SAMENVATTINGSRAPPORT

Actualisatie Risicoanalyse (Wester)Schelde

DET NORSKE VERITAS

SAMENVATTINGSRAPPORT

Actualisatie Risicoanalyse (Wester)schelde

Det Norske Veritas
Consulting Benelux
Duboisstraat 39 – bus 1
2060 Antwerpen
België

Versie	Datum	Opgesteld door	Review door	Opmerkingen
0	20.03.2004	M. Spruijt / M.F. Westerbeek van Eerten	E. Schouwenaars	Nederlandstalige samenvatting van final report
1	29.04.2004	M. Spruijt / M.F. Westerbeek van Eerten	E. Schouwenaars	Finaal voor 2003, 2010 p.m.
2	10.05.2004	M. Spruijt / M.F. Westerbeek van Eerten	E. Schouwenaars	Bijlage bijgevoegd met uitleg n.a.v. validatierapport TNO
3	07.06.2004	J. Cerpentier / F. Destat	K. De Jongh / E. Schouwenaars	Nieuwe resultaten groepsrisico na aanpassing populatiefile en toevoeging 2010 situatie.
4	14.06.2004	Destat	De Jongh Schouwenaars	Finale Versie

INHOUD

0. SAMENVATTING 1

1. INLEIDING 7
   1.1 Achtergrond 7
   1.2 Actualisatie Risico Analyse anno 2003 8
   1.3 Situatie 2010 8

2. STUDIE-AANPAK 9
   2.1 Opdrachtomschrijving 9
   2.2 Projectbegeleiding 9

3. SYSTEEMBESCHRIJVING 11
   3.1 Data vaarbewegingen 11
   3.2 Overzicht Aanvaringen 1998-2002 12

4. IDENTIFICATIE VAN GEVAREN & DEFINITIE VAN FAALSCENARIO'S 13
   4.1 Identificatie van gevaren 13
   4.2 Definitie Faalscenario's 16

5. ANALYSE VAN GEVOLGEN 18
   5.1 Inleiding 18
   5.2 Ammoniak 18
   5.3 Brandbare Stoffen 19

6. ANALYSE VAN LEKFREQUENTIES 20
   6.1 Inleiding 20
   6.2 Verbetering van het (gebruik van het) energiemodel 20
   6.3 Energiemodel: berekende lekfrequenties 21

7. ACHTERGRONDGEGEVENS 23
   7.1 Bevolkingsgegevens 23
   7.2 Ontstekingsgegevens 24
   7.3 Studie van meteorologische condities 25

8. RESULTATEN 26
   8.1 Plaatsgebonden risico 26
   8.2 Groepsrisico 28

9. GEVOELIGHEIDSANALYSE 31

10. SITUATIE 2010 33
   10.1 Aanpassing risicomodel voor situatie 2010 33
   10.2 Resultaten 34

11. CONCLUSIES 37

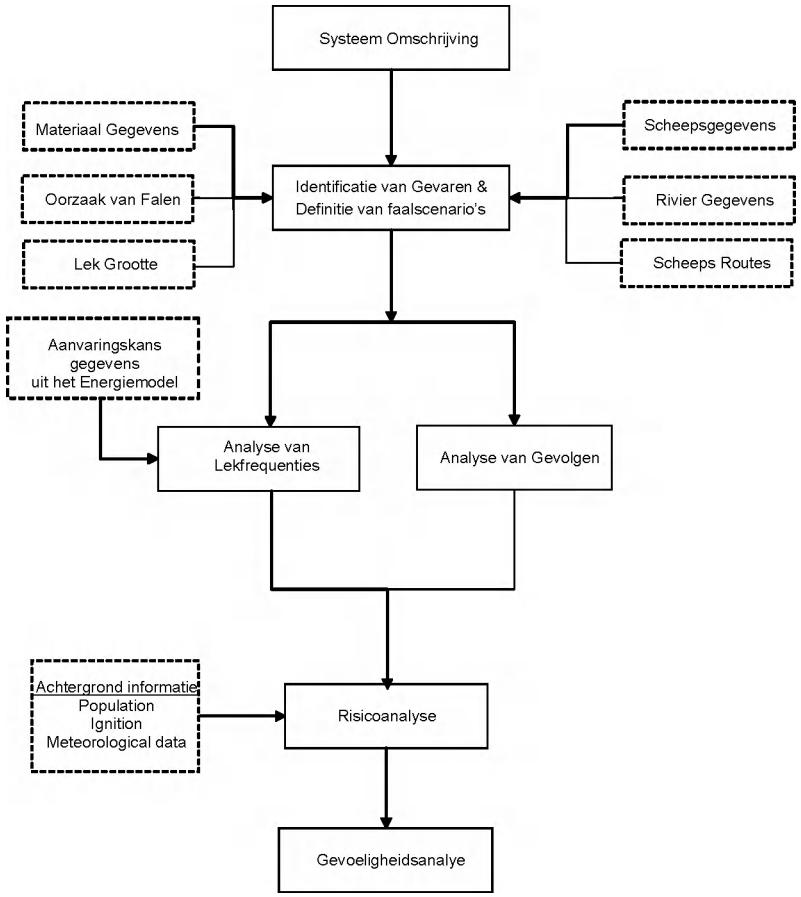
BIJLAGE 1: UITLEG N.A.V. VALIDATIE RAPPORT

0. SAMENVATTING

In het 'Veiligheidsmemorandum van Vlissingen' van maart 2002 werd aangegeven dat de Vlaamse en Nederlandse autoriteiten het externe risico van scheepstransporten van ammoniak op de Westerschelde wilden reduceren. Om dit te bereiken werd het projectplan 'Risicoactualisatie Externe Veiligheid Westerschelde' opgericht teneinde de risico's aangaande deze transportbewegingen opnieuw vast te stellen.

DNV heeft (omstreeks 2003-2004) door middel van een kwantitatieve risico analyse (QRA) een herberekening van de potentiële risico's van het scheepstransport van gevaarlijke scheepsladingen op de Westerschelde rivier uitgevoerd. De in de berekening gebruikte ongeval en scheepsbeweging statistieken zijn gebaseerd op de periode 1998-2002. Het studiegebied omvat de gehele Westerschelde rivier vanaf Wielingen en het Oostgat (westen) tot aan de Berendrecht / Zandvliet sluizen bij het havenmond van Antwerpen (0osten). In de studie maakt men gebruik van scheepsladingen die bij vrijkoming een gevaar voor de volksgezondheid kunnen opleveren. Het gaat met name om brandbare en/of toxische (vloeibare) gassen vervoer, die een gevaar kunnen vormen voor de bewoners aan de oevers van de Westerschelde.

De risico analyse is gebaseerd op een klassieke aanpak uitgaande van het identificeren van gevaren en het vervolgens kwantificeren van de voorkomingfrequenties en mogelijke schade effecten. De combinatie van kans en effect leiden tot risico inschattingen. Daarna is middels gevoeligheidsanalyses de robuustheid van het risicoanalyse model aangetoond. Het proces wordt schematisch weergegeven in het onderstaande figuur.



Het project is uitgevoerd in nauwe samenwerking met vertegenwoordigers van de Vlaamse en Nederlandse autoriteiten en het bedrijfsleven in beide landen. Specialisten op het gebied van risicoanalyse en externe veiligheid van beide landen hebben in de vorm van een Expert Groep de studie actief begeleid. Daarnaast is in het periodieke Management Overleg met vertegenwoordigers van betrokken partijen de studie eveneens ondersteund. De bestuurlijke coördinatie volgt vanuit het Veiligheidsmemorandum van Vlissingen. De totale risico studie is geverifieerd en gevalideerd door TNO.

Gebaseerd op een analyse van wereldwijde historische ongevalgegevens bleken aanvaringen tussen schepen (met als gevolg het vrijkomen van grote product hoeveelheden uit een ladingtank) de enige oorzaak om risico's op land te vormen. Deze constatering bevestigde de basis van de lekfrequentie studie zoals gebaseerd op de methode die ontwikkeld is in het protocol 'Risicoanalyse Zee- en Binnenvaart'. Dit protocol is gebaseerd op een energiemodel waarmee de beschikbare kinetische energie op een vaarweg wordt berekend. Vervolgens wordt deze energie gerelateerd aan de kritische energie die nodig is om een schip lek te varen. Het energie model gecombineerd met de ongevalgegevens van de beschikbare plaatselijke statistiek kan de lekfrequentie voor een klein en groot lek berekenen.

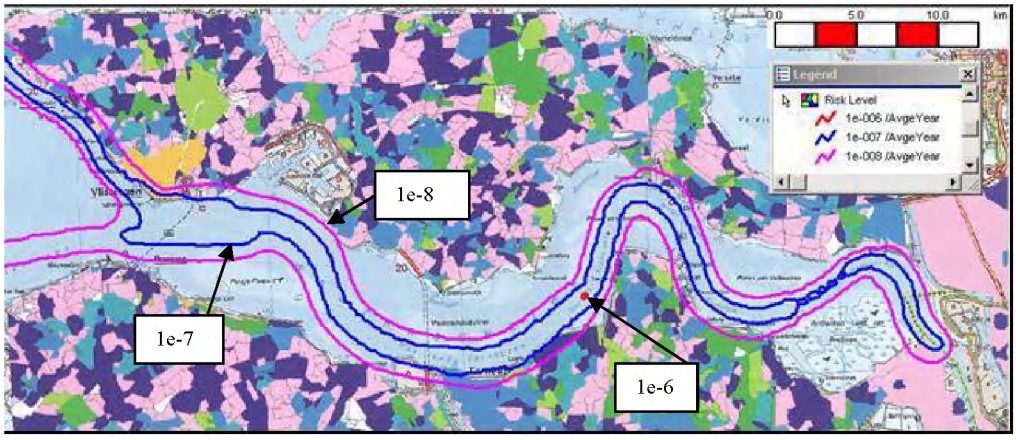
De evaluatie en verbetering van het energiemodel vormt onderdeel van de huidige studie door gebruik te maken van actuele nautische expertise. Een van de resultaten van de evaluatie betreft de aanpassing van de kritische energieniveau's die nodig zijn om een productlekkage van een gastanker met vloeibare gassen te veroorzaken. Een aantal andere verbeteringen zijn doorgevoerd om het model te verfijnen, hierbij kan men denken aan het onderscheid maken tussen: waterlijn lekkages / onder de waterlijn lekkages, cylindrische tanks / prismatische tanks en druk opslag / gekoelde opslag. Berekeningen met het energie model gaven aan dat een op de vijf zware aanvaringen resulteert in een product lekkage. Echter, wereldwijde statistiek geeft aan dat gedurende een tijdspanne van 12 jaar 40 zware aanvaringen zijn opgetreden met betrekking tot gastankers. Geen van de aanvaringen heeft geleid tot aantasting van de lading tank. Derhalve zijn statistische methoden gebruikt om het energie model in lijn te brengen met wereldwijde aanvaringsgegevens. De lekfrequentie berekeningsresultaten geven aan dat de kans op een aanvaring met zware schade het hoogst is in de nabijheid van Vlissingen. Dit komt voornamelijk door het hoge aantal scheepsbewegingen en het samenvoegen van verschillende vaarroutes in dit vaargebied.

Het modelleren van de potentiële gevolgen van een ammoniak lekkage uit een aangevaren schip is gebaseerd op de resultaten van een gedetailleerde ammoniak uitstroomstudie, welke is uitgevoerd door TNO. In een apart rapport wordt de theoretische basis van de te verwachten ammoniak uitstroming door TNO beschreven. Geconcludeerd wordt dat voor waterlijn lekkages de uitstromende ammoniak zich zal spreiden over het oppervlaktewater totdat een evenwicht is bereikt tussen de uitstroomsnelheid en de oplos- / verdampingssnelheid. Voor waterlijn lekkages schat TNO dat ongeveer 20% van de beschikbare ammoniakhoeveelheid zal verdampen, voor onder de waterlijn lekkages schat TNO een percentage van 13%. De opvolgende ammoniak dispersie in de atmosfeer is uitgevoerd door DNV voor een neutraal gas gedrag. Gevaarsafstanden zijn berekend met DNV's gevalideerde dispersiemodel gebruik makend van een gecombineerde ammoniak probit functie om het risico te berekenen voor een gegeven blootstelling.

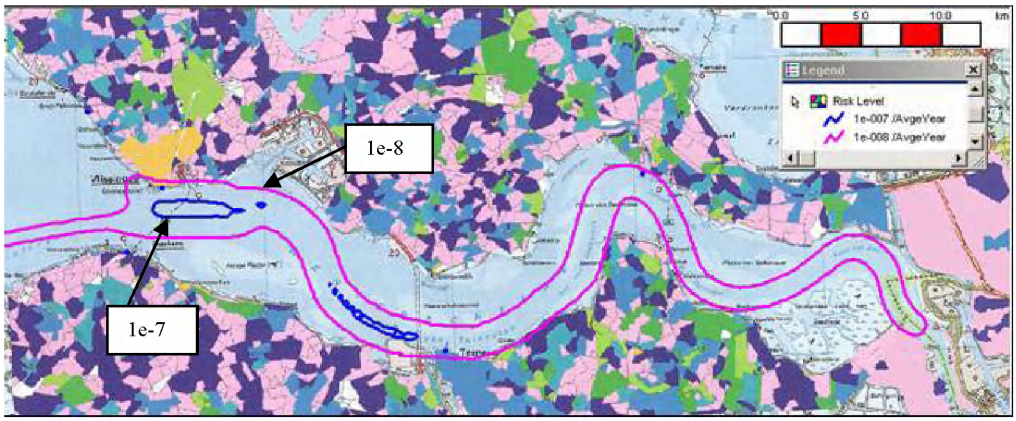
Het uitstromingsmodel voor de brandbare gassen is eenduidiger te karakteriseren omdat al het vrijkomende materiaal zal verdampen vanuit de plas die op het water wordt gevormd. Er vind geen oplossing plaats in het oppervlaktewater.

De risicoresultaten worden gepresenteerd door middel van plaatsgebonden risicocontouren, plaatsgebonden risicowaarden op een aantal vaste punten op de kustlijn (Oostgat, Breskens, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert) en tevens in de vorm van groepsrisico curven (Vlissingen, Terneuzen, Hansweert).

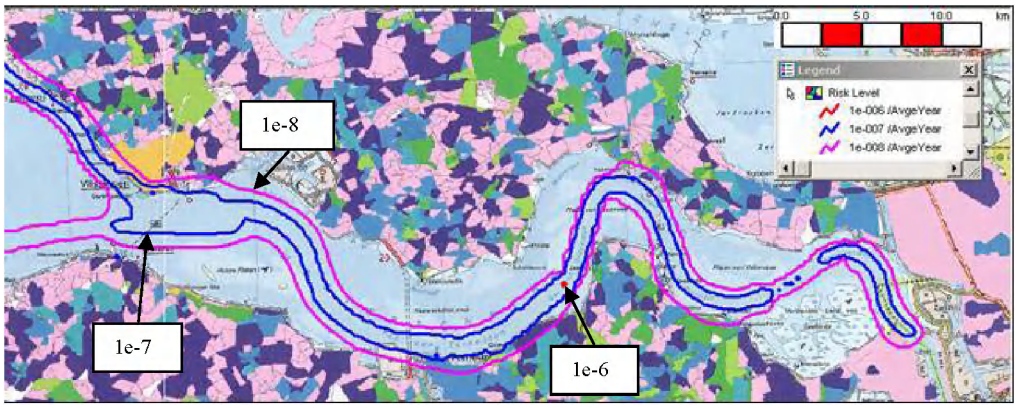
Gecombineerde risico contouren (2003 situatie)



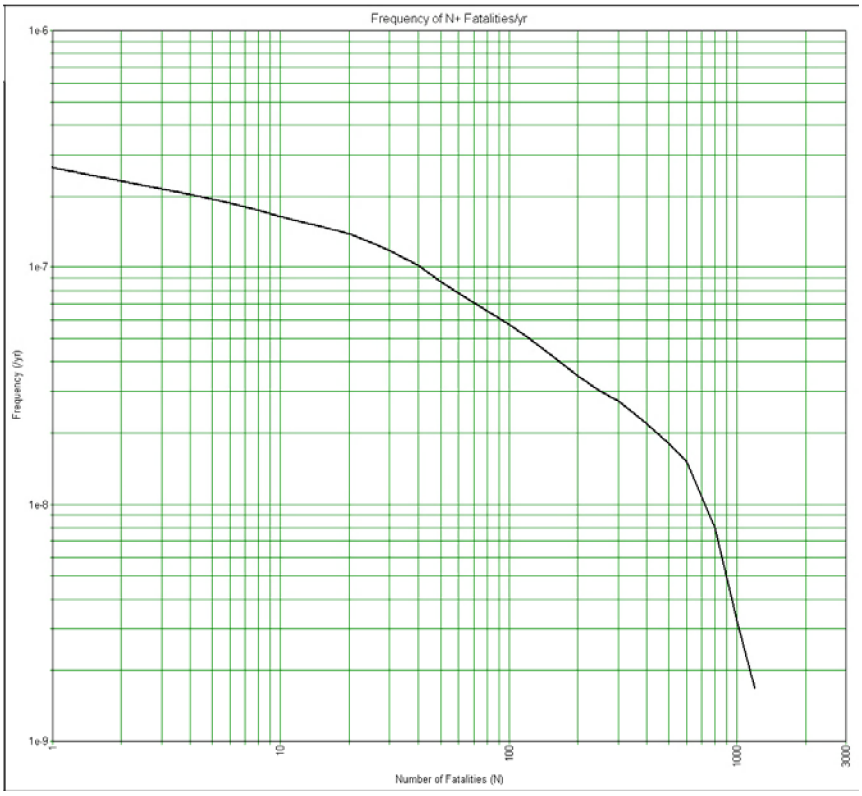
Ammoniak risico contouren (2003 situatie)



Brandbare stoffen risico contouren (2003 situatie)



Groepsrisico voor kustlijn Terneuzen (2003 situatie)

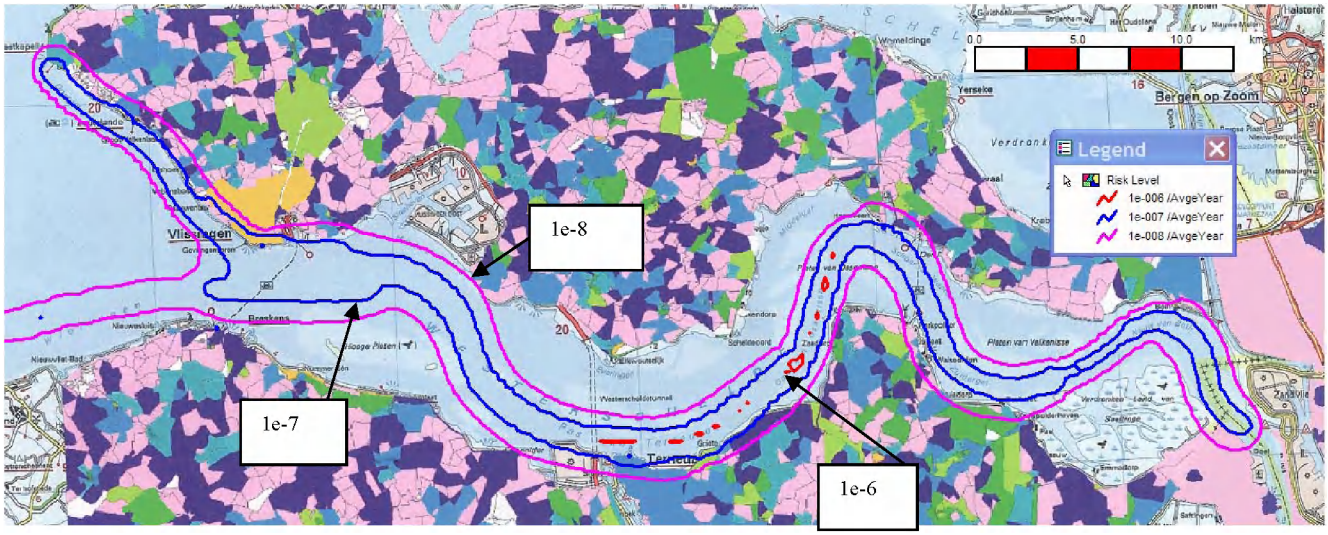


Uit de risicoberekeningen kan worden geconcludeerd dat het maximale plaatsgebonden risico op land voor de actuele situatie in 2003 kleiner is dan 1E-06 per jaar. Het groepsrisico nabij Terneuzen blijkt het hoogst over de hele Westerschelde.

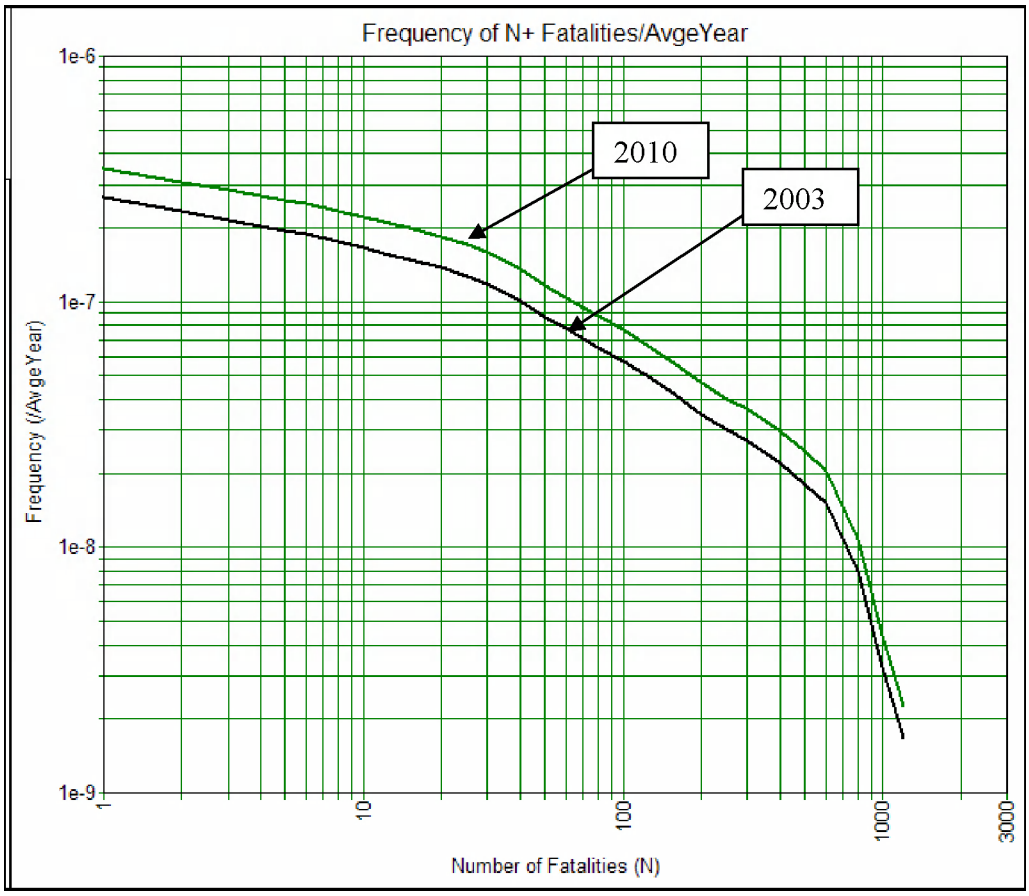
Gevoeligheidsanalyse resultaten gaven aan dat wijzigingen in de aanvaringsfrequentie het risico beïnvloeden met factor 0,5 tot maximaal factor 1,3. Zwaar gas modellering toonde een risicotoename van slechts 2%. Er zijn ook gevoeligheidsanalyses uitgevoerd met betrekking tot de materiaal uitstromende massa ammoniak (tot volledige uitstroom van het compartiment). Hieruit werden verschillen berekend van factor 0,3 tot factor 1,7 ten opzichte van de basis situatie. Tot slot is de probit functie gevarieerd hetgeen een risico verandering oplevert van plus 2% (Dutch Probit) en min 3% (Vlaamse Probit). De gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd voor de riviersectie bij Vlissingen, zijnde het deel met het hoogste risico.

In aanvulling op de risicoanalyse voor de situatie 2003, is een tweede analyse uitgevoerd voor de situatie zoals geprognotiseerd in het jaar 2010. Uitgaande van de aangeleverde informatie door het Centraal Plan Bureau en adviesbureau MARIN, heeft DNV het risicomodel van de Westerschelde aangepast voor de te verwachten veranderingen in scheepsbewegingen in 2010, gebaseerd op een gemiddeld economisch groeiscenario. Het totale plaatsgebonden risico en de groepsrisicocurve voor Terneuzen zijn gepresenteerd in de volgende figuren.

Gecombineerde risicocontouren (2010 situatie)



Groepsrisico voor Terneuzen (2010 versus 2003 situatie)



De hoofdconclusie van de risicoberekening voor zowel de situatie 2003 als 2010 is dat transport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde leidt tot een beperkt risico niveau op land, geredeneerd vanuit het plaatsgebonden risico. Risico resultaten voor groepen mensen (dat wordt gevisualiseerd in de groepsrisico curve) tonen aan dat grote aantallen slachtoffers kunnen optreden als gevolg van lekkages, doch dat deze slechts voorkomen bij zeer lage frequenties. Het totale risico van de Westerschelde wordt gedomineerd door de scenario's van de vloeibare gassen en niet door ammoniak.

Vergelijkingen met eerdere risico studies tonen aan dat de huidige analyse een nauwkeuriger en lager risico niveau berekent. Belangrijkste verschillen zijn de nautische maatregelen die gedurende de laatste jaren zijn getroffen, veranderingen in het aantal transporten van gevaarlijke stoffen alsook een verfijning in de modellering. Zo worden artikel 25 schepen niet toegestaan de rivier tijdens slecht zicht te betreden en blijken recente ongevalgegevens een betere veiligheidsprestatie aan te tonen voor schepen met gevaarlijke goederen. Hoewel het aantal ammoniak transporten over de laatste 10 jaar vrij constant blijkt te zijn, is het aantal trips met brandbare stoffen serieus toegenomen. In de modellering van alle schepen met gevaarlijke stoffen zijn de langsscheepse schotten om tanks op te splitsen meegenomen, alsook de oplosbaarheid van ammoniak in water en tevens is er onderscheid gemaakt tussen twee plaatsen waar een lekkage wordt verondersteld. Ook de aanlevering van specifieke expertise vanuit de expert groep heeft geleid tot de actuele resultaten.

1. INLEIDING

1.1 Achtergrond

Het vervoer van gevaarlijke stoffen per schip over de Westerschelde vormt een risicobron voor de omgeving. Immers, een ongeval of calamiteit op de vaarweg kan een negatieve weerslag hebben op de lokaal woonachtige bevolking, zo ook kan dit transport over water mogelijk een gevaar opleveren voor mensen die werkzaam zijn in de direct aanliggende gebieden. Om gefundeerde afwegingen te kunnen maken inzake dergelijke risico's zijn in de afgelopen 10 jaar verscheidene risicoanalyses uitgevoerd, waarbij de mogelijk schadelijke gevolgen van het transport van gevaarlijke stoffen per schip op de Westerschelde nader is onderzocht. Uit deze studies blijkt dat zowel het plaatsgebonden risico (PR) als het groepsrisico (GR) grotendeels konden worden toegeschreven aan het transport van toxische gassen, waarbij specifiek het transport van vloeibaar ammoniak door zeeschepen als voornaamste bron van gevaar werd aangewezen. Bij deze studies zijn de standaard risico analyse technieken gebruikt zoals deze beschreven staan in de van toepassing zijnde CPR richtlijnen. De resultaten toonden een relatief hoog risico aan. Vervolgens zijn de aannames inzake de lekfrequenties en de modellering van de gevolgschades (rampscenario's) het onderwerp geworden van een aanvullende studie, waarbij speciale aandacht is gegeven aan ammoniak.

In 1999 gaf het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Directoraat-Generaal Goederenvervoer) aan AVIV en DNV de opdracht om gezamenlijk het "Protocol" te ontwikkelen, een rekenvoorschrift op basis waarvan de risico's verbonden aan het vervoeren van gevaarlijke stoffen over binnenwateren kunnen worden beoordeeld. Een onderdeel van het "Protocol" vormt de zogenaamde "Energie Methode", die een preciezere schatting van de lekfrequenties mogelijk maakt dan voorheen was gebeurd. De methode is gebaseerd op de veronderstelling dat elk schip potentieel in aanvaring kan komen met al het overige vaarverkeer op de waterweg. De mate waarin het ene vaartuig bij aanvaring doordringt in een ander vaartuig (met als gevolg: het ontstaan van een lek en het verlies van gevaarlijke stoffen) hangt af van verscheidene factoren, waaronder de waterverplaatsing en de snelheid van het botsende schip (de kinetische c.q. bewegingsenergie) op het moment van aanvaring. Het deel van het vaartuig dat bij de aanvaring betrokken is, de hoek waaronder de aanvaring plaatsvindt en de snelheid en de waterverplaatsing van het aangevaren schip zijn eveneens de bepalende factoren. Door het berekenen van de fractie van het reguliere scheepvaartverkeer dat voldoende kinetische energie heeft om bij een ernstige aanvaring een lek te kunnen slaan in een ander vaartuig met gevaarlijke stoffen kan op een meer accurate wijze de lekfrequentie statistisch worden ingeschat.

Het vraagstuk hoe ammoniak zich gedraagt wanneer deze stof vrijkomt is in een eerder stadium nader onderzocht. Op verzoek van het "Ministerie van Verkeer van Waterstaat", publiceerde TNO een onderzoeksrapport "Modellering NH_3-uitstroom vanuit zeeschepen, april 2002", waarin verslag wordt gedaan van de onzekerheden in het gedrag van ammoniak wanneer deze stof vrijkomt in een aquatisch milieu. De belangrijkste conclusie was dat de eerder aangenomen modellering van uitstroom en dispersie (verspreiding) van ammoniak naar alle waarschijnlijkheid te conservatief waren. TNO gaf in haar rapport de aanbeveling om de onzekerheden in kwestie nogmaals nader te onderzoeken met een gevoeligheidsanalyse, deze bij voorkeur in combinatie met experimenteel onderzoek aangezien op dat moment geen relevante gegevens uit de praktijk voorhanden waren voor ammoniak.

1.2 Actualisatie Risico Analyse anno 2003

In 2003 gunde de Provincie Zeeland, Afdeling Milieuhygiëne aan Det Norske Veritas (DNV) de opdracht om een gedetailleerde risicoanalyse uit te voeren op het scheepvaarttransport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde. Het bureau AVIV assisteerde bij de statistische analyse van data welke werden verstrekt door de Schelde Radar Keten (SRK; aantal/type vaarbewegingen en frequentie aanvaringen). TNO was tevens bij de opdracht betrokken en verrichtte vervolgonderzoek naar het vrijkomen van ammoniak en het verspreidingsgedrag van deze stof.

Doelstelling van de 'overall' opdracht is om eerdere studies te actualiseren en de modellering van de risico's te verfijnen. Hiertoe zijn de resultaten uit voorgaande studies beschouwd, is het meest actuele overzicht van vaarbewegingen opgenomen en zijn ook de gegevens van recent voorgevallen aanvaringen verwerkt (periode 1998 – 2002). Reeds geïmplementeerde (nautische) (risico)beheersmaatregelen zijn als uitgangspunt genomen voor deze studie. Tevens is gebruik gemaakt van experimenteel gevalideerde simulatiemodellen die het uitstromen en het verspreiden van ammoniak beschrijven, zo ook de mogelijke schadelijke gevolgen hiervan.

De voorliggende Nederlandstalige samenvatting van de Engelstalige hoofdrapportage (Final Report) beschrijft de opzet, de resultaten en de conclusies van de hierboven omschreven actualisatie risicoanalyse anno 2003. Het rapport bevat fragmenten van de data-analyse die AVIV uitvoerde op de vaarbewegingen en aanvaringen op de Westerschelde. Daarnaast zijn de resultaten van het parallel lopende TNO-onderzoek naar het gedrag van vrijkomend ammoniak in deze rapportage opgenomen. Voor gedetailleerdere informatie wordt verwezen naar de Engelstalige hoofdrapportage en/of naar de betreffende deelonderzoeksrapporten.

De risico-actualisatie studie is begeleid door een aantal werkgroepen/overleggen. Periodiek overleg heeft plaatsgevonden met een Expert groep, bestaande uit risicoanalyse/veiligheidsspecialisten van betrokken overheidsinstanties en bedrijfsleven van Nederland en Vlaanderen. Voor aanvullende coördinatie is vanuit deze partijen eveneens een afvaardiging betrokken in de vorm van het zogenaamde Management Overleg. De bestuurlijke coördinatie vloeit voort uit het Veiligheidsmemorandum van Vlissingen.

1.3 Situatie 2010

Deel van de opdracht is tevens het maken van een schatting van de risico's verbonden aan de toekomstige vaardrukte (verkeersintensiteit) op de Westerschelde in 2010. Uitgaande van het risicoanalysemodel zoals opgesteld voor de situatie 2004, is een aanvullende analyse gemaakt op basis van een gemiddeld economisch groeiscenario zoals aangeleverd door het Centraal Plan Bureau (CPB) en bewerkt door het adviesbureau MARIN. In een separaat hoofdstuk worden de resultaten gepresenteerd van deze toekomstverwachting.

2. STUDIE-AANPAK

2.1 Opdrachtomschrijving

De huidige risicoanalyse is gebouwd op een fundament van de voorgaande risicoanalyses die zijn uitgevoerd op de Westerschelde. Een belangrijke pijler is het databestand van de Radar Schelde Keten (SRK, 1998-2002), dat een getalsmatig overzicht geeft van het scheepvaartverkeer. Een nader inzicht in de aanvaringen wordt verkregen door gebruik te maken van databestanden als ONOVIS. De studie is geconcentreerd op het vaststellen van het risicoprofiel voor de bevolking op land. De resultaten van de voorgaande AVIV-studie toonden aan dat brandbare en toxische vloeistoffen niet significant bijdragen aan de optelsom van risico's op land. Om reden hiervan werden deze categorieën van stoffen buiten de opdracht gelaten. Een zelfde argumentatie is gehanteerd bij het verwaarlozen van de aanwezigheid van kleine rivierschuiten c.q. binnenvaartschepen. DNV verifieerde deze eerdere onderzoeken en confirmeert zich aan de resultaten. De huidige risicostudie richt zich op zee(container)schepen die meer dan 100 ton brandbare of toxische (vloeibare) gassen vervoeren.

Het onderzoekswerk kan op hoofdonderdelen als volgt puntsgewijs worden samengevat:

- Verzamelen en analyseren van de vaarbewegingen en ongevalgegevens anno 2003. (Uitvoering door AVIV, verificatie door DNV).
- Identificatie van gevaren en definitie van scenario's.
- Verificatie en verbetering van het energiemodel.
- Berekening van ongevalfrequenties, gebaseerd op het energie model.
- Verificatie van het model ammoniak uitstroom (uitgevoerd door TNO, verificatie door DNV).
- Analyse van de gevolgschade per vastgesteld scenario.
- Berekening van het plaatsgebonden risico en het groepsrisico.

2.2 Projectbegeleiding

Expertgroep

De volgende personen maakten deel uit van de Expertgroep:

J. Persy	Antwerp Harbour Authorities
T. Vanhoenacker	Antwerp Harbour authorities
T. Jenssen	Hydro Agri Brussels
R. Keldermans	BASF Antwerp
P. Uijt de Haag	RIVM
C. Theune	Province of Zeeland

J. Prins	Rijkswaterstaat Zeeland
M. Bogaert	Ministerie Vlaamse Gemeenschap
M. Kruiskamp	Ministerie V&W/DGG, Bouwdienst Rijkswaterstaat
J. Berghmans	Katholieke Universiteit Leuven
J. van der Kolk	KPMG Sustainability, facilitator

Management Overleg en Bestuurlijk Overleg

Voor aanvullende coördinatie is tevens een management groep betrokken bij de studie bestaande uit vertegenwoordigers van zowel de Vlaamse als Nederlandse betrokken overheidsinstanties en bedrijven. Daarnaast heeft bestuurlijk overleg plaats gevonden overeenkomstig het Veiligheidsmemorandum van Vlissingen.

Verificaties

In aanvulling op de begeleiding door de Expertgroep, zijn de volgende extra controles en tussentijdse verificaties in de projectplanning opgenomen om de kwaliteit van de risicoanalyse te garanderen:

- DNV Aannameregister, verificatie en goedkeuring door de Expertgroep
  Volgens voorschrift c.q. conform de opdrachtformulering werden door DNV alle aannames die men maakte bij de opzet van de risicoanalyse gedocumenteerd en zijn, lopende het de voortgang van het project, ter revisie gelegd bij de Expertgroep. Het omvat in dezen alle aannames die zijn gemaakt naar aanleiding van relevante achtergronddata (bevolkingsgegevens, klimatologische condities, ontstekingsbronnen), de parameters waarmee men met behulp van SAFETI de gevolgen modelleerde, en de diverse overige parameters die noodzakelijk bleken om de studie uit te voeren.

- DNV verificatie van AVIV' s Analyse Scheepvaartverkeer
- DNV verificatie van TNO's Modellering Uitstroom Ammoniak
- TNO verificatie van DNV's Overall Kwantitieve Risico Analyse.
  De achterliggende gedachte bij deze controle is dat TNO (en ook de Expertgroep) er zeker van kunnen zijn dat het ineenschuiven van de opdrachtonderdelen hebben geleid tot een methodisch correcte en begrijpelijke aanpak van de totale opdracht en dat de Overall Kwantitatieve Risico Analyse een accuraat en volledig beeld schetst. Deze verificatie omvatte alle aspecten van de risico analyse, dit inclusief de controle op de implementatie van het "Energie Model" , de methode gebruikt voor het berekenen van lekkage frequentie. De modellering van (mogelijke) incidenten en faalscenario's werd gecontroleerd, zo ook werden de achtergrond van de in SAFETI ingevoerde gegevens tegen het licht gehouden (zoals: klimatologische statistieken, bevolkingsdichtheid, variabele ontstekingsbronnen, fysisch-chemische stofeigenschappen en kritische aanvaringsparameters). Daarnaast werd de totale modellering van de mogelijke gevolgschade nogmaals kritisch beschouwd.

De TNO verificaties zijn in gescheiden TNO-rapportages neergelegd. In bijlagevorm bij voorliggende rapportage is een nadere toelichting gegeven naar aanleiding van enkele opmerkingen van TNO op voorliggende studie.

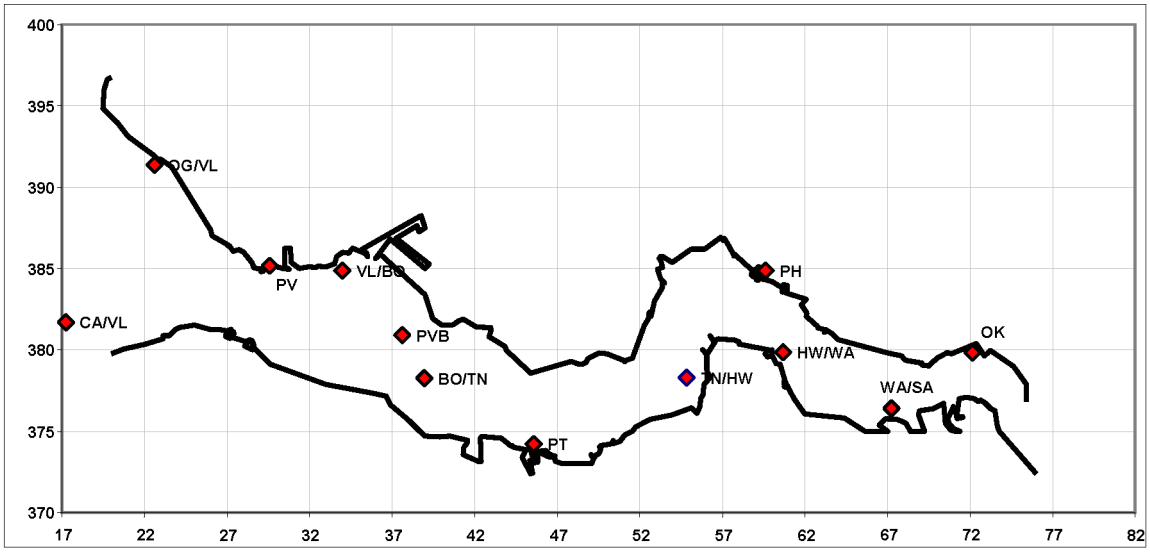
3. SYSTEEMBESCHRIJVING

3.1 Data vaarbewegingen

De vaarwegen "Oostgat" en "Wielingen" vormen de westelijke grenzen van het beschouwde studiesysteem, de gemeente Zandvliet vormt de oostelijke projectgrens. Voor dit (rivier)systeem vormen het verzamelen van gegevens en een gestructureerde data-analyse de vereiste stappen om te kunnen komen tot een statistisch onderbouwde schatting van lekfrequenties van zeeschepen met gevaarlijke stoffen. De verzamelde data (scheepvaartverkeer, periode: 1998-2002) is opgedeeld en geanalyseerd op grond van bijvoorbeeld de routering van schepen, de aard van de getransporteerde stoffen, de (massa)verplaatsing per schip, etc.. Bovendien is over de betreffende periode een analyse van mogelijke aanvaringen op de waterweg gemaakt, waarbij de Westerschelde is opgedeeld in segmenten met een uniform aanvaringsrisico. De analyse van de aard en intensiteit van vaarbewegingen is uitgevoerd door AVIV en is gebaseerd op de gegevens die zijn betrokken van de Schelde Radar Keten (SRK). Om inzicht te krijgen in de aard van de plaatsgevonden aanvaring is daarnaast ook gebruik gemaakt van databestanden als "ONOVIS", "SOLO", "Lloyds Casualty reports" en de "Uitspraken van de Raad van Scheepvaart" (Nr 310 en 402, data ter analyse van aanvaringen). De resultaten van deze analyses zijn opgenomen in de AVIV-rapportage "Basic Data Westerschelde 2003, november 2003". De onderstaande overzichten van gegevens (Figuur 3.1, Tabellen 3.1 en 3.2) zijn overgenomen uit het AVIV-rapport.

Om de schattingen van frequenties zo specifiek mogelijk alsook zo praktisch mogelijk te maken, is de Westerschelde onderverdeeld in 12 riviersegmenten. Deze indeling is gebaseerd op de geografische ligging van de SRK-stations (zie Figuur 3.1), die de gegevens verstrekken omtrent de verkeersstromen in de lokale scheepvaart. Het scheepvaartverkeer en de daarmee samenhangende data zijn per afzonderlijk riviersegment vastgesteld, en is binnen ieder segment als constante aangenomen.

Figuur 3.1 – Geografische ligging van Passagepunten



Elk van de punten is voorzien van een afkorting. De afkortingen representeren de passagepunten als is weergegeven in Tabel 3.1. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de aantallen zeeschepen per passagepunt per jaar. [1]

[1] In verband met SRK-afstemming

Tabel 3.1 – Passagepunten en Afkortingen

ca/vl	Grens Cadzand / Vlissingen	Ph	Passage Hansweert
Pv	Passage Vlissingen	hw/wa	Grens Hansweert / Waarde
Vl/bo	Grens Vlissingen / Borssele	wa/sa	Grens Waarde / Saeftinge (Konijnenschor)
Pvb	Pas van Borssele	Ok	Oostketel
bo/tn	Grens Borssele / Terneuzen	sb/og	Grens Steenbank / Oostgat
Pt	Passage Terneuzen	og/vl	Grens Oostgat / Vlissingen
tn/hw	Grens Terneuzen / Hansweert (Middelgat)		

Tabel 3.2 – Overzicht aantallen (relevante) zeeschepen (*1000)

Sectie	1998	1999	2000	2001	2002	Gemiddelde
Ca/vl-pv	27	27	27	27	27	27
Pv-vl/bo	44	43	44	44	44	44
Vl/bo-pvb	36	35	34	34	33	34
Pvb-bo/tn	36	35	35	34	34	35
bo/tn-tn	35	34	35	35	35	35
tn-tn/hw	32	30	32	31	31	31
tn/hw-pw	32	30	32	31	31	31
pw-hw/wa	31	30	31	31	31	31
hw/wa-wa/sa	31	30	31	31	31	31
wa/sa-ok	31	30	31	31	31	31
sb/og-og/vl	19	18	18	19	19	19
og/vl-pv	19	18	18	19	19	19

3.2 Overzicht Aanvaringen 1998-2002

Uit de geraadpleegde databestanden blijkt dat in de periode 1998-2002 in totaal 7 aanvaringen zijn geregistreerd waarbij zeeschepen betrokken waren. Twee van deze zeven gevallen resulteerde in 3 zogenaamde "4+5 categorie" scheepsbeschadigingen. Aangezien de hoedanigheid van de vaargeulen in de Westerschelde nagenoeg ongewijzigd bleef gedurende de afgelopen 12 jaar, is het gerechtvaardigd om de kansverdeling van aanvaringen op de Westerschelde te baseren op de aanvaringsgegevens over de periode 1990-2002 (Tabel 3.3). Dit betekent dat het daadwerkelijke aantal aanvaringen (met zware schade) voor periode '98-'02 wordt gehanteerd. Het aantal wordt verdeeld over de rivier overeenkomstig de verhoudingen in deze tabel.

Tabel 3.3 – Totaal aantal botsende zeeschepen Westerschelde, periode 1990-2002

(nota bene: de aantallen over deze periode zijn exclusief aanvaringen tussen voor anker gaande vaartuigen, exclusief aanmerende en afvarende schepen, Rede van Vlissingen)

Segment Westerschelde	Aantal vaartuigen bij aanvaringen betrokken
Wielingen	0.5
Oostgat	2
Vlissingen	9
Sloe-Terneuzen	8
Terneuzen- 1.5 Hansweert	9
-1.5Hansweert-Hansweert	0.5
Hansweert-Hansweert+1.5	0.5
Hansweert-Antwerpen	5

4. IDENTIFICATIE VAN GEVAREN & DEFINITIE VAN FAALSCENARIO'S

4.1 Identificatie van gevaren

De identificatie van gevaren is gerichte op die ongevalscenario's (en daarbij betrokken gevaarlijke stoffen) die significante schadelijke consequenties kunnen hebben op de plaatselijke bevolking. De identificatie van gevaren (en de risicostudie) richt zich derhalve op zeeschepen die meer dan 100 ton gevaarlijke stoffen in bulk vervoeren, te weten brandbare of toxische (vloeibare) gassen, die bij mogelijk vrijkomen letterlijk verstrekkende (ernstige) gevolgen kunnen veroorzaken.

De AVIV-studie naar het (zee)scheepvaartverkeer c.q. het (grootschalig) vervoer van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde (periode 1998–2002) hanteert een driedeling wat betreft gevaarlijke stoffen. De opdeling van gevaarlijke stoffen in de categorieën GT3 (gas, toxisch), GF2 (gas, flammables) en GF3 is in Tabel 4.1 weergegeven.

Tabel 4.1 : Gevaarlijke stoffen , totaal aantal vaarbewegingen, periode 1998-2002

Categorie Stof	Stof	Totaal Aantal Vaarbewegingen *1998-2002*	Indeling naar Risico Reikwijdte Stof
GT3	TOTAAL TOXISCH IN MODEL: AMMONIAK	423	Gemiddeld in de GT3 categorie : 85 ammoniak transporten per jaar.
GF2	TOTAAL GF2 IN MODEL: BUTAAN	1427	GF2 stoffen (zie Techn. Rapportage) gedragen zich identiek qua dispersie eigenschap en brandbaarheid. Butaan is representatief geacht voor de gehele GF2 groep , waarbij de fracties van gekoeld en druk-houdend transporten in ogenschouw is genomen.
GF3	TOTAAL GF3 IN MODEL: ETHYLEEN / PROPAAN	1104 / 2764	GF3 stoffen (zie Techn. Rapportage) Ethyleen en Propaan zijn gekozen als representatieven voor de GF3 groep, waarbij de fracties van gekoeld en druk-houdend transporten in ogenschouw is genomen.

Watervrij en tot vloeistof gekoeld ammoniakgas blijkt de enige stof die beschouwd hoeft te worden, aangezien het gas maatgevend is voor het totale risico op vergiftiging. Analoog hieraan is gekoeld en drukhoudend butaan representatief voor de GF2-stoffen. Gekoeld en drukhoudend ethyleen en propaan zijn representatief voor de GF3-stoffen.

De grootten van lekkages zijn gemodelleerd conform de definitie in "Het Protocol", waarbij een diameter van 250 mm wordt aangehouden als representatieve grootte voor een kleine lekkage en 1100 mm is gedefinieerd als een standaard voor grote lekkages. Deze keuze wordt geacht het volledige spectrum van mogelijke lekkages te vertegenwoordigen, een bandbreedte die qua omvang kan variëren van een speldenprik tot catastrofale scheur in de tank. De Engelstalige eindrapportage geeft de argumentatie op basis waarvan deze tweedeling te rechtvaardigen is.

De analyse van het vaarverkeer die AVIV opstelde, verschafte DNV de namen van alle transportschepen die brandbare en toxische gassen vervoerden in de periode 1998-2002. Al de relevante data inzake het ontwerp van de betreffende schepen zijn bestudeerd, daarbij gebruik makend van het "Lloyds Shipping Register". De inventarisatie over genoemde tijdspanne maakte duidelijk dat het in alle gevallen Type 2 gastransporterende zeeschepen betreft. De karakteristieken van Type 2 schepen zijn opgenomen in de Technische Rapportage.

In Tabel 4.2 zijn voor ammoniak de relevante data opgedeeld en gerelateerd aan de inhoud en het type tank, het type vaartuig en het percentage dat een zekere categorie scheepstransport uitmaakt van het totaal aan Ammoniak (NH_3) vaarbewegingen.

Tabel 4.2 – Relatieve frequenties ammoniak transporterende Zeeschepen Westerschelde

Ammoniak Transportschip Massaverplaatsing per categorie *(2)*	Grootte Schip per categorie *(3)*	Tankinhoud in m^3 *(1)*	Percentage Ammoniak-transporten Westerschelde	Type Voorraadtank	Percentage NH_3 Transport-schepen met Cylindervormig eTanks	Percentage NH_3 Transport-schepen met Hoekvormige Tanks
6 (3-6,000T)	S	400	0.62%	Cilindervormig	**100%**	**0%**
7 (6-10,000T	S		0.00%	Cilindervormig	**100%**	**0%**
8 (10-20,000T	M	2250	13.62%	Cilindervormig	**100%**	**0%**
9 (20-40,000T)	M		66.87%	Cilindervormig	**85%**	**(15%)**
9 (20-40,000T	L	4500	11.76%	Hoekvormig	**(85%)**	**15%**
10 (40-60,000T)	L	6000	7.12%	Hoekvormig	**0%**	**100%**
			100.00%			

(1) De aangegeven capaciteit van tank is de helft van de tankinhoud, tevens rekening houdend met tankscheidingswanden in de vaarrichting (zogenaamde "longitudinal bulkheads")

(2) Water(= massa)verplaatsing is opgedeeld in categorieën, dit conform de definitie in het AVIV rapport.

(3) Categorie indeling 6 & 7 staat voor SMALL, 8 & 9 staat voor MEDIUM & 10 staat voor LARGE ammoniak transporterende zeeschepen.

In de Tabellen 4.3 en 4.4 zijn dezelfde relevante data voor Butaan (GF2 - stoffen) respectievelijk voor ethyleen en propaan (GF3 - stoffen) opgenomen.

De overgrote meerderheid (> 80%) van de gehele zeescheepvaart is uitgevoerd met een zogenaamde "bulb bow", een bolle uitstulping aan de voor-/onderzijde van het schip dat fungeert als kreukzone op en onder de waterlijn. Zowel een "bulb bow" als de naar boven uitlopende welving van de boeg zijn de delen die in de meeste gevallen betrokken zijn bij een aanvaring van het aanvarende schip op een ander. Derhalve, wanneer een met gas geladen transportschip bij aanvaring wordt geraakt door een ander schip, ontstaan mogelijk boven- en onderin het aangevaren schip lekkages. Echter dient te worden opgemerkt dat de "bow bulbs" vele malen steviger zijn dan de hoger gelegen (tevens uitstekende) boegdelen. Onderzoek heeft aangetoond dat in geval van een aanvaring de boegdelen eerder zullen vervormen dan dat zij doordringen in het aangevaren schip.

Gebaseerd op gesprekken met marine experts is het duidelijk geworden dat gemiddeld 70 procent van alle vrachtschepen op de Westerschelde geladen is. Een geladen vrachtschip zal, wanneer het in aanvaring komen met een ander schip, waarschijnlijk een lekkage zal veroorzaken onderin de product tank, terwijl wanneer een leeg vrachtschip invaart op een geladen schip het juist eerder een lekkage op de waterlijn tot gevolg zal hebben.

Bij de risicoberekeningen is een onderscheid gemaakt tussen hoger en lager in de romp optredende lekkages, waarbij tevens de primaire en secundaire uitstroom van brandbare en giftige stoffen zijn beschouwd (zie verder in Engelstalige rapportage). DNV trekt de conclusie dat bij beide typen van lekkage een secundaire uitstroom zal plaatsvinden, echter dat deze secundaire uitstroom verwaarloosd mag worden.

Tabel 4.3 – Relatieve frequenties GF2 (Butaan) transporterende zeeschepen Westerschelde

GF2 Transportschip Massa-verplaatsing per categorie *(2)*	Grootte Schip per categorie *(3)*	Pct. Totaal GF2 Transport	Pct. Transport-ladingen in Druk-houdende Cylindrische Tanks	Pct. Transport-ladingen in Gekoelde Cylindrische Tanks	Pct. Transport-ladingen In Gekoelde Meer-hoekige Tanks	Capaciteit Druk-houdende Cylinder-vormige Tanks in m^3 *(1)*	Capaciteit Gekoelde Cylinder-vormige Tanks in m^3 *(1)*	Capaciteit Gekoelde Hoek-vormige Tanks in m^3 *(1)*
5 (1.5-3,000T)	S	14.00%	100%	0%	0%	650	-	-
6 (3-6.000T	S	42.90%	100%	0%	0%			
7 (6-10,000T)	S	18.60%	100%	0%	0%			
8 (10-20,000T)	M	12.70%	90%	5%	5%	1100	1100	4000
9 (20-40,000T	M	10.20%	54%	6%	40%			
10 (40-60,000T)	L	1.30%	6%	0%	94%	2500	-	8000
11 (60-80,000T)	L	0.30%	0%	0%	100%			
		100.00%						

Table 4.4 – Relatieve frequenties GF3 (Ethyleen en propaan) transporterende zeeschepen Westerschelde

GF3 Transportschip Massa-verplaatsing per categorie *(2)*	Grootte Schip per categorie *(3)*	Pct. Totaal GF3 Transport	Pct. Transport-ladingen in Druk-houdende Cylinder-vormige Tanks	Pct. Transport-ladingen in Gekoelde Cylinder-vormige Tanks	Pct. Transport-ladingen In Gekoelde Hoek-vormige Tanks	Capaciteit Druk-houdende Cylinder-vormige Tanks in m^3 *(1)*	Capaciteit Gekoelde Cylinder-vormige Tanks in m^3 *(1)*	Capaciteit Gekoelde Hoek-vormige Tanks in m^3 *(1)*
4 (1-1,500T)	S	0.10%	100%	0%	0%	1300	1000	-
5 (1.5-3,000T)	S	9.20%	100%	0%	0%			
6 (3-6.000T	S	27.60%	93%	7%	0%			
7 (6-10,000T)	S	31.30%	63%	37%	0%			
8 (10-20,000T)	M	21.00%	17%	77%	6%	2200	1250	4000
9 (20-40,000T	M	9.40%	15%	4%	81%			
10 (40-60,000T)	L	1.10%	0%	0%	100%	-	-	8000
11 (60-80,000T)	L	0.30%	0%	0%	100%			
		100.00%	**Propaan**	**Ethyleen**	**Propaan**	**Propaan**	**Ethyleen**	**Propaan**

(1) De aangegeven capaciteit van tank is de helft van de tankinhoud, tevens rekening houdend met tankscheidingswanden in de vaarrichting (zogenaamde "longitudinal bulkheads")

(2) Water(= massa)verplaatsing is opgedeeld in categorieën, dit conform de definitie in het AVIV rapport.

(3) Categorie indeling 5, 6 & 7 staat voor SMALL, 8 & 9 staat voor MEDIUM, 10 & 11 staat voor LARGE GF2 (butaan) transporterende zeeschepen.

(4) Categorie indeling 4, 5, 6 & 7 staat voor SMALL, 8 & 9 staat voor MEDIUM, 10 & 11 staat voor LARGE GF3 (Ethyleen en propaan) transporterende zeeschepen.

4.2 Definitie Faalscenario's

Op grond van de gevaaridentificatie in hoofdstuk 4.1. zijn de onderstaande faalscenario's (Tabellen 4.5, 4.6, en 4.7) gedefinieerd, uitgedrukt in de parameters druk, temperatuur, massa, grootte van het lek, en snelheid waarmee de ontstane damp zich verspreidt. De berekening van de uitstroomsnelheid van het vloeibare gas is gebaseerd op eerder uitgevoerde modelleringen. De massa van het verdampende Ammoniak en de verdampingssnelheid van de stof is berekend in overeenstemming met de TNO-uitstroomstudie.

Tabel 4.5 - GT3 (Ammoniak) Faalscenario's

Grootte Schip - Small Medium Large	Tank - Cylinder (C) of Hoek-vormig (P)	Tank - Druk-houdend (P) of Gekoeld (R)	Tank - Inhoud (m^3)	Plaats Lekkage – Waterlijn of Bodem	Netto vloeistof (kolom) hoogte (m)	Uit-stroom Tanks (m^3)	Massa Ver-dampt NH_3 (ton)	250mm Lekkage: Ver-damping Snelheid (kg/s)	1100mm Lekkage: Ver-damping Snelheid (kg/s)	Pct. van Geladen GT3 schepen
S	C	R	400	WL	5.5	176	24.0	42	813	0.186%
M	C	R	2250	WL	5.5	990	134.8	42	813	24.15%
S	C	R	400	B	2.7	86	7.6	19.1	370	0.434%
M	C	R	2250	B	2.7	484	42.8	19.1	370	56.35%
M	P	R	4500	WL	5.5	1980	269.7	42	813	3.528%
L	P	R	6000	WL	5.5	2640	359.6	42	813	2.136%
M	P	R	4500	B	2.7	968	85.7	19.1	370	8.232%
L	P	R	6000	B	2.7	1290	114.2	19.1	370	4.984%

Tabel 4.6: GF2 (Butaan) Faalscenario's

Grootte Schip - Small Medium Large	Tank Cylinder (C) of Hoek-vormig (P)	Tank Druk-houdend (P) of Gekoeld (R)	Tank - Inhoud (m^3)	Plaats Lekkage – Waterlijn of Bodem	Netto vloeistof (kolom) hoogte (m)	Uit-stroom Tanks (m^3)	Massa Ver-dampt NH_3 (ton)	250mm Lekkage: Ver-damping Snelheid (kg/s)	1100mm Lekkage: Ver-damping Snelheid (kg/s)	Pct. van Geladen GF2 schepen
M	P	R	4000	WL	5.5	1760	1061	184.2	3567.0	1.79%
L	P	R	8000	WL	5.5	3520	2123	184.2	3567.0	0.46%
M	P	R	4000	B	1.5	496	299	96.2	1862.4	4.17%
L	P	R	8000	B	1.5	992	598	96.2	1862.4	1.06%
S	C	P	650	WL	SVP+5.5	286	167	330.1	6391.4	22.65%
M	C	P	1100	WL	SVP+5.5	484	283	330.1	6391.4	5.08%
L	C	P	2500	WL	SVP+5.5	1100	644	330.1	6391.4	0.02%
S	C	P	650	B	SVP+1.5	650	380	29.3	5668.5	52.85%
M	C	P	1100	B	SVP+1.5	1100	644	29.3	5668.5	11.86%
L	C	P	2500	B	SVP+1.5	2500	1463	29.3	5668.5	0.06%

Tabel 4.7: GF3 (Ethyleen & Propaan) Faalscenario's

Stof	Grootte Schip - Small Medium Large	Tank - Cylinder (C) of Hoek-vormig (P)	Tank Druk-houdend (P) of Gekoeld (R)	Tank - Inhoud (m^3)	Plaats Lekkage – Waterlijn of Bodem	Netto vloeistof (kolom) hoogte (m)	Uitstroom Tank (m^3)	Massa Ver-dampt NH_3 (ton)	250mm Lekkage: - Ver-damping Snelheid (kg/s)	1100mm Lekkage - Ver-damping Snelheid (kg/s)	Pct. van geladen GF3 schepen
Gekoeld Propaan	M	P	R	4000	WL	5.5	1760	1026.1	178.8	3461.0	2.66%
	L	P	R	8000	WL	5.5	3520	2052.2	178.8	3461.0	0.42%
	M	P	R	4000	B	1.2	388	226.2	83.5	1615.7	6.21%
	L	P	R	8000	B	1.2	776	452.4	83.5	1615.7	0.98%
Propaan Druk-houdend	S	C	P	1300	WL	SVP+5.5	572	290.0	767.7	14863.0	16.41%
	M	C	P	2200	WL	SVP+5.5	968	490.8	767.7	14863.0	1.49%
	S	C	P	1300	B	SVP+1.2	1300	659.1	755.3	14623.0	38.29%
	M	C	P	2200	B	SVP+1.2	2200	1115.4	755.3	14623.0	3.49%
Gekoeld Ethyleen	S	C	R	1000	WL	5.5	440	250.4	173.9	3367.5	4.05%
	M	C	R	1250	WL	5.5	550	313.0	173.9	3367.5	4.96%
	S	C	R	1000	B	1.0	77	43.8	74.1	1436.7	9.46%
	M	C	R	1250	B	1.0	96	54.8	74.1	1436.7	11.58%

Alle afzonderlijke faalscenario's die onderkend zijn in de risicoanalyse zijn individueel gekarakteriseerd, waarbij gebruik gemaakt is van unieke coderingen die gebaseerd zijn op de bovenstaande tabelindeling. De code beschrijft het type schip, het type tank, de wijze van opslag & stofomschrijving.

Voorbeelden zijn: ·MPR-WL-250-C3-S1 en SCP-B-1100-C2=-S2

- De eerste letter representeert de water(massa)verplaatsing van het schip (S, M or L)
- De tweede letter staat voor het type opslagtank (P or R)
- De derde letter staat voor de wijze van opslag (P or R)
- De vierde (en vijfde) letter staat voor de plaats van lekkage (WL or B)
- De getallen 250 of 1100 representeren de grootte van het lek
- Het eerste stuk van het alfanumerieke deel is een label voor de gemodelleerde stof in kwestie (C2=, C3, C4 or NH_3)
- Het tweede stuk van het alfanumerieke deel geeft het segment van de Westerschelde aan waarin de gebeurtenis is gemodelleerd. Zo betekent bijvoorbeeld: S1 "Wielingen" en S2 "Rede van Vlissingen".

5. ANALYSE VAN GEVOLGEN

5.1 Inleiding

De gevolgen van het vrijkomen van brandbare en/of toxische gassen zijn gemodelleerd met het software pakket SAFETI (**S**oftware for the **A**ssessment of **F**lammable, **E**xplosive and **T**oxic **I**mpact) versie 6.2.1. SAFETI is een veelomvattend computersimulatieprogramma en wordt veel gebruikt bij het uitvoeren van Kwantitatieve Risicoanalyses in de procesindustrie, zowel in België en Nederland als ver daarbuiten. SAFETI biedt de mogelijkheid om volgens algemeen aanvaarde en gevalideerde methoden de meest belangrijke chemische risico's te berekenen. Het programma gebruikt DNV's unieke Unified Dispersion Model (UDM) waarmee wolkformatie, luchtinmenging, druppelvorming en de dispersie (verspreiding) van gasdeeltjes in detail voorspeld kan worden. Veranderingen in de (klimatologische) condities worden eveneens in acht genomen.

5.2 Ammoniak

Het gedrag van bij lekkage vrijkomend ammoniak is geanalyseerd en berekend door TNO. TNO concludeert in hun rapportage dat bij lekkage van vloeibaar ammoniak onder de waterlijn de stof zal opdrijven naar de oppervlakte, waarbij 35 procent op zijn weg naar boven zal oplossen in water. In geval van lekkages op de waterlijn (en daarboven) zal de vloeibare ammoniak zich verspreiden over het wateroppervlakte, waarbij de uitstroomsnelheid en de snelheid van verspreiding gebalanceerd is en 80 procent van het ammoniak oplost in het oppervlaktewater. Het oplossend vermogen van uitstromend ammoniak in water betekent dat voor lekkages onder de waterlijn uiteindelijk 0.65 x 20% = 13% van de ammoniak zal verdampen. Tevens concludeert TNO dat onvoldoende gegevens uit experimenteel onderzoek voorhanden zijn en evenmin relevante ongevaldata beschikbaar is om te bepalen hoe ammoniak zich zou gedragen wanneer de stof verdampt uit een vlek op het water. Wanneer bij heftige verdamping (de stof kookt onder atmosferische condities) de wolk van ammoniakdamp minder dan 10 procent aan ammoniakdruppeltjes bevat, zal het gas zich "lichter dan lucht" gedragen. Echter wanneer het percentage aan druppeltjes in de wolk groter is dan 20 procent, gedraagt de stof zich "zwaarder dan de lucht". In de voorliggende studie is het gedrag van ammoniak onder alle weersomstandigheden als "neutraal" beschouwd.

Een probit-functie wordt veelal gebruikt om de mogelijk kwalijke gevolgen bij het vrijkomen van toxische stoffen (gasfase cq damp of aërosol) te modelleren:

$$\mathbf{Pr = A + B \ln (c^n x t)}$$

Waarin:

- *Pr de berekende probit-impact waarde is (evt bij standaard condities uit probit tabellen)*
- *"A", "B" en "n" probit constanten zijn, uniek voor elk toxisch gas*
- *"c" de concentratie is van het toxisch gas in ppm of in mg/m^3*
- *"t" de blootstellingsduur is in minuten*

Voor deze studie is besloten om een samengestelde probit-functie aan te houden, welke is samengesteld uit de probit-functies zoals die worden aanbevolen door de Vlaamse, de Nederlandse en de Engelse overheid als ook de door DNV standaard geadviseerde probit-functie.

De formule luidt:

$$\mathbf{Pr = -22.83 + 1.296 \ln (C^2 x t)}$$

5.3 Brandbare Stoffen

De dispersies van brandbare gassen vallen allen in de dispersie-categorie 'zware gassen'. In het geval van gekoeld ethyleen is het de lage temperatuur van opslag (- 100°C) de reden waarom de stof in deze categorie valt, terwijl wat betreft de stoffen butaan en propaan het moleculaire gewicht de relevante parameter is. In de SAFETI-programmatuur zijn 20 zogenaamde gebeurtenissenbomen ingebouwd, waarmee de gevolgen kunnen worden bepaald bij het vrijkomen van brandbare gassen. De gebeurtenissenboom die het meest van toepassing is wordt automatisch geselecteerd door de software, waarbij deze selectie gebaseerd is op de resultaten berekend met het uitstromingsmodel.

Voor al de gevallen is dezelfde gebeurtenissenboom geselecteerd in SAFETI, waarbij het onmiddellijk ontsteken van het vrijkomend brandbaar materiaal (leidend tot plasbranden) en het vertraagd ontsteken ervan (leidend tot wolkbranden en explosies) zijn beschouwd. De optredende schade-effecten zijn te classificeren als warmtestraling en overdruk. Bij de overschrijding van gedefinieerde grenswaarden is letaal letsel mogelijk gegeven een zekere blootstellingsduur.

6. ANALYSE VAN LEKFREQUENTIES

6.1 Inleiding

Wereldwijd gezien is een aanvaring van zeeschepen een relatief zeldzame gebeurtenis. Aanvaringen waarbij een gastransporterend zeeschip wordt aangevaren zijn nog zeldzamer, aangezien deze schepen slechts een klein percentage uitmaken van de internationale vloot. Tussen 1990 en 2002 hebben zich wereldwijd totaal 40 ernstige aanvaringen voorgedaan waarbij een gas transporterend schip als lijdend voorwerp betrokken was. Echter, geen daarvan leidde tot een lekkage van toxische of brandbare stoffen.

Wat betreft de risicoanalyse voor de Westerschelde neigt de schatting van lekfrequenties voor gas transporterende zeeschepen naar onjuistheid als gevolg van het tekort aan relevante aanvaringsdata. Immers, er hebben zich slechts 2 ernstige aanvaringen voorgedaan in de periode 1998-2002. Het alternatief om een langere periode te bestuderen bleek onmogelijk, aangezien dan zou worden uitgegaan van een historisch beeld dat qua procedures, geïmplementeerde nautische bronmaatregelen en de stand der techniek niet meer representatief zou zijn voor de huidige situatie. De zeeschepen die gevaarlijke gassen transporteren maken slechts 10 procent uit van het totale zeescheepvaartverkeer. De schatting van de frequentie van mogelijke aanvaringen tussen schepen waarbij brandbare of toxische gassen vrijkomen is daarmee nog meer onzeker te noemen. Het nader onderverdelen van meer en minder risicovolle gebieden over de Westerschelde draagt te meer bij aan de complexiteit van de studie en stelt eisen aan de data.

DNV en AVIV ontwikkelden gezamenlijk het "Energie Model" waarmee een verbeterde schatting gemaakt kan worden van de frequentie waarmee zeeschepen met elkaar aanvaren en waarbij gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen. Hierbij is gebruik gemaakt van de historische data van het scheepvaartverkeer en zijn de ongevallen tussen schepen op de waterweg geanalyseerd. De essentie van het "Energie Model" ligt besloten in het berekenen van de totaal beschikbare (bewegings)energie van alle zeeschepen op de waterweg. Bij een aanvaring wordt namelijk de bewegingsenergie van het ene schip overgedragen op het aangevaren schip (stel: geladen met gevaarlijke stoffen). De fractie van het scheepvaartverkeer dat beschikt over voldoende (bewegings)energie (èn de massa) is relevant omdat deze factoren bepalen of een zeker invarend schip mogelijk kan doordringen in de producttank van het aangevaren schip. Hierbij worden ook de ontwerpspecificaties (type en grootte) van de schepen beschouwd.

6.2 Verbetering van het (gebruik van het) energiemodel

Het energiemodel wordt uitvoerig beschreven en toegelicht in gescheiden technische notities die tijdens het project zijn uitgegeven. Voor een gedetailleerd overzicht van het oorspronkelijke energiemodel als ook de verbeteringen die hierin zijn aangebracht wordt verwezen naar deze technical note 2, als ook naar het protocol ' Risicoanalyse zee- en binnenvaart' . Voorliggende tekst beperkt zich tot de hoofdpunten uit deze analyse.

Voordat het energiemodel kon worden toegepast is een studie uitgevoerd teneinde na te gaan of het model kon worden verbeterd. Op grond van eerdere voorstudies bleek het nodig om na te gaan of een aantal stappen van het energiemodel konden worden verfijnd. Aspecten die daarbij aan de orde komen zijn o.a. het in acht nemen van de aanvaringshoek, de vervorming van de energiepatronen, mogelijke rotatie etc.. Kernpunt bij de verfijning is dat gegevens beschikbaar

moeten zijn van exacte ongevaldata, teneinde een betrouwbare voorspelling te kunnen doen van de wijze waarop de energieoverdracht plaats vindt bij een aanvaring en welke energiefractie uiteindelijk beschikbaar is om te leiden tot ladingtankpenetratie.

- De hoek van aanvaring ("Het Protocol", Stap 4) kon niet worden vastgesteld uit de historische data (gedocumenteerde aanvaringen Westerschelde), zodat de kans op een zekere hoek van aanvaring evenmin kon worden berekend. De hoek waaronder een aanvaring plaatsvindt (èn de kans van optreden) is voor een groot deel bepalend voor de hoeveelheid energie die bij aanvaring wordt overgedragen en daarmee ook van invloed op de berekende kans op een lekkage.
- Een eventuele snelheidsvermindering (noodstop) voorafgaande aan de aanvaring (en de kans dat dit kort voor een aanvaring gerealiseerd wordt) kon niet worden vastgesteld uit de historische data (gedocumenteerde aanvaringen Westerschelde). De snelheid waarmee (en de hoek waaronder) een aanvaring plaatsvindt is bepalend voor de hoeveelheid energie die wordt overgedragen en daarmee ook van invloed op de berekende kans op een lekkage.
- In wetenschappelijke artikelen (opgesteld door gerenommeerde bronnen) is aangetoond dat de kritische (minimale) energie die noodzakelijk is om een lek te kunnen veroorzaken in een dubbelwandige romp van een gas transporterende zeeschip ("Het Protocol", Stap 6) onderhevig is aan een spreiding met maar liefst een factor 5. Wanneer de uiterste marges van deze kritische energiewaarde worden doorgerekend is de conclusie dat de lekfrequentie kan variëren met een factor 3 à 4. Overigens, de kritische energiewaarden die DNV doorrekende liggen aan de lage kant van het spectrum.

Aanpassingen die wel konden worden gedaan aan het energiemodel betreffen het definiëren van de kritische energieniveaus voor type 2 gas tankers, het onderscheid maken tussen waterlijn en bodem lekkages, tussen cilindrische en prismatische ladingtanks en drukopslag versus gekoelde opslag. Bij toepassing van het verbeterde energiemodel op de data van Westerschelde is duidelijk geworden dat de berekende ratio "frequentie van lekkage van een gastransporterend schip / frequentie van ernstige aanvaringen" (1 / 5) niet in lijn ligt met de internationale statistische gegevens. In de afgelopen 12 jaar hebben zich wereldwijd 40 ongevallen voorgedaan met LPG-transporterende zeeschepen, waarbij geen van deze resulteerde in een lekkage van gevaarlijke stof. Dit gegeven wijst op een ratio "lekkage / ernstige aanvaring" van hooguit 1 op 40 gevallen, en ligt daarmee een factor 8 lager dan die met het "Energiemodel" berekend is voor de Westerschelde.

Dit betekent dat de energiemodelresultaten dienen te worden gekalibreerd op deze wereldwijde statistiek, teneinde te voorkomen dat een veel te conservatieve berekening van uitstroomfrequenties wordt verkregen die niet in lijn is met plaatsgevonden aanvaringsongevallen.

6.3 Energiemodel: berekende lekfrequenties

De resultaten van de ongevalanalyse en de berekende lekfrequenties van gas transporterende zeeschepen zijn weergegeven in Tabel 6.1. De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het herijkte "Energie Model", waarbij een opdeling is gemaakt in 14 riviersegmenten en de in 4.2 gedefinieerde faalscenario's.

Binnen elk van de 3 stof categorieën wordt voor elk van de riviersegmenten aangegeven welke lekfrequenties zijn gehanteerd voor de gedefinieerde scenario's, respectievelijk voor een grote en kleine lekkage. Voor een verklaring van de scenario code wordt verwezen naar het Engelstalige hoofdrapport.

Tabel 6.1 – Resultaten Analyse Lekfrequenties

AMMONIA Failure Cases	Segment 1 (Wielingen)		Segment 2 (Rede van Vlissingen)		Segment 3 (Vlissingen tp PVB)		Segment 4 (PVB to BOTN)		Segment 5 (BOTN to Terneuzen)		Segment 6 (Terneuzen to TNHW)		Segment 7A (TNHW to HW1)		Segment 7B (HW1 to HW)		Segment 8A (HW to HW2)		Segment 8B (HW2 to HWWA)		Segment 9 (HWWA to WASA)		Segment 10 (WASA to OK and AW)		Segment 12 (Oostgat)	
	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK
SCR-WL-NH3 (20 OR 1100)	4.99E-11	9.65E-12	2.06E-09	1.38E-09	7.28E-10	5.05E-10	5.31E-10	4.34E-10	1.22E-09	3.95E-10	6.80E-10	2.81E-10	7.09E-10	2.89E-10	4.24E-10	1.73E-10	4.67E-10	1.56E-10	3.26E-10	1.09E-10	2.53E-10	1.20E-10	2.67E-10	1.23E-10	7.03E-10	3.30E-10
MCR-WL-NH3 (250 OR 1100)	1.02E-08	2.29E-12	1.27E-07	5.50E-08	6.37E-08	2.72E-08	5.08E-08	2.87E-08	7.28E-08	1.88E-08	3.71E-08	1.05E-08	3.79E-08	1.03E-08	2.27E-08	6.14E-09	2.35E-08	5.73E-09	1.64E-08	4.01E-09	1.48E-08	5.12E-09	1.53E-08	4.98E-09	3.91E-10	1.32E-10
SCR-B-NH3 (250 OR 1100)	9.83E-11	1.45E-11	3.29E-09	1.39E-09	1.14E-09	5.29E-10	7.75E-10	4.22E-10	2.30E-09	4.81E-10	1.15E-09	3.86E-10	1.21E-09	3.94E-10	7.22E-10	2.36E-10	8.35E-10	2.27E-10	5.83E-10	1.59E-10	4.19E-10	1.54E-10	4.43E-10	1.60E-10	1.23E-09	3.59E-10
MCR-B-NH3 (250 OR 1100)	2.16E-08	3.47E-09	2.42E-07	7.85E-08	1.18E-07	3.83E-08	8.90E-08	3.80E-08	1.56E-07	2.55E-08	7.31E-08	1.90E-08	7.56E-08	1.91E-08	4.52E-08	1.14E-08	4.86E-08	9.64E-09	3.39E-08	6.74E-09	2.85E-08	8.39E-09	2.96E-08	8.44E-09	7.54E-10	2.00E-10
MPR-WL-NH3 (250 OR 1100)	1.78E-09	3.05E-10	2.62E-08	6.44E-09	1.32E-08	2.84E-09	1.16E-08	2.87E-09	1.33E-08	2.49E-09	6.02E-09	1.10E-09	6.09E-09	1.06E-09	3.64E-09	6.36E-10	3.68E-09	6.51E-10	2.57E-09	4.55E-10	2.55E-09	4.86E-10	2.59E-09	4.89E-10	2.75E-11	6.23E-12
LPR-WL-NH3 (250 OR 1100)	1.49E-09	2.34E-10	2.17E-08	4.49E-09	1.06E-08	1.98E-09	9.33E-09	2.20E-09	1.08E-08	1.78E-09	1.44E-08	2.24E-09	1.45E-08	2.18E-09	8.68E-09	1.30E-09	8.79E-09	1.37E-09	6.14E-09	9.58E-10	6.00E-09	9.69E-10	6.10E-09	9.65E-10	0.00E+00	0.00E+00
MPR-B-NH3 (250 OR 1100)	3.46E-09	5.66E-10	4.31E-08	1.25E-08	2.16E-08	5.50E-09	1.73E-08	6.13E-09	2.51E-08	5.06E-09	1.11E-08	2.20E-09	1.14E-08	2.25E-09	6.81E-09	1.34E-09	7.01E-09	1.30E-09	4.90E-09	9.11E-10	4.48E-09	1.01E-09	4.62E-09	9.88E-10	4.88E-11	1.33E-11
LPR-B-NH3 (250 OR 1100)	2.94E-09	3.95E-10	3.69E-08	8.99E-09	1.81E-08	3.74E-09	1.50E-08	3.94E-09	2.06E-08	3.66E-09	2.67E-08	4.99E-09	2.72E-08	5.18E-09	1.63E-08	3.10E-09	1.69E-08	2.90E-09	1.18E-08	2.03E-09	1.08E-08	2.17E-09	1.11E-08	2.16E-09	0.00E+00	0.00E+00

BUTANE Failure Cases	Segment 1 (Wielingen)		Segment 2 (Rede van Vlissingen)		Segment 3		Segment 4		Segment 5		Segment 6		Segment 7A		Segment 7B		Segment 8A		Segment 8B		Segment 9		Segment 10		Segment 12 (Oostgat)	
	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK
MPR-WL-C4 (250 OR 1100)	2.66E-09	4.42E-10	4.11E-08	1.08E-08	1.46E-08	3.62E-09	1.30E-08	3.83E-09	7.23E-09	1.30E-09	9.17E-09	1.66E-09	1.00E-08	1.71E-09	6.00E-09	1.02E-09	6.07E-09	1.03E-09	4.24E-09	7.22E-10	4.08E-09	8.33E-10	4.17E-09	8.25E-10	1.16E-09	2.63E-10
LPR-WL-C4 (250 OR 1100)	7.51E-10	1.21E-10	1.15E-08	2.56E-09	3.00E-09	5.79E-10	2.64E-09	6.32E-10	2.21E-09	3.67E-10	2.94E-09	4.69E-10	2.98E-09	4.57E-10	1.78E-09	2.73E-10	1.80E-09	2.85E-10	1.26E-09	1.99E-10	1.23E-09	2.04E-10	1.25E-09	2.04E-10	1.87E-10	4.42E-11
MPR-B-C4 (250 OR 1100)	5.18E-09	7.95E-10	6.84E-08	1.74E-08	2.46E-08	5.21E-09	2.02E-08	5.71E-09	1.36E-08	2.49E-09	1.68E-08	3.15E-09	1.86E-08	3.55E-09	1.11E-08	2.12E-09	1.15E-08	2.01E-09	8.05E-09	1.40E-09	7.20E-09	1.48E-09	7.44E-09	1.47E-09	2.09E-09	5.48E-10
LPR-B-C4 (250 OR 1100)	1.49E-09	2.02E-10	1.98E-08	4.63E-09	5.17E-09	1.02E-09	4.28E-09	1.08E-09	4.23E-09	7.53E-10	5.48E-09	1.02E-09	5.59E-09	1.06E-09	3.34E-09	6.32E-10	3.46E-09	5.95E-10	2.42E-09	4.16E-10	2.21E-09	4.39E-10	2.27E-09	4.37E-10	3.56E-10	6.33E-11
SCP-WL-C4 (250 OR 1100)	2.15E-08	5.76E-09	4.51E-07	2.72E-07	1.43E-07	9.52E-08	1.07E-07	8.66E-08	1.88E-07	5.99E-08	2.12E-07	1.03E-07	2.23E-07	1.02E-07	1.33E-07	6.13E-08	1.45E-07	5.39E-08	1.01E-07	3.77E-08	7.82E-08	4.44E-08	8.14E-08	4.43E-08	1.08E-07	3.53E-08
MCP-WL-C4 (250 OR 1100)	6.33E-09	1.41E-09	9.58E-08	4.38E-08	3.43E-08	1.52E-08	2.80E-08	1.60E-08	2.05E-08	5.10E-09	2.62E-08	8.30E-09	2.76E-08	8.37E-09	1.65E-08	5.00E-09	1.73E-08	4.42E-09	1.21E-08	3.09E-09	1.06E-08	4.00E-09	1.10E-08	3.92E-09	7.31E-09	2.51E-09
LCP-WL-C4 (250 OR 1100)	2.23E-11	1.05E-11	2.40E-10	2.40E-10	7.95E-11	7.54E-11	6.23E-11	7.38E-11	7.78E-11	4.47E-11	9.86E-11	6.44E-11	1.01E-10	6.37E-11	6.05E-11	3.81E-11	6.39E-11	3.59E-11	4.46E-11	2.51E-11	3.83E-11	2.98E-11	3.96E-11	2.96E-11	0.00E+00	0.00E+00
SCP-B-C4 (250 OR 1100)	4.19E-08	7.20E-09	7.34E-07	2.85E-07	2.30E-07	9.81E-08	1.60E-07	8.22E-08	3.58E-07	7.13E-08	3.72E-07	1.14E-07	3.95E-07	1.17E-07	2.36E-07	6.98E-08	2.69E-07	6.41E-08	1.88E-07	4.48E-08	1.31E-07	4.80E-08	1.38E-07	4.67E-08	1.90E-07	5.87E-08
MCP-B-C4 (250 OR 1100)	1.30E-08	2.40E-09	1.67E-07	7.30E-08	5.96E-08	2.63E-08	4.77E-08	2.23E-08	4.18E-08	7.82E-09	4.79E-08	1.78E-08	5.08E-08	1.81E-08	3.04E-08	1.08E-08	3.38E-08	8.65E-09	2.36E-08	6.04E-09	1.89E-08	7.79E-09	1.96E-08	7.99E-09	1.57E-08	3.95E-09
LCP-B-C4 (250 OR 1100)	0.00E+00	6.49E-11	5.20E-10	2.94E-10	1.68E-10	9.61E-11	1.31E-10	8.65E-11	1.79E-10	5.51E-11	2.16E-10	8.68E-11	2.23E-10	8.62E-11	1.33E-10	5.16E-11	1.44E-10	4.74E-11	1.01E-10	3.31E-11	8.25E-11	3.96E-11	8.55E-11	3.99E-11	0.00E+00	0.00E+00

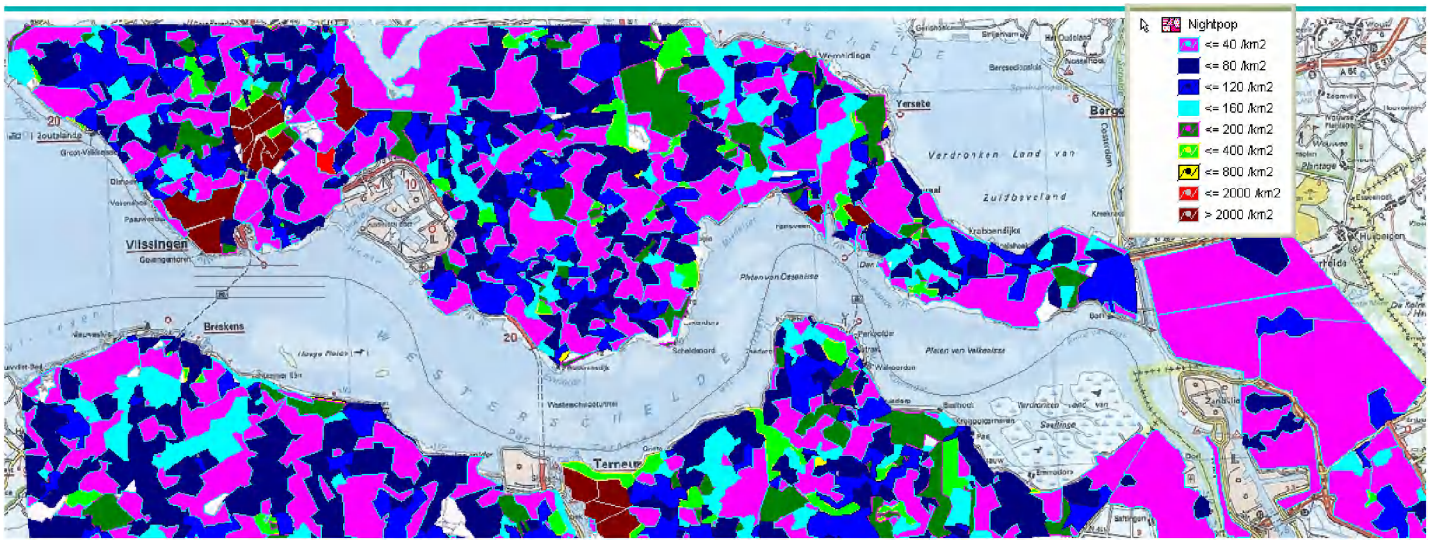
GF3 Failure Cases Propane is C3; Ethylene is C2=	Segment 1 (Wielingen)		Segment 2 (Rede van Vlissingen)		Segment 3		Segment 4		Segment 5		Segment 6		Segment 7A		Segment 7B		Segment 8A		Segment 8B		Segment 9		Segment 10		Segment 12 (Oostgat)	
	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK
MPR-WL-C3 (250 OR 1100)	9.40E-09	1.59E-09	1.50E-07	3.85E-08	4.63E-08	1.14E-08	4.11E-08	1.20E-08	3.71E-08	6.69E-09	4.86E-08	8.79E-09	5.01E-08	8.54E-09	2.99E-08	5.11E-09	3.01E-08	5.12E-09	2.10E-08	3.58E-09	2.02E-08	4.13E-09	2.06E-08	4.08E-09	4.64E-09	1.04E-09
LPR-WL-C3 (250 BOR 1100)	4.31E-09	6.84E-10	6.29E-08	1.33E-08	1.98E-08	3.76E-09	1.82E-08	4.32E-09	1.02E-08	1.68E-09	1.40E-08	2.19E-09	1.45E-08	2.20E-09	8.69E-09	1.32E-09	8.80E-09	1.38E-09	6.15E-09	9.65E-10	6.01E-09	9.84E-10	6.10E-09	9.80E-10	0.00E+00	0.00E+00
MPR-B-C3 (250 OR 1100)	1.83E-08	2.91E-09	2.48E-07	6.63E-08	7.80E-08	1.67E-08	6.38E-08	1.83E-08	6.99E-08	1.28E-08	8.93E-08	1.68E-08	9.26E-08	1.77E-08	5.54E-08	1.06E-08	5.71E-08	9.96E-09	3.99E-08	6.96E-09	3.57E-08	7.35E-09	3.68E-08	7.29E-09	8.99E-09	1.56E-09
LPR-B-C3 (250 OR 1100)	8.51E-09	1.15E-09	1.07E-07	2.58E-08	3.40E-08	6.90E-09	2.93E-08	7.60E-09	1.95E-08	3.46E-09	2.60E-08	4.85E-09	2.72E-08	5.17E-09	1.63E-08	3.09E-09	1.69E-08	2.90E-09	1.18E-08	2.03E-09	1.08E-08	2.16E-09	1.11E-08	2.15E-09	0.00E+00	0.00E+00
SCP-WL-C3 (250 OR 1100)	5.04E-08	1.42E-08	9.73E-07	5.51E-07	3.58E-07	2.14E-07	2.73E-07	1.99E-07	5.15E-07	1.49E-07	5.99E-07	2.54E-07	6.28E-07	2.52E-07	3.75E-07	1.51E-07	4.05E-07	1.34E-07	2.83E-07	9.36E-08	2.26E-07	1.12E-07	2.36E-07	1.12E-07	2.20E-07	5.99E-08
MCP-WL-C3 (250 OR 1100)	3.44E-09	7.65E-10	6.82E-08	3.13E-08	2.84E-08	1.26E-08	2.27E-08	1.30E-08	2.91E-08	7.18E-09	3.66E-08	1.18E-08	3.78E-08	1.17E-08	2.26E-08	7.01E-09	2.38E-08	6.12E-09	1.66E-08	4.27E-09	1.45E-08	5.57E-09	1.49E-08	5.43E-09	1.09E-08	4.62E-09
SCP-B-C3 (250 OR 1100)	9.71E-08	1.80E-08	1.60E-06	5.91E-07	5.89E-07	2.32E-07	4.20E-07	2.00E-07	9.90E-07	1.79E-07	1.07E-06	3.01E-07	1.12E-06	3.05E-07	6.73E-07	1.82E-07	7.58E-07	1.66E-07	5.29E-07	1.16E-07	3.87E-07	1.28E-07	4.07E-07	1.30E-07	4.13E-07	9.97E-08
MCP-B-C3 (250 OR 1100)	7.08E-09	1.29E-09	1.18E-07	5.24E-08	4.87E-08	2.25E-08	3.86E-08	1.83E-08	5.87E-08	1.12E-08	6.59E-08	2.59E-08	6.86E-08	2.61E-08	4.10E-08	1.56E-08	4.59E-08	1.23E-08	3.20E-08	8.60E-09	2.54E-08	1.12E-08	2.61E-08	1.14E-08	2.29E-08	6.17E-09
SCR-WL-C2= (250 OR 1100)	8.25E-09	1.77E-09	2.28E-07	9.26E-08	9.17E-08	3.80E-08	7.22E-08	3.58E-08	1.09E-07	2.43E-08	1.34E-07	3.92E-08	1.39E-07	3.80E-08	8.29E-08	2.27E-08	8.72E-08	2.07E-08	6.09E-08	1.45E-08	5.19E-08	1.79E-08	5.38E-08	1.75E-08	5.61E-08	1.41E-08
MCR-WL-C2= (250 OR 1100)	1.00E-08	2.21E-09	2.40E-07	1.12E-07	1.09E-07	4.87E-08	8.66E-08	4.99E-08	1.15E-07	2.82E-08	1.45E-07	4.77E-08	1.49E-07	4.75E-08	8.91E-08	2.84E-08	9.41E-08	2.45E-08	6.57E-08	1.71E-08	5.70E-08	2.24E-08	5.87E-08	2.19E-08	5.12E-08	2.02E-08
SCR-B-C2= (250 OR 1100)	1.62E-08	2.48E-09	3.90E-07	1.17E-07	1.60E-07	5.05E-08	1.20E-07	4.70E-08	2.11E-07	3.19E-08	2.42E-07	5.76E-08	2.53E-07	5.77E-08	1.51E-07	3.45E-08	1.66E-07	3.04E-08	1.16E-07	2.12E-08	9.21E-08	2.44E-08	9.55E-08	2.48E-08	1.11E-07	1.89E-08
MCR-B-C2= (250 OR 1100)	2.01E-08	4.02E-09	4.00E-07	1.97E-07	1.83E-07	9.12E-08	1.46E-07	7.11E-08	2.30E-07	4.52E-08	2.55E-07	1.08E-07	2.64E-07	1.09E-07	1.58E-07	6.50E-08	1.79E-07	5.09E-08	1.25E-07	3.56E-08	9.77E-08	4.64E-08	1.00E-07	4.76E-08	1.04E-07	3.16E-08

7. ACHTERGRONDGEGEVENS

7.1 Bevolkingsgegevens

De Provincie Zeeland verstrekte een electronisch bestand met bevolkingsgegevens aan DNV. Deze gegevens zijn door DNV omgezet in een met kleur gecodeerde kaart waarop de bevolkingsdichtheden voor de hele provincie Zeeland exact en op schaal zijn aangegeven. Gebieden met een groot aantal verschillende dichtheidsgebieden (zoals in de centra van Vlissingen, Middelburg en Terneuzen) zijn samengenomen tot gecombineerde gebieden. In SAFETI zijn in principe de middenwaarden ingevoerd van de aangeleverde populatieranges. Alleen voor de gebieden met de hoogste dichtheid is de maximale waarde gehanteerd teneinde overall een aantal personen te krijgen dat zoveel mogelijk in overeenstemming is met het totaal aantal bewoners dat vanuit andere bronnen kon worden bekomen (websites van de behandelde steden, statistische bevolkingsgegevens via Centraal Bureau voor de Statistiek en Nationaal instituut voor de Statistiek). Tevens zijn van Belgische zijde zijn de bevolkingsgegevens betrokken en toegevoegd aan de kaart. De complete kaart is opgenomen in het "SAFETI Risico Model voor de Westerschelde", en is weergegeven in Figuur 7.1.

Figuur 7.1 – Bevolkingsgegevens (SAFETI plot)



7.2 Ontstekingsgegevens

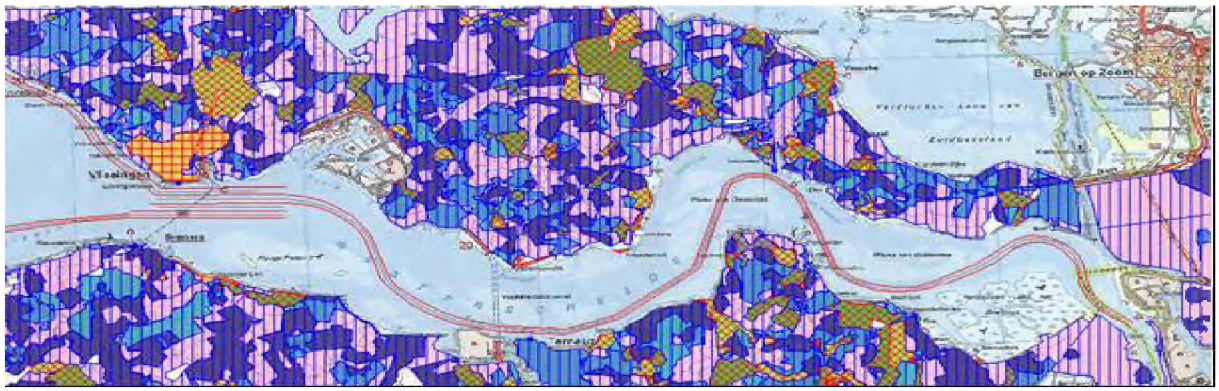
De ontstekingskansen zoals aanbevolen in het Protocol en CPR richtlijn 18 (70% kans op directe ontsteking en 30% kans op vertraagde ontsteking voor grote lekkages) zijn niet in lijn met het onderzoek dat DNV heeft uitgevoerd op de historische ongevalsdata. Volgens de richtlijnen die DNV doorgaans hanteert, is bij vrijkomst van grote hoeveelheden hoog brandbare stoffen (meer dan 50 kg/s, "on-shore" installaties) de aanbevolen totale kans op ontbranden 30 procent, waarvan 20 procent toe te kennen is aan onmiddellijke ontbranding en het in 10 procent van de gevallen vertraagde ontbranding betreft.

SAFETI-software biedt de mogelijkheid om de zowel kans op een onmiddellijke als een vertraagde ontbranding in te geven. Echter, de computerprogrammatuur kan ook apart een vertraagde ontbranding berekenen op basis een aparte set data van specifiek aangegeven ontstekingsbronnen. Bij uitvoer van de risicoanalyse viel de keuze op de laatste optie, aangezien de parameters "tijd" en "plaats" de reikwijdte van de kritieke gevarenzone sterk kan beïnvloeden.

DNV specificeerde het vaarverkeer op de Westerschelde, waarbij alle zee- en binnenvaartschepen als mogelijke onstekingsbron is beschouwd. De intensiteit van het vaarverkeer varieert, hetgeen de kans op ontsteking ook een variabele maakt. In SAFETI zijn de door het vaarverkeer geïntroduceerde ontstekingsbronnen gesteld op 100 meter aan weerszijde van de gegeven vaarroutes. De simulatie van op het water gelegen ontstekingsbronnen omvat al de overige aan stuur-en bakboord passerende schepen. De Rede van Vlissingen is gemodelleerd als 4 parallelle vaarroutes, waarmee in totaal 5 parallelle banen in de vaargeul zijn geïntroduceerd waarbinnen ontsteking van gevaarlijke stoffen zou kunnen plaatsvinden. Voor alle andere segmenten is uitgegaan van één vaarroute, en twee parallelle banen ter simulatie van het passerend vaarverkeer c.q. de ontstekingsbronnen. De dichtheden van ontstekingsbronnen (dit is: het aantal schepen dat gemiddeld per uur passeert) zijn per segment van de rivier berekend en zijn weergegeven in de Technische Rapportage.

Ontstekingsbronnen die op het land aanwezig zijn spelen geen belangrijke rol voor de meeste locaties langs de Westerschelde. Een dispersie van gas dat aan de lucht kan ontbranden heeft een reikwijdte die veelal onvoldoende is om aan land te komen. Om deze reden is gekozen voor een vereenvoudigde aanpak van de op land gelegen ontstekingsbronnen. Het is redelijk om aan te nemen dat een grotere kans op ontsteking bestaat in gebieden die een grotere bevolkingsdichtheid hebben, dit aangezien deze gebieden ook een hogere verkeersintensiteit vertegenwoordigen, zo ook omdat er meer individuele en industriële activiteiten plaatsvinden. Figuur 7.2 geeft een overzicht van ontstekingsbronnen (vertraagde ontsteking) voortkomend uit de activiteiten van het scheepvaartverkeer.

Figuur 7.2 – Ontstekingsbronnen Scheepvaartverkeer



7.3 Studie van meteorologische condities

De meteorologische condities die in de studie zijn gebruikt corresponderen met hetgeen "Het Paarse Boek" aangeeft voor weerstation Vlissingen, en zijn eveneens consistent met de weerkundige gegevens die AVIV gebruikte in eerdere QRA's.

- De specifieke meteorologische data voor de Westerschelde zijn:
- Luchttemperatuur: 15 °C dag; 10 °C nacht
- Vochtigheidsgraad: 83 % dag en nacht
- Stralingsintensiteit Zon: 0.24 kW/m^2 dag; 0 kW/m^2 nacht
- Land-en Watertemp: 10 °C dag and nacht
- Oneffenheid Oppervlakte: 0.07

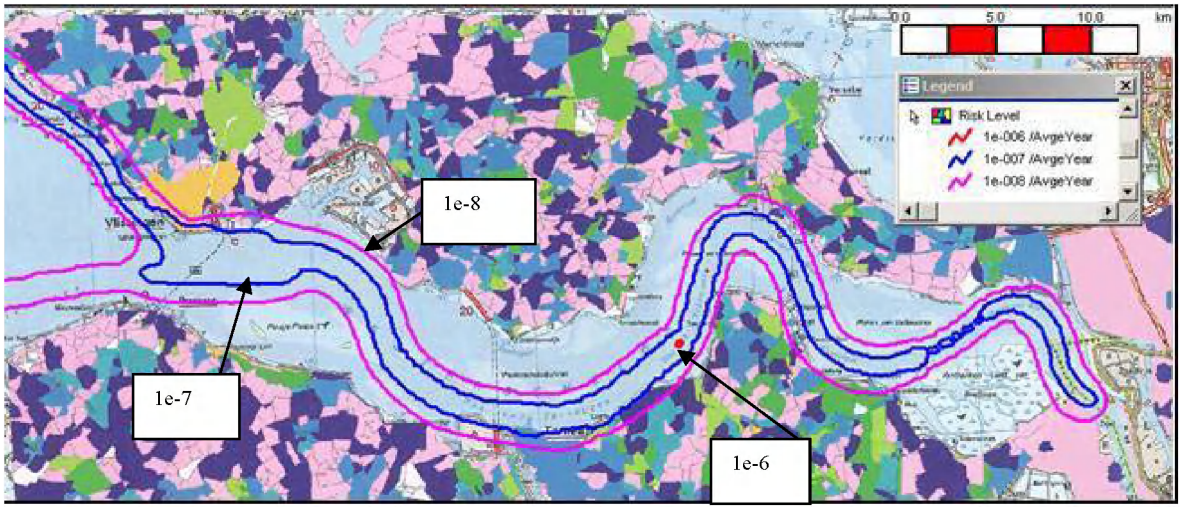
8. RESULTATEN

Voorliggende risicoanalyse is uitgevoerd op alle mogelijke scenario's (als is uitgewerkt in de voorgaande hoofdstukken) waarbij ammoniak en brandgevaarlijke stoffen op de Westerschelde kunnen vrijkomen. De resultaten van de studie zijn uitgedrukt in de termen plaatsgebonden Risico (PR) en groepsrisico (GR). Het PR is op kaarten gevisualiseerd in risicocontourlijnen. Het GR wordt per 1 kilometer segment (deel van de vaarweg) weergegeven in risico (FN) curven.

8.1 Plaatsgebonden risico

Figuur 8.1 geeft het totale plaatsgebonden risico van al het maritieme gevaarlijke goederen verkeer weer. De risicocontouren komen overeen met de plaatsgebonden risico niveaus van 10^{-6}, 10^{-7} and 10^{-8} per jaar. De 10^{-6} risico contour komt slechts in een kleine sectie van de rivier tussen Terneuzen en Hansweert voor, het overige deel van de rivier heeft enkel kleinere risico contouren. De risicocontourlijnen 10^{-7} en 10^{-8} per jaar liggen op het vaste land bij Vlissingen, het Oostgat, bij Terneuzen en in de nabijheid van Hansweert. De 10^{-7} contour beslaat slechts een relatief klein deel van het land in vergelijking met de 10^{-8} contour. Figuren 8.2 en 8.3 geven de plaatsgebonden risicocontouren voor enkel ammoniak en enkel ontvlambare stoffen weer. Het risico van de brandbare vloeibare gassen is groter dan het risico van de ammoniaktransporten, waarbij het risico geen 10^{-7} risico contouren weergeven en de 10^{-8} contour lijn nauwelijks het vaste land raakt. Figuur 8.2 laat tevens zien dat er geen ammoniak risico in het Oostgat gebied aanwezig is.

Figuur 8.1 – Basis Case Gecombineerde Risico Contouren



Op 5 plaatsen langs de kust is het plaatsgebonden risico aanzienlijk. Deze 5 plaatsen langs de kust zijn op figuur 8.4 weergegeven aan de hand van een rode ster. De gekozen risico meet punten zijn in figuur 8.4 als volgt weergegeven (van rechts naar links): Oostgat, Breskens, Vlissingen, Terneuzen en Hansweert.

Figuur 8.2 – Basis Case Ammoniak Risico Contouren

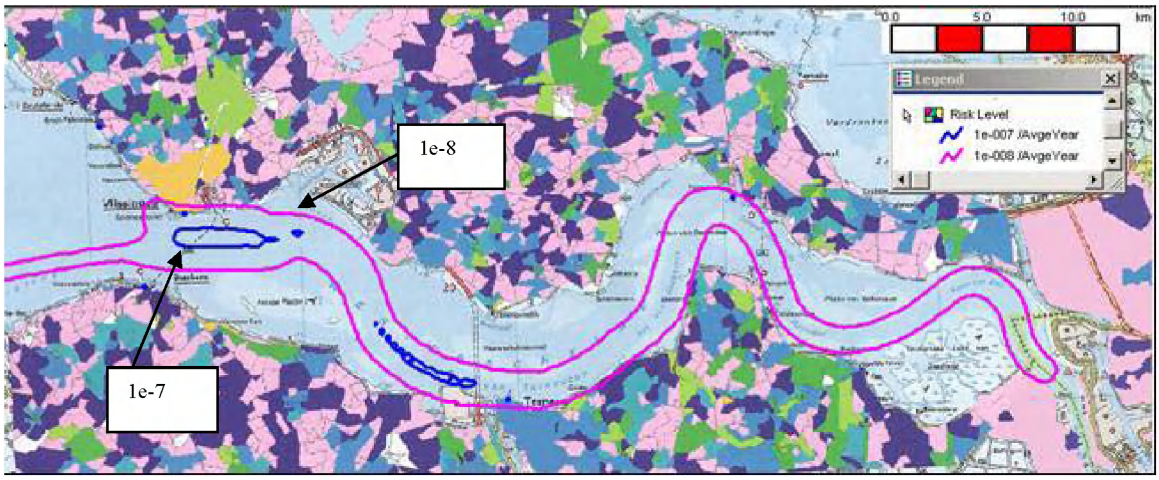
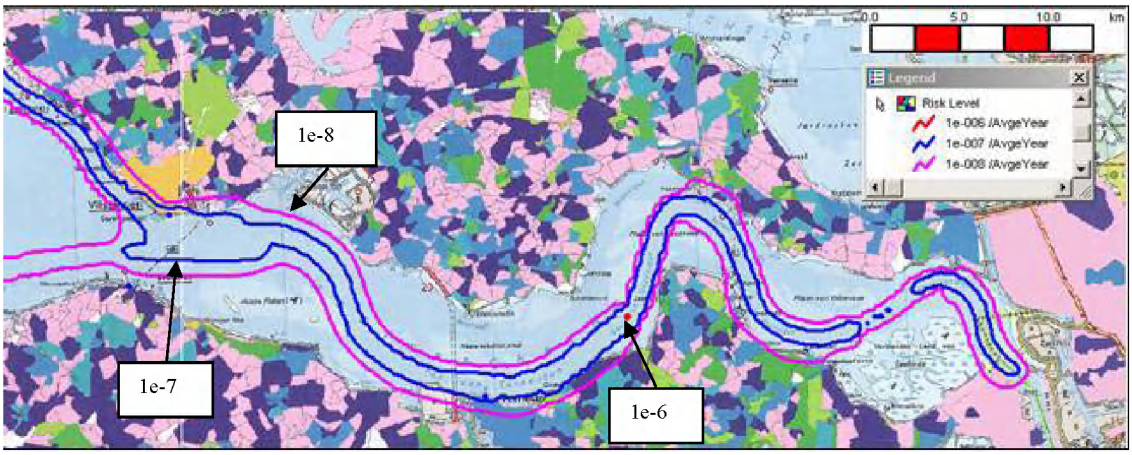


Figure 8.3 – Basis Case Ontvlambare Gassen Plaatsgebonden Risico Contouren



Figuur 8.4 – Locatie van de Plaatsgebonden Risico Meet Punten (rode sterren)

Tabel 8.1 geeft de plaatsgebonden risico resultaten van de hierboven genoemde risico meet punten weer. De tabel laat tevens zien dat het hoogste PR langs de kust van Vlissingen is berekend, hierna volgen Terneuzen en Hansweert met een PR van 19,0E-08 en 11,5E-08. De risico niveaus van de kustlijnen bij Breskens en het Oostgat zijn aanzienlijk lager.

Tabel 8.1 – Risico Meet Punten Plaatsgebonden Risico Resultaten

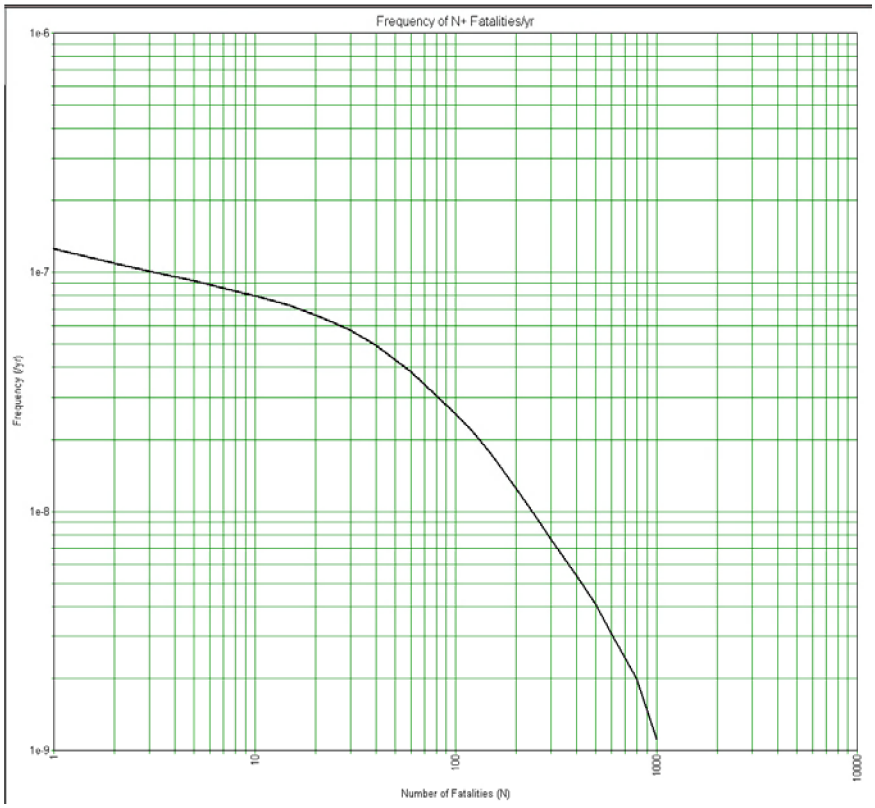
Locatie (op kustlijn)	Plaatsgebonden Risico (x E-08 per jaar)		
	Ammoniak	Ontvlambaar	Totaal
Breskens	< 0.1	0.2	0.3
Oostgat	< 0.1	7.4	7.4
Vlissingen	3.0	23.4	26.4
Terneuzen	2.8	16.2	19.0
Hansweert	2.1	9.4	11.5

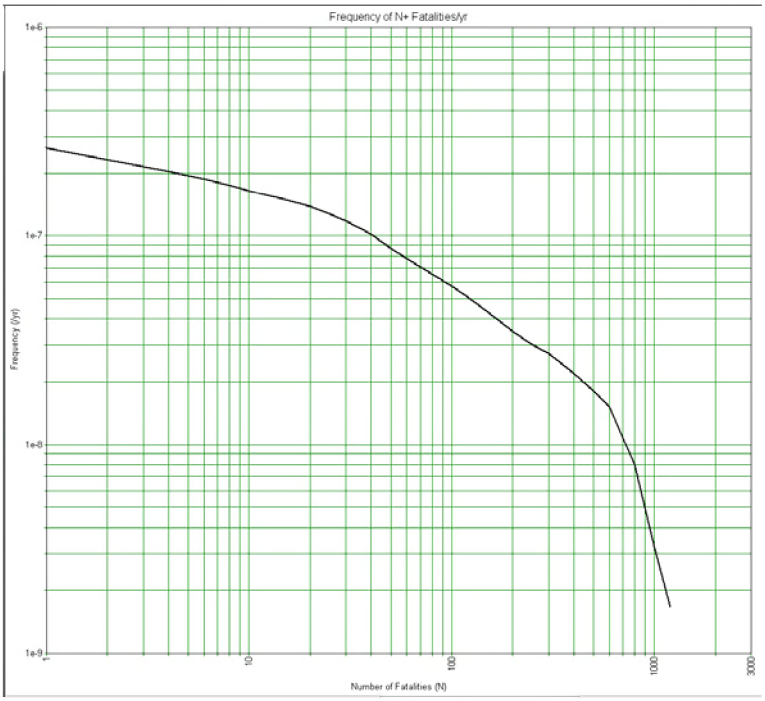
8.2 Groepsrisico

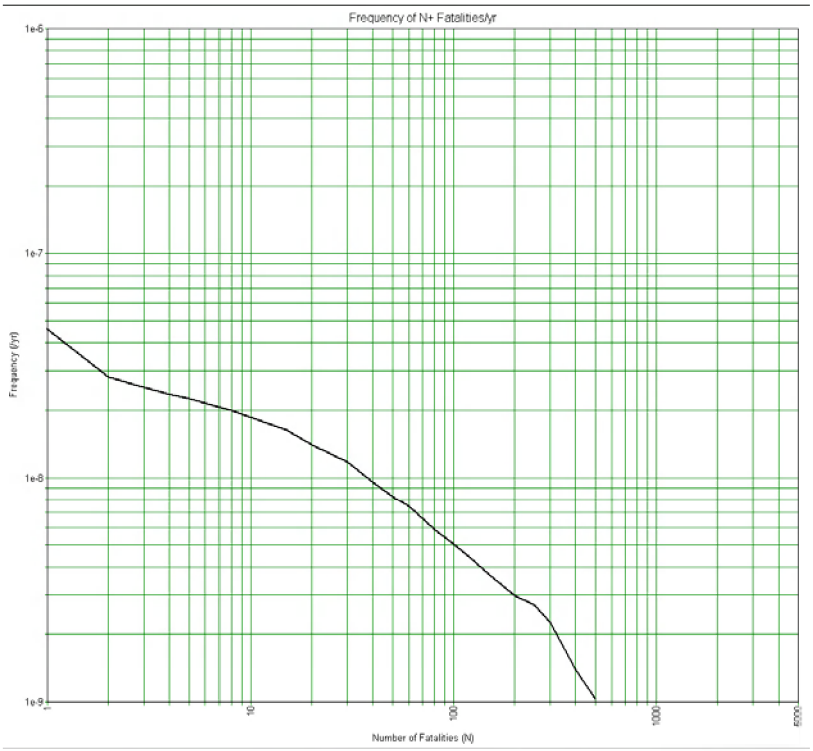
Figuur 8.5 geeft de gecombineerde groepsrisico krommen (fN-plots) weer voor Vlissingen, Terneuzen en het Hansweert gebied. De fN kromme is een logaritmische plot van de gesommeerde ongevalfrequentie (F) per jaar uitgezet tegen het aantal doden als gevolg (N). De fN kromme is gebaseerd op het risico gerelateerd aan scheepsroutes (met een lengte van 1 km), welke in de nabijheid van de hoogste bevolkingsdichtheden is gelegen. Deze figuur toont aan dat bij Terneuzen het groepsrisico hoger is dan in de nabijheid van Vlissingen en Hansweert. De Rede van Vlissingen vertegenwoordigt wel het hoogste plaatsgebonden risico. Slachtofferaantallen tot circa 1000 blijken voorspelbaar in de omgeving van zowel Terneuzen als Vlissingen, overeenkomend met een faalfrequentie van circa 1E-9 per jaar.

Figuur 8.5 – Basis Case Gecombineerde fN Resultaten (1 km scheepsroute)

(achtereenvolgens Vlissingen, Terneuzen en Hansweert)






Frequency of N+ Fatalities/yr
1e-6
1e-7
1e-8
1e-9
Frequency (/yr)
1
10
100
1000
Number of Fatalities (N)

9. GEVOELIGHEIDSANALYSE

Teneinde een beter begrip te krijgen van de verschillende invoergegevens die zijn gebruikt is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor een aantal overeengekomen parameters. De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd op het model van de Rede van Vlissingen, omdat deze locatie het hoogste PR oplevert. Om consistentie in de rapportage te garanderen is een risico meetpunt gebruikt. Dit meetpunt is vastgelegd op de kustlijn bij Vlissingen.

Het aantal aanvaringen (2 gerapporteerd, statistisch omgezet naar 3.9 teneinde een voldoende betrouwbare waarde te krijgen) is de eerste parameter waarvoor een tweetal cases zijn doorgerekend (1A en 1B). Gevoeligheidscase 1B vertegenwoordigt de geschatte statistische waarde van het hoogste aantal aanvaringen (5 aanvaringen met aanzienlijke schade in 5 jaren) overeenkomend met 90% zekerheid. De tweede parameter betreft het dispersiepatroon van ammoniak. Als derde factor is uitvoerig stilgestaan bij de maximaal uitstromende hoeveelheid ammoniak en ontvlambare gassen uit de ladingtank. Gevoeligheidscases 4 benaderen het plaatsgebonden risico als resultaat van de aanname dat de de helft (A), respectievelijk het dubbele van de basis case (B), respectievelijk de totale tankinhoud (C) wordt vrijgezet in geval van een penetratie van de ladingstank.

Uit tabel 9.1 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- er bestaat een lineaire relatie tussen het aantal aanvaringen (genomen als basis voor de lek frequentie berekeningen) en het plaatsgebonden risico niveau op een genomen punt. De 1.0E-06 PR contour zal theoretisch gezien de kust van Vlissingen kunnen bereiken als een aantal van 15,6 aanvaringen (met aanzienlijke schade) in 5 jaren zouden plaatsvinden.

- 'zwaarder dan lucht' ammoniak gas dispersie resulteert in een kleine toename van het PR

- het vergroten van de maximaal uitstromende massa tot de gehele inhoud van de tank (daarbij aannemende dat de tussenwand wel intact blijft) leidt tot bijna een verdubbeling van het PR.

- Het rekenen met een landelijk voorgeschreven Probit functie voor ammoniak leidt tot minieme verschillen in de hoogte van het plaatsgevonden risico.

In het Engelstalige hoofdrapport zijn ook de resultaten van de bestudeerde scenario's gepresenteerd in de vorm van fN-curven. Omwille van de overzichtelijkheid zijn deze niet in dit samenvattingsrapport opgenomen.

Tabel 9.1 – Resultaten gevoeligheidsanalyse

Case	Plaatsgebonden Risico (x E-08 p/jr)		
Aantal aanvaringen			
(Per 5 jaar)	**Ammoniak**	**Ontvlambaar**	**Totaal**
Basis case = 3,9 aanvaringen	3,0	23,4	26,4
Case 1A = 2 aanvaringen	1,6	12,2	13,8
Case 1B = 5 aanvaringen	3,9	29,9	33,8
Zwaar gas dispersie			
	Ammoniak	**Ontvlambaar**	**Totaal**
Basis case = 'Neutrale' Gas Dispersie	3.0	23.4	26.4
Case 2 = Zwaar Gas Dispersie	3.5	23.4	26.9
Uitstromende massa			
	Ammoniak	**Ontvlambaar**	**Totaal**
Basis case	3.0	23.4	26.4
Case 3A = Massa x0.5	1.1	7.3	8.3
Case 3B = Massa x2	6.3	32.0	38.3
Case 3C = Totale Massa	9.4	36.5	45.9
Ammoniak Probit			
	Ammoniak	**Ontvlambaar**	**Totaal**
Basis case = Vergelijkbare Probit	3.0	23.4	26.4
Case 4A = Dutch Probit	3.4	23.4	26.8
Case 4B = Flemish Probit	2.2	23.4	25.6

10. SITUATIE 2010

In aanvulling op de risicoanalyse zoals gepresenteerd in voorgaande hoofdstukken (representatief voor de situatie 1998-2002; verder aangeduid met 2003) is een aanvullende analyse uitgevoerd van de te verwachten situatie in 2010. Uitgaande van een toename in het aantal transporten over de Westerschelde, is de vraag welk risiconiveau hier in de toekomst mee samenhangt.

10.1 Aanpassing risicomodel voor situatie 2010

In opdracht van ProSes (Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium) leverde MARIN (en CBP) aan DNV geprognotiseerde indexcijfers voor het jaar 2010; deze indices zijn gerelateerd ten opzichte van de uitgangssituatie anno 2003. Met de aangeleverde data zijn de lekfrequenties per riviersectie en per ongevalscenario opnieuw berekend aan de hand van een serie correctiefactoren. Bij invoer van de gegevens zijn volgende parameters gevariëerd :

- Aantal transportbewegingen gevaarlijke stoffen per zeeschip;
- Aantallen totale trips van zeevaart;
- Schatting van het aantal botsingen.

Elk van de beschouwde parameters heeft een effect op de lekfrequentie.

Aantal transportbewegingen gevaarlijke stoffen per zeeschip

Data inzake het in de toekomst in totaliteit te verwachten transport van gevaarlijke stoffen zijn verstrekt aan DNV. Hierbij is echter geen onderscheid gemaakt in de locatie op de Westerschelde (riviersegment) of onderscheid tussen GF2 en GF3 transporten. Volgende data (indexcijfers) heeft DNV verkregen inzake het toekomstig transport van ammoniak en brandbare stoffen op jaarbasis op de Westerschelde (indexcijfer voor 2003 is 100):

- Ammoniak : 98
- Brandbare stoffen : 122

Voorts is meegenomen dat Yara (voormalig: Hydro Agri) te Sluiskil een jaarlijks herzienbaar contract heeft afgesloten met BASF te Antwerpen ("swapping overeenkomst"), waardoor een deel van de ammoniakaanvoer naar BASF (= afnemer) direct afkomstig is van het even stroomafwaarts gelegen Yara (= producent/leverancier). In het totaal wordt een afname van 14 scheepvaartbewegingen op de Westerschelde ten westen van Terneuzen verwacht. Het effect van de 'swapping overeenkomst' is per riviersegment verrekend met het aantal transporten dat op basis van de AVIV data (referentiejaar 2003, per 5 jaar) het uitgangspunt vormt voor de toekomstverkenningen. Ten opzicht van 2003 wordt ten westen van Terneuzen een afname verwacht van 17% (ratio van 0.83 versus 2003).

Aantallen totale zeevaart

MARIN verstrekte data omtrent de totale zeescheepvaart op de Westerschelde per riviersegment voor de toekomstige situatie. De aantallen zeeschepen per segment zijn verder opgedeeld volgens de volgende massacategorieën:

Klein (S): < 10.000 ton
Middelgroot (M): 10.000 – 40.000 ton
Groot (L): > 40.000 ton

Echter, alleen de schepen met een massaverplaating boven de 20.000 ton beschikken over voldoende energie om bij aanvaring een lek te slaan in een (ander) zeeschip geladen met gevaarlijke stoffen. De fractie van zeeschepen met een gewicht tussen de 20.000 en 40.000 ton, is berekend aan de hand van de data aangeleverd door MARIN. Een fractie van 56% voor middelgrote schepen met een massaverplaatsing groter dan 20.000 ton is aangehouden.

Om de tweedeling in aantallen zeeschepen nader te bestuderen (zijnde de schepen met een massaverplaatsing boven dan wel onder de 20.000 ton) zijn voor 2010 per scenario afzonderlijk de aantallen schepen berekend als de som van 56 % van het aantal 'middelgrote' plus de 'grote' zeeschepen. Uitgaande van de berekende aantallen schepen per segment, en wel specifiek per scenario (massaverplaatsing groter of kleiner dan 20.000 ton) is een onderling vergelijk gemaakt ten opzichte van het referentiejaar 2003. De variatie in N_{E1} en N_{E2} voor elk van de toekomstige situaties (scenario's) is verondersteld gelijk te zijn aan de variatie in het aantal schepen met een massaverplaatsing groter dan 20.000 ton.

Aan de hand van de MARIN aangeleverde data kan besloten worden dat de prognose uitgaat van een afname van het totale aantal schepen in 2010 (dit in vergelijking met 2003, voor alle beschouwde riviersegmenten) maar dat een toename te verwachten is van het aantal schepen met een massaverplaatsing boven de 20.000 ton.

Schatting van het aantal botsingen

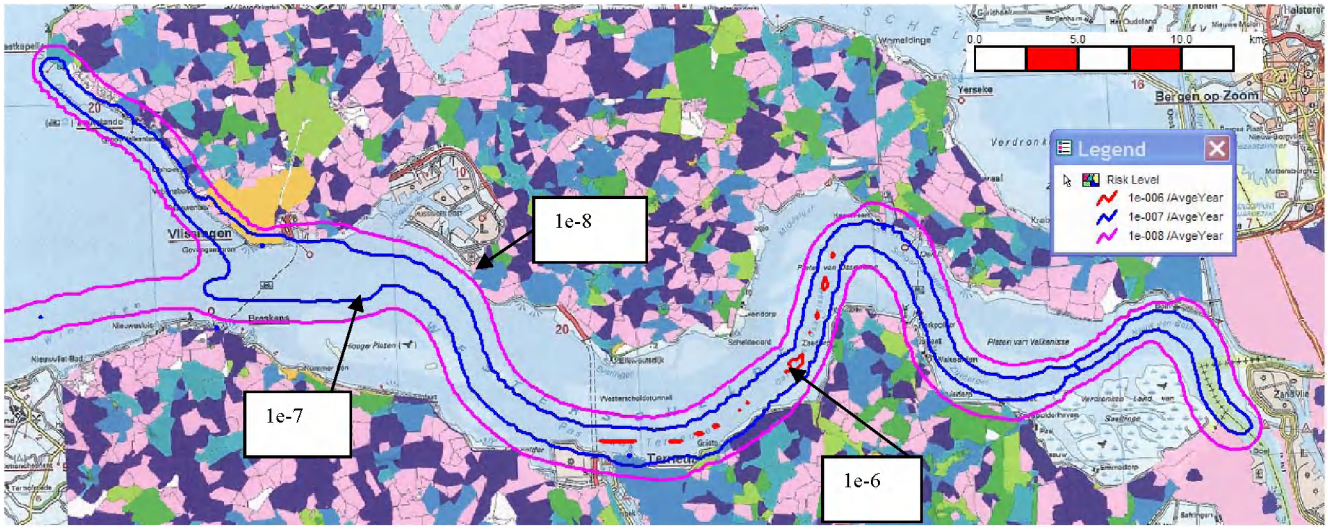
Bij de schatting van het aantal botsingen in het referentiejaar 2003 is uitgegaan van actuele ongevaldata over de periode 1998-2002. In het geval van de toekomstige scenario's zijn de geprognotiseerde hoeveelheden (gefractioneerde) aanvaringen binnen elk segment berekend aan de hand van een verkeersmodellering van de vaarbewegingen per segment. MARIN heeft het aantal berekende botsingen per jaar en per segment geïndexeerd ten opzichte van het peiljaar. Deze modellering wijst uit dat het te verwachten aantal botsingen in 2010 op de rivier met 10% zal afnemen ten opzichte van de referentiesituatie in 2003. Wat betreft de verdeling van de ongevallen op de rivier is uitgegaan van de getallen in de basissituatie zoals aangeleverd door AVIV voor 2003.

10.2 Resultaten

Plaatsgebonden risico

Figuur 10.1 geeft het totale plaatsgebonden risico van al het vervoer van gevaarlijke stoffen weer. De risicocontouren komen overeen met de plaatsgebonden risico niveaus van 10^{-6}, 10^{-7} en 10^{-8} per jaar. De 10^{-6} risico contour komt slechts in een kleine sectie van de rivier tussen Terneuzen en Hansweert voor, het overige deel van de rivier heeft enkel kleinere risico contouren. De risicocontourlijnen 10^{-7} en 10^{-8} per jaar liggen op het vaste land bij Vlissingen, het Oostgat, bij Terneuzen en in de nabijheid van Hansweert. De 10^{-7} contour beslaat slechts een relatief klein deel van het land in vergelijking met de 10^{-8} contour.

Figuur 10.1 : Gecombineerde risicocontouren 2010



Tabel 10.1 geeft de plaatsgebonden risico resultaten van 5 meetpunten weer. De tabel laat tevens zien dat het hoogste PR langs de kust van Vlissingen is berekend, hierna volgt Terneuzen. De risico niveaus van de kustlijnen bij Hansweert, Oostgat en Breskens zijn aanzienlijk lager.

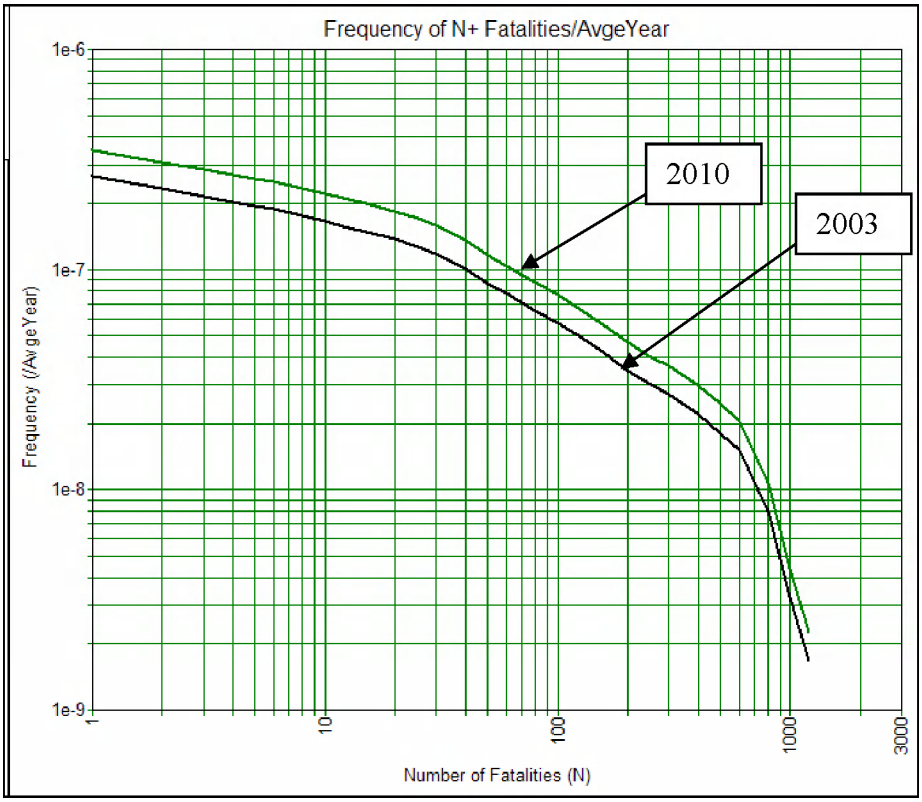
Tabel 10.1 – Risico Meet Punten Plaatsgebonden Risico Resultaten

Locatie (op kustlijn)	Plaatsgebonden Risico (x E-08 per jaar)		
	Ammoniak	Ontvlambaar	Totaal
Breskens	< 0.1	0.3	0.4
Oostgat	< 0.1	10.7	10.7
Vlissingen	2.7	31.6	34.3
Terneuzen	3.0	22.0	25.0
Hansweert	2.2	12.7	15.0

Groepsrisico

In figuur 10.2 wordt de groepsrisicocurve getoond die is berekend in Terneuzen voor de situatie 2010, als ook in relatie tot het groepsrisico zoals dat voor 2003 van toepassing is. De figuur toont een toename in de kans op een minimum aantal slachtoffers.

Figure 10.2 fN resultaten Terneuzen 2003 & 2010 situatie (1 km rivierlengte)



11. CONCLUSIES

Voor scheepstransporten met ammoniak en ontvlambare gassen langs de Westerschelde is het risico gekwantificeerd in termen van plaatsgebonden risico (PR) en groepsrisico (voor Vlissingen, Terneuzen en Hansweert). De basis voor deze berekening was het vaststellen van een uitgebreide groep mogelijke lekkage scenario's. Deze scenario's verschillen per aanvaring, locatie van de lekkage (boven of onder waterlijn), scheepstype, scheepsgrootte en eigenschappen van de lekkende stof. In deze studie is een geactualiseerd en verbeterd energiemodel toegepast. Door middel van dit energie model werd het mogelijk om gedetailleerde lekkagefrequenties te berekenen voor alle ammoniak en ontvlambare vloeibare gassen lekkages (inclusief butaan als vergelijkbare stof voor class GF2, propaan en ethyleen als vergelijkbare stof voor GF3). Details en benaderingen van het verbeterde energie model evenals de resultaten zijn gerapporteerd in een aparte technische aanvulling.

De analyse van mogelijke consequenties van een aanvaring met aanzienlijke schade aan een ammoniak tanker is gebaseerd op resultaten van een gedetailleerde uitstroomstudie uitgevoerd door TNO. In een apart rapport is de theoretische basis van de uitstroom, vermenging en verdamping van ammoniak gepresenteerd. De conclusie van het TNO rapport is dat ongeveer 20% van de weggelekte ammoniak zal verdampen en het overige deel zal vermengen met het water van de Westerschelde. Met deze resultaten heeft DNV een effectmodel van het verdampte ammoniak opgezet. Dit model heeft als basis een (neutraal) gas.

Uit de berekeningen blijkt dat de Rede van Vlissingen de grootste kans op aanvaring met zich meebrengt, mede veroorzaakt door het grote aantal schepen dat de Rede van Vlissingen (en hiermee het bevolkingsgebied) op relatief kleine afstand passeert. Het maximale plaatsgebonden risico op de boulevard is 2,6E-07 per jaar en daarmee dus lager dan de grenswaarde van 1E-06 per jaar. Het berekende groepsrisico voor het gebied Terneuzen toont het hoogste risico niveau. De bijdrage van ammoniak op de resultaten is veel lager dan de bijdrage van de ontvlambare stoffen. In gevoeligheidsanalyses is door middel van variatie in aantal aanvaringen, uitstroommassa, ammoniak gasdispersie en ammoniak probitfunctie het resultaat op de risico's geanalyseerd. Het resultaat van deze analyse is dat er weinig variatie is in de berekende risico niveau's. Zelfs in de 'worst-case-scenario' zal de plaatsgebonden risico waarde op land onder de 1E-06 per jaar zijn.

Een aanvullende risicoberekening is uitgevoerd voor de te verwachte situatie in het peiljaar 2010. Parameters die zijn veranderd in het model zijn scheepsintensiteiten en botsingskansen, uitgaande van een gemiddeld economisch groeiscenario. De verkregen resultaten tonen een lichte toename van het plaatsgebonden risico op land (+30% voor Vlissingen) als ook een beperkte toename van het groepsrisico. De risicobijdrage van ammoniak is kleiner op de rivierdelen ten westen van Terneuzen als gevolg van de overeenkomst tussen Yara (voormalige Hydro Agri) en BASF Antwerpen waarmee per saldo het aantal ammoniaktransporten afneemt. Echter, de risicobijdrage van de brandbare stoffen neemt over de gehele rivierlengte toe voor 2010 ten opzichte van 2003.

In vergelijk met voorgaande studies berekent deze risicoanalyse een lager risico niveau. Voorgaande studies rapporteerden risiconiveaus hoger dan 1E-6 per jaar op land (met name in Vlissingen). Ook het groepsrisico uit eerdere studies bleek substantieel hoger dan wordt berekend voor de situatie 2003. De belangrijkste verklaringen zijn gelegen in de vooruitgang in de nautische veiligheidsmaatregelen over de afgelopen jaren, veranderingen in scheepstransporten, de verbeteringen in het modelleren en de input van betrokken experts. Voorbeelden van deze verbeteringen zijn o.a. de invoering van artikel 25 (waardoor schepen geen toegang krijgen tot de rivier in geval van slecht zicht), de toepassing van de meest recente ongevaldata, het tankontwerp inclusief tussenwanden in tanks om de tankinhoud op te splitsen, het rekening houden met de oplosbaarheid van ammoniak in water (met name bij lekkages onder het wateroppervlak), de toename van het aantal transporten met brandbare stoffen en het kalibreren van de ongevalfrequentie op wereldwijde statistiek.

De belangrijkste bijdragen aan het lagere ammoniak risico in deze studie ten opzichte van voorgaande studies worden gegeven in tabel 11.1. De lagere lekkagefrequentie van gevaarlijk gas transporterende schepen draagt bij in het afwezig zijn van de 1E-06 per jaar risico contour voor het grootste deel van de rivier. De vermindering in het percentage verdampende ammoniak in combinatie met de simulatie met het 'Unified Dispersion Model' van DNV draagt bij tot kleinere risico contouren.

Tabel 11.1 – Vergelijking huidige studie met studiemodel 1994.

ONDERDEEL	1994 QRA	Present QRA	Opmerkingen
Aanvarings frequentie	De gemiddelde aanvaringsfrequentie was 1,25 per jaar. Bij Vlissingen voor anker gaan was nog toegestaan en daardoor meegenomen in de aanvaring frequentie.	De gemiddelde aanvaringsfrequentie was 0,78 per jaar. De ankerplaats bij Vlissingen was niet gemodelleerd omdat het enkel wordt gebruikt voor noodsituaties. De ankerplaats is verplaatst naar Wielingen en gereduceerd in grootte.	De huidige QRA gaat uit van een (statistisch gecorrigeerd) aantal van 3,9 aanvaringen per 5 jaar. Dit is berekend aan de hand van 2 ernstige aanvaringen in deze tijdsspanne, waarbij een 75% betrouwbaarheidsniveau is toegepast. Tijdens zwaar weer condities (en wanneer geen vrije passage is toegestaan) worden gas tankers met gevaarlijke stoffen gedwongen te ankeren op de daartoe aangewezen ankerplaatsen op zee (dit valt buiten het studiegebied).
Kans op lekkage Gemiddelde lekfrequentie [per schip.km]	Volgens experts is de kans op lekkage gemiddeld 18% bij een ernstige aanvaring. 2.95E-08 tot 21.5E-08	Berekend met het aangepaste en verbeterde energiemodel. De kans op lekkage is berekend op 2,5% bij een ernstige aanvaring. 0.075E-08 tot 0.94E-08	Het verbeterde energiemodel resulteerde in een kans op lekkage van ongeveer 20%, hetgeen niet in lijn is met de wereldwijde statistieken. Om realistische lekfrequenties te verkrijgen bleek het noodzakelijk om aan te passen op wereldwijde statistiek. De in voorgaande studies berekende lek frequenties [per schip.km] was een factor 5 tot 40 maal hoger, afhankelijk van de locatie. In de nabijheid van Vlissingen is de lekfrequentie nu een factor 25 lager.
Langsscheepse tank schotten om de maximaal mogelijke uitstroommassa te beperken.	Niet meegenomen, er is uitgegaan van volledige uitstroom van de tankinhoud.	In beschouwing genomen om de maximaal mogelijke massa-uitstroom te beperken.	Schotten halveren de maximaal mogelijke uitstroommassa. Bijvoorbeeld: de maximaal mogelijke ammoniak uitstroominhoud is nu 6.000 m^3. Voorheen was dit 12.000 m^3.
Maximale uitstroommassa voor waterlijn lekkages	**50%** van de totale tankinhoud komt vrij.	44 procent van de (door schotten) gehalveerde tankinhoud stroomt uit = **22%** van de totale tankinhoud.	De maximale uitstroommassa is gemodelleerd als **22%** van de totale tankinhoud; in de voorgaande studie was dit **50%** van de tankinhoud.
Maximale uitstroommassa voor lekkages onder de waterlijn (nabij de onderkant van het schip)	Scenario was niet gemodelleerd; alle situaties werden gemodelleerd als waterlijn lekkages = **50%** uitstroom van de tankinhoud.	22% van de subtank stroomt uit = **11%** van de totale tankinhoud.	Maximale uitstroommass is nu gemodelleerd als **11%** van de totale tankinhoud; in de voorgaande study was dit **50%** van de totale tankinhoud.
Ammoniak verdamping voor waterlijn lekkages	50% verdamping gemodelleerd = 50% x 50% = **25%** verdamping van de totale tankinhoud	20% verdamping voor de waterlijn lekkage = 22% x 20% = **4,4%** ver-damping van de totale tankinhoud.	Huidige ammoniak verdamping is gemodelleerd op basis van TNO berekeningen. Voor waterlijn lekkages werd in de voorgaande studie gemodelleerd met 25/4,4 = **6 x** de hoeveelheid ammoniak verdampt in vergelijk met de huidige studie (het betreft 30% van alle scenario's)
Ammoniak verdamping onder de waterlijn nabij de onderkant van het schip	Niet gemodelleerd; alle scenario's zijn gemodelleerd als waterlijn lekkage = **25%** van de totale tankinhoud verdampt (zoals hierboven)	13% verdamping bij lekkage onder de waterlijn = 11% x 13% = **1,4%** verdamping van de totale tankinhoud.	Huidige ammoniak verdamping is gemodelleerd op basis van TNO berekeningen. In de voorgaande studie is gemodelleerd met 25/1,4 = **18x** de hoeveelheid verdampt ammoniak in vergelijk met de huidige studie (70% van alle scenario's)
Ammoniak dispersie modellering	Zwaar gas dispersie	Neutraal gas dispersie	Neutrale gas dispersie vermindert de gevaarsafstanden in beperkte mate. (zie tabel 9-1)
Ammoniak Probit	Nederlandse Probit gebruikt	"gecombineerde" Probit gebruikt	De "gecombineerde" ammoniak probit voorspelt een iets kortere gevaarsafstand. (zie tabel 9-1)

BIJLAGE 1: UITLEG N.A.V. VALIDATIE RAPPORT

Een onderdeel van het totale project bestond erin DNV's benadering en de verkregen resultaten in de studie door TNO te laten verifiëren en te valideren. De verificatie door TNO werd uitgevoerd gedurende het project door ondermeer vergaderingen van de expertgroep bij te wonen specifieke discussies met DNV te voeren omtrent bepaalde items in het simulatiemodel. TNO rapporteerde hun verificatieresultaten in een afzonderlijk rapport dat begin april 2004 uitgegeven werd. Dit rapport werd begin mei gereviseerd met de bedoeling nog enkele additionele vragen van de expertgroep erin te integreren.

Gebaseerd op TNO's waarnemingen over de uitgevoerde risicobeoordeling, tracht deze brief de opmerkingen die door TNO werden aangeduid als zijnde relevant voor de globale studieresultaten, te verduidelijken. In deze brief wil DNV de verschillen van de initiële studie met de resultaten van de validatiestudie beoordelen, extra informatie leveren omtrent de waargenomen verschillen en de impact van deze verschillen op het uiteindelijke risicobeeld presenteren. Dit ondersteunt het effectieve besluitvormingsproces, gezien er getracht wordt een helder beeld te schetsen van de verschillende kijk van de experts op de betreffende technische gespreksonderwerpen.

Samenvatting van de belangrijkste commentaren vanuit de validatiestudie
TNO concludeerde dat de meerderheid van de stappen in de risicostudie is uitgevoerd conform de contractvoorwaarden, de richtlijnen beschreven in CPR 18 en de gemaakte beslissingen binnen de vergaderingen van de expertgroep. Voor gespreksonderwerpen, niet vermeld in deze documenten, onderschrijft TNO DNV's benadering. Vier onderwerpen werden echter door TNO geïdentificeerd waarbij TNO een andere aanpak zou hebben gevolgd wat zou kunnen leiden tot verschillen met betrekking tot het verkregen risicobeeld. Dit betreft de volgende onderwerpen:

1. Het modelleren van ammoniakdispersie, resulterend in schadeafstanden voor 1% letaliteit;
2. Schadeafstanden van de ethyleenscenario's;
3. De waarden, aangewend voor enkele SAFETI parameters, aangaande de impact op het modelleren van ontvlambare stoffen

TNO concludeerde in de vergadering van de expertgroep op 22 april 2004 dat er niet verwacht wordt dat het tweede en derde onderwerp een relevante impact zullen hebben op DNV's risicoresultaten. Met betrekking tot onderwerp ´2´ berekende TNO schadeafstanden (gebaseerd op het LFL-concentratieniveau) waarbij de waarden maximaal 70% hoger waren dan DNV's waarden die uit het SAFETI model werden geëxtraheerd (terwijl in de propaan en butaan scenario's de schadeafstanden minder dan 10% groter bleken te zijn). De risicobijdrage van ethyleen op het uiteindelijke risico (van ontvlambare stoffen) op het vasteland is echter beperkt wegens de kleinere afstanden voor ethyleen. TNO kon de aangewende simulatie voor de ethyleenscenario's zoals uitgevoerd door DNV, niet onderschrijven. Wel berekende TNO gelijkaardige schadeafstanden voor C3 en C4 wat het mogelijk maakte voor TNO om DNV's berekende risicobeeld voor ontvlambare stoffen goed te keuren.

Wat de SAFETI parameters betreft (onderwerp´3´), wijkt DNV doelbewust af van de aanbevolen waarden in CPR 18 en argumenteert deze doelbewuste keuze in het eindrapport. Door het ontbreken van volledig inzicht in het DNV-SAFETI pakket, was TNO niet in staat om deze aanpak volledig te onderschrijven. Het is DNV's intentie om de parameters, aangewend in het model, zo goed mogelijk in te stellen, overeenkomstig de historische data, om een realistische risicomodellering te bekomen.

Het vastgestelde verschil in schadeafstanden voor ammoniak (onderwerp ´1´) volgt uit extra uitgevoerde dispersiesimulaties, die door TNO werden uitgevoerd met behulp van hun softwarepakket EFFECTS. Tabel B1.1. is een weergave van de vastgestelde verschillen, zowel in absolute als relatieve termen. Deze tabel toont aan dat bepaalde afstanden soms het viervoud bedragen van de afstanden die door DNV werden berekend (dit enkel voor de weersconditie F 1,5 m/s).

Gemiddeld gezien (aangaande de scenario's die onderwerp waren voor de TNO modellering), waren de afstanden 2,4 maal groter dan de afstanden, berekend door DNV (voor het betreffende weertype, zijnde F 1,5). De resultaten voor het weertype D5 zijn verschillend. TNO's afstanden variëren gemiddeld tussen 0,6 tot 1,3 maal groter dan de DNV's afstanden voor weertype D5. Op basis van de analyse van de weerdata, kan er begrepen worden dat F 1,5 m/s enkel voorkomt gedurende 15% van de nachtsituatie en niet gedurende de dag (zodoende 7,5 % tijdens een etmaal). D5 conditie voor de nachtsituatie betreft 26% van de tijd, alsook voor de dagsituatie (zodat 26% voor een etmaal kan worden afgeleid). Aldus kan besloten worden dat de gemiddelde factor van TNO's effectafstanden, in relatie tot deze van DNV, 1,2 bedraagt (zijnde het gewogen gemiddelde van F 1,5 en D 5 op basis van deze weegfactoren).

Tabel B1.1–Schadeafstanden van ammoniak: Vergelijking van DNV & TNO modellering

Het gevarenbereik van ammoniak (1% Letaliteit)						
Scenario	**F 1,5 m/s**			**D 5 m/s**		
	DNV	**TNO**	**Factor (F1,5)**	**DNV**	**TNO**	**Factor (D5)**
SCR-WL-0250-NH3	789	1830	2,3	338	320	0,9
SCR-WL-1100-NH3	709	2925	4,1	604	775	1,3
MCR-B-0250-NH3	597	1350	2,3	321	220	0,7
MCR-B-1100-NH3	929	2870	3,1	788	755	1,0
LPR-WL-250-NH3	932	1830	2,0	534	320	0,6
LPR-WL-1100-NH3	2333	3145	1,3	1317	1530	1,2
LPR-B-250-NH3	656	1350	2,1	376	225	0,6
LPR-B-1100-NH3	1398	2875	2,1	886	990	1,1
Gemiddeld (Nacht respectievelijk dag)			2,4			0,9
Gemiddeld (Nacht + dag)			1,2			

Achtergrond van de vastgestelde verschillen; enige uitleg
Om het verschil in het schadeafstanden, als berekend door TNO en DNV, te kunnen begrijpen, werd er een inspanning geleverd om de uitgevoerde modelleringen met elkaar te vergelijken. Omdat de dispersiemodellering van DNV met het uniforme dispersiemodel (UDM) werd uitgevoerd met een verdubbeling van het moleculaire gewicht van ammoniak (om af te dwingen dat het model een neutraal dispersiegedrag zou simuleren), zou dit mogelijk een verklaring kunnen geven van de verschillen. Na een review bevestigde TNO echter dat zowel TNO als DNV een correcte bron hebben aangewend tijdens de betreffende modellering. Een andere verklaring voor het verschil, zijnde de blootstellingtijd, dewelke het model gebruikt om de concentratie, uitgaande van de dosering, te berekenen, bleek evenmin de oorzaak voor het verschil. De dispersieresultaten van zuurstof en stikstof in het eindrapport van DNV toonden aan dat ammoniak in het SAFETI model inderdaad berekend werden als een neutraal gas. In de gevoeligheidsanalyse werd het resultatenpatroon van een zware gas dispersie weergegeven wat slechts een beperkte stijging van het toxische gevarenbereik aantoonde.

Impact van de verschillen op de risicoresultaten
Voor een goed begrip van het verschil in de ammoniak dispersieresultaten werd een additionele analyse uitgevoerd. De focus van deze analyse lag (enkel) op de ammoniak risicoresultaten, zoals gepresenteerd in onderstaande tabel B1.2 voor het risicomeetpunt te Vlissingen (dewelke het hoogste plaatsgebonden risico bezit). Tevens werden de specifieke risicocontouren voor deze locatie aangegeven in onderstaande figuur B1.1. De 10^{-7} risicocontour voor het basisscenario bevindt zich ongeveer 400 m van de middellijn van het vaargeul.

TNO scenario A
Wanneer TNO's schadeafstand voor ammoniak bovenop onderstaande plot zou worden geplaatst (eerst voor de resultaten van het weertype F 1.5, in het vervolg gemerkt als TNO scenario A), kan er worden verondersteld dat de 10^{-7} risicocontour verder zal verschuiven naar een afstand van 400 x 2,4 (factor) = 960 meter van de middellijn van de vaargeul. Via figuur B1.1 valt af te leiden dat deze afstand min of meer de kustlijn betreft, waar het risicomeetpunt is gelegen. Met andere woorden: hop dit punt wordt verwacht 1 x 10^{-7}/jaar (of 10 x 10^{-8}/jaar te zijn, indien TNO's schadeafstanden bovenop de huidige QRA resultaten zou worden geplaatst.

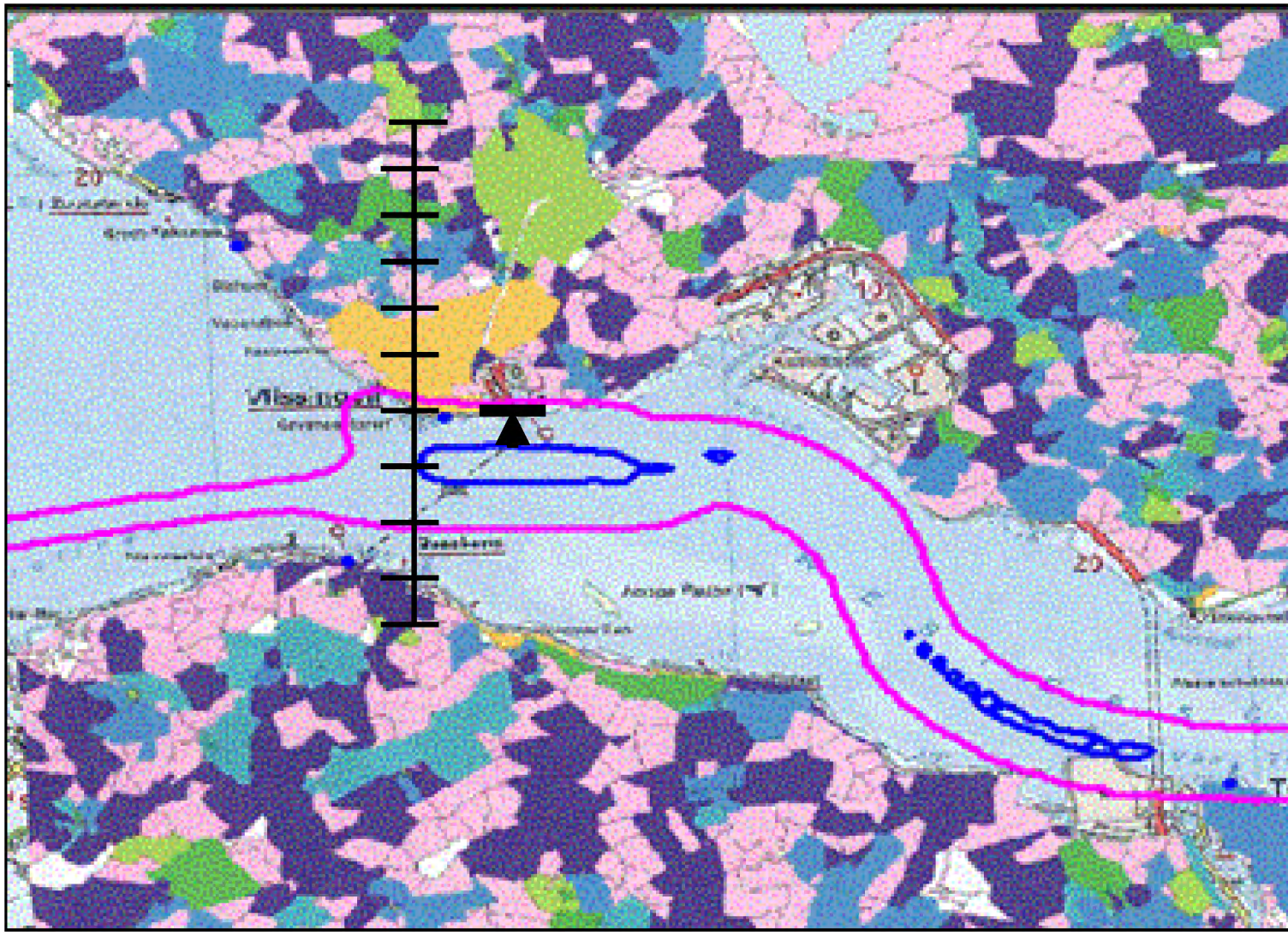
Uit tabel B1.2 kan worden vastgesteld dat het totale plaatsgebonden risico voor dit risicomeetpunt (op land) dus zal stijgen van 26.4 tot 33.4 E-8/jaar (wat een 27% stijging van het risico betekent). Wanneer vergeleken wordt met de gevoeligheidsanalyse kan er gesteld worden dat deze risicostijging binnen het bereik ligt van de daar geanalyseerde situaties.

Tabel B1.2–Plaatsgebonden risico: TNO scenario's van ammoniak & ontvlambare stoffen

Scenario	Plaatsgebonden risico (x 10^{-8} per jaar)		
	Ammoniak	Ontvlambaar	Totaal
Basis scenario	3.0	23.4	26.4
TNO scenario A (gebaseerd op F 1.5 resultaten)	10.0	23.4	33.4 (+27%)
TNO scenario B (gebaseerd op D5 resultaten)	2.9	23.4	26.3 (-1%)
TNO scenario C (gebaseerd op F 1.5+D5 resultaten)	ca. 6.0 [2]	23.4	ca. 29.4 (+ca. 11%)

[2] Het is bekend dat dit risico geschat is van de risicocontourplot en de voorspelde schade-afstanden vanuit de TNO validatie. Men moet er zich van bewust zijn dat voor een accuraat risiconiveau de totale risicoberekening moet worden uitgevoerd, waarbij alle mogelijke weertypes dienen beschouwd te worden, wat niet het objectief is van deze analyse.

Figuur B1.1 – Risicocontourlijnen, de TNO afwijkingsfactor omvattend (F 1.5 nachtsituatie – ammoniak risicomodellering)



TNO case B & C

Tabel B1.2 bevat ook de geschatte plaatsgebonden risico's, gebaseerd op door TNO verkregen schadeafstanden voor typische dagsituaties (D5, verder gelabeld als TNO scenario B) en bevat tevens een gemiddeld geschat resultaat voor dag en nacht situatie (TNO scenario C). TNO berekende voor scenario B (weertype D5) een gemiddelde daling van de schadeafstanden van ongeveer 0,9 x DNV's berekende afstanden.

De gemiddelde factor voor de schadeafstand voor dag en nacht situatie (TNO scenario C) is berekend als een factor van 1,2 (waarbij enkel F 1.5 en D5 situaties in rekening werden genomen, en veronderstellende dat weertype F 1.5 ongeveer 7% van de tijd voorkomt en D5 ongeveer 26% van de tijd). Het is bekend dat voor een precieze schatting van de verschillen, alle weertypes in beschouwing dienen te worden genomen. Weertype D9 draagt bijvoorbeeld ook substantieel bij tot de globale weersituatie. Dit, tezamen met type D5, neemt immers een percentage in beslag van ongeveer 68%.

Samenvattend

Samenvattend kan worden gezegd dat TNO's berekende schade-afstanden voor ammoniak (dewelke substantieel groter zijn voor het slechtst denkbare meteoscenario – weertype F1.5) geen invloed hebben op de eindconclusies van DNV zoals gesteld in het rapport, gezien de verschillen voor het meer waarschijnlijke weertype (D5) veel minder bedragen. De curven voor het groepsrisico zullen meer naar rechts verschuiven (groter aantal slachtoffers, voor een gegeven faalfrequentie) wanneer de TNO's schadeafstanden in beschouwing zouden worden genomen.

DNV vertrouwt erop dat bovenstaande argumentatie ondersteunt bij het besluitvormingsproces inzake de externe risico's van het transport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde, gebaseerd op begrip van de verschillen die verkregen werden uit de TNO validatiestudie en hun invloed ervan op de overall resultaten.