

## RAPPORT

# Kwantitatieve Risico Analyse CO2 compressorstations

Porthos CCS project  
Voor MER

Klant: Porthos Development C.V.

Referentie: BF8260IBRP002F02

Status: Definitief/02

Datum: 19-6-2020

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35  
3818 EX AMERSFOORT  
Industry & Buildings  
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**  
+31 33 463 36 52 **F**  
info@rhdhv.com **E**  
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Kwantitatieve Risico Analyse CO2 compressorstations

Ondertitel: QRA  
Referentie: BF8260IBRP002F02  
Status: 02/Definitief  
Datum: 19-6-2020  
Projectnaam: CCS Porthos  
Projectnummer: BF8260

---

---

---

---

---

Classificatie

Projectgerelateerd



*Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.*

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Inleiding tot het project</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Wettelijk kader</b>	<b>3</b>
3.1	Landelijk toetsingskader	3
3.1.1	Plaatsgebonden risico	3
3.1.2	Groepsrisico	4
<b>4</b>	<b>Uitgangspunten</b>	<b>6</b>
4.1	Varianten	6
4.2	Probitrelatie	6
4.3	Rekenmethodiek	6
4.4	Windstilte	7
4.4.1	Lage druk scenario	8
4.4.2	Secundaire lage snelheid scenario	8
4.5	Modellering van het vrijkomen van dense phase CO <sub>2</sub>	8
4.5.1	Fysische eigenschappen CO <sub>2</sub>	8
4.5.2	Rekenmethodiek	9
<b>5</b>	<b>Methode</b>	<b>11</b>
5.1	Het beschouwde insluitsysteem	11
5.2	Parameters	16
5.3	Faalscenario's	17
5.4	Faalfrequentie verhogende scenario's	18
5.5	Modelparameters	18
5.5.1	Weerstation	18
5.5.2	Ruwheidslengte	18
5.5.3	Ontstekingsbronnen	18
5.5.4	Populatiegegevens	18
<b>6</b>	<b>Resultaten</b>	<b>20</b>
6.1	Plaatsgebonden risico	20
6.1.1	PR Compressorstation Aziëweg, voorgenomen activiteit	20
6.1.2	PR Compressorstation Edisonbaai, alternatief 1	21
6.1.3	PR Compressorstation Europaweg, alternatief 2	22
6.2	Groepsrisico	23
6.2.1	Groepsrisico Aziëweg, voorgenomen activiteit	24
6.2.2	Groepsrisico Edisonbaai, alternatief 1	24
6.2.3	Groepsrisico Europaweg, alternatief 2	25

<b>7</b>	<b>Conclusie</b>	<b>26</b>
7.1	Conclusie Plaatsgebonden Risico	26
7.2	Conclusie Groepsrisico	26
<b>8</b>	<b>Referenties</b>	<b>27</b>

## 1 Samenvatting

Er is een risicoanalyse uitgevoerd voor het PORTHOS project. Dit project behelst het transporteren van CO<sub>2</sub> naar een offshore platform, waar het ondergronds zal worden opgeslagen. Dit rapport gaat in op de risicoanalyse rondom het CO<sub>2</sub> compressorstation. Voor de transportleiding is een separate risico analyse opgesteld.

De Nederlandse wetgeving stelt eisen aan de externe veiligheid van een CO<sub>2</sub>-compressorstation. Deze zijn vastgelegd in het Besluit externe veiligheid buisleidingen (Bevi) en de bijbehorende Regeling externe veiligheid inrichtingen (Revi). Het risico van het compressorstation is berekend conform de eisen in de Revi. De resultaten van de berekening zijn getoetst aan de eisen zoals beschreven in het Bevi. Daar waar onzekerheid bestaat met betrekking tot de rekenmethodiek voor kwantitatieve risicoanalyses is uitgegaan van conservatieve uitgangspunten en aannames om deze onzekerheden te mitigeren.

Uit de berekeningen en analyses wordt het volgende geconcludeerd:

### **Conclusie Plaatsgebonden Risico**

Bij alle drie de compressorstations liggen de 10<sup>-6</sup> per jaar PR-contouren binnen de veiligheidscontour.

### **Conclusie Groepsrisico**

Voor alle drie de compressorstations geldt dat het groepsrisico nihil is omdat het maximaal aantal slachtoffers dat wordt berekend kleiner is dan 10. Dit is de berekening ten opzichte van de referentiesituatie.

Bij invoer van een zeer conservatieve bevolking wordt een groepsrisico berekend dat een factor 30 onder de oriëntatiewaarde ligt (bij 10 slachtoffers) en met een maximaal aantal slachtoffers van 10 of 11.

## 2 Inleiding tot het project

Dit rapport is geschreven in het kader van het MER en de vergunningaanvragen voor het PORTHOS-project. Dit project behelst het transporteren van CO<sub>2</sub>. Dit rapport gaat in op de risicoanalyse rondom de CO<sub>2</sub>-compressie. In een separaat rapport is de risicoanalyse voor de transportleiding beschreven.

Het compressorstation is getoetst aan de huidige regelgeving. Daar waar onzekerheid bestaat met betrekking tot de rekenmethodiek voor kwantitatieve risicoanalyses is uitgegaan van conservatieve uitgangspunten en aannames om deze onzekerheden te mitigeren.

De risicoanalyse is uitgevoerd met Safeti-NL 8.21 conform de richtlijnen voor risicoanalyses. De bedrijfscondities van de buisleiding zijn gebaseerd op de ontwerp informatie zoals ontvangen vanuit het PORTHOS project (peildatum maart 2020).

### 3 Wettelijk kader

De veiligheid van mensen in de omgeving van (gevaarlijke) inrichtingen wordt in Nederland gegarandeerd door de Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen (Revi) [1] en het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (Bevi) [2]. In artikel 2 van het Bevi worden de categorieën inrichtingen beschreven waarvoor het plaatsgebonden risico getoetst moet worden aan de eisen uit paragraaf 4 van het Bevi voordat een omgevingsvergunning verleend kan worden. In artikel 2 wordt eveneens beschreven dat de Minister van Infrastructuur en Milieu categorieën van bedrijven aan kan wijzen waarvoor de afstand tot kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten bepaald is of berekend moet worden. De afstanden tot kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten zoals vastgesteld door de Minister worden beschreven in de Revi.

De CO<sub>2</sub> installatie is aangewezen in Artikel 2, 1<sup>e</sup> lid onderdeel d van het Bevi. Deze aanwijzing is uitgewerkt in Artikel 1b onderdeel i van de Revi. Het uitvoeren van een QRA is daarom een verplichting. Onderhavige QRA is opgesteld om vast te stellen wat het risico van het CO<sub>2</sub> compressorstation is op de omgeving. De resultaten worden getoetst aan de eisen zoals beschreven in het Bevi.

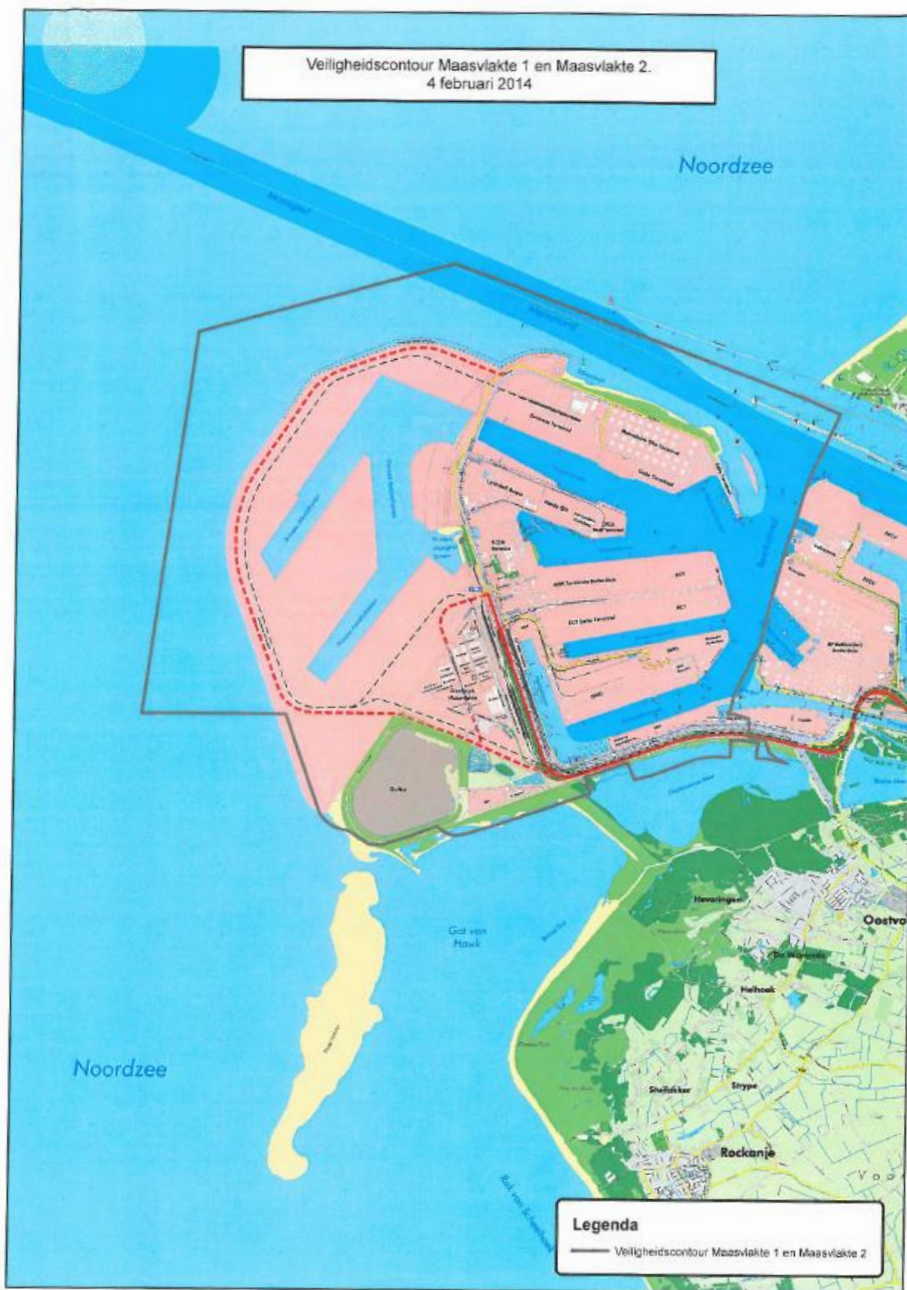
Het risico van de leiding waardoor de CO<sub>2</sub> wordt getransporteerd wordt berekend in een separaat rapport. In het onderhavige rapport wordt het risico van het compressorstation berekend.

#### 3.1 Landelijk toetsingskader

##### 3.1.1 Plaatsgebonden risico

De risico's van het compressorstation zijn berekend in overeenstemming met de rekenmethodiek, bestaande uit de Handleiding Risicoberekeningen Bevi, versie nr. 4.2, uitgave 2020 [6].

In de Revi is vastgelegd dat een veiligheidscontour kan worden vastgelegd rondom een industrieterrein. Binnen die veiligheidscontour gelden vervolgens geen regels voor het plaatsgebonden risico. De locatie van de compressorstations is gelegen binnen de veiligheidscontour van de Maasvlakte 1 en 2, zie Figuur 1.



Figuur 1. Veiligheidscontour Maasvlakte 1 en 2

### 3.1.2 Groepsrisico

Voor het groepsrisico is een zogenaamde oriëntatiewaarde gedefinieerd. Dit houdt in dat hier gemotiveerd van kan worden afgeweken. De oriëntatiewaarde heeft de functie van een 'thermometer' waarmee gevoel wordt verkregen over de relatieve omvang van het groepsrisico. Het is geen 'harde' norm. Aan het groepsrisico is daarnaast een verantwoordingsplicht verbonden. Dit is gebonden aan een verantwoordingsplicht. De verantwoordingsplicht is een verplichting voor het bevoegd gezag. In haar verantwoording weegt het bevoegd gezag een aantal zaken af waaronder de mate van bestrijdbaarheid van en de mate van zelfredzaamheid bij een incident. Het groepsrisico is onder andere afhankelijk van de personendichtheid in de omgeving. De dichtheid in het zogenaamde invloedsgebied is bepalend.



Personen buiten het invloedsgebied tellen niet mee in het groepsrisico. Als zich geen personen (in objecten) in het invloedsgebied bevinden of als het maximaal aantal (gelijktijdige) slachtoffers kleiner is dan 10, is het groepsrisico nihil.

De oriëntatiewaarde voor het groepsrisico voor inrichtingen is:

- De kans op een ongeval met 10 dodelijke slachtoffers is ten hoogste  $10^{-5}$  per jaar;
- De kans op een ongeval met 100 dodelijke slachtoffers is ten hoogste  $10^{-7}$  per jaar;
- De kans op een ongeval met 1.000 dodelijke slachtoffers is ten hoogste  $10^{-9}$  per jaar.

## 4 Uitgangspunten

### 4.1 Varianten

Het plaatsgebonden risico wordt berekend het compressorstation, waar het CO<sub>2</sub> wordt gecomprimeerd voor het naar de injectielocatie wordt getransporteerd. Er zijn drie mogelijke tracés vastgesteld voor de transportleiding. De drie tracés hebben een verschillende locatie voor het compressorstation. Het Noordelijke tracé met de compressorlocatie bij GATE (Aziëweg) is de voorgenomen activiteit. De andere locaties voor het compressorstation zijn de varianten, te weten het compressorstation aan de Edisonbaai (Noordelijke tracé en eventueel zuidelijk tracé) en het compressorstation aan de Europaweg (Zuidelijke tracé).

De ingangsdruk van het CO<sub>2</sub> is maximaal ca. 34 bar. De uitgangsdruk bedraagt de druk maximaal 140 bar.

### 4.2 Probitrelatie

Om de gevolgen van blootstelling aan gevaarlijke stoffen te berekenen wordt er gebruik gemaakt van een probitrelatie. De probitrelatie maakt het mogelijk om de letale effecten van een stof te berekenen door gebruik te maken van een drietal stofs specifieke constanten, de blootstellingsduur en concentratie waaraan iemand is blootgesteld. De generieke probitrelatie wordt weergegeven in onderstaande formule.

$$Pr = a + b \times \ln(C^n \times t)$$

Waarin:

- Pr=Probitgetal
- a, b en n = stofs specifieke constanten
- C = concentratie [ppm]
- t = [min]

De stofs specifieke constanten worden vastgesteld door de toetsgroep probitrelaties van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieubeheer (RIVM). De probitrelaties die door de toetsingscommissie zijn geaccepteerd krijgen de status voorgesteld, na een consultatieronde wordt de status verhoogd naar interim waarna het ministerie van Infrastructuur en Milieu de probitrelatie uiteindelijk vaststelt op basis van een consequentie analyse. De Toetsingscommissie heeft tot op heden nog geen (interim) probitrelatie voor kooldioxide vastgesteld daar er naar hun inzicht nog essentiële omissies zijn in de daarvoor benodigde kennis en informatie (status juni 2020).

Door de HSE (De Britse Health and Safety Executive; [www.hse.gov.uk](http://www.hse.gov.uk)) is een probitrelatie voorgesteld. Deze probit wordt onderbouwd in: Ridgeway, P., "Carbon dioxide Dangerous Toxic Load (DTL) assessment", Memo MH07-05, 5 June 2007, HSE, Bootle, UK [3].

De gehanteerde probitrelatie gebaseerd op het voorstel van de Britse HSE is:

$$Pr = -90,778 + 1,01 \times \ln(C^8 \times t)$$

### 4.3 Rekenmethodiek

Voor het berekenen van de externe risico's van het compressorstation is, conform het Revi, gebruik gemaakt van Safeti-NL (specifiek versie 8.21).

#### 4.4 Windstilte

CO<sub>2</sub> is als zuiver gas zwaarder dan lucht, daarom wordt in discussies over externe veiligheid veel aandacht besteed aan de mogelijkheid dat bij een lekkage CO<sub>2</sub> zich als een zware wolk kan verspreiden. Hierbij wordt ten onrechte aangenomen dat de verdunning van ontsnapt CO<sub>2</sub> uit de installatie vooral wordt gerealiseerd door wind en dat een dergelijk scenario in het bijzonder optreedt tijdens periodes van windstilte.

In werkelijkheid wordt de verdunning van CO<sub>2</sub> dat ontsnapt uit een onder druk staand systeem gerealiseerd door de optredende gasstroom (jet) zelf. Wind heeft slechts een minimale invloed op de verdunning bij de bron. Door de snel uitstromende gasstroom treedt zoveel turbulentie op dat deze turbulentie direct zorgdraagt voor verdunning van het CO<sub>2</sub> met de omgevingslucht naar veilige concentraties en naar concentraties waarbij het zich niet meer gedraagt als een zwaar gas.

Dispersie berekeningsprogramma's zijn niet in staat berekeningen uit te voeren onder windstille condities. Bij Safeti-NL is dat beperkt tot een windsnelheid van 1,5 m/s. De windcondities zijn bij het weerstation Hoek van Holland 98,5% van de tijd op of boven deze waarde, gebaseerd op de KNMI weersgegevens van dit meetstation over de jaren 1962 tot en met 2006. Periodes van windstilte komen op deze locatie minder dan 0,8% van de tijd voor.

Deze beperking in de berekeningsmethodiek (windsnelheid niet lager dan 1,5 m/s) is echter niet specifiek voor CO<sub>2</sub>. Dit geldt in het algemeen voor dispersieberekeningen welke worden uitgevoerd in risicoanalyses.

In Safeti-NL (versie 8.21 en eerdere versies) is de modellering van CO<sub>2</sub> aangepast aan de laatste inzichten en experimenten. Hierdoor ontstaat een zo juist mogelijke voorspelling van de dispersie van CO<sub>2</sub>, ook bij lage windsnelheden.

CO<sub>2</sub> in zwaar gas condities ondervindt juist bij windstille condities ook dispersie ten gevolge van de zwaartekracht. In het geval dat CO<sub>2</sub> vanuit een bijna drukloos systeem ontsnapt en zich daardoor als een zwaar gas gedraagt, dan blijft deze wolk uitzakken en zich verspreiden als een steeds dunner wordende laag op vlakke ondergrond. CO<sub>2</sub> gedraagt zich daarbij zeer voorspelbaar. Risicovolle concentraties op één meter hoogte zullen dan uiteindelijk alleen te vinden zijn bij horizontale uitstroming uit het gat/lek bij lage druk. Bij een uitstroming onder lage druk en windstil weer kan CO<sub>2</sub> zich ophopen in een laag gelegen gebied. In de omgeving van het compressorstation zijn geen laag gelegen gebieden aanwezig.

Het CO<sub>2</sub> in de installatie staat altijd onder druk waardoor een ongehinderde uitstroming in eerste instantie als jet dispersie plaatsvindt. Gedurende de uitstroming neemt de druk in de leiding af en daarmee ook de drijvende kracht. Hierdoor neemt na verloop van tijd het uitstroomdebiet af en een heeft een lagere uitstroomsnelheid, waardoor de uitstroming minder turbulent is en de verdunning minder. Dit effect wordt in de berekening meegenomen door verschillende uitstromingen over de tijdsduur van de uitstroming te modelleren.

In deze risicoanalyse is daarom specifieke aandacht besteed aan:

- 1 Scenario's waarbij CO<sub>2</sub> bij lage druk vrij kan komen en zich door dan door gebrek aan initiële vermenging zwaar zou kunnen gedragen (lage druk scenario).
- 2 Scenario's waarbij CO<sub>2</sub> onder hoge druk vrijkomt in een ruimte welke ten gevolge van de drukgolf niet bezwijkt. Hierdoor wordt de lucht in deze ruimte snel verdrongen en komt het CO<sub>2</sub> vervolgens vanuit een dergelijke ruimte met lage snelheid in de omgeving terecht (secundair lage snelheid scenario).

#### 4.4.1 Lage druk scenario

Er zijn in het compressorstation geen systemen met een lage druk. De druk die in de QRA is gebruikt bedraagt 34 bar. Aan de ingang van het compressorstation is een lagere druk mogelijk, maar deze druk is nog steeds hoog genoeg zodat een lage druk scenario niet zal optreden.

#### 4.4.2 Secundaire lage snelheid scenario

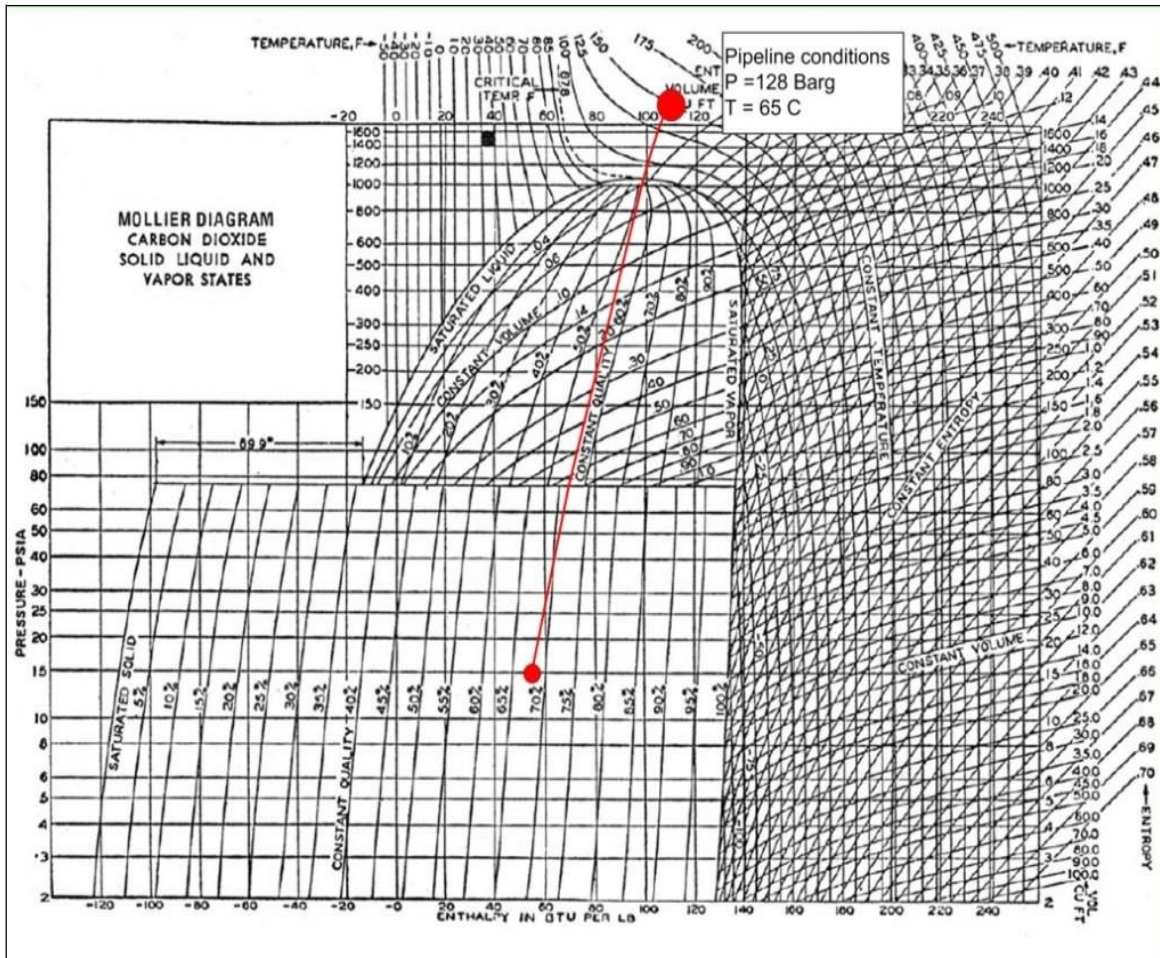
Alleen de compressor bevindt zich in een gebouw. Alle andere CO<sub>2</sub> houdende onderdelen van het compressorstation bevinden zich in de buitenlucht. Het compressorgebouw heeft een zodanige constructie dat de overdruk bij het catastrofaal bezwijken van de compressor resulteert in het bezwijken van wandpanelen en/of dakpanelen. Een secundaire lage snelheid scenario is daarom niet van toepassing.

### 4.5 Modelling van het vrijkomen van dense phase CO<sub>2</sub>

#### 4.5.1 Fysische eigenschappen CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> wordt initieel als gas getransporteerd van de CO<sub>2</sub> aanbieders tot aan het compressorstation. In het compressorstation wordt CO<sub>2</sub> verder gecompriëerd. Bij toenemende injectiedrukken komt het CO<sub>2</sub> uiteindelijk in het dense phase gebied, (bij drukken hoger dan 73,15 Bar(a) en een temperatuur hoger dan 31 °C is het gas dense phase en zijn er geen faseveranderingen van vloeistof naar gas).

Bij het vrijkomen van dense phase CO<sub>2</sub> door lekkage of volledig falen van een leiding na de compressor zal een deel van het CO<sub>2</sub> in vaste vorm (droog ijs) vrijkomen. Droog ijs sublimeert bij atmosferische druk. Wat betekent dat het vanuit de vaste fase direct naar gas overgaat zonder eerst vloeistof te vormen, waarbij warmte vanuit de omgeving moet worden toegevoerd. In Figuur 2 is in het Mollier diagram van CO<sub>2</sub> aangegeven hoe het CO<sub>2</sub> bij isentropische omstandigheden expandeert.



Figuur 2. Isentropische expansie van CO<sub>2</sub>.

#### 4.5.2 Rekenmethodiek

Er is discussie over de nauwkeurigheid van dispersiemodellen bij CO<sub>2</sub> in dense phase condities. Door BP zijn in 2008 in samenwerking met DNV testen [4] uitgevoerd op de testlocatie Spadeadam in het Verenigd Koninkrijk om het gedrag van dense phase CO<sub>2</sub> te onderzoeken en de dispersie modellen te valideren. Uit deze dispersietesten bleek onder andere dat:

- Het uitregenen van droog ijs op de grond niet optrad. Het ijs dat tijdens de uitstroming van CO<sub>2</sub> wordt gevormd sublimeert tot gasvormig CO<sub>2</sub> voordat een horizontale jet de grond raakt. Door de afkoeling welke in de jet optreedt, condenseert wel het water in omgevingslucht welke door de jet is vermengd. Dit zorgt voor de zichtbare karakteristieke witte jet.
- Het modelleren van dense phase CO<sub>2</sub> als een gas zonder rekening te houden met de vorming van droog ijs resulteerde in onderschatting van de concentraties dichtbij de bron en overschatting van de concentraties in het verre veld.

De resultaten van deze testen zijn verwerkt in Safeti-NL 8.21 [5].

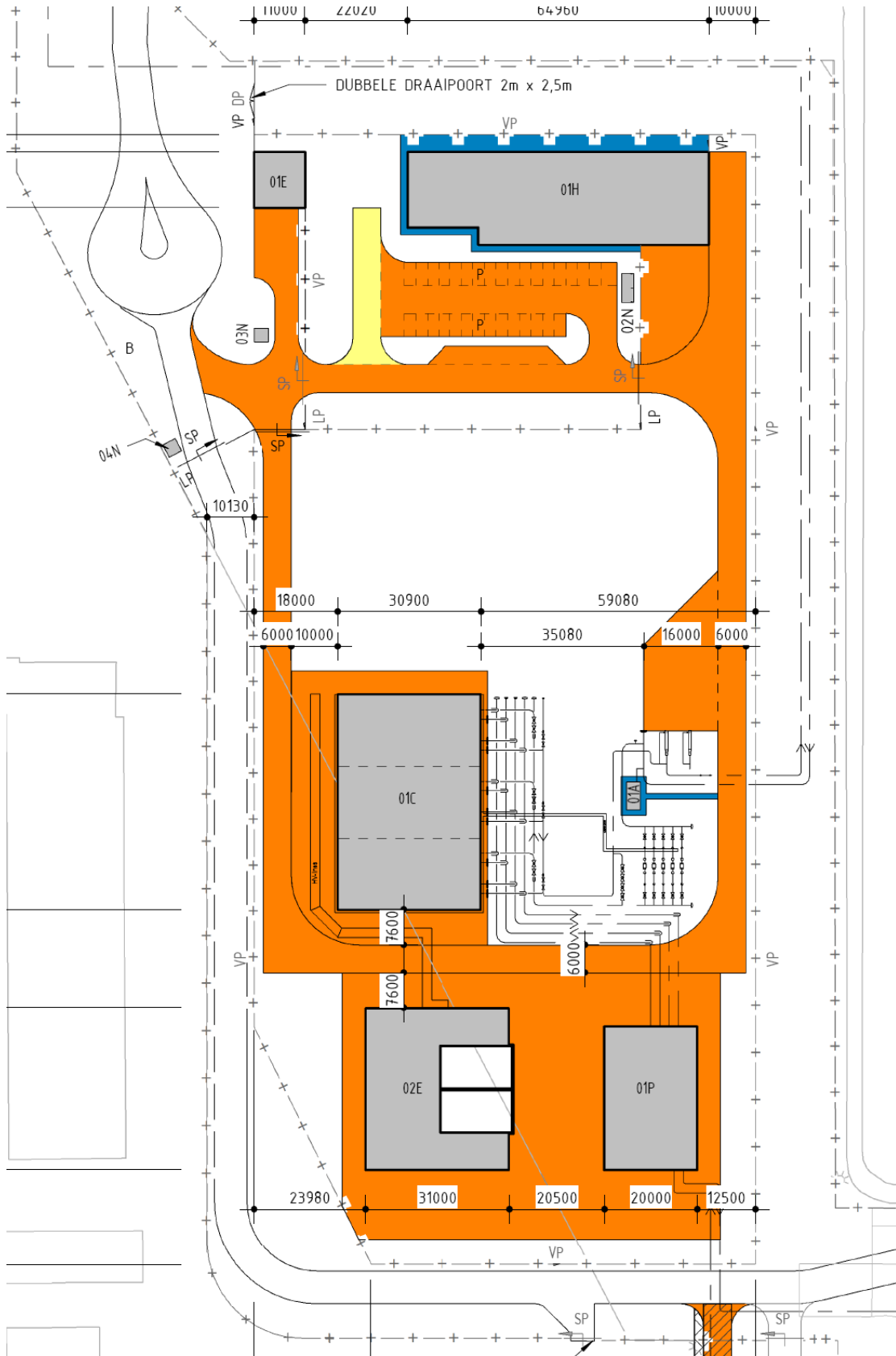
Bij een verticale uitstroming (van de modellering van een ondergrondse leiding) wordt geen uitregenen van vast CO<sub>2</sub> op de grond berekend. De beschreven testresultaten onderschrijven deze berekende resultaten. Hieruit wordt de conclusie getrokken, dat bij een verticale ongehinderde uitstroming van CO<sub>2</sub> vanuit een ondergrondse leiding het risico op de grond beperkt blijft tot een klein gebied rond de bron. Bij een horizontale uitstroming worden de effecten in het verre veld mogelijk overschat. De resultaten van deze testen zijn verwerkt in Safeti-NL 8.21 [5].

## 5 Methode

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke data gebruikt is voor het berekenen van de risico's van de transportleiding.

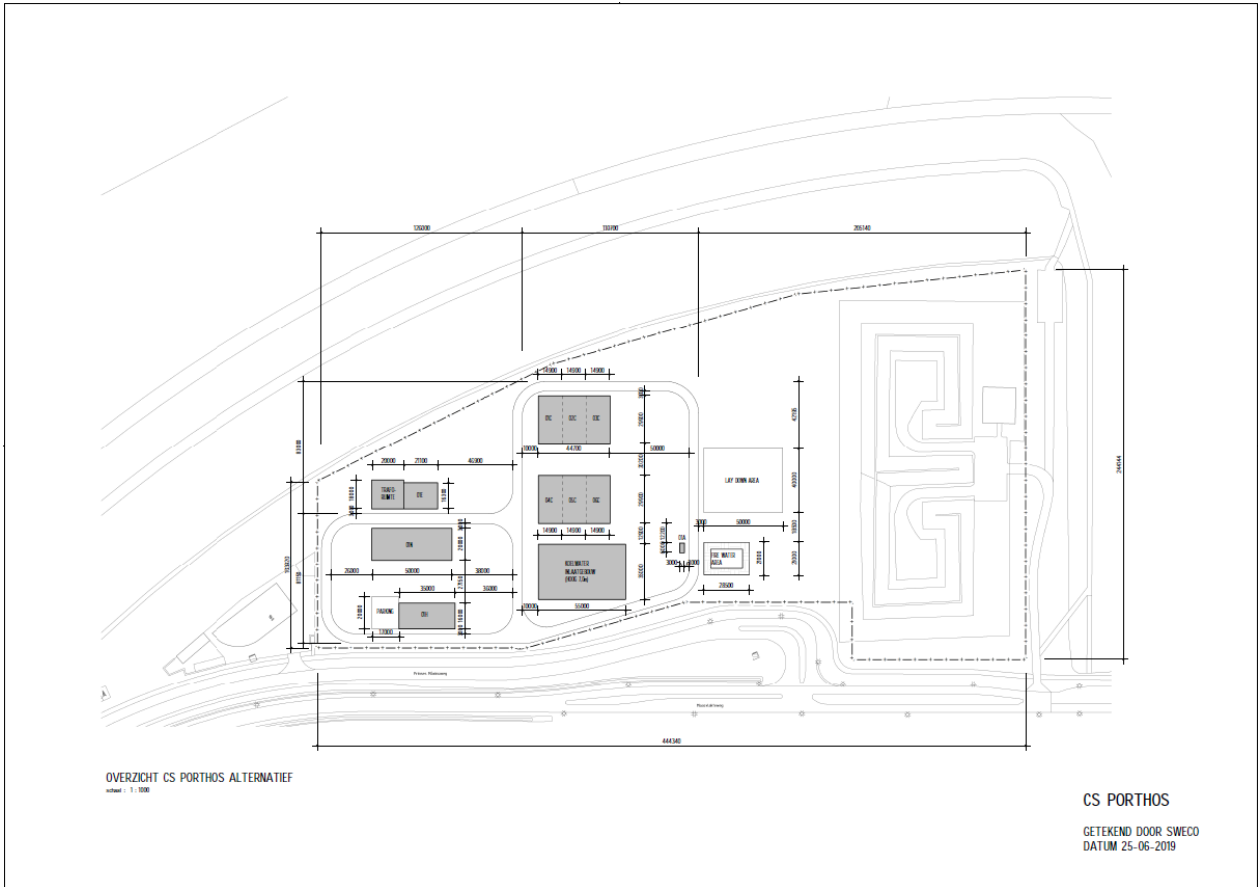
### 5.1 Het beschouwde insluitsysteem

De voorgenoemde activiteit en de twee alternatieven zijn technisch nagenoeg identiek. Voor de QRA modellering wijken ze alleen qua layout enigszins van elkaar af. In de onderstaande figuren zijn de layouts van de verschillende locaties weergegeven:

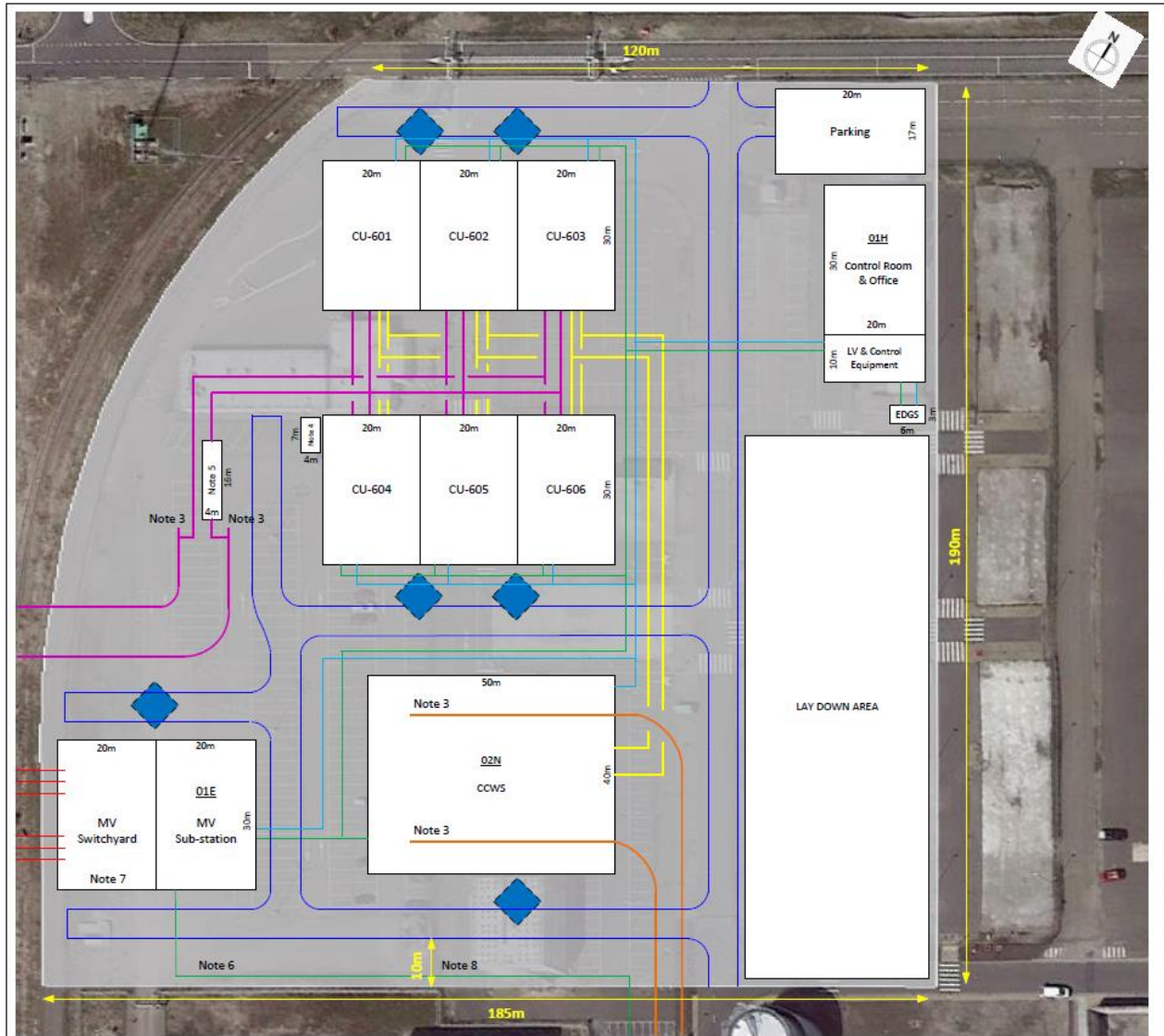


Figuur 3. Lay-out Compressorstation Azieweg (GATE), voorgenoemen activiteit





Figuur 4. Lay-out Compressorstation Edisonbaai, alternatief 1



Figuur 5. Lay-out Compressorstation Europaweg, alternatief 2

Het compressorstation bestaat uit:

- een ingaande leiding van de terreingrens naar gasmetering (ondergronds)
- gasmetering (bovengronds)
- leiding van gasmetering naar compressorgebouw (ondergronds)
- drie compressoren, elk met drie compressietrappen (bovengronds)
- uitgaande leiding van compressiegebouw naar de terreingrens (ondergronds)

In Tabel 1 is de gemodelleerde equipment met bijbehorende procescondities opgenomen.

Tabel 1. Eigenschappen van apparaten

Nummer	Naam	Type apparaat	Druk [Bar] <sup>1</sup>	Temperatuur [°C]
Compressor CU-601				
1	S-601	Filter	34	10
2	C-601 1 <sup>e</sup> trap	Compressor	34	10
3	E-60101	Warmtewisselaar	48,5	86,2
4	C-601 2 <sup>e</sup> trap	Compressor	48	35
5	E-60102	Warmtewisselaar	79,8	84,7
6	C-601 3 <sup>e</sup> trap	Compressor	79,3	35
7	E-60103	Warmtewisselaar	140	73,4
Compressor CU-602				
8	S-602	Filter	34	10
9	C-602 1 <sup>e</sup> trap	Compressor	34	10
10	E-60201	Warmtewisselaar	48,5	85,8
11	C-602 2 <sup>e</sup> trap	Compressor	48	35
12	E-60202	Warmtewisselaar	79,8	84,4
13	C-602 3 <sup>e</sup> trap	Compressor	79,3	35
14	E-60203	Warmtewisselaar	140	73,3
Compressor CU-602				
15	S-603	Filter	34	10
16	C-603 1 <sup>e</sup> trap	Compressor	34	10
17	E-60301	Warmtewisselaar	48,5	85,7
18	C-603 2 <sup>e</sup> trap	Compressor	48	35
19	E-60302	Warmtewisselaar	79,8	84,3
20	C-603 3 <sup>e</sup> trap	Compressor	79,3	35
21	E-60303	Warmtewisselaar	140	73,3

De inhoud van de filters is voor de QRA niet relevant omdat de risico's gemaakt worden door de nalevering van CO<sub>2</sub> uit het upstream systeem, op het moment van falen. In de QRA is een inhoud van de filters van 1 m<sup>3</sup> aangehouden voor de scenario's 10 minuten falen en 10 mm lek. Deze scenario's zijn niet bepalend voor de risico's (ook niet als met een ander volume wordt gerekend).

In de onderstaande tabel zijn de eigenschappen van de leidingen opgenomen.

<sup>1</sup> Druk en temperatuur is opgegeven bij de inlaat van de compressor of warmtewisselaar

Tabel 2. Eigenschappen van de leidingen

No.	Leiding	Diameter [mm]	Druk [Bar]	Temperatuur [°C]
1	Battery Limits → GasMeterig	1035	34	10
2	Gasmetering	600	34	10
3	Gasmetering → Compressor	750	34	10
4	Compressor → Battery Limits	400	131,5	35

In de QRA voor de uitgaande leiding is conservatief een temperatuur van 35 C gehanteerd.

## 5.2 Parameters

De parameters van belang voor de risicoberekening zijn voor de drie varianten gelijk en zijn weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3. Invoerparameters

Parameter	Grootheid	Waarde
Stof	[-]	CO <sub>2</sub>
Debiet compressor 1	[ton/uur]	135
Debiet compressor 2	[ton/uur]	200
Debiet compressor 3	[ton/uur]	305
Debiet totaal	[ton/uur]	360
Ingangsdruk (operational)	[barg]	34
Uitgangsdruk (operational)	[barg]	140
Ingangstemperatuur (operational)	[°C]	10
Uitgangstemperatuur (operational)	[°C]	35

## 5.3 Faalscenario's

### Faalscenario's

In de onderstaande tabel zijn de faalscenario's weergegeven met de bijbehorende faalfrequentie uit de Handleiding Risicoberekeningen Bevi v4.2 (module C, hoofdstuk 3) [6].

Tabel 4. Faalscenario's

Scenario	Omschrijving	Faalfrequentie
<i>Filter (HRB, paragraaf 3.9.3)</i>		
1	Instantaan vrijkomen gehele inhoud	5x10 <sup>-7</sup> per jaar
2	Vrijkomen gehele inhoud in 10 minuten in een constante en continue stroom	5x10 <sup>-7</sup> per jaar
3	Lekkage van 10 mm	1x10 <sup>-5</sup> per jaar
<i>Compressor (HRB, paragraaf 3.11.2)</i>		
1	Catastrofaal falen	1x10 <sup>-4</sup> per jaar
2	Lek (10% diameter)	4,4x10 <sup>-3</sup> per jaar
<i>Warmtewisselaar (HRB, paragraaf 3.12.2, tabel 37)</i>		
1	Breuk van 10 pijpen tegelijk <sup>a)</sup>	1x10 <sup>-6</sup> per meter per jaar
<i>Transportleidingen (HRB, paragraaf 3.8.2 tabel 28) <sup>b, c, d)</sup></i>		
1	Breuk van de leiding	1x10 <sup>-7</sup> per meter per jaar
2	20 mm lek van de leiding	5x10 <sup>-7</sup> per meter per jaar
<i>Procesleidingen (HRB, paragraaf 3.8.2 tabel 27) <sup>b)</sup></i>		
1	Breuk van de leiding	5x10 <sup>-7</sup> per meter per jaar
2	Lek van de leiding 10% van de nominale diameter met een maximum van 50 mm	1,5x10 <sup>-6</sup> per meter per jaar

a) Het scenario voor de warmtewisselaar is gemodelleerd als een lek in de aanvoerende leiding.

b) De ondergrondse ingaande leiding en de ondergrondse uitgaande leiding zijn gemodelleerd als transportleiding en de overige leidingen als procesleidingen.

c) De ingaande leiding heeft een upstream lengte van 29,5 km (locatie Aziëweg).

d) De uitgaande leiding heeft een downstream lengte van 20 km.

### Scenariomodellering

De scenario's voor breuk van een leiding en voor instantaan falen van een vat (direct verbonden met de ingaande of uitgaande leiding) is steeds gemodelleerd als een long pipeline. Hierbij is de long pipeline van de inkomende of uitgaande leiding gemodelleerd. Daarbij is een "gat" in die leiding gemodelleerd ter grootte van de leiding diameter (of diameter van de leiding aangesloten op het vat). Dit gat bevindt zich aan het einde van de binnenkomende leiding of aan het begin van de uitgaande leiding. Er is dus sprake van éézijdige uitstroming. De berekende uitstroming (tijdsafhankelijk met 10 tijdsegmenten) is omgezet in een "user defined source" (UDS). Deze UDS kan vervolgens op de plaats van het vat of op een route van de leiding binnen de inrichting worden gemodelleerd. Deze omweg is noodzakelijk, omdat in Safeti-NL 8.21 een lokale lek of breuk van een long pipeline niet op een route of op één plek kan worden gemodelleerd, zonder de hele transportleiding in het model op te nemen.

De bovengrondse leidingen zijn gemodelleerd met horizontale uitstroming. De ondergrondse leidingen zijn gemodelleerd met verticale uitstroming zonder gebruik van het kratermodel. Voor inrichtingen is het kratermodel nog niet voorgeschreven.

Voor 10 minuten uitstroming uit een vat is het volume van het vat gemodelleerd met de heersende druk en temperatuur op die locatie.

Voor lekkage van een vat, warmtewisselaar of leiding is een lek in een “oneindig” groot vat gemodelleerd. Op enkele plekken is ook gebruik gemaakt van het relief valve model. Hiermee is ook eenvoudig een gatgrootte in een systeem te modelleren.

Voor instantaan falen van de tweede en derde trap van de compressor is steeds het falen van de inlaatleiding van die trap gemodelleerd. Hierbij is in overeenstemming met de rekenmethode 1,5 maal het normale debiet gemodelleerd. Eenvoudigheidshalve is voor alle compressoren hiervoor 150 kg/s gebruikt (onafhankelijk van het gespecificeerde maximale debiet van elk van de compressoren). Dit geeft conservatieve resultaten.

In de discharge van de derde trap van de compressor is doorstroming door de compressor verwaarloosd. De uitstroming uit de uitgaande leiding is vele malen groter.

### **Maatregelen**

In de huidige QRA zijn preventieve en mitigerende maatregelen niet opgenomen. In de transportleidingen zijn afsluiterstations aanwezig. Op de compressorstations is de compressor beveiligd en zijn ook afsluiters aanwezig. Geen van deze beveiligingen is in de QRA opgenomen. Daarmee zijn de resultaten conservatief.

## **5.4 Faalfrequentie verhogende scenario's**

Er zijn geen faalfrequentie verhogende scenario's bekend. De in de omgeving liggende en geplande windturbines liggen op voldoende afstand van alle drie de compressorlocaties.

## **5.5 Modelparameters**

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van Safeti-NL versie 8.21. In deze paragraaf worden de modelparameters, die van belang zijn voor de resultaten beschreven.

### **5.5.1 Weerstation**

Voor de berekeningen is het weerstation Hoek van Holland gebruikt.

### **5.5.2 Ruwheidslengte**

Het is niet goed mogelijk om een representatieve ruwheidslengte te kiezen voor het gebied van de drie compressorstations. In de ruwheidskaart 2018 worden getallen in de orde van millimeters gegeven. Dat is niet meer van toepassing in 2020. Er is daarom gekozen voor een relatief lage ruwheidslengte omdat dat over het algemeen conservatief is voor toxische verspreiding. Voor de berekeningen is een ruwheidslengte van 100 mm gebruikt. Deze ruwheidslengte is representatief voor een terrein met lage gewassen en hier en daar grote obstakels.

### **5.5.3 Ontstekingsbronnen**

Het compressorstation comprimeert onbrandbaar CO<sub>2</sub>. Er zijn daarom geen ontstekingsbronnen gemodelleerd.

### **5.5.4 Populatiegegevens**

**BAG populatiegegevens als referentiesituatie voor bepaling groepsrisico**

Voor de populatie in de omgeving van de compressorstations is de populatiedata uit het BAG populatieservice [7] gebruikt. Binnen het invloedsgebied van de compressorstations is de populatie geïnventariseerd en ingevoerd in het rekenmodel. Het BAG populatiebestand geeft (vrijwel) geen bevolking binnen het invloedsgebied van het compressorstation.

**Conservatieve aanname van hogere bevolkingsdichtheid als worst case benadering**

Omdat mogelijk toch personen aanwezig zijn (b.v. in een toekomstige situatie), is een fictieve bevolking rondom de inrichting ingevoerd. Hierbij is een bevolking gebruikt van 500 personen per hectare overdag (35 personen buiten en 465 binnen) en 100 personen per hectare 's nachts (7 personen buiten en 93 binnen). De letaliteit voor personen binnenshuis is met Safeti-NL berekend en is verwaarloosbaar buiten de inrichting. De ingevoerde bevolking is dus zeer conservatief voor deze omgeving.

## 6 Resultaten

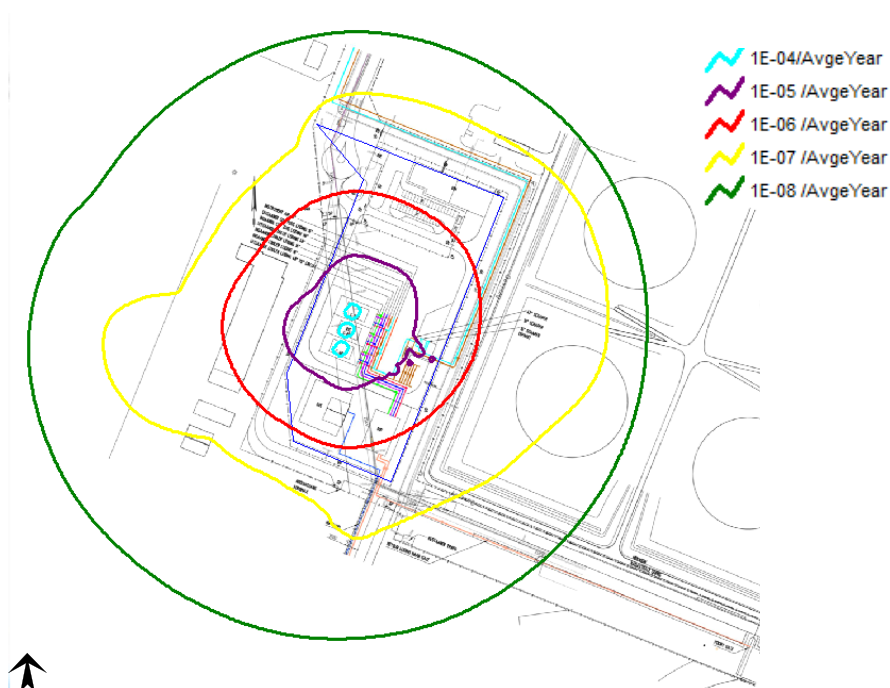
### 6.1 Plaatsgebonden risico

Het plaatsgebonden risico (PR) is de kans per jaar op een dodelijk ongeval ten gevolge van een ongewoon voorval (ongevalsscenario) indien een persoon (onbeschermd in de buitenlucht) zich bevindt op een bepaalde plaats waar hij voortdurend (24 uur per dag en gedurende het gehele jaar) wordt blootgesteld aan de schadelijke gevolgen van een voorval. Het PR wordt weergegeven in de vorm van PR-contouren. Hierbij geven de contouren locaties met gelijke kansen op overlijden weer. Zo toont de PR-contour van  $10^{-6}$  per jaar de locaties waar de kans op het overlijden van een persoon eens in de miljoen jaar bedraagt. Het PR is onafhankelijk van de bevolkingsverdeling in de omgeving van de inrichting.

Het scenario “breuk bovengrondse leiding in dense phase (compressor uitlaat piping)” geeft rekentechnische problemen en is niet in de uitkomsten opgenomen. De berekende contouren zijn waarschijnlijk wel accuraat, omdat de  $10^{-6}$ /jaar contour volledig wordt bepaald door het falen van de compressoren (breuk zuigleiding).

#### 6.1.1 PR Compressorstation Aziëweg, voorgenomen activiteit

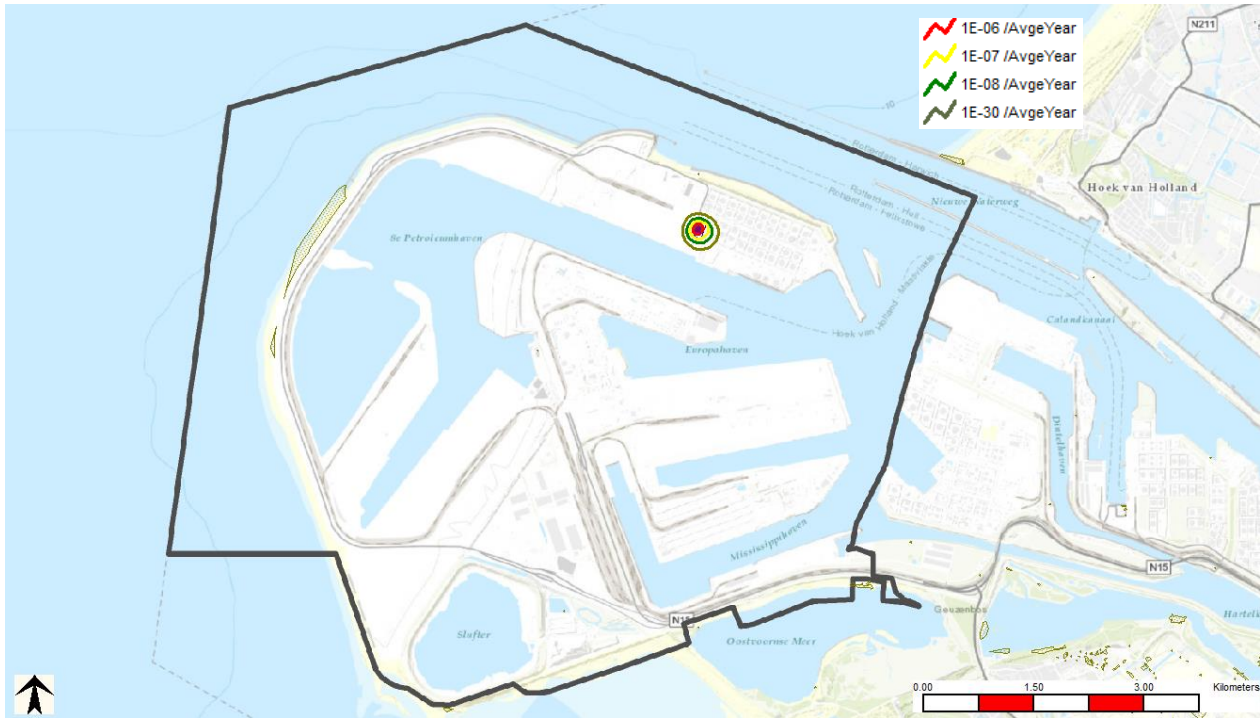
In de onderstaande figuren is het plaatsgebonden risico van de voorgenomen activiteit Compressorstation Aziëweg weergegeven:



Figuur 6. Plaatsgebonden risico Compressorstation Aziëweg, voorgenomen activiteit (Probit HSE)

De  $10^{-6}$  per jaar plaatsgebonden risicocontour ligt aan twee zijden buiten de inrichtingsgrens. Deze PR-contour ligt geheel binnen de veiligheidscontour Maasvlakte 1 en 2.

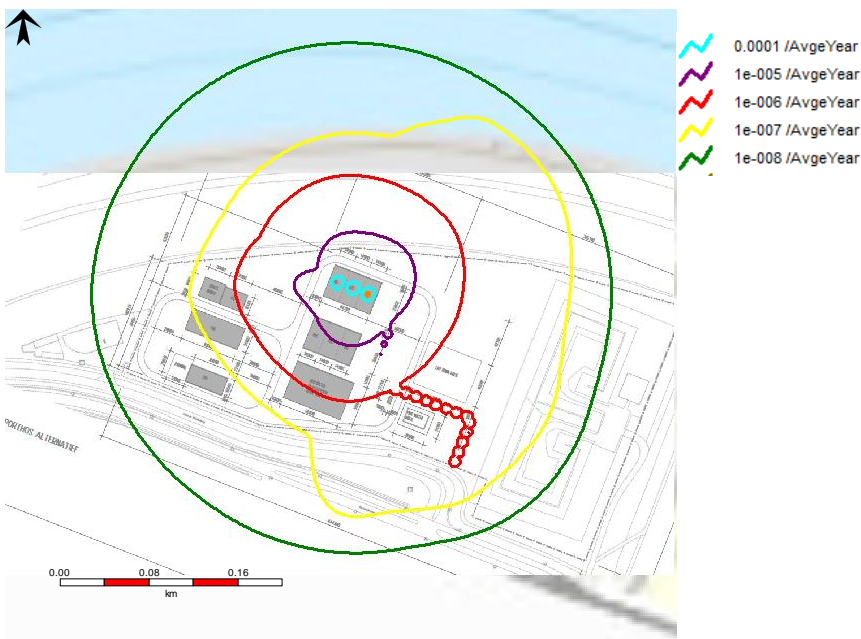




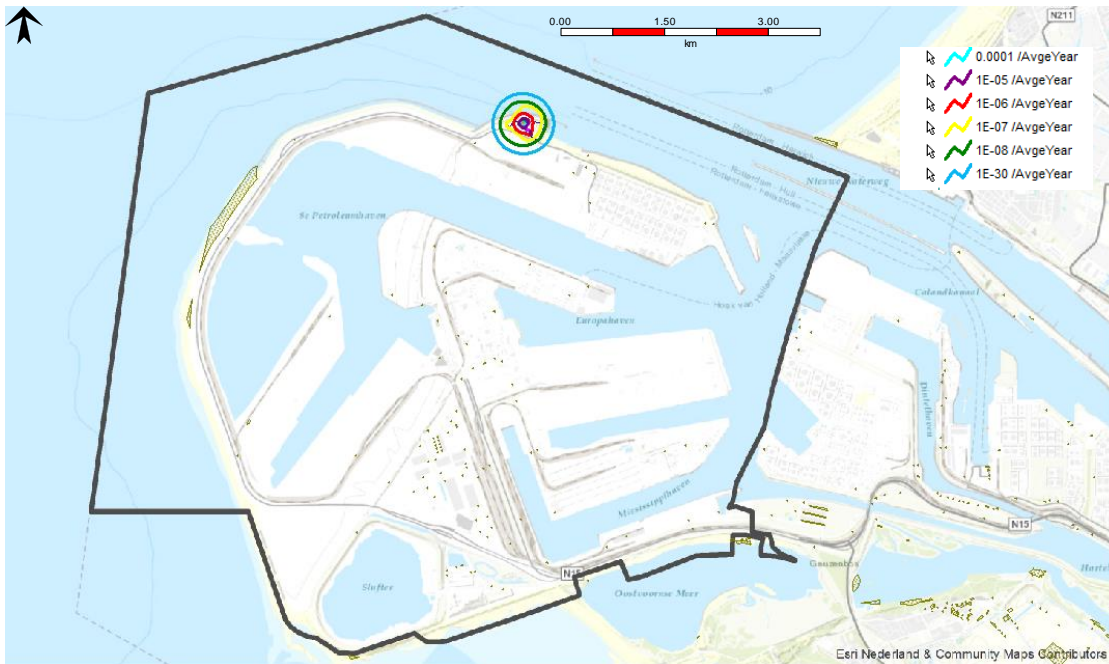
Figuur 7. Plaatsgebonden risico Compressorstation Aziëweg en veiligheidscontour, voorgenomen activiteit

### 6.1.2 PR Compressorstation Edisonbaai, alternatief 1

In de onderstaande figuren is het plaatsgebonden risico van Compressorstation Edisonbaai (alternatief 1) weergegeven.



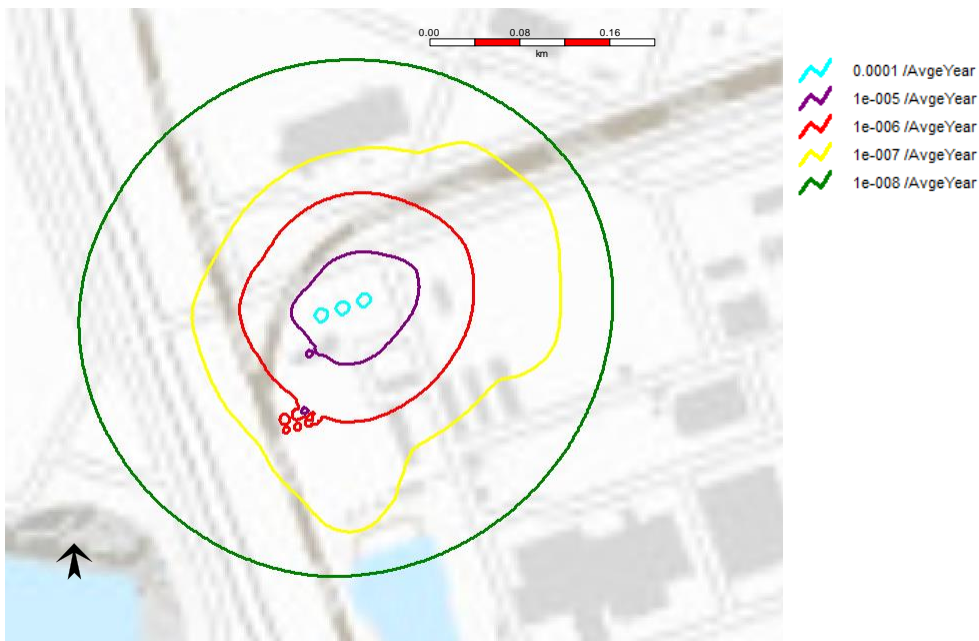
Figuur 8. Plaatsgebonden risico Compressorstation Edisonbaai, alternatief 1 (Probit HSE)



Figuur 9. Plaatsgebonden risico Compressorstation Edisonbaai en veiligheidscontour

### 6.1.3 PR Compressorstation Europaweg, alternatief 2

In de onderstaande figuren is het plaatsgebonden risico van Compressorstation Europaweg (alternatief 2) weergegeven.



Figuur 10. Plaatsgebonden risico Compressorstation Europaweg, alternatief 2 (probit HSE)



Figuur 11. Plaatsgebonden risico Compressorstation Europawegen veiligheidscontour, alternatief 2

## 6.2 Groepsrisico

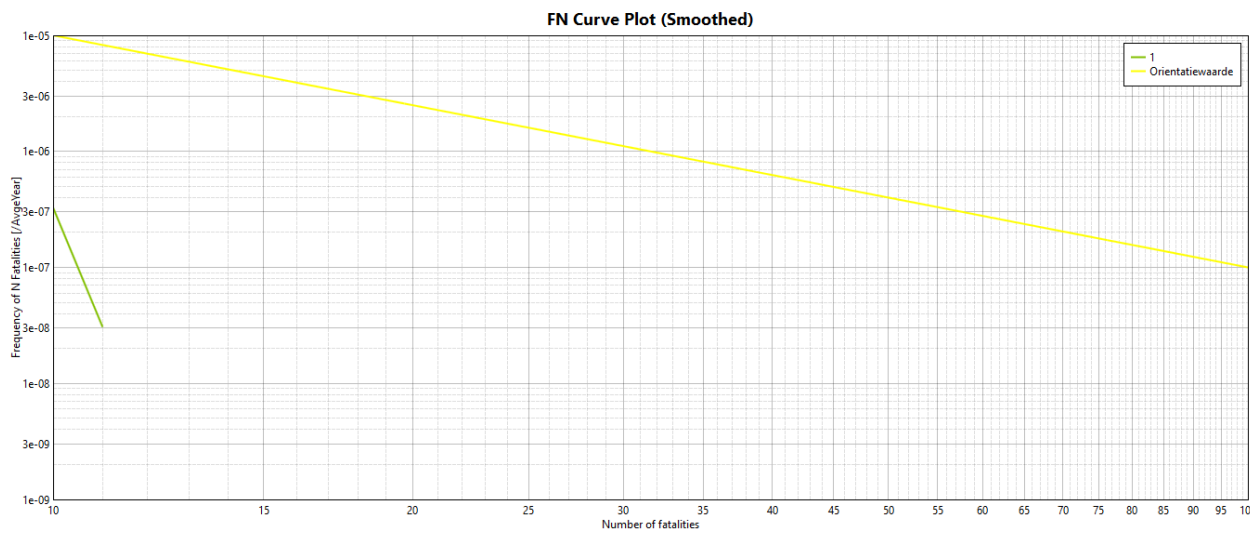
Het groepsrisico (GR) is de kans per jaar dat een groep van een bepaalde omvang tegelijk dodelijk slachtoffer wordt van een ongeval. Het GR wordt vastgelegd in een zogenaamde fN-curve en is in tegenstelling tot het PR afhankelijk van de bevolkingsverdeling in de omgeving van de risicobron. In een fN-curve staat op de verticale as de kans weergegeven dat meer dan N slachtoffers te gevolge van het beschouwde scenario komt te overlijden. Deze kans wordt uitgedrukt in de eenheid "per jaar". Op de horizontale as staat het aantal slachtoffers weergegeven.

Het BAG populatiebestand geeft geen of zeer beperkte bevolking binnen het invloedsgebied van de compressorstations. Het berekende groepsrisico is daarom voor alle varianten nihil. Omdat mogelijk toch personen aanwezig zijn, is een fictieve bevolking rondom de inrichtingen ingevoerd. Hierbij is een bevolking gebruikt van 500 personen per hectare overdag (35 personen buiten en 465 binnen) en 100 personen per hectare 's nachts (7 personen buiten en 93 binnen). De letaliteit voor personen binnenshuis is met Safeti-NL berekend en is verwaarloosbaar buiten de inrichting. De ingevoerde bevolking is dus zeer conservatief voor deze omgeving. Het berekende groepsrisico is weergegeven in Figuur 12 t/m Figuur 14.

### 6.2.1 Groepsrisico Aziëweg, voorgenomen activiteit

Uit de berekeningen volgt dat er geen groepsrisico is vastgesteld voor de referentiesituatie (gebaseerd op de bevolking zoals vastgesteld volgens BAG).

Bij een zeer conservatieve aanname met veel bevolking is er een groepsrisico berekend zoals onderstaand weergegeven. Het maximum aantal berekende slachtoffers is 11.

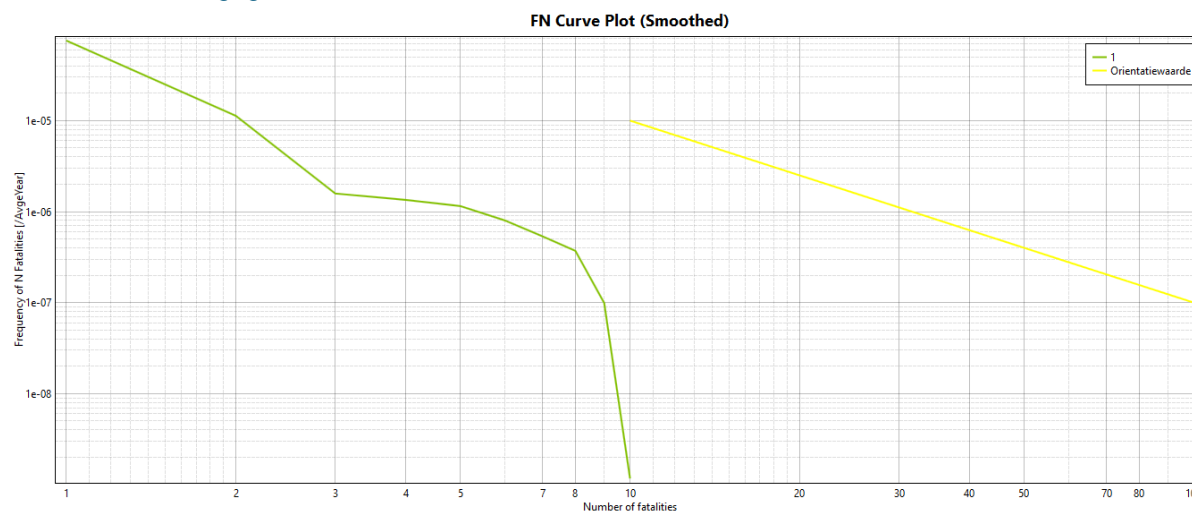


Figuur 12. Groepsrisico Compressorstation Aziëweg (zeer conservatieve bevolking)

### 6.2.2 Groepsrisico Edisonbaai, alternatief 1

Uit de berekeningen volgt dat er geen groepsrisico is vastgesteld voor de referentiesituatie (gebaseerd op de bevolking zoals vastgesteld volgens BAG).

Bij een zeer conservatieve aanname met veel bevolking is er een groepsrisico berekend zoals onderstaand weergegeven. Het maximum aantal berekende slachtoffers is 10.

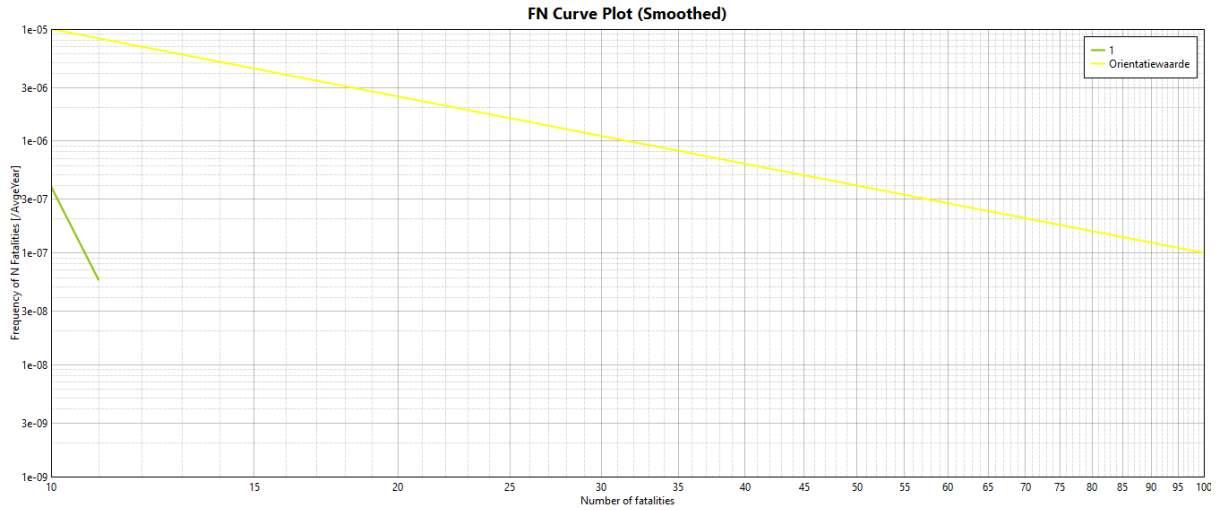


Figuur 13. Groepsrisico Compressorstation Edisonbaai (zeer conservatieve bevolking)

### 6.2.3 Groepsrisico Europaweg, alternatief 2

Uit de berekeningen volgt dat er geen groepsrisico is vastgesteld voor de referentiesituatie (gebaseerd op de bevolking zoals vastgesteld volgens BAG).

Bij een zeer conservatieve aanname met veel bevolking is er een groepsrisico berekend zoals onderstaand weergegeven. Het maximum aantal berekende slachtoffers is 11.



Figuur 14. Groepsrisico Compressorstation Europaweg(zeer conservatieve bevolking)

## 7 Conclusie

### 7.1 Conclusie Plaatsgebonden Risico

De plaatsgebonden risico's voor de drie compressorstation varianten zijn weergegeven in Figuur 6 t/m Figuur 11. Bij alle drie de compressorstations liggen de  $10^{-6}$  per jaar PR-contouren binnen de veiligheidscontour en voldoet hiermee aan de eisen van Bevi.

### 7.2 Conclusie Groepsrisico

Het groepsrisico voor de drie compressorstations is op twee verschillende manieren berekend:

- 1 Met de bevolking zoals opgenomen in de BAG [7].
- 2 Met een zeer conservatieve bevolking van 500 personen per hectare overdag en 100 personen per hectare 's nachts. Deze berekening is gemaakt in verband met mogelijke toekomstige ontwikkelingen.

Bij de berekeningen met de bevolking volgens BAG geldt voor alle drie de compressorstations dat het groepsrisico nihil is omdat het maximaal aantal slachtoffers dat wordt berekend kleiner is dan 10.

Het groepsrisico voor de compressorstations met de zeer conservatieve bevolking ligt een factor 30 onder de oriëntatiewaarde bij 10 slachtoffers. Het maximum aantal berekende slachtoffers is 11. Deze berekeningen zijn weergegeven in figuur 12 t/m figuur 14.

Het GR voldoet in beide gevallen aan de eisen van Bevi.

## 8 Referenties

- [1] Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen (Revi), 8 september 2004, nr. EV2004084072, laatste revisie;
- [2] Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen (Bevi)
- [3] Ridgeway, P., "Carbon dioxide Dangerous Toxic Load (DTL) assessment", Memo MH07-05, 5 June 2007, HSE, Bootle, UK
- [4] Modelling of discharge and atmospheric dispersion for carbon dioxide releases, Henk Witlox, Mike Harper, Adeyemi Oke, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 22 (2009) 795-802
- [5] Safeti-NL 8.21
- [6] handleiding risicoberekeningen Bevi v4.2
- [7] <https://populatieservice.demis.nl/#/> (2019)