



Tebodin B.V.

Laan van Nieuw Oost-Indië 25 • 2593 BJ Den Haag

Postbus 16029 • 2500 BA Den Haag

Telefoon 070 348 09 11 • Fax 070 348 06 45

denhaag@tebodin.nl • www.tebodin.com

Opdrachtgever: **V&SH, Linde Gas, NAM**

Project: **CO₂ risicoanalyse**

Ordernummer: T38898.00

Documentnummer: 3800784

Revisie: 4

Auteur: M.A.M. Heijne, F.J.H. Kaman

Telefoon: 070 348 04 49

Telefax: 070 348 05 91

E-mail: m.heijne@tebodin.nl

f.kaman@tebodin.nl

Datum: 20 oktober 2008

Veiligheidsanalyse

Ondergrondse Opslag van CO₂ in Barendrecht

4	20-10-2008	Final, Commentaar verwerkt	M. Bicknese	F.J.H. Kaman
3	10-10-2008	Final	M. Bicknese	F.J.H. Kaman
2	28-8-2008	Final t.b.v. discussie commissie MER	M. Bicknese	M. Heijne/ F.J.H. Kaman
1	8-8-2008	Concept Final	M. Bicknese	M. Heijne/ F.J.H. Kaman
0I	25-07-2008	Commentaar verwerkt	M. Bicknese/ S. Bischoff	M. Heijne/ F.J.H. Kaman
0H	30-06-2008	Herziene uitgave	M. Bicknese/ S. Bischoff	M. Heijne/ F.J.H. Kaman
0	26-05-2008	Eerste uitgave	M. Bicknese/ S. Bischoff	M. Heijne/ F.J.H. Kaman
Wijz.	Datum	Omschrijving	Opsteller	Gecontroleerd

© Copyright Tebodin

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veeleelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie of op welke andere wijze ook zonder uitdrukkelijke toestemming van de uitgever.

	Inhoudsopgave	Pagina
	Samenvatting	5
1	Inleiding	6
2	Risico's CO₂	7
2.1	Aannames en uitgangspunten	7
2.2	Toxiciteit van CO ₂ : de probitrelatie	7
2.2.1	Gebruikte probitrelatie	9
2.2.2	Domino-effecten in de Buisleidingenstraat	10
2.3	Modellering van het vrijkomen van superkritisch CO ₂	12
2.3.1	Horizontale uitstroming	12
2.3.2	Verticale uitstroming	12
2.4	Effecten van het vrijkomen van CO ₂	14
2.4.1	Flenslekkage	15
2.4.2	Lekkage 25 mm aansluiting;	15
2.4.3	Bezwijken ondergrondse transportleiding	17
2.4.4	Bezwijken CO ₂ compressor Barendrecht	19
2.4.5	Falen CO ₂ injectieleiding	21
2.4.6	Blow-Out	24
2.4.7	Uitstroming in de praktijk	25
2.5	Modelleren CO ₂ in SafetiNL	26
2.6	Uitvoering berekening risico's transport en opslag van CO ₂	27
3	Berekening risico's CO₂ compressorstation locatie Pernis	28
3.1	Inleiding	28
3.2	Subselectie, scenario's en incidentfrequenties	29
3.2.1	Compressoren	29
3.2.2	Warmtewisselaars	32
3.2.3	Leidingen	32
3.2.4	Procesvaten	33
3.3	Vervolgkansen en omgevingsfactoren	33
3.3.1	Weersgegevens	33
3.3.2	Ruwheidslengte (van de ondergrond)	33
3.3.3	Populatiegegevens	33
3.3.4	Repressieve systemen	34
3.3.5	Bedrijfstijden	36
3.3.6	Resultaten	37
3.3.7	Conclusie CO ₂ compressorstation Pernis	38
4	Berekening risico's ondergrondse buisleiding	39
4.1	Inleiding	39
4.2	Subselectie	39
4.3	Scenario's en incidentfrequenties	39

4.3.1	Ondergrondse leidingen	39
4.3.2	Leidingtunnels	40
4.4	Vervolgkansen en omgevingsfactoren	44
4.4.1	Weersgegevens	44
4.4.2	Ruwheidslengte (van de ondergrond)	44
4.4.3	Populatiegegevens	44
4.5	Risicokader	45
4.6	Resultaten risicoberekeningen transportleidingen	45
4.7	Resultaten Leidingtunnels	46
4.7.1	Resultaten leidingtunnel Beneluxplein 14''	46
4.7.2	Resultaten leidingtunnel Beneluxplein 28''	48
4.7.3	Leidingtunnel onder de Groene Kruisweg 14''	50
4.7.4	Leidingtunnel onder de Groene Kruisweg 28''	52
4.8	Superkritisch transport	53
4.9	Conclusie leidingen en tunnels	54
4.9.1	Plaatsgebonden risico	54
4.9.2	Groepsrisico	54
5	Risico's locaties Barendrecht en Barendrecht Ziedewij	55
5.1	Inleiding	55
5.2	Subselectie	55
5.3	Scenario's en incidentfrequenties	55
5.3.1	Compressor	56
5.3.2	Warmtewisselaars	56
5.3.3	Bovengrondse Leidingen	57
5.3.4	CO ₂ injectieputten	57
5.3.5	Repressieve systemen	59
5.4	Vervolgkansen en omgevingsfactoren	60
5.4.1	Modelstoffen	60
5.4.2	Kans op ontsteking	60
5.4.3	Weersgegevens	61
5.4.4	Ruwheidslengte (van de ondergrond)	61
5.4.5	Populatiegegevens	61
5.5	Risico's locatie Barendrecht	63
5.5.1	Inleiding	63
5.5.2	Resultaten berekeningen	64
5.6	Risico's locatie Barendrecht Ziedewij	70
5.6.1	Inleiding	70
5.6.2	Resultaten berekeningen	72
5.7	Conclusie	76
6	Referenties	77
	Bijlagen: Scenariobeschrijving CO₂ injectie	78

Samenvatting

Door de Shell-raffinaderij in Pernis, de Shell CO₂ Storage Company BV (SCS) en OCAP worden de mogelijkheden onderzocht om CO₂ - afkomstig van de raffinaderij – op te slaan in nabijgelegen lege gasvelden bij Barendrecht. Voor de benodigde Milieu Effect Rapportage is deze veiligheids analyse uitgevoerd. De veiligheidsanalyse beschrijft de onderdelen (compressie, pijpleiding en opslaginstallatie) van het project Barendrecht CO₂ opslag en omvat alleen de bovengrondse en ondergrondse infrastructuur en installaties benodigd voor de opslag van CO₂.

De geldende richtlijnen voor een veiligheids analyse geven geen uitsluitel over (met name) de toxiciteit van CO₂. In deze veiligheidsanalyse is dan ook bijzondere aandacht besteedt aan de wijze waarop de gevolgen van blootstelling aan CO₂ kunnen worden bepaald. RIVM is momenteel bezig de onderzoeken, die nodig zijn voor het bepalen van deze probitrelatie uit te contracteren. Op basis van de resultaten van dit onderzoek is een voorlopige probitrelatie opgesteld die moet worden goedgekeurd door de toetsingscommissie. Deze benadering is gehanteerd voor dit project bij afwezigheid van een geaccordeerd kader zonder de pretentie dat dit voor de aansluitende besluitvorming en toekomstige ontwikkelingen de te gebruiken probitrelatie zal zijn.

Specifiek is in deze veiligheids analyse aandacht besteed aan het inzichtelijk maken van de dispersie van CO₂ bij het falen van een deel van de installatie of buisleiding onder druk. Daar CO₂ uiteindelijk onder superkritische condities in het reservoir zal worden geïnjecteerd is ook aandacht besteed aan de modellering van CO₂ bij deze condities.

Kwantitatieve analyses zijn uitgevoerd voor de volgende delen van het CO₂ opslag systeem:

- CO₂ compressorstation Plot16;
- Ondergrondse buisleiding;
- CO₂ injectie Barendrecht;
- CO₂-injectie Barendrecht Ziedewij.

De resultaten van deze analyses zijn getoetst aan de grenswaarde en oriëntatiewaarde voor het plaatsgebonden risico en groepsrisico. Dit resulteert in de volgende conclusie:

- Voor alle activiteiten geldt dat binnen de contouren van het Plaatsgebonden Risico van 10-6/jaar geen kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten aanwezig zijn;
- De risico's van alle onderdelen van het CO₂ transport en opslagsysteem zijn lager dan de oriëntatiewaarde voor het groepsrisico, met uitzondering van het groepsrisico van de leidingtunnel onder het Beneluxplein, waar een lichte overschrijding van het groepsrisico plaatsvindt.

Bij de bepaling van het risico is uitgegaan van Worst Case uitgangspunten, waardoor de resultaten geen onderschatting van de risico's zullen opleveren. Dit komt in het bijzonder naar voren bij de bepaling van de gevolgen van blootstelling aan CO₂ en de faalfrequentie zoals gebruikt voor het leidinggedeelte in leidingtunnels. De resultaten geven daarom een conservatief beeld van de risico's van het transport en injectie van CO₂. Wanneer de risico's met realistischer aannames worden herberekend zullen de risico's van het CO₂ transport lager worden en, voor wat betreft de risico's van de leidingtunnel, een kleinere overschrijding of onderschrijding van de oriëntatiewaarde voor het Groepsrisico laten zien.

Op basis van de resultaten van deze veiligheidsanalyse kan gesteld worden dat alle situaties voldoen aan de grenswaarde voor het Plaatsgebonden Risico zoals gesteld in het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen.

1 Inleiding

De Shell-raffinaderij in Pernis, de Shell CO₂ Storage Company BV (SCS) en OCAP onderzoeken de mogelijkheden van een gezamenlijk demonstratieproject waarin het CO₂ - afkomstig van de raffinaderij - opgeslagen wordt in nabijgelegen lege gasvelden.

Deze veiligheidsanalyse beschrijft de onderdelen (compressie, transport per pijpleiding en injectieinstallatie) van het project Barendrecht CO₂ opslag en omvat alleen de bovengrondse en ondergrondse infrastructuur en installaties benodigd voor de opslag van CO₂. De risicoanalyse van het reservoir is zal een onderdeel van het mijnbouwwettelijke Opslagplan.

In grote lijnen kan voldaan worden aan de richtlijnen voor het MER die aangeven dat " De risicoschattingen dienen gemaakt te worden conform de geldende richtlijnen".

De geldende richtlijnen geven echter geen uitsluitel over (met name) de toxiciteit van CO₂. In deze veiligheidsanalyse is dan ook bijzondere aandacht besteedt aan de wijze waarop de gevolgen van blootstelling aan CO₂ kunnen worden bepaald.

2 Risico's CO₂

2.1 Aannames en uitgangspunten

Om de risico's van blootstelling aan CO₂ te bepalen is gebruik gemaakt van de geldende richtlijnen en voorschriften. In een aantal gevallen geven deze voorschriften en richtlijnen geen uitsluitel of zijn niet eenduidig te interpreteren. In dit hoofdstuk is beschreven welke keuze zijn gemaakt bij het berekenen van de risico's

2.2 Toxiciteit van CO₂: de probitrelatie

Blootstelling aan CO₂ kan gevolgen hebben voor de gezondheid. De gevolgen zijn afhankelijk van de concentratie en de tijd van blootstelling en blootstelling kan leiden tot verschijnselen als hoofdpijn, bewusteloosheid tot en met overlijden. In onderstaande tabel is een literatuur overzicht opgenomen van de effecten op mens bij blootstelling aan CO₂

Tabel 1; Effecten CO₂ op het menselijk lichaam

Effect	%Vol
Occupational exposure - avg. daily 8 hr. limit (Sally Benson)	0,5
Maximum exposure time indefinite (EPA)	0,5
Maximum exposure time indefinite (EPA)	1
Max. exposure time 480 minutes (EPA)	1,5
Headache, dyspnea upon mild exertion when exposed several hours (EPA)	2
Max. exposure time 60 minutes (EPA)	2
Breathing rate doubles (Sally Benson)	3
Occupational exposure - avg. short term 15 min. limit (Sally Benson)	3
Mild headache, sweating dyspnea at rest when exposed one hour (EPA)	3
Max. exposure time 20 minutes (EPA)	3
Short time exposure limit (ILO)	3
Headache, dyspnea and dizziness begin (Sally Benson)	4
Lowest level for headache dizziness, increased blood pressure, uncomfortable dyspnea within a few minutes (EPA)	4
Max. exposure time 10 minutes (EPA)	4
Immediately dangerous to life or health (IPCC)	4
Exhaled breath - Strenuous Exercise (Sally Benson)	5
Max. exposure time 7 minutes (EPA)	5
No deaths expected (RIVM note)	5
Hearing and visual disturbances in 1 to 2 minutes (EPA)	6
Headache, dyspnea when exposed up to 16 minutes (EPA)	6
Tremors when exposed several hours (EPA)	6
Max. exposure time 480 minutes (EPA)	6
Severe headache and mental confusion begin (Sally Benson)	7
Lowest level for unconsciousness, near unconsciousness in a few minutes (EPA)	7
Lowest level for headache, increased heart rate, dizziness ... in 1.5 minute to 1 hour (EPA)	7
Max. exposure time 480 minutes (EPA)	7
Lowest published lethal concentration - 5 min exposure (Sally Benson)	9

Effect	%Vol
Unconscious within minutes (Sally Benson)	10
Unconsciousness in 1 minute (UCL)	10
100% fatal limit > 30 minutes exposure (NORSOK Z013, quoted from SGSi memo)	10
Lowest limit for dizziness, drowsiness, unconsciousness, exposure 1 minute to several minutes (EPA)	10
Lowest level for lethal effects (RIVM note)	10
Lowest level for adverse health effects (CRS)	10
Deadly (Gezondheidsraad, quoted from Amesco)	10
Fatal concentration (EU richtlijn)	10
100% fatal limit 5-30 minutes exposure (NORSOK Z013, quoted from SGSi memo)	12
100% fatal limit 5 minutes exposure (NORSOK Z013, quoted from SGSi memo)	15
Lowest level of death within one minute (EPA)	17
Lowest level for death within one minute (USEPA, quoted from Latrobe valley report)	17
Unconscious and convulsions within minutes (Sally Benson)	20
Instantaneously fatal (UCL)	20
Lowest level for lethal effect (Slides university of Newcastle)	25
Asphyxiation hazard (CRS)	25
Death within minutes (Sally Benson)	30

In een QRA worden alleen letale effecten beschouwd, andere gevolgen als bewusteloosheid of stuipen zijn nu eenmaal lastig te kwantificeren. Uit de tabel wordt duidelijk dat blootstelling aan hoge concentraties CO₂ kan leiden tot dodelijke slachtoffers. In een QRA wordt, om de gevolgen te berekenen van blootstelling aan gevaarlijke stoffen, de probitrelatie gebruikt. De probitrelatie maakt het mogelijk om de letale effecten van een stof te bepalen gebruik makend van de volgende parameters;

- Blootstellingswijze, (inademing van CO₂);
- Blootstellingsduur;
- Concentratie.

De probitrelatie wordt als volgt weergegeven:

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

Waarbij:

C = concentratie (ppm)

t = tijdsduur (min)

a, b en n constanten zijn voor een bepaalde gevaarlijke stof die de toxiciteit weergeven

De probitrelatie is nodig om met Safeti-NL en Phast Pro de voor de MER gevraagde risicocontouren van de CO₂ installaties en pijpleiding en het groepsrisico te bepalen. Voor een aantal gevaarlijke stoffen zijn de probitrelaties vastgelegd, echter niet voor CO₂. RIVM is momenteel bezig de onderzoeken, die nodig zijn voor het bepalen van deze probitrelatie uit te contracteren. Op basis van de resultaten van dit onderzoek zal een voorlopige probitrelatie worden opgesteld die moet worden goedgekeurd door de toetsingscommissie. Vanwege de

planning van het project is voor deze studie een eigen probitrelatie afgeleid. Door de probitrelatie te baseren op conservatieve aannames zal het risico van de activiteiten met CO₂ worden overschat. Een nauwkeuriger probitrelatie zoals vast te stellen door het RIVM zal bij narekenen van deze risicoanalyses een lager risico opleveren.

2.2.1 Gebruikte probitrelatie

De gevolgen van blootstelling zijn vastgesteld op basis van een literatuurstudie naar de relatie tussen blootstelling aan CO₂ en de letale gevolgen. Hierbij is als uitgangspunt genomen dat de in deze studie gebruikte aannames niet mogen leiden tot een onderschatting van de risico's.

De toegepaste probitrelatie is niet gebaseerd op toxiciteitsgegevens, maar op de aannames uit publicaties van bevoegd gezag en Europese richtlijnen. Hiervoor is een blootstellingstijd van 30 minuten toegepast (maximale duur van een scenario bij QRA berekeningen in Nederland). De volgende literatuur is beschouwd;

1. Brief RIVM aan Ministerie VROM gedateerd 31 mei 2007 betreffende de voorlopige resultaten, effectberekeningen hoge druk CO₂ leiding door Zoetermeer.
2. Impact assessment, Brussels, 23-1-2008, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide.

Gebaseerd op deze bronnen zijn twee ankerpunten geselecteerd:

- Beneden de 5% CO₂ worden geen sterftegevallen verwacht (ref. 1);
- 10% CO₂ wordt aangenomen als 100% dodelijk (ref. 2).

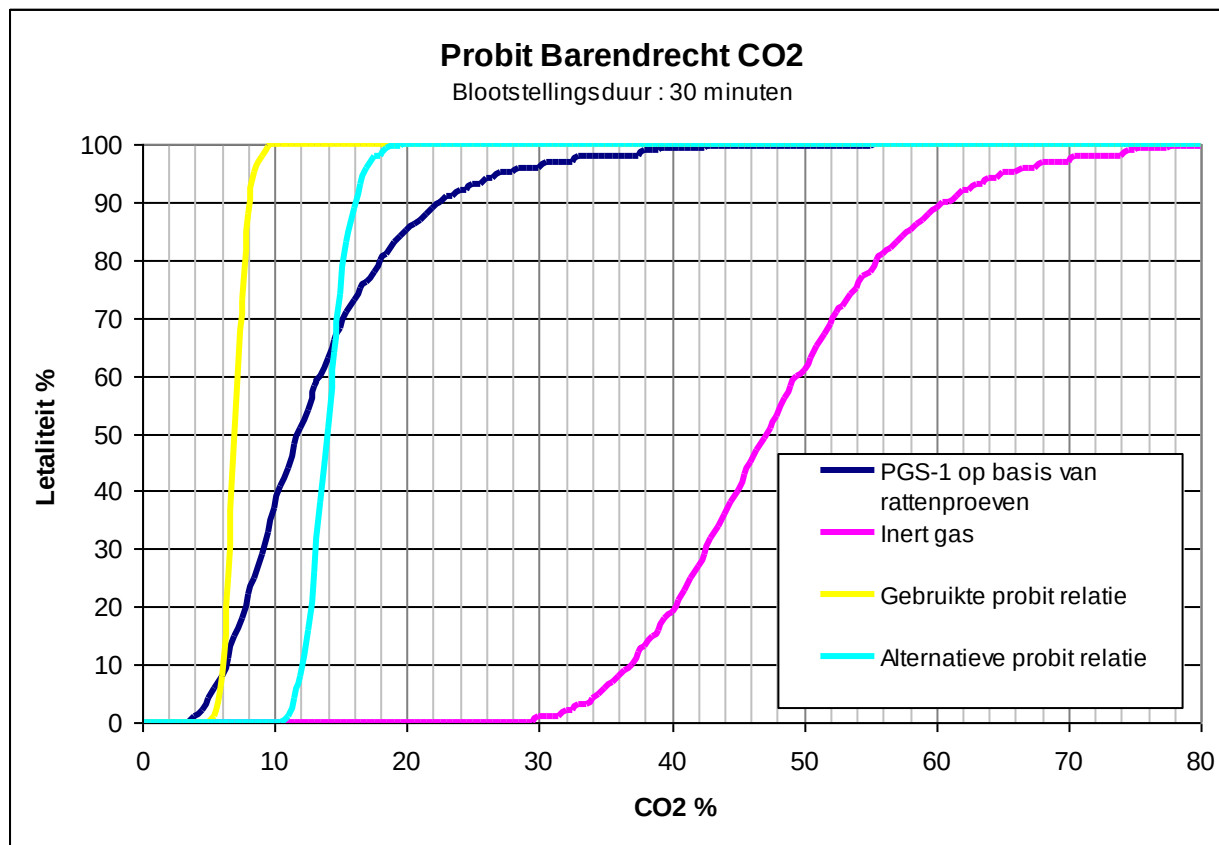
Op basis van deze ankerpunten zijn de constanten van de Probitrelatie voor CO₂ bepaald. De invloed van de tijdsduur is bepaald door gebruik te maken van de relatie concentratie CO₂ en tijd tot bewusteloosheid uit het onderzoek van Speitel in 1995. (ref. 4). De berekende probitrelatie voor CO₂ ziet er als volgt uit:

$$Pr = -98,81 + \ln(C^9 * t)$$

Ter illustratie zijn twee andere probitrelaties gegeven:

- Probitrelatie bepaald volgens de PGS 1 methodiek op basis van de LC50 waarde van CO₂ voor ratten uit het onderzoek van Levin (Ref. 3);
- Een alternatieve probitrelatie met dezelfde b en n waarden als de geselecteerde probitrelatie op basis van de voorlopige bevindingen van RIVM voor een blootstellingduur tot 1 uur:
 - Geen doden verwacht bij concentraties tussen 5 en 10%;
 - Serieuze effecten and mogelijke sterfte kunnen optreden bij concentraties 10-15%;
 - Een hoge letaliteit kan voorkomen rond de 20-25% (ref 7).

Tevens is de probitrelatie van inerte gassen weergegeven.



Figuur 1: Relatie tussen blootstellingconcentratie en letaliteit bij verschillende probitrelaties

In Figuur 1 zijn de relaties tussen blootstellingsconcentratie en letaliteit voor verschillende probitrelaties opgenomen. De blootstellingstijd is in alle gevallen 30 minuten. Zoals te zien is leidt de gebruikte probitrelatie al bij (relatief) lage CO₂ concentratie tot een hoge letaliteit. De andere probitrelaties laten deze letale effecten alleen zien bij hogere CO₂ concentraties. De gebruikte probitrelatie leidt daarom tot de meest conservatieve aanpak. Deze benadering is gehanteerd voor dit project bij afwezigheid van een geaccordeerd kader zonder de pretentie dat dit voor de aansluitende besluitvorming en toekomstige ontwikkelingen de te gebruiken probitrelatie zal zijn.

2.2.2 Domino-effecten in de Buisleidingenstraat

In de Richtlijnen is aangegeven dat aandacht besteed dient te worden aan domino-effecten bij het transport van CO₂ in de Buisleidingenstraat. Daarbij gaat het om de effecten van andere buisleidingen op de CO₂-leiding. De risicoschattingen dienen gemaakt te worden conform de geldende richtlijnen. Voor geplande activiteiten bestaat nog geen wettelijk voorschrift, wel kan worden aangesloten op de kwaliteitsdoelstellingen uit de Wet Milieubeheer.

Algemeen

De Handleiding Risicoberekeningen stelt het volgende over domino-effecten: Interne domino-effecten ontstaan wanneer het falen van één installatie met gevaarlijke stoffen leidt tot het falen van een ander installatie met gevaarlijke stoffen. Een voorbeeld is het ontstaan van een BLEVE van een drukopslag ten gevolge van een fakkelt of een plasbrand. Interne domino-effecten worden niet expliciet meegenomen in een QRA. Alleen bij een

situatie waarin het falen van één installatie duidelijk leidt tot het falen van een andere installatie, dient een intern domino-effect meegenomen te worden in een QRA. Een voorbeeld van een dergelijke situatie is wanneer twee LPG reservoirs zodanig dicht bij elkaar staan, dat het instantaan falen van één reservoir (waarschijnlijk) leidt tot het falen van het andere reservoir. In dit geval dient voor het scenario 'instantaan falen' in alle gevallen te worden uitgegaan van de inhoud van het grootste reservoir. Additioneel geldt dat er geen casuïstiek beschikbaar is die de faalkans van de CO₂ leiding ten gevolge van het falen van een andere leiding kan onderbouwen en dat er op dit moment geen handleiding (Nederlandse dan wel internationale) beschikbaar is die concreet aangeeft hoe hiermee omgegaan dient te worden.

Effect van andere leidingen op de CO₂-leiding binnen de buisleidingenstraat

Binnen de Buisleidingenstraat bevinden zich meerdere leidingen. Door deze leidingen worden verschillende stoffen getransporteerd, zoals aardgas, ethyleen-oxyde en propaan. De onderlinge afstand tussen deze leidingen bedraagt circa 1 meter, welke door SBN worden gekozen op basis van ref. [15], dit rapport geeft een methodiek voor het bepalen van de minimale afstand om escalatie van de ene leiding naar de andere ten gevolge van een explosie te voorkomen. Ref. 16 stelt dat leidingen in een buisleidingenstraat een kleinere kans op falen hebben dan vergelijkbare leidingen in het veld door de getroffen voorzieningen en de mate van beheer en bewaking van de straat. Dit wordt gereflecteerd in de door PGS-3 gegeven lagere faalkans voor leiding in een leidingenstraat, hierbij wordt geen voorbehoud voor domino-effecten gemaakt.

De QRA is uitgevoerd in lijn met de PGS-3. Deze methode leidt ertoe dat voor de CO₂ leiding, met uitzondering van de leidingtunnels, er geen effect buiten de leidingstraat is, waardoor er geen risico wordt berekend. Een hogere faalkans zal deze conclusie niet veranderen.

2.3 Modelling van het vrijkomen van superkritisch CO₂

CO₂ zal als gas worden getransporteerd van Shell Pernis naar Barendrecht. Op de injectielocaties Barendrecht en Barendrecht Ziedewij zal door de injectiecompressor de druk worden verhoogd tot de benodigde injectiedruk. Bij de toenemende injectiedrukken komt het CO₂ uiteindelijk in het superkritische gebied, (bij drukken die een druk hoger dan 73,15 Bar(a) en een temperatuur hoger dan 31°C is het gas superkritisch en zijn er geen fase veranderingen van vloeistof naar gas). In het reservoir zullen deze superkritische condities eerder worden bereikt door de aanwezige hydrostatische druk van de CO₂ kolom in de injectieput.

Bij het vrijkomen van superkritisch CO₂ (bijvoorbeeld door lekkage of volledig falen van de injectieleiding of een blow-out van de put) is er een mogelijkheid dat CO₂ in vaste vorm (droog ijs) vrijkomt. Droog ijs sublimeert bij atmosferische druk direct naar gas zonder eerst vloeistof te vormen, waarbij warmte vanuit de omgeving moet worden toegevoerd. De vorming van droog ijs bij een superkritische uitstroming is bij deze risicoanalyse meegenomen.

2.3.1 Horizontale uitstroming

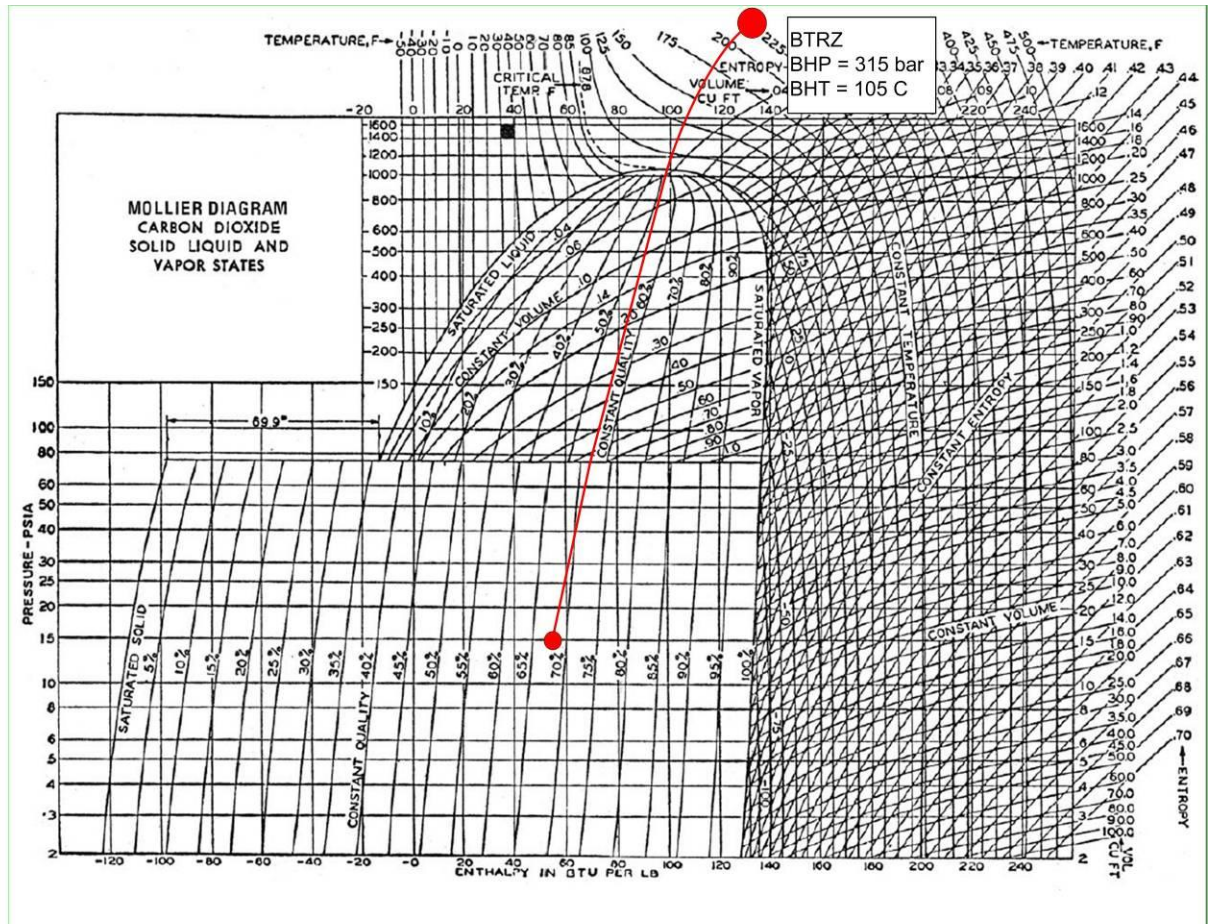
Bij een horizontale uitstroming zal het gevormde droog ijs op de grond neervallen en vandaar slechts langzaam sublimeren naar gas. Deze sublimatie zal slechts lokaal voor een bescheiden verhoogde CO₂ concentratie zorgen dicht bij de plaats van uitstroming. De invloed van het sublimerende CO₂ is verwaarloosbaar ten opzichte van het uitstromende gasvormige CO₂. In deze studie is met dit effect geen rekening gehouden, er is verondersteld dat alle CO₂ als gas uitstroomt. Hierdoor is het berekende effect groter dan het in werkelijkheid zal zijn.

2.3.2 Verticale uitstroming

Bij een verticale uitstroom van CO₂ zullen normaliter geen gevaarlijke concentraties CO₂ ontstaan op maaiveldniveau (zie paragraaf 2.4). Wanneer er echter vast CO₂ ontstaat, kan zich op de grond droog ijs verzamelen dat zal verdampen (sublimeren). Dit effect is meegenomen bij het modelleren van de effecten van een blow-out van een injectieput onder superkritische condities:

De hoeveelheid gevormd droog ijs is bepaald aan de hand van het Mollierdiagram van CO₂. Er is uitgegaan dat het uitstromen van CO₂ een volledig isentropisch proces is. Dit houdt in dat er bij het uitstromen van CO₂ geen energie-uitwisseling met de omgeving plaats vindt. Vorming van droog ijs zoals berekend met de toestandsvergelijkingen van SafetiNL kan daarnaast ook plaatsvinden. Door deze wijze van modelleren is de risico analyse niet afhankelijk van de toestandsvergelijkingen van CO₂ in SafetiNL. Door deze aanpak is er zeker gesteld dat vorming van droog ijs bij uitstroming van superkritisch CO₂ is gemodelleerd.

Voor de injectieputten en observatieputten is bij deze veiligheidsanalyse uitgegaan van de maximale reservoirdrukken, die pas zullen optreden bij het einde van de CO₂ opslag in het betreffende veld. Dit is voor Barendrecht na ongeveer 3 jaar en bij Barendrecht Ziedewij na ongeveer 28 jaar. Uitgaande van de uiteindelijke reservoircondities (een druk van 315 bar en een temperatuur van 105 °C op Barendrecht Ziedewij) is de isentropische expansie in het Mollierdiagram ingegeven en de uiteindelijke verdeling droog ijs en gas bepaald. Dit principe is tevens weergegeven in het mollier diagram in Figuur 2.



Figuur 2: Mollier diagram CO₂ met isentropische expansie van CO₂

Het droog ijs is gemodelleerd als een "user defined source" waarbij CO₂ gas op grondniveau met zeer lage snelheid verticaal uitstroomt bij lage temperatuur. Voor het uitstromingsdebiet wordt ervan uitgegaan, dat droog ijs even snel sublimeert als dat het wordt gevormd. Dit zal in de werkelijkheid niet het geval zijn en vormt daarmee een conservatieve aanname.

2.4 Effecten van het vrijkomen van CO₂

In de MER richtlijn is het volgende opgenomen.

“Verwijzend naar de reacties tijdens de informatieavond en de inspraakreacties op de startnotitie blijkt er bij belanghebbenden bezorgdheid te bestaan over de risico's met betrekking tot het vrijkomen van een CO₂ 'wolk'. Hoewel hier ook al in de QRA rekening mee wordt gehouden, wordt aanbevolen in meer detail inzicht te geven in de onderliggende faaloorzaken, verspreiding en gevolgen van vrijkomend CO₂ in geval van een breuk in de pijpleiding, technisch falen van de installaties en een worst-case scenario bij de injectie in de ondergrond”

In een kwantitatieve risicoanalyse worden de effecten berekend van grote incidenten. Hierbij kan worden gedacht aan het openrijten van een transportleiding of het compleet falen van een CO₂ injectiecompressor. Deze incidenten komen echter vrijwel niet voor. Incidenten met een grotere kans op voorkomen zijn kleinere lekkages. Hierbij valt te denken aan een lekkage van een flens of het afbreken van een instrumentatieverbinding. Kenmerkende afmetingen voor een dergelijke lekkage zijn respectievelijk enkele millimeters en 25 mm.

Om inzicht te geven in de gevolgen van het vrijkomen van CO₂ zijn daarom de effecten berekend van grote en kleine incidenten:

- Flenslekkage;
- Lekkage 25 mm aansluiting;
- Bezwijken ondergrondse leiding;
- Bezwijken CO₂ Compressor;
- Bezwijken CO₂ injectieleiding;
- Put Blow Out.

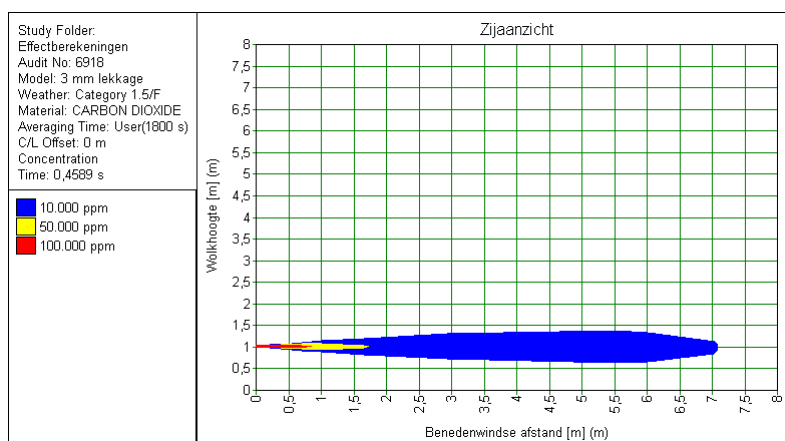
Om de effecten inzichtelijk te maken zijn onder andere concentratieprofielen berekend. Hierbij zijn de volgende grenswaarden aangehouden.

- 10% CO₂ wordt aangenomen als 100% dodelijk (ref. 2).;
- 5% CO₂: Beneden de 5% CO₂ worden geen sterftegevallen verwacht (ref. 1);
- 1% CO₂, deze concentratie bedraagt 1/10 van de letale concentratie.

Er is standaard gerekend met het weertype F1,5. Als uitzondering is bij de letaliteitcontour in figuur 11 gerekend met D5.

2.4.1 Flenslekkage

Kleine lekkages als flenslekkages leiden niet tot het ontstaan van letale concentraties buiten de inrichting zoals te zien is in onderstaand figuur.

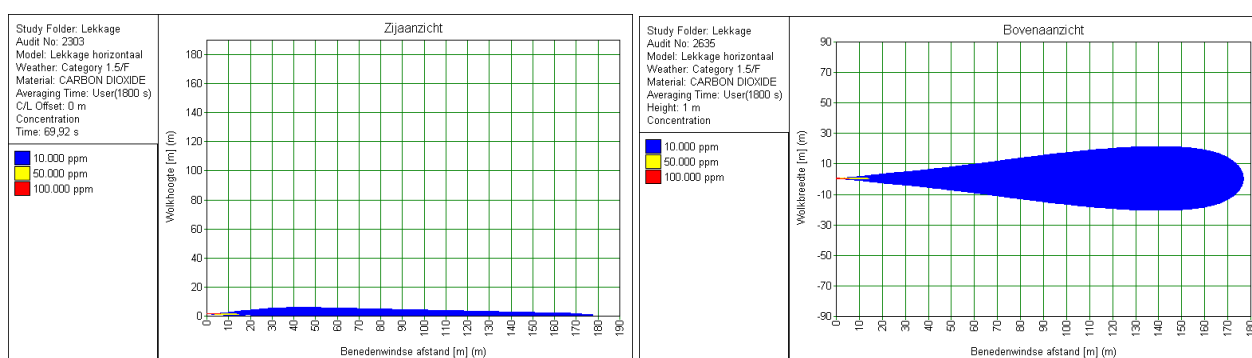


Figuur 3: Zijaanzicht flenslekkage (3 mm, 150 bar(a))

De letale concentraties (50.000 ppm) van een dergelijke kleine lekkage blijven beperkt tot de nabijheid van het lek.

2.4.2 Lekkage 25 mm aansluiting;

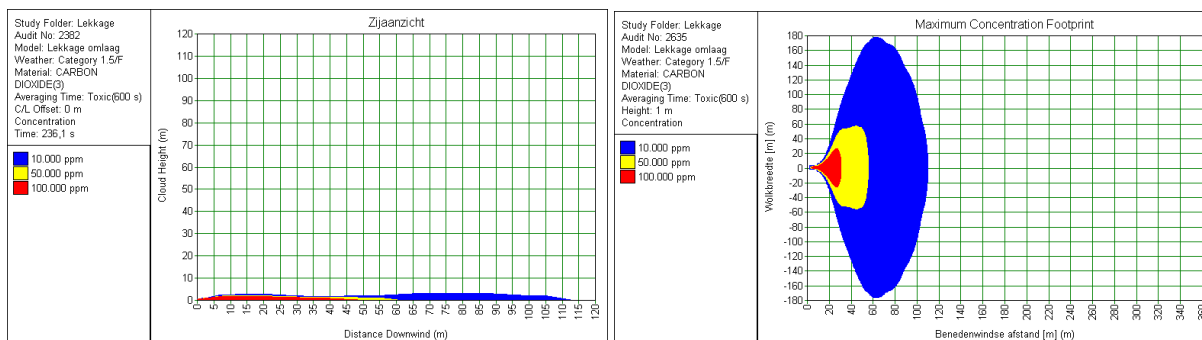
Lekkages als gevolg van het afbreken van bijvoorbeeld een meetinstrument leveren grotere effecten op. In onderstaande figuren zijn de effecten opgenomen van een horizontaal uitstromende lekkage van 25 millimeter uit een systeem met een druk van 150 bar(a).



Figuur 4: Berekende effecten van een horizontale 25mm lekkage

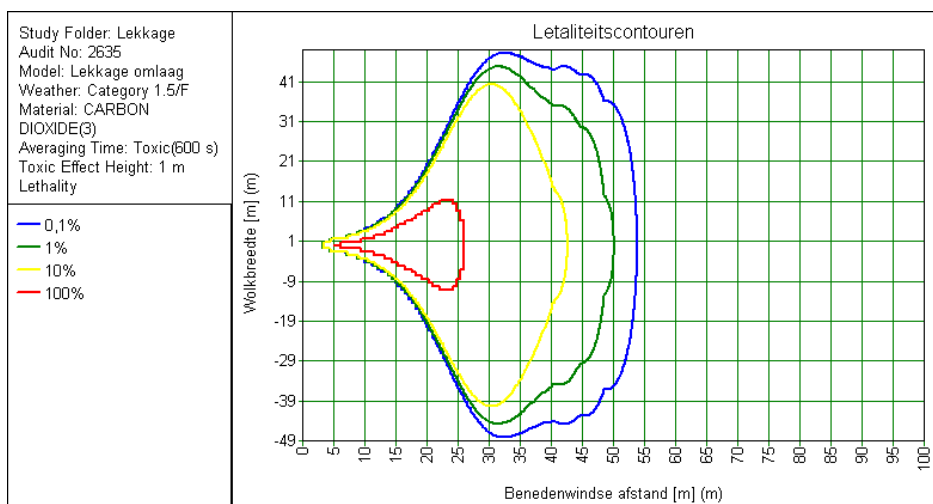
De vorm van het effectgebied is sigaervormig, de pluim is lang en smal met een maximale breedte van 50 meter en een maximale hoogte van 5 meter. Hoge concentraties komen voor op korte (ca 15 meter afstand) van het lek

In een aantal gevallen zal een uitstroming vertikaal kunnen uitstromen. In het geval de uitstroming naar de grond is gericht zal er lokaal een hoge concentratie CO₂ ontstaan. In Figuur 5 zijn de berekende effecten hiervan weergegeven.



Figuur 5: Berekende effecten van een horizontale naar de grond gerichte lekkage 25mm lekkage

De vorm van het effectgebied is eivormig, de pluim heeft een maximale breedte van 360 meter en een maximale hoogte van 5 meter. Binnen ca 60 meter van de installatie zijn hoge CO₂ concentraties van meer dan 50.000 ppm CO₂ berekend. Om de letale effecten inzichtelijk te maken berekent Phast de volgende letaliteitscontouren.



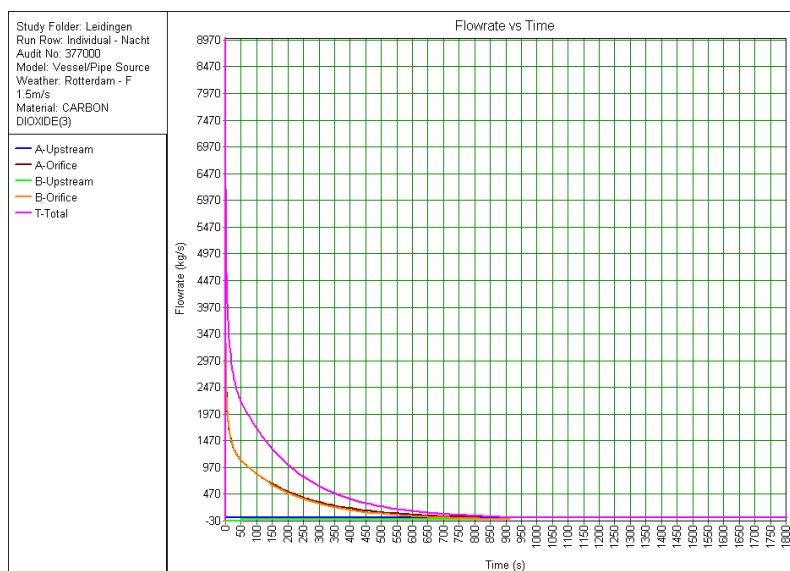
Figuur 6: Letaliteitscontouren van een horizontale, naar de grond gerichte 25 mm uitstroming

Uit bovenstaand figuur is op te maken dat binnen ca 50 meter van de installatie een letaliteit van 1% wordt berekend, deze waarde wordt aangehouden als een concentratie waarbij het risico op een dodelijk effect verwaarloosbaar is.

2.4.3 Bezwijken ondergrondse transportleiding

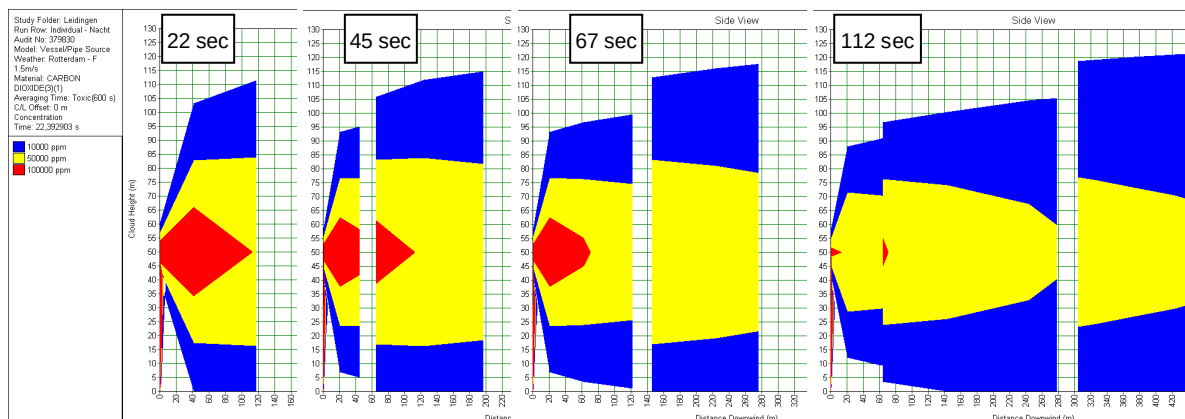
Tussen Pernis en Barendrecht is CO₂ transport voorzien per ondergrondse pijpleiding. Er zijn voorlopig twee ontwerp varianten: één met een leidingdiameter van 14" (ca. 35 centimeter) en één met leidingdiameter van 28" (ca. 70 cm) Het worst-case-scenario van een dergelijke leiding is het volledig bezwijken (guillotinebreuk) van de leiding. In deze paragraaf zijn de effecten beschreven die optreden bij het volledig bezwijken van de leiding met de grootste leidingdiameter (28").

Direct na de breuk zal CO₂ zal met grote snelheid uit de leiding stromen. Na verloop van tijd zal de uitstroming afnemen. In Figuur 7 is het uitstroomdebiet als functie van de tijd te zien.



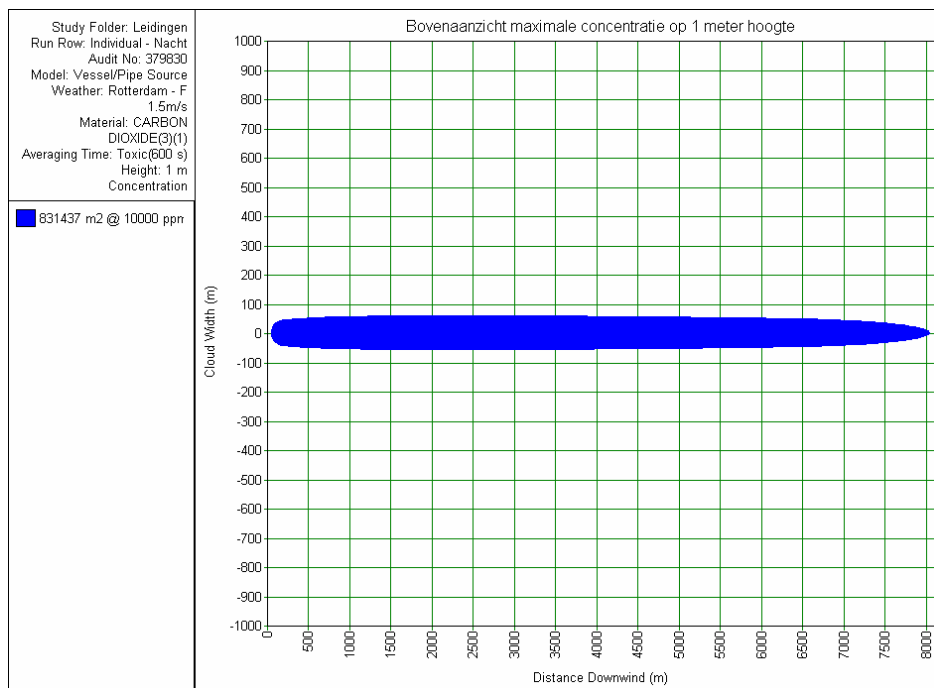
Figuur 7: Uitstroomdebiet als functie van de tijd

Door de hoge snelheid zal het gas hoog de atmosfeer in worden geblazen en door deze snelheid geforceerd opmengen met de omringende lucht. Het koude CO₂/lucht mengsel zal, zodra de snelheid is afgenomen, door de wind worden meegenomen en daarna door de hogere dichtheid uitzakken naar de grond en gedurende korte tijd de grond raken. De uitstroming is gemodelleerd in 5 stappen (zie ook 4.3.2.3). In Figuur 8 is de uitstroming en dispersie op verschillende tijden weergegeven;



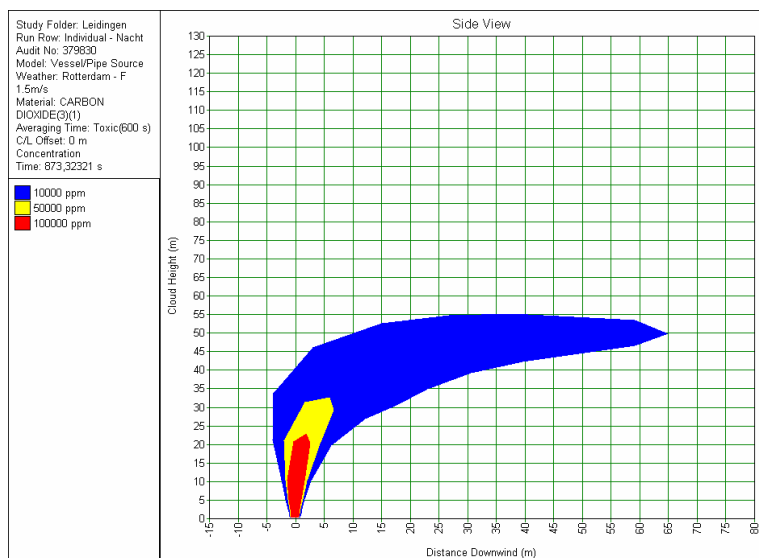
Figuur 8: Zijaanzicht CO₂ wolk na ongeveer 22, 45, 67 s en 112 s.

De uitstromende CO₂ raakt na ca 112 s de grond en zorgt daar tijdelijk voor een lokaal verhoogde CO₂ concentratie. Figuur 9 geeft een bovenaanzicht van de maximale concentratie op grondniveau.



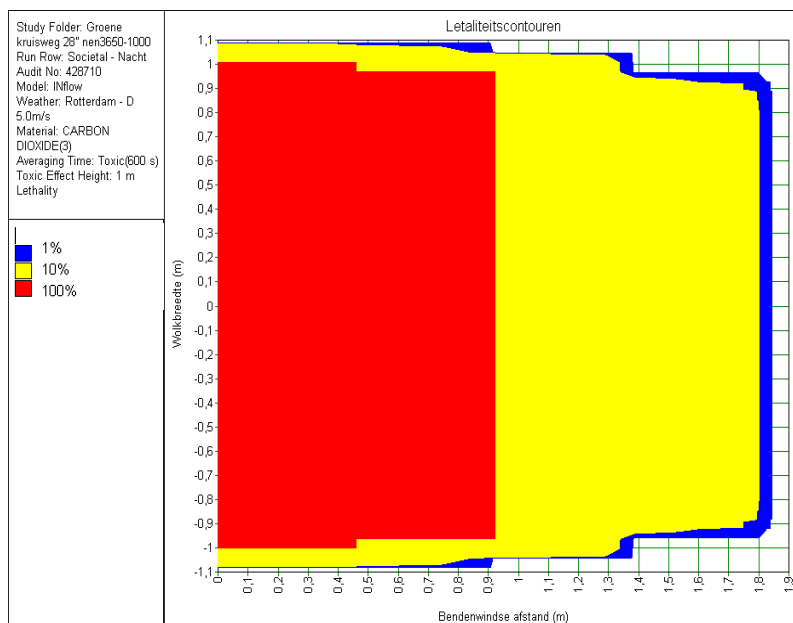
Figuur 9: Maximale berekende concentratie op grondniveau

De maximale concentratie bedraagt 10.000 ppm, wat ruim onder de concentratie ligt waarbij letale effecten kunnen optreden bij een blootstelling van 30 minuten. De tijd dat deze hoge concentraties voorkomen duurt ca. 6 minuten. Na deze periode ontstaat een stabiele verticale pluim zoals afgebeeld in onderstaand figuur.



Figuur 10: Concentratieprofiel stabiele verticale CO₂ uitstroming uit ondergrondse leiding

Zoals op te maken is uit bovenstaand figuur bevindt zich in deze situatie een letale concentratie CO₂ in de pluim. De letale concentraties blijven echter beperkt tot de nabijheid van de lekkage. Zoals berekend kan de uitstroming van CO₂ lokaal leiden tot blootstelling aan een letale dosis CO₂. Gedurende de eerste 1800 seconden van de uitstroming leidt dit tot de onderstaande letale dosis.



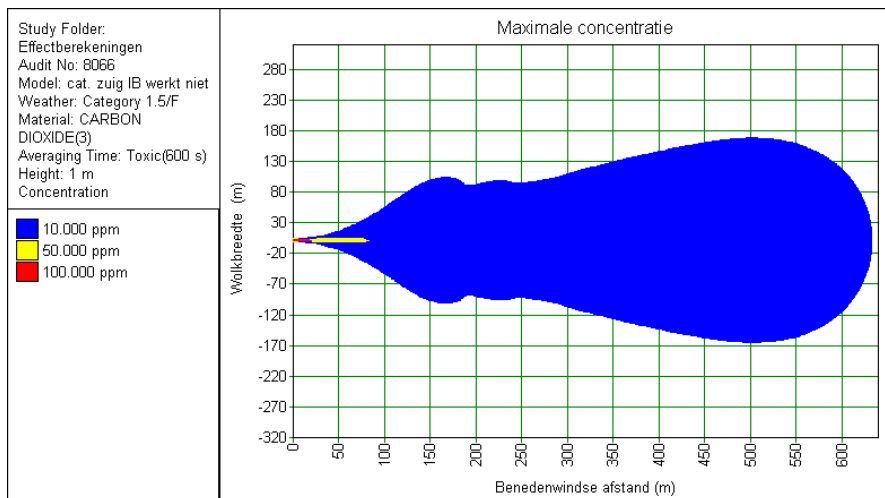
Figuur 11: maximaal berekende letale doses leidingbreuk

Uit Figuur 11 is op te maken dat de mogelijke letale effecten bij een ondergrondse leidingbreuk beperkt blijven tot de nabijheid van de breuklocatie. De 1 % letaliteitscontour ligt op ongeveer 2 meter van de breuklocatie.

2.4.4 Bezwijken CO₂ compressor Barendrecht

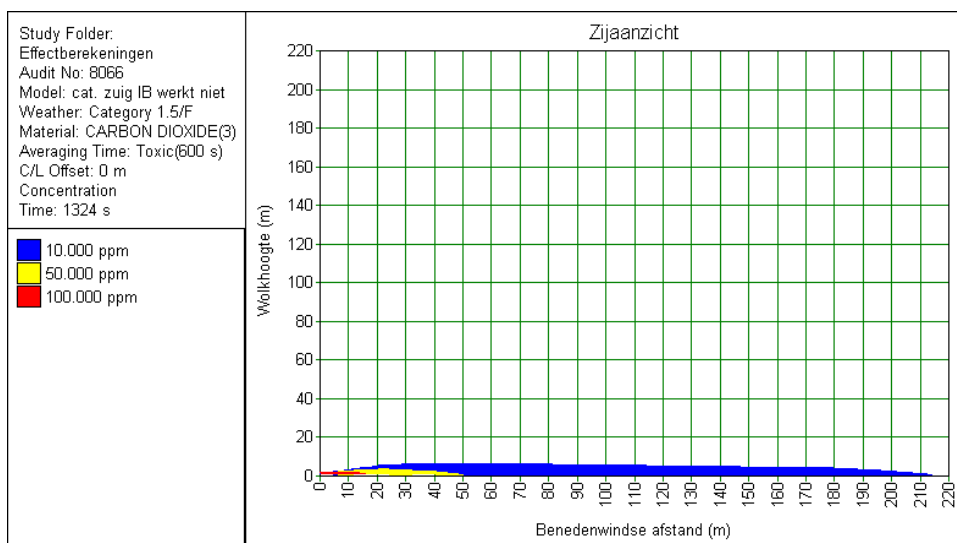
De CO₂ leiding voert kooldioxide aan naar Barendrecht (en Barendrecht Ziedewij). Daar wordt het gas met een compressor in druk verhoogd. Het worst case scenario dat hier kan optreden is dat de toevoerleiding naar de compressor of de compressor zelf faalt. In deze paragraaf zijn de gevolgen hiervan beschreven.

Na het scheuren van de leiding zal een effect optreden dat ook in paragraaf 2.4.3 is beschreven. Initieel zal een het gas met grote snelheid en hoog debiet uitstromen, maar na een aantal minuten zal de uitstroomhoeveelheid en -snelheid fors zijn afgenomen. De maximale effecten die optreden staan in Figuur 12. Hierin is de horizontale uitstroming vanuit perszijde van de compressor afgebeeld.



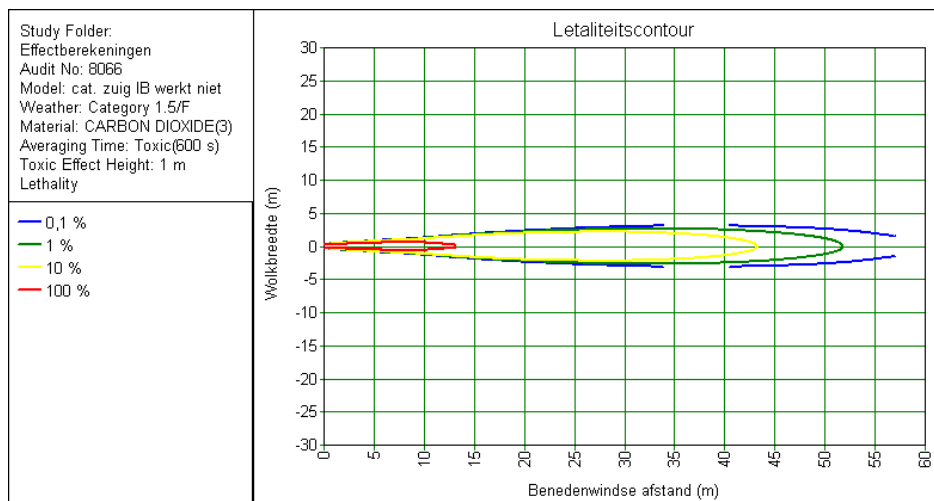
Figuur 12: maximaal berekende concentratie CO₂ na bezwijken compressor Barendrecht (uitstroming perszijde)

Zoals is op te maken wordt de maximale concentratie van 50.000 ppm berekend op ca 75 meter. Na ca 22 minuten zal een stabiele uitstroming ontstaan waarvan de effecten te zien zijn in onderstaand figuur.



Figuur 13: CO₂ Concentratie bij constante uitstroming na bezwijken compressor (uitstroming perszijde)

In deze situatie bevindt zich een letale concentratie van 50.000 ppm op ca 50 meter van de compressor. De gevolgen van de uitstroming uitgedrukt in letaliteit zijn weergegeven in Figuur 14.

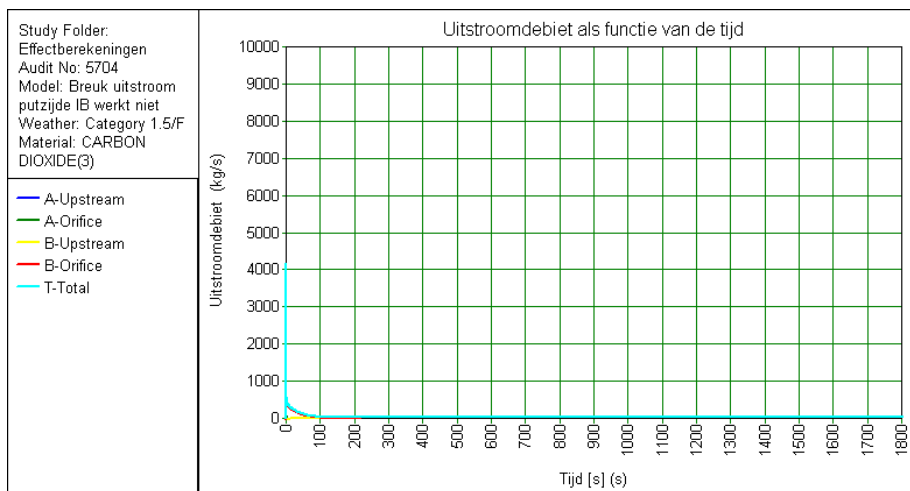


Figuur 14: Letaliteitscontouren na bezwijken compressor (uitstroming perszijde)

Uit bovenstaand figuur is op te maken dat op een afstand van ca 55 meter van de installatie een letaliteit van 1% is berekend. Een letaliteit van 1% wordt aangehouden als een waarde waarbij het risico op een dodelijk effect verwaarloosbaar is.

2.4.5 Falen CO₂ injectieleiding

Op de locaties Barendrecht (en Barendrecht Ziedewij) wordt CO₂ tot een hoge druk (maximaal ca 166 bar(a)) gecompriemd en vervolgens naar het reservoir geleid. Het worst case scenario dat hier kan optreden is het falen van de injectieleiding waarbij CO₂ met een maximale druk van 166 bar(a) vrij komt. In deze paragraaf zijn de optredende effecten beschreven. Na het falen van de injectieleiding zal de leiding leeglopen. Initieel zal dit met een zeer hoog uitstroombdebiet gebeuren, dat echter door de dalende druk in de leiding snel zal teruglopen. Na enige tijd zal er CO₂ uit de leiding stromen met het zelfde debiet als waarmee het door de compressor in de leiding wordt gepompt. In Figuur 15 is dit weergegeven.

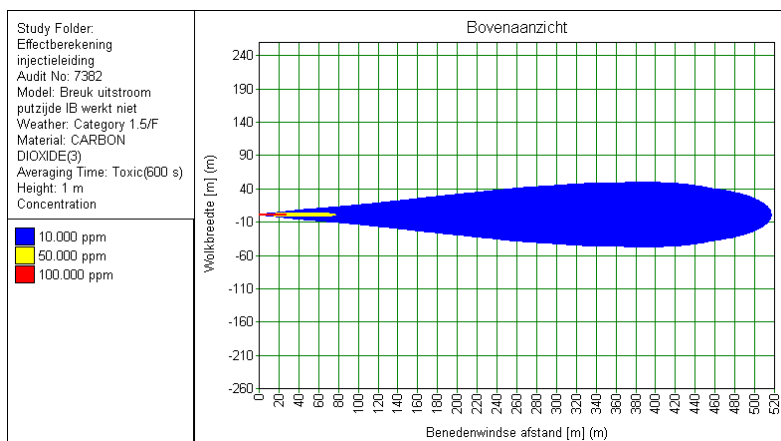


Figuur 15: Uitstroomdebiet als functie van de tijd

Zoals op te maken uit Figuur 15 treedt na ca 150 seconden een stabiele uitstroming op. Deze eerste 150 seconden zijn daarom bepalend voor de grootste effecten.

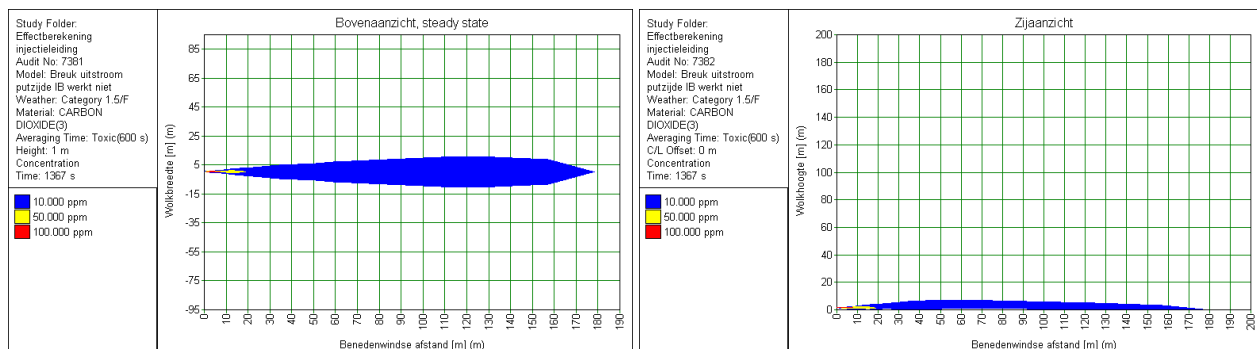
Initieel zal CO₂ met grote snelheid uit de leiding stromen. De snelheid zal gedurende de beginfase gelijk zijn aan de geluidssnelheid voor het CO₂, i.e. kritische uitstroming. Door de hoge snelheid zal het gas geforceerd opmengen met de omringende lucht waardoor de concentraties snel zullen dalen.

In Figuur 16 is de maximaal berekende concentratie berekend die zal optreden na het falen van de injectieleiding.



Figuur 16: Maximale berekende concentratie op grondniveau

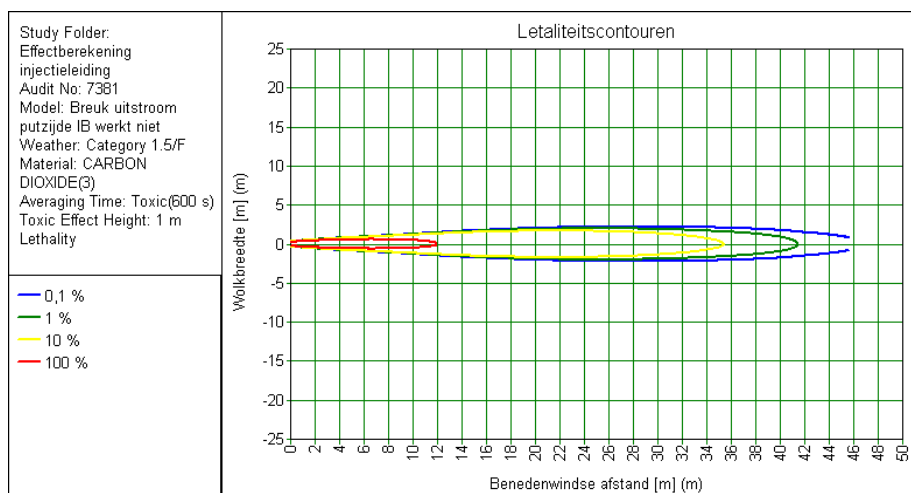
De effectcontour is sigaarvorming. In het figuur is te zien dat hoge concentraties (50.000 ppm) optreden tot ca 80 meter vanaf de injectieleiding. Na verloop van tijd zal een stabiele uitstroming ontstaan. De berekende effecten hiervan zijn opgenomen in Figuur 17.



Figuur 17: Concentratieprofiel stabiele horizontale CO₂ uitstroming

De effectcontour is sigaarvorming, uit bovenstaand figuur is af te lezen dat bij een stabiele uitstroming hoge concentraties (> 50.000 ppm) zich voordoen binnen 20 meter van de installatie.

De effecten van het uitstromende CO₂ zijn tijdsafhankelijk. De CO₂ concentraties als gevolg van het uitstromende CO₂ zijn hierdoor ook tijdsafhankelijk en zo ook de gevolgen bij blootstelling van personen. Phast houdt hier rekening mee en berekent de volgende letaliteitscontouren bij een uitstromingstijd van 1.800 s.

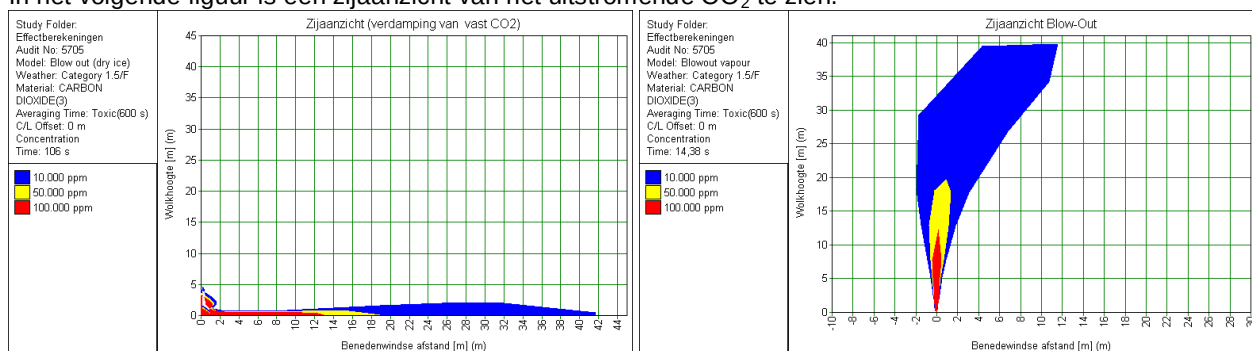


Figuur 18: Letaliteitscontouren injectieleiding

Uit bovenstaand figuur is op te maken dat binnen ca 40 meter van de installatie een letaliteit van 1% wordt berekend, deze waarde wordt aangehouden als een concentratie waarbij het risico op een dodelijk effect verwaarloosbaar is.

2.4.6 Blow-Out

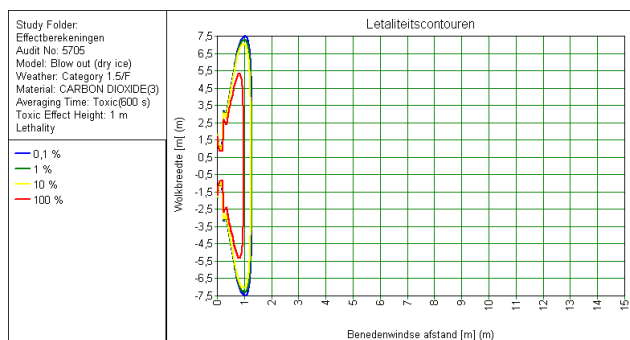
Als Maximum Credible Accident van een CO₂ put kan de blow-out worden aangewezen. Hierbij bezwijkt de verbuizing van de put en stroomt CO₂ vanuit het reservoir naar het aardoppervlak. Deze uitstroming neemt in de loop van de tijd af en is gemodelleerd als een tijdsafhankelijke uitstroming. Onderstaande figuur geeft de effecten weer, waarbij de linker illustratie de effecten van het verdampen van het gesublimeerde (vaste) CO₂ weergeeft. In het volgende figuur is een zijaanzicht van het uitstromende CO₂ te zien.



Figuur 19: Concentratieprofielen Blow-out put Barendrecht 2

Zoals te zien uit bovenstaande figuren levert alleen het verdampen van vast CO₂ een op grondniveau letale concentratie CO₂ op.

De gevolgen voor de blootstelling zijn berekend en opgenomen in onderstaand figuur.



Figuur 20: Letaliteitscontouren blow-out als gevolg van sublimerend CO₂

Uit Figuur 20 is op te maken dat bij een blow out de letale effecten beperkt blijven tot de nabijheid van de put.

2.4.7 Uitstroming in de praktijk

Ter verdere verduidelijking van de uitstromingseffecten welke optreden bij het vrijkomen van CO₂ onder hoge druk zijn hier twee foto's toegevoegd van het gecontroleerd afblazen van een CO₂ pijpleiding (7,8).



Figuur 21: CO₂ uitstroming bij hoge druk



Figuur 22: Foto CO₂ uitstroming bij afblazen superkritische pijpleiding

2.5 Modelleren CO₂ in SafetiNL

De standaard parameterbestanden in SafetiNL geeft foutmeldingen als wordt gerekend met CO₂. De helpdesk van SafetiNL heeft Tebodin een aangepast parameterbestand gestuurd. De aanpassing aan het parameterbestand betreft een “numeriek convergentieprobleem dat is opgelost door de parameterbestanden aan te passen, waarbij is uitgegaan van thermisch equilibrium tussen gas en vloeibaar/vast. Dit model is simpeler en robuuster.”

De helpdesk heeft er met nadruk op gewezen dat dit aangepaste parameterbestand alleen van toepassing is op deze studie en dat in alle andere gevallen gebruik moet worden gemaakt van het standaard Safeti-NL parameterbestand.

2.6 Uitvoering berekening risico's transport en opslag van CO₂

In de volgende hoofdstukken zijn de berekeningswijze en resultaten beschreven van de kwantitatieve risicoanalyses zoals opgesteld voor:

- CO₂ compressorstation Pernis (hoofdstuk 3);
- Ondergrondse buisleiding (Hoofdstuk 4);
- CO₂ injectie Barendrecht (Hoofdstuk 5);
- CO₂-injectie Barendrecht Ziedewij (Hoofdstuk 5).

De resultaten van deze analyses zullen worden getoetst aan de grenswaarde en oriëntatiewaarde voor het plaatsgebonden risico en groepsrisico. Uitgangspunt van de berekening van de risico's is de handleiding Risicoberekeningen BEVI, RIVM/CEV, versie 3 dd. Januari 2008 (HAR1). In dit hoofdstuk zijn de gebruikte faalfrequenties en de modellering van de effecten toegelicht. Daar waar de HAR1 ruimte voor interpretatie biedt, worden de gemaakte keuzen toegelicht. Als bijlage zijn voor alle locaties de gedetailleerde invoergegevens van SafetiNL opgenomen. Daarnaast moet als kanttekening worden opgemerkt dat de BEVI niet van toepassing is op mijnbouwinstallaties en transportleidingen. Voor transportleidingen zal in het ophanden zijnde AMvB Buisleidingen en toekomstige Besluit Externe Veiligheid Transportroutes zoveel mogelijk aangesloten worden met de uitgangspunten gesteld in het BEVI. Bij transportleidingen is getoetst aan de Circulaire risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen.

De scenariobeschrijvingen behorende bij deze analyses zijn te vinden als bijlage.

3 Berekening risico's CO₂ compressorstation locatie Pernis

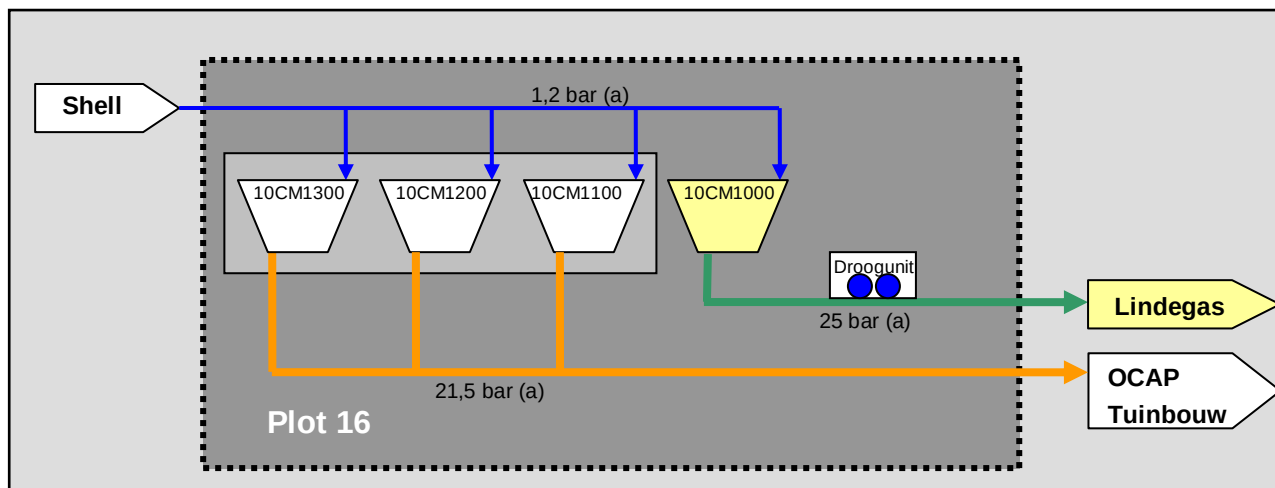
3.1 Inleiding

Momenteel wordt op het CO₂ compressorstation in Pernis (ook wel genoemd "Plot 16") CO₂ op druk gebracht voor verder transport naar afnemers in de glastuinbouw of naar industriële afnemers. Voor de ondergrondse opslag van CO₂ in Barendrecht zal het gas onder een hogere druk worden getransporteerd dan voor de tuinbouw. Hiervoor zijn extra compressoren voorzien op de locatie Pernis, waardoor het risico toeneemt. Om de toename van het risico door de voorgenomen activiteit in beeld te brengen is het risico van de huidige activiteit en de voorgenomen activiteit berekend met Safeti-NL versie .

Huidige situatie

Shell Nederland Raffinaderij zorgt voor een constante stroom van CO₂ gas naar de compressorinstallatie op plot 16. Vanaf hier wordt met 4 compressoren (de OCAP compressoren) CO₂ geleverd aan de glastuinbouw of, na het verwijderen van de minimale verontreinigingen in het gas, naar industriële afnemers. In Figuur 23 is het compressorstation schematisch weergegeven.

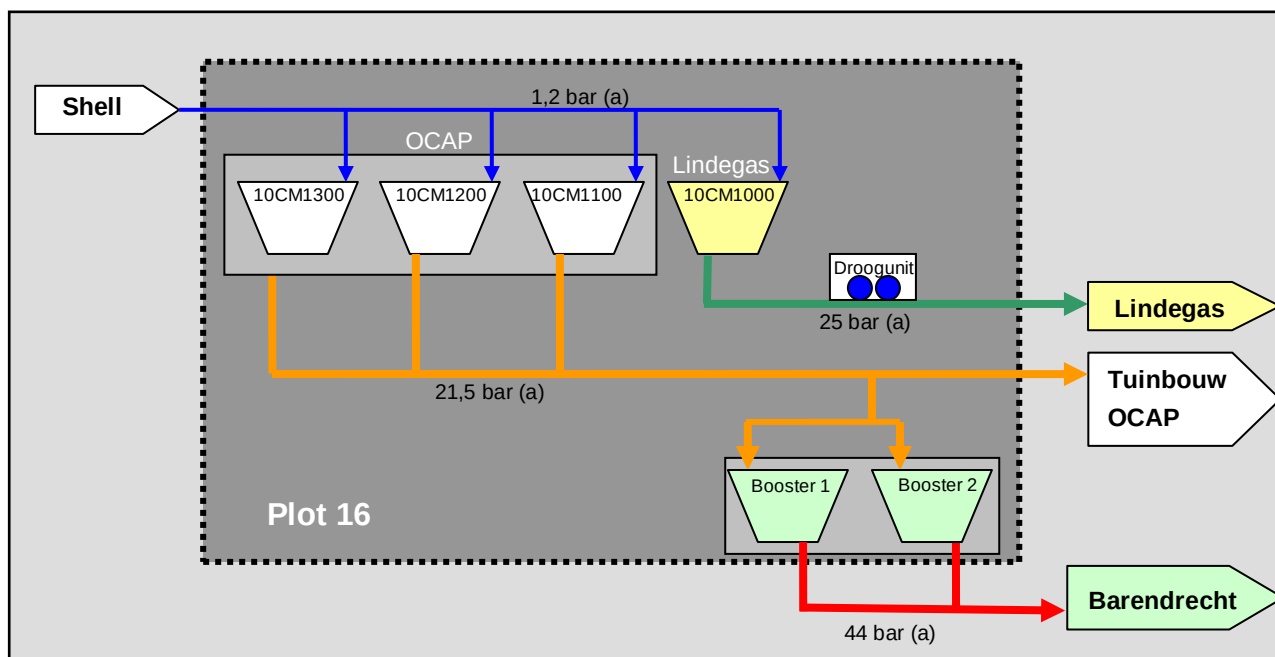
Voor de levering naar de glastuinbouw zijn drie centrifugaal compressoren (OCAP) (10CM1100, 10CM1200 en 10CM1300) geplaatst. De levering van CO₂ aan de glastuinbouw vindt voornamelijk plaats in de zomer. Een vierde compressor (10CM1000) levert via een ontzwavelingsinstallatie CO₂ aan Lindegas onder een druk van 25 bar(g), maar kan eventueel ook worden ingezet voor CO₂ transport naar de Glastuinbouw. Deze compressor is vrijwel continu in bedrijf.



Figuur 23; Bestaande locatie CO₂ compressorstation Pernis situatie met 4 compressoren

Toekomstige situatie

Voor het transport van CO₂ ten behoeve van CO₂ injectie is het noodzakelijk de druk van het CO₂ te verhogen van 21,5 bar(a) naar 40 bar(a). Hiertoe zijn een tweetal boostercompressoren voorzien, zoals afgebeeld in Figuur 24. Deze compressoren voeren de druk van 21,5 bar(a) naar 44 bar(a). Naar verwachting zullen in de toekomstige situatie de compressoren alleen in bedrijf zijn wanneer het CO₂ niet kan worden afgezet in de industrie of tuinbouw .



Figuur 24; Toekomstige situatie locatie compressorstation Pernis met 2 boostercompressoren

3.2 Subselectie, scenario's en incidentfrequenties

Er is geen subselectie uitgevoerd voor het compressorstation Pernis. Alle CO₂ bevattende installatie onderdelen zijn meegenomen in de berekening van het risico.

De CO₂ bevattende onderdelen van het CO₂ compressorstation Pernis zijn onder te verdelen in:

- Compressoren;
- Warmtewisselaars;
- (Proces-) leidingen;
- Procesvaten.

In dit hoofdstuk zijn de voor de QRA gebruikte scenario's beschreven en de aannames voor de modellering van de risico's.

3.2.1 Compressoren

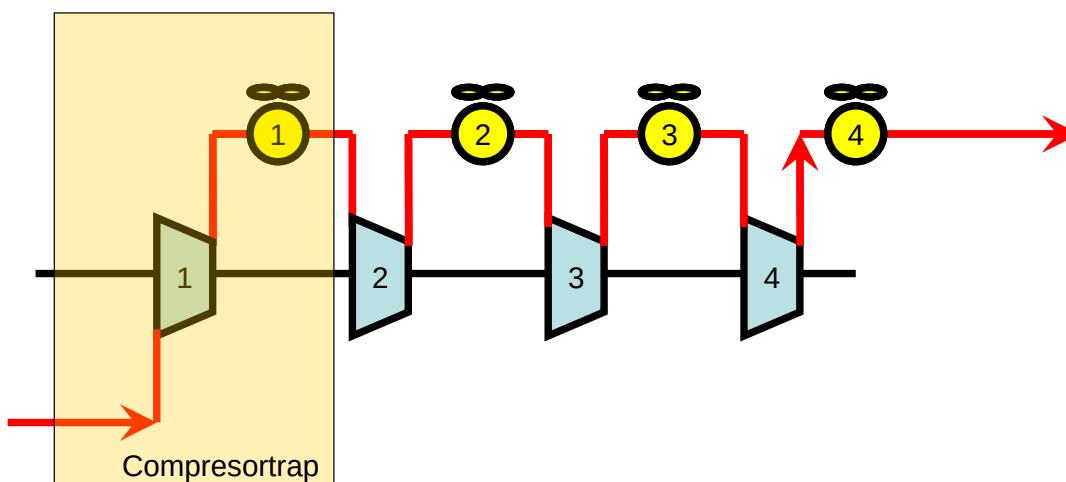
De faalkansen worden in overeenstemming met de OREDA database (Offshore Reliability Data Handbook, 4th edition) voor de machine als geheel gehanteerd inclusief alle compressortrappen. Eventuele tussenkoelers vallen buiten de faalfrequentie. Dit uitgangspunt is ook gehanteerd voor deze QRA.

Tabel 2; Initiële faalscenario's CO₂ Compressoren Pernis

Compressor	Aantal trappen	Druk van/naar [bar(a)]	Doorzet ton/uur	Uitstroming zuigzijde	Uitstroming perszijde
OCAP-compressors	4	1,2 – 21,5	35	Shell-leiding	Tuinbouw leiding
Lindegas compressor	4	21,5 - 25	15	Shell-leiding	Lindegas leiding
Booster compressors	1	21,5 - 44	52,5	Tuinbouw leiding	Leiding naar Barendrecht

Initiële faalscenario's

Zowel de huidige (OCAP en Linde Gas) als toekomstige (Booster) compressoren zijn van het centrifugaal type. De huidige compressoren zijn uitgevoerd met 4 compressietrappen. Deze compressietrappen zijn een integraal onderdeel van één compressor. Na iedere compressietrap wordt het gecomprimeerde gas teruggekoeld met een warmtewisselaar. Een schematische weergave hiervan is opgenomen in Figuur 25.



Figuur 25: Schematisch overzicht uitvoering 4 traps compressor

De boostercompressoren die voor compressie van CO₂ naar Barendrecht zullen zorgen zijn met één compressietrap uitgevoerd. Op basis van de technische uitvoering van de compressoren zijn in Tabel 3 de initiële faalscenario's geselecteerd.

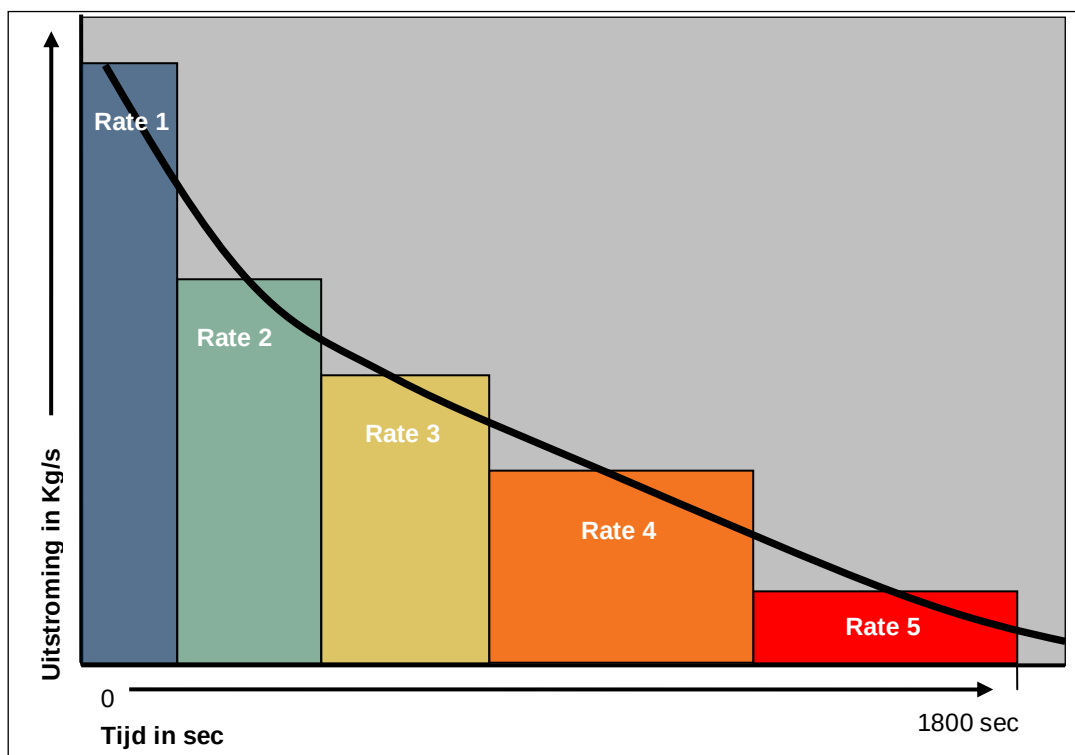
Tabel 3; Initiële faalscenario's CO₂ Compressoren Pernis

Initiële scenario's compressor	Frequentie (per jaar)
Catastrofaal falen	$1 \cdot 10^{-4}$
Lek 10% diameter van de aanvoerleiding, max. 50 mm.	$4,4 \cdot 10^{-3}$

Modellering uitstroming

Bij het catastrofaal falen van een compressor wordt uitgegaan dat CO₂ zal uitstromen uit zowel de zuigzijde als de perszijde. Deze uitstromingen zijn apart gemodelleerd. Dit betekent dat zowel uitstroming uit de toevoer vanaf de Shell Raffinaderij als terugstroming vanuit het CO₂ netwerk zal plaatsvinden bij dit scenario. De compressoren zijn allen uitgevoerd met een terugslagklep en een inblokbeveiliging aan de perszijde (zie Figuur 27).

Uitstroming uit de perszijde is gemodelleerd met het long-pipeline model. Er is een average rate aangenomen omdat dit een korte leiding betreft. Bij terugstroming uit de zuigzijde is gerekend met een long-pipeline model met een multiple rate uitstroming. Dit houdt in dat er gerekend wordt met een tijdsafhankelijke uitstroming in 5 stappen. Hiervoor is gekozen omdat de uitstroming in parameters (temperatuur, uitstroomhoeveelheid, uitstroomsnelheid) sterk varieert over de tijd zoals is afgebeeld in onderstaand figuur.



Figuur 26; Schematische weergave “multiple rate” uitstroming uit een lange pijpleiding

Wanneer een compressor meerdere trappen bevat is een lekkage van een compressor gemodelleerd bij de druk aan de perszijde van de betreffende compressor, de lek diameter is gebaseerd op de afmetingen van de persleiding van de compressor. Bij de boostercompressoren is wel gekozen voor een lek in de aanvoerleiding conform de BEVI.

3.2.2 Warmtewisselaars

Initiële faalscenario's

De warmtewisselaars zijn uitgevoerd als 'gas in mantel', wat inhoudt dat het koelmiddel zich in de leidingen (tubes) bevindt. Voor de warmtewisselaars worden de volgende initiële faalscenario's gebruikt conform de BEVI;

Tabel 4; Initiële faalscenario's warmtewisselaars

Initiële scenario's warmtewisselaars	Frequentie (per jaar)
Instantaan vrijkomen van gehele inhoud	$5 \cdot 10^{-5}$
Vrijkomen van gehele inhoud in 10 minuten in constante en continue stroom	$5 \cdot 10^{-5}$
Continu vrijkomen uit een gat meteen effectief diameter van 10 mm	$1 \cdot 10^{-3}$

Modellering uitstroming

Bij het instantaan falen van de mantel van de warmtewisselaar komt de inhoud van de warmtewisselaar vrij. Het volume van de mantel is klein (ca. 1,4 m³) en de effecten hiervan zijn te verwaarlozen ten opzichte van de effecten van de andere scenario's. Vervolgens zal tweezijdige uitstroming optreden. Deze uitstroming is gemodelleerd zoals bij het catastrofaal falen van de bijbehorende compressor (zie 3.2.1). Om de scenario's eenvoudiger te houden is de faalkans van dit scenario opgeteld bij die van de compressor.

Het scenario vrijkomen van de inhoud van de mantel in 10 minuten is zoals hierboven beschreven een te verwaarlozen scenario. Het vrijkomen uit een gat meteen effectief diameter van 10 mm van een compressor is gemodelleerd bij de druk aan de perszijde van de betreffende compressor.

3.2.3 Leidingen

Initiële faalscenario's

Het bovengrondse leidingwerk van de CO₂ compressoren heeft in alle gevallen een diameter groter dan 150 mm. Hiervoor zijn de volgende initiële faalscenario's voorgeschreven:

Tabel 5; Initiële scenario's bovengronds leidingwerk

Initiële scenario's warmtewisselaars	Frequentie (per jaar)
Breuk van de leiding	$1 \cdot 10^{-7}$
Continu vrijkomen uit een gat met een effectief diameter van 10% van de leidingdiameter	$5 \cdot 10^{-7}$

Tabel 6 geeft een overzicht van de leidingen op het terrein:

Tabel 6; Leidingen CO₂ compressorinstallatie Pernis

Van	Naar	Lengte [km]	Druk [bar(a)]	Leidingdiameter [mm]
Shell	Compressorstation Pernis	1,1	1,2	914
Compressorstation Pernis	Glastuinbouw	105	21,5	610
Compressorstation Pernis	Lindegas (Liquefying unit)	16	25	219
Compressorstation Pernis	Barendrecht	19	44	711

Modellering uitstroming

Leidingen worden in principe berekend met een route waarbij een ongevalfrequentie over deze route wordt weergegeven. Bij deze studie is gekozen om voor de leidingsscenario's op de plots leidingdelen te definiëren met 1 ongevallocatie. Reden hiervoor is de relatief korte lengtes van de routes gecombineerd met een uitstroming uit een lange leiding. De faalkans geldt uitsluitend voor dat deel dat zich op de plot bevindt. Om dit zo realistisch mogelijk te doen is gekozen voor het long pipeline model, waarbij het debiet van de uitstroming in eerste instantie bepaald wordt door de druk, vervolgens door de doorzet. De ongevallocaties zijn in het midden van het leidingdeel gekozen. Een lekkage is gemodelleerd bij de betreffende systeemdruk met een effectieve diameter van 10% van de leidingdiameter met een maximale afmeting van 50mm.

3.2.4 Procesvaten

Initiële faalscenario's

De ontzwavelingsunit is gemodelleerd als een procesvat. Voor een procesvat zijn de volgende initiële faalscenario's voorgeschreven. De ontzwavelingsunit verwijdert minieme verontreinigingen uit het CO₂.

Tabel 7; Droogunit ontzwaveling

Unit	Inhoud m ³	Druk [Bar a]	Scenario	Frequentie (per jaar)
Droogunit ontzwaveling	20	25	Catastrofaal falen	$5 \cdot 10^{-6}$
			Leegstroom 10 minuten	$5 \cdot 10^{-6}$
			Lek 10 mm	$1 \cdot 10^{-4}$

Modellering uitstroming

Het effect van het catastrofaal falen van een vat is gemodelleerd als het falen van een compressor (zie paragraaf 3.2.1). Het leegstromen van de inhoud van een vat in 10 minuten is niet beschouwd omdat de effecten hiervan beperkt blijven tot de nabijheid van de installatie. Een lekkage is gemodelleerd bij de betreffende systeemdruk met een effectieve diameter van 10% van de grootste aansluiting met een maximale afmeting van 50mm.

3.3 Vervolgkansen en omgevingsfactoren

3.3.1 Weersgegevens

Voor de verdeling van windrichting, windsnelheid en atmosferische stabiliteit is uitgegaan van de weersgegevens van het waarnemingsstation Rotterdam. Deze gegevens worden representatief verondersteld voor de locatie Pernis.

3.3.2 Ruwheidslengte (van de ondergrond)

Ten aanzien van de dispersie is conform de HARI gekozen voor een ruwheidslengte van 0,03 meter.

3.3.3 Populatiegegevens

Binnen het invloedsgebied bevinden zich geen (beperkt) kwetsbare objecten.

3.3.4 Repressieve systemen

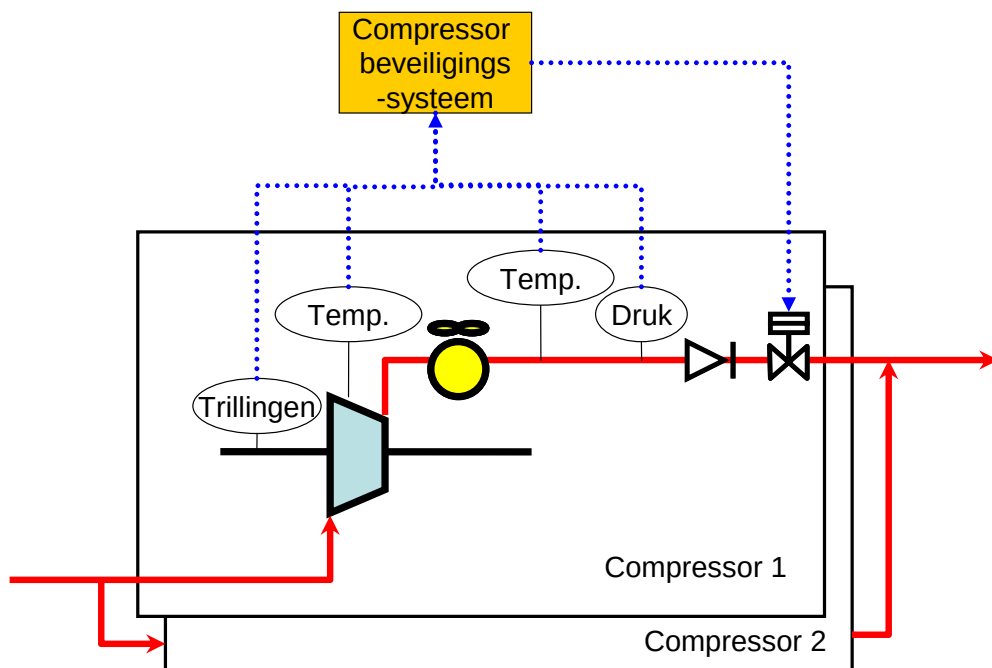
Terugslagklep

Ieder compressor heeft een terugslagklep aan de perszijde. Bij een volledige breuk of catastrofaal falen van een gasvoerend onderdeel in de compressor zal terugstroming optreden vanuit de perszijde van de compressoreenheid. Door de terugslagklep wordt terugstroming voorkomen. De terugslagklep is gemonteerd in een schone, droge omgeving waardoor falen door plakken, corrosie etc wordt voorkomen. Het niet functioneren van een terugslagklep wordt bij iedere opstart van een compressor door het systeem gedetecteerd doordat procesvariabelen afwijken van de verwachte waarde.

Dit beveiligingssysteem heeft in overeenstemming met de Handleiding risicoberekeningen BEVI een kans van falen op aanspraak van 0,06 en een reactietijd van 5 seconden.

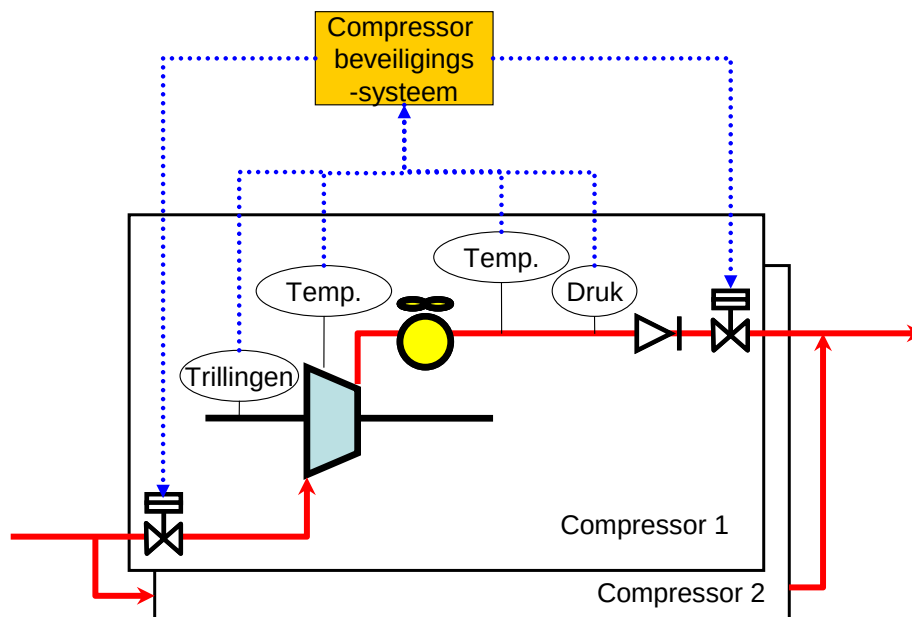
Compressor beveiliging

Iedere compressor is voorzien van instrumenten die continu grootheden meten als druk (van het gecomprimeerde gas, smeerolie etc), temperatuur (van het gecomprimeerde gas, smeerolie, lagers) en trillingen (van de compressor as) etc. In het Figuur 27 is dit schematisch weergegeven voor de bestaande CO₂ compressoren. Bij deze compressoren is aan de inlaatzijde geen blokafsluiter voorzien, daar de inlaat van deze compressoren op slechts een geringe overdruk staat (200 mBar).



Figuur 27: Schematisch overzicht metingen en beveiliging bestaande CO₂ compressor

De nieuwe boostercompressoren zullen echter aan ook aan de zuigzijde worden uitgevoerd met een een blokafsluiter (Figuur 28).



Figuur 28: Schematisch overzicht metingen en beveiliging CO₂ booster compressor

Er zullen continu metingen worden uitgevoerd om de toestand van de compressor te monitoren. Wanneer vooraf bepaalde waarden worden overschreden kan de compressor beschadigd raken. Om dit te voorkomen treedt automatisch het compressor beveiligingssysteem in werking dat de compressor stil zet en insluit. Indien de meetwaarden hiervoor aanleiding geven kan ook de gehele compressoreenheid worden ingesloten. De hiervoor geïnstalleerde blokafsluiters bevinden zich aan de perszijde van de op Plot 16 aanwezige compressoren.

Ook bij grote incidenten, zoals worden gemodelleerd in een QRA, zal het beveiligingssysteem ingrijpen:

- Catastrofaal falen van een compressor zal leiden tot heftige trillingen van de compressor en een drukdaling in de compressoreenheid waarna de compressor zal afschakelen;
- Instantaan falen van warmtewisselaars zal leiden tot een drukdaling in de compressoreenheid waarna de compressor zal afschakelen;
- Breuk van een (Proces-) leiding zal leiden tot een drukdaling in de compressoreenheid waarna de compressor zal afschakelen.

Dit beveiligingssysteem is/zal worden uitgevoerd conform IEC 61508 klasse SIL 2 en heeft in overeenstemming met de handleiding risicoberekeningen BEVI een kans van falen op aanspraak van 0,001 en een reactietijd om voor het sluiten van de blokafsluiters van 2 minuten.

3.3.5 Bedrijfstijden

In onderstaande tabel zijn de bedrijfstijden opgenomen van de compressoren op de locatie Pernis.

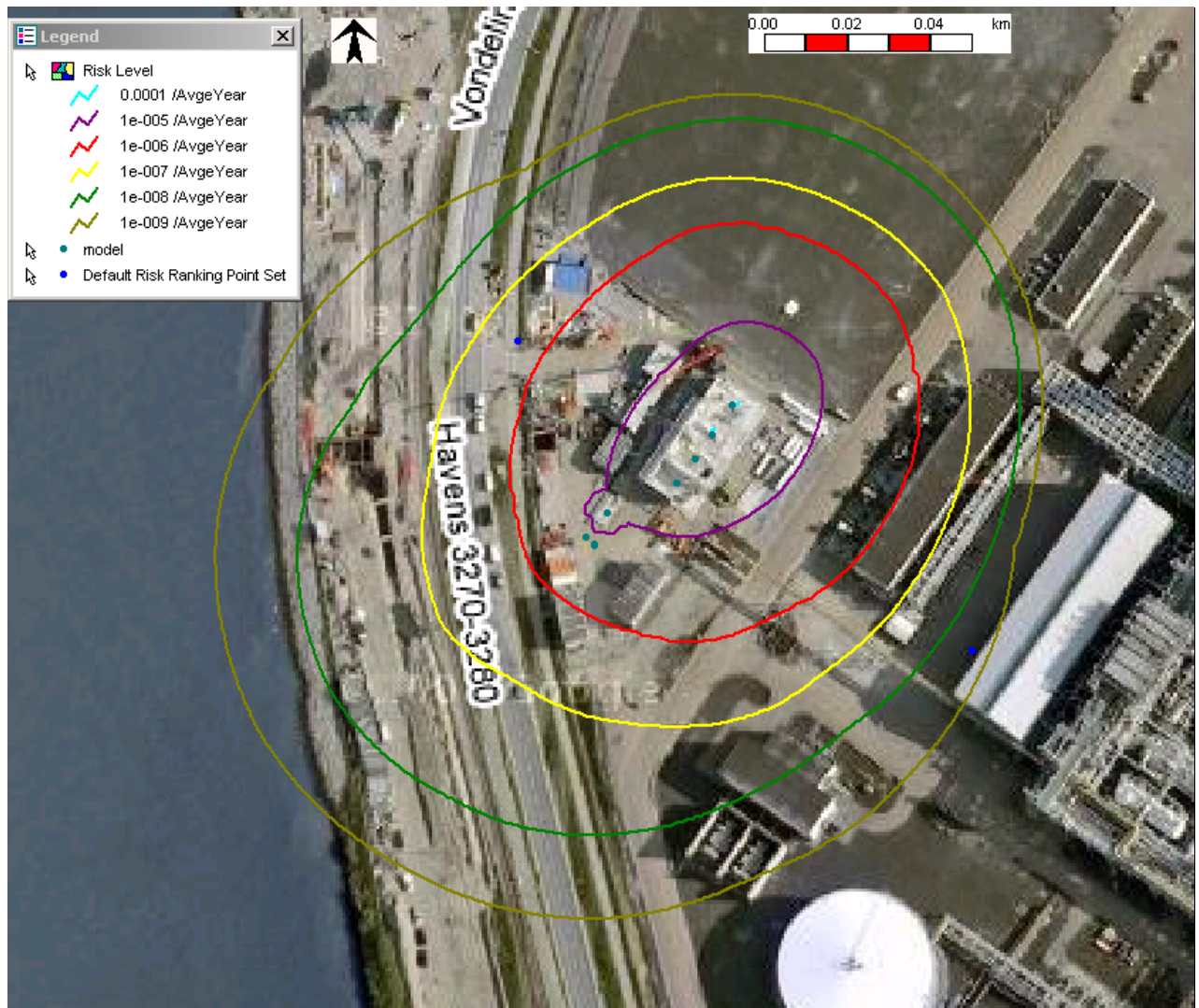
Tabel 8; bedrijfstijden CO₂ Compressoren Pernis

Compressor		Draaiuren per jaar
<i>Bestaande situatie</i>	Lindegas compressor 10CM1000	8.760
	OCAp compressoren 10CM1100 – 1300	4.380
<i>Toekomstige situatie</i>	Lindegas compressor 10CM1000	8.760
	OCAp compressoren 10CM1100 – 1300	8.760
	Boostercompressoren	4.380

3.3.6 Resultaten

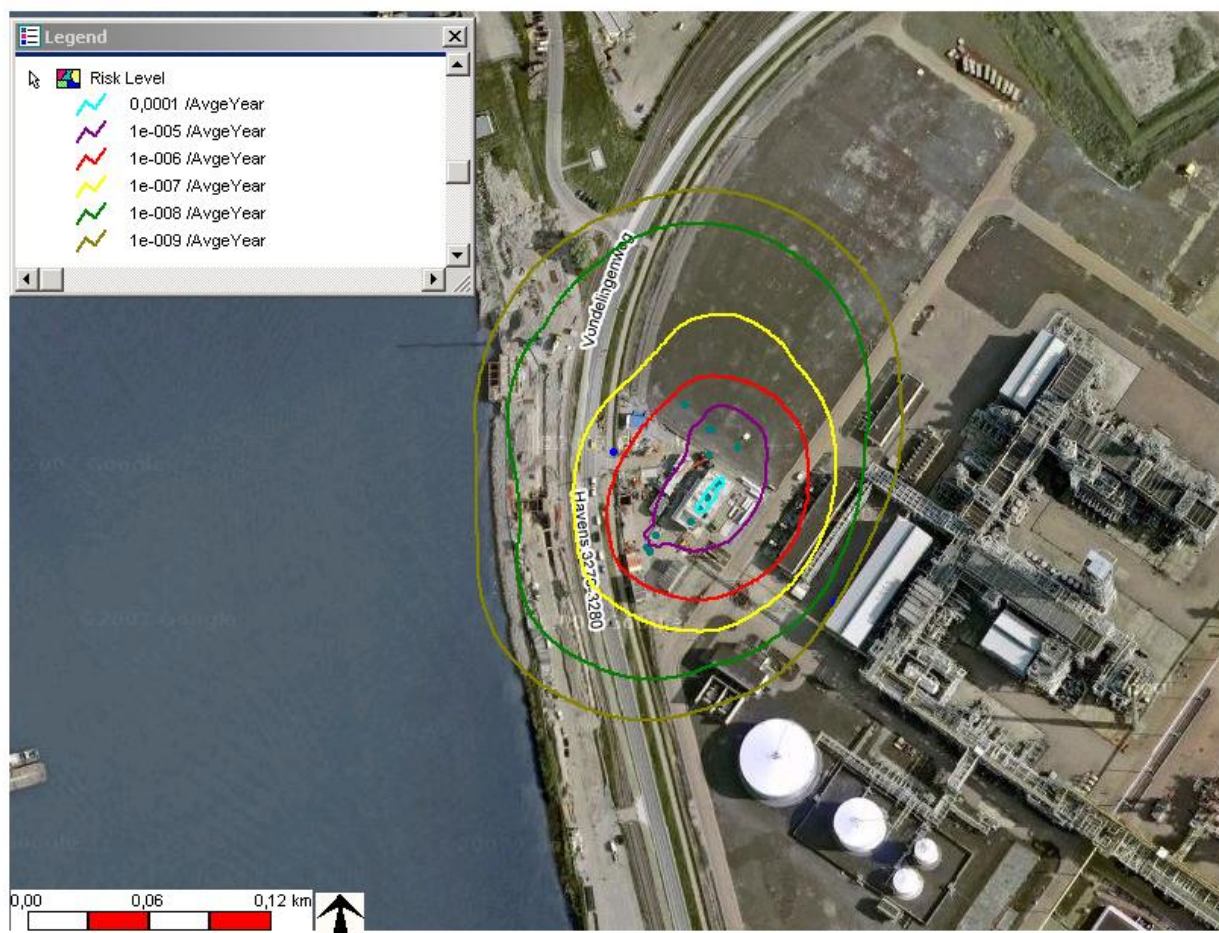
3.3.6.1 Plaatsgebonden risico

In onderstaand figuur is zijn de contouren van het plaatsgebonden risico voor de huidige situatie opgenomen



Figuur 29: PR contouren CO₂ compressorstation Pernis huidige situatie

Binnen de PR contour van 10^{-6} /jaar bevinden zich in de huidige situatie geen kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten. De contouren van de toekomstige situatie zijn opgenomen in Figuur 30.



Figuur 30: PR contouren CO₂ compressorstation Pernis toekomstige situatie

Door het plaatsen van de CO₂ booster compressoren zijn de contouren van het plaatsgebonden risico groter geworden. Ook in de toekomstige situatie zijn er geen kwetsbare of beperkt kwetsbare objecten binnen de PR contour van 10⁻⁶/jaar.

3.3.6.2 Groepsrisico

Binnen het invloedsgebied van de huidige en toekomstige situatie bevinden zich geen (beperkt) kwetsbare objecten. Daarom is door Safeti-NL geen groepsrisico berekend en is het groepsrisico als verwaarloosbaar te beschouwen.

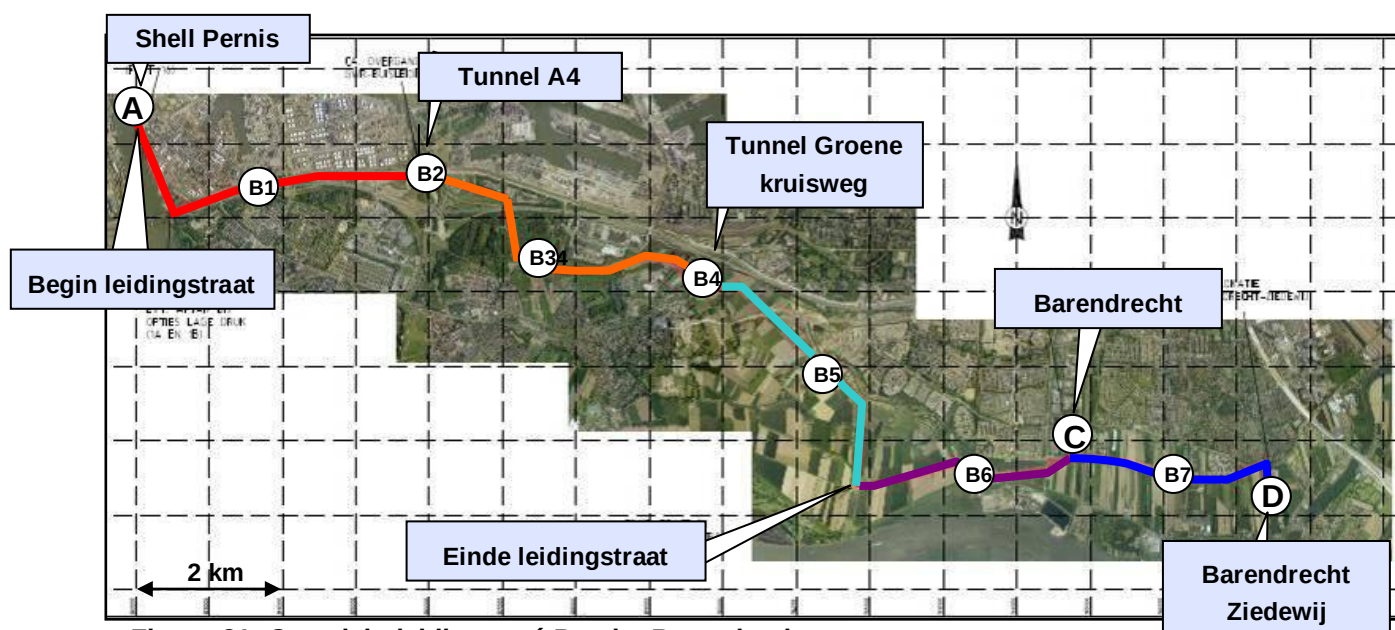
3.3.7 Conclusie CO₂ compressorstation Pernis

Voor zowel de huidige en de toekomstige situatie wordt de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico niet overschreden. Omdat zich binnen het invloedsgebied geen (beperkt) kwetsbare objecten bevinden is het groepsrisico verwaarloosbaar.

4 Berekening risico's ondergrondse buisleiding

4.1 Inleiding

Het gecompriëerde CO₂ zal vanaf Pernis naar de injectielocatie in Barendrecht worden getransporteerd. Hiervoor zal een nieuwe leiding worden aangelegd tussen Pernis en Barendrecht. Deze ondergrondse leiding zal grotendeels door bestaande leidingstraten lopen, te weten de leidingstrook van de Gemeente Rotterdam en de 'Buisleidingenstraat'. Het laatste gedeelte van het leidingtracé zal buiten de leidingstraat lopen. Het leidingtracé is schematisch weergegeven in Figuur 31.



Figuur 31; Overzicht leidingtracé Pernis -Barendrecht

4.2 Subselectie

Er is geen subselectie toegepast, alle CO₂ bevattende onderdelen zijn meegenomen in de berekening van het risico.

4.3 Scenario's en incidentfrequenties

4.3.1 Ondergrondse leidingen

4.3.1.1 Algemeen

De ondergrondse buisleiding is ongeveer 20 km lang en is opgedeeld in verschillende delen. De leiding loopt gedeeltelijk door een leidingstraat en zal door een tweetal leidingtunnels lopen. Deze tunnels, de leidingtunnel onder de Groene Kruisweg en de leidingtunnel onder het Beneluxplein zullen later in dit hoofdstuk aan bod komen. In de MER studie is uitgegaan van een 'base-case' van een 14" leiding. Er is tevens een optie uitgewerkt met een 28" leiding van het begin van de pijpleiding in de leidingstraat tot het einde van de leidingstraat. Voor de berekening van de transportleiding zijn beide cases doorgerekend (zie ook tabel Tabel 9). Voor berekeningen van de plots is uitgegaan van de 28" leiding, daar dit de worst-case benadering vertegenwoordigt.

De CO₂ leiding valt onder de categorie 'overige leidingen', waarvoor in Nederland nog geen berekeningsmethodiek is vastgesteld. Om toch berekeningen te kunnen uitvoeren is zoveel mogelijk aangesloten bij de BEVI. De leidingdelen die eerst beschouwd zullen worden zijn weergegeven in Tabel 9. Hierin zijn de lengte, diameter, bijzonderheden en initiële faalkansen weergegeven.

Tabel 9; Gegevens leidingdelen

Nr.	Initiële faalkans [m^3a^{-1}]		Leidingdiameter [inch]	Lengte [m]	Bijzonderheden
	Breuk	Lek			
B1	$7 \cdot 10^{-9}$	$6,3 \cdot 10^{-8}$	14" of 28"	3.000	Ondergronds in leidingstraat
B2	Nb ¹	Nb	14" of 28"	300	in Leidingtunnel Beneluxplein
B3	$7 \cdot 10^{-9}$	$6,3 \cdot 10^{-8}$	14" of 28"	4.400	Ondergronds, in leidingstraat
B4	Nb	Nb	14" of 28"	73	In leidingtunnel onder de Groene Kruisweg
B5	$7 \cdot 10^{-9}$	$6,3 \cdot 10^{-8}$	14" of 28"	4.400	Ondergronds, in leidingstraat
B6	$1,525 \cdot 10^{-7}$	$4,575 \cdot 10^{-7}$	14"	3.200	Ondergronds, niet in leidingstraat
B7	$1,525 \cdot 10^{-7}$	$4,575 \cdot 10^{-7}$	14"	2.900	Ondergronds, niet in leidingstraat

In de Verenigde staten is momenteel bijna 6.400 km CO₂ transportleiding onder controle van de Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) van het Department Of Transportation. Uit de rapportages van de PHMSA sinds 1994 blijkt dat CO₂ transportleidingen worden gekenmerkt door specifiek goede veiligheidscijfers. (ref. 6). Het gebruik maken van de faalkansen volgens BEVI voor deze transportleidingen is alleszins acceptabel.

Uit de tabel is op te maken dat op het moment van schrijven van de risicoanalyse nog geen beslissing is genomen over de leidingdiameter. Om de risico's te bepalen is uitgegaan van de situatie waarbij de risico's van een leiding met een diameter van 14" en van een leiding met een diameter van 28" worden berekend.

4.3.1.2 Modellerings uitstroming ondergrondse leidingen

De modellering van de effecten van een leidingbreuk is gebaseerd op tweezijdige uitstroming. Zowel de toevoer als de terugstroming is gemodelleerd als een uitstroming met het "multiple rate" model met onderverdeling in 5 segmenten. Dit houdt in dat er gerekend wordt met een tijdsafhankelijke uitstroming in 5 stappen. Hiervoor is gekozen omdat de uitstroming in parameters (temperatuur, uitstroomhoeveelheid, uitstroomsnelheid) sterk varieert over de tijd. Een lek is gemodelleerd als een lekkage met een effectieve diameter van 20 mm bij de maximaal in de leiding heersende druk van 44 bar(a).

4.3.2 Leidingtunnels

Op 2 locaties loopt het leidingtracé door een leidingtunnel. Dit betreft de:

- Leidingtunnel Beneluxplein (onder de A4, lengte 300 meter); deze tunnel is nog niet gebouwd. De constructie zal dit jaar aanvangen. Voor de faalscenario's is gebruik gemaakt van de ontwerptekeningen.
- Leidingtunnel onder de Groene Kruisweg (lengte 73 meter).

¹ Er is in Nederland geen faalkans voor een leidingtunnel vastgelegd. In paragraaf 4.3.2 zal hierop ingegaan worden

4.3.2.1 Faalkans leidingen in leidingtunnels

Algemeen

De Handleiding Risicoberekeningen [8] en het Paarse Boek (CPR 18E) geven standaard faalfrequenties voor leidingen op een inrichting en voor transportleidingen. Deze faalfrequenties zijn generiek en houden niet specifiek rekening met de getransporteerde stof, onderliggende faaloorzaken of ontwerp van de leiding, toegepaste materialen, etc. In het voorgaande zijn voor veldleidingen deze faalfrequenties gehanteerd.

In de Handleiding Risicoberekeningen en het Paarse boek zijn geen faalfrequenties voor leidingen in leidingtunnels gedefinieerd. Daarom is hier een nadere analyse noodzakelijk.

Faalkanscijfers voor de Europese situatie kunnen in principe getoetst worden aan de CONCAWE incidenten database (voor olie- en olieproducten leidingen) en/of de EGIG database (voor hoge druk gastransportleidingen). Meer toegespitst op de situatie in Nederland zijn de incidentendatabase van Gasunie voor het hoge druk gastransportnet en de gegevens van de Vereniging van Leidingeigenaren in Nederland (VELIN).

De NEN 3650-1:2003 geeft aan dat er faalkansbeperkende maatregelen kunnen worden toegepast bij het ontwerp van een buisleidingen. De faalkans beperkende maatregelen welke van toepassing zijn op de leidingtunnel zijn:

- Afscherming van de leiding
Leidingen in leidingtunnels lopen door een gecontroleerde omgeving, waardoor incidenten door aangraving of externe corrosie niet, of in veel mindere mate, kunnen optreden. De leiding is aan alle zijden beschermd tegen invloeden van buitenaf.
- Wandiktetoeslag
De leiding heeft in de leidingtunnel een extra wanddiktetoeslag van 50%

Gegevens Gasunie

Gasunie heeft voor het hoofd- en regionaal transportnet in Nederland een eigen database ontwikkeld. Uit deze database volgt verder dat de faalkans voor het hoge druk gastransportnet in Nederland vrijwel geheel (voor 99 %) bepaald wordt door de categorie "external interference". De overige faaloorzaken hebben een nagenoeg verwaarloosbare bijdrage.

Gegevens VELIN

De Vereniging van Leidingeigenaren in Nederland (VELIN) heeft een eigen inventarisatie en analyse gemaakt van het aantal door VELIN leden pijpleidingincidenten. Deze rapportage omvat ca 12.000 km hoge druk gasleiding en 5.000 km olie- en olieproductleidingen en beslaat de periode 1999-2004. Deze rapportage omvat niet alleen de incidenten met uitstroom, maar ook de "Near misses" en "Narrow escapes". De rapportage vermeldt "third party interference" als veruit de belangrijkste oorzaak van incidenten: in 2004 98 % van het geregistreerde totaal. ("Registratie en analyse van pijpleidingincidenten 2004, tweede voortgangsrapportage juni 2006).

Faalkans van de nieuwe CO₂ leiding in de leidingtunnel

De geplande nieuwe CO₂ leiding, waarbij ontwerp, materialen, aanleg en beheer vergelijkbaar is met een nieuwe gasleiding en met een maximale druk van 44 Bar(a) is in principe vergelijkbaar met een hoge druk aardgastransportleiding. Dit betekent dat uitgegaan kan worden van gegevens uit de Gasunie Database, waarbij het aandeel “ external interference” bijna 100% bedraagt.

Het enige verschil met een nieuwe Gasunieleiding is het getransporteerde product, waardoor in principe een verschil kan ontstaan in de faaloorzaak interne corrosie. Het te transporteren CO₂ wordt echter droog aangeleverd door de Shell Raffinaderij in Pernis waardoor er geen verschil is (mbt corrosie) met aardgas.

Conform de Gasunie casuïstiek kan dus worden uitgegaan van vrijwel 100 % “external interference” als belangrijkste faaloorzaak. Voor de goede orde wordt hierna ook op de andere categorieën faaloorzaken ingegaan:

Mechanical

De leiding wordt ontworpen conform NEN 3650-2003. Hierin zijn voorschriften opgenomen voor het ontwerp en constructie van de leiding en worden diverse controles en inspecties voorgeschreven tijdens de fabricage en oplevering van de leiding. Hierdoor worden alleen gecertificeerde materialen gebruikt tijdens het productieproces. Het productieproces zelf en de constructie van de leiding word gecontroleerd door een hiertoe bevoegde instantie (Notified Body). Leidinggedeeltes in leidingtunnels zullen 100% m.b.v. NDO (Niet destructief Onderzoek) worden gecontroleerd op goede uitvoering van het laswerk. Voor wat betreft de uitvoering van de leiding wordt een wanddikte toegepast die 50% dikker is, t.o.v. een normale landleiding, dan de NEN 3650 voorschrijft.

Operational

De leiding zal worden beheerd m.b.v. een Pipeline Management Systeem, zoals vereist volgens hoofdstuk 10 van NEN 3650: 2003 en de nadere uitwerking daarvan in de nieuwe NTA 8000;2008. Onderhoud aan de leiding is beperkt tot visuele inspectie van de buitenzijde van de CO₂ transportleiding. De binnenzijde en buitenzijde worden geïnspecteerd met “intelligent pigs”, Voor het onderhoud zijn voorschriften opgesteld en onderhoud wordt alleen uitgevoerd door gecertificeerd personeel. Andere oorzaken, zoals het optreden van te hoge drukken in de leiding is uitgesloten omdat bij overschrijden van de maximale ingestelde druk het compressorstation in Pernis wordt uitgeschakeld. Deze beveiliging heeft een SIL klasse 2.

Er mogen alleen op zeer beperkte schaal werkzaamheden worden uitgevoerd in de tunnel. De leidingtunnel is normaliter afgesloten en toegang tot de leidingtunnels wordt alleen gegeven aan goedgekeurd onderhoudspersoneel. Activiteiten in de tunnel zijn beperkt door een werkvergunningstelsel waardoor bijvoorbeeld las-of snijwerkzaamheden in de tunnel zijn verboden. Andere werkzaamheden mogen alleen onder toepassing van strikte voorwaarden plaatsvinden. Het gebruik van zwaar materieel is hierbij verboden. Opslag van brandbare materialen in de leidingtunnel is niet toegestaan. Bij gebruik van brandbare materialen in de leidingtunnel is de aanwezigheid van een brandblusser verplicht.

Third Party

Door de constructie van de leidingtunnel is beschadiging door derden onwaarschijnlijk. Beschadiging van de leiding door aangraven of diepploegen is gezien de betonnen constructie van de leidingtunnel niet mogelijk.

Onzorgvuldige aanleg van nieuwe leidingen in de tunnel is een potentiële schadeoorzaak, de kans hierop kan echter door een stringent pakket van vergunningeisen, melding, toezicht en uitvoeringsmaatregelen vergaand worden ingeperkt.

Bepaling faalkans

- De CO₂ transportleiding zal volledig worden ontworpen volgens NEN 3650. De basis voor de bepaling van de faalkans vormt daarom de faalkans voor NEN 3650 leidingen volgens de PGS 3 ($6.1 \cdot 10^{-4}$). Hierdoor wordt de reductiefactor van 8.71 voor de aanleg van de leiding in een leidingstraat niet meegenomen.
- De PGS 3 bepaalt de kans op volledig breuk van de leiding in een leidingstraat als ééntiende van de kans op falen van de leiding.
- De situatie van een leiding in de leidingtunnel is vergelijkbaar (of zelfs beter) dan de situatie waarin een beheerovereenkomst wordt afgesloten waarbij de eigenaar van de grond afziet van het gebruik van de grond met vergaande beperkingen. Hierdoor wordt alle kans op beschadiging van buitenaf (99%) uitgesloten. Hiervoor wordt daarom een reductiefactor van 100 gehanteerd.
- Daarnaast vermindert de wanddiktetoeslag de kans op falen van de leiding. Op basis van de gegevens van EGIG is een relatie te vinden tussen de reductie in faalkans als functie van de wanddiktevergroting. Voor een wanddikte toeslag van 50% kan normaal rekening gehouden worden met een reductiefactor van ongeveer 10.
- Gezien het bovenstaande is het aannemelijk dat de faalfrequentie voor leidingen in een leidingtunnel veel lager is dan die voor leidingen in een leidingtracé, maar ook dat de schadeoorzaken "Mechanical failure", "Operational" en "Corrosion" praktisch uitgesloten kunnen worden. Het toepassen van een faalfrequentiereductie is dan ook reëel te noemen.
- De faalkans welke in deze studie is gehanteerd is bepaald als:

$$\text{Faalkans leidingtunnel} = \frac{6.1 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 100} = 6.1 \cdot 10^{-7} \text{ (1/km*yr)}$$

- Hierbij is de beperking van de faalkans door de wanddiktetoeslag niet additioneel meegenomen. Hierdoor heeft de faalkans van de tunnels een conservatief uitgangspunt.

4.3.2.2 Initiële faalscenario's leidingen in een leidingtunnel

Er wordt van uitgegaan dat uitsluitend bij een breuk het vrijkomen van CO₂ in de leidingtunnel zal leiden tot het falen van de stalen afdekplaten. Bij een lek zal dit naar verwachting niet optreden. Daarnaast zijn de effecten bij een lek verwaarloosbaar vergeleken met de effecten bij een breuk. (de 10⁻⁹ PR contour maximale scenario Beneluxtunnel 28" ligt op ongeveer 30 meter, er wordt geen PR 10⁻⁶ berekend) Lekscenario's zijn daarom niet meegenomen in de leidingtunnelscenario's.

4.3.2.3 Modellerings uitstroming

Na het optreden van een volledige breuk zal het CO₂ tweezijdige uitstromen. Hierdoor zal de druk in de leidingtunnel snel oplopen. Aan de uiteinden van de leidingtunnel bevinden zich stalen luiken, deze stalen luiken worden door hun eigen gewicht op hun plaats gehouden. Gezien de constructie van deze luiken wordt verwacht dat deze weggeblazen zullen worden, waarna het CO₂ vertikaal zal uitstromen. Bij het vrijkomen van de CO₂ in de leidingtunnel zal een gedeelte van de hoge uitstroomsnelheid verloren gaan. Daarom zal het CO₂ met een lage snelheid uit de leidingtunnel stromen. In de buitenlucht zal het CO₂ opmengen met de lucht en vindt verdunning plaats naar lagere, minder gevaarlijke CO₂ concentraties.

SafetiNL biedt geen mogelijkheid om een dergelijke uitstroming direct te modelleren. De uitstroming uit de leidingtunnel is daarom gemodelleerd als een continue verticale uitstroming met een lage uitstroomsnelheid.

Een tweede modelleringsaspect is het met de tijd afnemende uitstroomdebiet. Dit is als volgt gemodelleerd. Voor de berekening is de uitstroming uit de leiding bepaald op basis van het multiple rate (5 rates) long pipeline model. Het model is schematisch weergegeven in Figuur 26. Om de uitstroming te bepalen is gerekend met een "long pipe-line" model met tweezijdige uitstroming en een multiple rate met 5 stappen. Voor iedere stap zijn de relevante gegevens als druk, temperatuur bepaald. Vervolgens zijn deze stappen gemodelleerd als "user defined source". Voor elk van de 5 stappen van deze uitstroming is de volumestroom bepaald. Door deze volumestroom te delen door het uitstromingsoppervlak (oppervlak van alle luiken) is de verticale uitstromingssnelheid bepaald.

Bij de modellering is eveneens rekening gehouden dat de helft van de tijd CO₂ doorgevoerd zal worden voor injectie. Bij de modellering is daarom onderscheid gemaakt in een uitstroming tijdens injectie en een uitstroming van de inhoud van de leiding bij maximale druk.

4.4 Vervolgkansen en omgevingsfactoren

4.4.1 Weersgegevens

Voor de verdeling van windrichting, windsnelheid en atmosferische stabiliteit is uitgegaan van de weergegevens van het waarnemingsstation Rotterdam. Deze gegevens worden representatief verondersteld voor de locaties van de tunnel.

4.4.2 Ruwheidslengte (van de ondergrond)

Ten aanzien van de dispersie is conform de HARI gekozen voor een ruwheidslengte van 0,03 meter (default) voor de Leidingtunnel onder de Groene Kruisweg, en 1 meter voor de Leidingtunnel Beneluxplein (industriegebied).

4.4.3 Populatiegegevens

Berekeningen hebben uitgewezen dat er voor transportleidingen geen risico's zijn berekend. Bij de leidingtunnels zijn gezien de indicatieve status en de grote mogelijke effecten op basis van het groene boek (PGS 1 deel 6) en inwonersaantallen van de locaties binnen het berekende invloedsgebied de aanwezigen bepaald.

4.5 Risicokader

De risiconormering voor buisleidingen zal binnenkort van kracht worden en zal in lijn zijn met de overige wetgeving op extern veiligheidsgebied. In zijn brief aan de Tweede Kamer van 9 februari 2007 stelt de Minister van VROM tevens dat:

Voor nieuwe leidingen voor aardgas en (olie)producten overweeg ik in de regelgeving voor buisleidingen de eis op te nemen dat deze zodanig aangelegd dienen te worden dat de PR 10^{-6} contour zo veel mogelijk 'op de leiding' komt te liggen en dat sprake is van een verantwoorde afweging van het groepsrisico. Deze eisen gaan in beginsel ook gelden als een bestaande leiding wordt vervangen of als een bestaande leiding gebruikt gaat worden voor het vervoer van een andere gevaarlijke stof. Zo wordt het ontstaan van nieuwe knelpunten voorkomen.

Gezien het bovenstaande is in deze studie het volgende risicobedoelingskader gehanteerd.

Plaatsgebonden risico

Voor het plaatsgebonden risico gelden de grenswaarde zoals gesteld in het BEVI.

Groepsrisico

De risiconormering van het groepsrisico is gebaseerd op de "Circulaire Risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen". Dit geeft aan dat de richtwaarde voor het groepsrisico wordt bepaald door de lijn door de punten

- 10^{-4} voor een ongeval met tenminste 10 dodelijke slachtoffers;
- 10^{-6} voor een ongeval met tenminste 100 slachtoffers;
- 10^{-8} voor een ongeval met tenminste 1000 slachtoffers.

4.6 Resultaten risicoberekeningen transportleidingen

Na het bezwijken van een CO₂ leiding onder hoge druk treden grote uitstroomsnelheden op. Het vertikaal uitstromende CO₂ krijgt hierdoor een hoge snelheid waardoor lucht zal worden ingemengd in het uitstromende CO₂. Hierdoor zal de concentratie CO₂ afnemen en worden snel concentraties bereikt die geen letale effecten veroorzaken bij blootstelling. SafetiNL berekent dan ook geen risicocontouren voor een breuk bij een ondergrondse leiding. De effectcontouren zijn opgenomen in Figuur 11.

4.7 Resultaten Leidingtunnels

4.7.1 Resultaten leidingtunnel Beneluxplein 14"

Plaatsgebonden risico

In onderstaand figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico opgenomen voor de 14" pijpleiding in de Leidingtunnel Beneluxplein.

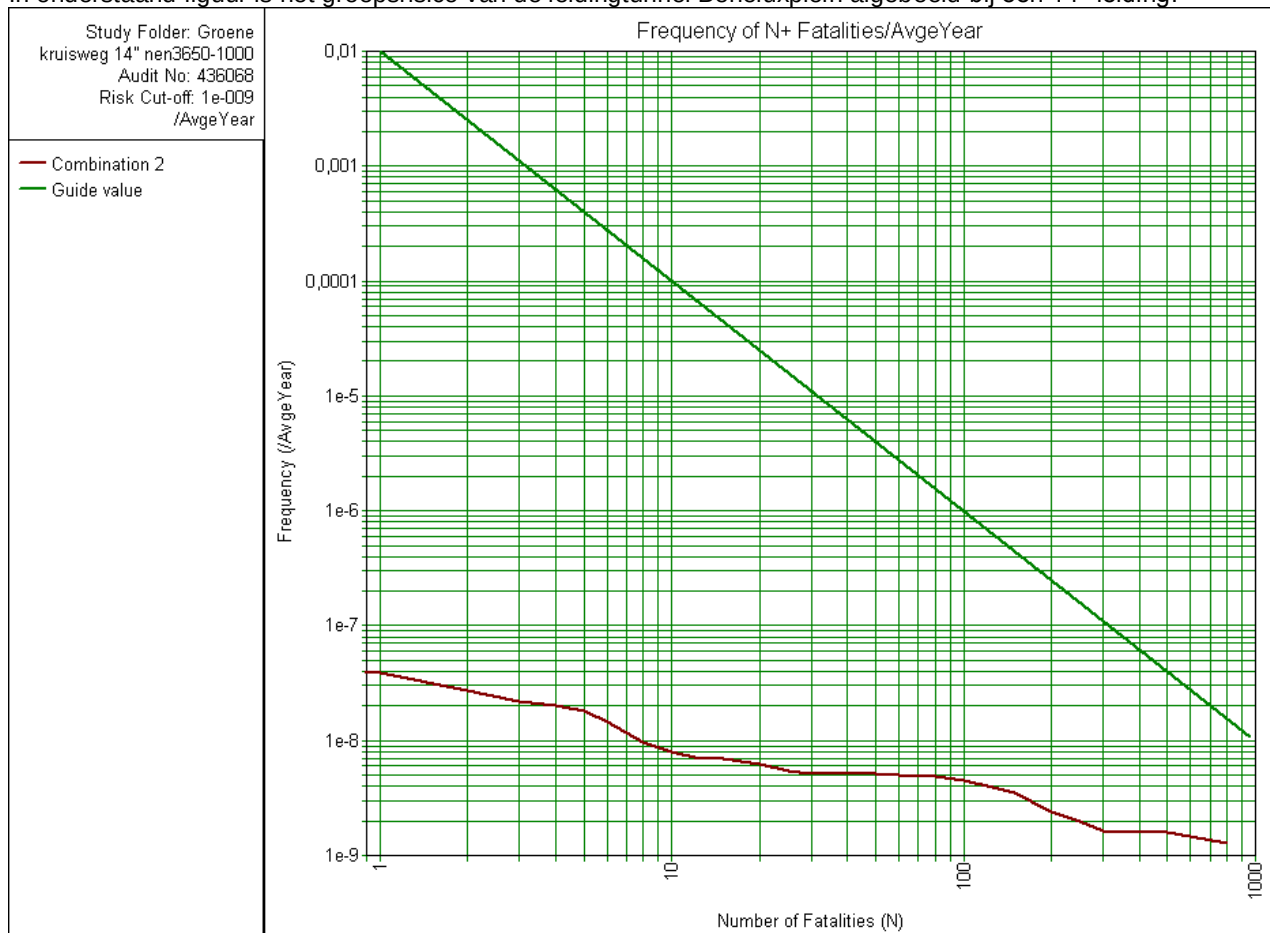


Figuur 32: Contouren plaatsgebonden risico Leidingtunnel Benelux (14" pijpleiding)

De resultaten laten zien dat er rondom de tunnelopeningen geen PR contour van 10^{-6} /jaar is berekend. Hierdoor is het risico lager dan de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico. De PR contour van 10^{-9} /jaar ligt op ca 830 meter van de leidingtunnel.

Groepsrisico

In onderstaand figuur is het groepsrisico van de leidingtunnel Beneluxplein afgebeeld bij een 14" leiding.



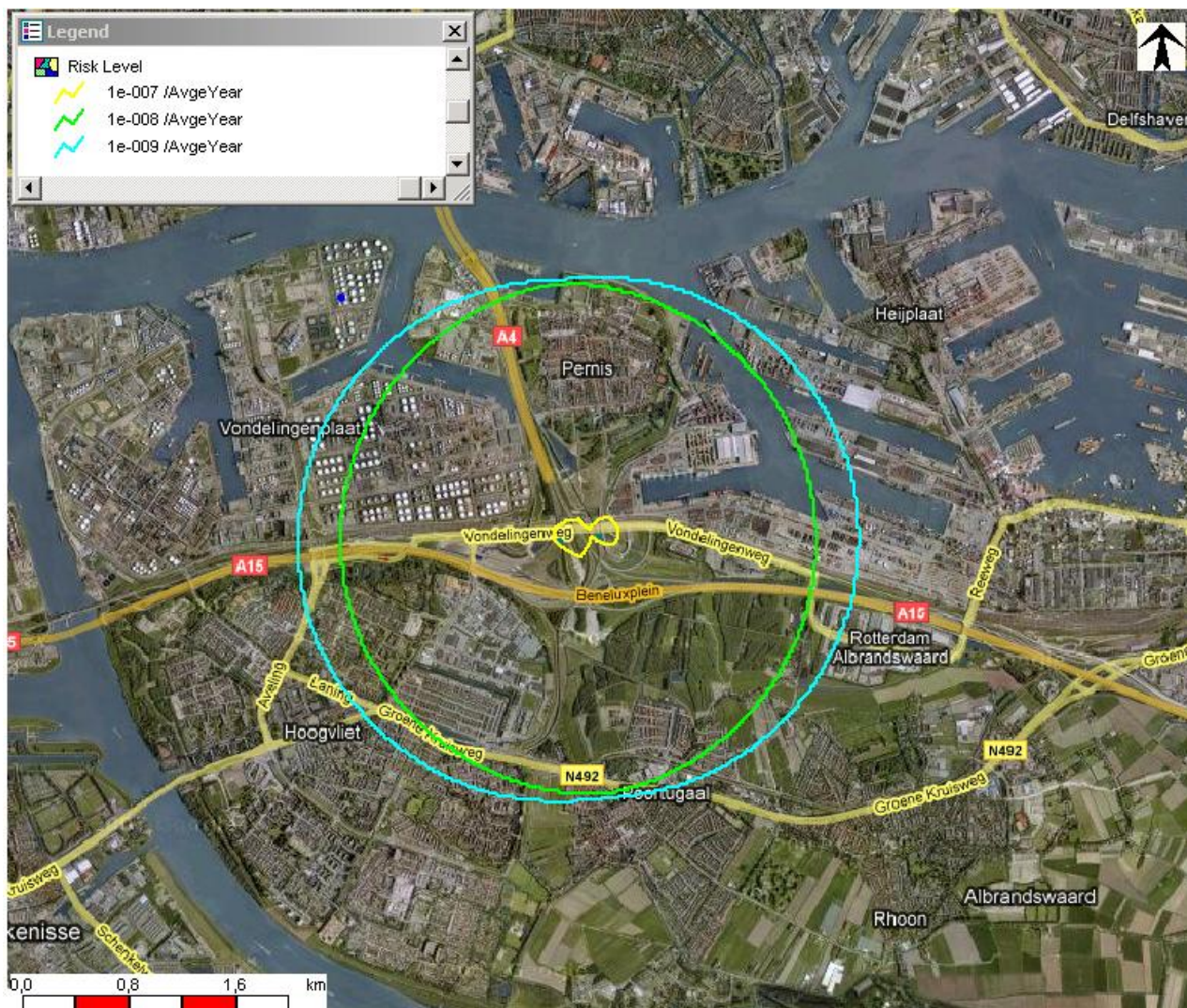
Figuur 33: Groepsrisico ten opzichte van de oriënterende waarde Leidingtunnel Beneluxplein

Het groepsrisico laat geen overschrijding zien van de oriënterende waarde.

4.7.2 Resultaten leidingtunnel Beneluxplein 28"

Plaatsgebonden risico

In onderstaand figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico opgenomen voor de 28" pijpleiding in de Leidingtunnel Beneluxplein.

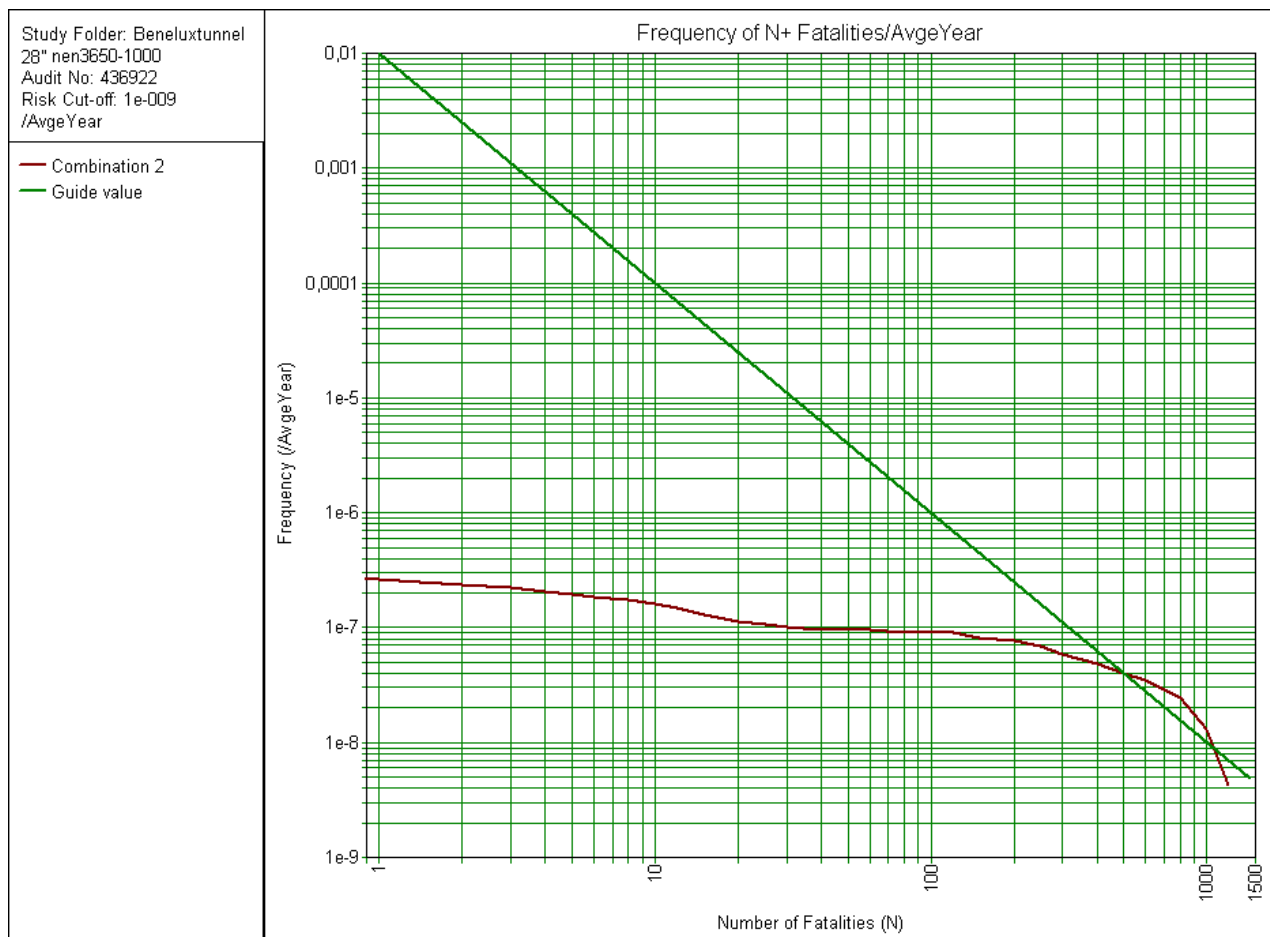


Figuur 34: Contouren plaatsgebonden risico Leidingtunnel Benelux (28" pijpleiding)

Er is geen contour van het plaatsgebonden risico aanwezig van 10^{-6} /jaar. Hierdoor is het risico lager dan de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico. De PR contour van 10^{-9} /jaar ligt op ca 2 kilometer van de leidingtunnel.

Groepsrisico

In onderstaand figuur is het groepsrisico van de leidingtunnel Beneluxplein afgebeeld.



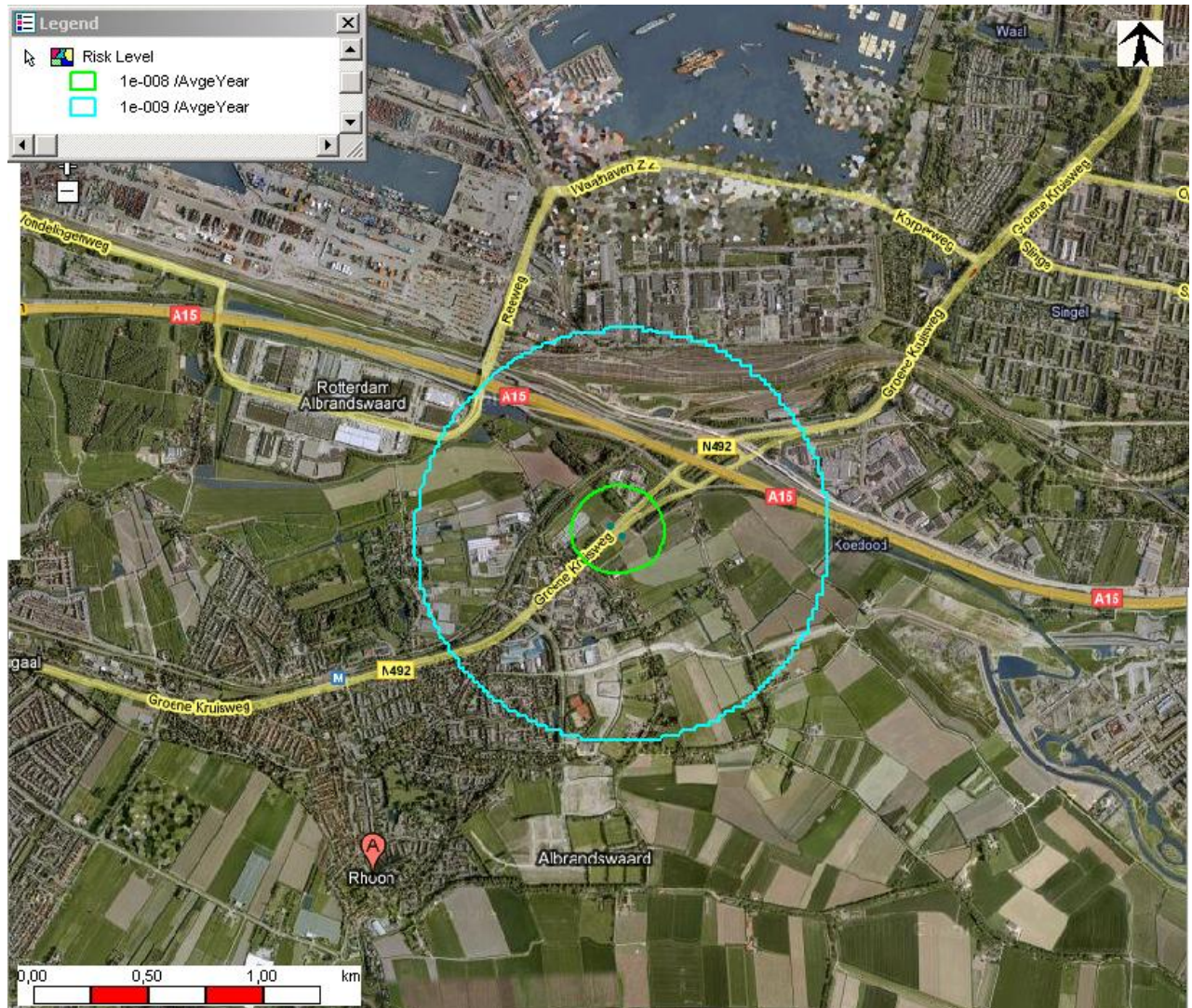
Figuur 35: Groepsrisico ten opzichte van de oriënterende waarde Leidingtunnel Beneluxplein

Het groepsrisico laat een lichte overschrijding zien van de oriënterende waarde.

4.7.3 Leidingtunnel onder de Groene Kruisweg 14''

Plaatsgebonden risico

In onderstaand figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico opgenomen.

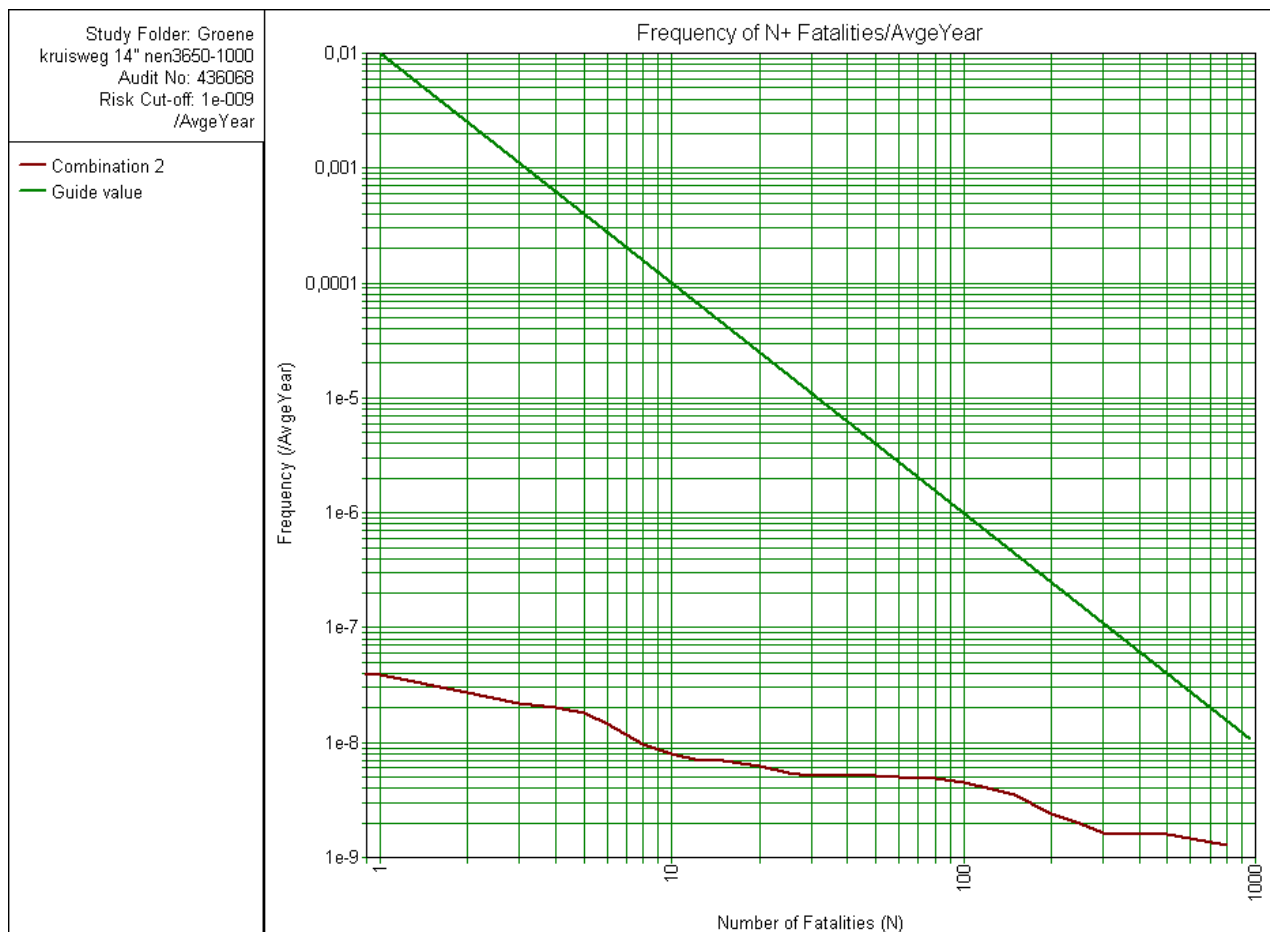


Figuur 36: Contouren plaatsgebonden risico Leidingtunnel Groene Kruisweg (14'' pijpleiding)

Er is geen contour van het plaatsgebonden risico aanwezig van 10^{-6} /jaar. Hierdoor is het risico lager dan de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico. De PR contour van 10^{-9} /jaar ligt op ca 800 meter van de leidingtunnel.

Groepsrisico

In onderstaand figuur is het groepsrisico van de leidingtunnel onder de Groene Kruisweg afgebeeld.



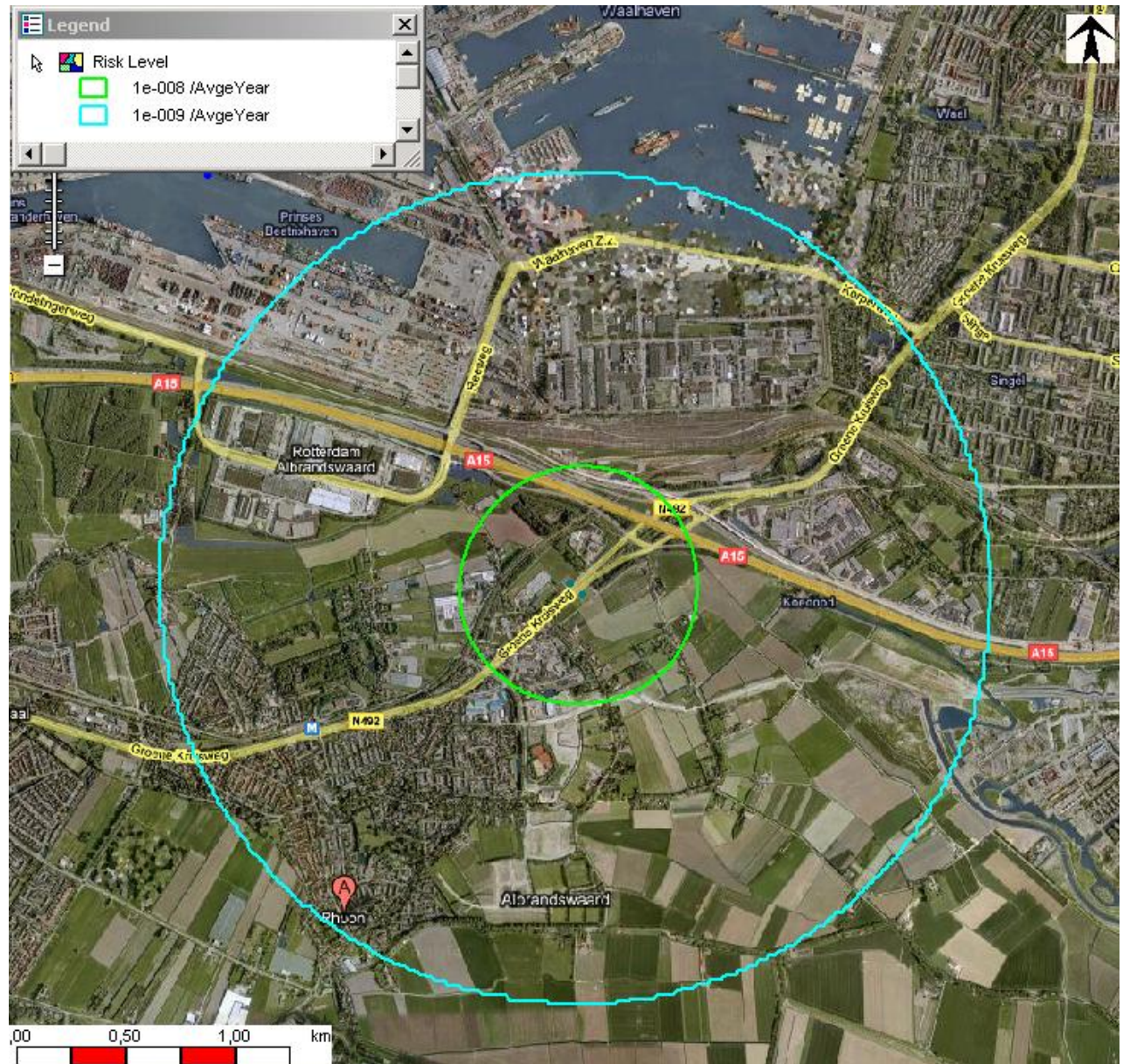
Figuur 37: Groepsrisico ten opzichte van de oriënterende waarde Leidingtunnel Groene Kruisweg 14"

Het groepsrisico ligt onder de oriënterende waarde. Er is geen overschrijding van het groepsrisico.

4.7.4 Leidingtunnel onder de Groene Kruisweg 28''

Plaatsgebonden risico

In onderstaand figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico opgenomen.

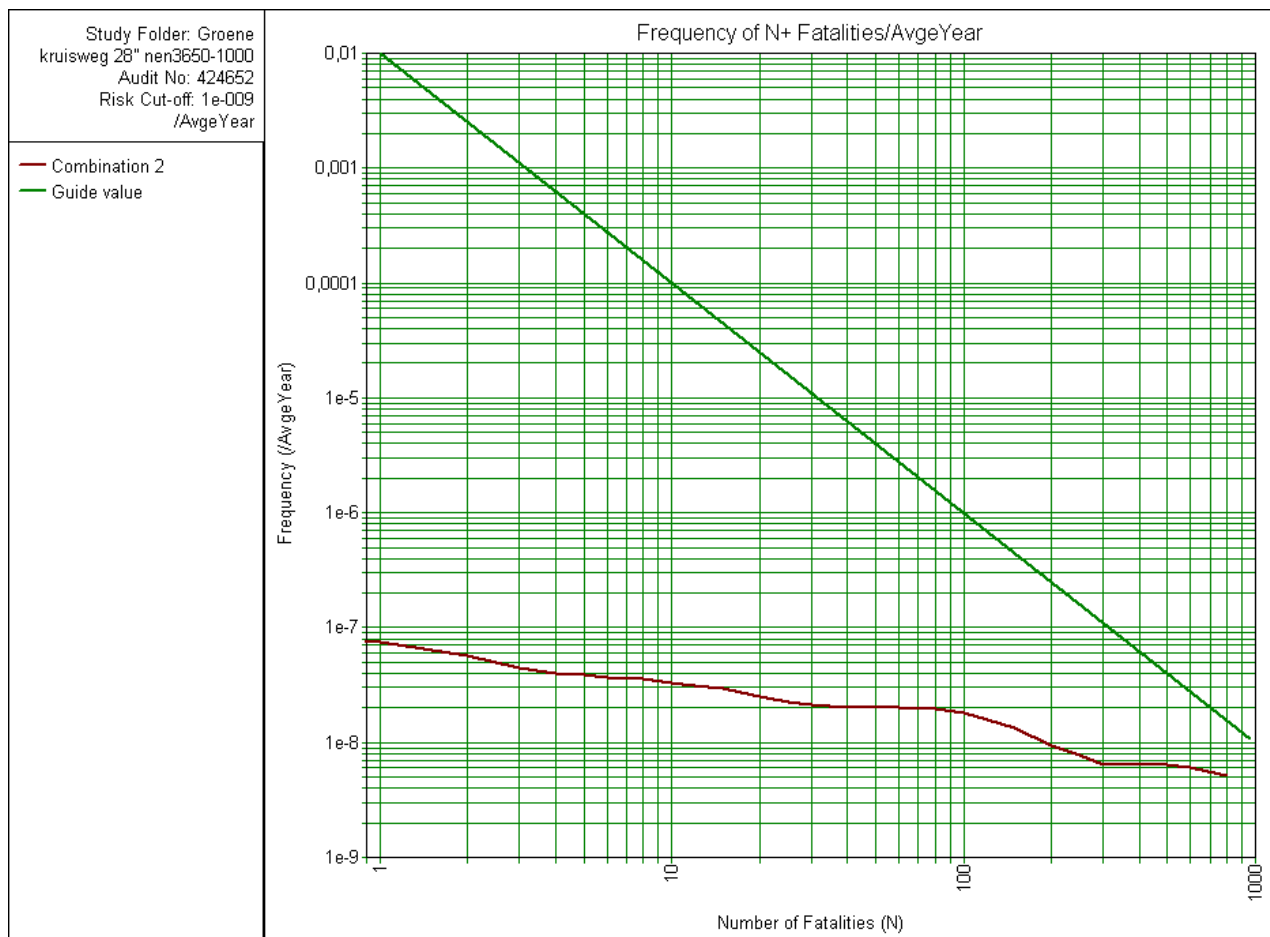


Figuur 38: Contouren plaatsgebonden risico Leidingtunnel Groene Kruisweg (28'' pijpleiding)

Er is geen contour van het plaatsgebonden risico berekend van 10^{-6} /jaar. Hierdoor is het risico lager dan de grenswaarde voor het plaatsgebonden risico. De PR contour van 10^{-9} /jaar ligt op ca 1,8 kilometer van de leidingtunnel.

Groepsrisico

In onderstaand figuur is het groepsrisico van de leidingtunnel onder de Groene Kruisweg afgebeeld.



Figuur 39: Groepsrisico ten opzichte van de oriënterende waarde Leidingtunnel Groene Kruisweg 28"

Het groepsrisico ligt onder de oriënterende waarde. Er is geen overschrijding van het groepsrisico.

4.8 Superkritisch transport

De commissie MER heeft verzocht om aandacht te besteden aan alternatieve drukregimes voor het transport van CO₂,

Bij in Nederland heersende omgevingstemperaturen kan CO₂ ook superkritisch worden getransporteerd bij een druk hoger dan 73.15 bar abs. Een buisleiding gevuld met superkritisch CO₂ kan bij het falen van de leiding resulteren in het uitstromen van CO₂ in gasfase en als "droog ijs". Door de lage leidingtemperatuur zal het grootste deel van de uitstroming "droog ijs" betreffen. Men kan er van uitgaan, dat dit "droge ijs" zal neer regenen rond de lokatie van de leidingbreuk en dat dit op grond niveau tot mogelijk letale effecten kan leiden. Het totale effect zal afhankelijk zijn van de snelheid waarmee dit "droge ijs" tot gas sublimeert.

Bij het uitstromen van CO₂ bij een breuk van een ondergrondse CO₂ leiding gevuld met gasvormig CO₂ treden er geen letale effecten op op grondniveau. Het risico van transport van gasvormig CO₂ is daardoor beduidend lager.

4.9 Conclusie leidingen en tunnels

4.9.1 Plaatsgebonden risico

Leidingen

SafetiNL berekent geen risicocontouren voor een ondergrondse leiding. De hoge uitstroomsnelheid gecombineerd met een verticale uitstroming zorgt dat er maximaal op 2 meter van de leiding letale effecten kunnen optreden. Dit houdt in dat het PR van de ondergrondse CO₂ leidingen voldoet aan het voornemen om de PR van 10⁻⁶/jaar op de leiding te laten liggen (zie 4.5).

Leidingtunnels

De resultaten van de risicoberekening van de leidingtunnel laten een maximale PR contour zien van 10⁻⁷/jaar. Er wordt dus in geen van de gevallen een 10⁻⁶ PR contour berekend.

4.9.2 Groepsrisico

Leidingen

Daar er geen risicocontouren aanwezig zijn is het groepsrisico niet berekend voor de ondergrondse CO₂ leidingen. Hierdoor kan worden gesteld dat het groepsrisico van de ondergrondse CO₂ transportleidingen verwaarloosbaar is.

Leidingtunnels

Alleen bij een 28" leiding in de Beneluxtunnel wordt de oriënterende waarde voor het groepsrisico overschreden. Voor de overige opties blijft het groepsrisico onder de oriënterende waarde.

5 Risico's locaties Barendrecht en Barendrecht Ziedewij

5.1 Inleiding

Om de risico's van de CO₂ injectielocaties Barendrecht en Barendrecht Ziedewij inzichtelijk te maken zijn de berekeningen uitgevoerd voor de volgende drie situaties;

1. Nul situatie; monitoring van de aardgasproductieputten;
2. Toekomstige situatie 1; CO₂ injectie;
3. Toekomstige situatie 2; monitoring van de CO₂ injectieputten;

Scenario 1: Nul situatie

Nadat de aardgasproductie uit het veld is gestopt vinden alleen nog metingen plaats in de aardgasproductieputten. Er zal geen gasproductie plaatsvinden via de aardgasbehandelingsinstallatie op Barendrecht. Alle leidingen tussen de winlocatie en de aardgasbehandelingsinstallatie op Barendrecht zullen zijn verwijderd. Relevante scenario's bepalend voor het risico zijn een blow-out en well release.

Scenario 2: Toekomstige situatie 1

In deze situatie vindt CO₂ injectie plaats. Relevante scenario's hierbij zijn scenario's waarbij uitstroming uit de put kan plaatsvinden (Blow-out en well release) of vrijkomen van CO₂ door falen van de compressor of leidingbreuk.

Scenario 3: Toekomstige situatie 2

In de toekomstige situatie is het gasveld gevuld met CO₂. Nadat de CO₂ injectie is gestopt blijven activiteiten/processen die op de locaties zullen plaatsvinden beperkt tot het verrichten van metingen in de CO₂ injectieputten. Relevante scenario's voor deze situatie zijn een blow-out en well release.

5.2 Subselectie

Er is geen subselectie uitgevoerd. Alle onderdelen van de installatie die aardgas of CO₂ (kunnen) bevatten zullen worden beschouwd.

5.3 Scenario's en incidentfrequenties

De gedetailleerde beschrijving van de scenario's zijn beschreven in de bijlagen. In deze paragraaf is beschreven welke uitgangspunten zijn gehanteerd. De CO₂ en aardgas bevattende onderdelen zijn onder te verdelen in:

- Compressoren;
- Warmtewisselaar;
- (Proces-) leidingen;
- (Aard-)gasputten

5.3.1 Compressor

Initiële faalscenario's

De compressie van CO₂ gebeurt met een zuigercompressor. Initieel zal met een alleen de eerste trap van de compressor worden geïnjecteerd, na verloop van tijd zal ook de tweede trap meedoen. Na iedere compressietrap wordt het gecomprimeerde gas teruggekoeld. Op basis van de technische uitvoering van de compressor zijn in Tabel 10 de initiële faalscenario's geselecteerd.

Tabel 10; Initiële faalscenario's CO₂ Compressoren Pernis (per compressortrap)

Initiële scenario's compressor	Kans (per jaar)
Catastrofaal falen ¹	$1 \cdot 10^{-4}$
Lek 10% diameter, max. 50 mm ²	$4,4 \cdot 10^{-3}$

Voor de modellering van de risico's is aangenomen dat de compressor 4.380 uur per jaar in gebruik is, dit is globaal genomen de helft van de tijd.

Modellering uitstroming

Bij het catastrofaal falen van een compressortrap wordt uitgegaan van tweezijdige uitstroming. Dit betekent dat toevoer vanaf de CO₂ leiding vanuit Pernis als terugstroming vanuit de (Aard-) gasput) zal plaatsvinden. De toevoer en de terugstroming zijn apart gemodelleerd als het leegstromen van een lange leiding (long pipe line model).

De perszijde van de compressor is voorzien van een terugslagklep. Aangezien CO₂ een schoon en droog gas is, en er geen aanleiding is voor plakkende of verstoppende bestanddelen, wordt voor de terugslagklep in de compressor een succeskans aangehouden van 94%. Daarnaast is het compressiepackage uitgevoerd met een automatisch inbloksysteem vergelijkbaar met de compressoren op Barendrecht (SIL-2). Faalkans van dit systeem is 0,1%.

Het automatische inbloksysteem in de injectieput, ook wel flapper valve genoemd, wordt regelmatig (2 keer per jaar) getest. Ook voor deze klep hanteren wij een faalkans van 0,1%.

5.3.2 Warmtewisselaars

Initiële faalscenario's

De warmtewisselaars zijn uitgevoerd als 'gas in pijpen', wat inhoudt dat het koelmiddel zich in mantel bevindt. De mantel en de leidingen hebben een gelijke ontwerpdruk. In Tabel 11 zijn de initiële faalscenario's opgenomen. Ook voor de scenario's van de warmtewisselaars in aangenomen dat de helft van het jaar in gebruik zijn.

Tabel 11; Initiële scenario's warmtewisselaars

Scenario	Kans (per jaar)
Breuk van 10 pijpen tegelijkertijd van de warmtewisselaar	$1 \cdot 10^{-5}$
Breuk van 1 pijp	$1 \cdot 10^{-3}$
Lek met een effectieve diameter van 10% van de nominale diameter van 1 pijp, max 50 mm	$1 \cdot 10^{-2}$

Modellering uitstroming

Het falen van 10 pijpen van de warmtewisselaar komt is gemodelleerd als een line rupture met relatieve diameter ten opzichte van het oppervlak van 10 tubes, met een druk van de persleiding). Voor de diameter van een tube is 1" aangehouden. Breuk van 1 pijp is vergelijkbaar gemodelleerd als voorgaande scenario. De effecten van een lekkage van 10% van een tubediameter is verwaarloosbaar geacht (lek = 2,5 mm). Een lekkage van een warmtewisselaars is gemodelleerd bij de druk die in de betreffende onderdeel heerst.

5.3.3 Bovengrondse Leidingen

Initiële faalscenario's

Het bovengrondse leidingwerk van de CO₂ compressoren heeft in alle gevallen een diameter groter dan 150 mm. Hiervoor gelden de volgende initiële faalscenario's:

Tabel 12; Initiële scenario's bovengronds leidingwerk

Initiële scenario's warmtewisselaars	Kans (per meter per jaar)
Breuk van de leiding	$1 \cdot 10^{-7}$
Continu vrijkomen uit een gat met een effectief diameter van 10% van de leidingdiameter	$5 \cdot 10^{-7}$

Modellering uitstroming

Leidingen worden in principe berekend met een route waarbij een ongevalfrequentie over deze route wordt weergegeven. Bij deze studie is gekozen om voor de leidingscenario's op de plots leidingdelen te definiëren met 1 ongevallocatie. Reden hiervoor is de relatief korte lengtes van de routes gecombineerd met een uitstroming uit een lange leiding. De faalkans geldt uitsluitend voor dat deel dat zich op de plot bevindt. Om dit zo realistisch mogelijk te doen is gekozen voor het long pipelinemodel, waarbij het debiet van de uitstroming in eerste instantie bepaald wordt door de druk, vervolgens door de 'pumped inflow'. Het is niet mogelijk het long pipelinemodel te combineren met een route. De ongevallocaties zijn in het midden van het leidingdeel gekozen. Ook hier wordt rekening gehouden met de effect reducerende werking van een terugslagklep aan de perszijde van een compressor en de inbloksystemen op het package en de put. Bij langdurige uitstroming (wanneer de repressieve systemen falen kan er aardgasuitstroming plaatsvinden.

Een lekkage is gemodelleerd bij de betreffende systeemdruk met een effectieve diameter van 10% van de leidingdiameter met een maximale afmeting van 50mm.

5.3.4 CO₂ injectieputten

De faalfrequenties van CO₂ injectieputten maken geen onderdeel uit van de handleiding risicoberekeningen BEVI. Om toch de risico's voor dergelijke putten in kaart te kunnen brengen zijn faalscenario's en initiële faalfrequenties gebruikt die gebaseerd zijn op het Scandpower rapport 'Blowout and well release frequencies', 27.005.004/R2, final report A, February 2002.

Dit rapport onderscheidt twee faalscenario's:

- Een 'Blow-out', waarbij een de X-mas tree catastrofaal faalt en de subsurface safety valve niet reageert waarna de inhoud van het reservoir vertikaal uitstroomt;
- Een 'Well release'; waarbij een lekkage aan de X-mas tree ontstaat en er een horizontale uitstroming volgt.

De faalfrequentie zelf is een combinatie van de statische kans dat tijdens productie (of injectie) een blow-out of well release ontstaat, gecombineerd met de kans dat tijdens put interventies een blow out of well release optreedt. Putonderhoud kent activiteiten als Coiled Tubing, Wireline, Snubbing etc. Een overzicht van de initiële en de gecorrigeerde faalfrequenties voor deze scenario's zijn opgenomen in Tabel 13 (blow-out en well release CO₂ injectieput).

Tabel 13: Opbouw blow out frequentie

	Faalfrequentie		No. Operaties	Faalfrequentie	
	Blow out	Well release	/jaar	Blow out	Well release
Put onderhoud					
Wireline	$1,1 \times 10^{-5}/\text{keer}$	$3,4 \times 10^{-5}/\text{keer}$	2	$2,2 \times 10^{-5}/\text{jaar}$	$6,8 \times 10^{-5}/\text{jaar}$
Coiled tubing	$2,4 \times 10^{-4}/\text{keer}$	$4,8 \times 10^{-4}/\text{keer}$	0,03	$7,2 \times 10^{-6}/\text{jaar}$	$1,4 \times 10^{-5}/\text{jaar}$
Work over (excl. Wireline, Coiled tubing, completion)	$3,9 \times 10^{-4}/\text{keer}$	$1,5 \times 10^{-3}/\text{keer}$	0,125	$4,9 \times 10^{-5}/\text{jaar}$	$1,9 \times 10^{-4}/\text{jaar}$
Monitoring				$7,82 \times 10^{-5}/\text{jaar}$	$2,72 \times 10^{-4}/\text{jaar}$
Normale put operatie					
Productie blow-out	$2,3 \times 10^{-5}/\text{jaar}$	$1,7 \times 10^{-5}/\text{jaar}$		$2,3 \times 10^{-5}/\text{jaar}$	$1,7 \times 10^{-5}/\text{jaar}$
Put operatie;				$1,01 \times 10^{-4}/\text{jaar}$	$2,94 \times 10^{-4}/\text{jaar}$

Modellering uitstroming

De uitstroming van CO₂ bij een blow-out is berekend als het leegstromen van een leiding gemodelleerd volgens het long pipeline model met multiple rates en een pumped inflow van de blow-out potential van de put. Als initiële druk is de CITHP (Closed In Tubing Head Pressure) genomen. Verder is rekening gehouden met de leidingweerstand (diepte van de put). De uitstroomrichting van een blow-out is verticaal verondersteld. De benodigde gegevens van de aardgasproductie en gasinjectie putten zijn gegeven in Tabel 14.

Tabel 14: Data aanwezige putten

Put	Flow potential t/d	Max Injectiedruk Bar(a)	Tubing diameter "	Max Blow out druk Bar(a)	Temp °C	Droog ijs fractie %	Damp fractie %	Droog ijs stroom kg/s	Damp stroom kg/s
BRT-1	800	149	3,1	110	65	34%	66%	3,15	6,11
BRT-2B	2200	149	4,6	110	65	34%	66%	8,66	16,81
BRTZ-1	13.000	165	7,2	145	75	32%	68%	48,15	102,31
BRTZ-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BRTZ-3	13.000	165	7,2	145	75	32%	68%	48,15	102,31
BRTZ-4	2500	165	4,6	145	75	32%	68%	9,26	19,68

De gasuitstroming vanuit de put (well release) is gemodelleerd als een lek ter grootte van 10% van de tubing diameter met een horizontale uitstroming en de leidingdruk van 150 bar. Hierbij kan na langdurige CO₂ uitstroming uiteindelijk ook aardgas vrijkomen. Dit vindt overigens alleen plaats wanneer veiligheidsvoorzieningen eveneens falen.

Zodra is begonnen met de CO₂ opslag zal het veld langzaam worden gevuld met CO₂. Bij een blow-out in de beginjaren van de injectieput BRTZ-1 of één van de observatieputten is bestaat er de mogelijkheid, dat na enige tijd methaan zal worden uitgestoten met de daarbij behorende effecten. Om de daarbij behorende risico's in deze inventarisatie voor CO₂ injectie volledig mee te nemen, zijn naast de blow-out scenario's voor CO₂ ook de volledige blow-out scenario's voor aardgas meegenomen. Hierdoor is de overgangssituatie conservatief gemodelleerd, daar voor beide scenario's de effecten van het vrijkomen van zowel CO₂ als aardgas tijdens een blow-out zijn meegenomen.

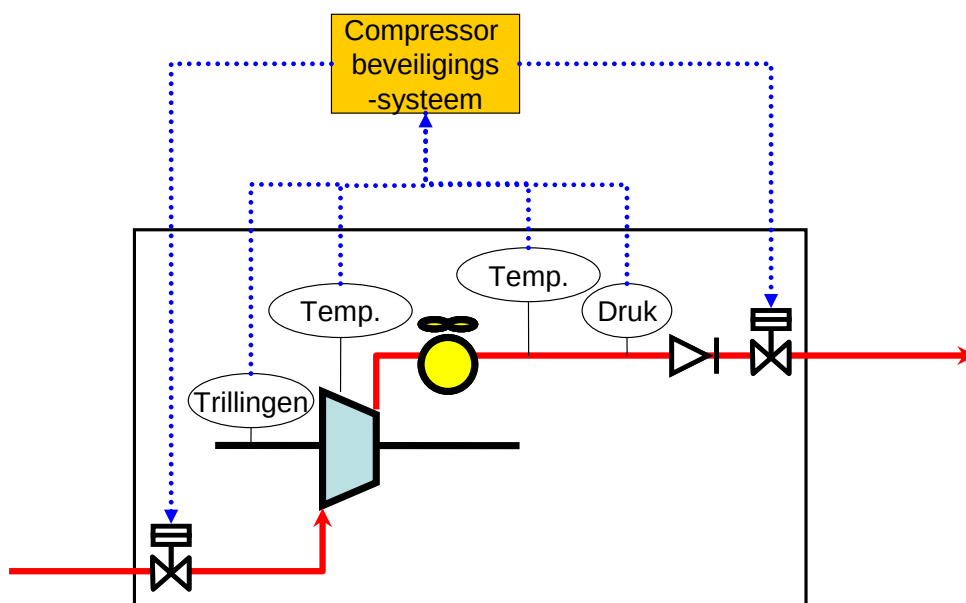
5.3.5 Repressieve systemen

Terugslagklep

Ieder compressor heeft een terugslagklep aan de perszijde. Bij een volledige breuk of catastrofaal falen van een gasvoerend onderdeel in de compressor zal terugstroming optreden vanuit de perszijde van de compressoreenheid. Door de terugslagklep wordt terugstroming voorkomen. De terugslagklep is gemonteerd in een schone, droge omgeving waardoor falen door plakken, corrosie etc wordt voorkomen. Het niet functioneren van een terugslagklep wordt bij iedere opstart van een compressor door het systeem gedetecteerd doordat procesvariabelen afwijken van de verwachte waarde. Dit beveiligingssysteem heeft in overeenstemming met de Handleiding risicoberekeningen BEVI een kans van falen op aanspraak van 0,06 en een reactietijd van 5 seconden.

Compressor beveiliging

Iedere compressor is voorzien van instrumenten die continu grootheden meten als druk (van het gecomprimeerde gas, smeerolie etc), temperatuur (van het gecomprimeerde gas, smeerolie, lagers) en trillingen (van de compressor as) etc. In het onderstaande figuur is dit schematisch weergegeven.



Figuur 40: Schematisch overzicht metingen en beveiliging CO₂ compressor Barendrecht

Deze metingen worden uitgevoerd om de toestand van de compressor te monitoren. Wanneer vooraf bepaalde waarden worden overschreden kan de compressor beschadigd raken. Om dit te voorkomen treedt automatisch het compressor beveiligingssysteem in werking dat de compressor stil zet en insluit.

Ook bij grote incidenten, zoals worden gemodelleerd in een QRA, zal het beveiligingssysteem ingrijpen:

- Catastrofaal falen van een compressor zal leiden tot heftige trillingen van de compressor en een drukdaling in de compressoreenheid waarna de compressor zal afschakelen;
- Instantaan falen van warmtewisselaars (of breuk van 10 leidingen) zal leiden tot een drukdaling in de compressoreenheid waarna de compressor zal afschakelen;
- Breuk van een (Proces-) leiding zal leiden tot een drukdaling in de compressoreenheid waarna de compressor zal afschakelen.

Dit beveiligingssysteem is/zal worden uitgevoerd conform IEC 61508 klasse SIL 2 en heeft in overeenstemming met de handleiding risicoberekeningen BEVI een kans van falen op aanspraak van 0,001 en een reactietijd om voor het sluiten van de blokafsluiters van 2 minuten.

Inblokafsluiters Gasputten

De gasputten zijn beveiligd met automatische inblokafsluiters. Bij de berekening van de effecten is echter geen rekening gehouden met de werking van deze procesbeveiligingen. De reden hiervoor is dat een automatisch beveiligingssysteem een reactietijd heeft volgens de HARI van 2 minuten. Het effectgebied wordt echter effectgebied grotendeels wordt bepaald door de initiële (hoge) uitstroming als gevolg van een calamiteit. Dit betekent dat het in beschouwing nemen van de beveiligingen om die reden geen meerwaarde heeft.

5.4 Vervolgkansen en omgevingsfactoren

5.4.1 Modelstoffen

Voor de modellering van aardgas is methaan gebruikt. Voor CO₂ is een stof aangemaakt met de in hoofdstuk 2 beschreven probitrelatie.

5.4.2 Kans op ontsteking

Met betrekking tot de ontsteking van brandbare stoffen wordt onderscheidt gemaakt tussen directe ontsteking en vertraagde ontsteking.

Directe ontsteking

Het gas dat gewonnen wordt bestaat uit verschillende componenten, met als hoofdcomponent methaan. Conform de HARI wordt methaan als laag reactief beschouwd, hetgeen betekent dat veel energie nodig is om het gas te ontsteken. In Tabel 15 zijn de ontstekingskansen weergegeven, afhankelijk van de hoeveelheid gas die vrijkomt.

Tabel 15: Ontstekingskansen voor methaan

Bron		Stof
Continue uitstroming	Instantaan vrijkomen	Methaan
< 10 [kg/s]	< 1.000 [kg]	0,02
10-100 [kg/s]	1.000-10.000 [kg]	0,04
> 100 [kg/s]	> 10.000 [kg]	0,09

Voor ondergrondse leidingen met methaan geldt conform een kans op directe ontsteking van 0,09 in geval van een leidingbreuk en een kans op directe ontsteking van 0,04 in geval van een lek.

Voor de kans op directe ontsteking in geval van een blow-out respectievelijk gasuitstroming vanuit de put is aangesloten bij de ontstekingskansen zoals genoemd in het Scandpower rapport. Voor een blow-out wordt een kans op directe ontsteking van 0,09 gehanteerd en in geval van een gasuitstroming vanuit de put wordt uitgegaan van een kans op directe ontsteking van 0,03.

Vertraagde ontsteking

Ten aanzien van de vertraagde ontsteking is uitgegaan van de "vrije veld benadering" op basis waarvan geen ontstekingsbronnen in de directe omgeving zijn verondersteld.

5.4.3 Weersgegevens

Voor de verdeling van windrichting, windsnelheid en atmosferische stabiliteit is uitgegaan van de weergegevens van het waarnemingsstation Rotterdam. Deze gegevens worden representatief verondersteld voor beide locaties.

5.4.4 Ruwheidslengte (van de ondergrond)

Ten aanzien van de dispersie is conform de HARI gekozen voor een ruwheidslengte van 0,03 m voor de locatie Barendrecht Ziedewij. Dit wordt beschouwd als representatief voor een open en vlak terrein. Voor de locatie Barendrecht is gekozen voor een ruwheidslengte van 1,0 meter voor de locaties, kenmerkend voor een industrieterrein.

5.4.5 Populatiegegevens

Bevolkingsgegevens in een straal van 500 meter rondom de locatie zijn verkregen via de bij het RIVM aanwezige populatiebestanden. Dit is alleen gedaan voor de locatie Barendrecht, daar er geen (beperkt) kwetsbare objecten bevinden binnen het effectgebied van Barendrecht Ziedewij.

De RIVM bestanden zijn samengesteld op basis van gegevens uit ACN (adressen met coördinaten), LISA (adressen bedrijven, werknemers, SBI code) en Geo –Marktprofiel (woninginformatie per postcodegebied). Echter, de aangeleverde bestanden bevatten enkel de gegevens voor woningen en inwoners, met als peiljaar 2005.

Voor aanwezigheid van personen bij bedrijven rondom de locatie zijn aannames gemaakt. Het betreft hierbij de bedrijven die Figuur 41 zijn opgenomen.



Figuur 41: Overzicht bedrijven rondom de locatie Barendrecht

De aannames met betrekking tot het aantal personen staan vermeld in Tabel 16.

Tabel 16: Aannames personendichtheid met betrekking tot de bedrijven rondom de locatie BRT.

Bedrijfsnaam	Aantal personen (dag)	Aantal personen (nacht)	Soort object
Kraajeveld (bouwbedrijf)	100	-	Beperkt kwetsbaar
Sligro Groothandel (3.200 m ²)	107	-	Beperkt kwetsbaar
Shell pompstation	3	-	Beperkt kwetsbaar
Gemeentewerf/ brandweer	10	-	Beperkt kwetsbaar
Kantoren en fitness (8.000 m ²)	270	-	Kwetsbaar
IKEA	Valt niet binnen invloedsgebied	-	Kwetsbaar

Voor wat betreft de personendichtheden voor Sligro en het kantorencomplex is aangesloten bij de Handleiding Verantwoordingsplicht Groepsrisico, waarbij wordt uitgegaan van een personendichtheid van 1 persoon per 30 m².

5.5 Risico's locatie Barendrecht

5.5.1 Inleiding

De NAM aardgaswinningslocatie Barendrecht is gelegen ten zuiden van de gemeente Barendrecht. Ten oosten van de inrichting loopt de snelweg A29 en ten zuiden stroomt de rivier De Oude Maas. De dichtstbijzijnde bebouwing, een woonwijk van de gemeente Barendrecht, ligt op een afstand van ca. 230 meter ten westen van de locatie. Ten noorden van de locatie ligt een industrieterrein. In Figuur 42 is een overzicht gegeven van de inrichting en de directe omgeving. De aardgaswinningslocatie is rood omrand.



Figuur 42: Overzicht directe omgeving locatie van Aardgaswinningslocatie Barendrecht

5.5.2 Resultaten berekeningen

5.5.2.1 Nul situatie; monitoring van de aardgasproductieputten

Na het stoppen van de aardgasproductie zullen de putten gemonitord worden. De relevante scenario's bestaan uit een aardgasblowout en well release met de blow-out potential en gebaseerd op faalkansen tijdens monitoring (zie Tabel 14).

Plaatsgebonden risico

In onderstaand figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico opgenomen.



Figuur 43: Contouren plaatsgebonden risico voor aardgasproductieputten (geen aardgasproductie)

De binnenste contour is de contour van het PR van 10^{-6} /jaar (rood), de buitenste contour is de contour van het PR van 10^{-9} /jaar (groen). Zoals bovenstaande figuur laat zien, ligt de PR 10^{-6} /jaar binnen de inrichtingsgrenzen van de locatie. Er liggen echter geen kwetsbare bestemmingen binnen de PR 10^{-6} /jaar contour.

Groepsrisico

Voor de locatie Barendrecht bevinden zich geen kwetsbare objecten binnen het invloedsgebied. Hierdoor zijn geen resultaten verkregen voor het groepsrisico van de bestaande situatie en is het groepsrisico als verwaarloosbaar te beschouwen.

5.5.2.2 Toekomstige situatie 1; CO₂ injectie

Op de locatie Barendrecht zal een compressor worden geplaatst. De compressor zal het aangevoerde CO₂ in druk verhogen waarna het via de injectieleiding wordt geïnjecteerd in het gedepleteerde aardgasveld. Injectie zal plaatsvinden via aardgasput BRT-2b. Naast deze put zal een tweede put, BRT1 worden gebruikt voor observatie van het reservoir waarin het CO₂ wordt opgeslagen. BRT-1 zal wel in contact staan met het CO₂ (is dus niet afgedicht. Er zal 2 x per jaar monitoring plaatsvinden (wire-line).

Om de daarbij behorende risico's in deze inventarisatie voor CO₂ injectie mee te nemen, zijn naast de blow-out scenario's voor CO₂ ook de volledige blow-out scenario's voor aardgas meegenomen zoals beschreven in hoofdstuk 5. Hierdoor is de overgangssituatie conservatief gemodelleerd, daar voor beide scenario's de kans op een blow-out volledig is meegenomen.

CO₂ compressie zal beginnen met één compressortrap. Als na verloop van tijd het reservoir gedeeltelijk gevuld is, zal de compressiedruk moeten worden verhoogd, en zal de tweede trap van de compressor worden ingeschakeld. De berekening van het risico gaat uit van deze situatie.

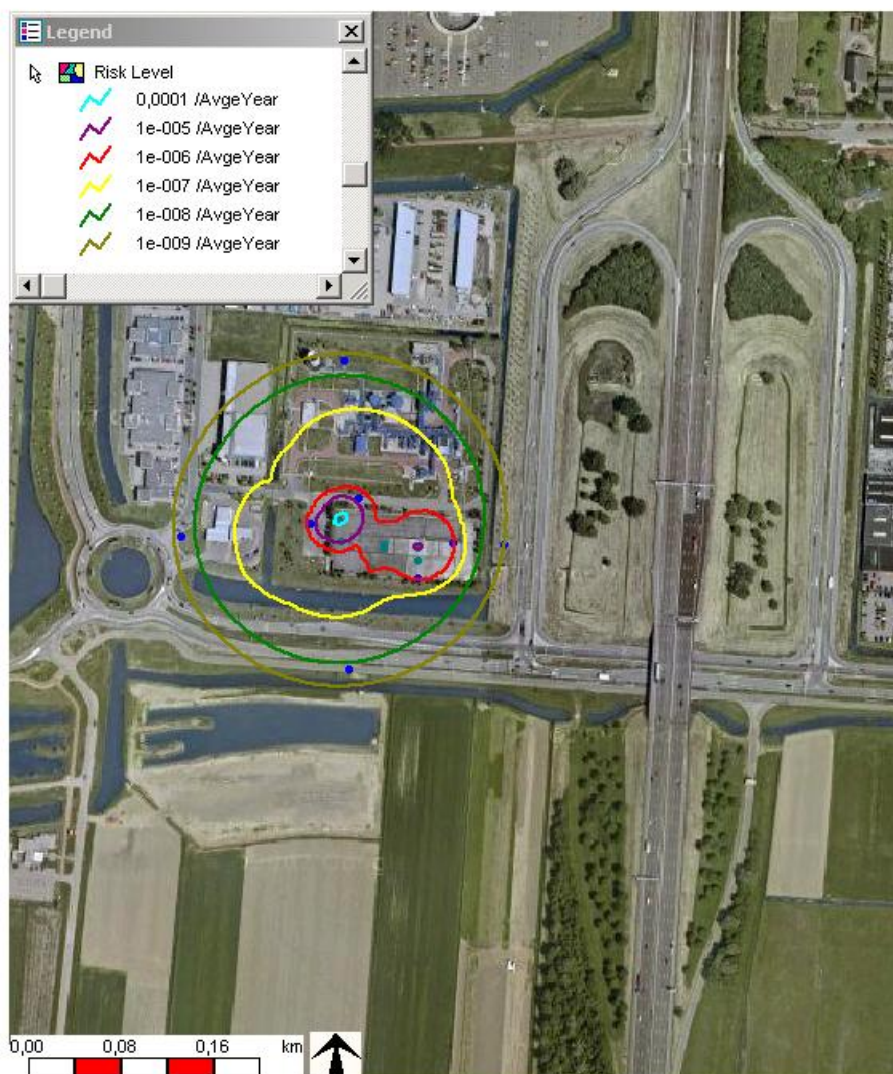
In de volgende figuur is de locatie van de beschreven installatieonderdelen opgenomen en de ligging ten opzichte van de aardgasbehandelingsinstallatie Barendrecht.



Figuur 44: Terreinindeling Barendrecht CO₂ compressie en injectie

Plaatsgebonden risico tijdens injectie

In onderstaande figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico opgenomen tijdens de injectie van CO₂ in het gasveld.



Figuur 45: Plaatsgebonden risico toekomstige situatie 1: CO₂ injectie

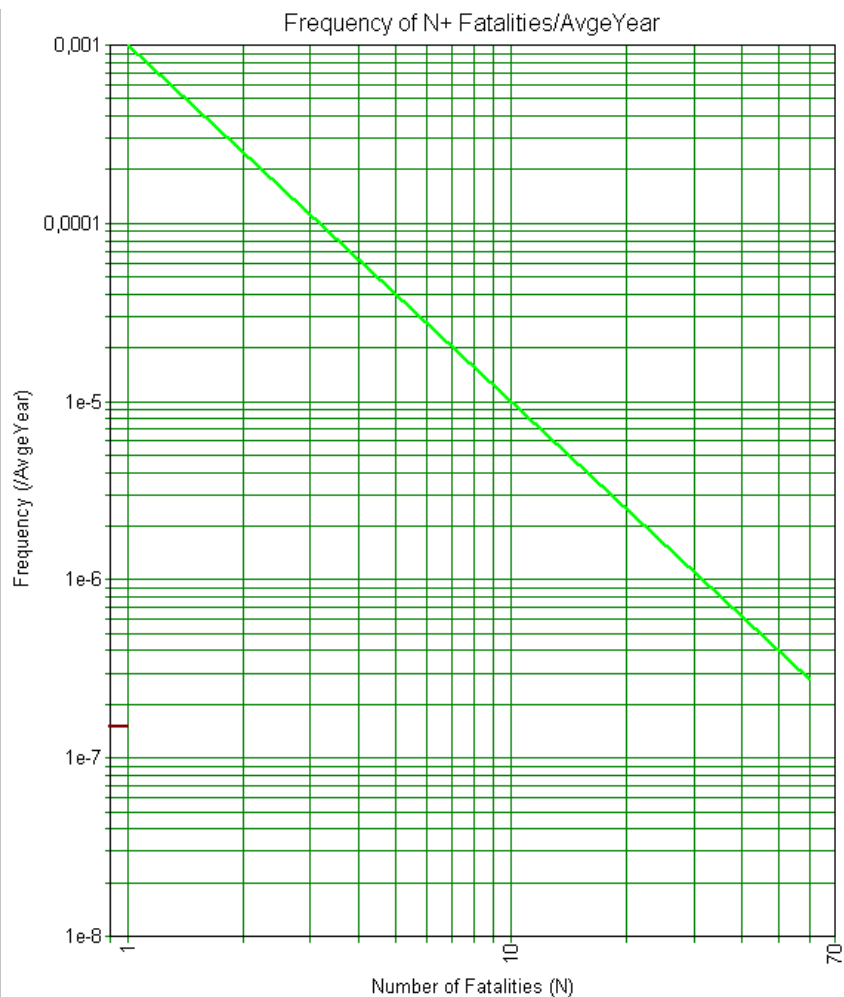
De binnenste contour is de PR 10^{-4} /jaar contour (licht blauw), de buitenste contour is de PR 10^{-9} /jaar contour (groen). Zoals bovenstaande figuur laat zien, ligt de PR 10^{-6} /jaar binnen de inrichtingsgrenzen van de locatie. Er liggen geen (beperkt) kwetsbare bestemmingen binnen de PR 10^{-6} /jaar contour. Ten opzichte van de Nul situatie neemt het risico toe, maar blijft onder de wettelijke grenswaarde voor het plaatsgebonden risico.

Groepsrisico

In onderstaand figuur is het groepsrisico van de periode van CO₂ injectie afgebeeld.

Study Folder: BRT
puttenterrein scenario 2 CO2
injectie
Audit No: 663869
Risk Cut-off: 1,0000001e-008
/AvgeYear

— Combination 2
— Guide value



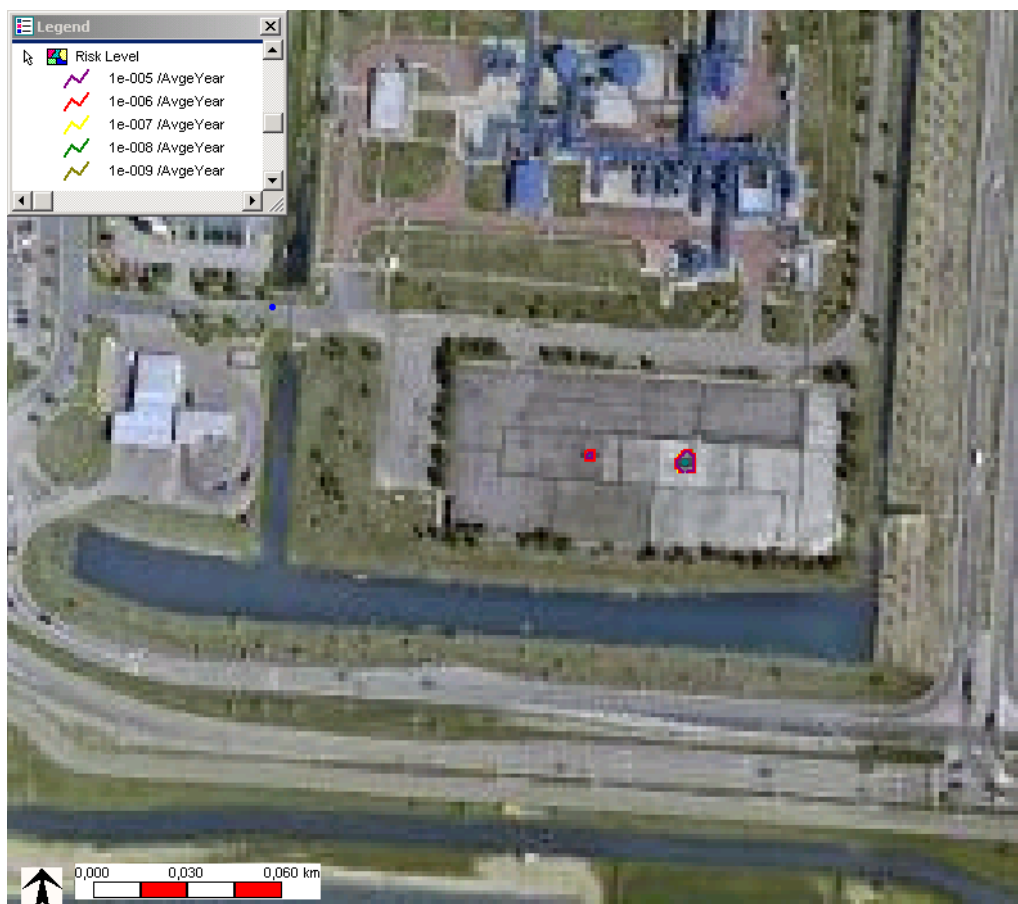
Figuur 46: Groepsrisico toekomstige situatie 1: CO₂ injectie

Zoals is op te maken uit het figuur is het groepsrisico verwaarloosbaar.

5.5.2.3 Toekomstige situatie 2; monitoring van de CO₂ injectieputten

Plaatsgebonden risico

In onderstaand figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico opgenomen nadat de injectie van CO₂ is gestopt en tot de injectieputten definitief zijn afgesloten. Gedurende een aantal jaren zal het gedrag van het reservoir en de put worden geobserveerd. Daarna zullen de putten worden geabandonneerd en zal de locatie worden verlaten.



Figuur 47: Plaatsgebonden risicocontour toekomstige situatie 2: monitoring CO₂ injectieputten.

De berekening van het risico van de monitoringsfase na beëindiging van CO₂ injectie levert een zeer klein risico op. Alle risicocontouren blijven binnen de inrichtingsgrens. Vergelijking met de risico's van de monitoringsfase na gasproductie (maar zonder CO₂ injectie, zie paragraaf 5.5.2.1) laat zien dat na CO₂ injectie de risico's fors kleiner worden.

Groepsrisico

SafetiNL berekent voor de injectieperiode geen fN curve van het groepsrisico, waardoor kan worden gesteld dat het groepsrisico verwaarloosbaar is.

5.6 Risico's locatie Barendrecht Ziedewij

5.6.1 Inleiding

De NAM aardgaswinningslocatie Barendrecht-Ziedewij is gelegen ten zuiden van de gemeente Barendrecht. Ten oosten van de inrichting loopt de weg Ziedewijdsedijk en ten zuiden stroomt de rivier De Oude Maas. De dichtstbijzijnde bebouwing ligt op een afstand van ca. 300 meter ten noorden van de locatie. Het betreft hierbij een woonwijk van de gemeente Barendrecht. De productielocatie is rood omrand.



Figuur 48: Overzicht directe omgeving locatie Barendrecht (bron: Google (licentie NAM)).

Op de locatie bevinden zich vier aardgasproductieputten. Één hiervan zal in de toekomst gebruikt gaan worden voor CO₂ injectie. In onderstaand figuur is een overzicht gegeven van de inrichting Barendrecht Ziedewij:



Figuur 49; Nul situatie Barendrecht Ziedewij

Door de plaatsing van CO₂ compressie en CO₂ injectiefaciliteiten en injectie van CO₂ zal het risico veranderen. Ook voor deze locatie zijn de risico's voor de volgende situaties berekend:

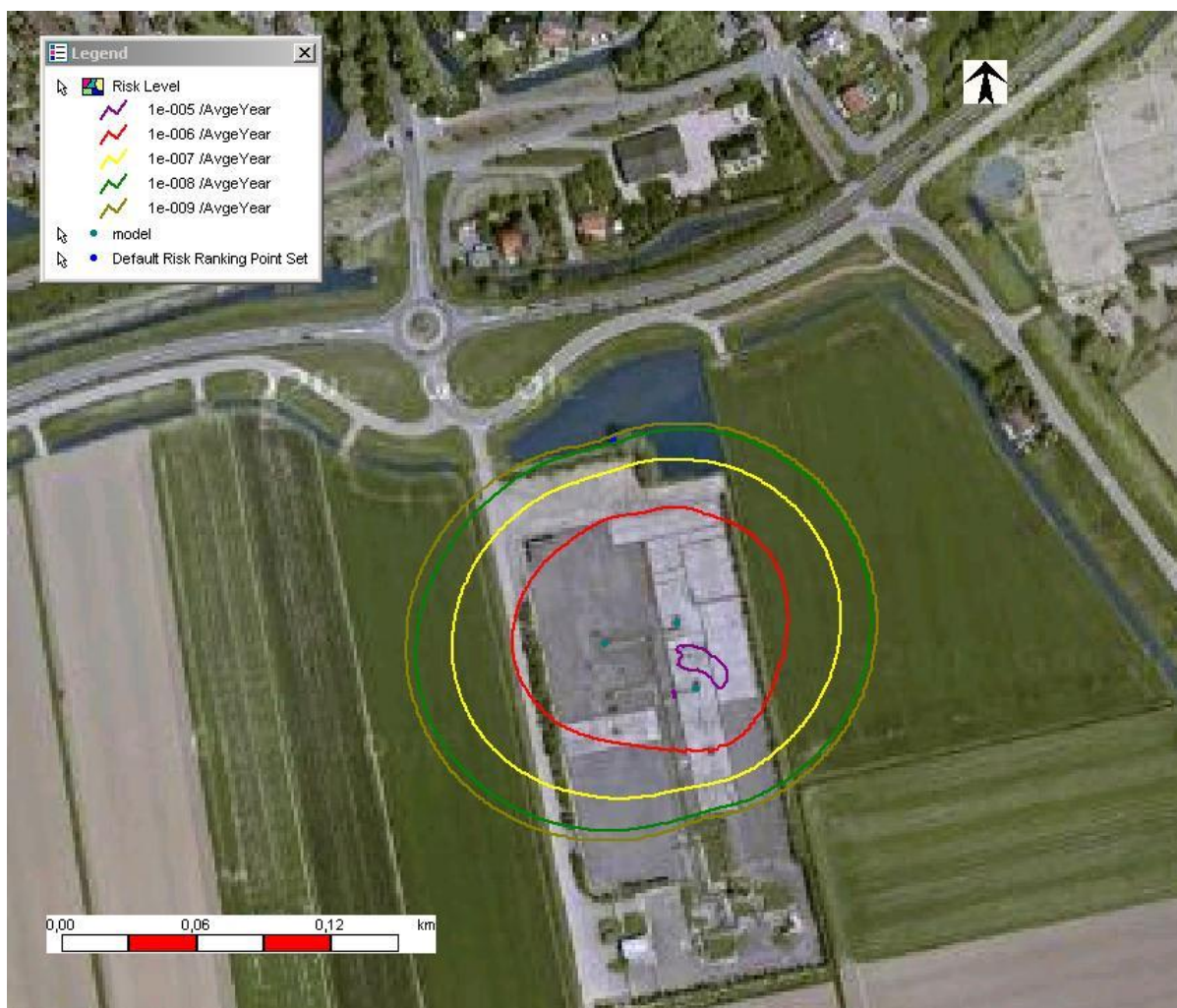
1. Nul situatie; monitoring van de aardgasproductieputten;
2. Toekomstige situatie 1; CO₂ injectie;
3. Toekomstige situatie 2; monitoring van de CO₂ injectieputten.

5.6.2 Resultaten berekeningen

5.6.2.1 Nul situatie; monitoring van de aardgasproductieputten

Plaatsgebonden risico

In onderstaande figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico gegeven tijdens de monitoringsfase van de aardgasproductieputten.



Figuur 50: PR contouren Nul situatie: monitoring van de aardgasproductieputten

De binnenste contour is de PR 10^{-6} /jaar contour (rood), de buitenste contour is de PR 10^{-9} / jaar contour (groen). Zoals bovenstaande figuur laat zien, ligt de PR 10^{-6} /jaar binnen de inrichtingsgrenzen van de locatie. Er liggen hierdoor geen (beperkt) kwetsbare objecten binnen de PR 10^{-6} /jaar contour.

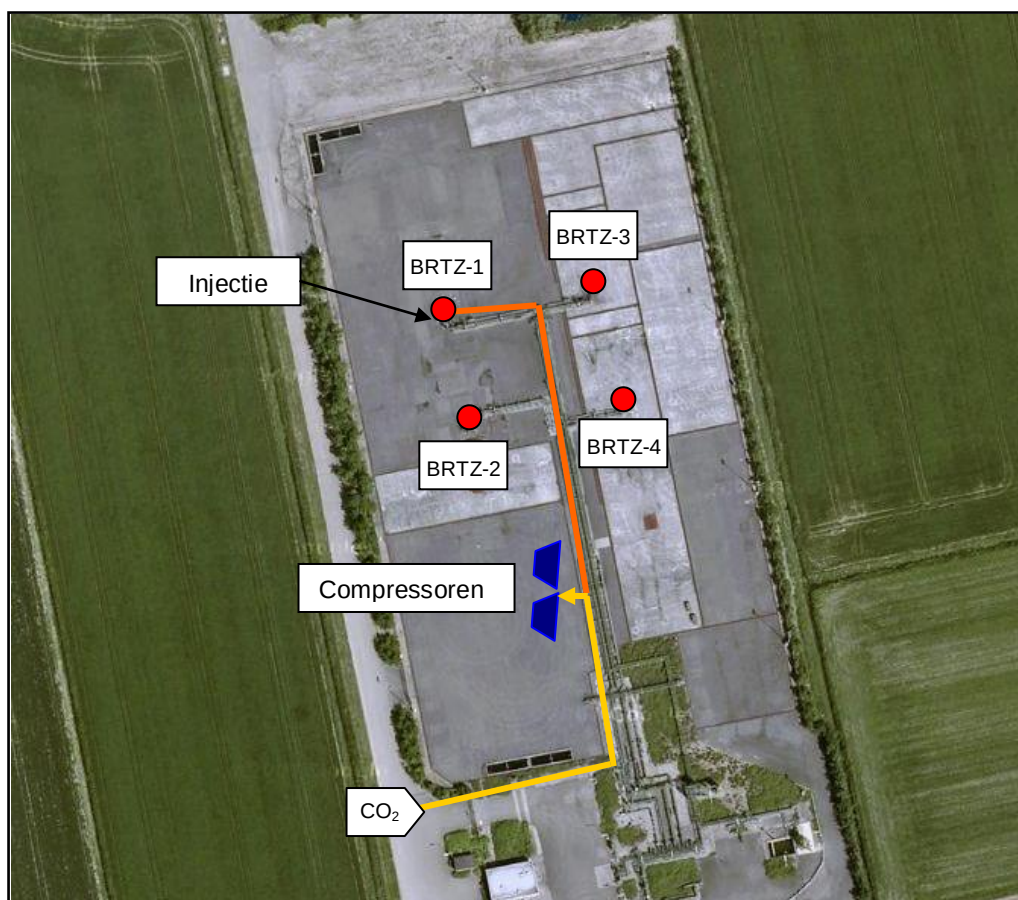
Groepsrisico

Binnen het invloedsgebied van de locatie Barendrecht Ziedewij bevinden zich geen (beperkt) kwetsbare objecten. SafetiNL berekent voor deze situatie geen groepsrisico zodat kan worden gesteld dat het groepsrisico verwaarloosbaar is.

5.6.2.2 Toekomstige situatie; Scenario 2: CO₂ injectie

In de toekomstige situatie zal er CO₂ via put BRTZ-1 in het veld geïnjecteerd worden. Hiertoe zal één compressor worden geplaatst op het terrein. Wanneer de druk in de put toeneemt, zal een tweede compressor worden toegevoegd op de locatie. De risico's zijn berekend op basis van deze situatie.

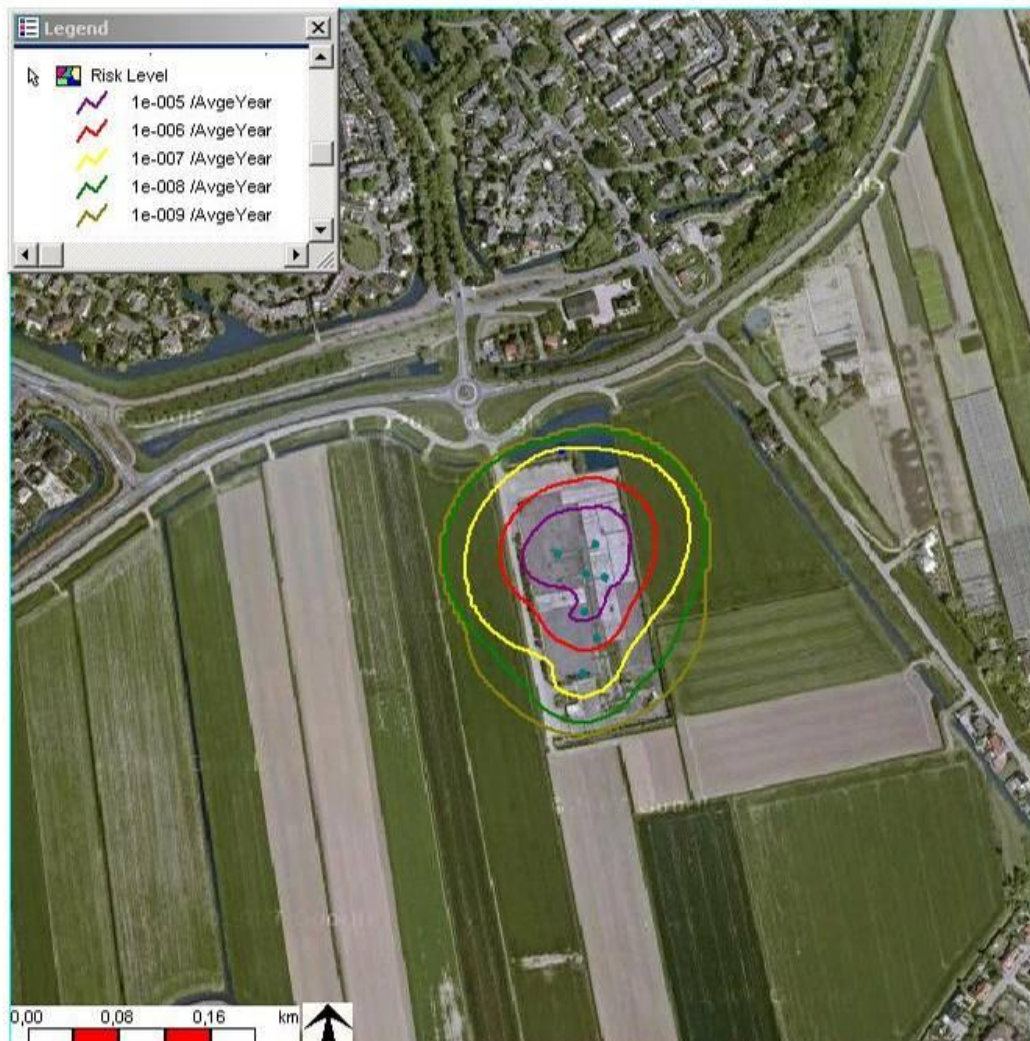
De overige putten zullen na het beëindigen van de gasproductie gemonitord worden. Put BRTZ-2 zal niet in contact komen te staan met het CO₂.



Figuur 51; Toekomstige situatie Barendrecht : CO₂ injectie

Plaatsgebonden risico

In onderstaand figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico tijdens de CO₂ injectie weergegeven.



Figuur 52: PR contouren: Toekomstige situatie 1; CO₂ injectie

De binnenste contour is de contour van het plaatsgebonden risico van PR 10^{-4} /jaar (lichtblauw), de buitenste contour is de contour van het plaatsgebonden risico van PR 10^{-9} /jaar (groen). Zoals bovenstaande figuur laat zien ligt de PR 10^{-6} /jaar binnen de inrichtingsgrenzen van de locatie. Er liggen geen (beperkt) kwetsbare objecten binnen de PR 10^{-6} /jaar contour.

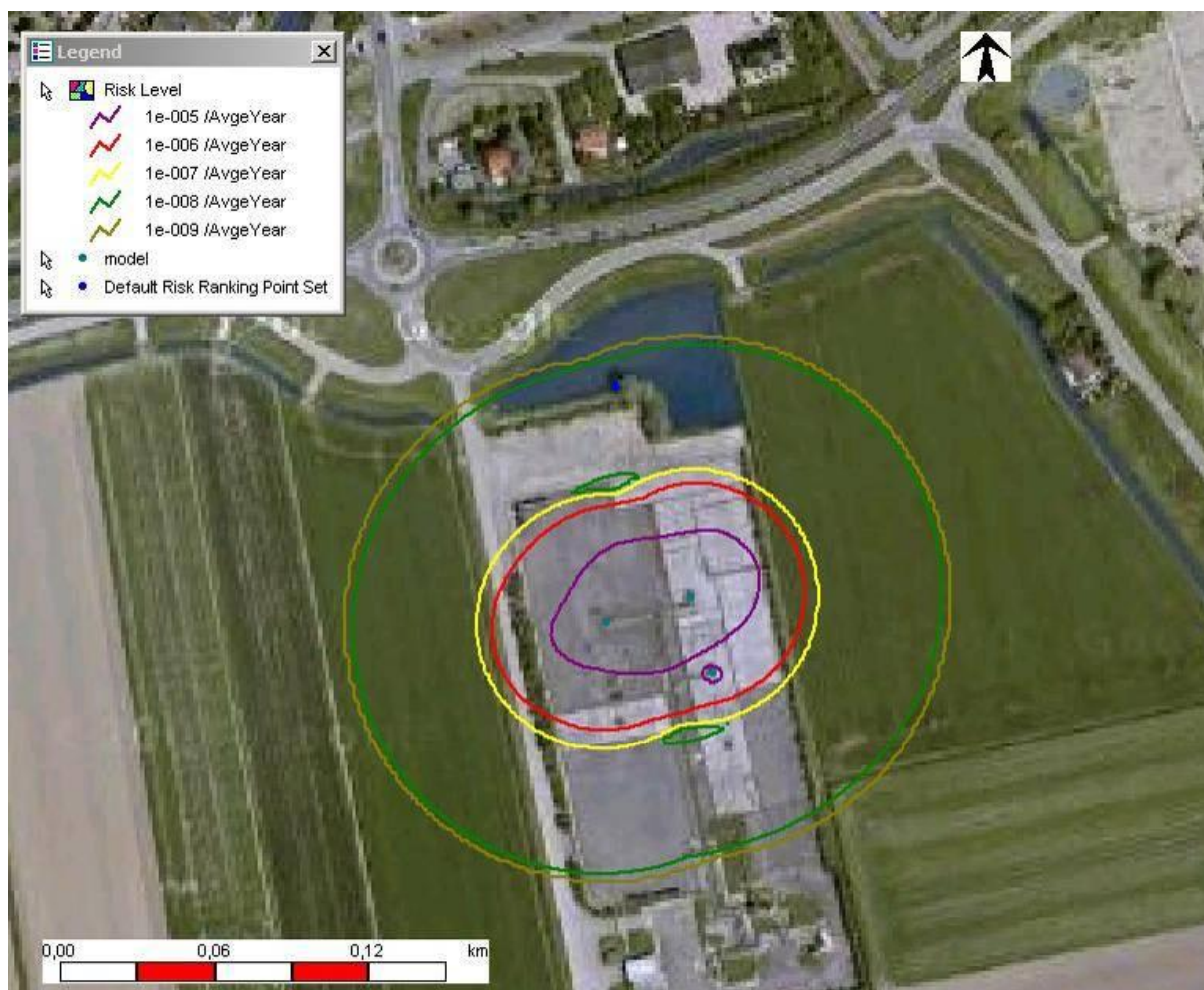
Groepsrisico

Binnen het invloedsgebied van de locatie Barendrecht Ziedewij bevinden zich geen woningen of bedrijven. Hierdoor is het groepsrisico verwaarloosbaar.

5.6.2.3 Toekomstige situatie 2; monitoring van de CO₂ injectieputten

Plaatsgebonden risico

In onderstaand figuur zijn de contouren van het plaatsgebonden risico opgenomen nadat de injectie van CO₂ in het gasveld is gestopt en totdat de gasputten definitief worden afgesloten. Gedurende een aantal jaren zal het gedrag van het reservoir en de put worden geobserveerd. Daarna zullen de putten worden geabandonneerd en zal de locatie worden verlaten.



Figuur 53: PR contouren Toekomstige situatie 2; monitoring van de CO₂ injectieputten)

De contouren van het PR van 10^{-6} /jaar liggen buiten de inrichting, maar niet over (beperkt) kwetsbare objecten. Ten opzichte van de nul situatie (zie paragraaf 5.6.2.1 neemt het risico toe (Nb de grotere PR contouren van de locatie in Barendrecht Ziedewij t.o.v. de locatie Barendrecht wordt veroorzaakt door de grotere diameter van de putten in combinatie met de hogere putdruk in Barendrecht Ziedewij).

Groepsrisico

Binnen het invloedsgebied van de locatie Barendrecht Ziedewij bevinden zich geen woningen of bedrijven. Hierdoor is het groepsrisico verwaarloosbaar.

5.7 Conclusie

Voor de drie bestudeerde situaties:

1. Nul situatie; monitoring van de aardgasproductieputten;
2. Toekomstige situatie 1; CO₂ injectie;
3. Toekomstige situatie 2; monitoring van de CO₂ injectieputten.

Geldt voor zowel de injectielocaties Barendrecht en Barendrecht Ziedewij dat de contouren van het plaatsgebonden risico van 10^{-6} /jaar niet over beperkt kwetsbare of kwetsbare objecten valt. Hiermee voldoen alle situaties aan de grenswaarde zoals gesteld in het BEVI.

Alleen in de situatie van CO₂ injectie op Barendrecht is een klein groepsrisico berekend. Dit risico is lager dan de oriëntatiewaarde voor het groepsrisico zoals gesteld in het BEVI.

6 Referenties

1. Brief RIVM aan Ministerie VROM gedateerd 31 mei 2007 betreffende de voorlopige resultaten, effectberekeningen hoge druk CO₂ leiding door Zoetermeer.
2. Impact assessment, Brussels, 23-1-2008, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the geological storage of carbon dioxide.
3. Levin, B.C., Braun, E. Navarro, M., and Paabo, M., (1995) Further development of the N-Gas mathematical model – an approach for predicting the toxic potency of complex combustion mixtures. NIST, Gaithersburg, MD 20899. In: Fire and Polymers: Materials and tests for hazard prevention. Chapter 20.
4. Fractional effective dose model for post-crash aircraft survivability Louise C. Speitel
Federal Aviation Administration Technical Center, AAR-422, US Department of Transportation,
Atlantic City International
Airport, Atlantic City, NJ 08405 USA
5. Safety in European Gas Transmission Pipelines, EGIG: European Gas Pipeline Incident Data Group, D. van den Brand en K.H. Kutrowski, N.V> Nederlandse Gasunie Groningen, 23rd World Gas Conference, Amsterdam 2006
6. Written statement of Krista L. Edwards, Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, US Department of Transportation for the Committee on Energy and Natural Resources, United States Senate, January 31, 2008
7. Evaluation of the acute toxicity of CO₂, Wouter ter Burg, Pet M.J. Bos; RIVM/SIR
8. Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3); Guidelines for quantitative risk assessment; December 2005
9. EGIG Report 1970-2004 Gas pipeline Incidents; 6th report of the European gas Pipeline Incident Data Group Doc. Nr. EGIG 05.R.2005
10. Calculating the Release and dispersion of gaseous, liquid and supercritical CO₂; Chris Dixon, Michael Hanson MMI Engineering Ltd.
11. Blow down of carbon dioxide from initially supercritical conditions; Bernard Gebbeken & Rudolf Eggers; TU Hamburg; 1 oktober 1995
12. Written statement of Krista L. Edwards; Deputy Administrator Pipeline and Hazardous Materials Safety administration US department of Transportation; January 31 2008
13. RIVM rapport 620120001/2006 Risicoanalyse voor buisleidingen met brandbare vloeistoffen
14. R. van Elteren et al. Bepaling effectiviteit KLIC-proces ten aanzien van aardgastransportleidingen. Groningen: Gasunie Research; 04 2004
15. Een veilige constructie van buisleidingenstraten, Technologisch Laboratorium TNO (in opdracht van Rijkswaterstaat), Rijswijk, 10 september 1973
16. NEN 3650-1: 2003, par. 8.1.6, Eisen voor transportleidingssystemen

Bijlagen: Scenariobeschrijving CO₂ injectie

Bijlagen Scenariobeschrijving CO₂ injectie

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM					
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT					
	Title: QRA					
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGE 3800784	rev: 4	sheet: 1	of: 21	

Modellering Compressoren

Compressoren bestaan uit het compressiegedeelte en een warmtewisselaar gedeelte. Het falen van een compressortrap wordt gemodelleerd als het 'wegnemen' van de compressor, waarbij er uitstroming vanuit de perszijde en de zuigzijde plaatsvindt. De faalkans is onafhankelijk van het aantal trappen. De uitstroming uit de pers- en zuigzijde wordt apart gemodelleerd.

Uitstroming uit de zuigzijde

Uitstroming uit de zuigzijde is uitstroming uit een lange (transport) leiding (behalve in het geval van de Shell toevoerleiding) + de doorzet van de toevoerleiding. Hiervoor is gekozen omdat bij een line rupture er meer uit zou kunnen stromen dan er toegevoerd wordt. Bij een long pipeline is de pumped inflow bepalend voor de uitstroming. Dit is veel realistischer. Deze uitstroming kan, afhankelijk van het al dan niet aanwezig zijn en falen van automatische inbloksystemen variëren van 120 en 1800 seconden.

Modellering in Safeti

Scenario uitstroming zuigzijde	Scenario Safeti	Pipelength	Distance to break (in geval van Long pipeline model)	Valve distance
5 seconde	Line rupture	Lengte van de transportleiding	-	5
120 seconden	Long pipeline, pumped inflow = 1,5 x doorzet toevoerleiding	Lengte van de transportleiding	1 meter	5
1800 seconden	Long pipeline, pumped inflow = 1,5 x doorzet toevoerleiding	Lengte van de transportleiding	1 meter	-

Uitstroming uit de perszijde

De uitstroming uit de perszijde is uitstroming uit een lange (transport) leiding. Deze uitstroming kan, afhankelijk van het al dan niet aanwezig zijn en falen van terugslagklep en automatische inbloksystemen variëren van 5, 120 en 1800 seconden.

Modellering in Safeti

Scenario uitstroming perszijde	Scenario Safeti	Pipelength	Distance to break (in geval van Long pipeline model)	Valve distance
5 seconden	Line rupture	Lengte van de transportleiding	-	5
120 seconden	Long pipeline, pumped inflow = 0	Lengte van de transportleiding	1 meter	5
1800 seconden	Long pipeline, pumped inflow = 0	Lengte van de transportleiding	1 meter	-

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM				
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT				
	Title: QRA				
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 2	of: 21

Warmtewisselaars

De compressoren op de Shell plot hebben warmtewisselaars waarbij het CO₂ zich in de mantel bevindt. De compressoren op de Barendrechtlocaties hebben warmtewisselaars waarbij het CO₂ zich in de pijpwarmtewisselaars bevindt. De scenario's zijn ingevoerd conform PGS 3. In het geval van breuk van CO₂ in de mantel is de kans bij catastrofaal falen opgeteld bij het catastrofaal falen van de compressor. Uitsluitend bij het catastrofaal falen is uitgegaan van het inwerking treden van inbloksystemen.

Leidingen

Bij leidingen wordt de uitstroming eveneens in tweeën gedeeld; uitstroming vanaf de compressor wordt hetzelfde gemodelleerd als uitstroming uit de zuigzijde bij een compressor. Uitstroming upstream is gelijk aan de uitstroming uit de perszijde bij het catastrofaal falen van een compressor. Bij de leidingen naar de gasput is de uitstroming gemodelleerd als het breken van een leiding met een lengte van de tubing met een pumped inflow van de blowoutpotential van de betreffende put.

Er is gekozen om te rekenen met een long pipeline daar de uitstroming tweezijdig plaatsvindt waarbij de lengte aanzienlijk groter is dan 1000x de diameter. Het pompdebiet en de inhoud van de leiding zijn bepalend voor de uitstroming.

Bovengrondse leidingen (op de inrichtingen) zijn gemodelleerd als horizontale uitstroming, ondergrondse (transport)leidingen verticaal.

Tunnels

De tunnels zijn gemodelleerd als user-defined source met een multiple release segments. Deze zijn bepaald op basis van de breuk van de leiding in de tunnel, met een multiple rate (5) uitstroming uit een long-pipeline. Op basis van release rate, temperatuur en uitstroomopening bij de tunnels (er is uitgegaan dat alle tunnelplaten bezwijken) is een nieuwe snelheid berekend. Dit is een zeer conservatieve aanpak.

Gasputten

Een blow-out scenario van een gasput is hetzelfde gemodelleerd als een leidingbreuk naar de gasput toe. Wel is er gekozen onderscheid te maken in een gedeelte vapor (gemodelleerd als hiervoor beschreven) en een gedeelte vast (dry ice) door het superkritisch uitstromen van het CO₂. Het verdampen van het vaste gedeelte is ingevoerd als een user defined source met de evaporation rate bij kamertemperatuur als debiet, en een zeer lage snelheid. Bij een well release is uitgegaan van horizontale uitstroming waarbij geen vaste fase is meegenomen.

	client:	V&SH, LINDEGAS, NAM				
	Project:	CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT				
	Title:	QRA				
office:	Den Haag	order:	38898.00	document:	BIJLAGEN 3800784	rev: 4
sheet:	3	of:	21			

1. Locatie Shell plot 16

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Initiële faalkans Per jaar	Aantal units	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	ervolg scenario's	Uitstroom duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
OCAP compressoren (3 stuks) Doorzet 35 ton/uur, gebruiksfractie 50% nu, 100% toekomst Automatische inblok en terugslagklep in persleiding	Compressor	Catastrofaal falen	Zuigzijde Shell	$1,0 \cdot 10^{-4}$	1	1,2	600	-	1800	1	$1 \cdot 10^{-4}$
			Perszijde; Tuinbouw	$1,0 \cdot 10^{-4}$	1	21,5	200	Terugslagklap werkt	5 sec.	0,94	$4,7 \cdot 10^{-5}$
		Lek in de persleiding (10% diameter)		$4,4 \cdot 10^{-3}$	1	21,5	20	Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt	120 sec.	0,06	$3 \cdot 10^{-6}$
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt niet	1800 sec.	0,06*0,001	$3 \cdot 10^{-9}$
	Warmte wisselaar, gas in mantel (4 per compressor)	Catastrofaal falen	Zuigzijde	$5 \cdot 10^{-5}$	4	21,5	1,5 x doorzet compressor = 35 ton/h x 1,5	-	1800 sec.	-	$2 \cdot 10^{-4}$
			Perszijde; (faalkans optellen bij cat. falen Compr. uitstr. Perszijde)	$5 \cdot 10^{-5}$	4	21,5	200	Terugslagklap werkt	5 sec.	0,94	$9,4 \cdot 10^{-5}$
				$5 \cdot 10^{-5}$	4	21,5	200	Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt	120 sec.	0,06	$6 \cdot 10^{-6}$
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt niet	1800 sec.	0,06*0,001	$6 \cdot 10^{-9}$
		Vrijkomen gehele mantel inhoud 10 minuten	1,4 m ³	$5 \cdot 10^{-5}$	4	21,5	-	-	600 sec.	-	$1,0 \cdot 10^{-4}$
		Lekkage 10 mm		$1 \cdot 10^{-3}$	4	21,5	10	-	1800 sec.	-	$2 \cdot 10^{-3}$
	Voor de warmtewisselaars wordt uitgegaan van het worst case scenario, waarbij de warmtewisselaar na de laatste trap faalt. Hierbij wordt de uitstroom vanuit de perszijde gelijk aan die van de uitstroming van het falen van een compressor. Voor de uitstroming van de zuigzijde wordt 1,5 keer de doorzet van de compressor genomen als uitstroming.										

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM				
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT				
	Title: QRA				
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 4	of: 21

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Initiële faalkans Per jaar	Aantal units	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	ervolg scenario's	Uitstroom duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
Lindegas Compressor Per stuk Doorzet 15 ton/uur, gebruiksfractie huidig en toekomst 100% Automatische inblok en terugslagklep in persleiding	Compressor	Catastrofaal falen	Zuigzijde Shell	$1,0 \cdot 10^{-4}$	1	1,2	500	-	1800	1	$1 \cdot 10^{-4}$
			Perszijde; Tuinbouw	$1,0 \cdot 10^{-4}$	1	25	100	Terugslagklap werkt	5 sec.	0,94	$9,4 \cdot 10^{-5}$
		Lek in de persleiding (10% diameter)	Perszijde; Tuinbouw	$1,0 \cdot 10^{-4}$	1	25	100	Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt	120 sec.	0,06	$6 \cdot 10^{-6}$
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt niet	1800 sec.	0,06*0,001	$6 \cdot 10^{-9}$
								-	1800 sec.	-	$4,4 \cdot 10^{-3}$
	Warmte wisselaar, gas in mantel (4 per compressor)	Catastrofaal falen	Zuigzijde	$5 \cdot 10^{-5}$	4	25	1,5 x doorzet compressor = 15 ton/h x 1,5	-	1800 sec.	-	$2 \cdot 10^{-4}$
			Perszijde; (faalkans optellen bij cat. falen Compr. uitstr. Perszijde)	$5 \cdot 10^{-5}$	4	25	100	Terugslagklap werkt	5 sec.	0,94	$1,88 \cdot 10^{-4}$
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt	120 sec.	0,06	$1,2 \cdot 10^{-5}$
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt niet	1800 sec.	0,06*0,001	$1,2 \cdot 10^{-8}$
		Vrijkomen gehele mantel inhoud 10 minuten	1,4 m ³	$5 \cdot 10^{-5}$	4	25	-	-	600 sec.	-	$2,0 \cdot 10^{-4}$
		Lekkage 10 mm		$1 \cdot 10^{-3}$	4	25	10	-	1800 sec.	-	$4 \cdot 10^{-3}$
	Voor de warmtewisselaars wordt uitgegaan van het worst case scenario, waarbij de warmtewisselaar na de laatste trap faalt. Hierbij wordt de uitstroom vanuit de perszijde gelijk aan die van de uitstroming van het falen van een compressor. Voor de uitstroming van de zuigzijde wordt 1,5 keer de doorzet van de compressor genomen als uitstroming.										

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM				
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT				
	Title: QRA				
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 5	of: 21

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Initiële faalkans Per jaar	Aantal units	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	Vervolg scenario's	Uitstroom duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
Booster compressoren Per stuk Doorzet 52,5 ton/uur, gebruiksfractie 50% toekomst Automatische inblok in zuig- en persleiding terugslagklep in persleiding	Compressor	Catastrofaal falen	Zuigzijde Tuinbouw	$1,0 \cdot 10^{-4}$	1	21,5	250	Inblok werkt	120 sec.	0,999	$5 \cdot 10^{-5}$
								Inblok werkt niet	1800 sec.	0,001	$5 \cdot 10^{-8}$
		Perszijde; Barendrecht		$1,0 \cdot 10^{-4}$	1	44	200	Terugslagklap werkt	5 sec.	0,94	$4,7 \cdot 10^{-5}$
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt	120 sec.	0,06	$3 \cdot 10^{-6}$
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt niet	1800 sec.	0,06*0,001	$3 \cdot 10^{-9}$
		Lek in de persleiding (10% diameter)		$4,4 \cdot 10^{-3}$	1	44	20	-	1800 sec.	-	$2,2 \cdot 10^{-3}$
	Warmte wisselaar, gas in mantel (4 per compressor)	Catastrofaal falen	Zuigzijde	$5 \cdot 10^{-5}$	1	44	1,5 x doorzet compressor = 35 ton/h x 1,5	Inblok werkt	120 sec.	0,999	$2,5 \cdot 10^{-5}$
								Inblok werkt niet	1800	0,001	$2,5 \cdot 10^{-8}$
			Perszijde; (faalkans optellen bij cat. falen Compr. uitstr. Perszijde)	$5 \cdot 10^{-5}$	1	44	200	Terugslagklap werkt	5 sec.	0,94	$2,4 \cdot 10^{-5}$
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt	120 sec.	0,06	$1,5 \cdot 10^{-6}$
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt niet	1800 sec.	0,06*0,001	$1,5 \cdot 10^{-9}$
		Vrijkomen gehele mantel inhoud 10 minuten	1,4 m ³	$5 \cdot 10^{-5}$	1	44	-	-	600 sec.	-	$2,5 \cdot 10^{-5}$
		Lekkage 10 mm		$1 \cdot 10^{-3}$	1	21,5	10	-	1800 sec.	-	$5 \cdot 10^{-4}$

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM				
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT				
	Title: QRA				
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 6	of: 21

--	--

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Gebruiksfractie	Initiële faalkans $m^{-1} * j^{-1}$	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	Vervolg scenario's	Uitstroom- duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
Leidingen	Leidingdeel Shell; 1,1 km, 30m op terrein; Shell naar compressor 120 ton/uur	1. Breuk	Uitstroom vanaf Shell	1	$30*1,0*10^{-7}$	1,2	900	Inblok op Shell niet meegenomen	1800	-	$1,84*10^{-6}$
			Uitstroom vanaf compressor	Niet apart meegenomen door dubbele beveiliging (Terugslagklep en inblok compressor) en de compressoren die aan blijven en voor een negatieve flow zorgen. Uitstroming van gedeelte van breuk tot compressor zit in de uitstroming vanaf Shell en de distance to break.							
		2. Lek (10% diameter. Max 50 mm)	-	1	$30*5*10^{-7}$	1,2	50	-	1800 sec.	-	$7,5*10^{-6}$
Leidingen	Leidingdeel OCAP Compressors naar tuinbouw 40 meter	1. Breuk	Leeg lopen leiding + Uitstroom vanaf OCAP compressors, 1,5 x debiet 105 ton/h	1	$40*1,0*10^{-7}$	21,5	400	IB werkt	120 sec.	0,999	$4*10^{-6}$
								IB werkt niet	1800 sec.	0,001	$4*10^{-9}$
			Leeg lopen leiding + Uitstroming vanuit leiding naar tuinbouw	1	$40*1,0*10^{-7}$	21,5	400	-	1800 sec.	-	$4*10^{-6}$
		2. Lek (10% diameter. Max 50 mm)	-	1	$40*5*10^{-7}$	21,5	40	-	1800 sec.	-	$2*10^{-5}$

Opmerkingen;

Leidingen worden in principe berekend met een route waarbij een ongevalfrequentie over deze route wordt weergegeven. Bij deze studie is gekozen om voor de leidingsscenario's op de plots leidingdelen te definiëren met 1 ongevallocatie. Reden hiervoor is de relatief korte lengtes van de routes on site gecombineerd met een uitstroming uit een lange leiding. De faalkans geldt uitsluitend voor dat deel dat zich op de plot bevindt. Om dit zo realistisch mogelijk te doen is gekozen voor het long pipelinemodel, waarbij het debiet van de uitstroming in eerste instantie bepaald wordt door de druk, vervolgens door de 'pumped inflow'. Het is niet mogelijk het long pipelinemodel te combineren met een route. De ongevallocaties zijn in het midden van het leidingdeel gekozen.

 TEBODIN Consultants & Engineers	client: V&SH, LINDEGAS, NAM										
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT										
	Title: QRA										
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 7	of: 21						

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Gebruiksfractie	Initiële faalkans $\text{m}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	Vervolg scenario's	Uitstroom- duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
Leidingen	Leidingdeel Lindegas Compressor naar Industrie 40 meter	1. Breuk	Leeg lopen leiding + Uitstroom vanaf Lindegas compressor, 1,5 x debiet 15 ton/h	1	$40 \cdot 1,0 \cdot 10^{-7}$	25	100	IB werkt	120 sec.	0,999	$4 \cdot 10^{-6}$
								IB werkt niet	1800 sec.	0,001	$4 \cdot 10^{-9}$
			Leeg lopen leiding + Uitstroming vanuit leiding naarindustrie	1	$40 \cdot 1,0 \cdot 10^{-7}$	25	100	-	1800 sec.	-	$4 \cdot 10^{-6}$
		2. Lek (10% diameter. Max 50 mm)	-	1	$40 \cdot 5 \cdot 10^{-7}$	25	10	-	1800 sec.	-	$2 \cdot 10^{-5}$

Opmerkingen;

Leidingen worden in principe berekend met een route waarbij een ongevalfrequentie over deze route wordt weergegeven. Bij deze studie is gekozen om voor de leidingsscenario's op de plots leidingdelen te definiëren met 1 ongevallocatie. Reden hiervoor is de relatief korte lengtes van de routes on site gecombineerd met een uitstroming uit een lange leiding. De faalkans geldt uitsluitend voor dat deel dat zich op de plot bevindt. Om dit zo realistisch mogelijk te doen is gekozen voor het long pipelinemodel, waarbij het debiet van de uitstroming in eerste instantie bepaald wordt door de druk, vervolgens door de 'pumped inflow'. Het is niet mogelijk het long pipelinemodel te combineren met een route. De ongevallocaties zijn in het midden van het leidingdeel gekozen.



client: V&SH, LINDEGAS, NAM
Project: CO₂ INJECTIE BARENDRECHT

Title: QRA

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Gebruiksfractie	Initiële faalkans $\text{m}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	Vervolg scenario's	Uitstroom-duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
Leidingen	Leidingdeel Lindegas Compressor naar Industrie 40 meter	1. Breuk	Leeg lopen leiding + Uitstroom vanaf Lindegas compressor, 1,5 x debiet 15 ton/h	1	$40 \cdot 1,0 \cdot 10^{-7}$	25	100	IB werkt	120 sec.	0,999	$4 \cdot 10^{-6}$
								IB werkt niet	1800 sec.	0,001	$4 \cdot 10^{-9}$
			Leeg lopen leiding + Uitstroming vanuit leiding naar industrie	1	$40 \cdot 1,0 \cdot 10^{-7}$	25	100	-	1800 sec.	-	$4 \cdot 10^{-6}$
		2. Lek (10% diameter. Max 50 mm)	-	1	$40 \cdot 5 \cdot 10^{-7}$	25	10	-	1800 sec.	-	$2 \cdot 10^{-5}$

Opmerkingen;

Leidingen worden in principe berekend met een route waarbij een ongevalfrequentie over deze route wordt weergegeven. Bij deze studie is gekozen om voor de leidingscenario's op de plots leidingdelen te definiëren met 1 ongevallocatie. Reden hiervoor is de relatief korte lengtes van de routes on site gecombineerd met een uitstroming uit een lange leiding. De faalkans geldt uitsluitend voor dat deel dat zich op de plot bevindt. Om dit zo realistisch mogelijk te doen is gekozen voor het long pipelinemodel, waarbij het debiet van de uitstroming in eerste instantie bepaald wordt door de druk, vervolgens door de 'pumped inflow'. Het is niet mogelijk het long pipelinemodel te combineren met een route. De ongevallocaties zijn in het midden van het leidingdeel gekozen.



client: V&SH, LINDEGAS, NAM
Project: CO₂ INJECTIE BARENDRECHT
Title: QRA

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Gebruiksfractie	Initiële faalkans $\text{m}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	Vervolg scenario's	Uitstroom- duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
Ontzwa- lings unit		1. Breuk		1	$60 \cdot 1,0 \cdot 10^{-7}$	21.5		IB werkt IB werkt niet	120 sec. 1800 sec.	0,999 0,001	$3 \cdot 10^{-6}$ $3 \cdot 10^{-9}$
				1	$60 \cdot 1,0 \cdot 10^{-7}$	21.5		-	1800 sec.	-	$3 \cdot 10^{-6}$
		2. Lek (10% diameter. Max 50 mm)	-	1	$60 \cdot 5 \cdot 10^{-7}$	21.5		-	1800 sec.	-	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Opmerkingen;

Leidingen worden in principe berekend met een route waarbij een ongevalfrequentie over deze route wordt weergegeven. Bij deze studie is gekozen om voor de leidingsscenario's op de plots leidingdelen te definiëren met 1 ongevallocatie. Reden hiervoor is de relatief korte lengtes van de routes on site gecombineerd met een uitstroming uit een lange leiding. De faalkans geldt uitsluitend voor dat deel dat zich op de plot bevindt. Om dit zo realistisch mogelijk te doen is gekozen voor het long pipelinemodel, waarbij het debiet van de uitstroming in eerste instantie bepaald wordt door de druk, vervolgens door de 'pumped inflow'. Het is niet mogelijk het long pipelinemodel te combineren met een route. De ongevallocaties zijn in het midden van het leidingdeel gekozen.



client: V&SH, LINDEGAS, NAM
Project: CO₂ INJECTIE BARENDRECHT

Title: QRA

2. Locatie Beneluxtunnel en Groene Kruiswegtunnel

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Gebruiksfractie	Initiële faalkans $\text{m}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	Vervolg scenario's	Uitstroom-duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
Leidingen	Beneluxtunnel	Breuk 14"	Leeg lopen leiding + Uitstroom vanaf Booster compressoren	0,5	$300 \cdot 6,1 \cdot 10^{-10}$	44	14"	-	1800 sec.	-	$9,2 \cdot 10^{-8}$
			Leeg lopen leiding + Booster compressoren draaien niet	0,5	$300 \cdot 6,1 \cdot 10^{-10}$	44	14"	-	1800 sec.	-	$9,2 \cdot 10^{-8}$
Leidingen	Beneluxtunnel	Breuk 28"	Leeg lopen leiding + Uitstroom vanaf Booster compressoren	0,5	$300 \cdot 6,1 \cdot 10^{-10}$	44	28"	-	1800 sec.	-	$9,2 \cdot 10^{-8}$
			Leeg lopen leiding + Booster compressoren draaien niet	0,5	$300 \cdot 6,1 \cdot 10^{-10}$	44	28"	-	1800 sec.	-	$9,2 \cdot 10^{-8}$
Leidingen	Groene Kruisweg tunnel	Breuk 14"	Leeg lopen leiding + Uitstroom vanaf Booster compressoren	0,5	$73 \cdot 6,1 \cdot 10^{-10}$	44	14"	-	1800 sec.	-	$2,2 \cdot 10^{-8}$
			Leeg lopen leiding + Booster compressoren draaien niet	0,5	$73 \cdot 6,1 \cdot 10^{-10}$	44	14"	-	1800 sec.	-	$2,2 \cdot 10^{-8}$
Leidingen	Groene Kruisweg tunnel	Breuk 28"	Leeg lopen leiding + Uitstroom vanaf Booster compressoren	0,5	$73 \cdot 6,1 \cdot 10^{-10}$	44	28"	-	1800 sec.	-	$2,2 \cdot 10^{-8}$
			Leeg lopen leiding + Booster compressoren draaien niet	0,5	$73 \cdot 6,1 \cdot 10^{-10}$	44	28"	-	1800 sec.	-	$2,2 \cdot 10^{-8}$

 TEBODIN Consultants & Engineers	client: V&SH, LINDEGAS, NAM							
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT							
	Title: QRA							
office: Den Haag		order: 38898.00		document: BIJLAGEN 3800784		rev: 4	sheet: 11	of: 21

Uitstromingshoeveelheden:

Benelux tunnel						
14" inflow						
Case	Flow	Temperature	Time	Density	Flow	Velocity
	kg/s	C	s	kg/m3	m3/s	m/s
1	259,5	-73	66	2,69	96,44	0,92
2	117,5	-47	145	2,38	49,34	0,47
3	59,5	-39	286	2,30	25,87	0,25
4	34,5	-19	495	2,12	16,28	0,16
5	21	10	808	1,90	11,04	0,11
1800						
Benelux tunnel						
14" geen inflow						
Case	Flow	Temperature	Time	Density	Flow	Velocity
	kg/s	C	s	kg/m3	m3/s	m/s
1	259,5	-73	66	2,69	96,44	0,92
2	117,5	-47	145	2,38	49,34	0,47
3	59,5	-39	286	2,30	25,87	0,25
4	34,5	-19	495	2,12	16,28	0,16
5	21	10	808	1,90	11,04	0,11
1800						

Benelux tunnel						
28" inflow						
Case	Flow	Temperature	Time	Density	Flow	Velocity
	kg/s	C	s	kg/m3	m3/s	m/s
1	1678	-84	37	2,85	589,34	5,61
2	837	-67	74	2,61	320,39	3,05
3	433	-51	143	2,42	178,61	1,70
4	206,5	-40,4	300	2,31	89,24	0,85
5	49,5	10	1247	1,90	26,02	0,25
1801						
Beneluxtunnel						
28" No inflow						
Case	Flow	Temperature	Time	Density	Flow	Velocity
	kg/s	C	s	kg/m3	m3/s	m/s
1	1735,5	-84	33	2,85	609,53	5,81
2	903	-69	64	2,64	342,30	3,26
3	490	-51	118	2,42	202,12	1,92
4	244,5	-48	235	2,39	102,22	0,97
5	46	10	1247	1,90	24,18	0,23
1697						

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM									
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT									
	Title: QRA									
office: Den Haag		order: 38898.00		document: BIJLAGEN 3800784			rev: 4	sheet: 12	of: 21	

Groene kruisweg						
14" inflow						
Case	Flow	Temperature	Time	Density	Flow	Velocity
	kg/s	C	s	kg/m3	m3/s	m/s
1	263	-73	69	2,69	97,56	1,17
2	149	-56	122	2,48	59,88	0,72
3	93	-35	196	2,26	41,12	0,49
4	44	1	411	1,96	22,40	0,27
5	18	10	1001	1,90	9,46	0,11
1799						
Groene kruisweg						
14" No inflow						
Case	Flow	Temperature	Time	Density	Flow	Velocity
	kg/s	C	s	kg/m3	m3/s	m/s
1	311	-77	48	2,75	113,09	1,35
2	182	-63	81	2,56	71,02	0,85
3	129	-50	114	2,41	53,45	0,64
4	77	-25	191	2,17	35,48	0,42
5	14,5	10	1013	1,90	7,62	0,09
1447						

Groene kruisweg						
28" inflow						
Case	Flow	Temperature	Time	Density	Flow	Velocity
	kg/s	C	s	kg/m3	m3/s	m/s
1	1685	-83,8	37	2,84	592,42	7,09
2	1010	-72,3	62	2,68	376,67	4,51
3	689	-61	90	2,54	271,21	3,25
4	369	-34,6	169	2,26	163,22	1,95
5	43	10	1443	1,90	22,61	0,27
1801						
Groene kruisweg						
28" No inflow						
Case	Flow	Temperature	Time	Density	Flow	Velocity
	kg/s	C	s	kg/m3	m3/s	m/s
1	1744	-82,6	33	2,83	616,87	7,38
2	1058	-76	54	2,73	387,30	4,64
3	753	-66,5	76	2,61	288,93	3,46
4	450	-48	127	2,39	188,13	2,25
5	86	10	667	1,90	45,21	0,54
958						

3. Gasinjectie Barendrecht

 TEBODIN Consultants & Engineers	client: V&SH, LINDEGAS, NAM					
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT					
	Title: QRA					
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 13	of: 21	

Voor de gasinjectielocaties worden 3 scenario's berekend;

1. Huidige situatie; Monitoring van de productieputten; Aardgasblowout en well release met de blow-out potential bij lage druk (Opgave NAM)
2. Toekomstige situatie 1; CO₂ injectie; Tevens kans op terugstromen aardgas uit de putten (alleen bij 1800 sec. uitstroom)
3. Toekomstige situatie 2; Monitoring van de CO₂ putten CO₂ blowout en well release met de blow-out potential bij hoge druk (Opgave NAM)

Bij de scenario's zijn er een aantal specifieke uitgangspunten gehanteerd. Deze zijn hieronder per scenario vermeld. De overige uitgangspunten worden hierna beschreven per locatie.

1. Huidige situatie

Aardgasblowout en well release met de blow-out potential en druk opgegeven door NAM en faalkansen voor put tijdens monitoring.

2. Toekomstige situatie 1

Bij de scenario's waarbij er uitstroming uit de put kan plaatsvinden door falen van de injectie-equipment tijdens CO₂ injectie (falen compressor uitstroming perszijde, line rupture naar de put), kan er bij langdurige uitstroom aardgas vrijkomen. Dit vindt uitsluitend plaats wanneer de inblikvoorzieningen en terugslagkleppen falen (uitstroom > 120 seconden). Bij een blowout en well release van de putten is ervoor gekozen deze dubbel te modelleren voor CO₂ en aardgas omdat het niet duidelijk is in welke verhouding de gassen zullen uitstromen. Dit is een conservatieve aanname. De uitstroming is onder de inkektiedruk en temperatuur met de blow-out potential opgegeven door NAM en faalkansen voor put tijdens operation..

3. Toekomstige situatie 2

CO₂ blowout en well release met de blow-out potential en druk opgegeven door NAM en faalkansen voor put tijdens monitoring.



client: V&SH, LINDEGAS, NAM
Project: CO₂ INJECTIE BARENDRECHT
Title: QRA

Compressoren

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Initiële faalkans Per jaar	Aantal units	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	ervolg scenario's	Uitstroom duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar	
compressor (1 stuks) Doorzet 52,5 ton/uur, gebruiksfractie 50% toekomst Gecombineerde automatische inblok in zuig- en persleiding, terugslagklep in persleiding.	Compressor	Catastrofaal falen	Zuigzijde Shell	0,5*1,0*10 ⁻⁴	1	44	273	Inblok werkt	120 sec.	0,999	5*10 ⁻⁵	
								Inblok werkt niet	1800	0,001	5*10 ⁻⁸	
			Perszijde; Injectieput	0,5*1,0 * 10 ⁻⁴	1	150	203	Terugslagklap werkt	5 sec.	0,94	4,7*10 ⁻⁵	
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt	120 sec.	0,06	3*10 ⁻⁶	
		Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt niet						1800 sec.	0,06*0,001	3*10 ⁻⁹		
		Lek in de persleiding (10% diameter)		0,5*4,4*10 ⁻³	1	150	20,3	-	1800 sec.	-	2,2*10 ⁻³	
	Warmte wisselaar, gas in pijpen (2 per compressor)	Breuk 10 pijpen		0,5*1*10 ⁻⁵	2	150	80	-	1800 sec	-	1*10 ⁻⁵	
		Breuk 1 pijp		0,5*1*10 ⁻³	2	150	25,4	-	1800 sec.	-	1*10 ⁻³	
		Breuk 10% pijpdiameter		0,5*1*10 ⁻²	2	150	2,54	-	1800 sec.	-	1*10 ⁻²	
	Voor de warmtewisselaars wordt uitgegaan van het worst case scenario, waarbij de warmtewisselaar na de laatste trap faalt. Hierbij wordt de uitstroom vanuit de perszijde gelijk aan die van de uitstroming van het falen van een compressor. Voor de uitstroming van de zuigzijde wordt 1,5 keer de doorzet van de compressor genomen als uitstroming.											

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM				
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT				
	Title: QRA				
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 15	of: 21

Leidingen

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Gebruiksfractie	Initiële faalkans $m^{-1} * j^{-1}$	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	Vervolg scenario's	Uitstroom-duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
Leidingen	Leidingdeel Shell; 10000 km, 40m op terrein; Shell naar compressor 52,5 ton/uur	1. Breuk	Uitstroom vanaf Shell	1	$40*1,0*10^{-7}$	44	356	Inblok op Shell niet meegenomen	1800	-	$4*10^{-6}$
			Uitstroom vanaf compressor	Niet apart meegenomen door dubbele beveiliging (Terugslagklep en inblok compressor) en de compressoren die aan blijven en voor een negatieve flow zorgen. Uitstroming van gedeelte van breuk tot compressor zit in de uitstroming vanaf Shell en de distance to break.							
		2. Lek (10% diameter. Max 50 mm)	-	1	$40*5*10^{-7}$	2,2	35,6	-	1800 sec.	-	$2*10^{-5}$
Leidingen	Leidingdeel Compressor naar injectieput Verdeeld in 3 delen met lengte X	1. Breuk	Uitstroom vanaf compressor, 1,5 x debiet 52,5 ton/h	1	$x*1,0*10^{-7}$	21,5	400	IB werkt	120 sec.	0,999	$X*1*10^{-7}$
								IB werkt niet	1800 sec.	0,001	$X*1*10^{-10}$
			Leeg lopen tubing + Uitstroming blowout potential	1	$X*1,0*10^{-7}$	21,5	400	IB werkt	120	0,999	$X*1*10^{-7}$
								IB werkt niet	1800	0,001	$X*1*10^{-10}$
		2. Lek (10% diameter. Max 50 mm)	-	1	$x*5*10^{-7}$	21,5	40	-	1800 sec.	-	$X*5*10^{-7}$

Opmerkingen;

Leidingen worden in principe berekend met een route waarbij een ongevalfrequentie over deze route wordt weergegeven. Bij deze studie is gekozen om voor de leidingsscenario's op de plots leidingdelen te definiëren met 1 ongevallocatie. Reden hiervoor is de relatief korte lengtes van de routes on site gecombineerd met een uitstroming uit een lange leiding. De faalkans geldt uitsluitend voor dat deel dat zich op de plot bevindt. Om dit zo realistisch mogelijk te doen is gekozen voor het long pipelinemodel, waarbij het debiet van de uitstroming in eerste instantie bepaald wordt door de druk, vervolgens door de 'pumped inflow'. Het is niet mogelijk het long pipelinemodel te combineren met een route. De ongevallocaties zijn in het midden van het leidingdeel gekozen.

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM				
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT				
	Title: QRA				
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 16	of: 21

Gasputten/Injectieputten

Blowout	Flow potential t/d	Tubing diameter "	Max Injectiedruk Bara	Max Blow out druk Bara	Temp C	Dry ice %	Vapour %	Dry ice kg/s	Vapour kg/s
BRT-1	800	3,1	149	110	65	34%	66%	3,15	6,11
BRT-2B	2200	4,6	149	110	65	34%	66%	8,66	16,81

		Faalfrequentie		No. Operaties	Faalfrequentie	
		Blow out	Well release	/jaar	Blow out	Well release
Normale put operatie						
Productie blow-out		2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar		2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar
Initiële faalfrequentie bij monitoring					2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar
Put onderhoud						
Wireline		1,1 x 10 ⁻⁵ /keer	3,4 x 10 ⁻⁵ /keer	2	2,2 x 10 ⁻⁵ /jaar	6,8 x 10 ⁻⁵ /jaar
CT		2,4 x 10 ⁻⁴ /keer	4,8 x 10 ⁻⁴ /keer	0.03	7,2 x 10 ⁻⁶ /jaar	1,4 x 10 ⁻⁵ /jaar
Work over (excl. WL,CT, completion)		3,9 x 10 ⁻⁴ /keer	1,5 x 10 ⁻³ /keer	0.125	4,9 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,9 x 10 ⁻⁴ /jaar
Initiële faalfrequentie bij monitoring					7,82 x 10 ⁻⁵ /jaar	2,72 x 10 ⁻⁴ /jaar
Productie blow-out		2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar		2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar
Initiële faalfrequentie bij injectie					1,01 x 10 ⁻⁴ /jaar	2,94 x 10 ⁻⁴ /jaar
De gasvormige uitstroming van een blowout wordt gemodelleerd als een long pipeline met een pumped inflow van de blowout vapour potential. Er is gekozen om een time varying release toe te passen met 5 stappen.						
De ijsvorming die plaatsvindt is gemodelleerd als een user defined source waarbij de bron bepaald is een de hand van de verdampingssnelheid.						
Bij Injectie wordt gerekend met de max. injectiedruk. Bij monitoring wordt er gerekend met de max. blow-outdruk opgegeven door de NAM.						

 TEBODIN Consultants & Engineers	client: V&SH, LINDEGAS, NAM							
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT							
	Title: QRA							
office: Den Haag		order: 38898.00		document: BIJLAGEN 3800784		rev: 4	sheet: 17	of: 21

4. Locatie Barendrecht Ziedewij Compressoren

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Initiële faalkans Per jaar	Aantal units	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	ervolg scenario's	Uitstroom duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
compressor (2 stuks) Doorzet 52,5 ton/uur, gebruiksfractie 50% toekomst Gecombineerde automatische inblok in zuig- en persleiding, terugslagklep in persleiding.	Compressor	Catastrofaal falen	Zuigzijde Shell	0,5*1,0*10 ⁻⁴	1	44	273	Inblok werkt	120 sec.	0,999	5*10⁻⁵
								Inblok werkt niet	1800	0,001	5*10⁻⁸
			Perszijde; Injectieput	0,5*1,0 * 10 ⁻⁴	1	165	203	Terugslagklap werkt	5 sec.	0,94	4,7*10⁻⁵
								Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt	120 sec.	0,06	3*10⁻⁶
		Terugslagklap werkt niet, Inblok werkt niet						1800 sec.	0,06*0,00 1	3*10⁻⁹	
		Lek in de persleiding (10% diameter)		0,5*4,4*10 ⁻³	1	165	27,3	-	1800 sec.	-	2,2*10⁻³
	Warmte wisselaar, gas in pijpen (2 per compressor)	Breuk 10 pijpen		0,5*1*10 ⁻⁵	2	165	80	-	1800 sec	-	1*10⁻⁶
		Breuk 1 pijp		0,5*1*10 ⁻³	2	165	25,4	-	1800 sec.	-	1*10⁻⁴
		Breuk 10% pijpdiameter		0,5*1*10 ⁻²	2	165	2,54	-	1800 sec.	-	1*10⁻³
Voor de warmtewisselaars wordt uitgegaan van het worst case scenario, waarbij de warmtewisselaar na de laatste trap faalt. Hierbij wordt de uitstroom vanuit de perszijde gelijk aan die van de uitstroming van het falen van een compressor.											

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM				
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT				
	Title: QRA				
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 18	of: 21

Leidingen

Unit	Onderdeel	Scenario	Uitstroming	Gebruiksfractie	Initiële faalkans $m^{-1} * j^{-1}$	Druk (Bara)	Uitstroom Diameter (mm)	Vervolg scenario's	Uitstroom-duur	Vervolg kans	Totale faalkans Per jaar
Leidingen	Leidingdeel Shell; 19000 km, 40m op terrein; Shell naar compressor 52,5 ton/uur	1. Breuk	Uitstroom vanaf Shell	0,5	$40*1,0*10^{-7}$	44	356	Inblok op Shell niet meegenomen	1800	-	$2*10^{-6}$
			Uitstroom vanaf compressor	Niet apart meegenomen door dubbele beveiliging (Terugslagklep en inblok compressor) en de compressoren die aan blijven en voor een negatieve flow zorgen. Uitstroming van gedeelte van breuk tot compressor zit in de uitstroming vanaf Shell en de distance to break.							
		2. Lek (10% diameter. Max 50 mm)	-	0,5	$40*5*10^{-7}$	2,2	35,6	-	1800 sec.	-	$7,5*10^{-6}$
Leidingen	Leidingdeel Compressor naar injectieput Verdeeld in 3 delen met lengte X	1. Breuk	Uitstroom vanaf compressor, 1,5 x debiet 52,5 ton/h	0,5	$x*1,0*10^{-7}$	21,5	400	IB werkt	120 sec.	0,999	$X*5*10^{-8}$
								IB werkt niet	1800 sec.	0,001	$X*5*10^{-11}$
			Leeg lopen tubing + Uitstroming blowout potential	0,5	$X*1,0*10^{-7}$	21,5	400	IB werkt	120	0,999	$X*5*10^{-8}$
								IB werkt niet	1800	0,001	$X*2*10^{-11}$
		2. Lek (10% diameter. Max 50 mm)	-	0,5	$x*5*10^{-7}$	21,5	40	-	1800 sec.	-	$X*1*10^{-5}$

Opmerkingen;

Leidingen worden in principe berekend met een route waarbij een ongevalfrequentie over deze route wordt weergegeven. Bij deze studie is gekozen om voor de leidingsscenario's op de plots leidingdelen te definiëren met 1 ongevallocatie. Reden hiervoor is de relatief korte lengtes van de routes on site gecombineerd met een uitstroming uit een lange leiding. De faalkans geldt uitsluitend voor dat deel dat zich op de plot bevindt. Om dit zo realistisch mogelijk te doen is gekozen voor het long pipelinemodel, waarbij het debiet van de uitstroming in eerste instantie bepaald wordt door de druk, vervolgens door de 'pumped inflow'. Het is niet mogelijk het long pipelinemodel te combineren met een route. De ongevallocaties zijn in het midden van het leidingdeel gekozen.

	client: V&SH, LINDEGAS, NAM				
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT				
	Title: QRA				
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 19	of: 21

Gasputten/Injectieputten

Blowout	Flow potential t/d	Tubing diameter "	Max Injectiedruk Bara	Max Blow out druk Bara	Temp C	Dry ice %	Vapour %	Dry ice kg/s	Vapour kg/s
BRTZ-1	13000	7,2	165	145	75	32%	68%	48,15	102,31
BRTZ-2	2500	-	165	145	75	32%	68%	9,26	19,68
BRTZ-3	13000	7,2	165	145	75	32%	68%	48,15	102,31
BRTZ-4	2500	4,6	165	145	75	32%	68%	9,26	19,68

		Faalfrequentie		No. Operaties	Faalfrequentie	
		Blow out	Well release	/jaar	Blow out	Well release
Normale put operatie						
Productie blow-out		2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar		2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar
Initiële faalfrequentie bij monitoring					2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar
Put onderhoud						
Wireline		1,1 x 10 ⁻⁵ /keer	3,4 x 10 ⁻⁵ /keer	2	2,2 x 10 ⁻⁵ /jaar	6,8 x 10 ⁻⁵ /jaar
CT		2,4 x 10 ⁻⁴ /keer	4,8 x 10 ⁻⁴ /keer	0.03	7,2 x 10 ⁻⁶ /jaar	1,4 x 10 ⁻⁵ /jaar
Work over (excl. WL,CT, completion)		3,9 x 10 ⁻⁴ /keer	1,5 x 10 ⁻³ /keer	0.125	4,9 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,9 x 10 ⁻⁴ /jaar
Initiële faalfrequentie bij monitoring					7,82 x 10 ⁻⁵ /jaar	2,72 x 10 ⁻⁴ /jaar
Productie blow-out		2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar		2,3 x 10 ⁻⁵ /jaar	1,7 x 10 ⁻⁵ /jaar
Initiële faalfrequentie bij injectie					1,01 x 10 ⁻⁴ /jaar	2,94 x 10 ⁻⁴ /jaar
De gasvormige uitstroming van een blowout wordt gemodelleerd als een long pipeline met een pumped inflow van de blowout vapour potential. Er is gekozen om een time varying release toe te passen met 5 stappen.						
De ijsvorming die plaatsvindt is gemodelleerd als een user defined source waarbij de bron bepaald is een de hand van de verdampingssnelheid.						
Bij Injectie wordt gerekend met de max. injectiedruk. Bij monitoring wordt er gerekend met de max. blow-outdruk opgegeven door de NAM.						

 TEBODIN Consultants & Engineers	client: V&SH, LINDEGAS, NAM					
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT					
	Title: QRA					
office: Den Haag	order: 38898.00	document: BIJLAGEN 3800784	rev: 4	sheet: 20	of: 21	



	client: V&SH, LINDEGAS, NAM									
	Project: CO ₂ INJECTIE BARENDRECHT									
	Title: QRA									
office: Den Haag		order: 38898.00		document: BIJLAGEN 3800784			rev: 4	sheet: 21	of: 21	

1. Inleiding

Bij de totstandkoming van de Buisleidingenstraat werd uitgebreid aandacht besteed aan aspecten als onteigening, erfdienstbaarheden en ruimtebeslag. Daarnaast is in Staatsblad 145 een formule vermeld waarmee de onderlinge afstand van afzonderlijk te leggen leidingen is voorgeschreven.

De aan te houden veilige afstand tot een buis bij het leggen van een volgende buis is hierin afhankelijk gesteld van onder andere de diameter van de bestaande buis, de diameter van de te leggen buis, de bodemgesteldheid en de te volgen werkmethode.

Rekening houdende met de destructieve drukzones die bij beide leidingen behoren zijn de afgelopen tientallen jaren diverse leidingen in de Buisleidingenstraat aangelegd. Bij de tot op heden gehanteerde berekeningsmethode voor onderlinge afstanden is altijd uitgegaan van een 1 op 1 situatie, met andere woorden, bij het berekenen van de aan te houden afstand werd rekening gehouden met de bestaande leiding waarnaast de nieuwe leiding aangelegd moest worden. Bij het berekenen van de onderlinge afstand wordt tot op heden geen rekening gehouden met het groepsrisico.

Door Buisleidingenstraat Nederland is aan Adviesbureau Schrijvers b.v. verzocht om de door hen gehanteerde formule te toetsen aan de actuele landelijke richtlijn c.q. wet en een aantal berekende hart-op-hart afstanden te controleren. Tevens is verzocht om een advies om te voldoen aan de landelijke richtlijnen.

2. Onderzoeken op de Maasvlakte

In 1970 zijn in opdracht van de Buisleidingenstraat op de Maasvlakte door TNO een aantal proeven uitgevoerd om vast te stellen met welke sympatische afstand rekening gehouden dient te worden ter voorkoming van een kettingreactie indien een hogedrukleiding explodeert. Over de bevindingen van deze proeven is een rapportage opgesteld. Hier heeft destijds behalve TNO ook het toenmalige Grondmechanica Delft aan meegewerkt. In het Compendium Geo-Tubomechanica (uitgave provincie Zuid-Holland) is uitgebreid stilgestaan bij deze proeven. Het Compendium is feitelijk de basis geweest van de Pijpleidingcode 1972 en de huidige NEN 3650-serie.

Volgens medewerkers van Deltaris is in Nederland sindsdien geen aanvullend onderzoek verricht. Ook bij VROM zijn geen nadere onderzoeken bekend. Gesteld kan worden dat sinds 1970 in Nederland geen andere onderzoeken naar onderlinge afstanden van buisleidingen zijn uitgevoerd.

In het Compendium zijn de resultaten van de proeven beschreven. In de zevende revisie van de Pijpleidingcode (juni 1992) werden deze resultaten ook vermeld. Daarnaast werden nadere bepalingen voorgeschreven:

De onderlinge afstand van gelijktijdig te leggen, parallel lopende pijpleidingen bij kruising van boezemwateren, waterkeringen en wegen dient te bedragen:

- a. *bij diameters van 0,30 m (12") en groter minimaal 5 m h.o.h.*
- b. *bij diameters kleiner dan 0,30 m (12") minimaal 1 m tussenruimte.*

Wanneer leidingen met een diameter van 0,30 m en groter gelijktijdig en parallel worden gelegd met leidingen met een diameter kleiner dan 0,30 m, moet de onderlinge afstand minimaal 5 m h.o.h. bedragen. De onderlinge afstand van niet gelijktijdig te leggen parallel lopende pijpleidingen bij kruisingen van boezemwateren, waterkeringen en wegen dient minimaal 15 m h.o.h. te bedragen. Incidenteel mag met goedkeuring van de vergunningverlenende instantie hiervan worden afgeweken onder bepaalde voorwaarden.

- *Naast de reguliere sterkteberekening, dienen alle elkaar bij breuk beïnvloedende leidingen te worden berekend voor een situatie van onderspoeling;*
- *Rijden over een reeds in bedrijf zijnde leiding met materieel ten behoeve van de aanleg van een nieuwe leiding is niet toegestaan, tenzij boven de leiding draglineschotten zijn aangebracht of een verharding aanwezig is;*
- *Boven de bestaande leiding mag niet worden ontgraven of een gronddepot worden geformeerd;*
- *Eventueel transport van damwand over een bestaande leiding is uitsluitend toegestaan met damplanken in horizontale positie, terwijl boven deze leiding draglineschotten aanwezig moeten zijn;*
- *Door een veiligheidsinspecteur van de beheersmaatschappij van de bestaande leiding moet mede toezicht worden gehouden op de werkzaamheden ten behoeve van de aanleg van de nieuwe leiding.*

De genoemde maten van 1, 5 en 15 m dienen in het geval van vloeistofleidingen te worden getoetst aan de erosiekraters die ontstaan als gevolg van lekkage.



Aangenomen werd, dat met de gestelde veiligheidsafstanden voldoende veiligheid was verkregen in alle omstandigheden. Dit is echter bij proeven op de Maasvlakte te Rotterdam niet juist gebleken. Om het destructieve effect van een barstende hogedrukgasleiding in een leidingstraat te bepalen, zijn in 1970 drie explosieproeven uitgevoerd. Aan de hand van de resultaten van deze proeven is het mogelijk normen te bepalen voor minimale veilige afstanden tussen de pijpleidingen.

A. Eerste proef.

Hierbij werd uitgegaan van een leiding van 36" diameter met een lengte van 60 m, die door middel van stikstof op een gasdruk van 70 bar was gebracht. De leiding was op de gebruikelijke wijze gelegd met een gronddekking van 1 m. Aan weerszijden werden, met een tussenruimte van 1,50 m, pijpen gelegd met eveneens een gronddekking van 1 m, aan de ene kant een stalen leiding (36 m, $\varnothing$ 36", 2 bar) en aan de andere kant een asbestcement leiding (20 m, $\varnothing$ 0,60 m, drukloos). De middelste (hogedruk) leiding werd door middel van een initiërende springlading tot barsten gebracht. Resultaat: de hogedrukleiding scheurde over een buislengte (12 m) open, de naastliggende stalen leiding werd geheel plat gedrukt, terwijl de asbestcement pijp ter hoogte van het barstpunt volledig was verbrijzeld.

B. Tweede proef.

Deze werd uitgevoerd op basis van de meetresultaten van de vorige proef. Wederom werd een stalen leiding (60 m, $\varnothing$ 36", 70 bar) gelegd, met aan de linkerkant - weer met 1,50 m tussenruimte - een stalen leiding (60 m, $\varnothing$ 36", 60 bar) en op 6 m afstand een asbestcement pijp (20 m, $\varnothing$ 0,60 m, drukloos). Aan de rechterkant werd met 1 m tussenruimte een stalen pijp (36 m, $\varnothing$ 6", drukloos) gelegd en op 3 m afstand een met water gevulde asbestcement pijp (20 m, $\varnothing$ 0,60 m, 5 bar).

Resultaat: de tot barsten gebrachte leiding scheurde over de volle lengte van 60 m open, alle naastgelegen (druk)leidingen bleken niet te lekken of te zijn beschadigd. Wel werden enkele lichte vervormingen en verplaatsingen geconstateerd.

C. Derde proef.

Deze werd uitgevoerd met drie stalen leidingen ($\varnothing$ 6") met tussenafstanden van 0,5 m en een nodulair gietijzeren pijp. De tot barsten te brengen leiding stond onder een druk van circa 100 bar, de ene naastliggende onder circa 40 bar, de andere was drukloos. De gietijzeren buis lag 30 om verticaal onder de drukloze pijp.

Resultaat: de drie naastliggende pijpen werden niet noemenswaardig beschadigd, en bij de onder druk staande leiding (40 bar) trad geen lekkage op.

Conclusie volgens het Compendium

De resultaten van deze proeven, welke in zand werden genomen, zijn ook nog omgerekend voor omstandigheden, waarbij de buis in andere grond zou zijn gelegen. Hieruit zijn voor klei ongunstiger waarden gekomen dan voor zand en veen. Voor een ligging in veen kunnen dezelfde uitkomsten worden aangehouden als voor zand. De oorzaak hiervan is gelegen in het feit, dat de in veen aanwezige gasbellen de schokgolf drastisch smoren. Voor een ligging in klei waren de uitkomsten veel ongunstiger. De naastliggende buis krijgt een hardere stoot dan in zand. Dit is nader uitgewerkt aan de hand van proefjes en beschouwingen, waaruit kon worden geconcludeerd, dat de veiligheidsafstanden bij een ligging in klei 3 x zo groot moeten zijn dan bij een ligging in zand. De waarden uit de proeven zijn voor zandgrond en zijn kleiner dan de genoemde veiligheidsafstanden in verband met de uitvoering.

Voor naast elkaar gelegen hogedrukleidingen valt een en ander wel mee, omdat de tussenafstand benodigd voor werkruimte groter is dan de benodigde veiligheidsafstand. De benodigde werkruimte (5 m) is afhankelijk van de eis, dat een leiding moet kunnen worden ontgraven, zonder dat de naastgelegen leiding gevaar loopt in de ontgraving te schuiven.

Wanneer een hogedrukgasleiding wordt gelegd naast een hogedrukolieleiding met een tussenafstand van 0,50 (bij kleine diameter) tot 1,50 m (bij grote diameter) zal in zand de buis heel blijven. De schokradius bij explosie van één van beide grote leidingen is n.l. ca. 2,00 m, zoals is gebleken uit de proeven op de Maasvlakte.

De schokradius is de afstand tussen het hart van de exploderende buis en de zijkant van de andere buis, die naar de exploderende buis is gericht. Bij kleine hogedrukleidingen is de schokradius circa 0,60 m gebleken (6" buis). In klei wordt de schokradius 3 x zo groot, d.w.z. 3 x 0,60 m voor kleine diameters (6") en 3 x 2,00 m voor grote diameters (36"). De explosieafstanden worden dan groter dan de afstanden, die uit hoofde van de uitvoering reeds nodig zijn n.l.:

$3 \times 0,6 - 0,10 = 1,70$ m dagwijdte, i.p.v. 1.00 m dagwijdte voor kleine diameters.

$3 \times 2,00 + 0,50 = 6,50$ m h.o.h., i.p.v. 5.00 m h.o.h. voor grote diameters.

Op grond van de proeven op de Maasvlakte kan verder worden gesteld, dat wanneer naast een grote hogedrukleiding (36") een grote lagedrukleiding ligt ($>0,60$ m) is de veiligheidsafstand in zand 3,50 m (schokradius) + 0,30 m ($1/2 \varnothing$) = 3,80 m h.o.h. en in klei $3 \times 3,50 + 0,30 = 10,80$ m h.o.h., terwijl de h.o.h.-afstand benodigd voor werkruimte 5,00 m blijft. Hier is dus de benodigde werkruimte ook onvoldoende om de noodzakelijk gebleken veiligheidsafstand te dekken.

Bij de aangegeven tussenruimten tijdens de proef bleven de naastliggende leidingen heel. Daarom zijn deze tussenruimten als uitgangspunt genomen bij de bepaling van de veiligheidsafstand. Voor een lagedrukleiding naast een hogedrukleiding kan een zelfde opzet worden gemaakt.

Conclusie:

De veiligheidsafstanden, welke genoemd worden in verband met de uitvoering kunnen aangehouden worden in zand en veen. In klei zijn de schokradii t.g.v. explosie 3 x zo groot. De veiligheidsafstanden in verband met explosiegevaar worden dan 6,5 m resp. 1,7 m (maatgevend t.o.v. de uitvoeringsafstanden 5 resp. 1 m).

Deze veiligheidsafstanden worden gesteld, omdat hogedrukleidingen bij bezwijken een gevaar kunnen zijn voor daarnaast gelegen leidingen. Voor naast elkaar gelegen lagedrukleidingen is er geen gevaar bij bezwijken van een van de leidingen. Wel moet rekening worden gehouden met een bepaalde minimum afstand t.b.v. de uitvoering (werkruimte).

Conclusie volgens de Pijpleidingcode

De veiligheidsafstanden, welke genoemd worden in verband met de uitvoering kunnen aangehouden worden in zand en veen. In klei zijn de schokradii t.g.v. explosie ruim 1,5 x zo groot.

De Pijpleidingcode is in 1998 vervangen door de NEN 3650-serie. In de NPR 3659 wordt op bovengenoemde proeven ingegaan (NPR3659:1996). In later verschenen wijzigingsbladen (NPR 3659/A1:juli2003 en NPR 3659/A1:2003/C1) wordt niet nader ingegaan op deze aspecten.

3. NEN 3650-serie in relatie tot onderlinge afstanden

In de 3650-serie wordt, in vergelijking tot de NPR 3659, beperkt ingegaan op onderlinge afstanden. De NPR 3659 is in feite de toelichting op de NEN 3650-serie. Vroeger in de Pijpleidingcode werd in bijlagen verduidelijkt wat met bepaalde formules bedoeld werd. De NPR 3659 is vergelijkbaar met dergelijke toelichtingen.

6.4.3 Afstanden tussen parallelle leidingen

De wederzijdse potentiële beïnvloeding van parallelle leidingen moet tijdens aanleg en bedrijf acceptabel zijn. Onder potentiële beïnvloeding wordt verstaan, de kans dat de beschouwde leiding door een bezwijkende parallelle leiding eveneens bezwijkt resp. wordt beschadigd, gedeformeerd of verplaatst. Tussen parallelle leidingen moet een afstand volgens de hiernavolgende punten a), b) of c) aanwezig zijn en bij gebundelde leidingen moeten voorzieningen volgens punt d) zijn getroffen.

a) In verband met de aanleg

De tussenruimte tussen gelijktijdig in een open sleuf te leggen parallelle leidingen moet ten minste 0,4 m bedragen. Indien de leidingen niet gelijktijdig worden gelegd, moet de hart-op-hart-afstand ten minste 15 m bedragen. Indien de veilige ligging van de bestaande leiding voldoende is gewaarborgd, mag incidenteel hiervan in overleg met de beheerder van het waterstaatswerk worden afgeweken. Voor wegkruisingen geldt een hart-op-hart-afstand van ten minste 2 m vermeerderd met vijfmaal de grootste leidingmiddellijn indien de leidingen gelijktijdig door doorpersing worden aangebracht, dan wel 10 m tussenruimte bij ongelijkijdige aanleg.

De afstand tussen twee parallelle HDD-boringen moet zo groot zijn dat stuurcorrecties onbelemmerd kunnen plaatsvinden. OPMERKING In zand wordt aanbevolen tussen twee parallelle HDD's ten minste 5,0 m en in klei 10,0 m hart-op-hart-afstand aan te houden.

b) In verband met het erosiegevaar -> niet van toepassing bij onderhavige vraagstelling

c) In verband met het explosiegevaar -> niet van toepassing bij onderhavige vraagstelling

8.1.5 Parallele leidingen

Tussen parallelle ondergrondse leidingen moet ten minste vrije ruimte van 0,4 m worden aangehouden. Uit veiligheidsoverwegingen (kettingreactie bij falen van een van de leidingen) kan deze afstand groter worden gekozen.

OPMERKING 1

In onderling overleg tussen de betrokken partijen kan van de maat van 0,4 m worden afgeweken. In NEN-EN 1594:2000 is een vrije ruimte van 0,3 m aangegeven. Dit wordt in verband met toegankelijkheid voor het maken van verbindingen, controle daarvan en beheer als te weinig beschouwd. Bij boringen, zinkers en kruisingen met waterstaatswerken gelden andere criteria.

OPMERKING 2

Ingeval van leidingen waar de sleufaankvulling verdicht zal worden, verdient het aanbeveling de tussenruimte tussen de leidingen tenminste 0,4 m te laten bedragen en naast de leidinggroep is 0,5 m een praktisch minimum.

8.1.6 Buisleidingenstraat

Leidingen in een buisleidingenstraat moeten in overleg met en overeenkomstig de eisen van de beheerder van de leidingenstraat worden geconfigureerd. De straat is voorzien van de nodige kunstwerken om een belangenscheiding met ander grondgebruik (bijv. waterkering) veilig te stellen. Leidingen in een buisleidingenstraat hebben een kleinere kans op falen dan vergelijkbare leidingen in het veld door de getroffen voorzieningen en de mate van beheer en bewaking van de straat.

4. In de NEN-EN 1594:2000 is onder andere volgende vermeld over veiligheid:

5.2 Appropriate safety measures

Possible measures to ensure safety in design, construction and operation are listed below. The list is not intended to be exhaustive nor will it be necessary to incorporate all the measures on each occasion.

When selecting measures, consideration shall be given to the safety and environmental conditions existing at the time of construction for which firm details are known:

- A control zone should be established to control all third-party activities in order to safeguard the pipeline against interference.*
- If a system of area classification is used, design factors should be chosen relevant to the classification levels.
This design factor may be increased if additional measures are taken against third-party interference (for limitation on the design factor reference is made to 7.2).*
- The route of the pipeline should be at an appropriate distance from buildings.
The distance should be fixed by the particular parameters and/or national requirements.*
- For high-strength pipe steels, appropriate toughness properties for fracture-arrest capability should be selected.*
- The minimum depth for the pipeline shall be greater than that of normal agricultural/horticultural activities expected in the area.
The probability of third-party interference to the pipeline will decrease if a depth greater than the minimum specified in 7.7 is adopted.*
- Additional forms of mechanical protection can reduce interference by third-party activity.
Designers shall carefully select the forms of the additional protection to minimize any adverse effects on the efficiency of the cathodic protection.*
- The route of the pipeline should be identified by a locating system such as markers.*
- Pipeline safety can further be increased by ensuring an adequate frequency of surveillance.*

5. Handboek Leidingen Rotterdam

In het Handboek Leidingen Rotterdam 2005 “Nadere regels ter uitvoering van de Leidingenverordening Rotterdam en de Telecommunicatieverordening Rotterdam” staat het volgende vermeld aangaande onderlinge afstanden:

3.2 Tracéverloop

Bij de tracébeplanning van leidingen zijn twee aspecten van belang:

- de horizontale ligging en*
- de verticale ligging.*

Het doel van deze liggingen is: een optimaal gebruik van de openbare ruimte, een ongestoorde exploitatie van leidingen, alsmede het optimaliseren van de veiligheid.

3.2.1 Horizontale ligging in het stedelijk gebied

In het trottoir, bij een standaard trottoirbreedte van 3,65 m zonder bomen en gerekend vanaf erfgrans/gevel, worden de distributieleidingen als volgt ingedeeld:

Kabeltelevisie	0,25 m
Telecom	0,75 m
Water	1,25 m
Gas (l.d.)	2,00 m
Elektra (l.s.) + O.V.	2,65 m

Voor randvoorwaarden bij afwijkende trottoirbreedtes: zie Hoofdstuk 11, onder 11.8.

In het overig deel van de openbare weg liggen de transportleidingen. Met nadruk wordt erop gewezen dat bovengenoemd basisprincipe moet worden nagestreefd. In bijzondere gevallen kan de vergunningverlener een andere indeling toestaan.

3.2.2 Horizontale ligging in het havengebied

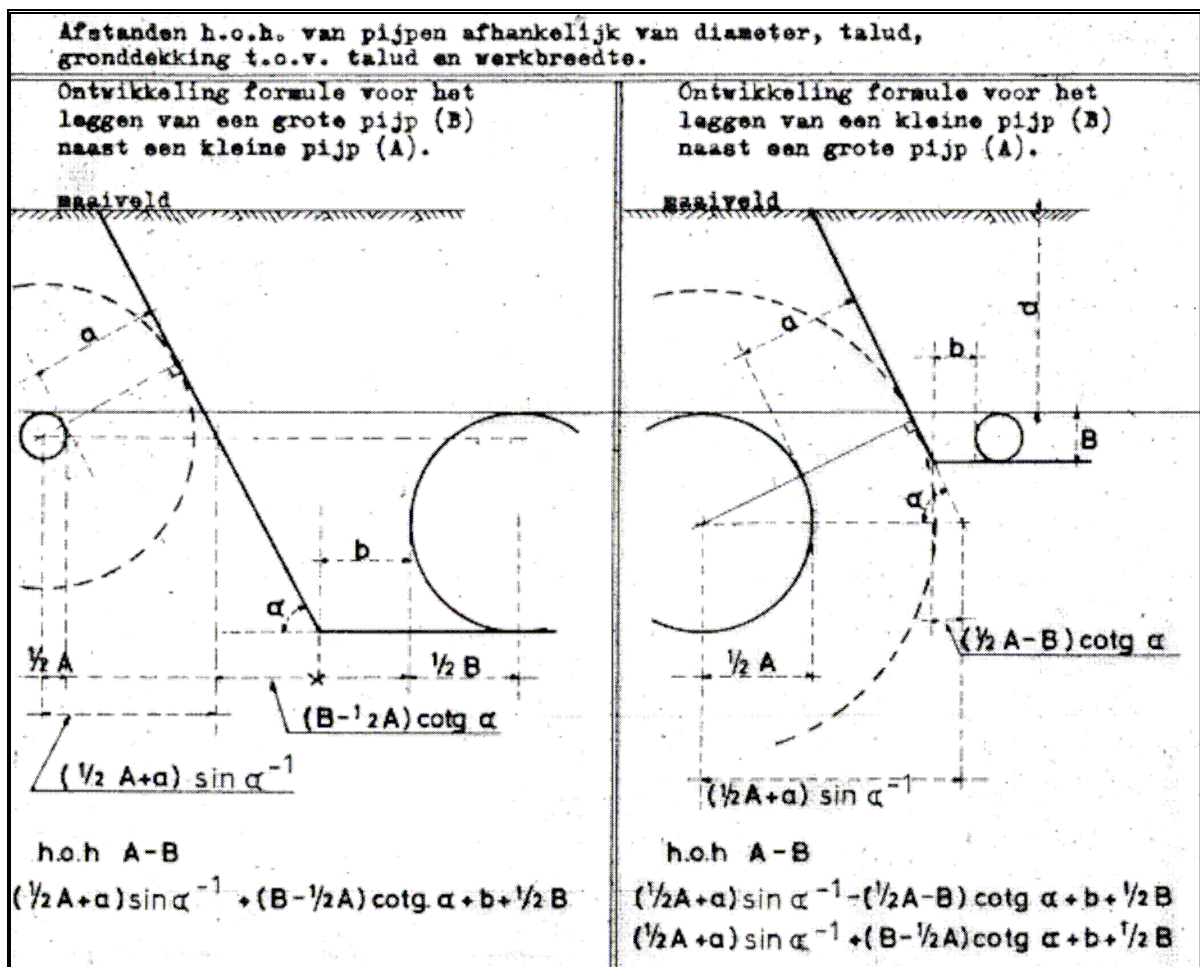
In het havengebied ligt een groot deel van de leidingen in leidingenstroken. In leidingenstroken geldt een horizontale dagmaat tussen parallel liggende leidingen van 0,40 m. Buiten de leidingenstroken geldt paragraaf 3.2.1

6. Conclusie met betrekking tot NEN 3650-serie, NEN-EN 1594 en het Handboek Leidingen Rotterdam

In de NEN 3650-serie (en de NPR 3659) is voortgeborduurd op de het Compendium en de Pijpleidingcode. In de NEN-EN 1594 staat nagenoeg niets vermeld over onderlinge aan te houden afstanden. Hetgeen wordt vermeld is ook in de NEN 3650-serie terug te vinden. In het Handboek Leidingen Rotterdam staan enige afstanden vermeld. Deze afstanden zijn geringer dan die welke in de NEN 3650-serie worden genoemd. Geconcludeerd kan worden dat het onderzoek van TNO wat in opdracht van de Buisleidingenstraat is uitgevoerd regelmatig in diverse normen is aangehaald. Er zijn geen nieuwe onderzoeken verricht.

7. Huidige formules Buisleidingenstraat

Tot op heden hanteert de Buisleidingenstraat een aantal formules om de vereiste onderlinge afstand tussen 2 parallel gelegen of te leggen leidingen te berekenen. In onderstaand figuur is dit weergegeven.



Hierin is:

- A** diameter van de bestaande leiding [m]
- B** diameter van de te leggen leiding [m]
- a** de gronddekking van de bestaande leiding loodrecht op het talud van ingraving [m]
- b** de werkbreedte van de te graven sleuf naast de leiding [m]
- d** de dekking van de leiding ten opzichte van het maaiveld [m]
- α** de hoek van het talud van de te graven sleuf [°]



Een dergelijk verfijnde manier van maatvoering is niet voorgeschreven in de NEN 3650-serie, de NEN-EN 1594 of het Handboek Leidingen Rotterdam. Voor de maat "a" wordt 0,50 m aangehouden. Bij de maat "b" wordt 0,15 m tot 0,50 m aangehouden afhankelijk van de leidingdiameter.

Voor de dekking "d" wordt er van uitgegaan dat deze voor beide leidingen gelijk is. Wanneer hier geen rekening mee wordt gehouden, met andere woorden, wanneer de dekking van beide leidingen niet gelijk is, is de formule voor de h.o.h.-afstand gelijk aan:

$$HOH = (\frac{1}{2} \cdot A + a) \cdot \text{cosec}(\alpha) + (B - \frac{1}{2} \cdot A + \Delta h) \cdot \text{ctg}(\alpha) + b + \frac{1}{2} \cdot B$$

Hierin is:

Δh het verschil in dekking tussen beide leidingen [m]

Deze formule is niet vermeld op tekeningen of in stukken van de Buisleidingenstraat.

8. Verschillen tussen NEN 3650-serie en gehanteerde uitgangspunten Buisleidingenstraat

In de NEN-3650-serie wordt bij het berekenen van leidingen bij veel formules uitgegaan van de dekking op leidingasniveau. Ook bij tabellen die gebruikt worden om uitvoeringszakingsverschillen te selecteren wordt hiervan uitgegaan. Voorbeelden hiervan:

Voor zand kan het evenwichtsdraagvermogen, bepaald op buisasniveau, worden beschreven met de formule van Brinch Hansen voor de gedraineerde situatie:

$$P_{we} = 0,95 \{ 0,5 \gamma'_{gem} B N_y S_y d_y + S_q N_q d_q (q_n + c' \cot \varphi) - c' \cot \varphi \}$$

waarin:

P_{we} is het evenwichtsdraagvermogen;

γ'_{gem} het gemiddeld effectief volumiek gewicht van maaiveld tot buisasniveau;

B is de aanlegbreedte (koorde), (op buisasniveau geldt: $B = D_o$);

D_o is de uitwendige middellijn van de leiding;

$N_y = 1,5 (N_q - 1) \tan \varphi$;

$S_y = 1 - 0,4 B/L$;

L is de minimale opleglengthe, (hier geldt: $B/L = D_o/L = 0,1$);

$d_y = 1$;

S_q is de plaatvormfactor voor leidingen; $S_q = 1 + \sin \varphi \times B/L$

$N_q = e^{\tan \varphi} \tan^2 (45 + \varphi/2)$;

$d_q = 1 + 2 \tan \varphi (1 - \sin \varphi)^2 \arctan (Z/B)$

Z is de diepte tot de leidingas = $H + D_o/2$;

H is de dekking op de bovenkant van de leiding;

c' is de effectieve cohesie, (voor zand geldt: $c' = 0$).

De diepte Z is gelijk aan de dekking van de buis + de halve diameter van de buis.

Passieve grondbelasting op de leiding kan ook optreden als een brede sleuf ($b > 3 D_0$ op leidingasniveau) wordt aangevuld. Na verloop van tijd zal deze grond inklinken en $q_0 \Rightarrow q_n$. Hierbij is de leiding een relatief stijf element, zodat naast de leiding meer klink kan optreden dan in een verticaal vlak ter plaatse van de leiding. Dit is het zogenaamde "Marston"-effect, dat rechts in figuur C.6 is weergegeven. In dit geval rust de leiding op de ondergrond en vindt belastingsoverdracht direct plaats, in tegenstelling tot hetgeen links in de figuur is aangegeven.

C.4.2.4.2 Maximale passieve gronddruk

Voor de maximale verticale passieve grondbelasting (q_p) op leidingen (in feite de weerstand bij het 'uit de grond te trekken' van de leiding), als de functie van sleufbreedte en sleufdiepte, de stijfheid van de ondergrond en de wijze van sleufaanvullingen kan uitgegaan worden van de formule:

$$q_p = q_n \times \left(1 + f_m \frac{H}{D_0} \right)$$

In principe geldt de waarde $f_m = 0,3$ voor cohesieve gronden. Voor zand geldt dat f_m sterk wordt beïnvloed door de verdichtingsgraad van de sleufaanvulling. Indien een zeer hoge verdichtingsgraad wordt bereikt kan de factor f_m oplopen tot $f_m = 0,8$. De in de leidingtechniek gebruikelijke verdichtingsgraden geven voornamelijk in dit geval geen aanleiding af te wijken van de door Marston gehanteerde waarde ($f_m = 0,3$) (grondbreuk).

Indien de sleufbreedte kleiner is dan of gelijk is aan $3D_0$ op leidingasniveau is ($b \leq 3D_0$), mag ervan worden uitgegaan dat in een klinkende sleufaanvulling de passieve grondbelasting op de leiding wordt gereduceerd door negatieve kleeft langs de sleufwanden. Voor de waarde van f_m kan in dat geval $f_m = 0,1$ worden aangehouden. q_p is hier hulpgrootheid ter bepaling van q_k (dit geldt niet bij grondbreuk, zie ook blz.112 van NPR 3659:1996). Indien de sleufbreedte smaller dan $1,5 D_0$ is kan $f_m = 0$ worden gesteld.

7

Bij de berekening van de wrijving tussen de buiswand en de grond wordt ook gesproken over de buisas.

C.4.5.2 Wrijving tussen buiswand en grond

De maximale wrijving per lengte-eenheid leidinglengte kan worden bepaald met de formule (zowel bij axiale wrijving als bij torsiewrijving):

$$W = \pi D_o \left(\frac{1+K}{2} \times \sigma_k \times \tan \delta + 0,6 \times a \right) \times \tan \delta$$

waarin:

πD_o is de uitwendige buisomtrek;

K is de verhouding horizontale/verticale korrelspanning, bij neutrale horizontale gronddruk is K gelijk aan $K_o = 1 - \sin \varphi'$;

φ' is de hoek van inwendige wrijving van de grond;

σ_k is de verticale korrelspanning ter hoogte van de buisas;

δ is de hoek van wrijving tussen grond en buiswand, afhankelijk van de grondsoort en de oppervlakteruwheid van de leiding of de omhulling, $\delta \approx 2\varphi / 3$;



In diverse tabellen wordt uitgegaan van de sleufbreedte op buisasniveau:

Tabel C.3 — Uitvoeringszakingsverschil f_v voor niet goed verdichte aanvulgrond onder en naast de leiding in een droge sleuf en een continu zakkingprofiel (f_v in mm)

Grondsoort	Slappe klei/veen						Stijve klei						Normaal zand						Hard zand					
Dekking (m)	2,5			1,25			2,5			1,25			2,5			1,25			2,5			1,25		
Sleuf type	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
D nom. (mm)																								
100	20	30	30	20	25	30	15	25	30	15	20	20	10	10	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10
200	20	35	40	20	30	35	15	25	35	15	20	25	10	10	15	10	10	10	10	10	15	10	10	10
300	25	40	50	25	30	40	15	25	35	15	20	25	10	15	20	10	10	10	10	10	15	10	10	10
400	25	40	55	25	30	40	20	30	40	20	25	30	10	15	20	10	10	15	10	10	15	10	10	10
450	25	40	60	25	30	45	20	30	40	20	25	30	10	15	20	10	10	15	10	10	15	10	10	10
600	25	45	65	25	35	50	20	30	45	20	25	30	10	15	20	10	10	15	10	10	15	10	10	10
750	30	45	70	30	35	50	20	30	50	20	25	35	10	15	25	10	10	15	10	10	15	10	10	10
900	30	50	75	30	40	50	20	35	50	20	30	35	10	15	25	10	10	15	10	15	15	10	10	15
1200	30	50	75	30	40	55	25	35	55	25	35	40	10	15	25	10	15	15	10	15	20	10	15	15

Tabel C.4 — Uitvoeringszakingsverschil f_v voor goed verdichte aanvulgrond onder en naast de leiding in een droge sleuf en een continu zakkingprofiel (f_v in mm)

Grondsoort	Slappe klei/veen						Stijve klei						Normaal zand						Hard zand					
Dekking (m)	2,5			1,25			2,5			1,25			2,5			1,25			2,5			1,25		
Sleuf type	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
D nom. (mm)																								
100	10	15	20	10	15	20	10	10	15	10	10	10	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
200	10	15	25	10	15	20	10	15	5	10	10	15	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
300	10	20	25	10	15	20	10	15	20	10	10	15	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
400	10	20	30	10	15	25	10	15	20	10	10	15	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
450	10	20	30	10	15	25	10	15	20	10	10	15	0	5	5	0	5	5	0	5	5	0	0	5
600	15	20	35	15	20	25	10	15	25	10	10	15	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
750	15	25	35	15	20	25	10	15	25	10	15	20	5	5	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5
900	15	25	40	15	20	25	10	15	25	10	15	20	5	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5
1200	15	25	40	15	20	30	10	20	30	10	15	20	5	10	10	5	5	5	5	5	5	5	5	5

In de tabellen C.3 en C.4 geven a, b en c sleuf typen aan die zijn bepaald door de sleufbreedte b op buisasniveau, uitgedrukt in de uitwendige middellijn D_0 van de leiding:

- voor sleuf type a geldt: $b \leq 1,5 D_0$
- voor sleuf type b geldt: $1,5 D_0 < b \leq 3 D_0$
- voor sleuf type c geldt: $b > 3 D_0$

In de NEN 3650-serie staan ook voorschriften vermeld aangaande de vereiste dekking van de leidingen.

6.1.5 Veiligheidseisen met betrekking tot minimale diepteligging

Voor zover in deze norm niet anders is bepaald, moeten ondergrondse leidingen een minimale gronddekking van 80 cm hebben. Zie ook 8.1.4.

Indien deze minimale gronddekking niet realiseerbaar is, moet de leiding aanvullend worden beschermd tegen mechanische beschadiging, bijv. door een afdekkende constructie. Een geringere gronddekking dan 80 cm kan in Nederland leiden tot verstoring van de leidingligging door opvriezen en/of opdooi.

8.1.4 Diepteligging leiding

De minimaal vereiste gronddekking van 0,8 m moet in de navolgende gevallen worden vergroot, waarbij een aan de omstandigheden aangepaste gronddekking moet worden toegepast:

- in gebieden waar kan worden verwacht dat diep ploegen, drainage of diep graven zal plaatshebben of waar een buizensysteem voor verbetering van drainage is voorzien;
- op plaatsen waar grondafravingen kunnen worden verwacht;
- in gebieden die onderhevig kunnen zijn aan erosie;
- in situaties waarbij ten gevolge van bevrozing de leiding omhoog kan komen;
- bij kruisingen met waterwegen in verband met risico's van beschadiging door ankers van schepen.

Indien de minimumgronddekking van 0,8 m op grote bezwaren stuit, terwijl het noodzakelijk is de leiding te beschermen tegen uitwendige mechanische beschadiging, moet de leiding door een afdekkende constructie worden beschermd.

Waar de leiding een sloot of watergang kruist, kunnen eisen aan de leiding worden gesteld door o.a. de eigenaar van de sloot of de waterbeheerder. De gronddekking van zinkers kan in overleg met de betrokken beheerder worden vergroot met een toeslag wegens bijv. bodemerosie en ankerrisico ten gevolge van scheepvaart. (zie ook NEN 3651:2003).

Bij onder andere bij kruisingen met boezemkanalen en waterkeringen worden extra eisen gesteld aan dekkingen ter plaatse van het talud:

8.1.2 Boezemwateren en -kaden

8.1.2.1 Verticaal alignement

De minimale gronddekking boven de leiding ter plaatse van de kaden en de veiligheidszones moet 0,8 m bedragen.

In het boezemwater moet de minimale gronddekking bedragen voor:

- | | |
|----------------------|--------|
| — geen scheepvaart | 1,3 m; |
| — kleine scheepvaart | 2,0 m; |
| — grote scheepvaart | 2,5 m; |
| — duwvaart | 3,0 m. |

Indien aanvullende beschermende maatregelen boven de leiding worden aangebracht (bijv. steenbestorting), mits de grondslag daarvoor geschikt is, mag de gronddekking van de leiding in het water worden verminderd.

Volgens 8.1.6.1 kunnen voor rijks- en provinciale vaarwegen grotere gronddekkingen zijn vereist.

Bij primaire waterkeringen worden eisen gesteld aan de dekking ten opzichte van het buitentalud, de kruin en het binnentalud:

8.1.3 Primaire waterkering

8.1.3.1 Verticaal alignement

De minimale gronddekking boven de leiding op de kruin en aan de buitenzijde van de dijk moet 1 m en aan de binnenzijde van de dijk 0,8 m bedragen. Bij voorkeur moet de kruisende leidingstrekking zo in het dwarsprofiel worden gealigneerd, dat deze ook na zakking van de leiding boven de dijktafelhoogte ligt.

De verschillen in dekking bij de primaire waterkering hebben te maken met de erosiebestendigheid van dergelijke objecten.

9. Conclusies

De Buisleidingenstraat hanteert sinds beproevingen op de Maasvlakte een aantal formules waarmee de hart op hart afstanden kunnen worden berekend tussen een bestaande en een nieuw te leggen leiding. Hierbij is sprake van een 1 op 1 relatie. Buis 1 bezwijkt, wat zijn de gevolgen voor buis 2. Gelet op de uitlatingen van medewerkers van Deltares en VROM zijn dergelijke onderzoeken sindsdien in Nederland niet meer verricht.

In de NEN 3650-serie, de NEN-EN 1594 en het Handboek Leidingen Rotterdam worden ook afstanden en dekkingen vermeld. Deze grootte van de afstanden en de dekkingen lijken vooral ingegeven door praktische zaken.

Voor de Buisleidingenstraat kan het handig zijn om de berekeningsmethode qua definities meer af te stemmen op de NEN 3650-serie aangezien de sleufbreedte op buisasniveau in diverse formules en tabellen veelvuldig voorkomt. Dit is echter niet strikt noodzakelijk. Gelet op de tot op heden gemaakte berekeningen bij de Buisleidingenstraat is dit onhandig, aangezien dit veel werk met zich mee brengt. Voorgesteld wordt dan ook om vooralsnog de huidige systematiek voort te zetten.

10. De toekomstige situatie

In de toekomst moet rekening gehouden worden met het zogenaamde groepsrisico. Simpel gesteld: wat gebeurt er indien leiding A bezwijkt met de leidingen B, C en D die naast leiding A liggen. Bezwijken deze ook of kunnen deze tegen het bezwijken van leiding A.

De beproevingen die destijds op de Maasvlakte zijn verricht kunnen geen antwoord geven op deze vraagstelling. Er zal nieuw onderzoek nodig zijn waarbij het onderzoek van destijds als basis kan dienen. Een dergelijk onderzoek kan bijvoorbeeld ondergebracht worden bij Delft Cluster.

De kern van Delft Cluster bestond tot eind vorig jaar uit zes gerenommeerde Nederlandse kennisinstituten: GeoDelft, Kiwa, TNO, TU Delft, Unesco IHE en WL|Delft Hydraulics. Een aantal van deze kennisinstituten is inmiddels ondergebracht bij Deltares. Daarnaast doen participanten uit de internationale, nationale, regionale en lokale overheden, het bedrijfsleven, belangengroeperingen en andere netwerkorganisaties actief mee via de projectgroepen of stuurgroepen.

Door Delft Cluster in te schakelen, en partijen als bijvoorbeeld VROM, Gasunie en Shell, VROM en de gemeente Rotterdam bij het onderzoek te betrekken moet het mogelijk zijn om op relatief korte termijn een onderzoek te doen naar het groepsrisico. De bevindingen van het onderzoek kunnen gevolgen hebben voor toekomstige besluitvorming en aanleiding geven tot herziening van het beleid van de Buisleidingenstraat.



11. Resumé

- a. Het onderzoek wat in 1970 is uitgevoerd in opdracht van de Buisleidingenstraat naar de gevolgen van explosies bij buisleidingen is sindsdien niet meer uitgevoerd. Dit onderzoek is beperkt gebleven tot een 1 op 1 onderzoek;
- b. De bevindingen van het onderzoek Maasvlakte heeft een aantal rekenregels tot gevolg gehad waarmee de Buisleidingenstraat bepaalt hoe en op welke afstand een nieuwe leiding gelegd mag worden. De Buisleidingenstraat is hier uniek in. Er zijn geen instanties bekend in Nederland die zo verfijnd dergelijke afstanden vast stellen;
- c. Voorgesteld wordt om vooralsnog vast te houden aan deze werkwijze;
- d. Aangezien onduidelijk is wat de gevolgen zijn van een breuk van een leiding voor meerdere naastgelegen leidingen (de zogenaamde 1 op n relatie) wordt geadviseerd het onderzoek van de Maasvlakte opnieuw uit te gaan voeren.
- e. Het is zinvol een dergelijk onderzoek niet alleen op de Buisleidingenstraat te betrekken maar op heel Nederland. In dit verband is het verstandig te bekijken of het onderzoek kan worden geïnitieerd via Delft Cluster. Enerzijds wegens de grote kennis die daar aanwezig is, zeker indien derden zoals Gasunie, VROM en de gemeente Rotterdam zich bij het onderzoek aansluiten, anderzijds om de in Nederland beschikbare subsidiemogelijkheden te benutten.

Hellevoetsluis, 28 mei 2008
Adviesbureau Schrijvers

Kees Schrijvers