



Adviesgroep AVIV BV
Piet Heinstraat 12
7511 JE Enschede

Risicoanalyse (QRA) / Groene waterstoffabriek voltH2 Terneuzen

Project	214537
Datum	29 juli 2021

Risicoanalyse (QRA) / Groene waterstoffabriek voltH2 Terneuzen

Project 214537

Datum 29 juli 2021

Auteur(s)

2E

2E

Versie nr.

1.3

Opdrachtgever

Sweco Nederland B.V.

t.a.v. 2E

K.P. van der Mandelelaan 41-43

3062 MB Rotterdam

Inhoudsopgave

1 Inleiding	4
2 Gegevens risicoberekening	5
2.1 Beschrijving inrichting	5
2.2 Selectie van bedrijfsonderdelen	6
2.3 Initiële faalfrequentie	7
2.4 Ongevalsscenario's	7
2.5 Parameters	10
2.6 Aanwezigheid rond de inrichting	11
3 Resultaat risicoberekening	12
3.1 Plaatsgebonden risico	12
3.2 Groepsrisico	13
3.3 Effectafstand	13
4 Conclusie	14
Referenties	15
Bijlage 1 Vergelijking maximale inhoud	16

1 Inleiding

VoltH2 is voornemens om een groene waterstoffabriek, met een vermogen van circa 25 MW, te realiseren op de Axelse vlakte bij Sluiskil tussen de Finlandweg en Autrischehavenweg. De geproduceerde waterstof wordt met tubetrailers en flessentrailers afgevoerd. De inrichting valt niet onder het Bevi of de BRZO, maar gezien de maximale hoeveelheid waterstof die aanwezig mag zijn vraagt het bevoegd gezag een risicoanalyse te maken conform het Bevi. In dit rapport wordt inzicht geboden in het hiermee gepaard gaande extern veiligheidsrisico van de H₂-electrolyser.

De gegevens voor de risicoberekening worden samengevat in hoofdstuk 2. Hoofdstuk 3 bevat het resultaat van de risicoberekening. Hoofdstuk 4 bevat de conclusie.

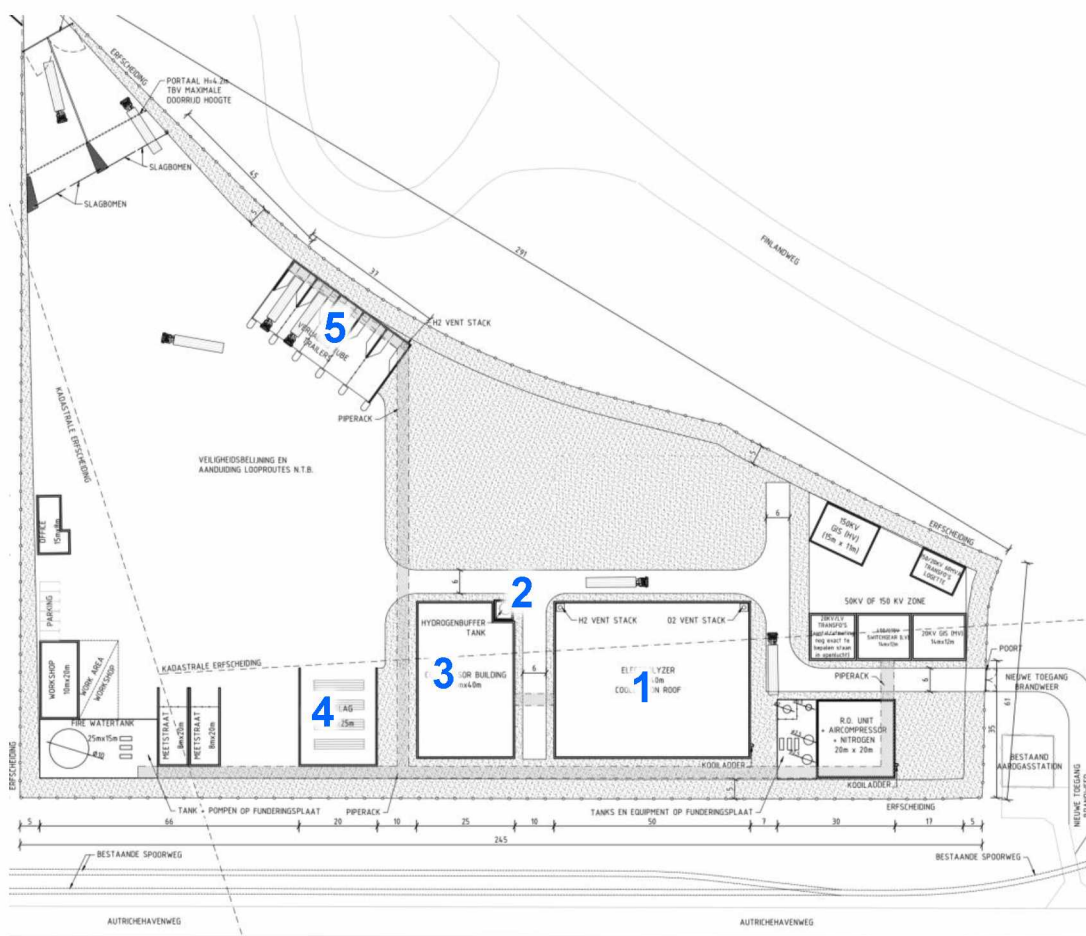
2 Gegevens risicoberekening

2.1 Beschrijving inrichting

Het waterstof wordt geproduceerd door electrolyzers. Hierin wordt demi-water gesplitst in zuurstof en waterstof met behulp van elektriciteit. De aangevraagde doorzet is 5000 Nm³/uur. Dit komt overeen met circa 435 kg/uur waterstofgas. De installatie bestaat uit een aantal componenten (tussen haakjes de positie zoals getoond in figuur 1):

- Electrolyser(s) (1);
- Bufferopslag 30 bar (2);
- Waterstofcompressors (3);
- Bufferopslag 500 bar (4);
- Afvoer trailerswap 500 bar (5);

Figuur 1 toont de situatietekening van de inrichting. Voor gedetailleerdere gegevens wordt verwezen naar de aanvraag.



Figuur 1. Situatietekening groene waterstoffabriek VoltH2 Terneuzen

2.2 Selectie van bedrijfsonderdelen

De risicoanalyse is uitgevoerd voor de volgende insluitsystemen:

- De separator bij de electrolyzers.
- De leidingen tussen de electrolyzers en de lage druk buffer.
- De lage druk buffer (30 bar).
- Het hoge druk compressorsysteem.
- De druk buffer (500 bar)
- De verlading naar de flessen/tubetrailers.

Het falen van de electrolyzers wordt niet gemodelleerd, bij falen komt immers alleen demi-water vrij. Wel wordt de separator bij de electrolyzers en het leidingwerk na de electrolyzers gemodelleerd. Er wordt conservatief aangenomen dat de electrolyzers waterstof blijven produceren bij het falen van de leidingen.

Het leidingwerk bij de verladingsposities is niet gemodelleerd. De frequentie op breuk van een bovengrondse leiding is verwaarloosbaar vergeleken met het scenario breuk van de slangverbinding voor de afvoer van waterstof via de flessentrailers (voor een leidingsectie van 10 m is de faalfrequentie $1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr en voor de slang $3.7 \cdot 10^{-3}$ /jr). De gevolgen van beide scenario's zijn (nagenoeg) hetzelfde, namelijk een fakkelbrand, zodat breuk van de leiding niet wordt gemodelleerd.

De gemodelleerde doorzet van de waterstofinstallatie is 10.4 ton/dag, dit komt overeen met 5000 Nm³/uur, welke wordt afgevoerd met flessentrailers. Het ESD-systeem (Emergency Shut Down systeem) treedt in werking nadat een lekkage van waterstof wordt gedetecteerd door het dicht sturen van afsluiters en het uitschakelen van de electrolyse-installatie. Dit systeem is echter niet gemodelleerd. De juiste werking van het ESD-systeem leidt tot een beperking van de uitstroomduur.

Naast waterstof wordt ook zuurstof geproduceerd. Deze wordt niet opgeslagen, maar apart geventileerd. Uit de handleiding blijkt dat alleen grootschalige opslag van zuurstof externe veiligheidseffecten kan hebben. Om deze reden wordt deze productie niet meegenomen in deze QRA.

De installatie wordt zodanig gerealiseerd dat de inrichting niet onder het BRZO valt. Dit betekent dat op enig moment binnen de inrichting minder dan 5 ton waterstof aanwezig is. In deze QRA is de verhouding tussen de verschillende installatieonderdelen zodanig gemodelleerd dat het maximale risico wordt berekend. In bijlage 1 wordt een vergelijking getoond van de berekende PR 10^{-6} contour en een gemaximaliseerde PR 10^{-6} contour. In deze laatste berekening wordt er van uit gegaan dat er in totaal 72 hoge druk cilinders aanwezig zijn in plaats van 48.

2.3 Initiële faalfrequentie

Tabel 1 toont de initiële faalfrequentie voor onderdelen van de waterinstallatie zoals voorgeschreven in de Handleiding risicoberekeningen Bevi [1], een specifiek rekenvoorschrift voor gascilinders [2] en een memo van het RIVM voor waterstof tankstations [3].

Component	Faalwijze	Frequentie
Flessentrailer	Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Continu grootste aansluiting	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Vuurbal brand tijdens verlading	$5.8 \cdot 10^{-10}$ /uur
	Vuurbal brand in omgeving	$4.0 \cdot 10^{-9}$ /uur
	Vuurbal externe impact ¹	$5.0 \cdot 10^{-11}$ /uur
	Losslang breuk	$4.0 \cdot 10^{-6}$ /uur
	Losslang lekkage	$4.0 \cdot 10^{-5}$ /uur
Bovengrondse leidingen < 75 mm	Breuk	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
	Lekkage	$5.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
Drukvat	Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Continu 10 min	$5.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
	Continu 10 mm gat	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
Compressor	Breuk	$1.0 \cdot 10^{-4}$ /jr
	Lekkage	$4.4 \cdot 10^{-3}$ /jr

Tabel 1. Initiële faalfrequentie onderdelen van de waterstoinstallatie

2.4 Ongevalsscenario's

2.4.1 Seperator bij electrolyzers

Achter de electrolyzers zit een seperator. Deze seperator bestaat uit één tank van 54 m³. Deze tank wordt voor de helft met waterstof gemodelleerd. De druk van deze buffer is 30 bar. Tabel 2 toont de frequentie en bronsterkte voor de ongevalsscenario's.

Scenario	Frequentie [jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$	70.1 kg	Maximale inhoud
Continu 10 min	$5.0 \cdot 10^{-7}$	0.12 kg/s	Uitstroom gehele bufferopslag in 10 minuten
Continu 10 mm gat	$1.0 \cdot 10^{-5}$	0.13 kg/s	Uitstroom gehele bufferopslag uit 10 mm gat, duur 527 s

Tabel 2. Ongevalsscenario's seperator

2.4.2 Ongevalsscenario's leidingen na electrolyzers

Het leidingwerk tussen de electrolyser en de lage druk buffer heeft een inwendige diameter van 50 mm. Voor de uitstroming wordt uitgegaan van het volledige debiet van de electrolyzers

¹ Voor de kans op een externe impact is uitgegaan van een geïsoleerde opstelplaats.

bij 30 bar druk. Dit is een conservatieve aanname aangezien de electrolyzers worden stilgezet bij het falen van de leidingen. De leidingen zijn in totaal circa 80 meter lang.

Tabel 3 toont de ongevalsscenario's.

Scenario	Toelichting frequentie
Breuk	$1.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per meter jaar) x 80 (meter)
Lekkage	$5.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per meter jaar) x 80 (meter)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte [kg/s]	Toelichting
Breuk	$8.0 \cdot 10^{-5}$	2.69	Zie tekst, uitstroomduur 81 s
Lekkage	$4.0 \cdot 10^{-4}$	0.03	Diameter 5 mm, uitstroomduur 1800 s.

Tabel 3. Ongevalsscenario's leiding

2.4.3 Lage druk Buffer

De lage druk bufferopslag bestaat uit één tank van 84 m³. Deze staat buiten opgesteld en de druk van deze buffer is 30 bar. Tabel 4 toont de frequentie en bronsterkte voor de ongevalsscenario's.

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-7}$	218 kg	Maximale inhoud
Continu 10 min	$5.0 \cdot 10^{-7}$	0.36 kg/s	Uitstroom gehele bufferopslag in 10 minuten
Continu 10 mm gat	$1.0 \cdot 10^{-5}$	0.13 kg/s	Uitstroom gehele bufferopslag uit 10 mm gat, duur 1640 s

Tabel 4. Ongevalsscenario's lage druk bufferopslag

2.4.4 Compressorsysteem

Aangenomen is dat de compressoren 100% van de tijd in gebruik zullen zijn. Er wordt conservatief uitgegaan van 7 compressors, één met een uitlaatdruk van 100 barg, één met een uitlaatdruk van 380 barg en vijf met een uitlaatdruk van 500 barg. Deze laatste vijf staan parallel, de rest staat in serie. Bij het falen van de compressoren is de inlaatdruk bepalend voor het scenario. Bij het falen van de eerste compressor komt daarom 30 barg vrij, bij de tweede 100 barg en bij de laatste vijf 380 barg. De uitstroom uit de laatste 6 compressors is afhankelijk van de eerste compressor. De doorzet van de eerste compressor is maximaal 0.12 kg/s. Het falen van een van de daaropvolgende compressors kan niet leiden tot een significant grotere uitstroming. Tabel 4 toont de ongevalsscenario's. Voor de berekening van de bronsterkte is uitgegaan van de kenmerken van het leidingwerk voor de compressor en de genoemde drukken.

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte [kg/s]	Toelichting
Compressor 1 Breuk	1.0 10 ⁻⁴	1.6 kg/s	Diameter 50 mm, lengte 25 m, uitstroomduur 139 s.
Compressor 1 Leakage	4.4 10 ⁻³	0.03 kg/s	Diameter 5 mm, uitstroomduur 1800 s.
Compressor 2 Breuk	1.0 10 ⁻⁴	0.12 kg/s	Diameter 50 mm, lengte 25 m, uitstroomduur 1800 s.
Compressor 2 Leakage	4.4 10 ⁻³	0.1 kg/s	Diameter 5 mm, uitstroomduur 1800 s.
Compressor 3 t/m 7 Breuk	5.0 10 ⁻⁴	0.12 kg/s	Diameter 50 mm, lengte 25 m, uitstroomduur 1800 s.
Compressor 3 t/m 7 Leakage	2.2 10 ⁻²	0.38 kg/s ²	Diameter 5 mm, uitstroomduur 1800 s.

Tabel 5. Ongevalsscenario's compressor

2.4.5 Hoge druk Buffer

De hoge druk bufferopslag bestaat uit twaalf delen met in totaal 48 cilinders van elk 2009 l. Buffer opslag totaal is 96.4 m³. De druk van deze buffer is 500 barg. Tabel 5 toont de frequentie en bronsterkte voor de ongevalsscenario's. Er is aangenomen dat de bufferopslag kan worden beschouwd als twaalf verschillende flessenpakketten. De kans op instantaan falen van een cilinder is $48 \times 5.0 \cdot 10^{-7} = 2.4 \cdot 10^{-5}$ /jr. Voor de continu uitstroming wordt verondersteld dat 4 cilinders uitstromen.

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	2.4 10 ⁻⁵	62.5 kg	Maximale inhoud van één buffer
Continu 10 min	2.4 10 ⁻⁵	0.42 kg/s	Uitstroom 4 cilinders in 10 minuten
Continu 10 mm gat	4.8 10 ⁻⁴	1.97 kg/s	Uitstroom 4 cilinders uit 10 mm gat, duur 126 s

Tabel 6. Ongevalsscenario's hoge druk bufferopslag

2.4.6 Afvoer Swaptrailer

De afvoer van waterstof vindt onder andere plaats met een flessentrailer. Er zijn 5 opstelplaatsen waar een trailer kan worden neergezet voor het vullen. Voor het modeleren van de trailers wordt uitgegaan van twee flessentrailer met 67 flessen van elk 360 l. De druk is 500 bar(g). Per flessentrailer wordt circa 750 kg waterstof afgevoerd. De doorzet van de swaptrailerplaats is 3800 ton/jaar. De doorzet per trailer is 668 kg/uur. Per opstelplaats is er dan 1138 uur per jaar een trailer aan het verladen. De trailer wordt met een slang gekoppeld aan de installatie. De inwendige diameter van de slang is 20 mm. Aangenomen wordt dat het aan- en afkoppelen per trailer circa 10 minuten kost. Per opstelplaats is er dan 1307 uur per jaar een trailer aanwezig. Voor de kans op een vuurbal door brand in de omgeving is

² Bij lekscenario's is het niet mogelijk een "Flow control" op te geven. Het debiet van dit scenario is daarmee hoger dan voor breuk.

afhankelijk van de omgeving. In de memo [3] is hiervoor een toetsingsafstandentabel opgenomen. Er wordt aangenomen dat het vulpunt buiten de toetsingsafstanden ligt. Er is geen rekening gehouden met het ingrijpen van de operator aangezien dit niet leidt tot een andere ligging van de plaatsgebonden risicocontour 10^{-6} . Hiervoor zijn de faalkansen te hoog. Tabel 7 tonen de ongevalsscenario's. Voor de uitstroomduur van de continu scenario's wordt conservatief het totale volume van één trailer en vier hoge druk buffer cilinders gebruikt.

Scenario	Toelichting frequentie
Instantaan	$(1307/8766)$ (uur per jaar aanwezig / uur per jaar) x 67 (aantal flessen) x $5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Continu grootste aansluiting	$(1307/8766)$ (uur per jaar aanwezig / uur per jaar) x 67 (aantal flessen) x $5.0 \cdot 10^{-7}$ (frequentie per jaar)
Vuurbal brand tijdens verlading	1138 (uur per jaar aanwezig) x $5.8 \cdot 10^{-10}$ (frequentie vuurbal per uur)
Vuurbal brand in omgeving	1307 (uur per jaar aanwezig) x $4.0 \cdot 10^{-9}$ (frequentie vuurbal per uur)
Vuurbal externe impact	1307 (uur per jaar aanwezig) x $5.0 \cdot 10^{-11}$ (frequentie vuurbal per uur)
Breuk slang	1138 (uur per jaar aanwezig) x $4.0 \cdot 10^{-6}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)
Lekkage slang	1138 (uur per jaar aanwezig) x $4.0 \cdot 10^{-5}$ (frequentie breuk per uur in bedrijf)

Scenario	Frequentie [1/jr]	Bronsterkte	Toelichting
Instantaan	$5.0 \cdot 10^{-6}$	11.2 kg	Maximale inhoud van één fles
Continu grootste aansluiting	$5.0 \cdot 10^{-6}$	7.9 kg/s	Gatgrootte 20 mm, uitstroomduur 127 s.
Vuurbal brand tijdens verlading	$6.6 \cdot 10^{-7}$	11.2 kg	Maximale inhoud van één fles
Vuurbal brand in omgeving	$5.2 \cdot 10^{-6}$	11.2 kg	Maximale inhoud van één fles
Vuurbal externe impact	$6.5 \cdot 10^{-8}$	11.2 kg	Maximale inhoud van één fles
Breuk slang	$4.6 \cdot 10^{-3}$	7.9 kg/s	Gatgrootte 20 mm, uitstroomduur 127 s.
Lekkage slang	$4.6 \cdot 10^{-2}$	0.08 kg/s	Gatgrootte 2 mm, uitstroomduur 1800 s.

Tabel 7. Ongevalsscenario's per trailerplaats

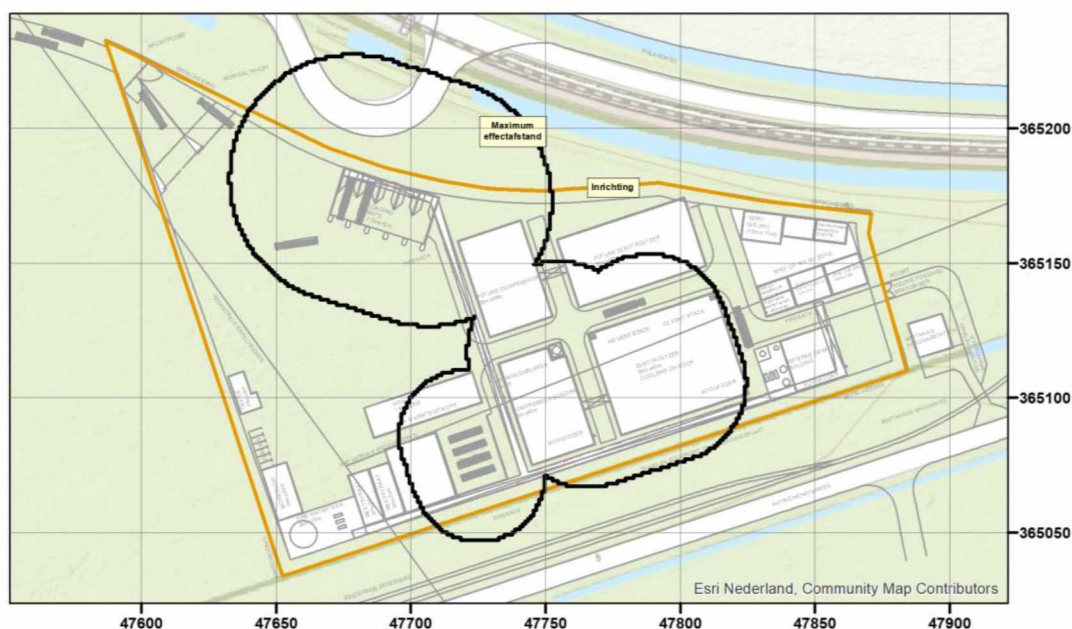
2.5 Parameters

De standaard parameters van Safeti-NL versie 8.3 zijn gebruikt voor de berekening. De gegevens voor het weerstation Vlissingen worden gebruikt voor de kans op het voorkomen van een bepaalde weersklasse. Voor de ruwheidslengte is de standaard waarde van 0.3 m gehanteerd.

Voor waterstof is de kans op directe ontsteking gelijk aan 1.0 [3]. Vertraagde ontsteking wordt niet gemodelleerd, zodat er geen externe ontstekingsbronnen hoeven te worden opgenomen in het model.

2.6 Aanwezigen rond de inrichting

Figuur 2 toont het invloedsgebied rond de inrichting begrensd door de maximale effectafstand van de voorgenoemde waterstof-installatie. Het invloedsgebied valt geheel binnen het beheersverordening Axelse Vlakte. Het gebied buiten de inrichtingsgrens worden gebruikt als groen en wegen. Er zijn geen personen van derden aanwezig binnen het invloedsgebied. Conform de definitie van het groepsrisico, de kans op 10 of meer slachtoffers, is er daarmee geen groepsrisico.



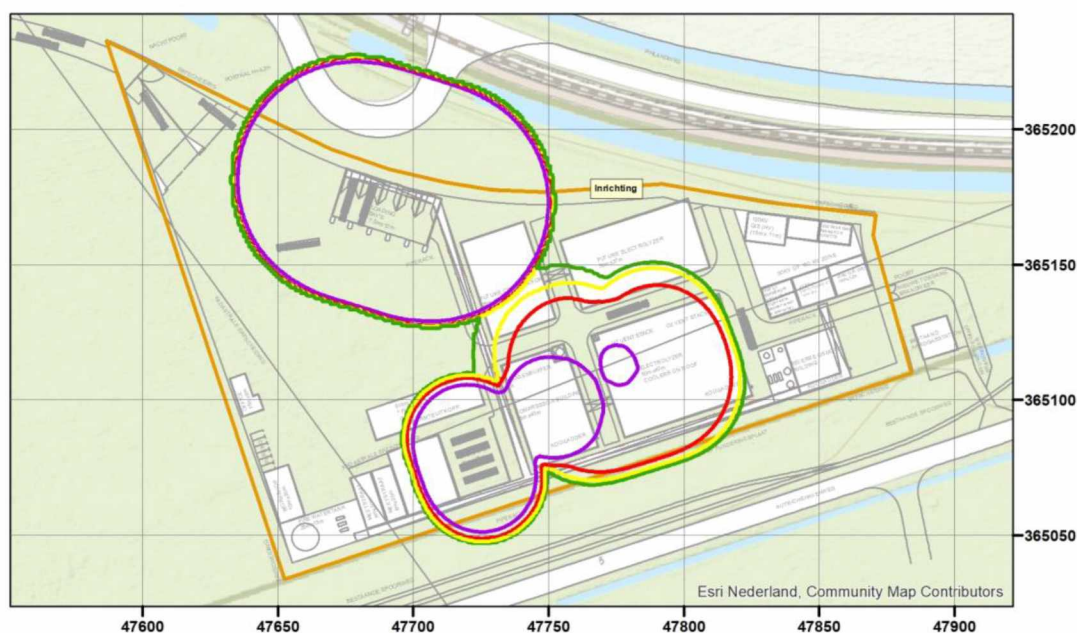
Figuur 2. Ligging van de inrichting en het invloedsgebied

3 Resultaat risicoberekening

3.1 Plaatsgebonden risico

Het plaatsgebonden risico is de kans per jaar dat een persoon, die zich continu en onbeschermd op een bepaalde plaats in de omgeving van een inrichting bevindt, overlijdt door een ongeval met gevaarlijke stoffen. Plaatsen met een gelijk risico worden door risicocontouren op een kaart weergegeven. Het plaatsgebonden risico van $1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr dient volgens het Bevi (Besluit externe veiligheid inrichtingen) gehanteerd te worden als grenswaarde voor kwetsbare objecten en als richtwaarde voor beperkt kwetsbare objecten.

Figuur 3 toont de plaatsgebonden risicocontouren van de waterstof-installatie. De contour voor de grenswaarde van het plaatsgebonden risico van $1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr ligt aan de noord- en zuidzijde gedeeltelijk buiten de inrichting. Er liggen geen (beperkt) kwetsbare objecten binnen deze risicocontour. Hiermee wordt voldaan aan de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico.



Figuur 3. Plaatsgebonden risicocontouren

—	$1.0 \cdot 10^{-5}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-7}$ /jr
—	$1.0 \cdot 10^{-8}$ /jr

3.2 Groepsrisico

Het groepsrisico geeft aan wat de kans is op een ongeval met tien of meer dodelijke slachtoffers in de omgeving van de inrichting. Het aantal personen dat in de omgeving van de inrichting verblijft, bepaalt daardoor mede de hoogte van het groepsrisico. Het groepsrisico wordt weergegeven in een zogenaamde fN-curve: op de verticale as staat de cumulatieve kans per jaar f op een ongeval met N of meer slachtoffers en op de horizontale as het aantal slachtoffers N. De oriëntatiewaarde voor het groepsrisico is gelijk aan $10^{-3} / N^2$, dat wil zeggen een frequentie van 10^{-5} /jr voor 10 slachtoffers, 10^{-7} /jr voor 100 slachtoffers en geldt vanaf het punt met 10 slachtoffers.

Binnen het invloedsgebied zijn minder dan 10 personen aanwezig. Conform de definitie van het groepsrisico, de kans op 10 of meer slachtoffers, is er daarmee geen groepsrisico.

3.3 Effectafstand

Effectafstanden zijn berekend voor alle scenario's. Tabel 9 toont de afstand tot 1% kans op overlijden (bij onbeschermd blootstelling) voor weersklasse D-5.0 overdag (neutraal weer met een windsnelheid van 5 m/s) en weersklasse F-1.5 's nachts (zeer stabiel weer met een windsnelheid van 1.5 m/s). De aanduiding in de kolommen onderdeel en scenario zijn een referentie naar de tekst in hoofdstuk 2.

Onderdeel	Scenario	D-5.0 [m]	F-1.5 [m]
Seperator	Instantaan	33	33
	Continu 10 min	10	10
	Continu 10 mm gat	6	6
Leiding electrolysers - lage druk buffer	Breuk	28	28
	Lek	3	3
Lage druk buffer	Instantaan	33	33
	Continu 10 min	10	10
	Continu 10 mm gat	6	6
Compressor	Breuk	22	22
	Lekkage	10	10
Hoge druk buffer	Instantaan	19	19
	Continu 10 min	11	11
	Continu 10 mm gat	23	24
Flessentrailer	Instantaan	9	9
	Continu	45	45
	BreukSlang	45	45
	LekkageSlang	5	5
	Vuurbal door brand tijdens verlading	9	9
	Vuurbal door brand in de omgeving	9	9
	Vuurbal door externe impact	9	9

Tabel 8. Effectafstand tot 1% kans op overlijden

4 Conclusie

VoltH2 is voornemens om een H₂-electrolyzer te realiseren op de Axelse Vlake nabij Terneuzen. In dit rapport wordt inzicht geboden in het hiermee gepaard gaande extern veiligheidsrisico.

De contour voor de grenswaarde van het plaatsgebonden risico van $1.0 \cdot 10^{-6}$ /jr ligt aan de noord- en zuidzijde gedeeltelijk buiten de inrichting. Er liggen geen (beperkt) kwetsbare objecten binnen deze risicocontour. Hiermee wordt voldaan aan de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico.

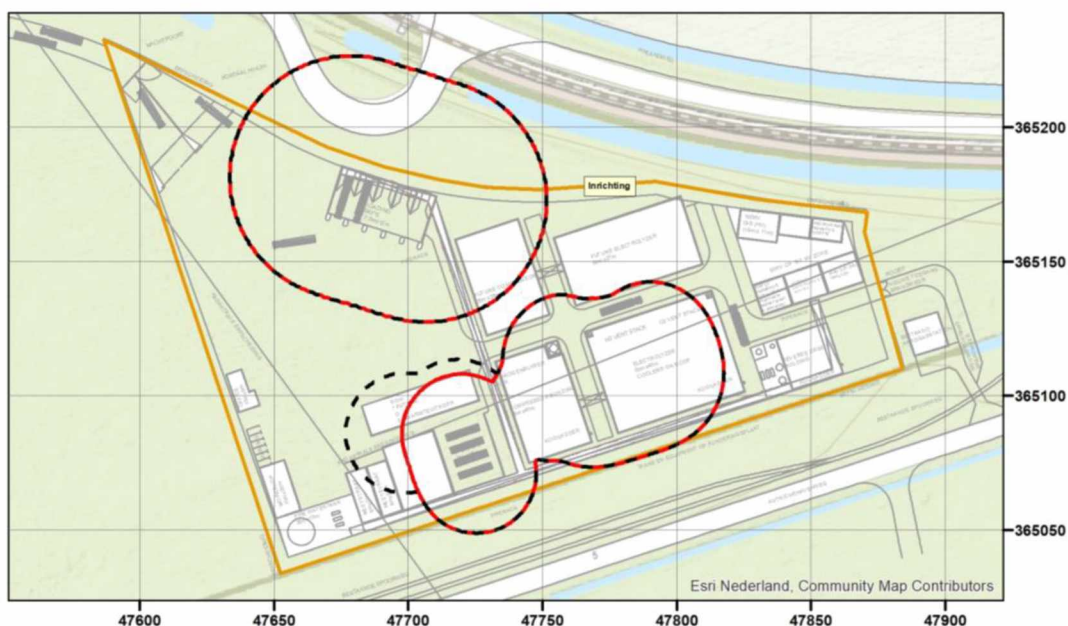
De inrichting veroorzaakt geen groepsrisico.

Referenties

- | | | | |
|----|------|------|---|
| 1. | RIVM | 2021 | Handleiding risicoberekeningen BEVI
Versie 4.3 gedateerd 1 januari 2021 |
| 2. | RIVM | 2008 | Modellering gascilinders uit Handleiding
risicoberekeningen BEVI concept versie 1.4 |
| 3. | RIVM | 2016 | Risico- en effectafstanden waterstoftankstations
Memo kenmerk 20160149 VLH HAS/Sta/sij
gedateerd 3 oktober 2016 |

Bijlage 1 Vergelijking maximale inhoud

De installatie wordt zodanig gerealiseerd dat de inrichting niet onder het BRZO valt. Dit betekent dat op enig moment binnen de inrichting minder dan 5 ton waterstof aanwezig is. In deze QRA is de verhouding tussen de verschillende installatieonderdelen zodanig gemodelleerd dat het maximale risico wordt berekend. In deze bijlage wordt een vergelijking getoond van de berekende PR 10^{-6} contour en een gemaximaliseerde PR 10^{-6} contour. In deze laatste berekening wordt uitgegaan van 4500 kg in de hoge druk buffers. Figuur 4 toont de vergelijking van de PR 10^{-6} contouren. Hieruit blijkt dat er geen verschillen zijn in de ligging van de contour buiten de inrichting en dat de berekening in het hoofdrapport voldoende robuust is.



Figuur 4. Plaatsgebonden risicocontouren

- | | |
|--|-----------------------------------|
| — | 1.0 10^{-6} /jr hoofdrapport |
| --- | 1.0 10^{-6} /jr maximale inhoud |