosbaar.

- Overige: Daarnaast is ook energie nodig voor o.a. verwarming en verlichting van de betaalruimte, kassa of shop, de (nachtelijke) verlichting van het tankstation en de lichtreclame.

Het **totale energieverbruik** voor een tankstation met **off-site waterstofproductie,** wordt geschat op **480 MWh/jaar** voor zo'n 50 tankingen per dag (cijfers afkomstig van tankstation Zaventem) (Dienst Leefmilieu Vlaams Brabant, 2015).

3.3.3 Waterverbruik

On-site productie:

Water is één van de inputs nodig om waterstof te produceren

- Alkalische elektrolyse: Een alkalische elektrolyse verbruikt zo'n 1,3 L/Nm³ H_2 (omgerekend 14,25 L/kg H_2) (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016).

- PEM elektrolyse: Het waterverbruik wordt geschat op 1,3 L/Nm³ H_2 (omgerekend 14,25 L/kg H_2) (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016).

- Stoomreforming van aardgas: Voor deze methode is er naar schatting 2,1 L/Nm^3 H_2 nodig (omgerekend 23 L water per 1 kg geproduceerde waterstof) (HyGear, 2019).

Overige processen:

Wanneer waterstof off-site wordt geproduceerd, is er geen waterverbruik.

3.3.4 Grond- en hulpstoffen gebruik

De exploitatie van een waterstoftankstation gaat niet gepaard met een significant gebruik van grondstoffen. Er worden ook slechts beperkte hoeveelheden hulpstoffen gebruikt, zoals bv. stikstof voor het schoonspoelen van de apparatuur.

3.3.5 Afvalstoffen

De afvalstoffen die vrijkomen ten gevolge van de uitbating van de installatie zijn beperkt, aangezien het waterstoftankstation zelf geen afval produceert. Maar klanten kunnen wel huishoudelijke afval in vuilnisbakken op het station achterlaten. Dit type afval wordt opgehaald door de plaatselijke openbare reinigingsdiensten of door een erkend ophaler.

3.3.6 Emissies naar water

On-site productie:

- Alkalische elektrolyse: Bij het on-site produceren van waterstof via alkaline elektrolyse is er een beperkte afvalwaterstroom van het alkaline medium. De meeste alkalische elektrolyse units hebben standaard een recirculatie van het elektroliet geïntegreerd in de module (aanwezig bij Hydrogenics en Nel Hydrogen). Dit water heeft nagenoeg dezelfde kwaliteit als het water uit het waterleidingnet, maar heeft alleen een iets hogere pH (pH ca. 8). In het afvalwater zitten enkele druppels elektroliet opgelost.

Indien het elektroliet gerecupereerd wordt tijdens het proces, dan dient enkel het concentraat van de deminwaterproductie afgevoerd te worden (dit is heel proper water).

- PEM elektrolyse: geen gegevens bekend

- Stoomreforming van aardgas: Waterstofproductie door stoomreforming genereert een aantal vloeibare afvalstromen in zeer kleine hoeveelheden.
  Volgende soorten vloeibare effluenten kunnen gegenereerd worden bij SMR:
  - Afvalwater uit de productie-enheid voor gedemineraliseerd water
  - Uitloging van boiler- en andere procescondensaten
  - Spui van koelwater
  - Procescondensaten uit synthesegaskoeling
  - Olieachtig water uit basisplaten van pompen en machines (BREF Raffinaderijen, 2014)

Overige processen:

Indien geen waterstof on-site wordt geproduceerd zijn er geen relevante emissies naar water.

3.3.7 Emissies naar lucht

Bij de exploitatie van een waterstoftankstation kunnen twee gassen, zijnde **waterstofgas** en **stikstofgas,** potentieel in de atmosfeer terechtkomen. Bij normale werking van een waterstoftankstation komt waterstof enkel vrij in zeer kleine hoeveelheden, bijvoorbeeld bij het afkoppelen van de brandstofverdeelslang waar een kleine hoeveelheid achtergebleven gas tussen de koppelingen aanwezig is. Bij falen van de installaties kunnen grotere hoeveelheden waterstof accidenteel in de omgeving terechtkomen, maar dit houdt vooral een veiligheidsrisico in (bij ontsteking) en minder een milieurisico, aangezien waterstof op zich niet milieuschadelijk is. Een brand of explosie ten gevolge van een emissie naar lucht na onsteking heeft natuurlijk wel milieugevolgen (en emissies als de installatie zelf ook gaat branden).
Dit waterstofgas kan omwille van de veiligheid en technische beperkingen niet via een damprecuperatiesysteem geretourneerd worden. Aangezien waterstofgas niet giftig is, geen broeikasgas is, noch ozonafbrekend, vormt dit geen probleem naar het milieu en

omgeving. De hoeveelheid gas is ook zo klein dat er geen brand- of explosierisico is (Gemeente Helmond, 2012).

Bijkomstig worden er bij het aanleveren van waterstof via een tube-trailer ook uitlaatgassen uitgestoten op het moment dat de trailer waterstof komt leveren. Indien in de toekomst een FCEV- of BEV trailer waterstof komt leveren, dan worden er geen uitlaatgassen uitgestoten.

3.3.8 Geur

Waterstof is een geurloos gas. Bij de normale procesvoering is er geen geurhinder.

3.3.9 Geluid

On-site productie:

Specifieke meetgegevens zijn beschikbaar van het waterstoftankstation van Helmond, waar waterstof d.m.v. elektrolyse on-site wordt geproduceerd. Deze inrichting bestaat uit 2 containers: de eerste container produceert waterstof, terwijl in de tweede container het waterstof comprimeerd en gekoeld wordt. De productie van waterstof in container 1 genereert een geluid van 86,6 dB(A) op 3 meter afstand en 76,2 dB(A) op 10 meter afstand. Deze waarden kunnen worden beschouwd als piekwaarden aangezien dit geluid met name wordt geproduceerd door de koeler, dewelke alleen in de zomer actief is. De koeler is ook de enige component die geluid produceert in deze eerste container. Deze waarden zijn exacte waarden zoals gemeten op de site in Helmond, en kunnen uiteraard (lichtjes) afwijken voor andere waterstoftankstations.

Overige processen:

Voor het waterstoftankstation van Helmond zijn ook meetgegevens beschikbaar voor container 2, waar het waterstof wordt gecomprimeerd en gekoeld.
De drie componenten die geluid produceren zijn
1) de waterstofcompressor;
2) de koeler van de waterstofcompressor; en
3) koeler van de verdeelzuil.

- De waterstofcompressor: Deze bevindt zich binnenin de tweede container en produceert in de open ruimte 81 dB(A) op 1 meter afstand. Veel van dit geluid zal echter door de behuizing worden geabsorbeerd.
- De koeler van de waterstofcompressor: Deze is op de container bevestigd en zal geluid naar de omgeving produceren. De sterkte hiervan is 47 dB(A) op 10 meter afstand (vrije veld).
- De koeler van de verdeelzuil: Deze is aan de container bevestigd en zal geluid naar de omgeving produceren. De sterkte hiervan is 47 dB(A) op 10 meter afstand.

Het geluid dat continue wordt geproduceerd tijdens het operationeel zijn van de inrichting is **47 dB(A)** op 10 meter. Daarnaast zal de tankslangontluchting een tijdelijk verhoogd geluidsniveau geven. In de zomer is er sprake van een verhoging van het geluidsniveau door de koeler van de eerste container: **76,2 dB(A)** op 10 meter. (Gemeente Helmond, 2012). Deze waarden zijn exacte waarden zoals gemeten op de site in Helmond, en kunnen uiteraard (lichtjes) afwijken voor andere waterstoftankstations.

Andere geluidsbronnen zijn:

- Voertuigen: Het geluid van voertuigen die komen tanken kan een bron van hinder voor de buren zijn. Echter zijn waterstofvoertuigen stiller (5-10 dB bij lage snelheden tot 20 km/h) dan voertuigen met een verbrandingsmotor, dus is deze hinder eerder beperkt (Iversen, 2015).

- Tube-trailers: Bij waterstoftankstations waar waterstof wordt geleverd door een niet-elektrisch aangedreven trekker, kan dit wel voor hinder zorgen gedurende de aflevering.

Op dit moment zijn er geen klachten ontvangen van omwonenden over eventuele geluidshinder. Bij een nieuw te vergunnen installatie werd recent wel een geluidsstudie opgelegd.

HOOFDSTUK 4 BESCHIKBARE MILIEUVRIENDELIJKE EN VEILIGHEIDSBORGENDE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk lichten we de verschillende technieken/maatregelen toe die bij waterstoftankstations getroffen kunnen worden om een antwoord te bieden op de in hoofdstuk 3 vermelde relevante milieu- en veiligheidsaspecten.

Dit hoofdstuk beschrijft maatregelen om de veiligheid te borgen, en milieubelasting te voorkomen of te beperken.

De **technieken** om het niveau van **veiligheid** te verhogen en om het milieu te beschermen, zijn mee in dit hoofdstuk verweven.

De **milieuvriendelijke technieken** worden besproken volgens de voor deze sector relevante **milieudisciplines**: water, energie en geluid.

De informatie in dit hoofdstuk vormt de basis waarop in Hoofdstuk 5 de BBT-evaluatie zal gebeuren. Het is dus niet de bedoeling om reeds in dit Hoofdstuk 4 een uitspraak te doen over het al dan niet BBT zijn van bepaalde technieken. Het feit dat een techniek in dit hoofdstuk besproken wordt, betekent m.a.w. niet per definitie dat deze techniek BBT is.

Alle (kandidaat-)BBT zijn gericht op normale omstandigheden en het voorkomen van abnormale omstandigheden, en om schade, indien abnormale toestanden daartoe zouden leiden, te voorkomen of te beperken.

Het uiteindelijke doel van de in dit hoofdstuk beschreven maatregelen is steeds om een hoger niveau van milieubescherming of veilige bedrijfsvoering te realiseren.

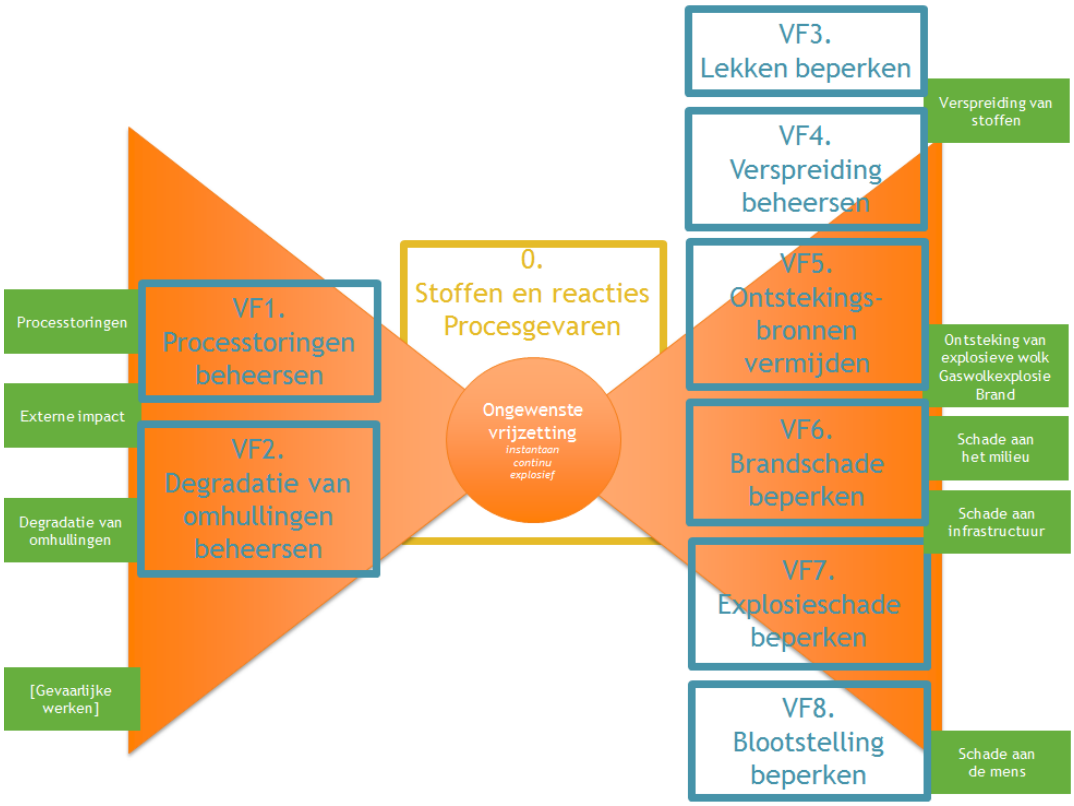
Voor sommige maatregelen zijn reeds bepalingen opgenomen in Vlarem (bv. bij de maatregel "lekdetectie" bestaat er reeds een VLAREM-bijlage m.b.t. "permanente lekdetectie"), maar zijn in dit hoofdstuk opnieuw belicht omwille van de relevantie voor de activiteiten onder de studiescope. In hoofdstuk 6 wordt duidelijk welke wijzigingen aan het bestaande VLAREM-kader worden gesuggereerd.

Andere maatregelen zijn nieuw (bv. voorzien van waterstof vlamdetectie), en kunnen (mits ze in hoofdstuk 5 als BBT geëvalueerd worden) in hoofdstuk 6 als een voorstel tot nieuwe of aanpassing van bestaande (sectorale) voorwaarden worden verwoord.

Veiligheidsfuncties

Zoals in hoofdstuk 3 werd beschreven, dienen de maatregelen uit deze BBT-studie één of meerdere veiligheidsfuncties. De aard van de veiligheidsfunctie geeft aan of ze, net als de eraan te linken maatregelen, een preventief of gevolgbeperkend doel heeft.

Hoe de veiligheidsfunctie zich op het vlinderdasmodel positioneert, is weergegeven in Figuur 25.



Figuur 25: Overzicht van de preventieve (VF1-VF2) en de gevolgbeperkende (VF3-VF8) veiligheidsfuncties, met in groen een aanduiding van mogelijke oorzaken (links) en gevolgen (rechts) in relatie tot een ongewenste vrijzetting van H_2 tijdens exploitatie van een waterstoftankstation

<u>In het centrum van de vlinderdas staat de ongewenste vrijzetting van H_2.</u>

De oorzaak van de ongewenste vrijzetting is meestal een samenloop van omstandigheden waarbij een aantal voorziene preventieve veiligheidsmaatregelen niet afdoende functioneren. Elke genomen preventieve maatregel fungeert als een barrière om de ongewenste vrijzetting te voorkomen. De directe en onderliggende gevaren (oorzaken) vormen samen met de preventieve maatregelen de linkerkant van de vlinderdas.

De ongewenste vrijzetting zal resulteren in een aantal gevolgen. Gevolgbeperkende maatregelen moeten de mogelijke schade voorkomen of beperken. De rechterkant van het vlinderdasmodel wordt gevormd door de mogelijke gevolgen van de ongewenste vrijzetting, samen met de gevolgbeperkende maatregelen. Hierbij kan nog onderscheid gemaakt worden tussen maatregelen die ervoor moeten zorgen dat er -eenmaal de gevaarlijke stof ongewenst vrijgezet is- geen schade kan optreden (beschermingsmaatregelen), of dat de optredende schade beperkt blijft (mitigerende maatregelen).

Het vlinderdasmodel beschrijft zowel het veiligheidsrisico voor de mens als voor het milieu.

Naast de opdeling preventief en gevolgbeperkend, cfr. het vlinderdasmodel en de bijhorende 8 veiligheidsfuncties, is er nog een bijkomend onderscheid te maken volgens de aard van de maatregel (organisatorisch of technisch).

- **Organisatorische maatregelen** omvatten het opzetten van een beleid, opleidingen, procedures, voorschriften, signalisatie, … die de mens duidelijk maken dat het aangewezen is om te handelen volgens bepaalde afspraken. Hierbij blijft de menselijke factor (zijnde menselijk ingrijpen/menselijk handelen) aanwezig.
- **Technische maatregelen** omvatten onderdelen, toestellen, hulpmiddelen e.d. die vaak in de installatie geïntegreerd worden om het veiligheidsniveau te verhogen.

Volgens de preventiehiërarchie gaat de voorkeur uit naar technische maatregelen, die om doeltreffend te kunnen zijn meestal ook complementaire organisatorische maatregelen, zoals een regelmatig onderhoud vereisen.

Complementair aan Figuur 25 geeft Tabel 32 op de volgende bladzijden het resultaat van de oefening om, in het kader van volledigheid, de maatregelen uit hoofdstuk 4 te linken aan:
1) de aard van de maatregel (organisatorisch/technisch);
2) de veiligheidsfunctie(s) die vervuld worden;
3) de milieuaspecten die geïmpacteerd worden.

Deze tabel kan de lezer kortom als leidraad gebruiken om gericht te kunnen zoeken naar maatregelen die gelinkt zijn aan een bepaalde veiligheidsfunctie of een bepaald milieuaspect.

Tabel 32: Relatie tussen de in H4 beschreven maatregelen, de 8 veiligheidsfuncties en de milieuaspecten

Maatregelen	***Organisatorisch/Technisch***	***Veiligheidfunctie(s)***	***Milieuaspecten***
4.1.1 Informeren van omwonenden	Organisatorisch	1-8	Alle milieuaspecten
4.1.2 Risicobeheersing m.b.v. een managementsysteem	Organisatorisch	1-8	/
4.1.3 Vastleggen van afspraken en regels voor belanghebbenden over handelingen met H2 houdende installaties	Organisatorisch	1-8	/
4.1.4 Voorzien van maatregelen voor toezicht	Organisatorisch	1-8	/
4.1.5 Respecteren van interne scheidingsafstanden	Organisatorisch	2,6,7,8	/
4.1.6 Respecteren van risicoafstanden	Organisatorisch	2,6,7,8	/
4.1.7 Voorzien, inoefenen en up-to-date houden van noodprocedures	Organisatorisch	3-8	/
4.1.8 Bouwen, exploiteren en onderhouden van de installatie volgens een code van goede praktijk	Organisatorisch + Technisch	1-8	/
4.1.9 Voorzien van correcte signalisatie op het terrein	Organisatorisch	3,5,6,7,8	/
4.1.10 Voorzien van maatregelen i.v.m. brandveiligheid	Organisatorisch	5-7	/
4.1.11 Voorzien van vlotte en veilige verkeerscirculatie op de inrichting	Organisatorisch	3,4	/
4.1.12 Onderbouwde keuze maken over de aanlevermethode en de oorsprong van waterstof bij het ontwerp van een waterstoftankstation	Organisatorisch + Technisch	/	Alle milieuaspecten
4.2.1 Gebruik van correcte materialen en geschikte verbindingen	Technisch	1,2	/
4.2.2 Voorzien van druk- en temperatuurmetingen op kritische locaties	Technisch	1,2,3,4	/
4.2.3 Voorzien van breekkoppelingen in de verdeelslangen	Technisch	3,4	/
4.2.4 Voorzien van snelsmeltende persluchtbuisjes bij waterstof losslangen	Technisch	6-8	/
4.2.5 Gebruik van een doorstroombegrenzer, terugslagklep, of inbloksysteem bij flexibele slangen	Technisch	3,4,7	/
4.2.6 Voorzien van overdrukbeveiliging tijdens het tanken	Technisch	3,4,7	/
4.2.7 Uitvoeren van periodieke lekdichtheidstesten	Technisch	3,4,7	/

4.2.8 Voorzien van een drukontlastingsysteem bij waterstofopslag containers	Technisch	1	/
4.2.9 Voorzien van waterstofgasdetectiesystemen	Technisch	3,4	/
4.2.10 Voorzien van waterstofvlamdetectie op opslagtanks	Technisch	6-8	/
4.2.11 Vermijden van luchtintrede bij de compressor	Technisch	3,4,7	/
4.2.12 Voldoende ventilatie garanderen bij installaties in besloten ruimtes	Technisch	3,4,7	/
4.2.13 Plaatsen van installaties in een open omgeving	Technisch	3,4,7	/
4.2.14 Volgen van algemene veiligheidsvoorschriften voor het vermijden van ontstekingsbronnen	Technisch	5	/
4.2.15 Voorzien van een noodstopsysteem (ESD - Emergency Shut Down)	Technisch	4-8	/
4.2.16 Opmaken van een ATEX-zoneringsplan	Technisch	6-8	/
4.2.17 Afschermen van gevoelige installatieonderdelen	Technisch	6-8	/
4.2.18 Voorzien van brandwerende muren tussen installatie-onderdelen	Technisch	6	/
4.2.19 Gebruik van hemelwater bij on-site elektrolyse	Technisch	/	Waterverbruik

4.1 Organisatorische maatregelen

De maatregelen die hieronder worden toegelicht, zijn algemene maatregelen die eerder van preventieve aard en afhankelijk van menselijk handelen zijn. Ze zijn van toepassing op elke uitvoeringswijze van een waterstoftankstation.

4.1.1 Informeren van omwonenden

Beschrijving

Omdat waterstofvoertuigen- en tankstations gebruik maken van, zeker voor de publieke opinie, nieuwe technologieën, is het belangrijk om aandacht te besteden aan de aspecten die invloed hebben op de **acceptatie van de nieuwe technologie**. Deze acceptatie is nodig om de technologie breed uit te rollen, en zal ook de veilige omgang positief kunnen beïnvloeden. De communicatie kan een dubbel doel hebben:

1) Het informeren over het milieuvoordeel van waterstof als transportbrandstof (groen imago). Zo kunnen de aspecten die anders zijn dan de traditionele brandstoffen (bv. de lage ontstekingstemperatuur, de onzichtbare vlam, …) kenbaar gemaakt worden, en kunnen de verschillende milieuvoordelen t.o.v. traditionele brandstoffen (diesel, benzine, CNG) en elektrische voertuigen toegelicht worden (zie ook paragraaf 2.3.2).
2) Het informeren over veiligheidsaspecten en -maatregelen (wegnemen van ongerustheid), door zogenaamde '**risicocommunicatie**'. Een aantal belangrijke kenmerken van waterstof zijn de lage ontstekingstemperatuur, de onzichtbare vlam en de reukeloosheid. Een correcte inschatting van en communicatie over de risico's van de benodigde technologieën is essentieel. De exploitant kan hierin een rol spelen.

Een belangrijk middel om stakeholders (bv. omwonenden en klanten) over waterstofvoertuigen- en tankstations te informeren, is via een **informatiecampagne**.

Een aantal belangrijke punten die aangehaald kunnen worden tijdens zulke informatiecampagnes worden hieronder kort toegelicht:

- <u>Risicoperceptie:</u> Tijdens de risicocommunicatie mag niet enkel de rekenkundige kant van risico's uitgelegd worden (uitgedrukt in de kans op een bepaald effect), maar ook de **risicoperceptie**. Hier wordt het onderscheid gemaakt tussen risico-aversie en risico-acceptatie van de mensen. Globaal gezien hebben mensen een grotere aversie tegen risico's met een kleine kans maar een groot gevolg (cf. vliegtuigrampen), dan tegen risico's met een grotere kans waarvan de effecten minder groot zijn (cf. auto-ongelukken). Dit laatste wordt trouwens in rekening gebracht tijdens het bepalen van het groepsrisico (zie ook paragraaf 4.1.6).

- <u>Onbekendheid van waterstof:</u> Veel mensen zijn weinig vertrouwd met het begrip waterstof(tankstation) omdat het vrij nieuw is. Deze onbekendheid kan een potentiele onrust creëren ('onbekend maakt onbemind') bij omwonenden van een station en bij mensen die bijvoorbeeld langs een waterstofpijpleiding wonen. Er kan niet verwacht worden dat de gemiddelde burger de kennis heeft van de risico's van waterstof of welke scenario's mogelijk zijn bij een ongeval. Wel kunnen nuttige (en objectieve) informatiebronnen ter beschikking worden gesteld van de burgers om zo vertrouwd te geraken met het concept van waterstof.

- Transparantie: Een van de belangrijkste aspecten om burgers en omwonenden mee in het waterstofverhaal te krijgen (en eventueel promoten), is om hun vertrouwen te winnen door zo transparant mogelijk te zijn over enerzijds de mogelijke risico's van waterstof, en anderzijds de genomen maatregelen om deze risico's zo klein mogelijk te maken. Hierbij is het de taak van de exploitant om duidelijk te maken dat aan alle voorschriften en vereisten voldaan is (H. Spobeck, 2019)

Een aantal mogelijke kanalen om omwonenden en geïnteresseerden te informeren zijn:

- publicaties op een website
- presentaties geven aan (een deel van) de bevolking in de vorm van buurtvergaderingen
- persberichten
- sociale media

Een ander middel om de communicatiegerelateerde maatregel door te voeren, is het organiseren en uitvoeren van **piloot- en demonstratieprojecten**. Deze projecten kunnen een positieve bijdrage leveren in de veiligheidsperceptie van het publiek. (Hermkens, 2018)

Toepasbaarheid

De timing van deze maatregel is belangrijk. Het informeren van omwonenden over het milieuvoordeel en de veiligheidsaspecten kan best zo vroeg mogelijk in het (bouw)proces gebeuren (bv. tijdens de vergunningsaanvraag). De communicatie met de bevolking zou echter niet gezien moeten worden als één stap in het proces, maar is gedurende het hele vergunningtraject een aandachtspunt, ook nadat de vergunning verleend is. Deze maatregel is algemeen toepasbaar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Het publiek wordt bewust van het milieuvoordeel van waterstof als transportbrandstof, en van de gevaren van waterstoftankstations. Het informeren neemt de ongerustheid bij omwonenden weg en zorgt voor een verhoging van het veiligheidsgevoel. Een bijkomend voordeel is dat goed geïnformeerde omwonenden minder snel in beroep zullen gaan tegen een vergunning en kan op deze manier de vergunningsprocedure vergemakkelijken (versnellen).

Financiële aspecten

Sommige informatiekanalen zijn betalend, zoals persberichten en reclamespots op radio en TV. De kosten die verbonden zijn aan informatiekanalen die de individuele exploitant zou gebruiken (bv. website) wegen niet op tegen de baten van goed geïnformeerde omwonenden.

4.1.2 Risicobeheersing m.b.v. een managementsysteem

Beschrijving

Het hebben en naleven van afspraken met klanten, overheid, aannemers, brandweer, omwonenden, … t.b.v. een voor al deze betrokkenen aanvaardbaar niveau van (externe) veiligheid en milieubescherming is een **preventieve** en **organisatorische** maatregel.

Beheersing van de risico's bij de exploitatie van een waterstoftankstation d.m.v. een managementsysteem dient om op een gestructureerde en continu verbeterende manier minimaal aan de wettelijke verplichtingen en normeringen te voldoen. Via een geïntegreerd managementsysteem wordt structureel aandacht besteed aan milieu, veiligheid en gezondheid in de bedrijfsvoering. Deze maatregel heeft kortom tot **doel** om de risico's die uitgaan van de exploitatie op een gestructureerde en georganiseerde manier te beheersen. Hierbij staan volgende concrete uitgangspunten centraal:

- voldoen aan de wet- en regelgeving inzake milieu, veiligheid en gezondheid;
- beheersen van milieuaspecten en veiligheids- en gezondheidsrisico's voor medewerkers en derden;
- streven naar een continue verbetering van de milieu-, veiligheids- en gezondheidsprestaties van het bedrijf;
- communiceren van het milieu-, veiligheids-, en gezondheidsbeleid aan relevante belanghebbenden.

Een managementsysteem t.b.v. risicobeheersing is minstens een bundeling afspraken, en/of frequentiebepalingen m.b.t. technische en organisatorische (sub)maatregelen, zoals hieronder opgelijst, en verder in dit hoofdstuk voor sommige maatregelen in meer detail beschreven:

- het uitvoeren van risicoanalyses om de risico's te identificeren en evalueren;
- het nemen van passende maatregelen om deze risico's tot een aanvaardbaar niveau te reduceren door de kans en/of de ernst van het risicoscenario te verlagen. Dergelijke maatregelen omvatten, cfr. de volgende benadering van de preventiehiërarchie:
    - (Inherent veilige) ontwerpmaatregelen;
    - (Collectieve) beschermingsmiddelen en –systemen;
    - Werk- en onderhoudsinstructies (bv. instructiebladen of opleiding);
    - Persoonlijke beschermingsmiddelen
    - Signalisatie
    - Noodplannen en –procedures
- het documenteren en registreren van installatiegerelateerde aspecten en incidenten (zie ook voorgestelde checklist periodieke controles in hoofdstuk 6) d.m.v. een logboek dat voor de toezichthoudende overheid beschikbaar gehouden wordt:
    - Installatieschema, as-built plannen
    - Technisch constructiedossier conform actuele situatie
    - Keurings- en indienststellingsverslagen en -certificaten
    - Logboek met daarin het overzicht van werkzaamheden, onderhoudsingrepen, keuringen, calamiteiten, opleidingen, en andere relevante zaken
    - Explosieveiligheids- en zoneringsdossier (ATEX 114 en ATEX 153)
    - Controlerapporten afdeling handhaving (van departement Omgeving)

Om de administratieve lasten voor individuele bedrijven te beperken, kunnen rapporteringen en acties met betrekking tot kwaliteit, veiligheid en milieu zoveel mogelijk worden gestructureerd en op elkaar worden afgestemd. Ook integratie en afstemming

van genomen maatregelen met de maatregelen die door andere spelers binnen de waardeketen genomen worden, is, waar mogelijk, aangewezen.

Voorts is er een VLAREM-verplichting (16.4.1) om een milieucoördinator en preventie-adviseur aan te stellen. Haar/zijn taken kaderen volledig in het managementsysteem.

Toepasbaarheid

Elke exploitant die een waterstoftankstation uitbaat, kan zijn/haar veiligheids- en milieubeleid in een gestructureerde manier vastleggen en communiceren. Een managementsysteem is algemeen toepasbaar, maar kan naargelang het type samenbouw inhoudelijk & qua omvang verschillen. Certificering van dit managementsysteem zorgt voor een bepaalde standaardisatie en kwaliteitsgarantie, maar is geen noodzaak.

Waterstoftankstations kunnen onbemand zijn, en dit impliceert andere procedures dan een samenbouw waarbij vaste operatoren de processen controleren en sturen. Hoe het toezicht en een respons op een calamiteit te garanderen, zijn twee voorbeelden van onderdelen van het managementsysteem die specifiek zijn naargelang het al dan niet bemand zijn van het station.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Managementsystemen voor milieu en veiligheid hebben hun nut in tal van verschillende industrietakken bewezen. Bij keuze voor een gestandaardiseerd zorgsysteem, zoals ISO of OHSAS er heeft, is er bovendien een makkelijke stroomlijning mogelijk met bv. de procedures van klanten, leveranciers en andere belanghebbenden die hun milieu- en veiligheidsbeleid eveneens op eenzelfde manier vormgeven.

Financiële aspecten

Het opzetten en laten certificeren (en periodiek controleren) van een zorgsysteem vraagt tijd en (soms) externe expertise. Periodieke audits in het kader van dit gecertificeerde zorgsysteem kosten eveneens geld. Deze kosten kunnen geplaatst worden tegenover een reductie van het risico op ongevallen met een mogelijk nog veel grotere kost.

4.1.3 Vastleggen van afspraken en regels voor belanghebbenden over handelingen met H_2 houdende installaties

Beschrijving

Om de risico's van een waterstoftankstation te controleren, is het noodzakelijk om voor een zo veilig mogelijke operationele bedrijfsvoering te zorgen. Hiervoor is het enerzijds essentieel om de verantwoordelijkheden van de belanghebbenden in een waterstoftankstation vast te leggen, en anderzijds de afspraken en regels vast te leggen over handelingen met H_2-houdende installaties. Een belanghebbende wordt gedefinieerd als een persoon die op een bepaalde manier in contact komt of een opdracht uitvoert in het kader van een tankstation, en een bepaalde (voor)kennis en verantwoordelijkheid moet hebben om zijn functie veilig te kunnen uitvoeren. Voorbeelden van

belanghebbenden zijn de exploitant, de installateur, de waterstofleverancier, en de klant die komt tanken.

In bijlage J van de PGS 35 wordt dieper ingegaan op de verantwoordelijkheden van diverse belanghebbenden ten aanzien van het in werking hebben van het waterstoftankstation. Tabel 33 geeft een beknopt overzicht van de verschillende rollen van belanghebbende.

Tabel 33: Overzicht van de belanghebbende van een waterstoftankstation en hun rollen (gebaseerd op (PGS35, 2015))

Belanghebbenden	**Rol(len)**
Fabrikant	Ontwerp en constructie
Installateur	Installatie en onderhoud
Keuringsinstelling	Inspectie
Eigenaar	Vergunninghouder
Beheerder/exploitant/gebruiker	Exploitatie en beheer
Toezichthouder (beheerder)	Toezicht op het gebruik van de installatie
Waterstofleverancier	Vullen van de waterstofopslag
Klant	Tanken van zijn voertuig met waterstof

Aanvullend op de afspraken en regels voor belanghebbende vormt het aanbieden en toezien op het gebruik van operationele procedures (zie paragraaf 4.1.4) een basis voor een veilig gebruik van de exploitatie door werknemers, klanten, en derden.

Een aangewezen vorm om deze afspraken en regels over omgaan met de H_2-samenbouw te capteren en communiceren zijn **werkinstructies**.

Werkinstructies, ook wel veiligheidsinstructiekaarten genoemd, zijn documenten die de lezer/gebruiker op een heldere en eenduidige manier informatie bieden over hoe bepaalde handelingen uit te voeren. Afhankelijk van voor wie het document bedoeld is, kan dit info bevatten over hoe op de juiste manier de installatie te bedienen, te onderhouden, in operatie te stellen, uit operatie te halen, onderdelen te vervangen, …

Instructies moeten in eerste instantie volledig, duidelijk en gericht zijn op het doelpubliek (werknemer/exploitant, klant, contractor (bv. leverancier van H_2 die de opslagtank vult)). De ISO-norm 19880 voor Waterstoftankstations biedt een kader voor invulling voor deze maatregel in titel 12 van de norm.

In afwachting van een instructiekaart voor klanten van een H_2-tankstation, bevat het Nederlandse PGS 35 document Bijlage F "Minimaal te verrichten handelingen voor het lossen van waterstof aan een waterstofafleverinstallatie" nuttige informatie over de afspraken en regels over handelingen met H_2 houdende installaties. Daarnaast bestaan er ook instructiefilmpjes die de tankprocedure uitleggen. Een voorbeeld hiervan is terug te vinden via de volgende link: https://vimeo.com/277980032

Operationele procedures kunnen ook over andere zaken gaan, dan over hoe de installatie te bedienen. Zo is het aangewezen om tijdens onweer losactiviteiten niet uit te voeren om het risico op evt. ontsteking door blikseminslag te voorkomen.

Het is, naar vorm en taal toe, aangewezen om de complexiteit van de werkinstructies af te stemmen op het doelpubliek, zowel technische info, tekeningen als diagrammen.

Een voorbeeld van een werkinstructie die een veiligheids verhogend effect creëert, is het uitleggen van hoe een tankprocedure op een veilige en milieuvriendelijke manier kan worden uitgevoerd. Deze reeks handelingen dient om processpecifieke risico's in te dijken. Een voorbeeld hiervan is de instructie om koppelingen van de H_2-installaties voor overslag te spoelen met droge perslucht of met stikstof.

Toepasbaarheid

Deze maatregel is algemeen toepasbaar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Een correct gebruik van de installaties zal tot een verkleining van de kans op calamiteiten en ongecontroleerde (en dus ongewenste) emissies leiden.

Financiële aspecten

Een aantal belanghebbenden zoals de exploitant, truck chauffeur die komt leveren, zullen opleidingen en periodieke bijscholingen moeten volgen. Deze opleidingen kunnen geld kosten, maar deze kost is verwaarloosbaar in vergelijking met die van het waterstoftankstation, en is absoluut verantwoordbaar.
Ervoor zorgen dat operationele procedures voorhanden zijn (en duidelijk zijn aangebracht), heeft een beperkte kostprijs.
Opleiding van (buitenlandse) klanten, contractanten, medewerkers op de plaats van exploitatie of andere betrokkenen (bv. brandweerdiensten) in de exploitatie is een essentiële voorwaarde om een veilige en milieuvriendelijke exploitatie van een samenbouw te borgen. Dit kan ook vastgelegd worden in het managementsysteem (zie 4.1.2).
Het volgen van een opleiding is aangewezen voor alle voormelde beschreven belanghebbenden en gebruikers van alle installaties die binnen de scope van deze BBT-studie vallen.

4.1.4 Voorzien van maatregelen voor toezicht

Beschrijving

Het doel van toezicht op de inrichting is om bij te dragen aan de goede werking van de exploitatie door continu zicht te kunnen hebben op de inrichting en eventuele onregelmatigheden om zo onmiddellijk te kunnen reageren wanneer de omstandigheden dit vereisen. Het gaat erom door toezicht bij te dragen aan de voorkoming en bestrijding van calamiteiten. Indien geen toezicht wordt gehouden, is het aangewezen dat de afleverinstallatie geblokkeerd wordt.

Toezicht houden op de toestand en het correcte gebruik van de inrichting waar H_2 getankt, verladen, opgeslagen, geproduceerd, … wordt, kan op verschillende manieren gebeuren.

Een toezichthouder wordt in PGS 35 als een persoon beschouwd die instructies heeft gehad over het veilig bedienen van de afleverinstallatie en het uitvoeren van het noodplan in geval van calamiteiten. De klant die waterstof komt tanken, kan niet als toezichthouder beschouwd worden omdat van hem/haar niet verwacht wordt dat ze alle

instructies kennen over het bedienen van de afleverinstallatie en het uitvoeren van het noodplan. Wel kan deze persoon op de noodknop duwen in geval van calamiteiten.

Het toezicht wordt enerzijds gehouden door de continue technische monitoring van de installatie door onder andere temperatuur- en drukmetingen, gas- en/of vlamdetectoren, gekoppeld aan een alarm- en een noodstopsysteem. Deze maatregelen staan verder beschreven in respectievelijk paragrafen 4.2.2, 4.2.9, en 4.2.10. Anderzijds is er een deskundig persoon continu bereikbaar die de meldingen van de detectoren en alarmen kan interpreteren en op een gepaste manier kan ingrijpen in geval van een onregelmatigheid zoals een bewegingsdetectie via de camera (indien aanwezig), een signaal door een gas- of temperatuurdetector, …. Ook wordt van deze persoon verwacht het eerste aanspreekpunt te zijn voor de brandweer indien deze ter plaatse moet komen. Dit veronderstelt geen permanente aanwezigheid van een deskundig persoon ter plaatse, maar deze moet wel in staat zijn om snel ter plaatse te komen indien nodig.

Het continue alarmerings- of notificatiesysteem (monitoringsysteem) en de deskundige persoon zijn beschikbaar (of bereikbaar) zolang het H_2-tankstation operationeel is. Bij wegvallen van de verbinding tussen het H_2-afleverinstallatie krijgt de deskundige persoon een alarm.

Voor iedere afleverinstallatie is een deskundig persoon aangewezen die beschikt over de vereiste competenties om vanop afstand de niet kritische storingen[34] die optreden tijdens het in werking zijn van de H_2-afleverinstallatie, te kunnen interpreteren en mogelijk te verhelpen of op te volgen. Er is 24/7 een ter zake deskundig persoon (telefonisch) beschikbaar die:

- bekend is met de H_2-installatie en;
- de beschikking heeft over de actuele toestand van de H_2-installatie en;
- de storingen en alarmen kan interpreteren en op kan volgen, en indien mogelijk kan bijsturen.

Verder wenst de brandweer dat een deskundig persoon ter plaatse kan zijn binnen 30 minuten na melding[35], o.a. bij volgende scenario's:

- Algemene brand, lekkage, tankslangontluchting van waterstof, afgereden pomp, mechanische impact door aanrijding van de installatie, brand in de omgeving met hitte impact, projectiel die installatie geraakt heeft en beschadigd, …
- Incident tijdens het lossen van waterstof (falen vulleiding, niet loskoppelen vulleiding, …)
- Bij meldingen gasdetector en technische alarmen (Brandweerzone centrum, persoonlijke communicatie, 2019)

Binnen een tijdspanne van 30 minuten ter plaatse komen is in de praktijk niet altijd haalbaar, en vaak is de duurtijd van het ter plaatse komen afhankelijk van externe (niet controleerbare) factoren zoals o.a. het verkeer.

[34] Niet kritische storingen zijn bijvoorbeeld hoge temperatuur compressor, low level gasdetectie, niet automatisch opstarten compressor, te veel vochtigheid in aanvoerleiding, enz. Deze worden onderscheid van kritische alarmen zoals high level gasdetectie (vooral als deze blijft bestaan), hoge temperatuur detectie (TPRD, zie ook paragraaf 4.2.7, afwijkingen in gastemperatuur in aanvoerleiding (gelinkt met het inschakelen van de noodstop) (Marnix Van Berkum, persoonlijke communicatie, 2019)

Een snelle interventie en een goede communicatie met de brandweer zal ervoor zorgen dat de brandweer de nodige informatie verkrijgt om het incident zo snel mogelijk onder controle te krijgen en te stabiliseren.

Verder is het aangewezen om elk waterstoftankstation ten minste te voorzien met:

- een voorziening die de gegevens van de aflevering registreert;
- een duidelijk zichtbaar noodnummer op de verdeelzuil, maar ook op de installatie, zodat de tankende klant vanop elke positie op het tankstation naar het noodnummer kan bellen.
- een noodstopvoorziening die de beheerder of deskundig persoon automatisch alarmeert. Bij een 'onbemand' station, is het de chauffeur die aan het tanken is die de noodstop indrukt. Hiermee is in de organisatie van het meldingssysteem rekening gehouden.
- cameratoezicht. Een camera is wenselijk, maar heeft geen toegevoegde waarde naar veiligheid om technische storingen of incidenten te verhelpen. Het dient eerder als sociale controle en als bewijsmateriaal voor de verzekering bij incidenten (bvb. vandalisme, aanrijden installatie, enz.).

Toepasbaarheid

Deze maatregel is toepasbaar voor elke inrichting waar overslag van H_2 plaatsvindt (bv. aanleveren van waterstof via tube-trailers of batterijvoertuigen, tanken van waterstof), maar kan op verschillende manieren ingevuld worden in functie van het type station (publiek/privé, bemand/onbemand, enz.). Het toezicht op de exploitatie kan gebeuren door technische hulpmiddelen zoals sensoren, monitoringsystemen, alarmen, enz, en wordt bijgestaan door een deskundig persoon die zich ter plaatse bevindt of continu bereikbaar is.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Toezicht zal ervoor zorgen dat afwijkingen van een correcte veilige en milieuvriendelijke werking van de inrichting snel opgemerkt worden en er een gepaste reactie op kan volgen. Toezicht kan, in het geval dit bv. door een vrachtwagenchauffeur die waterstof komt leveren wordt gerealiseerd, ook een sensibiliserend effect hebben omtrent de risico's van het werken met H_2.

Financiële aspecten

De kosten die verbonden zijn aan het toezicht variëren naargelang de invulling ervan. Permanente aanwezigheid van een operator is duur in arbeidsuren. De bijhorende monitoringsdiensten dienen tot toezicht en veiligheid en hebben ook een niet onaardige kost.

4.1.5 Respecteren van interne scheidingsafstanden

Beschrijving

Interne risicoafstanden hebben een preventief doel om tijdens het ontwerp van de inrichting de kans op optreden van een domino-effect tussen verschillende componenten binnen dezelfde inrichting te reduceren. Domino-effecten ontstaan wanneer het falen van

een gevarenbron leidt tot het falen van een andere gevarenbron, waar de gevolgen van het falen van de tweede gevarenbron vaak een groter effect hebben. Verder hebben interne scheidingsafstanden ook als doel om de impact van te voorziene ongevallen op personen in de onmiddelijke omgeving van de gevaarlijke installaties binnen de inrichting te beperken.

In het kader van deze BBT-studie werd door M-Tech (M-Tech, 2020) een berekening van interne scheidingsafstanden (paragraaf 4.1.5) en risicoafstanden[36] (paragraaf 4.1.6) voor verschillende samenbouwconfiguraties gemaakt. Deze studie en de resulterende zelfberekening- (en evaluatie)tools zijn volledig te raadplegen via www.emis.vito.be.

Onderstaande paragrafen bevatten de interne scheidingsafstanden bepaald op basis van de geselecteerde representatieve vrijzettingsscenario's en de criteria voor relevante schade aan personen (invallende stralingsflux van 5 kW/m², een concentratie van 4 vol% H_2 in lucht en een explosieoverdruk van 56 mbar) en installaties (invallende stralingsflux van 15 kW/m² en een explosieoverdruk van 100 mbar).

Voor de berekening van de interne scheidingsafstanden is er geen duidelijke richtlijn m.b.t. de methodiek[37]. Gedurende deze studie werden twee methodes gebruikt, namelijk enerzijds de Vlaamse QRA (Quantitative Risk Analysis) methode, en anderzijds de NFPA 55 (editie 2016) methode, om te komen tot representatieve vrijzettingsscenario's voor het bepalen van de interne scheidingsafstanden. Het toepassen van de Vlaamse QRA methode impliceert dat de geselecteerde representatieve vrijzettingsscenario's voor het berekenen van de interne scheidingsafstanden uitsluitend gebaseerd zijn op de vrij ernstige vrijzettingsscenario's die voor de verschillende installatieonderdelen in de QRA worden beschouwd, en dat deze vrijzettingsscenario's enkel relevant zijn voor installatie-onderdelen die een minimaal aantal uren per jaar worden aangewend of die bestaan uit een groot aantal elementen. Voor installatie-onderdelen die op jaarbasis beperkt gebruikt worden, of die bestaan uit een beperkt aantal elementen kunnen m.a.w. geen interne scheidingsafstanden worden bepaald. Voor andere onderdelen die frequent worden gebruikt of die bestaan uit een groot aantal elementen resulteert de methode daarentegen in vrij grote scheidingsafstanden. Dit nadeel kan worden ondervangen door bij de bepaling van de interne scheidingsafstanden ook andere (minder ernstige) vrijzettingsscenario's in beschouwing te nemen dan louter deze die in een QRA worden bestudeerd. Zo stelt de NFPA 55 (editie 2016) dat een lekgrootte gelijk aan 3% van de maximale doorstroomoppervlakte (of 17,3% van de doorstroomdiameter) in de installatie kan worden aangenomen ter bepaling van de scheidingsafstanden die rond de installatie dienen te worden aangehouden.

Het selecteren van een representatief vrijzettingsscenario voor het bepalen van de interne scheidingsafstanden uit de set van vrijzettingsscenario's die in een Vlaamse QRA worden bestudeerd is niet altijd mogelijk voor de installatie-onderdelen die voorkomen op een waterstoftankstation. Daarom werd besloten om het representatieve vrijzettingsscenario te baseren op de doorstroomoppervlaktes of –diameters van de

[36] De term risicoafstanden wordt in deze BBT-studie gehanteerd om consistent te blijven met de huidige VLAREM II wetgeving. In andere veiligheidsstudies (o.a. deze van M-Tech) worden de termen "externe scheidingsafstanden" of "externe risicoafstanden" gebruikt.

[37] In de BBT-studie LNG-verdeling werd de Vlaamse QRA methode gehanteerd voor de berekening van de interne scheidingsafstanden. Echter verschillen de installaties van LNG en waterstof qua opbouw (druktanks voor LNG en cilinders en flessen voor waterstof) waardoor dezelfde methodiek toepassen niet de beste resultaten zal geven.

installatieonderdelen, zoals voorgeschreven **door de NFPA 55**. Deze interne scheidingsafstanden worden hieronder toegelicht[38].

Standaard vs LPG-achtige slangen:

Voor de verlading van gevaarlijke stoffen met behulp van flexibele slangen zijn in het Handboek Risicoberekeningen twee sets van faalfrequenties opgenomen, nl. faalfrequenties voor standaardslangen en faalfrequenties voor LPG-achtige slangen. Momenteel zijn er nog geen faalfrequenties beschikbaar voor waterstofslangen. Om deze correct te kunnen afleiden is er meer informatie over casuïstiek nodig. Concreet is er informatie nodig over hoelang een slang in gebruik is (aantal gebruiksjaren), hoeveel uren een slang wordt gebruikt (aantal gebruiksuren per jaar), en informatie over het aantal en de omvang (aantal vrijzettingen, grootte lekdiameter, hoeveelheid vrijgezet product) van de vrijzettingen die zich gedurende deze periode hebben voorgedaan.Deze aanbeveling voor verder onderzoek wordt toegelicht in paragraaf 7.2.1.

Conform het Handboek Risicoberekeningen worden in een QRA de faalfrequenties voor LPG-slangen normaliter enkel toegepast voor de verlading van ontvlambare gassen, categorie 1 en 2 (incl. LPG) en van aardgas, en niet voor de verlading van waterstof. Aangezien LPG- en H_2-slangen op dezelfde manier gebruikt worden (deze worden op dezelfde manier gebruikt en zijn qua veiligheidsvoorzieningen erg gelijkend), en om de continuïteit met reeds uitgevoerde studies voor reeds vergunde tankstations te behouden, (hiermee wordt het mogelijk om stations in stadskernen te bouwen), wordt in deze studie gekozen omde faalfrequentiedata van LPG-achtige slangen te gebruiken[39] voor het berekenen van de scheidingsafstanden, op voorwaarde dat volgende veiligheidsvoorzieningen getroffen worden:

- het uitrusten van waterstofslangen met een breekkoppeling (zie ook paragraaf 4.2.3);
- het volgen en respecteren van een code van goede praktijk (zie ook paragraaf 4.1.8);
- het uitvoeren van een lektest voorafgaand aan vulling (conform de richtlijnen hierover opgenomen in de SAE J2601 en SAE J2799).

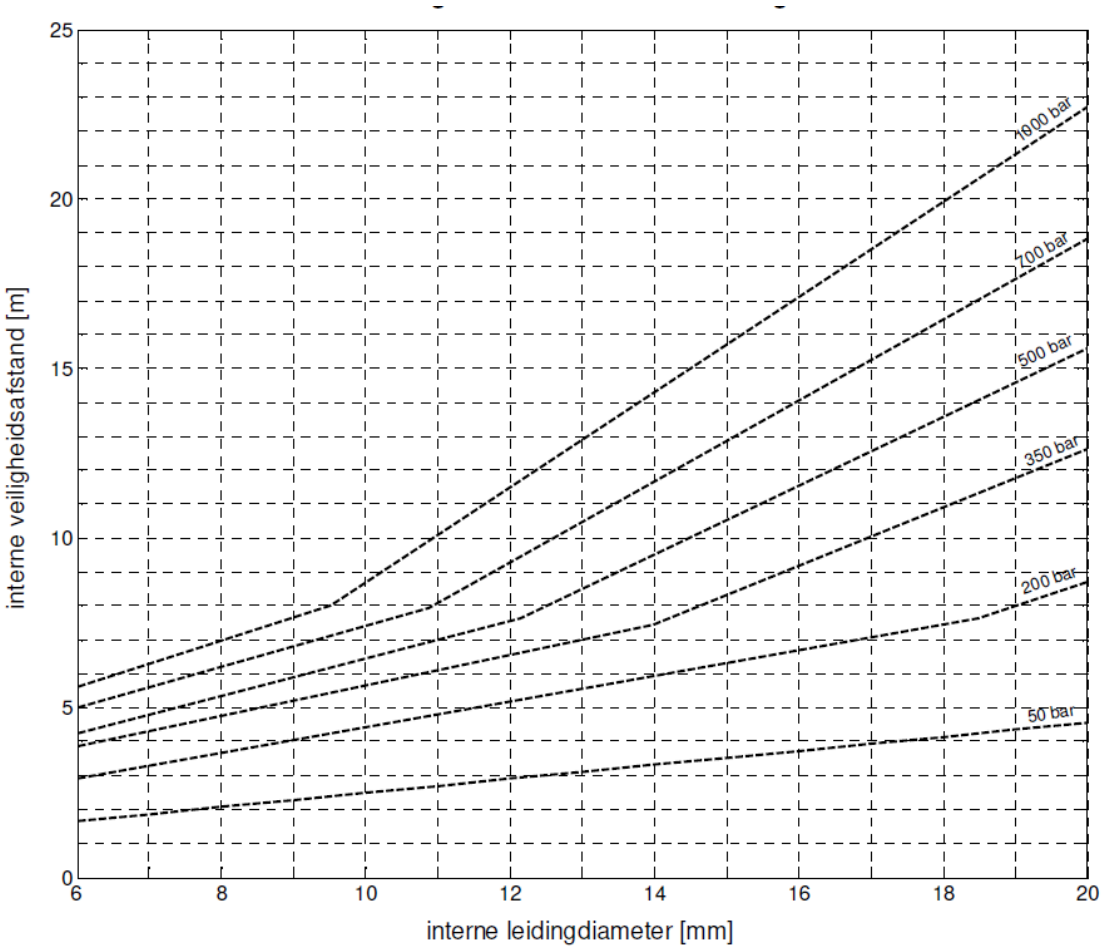
Vanwege de fysische eigenschappen van waterstof, wordt er voor de berekening van interne scheidingsafstanden onderscheid gemaakt tussen installaties in een gesloten omgeving en in een open omgeving.

- Componenten die staan opgesteld in openlucht

Figuur 26 toont de berekende interne scheidingsafstanden tot naburige personen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie. De afstanden werden bepaald uitgaande van een lekgrootte gelijk aan 3% van de maximale doorstroomoppervlakte en een invallende stralingsflux van 5 kW/m² (ontstoken jet) en een waterstofconcentratie van 4 vol% (niet onstoken jet).

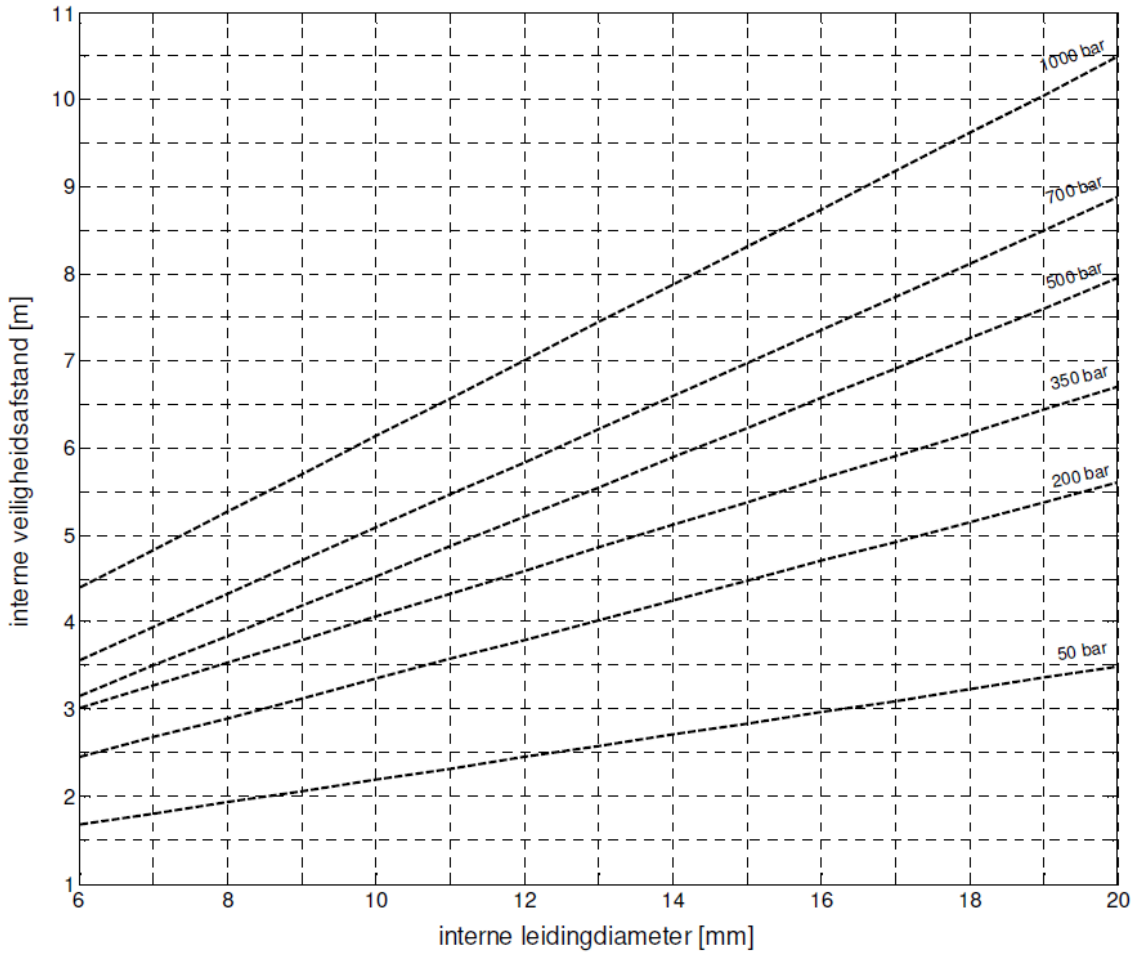
[38] De afstanden berekend volgens de Vlaamse QRA methode worden ter vergelijking vermeld in de veiligheidsstudie van M-tech in Hoofdstuk V.

[39] Zie opmerking van Team Externe Veiligheid in Bijlage 2



Figuur 26: Berekende interne scheidingsafstanden tot naburige personen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie

Figuur 27 toont de berekende interne scheidingsafstanden tot naburige installaties met gevaarlijke stoffen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie. De afstanden werden bepaald uitgaande van een lekgrootte gelijk aan 3% van de maximale doorstroomoppervlakte en een invallende stralingsflux van 15 kW/m² (ontstoken jet).



Figuur 27: Berekende interne scheidingsafstanden tot installaties met gevaarlijke stoffen in functie van de werkingsdruk en de interne leidingdiameter in de installatie

- <u>Componenten die staan opgesteld in een besloten ruimte</u>

Voor waterstofinstallaties in een besloten ruimte wordt het risico dat uitgaat van de waterstofinstallaties hoofdzakelijk bepaald door de effecten van een gasexplosie na een waterstoflek in een beperkt geventileerde besloten ruimte[40]. Tabel 34 toont de berekende minimale scheidingsafstanden tot locaties waar frequent personen binnen achter glas aanwezig kunnen zijn en tot naburige installaties met gevaarlijke stoffen. De scheidingsafstanden werden berekend voor componenten die staan opgesteld in een besloten ruimte die al dan niet is voorzien van een adequaat explosiedrukontlastingssysteem (explosieluiken). De scheidingsafstanden werden

[40] Een slecht geventileerde ruimte kan ook ontstaan door een faling van een actief ventilatiesysteem dat in geval van een incidentele vrijzetting wordt aangesproken.

bepaald als de afstand tot een invallende explosieoverdruk van 40 mbar (voor personen) en 100 mbar (voor installaties)[41].

Tabel 34: Minimale scheidingsafstanden tussen installaties in besloten ruimten en naburige personen en installaties binnen de inrichting[42]

Volume van de besloten ruimte (*)	personen (binnen)		installaties	
	met explosieluiken	zonder explosieluiken	met explosieluiken	zonder explosieluiken
10 ft container	8 m	28 m	3 m	13 m
20 ft container	10 m	36 m	3 m	17 m
30 ft container	11 m	41 m	4 m	19 m
40 ft container	12 m	45 m	4 m	21 m

(*) In de berekeningen wordt aangenomen dat het vrije volume in de ruimte gelijk is aan 2/3 van het brutovolume van de ruimte.

Toetsen van scheidingsafstanden aan normen en codes van goede praktijk:

In de beschikbare normen en codes van goede praktijk (zie bijlage 4 van de veiligheidsstudie van M-tech, 2020) worden interne scheidingsafstanden aanbevolen van 5 tot 8 m (EIGA 15/06), 4 tot 14 m (NFPA 55) en 2 tot 8,5 m (PGS 35) voor naburige personen en van 3 tot 8 m (EIGA 15/06), 4 tot 6 m (NFPA 55) en 2 tot 7 m (PGS 35) tot naburige installaties met gevaarlijke stoffen. De interne scheidingsafstanden die in de veiligheidsstudie werden afgeleid op basis van de vrijzettingsscenario's die in de QRA-studie werden beschouwd zijn beduidend groter dan de scheidingsafstanden die in de normen en codes van goede praktijk worden aanbevolen (zie §V.1.4.1.1 van de veiligheidsstudie van M-tech, 2020). De interne scheidingsafstanden die werden afgeleid op basis van een representatieve lekgrootte gelijk aan 3% van de maximale doorstroomoppervlakte (cfr. NFPA 55, editie 2016) liggen daarentegen in lijn met de aanbevolen scheidingsafstanden uit de beschikbare normen en de codes van goede praktijk (zie §V.1.4.1.2 van de veiligheidsstudie van M-tech, 2020).

[41] Gasexplosies in besloten ruimten (o.a. in de modules met compressoren, elektrolyse-apparatuur en stoomreformers) veroorzaken drukgolven buiten deze ruimten. Voor personen in de omgeving van de installaties manifesteren de effecten van overdruk zich hoofdzakelijk in de vorming van secundaire projectielen (bv. verscherving van glasramen). Vandaar dat personen die zich binnen achter glas bevinden het meest kwetsbaar zijn voor de effecten van overdruk t.g.v. een explosie. Ruiten van voertuigen bestaan echter uit gelaagd veiligheidsglas, dat de eigenschap heeft te verbrijzelen bij blootstelling aan overdruk zonder uiteen te spatten in gevaarlijke glasscherven. Personen die zich in voertuigen bevinden (of in gebouwen voorzien van veiligheidsglas) zijn dus veel minder kwetsbaar i.g.v. een gasexplosie. (Luc Vandebroek, persoonlijke communicatie, M tech, 2019)

[42] Het enige relevante scenario lijkt dat van een gaswolkexplosie in de besloten container. Het scenario gaat uit van een stoichiometrisch H2/lucht mengsel in de container. De effecten zijn dus enkel afhankelijk van het volume van de container en het al dan niet aanwezig zijn van een drukontlastingssysteem, en niet van de installaties in de container. (Luc Vandebroek, persoonlijke communicatie, 2020)

Toepasbaarheid

Het respecteren van de interne scheidingsafstanden is algemeen toepasbaar voor nieuwe installaties die gebouwd worden na het in voege treden van een regelgevende verplichting omtrent deze scheidingsafstanden. Voor nieuwe installaties kan het beschikbare terreinoppervlakte een beperkende factor zijn, en is er dus de noodzaak om voldoende grond aan te kopen (cfr financieel aspect). Voor bestaande installaties is het verkleinen van afstanden qua kosten-baten vaak geen haalbare optie, omdat de meeste installatiecomponenten aan de grond verankerd zijn.

Verkleining van de hierboven beschreven afstanden is in bepaalde gevallen mogelijk indien andere bijkomende maatregelen worden ingevoerd. Het is noodzakelijk dat kleinere scheidingsafstanden in combinatie met extra omgevingsbeschermende maatregelen door een erkende deskundige externe veiligheid in een veiligheidsstudie onderzocht worden.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Interne scheidingsafstanden hebben tot doel om preventief (in de ontwerp- en configuratiefase van de installatie) de impact van productvrijzetting en een eventueel vervolgscenario (bv. ontsteking van het vrijgekomen product) maximaal te beperken.

Financiële aspecten

Een eventuele meerkost aan het respecteren van interne scheidingsafstanden zijn de extra benodigde meters leiding tussen de verschillende installatieonderdelen, en de nodige terreinoppervlakte.

4.1.6 Respecteren van risicoafstanden

Beschrijving

De evaluatie van de impact van zware ongevallen met gevaarlijke stoffen in een inrichting in Vlaanderen wordt doorgaans uitgevoerd met risicogebaseerde criteria. Het extern mensrisico dat uitgaat van de installatie met gevaarlijke stoffen wordt berekend m.b.v. kwantitatieve risicoanalyse (QRA – Quantitative Risk Analysis) en wordt uitgedrukt in een plaatsgebonden risico en een groepsrisico.

- **Plaatsgebonden risico**

Volgens de code van goede praktijken inzake risicocriteria voor externe mensrisico's van Seveso-inrichtingen wordt het plaatsgebonden risico aanvaardbaar geacht, indien dit beperkt blijft tot:

- 10^{-5}/j ter hoogte van de eigen perceelgrens
- 10^{-6}/j ter hoogte van woongebied
- 10^{-7}/j ter hoogte van kwetsbare locaties

Een variant hierop wordt toegepast voor LPG-stations, omdat deze meestal in woongebied gelegen zijn, namelijk:

- 10^{-6}/j ter hoogte van een bestaande of potentiële woning, gebouwen ander dan woningen, die niet behoren tot de te vergunnen inrichting, met regelmatige bezetting door mensen
- 10^{-7}/j ter hoogte van kwetsbare locaties
- interne scheidingsafstanden en afstanden tot de perceelgrens (overeenkomstig het Koninklijk Besluit van 1968), ter vervanging van de 10^{-5}/j ter hoogte van de eigen perceelgrens.

Aangezien waterstoftankstations een commerciële functie hebben en de gewone burgers moeten voorzien van waterstof (in tegenstelling tot LNG waar dit eerder industriële voertuigen betreft), is te verwachten dat waterstoftankstations in woongebied zullen komen, of gecombineerd worden met een "klassiek" tankstation, welke ook vaak in woongebied gelegen zijn. In dit geval zou het criterium 10^{-5}/j ter hoogte van de eigen perceelgrens de inpasbaarheid van een station in woongebieden sterk beperken. Naar analogie met LPG-tankstations is het aangewezen om voor waterstoftankstations volgende set risicocriteria te hanteren:

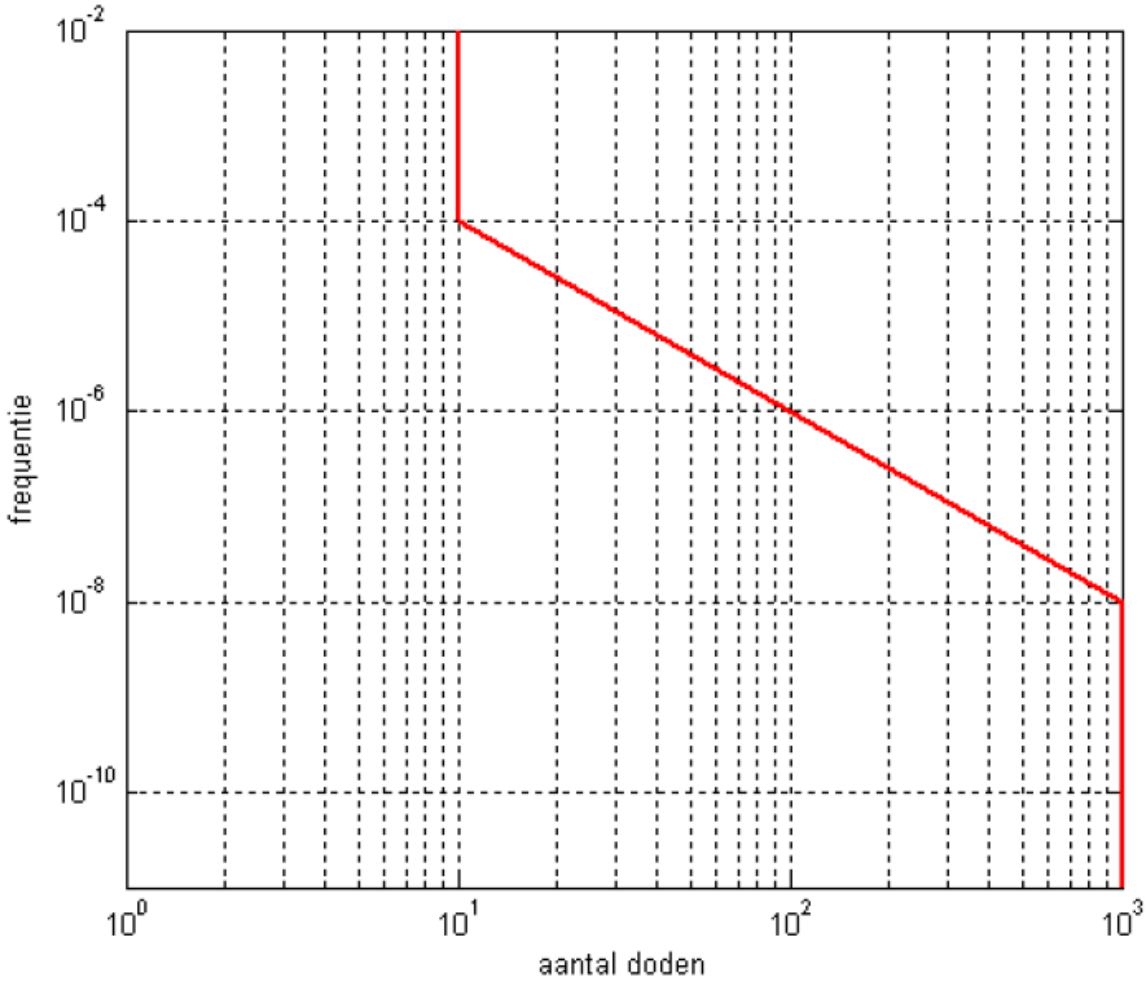
- 10^{-6}/j ter hoogte van woongebied en bestaande of potentiële woning, gebouwen ander dan woningen, die niet behoren tot de te vergunnen inrichting, met regelmatige bezetting door mensen
- 10^{-7}/j ter hoogte van kwetsbare locaties
- Interne scheidingsafstanden

Belangrijk hierbij is dat het niet toetsen van de 10^{-5}/j ter hoogte van de eigen perceelgrens ondervangen wordt door het feit dat een overschrijding van de 10^{-5}/j slechts problematisch wordt als er regelmatig personen in dit gebied komen. Met de aangepaste formulering van de 10^{-6}/j zorgt men er bovendien voor dat dit factor 10 strengere criterium van toepassing is voor alle gebouwen met regelmatige bezetting door mensen en voor alle woningen en potentiële woningen.

- **Groepsrisico**

Het groepsrisico moet aanvaardbaar zijn volgens de code van goede praktijken inzake risicocriteria voor externe mensrisico's van Seveso-inrichtingen, zoals geïllustreerd in Figuur 28.

Het groepsrisico wordt gedefinieerd als "Het groepsrisico is de kans (per jaar) dat een bepaald aantal personen of meer in de omgeving van een inrichting gelijktijdig omkomt ten gevolge van een zwaar ongeval binnen die inrichting." (Departement Omgeving, 2019), en kan verschillen afhankelijk van de opbouw van het station. Met de zelfevaluatietool wordt geen effectief groepsrisico berekend, maar er wordt nagegaan of de populatiedichtheid in de omgeving van het station niet boven een kritische waarde uitkomt. De zelfevaluatietool geeft dus een conservatieve inschatting van het groepsrisico. Indien het resultaat van de zelfevaluatietool acceptabel is, kunnen we ervan uitgaan dat het groepsrisico aanvaardbaar is volgens de code van goede praktijken inzake risicocriteria voor externe mensrisico's van Seveso-inrichtingen.



Figuur 28: Gehanteerde risicocriteria voor het groepsrisico van Seveso-inrichtingen in Vlaanderen

- **Zelfevaluatietool**

In het kader van deze BBT-studie werd door M-Tech (M-Tech, 2020) een berekening gemaakt van de risicoafstanden voor verschillende samenbouwconfiguraties gemaakt. Deze studie en de resulterende zelfberekeningstools zijn volledig te raadplegen via www.emis.vito.be.

Een selectie uit de door M-Tech berekende externe afstandsregels (risicoafstanden) voor enkele courant voorkomende samenbouwconfiguraties uit België en onze buurlanden, is hieronder opgenomen. Let erop dat de studie door M-Tech heel wat meer uitgebreide en gedetailleerde info over de berekening en resultaten van afstandsregels voor vele mogelijke configuraties bevat. Het is dus sterk aanbevolen om deze info uit de studie door M-Tech te raadplegen bij het toepassen van deze maatregel. Bijzondere aandacht gaat hierbij naar de richtlijnen voor het gebruik van de risicoafstanden die voor elk beschouwd type samenbouw zijn opgenomen in het rapport van M-Tech.

Zoals reeds vermeld in paragraaf 4.1.5, wordt gebruik gemaakt van de faalfrequentiedata van LPG-achtige slangen[43] voor het berekenen van de interne scheidingsafstanden en risicoafstanden in resp. paragrafen 4.1.5 en 4.1.6 , op voorwaarde dat volgende veiligheidsvoorzieningen getroffen worden:

- het uitrusten van waterstofslangen met een breekkoppeling (zie ook paragraaf 4.2.3)
- het volgen en respecteren van een code van goede praktijk (zie ook paragraaf 4.1.8)
- het uitvoeren van een lektest voorafgaand aan vulling (conform de richtlijnen hierover opgenomen in de SAE J2601 en SAE J2799).

- **Voorbeelden van externe risicoafstanden gebaseerd op bestaande waterstoftankstations**

Hieronder (Tabel 35 t.e.m. Tabel 39) worden de risicoafstanden van de functionele delen van het tankstation van **vijf (courant voorkomende) tankstation varianten** toegelicht, met daaronder de voornaamste conclusies. Om de goede leesbaarheid van deze paragraaf te behouden worden slechts enkele componenten van het station vermeld. Voor de volledige lijst met technische details van de componenten alsook hun gebruiksduur en verblijftijden, refereren we naar de veiligheidsstudie van M-tech (M-Tech, 2020). Let er ook op dat deze afstanden als voorbeeld dienen en niet kunnen gebruikt worden voor andere (nieuwe) tankstations. Er moet steeds naar de eigen specifieke situatie gekeken worden. De rijen die in het vet staan zijn functionele delen waar een flexibele slang in zit en waar een onderscheid wordt gemaakt tussen standaard slang en LPG-achtige slang.

- *Tankstation 1 (afgekort T1):* gebaseerd op het bestaande tankstation van Air Liquide te Zaventem met een capaciteit van 200 kg/dag een aanlevering via tube-trailer (max 200 bar).

Tabel 35: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T1

Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10^{-5}/j	10^{-6}/j	10^{-7}/j
Losplaats voor tube-trailers (tube-trailers, slang)	**6**	**21**	**34**
Lagedruk opslag (lagedruk opslagbuffer, leidingen)	12	17	19
Middendruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	14	22
Hogedruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	14	24
Afleverzuil (slang, gaskoeler, leiding)	**3**	**13**	**22**
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	**15**	**23**	**34**

Conclusie: De lagedrukopslag bepaalt voornamelijk de 10^{-5} scheidingsafstand, en de losplaats voor tube-trailers (tube-trailers, verdeelslang) bepaalt in grote mate de 10^{-6} en 10^{-7} scheidingsafstanden.

- *Tankstation 2 (afgekort T2):* gebaseerd op het bestaande tankstation van Air Liquide te Rhoon (NL) met een capaciteit van 200 kg/dag en aanlevering via een pijpleiding.

[43] Zie opmerking van Team Externe Veiligheid in Bijlage 2

Tabel 36: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T2

Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10^{-5}/j	10^{-6}/j	10^{-7}/j
Aanvoer via een waterstoftransportleiding	3	15	34
Middendruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	17	40
Hogedruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	6	14	24
Afleverzuil (slang, gaskoeler, leiding)	**3**	**13**	**22**
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	**11**	**23**	**47**

Conclusie: De bovenvermelde componenten dragen evenwaardig bij tot het risico dat uitgaat van het tankstation, waarbij de aanvoer via een waterstoftransportleiding en het middendruk gedeelte een iets groter aandeel krijgen.

- *Tankstation 3 (afgekort T3):* gebaseerd op het bestaande tankstation van Waterstofnet te Helmond (NL) met een capaciteit van 130 kg/dag en on-site productie via elektrolyse.

Tabel 37: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T3

Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10^{-5}/j	10^{-6}/j	10^{-7}/j
Lokale waterstofproductie (elektrolyse-modules, verbindingsleiding)	6	13	26
Middendruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	11	23	45
Afleverzuil op 350 bar (slang, leiding)	**3**	**3**	**11**
Hogedruk gedeelte (compressor, leidingen, buffer)	3	15	37
Afleverzuil op 700 bar (slang, gaskoeler, leiding)	**3**	**11**	**17**
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	**13**	**27**	**45**

Conclusie: Het middendrukgedeelte bepaalt grotendeels de maximale scheidingsafstanden 10^{-5}, 10^{-6}, en 10^{-7}. De lokale waterstofproductie-eenheid heeft een zeer beperkte invloed op de risicoafstanden.

- *Tankstation 4 (afgekort T4):* gebaseerd op het tankstation van Coop Mineraloel AG te Hunzenschwil (CH) met een capaciteit van 600 kg/dag met een aanlevering via tube-trailer of batterijvoertuigen (max 200 bar).

Tabel 38: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T4

Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10^{-5}/j	10^{-6}/j	10^{-7}/j
Losplaats voor batterijvoertuigen (batterijvoertuigen, slang, leiding)	**10**	**24**	**31**
Lagedruk opslag (ondergrondse tank, leidingen)	3	6	30
Compressor en bijhorende buffers (compressor, leidingen, buffers)	9	21	27
Afleverzuil op 350 bar (slang, leiding)	**3**	**13**	**21**
Afleverzuil op 700 bar (slang, gaskoeler, leiding)	**4**	**13**	**22**
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	14	26	34

Conclusie: De losplaats voor batterijvoertuigen en de compressor en bijhorende buffers bepalen grotendeels de totale maximale risicoafstanden.

- *Tankstation 5 (afgekort T5):* gebaseerd op het tankstation van Total in Berlijn (DE) met een capaciteit van 200 kg en aanlevering via tube-trailers (max 200 bar).

Tabel 39: Maximale risicoafstanden voor de verschillende componenten op een tankstation van type T5

Functionele delen van het tankstation (met componenten op korte afstand van elkaar)	Max. risicoafstanden		
	10^{-5}/j	10^{-6}/j	10^{-7}/j
Losplaats voor batterijvoertuigen (batterijvoertuigen, slang, leiding)	**6**	**21**	**33**
Lagedruk opslag (ondergrondse tank, leidingen)	4	20	50
Compressor en bijhorende buffers (compressor, leidingen, buffers)	7	13	27
Afleverzuil op 700 bar (slang, gaskoeler, leiding)	**4**	**13**	**22**
Totaal (alle componenten op korte afstand van elkaar)	**13**	**26**	**53**

Conclusie: De losplaats voor tube-trailers bepaalt in grote mate de risicoafstanden voor 10^{-5}/j en 10^{-6}/j, en de lagedruk opslag de risicoafstand voor 10^{-7}/j.

In de studie door M-Tech zijn bijkomend maximale risicoafstanden[44] te vinden voor de afzonderlijke installatieonderdelen van de beschouwde afleverinstallaties, en

[44] Maximale risicoafstanden zijn de externe risicoafstanden, bepaald als de maximale afstanden tot waarop een plaatsgebonden mensrisico van 10-5, 10-6 en 10-7/j wordt berekend. Gerekend vanaf 1 punt.

gecumuleerde risico-afstanden[45] voor waterstoftankstations die door verschillende combinaties van slangen worden bevoorraad. Deze zijn te raadplegen in de tabellen IV 2.1.1 t.e.m. IV 2.4.2.

Algemene conclusies voor de onderzochte cases uit de berekende risicoafstanden m.b.t:

Aanvoermethode:

- Aanvoer via een pijpleiding (T2), het lossen via een tube-trailer (T1), en het lossen met een batterijvoertuig (T4 en T5) hebben een vergelijkbaar risico.
- De lokale waterstofproductie d.m.v. elektrolyse heeft een beperkt effect op de risicoafstanden (T3)

Opslag:

- De lagedrukopslag in de vorm van bovengrondse cilinders heeft een kleiner risico (T1) in vergelijking met ondergrondse opslag (T4 en T5)
- De middendrukopslag heeft doorgaans een groter risico dan de hogedrukopslag (zie T2)

Aflevering:

- De aflevering op 700 bar kan in sommige gevallen een groter risico hebben dan aflevering op 350 bar (T3)

- **Richtlijnen voor het gebruiken van de risicoafstanden**

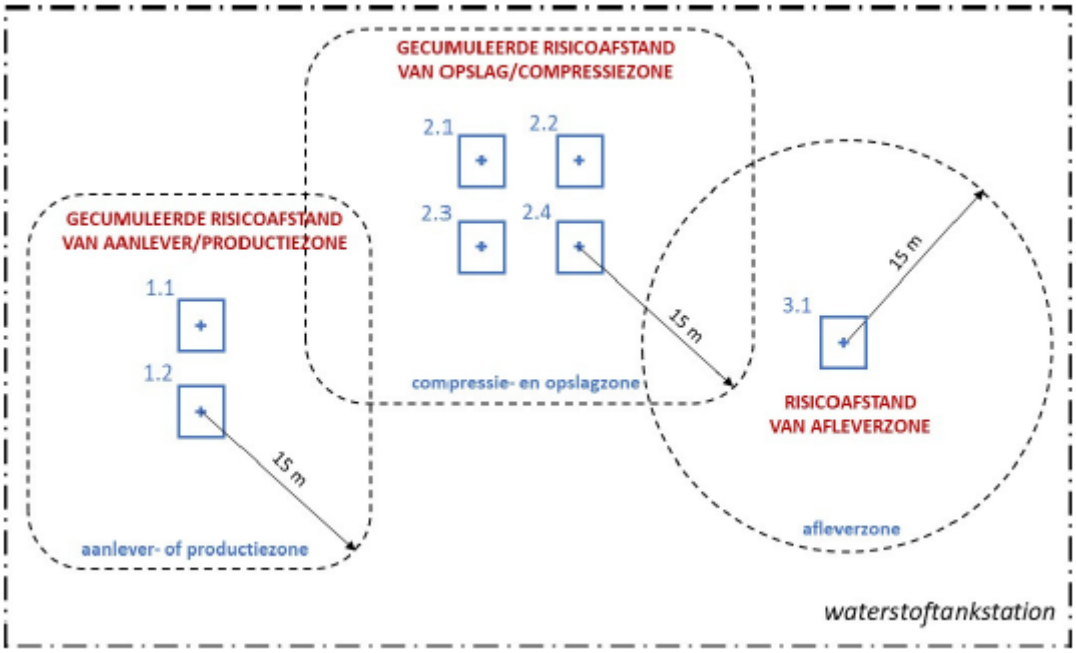
Richtlijnen voor het gebruiken van de risicoafstanden zijn te raadplegen in de begeleidende studie van M tech (2020), waarin o.a. de volgende richtlijn is opgenomen: "Afhankelijk van de onderlinge afstanden tussen de risicobepalende componenten van een waterstoftankstation en de onderlinge verhouding van de risicoafstanden die uitgaan van deze componenten, is het aangewezen om bij de evaluatie van het plaatsgebonden mensrisico van het tankstation uit te gaan van gecumuleerde risicoafstanden (d.w.z. van de risicoafstanden die uitgaan van meerdere componenten op eenzelfde locatie) of van individuele risicoafstanden."

Op een waterstoftankstation kunnen over het algemeen drie functionele zones worden geïdentificeerd: een aanlever- of productiezone, een compressie- en opslagzone en een afleverzone. Er wordt verder aangenomen dat de componenten die behoren tot eenzelfde functioneel gedeelte van het tankstation (bv. compressie en opslag) dicht bij elkaar zijn gesitueerd en dat bijgevolg de gecumuleerde risicoafstanden dienen te worden toegepast voor elk van de functionele delen van het tankstation.

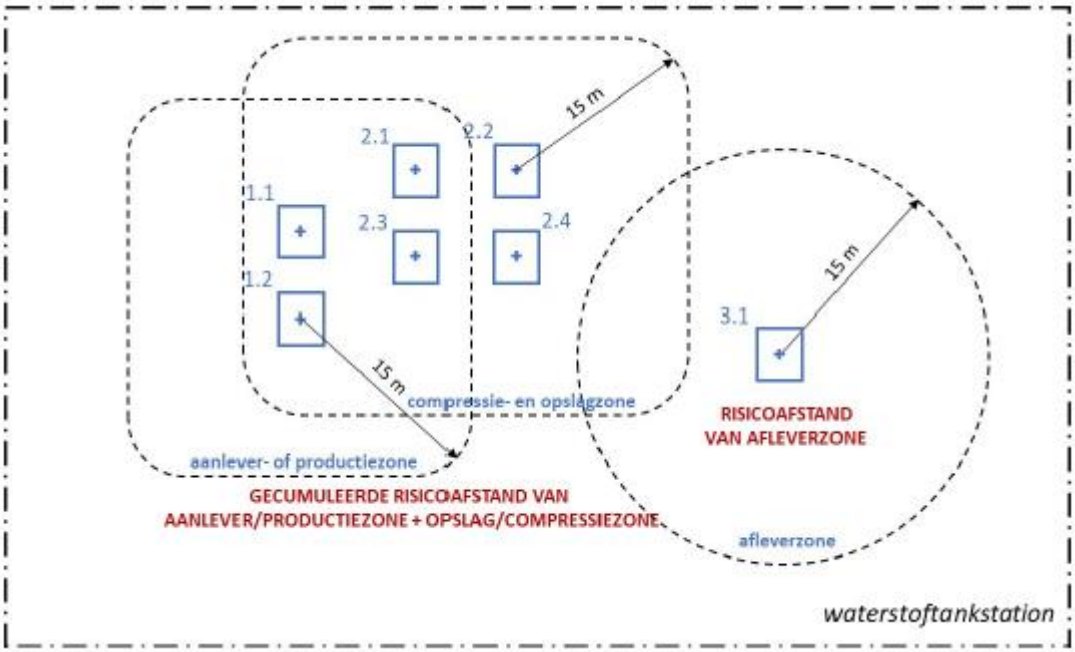
Indien de functionele zones bovendien op minder dan 15 m van elkaar gelegen zijn dan dienen de gecumuleerde risicoafstanden te worden toegepast voor alle componenten in de betreffende zones. De voorgestelde werkwijze wordt toegelicht in onderstaande Figuur

[45] Gecumuleerde risicoafstanden zijn de bundeling van de individuele risico-afstanden van de verschillende installatieonderdelen op een afleverinstallatie (bv. opslagtank, verdeelzuil, …). Wanneer de afzonderlijke componenten waaruit een samenbouwinstallatie is opgebouwd zich op grote afstand van elkaar bevinden, dan resulteert het toepassen van de gecumuleerde maximale risicoafstanden vanaf de inplantingslocatie van elke component mogelijk in een aanzienlijke overschatting van de zones waar het plaatsgebonden mensrisico 10^{-5}/j, 10^{-6}/j en 10^{-7}/j of meer bedraagt. Afhankelijk van de onderlinge verhouding van de maximale risicoafstanden van de afzonderlijke componenten en de verhouding van de onderlinge afstand tussen de componenten en hun maximale risicoafstanden is het gebruik van de maximale risicoafstanden van de individuele componenten dan eerder aangewezen.

29 (functionele delen op meer dan 15 m van elkaar) en Figuur 30 (functionele delen op minder dan 15 m van elkaar). In Figuur 29 fungeren de aanlever- of productiezone (linkse zone) evenals de compressie- en opslagzone (middelste zone) als twee afzonderlijke zones, omdat de onderdelen binnen deze zone zich op minder dan 15 m van elkaar bevinden. Hiervoor worden de gecumuleerde scheidingsafstanden gehanteerd. In Figuur 30 vormen deze beide zones samen één zone, waarvoor de gecumuleerde risicoafstand gehanteerd wordt.



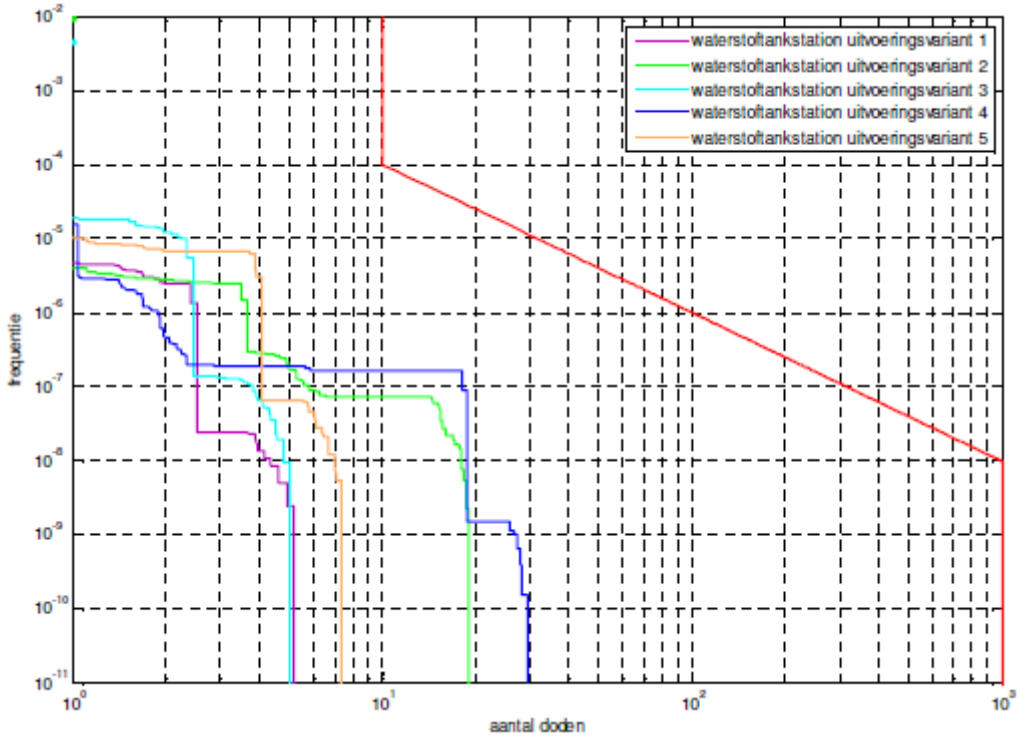
Figuur 29: Spelregels m.b.t. het gebruik van risicoafstanden op een waterstoftankstation waarbij de functionele delen op meer dan 15 m van elkaar gelegen zijn



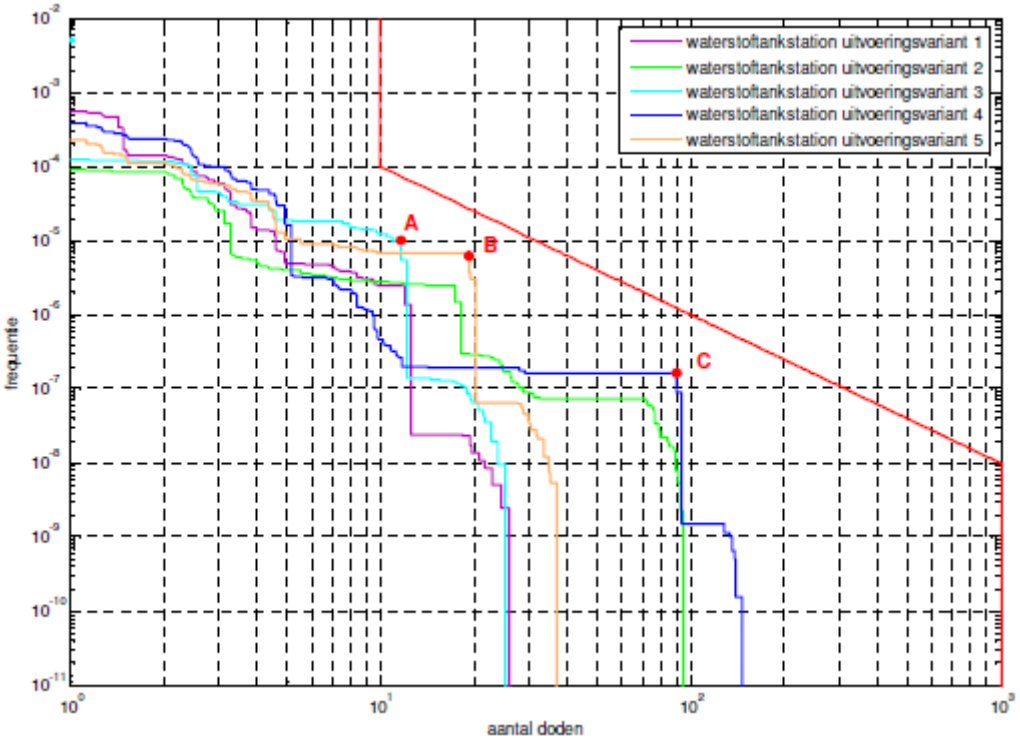
Figuur 30: Spelregels m.b.t. het gebruik van risicoafstanden op een waterstoftankstation waarbij bepaalde functionele delen op minder dan 15 m van elkaar gelegen zijn

Groepsrisico van de verschillende uitvoeringsvarianten:

Om een beeld te krijgen van de ligging van de groepsrisicocurve van een waterstoftankstation wordt het groepsrisico geëvalueerd voor de vijf uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation hierboven beschreven. Het groepsrisico wordt in eerste instantie bepaald voor een station dat gelegen is in een omgeving met een uniforme populatiedichtheid van 40 personen per hectare. Dergelijke populatiedichtheid komt overeen met een bedrijvenzone met een gemiddelde bezetting of deze die wordt teruggevonden in rustige tot drukkere woonwijken. Figuur 31 en Figuur 32 tonen het groepsrisico van de verschillende bovenvermelde uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van respectievelijk 40 pers/ha en 200 pers/ha.



Figuur 31: Groepsrisico van de vijf uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 40 pers/ha



Figuur 32: Groepsrisico van de vijf uitvoeringsvarianten van een waterstoftankstation in een omgeving met een populatiedichtheid van 200 pers/ha. De punten van de

groepsrisicocurven die het meest kritisch liggen worden aangeduid met de letters A, B, en C.

Conclusie: De groepsrisicocurven voor de vijf bestudeerde uitvoeringsvarianten bevinden zich in beide gevallen (40 pers/ha en 200 pers/ha) allemaal ruim beneden het Vlaamse groepsrisicocriterium (rode lijn).

Opmerking: Ontwikkelingen op het vlak van de transportvoertuigen hebben ertoe geleid dat er recent ook batterijvoertuigen beschikbaar zijn die waterstof kunnen transporteren bij drukken tot 500 bar. Deze zijn op dit moment niet berekend in de courant voorkomende tankstation uitvoeringstypes (T1 – T5), maar worden wel verwacht ingezet te worden in de toekomst. Uit bijkomende simulatieberekeningen werd onderzocht welk effect de aanvoer van waterstof via batterijvoertuigen met een hogere vuldruk (500 bar) op de groepsrisicocurven zal hebben. Hieruit blijkt dat deze batterijvoertuigen een duidelijke invloed hebben op de ligging van de groepsrisicocurven in het bereik van 5 tot 30 doden. Meer informatie hierover wordt meegegeven in de veiligheidsstudie van M tech (Hoofdstuk VI.3).

Toepasbaarheid

Het respecteren van de risicoafstanden is algemeen toepasbaar voor nieuwe installaties die gebouwd worden na het in voege treden van een decretale verplichting omtrent deze scheidingsafstanden. Voor bestaande installaties is het vergroten van afstanden vaak geen haalbare optie.

Verkleining van de hierboven beschreven afstanden is in bepaalde gevallen mogelijk indien andere bijkomende maatregelen worden ingevoerd. Het is noodzakelijk dat kleinere scheidingsafstanden in combinatie met extra omgevingsbeschermende maatregelen door een erkende deskundige externe veiligheid in een veiligheidsstudie onderzocht worden bij de vergunningsaanvraag. Echter is het wel aangewezen om waar mogelijk voor het bepalen van de risicoafstanden gebruik te maken van de generieke tool in plaats van beroep te doen op individuele veiligheidsstudies opgemaakt door erkende VR-deskundigen. Dit werkt tijd- en kostenbesparend voor de aanvrager en voor de vergunningsverlenende instantie.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Risicoafstanden hebben tot doel om preventief (in de fase van ontwerp, configuratie en inplanting van de installatie) de impact van accidentele productvrijzetting en een eventueel vervolgscenario (bv. ontsteking van het vrijgekomen product met een plasbrand tot gevolg) op de omgeving maximaal te beperken.

Financiële aspecten

Voor risicoafstanden kan het zoeken naar en betalen van een geschikt terrein waarop de scheidingsafstanden gerespecteerd kunnen worden, een bepaalde meerkost met zich meebrengen.

4.1.7 Voorzien, inoefenen en up-to-date houden van noodprocedures

Beschrijving

Noodprocedures hebben tot doel om de impact van een accidentele vrijzetting van gevaarlijke stoffen uit een inrichting op mens en omgeving zoveel mogelijk te beperken.

Noodprocedures vormen een essentieel onderdeel van de maatregelen m.b.t. een managementsysteem voor milieuvriendelijke en veilige exploitatie (4.1.2) en voorschriften voor een veilige bedrijfsvoering (zie paragraaf 4.1.3).

Het is een bundeling van alle gemaakte afspraken tussen en gelegde verantwoordelijkheden bij exploitant, omliggende bedrijven, buurtbewoners, hulpdiensten, en andere belanghebbenden om in geval van een incident de schade zoveel als mogelijk te beperken.

Een noodprocedure kan specifiek op een welbepaald domein gericht zijn (bv. organisatie van brandbestrijding) of kan een breder toepassingsgebied hebben.

Specifiek met de brandweer is het belangrijk om duidelijke afspraken te maken over de uitvoering van brandbestrijdingsmaatregelen. De brandweerdiensten in Vlaanderen hebben via deelname aan Europese expertengroepen en oefenterreinen specifieke kennis en ervaring opgedaan over de aanpak van incidenten met H_2. Daarnaast kunnen zij een adviesrol opnemen tijdens de omgevingsvergunningsprocedure, waardoor zij specifieke maatregelen in het kader van brandpreventie en –bestrijding kunnen opleggen (Tom Van Esbroeck, brandweerzone centrum, 2019).

<u>Blussen van branden:</u> Normaal gesproken moet men waterstofbranden op laten branden totdat de gasstroom gestopt is vanwege het potentieel explosiegevaar als gevolg van het blussen van de brand met water. Het vuur zou echter wel gecontroleerd moeten worden door de opslagtanks met water te koelen. De voorzieningen om secundaire branden te vermijden en om de verdere uitbreiding van de brand te beperken worden bepaald in overleg met de brandweer. Indien nodig kunnen bv. watersproeisystemen of sprinklerinstallaties voorzien worden om de waterstofopslagtank te koelen.
Opdat alle betrokkenen kennis zou kunnen nemen van de geldende procedures voor een bepaalde inrichting is het belangrijk dat de procedures schriftelijk beschikbaar zijn op de locatie van exploitatie. Verder is het van belang dat de noodprocedures regelmatig ingeoefend worden, en dat ze actueel gehouden worden.

Een noodprocedure <u>kan</u> de volgende onderdelen bevatten, maar zal qua specifieke inhoud afhankelijk zijn van het voorwerp en doel van de noodprocedure (bv. brandbestrijding, productvrijzetting, interactie met omliggende bedrijven ingeval van calamiteit, …):

- een overzicht van de gevaareigenschappen van waterstof;
- een beschrijving om elk lopend proces manueel vanop afstand stop te zetten;
- een verduidelijking over het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen;
- gemeenschappelijke en individuele verantwoordelijkheden van elk der (nabijgelegen) exploitanten bij noodsituaties. Dit is bijvoorbeeld de organisatie van de brandbestrijding, het optreden van de interventiediensten en afstemming en uitvoering (oefenen) van de noodplanning[46]. Er is echter een duidelijk onderscheid tussen interne noodplanning (verantwoordelijkheid van de

[46] Omtrent noodplanning zijn art. I.2-23 tem I.2-26 van de codex welzijn op het werk (het oude art 22 t.e.m. 25 van het KB 27/3/1998) relevant. Zie ook art. VI.1-26 van de codex welzijn op het werk (het oude art 29 van het KB 11/3/2002 - chemische agentia).

exploitant, zoals onder deze titel besproken) en externe noodplanning (interventieplannen van de brandweer).

Volgens de PGS 35 worden de volgende acties in ieder geval uitgevoerd in geval van incidenten en calamiteiten (brand, waterstof- of andere lekkage (koelwater, koudemiddel)) bij een waterstoftankstation (PGS35, 2015):

- *In geval van lekkage of brand moet worden getracht om die zo spoedig mogelijk onder controle te krijgen. Dit gebeurt via het activeren van een noodstopvoorziening (zie paragraaf 4.2.15 Voorzien van een noodstopsysteem (ESD - Emergency Shut* Down) *).*
- *Zo nodig moet hulp worden aangeboden aan degenen die zich binnen de inrichting bevinden en aan omwonenden. Dit kan via een noodplan dat moet worden opgesteld in overleg met de bevoegde autoriteiten. Bij de afleverinstallatie moeten noodinstructies (voortvloeiend uit het noodplan) aanwezig zijn. In bijlage I bij de Nederlandse PGS 35 is een voorbeeld van een noodinstructie opgenomen.*
- *Deze instructie behoort de namen en telefoonnummers te bevatten van instanties en personen waarmee in geval van calamiteiten contact moet worden opgenomen en het adres van de locatie.*
- *Bij onbemande tankstations behoort de beheerder/gebruiker te voorzien in een 24-uursbereikbaarheid van de instanties en personen die in het noodplan worden genoemd.*
- *Activatie van de aanwezige noodstopvoorziening(en) om verladingen te stoppen en de installatie in te blokken;*
- *Waarschuwing van de hulpverleningsdiensten en de gebruiker/beheerder van het waterstoftankstation.*
- *Elke brand, waterstof- of andere lekkage (koelwater, koudemiddel) moet onmiddellijk worden gemeld aan de brandweer"*

Toepasbaarheid

Het opstellen, inoefenen en up-to-date houden van noodprocedures is toepasbaar op alle uitvoeringstypes, maar kunnen inhoudelijk verschillen naargelang het type.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Het opstellen, inoefenen en up-to-date houden van een noodprocedure is in de eerste plaats bedoeld om voorbereid te zijn, zodat in geval zich werkelijk een incident voordoet, er adequaat kan gereageerd worden en de noodzakelijke acties kunnen worden genomen om de gevolgen van het incident te beperken.

Financiële aspecten

Het opstellen, inoefenen en up-to-date houden van een noodprocedure vraagt financieel enige inspanning. De kosten die eraan verbonden zijn, liggen in de geïnvesteerde tijd om alle actoren samen te brengen en de afspraken met hen te maken.

4.1.8 Bouwen, exploiteren en onderhouden van de installatie volgens een code van goede praktijk

Beschrijving

Een code van goede praktijk is, conform de definitie in Vlarem II (art. 1.1.2), de verzameling van publiek toegankelijke regels met betrekking tot de bouw, het transport, het plaatsen, het uitbaten, het onderhouden en het eventueel ontmantelen van een inrichting of een onderdeel ervan, met inbegrip van de toepasselijke productnormen en de bij de betrokken beroepscategorieën algemeen aanvaarde regels van goed vakmanschap. In geval van eventuele onderlinge tegenstrijdigheden (bv. qua interpretatie) is de volgende volgorde bepalend:

- de Belgische normen (zie ook 2.4.3 Belgische wetgeving);
- de normen uitgegeven door het 'Comité Européen de Normalisation' (C.E.N.);
- de normen uitgegeven door de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO);
- de normen uitgegeven door de International Organisation for Standardisation (I.S.O.);
- de regels uitgegeven door de erkende controle-instellingen of de milieudeskundigen, erkend in de toepasselijke disciplines;
- de regels uitgegeven door de constructeurs of verdelers van installaties of onderdelen ervan;
- buitenlandse richtlijnen, zoals PGS 35.

Normen

Een groot deel van de eisen die aan H_2-tankstations wordt opgelegd, is vastgelegd in specifieke normen. Naast specifieke normen zoals deze voor H_2-tankstations (en de componenten ervan), zijn er ook heel wat zogenaamde 'horizontale' normen, die voor een hele reeks installaties, en niet enkel H_2-gerelateerde, is geschreven. De ATEX normering is daarvan een voorbeeld.

Iedere component van een H_2-installatie moet voorzien zijn van een CE-markering wanneer deze onder één of meerdere van de in hoofdstuk 2 besproken richtlijnen ressorteert. Daarnaast publiceert het ISO internationale normen en technische rapporten, specifiek voor H_2-installaties.

Binnen ISO worden normen opgemaakt of herzien binnen specifieke technical committees (TC) of project committees (PC). Voor H_2 zijn de volgende TC's of PC's relevant:

- ISO/TC 197 "Hydrogen technologies"

Binnen CEN worden de voor deze studie relevante Europese normen (EN) opgemaakt:

- CEN/TC 23 "Transportable gas cylinders"
- CENT/TC 268 "Cryogen vessels and specific hydrogen technology applications"
- CEN/TC 305 "Potentially explosive atmospheres – Explosion prevention and protection"
- CEN/TC 393 "Equipment for storage tanks and for filling stations"
- CEN/TC 446 "Hydrogen"
- CEN/CLC/JWG FCGA "Fuel cell gas appliances"
- CEN/CLC/JTC6 "Hydrogen in energy systems"

Een overzicht van een aantal relevante ISO/CEN normen wordt gegeven in Tabel 40.

Tabel 40: Niet-limitatief overzicht van ISO/CEN normen die als code van goede praktijk aangewend kunnen worden bij de bouw, exploitatie, en onderhoud van een samenbouw voor H_2-verdeling aan voertuigen

ISO/CEN referentienummer	Inhoud
13850	Safety of machinery – Emergency stop function – Principles for design
14687	Hydrogen fuel – Product specification
15869	Gaseous hydrogen and hydrogen blends – Land vehicle fuel tanks
15916	Basic considerations for the safety of hydrogen systems
17268	Gaseous hydrogen land vehicle refueling connection devices
19880	Gaseous hydrogen – Fuelling stations
14687	Hydrogen Fuel – Product specification
26142	Hydrogen detection apparatus – Stationary applications
1920	Transportable gas cylinders – Cylinders for compressed gases (excluding acetylene) – Inspection at time of filling
1127-1	Explosive atmospheres – Explosion prevention and protection
13463-1	Non-electrical equipment for use in potentially explosive atmospheres – Part 1: Basic method and requirements
13463-2	Non-electrical equipment for use in potentially explosive atmospheres - Part 2: Protection by flow restricting enclosure 'fr'
13463-3	Non-electrical equipment for use in potentially explosive atmospheres - Part 3: Protection by flameproof enclosure 'd'
13463-5	Non-electrical equipment intended for use in potentially explosive atmospheres - Part 5: Protection by constructional safety 'c'
13463-6	Non-electrical equipment for use in potentially explosive atmospheres - Part 6: Protection by control of ignition source 'b'
13463-8	Non-electrical equipment for potentially explosive atmospheres - Part 8: Protection by liquid immersion 'k'
13160-1	Leak detection systems – Part 1: General principles
22734	Hydrogen generators using water electrolysis

50465	Gas appliances – Combined heat and power appliance of nominal heat input inferior or equal to 70 kW

Naast ISO en CEN, bestaan er nog tal van andere organisaties die van toepassing kunnen zijn voor waterstoftankstations. Deze zijn weergegeven in onderstaande Tabel 41.

Tabel 41: Overzicht van organisaties die standaarden en codes hebben ontwikkeld m.b.t. waterstof toepassingen

Type	Organisatie	Oorsprong
Standaarden & Codes	AFNOR (Association française de Normalisation)	Frankrijk
	ANSI (American National Standards Institute)	VS
	ASME (American Society of Mechanical Engineers)	VS
	CEN (European Committee for Standardization)	Europa
	CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)	Europa
	CGA (Compressed Gas Association)	VS
	CSA (Canadian Standards Association)	Canada
	ICC (International Code Council, Inc.)	Internationaal
	IEC (International Electrotechnical Commission)	Internationaal
	ISO (International Standards Organization)	Internationaal
	NFPA (National Fire Protection Association)	VS
	SAE (Society of Automotive Engineers)	VS
	UL (Underwriters Laboratories)	Internationaal

Overige documenten:

Buiten normen, codes, en voorschriften, zijn er nog andere teksten die interessante informatie bieden. Deze overige documenten zijn gratis en zijn niet verplicht om te volgen. Wel bieden ze een nuttige bron van informatie aan, daar dat de meeste gepubliceerd zijn voor verenigingen of associaties van bedrijven die hun kennis en ervaringen via deze manier met elkaar delen.

De belangrijkste associaties in deze context zijn**:**

- **European Industrial Gases Association (EIGA)**

Tabel 42: Nuttige documenten opgemaakt door het European Industrial Gases Association (EIGA) i.k.v. de bouw van een waterstoftankstation

Codification	Title
IGC Doc 15/06	Gaseous hydrogen stations
IGC Doc 75/07/E	Determination of Safety Distances
IGC Doc 80/14/E	Handling Gas Container Emergencies
IGC Doc 86/09/E	Gas cylinders and valves with restricted use in the EU
IGC Doc 100/11/E	Hydrogen Cilinders and Transport Vessels
IGC Doc 106/03/E	Environmental issues guide
IGC Doc 107/10	Guidelines on environmental management systems
IGC Doc 108/14	Environmental Legislation applicable to Industrial Gases Operations within the EU
IGC Doc 113/11/E	Environmental Impacts of Transportation of Gases
IGC Doc 134/12/E	Potentially Explosive Atmospheres EU Directive 1999/92/EC
IGC Doc 171/12/E	Storage of Hydrogen in Systems Located Underground

Deze documenten kunnen geraadpleegd worden via de website https://www.eiga.eu/

- **National Renewable Energy Laboratory (NREL)**

Tabel 43: Nuttige documenten opgemaakt door het National Renewable Energy Laboratory (NREL) i.k.v. de bouw van een waterstoftankstation

Titel
Pressure Relief Devices for High-Pressure Gaseous Storage Systems: Applicability to Hydrogen Technology
Refueling Infrastructure for Alternative Fuel Vehicles: Lessons Learned for Hydrogen; Workshop Proceedings
Fuel Cell Technologies National Codes and Standards Development and Outreach
An overview of hydrogen safety sensors and requirements
A National Agenda for Hydrogen Codes and Standards

Deze documenten kunnen geraadpleegd worden via de website https://www.nrel.gov/.

- **Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)**

Tabel 44: Nuttige documenten opgemaakt door het Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) i.k.v. de bouw van een waterstoftankstation

Codification	Title
PNNL-18523 (2009)	Secondary Protection for 70MPa Fueling – A White Paper from the Hydrogen Safety Panel
PNNL-23704 (2014)	Electronic Safety Resource Tools – Supporting Hydrogen and Fuel Cell Commercialization

Deze documenten zijn te raadplegen via de website https://www.pnnl.gov/.

- **Society of Automotive Engineers (SAE)**

De Society of Automotive Engineers (SAE) heeft eveneens normen m.b.t. de vulprotocollen van waterstof voertuigen. Zo bevatten de J2601: *Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen*, de J2601-2: *Fueling Protocol for gaseous hydrogen powered heavy duty vehicles*, en de J2799: *Hydrogen surface vehicle to station communications hardware and software* belangrijke richtlijnen rond het bevoorraden van een waterstofvoertuig.

Het is buiten de scope van deze studie om alle relevante documenten op te lijsten. Een aantal specifieke documenten werden geconsulteerd voor het opmaken van deze BBT studie, meer bepaald:

- NFPA 2 (2011) – Hydrogen Technologies Code
- SAE J2601 – Fuelling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles
- SAE J2799 - Hydrogen surface vehicle to station communications hardware and software

Sommige maatregelen die verderop in de BBT-studie besproken worden, kunnen al onderwerp zijn van bestaande of in opmaak zijnde normen. Indien dit het geval is, wordt dit in de beschrijving van de maatregel aangegeven.

Codes van goede praktijk en normen zijn onderhevig aan verandering door nieuwe inzichten en ervaringen uit de praktijk. Het is daarom raadzaam om de nieuwe inzichten hieromtrent als operator of exploitant goed op te volgen.

Keuring en onderhoud:

De keuring en onderhoud van de installatie(-onderdelen) is gebaseerd op de reeds beschikbare informatie uit de huidige codes van goede praktijk, en vindt plaats volgens een vastgesteld schema, waarvoor in deze studie in paragraaf 6.1.3 Bijlage A een voorstel wordt geformuleerd.

Toepasbaarheid

Er bestaan verschillende normen afhankelijk van o.a. de uitvoeringstype van de installatie (aanlevering per tube-trailer, aansluiting aan een pijpleiding, on-site productie, enz.), en de opslag- en afleverdruk.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Normen zijn erop gericht om, gebaseerd op internationale en breed gedragen wetenschappelijke inzichten, op een gestandaardiseerde manier technische eisen op te leggen aan installaties. Eén van de hoofddoelen van normering is om het veiligheidsniveau en de milieuprestatie van de installatie te verhogen.

Financiële aspecten

Het toepassen van normen kan een bepaalde investering vragen, maar deze investering is niet hoger dan voor een concurrerende exploitant. Normering creëert immers een 'level playing field' doordat alle soortgelijke installaties(of hun onderdelen) aan dezelfde normen onderworpen zijn.
Doorgaans zijn de normen op nationaal en op 'lagere' niveaus een vertaalslag van de internationaal geldende normen. Op die manier wordt d.m.v. normering naast een 'level playing field' ook een noodzakelijk niveau van standaardisatie gecreëerd dat investeringen in de sector aantrekkelijker maakt.

4.1.9 Voorzien van correcte signalisatie op het terrein

Beschrijving

Een signalisatie heeft een **informerende functie** en deze kan zowel **visueel** als **akoestisch** zijn.

Signalisatie kan verschillende doelen hebben. Enerzijds heeft het een preventieve werking, omdat het personen attent maakt op bepaalde gevaren en/of helpt om op een correcte manier om te gaan met installatieonderdelen of processen. Signalisatie kan in de vorm van geluidssignalen, (weg)markeringen, borden, pictogrammen, etiketten, labels, …

Zo worden **geluidssignalen** ingezet om in geval van een noodtoestand de aanwezige personen te helpen om het gevaar te bestrijden of om zichzelf zo veilig mogelijk te evacueren, en om bijkomende klanten te weren van het waterstoftankstation.

Pictogrammen geven, afhankelijk van hun vorm en kleur, bepaalde gebods-, verbods- of gevaaraanduidingen.

Signalisatie op het waterstoftankstation voldoet doorgaans aan de geldende voorschriften van ISO 3864 (*International standards for safety symbols*), ISO 17398 (*Safety signs – Classification, performance and durability of safety signs*) en ISO 7000 / IEC 60417 (*Graphical symbols for use on equipment*).

Een voorbeeld van signalisatie is het aanbrengen van opschriften zoals 'VERBODEN VOOR ONBEVOEGDEN' en 'OPSLAG GASVORMIG WATERSTOF' op de scheidingsconstructie, die gebruikt wordt om bepaalde installatieonderdelen af te schermen voor onbevoegden.

Verder is het aangewezen om een bord "NIET BETREDEN BIJ ALARM" aan de ingangen van het waterstoftankstation te plaatsen. Dit is bedoeld om nieuwe klanten te weren in het geval dat een waterstofbrand aanwezig is. Hierbij is het belangrijk om het gevaar te communiceren en de klanten te waarschuwen omdat een waterstofbrand slecht zichtbaar is.

Het is voorts aangewezen om op de scheidingsconstructie naast elke deur signalisatieborden aan te brengen waarop vermeld staat dat roken en het maken van vuur verboden zijn. Telefoonnummers waarnaar in nood gebeld kan worden, zijn eveneens belangrijke inhoud die d.m.v. borden gesignaleerd kan worden (zie ook paragraaf 4.1.4).
Aanrijstroken, vulplaatsen en de standplaats voor de lossende waterstof tube-trailer of batterijvoertuig zijn tot slot best visueel aangeduid door markeringen op de grond.

Hieronder worden een aantal **waarschuwings- en verbodsborden** voorgesteld[47] die specifiek gebruikt kunnen worden voor gasvormig waterstof, alsook de aanbevolen locatie waar het bord kan staan op het terrein[48]:

-"Gasvormig waterstof" (geen CLP pictogram):
Er bestaat geen standaard pictogram voor gasvormig waterstof. Er wordt wel aangewezen om dit duidelijk te melden aan de ingang van het station of in de buurt van de verdeelzuil.

-"Ontvlambaar gas" (CLP);
Locatie: in de buurt van de verdeelzuil en t.h.v. de opslagtank

Figuur 33: CLP pictogram voor "gevaar ontvlambaar gas"

-"Gecomprimeerd gas" (CLP);
Locatie: in de buurt van de verdeelzuil en t.h.v. de opslagtank

[47] In het geval dat een waarschuwings- en verbodsbord opgenomen is in de CLP verordening (*European Union system of classification, labelling and packaging of chemical substances and mixtures*), dan wordt het officiële CLP-pictogram voorgesteld. Indien niet, dan wordt een pictogram gebruikt dat de relevante waarschuwing of verbod naar best vermogen communiceert. De pictogrammen van 'aanwezigheid van ontvlambare stoffen', het 'verbod tot roken' en het 'verbod vuur te maken' worden vastgesteld door het Koninklijke Besluit van 17 juni 1997 betreffende de veiligheids- en gezondheidssignalering op het werk.

[48] De aanbevolen locaties zijn slechts indicatief; een exploitant mag er altijd voor kiezen om de borden op meerdere plaatsen op het station aan te brengen.

Figuur 34: CLP pictogram voor "gevaar gecomprimeerd gas"

-"Rookverbod" (geen CLP pictogram);
Locatie: bij de ingang van het tankstation en t.h.v. de opslagtank

Figuur 35: Pictogram "verboden te roken" volgens het KB 17 juni 1997

"Verbod open vuur" (geen CLP pictogram) (ISO 19880)
Locatie: Wat betreft de locatie van de borden 'vuur, open vlam en roken verboden' legt de Codex over het welzijn op het werk (Boek III, Titel 6) volgende voorwaarden op:

- Op passende hoogte en op een passende plaats ten opzichte van het gezichtsveld
- Bij de toegang tot een zone waar het risico door de aanwezigheid van een open vlam bestaat
- Op een goed verlichte en gemakkelijk toegankelijke en zichtbare plaats

Figuur 36: Pictogram "verboden open vuur" volgens het KB 17 juni 1997"

-"Verbod gebruik van elektronische toestellen" (geen CLP pictogram)
Locatie: bij de ingang van het tankstation en t.h.v. de opslagtank

Figuur 37: Voorbeeld van een bord "verboden gebruik van elektronische toestellen"

-"Afzetten aandrijving" (geen CLP pictogram)
Locatie: In de buurt van de verdeelzuil

Figuur 38: Voorbeeld van een bord "afzetten aandrijving"
(Pictogrammen motor draaien verbod, n.d.)

Daarnaast wordt de afleverzuil voorzien van een bedieningsinstructie (een vorm van werkinstructie, zie paragraaf 4.1.3), die zichtbaar en leesbaar permanent is aangebracht.

Toepasbaarheid

Het aanbrengen van signalisatie is toepasbaar op elke vorm van uitvoeringstype en doorgaans verplicht door bestaande wetgeving, zoals de ATEX-richtlijn en het Boek II, titel 6 van de Codex welzijn op het werk inzake veiligheidssignalisatie (zie paragraaf 2.4.3).

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Het goed informeren van aanwezige personen binnen een risicozone is een essentieel onderdeel van het veiligheidsbeleid van een inrichting.

Financiële aspecten

De kosten die verbonden zijn aan het aanbrengen van signalisatie hangen af van de hoeveelheid en de aard. Gelet op het aandeel in de totale kostprijs van een samenbouw wordt de kost van deze maatregel(en) niet als significant hoog beschouwd.

4.1.10 Voorzien van maatregelen i.v.m. brandveiligheid

Beschrijving:

Brand kan ontstaan wanneer een brandbaar gasmengsel ontstoken wordt door een ontsteking. Er zijn verschillende ontstekingsmechanismen, die vermeld staan in paragraaf 3.2.7. Om het risico op brand te minimaliseren, en bijgevolg de schade van brand aan de omgeving en personen te beperken, kunnen onderstaande maatregelen genomen worden bij de expoitatie van een waterstoftankstation:

- Zorgen voor de isolatie van waterstof na een vrijzetting of lek, evacuatieroutes en methoden om eventuele brand te beheersen
- Voorzien van adequate middelen om alarm te slaan bij brand. Deze zijn duidelijk gemarkeerd en op een geschikte locatie gelegen.
- Opstellen van volledige noodprocedures voor elke specifieke installatie in overleg met de lokale brandweer, en periodieke oefeningen uitgevoeren (zie paragraaf 4.1.7).
- Vrijhouden van nooduitgangen te allen tijde
- Het gebied binnen een afstand van 3 meter van een waterstofinstallatie vrijhouden worden van droge vegetatie en brandbare stoffen
- Parkeerverbod invoeren nabij de installaties, tenzij afgeschermd met een betonwand minimaal 1 meter boven de hoogte van een voertuig/vrachtwagen
- Als onkruidverdelgers worden gebruikt, chemicaliën zoals natriumchloraat die een verhoogd risico van brand met zich meenemen, vermijden
- Water beschikbaar houden in voldoende volume en druk voor het koelen van randapparatuur zoals bepaald in overleg met de relevante autoriteiten[49]
- Onderhouds- of reparatiewerkzaamheden alleen uitvoeren nadat de relevante delen van de installatie of het gebied zijn nagekeken door een bevoegd persoon. Dit is in het bijzonder belangrijk wanneer dergelijke onderhoudswerken een ontstekingsgevaar met zich meebrengen, b.v. lassen.
- Bij werkzaamheden met hittepunten, aanvragen van vuurvergunning en/of warmwerkvergunning
- Zorgen dat de site steeds toegankelijk is voor mogelijke interventies van de brandweer

Brandblusapparatuur:
Er worden de juiste en voldoende blusmiddelen voorzien. Zoals aangehaald in paragraaf 3.2.8 wordt een waterstofbrand zelden gedoofd door te blussen (dan wel door het afsluiten van de waterstofbron), maar blusmiddelen dienen wel aanwezig te zijn om naastliggende branden (bvb. een struik die in brand staat) te kunnen doven door eigen personeel, door omstaanders, of door de tankende klant. De gepaste locatie en hoeveelheid brandblusapparatuur is afhankelijk van de grootte van het waterstoftankstation en wordt bepaald in overleg met de lokale brandweer[50]. De apparatuur wordt periodiek geïnspecteerd en de inspectiedatum wordt geregistreerd. Personeel wordt opgeleid in de bediening van de apparatuur.

[49] De lokale brandweer stelt volgende middelen (minstens) voor: onbemande blusmonitor 1-3x1000 L/min bij minimaal 7-10 bar voor 1 tank. Dergelijke druk en debiet kan doorgaans niet geleverd worden door het drinkwaternet, daarom is een sprinklersysteem in deze gevallen de aangewezen maatregel. (Koen Desmet, persoonlijke communicatie, 2019)

[50] Per tankeenheid schrijft de brandweer voor om 1 P50 BC of schuimblusser te voorzien, en per technische gedeelte pomp of bekangrijk elektrisch bord e.d. wordt een poeder- of schuimblusser van 6-9 kg voorzien. (Koen Desmet, persoonlijke communicatie, 2019).

Acties in geval van brand:
De meeste waterstofbranden in hogedruksystemen ontstaan op het punt van uitstroom, waar de vlam in de vorm van een fakkel of van een straal zal zijn. Dergelijke branden zijn zeer moeilijk te blussen. De meest effectieve manier om een waterstofbrand te bestrijden is om de bron van waterstoftoevoer af te sluiten, op voorwaarde dat dit op een veilige manier kan gebeuren. Wanneer waterstof niet kan worden geïsoleerd, mogen waterstofbranden tijdens het lekken niet worden gedoofd, vanwege het verhoogde explosiegevaar (wat ernstigere gevolgen kan hebben dan een brand). Omringende apparatuur wordt, indien nodig, gekoeld met waterstralen. Waterstofvlammen zijn bijna onzichtbaar en moeten voorzichtig worden aangepakt. Om de vlamgrens te detecteren wordt een brandbaar materiaal zoals papier of een doek vaak bevestigd aan een staaf.

Toepasbaarheid

Deze maatregel is algemeen toepasbaar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

In noodsituaties waarbij een brand het gevolgscenario is, is het essentieel dat snel gehandeld kan worden om de brand te doven en de schade te beperken. Deze maatregel heeft impact op VF 8 "Blootstelling aan vrijgezette stoffen". De ontsteking van een eventueel aanwezige brandbare gaswolk moet immers ten allen tijde voorkomen worden.

Financiële aspecten

Brandbestrijdingsmiddelen kosten geld, en ook het onderhoud of periodieke onderhoud ervan zijn niet te vergeten, maar de kosten zijn relatief klein in vergelijking met de kosten door schade wanneer niet onmiddellijk geblust kan worden bij een (kleine) brand.

4.1.11 Voorzien van vlotte en veilige verkeerscirculatie op de inrichting

Beschrijving

Waterstofopslag en -verdeelzuilen mogen zich niet in een directe verkeersstroom bevinden, b.v. toegang/uitgang naar het station, of in het verlengde van de verkeersstroom (inrit). Het ontwerp van het station moet de noodzaak van voertuigmanoeuvres tot een minimum beperken, voor zover mogelijk, om het risico op een onveilige situatie te verminderen, wanneer bijvoorbeeld een voertuig moet keren. Voertuigbeweging op het tankstation wordt duidelijk aangegeven door middel van tekens en markeringen. Er wordt ook aanbevolen een snelheidsbeperking te implementeren op het station.

Het opstellen van een verkeersplan is een middel om een vlotte en veilige verkeerscirculatie te realiseren. Dit plan wordt bij voorkeur opgesteld in de ontwerpfase van het tankstation en omvat scheiding van functies (lossen van waterstof, verdelen, lopen, rijden, parkeren, opslaan, rijrichtingen) met bij voorkeur eenrichtingsverkeer, rechts rijden vrijwaren, vermijden van kruisingen, voorrangsregels, rijgebieden met vastgelegde minimumbreedte, rijsnelheden, aansluiten bij de wet- en regelgeving voor de openbare weg.

Verder zal bij het aanleveren van waterstof via tankwagens, cilinder- of tubetrailers, en batterijvoertuigen voldoende ruimte ter beschikking zijn voor een vlotte en veilige aflevering. Dit geldt eveneens voor tankwagens, cilinder- of tubetrailers die tijdelijk (een paar uur of in sommige gevallen een paar dagen) aangesloten worden op het waterstoftankstation. De 'ruimte' is breed gedefinieerd en omvat o.a. op- en afritten naar en van het waterstoftankstation, alsook de plaats die deze voertuigen nodig hebben om op het tankstation zelf te kunnen parkeren en manoeuvreren.

Toepasbaarheid:

Het voorzien van een vlotte en veilige verkeerscirculatie op de inrichting is algemeen toepasbaar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Een verkeersplan helpt incidenten door aanrijding van andere voertuigen en installatieonderdelen te voorkomen en schade te minimaliseren indien er toch een (verkeersgerelateerd) incident zou plaatsvinden.
Een verkeersplan houdt ook rekening met evacuatiemogelijkheden en vrije toegang voor de hulpdiensten in geval van calamiteiten. De maatregel is niet direct te linken aan een veiligheidsfunctie, maar heeft impact op o.a. VF3 "beperking van accidentele vrijzettingen", of in dit geval meer bepaald het vermijden van een mechanische impact met een catastrofale breuk tot gevolg.

Een verkeersplan is een pure organisatorische veiligheidsmaatregel, en kan bijgestaan worden door het fysisch afschermen van gevoelige installatieonderdelen (zie paragraaf 4.2.17).

Financiële aspecten:

Het opmaken en communiceren (signaleren) van een verkeersplan kost in verhouding tot de totale kost van (exploitatie) van een installatie weinig.

De kostprijs van een verkeersplan is afhankelijk van de grootte van de exploitatie, de complexiteit van de infrastructuur, de reeds aanwezige risico's, de reeds aanwezige informatie, de uitvoering van het plan, het aandeel in de uitwerking, …

4.1.12 Onderbouwde keuze maken over de aanlevermethode en de oorsprong van waterstof bij het ontwerp van een waterstoftankstation

Beschrijving

Zoals beschreven in paragraaf 3.1, kan een waterstoftankstation op verschillende manieren bevoorraad worden. Het is belangrijk dat bedrijven en exploitanten een onderbouwde en doordachte keuze maken over de aanlevermethode van waterstof enerzijds, rekening houdend met zowel economische als ecologische overwegingen, en de oorsprong van waterstof anderzijds. Er is geen universeel "beste" methode, omdat elke situatie anders is.

Aanlevermethodes:

Een aantal aspecten die bekeken kunnen worden om tot een onderbouwde keuze te komen over de aanlevermethode zijn (niet limitatief):

- Afstand tot een waterstofpijpleiding: als een pijpleiding in de buurt van een potentieel tankstation aanwezig is, dan kan het een evidente keuze zijn om daarop aan te sluiten. Transport per pijpleiding geniet ook het voordeel dat hierbij het minste menselijke handelingen nodig zijn.

- Afstand tot een naburige industrie met waterstofproductie op grote schaal: indien vlakbij waterstof wordt aangemaakt op grote schaal (al dan niet als restproduct), kan het economisch en ecologisch voordelig zijn om via tube-trailer of een batterijvoertuig waterstof aan te leveren door de korte afstand tussen productieplaats en tankstation. Waterstof wordt in de industrie ook vaak als restproduct geproduceerd, waardoor dit ook ecologische voordelen biedt.

- Capaciteit van het waterstoftankstation: Aanlevering via tube-trailer wordt minder interessant (op ecologisch en economisch vlak) naarmate de capaciteit van het waterstoftankstation vergroot. Dit omdat een vrachtwagen met een inhoud van 40 ton maar 320 kg waterstof kan vervoeren bij een druk van 200 bar (Vinçotte Environment, 2007).

- Beschikbaar oppervlak voor een tankstation: Dit o.w.v. extra plaats nodig voor het respecteren van interne scheidingsafstanden (paragraaf 4.1.5) en risicoafstanden (paragraaf 4.1.6) i.f.v. de uitvoeringswijze.

- In-house kennis van on-site waterstofproductie.

- Marktprijs van elektriciteit (al dan niet zelf opgewekt) en waterstof: deze zullen grotendeels bepalen of het wel dan niet voordelig is om zelf (on-site) waterstof te produceren.

Oorsprong van waterstof:

De huidige elektriciteitsnetten zijn geen ideale bron van elektriciteit voor elektrolyse, omdat het grootste deel van de elektriciteit wordt opgewekt met behulp van technologieën die resulteren in broeikasgasemissies en die energie-intensief zijn (zie ook paragraaf 3.3.1 Milieu-impact van de verschillende productiemethodes). In deze paragraaf onderscheiden we twee situaties, enerzijds de on-site productie van waterstof en anderzijds de externe aangekochte waterstof.

On-site productie:

Groene waterstof kan via elektrolyse on-site geproduceerd worden uit elektriciteit. Die elektriciteit dient dan (on-site) opgewekt te worden uit zonne-energie, uit wind, uit biomassa of uit (niet-recycleerbaar) afval. Dit laatste is bijvoorbeeld het geval voor 'waste-to-energy plants', waar het afval eerst omgezet wordt in warmte (stoom) die via een turbine in elektriciteit omgezet wordt.

Extern aangekocht:

In januari 2019 werd het *Green Hydrogen Guarantees of Origin (GO)* gelanceerd. Dit laat waterstofgebruikers uit de industrie- en transportsector toe hernieuwbare energie te gebruiken in hun processen en de broeikasgasuitstoot te verkleinen door *CertifHy Green and Low Carbon Hydrogen Guarantee of Origins* aan te kopen. Met CertifHy GO's kunnen eindgebruikers overal in de EU groen en koolstofarm waterstof gebruiken, ongeacht hun locatie. De CertifHy-garantie van oorsprong is essentieel voor het labelen van de

herkomst van het product, waardoor transparantie naar de consument toe mogellijk wordt en de markt aangetrokken wordt voor groene en koolstofarme waterstof.

Toepasbaarheid:

Een onderbouwde keuze maken over de aanlevermethode is algemeen toepasbaar bij het ontwerp van een waterstoftankstation.

Daarnaast is het gebruik van groene energie voor de productie van on-site waterstof eveneens algemeen toepasbaar en onderscheiden we twee situaties:

- Groene elektriciteit kan on-site **geproduceerd** worden d.m.v. zonne-energie, windenergie, biomassa, of (niet recycleerbaar) afval.
- Groene elektriciteit kan **extern aangekocht** worden via het garantie van oorsprong certificaat. Op het punt van consumptie is het fysiek onmogelijk om de oorsprong van de verbruikte elektriciteit te achterhalen. Daarom werd het systeem van garanties van oorsprong (*GO - Guarantees of Origin*) gecreëerd, als een betrouwbare parallel met de fysieke elektriciteitsstromen.

Voordeel op milieu/veiligheidsniveau:

Het voordeel van een onderbouwde keuze te maken over de aanlevermethode op milieuniveau is dat onnodige negatieve impact op het milieu (zoals bvb lange transportafstanden van een tube-trailer op de weg) vermeden worden. Natuurlijk zal de financiële impact ook een grote rol spelen bij de beslissing.

Het gebruik van groene energie voor de productie van waterstof, of de aankoop van groene waterstof, draagt bij aan de decarbonisatie van transport. Zoals reeds aangegeven in paragraaf 3.3.1 is de milieu-impact van waterstofproductie uit hernieuwbare energiebronnen aanzienlijk lager in vergelijking met de productie uit grijze stroom.

Financiële aspecten:

Aan deze maatregel is geen grote meerkost verbonden. De uiteindelijke keuze over de aanlevermethode kan natuurlijk wel een belangrijke financiële impact hebben.

De kosten van groene waterstof worden gedeeltelijk bepaald door de investeringskosten (o.a. elektrolysers), maar vooral door de operationele kosten (elektriciteit). Hier moet nog onderscheid gemaakt worden tussen de productiekosten enerzijds, en de geldende heffingen op elektriciteit anderzijds.

In de roadmap groene waterstof in Vlaanderen worden bijkomend nog een aantal hindernissen voor de lancering van hernieuwbare waterstof aangehaald:
"De grootste barrière om fossiel waterstof te vervangen door hernieuwbaar waterstof is de kostprijs van zowel de productieapparatuur (elektrolyse) als de grondstof (elektriciteit), vergeleken met de kosten van de huidige waterstofbelevering van fossiele oorsprong". […] "Zoals aangetoond in de Vlaamse Power-to-Gas roadmap, kan on-site met elektrolyse geproduceerde groene waterstof in sommige gevallen - in principe- reeds competitief zijn met extern aangeleverde waterstof voor de kleinschalige gebruikers. Dit is zeker het geval als het bedrijf zelf groene stroom produceert. Anderzijds is voor een kleinschalige gebruiker de investering behoorlijk groot, speelt de onzekerheid over de toekomstige elektriciteitstarieven zeker een rol en kunnen de grote gasleveranciers flexibel met hun tarieven omgaan, zodat in praktijk nog bijna geen bedrijven de stap

zetten naar eigen groene waterstofproductie." (François, Martens, Winkel, & Vanhoudt, 2018)

4.2 Technische maatregelen

De maatregelen die hieronder worden toegelicht zijn generiek toepasbare technieken die ingevoerd kunnen worden voor eender welk waterstoftankstation (onafhankelijk van de waterstof aanlevermethode), en zijn technisch van aard.

4.2.1 Gebruik van correcte materialen en geschikte verbindingen

Beschrijving

*Gebruik van **geschikte leidingen**:*

In een waterstoftankstation onder hoge druk worden de leidingen bij voorkeur bovengronds aangelegd. Daarnaast wordt gebruik gemaakt van leidingmaterialen die geschikt zijn voor waterstof. Sommige courante materialen (zoals gietijzer) zijn ongeschikt voor gebruik als leidingmateriaal voor waterstof. De kans bestaat dat kleine lekkages tot bijna onzichtbare microvlammen leiden. Wanneer grotere lekkages in een drukvat of leiding plaatsvinden, kan dit leiden tot onzichtbare en krachtige straalvlammen met reikwijdtes van meer dan 1 meter. (PGS35, 2015).

*Gebruik van **compatibele metalen onderdelen** om corrosie te vermijden:*

Contact tussen verschillende metalen moet vermeden worden om galvanische corrosie te voorkomen. Wanneer verwacht wordt dat een elektrolyt aanwezig is, wordt het gebruik van ongelijke metalen in leidingen, tussenstukken, en andere componenten vermeden. Specifiek wordt het contact tussen componenten van anodische metalen met kathodische metalen vermeden. Tot slot is het belangrijk dat de metalen koppelingen compatibel zijn met de metalen buizen. (ISO, 2016)

*Leidraden voor **materiaalkeuzes**:*

Gebruik maken van beschikbare leidraden voor materiaalkeuze voor waterstoftoepassingen zijn nodig om de inzet van waterstof als brandstof te ondersteunen, evenals de verdere ontwikkeling van codes en normen. Materialen worden gemeten op sterkte, vervorming, breuk en vermoeiing van metalen. Voor een uitgebreide lijst met technische informatie over de compatibiliteit van materialen met waterstof, verwijzen we naar de studie van het *Sandia National Laboratory* "Technical Reference for Hydrogen Compatibility of Materials" (San Marchi, 2012).

***Keuringscriteria** en **beoordelingsrichtlijnen**:*

De onderdelen van het waterstoftankstation moeten conform de Europese Wetgeving voorzien zijn van CE-markeringen, waarmee wordt aangetoond dat is voldaan aan de relevante richtlijnen (zie paragrafen 2.4.3 Belgische wetgeving en 2.4.4 Europese wetgeving).

Toepasbaarheid:

Geschikte materialen en verbindingen kiezen, al dan niet in combinatie met een beschermlaag, is algemeen toepasbaar. Deze maatregel wordt doorgaans opgevangen door de gebruikelijke normen en codes van goede praktijk (zie paragraaf 4.1.8).

Voordeel op milieu/veiligheidsniveau:

Het hoofddoel van het gebruik van correcte en geschikte materialen is voornamelijk om de eerste drie veilgheidsfuncties te vervullen: Processtoringen (VF1) en degradatie van omhullingen worden beheerst (VF2), en accidenteel vrijgezette hoeveelheden worden beperkt (VF3). Indirect heeft deze maatregel dus ook een positief effect op het milieu.

Financiële aspecten:

De kost van een geschikte materiaalkeuze, en eventuele beschermlaag kan beschouwd worden als een standaardonderdeel in de totale investeringskost van de samenbouw.

4.2.2 Voorzien van druk- en temperatuurmetingen op kritische locaties

Beschrijving:

Kritische locaties zijn locaties in de installatie waar de kans op lekkage het grootst is. In het geval van een waterstoftankstation is dit voornamelijk nabij de **waterstofopslag**, de **afleverzuil**, en de **compressor**.

Continue **temperatuurmetingen** worden verricht op locaties waar hoge temperaturen (> 70°C) kunnen worden verwacht (meer bepaald de lagedruk opslag, in de uitlaat van de compressoren en de afleverzuil), door bijvoorbeeld brand van lekkend waterstofgas of brand in de directe omgeving. De aanwezigheid van minimaal twee temperatuurdetectoren, één nabij de afleverzuil, en één of meerdere nabij de waterstofopslag is aangewezen. Bovendien wordt ook aangeraden om een temperatuurmeting uit te voeren na elk lager of na de koeling tussen elke trap ter bescherming van de compressor (zie ook paragraaf 4.2.10)

Indien temperatuurmetingen van > 70°C worden gemeten, worden verschillende maatregelen genomen om het risico van een ontsteking te minimaliseren/vermijden:

- automatische activering van ESD-voorziening (zie ook paragraaf 4.2.15)
- onmiddellijk stopzetten van de waterstof aflevering, en eventueel het activeren van een ventilator om het waterstofgas af te blazen (zie ook paragraaf 4.2.12)
- optische en akoestische signalering en automatische doormelding naar de beheerder van de inrichting, gevolgd door het alarmeren van de aangewezen persoon in geval van problemen bij de waterstof afleverinstallatie (PGS35, 2015) (zie ook paragrafen 4.1.7 en 4.1.9).

Naast temperatuurmetingen op de kritische locaties, wordt ook aangewezen om de **omgevingstemperatuur** te monitoren. Het besturingssysteem van de verdeelzuil gebruikt deze data om het vullingproces te beheren en vermijdt afwijkende procesparameters. Volgens de ISO norm mogen wagens enkel tanken tussen een omgevingstemperatuur van -40°C en +50°C. (ISO, 2016)

Drukmetingen worden uitgevoerd op enkele kritische punten, waar bij detectie van zowel abnormaal hoge drukken (in de opslagtank of aan de uitlaat van de compressoren en de afleverzuil) als van abnormaal lage drukken (bijvoorbeeld aan de inlaat van de compressoren en in de opslagtank) het noodstopsysteem (zie paragraaf 4.2.15) wordt geactiveerd dat de installatie terug in een veilige toestand brengt. (M-Tech, 2020)

Toepasbaarheid:

Deze maatregel is algemeen toepasbaar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Deze maatregel zorgt ervoor dat processtoringen snel opgemerkt worden en er tijdig wordt ingegrepen zonder dat degradaties en/of vrijzettingen ontstaan. Deze maatregel is echter geen 'stand alone' maatregel, d.w.z. dat het gelinkt is met de noodstopschakelaar die de installatie op een veilige manier uitschakelt. De maatregel kan enkel succesvol zijn wanneer volgende eisen vervult zijn:

- De druk- en temperatuursensor worden geactiveerd bij een druk- of temperatuursverandering (ΔP en ΔT), of bij een nominale grenswaarde
- De sensoren geven vervolgens een signaal door aan de beheerder van de inrichting, of schakelt rechtstreeks de noodstopschakelaar in
- De noodstopschakelaar sluit de toevoer van waterstof op een veilige manier af

Financiële aspecten:

De kost voor een druk- en temperatuursensor is beperkt t.o.v. de kostprijs van het volledig tankstation.

4.2.3 Voorzien van breekkoppelingen in de verdeelslangen

Beschrijving:

Een breekkoppeling, ook wel 'breakaway' genoemd, is een voorziening die de waterstofstroom automatisch onderbreekt bij een situatie waarin het getankte voertuig wegrijdt, terwijl de afleverslang nog is aangekoppeld.
De breekkoppeling wordt verwacht aan volgende eigenschappen te voldoen:

- De elektrische weerstand tussen de delen van de losbreekkoppeling in gekoppelde toestand is < 1.000 Ohm
- De trekkracht om de breekkoppeling te activeren is maximaal 500 N (50 kg) bedragen. De minimale trekkracht bedraagt 250 N (25 kg).
- De vulslang en de slangverbindingen hebben een minimale treksterkte in de lengterichting van 3x de verbreekkracht van de breekkoppeling
- Indien de breekkoppeling is verbroken, dient deze voorziening uitsluitend weer gekoppeld te worden door hiervoor aangewezen en opgeleid personeel (PGS 35).

Naast de aanwezigheid van een breekkoppeling in de verdeelslangen, beschikken alle waterstof voertuigen over een wegrijbeveiliging. Dat wil zeggen dat het wegrijden met een slang al niet mogelijk is: het voertuig start niet als het tankklepje open staat.

Toepasbaarheid:

Deze maatregel is toepasbaar op alle soorten waterstoftankstations, en op beide afleverdrukken (350 en 700 bar). Figuur 39 toont een breekkoppeling apparaat dat langs het station is geplaatst om te voorkomen dat de verdeelslang scheurt wanneer een tankend voertuig plots wegrijdt zonder los te koppelen.

Figuur 39: Breekkoppeling apparaat om te voorkomen dat de verdeelslang scheurt wanneer een tankend voertuig plots wegrijdt (NFPA, 2018)

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Het voorzien van breekkoppelingen in de verdeelslangen is erop gericht om in te grijpen bij een menselijke fout wanneer het tankende voertuig wegrijdt zonder de verdeelslang los te koppelen. Deze zorgt ervoor dat accidenteel vrijgezette hoeveelheden waterstof worden beperkt (zie ook 3.2.5 Accidentele vrijzettingen).

Financiële aspecten:

Een breekkoppeling heeft een beperkte kost (ca. 100 €/stuk) (Mercury News, 2016).

4.2.4 Voorzien van snelsmeltende persluchtbuisjes bij waterstof losslangen

Beschrijving

Om de veiligheid bij brand te verzekeren, worden de waterstof losslangen voorzien van snelsmeltende persluchtbuisjes. Wanneer brand uitbreekt in de buurt van deze slangen gaan deze buisjes smelten en worden de pneumatische kleppen gesloten. Hierdoor wordt een automatische werking bekomen, onafhankelijk van andere activeringssystemen. Voor een brand elders in de installatie is het uiteraard wel nodig om deze kleppen via een noodstop en/of een automatische kring dicht te kunnen sturen.

Toepasbaarheid

Snelsmeltende persluchtbuisjes zijn toepasbaar op alle waterstof losslangen, en zijn standaard aanwezig op de huidige Benelux waterstof tube-trailers.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Het voorzien van snelsmeltende persluchtbuisjes heeft impact op VF7 "bescherming tegen explosies" en VF8 "bescherming tegen blootstelling aan vrijgezette stoffen". Deze buisjes zorgen dat de waterstoftoevoer afgesloten wordt, zodat de waterstofbrand niet verder kan ontwikkelen en verder zal opbranden met een beperkte schade.

Financiële aspecten:

Deze maatregel heeft een beperkte meerkost, en is vaak inbegrepen in de prijs van een waterstofslang.

4.2.5 Gebruik van een doorstroombegrenzer, terugslagklep, of inbloksysteem bij flexibele slangen

Beschrijving:

Om de hoeveelheid waterstof die vrijkomt bij een ongeval met een flexibele slang te beperken, kunnen verschillende veiligheidsmaatregelen worden voorzien. De losinstallatie kan worden uitgerust met een **doorstroombegrenzer** stroomopwaarts van de slang, een **terugslagklep** stroomafwaarts van de slang en/of een **noodstop- of inbloksysteem** dat bij activatie op afstand bedienbare afsluiters aan beide zijden van de slang dichtstuurt.

Doorstroombegrenzer:

Een doorstroombegrenzer is een klep die via een ingebouwd mechanisme automatisch sluit wanneer het doorstroomdebiet een ingestelde waarde overschrijdt. Deze wordt meestal stroomopwaarts van een flexibele slang geplaatst om een omvangrijke vrijzetting bij het falen van de slang te vermijden.

Terugslagklep:

Het plaatsen van een terugslagklep zo dicht mogelijk bij de opslagtank of ter hoogte van een aansluitpunt van een flexibele los- of koppelslang is een veelgebruikte veiligheidsmaatregel om een omvangrijke vrijzetting vanuit een stroomafwaarts gelegen opslagbuffer bij het falen van de slang te vermijden.

Inbloksysteem:

Het effect van een inbloksysteem bestaat erin dat een incidentele vrijzetting ter hoogte van de slang na een zekere tijd volledig wordt gestopt door het sluiten van de aanwezige inblokafsluiters aan beide zijden van de slang. Een inbloksysteem kan zowel automatisch (door een gasdetectiesysteem, zie ook paragraaf 4.2.9) of manueel (door het ingrijpen van een deskundig persoon, zie paragraaf 4.1.4) worden geactiveerd door het inschakelen van het noodstopsysteem (zie paragraaf 4.2.15). Door het in werking treden van een inbloksysteem bij een incidentele vrijzetting van een zeer licht ontvlambaar gas in openlucht, wordt de omvang en de aanwezigheidsduur van de brandbare wolk die zich vormt in de omgeving gereduceerd. Echter, bij een vrijzetting van waterstof onder hoge druk bereikt de gevormde brandbare wolk reeds na enkele seconden zijn maximale omvang (steady state), waardoor het positieve effect van een inbloksysteem in de QRA enkel zichtbaar is met een reactietijd van enkele seconden. (M-Tech, 2020)

Toepasbaarheid:

Het gebruik van één van deze technieken bij flexibele slangen is algemeen toepasbaar, met uitzondering van de verdeelzuilen. Een doorstroombegrenzer bij de verdeelzuil wordt niet als beste techniek geacht omdat het beperken van de flow de vultijd van een voertuig vergroot. Een alternatieve veiligheidsvoorziening voor de verdeelzuilen is een breekkoppeling (zie paragraaf 4.2.3) of equivalent.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Deze maatregel zorgt ervoor dat wanneer er een lek of een breuk ontstaat bij een flexibele slang de hoeveelheid waterstof die vrijkomt beperkt wordt. Bovendien is het effect op de interne scheidingsafstanden zeer significant.

Financiële aspecten:

Individuele kostprijzen zijn op dit moment niet bekend; meestal zit deze veiligheidsmaatregel reeds geïntegreerd in de installatieonderdelen.

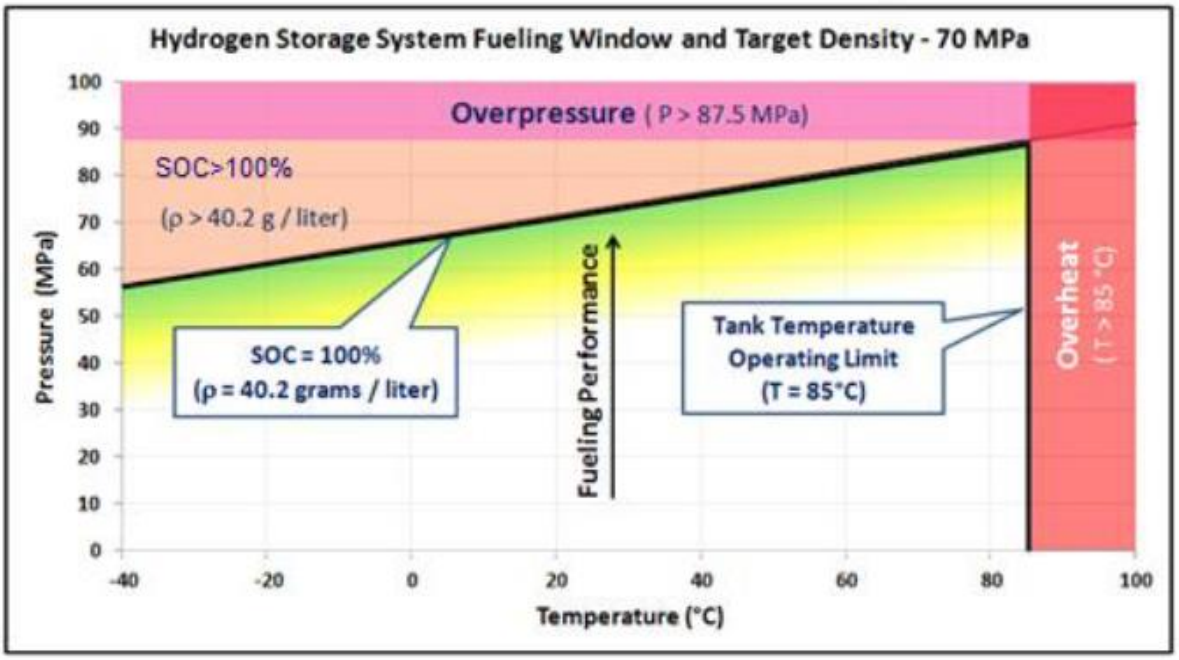
4.2.6 Voorzien van overdrukbeveiliging tijdens het tanken

Beschrijving

In het KB betreffende het op de markt aanbieden van drukapparatuur staat beschreven dat de installatieonderdelen, waarin een gasdruk kan ontstaan die hoger is dan de ontwerpdruk van die onderdelen, voorzien worden van een drukbegrenzer waarvan de werking gewaarborgd is.

De vulprotocollen in SAE J2601 (*Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles*) zijn ontworpen om ervoor te zorgen dat het waterstofgas in het waterstofopslagsysteem niet buiten de normale werkingsgrenzen treedt. Deze limieten

omvatten de maximale temperatuur en de maximale druk. Ter illustratie, voor een tank van 700 bar zijn de temperatuur- en druklimieten respectievelijk -40°C tot +85°C en 0,5 MPa tot 87,5 MPa. Figuur 40 toont de randvoorwaarden voor een tankbeurt bij 700 bar. De maximale gastemperatuur en werkingsdruk zijn vaste limieten aan de rechter- (oververhitting) en boven (overdruk) zijde van de grafiek. De maximale dichtheid (100% *SOC – State of Charge*) biedt een extra randvoorwaarde.



Figuur 40: Toegelaten vulgebied voor het tanken van een voertuig op 700 bar (SAE J2601)

Om de opslagtank in de wagen binnen zijn werkingsgrenzen (d.w.z. Figuur 40) te houden, zal het station de stroom van het gas aanpassen afhankelijk van de volledige set beginparameters. Bijvoorbeeld, als een voertuig wordt gevoed op een warme dag, kan de temperatuur binnen de tank voor het tanken warmer zijn, zodat het station langzamer zal tanken om ervoor te zorgen dat de maximale werkingstemperatuur niet wordt overschreden. Op de waterstofafleverinstallatie wordt daarom een mechanisch of elektronisch onafhankelijk werkend beveiligingssysteem tegen overdruk aangebracht. De constructie van de vulkoppeling wordt dusdanig uitgevoerd dat een te hoge afleverdruk wordt voorkomen.

Toepasbaarheid:

Een overdrukbeveiliging plaatsen is toepasbaar op alle waterstoftankstation uitvoeringen, maar zal qua technische parameters verschillen naargelang de afleverdruk van 350 bar of 700 bar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Een overdrukbeveiliging zorgt ervoor dat processtoringen worden beheerst (VF1) door in te grijpen wanneer er zich abnormale omstandigheden voordoen en dat verbindingen onder hun maximale werkingsdruk blijven.

Financiële aspecten:

De kost van een overdrukbeveiliging (in de vorm van een overdrukventiel, bijvoorbeeld) is klein (ca. 100-200€/stuk) t.o.v. het hele waterstoftankstation.

4.2.7 Uitvoeren van periodieke lekdichtheidstesten

Beschrijving:

Lekdichtheidstesten op gevoelige installatie-onderdelen:

De lekdichtheid kan worden aangetoond door middel van een heliumlektest, of een gasmengsel bestaande uit waterstof en stikstof (traceergas). Het nadeel van deze methode is dat eerst alle waterstof uit de leidingen verwijderd moet worden (wat gaat over een verlies van ca 400-500kg). Daarna wordt er gespoeld met N_2 om ervoor te zorgen dat er geen explosief mengsel meer aanwezig is. Aangezien dit als gevolg heeft dat er veel waterstof wordt verspild, en het station gedurende deze operatie niet bruikbaar is (verlies aan omzet), wordt deze methode slechts toegepast voor eerste ingebruikname, na grote reparaties, na grote lekkages, en na belangrijke aanpassingen in de installatie. In alle andere gevallen wordt een alternatieve lekdichtheidstest voorgeschreven, zoals in de volgende paragraaf is beschreven.

Een alternatieve lekdichtheidstest waar het waterstof niet verwijderd dient te worden bestaat erin om in eerste instantie het waterstof in de leidingen onder druk te brengen en gedurende een aantal uren de drukverschillen te monitoren. Indien deze metingen aanleiding geven tot het vermoeden van "grote(re)" lekken, kan overgegaan worden tot het testen met een traceergas (zoals hierboven beschreven).

Naast fysische lekdichtheidstesten, zijn frequente wekelijkse visuele inspecties en maandelijkse inspecties met een schuimtest o.b.v. een onderhoudsschema (zie ook het keuringsschema in bijlage A) ook aangewezen. Waterstof heeft een lage viscositeit en hierdoor kunnen kleine atomen opgenomen worden in materialen, wat verbrossing van materialen mogelijk maakt. Degradatie van deze materialen kan zichtbaar worden aan de buitenkant door de 'staat' van de verflaag te controleren, en kan tijdig opgemerkt worden door visuele inspecties (Tretsiakova-McNally).

Volgens het PGS 35 document is het aangewezen om een jaarlijkse controle uit te voeren door de exploitant (of een door hem aangestelde installateur), en een vijfjaarlijkse keuring door een milieudeskundige erkend in de discipline voor gassen of gevaarlijke stoffen. De ISO-norm schrijft voor om lekdichtheidstesten uit te voeren na elke reparatie, en periodiek volgens de instructies van de fabrikant.

Lektesten tijdens de aflevering van waterstof:

Een "lektest voorafgaand aan vulling" wordt doorgaans uitgevoerd voor elke tankbeurt. Deze test staat uitgebreid beschreven in de SAE J2601: *Fueling Protocols for Light Duty*

Gaseous Hydrogen, en de J2799: *Hydrogen surface vehicle to station communications hardware and software*, en is tevens ook opgenomen in de ISO 19880 norm onder paragraaf 8.4.8 "Pressure integrity check (leak check)":

"De besturingssystemen op tankstations worden ontworpen om de integriteit van de brandstofslang, de breekkoppeling, het koppelstuk, en de aansluiting op het voertuig te verifiëren vóór dat er getankt wordt. De integriteitstest zal een significante drukdaling detecteren die aangeeft dat een lek aanwezig is, en zal de noodstop activeren".

Toepasbaarheid:

Lekdichtheidstesten zijn algemeen toepasbaar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Deze maatregel zorgt ervoor dat processtoringen worden beperkt en dat degradatie van materialen en verbindingen tijdig wordt opgemerkt. Wanneer een lek tijdig wordt gedetecteerd kan dit op een gecontroleerde manier opgelost worden zonder grote vrijzettingen.

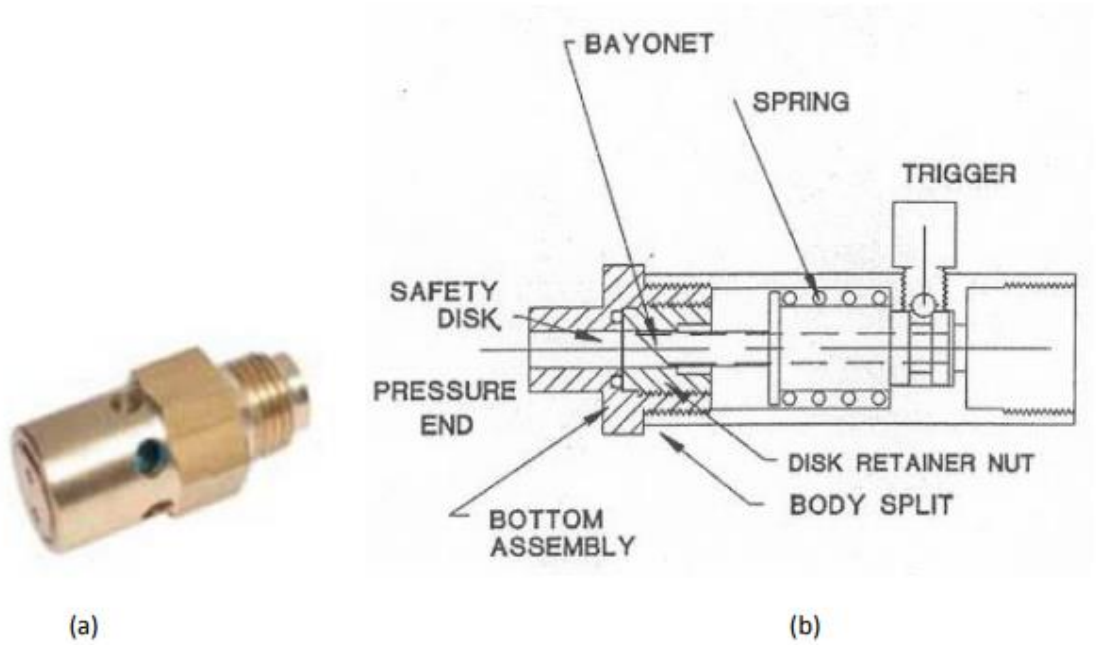
Financiële aspecten:

Geen exacte prijsgegevens gevonden, maar de inschatting is dat de relatieve prijs niet significant hoog is.

4.2.8 Voorzien van een drukontlastingsysteem bij waterstofopslag containers

Beschrijving:

Het belangrijkste veiligheidskenmerk van waterstofopslagsystemen (zowel voor voertuigen als voor stationaire tanken) zijn **drukontlastingssytemen** (ook wel *Pressure Relief Devices – PRD's* genoemd). Een PRD is een veiligheidsmaatregel die beschermt tegen het falen van een opslagvat door een deel of de gehele inhoud van de tank vrij te geven in geval van hoge temperaturen, hoge drukken, of een combinatie van beide. Ze kunnen in de vorm van **veiligheidskleppen**, **breekplaten** of **explosieluiken** aanwezig zijn. Veiligheidskleppen worden zo dicht mogelijk tegen de opslagtank of in de opslagtank geplaatst. In geval van brand biedt een *Thermally Activated Pressure Relief Device (TPRD)* een geregelde afgifte van het gasvormige waterstof uit een hogedrukopslagcontainer om te voorkomen dat de wanden verzwakt worden door de hitte, wat kan leiden tot een catastrofale breuk. TPRD's ventileren de gehele inhoud en sluiten de tank niet opnieuw af, noch wordt het waterstof opnieuw onder druk gezet. Waterstofopslagvaten en de TPRD's die zijn blootgesteld aan een brand worden uit dienst genomen en vernietigd (Tretsiakova-McNally).
Indien explosieluiken worden geïnstalleerd en geactiveerd, dan wordt een vrijzetting niet vermeden, maar wordt de vrijzetting gecontroleerd (de risico's hieraan verbonden worden uiteraard ook geëvalueerd) (Afdeling van het toezicht op de chemische risico's, 2015).



Figuur 41: PRD's in de vorm van een (a) glazen bol en (b) bajonet (Tretsiakova-McNally)

Toepasbaarheid:

Het installeren van een drukontlastingsysteem is toepasbaar op alle soorten waterstoftankstations waar gasvormig waterstof aanwezig is. Drukontlastingssystemen worden geïnstalleerd op **drukgasopslagcontainers**, gerelateerde **distributieslangen** in de buurt van belangrijke componenten, en bij **elektrolyse**- en **stoomreformer**modules[51], als onderdeel van het veiligheidssyteem. In geval van processtoringen zoals overdruk veroorzaakt door bijvoorbeeld overvulling, blootstelling aan overmatige hitte, zal het systeem geactiveerd worden en het gas laten ontsnappen naar een veilige richting (in de meest voorkomende windrichting). Het gebruik van een TPRD om het catastrofaal falen van een cylinder bij brand of te hoge temperaturen te voorkomen is voor composietvaten niet eenduidig, omdat het faalgedrag van een composieten cylinder verschilt van dat van een stalen cylinder. Bij een composiet cyclinder smelt in principe het composiet materiaal tussen de composieten vezels. In de meeste gevallen zijn dit koolstofvezels die zelfs bij hoge temperaturen hun sterkte behouden. Het vat zal gaan lekken tussen de koolstofvezels, maar catastrofaal falen blijft uit (Marnix Van Berkum, persoonlijk communicatie, 2020).

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Een drukontlastingsysteem heeft als hoofddoel het vervullen van de eerste veiligheidsfunctie, namelijk processtoringen beheersen (VF1). Daarnaast verkleinen ze de te respecteren interne scheidingsafstanden (zie paragraaf 4.1.5) en risicoafstanden (zie paragraaf 4.1.6) op significante wijze. Voor meer gedetailleerde informatie hierrond verwijzen we graag naar de veiligheidsstudie van M tech.

[51] In de veiligheidsstudie van M Tech wordt het risico van een elektrolyse en een SMR module met en zonder adequaat drukontlastingssysteem weergegeven.

Financiële aspecten:

De kost van een drukontlastingssysteem is klein (enkele honderden euro's) ten opzichte van de totale kost van een waterstoftankstation. Vaak zijn er wel bijkomende kosten, zoals bijvoorbeeld voor composietvaten die een beperkte snelheid van drukontlasting hebben. Daar kan delaminering ontstaan, en bij het ingrijpen van een TPRD zorgt dit ervoor dat de buffers niet meer veilig zijn en zullen vervangen worden (Marnix Van Berkum, persoonlijke communicatie, 2019).

4.2.9 Voorzien van waterstofgasdetectiesystemen

Beschrijving:

Om de verspreiding van vrijgezette stoffen te beperken, is het van uitermate belang om zo vroeg mogelijk lekken te detecteren en op een gepaste manier in te grijpen. Als detectie wordt vertraagd, zal het risico van het optreden van een ernstig ongeval toenemen, terwijl de decontaminatie van de behuizing complexer wordt omdat het getroffen gebied uitgebreid wordt. Wanneer de sensoren het lek vroegtijdig detecteren, zal waterstofontluchting sneller en effectiever zijn. Een waterstoflek kan doorgaans gedetecteerd worden met een **warmtebeeldcamera** of via **stationaire gasdetectie**. Een bijkomstige methode is om interne leidingdrukken en/of stromen te monitoren en een signaal te geven bij veranderingen (=**softwarematige detectie**). Gasdetectie voor waterstof in open lucht of op plaatsen waar geen ophoping mogelijk is, is weinig effectief. Dit komt omdat waterstof zeer vluchtig is en de gemeten concentratie nooit voldoende hoog zal worden om een alarm te doen afgaan. Hierdoor is dit ook geen gangbare praktijk, en verwijzen we naar alternatieven zoals een vlamdetector (zie paragraaf 4.2.10) op deze locaties. Indien waterstof zich in een gesloten gebouw of container bevindt (m.a.w. een locatie met een plafond zodat waterstof kan ophopen) is gasdetectie wel aanbevolen.

Doorgaans voldoet het detectiesysteem aan volgende eisen:

- zodanig is opgesteld dat eenvoudige controle op de werking mogelijk is.
- gekoppeld is met de **ESD-voorziening** (zie paragraaf 4.2.15), zodat de afsluiters, bij activering, te allen tijde in de veilige stand worden gezet, en een storingsalarm wordt gegenereerd.
- aanwezigheid van een schema waarop de lokaties van de detectoren te zien zijn

Er is **minimaal één gasdetector** aanwezig in de afleverzuil, en **minimaal één per gesloten ruimte**.

Deze sensoren zijn doorgaans zodanig geprogrammeerd dat er een automatische voorwaarschuwing naar de beheerder van de installatie gaat bij 10% LEL, en dat het noodstopcircuit (ESD-voorziening) wordt geactiveerd bij 20% LEL.

De detectie zorgt ervoor dat er geen brandbaar mengsel wordt gevormd, en kan dus bijvoorbeeld een **ventilator (EX-proof) activeren** of een **hoofdafsluiter** laten sluiten. (PGS35, 2015)

<u>Inspectie en onderhoud:</u>

Als preventieve maatregel om lekken te voorkomen, is het mogelijk om bijvoorbeeld door verkleuring van de laklaag op een leiding toekomstige lekken op te sporen en op tijd de leidingen te vervangen (zie ook 4.2.7 "Uitvoeren van periodieke lekdichtheidstesten").

De gasdetectoren ondergaan doorgaans ook inspectie en onderhoud. Zo wordt een periodieke test van de gasdetectoren maandelijks (richtfrequentie) uitgevoerd, en zal de calibratie van de meetkoppen volgens de voorschriften van de fabrikant doorgaans om de 6 maanden plaatsvinden (als richtfrequentie). Daarnaast zal er jaarlijks een test van de acties gekoppeld aan de gasdetectie plaatsvinden en opgenomen in een onderhoudsprogramma. Tenslotte wordt de calibratie van de meetkoppen opgenomen in een onderhoudsprogramma. Een voorstel voor keuring- en onderhoudsschema wordt beschreven in paragraaf 6.1.3 Bijlage A.

Toepasbaarheid:

Een waterstoflekdetectiesysteem kan makkelijk inline geïnstalleerd worden en is algemeen toepasbaar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Een lekdetectiesysteem is een maatregel om de verspreiding van vrijgezette stoffen te beheersen (VF4) als gevolg van de consequenties van processtoringen (VF1) en degradatie van omhullingen (VF2). Deze maatregel zorgt ervoor dat er geen brandbaar mengsel wordt gevormd en dus minimaliseert het risico tot ontsteking.

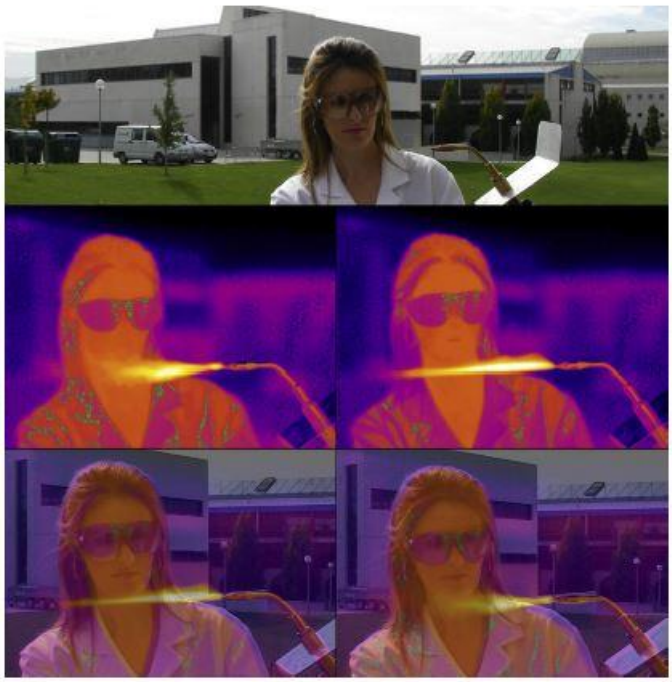
Financiële aspecten:

De kostprijs van een waterstof lekdetectiesysteem is ca. € 5.500 (Leak Control Benelux, 2016). Afhankelijk van de detectielimiet van het apparaat kan dit bedrag lichtjes verschillen.

4.2.10 Voorzien van waterstofvlamdetectie op opslagtanks

Beschrijving

Voorzien van waterstof vlamdetectie is een stap verder dan de maatregel 4.2.9. Een vlam die ontstaat door de verbranding van waterstof in zuurstof of lucht is zo goed als onzichtbaar bij daglicht. Er is dus een duidelijk risico van blootstelling aan een vlam met ernstige brandwonden tot gevolg. De vlam zendt hoofdzakelijk infrarood- (IR) en ultraviolet- (UV) straling uit. Figuur 42 hieronder illustreert de waarneembaarheid van een waterstofbrand met het blote oog (boven) en met een IR-camera (onder). Grote waterstofbranden zijn echter ook tijdens daglicht waarneembaar door de intense warmtestraling die geproduceerd wordt (Luis M. Gandia, 2013). Naast IR detectie kunnen warmtebeeldcamera’s en/of UV-metingen een vlam detecteren. Indien vlamdetectie wordt toegepast, is het belangrijk rekening te houden met externe invloeden op de apparatuur die de sensor verkeerdelijk zouden kunnen activeren, zoals door zonlicht of lasactiviteiten in de omgeving.



Figuur 42: Waarneembaarheid van een waterstofbrand met een IR camera (Luis M. Gandia, 2013).

Het detecteren van een waterstof vlam kan dus op verschillende manieren:

- Een eerste optie is via een **thermische warmtedetector**. Detectoren van dit type zullen pas een signaal (gekoppeld aan een alarm) geven wanneer de temperatuur van het bewaakte gebied het uitschakelpunt van de detector overschrijdt. Het is dus logisch om deze direct boven de mogelijke locatie van een waterstofvlam te plaatsen. De bron van een waterstoflek kan echter een vlam veroorzaken die weg van de detector wordt gericht. Bovendien is de lage IR-straling van een waterstofvlam soms niet voldoende om een thermische warmtedetector in alarm te sturen. Thermische detectoren kunnen een nuttig effect hebben, mits een goede positionering op het station.

- Een ander alternatief is om een **optische vlamdetector** te gebruiken. Omdat waterstofvlammen voornamelijk energie uitstralen in de UV-band, zorgen UV-vlamdetectoren voor een snelle detectie van waterstofvlammen (zo kan een 75 cm grote vlampluim op een afstand van 15 meter gedetecteerd worden). Een nadeel van UV-vlamdetectoren is de gevoeligheid voor externe invloeden zoals bogen, vonken, lassen, bliksem en andere UV-rijke niet-vlambronnen. Deze UV-emitters kunnen ervoor zorgen dat UV-vlamdetectoren valse alarmen afgeven, wat dure financiële gevolgen kan hebben, en de gevoeligheid van mensen voor reële potentiële gevaren kan verminderen.

- Er bestaan eveneens detectoren die gebruikmaken van **zowel UV als IR-technologie** (UVIR). Deze detectoren vereisen zowel UV- als IR-signalen om een alarm te laten activeren. Dit biedt betere mogelijkheden om valse alarmen te filteren en te verwerpen in vergelijking met enkel UV-detectie. UVIR-detectoren zijn echter nog steeds gevoelig voor combinaties van valse alarmbronnen.

- Een laatste optie voor het detecteren van waterstofvlammen is via **multispectrum infrarood (MIR)**. Deze vlamdetectoren gebruiken een combinatie van IR-sensorfilters en software-analyse om zowel vlammen te detecteren als valse alarmen te verminderen. Sommige MIR-vlamdetectoren zijn specifiek ontworpen om de lage straling van waterstofvlammen te detecteren met behulp van een unieke set IR-filters. Deze speciale apparaten bieden een zeer goed detectiebereik (zo kunnen sommige MIR-vlamdetectoren een 60 cm waterstofvlam detecteren op afstanden tot 38 meter). (International fire protection, 2019)

Vlamdetectiesystemen staan niet beschreven als verplicht voor waterstoftankstations in het PGS35, maar in de VS zijn ze dat wel voor waterstoftankstations volgens het NFPA 2.

Vlamdetectoren worden in bepaalde toepassingen geïnstalleerd, voornamelijk in de buurt van installaties in open omgevingen waar er geen kans is tot ophoping van waterstof (en dus gasdetectie geen meerwaarde biedt), bijvoorbeeld rond een **open waterstofbuffertank**. Detectoren geven een snelle en betrouwbare indicatie van het bestaan, de locatie en de grootte van een waterstofvlam. Daarnaast vervullen de detectoren ook onderstaande functies:

- Zorgen voor een automatische uitschakeling en isolatie van waterstof bronnen
- Uitschakelen van het systeem op een veilige manier
- Controleren van de actieve ventilatie
- Activeren van auditieve en visuele alarmen
- Controleren van de toegang tot locaties met hoge concentraties aan waterstof (Barilo, 2015)

<u>Vlamdetectoren in de buurt van dispensers en loskades:</u>

Dispensers worden soms ook in open ruimtes geplaatst, maar daar biedt vlamdetectie geen meerwaarde. De kans dat ter hoogte van de dispenser een lek en ontsteking voorkomt met brand tot gevolg wordt geminimaliseerd door de reeds aanwezige standaard veiligheidsmaatregelen:

- Er gebeurt standaard een lektest voorafgaand aan vulling (opgenomen in de SAE J2601, SAE J2799, en de ISO 19880) voor elke tankbeurt
- Alle voertuigen zijn uitgerust met een wegrijbeveiliging. D.w.z. dat de motor van de wagen niet start wanneer het tankklepje open staat
- Alle dispensers zijn uitgerust met een breekkoppeling (zie paragraaf 4.2.3), d.w.z. dat de waterstofstroom onderbroken wordt vanuit de dispenser indien de wegrijbeveiliging van het voertuig faalt en het voertuig toch kan wegrijden.

Vlamdetectoren in de buurt van loskades van de tube-trailer worden eveneens als redundant geacht, omwille van de aanwezigheid van snelsmeltende persluchtbuisjes op de waterstof losslangen (zie ook paragraaf 4.2.4).

<u>Opmerking:</u>

Waterstofvlamdetectoren mogen niet als alternatief voor gasdetectie gebruikt worden, maar kunnen wel als bijkomende veiligheidsmaatregel geïnstalleerd worden in gesloten omgevingen.

Toepasbaarheid:

Het installeren van een waterstof vlamdetectie is in principe algemeen toepasbaar. Het is aangewezen om vlamdetectie te voorzien die gericht zijn naar gevoelige installatie-onderdelen zoals opslagtanks en loskades in open lucht (waar gasdetectie geen nut heeft, d.w.z. waar geen ophoping mogelijk is)

Een voorbeeld van waterstofvlamdetectie wordt afgebeeld in Figuur 43 in de vorm van een IR-detectie die gericht staat op een opslagtank. De detector is vrij hoog van de grond geplaatst om een goed overzicht te krijgen van het volledige station. Dit kan nadelige effecten hebben op de inschatting van het stedenbouwkundig aspect in de omgevingsvergunning van een waterstoftankstation.

Figuur 43: IR-detector gericht op een openlucht opslagtank op een waterstoftankstation in de VS

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Voorzien van waterstof vlamdetectie is een maatregel die impact heeft op VF7 en VF8. Deze maatregel zal een signaal geven om de waterstoftoevoer af te sluiten zodat de waterstofbrand zich niet verder kan verspreiden en verder zal opbranden met een beperkte schade.

Financiële aspecten:

Waterstof vlamdetectie is een dure maatregel. De kost is grootteorde € 3.000 – € 10.000 per stuk afhankelijk van het detectieoppervlak en eventuele bijkomende functies (Omni Instruments, n.d.), (Air Liquide, persoonlijke communicatie, 2020). Afhankelijk van het gewenste te monitoren volume, kunnen meerdere sensoren nodig zijn.

4.2.11 Vermijden van luchtintrede bij de compressor

Beschrijving:

Het binnendringen van lucht aan de zuigzijde van de compressor veroorzaakt het risico op een interne brand of explosie met potentiële aanzienlijke materiële schade. Speciaal ontwerp voor waterstofcompressoren om het binnendringen van lucht te voorkomen (gekoppeld aan temperatuur- en drukindicatoren) vermindert het risico.

Tijdens de start- en stopprocedure wordt een voorziening aangebracht die tijdens de normale bedrijfsomstandigheden en gedurende stand-by opstelling waarborgt dat een waterstofdruk tussen de inlaatafsluiter en de zuigzijde van de compressor wordt gehandhaafd die hoger is dan de atmosferische druk. Bij een te lage aanvoerdruk wordt de compressor automatisch gestopt.

Het vermijden van luchtintrede bij de compressor kan doorgaans op verschillende manieren gebeuren (European Industrial Gases Association, 2006).

- Spoelen van de compressor:

Om de aanwezigheid van lucht en zuurstof te vermijden, is het aangeraden om een reiniging met een inert gas to voorzien, gevolgd door een reiniging met waterstof. Hiervoor dient er een klep aanwezig te zijn tussen de afsluitklep aan de inlaat van de compressor en aan de aanzuiging om het doorblazen van het installatie-onderdeel toe te laten. De specifieke procesparameters voor de spoeling worden verder beschreven in IGC DOC 15/96: *Gaseous hydrogen stations, European Industrial Gases Association*.

- Meting zuurstofconcentratie in de waterstof:

Dit is vooral belangrijk wanneer de waterstof afkomstig is van een bron bij lage druk, of indien de mogelijkheid bestaat dat er contaminatie van zuurstof is. Doorgaans wordt de compressor automatisch gestopt indien de zuurstofconcentratie 1% volume bedraagt.

- Meting van de aanzuigdruk met alarm:

De compressor wordt gestopt voordat de aanzuigdruk de atmosferische druk bereikt.

- Meting van de temperatuur van waterstof aan de perszijde:

Wordt geplaatst na elk lager of na de koeling tussen elke trap, en zorgt ervoor dat de compressor stopt wanneer een vooraf ingestelde maximum temperatuur bereikt wordt

- Interlock op het koelwater na elk lager:

Hier wordt een alarm geplaatst op de druk of het debiet van het water in het koelwatersysteem, waardoor de compressor stopt bij een lage druk of een laag debiet.

Toepasbaarheid:

Het gebruik van waterstofcompressoren waarbij luchtintrede voorkomen wordt, door minimaal één van de bovenvermelde maatregelen is algemeen toepasbaar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Het vermijden van luchtintrede bij de compressor zorgt ervoor dat het risico op een brandbaar mengsel geminimaliseerd wordt door de concentratie aan oxydatief (zuurstof) laag genoeg te houden (kleiner dan de LEL). De compressor wordt beschouwd als een kritische locatie op het tankstation (zie ook 4.2.2 Voorzien van druk- en temperatuurmetingen op kritische locaties) omdat er een grotere kans op waterstof ophoping bestaat (de compressor is een gesloten ruimte met een beperkte natuurlijke ventilatie).

Financiële aspecten:

De kostprijs voor het vermijden van luchtintrede bij de compressor is irrelevant om apart te beschrijven want dit is gekoppeld aan een goed werkende compressor.

4.2.12 Voldoende ventilatie garanderen bij installaties in besloten ruimtes

Beschrijving

Waterstofgas is veertien keer lichter dan lucht. Wanneer waterstof in een gesloten ruimte vrijkomt, dan zal het zich verzamelen in het hoogste punt van deze ruimte. Het risico op ophoping bestaat bovenin een afgesloten ruimte, en is relevant in serviceruimten van de inrichting, in compressorruimtes, en onder overkappingen van de waterstofafleverinstallatie. Voldoende, natuurlijke of geforceerde (mechanische) ventilatie wordt voorzien conform NEN-EN-IEC 60079-10-1 of NPR 7910-1.

Tenslotte wordt de ligging van de waterstofafleverinstallatie zodanig gekozen dat eventuele waterstofontsnappingen in een veilige richting worden geblazen (in de meest voorkomende windrichting).

Speciale aandacht voor gevoelige locaties op het waterstoftankstation: compressorruimtes

Doordat de compressoren over het algemeen in een besloten ruimte worden geplaatst, is het optreden van een gasexplosie in de compressorruimte na een vrijzetting van waterstof in deze ruimte één van de belangrijkste risico's. In geval van een beperkte accidentele vrijzetting van waterstof in de compressorruimte (ordegrootte: 10 g/s) zal het waterstof door de zeer lage dichtheid opstijgen in de ruimte en via de aanwezige ventilatie-openingen ontsnappen. De vorming van een beperkte explosieve atmosfeer is onder de gegeven omstandigheden na enige tijd mogelijk in het bovenste deel van de ruimte. In geval van een grotere vrijzetting van waterstof op hoge druk (ordegrootte 1 kg/s) kan door de hoge turbulentie die gepaard gaat met de vrijzetting in een zeer korte tijdspanne een explosieve atmosfeer worden gevormd in de volledige compressorruimte. Een ontsteking van het waterstof-luchtmengsel in de ruimte resulteert in een gasexplosie waarvan de effecten hoofdzakelijk bepaald worden door de omvang en de uitvoering van de compressorruimte.

Stromingen van ventilatieopeningen en veiligheidsvoorzieningen worden naar buiten afgevoerd naar een veilige locatie om de vorming van een ontvlambaar of explosief mengsel in behuizingen te voorkomen. De lokatie van waterstofopeningen worden opgenomen in de designfase van de installatie en zorgen dat de ontluchting toegankelijk blijft voor bediening en onderhoud. Ook de temperatuur van de afgeblazen waterstof is een belangrijk gegeven en kan effect hebben op de dichtheid van het geventileerde gas. De locatie van de ontluchtingsuitlaat wordt zodanig opgesteld dat deze naar de buitenlucht wordt afgevoerd, zonder een gevaar te vormen voor personen of aangrenzende gebouwen (uit de buurt van personeelsruimten, elektrische leidingen en andere ontstekingsbronnen, luchtinlaten en bouwopeningen) en wordt niet gestuurd waar accumulatie van waterstof kan voorkomen, zoals onder de dakrand van gebouwen. Verder worden er maatregelen voorzien om te vermijden dat waterstof binnendringt op bepaalde plaatsen die als verbinding dienen met veilige lokalen (vb. trappenhallen die leiden naar niet gevaarlijke zones).
Waterstofdispersie- en warmtestralingsberekeningen worden uitgevoerd om de correcte locatie en hoogte van de ontluchtingsopeningen te bepalen. Tenslotte is de uitlaat van de ventilatiesystemen niet uitgerust met apparaten die geventileerde waterstof naar beneden doen afbuigen. (ISO, 2016) Doorgaans hebben de luchtinlaten en de luchtuitlaten elk een totaal oppervlak hebben van minstens 0,003 m^2/m^3 volume van het lokaal.

Toepasbaarheid

Ventilatie kan op twee manieren voorkomen: passieve ventilatie (windstroming bij het plaatsen van een installatie in de buitenlucht, of luchtstromingen door bvb dakluiken in gebouwen) en actieve ventilatie (mechanisch gegenereerde luchtstroming). Hieronder worden de twee begrippen kort toegelicht i.f.v. hun toepasbaarheid.

Passieve ventilatie:

Passieve ventilatie (ook natuurlijke ventilatie genoemd) is voornamelijk toepasbaar (of aanwezig) bij installaties die buiten staan en kan dus niet voor elke samenbouw van toepassing zijn. Dakventilatieopeningen- of luiken kunnen de passieve ventilatie binnenshuis bevorderen en de opbouw van waterstof voorkomen in het geval van een lek. Bij het ontwerpen van passieve ventilatie in indoor ruimtes, is het aangewezen dat plafond- en dakconfiguraties grondig worden geëvalueerd zodat het waterstoflek veilig kan verdwijnen. Inlaatopeningen bevinden zich op het niveau van de vloer in de buitenmuren, en uitlaatopeningen zijn aanwezig op het hoogste punt van de ruimte in de buitenmuur of in het dak.

Actieve ventilatie:

Actieve ventilatie is in theorie overal mogelijk, mits er genoeg ruimte aanwezig is om een ventilator of afblaassysteem te plaatsen. De afblaasrichting dient duidelijke aangegeven te zijn in het noodplan en op de interventie data. Bovendien dient het afblaassysteem van de ruimteventilatie alsook van de veiligheidskleppen (bij overdruk) geen gevaar te vormen voor de omgeving of tijdens (onderhouds)werken (Koen Desmet, persoonlijke communicatie, 2019), en wordt minimaal voldaan aan de richtlijnen opgenomen in Art 5.16.1.4 van VLAREM II betreffende de behandeling van gassen. Op plaatsen waar ventilatie moeilijk is of niet voldoende kan worden gegarandeerd, behoort een detectiesysteem te worden aangebracht (zie ook paragraaf 4.2.9 Voorzien van waterstofgasdetectiesystemen).

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Goede ventilatie garanderen zorgt ervoor dat waterstof niet kan ophopen en tot een brandbaar mengsel evolueert. *Passieve ventilatie* toepassen door het plaatsen van installaties in een open omgeving (zie paragraaf 4.2.13) zorgt voor een constante ventilatie door de wind en verlaagt op deze manier het risico om een brandbare atmosfeer te creëren. *Actieve ventilatie* door het plaatsen van een afblaas- of ventilatiesysteem heeft hetzelfde effect maar zal echter het energieverbruik van het waterstoftankstation lichtjes doen stijgen. Deze stijging in energieverbruik weegt echter niet op tegen het voordeel op veiligheidsniveau.

Financiële aspecten

Het plaatsen van mechanische ventilatie is een extra kost, maar is verwaarloosbaar t.o.v. de totale investeringskost.

4.2.13 Plaatsen van installaties in een open omgeving

Beschrijving:

Het plaatsen van installaties in een open omgeving zorgt voor constante passieve ventilatie door de aanwezigheid van een natuurlijke luchtstroming (wind).

Toepasbaarheid:

Deze maatregel is niet overal en voor alle installaties toepasbaar. Lagedruk opslag containers worden vaak buiten geplaatst door hun grote omvang. Gevoelige installatie-onderdelen zoals compressoren, elektrolyse eenheden, en midden- en hogedruk buffers worden doorgaans in een gesloten container geplaatst. Deze componenten worden meestal ook als een 'kant-en-klare installatie' verkocht en daardoor in een container geplaatst. De voornaamste voorwaarde voor het buiten plaatsen van onderdelen is dat weersinvloeden geen nadelige impact hebben op de integriteit en de goede werking van de installatieonderdelen.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Het plaatsen van installaties in een open omgeving zorgt voor een continue afblaas van waterstof wanneer een lek optreedt. De ophoping van waterstof om tot een brandbaar of explosief mengsel te evolueren is hierdoor zeer onwaarschijnlijk. Verder is er een energiebesparing door het vermijden van mechanische/geforceerde ventilatie.

Financiële aspecten

Indien passieve ventilatie toepasbaar is, brengt het geen extra kost met zich mee. Wel kunnen er extra kosten opduiken ter bescherming van installatie onderdelen tegen externe omgevingsfactoren zoals wind, neerslag, UV-straling, mechanische- en thermische impacten, enz.

4.2.14 Volgen van algemene veiligheidsvoorschriften voor het vermijden van ontstekingsbronnen

Beschrijving:

Voorschriften m.b.t. ***elektrische componenten*** (ISO, 2016)*:*

Elektrische componenten/apparaten of uitrustingsassemblages die verbonden zijn met het elektriciteitsnet of met gevaarlijke spanning, of die een veiligheidsfunctie uitvoeren, worden verwacht te voldoen aan de vereisten van de standaard productveiligheid.
Gevaarlijke spanningen worden meestal gedefinieerd als groter dan 50V AC (wisselstroom spanning) en 120V DC (gelijkstroom spanning) in nette, droge omstandigheden.
Veel lagere spanningen kunnen echter gevaarlijk zijn in andere omstandigheden. De gebruiksvoorwaarden zijn overwogen bij het bepalen van de gevaarlijke spanningsniveaus. Meer informatie is te vinden in de SELV- en PELV-clausules (resp. *Separated Extra Low Voltage* en *Protected Extra Low Voltage*) van het IEC (*International Electrotechnical Commission*) 60364-4-41 en het IEC 60204-1.

Als er geen productveiligheidsnorm(en) overeenkomen met een bepaald type apparatuur, dan kan het IEC 60204-1 hiervoor van toepassing zijn.
Kleppen, sensoren en andere individuele componenten of apparaten die op de apparatuur zijn aangesloten voldoen aan IEC 60204-1.

*Voorschriften m.b.t. connecties naar en/of tussen **apparatuurassemblages**:*

Verbindingen tussen de elektrische uitrusting van de waterstof-tankstations en de elektrische leidingen, of verbindingen tussen elektrische apparatuurassemblages van de waterstoftankstations onderling worden verwacht ontworpen, opgericht, geïnstalleerd, aangesloten, getest en geverifieerd zijn in overeenstemming met IEC 60364, gedeelte 'elektrische installaties op laagspanning'.

*Voorschriften m.b.t. **elektrische aarding**:*

Waterstoftanks, bijbehorende leidingen en systemen worden geaard om mogelijke elektrische schokken te voorkomen. De weerstand van het aardingssysteem is minder dan 30 Ω. Flenzen worden elektrisch verbonden, en elektrische continuïteit over verbindingen met een isolerende afdichting (bijv polymeren) is verzekerd met elektrische riemen of iets dergelijks. Behuizingen waar waterstof wordt opgeslagen of gebruikt, worden geaard. De effectiviteit van de aardverbinding wordt geverifieerd met een frequentie die voldoet aan de lokale regelgeving.

*Voorschriften m.b.t. **bliksembeveiliging**:*

Bliksembeveiliging wordt geboden in overeenstemming met de IEC 62305-reeks normen ('protection against lightning'), d.w.z. IEC 62305-1 en de andere delen van IEC 62305 die geschikt zijn voor het type apparatuur. Alle voertuigen voor waterstofafgifte worden elektrisch verbonden met dezelfde aarde als de vaste opslaghardware voorafgaand de flexibele slangaansluiting.

Voorschriften m.b.t. **werkzaamheden**:

Indien er tijdens werkzaamheden op het waterstoftankstation een risico is op het ontstaan van een waterstoflek, dan is het aangewezen om vonkvrij gereedschap te gebruiken. Bij werken zonder of met een zeer laag risico op een waterstoflek, kan er gewoon gereedschap gebruikt worden, op voorwaarde dat er waterstofmetingen uitgevoerd wordt voor en tijdens de werken. (Afdeling van het toezicht op de chemische risico's, 2019)

Het vermijden van ontstekingsbronnen is bovendien een wettelijke vereiste gezien de verplichte opmaak van een explosieveiligheidsdocument (ATEX 153, dewelke werd omgezet naar het Belgisch recht door het KB van 26 maart 2003, en is nu opgenomen in de bepalingen van titel 4 van boek III van de codex over het welzijn op het werk (zie paragraaf 2.4.3)).

Toepasbaarheid

Deze maatregel is algemeen toepasbaar.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

De aanwezigheid van een ontstekingsbron is cruciaal voor het ontsteken van een brandbaar waterstof mengsel. Door de zeer lage ontstekingsenergie (zie ook paragraaf

3.2.1 Stofeigenschappen van waterstof) zijn algemene veiligheidsvoorschriften voor het vermijden van ontstekingsbronnen absoluut noodzakelijk voor het verhogen van het veiligheidsniveau.

Financiële aspecten

Het financieel aspect van de maatregelen opgenomen in deze techniek wegen niet op tegen de totale kostprijs van een waterstoftankstation.

4.2.15 Voorzien van een noodstopsysteem (ESD - Emergency Shut Down)

Beschrijving

Om de omvang van een accidentele vrijzetting te minimaliseren, of om de duur van de brandbare of explosieve atmosfeer te beperken, kunnen **noodisolatiekleppen** worden geïnstalleerd. Deze kleppen sluiten waterstof veilig af zodat de toevoer van de waterstofopslag van- en naar andere delen van het waterstoftankstation wordt gestopt, en dienen te blijven werken indien er stroomuitval voorkomt (fail close).

Het inschakelen van deze noodisolatiekleppen om de installatie(onderdelen) in noodstop te brengen, kan op 2 manieren:

1) Door (manueel) indrukken van de noodstopknoppen; en
2) Door een automatische noodstop, bvb op basis van detectoren.

De noodstop kan op zijn beurt bestaan uit:

1) Het stilleggen van de compressoren;
2) Het afsluiten van de kleppen (bvb de toevoerklep in de dispenser, of de klep in de losleiding, en de noodisolatiekleppen); en
3) Het activeren van alarmen en noodventilatie.

Praktisch voorbeeld:

Indien tijdens het tanken een processtoring optreedt, dan zorgt de ESD-voorziening dat:

- De aflevering van waterstof direct wordt stopgezet door het automatisch sluiten van de toevoerklep in de afleverzuil, en
- De compressor en de bijbehorende leidingen naar de dispenser toe worden afgesloten (PGS35, 2015)

Het noodstopsysteem is doorgaans gelinkt aan andere veiligheidsmaatregelen, meer bepaald:

- Voorzien van **druk- en temperatuurmetingen** op kritische locaties (paragraaf 4.2.2)
- Voorzien van **overdrukbeveiliging** tijdens het tanken (paragraaf 4.2.6)
- Uitvoeren van periodieke **lekdichtheidstesten**(paragraaf 4.2.7)
- Voorzien van waterstofgasdetectiesystemen (paragraaf 4.2.9)
- Voorzien van **waterstofvlamdetectie** (paragraaf 4.2.10)
- Voldoende **ventilatie** garanderen bij installaties in besloten (paragraaf 4.2.12)

Verdere details voor de noodstopfunctie specifiek voor de dispenser worden gegeven in paragraaf 9.10.3.3 van het ISO document (ISO, 2016). Hierbij is het belangrijk dat de installatie volledig wordt stilgelegd bij calamiteiten, en pas opnieuw in werking wordt gesteld na de nodige controle door bevoegd personeel. (ISO, 2016)

Locaties van de (nood)afsluiters op het tankstation:

- Er worden afstandsgestuurde kleppen voorzien op alle leidingen (zowel naar de opslagtank als naar de dispenser), die zo dicht mogelijk tegen de opslagtank geplaatst zijn, en bediend kunnen worden vanop een veilige locatie
- De klep wordt geplaatst op een locatie zo dicht mogelijk tegen de opslagtank, zodat het aantal mogelijke lekpunten tussen de klep en de opslagtank minimaal is. Idealiter wordt de klep rechtstreeks tegen de opslagtank gemonteerd, want hoe langer een leiding, hoe groter de kans dat er een lek optreedt. (Afdeling van het toezicht op de chemische risico's, 2019)

Tenslotte wordt er een koppeling voorzien tussen het noodstopsysteem van de installatie en de noodstopsystemen van de leverende tankwagen en andere installaties, zoals een on-site waterstof productie eenheid, een toevoerklep in de dispenserzuil, compressoren, leidingen naar de dispenser, enz.

Toepasbaarheid

Het implementeren van het noodstopsysteem is algemeen toepasbaar op elk uitvoeringstype van waterstoftankstation. Het noodstopsysteem wordt geactiveerd wanneer een lek of een vlam gedetecteerd wordt in de nabijheid van het waterstoftankstation.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Noodstopschakelaars hebben voornamelijk impact op VF6 t/m VF8 en zorgen ervoor dat de schade aan mens en omgeving bij een vrijzetting beperkt wordt.

Financiële aspecten

De prijs van een ESD-systeem hangt af van de omvang van de installatie (het aantal te beveiligen punten), en de aard van de sensoren (bv. temperatuur, druk, gas). Een prijsinschatting van een ESD-systeem maken we hier daarom niet kwantitatief. De kostprijs is weliswaar relatief gering t.o.v. de totale investeringskost van een waterstoftankstation, aangezien een ESD-systeem geen aankoop van pompen en andere duurdere installatie-onderdelen vereist. De belangrijkste afsluiters zijn bovendien al geautomatiseerd.

4.2.16 Opmaken van een ATEX-zoneringsplan

Beschrijving:

Mengsels van lucht en waterstofgas kunnen binnen bepaalde concentraties een explosieve atmosfeer vormen, die kan ontstoken worden door warmte- of ontstekingsbronnen (bijvoorbeeld vonken, sigaretten, open vuren, enz.). Een **veiligheidszone** is een afgebakend gebied binnen de grenzen van de exploitatie waarbinnen maatregelen genomen zijn om de risico’s op een explosie tot een minimum te beperken, en waarbinnen explosieveilig materieel gebruikt moet worden. Een veiligheidszone wordt gecreëerd door ervoor te zorgen dat alle niet-essentiële

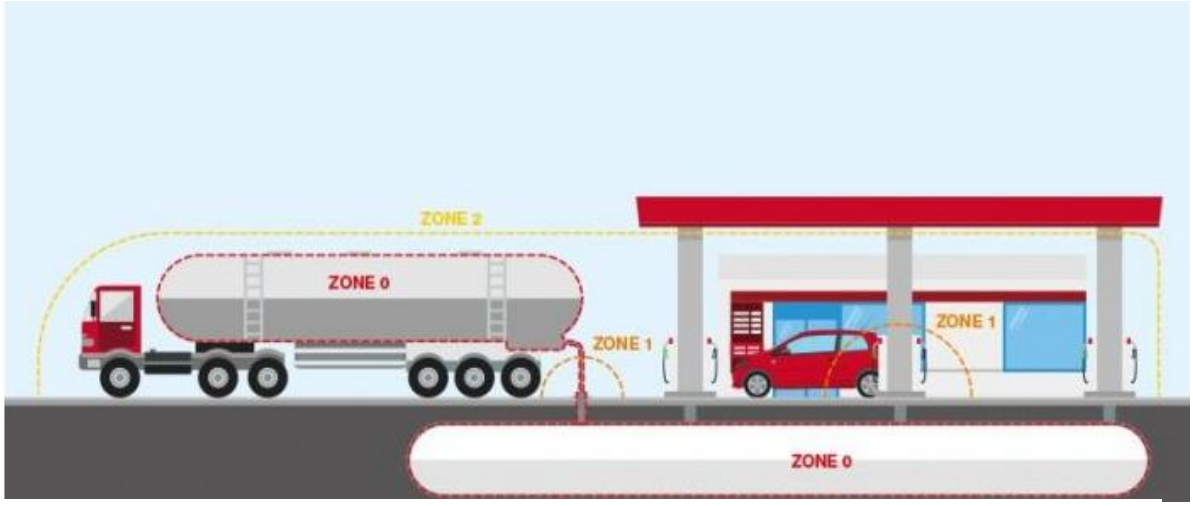
aanwezigheid van personeel en activiteiten zich buiten de visueel aangeduide veiligheidszone bevindt. Hierdoor wordt een zone zonder potentiële ontstekingsbronnen gecreëerd en wordt, naast de kans op een ontsteking, ook de kans op menselijke en materiële schade ten gevolge van blootstelling aan brand na een ontsteking gereduceerd. De specifieke voorwaarden hieromtrent worden beschreven in de ATEX-richtlijnen. Relevante Europese Richtlijnen hiervoor zijn de ATEX 114 (the ATEX 'Equipment directive', vroeger ATEX 95 genoemd) en de ATEX 153 (the ATEX 'Workplace Directive', vroeger ATEX 137 genoemd). De ATEX 114 werd omgezet naar het Belgisch recht in het **Koninklijk Besluit Explosieve atmosfeer** van 26/03/2003. De ATEX 153 werd omgezet naar het Belgisch recht in het **Koninklijk Besluit gevaarlijke mengsels** van 21/04/2016.

Volgens de ATEX 153 richtlijn moet een waterstoftankstation opgedeeld zijn in verschillende zones, op basis van de frequentie van het voorkomen en de duur van een explosieve atmosfeer. De indeling voor een potentieel explosief gasatmosfeer is als volgt:

- **Zone 0:** Een gebied waarin een explosieve atmosfeer continu of gedurende lange perioden aanwezig is
- **Zone 1:** Een gebied waar waarschijnlijk een explosieve atmosfeer zal optreden in normale omstandigheden
- **Zone 2:** Een gebied waarin een explosieve atmosfeer waarschijnlijk niet zal optreden bij normale omstandigheden en, als het zich toch voordoet, dit waarschijnlijk slechts zelden zal voorkomen en slechts gedurende een korte periode.

Toepasbaarheid:

Het opmaken van een zoneringsplan volgens de ATEX richtlijnen is algemeen toepasbaar. Een voorbeeld van een zoneringsplan (zones 0, 1, 2) waar waterstof via een trailer wordt gelost in een ondergrondse opslagtank is afgebeeld in Figuur 44:



Figuur 44: Voorbeeld van een ATEX-zoneringsplan voor een tankstation met aanlevering via trailer en ondergrondse opslagtank (RayTec 2018)

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Het doel van het opmaken van een ATEX zoneringsplan is om de waarschijnlijkheid van de ontsteking van een accidenteel vrijgekomen waterstofgas te verlagen. Indien er door omstandigheden en het falen van primaire veiligheidsmaatregelen een H_2-vrijzetting zou plaatsvinden, kan een veiligheidszone de kans op ontsteking van het brandbaar mengsel verkleinen. De veiligheidszone is geen actieve maatregel die de kans op ontsteking verkleint, maar aan de zonering zijn maatregelen verbonden die dat wel doen. Zo zijn er strenge eisen gesteld aan ontstekingsbronnen die zich binnen de veiligheidszone bevinden. De veiligheidszone duidt dus een gebied aan waarbinnen specifiek genomen maatregelen vereist zijn om ontsteking van vrijgekomen waterstofgas te voorkomen.

Financiële aspecten:

De kostprijs van een ATEX veiligheidszone zit vooral in het verplicht gebruik/installatie van EX-materiaal binnen deze zone. De eigenlijke aanduiding ervan kost relatief weinig geld. Daarnaast is echter ook toezicht op naleving nodig, is het een onderdeel van periodiek onderhoud en toezicht, en is er ook ruimte en dus grond voor nodig. Deze aspecten dragen ook bij tot de prijs van de zone.

4.2.17 Afschermen van gevoelige installatieonderdelen

Beschrijving:

Het afschermen van gevoelige installatieonderdelen heeft een bescherming tegen externe invloeden tot **doel**. Dit kunnen zowel onbevoegden zijn (vandalisme, oneigenlijk gebruik van bepaalde installatieonderdelen), als weersomstandigheden of aanrijdingen.

Er zijn verschillende verschijningsvormen van deze externe invloeden. Enkele mogelijkheden zijn hieronder beschreven, tezamen met mogelijke **middelen** om de bescherming in te vullen.

Een **scheidingsconstructie** (bv. metalen hekwerk) dient om onbevoegden de toegang tot bepaalde installatieonderdelen (zoals de opslagtank) te verhinderen met als achterliggend doel om misbruik, sabotage en foutieve handelingen door onbevoegden te voorkomen. Het is van belang om binnen de scheidingsconstructie rondom de H_2-opslagtank(s) geen brandgevaarlijk materiaal of brandgevaarlijke begroeiing te laten groeien. De scheidingsconstructie kan geheel of gedeeltelijk worden uitgevoerd als een muur (zie ook paragraaf 4.2.18). Hierbij is het eveneens belangrijk om voor voldoende ventilatie te zorgen (zie paragraaf 4.2.12).

Omkasting of overkapping is voor kleinere installatieonderdelen zoals een tankzuil of een pomp op een leverende truck dan weer een geschikte vorm van afscherming tegen bepaalde weersinvloeden zoals hagel of bliksem, of tegen de mechanische impact van een voertuig (Figuur 45).

Figuur 45: Omkasting van de pomp en het leidingwerk bij een H_2-leverende truck (Barilo, 2015)

Een **aanrijdbeveiliging** tegen mechanische impact wordt doorgaans aangebracht op gevoelige plaatsen binnen het waterstoftankstation, d.w.z. rond het apparatuur, de opslagtank, en de dispenser. De aanrijdbeveiliging van voertuigen wordt verwacht geschikt te zijn voor het verwachte type en de snelheid van voertuigen in de omgeving van de waterstofapparatuur.

De exploitant heeft de vrijheid om te kiezen in welke vorm hij deze aanrijdbeveiliging plaatst. Hieronder geven we enkele voorbeelden weer.

Figuur 46: Aanrijdbeveiliging voor een opslagtank met een betonnen wand (links, (Barilo, 2015)) en voor een verdeelzuil door een betonnen borduur (rechts, bron (Autotrader, n.d.))

Figuur 47: Aanrijdbeveiliging voor een verdeelzuil in de vorm van een metalen stootboog (links) of duidelijk zichtbare gele stootpalen (rechts) (Barilo, 2015)

Toepasbaarheid

Deze maatregel is toepasbaar voor elke uitvoeringstype, maar de technische uitvoering van deze maatregel kan verschillen naargelang de samenbouw. De afscherming wordt aangebracht rond alle bovengrondse installatieonderdelen.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Deze maatregel is louter een veiligheidsmaatregel. Onbevoegden kunnen foutieve handelingen aan installaties uitvoeren met een kans op calamiteiten met grote gevolgen.

Financiële aspecten

De kostprijs van een afscherming is afhankelijk van de omvang van de installatie die afgeschermd moet worden en van de manier waarop de afscherming gerealiseerd wordt, maar weegt niet op tegen de bescherming dat het biedt.

4.2.18 Voorzien van brandwerende muren tussen installatie-onderdelen

Beschrijving

Bij het uitbreken van brand in een bepaalde installatie-onderdeel, kunnen brandwerende muren een barrière bieden tegen de verspreiding van vuur naar naastliggende installatie-onderdelen, of om de blootstelling naar personen of gebouwen te beperken. In het eerste geval spreken we over het vermijden van de zogenaamde 'domino-effecten'. Bovendien kunnen brandwerende muren een gunstig effect hebben op de scheidingsafstanden. De brandwerende muur voldoet doorgaans aan volgende eisen:
"De constructie is voorzien van een brandwerendheid van ten minste 60 minuten bepaald in overeenstemming met NBN-EN 13501 op voorwaarde dat de horizontaal omheen de voorziening gemeten afstand tussen de beschouwde installaties en de aangegeven elementen gelijk is aan of meer bedraagt dan de in deze paragrafen voorgeschreven minimale risicoafstanden. De voorziening, die bestaat uit een muur, wand, scherm of

behuizing, moet in ieder geval de hoogte van de beschouwde installaties hebben met een minimum hoogte van 2 m en moet minstens langs de hele lengte van deze installaties gelegen zijn."[52]

Toepasbaarheid

Het plaatsen van brandwerende muren tussen installatie-onderdelen is toepasbaar zolang er voldoende ruimte beschikbaar is en de muren geen extra obstakel vormen voor een vlotte circulatie op het terrein (zie paragraaf 4.1.11) en toegankelijkheid van de hulpdiensten. Een voorbeeld van deze maatregel wordt afgebeeld in Figuur 48.

Figuur 48: Brandwerende muur nabij een opslagtank aan een waterstoftankstation in de VS (NFPA, 2018)

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Het voordeel van deze maatregel is om extra bescherming te bieden tegen de blootstelling aan vrijgezette stoffen (VF8). In geval van de aanwezigheid van een goed ontworpen brandmuur (i.e. brandmuur die personen volledig afschermt van de invallende warmtestraling) worden de interne scheidingsafstanden herleid tot 0 meter (zie ook paragraaf 4.1.5). Bij het berekenen van de risicoafstanden worden brandmuren doorgaans niet in rekening gebracht omdat in een QRA dient te worden uitgegaan van verschillende windrichtingen (minimum 12), elke met een specifiek kans van voorkomen. Indien er rekening zou gehouden worden met de aanwezigheid van één specifieke brandmuur, dan betekent dit dat voor elke windrichting mogelijk andere effectresultaten bekomen worden. Dit zou veel te complex worden in een uitgebreide QRA studie (Luc Vandebroek, persoonlijke communicatie, 2019).

[52] VLAREM II Art 5.16.8.5

Financiële aspecten

De kost van een brandwerende muur zal ca. 300 €/m² bedragen, maar kan variëren i.f.v. de gewenste isolatiewaarde en opstelling (Industriebouwen, n.d.).

4.2.19 Gebruik van hemelwater bij on-site elektrolyse

Beschrijving:

Water is één van de inputs om waterstof te maken via elektrolyse. Om te besparen op leiding- of grondwater, kan gebruik gemaakt worden van hemelwater, afkomstig van het dak van het tankstation en/of een naastliggend gebouw. Hemelwater bevat minder mineralen dan leidingwater, en kan dus in minder stappen en goedkoper gezuiverd worden naar gedemineraliseerd water om te gebruiken bij de elektrolyse. Langs de andere kant bevat hemelwater meer zwevende stoffen en microbiële verontreiniging dan leidingwater, die door middel van een filter verwijderd worden.

Toepasbaarheid:

De toepasbaarheid is afhankelijk van de locatie, het beschikbaar dakoppervlak (tankstation zelf en/of eventueel naastliggend gebouw), en de capaciteit van het waterstoftankstation. Globaal gezien zal dit niet algemeen toepasbaar zijn.

Voordeel op milieu/veiligheidsniveau:

Hemelwater opvangen en gebruiken, heeft vele voordelen op vlak van milieu:

- Indien de waterstofproductie eenheid 100% op regenwater kan draaien, is er een besparing van 657 m³ leidingwater per jaar (voor een capaciteit van 200 kg H_2/dag)
- Lager piekvolume en snelheid van een storm in lokale beken en rivieren, waardoor er minder kans is op erosie
- Er wordt minder leidingwater gebruikt, en dus moet er minder water centraal gezuiverd en gepompt worden (indirect wordt er dus minder energie verbruikt)

Financiële aspecten:

Hemelwater komt letterlijk gratis uit de lucht gevallen. De zuivering om het gebruiksklaar te maken heeft een kost, maar deze is vergelijkbaar of zelfs goedkoper dan het demineraliseren van leidingwater. De kost voor het opslaan van regenwater in een (ondergrondse) buffer moet eveneens in rekening gebracht worden. De prijs van leidingwater wordt geschat op 2,3 €/m³ en zal alsmaar stijgen in de loop der jaren. (cijfers afkomstig van (Denis, Mertens, Meeuws, Van der Laak, & François, 2016)). Naast het positief effect op het milieu kan het dus ook financieel aantrekkelijk zijn.

HOOFDSTUK 5 SELECTIE VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk evalueren we de milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 naar hun technische haalbaarheid, milieu-impact en economische haalbaarheid, en geven we aan of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken al dan niet als BBT aanzien kunnen worden voor de sector van waterstoftankstations.

De in dit hoofdstuk geselecteerde BBT worden als BBT beschouwd voor de sector van waterstoftankstations, haalbaar voor een standaard[53] bedrijf. Dit wil niet zeggen dat elk bedrijf uit deze sector ook zonder meer elke techniek die als BBT aangegeven wordt, kan toepassen. De bedrijfsspecifieke omstandigheden moeten steeds in acht genomen worden.

De BBT-selectie in dit hoofdstuk mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men zowel rekening dient te houden met de beschrijving van de milieuvriendelijke en veiligheidsborgende technieken in hoofdstuk 4 als met de vertaling van de BBT-selectie naar aanbevelingen en concretisering van de milieuregelgeving in hoofdstuk 6.

5.1 Evaluatie van de beschikbare milieuvriendelijke technieken

In Tabel 45 worden de beschikbare milieuvriendelijke technieken uit hoofdstuk 4 getoetst aan een aantal criteria. Deze multicriteria-analyse laat toe te oordelen of een techniek als Beste Beschikbare Techniek (BBT) kan beschouwd worden. De criteria hebben niet alleen betrekking op de relevante veiligheidsaspecten en milieucompartimenten, maar ook de technische haalbaarheid en de economische aspecten worden beschouwd, in de mate hierover informatie beschikbaar was. Dit maakt het mogelijk een integrale evaluatie te maken, conform de definitie van BBT (cf. Hoofdstuk 1).

Toelichting bij de inhoud van de criteria in Tabel 45 wordt onder de volgende titels gegeven.

5.2 Technische haalbaarheid

- **bewezen**: geeft aan of de techniek zijn nut bewezen heeft in de industriële praktijk ("-": niet bewezen; "+": wel bewezen);
- **arbeidsveiligheid**: geeft aan of de techniek, bij correcte toepassing van de gepaste arbeidsveiligheidsmaatregelen, aanleiding geeft tot een verhoging van de risico's op arbeidsongevallen ("-": verhoogt risico; "0": geen significant effect; "+": verlaagt risico);
- **algemeen toepasbaar**: geeft aan of de techniek zonder technische beperkingen algemeen toepasbaar is voor een standaard[53] uitvoeringstypeinstallatie ("-": niet algemeen toepasbaar; "+": wel algemeen toepasbaar);

[53] Gelet op de jonge leeftijd van de sector en de verwachte economische en technologische groei die deze nog zal doormaken, werden in hoofdstuk 3 "standaard"-types samenbouwinstallatie per type samenbouw gedefinieerd. Deze standaarden zijn te beschouwen in het huidige tijdskader en dito maturiteit van de infrastructuur voor waterstoftankstations.

- **kwaliteit**: geeft aan of de techniek een invloed heeft op de kwaliteit van het eindproduct en/of dienstverlening ("-": verlaagt kwaliteit; "0": geen effect op kwaliteit; "+": verhoogt kwaliteit);
- **globaal**: schat de globale technische haalbaarheid van de techniek in ("+": als voorgaande alle "+" of "0"; "-/+": als voorgaande alle "+" of "0" en toepasbaarheid "-"; "-": als minstens één van voorgaande (behalve toepasbaarheid) "-").

5.3 Milieuvoordeel

- **lucht**: inbreng van verontreinigde stoffen in de atmosfeer ten gevolge van de exploitatie van de inrichting;
- **energie**: energiebesparingen, inschakelen van milieuvriendelijke energiebronnen en hergebruik van energie;
- **geluid**: de productie van geluid tijdens normale operationele omstandigheden, die door de omgeving als hinderlijk ervaren wordt;
- **overige milieuaspecten** (waterverbruik, emissies naar water, bodem en grondwater, afval, gebruik van chemicaliën)
- **globaal**: ingeschatte invloed op het gehele milieu.

Per techniek wordt voor elk van bovenstaande milieuaspecten een kwalitatieve beoordeling met de volgende mogelijke resultaten gegeven:
- "-": negatief effect;
- "0": geen/verwaarloosbare impact;
- "+": positief effect;
- "+/-": soms een positief effect, soms een negatief effect.

5.4 Verhoging van het niveau van veiligheid

- "-": de techniek heeft een negatief effect op het niveau van veiligheid. De zone rondom de exploitatie waarbinnen een risico op een dodelijk ongeval bestaat ingeval van permanente aanwezigheid binnen die zone, vergroot door toepassing van de techniek.
- "0": geen/verwaarloosbare impact
- "+": positief effect (de risicozone verkleint);
- "+/-": soms een positief effect, soms een negatief effect.

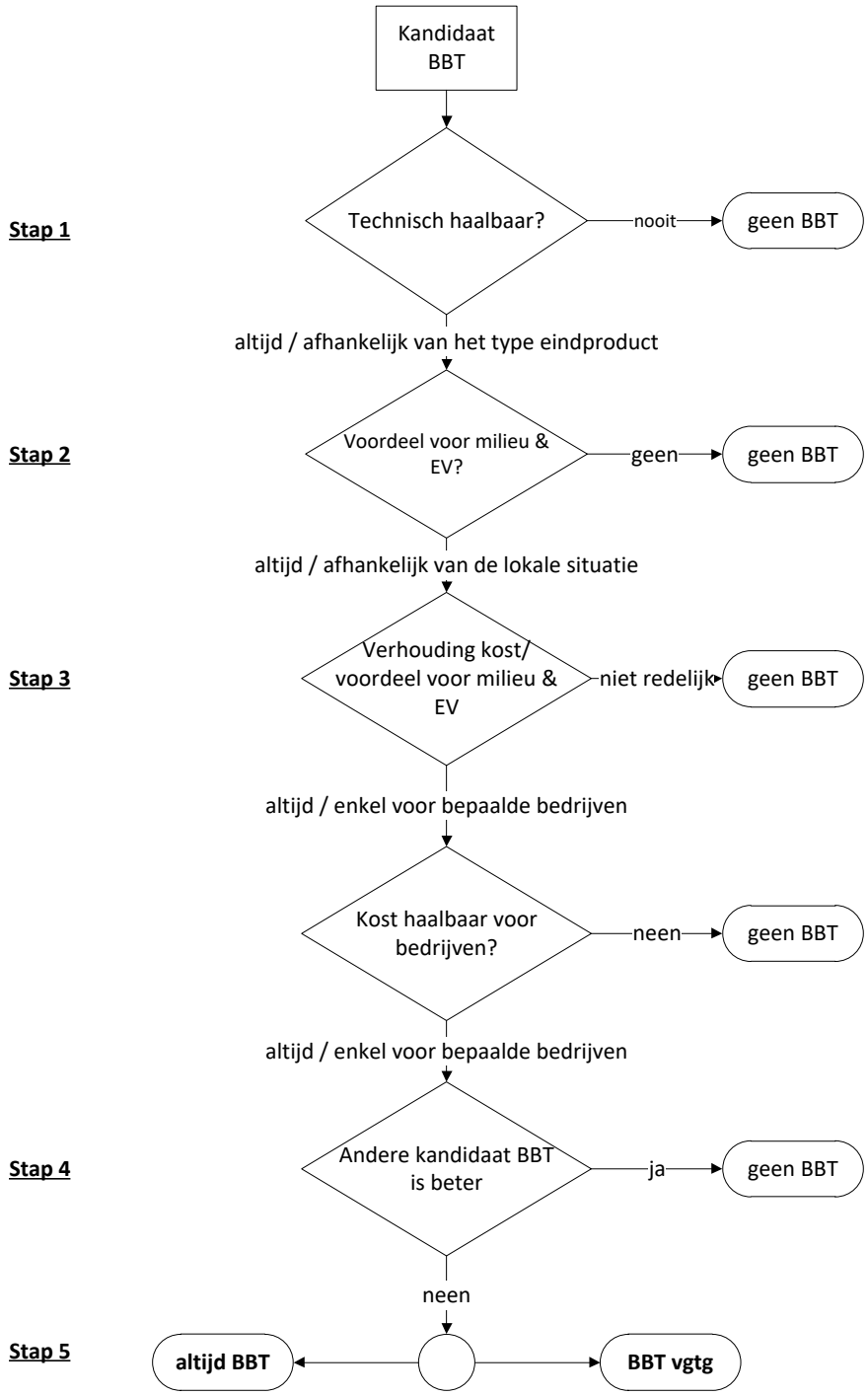
5.5 Economische haalbaarheid

- "+": de techniek werkt kostenbesparend (terugverdieneffect aanwezig);
- "0": de techniek heeft een verwaarloosbare invloed op de kosten;
- "-": de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden draagbaar geacht voor de sector (d.i. voor een gemiddeld bedrijf) en staan in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieu- of veiligheidswinst;
- "- -": de techniek leidt tot een verhoging van de kosten, de bijkomende kosten worden niet draagbaar geacht voor de sector (d.i. voor een gemiddeld bedrijf), of staan niet in een redelijke verhouding ten opzichte van de gerealiseerde milieu- of veiligheidswinst.

Uiteindelijk wordt in de laatste kolom telkens beoordeeld of de beschouwde techniek als beste beschikbare techniek kan geselecteerd worden (BBT: ja of BBT: nee). Waar dit sterk afhankelijk is van de beschouwde instelling en/of lokale omstandigheden wordt BBT: vgtg (van geval tot geval) als beoordeling gegeven.

Het proces dat gevolgd wordt bij de BBT-selectie, is schematisch voorgesteld in Figuur 49:

- Eerst wordt nagegaan of de techniek (de zogenaamde "kandidaat BBT") technisch haalbaar is, waarbij rekening wordt gehouden met de kwaliteit van het product/dienstverlening en de arbeidsveiligheid (stap 1).
- Wanneer de techniek technisch haalbaar is, wordt nagegaan wat het effect is op de verschillende milieucompartimenten (stap 2). Door een afweging van de effecten op de verschillende milieucompartimenten en omgeving te doen, kan een globaal milieuoordeel geveld worden. Om dit laatste te bepalen worden de volgende elementen in rekening gebracht:
  - Zijn één of meerdere milieuscores positief en géén negatief, dan is het globaal effect steeds positief;
  - Zijn er zowel positieve als negatieve scores dan is het globaal milieueffect afhankelijk van de volgende elementen:
    - de verschuiving van een minder controleerbaar naar een meer controleerbaar compartiment (bijvoorbeeld van lucht naar afval);
    - relatief grotere reductie in het ene compartiment ten opzichte van toename in het andere compartiment;
    - de wenselijkheid van reductie gesteld vanuit het beleid; o.a. afgeleid uit de milieukwaliteitsdoelstellingen voor water, lucht (bijvoorbeeld "distance-to-target" benadering).
- Naast het effect op de verschillende milieucompartimenten wordt in stap 2 ook het effect op de omgeving (veiligheid) beoordeeld.
- Wanneer het globaal milieu- en veiligheidseffect positief is, wordt nagegaan of de techniek bijkomende kosten met zich meebrengt, of deze kosten in een redelijke verhouding staan tot de bereikte milieu- en veiligheidswinst, en draagbaar zijn voor een gemiddeld bedrijf uit de sector (stap 3).
- Kandidaat-BBT die onderling niet combineerbaar zijn (omdat combinatie niet mogelijk of niet zinvol is), worden onderling met elkaar vergeleken, en enkel de beste wordt als kandidaat-BBT weerhouden (stap 4).
- Uiteindelijk wordt beoordeeld of de beschouwde techniek als beste beschikbare techniek (BBT) kan geselecteerd worden (stap 5). Een techniek is BBT indien hij technisch haalbaar is, een verbetering brengt voor het milieu (globaal gezien) en/of de mate van veiligheid), economisch haalbaar is (beoordeling "-" of hoger), en indien er geen "betere" kandidaat-BBT bestaan. Waar dit sterk afhankelijk is van de beschouwde instelling en/of lokale omstandigheden kunnen aan de BBT-selectie randvoorwaarden gekoppeld worden.



Figuur 49: Selectie van BBT op basis van scores voor verschillende criteria

Belangrijke opmerkingen bij het gebruik van Tabel 45:
Bij het gebruik van onderstaande tabel mag men volgende aandachtspunten niet uit het oog verliezen:

- De beoordeling van de diverse criteria is onder meer gebaseerd op:
  - ervaring van exploitanten met deze techniek;
  - BBT-selecties uitgevoerd in andere (buitenlandse) vergelijkbare studies;
  - adviezen gegeven door het begeleidingscomité;

  - inschattingen door de auteurs;
  - waar nodig, wordt in een voetnoot bijkomende toelichting verschaft. Voor de betekenis van de criteria en de scores wordt verwezen naar de paragrafen hogerop onder 5.
- De beoordeling van de criteria is als indicatief te beschouwen, en is niet noodzakelijk in elk individueel geval van toepassing. De beoordeling ontslaat een exploitant dus geenszins van de verantwoordelijkheid om bv. te onderzoeken of de techniek in zijn/haar specifieke situatie technisch haalbaar is, de veiligheid niet in gevaar brengt, geen onacceptabele milieuhinder veroorzaakt of overmatig hoge kosten met zich meebrengt. Tevens is bij de beoordeling van een techniek aangenomen dat steeds de gepaste veiligheidverhogende/milieubeschermende maatregelen getroffen worden.
- De tabel mag niet als een losstaand gegeven gebruikt worden, maar moet in het globale kader van de studie gezien worden. Dit betekent dat men zowel rekening dient te houden met de beschrijving van de technieken in hoofdstuk 4 als met de vertaling van de tabel naar aanbevelingen en concretisering van de milieuregelgeving in hoofdstuk 6.
- De tabel geeft een algemeen oordeel of de aangehaalde milieuvriendelijke technieken al of niet als BBT aanzien kunnen worden voor waterstoftankstations. Dit wil niet zeggen dat elk bedrijf uit deze sector ook zonder meer elke techniek die als BBT aangegeven wordt, kan toepassen. De bedrijfsspecifieke omstandigheden moeten steeds in acht genomen worden

Tabel 45: Maatregelen van H4 getoetst aan verschillende criteria voor de bepaling van BBT

Techniek	**Technische haalbaarheid**					**Milieuvoordeel**					**Veiligheid**	**Kostenhaalbaarheid & -effectiviteit**	**BBT**
	Bewezen	Arbeidsveiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	**Globaal**	Emissie naar de lucht	Energie-efficiëntie	Geluid	Overige milieuaspecten waterverbruik, afvalproductie	**Globaal**			
4.1.1 Informeren van omwonenden	+	0	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.1.2 Risicobeheersing m.b.v. een managementsysteem	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.1.3 Vastleggen van afspraken en regels voor belanghebbenden over handelingen met H_2 houdende installaties	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.1.4 Voorzien van maatregelen voor toezicht	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.1.5 Respecteren van interne scheidingsafstanden	+	+	+	0	**+**	0	0	+	0	**+**	**+**	**-**	**JA**
4.1.6 Respecteren van risicoafstanden	+	0	+	0	**+**	0	0	+	0	**+**	**+**	**-**	**JA**
4.1.7 Voorzien, inoefenen en up-to-date houden van noodprocedures	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.1.8 Bouwen, exploiteren en onderhouden van de installatie volgens een code van goede praktijk	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.1.9 Voorzien van correcte signalisatie op het terrein	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.1.10 Voorzien van maatregelen i.v.m. brandveiligheid	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.1.11 Voorzien van vlotte en veilige verkeerscirculatie op de inrichting	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.1.12 Onderbouwde keuze maken over de aanlevermethode en de oorsprong van waterstof bij het ontwerp van een waterstoftankstation	+	0	+	0	**+**	0	+	+	+	**+**	**0**	**+**	**JA**

Techniek	**Technische haalbaarheid**					**Milieuvoordeel**					**Veiligheid**	**Kostenhaalbaarheid & -effectiviteit**	**BBT**
	Bewezen	Arbeidsveiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	**Globaal**	Emissie naar de lucht	Energie-efficiëntie	Geluid	Overige milieuaspecten waterverbruik, afvalproductie	**Globaal**			
4.2.1 Gebruik van correcte materialen en geschikte verbindingen	+	+	+	+	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.2.2 Voorzien van druk- en temperatuurmetingen op kritische locaties	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.2.3 Voorzien van breekkoppelingen in de verdeelslangen	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.2.4 Voorzien van snelsmeltende persluchtbuisjes bij waterstof losslangen	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.2.5 Gebruik van een doorstroombegrenzer, terugslagklep, of inbloksysteem bij flexibele slangen	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.2.6 Voorzien van overdrukbeveiliging tijdens het tanken	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.2.7 Uitvoeren van periodieke lekdichtheidstesten	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.2.8 Voorzien van een drukontlastingsysteem bij waterstofopslag containers	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.2.9 Voorzien van waterstofgasdetectiesystemen	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.2.10 Voorzien van waterstofvlamdetectie op opslagtanks	+	0	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**[54]
-in de buurt van dispensers en losplaatsen in open lucht	-	0	+	0	**0**	0	0	0	0	**0**	**+**	**--**	**NEE**

[54] In België gebeurt dit niet altijd, al raadt de brandweer dit wel aan, en staat het beschreven in het inspectiedocument voor waterstof van de FOD WASO (Afdeling van het toezicht op de chemische risico's, 2019). In de VS is het wel verplicht want dit staat voorgeschreven in de NFPA 2.

Techniek	**Technische haalbaarheid**					**Milieuvoordeel**					**Veiligheid**	**Kostenhaalbaarheid & -effectiviteit**	**BBT**
	Bewezen	Arbeidsveiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	**Globaal**	Emissie naar de lucht	Energie-efficiëntie	Geluid	Overige milieuaspecten waterverbruik, afvalproductie	**Globaal**			
4.2.11 Vermijden van luchtintrede bij de compressor	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.2.12 Voldoende ventilatie garanderen bij installaties in besloten ruimtes	+	+	+	0	**+**	0	-	-	0	**-**	**+**	**-**	**JA**
4.2.13 Plaatsen van installaties in een open omgeving	+	-	-[55]	0	**+/-**	0	+	-	0	**0**	**+/-[56]**	**-/0**	**vgtg**
4.2.14 Volgen van algemene veiligheidsvoorschriften voor het vermijden van ontstekingsbronnen	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**0**	**JA**
4.2.15 Voorzien van een noodstopsysteem (ESD - Emergency Shut Down)	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.2.16 Opmaken van een ATEX-zoneringsplan	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**
4.2.17 Afschermen van gevoelige installatieonderdelen	+	+	+	0	**+**	0	0	0	0	**0**	**+**	**-**	**JA**

[55] Het plaatsen van installaties in een open omgeving is niet altijd mogelijk in de praktijk. Het installatieonderdeel moet bestand zijn tegen weersinvloeden. Deze techniek is niet van toepassing bij installatieonderdelen die in een kant-en-klare container geplaatst worden.

[56] Enerzijds is er een verhoging van de veiligheid omdat er minder kans is op waterstof ophoping. Anderzijds kan een waterstoflek niet ontdekt worden door een gasdetectiesysteem (om dezelfde reden als eerder vermeld). In deze gevallen moet er dus een vlamdetectiesysteem geplaatst worden op opslagtanks om de mogelijke ontsteking van waterstofgas te detecteren.

Techniek	**Technische haalbaarheid**					**Milieuvoordeel**							
	Bewezen	Arbeidsveiligheid	Algemeen toepasbaar	Kwaliteit	**Globaal**	Emissie naar de lucht	Energie-efficiëntie	Geluid	Overige milieuaspecten waterverbruik, afvalproductie	**Globaal**	**Veiligheid**	**Kostenhaalbaarheid & -effectiviteit**	**BBT**
4.2.18 Voorzien van brandwerende muren tussen installatie-onderdelen	+	0	-[57]	0	**+/-**	0	0	+	0	**+**	**+**	**-**	**vgtg[58]**
4.2.19 Gebruik van hemelwater bij on-site elektrolyse	-	0	-	0	**-**	0	0	0	+	**+**	**0**	**0/+**	**vgtg[59]**

[57] De toegankelijkheid van het station kan hierdoor belemmerd worden

[58] Het voorzien van brandwerende muren tussen installatie-onderdelen is geen essentiële veiligheidsmaatregel, maar kan wel gebruikt worden om de interne scheidingsafstanden te verkleinen

[59] Deze maatregel is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van een naburig gebouw en de mogelijkheid om voldoende hemelwater op te vangen. Het is dus eerder beperkt tot stations met een aanpalende shop.

HOOFDSTUK 6 AANBEVELINGEN OP BASIS VAN DE BESTE BESCHIKBARE TECHNIEKEN

In dit hoofdstuk formuleren we op basis van de BBT-analyse een aantal concrete aanbevelingen en suggesties. Hierbij volgen we twee sporen:
- aanbevelingen voor milieuvoorwaarden: we gaan na hoe de BBT kunnen vertaald worden naar milieuvoorwaarden, en formuleren suggesties om de bestaande milieuregelgeving voor inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof te implementeren, concretiseren en/of aan te vullen;
- aanbevelingen voor de milieusubsidieregelgeving: we gaan na welke milieuvriendelijke technieken voor inrichtingen voor de bevoorrading van motovoertuigen met waterstof in aanmerking kunnen genomen worden voor Ecologiepremie.

6.1 Aanbevelingen voor milieuregelgeving

6.1.1 Inleiding

De beste beschikbare technieken vormen een belangrijke basis voor het opstellen en concretiseren van de milieuregelgeving.

Artikel 2.8.2.4 van VLAREM II specifieert dit als volgt:

Na iedere Vlaamse BBT-studie evalueert de afdeling Milieu, bevoegd voor de omgevingsvergunning, in overleg met de betrokken adviesverlenende overheidsorganen, vermeld in artikel 20, §1, van titel I van het VLAREM, en de afdeling Milieu-Inspectie, de noodzaak om aan de Vlaamse minister een ontwerp van besluit van de Vlaamse Regering tot het bepalen van de algemene of sectorale milieuvoorwaarden te bezorgen. In voorkomend geval, legt de Vlaamse minister het ontwerp van besluit tot het bepalen van de algemene of sectorale milieuvoorwaarden voor aan de Vlaamse Regering.

6.1.2 Aanbevelingen voor de algemene voorwaarden in VLAREM

Op basis van deze studie worden geen aanbevelingen voor de algemene voorwaarden in VLAREM gedaan.

6.1.3 Aanbevelingen voor de sectorale voorwaarden in VLAREM

Voor waterstoftankstations geeft VLAREM een zeer beperkt aantal sectorale voorwaarden die in afdeling 5.16.9 "Inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof" vermeld staan.

In het kader van deze studie worden daarom, op basis van de BBT, voorstellen geformuleerd voor aanvullende sectorale voorwaarden, met hierbij de introductie van definities omtrent inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof.

- opname van **bijkomende sectorale bepalingen** in de bestaande afdeling 5.16.9 'Inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof'
- opname van een **bijlage aan de voormelde nieuwe sectorale** voorwaarden m.b.t. 'Keuringschema voor inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof' (*bijlage A*)

De voorstellen zijn terug te vinden in de onderstaande paragrafen.

Voorstel tot aanvulling definities in artikel 1.1.2 van VLAREM II

Momenteel zijn in VLAREM geen definities omtrent de inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof opgenomen. Hieronder worden voor een aantal begrippen definities voorgesteld die kunnen opgenomen worden in Artikel 1.1.2 van VLAREM II.

- Waterstofdispenser: "Een toestel, voorzien van de slangen, evenals de start- en stopknoppen en eventuele doorstroommeters en overige instrumenten, om, samen met de andere onderdelen van een waterstoftankstation waterstof van een opslagtank over te slaan naar een brandstoftank van een motorvoertuig".

- Waterstofverdeelslang: "Een slang die aan de waterstofdispenser is bevestigd, en dient om waterstof tot in de brandstoftank van een motorvoertuig te leiden."

- Waterstoflosslang: "Een slang die de lekvrije verbinding maakt tussen het aansluit(vul)punt van de waterstofopslagtank en de leverende waterstof tube-trailer of batterijvoertuig."

Hieronder volgen voorstellen voor bijkomende sectorale bepalingen in de bestaande afdeling 5.16.9 'Inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof'.

Voorstel tot sectorale bepalingen voor waterstoftankstations in deel 5 van VLAREM II

Hieronder geven we aan welke maatregelen uit hoofdstukken 4 en 5 van deze BBT-studie in VLAREM opgenomen zouden kunnen worden onder vorm van sectorale voorwaarden voor waterstoftankstations.

We splitsen de voorstellen op in de volgende categorieën, die ook als basis kunnen dienen voor de onderverdeling/structurering van de sectorale voorwaarden:

- Standaardcriteria voor gebruik van zelfevaluatietool
- Minimale technische eisen
- Risicoafstandsregels en groepsrisico
- Bouw en constructie (incl. interne scheidingsafstanden)
- Uitbating
- Controle en onderhoud
- Overgangsbepalingen

- **Standaardcriteria voor gebruik van zelfevaluatietool**

Voor het berekenen van risicoafstanden is het voorstel dat in VLAREM voorzien wordt dat de exploitant kan gebruik maken van een zelfevaluatietool zoals ontwikkeld in het kader van deze studie (zie verder). Aan het gebruik van deze tool worden een aantal voorwaarden (standaardcriteria) verbonden:

- De inrichting voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof is geen multifuelstation (er wordt enkel waterstof aangeboden)
- De on-site productie van waterstof is maximaal 500 Nm^3/h
- Waterstof wordt gasvormig aangeleverd of on-site geproduceerd
- Hogedruk opslag is opgedeeld in verschillende units van elk maximaal 750 L (1000 bar)
- Middendrukopslag is opgedeeld in verschillende units van elk maximaal 2500 L (500 bar)
- Lagedrukopslag is opgedeeld in verschillende units van maximaal 2500 L (200 bar) en 35.000 L (onder- of bovengronds, op 80 bar), en tot 150.000 L (150 m^3) onder- of bovengronds op een druk van 50 bar.
- Aflevering gebeurt met een verdeelslang van maximaal 12 mm (op 350 bar of 700 bar)
- Losslang is maximaal 12 mm diameter en voorzien van een terugslagklep
- De waterstofslangen zijn uitgerust met een breekkoppeling (zie ook paragraaf 4.2.3)
- De exploitant volgt en respecteert een code van goede praktijk (zie ook paragraaf 4.1.8)
- Er wordt een lektest voorafgaand aan vulling uitgevoerd (conform de richtlijnen hierover opgenomen in de SAE J2601 en SAE J2799).

Met deze zelfevaluatietool kan het extern mensrisico (m.n. het plaatsgebonden mensrisico en het groepsrisico) dat uitgaat van het waterstoftankstation worden geëvalueerd.

- **Minimale technische eisen**

Naar analogie met de VLAREM-voorwaarden voor aflevering van LPG wordt voorgesteld om een aantal minimale technische eisen in VLAREM op te leggen. Dit is gebaseerd op de volgende maatregelen:

- 'Bouwen, exploiteren en onderhouden van de installatie volgens een code van goede praktijk' (paragraaf 4.1.8);
- 'Gebruik van een doorstroombegrenzer, terugslagklep, of inbloksysteem bij flexibele slangen' (paragraaf 4.2.5);
- 'Voorzien van een noodstopsysteem (ESD - Emergency Shut Down) ' (paragraaf 4.2.15); en
- 'Voorzien van druk- en temperatuurmetingen op kritische locaties' (paragraaf 4.2.2)

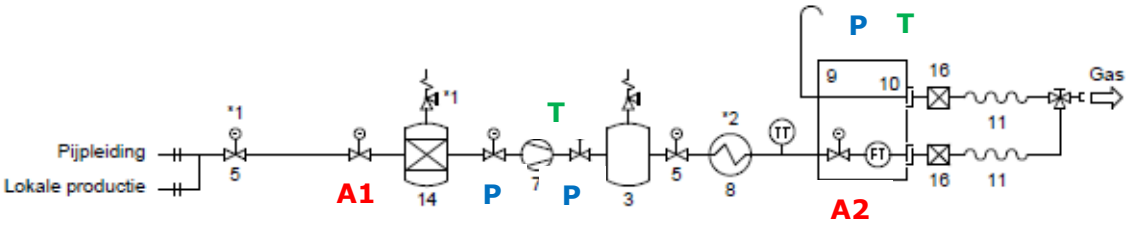
Maatregelen die als minimale technische eisen opgenomen kunnen worden zijn hieronder beschreven, en visueel geïllustreerd in *Figuur 50* met de drie meest voorkomende uitvoeringstypes van waterstoftankstations, analoog met paragraaf 3.1.1.

- Het dicht sturen van de gestuurde afsluiters[60] (**A1**) en (**A2**) bij activatiesignaal door het noodstopsysteem.

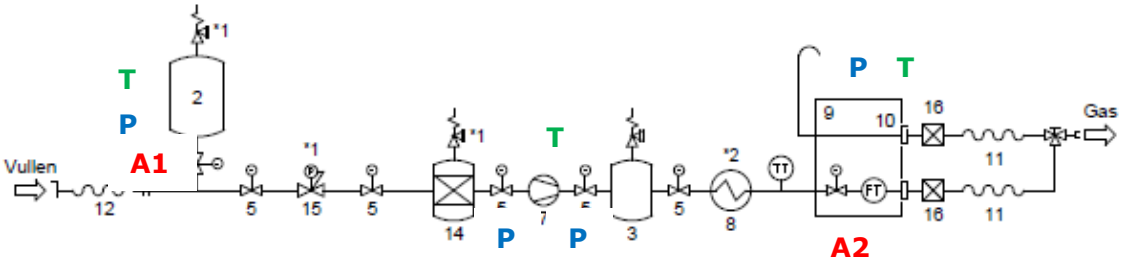
[60] A1 en A2 hebben technisch dezelfde functionaliteit, maar staan op een andere plaats op het station en kunnen vanuit het noodstopsysteem op een andere manier worden aangestuurd.

- Het failsafe (close) uitvoeren van de gestuurde afsluiters (**A1**) en (**A2**), en laten sluiten wanneer de sturing wegvalt.
- Enkel geopend zijn van de afsluiter (**A2**) wanneer:
  - er verdeling van waterstof plaatsvindt;
  - dit vereist is voor onderhoud aan de installatie.
- Het openen van afsluiter (**A1**) is vereist wanneer onderhoud aan de installatie nodig is
- De noodafsluiters zijn manueel via de noodstopknoppen en automatisch via gas- of branddetectiesystemen te activeren.
- Aanbrengen van, met het noodstopsysteem gekoppelde, afsluiters (**A1**) op alle uit- en ingangen van de waterstofopslagtank.
- voorzien van een drukontlastingssysteem ( ) op alle waterstof opslagtanks, zoals aangeduid op de onderstaande illustratieve[61] uitvoeringsschema's.
- Temperatuursensoren **(T)** aanbrengen nabij de waterstofopslagtank en de afleverzuil
- Drukmetingen **(P)** uitvoeren in de waterstof opslagtank, aan de uitlaat van de compressoren en de afleverzuil (controle hoge druk), aan de inlaat van de compressoren (controle lage druk).

a) Waterstoftankstation met continue aanvoer via pijpleiding of een lokale productie-eenheid (zie paragraaf 3.1.2)

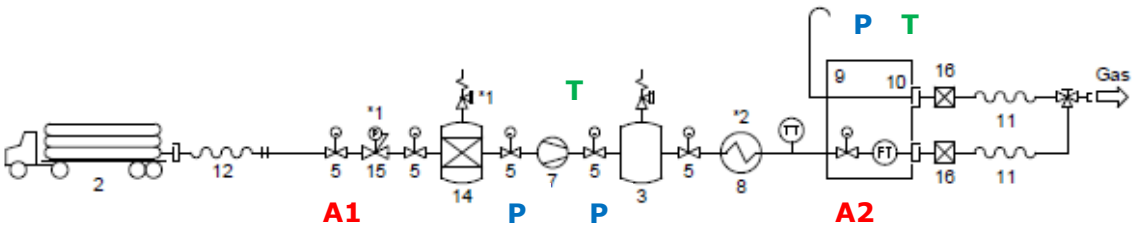


b) Waterstoftankstation met discontinue aanvoer via tube-trailer of batterijvoertuig met mobiele opslag (zie paragraaf 3.1.3)



c) Waterstoftankstation met gekoppelde tube-trailer (trailer blijft staan) (zie paragraaf 3.1.3)

[61] De hier getoonde schema's zijn niet bedoeld om als minimaal technische uitvoering te dienen. Er zijn tal van andere configuraties, en dus plaatsing van noodafsluiters, etc., mogelijk die eenzelfde niveau van veiligheid bieden. Zeker omwille van de snelle ontwikkelingen die zich in deze sector voordoen, is het niet aan te raden om zich enkel op de schema's in deze studie te baseren om de locatie van bepaalde veiligheidsmaatregelen in de installatieconfiguratie vast te leggen.



Legenda

1 waterstofopslag (vloeibaar)	8 koeler	15 drukregelaar
2 waterstofopslag (gas)	9 afleverzuil	16 breekkoppeling (break away)
3 tussenopslag	10 veiligheidsventiel	17 drukopbouwverdamper
4 verdamper	11 afleverslang	LT niveaumeting
5 noodafsluiter (esd-afsluiter)	12 losslang	FT stromingsmeting
6 pomp	13 / ⇒ vullen	TT temperatuurmeting
7 compressor	14 purifier (zuiveraar)	

***1: Optioneel**

***2: Toepassing afhankelijk van afleverdruk en eisen (vulsnelheid)**

Figuur 50: Schema's met de momenteel op de markt aanwezige uitvoeringen van waterstoftankstations, inclusief aanduiding van de minimale gestuurde noodkleppen, temperatuur- en drukmeters (aangepast en opgemaakt o.b.v. PGS 35)

- **Risicoafstandsregels en groepsrisico**

Het is van belang om de nodige minimale risicoafstanden in acht te nemen om de omgeving te beschermen tegen de gevolgen van accidentele gebeurtenissen die eigen zijn aan de aanwezigheid of de uitbating van een inrichting voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof. Het is daarom aangewezen om bij de inplanting en het ontwerp van de installatie rekening te houden met de omgevingskenmerken, en de onderlinge scheidingsafstanden.

Om het extern risico van waterstof activiteiten te beperken, is het naar analogie met LPG-tankstations aangewezen om volgende set risicocriteria te hanteren[62]:

- 10^{-6}/j ter hoogte van woongebied een bestaande of potentiële woning, gebouwen andere dan woningen, die niet behoren tot de te vergunnen inrichting, met regelmatige bezetting door mensen
- 10^{-7}/j ter hoogte van kwetsbare locaties en kinderdagverblijven
- interne scheidingsafstanden

Bovendien moet het **groepsrisico** aanvaardbaar zijn volgens de code van goede praktijken inzake risicocriteria voor externe mensrisico's van Seveso-inrichtingen.

[62] Het niet toetsen van de 10^{-5}/j ter hoogte van de eigen perceelgrens wordt ondervangen door het feit dat een overschrijding van de 10^{-5}/j slechts problematisch wordt als er regelmatig personen in dit gebied komen. Met de aangepaste formulering van de 10^{-6}/j zorgt men er bovendien voor dat dit factor 10 strengere criterium van toepassing is voor alle gebouwen met regelmatige bezetting door mensen en voor alle woningen en potentiële woningen.

Voor de bepaling van de risicoafstanden wordt voorgesteld de volgende werkwijze te gebruiken:

- voor de waterstoftankstations die aan de hogervermelde standaardcriteria voor gebruik van de zelfevaluatietool voldoen, worden de minimale risicoafstanden en de voorwaarden voor het groepsrisico bepaald met de daartoe bestemde rekenmodule die door M-Tech werd ontwikkeld. We stellen voor deze rekenmodule, samen met gebruiksinstructies, op een webpagina van de Vlaamse overheid te plaatsen.
- voor de waterstoftankstations die niet aan de hogervermelde standaardcriteria voldoen, wordt een individuele veiligheidsstudie, uitgevoerd door een erkend VR-deskundige als vermeld in artikel 6, 1°, e), van het VLAREL. Deze veiligheidsstudie omvat een berekening van de geïndividualiseerde minimale risicoafstanden en het groepsrisico.

Bij de aanvraag van de omgevingsvergunning voor de exploitatie van de ingedeelde inrichting of activiteit dienen de externe risicoafstanden en de voorwaarden voor het groepsrisico, zoals bepaald in de zelfevaluatietool, of de individuele veiligheidsstudie toegevoegd te worden.

- **Bouw en constructie**

  Verschillende maatregelen die in hoofdstukken 4 en 5 beschreven werden, hebben betrekking op allerhande aspecten van een waterstoftankstation, gaande van ontwerp over veiligheidsvoorzieningen, plaatsing/locatie van installatie-onderdelen, tot operationele- en onderhoudsmaatregelen.

  Vanuit de verschillende titels m.b.t. bouw en constructie van de waterstoftankstations uit deze BBT-studie vloeien voorstellen tot het opleggen van onderstaande maatregelen voort.

  - **Interne scheidingsafstanden**

De inplanting van de onderdelen van de waterstoftankstation en andere onderdelen van de Ingedeelde Inrichting of Activiteit (iioa) voldoet aan de minimale interne scheidingsafstanden zoals vermeld in paragraaf 4.1.5 van deze BBT-studie of borgt een gelijkwaardig niveau van bescherming (o.a. ter voorkoming van domino-effecten) door extra veiligheidsmaatregelen. Binnen de inrichting dienen dus de nodige interne scheidingsafstanden tot naburige installaties met gevaarlijke stoffen en plaatsen waar frequent personen aanwezig zijn (bv. shop, carwash, picknickplaatsen) te worden gerespecteerd. Deze interne scheidingsafstanden kunnen mogelijk worden gereduceerd door het nemen van specifieke maatregelen (bv. plaatsen van een brandmuur).

  - **Code van goede praktijk**

    Het voorstel is om in VLAREM enerzijds algemeen te verwijzen naar het verplicht naleven van relevante codes van goede praktijk, waarnaar wordt verwezen in 'Bouwen, exploiteren en onderhouden van de installatie volgens een code van goede praktijk' (paragraaf 4.1.8 van deze BBT-studie). Een mogelijke formulering is als volgt voorgesteld:

"Het waterstoftankstation wordt geconstrueerd overeenkomstig een code van goede praktijk, in overleg met een erkende milieudeskundige in de discipline houders voor gassen of gevaarlijke stoffen. Voor de constructie van de installatie wordt alleen gebruik gemaakt van producten en onderdelen die voldoen aan de toepasselijke normen en codes van goede praktijk."

- **Aanduiding van vul- en losplaats**

  Om overzicht en duidelijkheid voor operatoren en chauffeurs op de inrichting nog verder te verhogen, volgt daarnaast uit paragraaf 4.1.9 (Voorzien van correcte signalisatie op het terrein) van deze BBT-studie het VLAREM voorstel om d.m.v. duidelijke signalisatie te communiceren over de risico's, gevaren, instructies, …, waaronder het visueel op de grond aanduiden van aanrijstroken, vul- en standplaats(en) voor de lossende tube-trailer of batterijvoertuig door markeringen op de grond.

- **Overzichtelijke inrichting**

  Uit paragraaf 4.1.11 (Voorzien van vlotte en veilige verkeerscirculatie op de inrichting) van deze BBT-studie volgt het VLAREM voorstel om de inrichting van opritten, afritten, en terreinverharding op een overzichtelijke manier te ontwerpen, en de standplaats voor de lossende tube-trailer of batterijvoertuig volledig op het terrein van de iioa te voorzien. Op de vaste losplaats die voorzien moet worden, en waarvoor geldt dat enkel op die locatie gelost mag worden, is parkeren door andere voertuigen verboden.

- **Bescherming van de installatie**

  Het voorstel is om in VLAREM voorwaarden op te leggen voor:
  - De toegang voor onbevoegden beperken en d.m.v. een scheidingsconstructie, omkasting of overkapping, of aanrijdbeveiliging te plaatsen tegen aanrijding van de waterstof opslagtank, leidingswerk, en andere gevoelige installatieonderdelen. (zie paragraaf 4.1.4 Voorzien van maatregelen voor toezicht in deze BBT-studie)
  - Het beschermen van installatie-onderdelen tegen chemische, thermische en mechanische invloeden. (zie paragraaf 4.2.17 Afschermen van gevoelige installatieonderdelen)
  - voldoende verlichten van het gehele waterstoftankstation;
  - een vlotte verkeerscirculatie realiseren, zonder dat de verschillende verkeersstromen elkaar hinderen; (zie paragraaf 4.1.11 Voorzien van vlotte en veilige verkeerscirculatie op de inrichting)
  - aanbrengen van aanrijdbeveiliging (d.m.v. bijvoorbeeld stootpalen) ter bescherming van waterstof installatieonderdelen, en minstens rond elke dispenser. (zie paragraaf 4.2.17 Afschermen van gevoelige installatieonderdelen)

- **Waterstofopslagtank en drukhoudende installatieonderdelen**

  Uit paragraaf 4.2.7 van deze BBT-studie volgt het VLAREM voorstel om de waterstofopslagtank, en bij uitbreiding alle drukhoudende installatieonderdelen van het waterstoftankstation uit te rusten met een **overdrukbeveiliging,** in de vorm van **veiligheidskleppen** (alle drukhoudende installatieonderdelen), **breekplaten** of **explosieluiken** (opslagtanks). De plaatsing hiervan volgt uit de locatie van de installatieonderdelen waar een gasdruk kan ontstaan die hoger is dan de maximale bedrijfsdruk. Daarnaast is het ook belangrijk om een systeem voor drukherkenning bij de aflevering te voorzien die waarborgt dat de finale

afleverdruk aan het voertuig niet boven de instelwaarde van het drukontlastingsventiel/veiligheids- of overdrukventiel van de voertuigtank komt.

- **Flexibele slangen**

  Uit paragraaf 4.2.3 'Voorzien van breekkoppelingen in de verdeelslangen' van deze BBT-studie volgt het VLAREM voorstel om de verdeelslang uit te rusten met een breekkoppeling die de waterstofstroom automatisch onderbreekt bij een situatie waarin het voertuig wegrijdt terwijl de afleverslang nog is aangekoppeld.

  Uit paragraaf 4.2.4 'Voorzien van snelsmeltende persluchtbuisjes bij waterstof losslangen' volgt het VLAREM voorstel om de waterstof losslangen uit te rusten met snelsmeltende persluchtbuisjes die de waterstoftoevoer afsluiten ten gevolge van een externe brand.

  Uit paragraaf 4.2.5 'Gebruik van een doorstroombegrenzer, terugslagklep, of inbloksysteem bij flexibele slangen' volgt het VLAREM voorstel om de installatie-onderdelen stroomop- of stroomafwaarts van de flexibele slangen uit te rusten met een doorstroombegrenzer, terugslagklep, of inbloksysteem, om bij een lek of een breuk de hoeveelheid waterstof die vrijkomt te beperken. De losinstallatie wordt uitgerust met een doorstroombegrenzer stroomopwaarts van de slang, een terugslagklep stroomafwaarts van de slang en/of een noodstop- of inbloksysteem dat bij activatie op afstand bedienbare afsluiters aan beide zijden van de slang dichtstuurt. Elke afleverslang wordt voorzien van een breekkoppeling (of equivalent).

  Uit paragraaf 4.2.6 'Voorzien van overdrukbeveiliging tijdens het tanken' van deze BBT-studie volgt het VLAREM voorstel om een onafhankelijk werkende overdrukbeveiliging aan te brengen op de verdeelslangen, die zodanig is afgesteld dat de druk van het aan het voertuig verdeelde waterstof niet meer kan bedragen dan de op de dispenser weergegeven afleverdruk.

- **Veiligheidsvoorzieningen:**

  Er wordt voorgesteld om in VLAREM expliciet naar enkele van de in hoofdstuk 4 geformuleerde maatregelen te verwijzen als zijnde minimaal aan te brengen veiligheidsvoorzieningen. Deze vinden hun oorsprong in codes van goede praktijk, die in paragraaf 4.1.8 besproken worden. Hieronder staan de maatregelen opgelijst waarvoor het is aangewezen er expliciete voorschriften rond te formuleren. Bij onderstaande oplijsting staat tevens een verwijzing naar de desbetreffende paragraaf uit hoofdstuk 4.

  - **Detectiesystemen** (paragraaf 4.2.9 Voorzien van waterstofgasdetectiesystemen en paragraaf 4.2.10 Voorzien van waterstofvlamdetectie op opslagtanks)

    - voorzien van gasdetectie, gekoppeld aan het noodstopsysteem[63];
    - Er is **minimaal één gasdetector** aanwezig in de afleverzuil, en minimaal één per besloten ruimte. Deze detectoren zijn doorgaans zodanig geprogrammeerd dat er een automatische voorwaarschuwing naar de beheerder van de installatie gaat bij 10% LEL, en dat het noodstopcircuit (ESD-voorziening) wordt geactiveerd bij 20% LEL.

[63] Desgevallend geldt dit ook voor temperatuursdetectie, maar dit wordt als een redundante maatregel beschouwd

- De activatie van een gasdetector kan een **ventilator activeren** of een **hoofdafsluiter** laten sluiten
- **Waterstofvlamdetectoren** worden geïnstalleerd in de buurt van **opslagtanks in open omgevingen** waar er geen kans is tot ophoping van waterstof en gasdetectie geen nut heeft.Deze detectoren zijn zodanig geprogrammeerd dat de waterstof bronnen geïsoleerd worden en de installatie automatisch uitgeschakeld wordt;
- De activatie van een vlamdetector zal auditieve en visuele alarmen activeren, en is gekoppeld met de ESD-voorziening.

- **Detectiesystemen** (paragraaf 4.2.9 Voorzien van waterstofgasdetectiesystemen en paragraaf 4.2.10 Voorzien van waterstofvlamdetectie op opslagtanks)

- **Drukontlastingssysteem (paragraaf 4.2.8):**

  - Drukontlastingssystemen worden geïnstalleerd op **gasopslagcontainers**, gerelateerde **distributieslangen** in de buurt van belangrijke componenten, en bij **elektrolyse**- en **stoomreformer**modules, als onderdeel van het veiligheidssyteem. Dit kan in de vorm van **veiligheidskleppen**, **breekplaten** of **explosieluiken.**

- **Noodstopsysteem** (paragraaf 4.2.15 Voorzien van een noodstopsysteem (ESD - Emergency Shut Down) & 4.1.7 Voorzien, inoefenen en up-to-date houden van noodprocedures):

  - voorzien van een koppeling tussen het noodstopsysteem van de iioa en de noodstopsystemen van de leverende tankwagen en andere installaties, zoals een on-site waterstof productie eenheid, toevoerklep in de dispenserzuil, compressoren, leidingen naar de dispenser, enz.
  - automatisch activeren van alle gekoppelde noodstopsystemen, wanneer het noodstopsysteem van één van de individuele installaties geactiveerd wordt;
  - een deel van[64] of het gehele waterstoftankstation automatisch buiten werking (vergrendelen) en in een veilige toestand stellen wanneer de automatisch werkende beveiligingsvoorzieningen zijn geactiveerd;
  - conform de VLAREM II-voorwaarden voor CNG-afleverinstallaties, ook voor waterstoftankstations per waterstof dispenser twee noodstopknoppen voorzien;
  - voorzien van een noodstopknop aan de losplaats;
  - een noodstopknop in de (indien aanwezig zijnde) technische ruimte;
  - akoestisch en visueel alarmeren van aanwezigen omtrent de activering van het noodstopsysteem / terzelfdertijd automatisch verwittigen van de exploitant of zijn aangestelde;
  - Afstandsgestuurde kleppen voorzien op alle leidingen (zowel naar de opslagtank als naar de dispenser), die zo dicht mogelijk tegen de opslagtank geplaatst zijn, en bediend kunnen worden vanop een veilige locatie
  - Noodisolatiekleppen plaatsen op een locatie zo dicht mogelijk tegen de opslagtank, zodat het aantal mogelijke lekpunten tussen de klep en de opslagtank minimaal is. Idealiter wordt de klep rechtstreeks tegen de

[64] Activering van sommige beveiligingsvoorzieningen zullen leiden tot een volledige buitenwerkingstelling van de afleverinstallatie (bv. gas- of branddetectie). Andere, zoals storingen bij bijvoorbeeld de on-site elektrolyse zal slechts een deel van de installatie buiten werking stellen.

opslagtank gemonteerd, want hoe langer een leiding, hoe groter de kans dat er een lek optreedt.

- (laten) programmeren van het noodstopsysteem zodat dit minstens geactiveerd wordt bij:
  - manuele activering van het noodstopsysteem via een noodstopknop;
  - vlamdetectie;
  - overschrijden van de ingestelde overdruklimiet van de pressostaat aan de waterstof opslagtank
  - bij lekdetectie of drukval in een slang voor overslag van waterstof, dus zowel bij de losslang als bij een verdeelslang;
  - wanneer de debietsmeting de vooraf ingestelde waarden overschrijdt;
  - bij het wegvallen van de elektrische of pneumatische sturing;
  - wanneer een gas-, temperatuurs-, rook-, vlam- of andere (detectie)systeem dat aan het ESD-systeem gekoppeld is, een signaal tot noodstop geeft:
    - bij overschrijding van de temperatuurgrenzen;
    - lekdetectie van een ondergrondse leiding;
    - overschrijding van de gasdetectiegrens van 20 % LEL, waarbij, als gevolg van deze overschrijding, de pomp stopt en de op afstand bedienbare afsluiters sluiten. Het gasdetectiesysteem moet hierbij, net als in andere noodsituaties in bedrijf blijven.

- **Ventilatie** (paragraaf 4.2.12 Voldoende ventilatie garanderen bij installaties in besloten ruimtes & 4.2.13 Plaatsen van installaties in een open omgeving):

  - Waar technisch mogelijk, worden waterstof installaties in een **open omgeving** geplaatst, op voorwaarde dat weersinvloeden geen nadelige impact hebben op de integriteit en de goede werking van de installaties;
  - Voor installaties in containers of gesloten ruimtes wordt een **ventilator** of **afblaassysteem** geplaatst.
  - In gesloten ruimtes waar ventilatie moeilijk of niet voldoende kan worden gegarandeerd, behoort een **gasdetectiesysteem** te worden aangebracht

- **Signalisatie** (paragraaf 4.1.9 Voorzien van correcte signalisatie op het terrein & 4.2.16 Opmaken van een ATEX-zoneringsplan):

  - aanbrengen van een duidelijk zichtbare en leesbare instructie op elke waterstof dispenser over de te nemen maatregelen in het geval van ongewone voorvallen;
  - op relevante plaatsen, en minstens op de losplaats voor de tube-trailer en de dispenser, de gebruiker informeren over de gevaarseigenschappen van waterstof, geboden en verboden m.b.t. de afleverinstallatie;
  - aan elke toegangsweg van de inrichting en op de scheidingsconstructie naast elke deur op duidelijke wijze verbod op roken en het maken van ander vuur signaleren; dit door ten minste 50 mm hoge letters: 'ROKEN EN VUUR VERBODEN',
  - op opslagtanks en containers (voor bijvoorbeeld on-site waterstof productie) de opschriften 'VERBODEN VOOR ONBEVOEGDEN' en 'OPSLAG WATERSTOF' aan te brengen, evenals de telefoonnummers bij calamiteiten.

- **Brandveiligheid** (paragraaf 4.1.10 Voorzien van maatregelen i.v.m. brandveiligheid):
  - Brandpreventie en –bestrijdingsmaatregelen nemen conform artikel 4.1.12.1 (VLAREM II), en in overleg met de brandweer

- **Brandwerende muren**[65] (paragraaf 4.2.18 Voorzien van brandwerende muren tussen installatie-onderdelen):

  - Conform de bepalingen opgenomen in VLAREM II Afdeling 5.16.8 § 5 voor de inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen op aardgas, wordt voorgesteld dezelfde eisen voor te leggen voor waterstoftankstations: "De […] vermelde minimale interne scheidingsafstanden mogen verminderd worden tot minimaal 1 m door de constructie van een voorziening met een brandwerendheid van ten minste 60 minuten bepaald in overeenstemming met NBN-EN 13501 op voorwaarde dat de horizontaal omheen de voorziening gemeten afstand tussen de beschouwde installaties en de aangegeven elementen gelijk is aan of meer bedraagt dan de in deze paragrafen voorgeschreven minimale interne scheidingsafstanden. De voorziening, die bestaat uit een muur, wand, scherm of behuizing, moet in ieder geval de hoogte van de beschouwde installaties hebben met een minimum hoogte van 2 m en moet minstens langs de hele lengte van deze installaties gelegen zijn."

- **Uitbating**

  - **Risicobeheersingssysteem** (4.1.2 Risicobeheersing m.b.v. een managementsysteem)

    - Uitbaten van een waterstoftankstation overeenkomstig een code van goede praktijk, in overleg met een erkende milieudeskundige in de discipline houders voor gassen of gevaarlijke stoffen;
    - Een risicobeheersingssysteem gebruiken om de risico's die uitgaan van de exploitatie voor milieu en veiligheid te beheersen;
    - voorzien in een noodplan dat wordt afgestemd met de gemeente. Op de waterstoftankstations duidelijk de instructies van het noodplan voor de gebruiker ophangen;

  - **Afspraken en regels voor belanghebbenden** (paragraaf 4.1.3 Vastleggen van afspraken en regels voor belanghebbenden over handelingen met H_2 houdende installaties, en paragraaf 4.1.1 Informeren van omwonenden)

    - Opleiden van operatoren of andere belanghebbenden. Afspraken en regels die betrekking hebben met de goede en veilige werking van het waterstoftankstation communiceren d.m.v. werkinstructies
    - Informeren van omwonenden vóór, tijdens, en na de constructie van een waterstoftankstation voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof

  - **Toezicht** (4.1.4 Voorzien van maatregelen voor toezicht)

[65]Zie opmerking van Departement Omgeving in Bijlage 2

- Een **deskundig persoon** die beschikt over de vereiste competenties om vanop afstand de niet kritische storingen[66] die optreden tijdens het inwerking zijn van de H_2-afleverinstallatie, te kunnen interpreteren en mogelijk te kunnen verhelpen of op te volgen, is permanent bereikbaar en kan indien nodig ter plaatse komen
- Continue bewaking d.m.v. **automatische procesmetingen** (niveau, druk, temperatuur) en door instrumenten om de installaties binnen veilige marges te laten opereren

- **Documentatie** (4.1.2 Risicobeheersing m.b.v. een managementsysteem)

  - Bij en beschikbaar houden van nuttige documenten voor toezichthoudende overheid:
    - installatieschema, as-built plannen met inbegrip van de aanwezige veiligheidsvoorzieningen
    - technisch constructiedossier conform actuele situatie
    - keurings- en indienststellingsverslagen en –certificaten
    - logboek met daarin het overzicht van werkzaamheden, onderhoudsingrepen, keuringen, calamiteiten, opleidingen, bevoegde personen , en andere relevante zaken
    - explosieveiligheids- en zoneringsdossier
    - controlerapporten inspectie.

- **Aarding** (4.2.14 Volgen van algemene veiligheidsvoorschriften voor het vermijden van ontstekingsbronnen)

  - Uitvoeren van de installatie zodat er geen ontstekingen als gevolg van een verschil in statische geladenheid tussen het voertuig enerzijds en de afleverinstallatie anderzijds, kunnen ontstaan;
  - Voorafgaand aan elke losoperatie: realiseren van een potentiaalvereffening via een logisch en goed bereikbaar aardingspunt, alvorens de overslaghandeling kan starten;
  - Als maatregel ter bescherming van bliksem, worden alle voertuigen voor waterstofafgifte elektrisch verbonden met dezelfde aarde als de vaste opslaghardware voorafgaand de flexibele slangaansluiting.

→ ***Overgangsbepalingen***

Er zullen reeds enkele waterstoftankstations vergund zijn voordat de sectorale voorwaarden in VLAREM opgenomen zijn.

We gaan er van uit dat de bestaande waterstoftankstations reeds aan de hierboven voorgestelde VLAREM-voorwaarden voldoen, met mogelijke uitzondering voor het respecteren van de interne scheidingsafstanden en risicoafstanden en de aanwezigheid van vlamdetectoren, waardoor er slechts een beperkte of geen nood is aan overgangsbepalingen.

---

[66] Niet kritische storingen zijn bijvoorbeeld hoge temperatuur compressor, low level gasdetectie, niet automatisch opstarten compressor, te veel vochtigheid in aanvoerleiding, enz. Deze worden onderscheid van kritische alarmen zoals high level gasdetectie (vooral als deze blijft bestaan), hoge temperatuur detectie (TPRD, zie ook paragraaf 4.2.7, afwijkingen in gastemperatuur in aanvoerleiding (gelinkt met het inschakelen van de noodstop) (Marnix Van Berkum, persoonlijke communicatie, 2019)

→ ***Voorstel tot introductie van een bijlage (werktitel) 'A' m.b.t. keuringschema voor inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof***

Onderstaand voorstel is gebaseerd op relevante normen, codes van goede praktijk en beoordeling door de experten in het begeleidingscomité.

Legende:

Visuele uitwendige inspectie: bijzondere aandacht voor sporen van corrosie, beschadiging, slijtage, ijsvorming (mogelijk teken van lek), en vervuiling/verstopping van afblaas- en uitstroomopeningen.

Lektest (gasdichtheid): bijzondere aandacht voor verbindingen, koppelingen, aansluitingen, afsluiters, en verdeelslangen.

O = milieudeskundige erkend in de discipline houders voor gassen of gevaarlijke stoffen, EDTC of erkend organisme in het kader van het AREI of geaccrediteerde keuringsinstantie voor het domein branddetectie en blussystemen of aangemelde instelling

X = exploitant of zijn aangestelde, installateur of gespecialiseerd bedrijf

Algemene opmerking: De controle- en inspectietermijnen opgegeven in deze tabel zijn minimale termijnen, die op basis van o.a. eisen van de fabrikant of inspectieresultaten bij vorige controles verstrengd of versoepeld kunnen worden.

Tabel 46: Keuringschema voor inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof

	Installatie-onderdeel	**Controle op**	**Type controle**	**Bij indienst-stelling**	**Maandelijks**	**Jaarlijkse controle**	**Driejaarlijkse keuring**
0	Locatie /inplanting/omgeving						
0.1	Toegang, omheining en doorgangen	Zichtbare aantasting en beschadiging	Visuele inspectie	O		X	O
0.2	Signalisatie(borden): veiligheidsinstructies, zonering,…	Leesbaarheid	Visuele inspectie	O		X	O
0.3	Beveiligingszone (vangrails, golfbreker,…)	Zichtbare aantasting en beschadiging	Visuele inspectie	O		X	O
0.4	Afscherming van gevoelige installatieonderdelen	Zichtbare aantasting en beschadiging	Visuele inspectie	O		X	O
0.5	Brandwerende muren (optioneel)	Zichtbare aantasting en beschadiging	Visuele inspectie	O		X	O
0.6	Ondergrond (leidinggoten)	Zichtbare aantasting en beschadiging	Visuele inspectie	O		X	O
0.7	Orde en netheid	Staat, afwezigheid van begroeiing, onnodig brandbaar materiaal	Visuele inspectie	O		X	O
1	Waterstof-opslagtank						

	Installatie-onderdeel	Controle op	Type controle	Bij indienst-stelling	Maandelijks	Jaarlijkse controle	Driejaarlijkse keuring
1.1	Mantel - uitwendig	Zichtbare aantasting en beschadiging (incl. ijsvorming)	Visuele inspectie - uitwendig	O	X		O
1.2	Steunconstructie	Zichtbare aantasting en beschadiging	Visuele inspectie	O		X	O
2	Vulleiding						
2.1	Leiding	Zichtbare aantasting, slijtage en beschadiging	Visuele inspectie	O	X		O
2.2	Breekkoppeling	Goede werking en lekdichtheid	Functionele test en lektest (gasdichtheid)	O		X	O
2.3	Terugslagklep	Goede werking en lekdichtheid	Functionele test en lektest (gasdichtheid)	O			O
2.4	Aardingsklem losinstallatie	Goede werking		X		X	O
3	Pomp (optioneel)						
3.1	Pomp	Zichtbare aantasting, slijtage en beschadiging	Visuele inspectie	X		X	O
4	Dispenser (waterstof)						
4.1	Pressure integrity check (pre lektest, conform SAE normering)	Goede werking	Werking testen	O		X	O
5	Verdeelslang						

	Installatie-onderdeel	Controle op	Type controle	Bij indienst-stelling	Maandelijks	Jaarlijkse controle	Driejaarlijkse keuring
5.1	Slang	Zichtbare aantasting, slijtage en beschadiging	Visuele inspectie en weerstandsbeproeving	X		X	O
5.2	Breekkoppeling	Goede werking en lekdichtheid	Lektest (gasdichtheid)	O		X	O
5.3	Terugslagklep, doorstroombegrenzer, inbloksysteem	Goede werking en lekdichtheid	Werking testen en lektest (gasdichtheid)	O		X	O
6	Leidingwerk, verbindingen, en hulpstukken						
6.1	Leidingen, flensverbindingen, en (snel)koppelingen	Zichtbare aantasting, slijtage en beschadiging	Visuele inspectie	O	X (wekelijks)		O
6.2	Leidingen, flensverbindingen, en (snel)koppelingen	Lekdichtheid	Lektest (gasdichtheid)[67]	O	X		O
7	Afsluiters						
7.1	Afsluiters	Interne dichtheid	Interne dichtheid van noodafsluitkleppen	O		X	
7.2	Werking van de afstandsbediening van de afsluiters (noodstop)	Goede werking	Functionele test	X		X	O
8	Procesmonitoring op- en overslag						

[67] Leiding onder druk zetten en controleren en schuimtest

	Installatie-onderdeel	Controle op	Type controle	Bij indienst-stelling	Maandelijks	Jaarlijkse controle	Driejaarlijkse keuring
8.1	Overdrukbeveiliging (drukmeting en drukschakelaars)	Goede werking	Functionele test	O		X	O
8.2	Overvulbeveiliging (niveaumeting en schakelaars)	Functionele test van de kring(en) die door de meting worden aangestuurd	Functionele test	O		X	O
8.3	Drukontlastingsystemen (breekplaten, explosieluiken)	Zichtbare aantasting, slijtage en beschadiging	Visuele inspectie	O			O
8.4 a	Veiligheidskleppen	Werking, lekdichtheid en openingsdruk	Functionele test en lektest (gasdichtheid)	O		X	O vijfjaarlijks
8.4 b	Veiligheidskleppen		Visuele inspectie	O		X	O vijfjaarlijks
9	Procesmonitoring omgeving						
9.1 a	Gasdetectie	Goede werking	Kalibratie	O		X (twee keer per jaar)[68]	O
9.1 b	Gasdetectie	Functionele test van de kring(en) die door de meting worden aangestuurd	Functionele test	O		X	O
9.2	Temperatuurmeting	Functionele test van de	Functionele test	O		X	O

[68] Minimaal twee keer per jaar of op basis van de voorschriften van de fabrikant

	Installatie-onderdeel	Controle op	Type controle	Bij indienst-stelling	Maandelijks	Jaarlijkse controle	Driejaarlijkse keuring
		kring(en) die door de meting worden aangestuurd					
9.3 a	Vlam-/branddetectie	Goede werking	Functionele test	O		X	O
9.3 b	Vlam-/branddetectie	Functionele test van de kring(en) die door de meting worden aangestuurd	Functionele test	O		X	O
9.4	Actieve ventilatie	Goede werking	Functionele test	O		X	O
10	Noodmaatregelen						
10.1	Noodstopknoppen	Werking en nauwkeurigheid	Functionele test	X		X	O
10.2	Alarm	Werking en hoorbaarheid	Functionele test	X		X	
10.3	Brandbestrijdingsmiddelen	Goede werking		X		O	
10.4	Noodstroomvoorziening (UPS)	Goede werking	Functionele test	X		X	
11	Elektrische installatie	Goede werking	cfr AREI	Periodiciteiten cfr. bepalingen in AREI			

6.1.4 Aandachtspunten voor de bijzondere milieuvoorwaarden

Niet alle BBT lenen zich tot een rechtstreekse vertaling in de sectorale voorwaarden, bijvoorbeeld omdat de toepasbaarheid, milieuvoordeel of economische haalbaarheid geval per geval moet beoordeeld worden. Het kan echter wel nuttig zijn voor de vergunningsverlener om ook rekening te houden met dergelijke BBT in de vergunning en hier, indien nodig, bijzondere milieuvoorwaarden voor op te leggen. Hieronder beschrijven we een aandachtspunt voor de bijzondere milieuvoorwaarden voor inrichtingen voor de bevoorrading van motorvoertuigen met waterstof. Voor de volledige beschrijving en evaluatie van deze maatregelen verwijzen we naar Hoofdstukken 4 en 5 van deze studie.

H4	Maatregel	Wanneer toepasbaar?
4.2.19	Gebruik van hemelwater bij on-site elektrolyse	Het gebruik van hemelwater voor de on-site productie van waterstof d.m.v. elektrolyse kan in sommige gevallen BBT zijn. In dit geval moet er voldoende dakoppervlak zijn om hemelwater op te vangen, en is dus sterk afhankelijk van de aanwezigheid van een naburig gebouw. Deze maatregel kan dus BBT zijn voor een station met een aanpalende shop.

6.2 Aanbevelingen voor ecologiepremie

6.2.1 Inleiding

Ecologiepremie is een financiële tegemoetkoming aan ondernemingen die ecologie-investeringen zullen realiseren in het Vlaamse Gewest. Onder ecologie-investeringen worden milieu-investeringen en investeringen in energie-efficiëntie en hernieuwbare energie verstaan. Met de ecologiepremie wil de Vlaamse overheid ondernemingen stimuleren om hun productieproces milieuvriendelijk en energiezuinig te organiseren. De overheid neemt daarbij een gedeelte van de extra investeringskosten, die een dergelijke investering met zich meebrengt, voor haar rekening. De maatregel kadert in het economisch beleid van de Vlaamse regering en speelt een belangrijke rol in de toepassing van duurzame bedrijfsprocessen.

Ecologiepremie Plus (EP+) is een steunregeling voor gestandaardiseerde ecologie-investeringen. De steunregeling maakt gebruik van een limitatieve technologieënlijst (LTL) met een beperkt aantal technologieën die in aanmerking komen voor steun.

De ecologiepremie wordt toegekend in de vorm van een subsidie. Het bedrag van de ecologiepremie wordt bepaald door:

- de aard van de investering (milieu/energie-efficiëntie/hernieuwbare energie);
- de ecoklasse waartoe een technologie behoort op basis van zijn ecologiegetal met corresponderende subsidiepercentages;
- de grootte van de onderneming (kmo/grote onderneming);

In deze paragraaf worden aanbevelingen gegeven om één of meerdere van de besproken milieuvriendelijke technologieën in aanmerking te laten komen voor deze investeringssteun.

Alle relevante en actuele informatie over de ecologiepremie is te consulteren via de website van het Agentschap Innoveren en Ondernemen: https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/ecologiepremie.

6.2.2 Toetsing van milieuvriendelijke technieken criteria voor ecologiepremie

Het BBT-kenniscentrum van VITO verleent ondersteuning aan het Agentschap Innoveren & Ondernemen bij het opstellen van de limitatieve technologieënlijst. De technologieën op deze lijst worden in eerste instantie getoetst aan de basisvoorwaarden zoals gesteld in de Europese milieukaderregeling en zijn ecologie-investeringen gericht op:

- het overtreffen van bestaande Europese normen (voor zover er geen strengere Vlaamse normen van toepassing zijn); voor de aanschaf van nieuwe vervoersmiddelen moeten enkel de Europese normen worden overtroffen die in werking zijn getreden;
- het behalen van milieudoelstellingen waarbij geen Europese normen gelden.

Daarnaast gelden bijkomende voorwaarden:

- de ecologie-investeringen moeten technisch en economisch haalbaar;
- de ecologie-investeringen moet de stand van de techniek, die in de sector van toepassing is, overtreffen.
- er gaat (in vergelijking met de stand van de techniek) een betekenisvolle investeringskost mee gepaard
- de technologie heeft een terugverdientijd van meer dan 3 jaar

In het kader van deze BBT-studie wordt onder 'investeringen die de stand van de techniek overtreffen' begrepen: investeringen in technologieën die beter en duurder zijn dan BBT, of investeringen in technologieën die BBT zijn, maar (nog) niet verplicht worden opgelegd via doel- of middelvoorschriften in VLAREM of de vergunning.

Indien aan al deze voorwaarden is voldaan, wordt de performantie van de technologie bepaald op basis van een LCIA (Life Cycle Impact Assessment) methode. Dit is een wetenschappelijk onderbouwde en algemeen aanvaarde methode, die toelaat de milieu-impact te berekenen en verder te wegen tot één ecoscore (ReCiPe methode). Enkel de meest performante technologieën komen in aanmerking voor ecologiesteun.

De minister bevoegd voor de economie stelt (op voordracht van VITO) de limitatieve technologieënlijst vast en kan die lijst aanpassen. De limitatieve technologieënlijst wordt doorgaans twee tot drie maal per jaar geactualiseerd.

6.2.3 Stand van zaken LTL

Onderstaand zijn de technologieën weergegeven m.b.t. waterstof die reeds opgenomen zijn op de LTL op het moment van het publiceren van deze BBT-studie (september 2020).

- Nummer technologie: T201051

Naam technologie: Ombouw van transportmiddelen naar systemen met een brandstofcelsysteem op waterstof voor de aandrijving van het transportmiddel inclusief offroad
Beschrijving: Het opwekken van elektrische energie waarbij waterstof rechtstreeks wordt omgezet in elektrische energie, ten behoeve van aandrijving van transportmiddelen.
Subsidiepercentage: KMO 30%; GO 15%

- Nummer technologie: T201057
  Naam technologie: Tankinfrastructuur voor waterstof (met een maximum investeringskost van 2 miljoen euro per tankstation)
  Beschrijving: Tankinfrastructuur bestemd voor het afleveren van duurzame waterstof als brandstof voor transportmiddelen. Duurzame waterstof omvat on site geproduceerde waterstof door middel van elektrolyse van groene stroom of waterstof als restproduct van de industrie. Het maximaal in te brengen investeringsbedrag bedraagt 2 miljoen euro per tankstation.
  Subsidiepercentage: kmo 27%; GO 13,5%

- Nummer technologie: T553
  Naam technologie: Transportmiddel met als aandrijving een brandstofcelsysteem op waterstof
  Beschrijving: Het opwekken van elektrische energie waarbij waterstof rechtstreeks wordt omgezet in elektrische energie, ten behoeve van aandrijving van transportmiddelen.
  Subsidiepercentage: kmo 19,5%; GO 9,75%

6.2.4 Aanbevelingen voor LTL

Op basis van deze BBT-studie worden er geen (bijkomende) aanbevelingen geformuleerd voor de LTL.

HOOFDSTUK 7 TECHNIEKEN IN OPKOMST

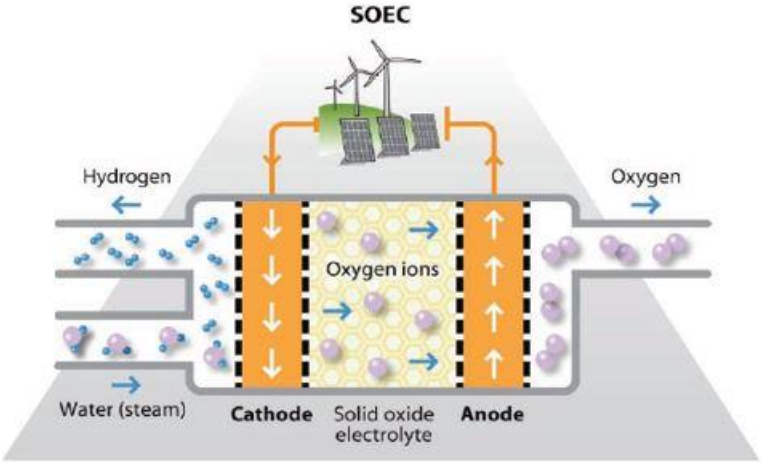
In dit hoofdstuk worden een aantal technieken in opkomst besproken die bij de opmaak van de BBT-studie werden geïdentificeerd. Technieken in opkomst zijn nieuwe technieken voor een industriële activiteit die, als zij commercieel worden ontwikkeld, hetzij een hoger algemeen beschermingsniveau voor het milieu hetzij minstens hetzelfde beschermingsniveau voor het milieu en grotere kostenbesparingen kunnen opleveren dan de beste beschikbare technieken. Het zijn technieken die nog niet op industriële schaal worden toegepast, of nog in ontwikkeling zijn, en mogelijk in de toekomst BBT kunnen worden. Ook technieken die milieuproblemen aanpakken die nog maar recent onder de aandacht zijn gekomen voor een activiteit komen hier aan bod. Daarnaast worden in dit hoofdstuk ook aanbevelingen gegeven voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling.
Bij een eventuele herziening van deze BBT-studie in de toekomst, kan onderzocht worden of de technieken in opkomst inmiddels BBT zijn geworden, en of verder onderzoek tot nieuwe inzichten geleid heeft.

7.1 Technieken in opkomst

7.1.1 Productie van van on-site waterstof via Solid Oxide Elektrolyse (SOEC)

Beschrijving

Solid Oxide Electrolytic Cells (SOEC) werken op hoge temperaturen (>800°C), gelijkaardig aan solid oxide fuel cells. Bij deze temperaturen kan water in de vorm van stoom makkelijker gesplitst worden tot waterstof en zuurstof vanwege de toegevoegde energiebijdrage van de hitte. Met behulp van SOEC is het ook mogelijk om synthesegas (koolmonoxide, CO en waterstof) te genereren door co-elektrolyse van stoom en koolstofdioxide. (Fuel Cell Today, 2013)



Figuur 51: Werkingsmechanisme van een Solid Oxide Elektrolyse systeem (SOEC) (Fuel Cell Today, 2013)

Toepasbaarheid

Op dit moment nog weinig informatie voorhanden over de toepasbaarheid van SOEC voor de on-site productie van waterstof.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Voordelen van deze techniek zijn de hoge rendementen die haalbaar zijn, vooral als de elektriciteit en warmte duurzaam kunnen worden opgewekt, zoals van een thermische zonnecollectorinstallatie, waar hoogwaardige warmte en elektriciteit worden geproduceerd.

Cross media effecten:
Nadelen van deze technologie zijn de beperkte beschikbaarheid van hernieuwbare hoogwaardige warmte en elektriciteit op dezelfde locatie. Deze technologie is nog relatief jong en niet getest in vergelijking met PEM en AEC. (Fuel Cell Today, 2013)

Financiële aspecten

Er zijn nog geen SOEC-systemen commercieel verkrijgbaar.

7.1.2 Coaten van opslagtanks om vuurbestendigheid te verhogen

Beschrijving

De verbetering van de brandwerendheidsclassificatie van waterstofopslagtanks is het onderwerp van een lopend onderzoek aan de Ulster University, HySafer, gefinancierd door de Britse Engineering and Physical Sciences Research Council EPSRC. Het idee is om de brandwerendheid van waterstofopslagtanks te verbeteren door een coating van een opzwellende verf aan te brengen. De intumescentie (opzwelling) is een veelzijdige methode om materialen te voorzien van een reactie en weerstand tegen vuur. Bij

verhitting boven een kritische temperatuur begint het materiaal op te zwellen en uit te zetten, waardoor een isolerende coating wordt gevormd en de warmte- en massaoverdracht wordt beperkt. Een intumescente verf/coating is een meercomponentensysteem dat in wezen bestaat uit een *char former* (bijvoorbeeld pentaerythritol); een zuurcomponent (bijvoorbeeld ammoniumpolyfosfaat); en een zwel-/blaasmiddel (bijvoorbeeld melamine). Voorlopige simulaties toonden aan dat zelfs met één laag van een opzwellende verf (in het bereik van 7-20 mm) aangebracht op Type IV tank (koolstofvezel versterkt polymeer), de brandwerendheidsklasse ervan met één grootteorde toeneemt (Tretsiakova-McNally).

Toepasbaarheid

Deze maatregel is algemeen toepasbaar op waterstofopslagtanks. Op dit moment zijn zulke coatings nog in een onderzoeksfase.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau:

Het voordeel op veiligheidsniveau is de brandwerendheid van de opslagtank te verhogen, waardoor er minder kans is op falen bij een externe brand.

Financiële aspecten

Geen informatie voorhanden omdat deze maatregel nog in de onderzoeksfase zit.

7.1.3 Gebruik van fotolytische of biologische processen voor on-site waterstofproductie

Beschrijving

Directe zonnewatersplitsing, of fotolytische processen, gebruiken lichtenergie om water in waterstof en zuurstof te splitsen. Deze processen bevinden zich in de beginfase van onderzoek, maar bieden wel potentieel naar langetermijn duurzame waterstofproductie met een zeer lage milieu-impact. Voorbeelden van zulke technologiëen zijn fotoelectrochemisch en fotosynthesische productie.

Microben zoals bacteriën en microalgen kunnen met behulp van zonlicht of organisch materiaal waterstof produceren door **biologische reacties**. Deze technologiepaden bevinden zich eveneens in een vroeg stadium, maar bieden dezelfde voordelen als directe zonnewatersplitsing. (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2019)

Toepasbaarheid

Geen informatie voorhanden omdat deze maatregel nog in de onderzoeksfase zit.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Geen informatie voorhanden omdat deze maatregel nog in de onderzoeksfase zit.

Financiële aspecten

Geen informatie voorhanden omdat deze maatregel nog in de onderzoeksfase zit.

7.1.4 Aanleveren van waterstof via vaste of vloeibare dragers

Beschrijving

De belangrijkste methoden van waterstofopslag, die gedurende lange tijd zijn uitgeprobeerd en getest, omvatten fysieke opslagmethoden op basis van compressie, koeling, of een combinatie van beide (hybride opslag). Een groot aantal andere nieuwe technologieën voor waterstofopslag worden op dit moment nagestreefd of onderzocht. Deze technologieën kunnen worden gegroepeerd onder de naam materiaal-gebaseerde opslagtechnologieën. Dit kunnen vaste stoffen, vloeistoffen, of oppervlakken zijn.

Vloeibare organische waterstofdragers (*Liquid Organic Hydrogen Carriers* - LOHC) zijn verbindingen die waterstofopslag mogelijk maken door omkeerbare hydrogenering. Deze hydrogenering en dehydrogenering wordt uitgevoerd met behulp van katalysatoren en bij verhoogde temperaturen. Net als bij vaste opslagmedia is het voordeel dat opslag kan plaatsvinden bij omgevingsomstandigheden en bestaande infrastructuur voor fossiele brandstoffen kan worden gebruikt. Deze vloeibare dragers hebben ook tot gevolg dat een deel van het tankstation zelf er anders zal uit zien, met andere processen, andere componenten, additionele risico's zoals bodemverontreiniging, enz.

De meest veelbelovende is dibenzyltolueen voor energietransport- en opslag en N-ethylcarbazol voor mobiliteitstoepassingen. Het bedrijf Hydrogenious biedt al een commercieel systeem aan. Zij beweren dat in hun systeem 57 kg H_2 kan worden opgeslagen per m^3 LOHC. Bij het opslaan van dezelfde hoeveelheid waterstof in zuivere gasvorm zou dit een volume van $6m^3$ bij 100 bar of $3m^3$ bij 200 bar vereisen.
LOHC kan een goede oplossing zijn voor de opslag en distributie van waterstof bij waterstoftankstations. Als de LOHC echter ook in een voertuig wordt getankt en in het voertuig wordt gedehydrogeneerd, is het nadeel dat een aparte tank in het voertuig nodig is om de vloeibare drager op te slaan en dat deze "restfractie" van de vloeibare drager moet worden gelost bij het tankstation. Extra logistiek is vereist om de vloeibare dragerfracties bij het waterstoftankstation te verzamelen en terug te brengen naar de LOHC-productiesite.

Toepasbaarheid

Op dit moment zijn er nog geen commerciële toepassingen. In dit kader werd het HySTOC-project[69] opgestart. Hier onderzoekt men de kosteneffectieviteit van het transport en opslag van zuivere waterstof m.b.v. LOHC naar een commercieel geëxploiteerd waterstoftankstation in Voikoski (Finland). Het project heeft betrekking op de hele distributieketen, van het centraal vullen van de waterstoftrailer, het transport naar het tankstation, tot verlading ter plaatse en het gebruik.

[69] De voortgang van het HySTOC project is te volgen via de website http://www.hystoc.eu/

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Het voordeel op milieuniveau is dat er meer waterstof getransporteerd kan worden per eenzelfde volume eenheid. Dat wil zeggen dat de impact van het transport op de weg sterk gereduceerd zal worden.

Financiële aspecten

Op dit moment is de financiële impact nog niet gekend. De studie van het IEA (International Energy Agency, 2019) beweert dat vanaf afstanden > 1.500 km het transport via LOHC kostenefficiënter wordt dan via pijpleiding.

7.1.5 Gebruik van een elektrochemische (zuigerloze) waterstofcompressor

Beschrijving

Een elektrochemische waterstofcompressor ('Electrochemical Hydrogen Compressor', afgekort EHC) is een waterstofcompressor waar waterstof wordt aangevoerd aan de anode en gecomprimeerde waterstof wordt verzameld bij de kathode met een exergie-efficiëntie tot > 80% voor drukken tot 700 bar. Een elektrochemische waterstof-compressor kan gelijktijdig waterstof comprimeren en zuiveren dankzij het Nafion-membraan dat bijna enkel de permeatie van protonen toelaat. Omdat het geen beweegbare delen heeft, wordt de gecomprimeerde waterstof niet verontreinigd door de olie die nodig is als smeermiddel voor beweegbare delen en is het onderhoud van het systeem laag, waardoor de totale kost voor dit installatie-onderdeel wordt gedrukt. Bovendien vermijdt het ontbreken van beweegbare delen de productie van ruis, waardoor de EHC meer geschikt is voor veel toepassingen waar akoestische emissie een beperking kan zijn. De EHC heeft tenslotte ook het voordeel dat het een compact apparaat is dat de schaalbaarheid en inpasbaarheid bevordert. (Nordio, et al., 2019)

Toepasbaarheid

Er zijn nog geen commerciële EHC's beschikbaar op de markt. Verder onderzoek is nodig op verschillende niveaus om de EHC's verder te verbeteren en competitief te worden met de huidige waterstof compressoren.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Omdat het geen beweegbare delen heeft, wordt de gecomprimeerde waterstof niet verontreinigd door de olie die nodig is als smeermiddel voor beweegbare delen.

<u>Cross media effecten:</u>
Een EHC heeft een aantal nadelen die vergelijkbaar zijn met de nadelen van brandstofcellen die de exploitatie van deze technologie belemmeren, en die daarom nog enige vebetering behoeft om de markt te betreden.

Financiële aspecten

Omdat het geen beweegbare delen heeft, wordt de gecomprimeerde waterstof niet verontreinigd door de olie die nodig is als smeermiddel voor beweegbare delen en is het

onderhoud van het systeem laag, waardoor de totale kost voor dit installatie-onderdeel wordt gedrukt.
Echter is het belangrijk om de hoge kosten als gevolg van de gebruikte materialen te onderstrepen, vooral het platina als katalysator voor de reactie op het membraan en het polymere membraan zelf.
De investeringskost wordt geschat tussen 1.000 – 2.000 $/kg$H_2$/dag, en een operationele kost < 0,5$/kg$H_2$ (HyET Hydrogen).

7.1.6 Gebruik van milieuvriendelijke koelmiddelen bij waterstof-proceskoeling en tanking

Beschrijving

Koelmiddelen worden op een waterstoftankstation doorgaans ingezet voor twee (optioneel drie, afhankelijk van de uitvoeringstype, indien een elektrolyse eenheid op het station staat) processen:

1) Proceskoeling: Dit omvat het koelen van componenten en waterstof gedurende het comprimeren: koeling van het persgas, de hydraulische olie, en de waterstofbooster kopkoppeling (indien aanwezig).

2) Tanking: Tijdens het tanken wordt waterstof gekoeld naar een temperatuur van -40°C om een zo snel mogelijke tanking uit te voeren overeenkomstig de SAE J2601-2016.

3) On-site elektrolyse: De elektrolyse van water (splitsting van water in zuurstof en waterstof) is een exotherme reactie, d.w.z. dat warmte wordt vrijgelaten. Koeling is hier noodzakelijk om het procestemperatuur binnen de acceptabele limieten te behouden.

Gewoonlijk gebeuren deze koelingen m.b.v. synthetische koelmiddelen. Een techniek in opkomst is om milieuvriendelijke koelmiddelen te gebruiken voor deze processen. Zo onderzoekt Colruyt Group de mogelijkheid om de proceskoeling uit te voeren d.m.v. een glycol koudemiddel welke gekoeld wordt door CO_2 (R744), of een koelsysteem o.b.v. propaan/propeen. De tanking zou uitgevoerd kunnen worden met een CO_2-koeling, en de elektrolyse via een propaankoeling (R290). (Colruyt Group, 2020)

Toepasbaarheid

Deze maatregel is algemeen toepasbaar op installatie-onderdelen waar traditionele koelmiddelen gebruikt worden.

Voordeel voor milieu/veiligheidsniveau

Het voordeel bevindt zich in het vervangen van de traditionele synthetische koelmiddelen door milieuvriendelijke (natuurlijke) koelmiddelen. Zo heeft CO_2 een GWP (Global Warming Potential) van 1 en propaan een GWP van 3. Ter vergelijking kunnen synthetische koelmiddelen een GWP hebben tot 2.500. Voor het gebruik van propaan wordt doorgaans de EN378 norm gehanteerd (‘*Refrigeration systems and heat pumps – Safety and environmental requirements*’), volgens dewelke een risicoanalyse moet uitgevoerd worden. De eventuele bijkomende veiligheidsmaatregelen die gelinkt zijn aan

het gebruik van deze koelmiddelen (zoals het voorzien van propaandetectie gekoppeld aan een ventilator) zijn op dit moment nog onbekend.

Financiële aspecten

Er zijn geen gegevens beschikbaar over de kostprijs van deze maatregel. Bemerk wel dat er een meerkost kan zijn voor het voorzien van bijkomende veiligheidsmaatregelen zoals bijvoorbeeld een ventilator, propaandetectie, e.d.m. Voor propaankoeling is het aangewezen om het gebruik te beperken tot 50 kg. "Vanaf 50 kg zijn er sowieso bijkomende wettelijke vereisten die maken dat het economisch veel minder interessant wordt om propaan als koelmiddel te gebruiken, vanwege de dure investeringskosten van deze maatregelen en de kosten voor de handhaving ervan". (Technigroup, 2020)

7.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling

In dit onderdeel worden suggesties gedaan voor verder onderzoek en technologische ontwikkeling. Dit gebeurt volgens 2 sporen:

- aanbevelingen voor het verbeteren van de beschikbare informatie en kennis;
- aanbevelingen voor de ontwikkeling van nieuwe milieutechnieken.

7.2.1 Aanbevelingen voor verbetering van huidige kennis

Bij het opstellen van de BBT-studie werden een aantal hiaten in de beschikbare kennis/informatie opgemerkt, bijvoorbeeld met betrekking tot de berekening van de interne scheidingsafstanden en de risicoafstanden bij de constructie van een waterstoftankstation. Verder onderzoek en aanlevering van data over de faalfrequentie van waterstofslangen is cruciaal om correctere afstanden te bekomen. Een overzicht van de betrokken domeinen en de hieraan gekoppelde onderzoeksaanbevelingen wordt gegeven in Tabel 47. In de tabel zijn tevens een aantal reeds lopende onderzoeksprojecten aangegeven die bij het opstellen van de BBT-studie werden opgemerkt, doch deze lijst is niet noodzakelijk volledig.

Tabel 47: Aanbevelingen voor verder onderzoek ter verbetering van huidige kennis

Ontbrekende of onvolledige kennis/informatie	**Onderzoeksaanbeveling**	**Lopende onderzoeksprojecten**
Voldoende grote datasets voor de berekening van faalfrequenties bij breuk of lek van waterstofslangen.	Meer experimentele datageneratie en onderzoek nodig omtrent faalfrequentiedata van waterstofslangen. Concreet moet er bijgehouden worden hoelang een slang in gebruik is (**aantal gebruiksjaren**), hoeveel uren een slang wordt gebruikt (**aantal gebruiksuren per jaar**),	Geen gegevens

	en informatie over het aantal en de omvang (**aantal vrijzettingen, grootte lekdiameter, hoeveelheid vrijgezet product**) van de lekken die er zich gedurende deze periode hebben voorgedaan. Deze informatie wordt in overleg met andere belanghebbende partijen gedeeld, met het oog op het correct afleiden van faalfrequenties voor waterstofslangen en om 'waterstof-specifieke' interne scheidingsafstanden en risicoafstanden te bepalen.	
Interne scheidingsafstanden ter beheersing van domino-effecten op multifuel-stations	Door de in ontwikkeling zijnde markt van tankstations met alternatieve brandstoffen, zijn er tal van configuraties qua lay-out en soort brandstoffen op deze tankstations mogelijk. In deze BBT-studie is dit enigszins ondervangen in de beschrijving van de maatregel rond interne scheidingsafstanden, maar niet alle mogelijke configuraties van multifuelstations zijn hierin vervat kunnen worden.	Er is nog geen oefening gebeurd om de bestaande scheidingsafstanden voor LPG-stations, CNG-afleverinstallaties, LNG-afleverinstallaties, en nieuwe brandstoffen zoals waterstoftankstations en elektrische laadpalen in verschillende configuraties/lay-outs in 1 overzicht te zetten. Hierbij is het van belang om in twee richtingen te kijken: bv. wat is de potentiële impact van een opslagtank met bv. waterstof op de opslagtank met LNG, maar ook vice versa. En welke moeten de interne scheidingsafstanden tussen deze installatie-onderdelen op het multifuelstation zijn om domino-effecten te voorkomen?

7.2.2 Aanbevelingen voor ontwikkeling van nieuwe milieuvriendelijke technieken

Op basis van deze BBT-studie worden er geen (bijkomende) aanbevelingen geformuleerd voor de ontwikkeling van nieuwe milieuvriendelijke technieken

REFERENTIES

Adviesgroep AVIV BV. (2013). *Risicoanalyse verplaatsbaar waterstofvulstation.* Helmond.

Afdeling van het toezicht op de chemische risico's. (2015). *Leidraad voor het beschrijven van de interne veiligheid in het veiligheidsrapport.* FOD Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg.

Afdeling van het toezicht op de chemische risico's. (2019). *Inspectie-instrument waterstof (discussieversie).* FOD WASO.

Autotrader. (sd). *First Canadian Retail Hydrogen Station Opens in Vancouver*. Opgehaald van https://www.autotrader.ca/newsfeatures/20180619/first-canadian-retail-hydrogen-station-opens-in-vancouver/

Barilo, N. (2015). *Safety Considerations for Hydrogen and Fuel Cell Applications.* Opgehaald van H2 Tools Safety Panel: https://h2tools.org/sites/default/files/Safety_Considerations_for_Hydrogen_and_Fuel_Cell_Applications.pdf

Barthe, P., Chaugny, M., Roudier, S., & Delgado Sancho, L. (2014). *BREF raffinaderijen.* Opgehaald van https://emis.vito.be/nl/bref-studie-raffinaderijen

Belgisch kenniscentrum over welzijn op het werk. (sd). *ATEX - Regelgeving*. Opgeroepen op 01 30, 2019, van Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg (FOD WASO): https://www.beswic.be/nl/regelgeving/atex-regelgeving

Belmans, R., & Vingerhoets, P. (2020). Molecules: indispensable in the decarbonized energy chain. *Florence School of Regulation*. Opgehaald van https://fsr.eui.eu/publications/?handle=1814/66205

California Energy Commission. (2015). *Joint Agency Staff Report on Assembly Bill 8: Assessment of Time and Cost needed to attain 100 Hydrogen Refueling Stations in California.* California. Opgehaald van https://www.energy.ca.gov/2015publications/CEC-600-2015-016/CEC-600-2015-016.pdf

Castro, J., Fraile, D., Barth, F., Vanhoudt, W., Altmann, M., & Weindorf, W. (2015). *Technical Report on the Definition of 'CertifHy Green' Hydrogen.* Opgehaald van http://www.certifhy.eu/images/project/reports/Certifhy_Deliverable_D2_4_green_hydrogen_definition_final.pdf

Colella, W. G., Jamer, B. D., Moton, J. M., Saur, G., & Ramsden, T. (2014). *Techno-economic Analysis of PEM electrolysis for Hydrogen Production.* Strategic Analysis. Opgehaald van https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/fcto_2014_electrolytic_h2_wkshp_colella1.pdf

Denis, T., Mertens, D., Meeuws, M., Van der Laak, W., & François, I. (2016). *Power to Gas Roadmap for Flanders.* Turnhout: Waterstofnet. Opgehaald van http://www.power-to-gas.be/sites/default/files/P2G%20Roadmap%20for%20Flanders%20-%20Final%20report.pdf

Departement Omgeving. (2019). *Handboek Risicoberekeningen - Richtlijnen voor kwantitatieve risicoanalyse, indirecte risico's en milieurisicoanalyse – versie 2.0 dd. 01/04/2019.* Opgehaald van https://omgeving.vlaanderen.be/sites/default/files/atoms/files/2019%2004%2001%20-%20HBRB%20-%20v2.0.pdf

Dienst Leefmilieu Vlaams Brabant. (2015). Milieuvergunning waterstoftankstation Zaventem. Vlaams Brabant.
Electrive. (2019). *Cause found for fire at H2 refilling station in Norway*. Opgehaald van https://www.electrive.com/2019/07/01/cause-found-explosion-at-h2-refuelling-station-in-norway
Elgowainy, A., Reddi, K., Lee, D.-Y., Rustagi, N., & Gupta, E. (2017). Techno-economic and thermodynamic analysis of pre-cooling systems at gaseous hydrogen refueling stations. (Elsevier, Red.) *International Journal of Hydrogen Energy, 42*(49), 29067-29079. Opgehaald van https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319917337497
European Commission. (2017). *Frequently Asked Questions (FAQ) on Industrial Emissions Directive (IED)*. Opgehaald van European Commission Europa: http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/faq.htm#annex1.4
European Environment Agency. (2016). *Overview of electricity production and use in Europe*. Opgehaald van https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4
European Industrial Gases Association (EIGA). (2007). *Proposal to change the IPPC Directive with regards to hydrogen production.* Opgehaald van https://www.eiga.eu/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=314&token=0b940de2837ed71b1aad69da40352247eece657e
European Industrial Gases Association. (2006). *Gaseous Hydrogen Stations.* EIGA. Opgehaald van https://www.eiga.eu/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=2465&token=884579a9c33f314a4c173ee34de057534e052a26
FOD WASO. (2013). *Inspectie-instrument Beheersen van processtoringen.* FOD Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal. Opgehaald van https://www.lne.be/sites/default/files/atoms/files/Inspectie-instrument%20Beheersen%20van%20processtoringen.pdf
FOD Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg. (2011). *Informatienota Procesveiligheidsstudie.* FOD Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg . Opgehaald van https://werk.belgie.be/sites/default/files/nl/modules_pages/publicaties/prev_zwareong/informatienota/in002-v3-procesveiligheidsstudie.pdf
François, I., Martens, A., Winkel, T., & Vanhoudt, T. (2018). *Het potentieel voor groene waterstof in Vlaanderen - Een routekaart.*
Fuel Cell Today. (2013). *Water Electrolysis & Renewable Energy Systems.* FuellCellToday.
Gandia, L. M., Arzamendi, G., & Diéguez, P. M. (2013). *Renewable Hydrogen Technologies - Production, Purification, Storage, Applications and Safety.* Elsevier.
Gemeente Helmond. (2012). Omgevingsvergunning waterstoftankstation Helmond.
H2Stations. (2020). *Hydrogen Refuelling Stations Worldwide*. Opgeroepen op September 2020, van https://www.netinform.de/H2/H2Stations/Default.aspx
Hermkens, R. (2018). *Toekomstbestendige gasdistributienetten.* netbeheer nederland.
Hydrogen Europe. (2017). *Liquefaction systems*. Opgehaald van https://hydrogeneurope.eu/liquefaction-systems
Hydrogen Tools. (sd). *Flame Detection*. Opgeroepen op 01 30, 2019, van https://h2tools.org/bestpractices/flame-detection
Hydrogen Tools. (sd). *Hydrogen Compared with Other Fuels*. Opgeroepen op 2019, van https://h2tools.org/bestpractices/hydrogen-compared-other-fuels
HyET Hydrogen. (sd). Electrochemical Hydrogen purification and compression. Opgehaald van https://hyethydrogen.com/upload_directory/files/HyetHydrogen-2flyers-A4.pdf
HyGear. (2019). HyGen on-site hydrogen generation system. Opgehaald van http://hygear.com/wp-content/uploads/2018/09/HYGEAR_Hy.GEN_Hydrogen-Generation.pdf

Industriebouwen. (sd). *Prijs van een industriegebouw*. Opgeroepen op 02 25, 2019, van https://www.industriebouwen.be/industriebouw/administratie/prijs-van-een-industriegebouw/

International fire protection. (2019). *Hydrogen and fire safety: Detecting the most flammable element on earth*. Opgehaald van https://ifpmag.mdmpublishing.com/hydrogen-and-fire-safety-detecting-the-most-flammable-element-on-earth/

Isenstadt, A., & Lutsey, N. (2017). *Developing hydrogen fueling infrastructure for fuel cell vehicles: A status update.* The International Council on Clean Transportation. Opgehaald van https://theicct.org/sites/default/files/publications/Hydrogen-infrastructure-status-update_ICCT-briefing_04102017_vF.pdf

ISO. (2016). *Gaseous hydrogen - Fuelling stations ISO/TS 19880-1:2016(E).* ISO.

Iversen, L. M. (2015). *Measurement of noise from electrical vehicles and internal combustion engine vehicles under urban driving conditions.* Oslo: Danish Road Directorate. Opgehaald van https://www.toi.no/getfile.php/1340825/mmarkiv/Forside%202015/compett-foredrag/Lykke%20-Silent%20Urban%20Driving.pdf

Kenniscentrum InfoMil. (2020). *Groepsrisico*. Opgehaald van https://www.infomil.nl/onderwerpen/veiligheid/bevi-revi/@110781/groepsrisico/

Leak Control Benelux. (2016). *Waterstof lekdetectie van H2Scan nu verkrijgbaar in de Benelux*. Opgehaald van https://www.fluidsprocessing.nl/nieuws/372/waterstof-lekdetectie-van-h2scan-nu-verkrijgbaar-in-de-benelux.html

Leak Detect. (sd). *Traceergas voor het detecteren van kleine lekken met gastest*. Opgeroepen op 2019, van http://lek-detectie.net/lekdetectie/gastest/

Mehmeti, A., Angelis-Dimakis, A., Arampatzis, G., McPhail, S. J., & Ulgiati, S. (2018). Life Cycle Assessment and Water Footprint of Hydrogen Production Methods: From Conventional to Emerging Technologies. *Environments*.

Mercury News. (2016). *Roadshow: Gas pump mishap will cost you $748, attendant tells driver*. Opgehaald van https://www.mercurynews.com/2016/01/08/roadshow-gas-pump-mishap-will-cost-you-748-attendant-tells-driver/

Monterey Bay Electric Vehicle Alliance. (2015). Chapter 3: Hydrogen Fuel Cell Vehicles and Infrastructure. Monterey Bay AFV Readiness Plan. Opgehaald van https://mbeva.org/wp-content/uploads/2015/06/Chapter-3-Hydrogen-Fuels-.pdf

M-Tech. (2020). *Inhuur van diensten i.v.m. domein externe veiligheid waterstoftankstations.*

Multiple Authors. (2008). *Hydrogen Fuel - Production, Transport, and Storage.* CRC Press.

New York State Energy Research and Development Authority. (sd). Hydrogen Production - Steam Methane Reforming (SMR). Albany, NY.

NFPA. (2018). *Overview: NFPA 2 Hydrogen Technologies Code Requirements.* NREL. Opgehaald van https://h2tools.org/sites/default/files/NFPA%202%20Training%20May2018%20_1_0.pdf

Nordio, M., Rizzi, F., Manzolini, G., Mulder, M., Raymakers, L., Van Sint Annaland, M., & Gallucci, F. (2019). *Experimental and modelling study of an electrochemical hydrogen compressor.* Chemical Engineering Journal. Opgehaald van https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894719305716

Notter, D., Kouravelou, K., Karachalios, T., Daletou Maria, K., & Haberland, N. (2013). Life cycle assessment of PEM FC applications: electric mobility and µ-CHP. *Energy & Environmental Science*.

Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. (2019). *Hydrogen Production Processes*. Opgehaald van https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-processes

Omni Instruments. (sd). *SharpEye Flame Detector.* Opgeroepen op 01 30, 2019, van https://www.omniinstruments.co.uk/sharpeye-flame-detector.html

PGS35. (2015). *35: Waterstof: afleverinstallaties van waterstof voor wegvoertuigen.* PGS.

Pictogrammen motor draaien verbod. (sd). Opgehaald van https://www.veiligwinkel.nl/pictogrammen/verbodstekens/motor-draaien-verbod

Rashid, M., Naseem, H., Khaloofah Al Mesfer, M., & Danish, M. (2015). Hydrogen Production by Water Electrolysis: A Review of Alkaline Water Electrolysis, PEM Water Electrolysis and High Temperature Water Electrolysis. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), 4*(3).

RayTec. (2018). *Identifying zone 0, zone 1, and zone 2 hazardous areas*. Opgehaald van https://www.raytecled.com/blog/identifying-zone-0-zone-1-and-zone-2-hazardous-areas/

Rigas, F., & Sklavounos, S. (2009). Hydrogen Safety. In R. B. Gupta, *Hydrogen Fuel - Production, Transport, and Storage* (pp. 535-566). CRC Press.

San Marchi, S. (2012). *Technical Reference for Hydrogen Compatibility of Materials.* Sandia National Laboratories. Opgehaald van https://h2tools.org/sites/default/files/SAND2012_7321.pdf

Schmidt, O., Gambhir, A., Staffell, I., Hawkes, A., Nelson, J., & Few, S. (2017). Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study. *International Journal of Hydrogen Energy, 42*, 30470-30492.

Singh, V. (2015). Fundamentals and use of Hydrogen as a Fuel. *Journal of Mechanical Engineering, 6*(1), 63-68.

Spobeck, H., & Spoelstra, M. (2019). *Bestuurlijke handreiking vergunningverlening waterstoftankstations.* Instituut Fysieke Veiligheid.

Symes, D., Al-Duri, B., Dhir, A., Bujalski, W., Green, B., Shields, A., & Lees, M. (2012). Design for on-site Hydrogen Production for Hydrogen Fuel Cell Vehicle Refueling Station at University of Birmingham, U.K. *World Hydrogen Energy Conference*.

Tchouvelev & Associates. (sd). *Center for Hydrogen Safety and Codes & Standards*. Opgehaald van http://www.tchouvelev.org/

Technigroup. (2020). *Co2 koeling en propaan koeling*. Opgehaald van https://www.technigroup.be/co2-propaan-koeling.html

Tools, H. (2020). *International Hydrogen Fueling Stations*. Opgeroepen op September 2020, van H2Tools: https://h2tools.org/hyarc/hydrogen-delivery

Tretsiakova-McNally. (sd). *Lecture - Safety of hydrogen storage.* HyResponse. Opgehaald van http://www.hyresponse.eu/files/Lectures/Safety_of_hydrogen_storage_notes.pdf

Tretsiakova-McNally, S. (sd). *Lecture - Safety of hydrogen storage.* Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU). Opgehaald van http://www.hyresponse.eu/files/Lectures/Safety_of_hydrogen_storage_notes.pdf

Vinçotte Environment. (2007). *Studie betreffende de technische en reglementaire analyse van de markt van waterstof als energievector voor automobiel- en stationtoepassingen.* BIM. Opgehaald van http://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/Studie%20waterstof%20energievector%202007

Vlaamse Overheid. (2019). *Clean Power for Transport (CPT) projectsubsidie*. Opgehaald van https://www.vlaio.be/nl/subsidies-financiering/subsidiedatabank/clean-power-transport-cpt-projectsubsidie

Vlaamse Overheid. (Unknown). *Actieplan 'Clean power for transport'.*

Waterstofnet. (2015). *National Implementation Plan Hydrogen Refuelling Infrastructure Belgium.*

Waterstofnet. (2020). *80 auto's op waterstof in de Benelux*. Opgehaald van https://www.waterstofnet.eu/nl/toepassingen/auto/8o-auto-s-op-waterstof-in-de-benelux-h2benelux

Waterstofnet Vzw. (2013). *Omgevingsvergunning waterstoftankstation Helmond.* Helmond: Gemeente Helmond.

BIJLAGE 1: MEDEWERKERS VAN BBT-STUDIE

Kenniscentrum voor Beste Beschikbare Technieken

- Kristof Custers
- Philip Marynissen
- Diane Huybrechts

BBT-kenniscentrum
p/a VITO
Boeretang 200
2400 MOL
Tel. (014)33 58 68
Fax. (014)32 11 85
E-mail: bbt@vito.be

Contactpersonen administraties/overheidsinstellingen

- Mevr. Karen Goris, departement omgeving / Afdeling Gebiedsontwikkeling, omgevingsplanning en -projecten
- Mevr. Eveline Diopère, departement omgeving / Afdeling Gebiedsontwikkeling, omgevingsplanning en -projecten
- Mevr. Karola Imbrechts, departement omgeving / Afdeling Gebiedsontwikkeling, omgevingsplanning en -projecten
- Dhr. Philip Tanghe, departement omgeving / Afdeling Handhaving

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de administraties en andere overheidsinstellingen in het begeleidingscomité voor deze studie.

Vertegenwoordigers uit bedrijfswereld

- Dhr. Stefan Neis, Waterstofnet
- Mevr. Isabel François, Waterstofnet
- Marnix Van Berkum, Pitpoint Clean Fuels
- Angélique Vaneenooghe, Colruyt Group (DATS24)
- Christian Jacobs, Air Liquide
- Peter Vanparys, Air Liquide
- Erik Spitaels, De Lijn

Bovenstaande personen vertegenwoordigden de bedrijven in het begeleidingscomité voor deze studie.

Experts/Lectoren

Het BBT-rapport (of delen ervan) werd aan bovenstaande personen voorgelegd ter kritisch nazicht.

- Dhr. Luc Vandebroek, M-Tech
- Dhr. Ruben Daneels, Hydrogenics
- Dhr. Danny De Baere, FOD WASO
- Dhr. Gert Theys, Supr Solutions
- Dhr. Tom Van Esbroek, Brandweerzone Centrum

Bezochte bedrijven tijdens het uitvoeren van de studie

- Hydrogenics, Oevel (BE) (on-site waterstof productie d.m.v. elektrolyse)

Contactpersoon: Ruben Daneels

- Waterstoftankstation Colruyt Group, Halle (BE) (publieke waterstoftankstation)

Contactpersoon: Angélique Vaneenooghe, Jonas Cautaerts

- Waterstoftankstation Helmond (NL)

Contactpersoon: Stefan Neis (Waterstofnet)

BIJLAGE 2: FINALE OPMERKINGEN

Dit rapport komt overeen met wat het BBT-kenniscentrum op dit moment als de BBT en de daaraan gekoppelde aangewezen aanbevelingen beschouwt. De conclusies van de BBT-studie zijn mede het resultaat van overleg in het begeleidingscomité maar binden de leden van het begeleidingscomité niet.

Deze bijlage geeft de opmerkingen of afwijkende standpunten die leden van het begeleidingscomité en de stuurgroep namens hun organisatie formuleerden op het voorstel van eindrapport. Volgens de procedure die binnen het BBT-kenniscentrum van VITO gevolgd wordt voor het uitvoeren van BBT-studies, worden deze opmerkingen of afwijkende standpunten niet meer verwerkt in de tekst (tenzij het kleine tekstuele correcties betreft), maar opgenomen in deze bijlage. In de betrokken hoofdstukken wordt door middel van voetnoten verwezen naar deze bijlage.

Opmerking van Departement Omgeving – Afdeling Gebiedsontwikkeling, Omgevingsplanning en -Projecten:

Paragraaf 6.1.3 – Brandwerende muren (pagina 193):

Inhoudelijk ga ik hiermee niet akkoord: de afstand wordt met een muur tot 1 m beperkt (dit is overgenomen uit wetgeving voor tanken met aardgas), maar er is nergens in de BBT of in de veiligheidsstudie concreet bepaald wat het effect van een brandmuur met die eigenschappen is op de scheidingsafstanden. Ik zou het aan een erkend VR-deskundige laten om te bepalen welke afstandsvermindering er kan bekomen worden met welke concrete kenmerken van een brandmuur. (geval per geval)

Opmerking van Team Externe Veiligheid:

Paragrafen 4.1.5 en 4.1.6 – Gebruik van LPG-achtige faalfrequenties voor de berekening van de interne scheidingsafstanden en de risicoafstanden:

Het Team Externe Veiligheid merkt op dat voor het bepalen van de risicoafstanden voor de flexibele slangen voor H_2 zowel gerekend wordt met de standaardfaalfrequenties als met de veel lagere faalfrequenties voor LPG-achtigen uit het Handboek Risicoberekeningen. H_2 valt echter niet onder de LPG-achtigen, waardoor hiervoor de standaardfaalfrequenties dienen gebruikt te worden volgens het Handboek Risicoberekeningen.

In deze BBT-studie werd uiteindelijk gekozen om gebruik te maken van de faalfrequenties voor LPG-achtigen, in tegenstelling tot wat zou moeten gebruikt worden volgens het Handboek Risicoberekeningen. Volgens het Team Externe Veiligheid is er echter onvoldoende wetenschappelijke onderbouwing om het gebruik van de faalfrequenties voor LPG-achtigen te rechtvaardigen voor H_2-slangen, zoals in feite ook wordt aangegeven door de aanbeveling om verder onderzoek te doen naar faalfrequenties voor H_2-slangen. Volgens het Team Externe Veiligheid is dit onderzoek essentieel om tot een door iedereen gedragen faalfrequentie voor H_2-slangen te komen.

Het Team Externe Veiligheid wenst hier duidelijk mee te geven dat voor het Team Externe Veiligheid het Handboek Risicoberekeningen integraal van toepassing blijft voor alle veiligheidsdocumenten die door het Team Externe Veiligheid moeten beoordeeld worden. Dat betekent dat in dergelijke documenten voor H_2-slangen steeds de standaardfaalfrequentie dient toegepast te worden. Dit geldt bijgevolg o.a. voor alle

veiligheidsrapporten en veiligheidsstudies voor de Seveso-inrichtingen. Maar ook als een veiligheidsstudie van een H_2-tankstation aan het Team Externe Veiligheid voorgelegd wordt voor advies, dan zal het Team Externe Veiligheid nagaan of de standaardfaalfrequenties zijn toegepast.

Reactie BBT-kenniscentrum:

Het gebruik van de faalfrequenties is inderdaad een belangrijk topic en werd uitvoerig besproken met de leden van het begeleidingscomité tijdens het verloop van deze studie.

Doch willen we er op wijzen dat we in samenspraak met het volledige begeleidingscomité tot een akkoord waren gekomen omtrent het mogen gebruiken van de LPG-achtige faalfrequenties voor waterstofslangen, mits voldaan wordt aan specifieke voorwaarden (tevens ook opgenomen in de BBT-studie).
Wij verwijzen hiervoor graag naar het laatste begeleidingscomité (BC n°5 d.d. 18/05/2020) en het bijhorende verslag, waarin staat dat iedereen akkoord is met de voorwaarden gekoppeld aan het gebruik van de LPG-achtige faalfrequentiedata. Wij hebben hier geen reactie of bezwaar van Team Externe Veiligheid op ontvangen, en gingen er dus van uit dat dit punt beslecht was.
Ter volledigheid lichten we de voornaamste argumenten nog eens toe die de doorslag hebben gegeven om in de BBT-studie de LPG-achtige faalfrequenties te hanteren:

- De voorwaarden gekoppeld aan het gebruik van de LPG-faalfrequentiedata zijn duidelijk geformuleerd (paragrafen 4.1.5 en 4.1.6)
- De continuïteit wordt bewaard met reeds uitgevoerde studies en reeds vergunde waterstoftankstations (paragrafen 4.1.5 en 4.1.6)
- Er is een akkoord met de waterstof sector om mee te werken aan dataverzameling en onderzoek om correcte faalfrequenties af te leiden voor waterstofslangen (opgenomen in paragraaf 7.2.1)