

TNO-rapport
TNO-MEP – R 2000/363

TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie

TNO-MEP
Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet: www.mep.tno.nl

Overzicht schadeafstanden transportroutes gevaarlijke stoffen in de provincie Zeeland

Datum

oktober 2000

Auteur(s)

J.M. Ham

S.J. Elbers

Projectnummer

31630

Trefwoorden

- schadeafstanden
- transportroutes
- letaal letsel
- niet letaal letsel

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksoopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 2000 TNO

Bestemd voor

Provincie Zeeland

Directie Ruimte, Milieu en Water

Afdeling Milieuhygiëne

t.a.v. de heer Ir. C.J. Theune

Postbus 165

4330 AD Middelburg

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en
internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut
voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame
ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksoopdrachten aan TNO, zoals
gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Samenvatting

In opdracht van de Provincie Zeeland, Directie Ruimte, Milieu en Water, is door de afdeling Industriële Veiligheid van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP) een inventarisatie uitgevoerd voor de relevante routes voor het transport van gevaarlijke stoffen over de weg (5 routes), per spoor (2 routes), over water (5 routes) en per pijpleiding (11 relevante stoffen).

Het doel van de studie is het verkrijgen van inzicht in de mogelijke bedreiging voor omwonenden als gevolg van een ongeval op één van de beschouwde transportroutes. Voor bovengenoemde transportroutes zijn afstanden berekend tot waar dodelijk letsel en/of gezondheidsschade zou kunnen optreden op basis van scenario's zoals gedefinieerd in de IPO RisicoBerekeningsMethodiek en het Paarse Boek. Ook is de afstand van de transportroute tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing vastgesteld. De resultaten voor de verschillende transportroutes zijn samengevat in een overzichtstabel aan het eind van dit rapport.

Eenzelfde inventarisatie is ook uitgevoerd voor stationaire inrichtingen, met name BRZO-plichtige bedrijven, in Zeeland. Deze is separaat gerapporteerd in rapport TNO-MEP R2000/371.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding	4
2. Gehanteerde uitgangspunten	5
2.1 Algemeen	5
2.2 Identificatie van ongevalsscenario's per transportroute	5
2.2.1 Weg	5
2.2.2 Spoor	6
2.2.3 Water	6
2.2.4 Pijpleiding	6
2.3 Gehanteerde drempelwaarden	6
2.4 Uitgangspunten effect- en schadeberekeningen	7
3. Overzicht van drempelwaarden voor gehanteerde stoffen/stofcategorieën	10
4. Berekening schadeafstanden per transportroute	11
4.1 Transport over de weg	11
4.2 Transport per spoor	12
4.3 Transport over het water	13
4.4 Transport per pijpleiding	15
5. Samenvatting van berekende effect- en schadeafstanden	19
6. Literatuur	20
7. Verantwoording	22
Bijlagen	
1. Samenvattend overzicht schadeafstanden	
2. Onzekerheden bij het gedrag van ammoniak-ontsnappingsen, in het bijzonder op water	

1. Inleiding

In juni /juli 2000 heeft de afdeling Industriële Veiligheid van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie een inventarisatie uitgevoerd van de in de Provincie Zeeland voorkomende BRZO-inrichtingen [1] en de potentiële effectafstanden van incidenten in die inrichtingen berekend.

In aanvulling op deze BRZO-inrichtingen is op verzoek van de Provincie Zeeland, Directie Ruimte, Milieu en Water nu door de afdeling Industriële Veiligheid van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie een inventarisatie uitgevoerd voor de relevante routes voor het transport van gevaarlijke stoffen over de weg (5 routes), per spoor (2 routes), over water (5 routes) en per pijpleiding (11 relevante stoffen). Het doel van de studie is verkrijgen van inzicht in de mogelijke bedreiging voor omwonenden als gevolg van een ongeval op één van de beschouwde transportroutes.

De inventarisatie is uitgevoerd op basis van de bij de provincie Zeeland beschikbare informatie in de vorm van risicoanalyses en -studies. Voor zover de gegevens dit mogelijk maakten, is gebruik gemaakt van in deze informatie genoemde stoffen. Voor die situaties waarbij geen stoffen maar stofcategorieën worden genoemd (bijvoorbeeld transport over de weg) is een voor deze categorie representatieve stof gekozen.

In de genoemde risicoanalyses en -studies zijn de risico's met betrekking tot het optreden van letaal letsel voor de aan de effecten blootgestelde personen gepresenteerd. In deze studie gaat het, naast het inventariseren van schadeafstanden voor het optreden van letaal letsel, ook om de schadeafstanden die betrekking hebben op niet-letale letselvormen.

Voor het berekenen van de effect- en schadeafstanden is gebruik gemaakt van de in de IPO RisicoBerekeningsMethodiek [2] en het Paarse boek [3] beschreven ongevalsbeschrijvingen daar deze in de betreffende risicoanalyses niet zijn opgenomen.

De berekende schadeafstanden per transportroute worden vervolgens vergeleken met de dichtstbijzijnde woonbebouwing langs de transportroute. Deze afstand is geschat en is afgeleid uit het kaartmateriaal dat ten tijde van deze studie beschikbaar was. Dit betekent dat een (geringe) afwijking met de werkelijke afstand mogelijk is.

De indeling van het voorliggende rapport is als volgt:

In hoofdstuk 2 zijn de gehanteerde uitgangspunten gepresenteerd. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de gehanteerde criteria voor letsel terwijl in hoofdstuk 4 de effect- en schadeafstanden per transportroute zijn weergegeven.

Hoofdstuk 5 tenslotte geeft een samenvatting van de berekende effect en schadeafstanden in relatie tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing langs de transportroute.

2. Gehanteerde uitgangspunten

2.1 Algemeen

Zoals in hoofdstuk 1 is aangegeven worden in dit rapport de effect- en schadeafstanden gepresenteerd van ongevalsituaties met betrekking tot het transport van gevaarlijke stoffen over de weg, het spoor, het water en het transport per pijpleiding. Uitgangspunt voor de inventarisatie van effect- en schadeafstanden zijn de beschikbare risicoanalyse studies.

Omdat in de bovengenoemde risicoanalyses geen beschrijving wordt gegeven van de beschouwde ongevalscenario's is voor het uitvoeren van de berekeningen gebruik gemaakt van de IPO RisicoBerekeningsMethodiek (IPO RBM) [2] en het Paarse boek [3] voor identificatie van ongevalscenario's, de keuze van criteria voor drempelwaarden voor letaal letsel, uitgangspunten van effect- en schadeberekeningen. Op elk van deze items wordt hieronder nader ingegaan.

2.2 Identificatie van ongevalscenario's per transportroute

Op basis van [2] en de bijlage 'risicoanalyse voor transport activiteiten' uit [3] zijn per type transportroute (weg, spoor, water en pijpleiding) de volgende scenario's beschouwd:

2.2.1 Weg

Voor het transport over de weg wordt voor de te beschouwd scenario's onderscheid gemaakt in transport van stoffen onder atmosferische omstandigheden en die onder verhoogde druk:

- Atmosferisch transport:
 - vrijkomen gehele tankinhoud;
 - vrijkomen van 5 m³ van de totale tankinhoud;
 - vrijkomen van 0,5 m³ van de tankinhoud.
- Druktransport
- vrijkomen gehele tankinhoud (¹);
- uitstroming uit een gat met een grootte van 2".

¹ Voor een toxisch gas is vanwege de constructie het catastrofaal falen van de tank met als gevolg het vrijkomen van de gehele tankinhoud door een andere reden dan een externe warmtebron niet erg waarschijnlijk. Indien de toxische stof tevens brandbaar is, wordt directe ontsteking verondersteld waardoor een BLEVE optreedt.

Het scenario vrijkomen van 0,5 m³ in 30 minuten is conform [3] niet nader beschouwd vanwege het feit dat dit scenario resulteert in een plas met een relatief klein plasoppervlak.

2.2.2 Spoor

Voor het transport per spoor worden de volgende scenario's beschouwd:

- vrijkomen gehele tankinhoud (¹);
- uitstroming uit een gat met een grootte van 3".

2.2.3 Water

Voor het transport over het water wordt voor de te beschouwen scenario's onderscheid gemaakt in transport van onder druk vloeibaar gemaakte gassen, transport van door koeling vloeibaar gemaakte gassen, (atmosferisch) transport van brandbare vloeistoffen en (atmosferisch) transport van toxische vloeistoffen:

- Druktransport
 - vrijkomen van 90 m³ in 30 minuten;
 - vrijkomen van 180 m³ in 30 minuten.
- Gekoeld transport (met name in zeeschepen)
 - Vrijkomen van 14.000 m³ in 560 seconden
 - Vrijkomen van 540 m³ in 30 minuten
- Atmosferisch, brandbaar
 - vrijkomen van 30 m³ in 30 minuten;
 - vrijkomen van 75 m³ in 30 minuten.
- Atmosferisch, toxisch
 - vrijkomen van 20 m³ in 30 minuten;
 - vrijkomen van 75 m³ in 30 minuten.

2.2.4 Pijpleiding

Voor het transport per pijpleiding worden de volgende scenario's beschouwd:

- uitstroming uit een gat met een grootte van 20 mm;
- leidingbreuk.

2.3 Gehanteerde drempelwaarden

Voor de berekening van de schadeafstanden zijn de volgende drempelwaarden gehanteerd [6], [18], [19] en [20]:

¹ Voor een spoorketelwagon gevuld met een toxisch gas wordt dezelfde benadering gehanteerd als beschreven in § 2.2.1.

- voor letaal letsel als gevolg van warmtestraling (plasbranden, fakkels en BLEVE's) wordt de drempelwaarde voor 1% letaliteit gebruikt;
- voor letaal letsel als gevolg van intoxicatie wordt de drempelwaarde voor 1% letaliteit toegepast;
- voor letaal letsel als gevolg van overdruk effecten wordt de drempelwaarde voor herstelbare schade gebruikt (0.1 bar);
- voor niet-letale letselvormen als gevolg van warmtestraling (plasbranden, fakkels en BLEVE's) wordt de drempelwaarde voor 2^{de} graads brandwonden (1%) gebruikt;
- voor niet-letale letselvormen als gevolg van blootstelling aan toxische stoffen is gebruik gemaakt van de ERPG-2 waarde [6]. ERPG staat voor Emergency Response Planning Guide. De ERPG-2 waarde heeft als omschrijving: "the maximum airborne concentration below which it is believed that nearly all individuals could be exposed for up to 1 hour without experiencing or developing irreversible or other serious health effects or symptoms which could impair individual's ability to take protective action". De ERPG-2 waarde wordt door de GGD Rotterdam gebruikt als alarm grenswaarde en wordt hier gebruikt als grenswaarde voor niet-letale letselvormen. Indien geen ERPG-2 waarde beschikbaar is dan is de IDLH waarde gebruikt. Indien dit het geval is, is dit aangegeven;
- voor niet-letale letselvormen als gevolg van overdrukeffecten wordt de drempelwaarde voor glasschade beschouwd. De hierbij behorende overdruk bedraagt 0,03 bar. Bij glasschade worden glasscherven weggeslingerd die personen kunnen verwonden.

In hoofdstuk 3 is een overzicht opgenomen van de gehanteerde drempelwaarden per stof/stofcategorie.

2.4 Uitgangspunten effect- en schadeberekeningen

- Voor het uitvoeren van de effectberekeningen is uitgegaan van de modellen zoals beschreven in het Gele boek [4]. Effectberekeningen waarbij dispersieverschijnselen een rol spelen worden uitgevoerd voor de stabiliteitsklasse 'neutraal weer' met een windsnelheid van 5 m/s. Deze weersituatie komt gemiddeld genomen het meest voor in de provincie Zeeland. De omgeving wordt gekarakteriseerd als bewoond gebied met niet te hoge obstakels (oppervlakte ruwheid van 1,0 m);
- Voor het vervoer over de weg zijn de volgende specifieke uitgangspunten gehanteerd:
 - Inhoud tankauto (atmosferisch): 23 ton;
 - Inhoud tankauto (toxische gassen): 16 ton;
 - Inhoud tankauto (brandbare gassen): 25 ton.
 - Voor de grootte van de plas is conform [1] een waarde van 300 m² (uitstroming 5m³) respectievelijk 1200 m³ (totale inhoud) aangenomen.

- Voor het *vervoer per spoor* zijn de volgende specifieke uitgangspunten gehanteerd:
 - Inhoud spoorketelwagon (toxische gassen): 50 ton;
 - Inhoud spoorketelwagon (brandbare gassen): 48 ton.
 - Voor spoorketelwagons gevuld met vloeistoffen zijn geen inhouden gegeven. De schadeafstanden worden voor deze scenario's bepaald door de plasgrootte waarvoor conform [3] een waarde van 300 m² (uitstroming 3 inch gat) respectievelijk 600 m³ (totale inhoud) zijn aangenomen.
- Voor het *vervoer over het water* zijn de volgende specifieke uitgangspunten gehanteerd:
 - Inhoud atmosferisch tank (toxisch/brandbaar): 150 m³;
 - Inhoud druktank (binnenvaartschip) (toxisch/brandbaar): 180 m³;
 - Inhoud representatieve tank zeeschip (gekoelde opslag van propaan of ammoniak)): 14.000 m³. Voor het vrijkomen van ammoniak is, conform [21] aangenomen dat 58% van de spill oplost in water en dat de resterende 42% verdampt;
 - Maximale plasoppervlak: 10.000 m², m.u.v. zeeschepen.
- Voor het *transport per pijpleiding* zijn de volgende specifieke uitgangspunten gehanteerd:
 - Voor een leidingbreuk is het debiet conform [3] bepaald op basis van uitstroming vanuit twee zijden.
 - De uitstroming van gassen en vloeistoffen is in verticale richting verondersteld.
 - De maximale uitstroomhoeveelheid voor vloeistoffen en tot vloeistof verdichte gassen is gedefinieerd als 1.5 keer het debiet van de pomp, waarbij een typische nominale vloeistofsnelheid van 1 m/s door de pijpleiding is verondersteld. Dit leidt tot de volgende maximale uitstroomhoeveelheden:

Stof	Diameter [inch]	Max. uitstroomhoeveelheid [kg/s]
Kerosine	8	36.5
Nafta	8	38.9
Ruwe olie/jetty	24	482
Propaan	10	38.2
Propeen	6	14.1
Etheen	10	16.1

- Voor vloeistoffen is conform [3] een maximaal plasoppervlak van 3000 m³ beschouwd. Voor de berekening van het daadwerkelijke plasoppervlak is conform [3] rekening gehouden met enerzijds het uitstroomdebiet en anderzijds de verdamping vanuit de zich vormende plas.
- Voor de duur van de uitstroming is uitgegaan van 30 minuten hetgeen impliceert dat de Loss of Containment niet wordt gedetecteerd waardoor het betreffende leidingstuk niet wordt ingeblokkeerd of doordat het inblokken na detectie faalt.

- Voor de beschouwde stoffen (zie § 4.4) zijn verder de volgende uitgangspunten gedefinieerd:
- *Aardgas*: conform [2] is een lekkage vanuit een 20 mm gat achterwege gelaten vanwege de geringe schadeafstanden. Daarnaast is de dispersie van aardgas in horizontale richting conform [5] buiten beschouwing gelaten. Diverse experimenten hebben namelijk aangetoond dat de drijvende kracht bij uitstroming sterk verticaal gericht is. Een explosie van een brandbare gaswolk op hoogte is niet erg waarschijnlijk vanwege het feit dat de mogelijkheid tot ontsteking van een gaswolk op grotere hoogte nagenoeg is uitgesloten.
Etheen: conform [2] zijn de effect- en schadeafstanden gebaseerd op gasuitstroming vanwege het feit dat het transport plaatsvindt bij een temperatuur nabij de kritische temperatuur. In [3] is aangegeven dat de effect- en schadeafstanden voor gasuitstroming nauwelijks afwijken van de effect- en schadeafstanden voor twee-fasenuitstroming.
Waterstof: doordat waterstof lichter is dan lucht zal dispersie voornamelijk in verticale richting plaatsvinden. Conform het uitgangspunt als gehanteerd voor aardgas, is de dispersie in horizontale richting niet nader beschouwd.

3. Overzicht van drempelwaarden voor gehanteerde stoffen/stofcategorieën

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de schadecriteria die zijn gehanteerd bij de berekening van de schadeafstanden als gevolg van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen.

Tabel 3.1 Overzicht van gehanteerde grenswaarden.

Stof/effekt	Omschrijving letsel	Criteria voor letsel	Grenswaarden
Brandbare stoffen, gaswolkexplosie	1% letaliteit	Herstelbare schade	0,1 bar overdruk
	Gewond	Glasschade	0,03 bar overdruk
Brandbare stoffen, warmtestraling	1% letaliteit	-	9.8 kW/m ²
	Gewond	2 ^{de} graads brandwonden (1%)	9.3 kW/m ²
Ammoniak	1% letaliteit	LC ₀₁ (30 min)	1690 mg/m ³
		LD ₀₁	8,7 x 10 ⁷ ((mg/m ³) ² .min)
	Gewond	ERPG-2	142 mg/m ³
Acrylonitril	1% letaliteit	LC ₀₁ (30 min)	425 mg/m ³
		LD ₀₁	7,8 x 10 ⁴ ((mg/m ³) ^{1.3} .min)
	Gewond	ERPG-2	77 mg/m ³
Koolmonoxide	1% letaliteit	LC ₀₁ (30 min)	787 mg/m ³
		LD ₀₁	2,36 x 10 ⁴ ((mg/m ³) ¹ .min)
	Gewond	ERPG-2	408 mg/m ³
Stikstof	Letaliteit	Zuurstofconcentratie	8 vol%
	Gewond		14 vol%
Zuurstof (*)	Ontbranden materialen	Zuurstofconcentratie	35 vol%
	Verhoogde brandbaarheid		25 vol%
Propylamine	1% letaliteit	LC ₀₁ (30 min)	515 mg/m ³ [8]
		LD ₀₁	7.96*10 ⁶ ((mg/m ³) ² .min)
	Gewond	ERGP-2 en IDLH waarden niet bekend	

(*) Het is niet mogelijk om een verhoogde zuurstofconcentratie in de lucht te relateren aan letale of niet letale schade aan personen. Bekend is dat een toename van de zuurstofconcentratie tot circa 25 vol%) resulteert in een verhoogde brandbaarheid van materialen, waaronder ook kleding. Bij een zuurstofconcentratie van 30 – 40 vol% zullen bijna alle materialen ontbranden. Als indicatie is voor deze situatie gerekend met een grenswaarde van 35 vol%.

4. Berekening schadeafstanden per transportroute

In dit hoofdstuk zijn voor het transport over de weg, per spoor, over het water en per pijpleiding de berekende effect- en schadeafstanden gepresenteerd.

4.1 Transport over de weg

Voor het transport van gevaarlijke stoffen over de weg zijn in het kader van de studie vijf transportroutes beschouwd, te weten:

- A58;
- N252;
- N253;
- N60;
- N61.

De A58 is de rijksweg tussen Bergen op Zoom en Vlissingen. De afstand van de A58 tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing (ter hoogte van Arnemuiden) bedraagt circa 65 meter.

De N252 is de provinciale weg tussen Terneuzen en Sas van Gent, aan de westzijde van het Kanaal Terneuzen - Gent. De afstand van de N252 tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing (Sas van Gent) bedraagt circa 25 meter.

De N253 is de provinciale weg tussen Terneuzen en Zelzate, aan de oostzijde van het Kanaal Terneuzen - Gent. De afstand van de N253 tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing (ter hoogte van Terneuzen) bedraagt circa 125 meter.

De N60 is de provinciale weg die via de veerdienst Kruiningen - Perkpolder de A58 verbindt met de N49 (Antwerpen – Knokke). In Terhole en Kappelbrug ligt de N60 tegen de woonbebouwing aan.

De N61 is de provinciale weg die zorgt voor de verbinding van de N60 (Terhole) en de N58 (Schoondijke). In Zaamslag ligt de N61 tegen de woonbebouwing aan.

Voor de berekening van schadeafstanden voor het transport over de weg is gebruik gemaakt van 'Risico inventarisatie wegtransport Zeeland' [7]. Als onderdeel van deze studie is een verkeerstelling uitgevoerd welke heeft geresulteerd in een overzicht van stofcategorieën en het aandeel ten opzichte van het totaal aantal transporten (figuur 1 uit [7]). De beschouwde stoffen zijn LPG (GF3), dieselolie (LF1), benzine (LF2), toxische vloeistoffen (LT1, LT2) en gassen (GT1 en GT4).

Voor de berekening van de schadeafstanden is conform [7] voor de stofcategorieën brandbare gassen en brandbare vloeistoffen uitgegaan van de representatieve stoffen propaan respectievelijk benzine. Voor de stofcategorieën toxische gassen en toxische vloeistoffen zijn ammoniak respectievelijk acrylonitril als representatieve stoffen beschouwd.

Op grond van de in hoofdstuk 2 genoemde uitgangspunten zijn de effect- en schadeafstanden berekend en gepresenteerd in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Effect- en schadeafstanden transport over de weg.

Stofnaam	Scenario	Uitstroomdebiet [kg/s]	Schade-afstand [m]	
			1% lethaal	Gewonden
Propaan	BLEVE	25 ton	340	353
	Uitstroming 2" gat	32.4	85	180
Benzine	Catastrofaal falen	$A_{\text{plas}} 1200 \text{ m}^2$	61	63
	Uitstroming 5 m ³	$A_{\text{plas}} 300 \text{ m}^2$	34	35
Ammoniak	BLEVE	16 ton	75	76
	Uitstroming 2" gat	36.7	314	2558
Acrylonitril	Catastrofaal falen	$A_{\text{plas}} 1200 \text{ m}^2$	247	681
	Uitstroming 5 m ³	$A_{\text{plas}} 300 \text{ m}^2$	108	308

4.2 Transport per spoor

Voor het transport van gevaarlijke stoffen per spoor zijn in het kader van de studie twee transportroutes beschouwd, te weten:

- Sloehaven - Roosendaal;
- Terneuzen - Sas van Gent.

De afstand van de spoorlijn tussen de Sloehaven (gelegen in Vlissingen-Oost) en Roosendaal bedraagt circa 25 meter.

De spoorlijn van Terneuzen naar Sas van Gent (grens) heeft ter hoogte van Sluiskil een aftakking naar Axelsche Sassing. De afstand van de spoorlijn tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing (ter hoogte van Sas van Gent) bedraagt circa 50 meter.

Voor de berekening van schadeafstanden voor het transport per spoor is gebruik gemaakt van de inventarisatie van risico's vervoer gevaarlijke stoffen per spoor [8]. Voor het traject Sloehaven - Roosendaal is in [8] één stof beschouwd, te weten propaan (GF) terwijl voor het traject Terneuzen - Sas van Gent (inclusief de aftakking naar Axelsche Sassing) de stoffen Ammoniak (NH₃, GT), Acrylonitril (ACN, LT) en waterstoffluoride (HF, GT) zijn beschouwd. Voor de in de studie genoemde stofcategorie 'zeer brandbare vloeistof' is geen voorbeeldstof doorgerekend.

Op basis van [2] zijn voor de berekening van de schadeafstanden de volgende stofcategorieën beschouwd, te weten:

- Brandbare gassen, GF (representatieve stof : propaan);
- Toxische gassen, GT (representatieve stof : ammoniak);
- Toxische vloeistoffen, LT (representatieve stof : acrylonitril).

Op grond van de in hoofdstuk 2 genoemde uitgangspunten zijn de effect- en schadeafstanden berekend en gepresenteerd in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Effect- en schadeafstanden transport per spoor.

Stofnaam	Scenario	Uitstroomdebiet [kg/s]	Schade-afstand [m]	
			1% lethaal	Gewonden
Propaan	BLEVE	48 ton	468	483
	Uitstroming 3" gat	78.7	134	284
Ammoniak	BLEVE	50 ton	109	110
	Uitstroming 3" gat	89.3	583	3438
Acrylonitril	Catastrofaal falen	600 m ²	223	588
	Uitstroming 3" gat	300 m ²	183	468

4.3 Transport over het water

Voor het transport van gevaarlijke stoffen over het water zijn in het kader van de studie vijf transportroutes beschouwd, te weten:

- Westerschelde;
- Kanaal door Walcheren;
- Schelde-Rijnverbinding;
- Kanaal door Zuid Beveland (Hansweert – Wemeldinge);
- Kanaal van Gent naar Terneuzen.

De *Westerschelde* vormt de verbinding tussen Antwerpen en de Noordzee. Een aantal plaatsen waaronder Vlissingen, Breskens, Terneuzen en Hansweert liggen direct aan de Westerschelde, zodat ter hoogte van deze plaatsen de woonbebouwing in principe tegen de transportroute aan ligt. De vaargeul voor grote schepen ligt er echter meestal op ruime afstand (ordegrootte honderden meters) vandaan. Het *Kanaal door Walcheren* vormt de verbinding tussen de Westerschelde (Vlissingen) en het Veerse Meer (Veere). Het kanaal door Walcheren stroomt dwars door Middelburg zodat hier de woonbebouwing in principe tegen de transportroute aan ligt.

De *Schelde-Rijnverbinding* verbindt de Volkerak met de haven van Antwerpen. De afstand van de Schelde-Rijnverbinding tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing (Tholen) bedraagt circa 250 meter.

Het *Kanaal door Zuid Beveland* vormt de verbinding tussen de Oosterschelde (Wemeldinge) en de Westerschelde (Hansweert). De afstand van het Kanaal door Zuid Beveland tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing (Schore) bedraagt circa 125 meter.

De afstand van het *Kanaal Terneuzen - Gent* is weergegeven tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing (Sluiskil) bedraagt circa 25 meter.

Voor de berekening van schadeafstanden voor het transport over water is gebruik gemaakt van [9, 10, 11, 12 en 13]. De in de verschillende studies genoemde stofcategorieën zijn:

- Ammoniak, GT [9, 10, 12, 13];
- Propaan, GF [9, 10, 13];
- Butaan, GF [9]
- Dieselolie, LF1 [10, 13];
- Benzine, LF2 [10, 13];
- Acrylonitril, LT1 [10, 13];
- Propylamine, LT2 [10, 13];
- Aceton, LF1 [12];
- Een aantal niet nader gespecificeerde stofcategorieën uit [12].

Op basis van de hierboven genoemde stoffen zijn voor de berekening van de schadeafstanden de volgende stofcategorieën beschouwd:

- Brandbaar gas, GF (representatieve stof: propaan);
- Brandbare vloeistof, LF (representatieve stof: benzine);
- Toxisch gas, GT (representatieve stof: ammoniak), zie hierover ook de toelichting in bijlage 2 van dit rapport;
- Toxische vloeistof, LT (representatieve stof: propylamine).

Op grond van de in hoofdstuk 2 genoemde uitgangspunten zijn de effect- en schadeafstanden berekend en gepresenteerd in tabel 4.3..

Tabel 4.3 Effect en schadeafstanden transport over het water.

Stofnaam	Scenario	Uitstroomdebiet			Schade-afstand [m]	
		[kg/s]	1% lethaal	Gewonden		
Propaan (druk) ^(**)	90 m ³ in 30 minuten	25	68	69		
	180 m ³ in 30 minuten	50	85	86		
Ammoniak (druk) ^(**)	90 m ³ in 30 minuten	30	531	3879		
	180 m ³ in 30 minuten	60	812	5571		
Propaan (koel) ^(***)	540 m ³ in 30 minuten	175	465	475		
	14.000 m ³ in 560 sec.	14.600	1350	1380		
Ammoniak (koel) ^(***)	540 m ³ in 30 minuten	86	1200	4570		
	14.000 m ³ in 560 sec.	7160	8380	11.000		
Benzine	30 m ³ in 30 minuten	Max. 10.000 m ²	90	92		
	75 m ³ in 30 minuten	Max. 10.000 m ²	138	141		
Propylamine	20 m ³ in 30 minuten	Max. 10.000 m ²	117	- (*)		
	75 m ³ in 30 minuten	Max. 10.000 m ²	227	- (*)		

(*) Voor propylamine geen ERPG-2 of IDLH-waarde vastgesteld (zie ook tabel 3.1). Voor deze stofcategorie is daarom geen drempelwaarde beschikbaar voor toetsing van niet-letale letselvormen.

(**) Representatieve scenario's voor binnenvaartschepen.

(***) Representatieve scenario's voor zeeschepen. In bijlage 2 wordt nader op een aantal onzekerheden rond de effectafstanden van ammoniak-ontsnappingsen op water ingegaan.

4.4 Transport per pijpleiding

Voor het transport van gevaarlijke stoffen per pijpleiding zijn in het kader van de studie elf verschillende getransporteerde stoffen beschouwd, te weten:

- Aardgas;
- Kerosine;
- LPG (propaan);
- Nafta;
- Ruwe olie/jetty;
- Propeen;
- Etheen;
- Koolmonoxide;
- Zuurstof;
- Waterstof;
- Stikstof.

Op elk van de genoemde stoffen wordt hieronder nader ingegaan. Voor de beschrijving van de route van de verschillende pijpleidingen is gebruik gemaakt van de door de provincie beschikbaar gestelde informatie.

Het transport van *aardgas* vindt plaats met behulp van pijpleidingen met een diameter variërend van 4 inch tot en met 24 inch, en een druk van 40 (t/m 18 inch) of 66 bar (t/m 24 inch). De aardgasleidingstroken liggen vanwege hun functie verspreid door de hele provincie en zullen in het algemeen aangrenzend aan de woonbebouwing zijn.

De *kerosine pijpleiding* van de Defensie Pijpleiding Organisatie (DPO) loopt van Kruiningen naar de provincie N-Brabant (lengte pijpleiding binnen provincie Zeeland circa 27 km) en heeft een diameter van 8 inch en een druk van 30 bar. Deze pijpleidingstrook grenst aan de woonbebouwing van Gawege en Stationsbuurt. Een deel van deze pijpleiding is inmiddels buiten gebruik gesteld.

De voormalige *LPG pijpleiding* van Eurogas voor transport tussen Vlissingen-Oost en N-Brabant is verkocht aan Deltan die de leiding geschikt heeft gemaakt voor het transport van aardgas. Voor de beschrijving van het transport van aardgas per pijpleiding wordt verwezen naar de bovenstaande alinea.

Het transport van *nafta* vindt plaats tussen Dow Chemical (Terneuzen) en Total (Van Cittershaven, Vlissingen-Oost). Deze pijpleiding, met een totale lengte van circa 15 km, een diameter van 8 inch en een druk van 44 bar, gaat onder de Westerschelde door in een zogenaamde leidingstrook. De dichtstbijzijnde woonbebouwing (Ellewoudsdijk) bevindt zich op circa 250 meter vanaf de pijpleidingstrook.

Het transport van *ruwe olie/jetty* vindt plaats via een tweetal leidingen. De eerste pijpleiding loopt van Total (Van Cittershaven, Vlissingen-Oost) naar de steiger ter hoogte van Wolvershoek (totale lengte circa 6 km) en heeft een diameter van 24 inch en een druk van 44 bar. De tweede pijpleiding loopt van Total via Zuid Beveland naar de provincie N-Brabant (lengte binnen de provincie Zeeland circa 50 km) en heeft een diameter van 24 inch en een druk van 40 bar. De dichtstbijzijnde woonbebouwing (Middenhof) bevindt zich op zo'n 100 meter afstand van de pijpleidingstrook.

Het transport van *propeen* vindt plaats via een tweetal leidingen. De eerste pijpleiding loopt via Dow Chemical (Terneuzen) onder de Westerschelde door, via Zuid Beveland naar Shell Pernis (lengte binnen de provincie Zeeland circa 50 km) en heeft een diameter van 6 inch en een druk van 60 bar. De dichtstbijzijnde woonbebouwing (Kruiningen) bevindt zich op zo'n 150 meter afstand van de pijpleidingstrook. De andere pijpleiding loopt van BASF (ter hoogte van Zandvliet, België) via de provincie Brabant naar Antwerpen. Deze pijpleiding, met een diameter van 6 inch en een druk van 90 bar loopt slechts voor een klein deel door de provincie Zeeland (geschatte lengte 3 km). De afstand van de pijpleidingstrook tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing (Bath) bedraagt zo'n 4 km.

Het transport van *etheen* vindt plaats via een pijpleiding van Dow Chemical (Terneuzen) naar Shell Moerdijk (lengte binnen de provincie Zeeland circa 40 km) en heeft een diameter variërend van 6, 8 en 10 inch en een druk van 90 bar. De dichtstbijzijnde woonbebouwing ('Schapenbout' en Luntershoeck) grenst nagenoeg aan de pijpleidingstrook.

Het transport van *koolmonoxide* vindt plaats via een drietal pijpleidingen. De eerste pijpleiding loopt van ACZC (Sluiskil) naar de Canisvliet polder, heeft een lengte van circa 6 km, een diameter van 12 inch en een druk van 50 bar. Deze pijpleiding is echter niet meer in gebruik door het sluiten van ACZC. De tweede pijpleiding loopt van General Electric Plastics (Bergen op Zoom) naar Antwerpen en loopt zodoende ter hoogte van de Kreekraksluizen door de provincie Zeeland. De pijpleiding heeft voor zover gelegen in de provincie Zeeland een lengte van circa 10 km, een diameter van 6 inch en een druk van 30 bar. De dichtstbijzijnde woonbebouwing (Dameshoeve) bevindt zich op zo'n 1 km afstand van de pijpleidingstrook. De derde pijpleiding loopt van KoSa (Vlissingen-Oost) naar de energiecentrale van EPZ in Borssele. Deze pijpleiding heeft een lengte van circa 4 km, een diameter van 6 inch en een druk van 30 bar. De dichtstbijzijnde woonbebouwing (Borssele) bevindt zich op circa 1 km afstand van de leidingstrook.

Het transport van *zuurstof* vindt plaats via een tweetal pijpleidingen. De pijpleiding van Air Products loopt van Terneuzen naar Gent. De pijpleiding heeft voor zover gelegen in de provincie Zeeland een lengte van circa 20 km, een diameter van 4 inch en een (ontwerp)druk van 35 bar. Ter hoogte van Staak grenst de pijpleidingstrook aan de woonbebouwing. Daarnaast loopt een pijpleiding van Air liquide van

Antwerpen naar Bergen op Zoom op hetzelfde traject als de waterstofleiding. Deze leiding heeft een diameter van 10 inch en een (ontwerp)druk van 64 bar.

Het transport van *waterstof* vindt plaats via een drietal pijpleidingen. De eerste pijpleiding loopt van Air Liquide (Terneuzen) naar Zelzate (België). De pijpleiding (voor zover gelegen in de provincie Zeeland) heeft een lengte van circa 24 km, een diameter van 4 inch en een druk van 100 bar. De dichtstbijzijnde woonbebouwing (Zandstraat) bevindt zich op een afstand van circa 250 meter vanaf de pijpleiding. De tweede pijpleiding loopt van General Electric Plastics (Bergen op Zoom) naar Antwerpen en loopt zodoende ter hoogte van de Kreekraksluizen door de provincie Zeeland. De pijpleiding heeft een lengte van circa 10 km, een diameter van 8 inch en een druk van 44 bar. De dichtstbijzijnde woonbebouwing (Dameshoeve) bevindt zich op circa 1 km afstand van de pijpleiding. De derde pijpleiding loopt via Woensdrecht naar België en kruist de Schelde-Rijn verbinding iets zuidelijker dan de leidingstraat waarin de waterstofleiding van Bergen op Zoom naar Antwerpen in ligt. Deze leiding heeft een diameter van 6 inch en een (ontwerp)druk van 75 bar.

Het transport van *stikstof* vindt plaats via een pijpleiding van Air Liquide van Moerdijk via de provincie Noord-Brabant naar Antwerpen. De pijpleiding (voor zover gelegen in de provincie Zeeland) heeft een lengte van 1,5 km, een diameter van 12 inch en een (ontwerp)druk van 64 bar. De afstand tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing (Bath) bedraagt zo'n 4 km.

Tabel 4.4 Effect en schadeafstanden transport per pijpleiding.

Stofnaam	Scenario	Uitstroomdebiet [kg/s] (*)	Schade-afstand [m]	
			1% lethaal	Gewonden
Aardgas (d = 18", p = 40 bar) (d = 24", p = 66 bar)	Breuk leiding	18/40: 309	110	116
		24/66: 1031	147 (**)	154 (**)
Kerosine (d = 8", p = 30 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	$A_{\text{plas}} = 390 \text{ m}^2$	38	39
	Breuk leiding	$A_{\text{plas}} = 3000 \text{ m}^2$	90	130
LPG (propan) (d = 10", p = 100 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	5.6	40	77
	Breuk leiding	76.4	144	243
Nafta (d = 8", p = 44 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	$A_{\text{plas}} = 465 \text{ m}^2$	41	42
	Breuk leiding	$A_{\text{plas}} = 3000 \text{ m}^2$	90	130
Ruwe olie/jetty (d = 24", p = 40 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	$A_{\text{plas}} = 446 \text{ m}^2$	40	41
	Breuk leiding	$A_{\text{plas}} = 3000 \text{ m}^2$	90	92
Propeen (d = 6", p = 90 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	5.1	39	40
	Breuk leiding	10.2	48	110
Etheen (d = 10", p = 90 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	3.7	46	92
	Breuk leiding	209	300	580
Koolmonoxide (d = 6", p = 30 bar) (d = 12", p = 50 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	6/30: 1.3 12/50: 2.1	110 152	170 235
	Breuk leiding	6/30: 31 12/50: 67.4	836 2085	1267 3150
Zuurstof (d = 4", p = 35 bar) (d = 10", p = 64 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	4/35: 1.5 10/64: 2.9	9 12	18 24
	Breuk leiding	4/35: 8.0 10/64: 163	29 139	58 336
Waterstof (d = 4", p = 100 bar) (d = 6", p = 75 bar) (d = 8", p = 44 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	4/100: 1.1 6/75: 0.9 8/44: 0.5	9 7 5	9 8 5
	Breuk leiding	4/100: 6.3 6/75: 13 8/44: 32.3	26 36 39	27 38 42
Stikstof (d = 12", p = 64 bar)	Uitstroming 20 mm (30 min)	2.7	- ⁽¹⁾	- ⁽¹⁾
	Breuk leiding	243	57	109

(*) Het genoemde uitstroomdebiet in geval van een breuk is uitstroming vanuit één zijde. Conform [3] moet dit uitstroomdebiet worden verdubbeld omdat uitstroming vanuit beide zijden van de pijpleiding wordt verondersteld

(**) De genoemde schadeafstanden zijn gebaseerd op een uitstroomdebiet van 1000 kg/s hetgeen de bovengrens is voor het gehanteerde model.

(1) Voor deze situatie wordt geen concentratiecontour gevonden.

5. Samenvatting van berekende effect- en schadeafstanden

In tabel 1 (bijlage 1) is een samenvatting gegeven van de berekende effect- en schadeafstanden voor de verschillende transportroutes in de provincie Zeeland. Tevens zijn voor deze transportroutes de afstanden tot de dichtstbijzijnde woonbebouwing gepresenteerd.

6. Literatuur

- [1] Overzicht van schadeafstanden van BRZO bedrijven, overige inrichtingen met gevaarlijke stoffen en spoorwegrangereemplacements in de provincie Zeeland
TNO rapport, ref. TNO-MEP – R2000/371 dd. Oktober 2000
- [2] IPO Risicoberekeningsmethodiek (IPO RBM)
AVIV, versie 97/07, 1997
- [3] Guidelines for Quantitative Risk Assessment ('purple book')
CPR 18E, first edition 1999
- [4] Methods for the calculation of physical effects ('yellow book')
The Directorate General for Social Affairs and Employment
Committee for the Prevention of Disasters, CPR 14E
Third edition 1997, ISBN: 0921-9633/2.10.014/9110
- [5] Methodology for the selection of pipelines which potentially can cause a major hazard
Study part A of EC contract B4-3040/96/000481/MAR/E1 'investigation and development of key issues related to the control of major hazards arising from pipelines'
TNO rapport, ref. TNO – MEP – R98/147, april 1998
- [6] SCADA ERGP Working List
Herziene versie dd. 2-9-1999,
- [7] Risico Inventarisatie wegtransport Provincie Zeeland
AVIV, juni 1996
- [8] Inventarisatie risico's vervoer gevaarlijke stoffen per spoor
Locaties vrije baan
Ingenieurs/adviesbureau SAVE, juni 1997
- [9] Risicoanalyse Westerschelde Fase II Brongerichte maatregelen
AVIV, Januari 1997
- [10] Risicoanalyse Kanaal door Walcheren
AVIV, oktober 1998
- [11] Risicoberekening buisleidingen
Ingenieurs/adviesbureau SAVE, augustus 1998

- [12] Risicoanalyse Tholen
AVIV, mei 1997
- [13] Risicoanalyse Kanaal door Zuid Beveland
AVIV, november 1998
- [14] Aandachtspunten Hoofdvaarwegen
AVIV, maart 1993
- [15] Risicoanalyse Hoofdvaarwegen
AVIV, mei 1991
- [16] Comparative risk study of the risks of CO and H₂ pipelines
Pipelines from GEP (Bergen op Zoom) to Antwerp
Tebodin, september 1997
- [17] Veiligheidsstudie Waterstofpijpleiding Terneuzen – Zelzate
DNV, ref. nr. C22567/99, juli 1999
- [18] Green Book
Methods for the determination of possible damage to people and objects
resulting from releases of hazardous materials
The Directorate General for Social Affairs and Employment
Committee for the Prevention of Disasters, CPR 16E
First edition, 1992. ISSN 0921-9633; 16
- [19] Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS)
U.S. Department of Health and Human Services
National Institute for Occupational Safety and Health, Washington
- [20] Pocket Guide to Chemical Hazards (NIOSH guide)
U.S. Department of Health and Human Services
National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, 1995
- [21] Prediction of Hazards of Spills of Anhydrous Ammonia on Water
P.K. Raj, J. Hagopian and A.S. Kalelkar
Arthur D. Little Inc. (1974)

7. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Provincie Zeeland
Directie Ruimte, Milieu en Water
afdeling Milieuhygiëne
t.a.v. de heer Ir. C.J. Theune
Postbus 165
4330 AD Middelburg

Namen en functies van de projectmedewerkers:

J.M. Ham
S.J. Elbers

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

-

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

augustus 2000 – september 2000

Ondertekening:



Ing. J.M. Ham
projectleider

Goedgekeurd door:



Ir. J. Schaafsma
afdelingshoofd

Tabel 1 Samenvattend overzicht van de schadeafstanden en de afstand van de transportroute tot de woonbebouwing.

Transport	Stofnaam	Scenario	Effect(en) en schade	Schadeafstanden [m]		Afstand tot woonbebouwing [m]
				letaal letsel	niet letaal letsel/ materiële schade	
Weg	Propaan	Continue uitstroming 2"	Brandbare gaswolk	85	180	A58 : 65 N252 : 25 N253 : 125 N60 : aangrenzend N61 : aangrenzend
		Instantaan vrijkomen	BLEVE	340	353	
	Ammoniak	Continue uitstroming 2"	Intoxicatie	314	2558	
		Instantaan vrijkomen	BLEVE	75	76	
	Benzine	Uitstroming 5 m ³	Plasbrand	34	35	
		Instantaan vrijkomen	Plasbrand	61	63	
	ACN	Uitstromen 5 m ³	Intoxicatie	108	308	
		Instantaan vrijkomen	Intoxicatie	247	681	
Spoor	Propaan	Continue uitstroming 3"	Brandbare gaswolk	134	284	Sloe – Roosendaal : 25 Terneuzen – Sas van Gent : 50
		Instantaan vrijkomen	BLEVE	468	483	
	Ammoniak	Continue uitstroming 3"	Intoxicatie	583	3438	
		Instantaan vrijkomen	BLEVE	109	110	
	ACN	Continue uitstroming 3"	Intoxicatie	183	468	
		Instantaan vrijkomen	Intoxicatie	223	588	
Water	Propaan (binnenvaart)	Uitstroming 90 m ³ (30 min.)	Brandbare gaswolk	68	69	Westerschelde : aangrenzend Schelde-Rijnverbinding : 250 Kanaal Zuid-Beveland : 125 Kanaal door Walcheren : aangrenzend Kanaal Terneuzen – Gent : 25

Bijlage 1 Samenvattend overzicht schadeafstanden

Transport	Stofnaam	Scenario	Effect(en) en schade	Schadeafstanden [m]		Afstand tot woonbebouwing [m]
				letaal letsel	niet letaal letsel/ materiële schade	
	Propaan (zeevaart)	Uitstroming 180 m ³ (30 min.)	Brandbare gaswolk	85	86	
		Uitstroming 540 m ³ (30 min.)	Brandbare gaswolk	465	475	
		Uitstroming 14.000 m ³ (560 sec.)	Brandbare gaswolk	1350	1380	
	Ammoniak (binnenvaart)	Uitstroming 90 m ³ (30 min.)	Intoxicatie	531	3879	
		Uitstroming 180 m ³ (30 min.)	Intoxicatie	812	5571	
	Ammoniak (zeevaart)	Uitstroming 540 m ³ (30 min.)	Intoxicatie	1200	4570	
		Uitstroming 14.000 m ³ (560 sec.)	Intoxicatie	8380	11.000	
	Benzine	Uitstroming 30 m ³ (30 min.)	Plasbrand	90	92	
		Uitstroming 75 m ³ (30 min.)	Plasbrand	138	141	
	Propylamine	Uitstroming 20 m ³ (30 min.)	Intoxicatie	117	-	
		Uitstroming 75 m ³ (30 min.)	Intoxicatie	227	-	
Pijpleiding	Aardgas	Leidingbreuk	Brandbare gaswolk	18/40: 110 24/66: 147(**)	116 154 (**)	Aangrenzend (*)
	Koolmonoxide	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Intoxicatie	6/30: 110 12/50: 152	170 235	1000 m (Borssele, Dameshoeve) Niet meer in gebruik.
		Leidingbreuk	Intoxicatie	6/30: 836 12/50: 2085	1267 3150	
	Stikstof	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Verlaagde O ₂ con.	- (***)	- (***)	4000 m (Bath)
		Leidingbreuk	Verlaagde O ₂ conc.	57	109	
	Waterstof	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Brandbare gaswolk	4/100: 9 6/75: 7 8/44: 5	9 8 5	250 m (Zandstraat) 4000 m (Bath) 1000 m (Dameshoeve)

Transport	Stofnaam	Scenario	Effect(en) en schade	Schadeafstanden [m]		Afstand tot woonbebouwing [m]
				metaal letsel	niet metaal letsel/ materiële schade	
		Leidingbreuk	Brandbare gaswolk	4/100: 26 6/75: 36 8/44: 39	27 38 42	
	Zuurstof	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Verhoogde O ₂ conc.	4/35: 9 10/64: 12	18 24	Aangrenzend (Staak) 4000 m (Bath)
		Leidingbreuk	Verhoogde O ₂ conc.	4/35: 29 10/64: 139	58 336	
	Kerosine	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Plasbrand	38	39	Aangrenzend (Gawege, Stationsbuurt)
		Leidingbreuk	Plasbrand	90	130	
	Nafta	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Plasbrand	41	42	250 m (Ellewoudsdijk)
		Leidingbreuk	Brandbare gaswolk	90	130	
	Ruwe olie/jetty	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Plasbrand	40	41	100 m (Middenhof)
		Leidingbreuk	Plasbrand	90	92	
	Etheen	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Brandbare gaswolk	46	92	Aangrenzend (Schapenbout, Iuntershoek)
		Leidingbreuk	Brandbare gaswolk	300	580	
	LPG (Propan)	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Brandbare gaswolk	40	77	Niet meer in gebruik.
		Leidingbreuk	Brandbare gaswolk	144	243	
	Propeen	Uitstroming 20 mm (30 min.)	Brandbare gaswolk	39	40	150 m (Kruiningen)
		Leidingbreuk	Brandbare gaswolk	48	110	

(*) Voor aardgas is geconcludeerd dat, vanwege de functie, de woonbebouwing aangrenzend zal zijn.

(**) De genoemde schadeafstanden zijn gebaseerd op een uitstroombesluit van 1000 kg/s hetgeen de bovengrens is van het gehanteerde model.

(***) Voor dit scenario wordt geen schadeafstand gevonden doordat de berekende concentratie lager is dan de grenswaarde.

Bijlage 2 Onzekerheden bij het gedrag van ammoniak-ontsnappingsen, in het bijzonder op water

1. Inleiding

In het kader van de inventarisatie van risico's van transport van gevaarlijke stoffen in de Provincie Zeeland, is het vervoer van ammoniak over de Westerschelde steeds een onderwerp van grote discussie geweest. Ammoniak-transport over de Westerschelde geldt daarbij als de waarschijnlijk grootste risicobron van Zeeland, en wellicht wel van Nederland. In het bijzonder geldt dat voor het groepsrisico (de kans op een groot aantal slachtoffers door een ongeval).

Het fysisch-chemische gedrag en de verspreiding van ammoniak in de atmosfeer zijn voor het bepalen van de maximale effecten voor de onderhavige studie vrij onvoorspelbaar; hierop wordt verderop in deze bijlage ingegaan. Afhankelijk van de aannamen die rond dit gedrag worden gedaan en de modellering die daar vervolgens op wordt toegepast om de effecten in de omgeving te voorspellen, levert dit grote verschillen op. In deze bijlage worden enkele van de onzekerheden (resultierend in verschillen in uitkomsten) voor deze studie belicht. Afhankelijk van deze onzekerheden is een maximale effectafstand bepaald. Deze methodiek komt overeen met de keuzen zoals die zijn gemaakt in de recente risicostudies voor de Westerschelde.

2. Fysisch-chemische eigenschappen van ammoniak

Ammoniak is een stof die bij omgevingstemperatuur gasvormig is. Het heeft een kookpunt van -33°C , en is daarom alleen in vloeibare vorm te bewaren door de stof sterk af te koelen en onder verhoogde druk vloeibaar te maken. Beide vormen van opslag, en ook transport, vinden plaats. Vooral bij grootschalige opslagen (zeg: meer dan 5000 m^3) is het om redenen van bedrijfsvoering, kosten en veiligheid aantrekkelijk om gekoelde opslag toe te passen. Ook voor het transport van grote hoeveelheden ammoniak, met zeeschepen, wordt bij voorkeur de optie van gekoelde ammoniak gebruikt.

Vloeibare ammoniak heeft een lagere dichtheid (soortelijk gewicht) dan water: circa 650 kg/m^3 voor NH_3 tegenover 1000 kg/m^3 voor water. Bij een lekkage van een schip zou ammoniak dus de neiging hebben om op het water te drijven. Echter, afhankelijk van de temperatuur waarbij de ammoniak is opgeslagen, zal een aanzienlijk deel verdampen. Verder lost ammoniak erg goed op in water. Bij dit oplosingsproces vindt ontwikkeling van warmte plaats, wat een extra bron voor verdamping vormt. In de literatuur is gevonden dat circa 42% van een ammoniakspill op water vrijwel direct verdampt en dat 58% oplost. Voor een effecten- en risico-analyse zijn we vooral geïnteresseerd in de hoeveelheid die in de atmosfeer terecht komt en hoe de gaswolk zich daarna gedraagt.

Ammoniakdamp is ook lichter dan lucht, verhouding ongeveer 0,6 : 1. Pure ammoniakdamp heeft dan ook de neiging om op te stijgen, waardoor er op grondniveau (daar waar mensen aanwezig zijn) nauwelijks van ammoniakblootstelling sprake zou zijn. Sommige modellen voor verspreidingsberekeningen brengen dit lichte gedrag ook in rekening.

Een uitzondering ontstaat voor de situaties waar de ammoniakdamp zeer koud is, en daardoor zwaarder wordt. Dit treedt vooral op wanneer onder druk opgeslagen ammoniak vrijkomt. Er ontstaat dan een 'spuiter' van NH_3 -druppeltjes waarin veel turbulentie (werveling) in de omgevende lucht ontstaat. Er wordt warmte aan de lucht onttrokken om de ammoniakdruppeltjes te laten verdampen. Zo vormt zich een zeer koud ammoniak-luchtmengsel, dat als geheel zwaarder is dan lucht en zich in de atmosfeer (aanvankelijk) laag over de grond zal verspreiden. De verhouding ammoniak / lucht in zo'n mengsel ligt in de orde van 1 : 10, dus 10 volume-% ammoniak. In zulke gevallen worden de verspreidingsberekeningen met een zogenaamd 'zwaar-gas model' uitgevoerd. Dergelijke modellen houden rekening met het, door zijn gewicht, uitzakken van de wolk, die daardoor breed wordt, en vaak tot minder grote afstanden hoge concentraties voorspellen.

Voor het beschrijven van het gedrag van op water uitgestroomde ammoniak is eigenlijk geen goed, gevalideerd model beschikbaar. Afhankelijk van de door de analist gekozen parameters en modellering kunnen de uitkomsten van effectberekeningen sterk verschillen. Erkend moet worden dat hierin een belangrijk 'gat' in de wetenschappelijke inzichten bestaat, waardoor grote verschillen ontstaan in de conclusies over aanvaarbaarheidsafstanden van deze risico's.

Gezien de grote belangen van besluitvorming die hierop wordt gebaseerd zou een specifiek onderzoek hiernaar, op méér dan laboratoriumschaal, veel onzekerheden kunnen wegnemen.

3. Dispersieberekeningen voor ammoniak uit zeeschepen op de Westerschelde

Op de Westerschelde vindt transport van ammoniak in zeeschepen vooral (of uitsluitend) in gekoelde vorm plaats. Afmetingen van de ladingtanks bedragen tot ongeveer 20.000 m³. In eerdere studies is beschadiging en leegstromen van zo'n ladingtank als denkbaar scenario in risico-analyses beschouwd.

Voor een pessimistische benadering van een dergelijk incident is dit scenario wellicht te verdedigen, maar de vraag of de gehele tankinhoud kan vrijkomen kan sterk van de uitvoering en de diepgang van het schip afhangen. Wanneer een lek ontstaat onder de waterlijn, zou de hydrostatische tegendruk van het water de uitstroming van ammoniak kunnen belemmeren. Raakt de tank bovenin lek, dan is de drijvende kracht voor uitstroming eveneens gering. De effecten kunnen dan ook sterk afhangen van de plaats waar de tank wordt lek raakt.

In de berekeningen in dit rapport is uitgegaan van de conservatieve aannamen dat:

- De volledige inhoud van één ladingtank vrijkomt, totaal 14.000 m³, binnen bijna 10 minuten;
- 42% van deze uitstroming direct verdampt, als gevolg van de warmte die bij het oplossen in water vrijkomt, en de overige 58% oplost en geen acuut gevaar meer oplevert;
- Dientengevolge geen grote plas ammoniak op het water ontstaat, en de verspreiding dus vanuit een puntbron plaatsvindt;
- De dispersie plaatsvindt als een neutraal gas, dus een damp met een dichtheid gelijk aan die van lucht. Dit laatste betekent dus: geen opstijging en ook geen initiële verdunning ten gevolge van het uitzakeffect dat bij zwaar-gas dispersie wordt verondersteld.

De berekeningsresultaten zullen waarschijnlijk de meest pessimistische uitkomsten geven. In eerdere risico-studies voor de Westerschelde is met een zwaar-gas dispersiemodel gewerkt. Gezien de berekende effectafstanden voor de dominante scenario's wijken de resultaten van die berekeningen niet erg veel af van die van een neutraal gas model. In het verre veld zijn de dichtheidseffecten niet relevant meer. De effecten kunnen echter (veel) minder ernstig zijn, indien zou blijken dat in werkelijkheid het opstijgen van de gaswolk (licht gas) optreedt waardoor van gevaarlijke concentraties op grondniveau geen sprake is.

Nader onderzoek wordt aanbevolen indien genoemde onzekerheden verder beperkt moeten worden.