



---

# DET NORSKE VERITAS

---

Actualisatiestudie 2011  
risico's transport gevaarlijke stoffen  
Westerschelde  
en prognoses 2015-2030

Rijkswaterstaat

Rapport no/DNV Reg no: / 1237G9T-13  
Rev 4, 2011-12-08



Actualisatiestudie 2011 risico's transport gevaarlijke stoffen Westerschelde en prognoses 2015 en 2030	DNV BELGIUM BV Zwolseweg 1 2994 LB Barendrecht, Nederland Tel: +31 (0)102922708 Fax: +31 (0) 10 47997141 http://www.dnv.com Org. No: 24171900
Voor: Rijkswaterstaat Postbus 299 4600 AG Bergen op Zoom Nederland	
Klant ref:	

Datum 1e uitgifte:	2011-12-08	Project no.	40021084
Rapport No.:	40021084-2	Organisatie Unit:	Risk Management Solutions Benelux
Revisie No.:	4		

Opgesteld door:	<i>Naam en positie</i> Maarten Bekaert, VR-deskundige Joris Wieme Maarten de Looij	<i>Handtekening</i> 
Geverifieerd door:	<i>Naam en positie</i> Erwin Schouwenaars Principal Consultant	<i>Handtekening</i>
Goedgekeurd door:	<i>Naam en positie</i> Matthé Bakker Head of Section Solutions Netherlands	<i>Handtekening</i>

<input type="checkbox"/>	No distribution without permission from the client or responsible organisational unit (however, free distribution for internal use within DNV after 3 years)	Indexering	
<input checked="" type="checkbox"/>	No distribution without permission from the client or responsible organisational unit	Key words	
<input type="checkbox"/>	Strictly confidential	Service Area	
<input type="checkbox"/>	Unrestricted distribution	Market Segment	

Rev No / Datum:	Reden van uitgifte:	Opgesteld door:	Goedgekeurd door:	Geverifieerd door:
2 / 18-08-2011	Verwerking opmerkingen RWS	Schouwenaars	Snaphaan	
3 / 27-10-2011	Aangepaste berekening van aanvaringskansverdeling	Schouwenaars	Bekaert	Bekaert
4 / 08-12-2011	Aanpassing tekstuele opmerkingen	Bekaert	Bakker	Schouwenaars

© 2008 Det Norske Veritas AS  
All rights reserved. This publication or parts thereof may not be reproduced or transmitted in any form or by any means, including photocopying or recording, without the prior written consent of Det Norske Veritas AS.

## Inhoudsopgave

<b>MANAGEMENT SAMENVATTING.....</b>	
<b>1 INLEIDING.....</b>	<b>1</b>
1.1 Voorgaande studies .....	1
1.2 Actualisatiestudie 2011 .....	3
<b>2 AANPAK .....</b>	<b>4</b>
2.1 Opdrachtschrijving .....	4
2.2 Projectbegeleiding .....	6
<b>3 AANTAL VAARBEWEGINGEN.....</b>	<b>9</b>
3.1 Systeembeschrijving.....	9
3.2 Data Actualisatiestudie 2011 .....	10
3.2.1 Inleiding.....	10
3.2.2 Algemene zeescheepvaart.....	13
3.2.3 Zeeschepen met toxische gassen (GT3) .....	15
3.2.4 Zeeschepen met brandbare gassen (GF2 en GF3) .....	17
<b>4 IDENTIFICATIE VAN GEVAREN &amp; DEFINITIE FAALSCENARIO'S .....</b>	<b>20</b>
4.1 Identificatie van gevaren .....	20
4.2 Verschillende scheepstypen .....	20
4.3 Uitstroming na aanvaring .....	22
4.4 Definitie Faalscenario's.....	24
<b>5 ANALYSE VAN GEVOLGEN .....</b>	<b>26</b>
5.1 Ammoniak.....	26
5.1.1 Ammoniakuitstroming en dispersie.....	26
5.1.2 Ammoniak Probit.....	27
5.2 Brandbare stoffen .....	27
5.2.1 Uitstromingsgedrag.....	27
5.2.2 Effectmodellering .....	27
5.2.3 Schadecriteria .....	28
5.3 Effectmodellering.....	30
<b>6 AANVARINGSFREQUENTIE.....</b>	<b>33</b>
6.1 Inleiding .....	33



6.2	Aanvaringsfrequentie .....	33
6.3	Actuele aanvaringsdistributie .....	35
6.4	Aanvaringsfrequentie per segment .....	38
<b>7</b>	<b>ANALYSE VAN DE LEKFREQUENTIES.....</b>	<b>43</b>
7.1	Inleiding .....	43
7.2	Energiemodel: berekende lekfrequenties .....	43
<b>8</b>	<b>ACHTERGRONDGEGEVENS .....</b>	<b>45</b>
8.1	Bevolkingsgegevens .....	45
8.2	Meteorologische gegevens .....	47
8.3	Ontstekingsbronnen.....	48
<b>9</b>	<b>RESULTATEN .....</b>	<b>51</b>
9.1	Nieuwe softwareversie .....	51
9.2	Plaatsgebonden risico referentieperiode 2004-2008 .....	51
9.3	Groeprisico referentieperiode 2004-2008 .....	54
<b>10</b>	<b>PROGNOSES.....</b>	<b>57</b>
10.1	Inleiding .....	57
10.2	Prognoses Gevaarlijke stoffen.....	57
10.3	Prognoses Totale zeevaart.....	58
10.4	Schatting van het aantal aanvaringen .....	61
10.5	Effecten van gewijzigde parameters .....	62
10.6	Resultaten .....	64
<b>11</b>	<b>CONCLUSIE.....</b>	<b>73</b>
<b>12</b>	<b>REFERENTIES .....</b>	<b>77</b>
Appendix 1	Impact studie Phast Risk 6.6	
Appendix 2	Verwerkte data prognoses	
Appendix 3	Voornaamste parameters Phast Risk	
Appendix 4	Beschrijving van de methode van Hauer	

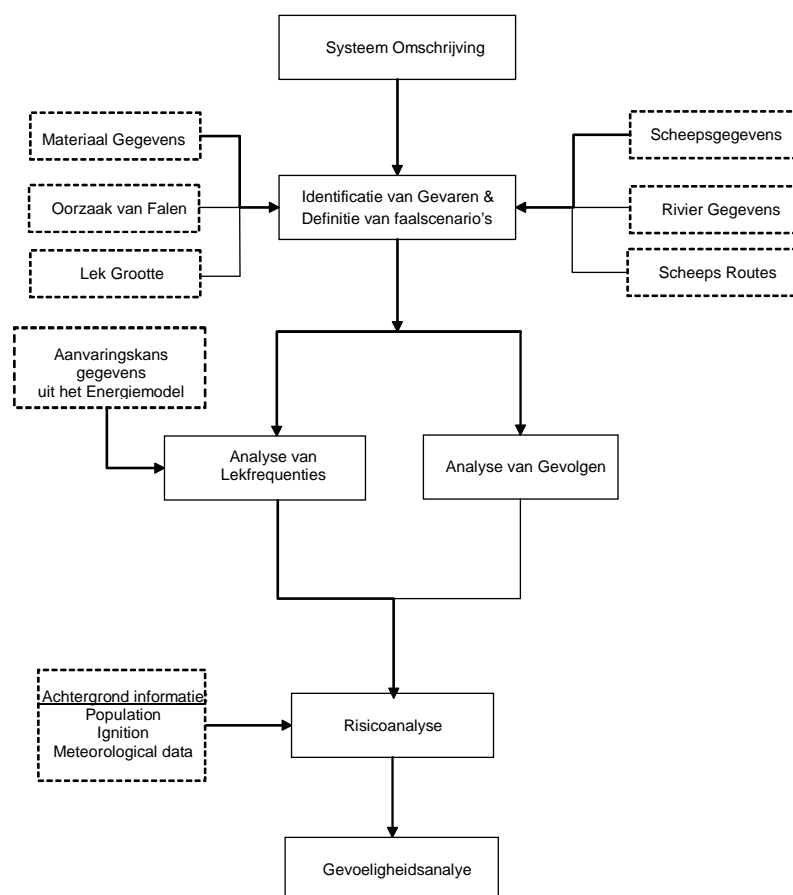
---

## MANAGEMENT SAMENVATTING

De Permanente Commissie van Toezicht op de Scheldevaart is, in het kader van het Verdrag Gemeenschappelijk Nautisch beheer, bezig met het opstellen van een veiligheidsprogramma voor de (Wester)Schelde. Het uitvoeren van een actualisatiestudie van de externe veiligheid op de (Wester)Schelde kadert in deze taakstelling. Om de huidige en toekomstige externe veiligheidssituatie op de (Wester)schelde verder te kunnen onderzoeken en vergelijken heeft het Uitvoerend Secretariaat van de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie aan DNV de opdracht verstrekt om een aantal kwantitatieve risicoanalyses uit te voeren. Deze studie wordt verder **Actualisatiestudie 2011** genoemd.

De mogelijke bandbreedte waarbinnen de externe veiligheidssituatie zich in de komende decennia zal gaan ontwikkelen is bestudeerd aan de hand van de peiljaren 2015 en 2030. De studie richt zich op de transport(on)veiligheid van het scheepvaartverkeer met gevaarlijke scheepsladingen. De aandacht gaat specifiek uit naar mogelijke calamiteiten op de vaarweg waarbij mogelijk brandbare of toxische stoffen vrijkomen. De studie omvat een modellering van de specifieke aard en intensiteit van het toekomstig te verwachten scheepvaartverkeer op de (Wester)schelde. De situatie in de referentieperiode 2004-2008 geldt als referentiepunt voor de gedefinieerde scenario's.

De risicoanalyse is gebaseerd op een klassieke aanpak uitgaande van het identificeren van gevaren en het vervolgens kwantificeren van de voorkomingsfrequenties en mogelijke schade effecten. De combinatie van kans en effect leiden tot risico inschattingen. De risicore resultaten worden gepresenteerd in de vorm van plaatsgebonden risiconiveaus op een aantal punten langs de Westerschelde (Oostgat, Breskens, Vlissingen, Terneuzen, Hansweert), gevisualiseerd middels risicocontourlijnen op een topografische kaart en weergegeven in de vorm van groepsrisicocurven in een grafiek (voor een viertal locaties langs de Westerschelde, te weten Terneuzen, Oostgat, Vlissingen en Hansweert). Het proces wordt schematisch weergegeven in de onderstaande figuur.



Het risicomodel is geactualiseerd op basis van een analyse van de vaarbewegingen en ongevalgegevens over de meest actuele referentieperiode, zijnde 2004-2008. Het gehanteerde risicomodel maakt gebruik van een energiemodel waarmee de beschikbare kinetische energie op een vaarweg wordt berekend, en vervolgens deze energie wordt gerelateerd aan de kritische energie die nodig is om een schip lek te varen. Het energiemodel gecombineerd met de ongevalgegevens van de beschikbare plaatselijke statistiek berekent de lekfrequentie voor een klein en groot lek. De gevolgen van een uitstroom en de risico's (plaatsgebonden risico en groepsrisico) zelf zijn berekend met de meest recente versie van de DNV risicosoftware, met name Phast Risk 6.6.

Het risicomodel werd verder aangepast voor de te verwachten veranderingen in scheepsbewegingen in 2015 en 2030, gebaseerd op gedetailleerde prognoses aangeleverd door de havens. Uitgaande van de aangeleverde informatie heeft DNV geanalyseerd wat het effect is van deze prognoses op het risicomodel.

Het plaatsgebonden risico wordt gedefinieerd als de kans op overlijden van een individu als gevolg van een (onbeschermd) blootstelling gedurende 24 uur per dag. Deze kans mag niet hoger zijn dan 1E-06 per jaar op plaatsen waar mensen wonen en verblijven (zogenaamde kwetsbare objecten zoals woningen, onderwijs & gezondheidsinstellingen en dergelijke). Uit de

risicoberekeningen kan worden geconcludeerd dat het maximale plaatsgebonden risico op land voor de volledige Westerschelde steeds kleiner is dan de grenswaarde van  $1E-06$  per jaar zowel voor de referentieperiode 2004-2008 als voor de toekomstige peiljaren 2015 en 2030. Er wordt dus steeds voldaan aan de vigerende risiconorm voor plaatsgebonden risico.

Het begrip groepsrisico geeft omwonenden antwoord op de vraag: wat is de kans per jaar dat onder mijn groep van wijk- of dorpsgenoten een zeker aantal (bijvoorbeeld 20) mensen dodelijk worden getroffen door een ongeval in de omgeving waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken? Het groepsrisico presenteert in een curve de kans (verticale as) op een ongeval met meerdere dodelijke slachtoffers (horizontale as). Risicoresultaten voor groepen mensen tonen aan dat grote aantallen slachtoffers kunnen optreden als gevolg van lekkages, doch dat deze slechts voorkomen bij zeer lage frequenties. Het groepsrisico nabij Vlissingen (als gevolg van mogelijke ongevallen op de Westerschelde waarbij gevaarlijke stoffen zijn betrokken) blijkt voor alle doorgerkende scenario's het hoogst over de hele Westerschelde. Voor geen enkele locatie wordt de normlijn overschreden en dit zowel voor referentieperiode 2004-2008 als voor de peiljaren 2015 en 2030. De normlijn – die tot op heden de status van oriënterende waarde bezit – loopt door de punten ( $10 - 1E-04$ ), ( $100 - 1E-06$ ), ( $1000 - 1E-08$ ), etc. Dit uitgedrukt per kilometer en per jaar. De status van oriënterende waarde betekent dat bij een overschrijding, de beslissingsbevoegde overheden dit groepsrisico moeten betrekken in hun besluitvorming, dit in het bijzonder met betrekking tot de aspecten van zelfredzaamheid en hulpverlening.

Ten aanzien van de verdere loop van de Schelde doorheen de Antwerpse haven kan worden afgeleid dat ook voor de peiljaren de  $1E-06$  risicocontour naar verwachting niet zal worden bereikt.

De bijdrage van ammoniak op de resultaten is veel lager dan de bijdrage van de brandbare gassen. De bijdrage van brandbare gassen neemt in de toekomst gaandeweg toe, doordat de scheepvaartintensiteit voor wat betreft de brandbare stoffen volgens de toekomstverwachting substantieel zal toenemen, terwijl over de komende 20 jaar het ammoniaktransport nagenoeg zal stabiliseren en zelfs zal verminderen ten westen van Terneuzen (door de gewijzigde vergunningsvoorwaarden van Yara).



## 1 INLEIDING

Het Uitvoerend Secretariaat van de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie (Voorheen Projectdirectie uitvoering ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium (ProSes2010)) is opgericht in het kader van het verdrag tussen het Koninkrijk der Nederlanden, enerzijds, en het Vlaams Gewest, anderzijds, inzake de samenwerking op het gebied van het beleid en beheer in het Schelde-estuarium, dat op 1 oktober 2008 in werking is getreden. Het Uitvoerend secretariaat geeft administratieve ondersteuning aan een aantal werk- en/of projectgroepen, zoals de werkgroep Ontwikkelingsschets 2010, de projectgroep Kanaal Gent-Terneuzen, de werkgroep Communicatie en de werkgroep Onderzoek en Monitoring. Het Uitvoerend secretariaat heeft, op verzoek van de Permanente Commissie van Toezicht op de Scheldevaart, DNV opdracht verleend voor het uitvoeren van een actualisatiestudie van de externe veiligheid op de (Wester)Schelde.

De Permanente Commissie van Toezicht op de Scheldevaart is, in het kader van het Verdrag Gemeenschappelijk Nautisch beheer, bezig met het opstellen van een veiligheidsprogramma voor de (Wester)Schelde. Het uitvoeren van een actualisatiestudie van de externe veiligheid op de (Wester)Schelde kadert in deze taakstelling. Deze studie heeft tot doel de actualisatie van de kwantitatieve risicoanalyse voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over de (Wester)Schelde, verder **Actualisatiestudie 2011** genoemd

### 1.1 Voorgaande studies

Gedurende de afgelopen jaren heeft DNV een aantal studies uitgevoerd inzake de externe veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen over de (Wester)Schelde.

De voorliggende studie is een vervolg op:

- **Basisstudie 2003:** de kwantitatieve risicoanalyse die DNV in 2003 uitvoerde voor de provincie Zeeland "Quantitative Risk Assessment (Wester)Schelde river", waarbij de risico's verbonden aan het vervoer van gevaarlijke stoffen door de (zee)scheepvaart over de (Wester)Schelde rivier nader zijn beschouwd.
- **Toekomstverkenning 2004:** de kwantitatieve risicoanalyse die DNV in 2004 uitvoerde voor ProSes "QRA Toekomstig Transport Gevaarlijke Stoffen (Wester)Schelde", waarbij de toekomstverkenning voor de peiljaren 2010, 2020 en 2030 werd berekend, gebaseerd op het risicomodel zoals dat in de voorgaande studie werd opgebouwd
- **Quick scan 2007:** verkennende analyse en quick scan ten behoeve van het MER en MKBA Verruiming Vaargeul, met een doorkijk naar 2010, 2020 en 2030 op basis van ondermeer geactualiseerde botsingskansen en groeiprognoses. Dit onderzoek is afgerond op 12 juli 2007.
- **Verkennende analyse 2008,** een analyse van aannames en inputparameters van de vorige uitgevoerde risicoanalyses naar bruikbaarheid/aanvaardbaarheid ten behoeve van een nieuwe detailanalyse



- **Voorstudie 2009:** detailuitwerking van een aantal conceptbesluiten en aandachtspunten met als ultiem doel het finaal vastleggen van de invoerparameters voor de Actualisatiestudie 2011.

In het kader van deze voorgaande opdrachten maakte DNV met het Phast Risk (voorheen genoemd SAFETI) -software model een uitgebreid risicomodel voor de (Wester)Schelde situatie. Daarbij werd een uitgebreide analyse gedaan (gebruik makend van het energiemodel) van aanvaringskansen en de gerelateerde lekkagekansen op grond van een specifieke segmentering van de rivier. Hieronder volgt een korte samenvatting van deze voorgaande studies.

De doelstelling van de basisstudie 2003 eerste opdracht was om eerdere studies te actualiseren en de modellering van de risico's te verfijnen. Hiertoe werden de resultaten uit voorgaande studies beschouwd, werd uitgegaan van de meest actuele vaarbewegingen op dat moment en werden de op dat moment meest recente aanvaringen verwerkt (periode 1998 – 2002). Reeds geïmplementeerde (nautische) (risico)beheersmaatregelen werden als uitgangspunt genomen voor deze studie, als ook een verfijnde modellering van de ammoniakbronterm op grond van het oplossingsgedrag in water bij uitstroming onder de waterlijn.

In de toekomstverkenning 2004 werden de externe risico's berekend voor de toekomstverkenning in de peiljaren 2010, 2020 en 2030. Voor een aantal geïdentificeerde parameters als verruiming, verwachte economische groei en specifieke transportontwikkelingen werd in de toekomstverkenning geanalyseerd wat de invloed was op het externe risicoprofiel van de (Wester)Schelde.

De verkennende analyse 2008 en quick scan 2007, uitgevoerd ten behoeve van het project Verruiming Vaargeul, omvatten een semi-kwantitatieve screening van de impact van ondermeer gewijzigde groeiprognozes en aanvaringskansen op de resultaten uit de voorgaande studie, rekening houdend met een nieuw referentiejaar (2005 in plaats van 2003). In deze verkennende analyse 2008 werden de aannames en inputparameters van de vorige uitgevoerde risicoanalyses opnieuw geanalyseerd naar bruikbaarheid/aanvaardbaarheid ten behoeve van de actualisatiestudie. Op vraag van de Permanente Commissie werd specifieke aandacht besteed aan:

- Bevolkingsaantallen van de gemeenten langs de (Wester)schelde;
- Recreatie op en langs de (Wester)schelde;
- (Nieuwe) Wetgeving in Vlaanderen en Nederland;
- Ijk- en meetpunten (in samenwerking en overleg met Provincie Zeeland).
- Software ontwikkelingen en modelleringsparameters
- Berekeningswijze voor aanvarings- en lekkagekansen (middels energiemodel)

Daarbij werden ook een aantal specifieke vragen van het Nautisch-Technisch Expertteam Externe veiligheid – naar aanleiding van tussentijdse overlegmomenten - mede verwerkt in de analyse.

In de voorstudie 2009 werden een aantal conceptbesluiten en aandachtspunten in detail uitgewerkt met als ultiem doel het finaal vastleggen van de invoerparameters voor de Actualisatiestudie. Middels deze voorstudie werd vastgesteld welke punten additioneel in de uiteindelijke actualisatiestudie dienen te worden meegenomen

---

De volgende 8 nadere analyses werden in de voorstudie verder uitgewerkt:

1. Invloed van nieuwere versie van de gehanteerde risicoanalysesoftware (SAFETI, tegenwoordig aangeduid met de term Phast Risk);
2. Analyse van het externe risico verbonden met het vervoer van gevaarlijke stoffen in containerschepen en binnenvaartschepen, in relatie tot het bestaande externe risico van het vervoer van gevaarlijke stoffen in bulk;
3. Analyse en beschrijving van relevantie van scheepsbrandscenario's aan boord van schepen;
4. Nadere analyse en beschrijving van de geïdentificeerde aantallen van gekoeld transport en druktransport;
5. Nadere analyse en beschrijving van de dubbelwandigheid van de zeeschepen en in relatie tot binnenvaart transport;
6. Nadere analyse van de aan te leveren populatiebestanden rond de Westerschelde rivier (permanente bevolking, recreatie, ...), inclusief geplande ontwikkelingen zover als beslist beleid dit aangeeft.
7. Analyse en beschrijving van laatste ontwikkelingen uit project Basisnet en mogelijke consequenties daarvan op de actualisatiestudie 2009.
8. Analyse en beschrijving van de risicocriteria/normen in Vlaanderen en Nederland ten aanzien van transport op de Westerschelde

## 1.2 Actualisatiestudie 2011

In deze actualisatie wordt een herziening van de kwantitatieve risicoanalyse (Quantitative Risk Assessment, QRA) Westerschelde voorzien op basis van de meest actuele vervoersdata en op basis van de eindconclusies uit de Voorstudie 2009. De actualisatiestudie is hiermee een volledige herziening van de basisstudie 2003 en de toekomstverkenning 2004.

Voorliggende rapportage bevat zowel een volledige beschrijving van de studie-aanpak als een analyse van de gebruikte invoergegevens/parameters en van de resultaten van de studie. De volgende onderwerpen komen achtereenvolgens in dit rapport aan bod:

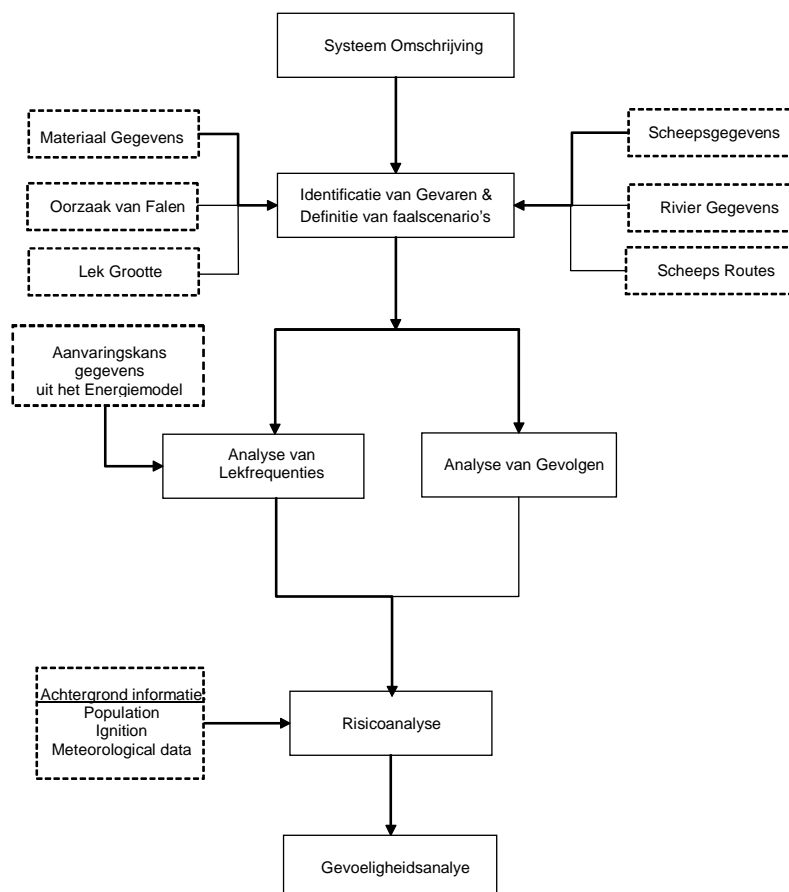
- inventarisatie vaarbewegingen over Westerschelde voor periode 2004-2008;
- definitie van lekkagescenario's;
- simulatie van mogelijke gevolgen;
- berekening van aanvarings- en uitstroomkansen op grond van data over periode 1998-2008, inclusief een nadere statistische analyse van de aanvaringskansverdeling over de Westerschelde;
- berekening van risicore resultaten voor de referentieperiode 2004-2008;
- berekening van risicore resultaten toekomstverkenning 2015 en 2030.

## 2 AANPAK

### 2.1 Opdrachtomschrijving

De actualisatiestudie 2011 is gebouwd op een fundament van de voorgaande risicoanalyses die zijn uitgevoerd voor het transport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde. Een belangrijke pijler is het databestand van de Schelde Radar Keten (SRK, 2004-2008), dat een getalsmatig en gedetailleerd overzicht geeft van al het scheepvaartverkeer dat over deze rivier vaart. De studie is geconcentreerd op het vaststellen van het risicoprofiel voor de bevolking op land.

In Figuur 1 wordt een schematische voorstelling getoond van de verschillende stappen die worden doorlopen om te komen tot een vaststelling van het externe risico verbonden aan het transport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde.



**Figuur 1: Schematische voorstelling van de verschillende stappen in de kwantitatieve risicoanalyse**

Voor de risicoanalyse is onder andere de volgende informatie nodig:

- Gegevens van schepen (scheepsgrootten, aantallen transporten, etc);\
- Scheepsroutes (vaargeulen);
- Gegevens over de rivier;
- Aanvaringskansen;
- Wereldwijde ongevalsstatistieken betreffende aanvaringen van zeeschepen;
- Gegevens over getransporteerde gevaarlijke stoffen (met name ammoniak, butaan, propaan, ethyleen);
- Gegevens van mogelijk aanwezigen op de oevers (populatie);
- Meteorologische data;
- Gegevens over ontstekingskansen in de directe omgeving en op de vaarweg.

De eerste stap in elke risicoanalyse is het identificeren van de mogelijke ongevallen die kunnen leiden tot het vrijzetten van gevaarlijke stoffen in de atmosfeer. Chemische gevaren hebben de volgende typering:

- Brandbaar en/of explosief (leiden tot mogelijke warmtestralings- en/of overdrukeffecten);
- Toxisch (leiden tot mogelijk intoxicatie bij blootstelling/inademing).

Aanvaringen tussen schepen vormen de belangrijkste oorzaak van dergelijke vrijzettingen. De grootte van de lekkage die in een dergelijk geval kan optreden varieert van een speldenprik tot een catastrofaal falen van een hele ladingtank. Het is niet mogelijk in een risicoanalyse om elke gatgrootte afzonderlijk te modelleren. Het doel van een risicoanalyse is dan ook om representatieve faalscenario's vast te stellen voor deze grote variëteit. Voor elk vastgesteld faalscenario wordt de benodigde informatie ingevoerd in de risicosoftware Phast Risk (voorheen genoemd SAFETI). Met dit softwarepakket wordt vervolgens voor elk faalscenario de bronterm berekend in termen van uitstroomsnelheid, uitstroomdebiet, uitstroomfase en druppelgrootte. Deze gegevens vormen de invoer voor de effectsimulatie (dispersie) waarbij onder andere de windsnelheid en –richting een belangrijke parameter is. De effectsimulatie maakt gebruik van meteorologische gegevens van het weerstation Vlissingen.

Voor het vaststellen van mogelijke schade aan mensen (of materialen) binnen de berekende effectafstanden is het nodig om zogenaamde effectniveaus en schadecriteria vast te stellen waarbinnen mogelijke dodelijke slachtoffers kunnen vallen. Dit vindt afzonderlijk plaats voor elk van de gemodelleerde effecttypen zoals wolkbrand, explosie, plasbrand en intoxicatie. De schadecriteria zoals gehanteerd in deze studie zijn identiek aan de criteria zoals ook in de basisstudie 2003 gehanteerd en zijn zo veel mogelijk afgestemd op de van toepassing zijnde Nederlandse (en Vlaamse) richtlijnen en gebruiken (zie appendix 3).

De berekening van het externe risico vindt in het softwarepakket plaats door op alle locaties in de omgeving van de faalscenario's de kans op overlijden vast te stellen als gevolg van de mogelijk optredende effecten. Daarbij worden de lekfrequenties gecombineerd met ontstekingskansen (voor de brandbare scenario's), meteorologische weersklassen en de kansen op specifieke windrichtingen, effectafstanden, de kansen op de verschillende vervolgebeurtenissen in de standaard gebeurtenissenbomen in het softwarepakket, de populatiegegevens en de schadecriteria.

Phast Risk berekent het externe risico in de vorm van plaatsgebonden risico (PR) contouren (en PR-waarden op specifieke punten) en groepsrisico- (GR) curves.

De resultaten van de voorstudie 2009 toonden onder andere aan dat binnenvaartschepen en containerschepen niet significant bijdragen aan de optelsom van risico's op land. Om reden hiervan werden deze categorieën van schepen buiten de opdracht gelaten, net als ook in de voorgaande studies.

De huidige risicostudie richt zich op zeeschepen die meer dan 100 ton (of gelijkwaardig in een andere meeteenheid) brandbare of toxische (vloeibare) gassen in bulk vervoeren.

De actualisatiestudie kan op hoofdonderdelen als volgt puntsgewijs worden samengevat:

- Verzamelen en analyseren van de vaarbewegingen en ongevalgegevens over de meest actuele referentieperiode, zijnde 2004-2008.
- Verzamelen en analyseren van de vaarbewegingen voor de jaren 2015 en 2030 op basis van prognoses (voor een hoog economisch groeiscenario)
- Berekening van ongevalfrequenties, gebaseerd op een geactualiseerde aanvaringsfrequentie en een geactualiseerde aanvaringsdistributie over de Westerschelde (gebruik makend van een energiemodel aanpak).
- Berekening van het plaatsgebonden risico (PR) en het groepsrisico (GR).

## 2.2 Projectbegeleiding

De actualisatiestudie 2011 is begeleid door een Nautisch-Technische Expertgroep voor de technisch inhoudelijke controle en begeleiding van de studie. Daarnaast is de studie ook begeleid door een Begeleidingsgroep Externe Veiligheid.

## Expertgroep

De volgende personen maakten deel uit van de Nautisch-Technische Expertgroep:

Naam	Organisatie
S. Verheyen (voorzitter)	Uitvoerend Secretariaat van de Vlaams-Nederlandse Scheldec commissie
T. Vanhoenacker	Haven van Antwerpen
E. Luca	Rijkswaterstaat
M. Kruiskamp	Rijkswaterstaat DVS
A. Jacxsens	Haven van Gent
D. Vernaeve	Haven van Gent
E. Adan	Rijkswaterstaat
E. Poirier	Vlaamse Overheid – Departement MDK
F. Aerts	Vlaamse Overheid – Departement MOW
H. Prins	Rijkswaterstaat (tot mei 2011)
J. Siewe	Nederlands loodswezen
K. Eloit	Vlaamse Overheid – Departement MOW
M. Delee	Haven van Antwerpen
M. Mesuere	Vlaamse Overheid – Departement MDK
P. Hemelaer	Vlaamse Overheid – Departement MOW
W. Van Poucke	Vlaamse Overheid – Departement MDK
Y. Bin Shan	Vlaamse Overheid – Departement MOW



## Begeleidingsgroep

De volgende personen maakten deel uit van de Begeleidingsgroep:

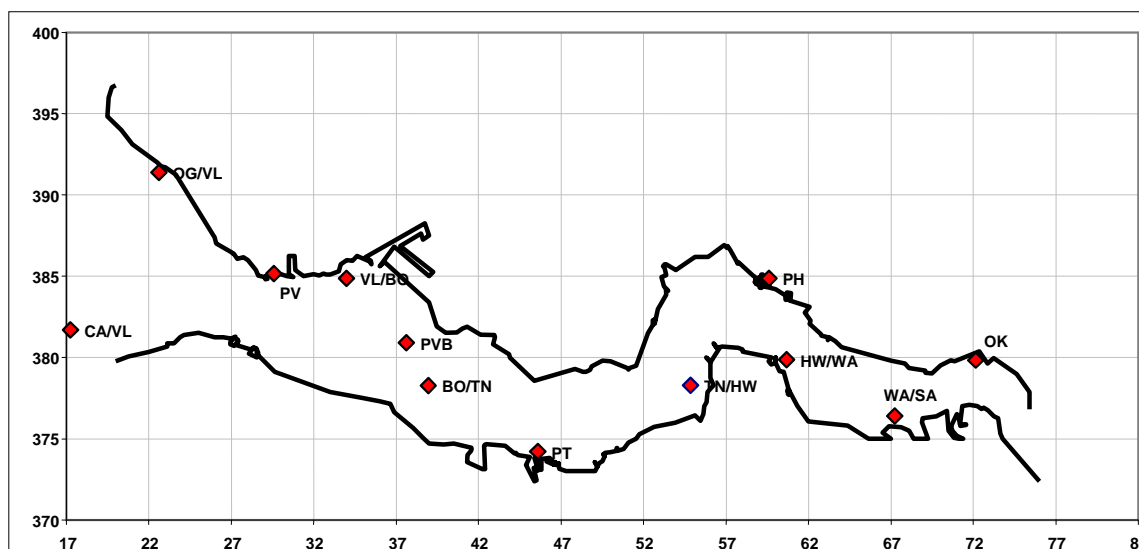
Naam	Organisatie
Aat de Jong (Voorzitter)	Rijkswaterstaat, Nederlandse secretaris van de Permanente Commissie
Rony Slabbinck	Vlaamse Overheid – Departement MDK Vlaamse secretaris van de Permanente Commissie
Sofie Verheyen (Secretaris)	Uitvoerend Secretariaat van de Vlaams-Nederlandse Scheldecommissie
Eric Adan	Rijkswaterstaat
Luc Bauwens	Provincie Oost-Vlaanderen
Manon Baartmans	Zeeland Seaports
Eva Burm (tot augustus 2011)	Provincie Antwerpen
Eddy Bruyninckx	Haven Antwerpen
Antoine Descamps	Vlaamse Overheid – Departement MDK
Ilse Hoet	Vlaamse Overheid – Departement MOW
Manon Kruiskamp	Rijkswaterstaat DVS
André Lindenbergh	Provincie Zeeland
Robert Lisarde	Haven Gent
Martin Mesuere	Vlaamse Overheid – Departement MDK
Daan Schalck	Haven Gent
Hans van der Hart	Zeeland Seaports
Tessy Vanhoenacker	Haven Antwerpen
Fred Van Immerseel	Provincie Antwerpen
Willem Serré	Haven Antwerpen
Dries Vervoort	Vlaamse Overheid – Departement MOW
Dorina Willemse	Veiligheidsregio Zeeland
Jeroen Zonnevillage	Provincie Zeeland

### 3 AANTAL VAARBEGINGEN

#### 3.1 Systeembeschrijving

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) is opgedeeld en geanalyseerd op grond van bijvoorbeeld de routing van schepen, de aard van de getransporteerde stoffen, de (massa)verplaatsing per schip, etc...

Om de schattingen van frequenties zo specifiek mogelijk alsook zo praktisch mogelijk te maken, werd de Westerschelde in de Basisstudie 2003 onderverdeeld in 12 riviersegmenten. Deze indeling is gebaseerd op de geografische ligging van de SRK-stations (zie Figuur 2), die de gegevens registreren 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. Voor de actualisatiestudie 2011 zijn exact dezelfde segmenten gehanteerd als in de basisstudie 2003.



**Figuur 2– Geografische ligging van Passagepunten**

Elk van de punten is voorzien van een afkorting. De afkortingen representeren de passagepunten als is weergegeven in Tabel 1.

**Tabel 1 – Passagepunten en Afkorting**

Ca/VI – Rz/VI <sup>1</sup>	Grens Cadzand / Vlissingen – Ribzand/Vlissingen	Ph	Passage Hansweert
Pv	Passage Vlissingen	Hw /Wa	Grens Hansweert / Waarde
VI/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/ VI	Grens Oostgat / Vlissingen
Tn/Hw	Grens Terneuzen / Hansweert (Middelgat)		

## 3.2 Data Actualisatiestudie 2011

### 3.2.1 Inleiding

Ten behoeve van de actualisatiestudie worden de gegevens van het transport van gevaarlijke stoffen per zeeschip over de Westerschelde geactualiseerd naar de meest recente 5-jaar periode waarvan de transportgegevens beschikbaar zijn, te weten de periode 2004-2008<sup>2</sup>. Hetzelfde geldt voor de intensiteit van het totale transport per zeeschip. De basis voor de gegevens is eveneens de SRK-database (via het Beheer- en Exploitatieteam Schelderadarketen) van waaruit de aantallen zijn verzameld.

In dit hoofdstuk wordt transparant gemaakt welke gegevens uit deze database zijn verkregen en in welke mate ze zich verhouden tot de eerder gehanteerde data over de periode 1998-2002. De identificatie van gevaren en de risicostudie (en aldus de bevraging) richt zich 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 verkregen gegevens zijn de data voor de door de radarketen geregistreerde trajecten, die gedurende de periode 2004-2008 op een paar plaatsen blijken te zijn aangepast (in vergelijking met de oude data). Deze gegevens werden door DNV vertaald naar de voor de risicoanalyse van de Westerschelde relevante segmenten zoals ook eerder gehanteerd in de Basisstudie 2003.

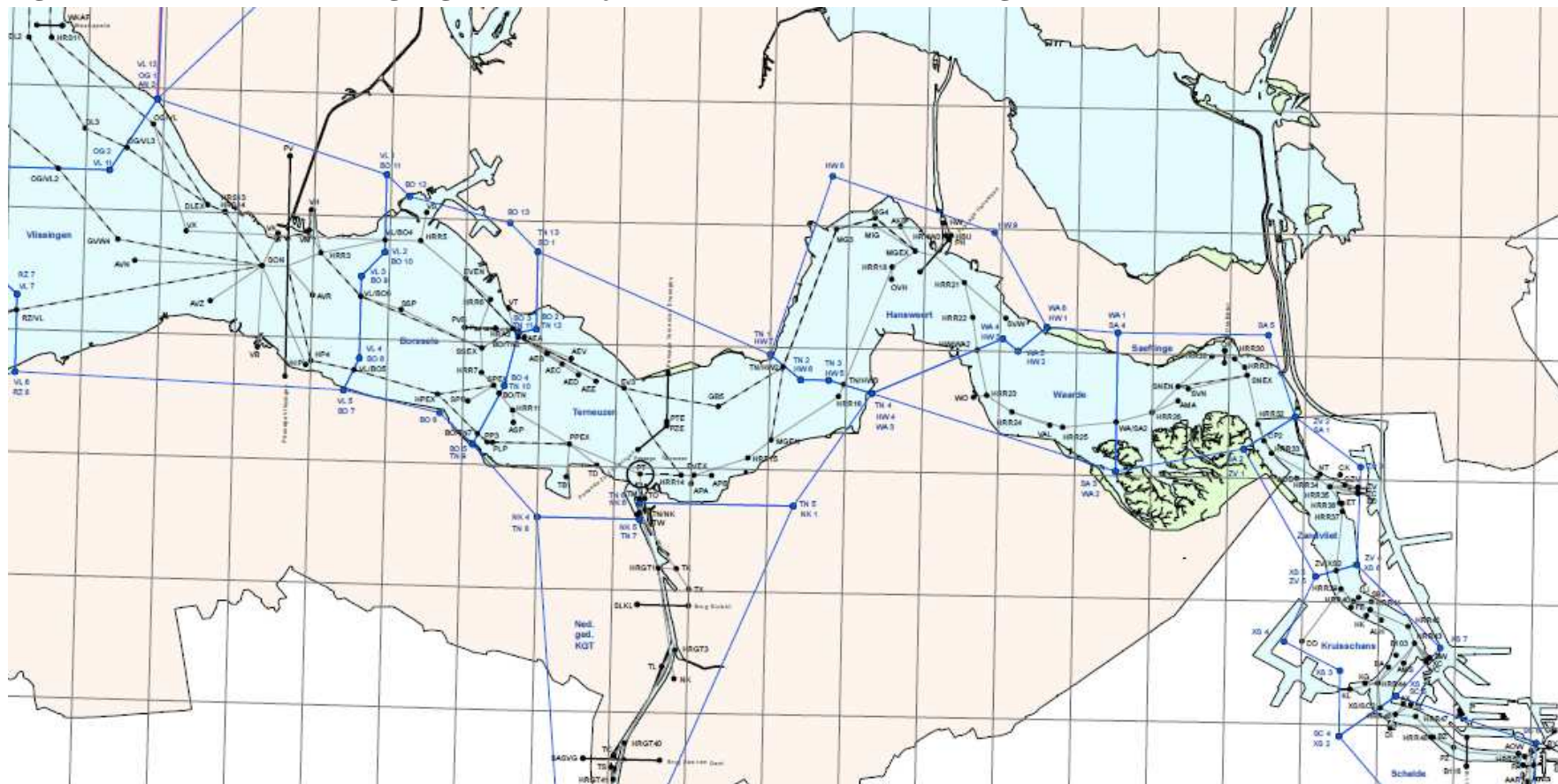
<sup>1</sup> Sinds 2005 wordt het passagepunt Ca/VI niet meer gerapporteerd en werd het vervangen door het passagepunt RZ/VI.

<sup>2</sup> Om zoveel mogelijk in lijn te blijven met de Basisstudie 2003 werd wederom een periode van 5 jaar als referentieperiode genomen voor de transportaantallen. Omdat bij de uitvoering van de Actualisatiestudie het jaar 2008 het laatste jaar was waarvan deze cijfers beschikbaar waren, werd gekozen voor de periode 2004-2008 (ten opzichte van de periode 1998-2002 die in de Basisstudie 2003 werd gebruikt). Verder was 2003 een gemiddeld jaar en kan dus volstaan met de meest recente 5 jaar.

Navolgende figuur geeft een overzicht van de door de SRK-database geregistreerde trajecten en hun locatie op de Westerschelde.

De gegevens uit de SRK-databank ondergingen een grondige kwaliteitscontrole. Hierbij werden ondermeer de dubbeltellingen eruit gehaald, de combitransporten verwerkt (gemengde GF2/GF3 ladingtanks), de bevraging binnen de SRK-databank geoptimaliseerd en de cijfers vergeleken met de transportgegevens van gevaarlijke stoffen van de haven van Antwerpen.

**Figuur 3: Deeloverzicht van de geregistreeerde trajecten voor de Westerschelde volgens de SRK database**



### 3.2.2 Algemene zeescheepvaart

In onderstaande tabel wordt een overzicht opgenomen van het totale transport aan zeescheepvaart over het traject van de Westerschelde. Het betreft hier vaarbewegingen in enkele richting.

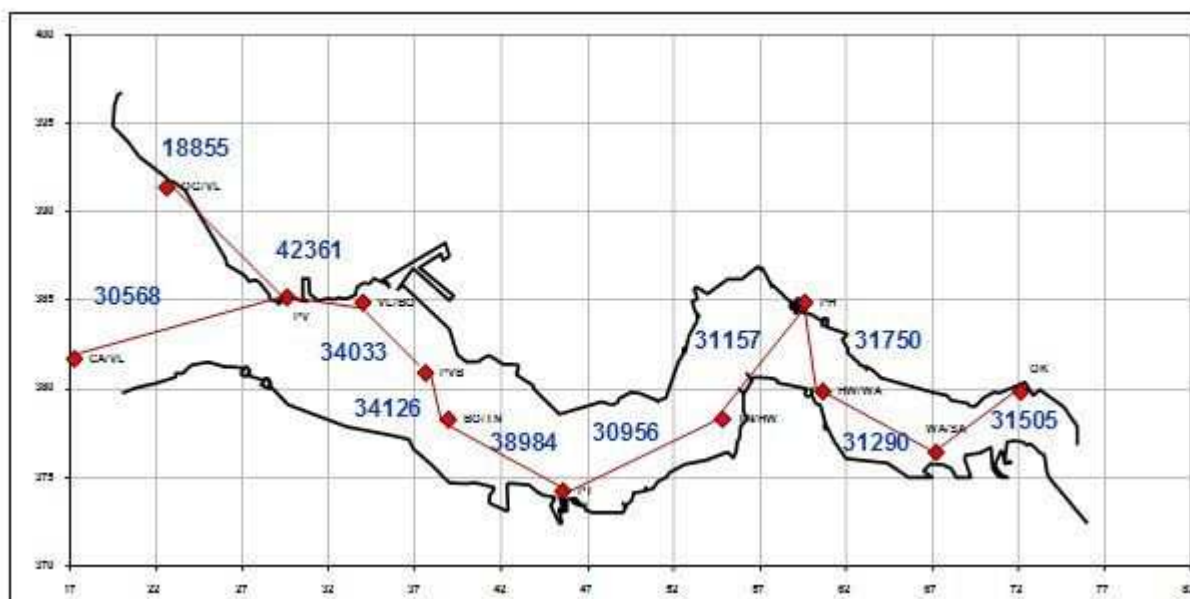
**Tabel 2: Overzicht aantallen (relevante) zeeschiptransporten referentieperiode 2004-2008**

Nr	segment	2004	2005	2006	2007	2008	Gemiddeld over 2004-2008
1	RZ/VL/PV	29194	29822	30604	31976	31245	30568
12	OG/VL - PV	18490	18456	18670	19339	19319	18855
2	PV - VL/BO	39880	40405	42511	44993	44015	42361
3	VL/BO - PVB	32616	32581	33354	35897	35717	34033
4	PVB - BO/TN	32751	32223	33869	36043	35744	34126
5	BO/TN-PT	37744	37846	38653	40740	39936	38984
6	PT - TN/HW3	29765	29995	30727	32504	31788	30956
7	TN/HW3 - PH	29980	30182	30897	32747	31981	31157
8	PH - HW/WA2	30215	30584	31567	33630	32756	31750
9	HW/WA2 - WA/SA2	27895	30581	31547	33651	32775	31290
10	WA/SA2 - OK	29707	30469	31448	33430	32472	31505

Ten opzichte van de vorige referentieperiode 1998-2002 (zoals gerapporteerd in de Basisstudie 2003) kunnen volgende zaken worden geconcludeerd. Er is een afname/toename van -3 tot 11% ten westen van Terneuzen en een toename van 2-3% ten oosten van Terneuzen (richting Antwerpen). De toename van 11% is enkel van toepassing op het traject BO/TN-PT en valt te verklaren door het feit dat er ter hoogte van dit traject een nevengeul vervoegt.

De gegevens uit bovenstaande tabel worden eveneens weergegeven op kaart.





**Figuur 4: overzicht van het aantal zeescheepsbewegingen op de Westerschelde (periode 2004-2008)**

Ten behoeve van de invoer in het Energiemodel werden de bovenvermelde data per riviersegment opgedeeld in een aantal massaklassen en snelheidscategorieën, weergegeven in onderstaande tabellen.

**Tabel 3 – Zeeschip massaklassen ten behoeve van het energiemodel**

Waterverplaatsing klasse	Ondergrens (ton)	Bovengrens (ton)
1	0	100
2	100	500
3	500	1000
4	1000	1500
5	1500	3000
6	3000	6000
7	6000	10000
8	10000	20000
9	20000	40000
10	40000	60000
11	60000	80000
12	80000	100000
13	>100000	

**Tabel 4– Zeeschip snelheidsklassen**

Snelheidsklasse	Ondergrens Snelheid in m/s (Knopen)	Bovengrens Snelheid in m/s (Knopen)
1	<2 (< 4)	
2	2 (4)	4 (8)
3	4 (8)	6 (12)
4	6 (12)	8 (16)
5	8 (16)	10 (20)
6	10 (20)	12.5 (25)
7	12.5 (25)	15 (30)
8	>15 (>30)	

### 3.2.3 Zeeschepen met toxische gassen (GT3)

Tabel 5 geeft een overzicht van het getransporteerde aantal geladen trips met toxische gassen (GT3) voor de periode 2004-2008. Uit deze tabel blijkt dat meer dan 95% van het transport aan toxische gassen, ammoniak betreft.

**Tabel 5 – Aantal geladen slooptransporten met toxische gassen  
 (totale aantallen over de 5-jaar periode 2004-2008, in segment RZ-VL/PV)**

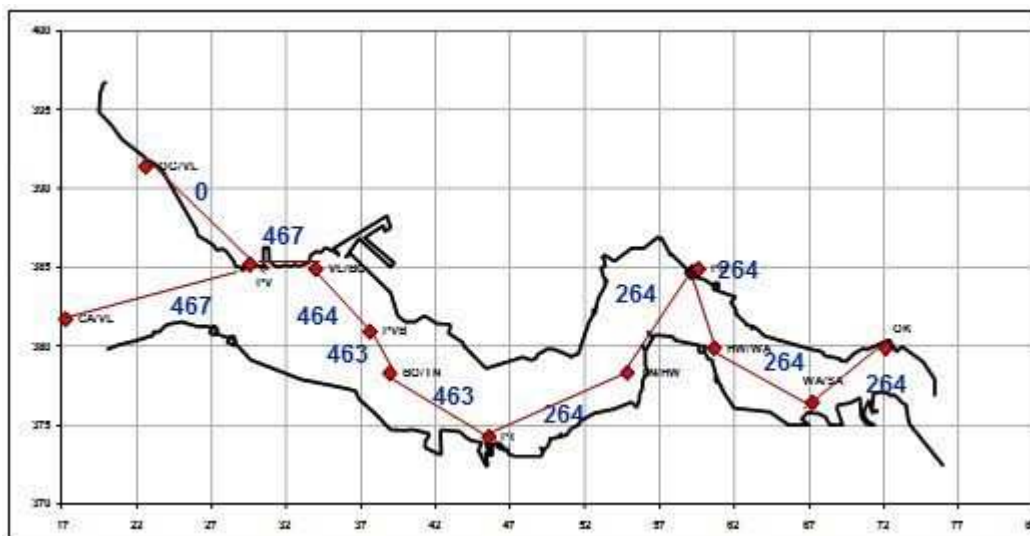
Stofcategorie	Stofnaam	Aantal geladen transporten
GF1/GT3	ETHYLENE OXIDE	12
GF2/GT4	METHYL CHLORIDE	5
	TRIMETHYLAMINE	2
GT3	AMMONIA, ANHYDROUS, LIQUEFIED	446
	COMPRESSED GAS, TOXIC, N.O.S.	2
	Totaal	467

In onderstaande Tabel 6 wordt een overzicht opgenomen van het totale transport aan toxische gassen over het traject van de Westerschelde.

**Tabel 6 – Aantal geladen scheepstransporten met toxische gassen (periode 2004-2008)**

Nr	Segment	2004	2005	2006	2007	2008	Totaal over 2004-2008	Gemiddeld per jaar
1	OG-VL/PV	0	0	0	0	0	0	0
12	RZ-VL/PV	84	91	101	87	104	467	93
2	PV-VL/BO	84	91	101	87	104	467	93
3	VL/BO-PVB	82	91	100	88	103	464	93
4	PVB-BO/TN	82	91	100	88	102	463	93
5	BO/TN-PT	82	91	100	88	102	463	93
6	PT-TN/HW	49	41	57	53	64	264	53
7	TN/HW-PH	49	41	57	53	64	264	53
8	Ph-HW/WA	49	41	57	53	64	264	53
9	WA/SA-OK	49	41	57	53	64	264	53
10	OK	49	41	57	53	64	264	53

De gegevens uit bovenstaande tabel worden eveneens weergegeven op kaart.



**Figuur 5: aantal transporten met toxische gassen (totalen voor periode 2004-2008)**

In de 5-jaar periode 2004-2008 hebben bijna 470 (geladen) ammoniak trips plaatsgevonden (tussen Cadzand & Terneuzen). Ten oosten van Terneuzen betreft het circa 265 trips. Ten opzichte van de periode 1998-2002 betekent dit een toename in ammoniak transporten van circa 14% ten westen van Terneuzen en een toename van 50% ten oosten van Terneuzen (richting Antwerpen). De vergelijking met de vorige periode wordt hier enkel vermeld omwille van de invloed op het externe risico. Er dient op gewezen te worden dat de bevraging van de SRK-databank op een veel uitvoeriger manier is gebeurd dan in de Basisstudie 2003 en dat in die zin de vergelijking relatief is.

### 3.2.4 Zeeschepen met brandbare gassen (GF2 en GF3)

Tabel 7 geeft een overzicht van het getransporteerde aantal geladen trips met brandbare gassen (GF2 en GF3) voor de periode 2004-2008.

**Tabel 7 – Aantal geladen slooptransporten met brandbare gassen (Totalen 2004-2008)**

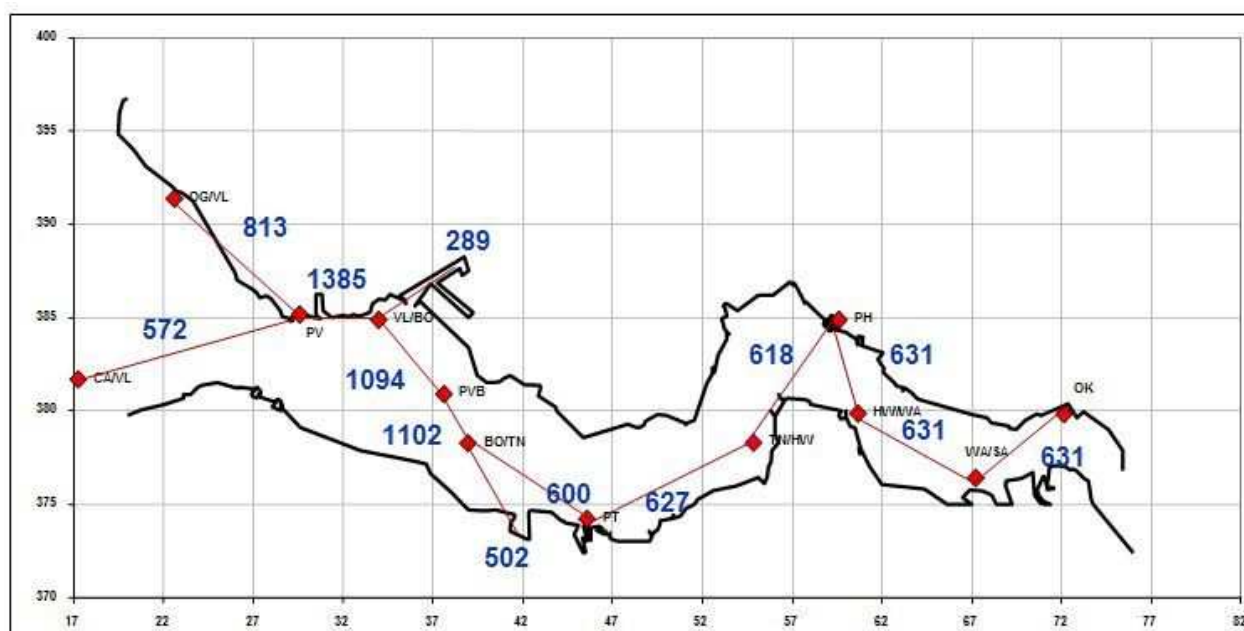
Stofcategorie	Stofnaam	Aantal geladen transporten
GF2	BUTADIENES, INHIBITED, LIQUIFIED, U	352
	BUTANE, LIQUEFIED, UNDER PRESSURE	844
	BUTYLENE	130
	DIMETHYL ETHER	0
	ISOBUTANE	53
	ISOBUTYLENE	6
<b>GF2 Total</b>		<b>1 385</b>
GF3	DIFLUOROETHANE, 1,1- , LIQUEFIED	3
	ETHANE	1
	ETHYLENE, COMPRESSED	9
	ETHYLENE, REFRIGERATED LIQUID	1 436
	HYDROCARBON GAS, COMPRESSED, N.O.S.	11
	HYDROCARBON GAS, LIQUIFIED, N.O.S.	654
	METHYLACETYLENE AND PROPADIENE	
	MIXT	2
	PETROLEUM GASES, LIQUEFIED	63
	PROPANE	769
	PROPYLENE	2847
	<b>GF3 Total</b>	

Er kan opgemerkt worden dat ten opzichte van de Basisstudie 2003, het transport over de Westerschelde meer verspreid is. Zo is het segment PV-VL/BO opgesplitst in 2 segmenten, met name PV-VL/BO4 (80% GF2/3) en PV-VL/BO6 (20%GF2/3), waarbij het segment PV-VL/BO4 de route is zoals ze opgenomen is in het risicomodel (de ligging van deze segmenten is getoond in Figuur 3). Het segment PV-VL/BO6 ligt verder van de oever en is dus minder kritisch voor de externe risico's. In het Nautisch-Technisch Expertteam werd besloten om in het Westerschelde risicomodel geen nevenroutes in te brengen en daarom werden ten behoeve van deze studie conservatief de cijfers uit beide segmenten opgeteld en meegenomen in het segment dat het dichtst bij de oever ligt (PV-VL/BO4).

Een aantal transporten hebben zogenaamde gemengde ladingtanks, dit betekent dat ze zowel GF2 als GF3 transporten vervoeren en derhalve dubbel geteld worden in SRK (het gaat echter over één vaarbeweging). Deze transporten werden ingedeeld bij de GF3-transporten (en verwijderd uit de GF2-transporten) omdat de effecten binnen deze categorie het grootst zijn.

**Tabel 8 – Aantal geladen scheepstransporten met brandbare gassen (GF2) per segment (totaal periode 2004-2008)**

Nr	segment	2004	2005	2006	2007	2008	totaal over 2004-2008	Gemiddeld per jaar
1	OG-VL/PV	146	174	143	157	193	813	163
12	RZ-VL/PV	132	141	96	101	102	572	114
2	PV-VL/BO	273	314	240	259	299	1385	277
3	VL/BO-PVB	202	244	184	206	258	1094	219
4	PVB-BO/TN	207	246	184	206	259	1102	220
5	BO/TN-PT	91	94	100	150	165	600	120
6	PT-TN/HW	95	103	103	157	169	627	125
7	TN/HW-PH	93	96	103	157	169	618	124
8	Ph-HW/WA	93	97	102	160	179	631	126
9	WA/SA-OK	93	97	102	160	179	631	126
10	OK	93	97	102	160	179	631	126



**Figuur 6: aantallen transporten met brandbare gassen (GF2) (totalen voor 2004-2008)**

In de 5-jaar periode (2004-2008) hebben maximaal 1385 (geladen) GF2 trips plaatsgevonden (tussen Cadzand & Terneuzen). Ten oosten van Terneuzen betreft het circa 630 trips. Ten opzichte van de periode 1998-2002 betekent dit een toename in GF2-transporten van 13-25% ten westen van Terneuzen en een afname van 6-10% ten oosten van Terneuzen (richting Antwerpen). De vergelijking met de vorige periode wordt hier enkel vermeld omwille van de invloed op de externe risico's. Er dient op gewezen te worden dat de bevraging van de SRK-databank op een veel uitvoeriger manier is gebeurd dan in de Basisstudie en dat in die zin de vergelijking relatief is.

**Tabel 9 – Aantal geladen schepen met brandbare gassen (GF3) per segment (totaal periode 2004-2008)**

Nr	segment	2004	2005	2006	2007	2008	Totaal over 2004-2008	Gemiddeld per jaar
1	OG-VL/PV	502	516	548	493	443	2502	500
12	RZ-VL/PV	617	637	712	710	617	3293	659
2	PV-VL/BO	1120	1155	1261	1201	1058	5795	1159
3	VL/BO-PVB	1038	1054	1142	1113	959	5306	1061
4	PVB-BO/TN	1038	1054	1142	1113	959	5306	1061
5	BO/TN-PT	775	787	856	825	624	3867	773
6	PT-TN/HW	775	787	857	823	623	3865	773
7	TN/HW-PH	772	787	857	823	623	3862	772
8	Ph-HW/WA	775	788	857	832	624	3876	775
9	WA/SA-OK	775	788	857	832	624	3876	775
10	OK	775	788	857	832	624	3876	775



**Figuur 7: aantallen transporten aan brandbare gassen (GF3) (totalen voor 2004-2008)**

In de 5-jaar periode (2004-2008) hebben maximaal ca 5800 (geladen) GF3 trips plaatsgevonden (tussen Cadzand & Terneuzen). Ten oosten van Terneuzen betreft het circa 3875 trips. Ten opzichte van de periode 1998-2002 betekent dit een toename in GF2-transporten van 64-87% ten westen van Terneuzen en een toename van 50% ten oosten van Terneuzen (richting Antwerpen). De vergelijking met de vorige periode wordt hier enkel vermeld omwille van de invloed op de externe risico's. Er dient op gewezen te worden dat de bevraging van de SRK-databank op een veel uitvoeriger manier is gebeurd dan in de Basisstudie 2003 en dat in die zin de vergelijking relatief is.



## 4 IDENTIFICATIE VAN GEVAREN & DEFINITIE FAALSCENARIO'S

### 4.1 Identificatie van gevaren

De identificatie van gevaren is gericht op die ongevalsscenario's (en daarbij betrokken gevaarlijke stoffen) die significante schadelijke consequenties kunnen hebben op blootgestelde personen op de oevers van de Westerschelde, zoals de plaatselijke bevolking. Derhalve werden enkel zeeschepen die meer dan 100 ton gevaarlijke stoffen in bulk vervoeren beschouwd (zie hoger) met een aanvaringsscenario waarbij andere zeeschepen de ladingtank penetreren en waardoor de gevaarlijke stof in de atmosfeer terecht kan komen. De categorieën GT3 (gas, toxisch), GF2 (gas, flammables) en GF3 zijn geselecteerd als de stofcategorieën die op de oever mogelijk nog schadelijke effecten zouden kunnen opleveren. Brandbare en toxische vloeistoffen hebben geen significante bijdrage aan het externe risico op land en worden derhalve niet meegenomen in de faalscenario-definitie.

Conform de Basisstudie 2003 kan gesteld worden dat watervrij en tot vloeistof gekoeld ammoniakgas de enige toxische stof is, die beschouwd hoeft te worden, aangezien het gas maatgevend is voor het totale risico op vergiftiging en veruit het merendeel van de GT3-transporten omvat. Analooq hieraan is gekoeld en drukhoudend butaan representatief voor de GF2-stoffen. Gekoeld en drukhoudend ethyleen en propaan zijn representatief voor de GF3-stoffen.

De keuze voor de faalscenario's en de gehanteerde grootten van de lekkages zijn gemodelleerd conform de definitie in het "Protocol Risicoanalyse Zee- en binnenvaart" (ref 2<sup>3</sup>), waarbij een diameter van 250 mm wordt aangehouden als representatieve grootte voor een kleine lekkage en 1100 mm is gedefinieerd als een standaardwaarde 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.

### 4.2 Verschillende scheepstypen

In Tabel 10 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 ammoniakvaarbewegingen.

<sup>3</sup> Het Protocol Risicoanalyse Zee- en binnenvaart is in 2001 ontwikkeld in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat als handleiding voor het uitvoeren van risicoanalyses voor vaarwegen waar zowel binnenvaart als zeevaart voorkomt. Momenteel (juli 2011) loopt een project waarin een nieuwe handleiding wordt opgesteld voor risicoanalyses van diverse transportmodaliteiten, waarin dit protocol zal worden geïntegreerd. Dit nieuwe instrument – aangeduid met de term HART – zal naar verwachting de formele opvolger zijn van het Procol Risicoanalyse Zee- en binnenvaart uit 2001.

**Tabel 10–Verdeling van ammoniak zeeschepen**

Ammoniak Transportschip Massaverplaatsing per categorie (2)	Grootte Schip per categorie (3)	Tankinhoud in m <sup>3</sup> (1)	Percentage Ammoniak- transporten Westerschelde	Type Vorraadtank	Percentage NH <sub>3</sub> Transport- schepen met Cylindervormige Tanks	Percentage NH <sub>3</sub> 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%
			<b>100.00%</b>			

- (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 (Basic Data Westerschelde, 2003).
- (3) Categorie indeling 6 & 7 staat voor SMALL, 8 & 9 staat voor MEDIUM & 10 staat voor LARGE ammoniak transporterende zeeschepen.

In de navolgende tabellen Tabel 11 en Tabel 12 zijn dezelfde relevante data voor butaan (GF2 - stoffen) respectievelijk voor ethyleen en propaan (GF3 - stoffen) opgenomen.

**Tabel 11 – Verdeling van GF2 (Butaan) zeeschepen**

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 <sup>3</sup> (1)	Capaciteit Gekoelde Cylinder- vormige Tanks in m <sup>3</sup> (1)	Capaciteit Gekoelde Hoek- vormige Tanks in m <sup>3</sup> (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%			
		<b>100.00%</b>						

Tabel 12– Verdeling van GF3 (ethyleen en propaan) zeeschepen

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 <sup>3</sup> (1)	Capaciteit Gekoelde Cylinder- vormige Tanks in m <sup>3</sup> (1)	Capaciteit Gekoelde Hoek- vormige Tanks in m <sup>3</sup> (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%	2200	1250	4000
8 (10-20,000T)	M	21.00%	17%	77%	6%			
9 (20-40,000T)	M	9.40%	15%	4%	81%	-	-	8000
10 (40-60,000T)	L	1.10%	0%	0%	100%			
11 (60-80,000T)	L	0.30%	0%	0%	100%			
		<b>100.00%</b>	<b>Propana</b>	<b>Ethyleen</b>	<b>Propana</b>	<b>Propana</b>	<b>Ethyleen</b>	<b>Propana</b>

- (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 (Basic Data Westerschelde, 2003).
- (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.

### 4.3 Uitstroming na aanvaring

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 maritieme 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 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, respectievelijk aangeduid met de afkorting WL (waterline) en B (bottom) in

de scenarionamen. De plaats van het lek speelt een belangrijke rol in de uitstroom/brontermberekening omdat het de uitstroomdruk en de maximale uitstroomhoeveelheid bepaalt. Voor 'waterline' lekkages is de maximale hoeveelheid die zich snel zou kunnen vrijzetten de hoeveelheid in de ladingtank die zich boven de leklokatie bevindt (voor zowel druk als gekoeld transport). De rest van de inhoud van de ladingtank zal zich daarna geleidelijker kunnen vrijzetten. De initiële uitstroom wordt gedreven door ongeveer 5,5 meter statische hoogte voor gekoeld transport of 5,5 meter statische hoogte + de verzadigde dampdruk (saturated vapour pressure, SVP) voor druktransport. Daarbij neemt de drijvende kracht voor de uitstroming (de statische druk in de tank) af tijdens het leegstromen van de ladingtank.

Na de initiële uitstroming wordt een langzame tweerichtingen stroming door het gat verwacht, waarbij water in de ladingtank instroomt en als gevolg van de hogere dichtheid indaalt in de ladingtank, daarbij meer gevaarlijke lading naar buiten duwend. Dit proces zal doorgaan net zolang totdat de gehele gevaarlijke lading is vrijgezet.

Voor lekkages onder de waterlijn van druktransport zal de totale hoeveelheid in een ladingtank vrijgezet worden. Voor gekoeld transport is de situatie complexer. De maximale hoeveelheid die snel kan uitstromen wordt bepaald door het punt waarop hydrostatisch evenwicht is bereikt tussen de lading in de ladingtank en de waterdruk buiten de ladingtank, die afhankelijk is van de opslagtemperatuur en dichtheid van de gevaarlijke lading. Het resultaat van dergelijke berekening wordt getoond in onderstaande Tabel 13.

**Tabel 13: Netto vloeistofkolom hoogte voor lekken van scheepstanken met tot vloeistof gekoelde gassen**

Diepte van het gat tov de waterlijn	Netto hoogte van de vloeistofkolom voor uitstroom			
	NH3 @ -33C; densiteit 0.681	C3 @ -42C; densiteit 0.583	C2= @ - 104C; densiteit 0.569	C4 @ -0.9C; densiteit 0.603
0	5.5	5.5	5.5	5.5
1	5.0	4.8	4.7	4.8
2	4.6	4.1	4.0	4.2
3	4.1	3.4	3.2	3.5
4	3.6	2.6	2.5	2.9
5	3.2	1.9	1.7	2.2
6	2.7	1.2	1.0	1.5

De modellering omvat zowel de primaire als secundaire uitstroom van de gevaarlijke lading. Aangenomen is dat bij zowel WL als B lekkages een secundaire uitstroom zal plaatsvinden, echter dat deze secundaire uitstroom verwaarloosd mag worden (zie Engelstalige rapport van basisstudie 2003 voor andere onderbouwing hiervan).

#### 4.4 Definitie Faalscenario's

Op grond van de gevaaridentificatie in hoofdstuk 4.1. en conform de Basisstudie 2003 zijn de onderstaande faalscenario's (Tabel 14, Tabel 15, en Tabel 16) gedefinieerd, uitgedrukt in de parameters druk, temperatuur, massa, grootte van het lek, en snelheid waarmee de ontstane damp zich verspreidt.

**Tabel 14 - 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 <sup>3</sup> )	Plaats Lekkage - Waterlijn of Bodem	Netto vloeistof(kolom) hoogte (m)	Uit-stroom Tanks (m <sup>3</sup> )	Massa Ver-dampt NH <sub>3</sub> (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 15: 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 <sup>3</sup> )	Plaats Lekkage - Waterlijn of Bodem	Netto vloeistof(kolom) hoogte (m)	Uit-stroom Tanks (m <sup>3</sup> )	Massa Ver-dampt NH <sub>3</sub> (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 <sup>4</sup> +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%

<sup>4</sup> SVP: saturated vapour pressure

**Tabel 16: GF3 (Ethyleen & Propaan) Faalscenario's**

Stof	Grootte Schip - Small Medium Large	Tank - Cylinder (C) of Hoekvormig (P)	Tank Drukhouwend (P) of Gekoeld (R)	Tank - Inhoud (m <sup>3</sup> )	Plaats Lekkage - Waterlijn of Bodem	Netto vloeistof (kolom) hoogte (m)	Uitstroom Tank (m <sup>3</sup> )	Massa Verdamp NH <sub>3</sub> (ton)	250mm Lekkage: - Verdamping Snelheid (kg/s)	1100mm Lekkage: - Verdamping 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 Drukhouwend	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<sub>3</sub>)
- 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

De gevolgen van het vrijkomen van brandbare en/of toxische gassen zijn gemodelleerd met het softwarepakket Phast Risk versie 6.6. Phast Risk is een veelomvattend computersimulatieprogramma en wordt veel gebruikt bij het uitvoeren van kwantitatieve risicoanalyses in de industrie, zowel in België en Nederland als ver daarbuiten. Phast Risk 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. Ter aanvulling van onderstaande discussie worden de voornaamste parameters zoals gebruikt in het risicomodel vermeld in Appendix 3.

### 5.1 Ammoniak

#### 5.1.1 Ammoniakuitstroming en dispersie

Een specifieke studie naar het uitstromingsgedrag van ammoniak was – als onderdeel van de basisstudie 2003 – uitgevoerd door TNO. Dit resulteerde in onder andere de volgende conclusies::

- Voor lekkages onder de waterlijn zal ammoniak opstijgen naar de waterlijn, waarbij 35% van het ammoniak effectief oplost in het oppervlaktewater.
- Ammoniak op de waterlijn zal zich uitspreiden over het wateroppervlak, met een uitstroomsnelheid en plasverspreiding gebalanceerd door 80% ammoniak oplossen en 20% verdampen. Voor lekkages onder de waterlijn betekent dit dat  $0,65 \times 20\% = 13\%$  van de vrijgezette ammoniak zal verdampen.

Een ander onderwerp dat in de Basisstudie 2003 uitvoerig is besproken en geanalyseerd betrof de dispersie van een zich boven water ontwikkelde ammoniakwolk. Teneinde een zogenaamde neutrale dispersie te verkrijgen – hetgeen wordt onderbouwd middels diverse experimentele testen – werd een specificering van de faalscenario's uitgewerkt. Daarbij werd onder andere de molecuulmassa van ammoniak verdubbeld, zodat in de simulatiesoftware (PHAST als onderdeel van het Phast Risk softwarepakket) een neutraal gas gedrag werd verkregen. Het Engelstalige rapport van de Basisstudie 2003 beschrijft in detail de gevolgde werkwijze. Onderdeel hiervan vormde ook een gevoeligheidsanalyse waarbij de dispersie van ammoniak met een zwaar gas model is doorgerekend. Dit kon worden geforceerd door wederom een dubbele molecuulmassa te hanteren en daarnaast 20% van het dampuitstroomdebiet als kleine ingesloten druppeltjes (met diameter van  $2E-5$  mm) aan te nemen.

Verderop zijn de effectafstanden voor ammoniak in tabelvorm gepresenteerd voor 1% letaliteit (LC1).



## 5.1.2 Ammoniak Probit

Zoals in de basisstudie 2003 overeengekomen met de begeleidingsgroep werd een speciale ammoniakprobitfunctie afgeleid, gebaseerd op de volgende formeel vastgestelde probit functies.

- Nederlandse probit:  $Pr = - 15.6 + 1 * \ln (C^2 * t)$
- Vlaamse probit voor normale groepen:  $Pr = - 34.7 + 1.85 * \ln (C^2 * t)$
- Vlaamse probit voor gevoelige groepen:  $Pr = - 56.84 + 3.04 * \ln (C^2 * t)$
- Standaard probit vastgesteld binnen DNV:  $Pr = - 9.3 + 0.71 * \ln (C^2 * t)$
- UK HSE probit:  $Pr = - 41.55 + 2.324 * \ln (C^2 * t)$

Met 'C' uitgedrukt in  $\text{mg/m}^3$  en t in minuten.

De composiet ammoniak probit functie die hieruit resulteerde was:

$$Pr = -22.83 + 1.296 \ln (c^2 \times t)$$

Nu met "C" in ppm (t.b.v. de invoer in het softwarepakket Phast Risk) en "t" in minuten

## 5.2 Brandbare stoffen

### 5.2.1 Uitstromingsgedrag

Belangrijk in de modellering van een (onder-water) uitstroming uit een gat in de ladingtank is de afremming door het oppervlaktewater, het opstijgen ervan naar de waterlijn door verschil in dichtheid met het omringende water en vervolgens de uitspreiding als plas, waarna plasverdamming zorgt voor een zich vormende en met de wind mee afdrijvende brandbare dampwolk. De grootte van het plasoppervlak zal snel toenemen, totdat een evenwicht is bereikt tussen de snelheid waarmee het tot vloeistof verdichte gas uit het gat uitstroomt en de snelheid waarmee verdamping plaats vindt.

Teneinde zo realistisch mogelijk de verdamping te modelleren zijn alle (verdampings-)scenario's verticaal gemodelleerd met een snelheid kleiner dan 5 m/s (door de druk te kiezen op 0.2 mbar en voor de gastemperatuur 1 graad boven de gekoelde vloeistof temperatuur aan te houden). De grootte van het verdampings "window" (hole size) was dan gespecificeerd om de vereiste plasverdampingsnelheid te verkrijgen. Deze varieerde tussen 5 en 50 meter, afhankelijk van de berekende verdampingsnelheid

### 5.2.2 Effectmodellering

Alle brandbare gas dispersies zijn zwaar gas dispersies. Voor gekoeld ethyleen wordt dit veroorzaakt door de erg lage opslagtemperatuur ( $-100^\circ\text{C}$ ); voor butaan en propaan komt dit door hun molecuulmassa. Phast Risk bevat 20 ingebouwde gebeurtenissenbomen die de verschillende vervolgebeurtenissen en effecten bepalen op grond van de ingevoerde faalscenario's en berekende uitstromingsparameters. Voor de berekening van de effecten van brandbare gassen

leidt directe ontsteking tot plasbrandeffecten<sup>5</sup> en vertraagde ontsteking tot wolkbranden of dampwolkexplosies.

### 5.2.3 Schadecriteria

Zoals eerder aangegeven worden in de modellering de volgende mogelijke schadegevolgen meegenomen:

- Intoxicatie;
- Blootstelling aan warmtestraling van een plasbrand;
- Blootstelling aan warmtestraling van een wolkbrand;
- Dampwolkexplosies.

De kwantitatieve risicoanalyse vraagt vervolgens om een aantal invoerparameters ten einde de schadeberekening voor individuen en groepen zo accuraat mogelijk te kunnen uitvoeren. Een aantal van deze parameters wordt hieronder kort toegelicht (waarbij de originele term uit de Phast Risk software wordt aangehouden om verwarring te voorkomen).

#### Populatie binnen en buiten.

Voor de dag – groepsrisicoberekeningen wordt aangenomen dat 93% van de populatie zich binnenshuis bevindt (en dus enige bescherming ondervindt) en 7% buitenshuis. Voor de nachtsituatie is ervan uitgegaan dat 99% van de populatie binnen is en 1% buiten. Deze verdeling werd gehanteerd voor het volledige populatiebestand.

#### Impact Criteria voor Toxische Dampen

De toxische belasting voor blootgestelden binnenshuis wordt verondersteld op 10% van de zogenaamde outdoor fatality impact (die 100% bedraagt).

#### Impact Criteria voor brandbare stoffen

Vertraagde ontsteking is gemodelleerd met 60% wolkbrand als vervolgebeurtenis en 40% explosie, zoals ook is voorgeschreven in het Protocol Risicoanalyse Zee- en binnenvaart.

Voor fakkelbranden werd in de Basisstudie 2003 het impact niveau voor doding door warmtestraling ingesteld op 20 KW/m<sup>2</sup> voor een blootstellingsduur van 20 seconden. Vervolgens wordt aangenomen dat 70% van de blootgestelden buitenshuis overlijden en 10% van de blootgestelden binnenshuis. Onder de 20kW/m<sup>2</sup> werd geen doding verondersteld. Er werd toen

<sup>5</sup> Omdat de faalscenario's zijn opgezet als (verticale) gasuitstromingen met een lage snelheid (om plasverdamping te simuleren) berekent de software een diffuse verticale fakkelbrand na directe ontsteking in plaats van een plasbrand. Dit is echter niet kritiek omdat de effectafstanden van een plasbrand en een verticale fakkelbrand vergelijkbaar zijn en niet tot land reiken.

aangegeven dat dit niet volledig in lijn was met het Paarse Boek<sup>6</sup>, omdat dit modeltechnisch niet kon.

De berekeningen zijn in de huidige software versie wel te detailleren en overeenstemming met de Paarse Boek (Handleiding Risicoberekeningen)-aanpak kan wel worden bereikt. Voor de risicoanalyse werd dus het impact niveau voor doding door warmtestraling ingesteld op 35 KW/m<sup>2</sup> voor een blootstellingsduur van 20 seconden. Vervolgens wordt aangenomen dat 100% van de blootgestelden buitenshuis overlijden en 100% van de blootgestelden binnenshuis boven deze waarde. Beneden de 35kW/m<sup>2</sup> wordt een warmtestralingsprobit gebruikt om het dodingsniveau buiten te bepalen. Voor mensen binnenshuis is de doding onder de 35kW/m<sup>2</sup> gelijk gesteld aan 0%. De gebruikte probit voor de warmtestraling van koolwaterstofbranden is de volgende:

$$Pr = -36.38 + 2.56 * \ln(I^{4/3} \cdot t)$$

waarin :

- |   |   |  |
|---|---|--|
| t | : | blootstellingstijd in s;                     |
| I | : | warmtestralingsbelasting in W/m <sup>2</sup> |

Voor wolkbranden is het gevaarsbereik identiek aan de omvang van de LFL-contour, waarbij 100% van de blootgestelden buitenshuis overlijdt en 10% van de blootgestelden binnenshuis.

De explosie-efficiëntie in de risicosoftware is ingesteld op 10%. De impactcriteria voor overdruk zijn ingesteld op 0.1 en 0.3 bar overdruk voor respectievelijk lichte en zware gebouwschade. Het dodingsniveau is dan:

- 100% voor binnenshuis, 30% voor buitenshuis binnen de 0.3 barg contour;
- 30% voor binnenshuis, 10% voor buitenshuis tussen de 0.3 en 0.1 barg contour.

---

<sup>6</sup> Het Paarse Boek is ondertussen vervangen door de Handleiding Risicoberekeningen Bevi (RIVM). De verwijzing naar het Paarse Boek wordt behouden voor zover er inhoudelijk geen implicaties zijn.

### 5.3 Effectmodellering

Tabel 18 & Tabel 19 tonen de 1% letaliteitseffectafstanden (LC1) voor alle faalscenario's (ammoniak en brandbare gassen) zoals in voorliggende studie berekend<sup>7</sup>. De resultaten worden gepresenteerd voor 2 representatieve weerscondities (D 5 en F 1,5).

**Tabel 17 – Overzicht van de gebruikte weerscondities**

	Windsnelheid (m/s)	Pasquill Stabiliteitsklasse
<b>F1.5</b>	1.5	F: stabiel – nacht met gemiddelde wolken en licht/zachte wind
<b>D5</b>	5	D: neutraal – weinig zon en harde wind of bewolking/winderige nacht

Opgemerkt wordt dat de effectafstanden hetzelfde zijn voor alle mogelijke aanvaringslocaties op de Westerschelde. De uitstroomb frequenties zijn echter wel anders.

**Tabel 18– Ammoniak effectafstanden**

Faalscenario	Inhoud (Ton)	Vrijgezette massa (Ton)	Verdampte massa (Ton)	Verdampingsnelheid (kg/s)	Duur (Min)	D5 LC1 Effectafstand (m)	F1.5 LC1 Effectafstand (m)
SCR-WL-250-NH3	272	120	24	42	9.5	338	789 m
SCR-WL-1100-NH3	272	120	24	813	0.5	604	709 m
MCR-WL-250-NH3	1532	674	135	42	54	518	909 m
MCR-WL-1100-NH3	1532	674	135	813	3	1224	1509 m
SCR-B-250-NH3	272	59	8	19	7	222	498 m
SCR-B-1100-NH3	272	59	8	370	0.4	397	415 m
MCR-B-250-NH3	1532	330	43	19	38	321	597 m
MCR-B-1100-NH3	1532	330	43	370	2	788	929 m
MPR-WL-250-NH3	3065	1348	270	42	> 60 min	534	932 m
MPR-WL-1100-NH3	3065	1348	270	813	6	1265	2047 m
LPR-WL-250-NH3	4086	1798	360	42	> 60 min	534	932 m
LPR-WL-1100-NH3	4086	1798	360	813	7	1317	2333 m
MPR-B-250-NH3	3065	659	86	19	> 60 min	374	654 m
MPR-B-1100-NH3	3065	659	86	370	4	850	1242 m
LPR-B-250-NH3	4086	878	114	19	> 60 min	376	656 m
LPR-B-1100-NH3	4086	878	114	370	5	886	1398 m

<sup>7</sup> Het betreft hier de resultaten zoals verkregen uit de effectsimulaties met PHAST RISK 6.2, die ook voor de huidige situatie een goede inschatting geven voor de reikwijdte van de mogelijke toxische en brandbare effecten.

**Tabel 19– Effectafstanden brandbare gassen (afstand tot LFL)**

Faalscenario	Inhoud (Ton)	Vrijgezette massa (Ton)	Verdampte massa (Ton)	Verdampingsnelheid (kg/s)	Duur (Min)	D5 LC1 Effectafstand (m)	F1.5 LC1 Effectafstand (m)
MPR-WL-250-C4	2400	1061	1061	184	> 60 min	328	752
MPR-WL-1100-C4	2400	1061	1061	3567	5	1853	2167
LPR-WL-250-C4	4800	2123	2123	184	> 60 min	328	752
LPR-WL-1100-C4	4800	2123	2123	3567	10	1533	2887
MPR-B-250-C4	2400	299	299	96	52	239	1527
MPR-B-1100-C4	2400	299	299	1862	3	1128	1295
LPR-B-250-C4	4800	598	598	96	> 60 min	239	527
LPR-B-1100-C4	4800	598	598	1862	5	1063	1725
SCP-WL-250-C4	380	167	167	330	8	433	1070
SCP-WL-1100-C4	380	167	167	6391	0.4	835	1001
MCP-WL-250-C4	644	283	283	330	14	433	1368
MCP-WL-1100-C4	644	283	283	6391	0.7	1027	1245
LCP-WL-250-C4	1500	644	644	330	33	433	1896
LCP-WL-1100-C4	1500	644	644	6391	2	1434	1765
SCP-B-250-C4	380	380	380	29	> 60 min	128	267
SCP-B-1100-C4	380	380	380	5668	1	1175	1408
MCP-B-250-C4	644	644	644	29	> 60 min	128	267
MCP-B-1100-C4	644	644	644	5668	2	1455	1759
LCP-B-250-C4	1463	1463	1463	29	> 60 min	128	267
LCP-B-1100-C4	1463	1463	1463	5668	4	2066	2475
MPR-WL-250-C3	2332	1026	1026	179	> 60 min	124	660
MPR-WL-1100-C3	2332	1026	1026	3461	5	1758	1948
LPR-WL-250-C3	4664	2052	2052	179	> 60 min	310	660
LPR-WL-1100-C3	4664	2052	2052	3461	10	1398	2597
MPR-B-250-C3	2332	226	226	84	45	213	436
MPR-B-1100-C3	2332	226	226	1616	2	981	1056
LPR-B-250-C3	4664	452	452	84	> 60 min	213	436
LPR-B-1100-C3	4664	452	452	1616	5	925	1406
SCP-WL-250-C3	659	290	290	768	6	675	1177
SCP-WL-1100-C3	659	290	290	14863	0.3	1029	1120
MCP-WL-250-C3	1115	491	491	768	11	675	1482
MCP-WL-1100-C3	1115	491	491	14863	0.6	1257	1387
SCP-B-250-C3	659	659	659	755	15	669	1711
SCP-B-1100-C3	659	659	659	14623	0.8	1403	1585
MCP-B-250-C3	1115	1115	1115	755	25	669	2157
MCP-B-1100-C3	1115	1115	1115	14623	1	1735	1958
SCR-WL-250-C2	569	250	250	174	24	322	433
SCR-WL-1100-C2	569	250	250	3368	1	1084	832
MCR-WL-250-C2	711	313	313	174	30	322	433
MCR-WL-1100-C2	711	313	313	3368	2	1177	921

Faalscenario	Inhoud (Ton)	Vrijgezette massa (Ton)	Verdampte massa (Ton)	Verdampingsnelheid (kg/s)	Duur (Min)	D5 LC1 Effectafstand (m)	F1.5 LC1 Effectafstand (m)
SCR-B-250-C2	569	44	44	74	10	221	297
SCR-B-1100-C2	569	44	44	1437	0.5	576	431
MCR-B-250-C2	711	55	55	74	12	221	297
MCR-B-1100-C2	711	55	55	1437	0.6	619	465

In onderstaande figuur wordt het invloedsgebied weergegeven. Het invloedsgebied kan worden waarbinnen gedefinieerd als het gebied waarbij dodelijke slachtoffers kunnen vallen door een ongeval met een gevaarlijke stof. Meer specifiek wordt het invloedsgebied afgebakend door de 1%-letaliteitsgrens.

**Figuur 8 – Invloedsgebied (maximale 1% lethaliteitsafstand) voor het gebied van de Westerschelde**





## 6 AANVARINGSFREQUENTIE

### 6.1 Inleiding

De gemiddelde aanvaringsfrequentie voor ernstige aanvaringen tussen zeeschepen (met risico voor penetratie van de scheepswand) werd in de basisstudie 2003 berekend in functie van het totale aantal schadeklasse 4+5 aanvaringen<sup>8</sup> dat is opgetreden op de rivier gedurende de gekozen periode. Voor de periode 1998-2002 betrof dit 2 aanvaringen. Met behulp van een statistische bewerking werd in de basisstudie 2003 een gemiddelde aanvaringsfrequentie bepaald van 0.78 per jaar voor de volledige Westerschelde (algemeen voor zeeschepen) op grond van een betrouwbaarheidsinterval van 75%.

In de actualisatiestudie 2011 wordt een nieuwe aanvaringsfrequentie berekend op grond van een langere periode waarover aanvaringen op de Westerschelde zijn geanalyseerd. De nieuwe periode is vastgesteld op 1998-2008. De bepaling van de aanvaringsfrequentie en –kansverdeling over de verschillende riviersegmenten is enigszins aangepast ten opzichte van de basisstudie naar aanleiding van een doorgedreven discussie met de Expertgroep. Mede omdat het aantal daadwerkelijk waargenomen aantal aanvaringen op de Westerschelde daalt, werd ten behoeve van deze actualisatiestudie een statistische benadering toegepast voor de vaststelling van het verwachte aantal aanvaringen (methode van Hauer).

### 6.2 Aanvaringsfrequentie

Er kan een nieuwe/actuele aanvaringsfrequentie voor elk vaarwegdeel van de Westerschelde worden bepaald, omdat aanvaringscasuïstiek tot en met het jaar 2008 nu beschikbaar is. DNV heeft de gegevens verzameld en geanalyseerd op basis van de data uit:

- a. Rapport 'Monitoring veiligheid Scheldegebied 2008' (d.d. 16 oktober 2009), opgesteld door Rijkswaterstaat Zeeland (ref 3);
- b. (excel) Incidenten-lijsten van RWS/DVS, wel in verschillend formaat voor de verschillende jaren;

Van de ongevallen die zich in de laatste 5 jaar periode 2003-2008 hebben voorgedaan, konden er 2 geklasseerd worden als ernstige aanvaringen. Het betreft hier de volgende aanvaringen.

*20-7-2003*

*De Pelican 1 in het Nauw van Bath uit koers en werd aangevaren door de Maersk Bahrein. De Pelican 1, geladen met onder meer 70 ton zoutzuur in gasvorm en 70 ton waterperoxide, heeft zware schade opgelopen en is inmiddels ter hoogte van Bath tegen de wal gezet. Volgens de politie zijn vier containers zwaar beschadigd, maar het zou hierbij niet gaan om de containers met gevaarlijke stoffen. Daarnaast lekt het schip olie. De Maersk Bahrein kon ondanks de schade op eigen kracht naar de haven in Vlissingen-Oost varen.*

<sup>8</sup> Bij de schadeklassen 4+5 is sprake van een penetratie van de scheepswand. Enkel bij schadeklasse 5 is er sprake van het lekken van de laadruimte.



*11-12-2005*

*De Nina 1 en de Aleksandrov botsen tegen elkaar bij het verlaten van de **Kaloo sluis**. De Nina 1 loopt daarbij zware schade aan de machinekamer op en er is een man overboord.*

De 2 aanvaringen die vanuit de periode 1998 – 2002 reeds eerder werden geanalyseerd en meegenomen bij de berekening van de aanvaringsfrequentie zijn als volgt gespecificeerd:

*12-2-1998*

*De Tor Anglia was tegen stroom opvarend in het Oostgat richting Vlissingen, De Majestic kwam uit de richting Vlissingen en was afvarend voor stroom in de Galgeput richting Oostgat. De Majestic moest stuurboord uitdraaien het Oostgat in en heeft vermoedelijk te weinig stuurboordwal gehouden mede door een combinatie van sterke ebstroom en betrekkelijk hoge snelheid bij slecht zicht, waardoor een aanvaring ontstond. De schepen weken beiden naar stuurboord waardoor bakboord achterschepen tegen elkaar botsten. Dit leidde tot een gat in de buitenwand van de Tor Anglia.*

*22-1-1999*

*De buitenwand van de Hoo Swift was beschadigd en mogelijk gepenetreerd. De omschrijving van de schade was echter te vaag om duidelijke conclusies te trekken. Wel wordt opgemerkt dat de schade-omschrijving vergelijkbaar is met de aanvaring tussen de Majestic en de Tor Anglia waar penetratie van de buitenwand plaats vond.*

*Noot:*

*Na overleg met nautische experts is in 2003 geconcludeerd dat beide bovenstaande aanvaringen effectief als één aanvaring worden beschouwd bij de bepaling van de aanvaringsfrequentie op de Westerschelde.*

*17-12-2001*

*De aanvaring tussen de Gerd Siebum en de Lowlands Yarra resulteerde in twee ernstig beschadigde schepen, ondanks de scherpe gerapporteerde aanvaringshoek.*

Dit betekent dat er zich over de periode 1998-2008 in totaal 4 schadeklasse 4+5 aanvaringen hebben voorgedaan, ofwel gemiddeld 0.36 per jaar (eens in de drie jaar).

Omdat dergelijke ongevallen willekeurig zijn, wordt - net als in de Basisstudie 2003 – een statistische bewerking gehanteerd (chi-kwadraat met een zeker betrouwbaarheidsinterval) om een aangepaste waarde (een bovengrens) te berekenen voor de Westerschelde (waaronder met een zekere betrouwbaarheid dus kan worden aangenomen dat de feitelijke aanvaringsfrequentie zich zal bevinden). Uitgaande van een betrouwbaarheidsmarge van 50% wordt deze grens vastgesteld op 0.42 aanvaringen per jaar (dit betekent dat er 50% kans is dat er meer dan 0.42 aanvaringen per jaar zijn en 50% kans dat er minder dan 0.42 aanvaringen per jaar zijn). Ingeval er wordt uitgegaan van een betrouwbaarheid van 75% (zoals in de basisstudie 2003 is gehanteerd), dan bedraagt de scheepsschadefrequentie 0.57 aanvaringen per jaar.

In de actualisatiestudie 2011 wordt er voor gekozen om uit te gaan van een betrouwbaarheidspercentage van 50% als zijnde voldoende conservatief voor deze risicoanalyse. Dit omwille van het feit dat in kwantitatieve risicoanalyses per definitie een inschatting wordt gemaakt van de gemiddelde kans dat wordt verwacht dat een bepaalde ongewenste gebeurtenis zich kan voordoen.

Voor de bepaling van de aanvaringskans (schadeklasse 4+5) werd geen onderscheid gemaakt tussen grote en kleine zeeschepen, noch tussen gas carriers en andere zeeschepen. Gezien artikel 25 schepen niet mogen varen tijdens periodes met lage zichtbaarheid werd de aanvaringsfrequentie hiervoor aangepast. In de basisstudie werd hiervoor een reductiefactor van 30% (factor 0.7) gehanteerd (op basis van onderzoek van alle ongevallen in de periode 1998-2002). De informatie uit de ongevallen laat niet steeds eenduidig toe te bepalen wat de zichtbaarheid was, maar vertoont voor de geregistreerde aanvaringen over de periode 2003 – 2008 een gelijkaardige trend (ingeschat wordt dat zo'n 3 van de 10 geregistreerde aanvaringen vonden plaats bij beperkt zicht, dit is ook ca. 30%). Voor de huidige studieperiode 1998-2008 is de reductiefactor derhalve wederom berekend op 30%, oftewel een factor van 0,7.

### 6.3 Actuele aanvaringsdistributie

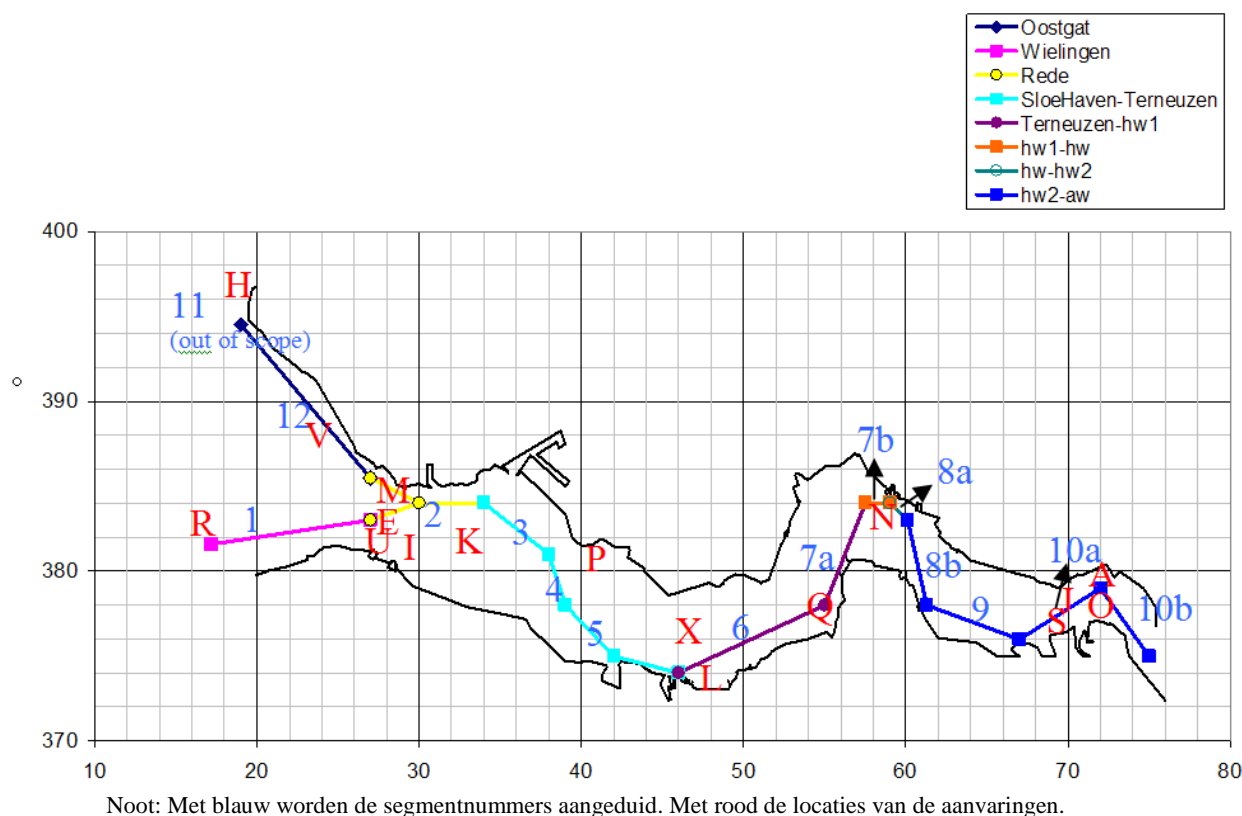
Voor het vaststellen van de aanvaringsfrequenties per vaarwegdeel wordt in de actualisatiestudie 2011 een gedetailleerdere (statistische) benadering gekozen dan in de basisstudie 2003. Belangrijkste reden hiervoor is dat het aantal daadwerkelijk waargenomen aanvaringen met zeeschepen op de Westerschelde steeds kleiner wordt, waardoor de waargenomen aanvaringslocaties steeds minder representatief zijn om een accurate verdeling te maken van de aanvaringen per locatie/segment indien de verdeling gebeurt op basis van de benadering uit de Basisstudie. Daarom worden de ongevalsdata zoals verkregen uit de beschikbare databestanden statistisch bewerkt om een verantwoorde verdeling over alle vaarwegdelen van de Westerschelde-rivier mogelijk te maken.

De analyse van relevante aanvaringen voor het vaststellen van de actuele aanvaringsverdeling uit de aangeleverde bestanden vanuit de SOS-databank is gebeurd op basis van de volgende criteria:

- Selectie op vaarwegnummer 131 (inclusief de subnummers, zoals 131c, j e.d.)
- Selectie op schip-schip aanvaringen
- Selectie op records waarbij tenminste 2 zeeschepen betrokken zijn (en dus geen aanvaringen waarbij één of beide van de schepen een binnenvaartschip was)
- Review van selectie met dhr. Schefferlie van RWS Zeeland en in een 2<sup>de</sup> fase met Erik Adan (Rijkswaterstaat) en Martin Mesuere (Agentschap MDK Vlaamse Overheid)
- Na gevoeligheidsanalyse van de ontwerpversie van deze actualisatiestudie is nogmaals een extra verificatie uitgevoerd van de geselecteerde aanvaringen. Hierbij werden alleen de incidenten geselecteerd, waarbij er een risico was tot penetratie van de ladingstank.

Op grond van deze data blijkt dat zich over de periode 1998-2008 16 relevante zv-zv aanvaringen te hebben voorgedaan (ten opzichte van 35 aanvaringen die over de periode 1990-2002 waren gehanteerd in de basisstudie 2003) De genoemde 16 zeeschip-zeeschip aanvaringen zijn met letters gelokaliseerd in Figuur 9.

Er kan opgemerkt worden dat er dus een belangrijke daling is van het totaal aantal ongevallen (35 over 13 jaar versus 16 over 11 jaar is een gemiddelde daling van bijna de helft) ten opzichte van de vorige referentieperiode. Op basis van de informatie uit de ontvangen excel-sheets is het eveneens mogelijk om de gerapporteerde aanvaringen in één van de 14 vaarwegsegmenten onder te brengen.



**Figuur 9: Segmentnummering (1-12) en locatie aanvaringen (A-Z) 1998-2008**

Tabel 20 - Aanvaringen per jaar (1998-2008)

Jaar	Aantal zeeschip-aanvaringen	Code	SOS-Dossierr <sup>9</sup>	Totaal aantal scheepsongevallen in Zeeland aangeleverd vanuit SOS
2008	1	A	20086337	61
2007	1	E	20074745	
2006	1 (2)	H	20062855 <sup>10</sup>	96
		I	20062502	
2005	2	J	20051356 *)	67
		K	20052029	
2004	2	L	2004486	32
		M	2004639	
2003	3	N	2003000164	79
		O	2003000456 *)	
		P	2003000157	
2002	0			82
2001	2	Q	2001000640 *)	88
		R	2001000926	
2000	1	S	2000000935	96
1999	0			
1998	3	U	1998000060	83
		V	1998000072 *)	
		X	1998000231	
<b>TOTAAL</b>	<b>16 (17)</b>			

In Tabel 21 worden alle ontvangen data samengenomen en verwerkt. De data uit de incident records 1998-2008 werden door DNV telkens in één van de 14 segmenten ingedeeld omdat de specifieke ongevalcoördinaten beschikbaar zijn (groene gedeelte in tabel). Dit betekent dat er in een aantal segmenten 0 ongevallen zijn geregistreerd en dus vermeld. Voor deze segmenten resulteert voornamelijk dus een fractie van 0.

<sup>9</sup> De nummers aangeduid met een \*) betreffen de schade-aanvaringen klasse 4+5 die zijn gehanteerd voor de vaststelling van de aanvaringsfrequentie.

<sup>10</sup> Opgemerkt wordt dat deze aanvaring zich heeft voorgedaan net buiten het studiegebied (segment Kalloo) en om die reden niet wordt meegenomen bij het bepalen van de aanvaringskansverdeling.

**Tabel 21: Verdeling van aanvaringen over de vaarwegdelen/segmenten**

Nr	OUDE DATA 1992-2002	verdeling	INCIDENTRECORDS 1998-2008	
	aantal aanvaringen 1990-2002		aantal relevante zv-zv aanvaringen	verdeling records 1998- 2008 naar 14 segmenten
1	0.5	0.014	1	0.063
12	2	0.058	1	0.063
2	9	0.261	5	0.313
3	8	0.066	0	0.000
4		0.039	1	0.063
5		0.127	0	0.000
6	9	0.158	2	0.125
7		0.103	1	0.063
	0.5	0.014	0	0.000
8	0.5	0.014	1	0.063
	5	0.024	0	0.000
9		0.049	0	0.000
10		0.040	3	0.188
		0.033	1	0.063
	34.5	1.00	16	1.000

Uit bovenstaande tabel blijkt dat:

- het aantal aanvaringen significant daalt (ongeveer met de helft);
- de verdeling van de aanvaringskans per segment redelijk overeenkomt met de oude verdeling qua trends (segment 2 – Rede van Vlissingen - scoort het hoogst, daarna segment 10 – laatste stuk voor grens);
- een aantal vaarwegdelen geen waargenomen aanvaringen kennen (maar statistisch gezien bestaat daar uiteraard wel een – zij het lage – kans op een aanvaring);
- de aantallen erg klein worden om een verantwoorde verdeling van de verwachte aantallen aanvaringen over alle vaarwegdelen/segmenten mogelijk te maken zonder gebruik te maken van een statistische aanpak.

## 6.4 Aanvaringsfrequentie per segment

De aanvaringsfrequentie per segment (aantal maal dat een schip naar verwachting zal worden aangevaren, uitgedrukt per jaar) kan worden verkregen door bovenstaande gegevens statistisch te bewerken. In het Protocol Risicoanalyse Zee- en binnenvaart wordt de Hauer-methode genoemd als mogelijkheid om de verwachte ongevalskans per locatie en per tijdseenheid te bepalen. Omdat significante schadegebeurtenissen (zoals aanvaringen) vaak per definitie laag-frequent voorkomen, kan een statistische benadering helpen om op grond van historische gegevens:

- een zo realistisch mogelijke verwachtingswaarde voor de aanvaringskans te kunnen opleveren (inclusief een wetenschappelijk verantwoorde invulling (fitting) voor riviersegmenten waar zich in de afgelopen periode geen aanvaringen hebben voorgedaan, maar waar naar de toekomst toe geen garantie kan worden gegeven dat dit ook niet zal gebeuren);
- middels betrouwbaarheidsanalyses een bandbreedte te kunnen berekenen waarbinnen de aanvaringsfrequentie zich zal bevinden (en waar met gekende betrouwbaarheidspercentages van bijvoorbeeld 50, 75% of 90% een specifieke verwachtingswaarde voor kan worden berekend).

Voorliggende beschouwing gaat nader in op de Hauer-methode, die een statistische bewerking omvat om te komen tot een verwachte waarde van de kans op een aanvaring op de verschillende riviersegmenten. Hierbij wordt beschreven op welke wijze de geregistreerde aanvaringen op de Westerschelde met deze methode kunnen worden verdeeld over de verschillende riviersegmenten. Voorwaarde voor deze methode is wel dat er voldoende gegevens beschikbaar zijn. Dit betekent dat de Hauer-methode wordt toegepast op de grootste verzameling beschikbare data, in dit geval alle zeevaart-zeevaart aanvaringen (met de potentie voor penetratie van de ladingwand) over de beschouwde tijdsperiode (dus de verzameling van 16 aanvaringen). Het toepassen van de Hauer-methode op de beschikbare, relevante aanvaringsdata van de Westerschelde levert de volgende uitwerking op. Een beschrijving van de Hauer-methode<sup>11</sup> is als bijlage 4 bij deze actualisatiestudie 2011 gevoegd.

Het verwachte aantal jaarlijkse ongevallen naar de toekomst toe voor een 'locatie' (in voorliggende studie gedefinieerd als een vaarwegdeel) waar gedurende k jaren  $\Sigma x$  ongevallen zijn geregistreerd kan volgens de Hauer-methode worden berekend middels de volgende formule:

$$\hat{T}_a = \Sigma x/k + \{ \bar{x} / [k(s_x^2 - \bar{x} + \bar{x}/k)] \} (\bar{x} - \Sigma x/k)$$

- k aantal opeenvolgende jaren waarin ongevallen zijn geregistreerd
- $\Sigma x$  totaal aantal ongevallen op de locatie gedurende de periode van k jaar
- Met de volgende formules worden de overige parameters bepaald:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k x_{ij} / rk$$

<sup>11</sup> Opgemerkt wordt dat de Hauer-methode zoals opgenomen in het Protocol Risicoanalyse Zee- en binnenvaart (uit 2001) enkele fouten bevat, doordat de oorspronkelijke tekst niet juist elektronisch is overgezet naar Microsoft Word. Daardoor zijn er in de formules van de versie in het Protocol een aantal fouten geslopen. De originele publikatie is als pdf-bestand aan dit memo toegevoegd en ook gebruikt in voorliggende beschouwing.

$$s_x^2 = \sum_i^r \sum_j^k (x_{ij} - \bar{x})^2 / rk.$$

Hierin zijn:

- r        aantal lokaties (voor de Westerschelde studie is dit 14 vaarwegdelen)
- x<sub>i,j</sub>    aantal ongevallen in jaar i op locatie j;  
           Het aantal x-en (ofwel het aantal datapunten in de verzameling) bedraagt 154 (15 segmenten x 11 jaar).

Met de methode Hauer wordt over alle vaarsegmenten in de Westerschelde een gemiddeld aantal aanvaringen per jaar berekend en vervolgens wordt bekeken in hoeverre de daadwerkelijke aantallen ongevallen per jaar en per locatie afwijken van dit gemiddelde. Deze afwijkingen van het gemiddelde ongevals cijfer worden vervat in s<sub>x</sub><sup>2</sup>.

De statistische onzekerheid bij kleinere getallen en aantallen is een belangrijke factor bij het interpreteren van de resultaten. Derhalve is het belangrijk om een zo groot mogelijke verzameling van datasets te hanteren, waarbij zo veel mogelijk de variatie in het aantal ongevallen van jaar tot jaar en van locatie tot locatie wordt meegenomen in de berekening: 3 ongevallen in 1 jaar is iets anders dan 1 ongeval per jaar in 3 jaar tijd. Het vergroten van het studiegebied is een mogelijkheid om meer data te betrekken voor het afleiden van een verdeling. Ook leidt dit er toe dat vooralsnog wordt uitgegaan van de verzameling van alle zeevaart-zeevaart aanvaringen en later pas een specificering wordt toegepast om uit te komen op het aantal te verwachten schadeklasse 4+5 aanvaringen.

Onderstaande Tabel geeft de het aantal ongevallen per jaar per segment weer voor de jaren 1998-2008.

**Tabel 22: Invoer van data t.b.v. statistische bewerking met de Hauer-methode**

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Totalen
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	5
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
7a	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
7b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8a	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
8b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10a	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	4
10b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	3	0	1	2	0	4	2	1	1	1	1	16



De Hauer methode verdeelt de daadwerkelijke aanvaringen over alle segmenten (ook segmenten zonder waargenomen aanvaringen krijgen een zekere kans toebedeeld). Deze bewerking levert de volgende aanvaringsfrequenties op voor zeevaart-zeevaart aanvaringen.

**Tabel 23: Aanvaringsfrequenties na statistische bewerking met de Hauer-methode**

Nr	aanvaringsfrequentie zeevaart-zeevaart na Hauer (per jaar)	aanvaringsfrequentie 4+5 na Hauer en met 50% betrouwbaarheidsmarge (per jaar)
1	0.101	0.029
12	0.101	0.029
2	0.170	0.050
3	0.084	0.025
4	0.084	0.025
5	0.101	0.029
6	0.119	0.035
7a	0.101	0.029
7b	0.084	0.025
8a	0.101	0.029
8b	0.084	0.025
9	0.084	0.025
10a	0.153	0.045
10b	0.084	0.025
Totaal	1.451	0.420

Opgemerkt wordt uit de eerste 2 kolommen in bovenstaande tabel dat:

- voor vaarwegdelen zonder daadwerkelijke aanvaringen een statistische aanvaringsfrequentie wordt verkregen;
- segment 2 (Rede van Vlissingen) de hoogste aanvaringsfrequentie kent;
- de totale aanvaringsfrequentie (1.451 bekomen via Hauer) overeenkomt met het quotient van 16 aanvaringen en 11 jaar.

Ook bij het toepassen van de methode van Hauer zijn de resultaten per segment in principe relatief ten opzichte van elkaar doordat de gegevens ten opzichte van een gemiddelde waarde over de hele Westerschelde worden vergeleken. Als dit gemiddelde significant verandert zullen de resultaten per segment mee veranderen. Bij een (te) klein aantal gegevens is dit effect altijd per definitie significant.

Het verwachte aantal aanvaringen per jaar (de aanvaringsfrequenties zoals hierboven berekend), dienen vervolgens nog te worden omgerekend naar verwachte waarden voor schadeklasse 4+5 aanvaringen omdat die aanvaringen relevant zijn voor de berekening van de uiteindelijke scheepsschadefrequentie. Voor deze omrekening dient de verhouding tussen N en  $N_{4+5}$  te worden gebruikt die uit de casuïstiek volgt. Voor de tijdsperiode 1998-2008 is deze 4 op 16, wanneer nog



zonder een betrouwbaarheidsinterval wordt gerekend. Wanneer wordt uitgegaan van een 50% betrouwbaarheidsmarge (voldoende conservatief, zie hoger) op het aantal zware aanvaringen, dan wordt deze verhouding 4.67 op 16, oftewel 0.29. Met andere woorden: de aanvaringsfrequenties dienen nog te worden vermenigvuldigd met deze factor, waarna de sloopschadefrequenties resulteren. Dit wordt weergegeven in de laatste kolom van bovenstaande tabel.

Uit bovenstaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De nieuwe berekening (op grond van 16 aanvaringen en met de methode van Hauer) toont een gelijkmatigere verdeling van de aanvaringsfrequentie over de Westerschelde, waarmee naar verwachting ook een robuuster risicomodel wordt verkregen.
- De aanvaringsfrequenties zijn significant lager dan berekend in de basisstudie 2003, hetgeen wordt verklaard door het lagere aantal geregistreerde aanvaringen over de periode 1998-2008 (zowel het gemiddelde aantal schadeklasse 4+5 aanvaringen als het aantal zeevaart-zeevaart aanvaringen dat gebruikt is voor de verdeling over de Westerschelde) en het hanteren van een betrouwbaarheidsmarge van 50% in plaats van 75%.

## 7 ANALYSE VAN DE LEKFREQUENTIES

### 7.1 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.

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 4 ernstige aanvaringen voorgedaan in de periode 1998-2008. 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.

Via het energiemodel werd een verbeterde schatting gemaakt 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.

### 7.2 Energiemodel: berekende lekfrequenties

De resultaten van de berekende lekfrequenties van gas transporterende zeeschepen zijn weergegeven in Tabel 24. De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van het energiemodel<sup>12</sup> voor elk van de 14 riviersegmenten en de in 4.4 gedefinieerde faalscenario's. Binnen elk van de 3 stofcategorieën wordt voor elk van de riviersegmenten aangegeven welke lekfrequenties zijn gehanteerd voor de gedefinieerde scenario's, respectievelijk voor een grote en kleine lekkage.

<sup>12</sup> In de Basisstudie 2003 werd het energiemodel toegepast voor gebruik voor de Westerschelde.



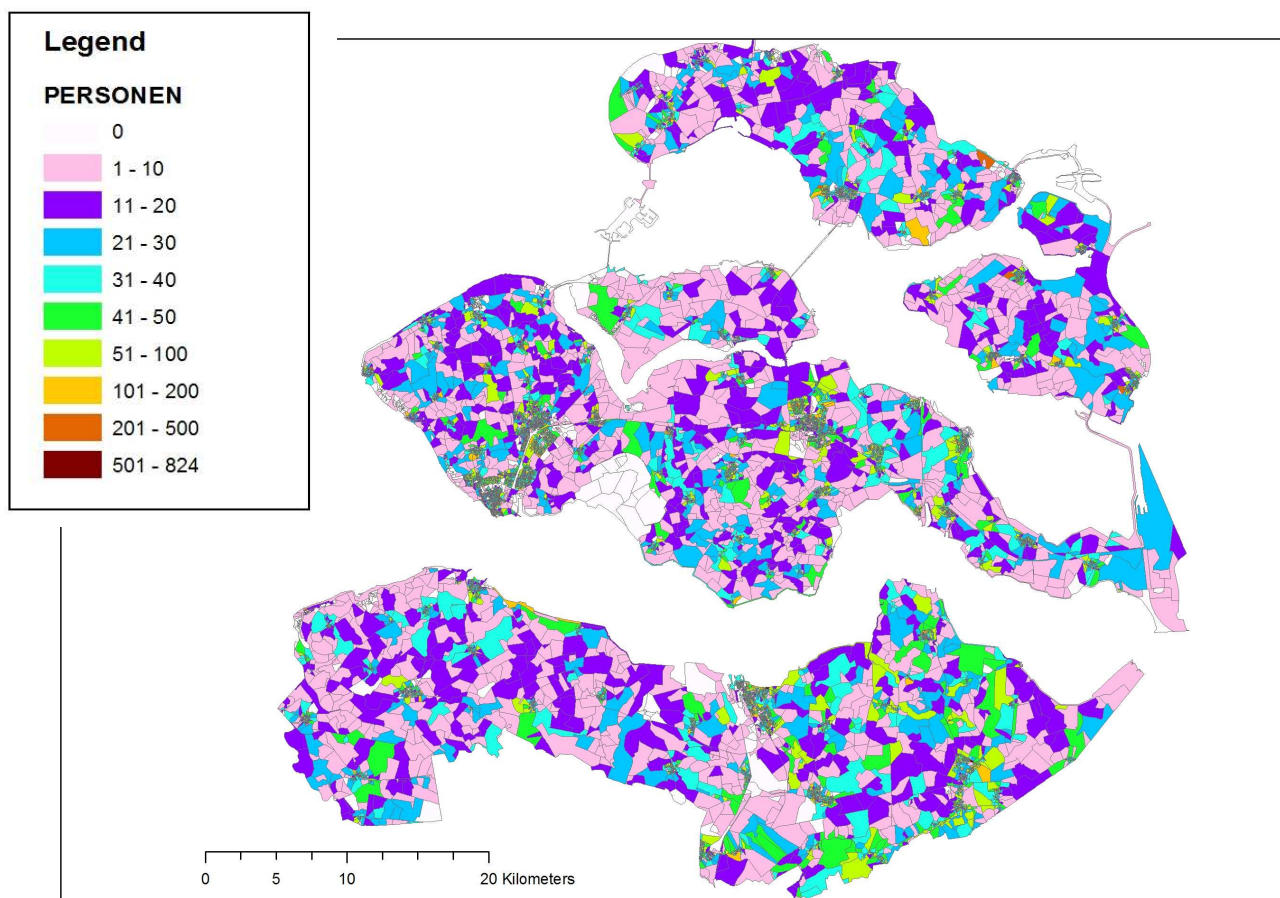
Tabel 24: Resultaten van de lekfrequentie analyse (gebruik makend van het energiemodel)

Ammonia failure cases	Segment 1 (Wielingen)		Segment 2 (Rede van Vlissingen)		Segment 3 (Vlissingen - PVB)		Segment 4 (PVB-BOTN)		Segment 5 (BOTN-Terneuzen)		Segment 6 (Terneuzen -TNHW)		Segment 7a (TNHW-HW1)		Segment 7b (HW1 - HW)		Segment 8a (HW - HW2)		Segment 8b (HW2 - HWWA)		Segment 9 (HWWA-WASA)		Segment 10a (WASA-OK)		Segment 10b (OK-AW)		Segment 12 (Oostgat)	
	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak
	SCR-WL-NH3 (250 or 1100)	1.43E-10	2.42E-11	6.50E-10	3.97E-10	4.13E-10	2.73E-10	5.52E-10	4.26E-10	3.74E-10	1.11E-10	5.56E-10	2.00E-10	7.16E-10	2.53E-10	5.92E-10	2.10E-10	7.44E-10	2.22E-10	6.13E-10	1.84E-10	4.92E-10	2.08E-10	9.67E-10	4.02E-10	5.40E-10	2.25E-10	0.00E+00
MCR-WL-NH3 (250 or 1100)	2.99E-08	6.14E-09	4.18E-10	1.59E-08	3.67E-08	1.51E-08	5.38E-08	2.94E-08	2.26E-08	5.48E-09	3.09E-08	7.46E-09	3.92E-08	8.88E-09	3.23E-08	7.33E-09	3.81E-08	8.20E-09	3.15E-08	6.79E-09	2.91E-08	8.92E-09	5.63E-08	1.62E-08	3.13E-08	9.07E-09	0.00E+00	0.00E+00
SCR-B-NH3 (250 or 1100)	2.86E-10	3.95E-11	1.06E-09	4.28E-10	6.57E-10	2.95E-10	8.19E-10	4.30E-10	7.16E-10	1.41E-10	9.51E-10	3.15E-10	1.23E-09	3.98E-10	1.02E-09	3.30E-10	1.35E-09	3.49E-10	1.11E-09	2.88E-10	8.25E-10	2.90E-10	1.62E-09	5.73E-10	9.04E-10	3.21E-10	0.00E+00	0.00E+00
MCR-B-NH3 (250 or 1100)	6.36E-08	9.72E-09	7.88E-08	2.53E-08	6.89E-08	2.11E-08	9.56E-08	3.86E-08	4.88E-08	7.35E-09	6.16E-08	1.43E-08	7.87E-08	1.78E-08	6.50E-08	1.47E-08	7.93E-08	1.42E-08	6.54E-08	1.18E-08	5.63E-08	1.55E-08	1.09E-07	2.91E-08	6.12E-08	1.62E-08	0.00E+00	0.00E+00
MPR-WL-NH3 (250 or 1100)	5.10E-09	8.13E-10	8.31E-09	1.60E-09	7.50E-09	1.31E-09	1.21E-08	2.38E-09	4.07E-09	7.07E-10	4.85E-09	7.36E-10	6.05E-09	8.89E-10	5.00E-09	7.33E-10	5.81E-09	9.28E-10	4.79E-09	7.67E-10	4.83E-09	7.58E-10	9.24E-09	1.44E-09	5.15E-09	8.00E-10	0.00E+00	0.00E+00
LPR-WL-NH3 (250 or 1100)	4.18E-09	6.13E-10	6.69E-09	1.17E-09	5.89E-09	9.16E-10	9.49E-09	1.84E-09	3.23E-09	4.88E-10	1.13E-08	1.60E-09	1.41E-08	1.95E-09	1.16E-08	1.62E-09	1.36E-08	1.98E-09	1.12E-08	1.64E-09	1.12E-08	1.59E-09	2.13E-08	3.00E-09	1.19E-08	1.68E-09	0.00E+00	0.00E+00
MPR-B-NH3 (250 or 1100)	1.02E-08	1.44E-09	1.42E-08	3.60E-09	1.25E-08	3.05E-09	1.84E-08	6.27E-09	7.80E-09	1.44E-09	9.29E-09	1.51E-09	1.18E-08	1.88E-09	9.71E-09	1.55E-09	1.14E-08	1.79E-09	9.42E-09	1.48E-09	8.79E-09	1.72E-09	1.70E-08	3.13E-09	9.47E-09	1.65E-09	0.00E+00	0.00E+00
LPR-B-NH3 (250 or 1100)	8.42E-09	1.03E-09	1.19E-08	2.49E-09	1.02E-08	1.99E-09	1.55E-08	3.88E-09	6.26E-09	1.06E-09	2.17E-08	3.38E-09	2.74E-08	4.26E-09	2.26E-08	3.52E-09	2.66E-08	4.00E-09	2.20E-08	3.30E-09	2.08E-08	3.56E-09	3.99E-08	6.63E-09	2.22E-08	3.71E-09	0.00E+00	0.00E+00
	1.26087	1.47E-10																										
Butane failure cases	Segment 1 (Wielingen)		Segment 2 (Rede van Vlissingen)		Segment 3 (Vlissingen - PVB)		Segment 4 (PVB-BOTN)		Segment 5 (BOTN-Terneuzen)		Segment 6 (Terneuzen -TNHW)		Segment 7a (TNHW-HW1)		Segment 7b (HW1 - HW)		Segment 8a (HW - HW2)		Segment 8b (HW2 - HWWA)		Segment 9 (HWWA-WASA)		Segment 10a (WASA-OK)		Segment 10b (OK-AW)		Segment 12 (Oostgat)	
	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak
	MPR-WL-C4 (250 or 1100)	4.63E-09	7.05E-10	1.15E-08	2.43E-09	4.43E-09	9.35E-10	7.08E-09	1.75E-09	1.49E-09	2.47E-10	2.19E-09	3.31E-10	2.95E-09	4.24E-10	2.44E-09	3.50E-10	2.86E-09	4.34E-10	2.37E-09	3.59E-10	2.34E-09	4.05E-10	4.52E-09	7.60E-10	2.53E-09	4.25E-10	8.13E-10
LPR-WL-C4 (250 or 1100)	1.47E-09	2.20E-10	3.60E-09	6.63E-10	9.72E-10	1.56E-10	1.53E-09	2.99E-10	4.89E-10	7.44E-11	7.51E-10	1.09E-10	9.32E-10	1.32E-10	7.71E-10	1.09E-10	9.08E-10	1.34E-10	7.50E-10	1.11E-10	7.50E-10	1.09E-10	1.44E-09	2.09E-10	8.06E-10	1.16E-10	1.34E-10	2.85E-11
MPR-B-C4 (250 or 1100)	9.21E-09	1.21E-09	1.98E-09	4.36E-09	7.56E-09	1.53E-09	1.12E-08	3.05E-09	2.86E-09	4.71E-10	4.16E-09	6.38E-10	5.66E-09	8.78E-10	4.67E-09	7.25E-10	5.59E-09	8.15E-10	4.63E-09	6.75E-10	4.25E-09	7.54E-10	8.33E-09	1.41E-09	4.63E-09	7.87E-10	1.44E-09	2.76E-10
LPR-B-C4 (250 or 1100)	2.96E-09	3.66E-10	6.44E-09	1.33E-09	1.70E-09	3.16E-10	2.52E-09	6.05E-10	9.48E-10	1.61E-10	1.44E-09	2.23E-10	1.82E-09	2.77E-10	1.50E-09	2.32E-10	1.78E-09	2.67E-10	1.47E-09	2.20E-10	1.40E-09	2.35E-10	2.70E-09	4.43E-10	1.51E-09	2.47E-10	2.41E-10	6.17E-11
SCP-WL-C4 (250 or 1100)	3.92E-08	9.46E-09	1.26E-07	6.89E-08	4.17E-08	2.63E-08	5.62E-08	4.23E-08	3.80E-08	1.11E-08	5.03E-08	2.21E-08	6.48E-08	2.70E-08	5.33E-08	2.23E-08	6.73E-08	2.28E-08	5.54E-08	1.88E-08	4.46E-08	2.27E-08	8.64E-08	4.39E-08	4.82E-08	2.46E-08	6.27E-08	2.50E-08
MCP-WL-C4 (250 or 1100)	1.14E-08	2.27E-09	2.82E-08	1.17E-08	1.06E-08	4.58E-09	1.53E-08	8.81E-09	4.45E-09	1.02E-09	6.72E-09	1.83E-09	8.67E-09	2.23E-09	7.17E-09	1.85E-09	8.65E-09	1.93E-09	7.13E-09	1.59E-09	6.46E-09	2.22E-09	1.26E-08	4.10E-09	7.04E-09	2.28E-09	5.17E-09	1.71E-09
LCP-WL-C4 (250 or 1100)	4.55E-11	1.87E-11	8.05E-11	6.93E-11	2.69E-11	2.32E-11	3.80E-11	4.08E-11	1.79E-11	9.22E-12	2.69E-11	1.47E-11	3.39E-11	1.77E-11	2.80E-11	1.46E-11	3.40E-11	1.63E-11	2.81E-11	1.34E-11	2.49E-11	1.67E-11	4.85E-11	3.15E-11	2.71E-11	1.75E-11	0.00E+00	0.00E+00
SCP-B-C4 (250 or 1100)	7.74E-08	1.26E-08	2.10E-07	7.78E-08	6.80E-08	2.81E-08	8.51E-08	4.21E-08	7.31E-08	1.39E-08	8.93E-08	2.66E-08	1.16E-07	3.33E-08	9.58E-08	2.75E-08	1.26E-07	2.90E-08	1.04E-07	2.40E-08	7.58E-08	2.64E-08	1.48E-07	5.10E-08	8.24E-08	2.85E-08	1.10E-07	3.08E-08
MCP-B-C4 (250 or 1100)	2.35E-08	4.09E-09	5.02E-08	2.02E-08	1.89E-08	7.39E-09	2.72E-08	1.09E-08	9.16E-09	1.57E-09	1.24E-08	4.33E-09	1.61E-08	5.45E-09	1.33E-08	4.50E-09	1.70E-08	4.10E-09	1.41E-08	3.38E-09	1.17E-08	4.46E-09	2.28E-08	8.70E-09	1.27E-08	4.84E-09	9.60E-09	2.81E-09
LCP-B-C4 (250 or 1100)	1.03E-10	2.66E-11	1.74E-10	9.05E-11	5.68E-11	3.00E-11	7.96E-11	4.86E-11	4.10E-11	1.14E-11	5.89E-11	2.09E-11	7.45E-11	2.56E-11	6.17E-11	2.12E-11	7.65E-11	2.21E-11	6.33E-11	1.82E-11	5.33E-11	2.35E-11	1.05E-10	4.47E-11	5.84E-11	2.50E-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 (Vlissingen - PVB)		Segment 4 (PVB-BOTN)		Segment 5 (BOTN-Terneuzen)		Segment 6 (Terneuzen -TNHW)		Segment 7a (TNHW-HW1)		Segment 7b (HW1 - HW)		Segment 8a (HW - HW2)		Segment 8b (HW2 - HWWA)		Segment 9 (HWWA-WASA)		Segment 10a (WASA-OK)		Segment 10b (OK-AW)		Segment 12 (Oostgat)	
	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak	Freq. 1100mm leak	Freq. 250 mm leak
	MPR-WL-C3 (250 or 1100)	3.05E-08	4.74E-09	5.58E-08	1.16E-08	2.26E-08	4.83E-09	3.56E-08	8.99E-09	1.08E-08	1.79E-09	1.64E-08	2.49E-09	2.08E-08	2.99E-09	1.73E-08	2.48E-09	2.02E-08	3.04E-09	1.66E-08	2.51E-09	1.64E-08	2.87E-09	3.13E-08	5.30E-09	1.75E-08	2.96E-09	6.47E-09
LPR-WL-C3 (250 or 1100)	1.74E-08	2.56E-09	2.84E-08	5.02E-09	1.14E-08	1.80E-09	1.88E-08	3.66E-09	3.47E-09	5.24E-10	5.48E-09	7.82E-10	7.01E-09	9.85E-10	5.79E-09	8.13E-10	6.78E-09	9.97E-10	5.63E-09	8.25E-10	5.63E-09	8.04E-10	1.08E-08	1.53E-09	6.00E-09	8.56E-10	0.00E+00	0.00E+00
MPR-B-C3 (250 or 1100)	6.07E-08	8.26E-09	9.65E-08	2.20E-08	3.85E-08	7.68E-09	5.63E-08	1.50E-08	2.08E-08	3.38E-09	3.12E-08	4.78E-09	4.00E-08	6.18E-09	3.31E-08	5.13E-09	3.92E-08	5.69E-09	3.24E-08	4.71E-09	2.98E-08	5.25E-09	5.75E-08	9.67E-09	3.21E-08	5.41E-09	2.12E-09	1.14E-08
LPR-B-C3 (250 or 1100)	3.50E-08	4.30E-09	5.04E-08	1.04E-08	1.98E-08	3.80E-09	3.08E-08	7.60E-09	6.72E-09	1.14E-09	1.05E-08	1.64E-09	1.36E-08	2.12E-09	1.13E-08	1.75E-09	1.34E-08	1.99E-09	1.09E-08	1.65E-09	1.04E-08	1.77E-09	2.01E-08	3.33E-09	1.12E-08	1.85E-09	0.00E+00	0.00E+00
SCP-WL-C3 (250 or 1100)	1.04E-07	2.40E-08	2.72E-07	1.09E-07	1.30E-07	5.48E-08	1.82E-07	9.02E-08	1.00E-07	2.38E-08	1.41E-07	4.36E-08	1.80E-07	5.35E-08	1.49E-07	4.42E-08	1.83E-07	4.60E-08	1.51E-07	3.80E-08	1.28E-07	4.67E-08	2.49E-07	8.82E-08	1.39E-07	4.94E-08	1.79E-07	5.60E-08
MCP-WL-C3 (250 or 1100)	1.30E-08	2.60E-09	3.05E-08	1.27E-08	1.57E-08	6.92E-09	2																					

## 8 ACHTERGRONDGEGEVENS

### 8.1 Bevolkingsgegevens

De Provincie Zeeland verstrekte in 2003 een elektronisch 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.



Om een zo betrouwbaar mogelijke voorspelling te doen van het groeprisico langs de Westerschelde zijn de bevolkingsgegevens zoals verzameld in de basisstudie 2003 geactualiseerd. Hierbij wordt de actualisatie van het populatiebestand beperkt tot de huidige situatie (peiljaar 2009). Voor de toekomstverkenningen (dus in 2015, 2030) wordt derhalve aangenomen dat de bevolkingsaantallen niet significant zullen veranderen ten opzichte van de 2009 situatie. Enkel beslist beleid wordt meegenomen in de bepaling van de verwachte bevolkingsaantallen in de toekomst.

De nieuwe populatiecijfers die door de provincie Zeeland zijn aangeleverd bevatten niet alleen de permanente bevolkingsaantallen, maar omvatten ook de recreatieve bestemmingen die binnen het invloedsgebied van de Westerschelde zijn gelegen (op basis van de actuele cijfers anno 2009).



Deze gegevens zijn aangeleverd door de provincie Zeeland op basis van de actuele cijfers uit het populatiebestand van Provincie Zeeland (permanente bevolking) en data afkomstig van de gemeenten (bestemmingsplannen en tijdelijke populatie).

In het actuele populatiebestand zitten dus eveneens vervat (voor zover het zogenaamde beslist beleid betreft):

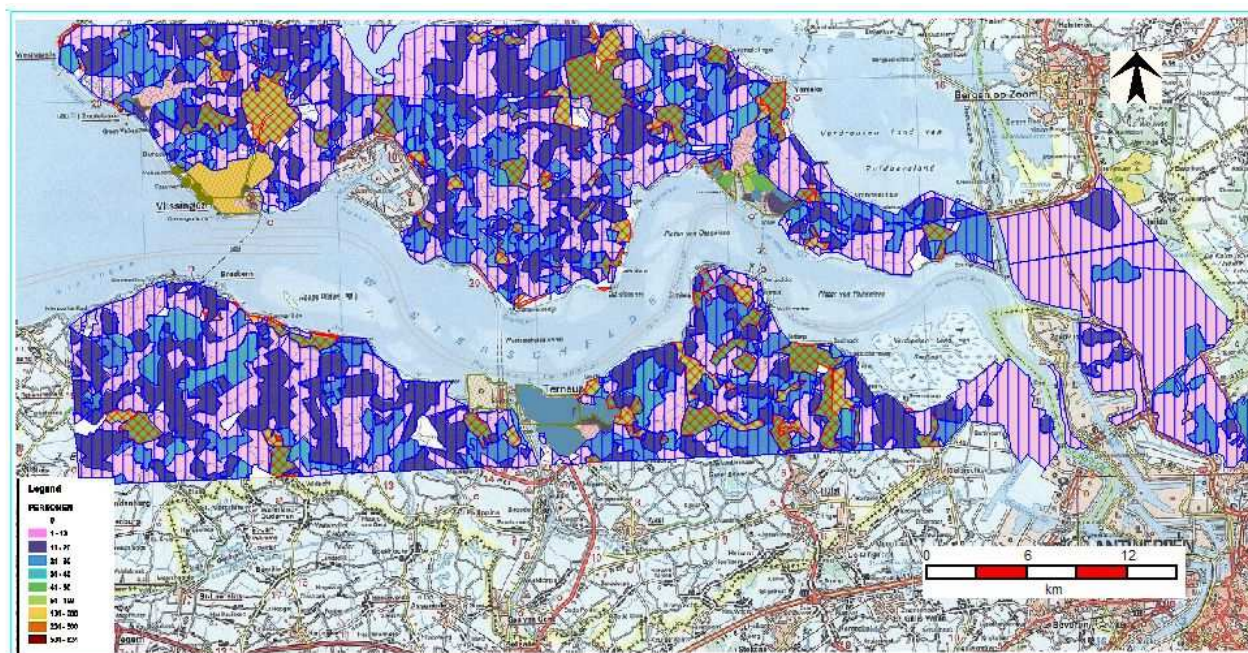
- alle nieuwe gerealiseerde bouwplannen
- nieuwe bestemmingsplannen voor nieuwe bevolkingsgebieden
- nieuwe bestemmingen voor recreatie

De detaillering van de populatie is gebeurd binnen het invloedsgebied, in deze studie aanzien als de contour van 10-8/j +200m. Voor de zones daarbuiten werd het originele databestand behouden zoals in de basisstudie 2003 verzameld en ingevoerd in het risicomodel. Een generiek overzicht van de aangevulde populatie (detaillering binnen de contour 10-8 +200m) omvat:

<b>Vlissingen</b>	<b>Populatie</b>	<b>Recreatie</b>	<b>Uitbreiding</b>
Kuststrook	11206		
Nollestrand		96	
Westduin		180	
Galgewei-Westduin		492	
Boulevard Bankert		138	
Martina (appartementen)		75	
Sauna Nollebos		15	
<i>Totaal</i>	<i>11206</i>	<i>996</i>	-
<b>Terneuzen</b>	<b>Populatie</b>	<b>Recreatie</b>	<b>Uitbreiding</b>
Kern	11001		
DOW	2000		
<i>Totaal</i>	<i>13001</i>	-	-
<b>Hansweert-Kruiningen</b>	<b>Populatie</b>	<b>Recreatie</b>	<b>Uitbreiding</b>
Hansweert-kern	2287		
Kruiningen-kern	4136		
Kruiningen-uitbreiding			250
<i>Totaal</i>	<i>6423</i>	-	<i>250</i>
<b>Zoutelande</b>	<b>Populatie</b>	<b>Recreatie</b>	<b>Uitbreiding</b>
Kern	1506		
<i>Totaal</i>	<i>1506</i>	-	-

#### Opmerkingen:

- Geen uitbreidingen noch tijdelijke populatie (recreatie) in Terneuzen
- Geen tijdelijke populatie bij Zoutelande of andere gebieden langs de kust



Figuur 10: Overzicht van de geactualiseerde populatie (2009) rond de Westerschelde

## 8.2 Meteorologische gegevens

De meteorologische gegevens die zijn gebruikt in de Westerschelde studie corresponderen met degene zoals gegeven in het Paarse Boek (RIVM) voor het meetstation te Vlissingen en zijn dus in lijn met de data die eerder zijn gebruikt voor de QRA van de basisstudie 2003. Deze data werden ingevoerd in het Phast Risk model voor de risicoanalyse van de Westerschelde. De gebruikte data worden weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 25–Meteorologische Gegevens Vlissingen

DAG	346-015	016-045	046-075	076-105	106-135	136-165	166-195	196-225	226-255	256-285	286-315	316-345
B 3.0 m/s	2.097	2.314	1.890	2.275	1.905	1.231	1.188	1.187	1.710	2.841	1.355	1.570
D 1.5 m/s	0.644	0.760	0.583	0.535	0.582	0.504	0.505	0.536	0.662	0.681	0.577	0.628
D 5.0 m/s	2.439	2.155	1.857	1.519	1.412	1.360	2.221	2.594	2.465	3.561	2.024	2.189
D 9.0 m/s	2.796	2.228	2.614	1.492	0.990	1.182	3.991	6.716	9.417	8.417	2.925	2.683
												100.00
NACHT	346-015	016-045	046-075	076-105	106-135	136-165	166-195	196-225	226-255	256-285	286-315	316-345
D 1.5 m/s	0.855	1.186	1.019	0.616	0.484	0.543	0.657	0.683	0.575	0.61	0.72	0.938
D 5.0 m/s	1.569	2.242	2.607	1.552	1.343	2.035	3.103	3.923	2.799	1.723	1.691	1.653
D 9.0 m/s	0.855	1.473	2.045	1.494	1.091	1.678	4.995	8.581	7.944	3.897	2.626	1.114
E 5.0 m/s	0.886	2.022	2.115	0.98	0.599	0.727	0.827	1.151	0.92	0.505	0.7	0.685
F 1.5 m/s	1.624	2.447	1.77	1.217	0.82	0.776	0.811	1.039	0.833	0.805	1.157	1.665
												100.00

De eerste kolom in de tabel definieert de zogenaamde Pasquill klassen in combinatie met een windsnelheid. De Pasquill klasse definieert de stabiliteit van de atmosfeer in de buurt van het aardoppervlak. Er wordt uitgegaan van een zestal door Pasquill voorgestelde klassen, meer



specifiek A, B, C, D, E en F welke zijn gebaseerd op de gegevens van de windsnelheid op 10 m hoogte, de straling en de bewolgingsgraad.

De betekenis van A, B, C, D, E en F is de volgende:

- A zeer onstabiel
- B matig onstabiel
- C licht onstabiel
- D neutraal
- E licht stabiel
- F matig tot zeer stabiel

Bijkomende data die worden gebruikt zijn de volgende:

Luchttemperatuur: 15 deg C dag; 10 deg C nacht

Relatieve vochtigheid: 83 percent dag en nacht

Zonnestraling: 0.24 KW/m<sup>2</sup> dag; 0 KW/m<sup>2</sup> nacht

Land en water Temperatuur: 10 °C dag en nacht

Oppervlakteruwheid: parameter: 0.07

Lengte: 33 mm

### 8.3 Ontstekingsbronnen

#### Ammoniak

De kans op ontsteking voor ammoniak werd op 0 gesteld, wat betekent dat mogelijke ammoniak vrijzettingen gemodelleerd werden voor de gevaren van toxiciteit.

#### Tot vloeistof verdichte brandbare gassen

Het protocol Risicoanalyse Zee- en binnenvaart beveelt conservatief aan dat voor zeer licht ontvlambare gassen de directe en vertraagde ontsteking moet gespecificeerd worden als volgt; 70/30 voor grote lekken en 50/50 voor kleine lekken (zodat 100% ontsteking wordt bereikt in alle gevallen). Dit volgt ook uit de aanbevelingen van het Paarse Boek. Dit is niet in lijn met onderzoek door DNV uitgevoerd naar kansen op ontsteking op basis van historische gegevens. In de DNV risicoanalyse richtlijnen wordt aanbevolen om voor grote lekken van een licht ontvlambare stof (>50kg/s) 20% directe ontsteking is en 10% vertraagde ontsteking te hanteren. Om meer accurate risicoresultaten te bekomen werd in de Basisstudie afgeweken van de waarden van het Paarse Boek en het Protocol. De directe ontsteking werd gesteld op 30% (welke de verstekwaarde is in Phast Risk).

De vertraagde ontsteking werd gespecificeerd waarbij een (geteste) vertraagde ontstekingskans werd bereikt variërend tussen 10 en 20%, afhankelijk van de locatie.

## Vertraagde ontstekingsbronnen

Phast risk heeft de mogelijkheid om de kans voor directe en vertraagde ontsteking direct in te geven, maar heeft eveneens de mogelijkheid om de ontstekingsbronnen in de omgeving in te geven ter bepaling van de kans op vertraagde ontsteking. Deze laatste optie werd gekozen in de risicoanalyse.

De vertraagde ontstekingsbronnen die kunnen worden ingegeven in de risicosoftware zijn de volgende:

- Punt bronnen (vb fakkels)
- Oppervlakte bronnen (vb bedrijven)
- Lijnbronnen (vb hoogspanningslijnen)
- Verkeer (vb wegen, vaarroutes, spoorwegen)

De LFL voor brandbare stoffen varieert van 100m tot 500m voor 250 mm lekken en voor 1100mm lekken van ongeveer 500m tot 3000m afhankelijk van de weerscondities. De ontstekingsbronnen werden in de Basisstudie 2003 binnen deze zone verduidelijkt voor de Westerschelde.

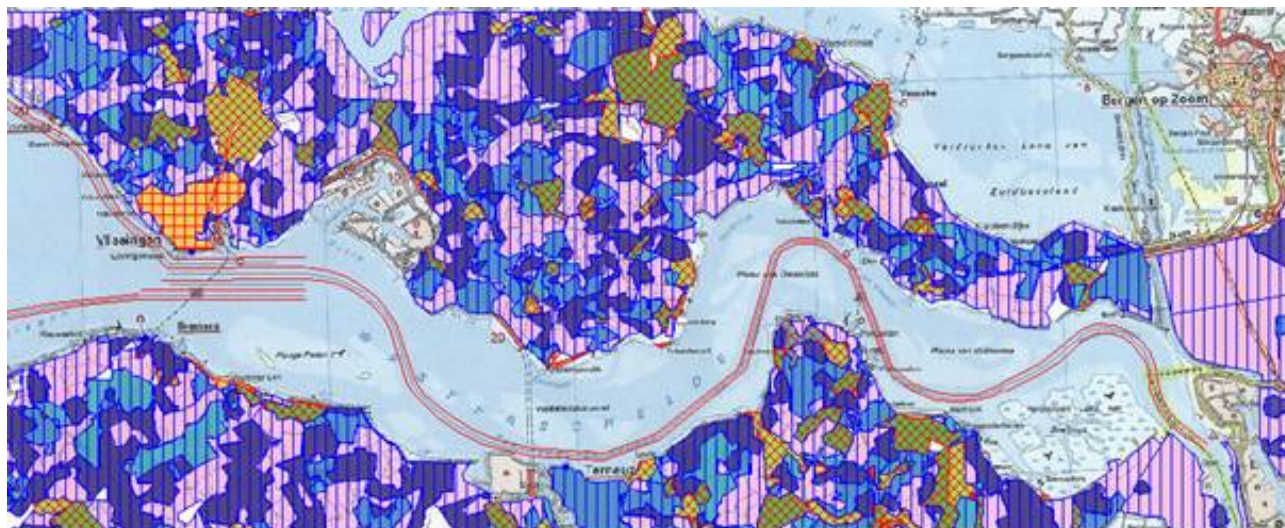
## Ontstekingsbronnen op water

DNV heeft alle zeevaart en binnenvaart geïnventariseerd op de Westerschelde die mogelijk als ontstekingsbron kunnen fungeren. Gezien de intensiteit van de scheepvaart op de Westerschelde varieert, is dit ook het geval voor de ontstekingskans. De basis is deze van de originele Basisstudie 2003. Gezien hoger werd aangegeven dat de data voor de totale zeescheepvaart weinig zijn veranderd sinds de Basisstudie kunnen de originele waarden behouden worden. De verkeersintensiteit en de ontstekingskansen worden verduidelijkt in onderstaande tabel .

**Tabel 26– schip-ontstekingsbronnen**

Segment nr	1	2	3, 4, 5	6, 7	8, 9, 10	12
Segment benaming	Wielingen	Rede Vlissingen	Rede Vlissingen to Terneuzen	Terneuzen to Hansweert	Hansweert to Antwerp	Oostgat
Gemiddelde scheepssnelheid (m/s)	5	5	5	5	5	5
Aantal zeeschepen + barges per jaar	28,838	45,701	46,221	56,414	43,336	19,239
Aantal parallelle ship-ontstekingslijnen	2	5	2	2	2	2
Aantal passages per uur (per ontstekingslijn)	1.65	1.04	2.64	3.22	2.47	1.10
Ontstekingsbron sterkte per schip	0.45 prob of ignition in 60 sec.	0.45 prob of ignition in 60 sec.	0.45 prob of ignition in 60 sec.	0.45 prob of ignition in 60 sec.	0.45 prob of ignition in 60 sec.	0.45 prob of ignition in 60 sec.

De bronsterkte voor ontsteking is een waarde die experimenteel is bepaald op basis van preliminaire modellering. De bekomen waarde is de DNV standaard waarde voor modellering van ontsteking door dieselmotoren



**Figuur 11 – overzicht van de ontstekingsbronnen van scheepstransport**

### **Ontstekingsbronnen op land**

Ontstekingsbronnen op land spelen geen dominante rol, gezien de dispersie van de meeste dispersies van brandbare stoffen niet tot op land reiken. Daardoor werd een vereenvoudigde aanpak gehanteerd voor de bepaling van de ontstekingsbronnen op land. Er werd van uitgegaan dat een hogere ontstekingskans kon worden beschouwd voor zones met een hogere populatie gezien er in die zones meer verkeer is en meer menselijke en industriële activiteit is. De ontstekingskans werd dus bepaald op basis van de bevolkingsdichtheid, gebruik makend van de standaard populatie ontstekingsfactor in de parameterset.

## 9 RESULTATEN

### 9.1 Nieuwe softwareversie

Als eerste stap werd de volledige studie van het initiële basisreferentiejaar 2003 - zoals destijds gemodelleerd in de software versie (Safeti 6.2) – ook doorgerekend in de meest recente softwareversie (Phast Risk 6.6). Hiertoe werden de parameters uit de versie 6.2 één op één overgenomen voor zover deze konden overgenomen worden in versie 6.6 (een aantal parameters bestaan niet meer). Het Plaatsgebonden Risico (PR) wordt berekend in een 5-tal locaties langs de Westerschelde. De resultaten worden in onderstaande tabel weergegeven.

**Tabel 27: Invloed van de risicosoftware versie (6.2 versus 6.6)**

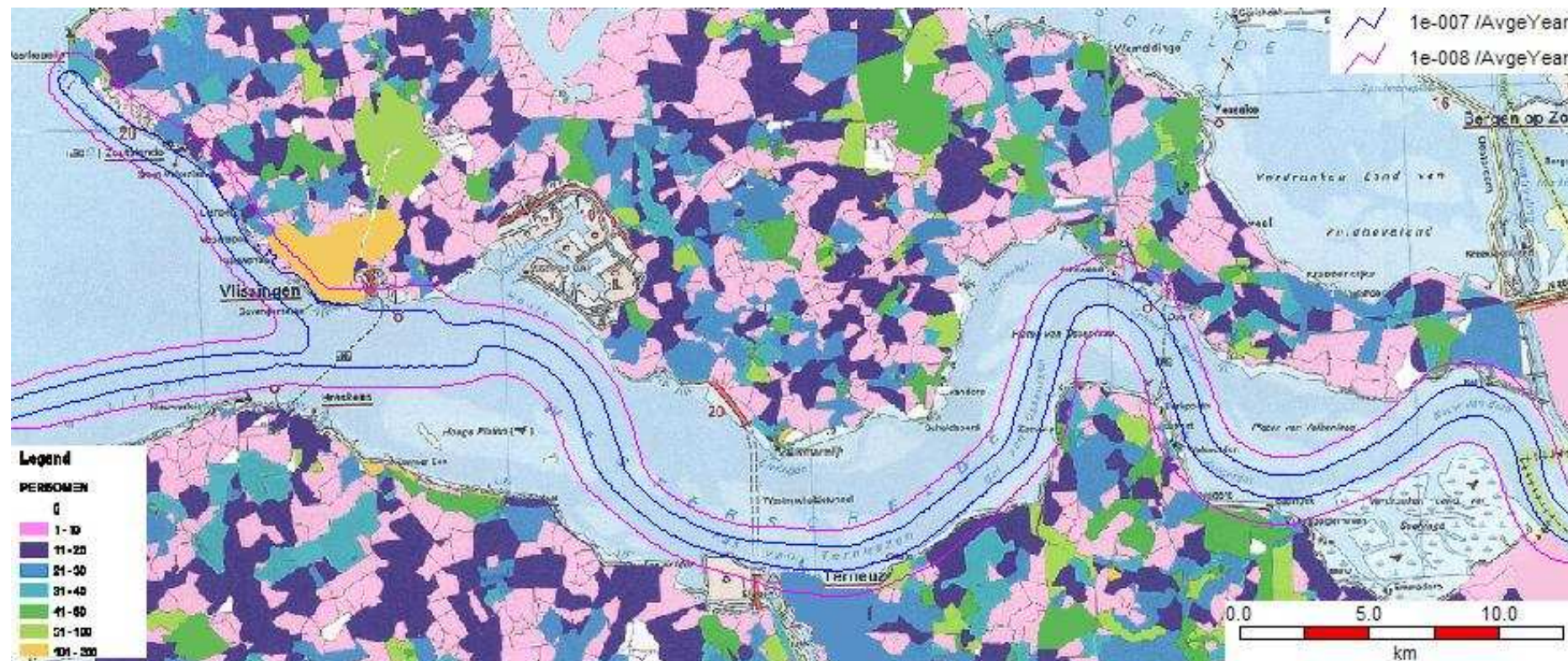
	2003 -studie versie 6.2	2003-studie versie 6.6	verschil
<b>Locatie</b>	<b>Plaatsgebonden risico (/jaar) (x10<sup>-8</sup>)</b>		
<b>Breskens</b>	0.271	0.379	+ 40%
<b>Hansweert</b>	11.6	17.1	+ 47%
<b>Oostgat</b>	7.38	12.2	+ 66%
<b>Terneuzen</b>	19.0	28.6	+ 50%
<b>Vlissingen</b>	26.4	39.6	+ 50%

Globaal kan gesteld worden dat het totale (plaatsgebonden) risico op de wal gevoelig wordt verhoogd door onder andere de nieuwe versie van het softwarepakket; gemiddeld ongeveer + 50%. Meer informatie hierover is weergegeven in Appendix 1.

### 9.2 Plaatsgebonden risico referentieperiode 2004-2008

De Plaatsgebonden Risico (PR) contouren horende bij de referentieperiode 2004-2008 worden in onderstaande Figuur 12 getoond. Uit deze figuur blijkt dat voor de hele Westerschelde een 10<sup>-8</sup>/j risicocontour en een 10<sup>-7</sup>/j risicocontour resulteert die voor het merendeel op de vaarweg ligt. Ter hoogte van Vlissingen, Terneuzen en Hansweert komt de 10<sup>-7</sup>/j risicocontour aan land. Er wordt nergens een 10<sup>-6</sup>/j risicocontour getekend. De risiconorm wordt dus niet overschreden.





Figuur 12: Plaatsgebonden risicocontouren Westerschelde voor de referentieperiode 2004-2008

Tabel 28 geeft het plaatsgebonden risico (PR) weer op de risicomeetpunten Hansweert, Breskens, Oostgat, Terneuzen en Vlissingen weer. De tabel laat tevens zien dat het hoogste plaatsgebonden risico bij Vlissingen is berekend (15.1 E-08), hierna volgen Oostgat, Hansweert en Terneuzen met een vergelijkbaar plaatsgebonden risico van respectievelijk 12.1E-08, 11.2E-08 en 10.2E-08. De waarden voor het plaatsgebonden bij de kustlijnen bij Breskens zijn aanzienlijk lager.

**Tabel 28 – Plaatsgebonden Risico op vastgestelde risicorankingspunten**

Risicorankingspunt (op de kustlijn)	Plaatsgebonden risico (/jaar) (x10 <sup>-8</sup> )
Breskens	0.29
Hansweert	11.2
Oostgat	12.1
Terneuzen	10.2
Vlissingen	15.1

**Tabel 29 – Vergelijking van het plaatsgebonden risico oude (1998-2002) versus nieuwe referentieperiode (2004-2008) – uitgedrukt in (x10<sup>-8</sup>/j)**

<b>Breskens</b>				<b>Oostgat</b>			
	2003 PR 6.2	2008 PR6.6	ratio 2008 - 2003		2003 PR 6.2	2008 PR6.6	ratio 2008 - 2003
<b>Total</b>	0.27	0.29	1.07	<b>Total</b>	7.38	12.10	1.64
<b>Toxic</b>	0.02	0.01	0.59	<b>Toxic</b>	0.03	0.00	0.00
<b>Flammable</b>	0.25	0.28	1.11	<b>Flammable</b>	7.35	12.10	1.65
<b>Hansweert</b>				<b>Terneuzen</b>			
	2003 PR 6.2	2008 PR6.6	ratio 2008 - 2003		2003 PR 6.2	2008 PR6.6	ratio 2008 - 2003
<b>Total</b>	11.65	11.24	0.96	<b>Total</b>	19.05	10.24	0.54
<b>Toxic</b>	2.06	2.94	1.43	<b>Toxic</b>	2.81	2.29	0.81
<b>Flammable</b>	9.58	8.30	0.87	<b>Flammable</b>	16.20	7.95	0.49
<b>Vlissingen</b>							
	2003 PR 6.2	2008 PR6.6	ratio 2008 - 2003				
<b>Total</b>	26.40	15.12	0.57				
<b>Toxic</b>	3.00	0.92	0.31				
<b>Flammable</b>	23.40	14.20	0.61				

Wanneer de resultaten vergeleken worden met de Basisstudie 2003, dan kan worden geconcludeerd dat het plaatsgebonden risico toeneemt in Oostgat (toename met + 64%) en

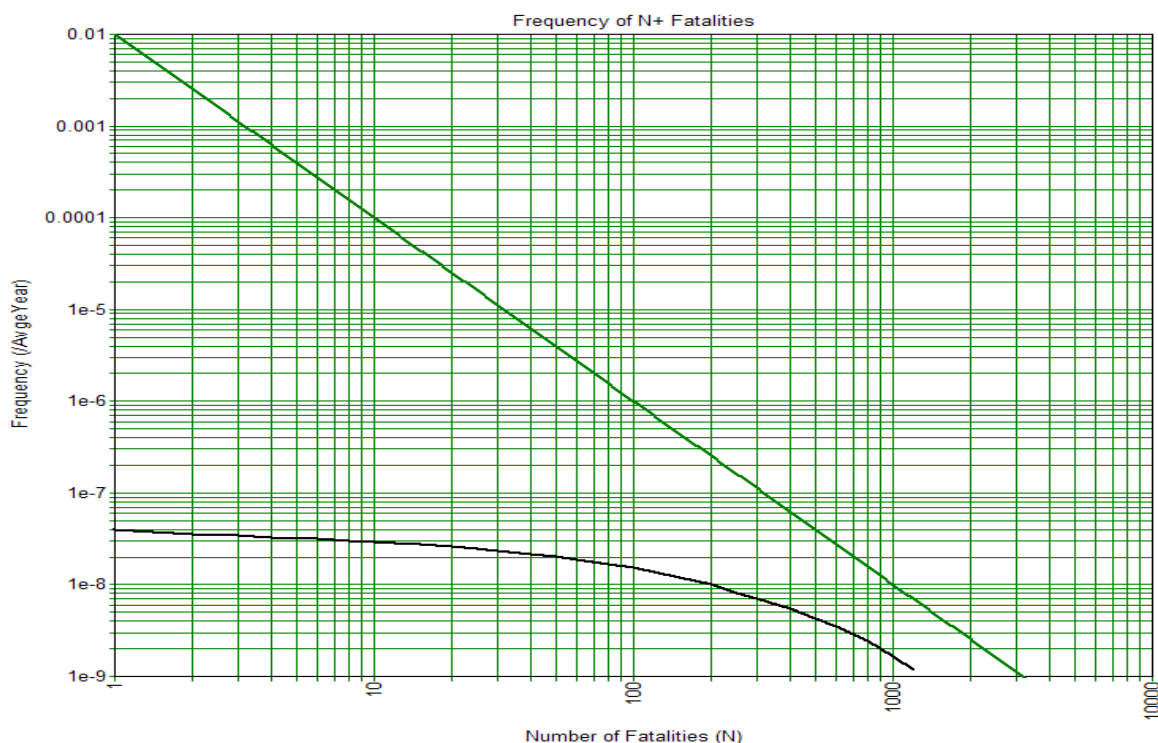
Breskens (toename met + 7%). Te Hansweert blijft het plaatsgebonden risico min of meer stabiel ten opzichte van de vorige referentieperiode

In Vlissingen en Terneuzen wordt een sterke daling van het PR verkregen, respectievelijk met - 43% en met - 46% (omwille verminderde bijdrage van de aanvaringsfrequentie in deze punten ten opzichte van de vorige referentieperiode). Het PR blijft ondanks de sterke daling van het risico het hoogst in Vlissingen.

### 9.3 Groeprisico referentieperiode 2004-2008

De groeprisico curve (fN-curve) is een logaritmische plot van de gesommeerde ongevalfrequentie (F) per jaar uitgezet tegen het aantal doden als gevolg (N). De fN curve is gebaseerd op het risico gerelateerd aan scheepsroutes (met een lengte van 1 km), welke in de nabijheid van de hoogste bevolkingsdichtheden is gelegen.

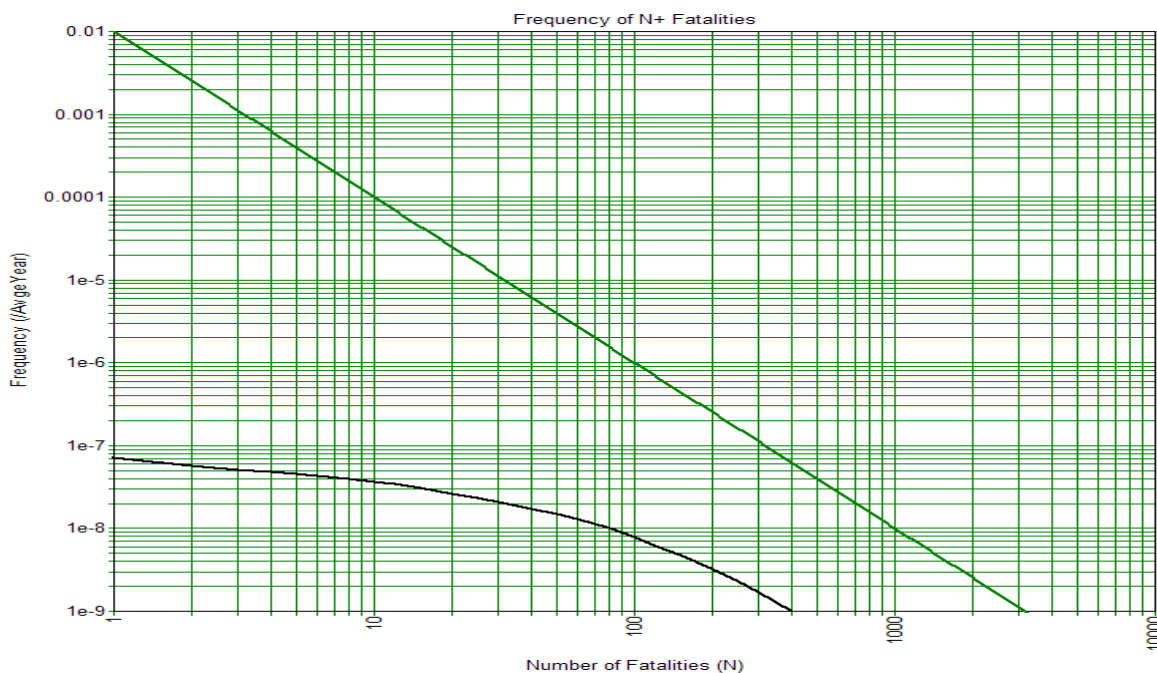
In onderstaande figuren (Figuur 13, Figuur 14, Figuur 15 en Figuur 16) worden het groeprisico in Vlissingen, Terneuzen, Hansweert en Oostgat<sup>13</sup> weergegeven. Hierbij is tevens de Nederlandse normlijn voor het groeprisico weergegeven voor transportactiviteiten.



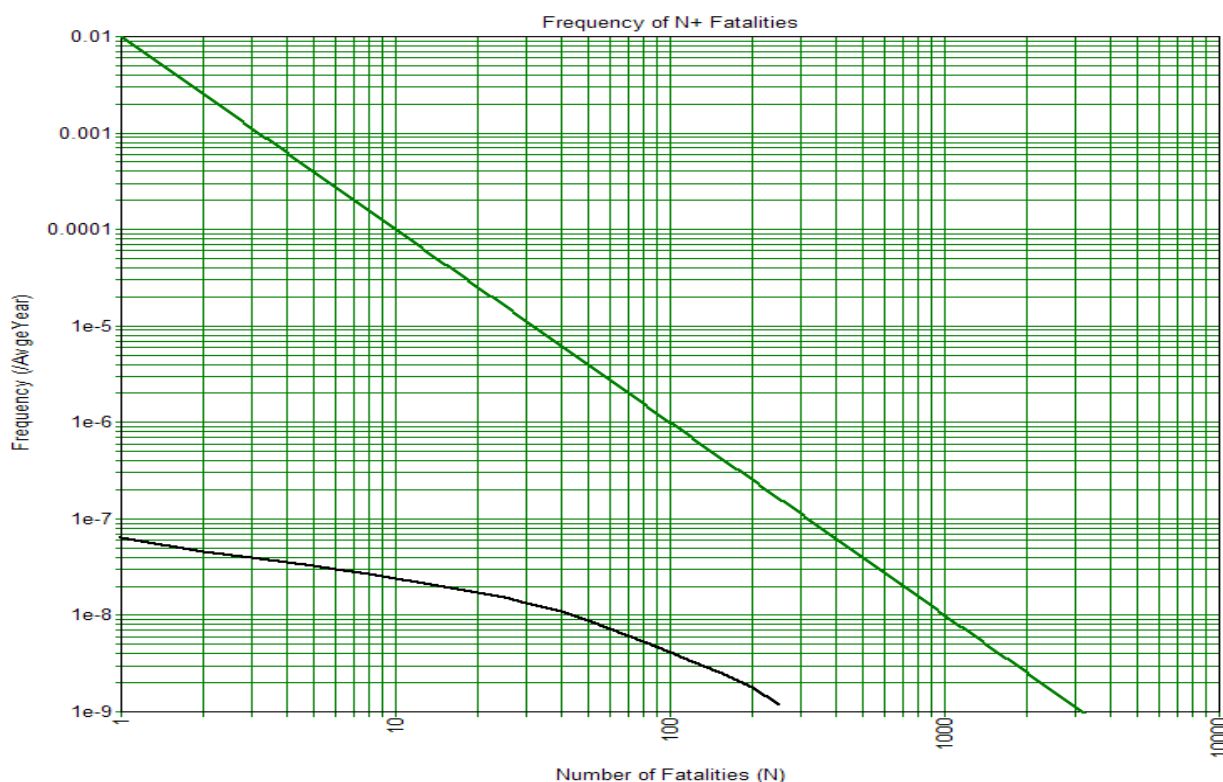
**Figuur 13: Groeprisico te Vlissingen voor de referentieperiode 2004-2008 (voor 1km vaarroute)**

<sup>13</sup> Het groeprisico te Breskens werd niet bepaald omdat het risico daar beduidend lager is dan in de andere meetpunten (ongeveer 1 tot 2 grootte-ordes)

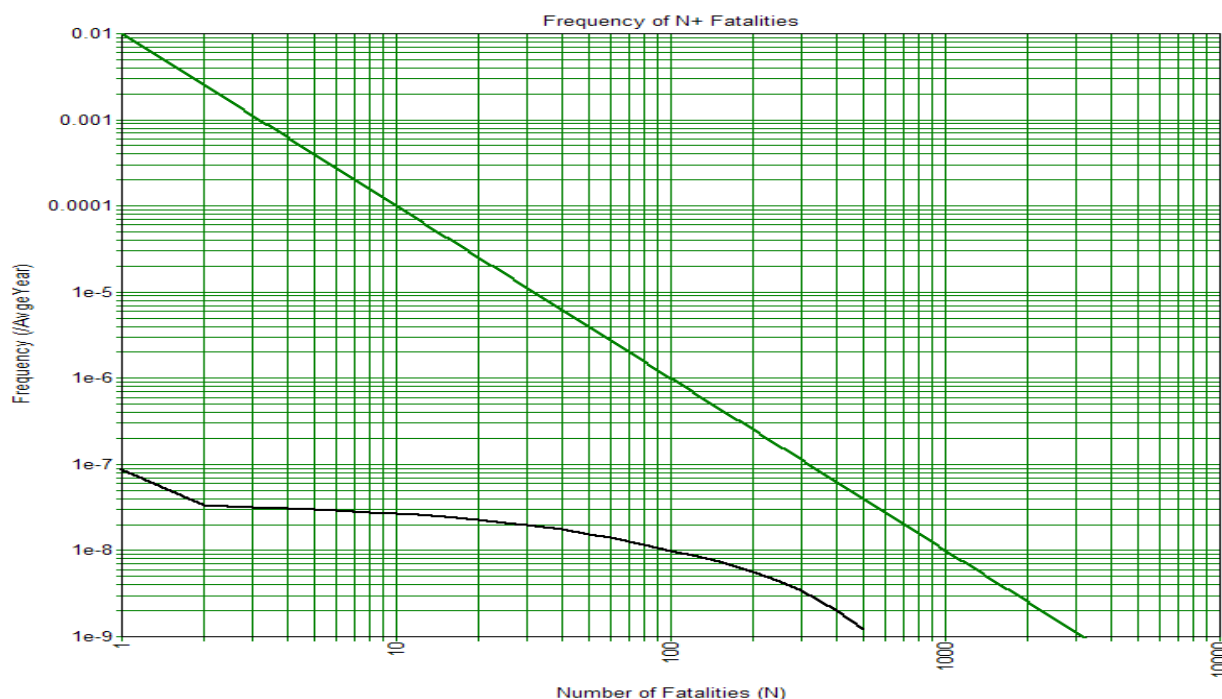




**Figuur 14: Groepsrisico te Terneuzen voor de referentieperiode 2004-2008 (voor 1km vaarroute)**



**Figuur 15: Groepsrisico Hansweert voor de referentieperiode 2004-2008 (voor 1km vaarroute)**



**Figuur 16: Groeprisico Oostgat voor de referentieperiode 2004-2008 (voor 1km vaarroute)**

Bovenstaande figuren tonen aan dat bij Vlissingen het groeprisico hoger is dan in de nabijheid van Terneuzen, Hansweert en Oostgat. Dit betekent dat Vlissingen het grootste groeprisico vertegenwoordigt. Voor een frequentie van kleiner dan 2E-09 blijken slachtofferaantallen tot meer dan 1.000 mogelijk in de omgeving van Vlissingen. Voor alle 4 locaties wordt de grenswaarde voor het groeprisico niet overschreden. Deze normlijn – die de status van oriënterende waarde bezit – loopt door de punten (10 – 1E-04), (100 – 1E-06), (1000 – 1E-08), etc. Dit gemeten per transportsegment, per kilometer en per jaar. Geen van de berekende groeprisicocurven overschrijdt de oriënterende waarde.

## 10 PROGNOSES

### 10.1 Inleiding

Deel van de actualisatiestudie is tevens het maken van een inschatting van de risico's verbonden aan de toekomstige vaardrukke (verkeersintensiteit) op de Westerschelde in de peiljaren 2015 en 2030. Uitgaande van het geactualiseerde risicoanalysemodel zoals opgesteld, wordt een aanvullende analyse gemaakt op basis van een hoog economisch groeiscenario waarbij de prognosecijfers werden aangeleverd door de havens Vlissingen, Terneuzen, Antwerpen en Gent. Dit hoofdstuk bevat zowel een beschrijving van de algemeen gevolgde methodiek om te komen tot dit risicoprofiel als een beschrijving van deze parameters en de aanpassing van het eerder opgestelde risicomodel. Een globaal overzicht van alle tabellen is opgenomen in Appendix 2.

### 10.2 Prognoses Gevaarlijke stoffen

De prognoses met betrekking tot de groei van het transport van gevaarlijke stoffen zijn dezelfde als deze gehanteerd ten tijde van de quick scan studie (2007). Deze prognoses worden in onderstaande tabel uitgezet ten opzichte van het referentiejaar 2008. In de prognose wordt voor de brandbare gassen een lineaire groei verondersteld tot 2010 en vanaf 2010 tot 2030 logaritmisch. De prognosefactor bedraagt 1.45 voor het jaar 2030 ten opzichte van 2008 (in de quick scan studie betrof deze factor 1.52 ten opzichte van 2005).

**Tabel 30: Overzicht van de prognoses aan gevaarlijke stoffen geïndexeerd ten opzichte van 2008**

Gevaarlijke stof	2008	2015	2030
brandbare gassen	1.00	1.34	1.45
ammoniak	1.00	1.03	1.03

Omwille van een overschrijding van de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$ /jaar te Yara Sluiskil, werden de vergunningsvoorwaarden voor Yara gewijzigd door middel van een beschikking van gedeputeerde staten van Zeeland dd 24 maart 2009. In de beschikking wordt aangegeven dat de overschrijding van de norm voor het plaatsgebonden risico door Yara veroorzaakt wordt door de productie en de verlading van ammoniak, en dat derhalve risicoreducerende maatregelen noodzakelijk zijn. Dat laatste is ook van invloed op de transportrisico's op en rond de Westerschelde. Middels het besluit werd aan Yara opgelegd dat:

- met ingang van 1 januari 2010 maximaal 600.000 ton ammoniak per jaar mag worden verladen (door het intrekken van een vergunde verlading van 700.000 ton per jaar op een eerder vergund maximum van 1.300.000 ton per jaar).
- Met ingang van 1 december 2011 nog maximaal 360.000 ton ammoniak per jaar mag worden verladen (door het intrekken van een vergunde verlading van 240.000 ton per jaar).
- Op termijn<sup>14</sup> nog maximaal 185.000 ton ammoniak per jaar mag worden verladen per zeeschip.

<sup>14</sup> In het veiligheidsrapport van YARA werd deze beperking van transport per zeeschip reeds ingerekend vanaf 1 december 2011

Uitgaande van een gemiddelde lading van 10000 ton ammoniak per zeeschip betekent dit dat in de nabije komst maximaal nog 18,5 zeeschepen ammoniak per jaar zullen verladen in Yara (tegenover ongeveer 40 zeeschepen in de periode vóór 2010).

Yara is producent van ammoniak, BASF in Antwerpen gebruikt ammoniak als grondstof. Een eerdere swappingovereenkomst tussen Yara en BASF poogde om meer zeeschepen met ammoniak rechtstreeks van Yara naar BASF te laten varen, waardoor minder ammoniak transporten op het westelijk deel van de Westerschelde nodig zijn dan wanneer de geladen ammoniak schepen komende van Yara de Noordzee opvaren en andere geladen ammoniak schepen van elders de Westerschelde opvaren richting BASF. Hierdoor zou een gunstiger externe risico beeld ontstaan ter hoogte van o.a. Vlissingen. Conservatief werd verondersteld dat de swappingovereenkomst niet meer bindend is met de gewijzigde vergunningsvoorwaarden (dit blijkt ook uit ervaringsgegevens). Dit betekent dus dat nagenoeg alle geladen ammoniak schepen komende van Yara naar de monding van de Westerschelde varen. De vergunningswijziging van Yara heeft dus geen invloed op het ammoniaktransport naar BASF (en dus geen invloed op het externe risico op het oostelijk deel van de Westerschelde). De impact van de vergunningswijziging doet zich enkel voor op het westelijk deel van de Westerschelde en wordt verduidelijkt in onderstaande tabel.

**Tabel 31 – Impact van de vergunningwijziging van Yara op het transport van ammoniak op de Westerschelde**

Nr	Segment	Totaal over 2004-2008	Cijfers vanaf 2011 (5j-periode)	indexcijfer 2015	indexcijfer 2030
12	OG-VL/PV	0	0	0	0
1	RZ-VL/PV	467	363	0.80	0.80
2	PV-VL/BO	467	363	0.80	0.80
3	VL/BO-PVB	464	360	0.80	0.80
4	PVB-BO/TN	463	359	0.80	0.80
5	BO/TN-PT	463	359	0.80	0.80
6	PT-TN/HW	264	264	1.03	1.03
7	TN/HW-PH	264	264	1.03	1.03
8	Ph-HW/WA	264	264	1.03	1.03
9	WA/SA-OK	264	264	1.03	1.03
10	OK	264	264	1.03	1.03

### 10.3 Prognoses Totale zeevaart

Op basis van de verstrekte data omtrent totale zeescheepvaart voor de situatie 2008 op de (Wester)Schelde per riviersegment kunnen de schepen per segment verder opgedeeld worden in de volgende massa categorieën:

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

**Tabel 32: Overzicht van het totale transport aan zeeschepen verdeeld over 3 groepen van massaklassen voor de referentieperiode 2004-2008**

segment		S	M	L	totaal
1	CA/VL - PV (tot begin 2005) RZ/VL/PV (vanaf begin 2005)	11109	11504	7955	30568
2	PV - VL/BO	17889	16245	8227	42361
3	VL/BO - PVB	13456	12834	7742	34033
4	PVB - BO/TN	13359	12973	7794	34126
5	BO/TN-PT	18394	12923	7667	38984
6	PT - TN/HW3	12758	10935	7263	30956
7	TN/HW3 - PH	12952	10937	7268	31157
8	PH - HW/WA2	13540	10942	7269	31750
9	HW/WA2 - WA/SA2	13088	10937	7265	31290
10	WA/SA2 - OK	13371	10885	7249	31505
12	OG/VL - PV	13436	5152	267	18855

De door de havenbedrijven ontvangen prognoses voor de toekomstige ontwikkeling van de totale zeevaart zijn in lijn met de prognoses zoals destijds gebruikt in de quick scan studie; meer specifiek de gegevens voor hoge economische groei met verruiming voor de situatie zonder de Westerschelde Container Terminal (WCT). Deze gegevens worden voor de te bestuderen toekomstige peiljaren (2015 en 2030) op dezelfde wijze ingedeeld.

De gegevens inzake de totale zeescheepvaart op de (Wester)Schelde worden driemaal gebruikt in de berekening van de frequentie waarmee stoffen vrijkomen:

- Ten eerste worden deze data gebruikt om het aantal schepen te bepalen dat over voldoende energie beschikt om een ongeluk met aanzienlijke schade te veroorzaken, de zogenaamde  $N_{E0}$  waarde.
- Ten tweede worden deze data gebruikt om het aantal schepen te bepalen dat bij invaren op een ander schip over voldoende energie beschikt om een (kleine of een grote) lekkage te veroorzaken, respectievelijk de  $N_{E1}$  en  $N_{E2}$  waarden.
- Ten derde worden deze data gebruikt om het aantal ongevallen (per jaar per zeeschip) te berekenen uit de ongevalfrequentie op de rivier ( $f_{4+5}$ ) en het aantal schepen met voldoende energie voor het veroorzaken van een lekkage ( $N_{E1}$  of  $N_{E2}$ ).

Een variatie in  $N_{E0}$  is gelijk aan een variatie van de totale zeescheepvaart op de rivier aangezien de minimale energie ( $E0$ ) om schade toe te brengen aan een ander schip klein is. Echter, alleen de schepen met een massaverplaatsing boven de 20.000 ton beschikken over voldoende energie om bij aanvaring een lek te slaan in een (ander) zeeschip geladen met gevaarlijke stoffen. Om die reden is een variatie van het aantal schepen met een massaverplaatsing hoger dan 20.000 ton van

invloed op de  $N_{E1}$  en de  $N_{E2}$ -waarden. Met als doel een schatting te maken van de toename van het aantal schepen boven de 20.000 ton is een splitsing aangebracht in de aangeleverde aantallen voor de 3 categorieën van kleine, gemiddelde en grote zeeschepen

Schepen met een tonnage tussen 10.000 en 40.000 ton zijn gedefinieerd als 'gemiddeld' qua omvang. De fractie van 'middelgrote' zeeschepen, dit is een gewicht tussen de 20.000 en 40.000 ton, is berekend aan de werkelijke data voor 2008 en op basis van de prognoses. Tabel 33 geeft een overzicht van deze berekende relatieve aantallen.

**Tabel 33 – Berekende fractie middelgrote zeeschepen (onder / boven de 20.000 ton)**

Jaar	10.000 t/m	20.000 t/m	
	20.000	40.000	
2008	45%	55%	100.0%
2015	43.2%	56.8%	100.0%
2030	43.7%	56.3%	100.0%
<b>Gemiddeld</b>	44.0%	56.0%	

Uitgaande van de in Tabel 33 gepresenteerde getallen is een fractie van middelgrote schepen met een massaverplaatsing groter dan 20.000 ton aangehouden van 56% (conform de quick scan studie). 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 de jaren 2008, 2015 en 2030 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 2008. Als voorbeeld is de variatie tussen 2015 en 2008 weergegeven in Tabel 34 in indexcijfers.

**Tabel 34: Berekende indexcijfers voor totale zeescheepvaart en scheepvaart met massaverplaatsing > 20.000 ton (2015 versus 2008)**

nr	From	To	Indexcijfer totale scheepvaart	Indexcijfers scheepvaart > 20.000 ton
1	PV	CA/VL	0.98	1.21
2	VL/BO	PV	1.01	1.22
3	PVB	VL/BO	1.17	1.35
4	BO/TN	PVB	1.24	1.44
5	PT	BO/TN	1.28	1.35
6	TN/HW	PT	1.15	1.34
7	PH	TN/HW	1.14	1.34
8	HW/WA	PH	1.11	1.34
9	WA/SA	HW/WA	1.13	1.34
10	OK	WA/SA	1.12	1.34
12	PV	OG/VL	1.01	1.50



Uit het bovenstaande overzicht is af te lezen dat de prognose uitgaat van een globale toename (behalve voor het segment cadzand-vlissingen) van de totale scheepvaart in 2015 (dit in vergelijking met 2008, voor alle beschouwde riviersegmenten, op Aanloop West na). Verder kan worden gesteld dat een (grotere) toename is te verwachten van het aantal schepen met een massaverplaatsing boven de 20.000 ton.

#### 10.4 Schatting van het aantal aanvaringen

De gemiddelde aanvaringsfrequentie voor wat betreft het klasse 4 + 5 aanvaringen (ernstigste categorie) is per segment berekend voor het peiljaar 2008 en is een functie van: het totale aantal klasse 4 + 5 aanvaringen dat is opgetreden op de rivier gedurende de periode 1998-2008 en de fractie van het totaal aantal ongevallen (1998-2008) dat in een zeker segment is voorgevallen.

Belangrijke kanttekening in deze is dat is uitgegaan van actuele ongevaldata over de genoemde 11-jaar periode. In het geval van de toekomstige scenario's (2015 en 2030) zijn de geprognosticeerde aantallen aanvaringen binnen elk segment eerder berekend aan de hand van een verkeersmodellering van de vaarbewegingen per segment. MARIN heeft – ten behoeve van de quick scan studie- het aantal in de toekomst te verwachten scheepsaanvaringen per jaar en per segment geïndexeerd ten opzichte van het jaar 2005 op basis van een eigen theoretisch mathematisch botsingsmodel (SAMSON) voor de (Wester)Schelde waarbij de wereldwijde nautische trends en data zijn gehanteerd. Deze gegevens worden als voldoende representatief gezien om te worden gehanteerd voor het nieuwe referentiejaar 2008 (middels interpolatie van de gegevens 2005 en 2010).

MARIN's model wijkt af van de data die DNV betrok uit de praktijk. De keuze om de resultaten van de toekomstige scenario's direct vergelijkbaar te houden met de referentieperiode 2004-2008 is voor de hand liggend. De huidige situatie wordt dus gebaseerd op de ervaringscijfers (actuele ongevalgegevens). Het te verwachten toekomstbeeld wordt geheel middels modellen in kaart gebracht. MARIN's data zijn derhalve aangehouden wat betreft de variatie van het aantal scheepsaanvaringen op de rivier. Voor de verdeling van de scheepsaanvaringen over de rivier is uitgegaan van de actuele gegevens voor de rivier.

**Tabel 35: Variatie van de botsingsfrequentie voor de jaren 2015 en 2030**

Collisions ZEEVAART (onderling)	2015	2030
	indexcijfer	indexcijfer
Wielingen	1.335	1.263
Oostgat	0.984	0.839
Vlissingen West	1.149	1.077
Sloe-Terneuzen	1.258	1.192
Terneuzen -1.5Hansweert	1.393	1.408
-1.5Hansweert-Hansweert	1.388	1.402
Hansweert +1.5Hansweert	1.403	1.426
1.5Hansweert - Antwerpen	1.404	1.427
<b>Totaal</b>	<b>1.283</b>	<b>1.248</b>

Het daadwerkelijk aantal schadeklasse 4+5 aanvaringen in de periode 1998-2008 bedroeg 4. Hiermee werd een gemiddeld cijfer van  $4/11=0,36$  zware aanvaringen per jaar berekend (zonder de statistische correctie). Als gevolg van toenemende scheepsvaartintensiteit impliceren bovenstaande indexcijfers dus dat in 2015 dit gemiddelde zal zijn toegenomen tot 0,46 zware aanvaringen per jaar (oftewel eens in de 2 jaar). Uiteraard blijft dit een modelmatige voorspelling van de situatie in de toekomst. De toekomst – met daarbij ook de implementatie en uitwerking van eventuele nieuwe nautische beheersmaatregelen – zal later echter uitwijzen in welke mate deze voorspelling accuraat is.

## 10.5 Effecten van gewijzigde parameters

Elk van de beschouwde parameters heeft een effect op de lekfrequentie. Uitgaande van de formule die is opgesteld voor de lekfrequentie geldt:

- De lekfrequentie is direct evenredig met het aantal schepen dat gevaarlijke (ammoniak of brandbaar) stoffen vervoert ( $N_{DG}$ ) met de (onder)verdeling (per segment) van de frequentie ( $P_{4+5}$ ) op een ernstige aanvaring, het aantal ernstige aanvaringen op de rivier ( $N_{4+5}$ ), en met het aantal schepen met een massaverplaatsing boven de 20.000 ton (via  $N_{E1}$  and  $N_{E2}$ ).
- de lekfrequentie is omgekeerd evenredig met het totale aantal zeeschepen ( $N_{seaships}$ ) in het kwadraat. De achterliggende interpretatie is als volgt: de lekfrequentie omgekeerd evenredig met het totaal aantal zeeschepen ( $N_{seaships}$ ), maar ook met het aantal schepen ( $N_{E0}$ ) dat over genoeg energie beschikt om een ernstige (klasse 4+5) aanvaring te veroorzaken. Een variatie in  $N_{E0}$  brengt eenzelfde variatie in het totale scheepvaartverkeer ( $N_{seaships}$ ) teweeg, hetgeen de omgekeerd evenredige kwadratische afhankelijkheid  $[ 1/ (N_{seaships})^2 ]$  tussen de lekfrequentie en het totale scheepvaartverkeer onderbouwt.

Naar aanleiding van aangeleverde data zijn de lekfrequenties per segment (riviersectie) en per scenario afzonderlijk berekend aan de hand van een serie correctiefactoren. Als voorbeeld gesteld geeft onderstaande Tabel 8.8 een overzicht van de correctiefactoren die van toepassing zijn verklaard voor het ammoniaktransport door riviersectie 2, Vlissingen (scenario 2010, Gemiddelde economische groei, geen verruiming van de Westerschelde).

**Tabel 36 – Berekening van de lekfrequentie aan de hand van correctiefactoren  
 Voorbeeld: Ammoniaktransport per schip door riviersectie 2 ‘Vlissingen’  
 (scenario 2015).**

correctie factor						Gecombineerde correctie factor
$P_{4+5}$	$N_{4+5}$	$N_{DG}$	$N_{seaships}$	$N_{E0}$	$N_{E1}, N_{E2}$	
1	1.283	0.8	1.01	1.01	1.22	1.23

**Uitleg per factor:**

De totale correctiefactor  $P_{4+5}$  is gelijk aan 1 aangezien de (geografische en numerieke) kansverdeling van aanvaringen op de rivier identiek is aan hetgeen is aangenomen voor de referentie situatie (2008).

$N_{4+5}$  correctie factor is gelijk aan 1.283 (zie Tabel 35).

Correctiefactor voor de parameter  $N_{DG}$  heeft een waarde van 0.8 en is een resultaat van een verwachte toename van ammoniaktransport op de rivier (3%) en een directe afname (23%) van het aantal ammoniaktransporten op de rivier door de aanpassing van de vergunning.

De correctiefactoren voor de parameters  $N_{seaships}$  en  $N_{E1}/N_{E2}$  zijn respectievelijk 1.01 en 1.22 (Tabel 34, 2<sup>e</sup> rij).

Zoals hierboven is omschreven is de correctie factor  $N_{E0}$  gelijk aan de correctie factor voor  $N_{seaships}$ .

Het totale overzicht van alle correctiefactoren is voor alle scenario's weergegeven in Appendix 2.

## 10.6 Resultaten

In onderstaande Tabel 37 wordt een overzicht gegeven van de berekende plaatsgebonden risico's voor de prognosejaren 2015 en 2030 op de risicomeetpunten Hansweert, Breskens, Oostgat, Terneuzen en Vlissingen. De tabel laat zien dat het hoogste PR wordt berekend voor het Oostgat (3.04E-07 en 4.36E-07 voor respectievelijk de prognosejaren 2015 en 2030), daarna volgt Vlissingen (2.94E-07 en 2.93E-07 voor respectievelijk de prognosejaren 2015 en 2030). De risico's ter hoogte van Hansweert en Terneuzen zijn van dezelfde grootte-orde en schommelen tussen de 1.5 en 2E-07. De PR-niveaus op de kustlijn bij Breskens is aanzienlijk lager.

**Tabel 37 – Evolutie van het plaatsgebonden risico voor de prognosejaren 2015 en 2030 – uitgedrukt in (x10<sup>-8</sup>/j)**

				ratio 2008- 2015	ratio 2008- 2030		2008	2015	2030
	2008 PR6.6	2015 PR6.6	2030 PR6.6						
<b>Breskens</b>									
Total	0.29	0.60	0.58	2.06	2.01	%toxic	4.9%	3.0%	2.8%
Toxic	0.01	0.02	0.02	1.26	1.14	%flammable	95.1%	97.0%	97.2%
Flammable	0.28	0.58	0.57	2.10	2.06				
<b>Hansweert</b>									
Total	11.24	18.76	17.50	1.67	1.56	%toxic	26.1%	21.4%	20.1%
Toxic	2.94	4.01	3.52	1.37	1.20	%flammable	73.9%	78.6%	79.6%
Flammable	8.30	14.74	13.93	1.78	1.68				
<b>Oostgat</b>									
Total	12.06	30.40	43.58	2.52	3.61	%toxic	0.0%	0.0%	0.0%
Toxic	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	%flammable	100.0%	100.0%	100.0%
Flammable	12.06	30.40	43.58	2.52	3.61				
<b>Terneuzen</b>									
Total	10.23	16.81	15.77	1.64	1.54	%toxic	22.3%	18.0%	17.0%
Toxic	2.29	3.02	2.69	1.32	1.18	%flammable	77.7%	82.0%	83.0%
Flammable	7.95	13.79	13.08	1.73	1.65				
<b>Vlissingen</b>									
Total	15.10	29.39	29.31	1.95	1.94	%toxic	6.1%	3.8%	3.5%
Toxic	0.92	1.11	1.02	1.20	1.10	%flammable	93.4%	96.2%	96.5%
Flammable	14.10	28.28	28.30	2.01	2.01				

Wanneer de resultaten voor de prognosejaren 2015 en 2030 vergeleken worden met de nieuwe referentieperiode 2004-2008, dan kan worden vastgesteld dat het risico het sterkst toeneemt in het Oostgat (respectievelijk met +152% en +261%), Breskens (respectievelijk +106% en +101%) en Vlissingen (respectievelijk +95% en +94%). In Terneuzen en Hansweert is de toename van het



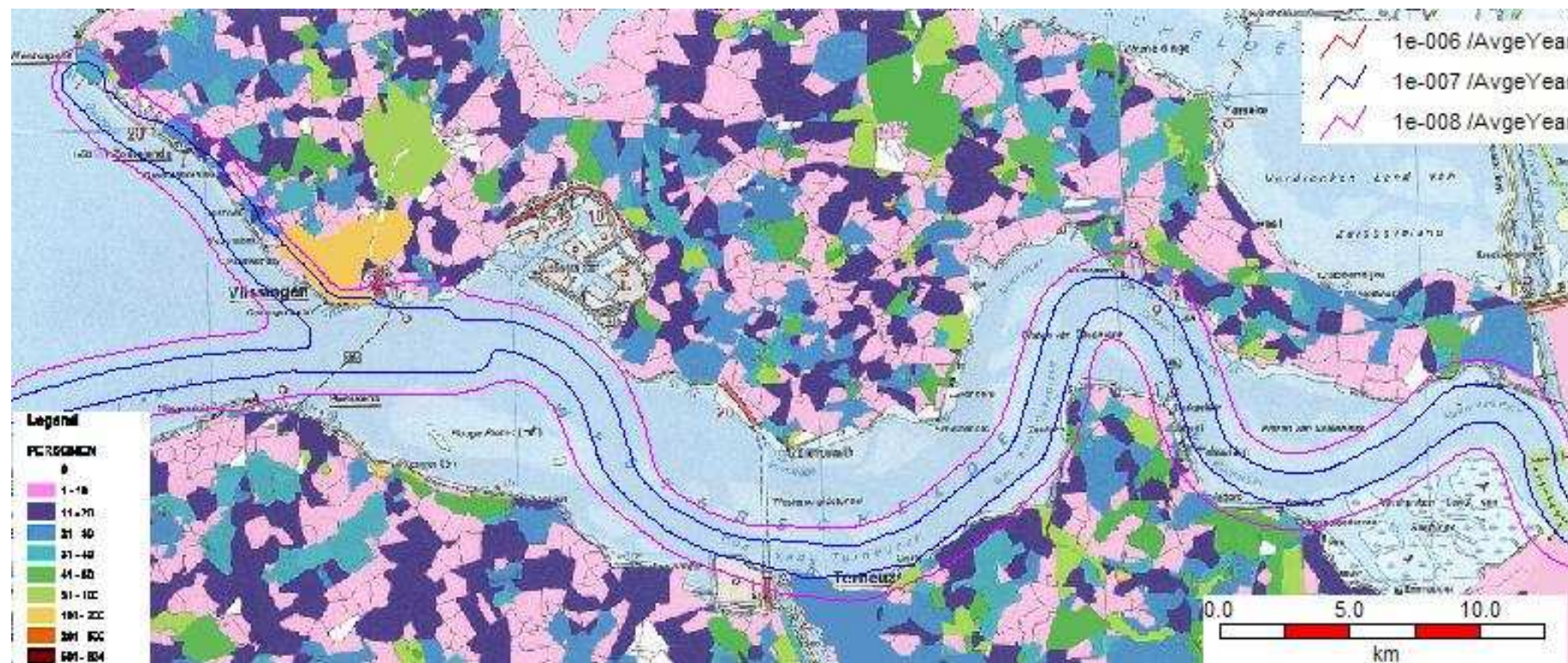
---

plaatsgebonden risico tussen de 50 en 70%. De toename is rechtstreeks gelinkt met de toegepaste correctiefactoren uit Tabel 36 (en het volledige equivalent uit bijlage 3).

Uit Tabel 37 blijkt eveneens dat voor de prognosejaren in alle punten de bijdrage van de brandbare gassen in het totale risico toeneemt. Dit omwille van de sterke groei van de brandbare gassen ten opzichte van toxische stoffen.

In onderstaande figuren (Figuur 17 en Figuur 18) worden de plaatsgebonden risicocontouren weergegeven voor de prognosejaren 2015 en 2030. Uit deze figuren blijkt dat voor de hele Westerschelde een  $10^{-8}/j$  risicocontour wordt getekend en dat voor de meeste delen ook een  $10^{-7}/j$  risicocontour resulteert die voor het merendeel op de vaarweg ligt. Een  $10^{-6}/j$  risiconcontour treedt heel lokaal op (in 2015 ter hoogte van Waarde/Saeftinghe en in 2030 ter hoogte van het Oostgat). De contour van  $10^{-6}/j$  ligt in alle gevallen volledig op de vaarweg en in die zin wordt steeds voldaan aan de risiconorm.





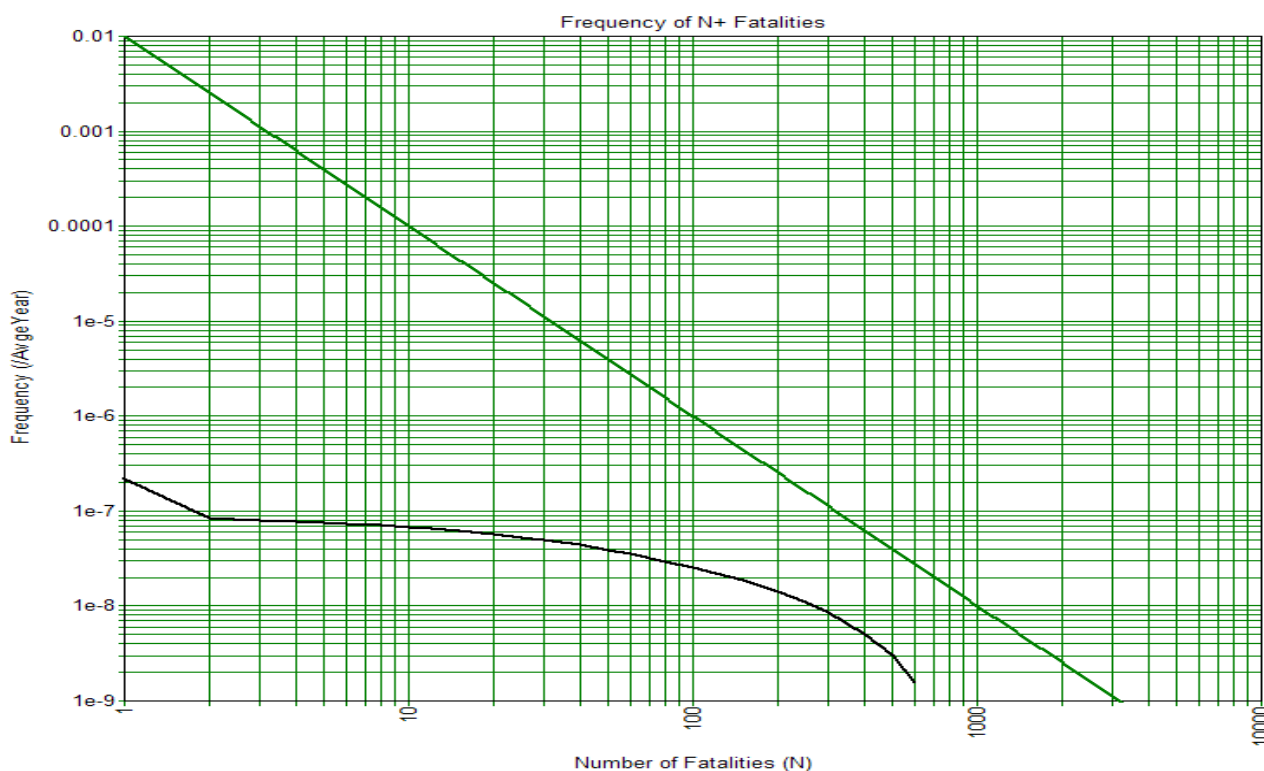
Figuur 17 -Plaatsgebonden risicocontouren voor de Westerschelde voor het prognosejaar 2015



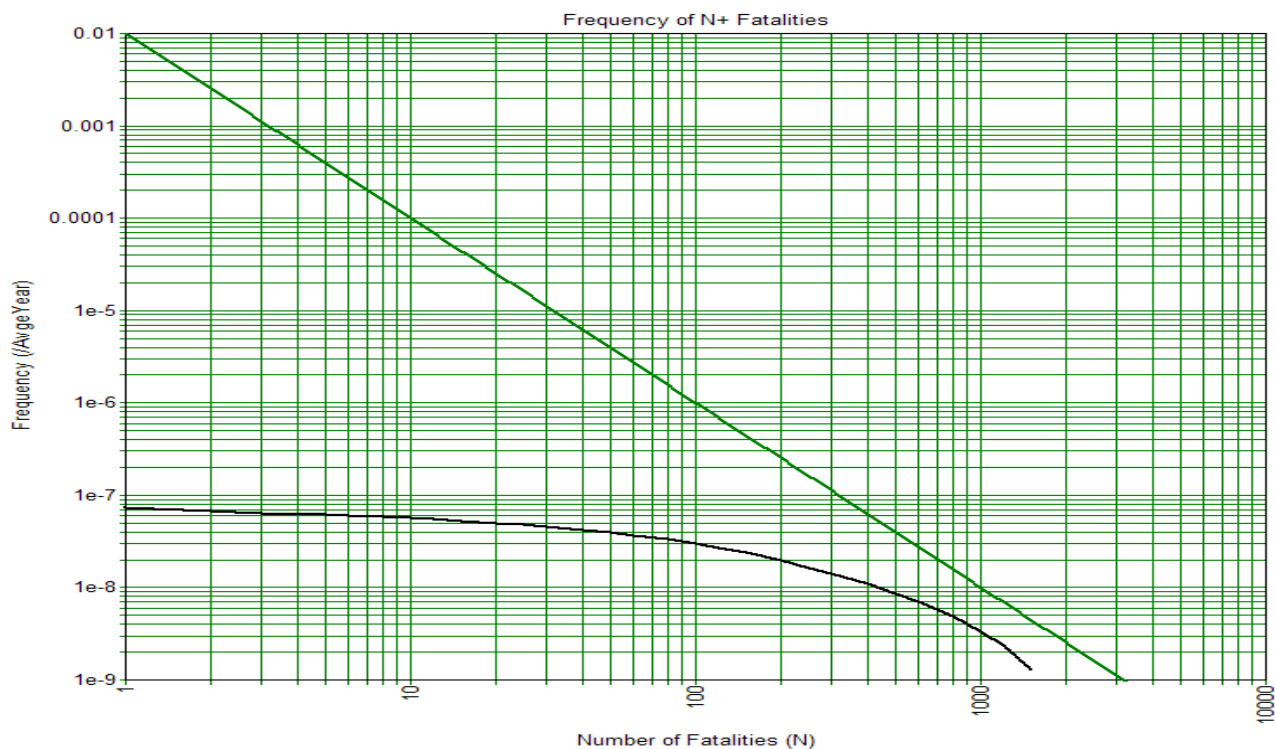


Figuur 18 - Plaatsgebonden risicocontouren voor de Westerschelde voor het prognosejaar 2030

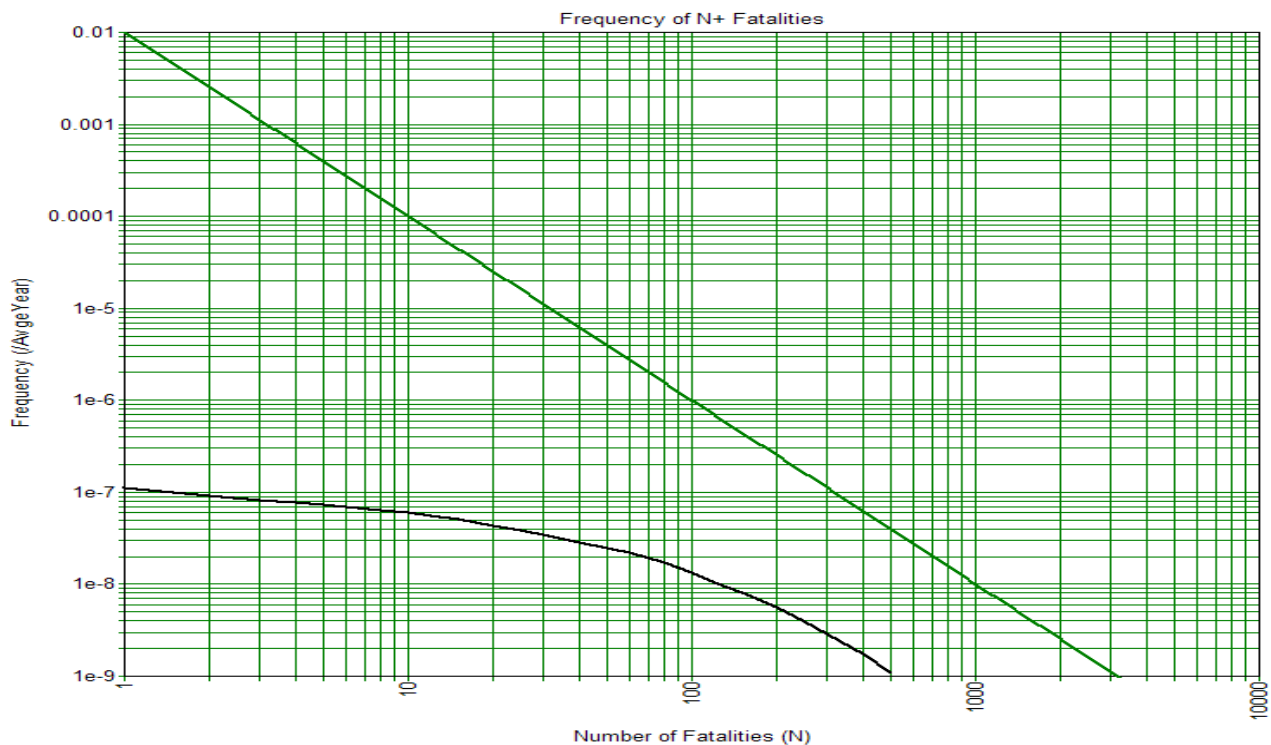
In onderstaande figuren (Figuren 19 tem 26) worden de groepsrisicocurven weergegeven voor de prognosejaren 2015 en 2030. Het gebied Vlissingen toont het grootste **groepsrisico** voor beide beschouwde prognosejaren. Het groepsrisico neemt in alle locaties toe, maar voor geen van de bestudeerde locaties wordt de normlijn overschreden. Deze normlijn – die tot op heden de status van oriënterende waarde bezit – loopt door de punten (10 – 1E-04), (100 – 1E-06), (1000 – 1E-08), etc. Dit uitgedrukt per kilometer en per jaar. De status van oriënterende waarde betekent dat bij een overschrijding, de beslissingsbevoegde overheden dit groepsrisico moeten betrekken in hun besluitvorming, dit in het bijzonder met betrekking tot de aspecten van zelfredzaamheid en hulpverlening.



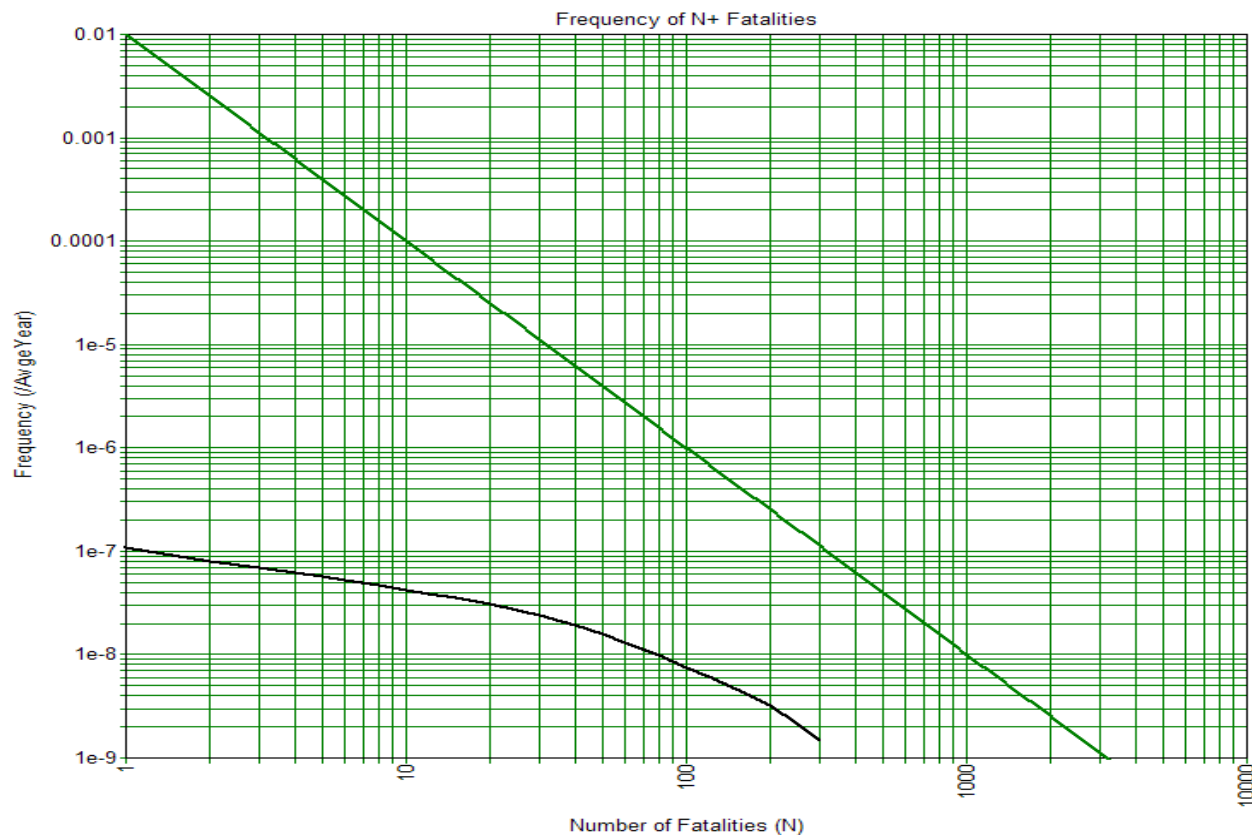
**Figuur 19 - Groeprisico Oostgat voor het prognosejaar 2015 (voor 1km vaarroute)**



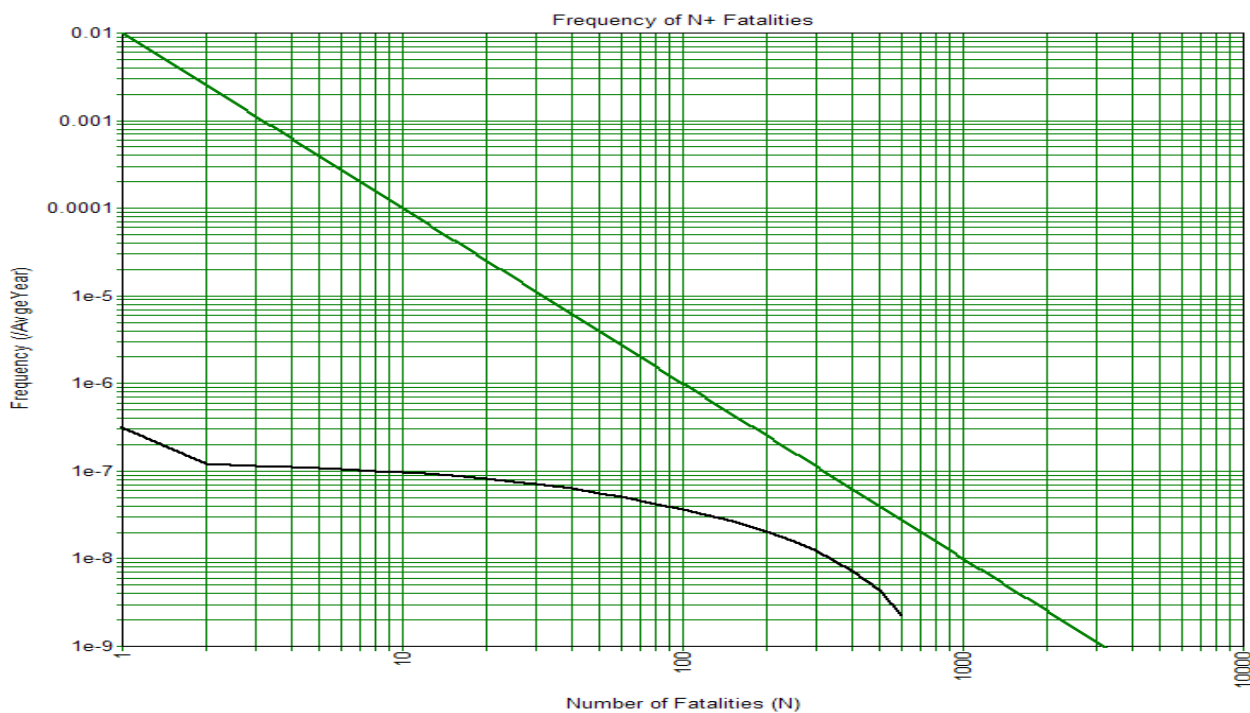
**Figuur 20 - Groeprisico Vlissingen voor het prognosejaar 2015 (voor 1km vaarroute)**



**Figuur 21 - Groeprisico Terneuzen voor het prognosejaar 2015 (voor 1km vaarroute)**

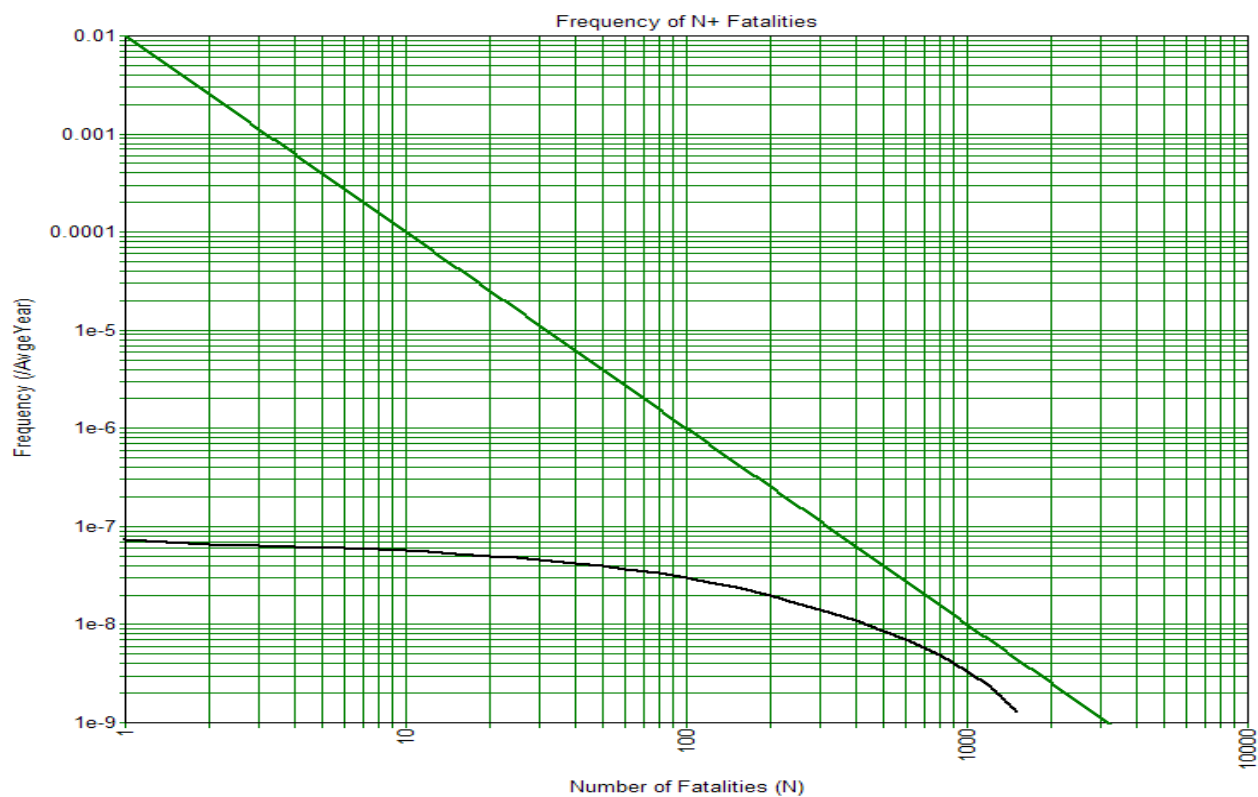


**Figuur 22 - Groeprisico Hansweert voor het prognosejaar 2015 (voor 1km vaarroute)**

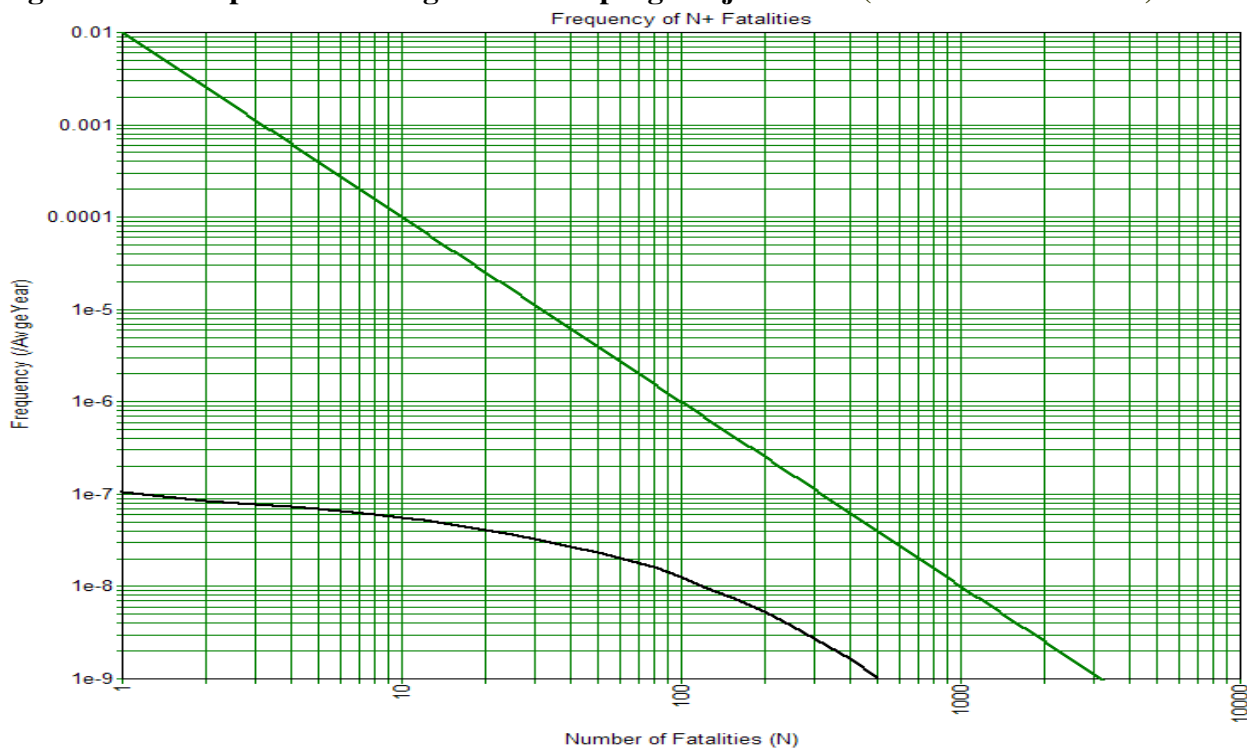


**Figuur 23 - Groeprisico Oostgat voor het prognosejaar 2030 (voor 1km vaarroute)**

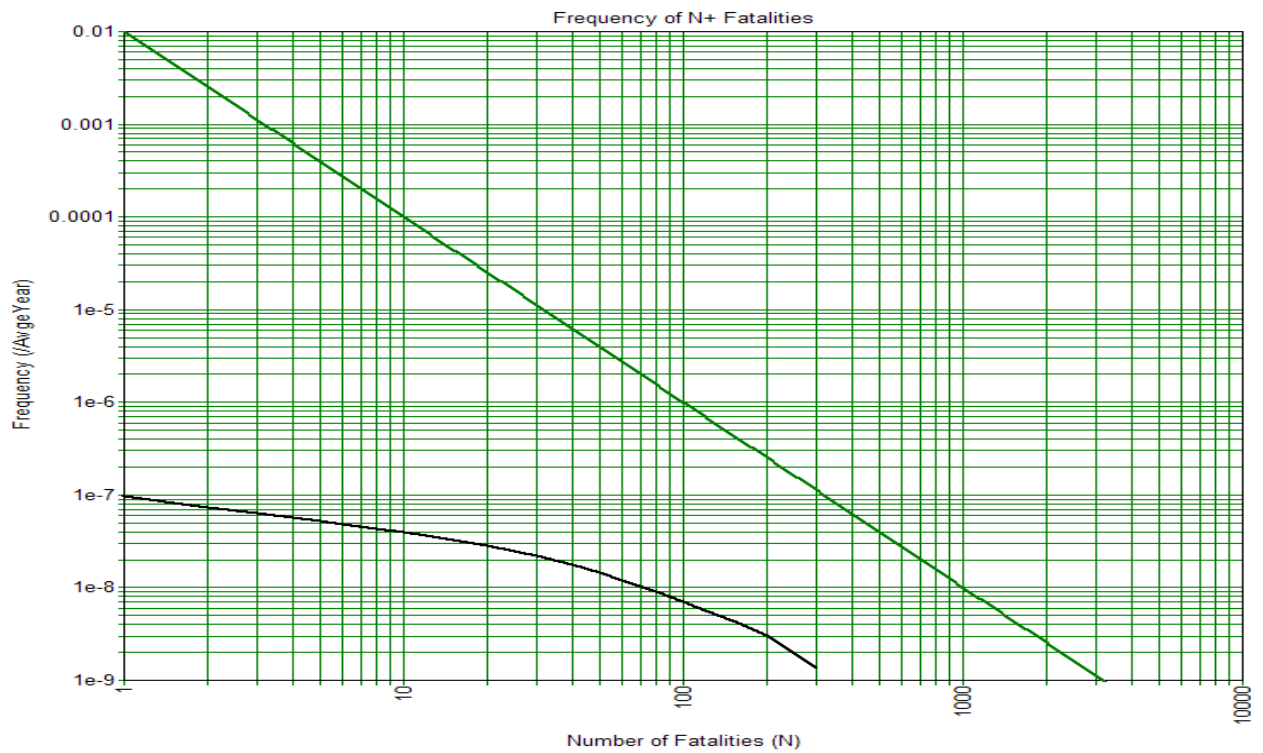




**Figuur 24 - Groeprisico Vlissingen voor het prognosejaar 2030 (voor 1km vaarroute)**



**Figuur 25 - Groeprisico Terneuzen voor het prognosejaar 2030 (voor 1km vaarroute)**



**Figuur 26 - Groeprisico Hansweert voor het prognosejaar 2030 (voor 1km vaarroute)**



## 11 CONCLUSIE

Voor scheepstransporten met ammoniak en brandbare gassen over de (Wester)Schelde is het externe risico geanalyseerd in termen van plaatsgebonden risico (PR) en groepsrisico (voor Vlissingen, Oostgat, Terneuzen en Hansweert) voor de nieuwe referentieperiode 2004-2008 (ten opzichte van de vorige referentieperiode 1998-2002) en voor de peiljaren 2015 en 2030.

Uit de analyse blijkt dat ter hoogte van de Rede van Vlissingen voor de referentieperiode 2004-2008 het grootste plaatsgebonden risico ( $1.51E-7$ ) wordt gevonden. Dit omwille van het grote aantal schepen dat de Rede van Vlissingen op relatief kleine afstand passeert en omwille van de hoge aanvaringsfrequentie ter hoogte van Vlissingen. Voor de referentieperiode 2015 en 2030 worden de hoogste risico's gevonden in Oostgat. Voor het segment Oostgat wordt er middels de toekomstprognoses een sterke groei van het aantal grote schepen ( $>20000$  ton) verwacht (beduidend meer dan in de andere segmenten) terwijl er een stagnatie of zelfs een lichte daling is van het totaal aantal schepen. Dit resulteert in een sterk verhoogde lekfrequentie voor 2015 en 2030 ten opzichte van de referentieperiode 2004-2008. Noteer dat voor de prognosejaren 2015 en 2030 geen rekening wordt gehouden met een verbetering van de nautische veiligheid in de toekomst.

Het maximale **plaatsgebonden risico** wordt gevonden te Oostgat en bedraagt  $4.36 E-07$  per jaar (bepaald voor het peiljaar 2030). De hoogste waarde voor Vlissingen ( $2.94E-7$ ), Terneuzen ( $1.68 E-07$ ), Breskens ( $6.0E-09$ ) en Hansweert ( $1.88 E-07$ ) worden steeds gevonden voor het peiljaar 2015. Het risico ter hoogte van Breskens is bijna twee grootte-orde lager dan het risico in Oostgat. In geen enkel punt komt de risicocontour van  $10^{-6}/j$  aan land. In die zin wordt ten allen tijde voldaan aan de risiconorm en dit voor alle beschouwde periodes.

Het gebied Vlissingen toont het grootste **groepsrisico** voor de referentieperiode en de beide beschouwde prognosejaren. Op geen enkele locatie overschrijdt de groepsrisicocurve de normlijn. Deze normlijn – die tot op heden de status van oriënterende waarde bezit – loopt door de punten ( $10 - 1E-04$ ), ( $100 - 1E-06$ ), ( $1000 - 1E-08$ ), etc. Dit uitgedrukt per kilometer en per jaar. De status van oriënterende waarde betekent dat bij een overschrijding, de beslissingsbevoegde overheden dit groepsrisico moeten betrekken in hun besluitvorming, dit in het bijzonder met betrekking tot de aspecten van zelfredzaamheid en hulpverlening.

Puntsgewijs worden de **algemene conclusies** samengevat:

1. Niettegenstaande er een algemene dalende trend is in het aantal aanvaringen (tussen zeevaartschepen) op de Westerschelde ten opzichte van de vorige referentieperiode, blijft Vlissingen de locatie met de hoogste aanvaringsfrequentie.
2. De inschattingen van het **extern risico** van transport van gevaarlijke stoffen (dit zijn: toxische en brandbare stoffen) over de (Wester)Schelde wijzen uit dat er voor de nieuwe referentieperiode 2004-2008 een belangrijke verschuiving is ten opzichte van de referentieperiode 2003. Het plaatsgebonden risico neemt toe in Oostgat (toename met + 64%) en Breskens (toename met + 7%). Te Hansweert blijft het plaatsgebonden risico min of meer stabiel ten opzichte van de vorige referentieperiode. In Vlissingen en Terneuzen wordt een sterke daling van het PR verkregen, respectievelijk met - 43% en met - 46%. Redenen voor de daling betreft de verminderde aanvaringsfrequentie in deze punten ten opzichte van de vorige referentieperiode (door hanteren van 50% betrouwbaarheidsinterval, keuze voor de methode van Hauer en daling van het absoluut aantal aanvaringen). Het PR blijft ondanks de sterke daling van het risico het hoogst in Vlissingen. De isorisicocontour van 1E-06 komt nergens aan land.

Het gebied Vlissingen toont het grootste **groepsrisico** voor de referentieperiode 2004-2008. De groepsrisicocurve overschrijdt de normlijn (oriënterende waarde) niet.

3. Wanneer de resultaten voor de prognosejaren 2015 en 2030 vergeleken worden met de nieuwe referentieperiode 2004-2008, dan kan worden vastgesteld dat het risico het sterkst toeneemt in het Oostgat (respectievelijk met +152% en +261%), Breskens (respectievelijk +106% en +101%) en Vlissingen (respectievelijk +95% en +94%). In Terneuzen en Hansweert is de toename van het plaatsgeboven risico tussen de 50 en 70%. Het plaatsgebonden risico voor de peiljaren 2015 (3.04E7) en 2030 (4.36E-7) is het hoogst in Oostgat. Ten opzichte van de referentieperiode kan voor de toekomstprognoses worden gesteld dat de toename in termen van het plaatsgebonden risico (PR) op de wal in het meest extreme geval (zijnde de situatie in 2030 voor het meetpunt Oostgat) een factor 3.6 is. Wat betreft de lokaties Breskens, Hansweert, Vlissingen en Terneuzen varieert de gemiddelde maximale toename factor tussen de 1.5 en 2.1. De isorisicocontour van 1E-06 komt ook voor de toekomstprognoses nergens aan land.

Het gebied Vlissingen toont het grootste **groepsrisico** voor beide beschouwde prognosejaren. De groepsrisicocurve overschrijdt de normlijn (oriënterende waarde) voor de prognosejaren 2015 en 2030 niet.

4. Het vervoer van **gevaarlijke stoffen** per schip op de Westerschelde wordt gedomineerd door de categorie 'brandbare gassen'. Dit leidt er toe dat voor elk van de beschouwde toekomstscenario's geldt dat het transport van toxische stoffen (lees: ammoniak) in mindere mate bijdraagt aan het totale risicoprofiel op land dan het externe risico van transport van brandbare gassen. Dit ondanks het feit dat de mogelijke schadeafstanden van de ammoniakongevalscenario's over het algemeen verder reiken dan de ongevalsscenario's voor brandbare gassen.

5. Wanneer men **jaren 2015 en 2030** naast elkaar beschouwt, neemt de relatieve bijdrage van brandbare gassen op het totale risicoprofiel in de toekomst gaandeweg toe. Met andere woorden: het risico ten gevolge van het transport van brandbare gassen stijgt mettertijd sterker dan de stijging van het risico die is toe te kennen aan het transport van ammoniak. Dit effect wordt veroorzaakt doordat de scheepvaartintensiteit voor wat betreft de brandbare gassen volgens de toekomstverwachting substantieel zal toenemen, terwijl over de komende 20 jaar het ammoniaktransport nagenoeg zal stabiliseren ten oosten van Terneuzen en zelfs dalen (ten westen van Terneuzen). De bijdrage van ammoniak in de externe risico's in het jaar 2030 zal beperkt blijven tot maximaal 20.9% in Hansweert en 0% in Oostgat.
6. Voor wat betreft de toetsing van de externe risico's op **Vlaams grondgebied** dient opgemerkt te worden dat er in Vlaanderen (en België) geen risicocriteria/risiconormen bestaan voor de mensrisico's door transportactiviteiten. Dientengevolge zou met enige voorzichtigheid de Vlaamse criteria voor vaste installaties kunnen worden overgenomen. De Vlaamse risicocriteria zijn de volgende (abstractie gemaakt van het criterium 1E-05, die getoetst wordt ten opzichte van de bedrijfsterreinsgrens):
- o de 1E-6 contour mag niet in gebieden met woonfunctie<sup>15</sup> liggen
  - o de 1E-7 contour mag geen kwetsbare locaties<sup>16</sup> omvatten.

Ten aanzien van de verdere loop van de Schelde doorheen de Antwerpse haven kan worden afgeleid dat in de meest extreme situatie (2015/2030) de 1E-06 risicocontour niet zal worden bereikt. Ten aanzien van de 1E-07 kan worden verondersteld dat deze plaatselijk aan land zal komen, maar een overschrijding van het criterium wordt niet verwacht.

Deze inschatting wordt gemaakt uit de constatering

- dat deze contour van 1E-07 ter hoogte van de Berendrechtssluis is gelegen op maximaal 500 meter vanaf (het centrum van) de vaargeul;
- dat de ammoniakrisicobijdrage vervalt ten zuiden van deze sluis;
- dat een substantieel deel van de risicobijdrage van brandbare stoffen eveneens zal verdwijnen omdat een deel van deze zeeschiptransporten eveneens door genoemd sluisencomplex zal gaan in richting van c.q. komend uit de kanaaldokken;

<sup>15</sup> Als een gebied met woonfunctie wordt bedoeld:

1) woongebied, bepaald volgens artikels 5 en 6 van het koninklijk besluit van 28 december 1972 betreffende de inrichting en de toepassing van de ontwerpgeroestplannen en gewestplannen, en de ermee vergelijkbare gebieden vastgesteld in de ruimtelijke uitvoeringsplannen met toepassing van het decreet van 18 mei 1999 houdende organisatie van de ruimtelijke ordening;

2) groepen van minstens 5 bestaande, niet onteigende of in onteigeningsplannen opgenomen wooneenheden, die een ruimtelijk aaneengesloten geheel vormen, in andere gebieden dan deze vermeld in 1).

<sup>16</sup> scholen, ziekenhuizen en rust-en verzorgingsinstituten

- dat de afstand tussen de hoofdvaargeul van de Schelde en de wal in het Antwerpse havengebied over het algemeen groter is dan 100 meter;
- dat de snelheid van de zeeschepen in het Antwerpse havengebied beduidend lager zal zijn dan op de (Wester)Schelde rivier op het Nederlandse deel, waardoor ook de beschikbare energie in geval van een botsing kleiner zal zijn en daarmee de lekfrequentie kleiner wordt ingeschat.
- kwetsbare locaties zoals scholen, ziekenhuizen en rust- en verzorgingsinstituten in havengebieden niet echt te verwachten zijn en meestal op enige afstand van de oever gelegen zijn. De dichtstbijzijnde kwetsbare locaties zijn de Hogere Zeevaartschool en mogelijk een aantal scholen en verzorgingsinstituten ter hoogte van Sint-Anna Linkeroever (meer dan 10km afstand van eindsectie van het risicomodel (Zandvliet-Berendrechtssluisencomplex)).

Uiteraard dient te worden opgemerkt dat een exacte conclusietrekking omtrent het risico van gevaarlijke stoffen vervoer in het Antwerpse havengebied pas gemaakt kan worden nadat een adequate inventarisatie is gemaakt van alle scheepstransporten aldaar. Bij een dergelijke volledige risicoanalyse dient ook in beschouwing te worden genomen het risico van overslagoperaties naar/van bedrijven en specifieke aanvaringspotenties van afgemeerde schepen. Gelet op de minder brede vaarweg in dit gebied is mogelijk ook een nadere analyse van relevante ongevalsscenario's op zijn plaats, omdat incidentscenario's met kleinere schade-effectafstanden in het havengebied mogelijk wel relevant kunnen zijn voor het totale risicobeeld op de wal.



## 12 REFERENTIES

- /1/ Quantitative Risk Assessment (Wester)Schelde river, DNV, 2003
- /2/ Risicoanalyse zee- en binnenvaart, Protocol, Ministerie van Verkeer & Waterstaat, 2000
- /3/ Monitoring veiligheid Scheldegebied 2008, Permanente Commissie van Toezicht op de Scheldevaart, 2009
- /4/ Basic data Westerschelde 2003, AVIV, 2003 (**Basisstudie 2003**)
- /5/ QRA Toekomstig Transport Gevaarlijke Stoffen (Wester)Schelde, DNV, 2004 (**toekomstverkenning 2004**)
- /6/ Actualisatie toekomstverkenning transport (Wester) Schelde, DNV, 2007 (**quick scan studie**)
- /7/ Verkennende analyse ten behoeve van de detailstudie QRA (Wester)Schelde, DNV, 2009 (**verkennende analyse 2008**)
- /8/ Voorstudie ten behoeve van de actualisatiestudie transport gevaarlijke stoffen op de Westerschelde, DNV, 2010 (**Voorstudie 2009**)
- /9/ Actualisatie Nautisch Onderzoek van het Schelde-estuarium, Marin, 2007
- /10/ Handleiding Risicoberekeningen BEVI, RIVM, 2009



---

## APPENDIX

---

### 1

### IMPACT STUDIE PHAST RISK 6.6

- o0o -



## A1.1 Inleiding

In deze appendix wordt de invloed van de meest recente risicosoftware nagegaan. Daartoe wordt de originele basisstudie – aangeduid met de term ‘referentiejaar 2003’ en rekening houdend met de periode ‘1998 – 2002’ – doorgerekend in de risicosoftware versie 6.6 in aanvulling op de doorrekening destijds in de versie 6.2.

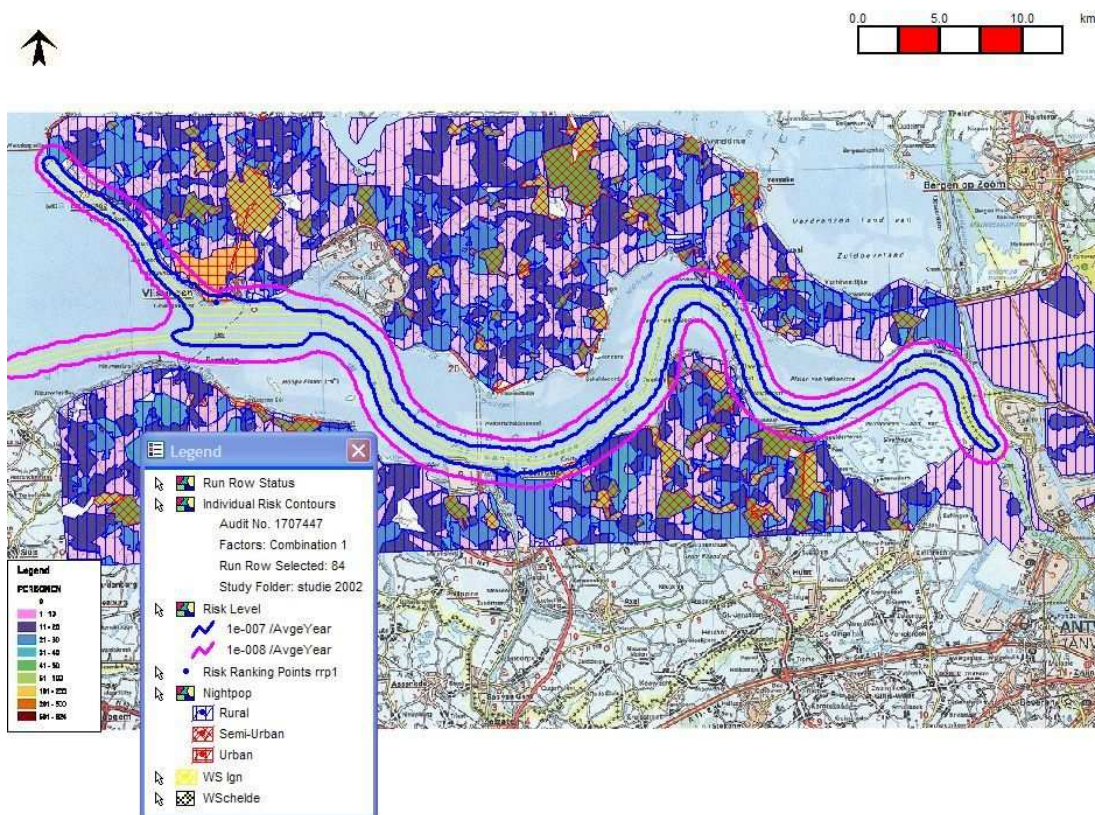
## A1.2 Risicoresultaten voor het referentiejaar 2003

Als eerste stap werd de volledige studie gemodelleerd voor het initiële basisreferentiejaar 2003 in de nieuwe Phast Risk versie 6.6. Hiertoe werden de parameters uit de versie 6.2 één op één overgenomen voor zover deze konden overgenomen worden in de versie 6.6 (een aantal parameters bestaan niet meer).

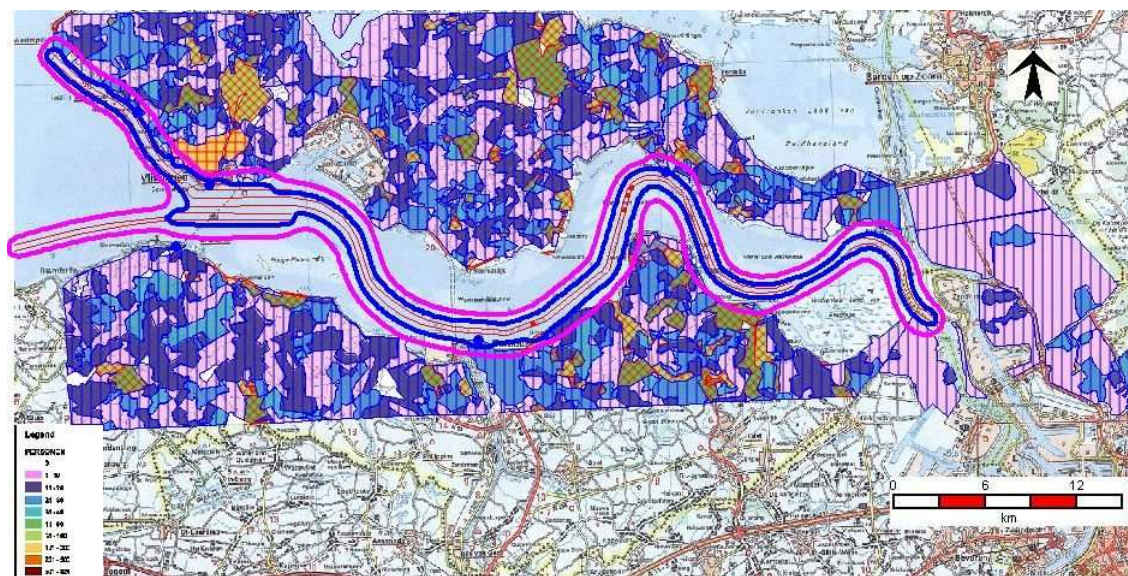
De resultaten worden weergegeven in onderstaande figuren. In deze figuren worden de globale resultaten voorgesteld (voor dus versie 6.2 en versie 6.6). Voor onderstaande figuren geldt volgende legende<sup>17</sup>:

- Roze lijn: plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-8}/j$
- Blauwe lijn: plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-7}/j$
- Rode lijn: plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}/j$

<sup>17</sup> Er kan worden opgemerkt dat de contour van  $10^{-6}/j$  niet steeds is berekend (dit betekent dat het risico kleiner is dan  $10^{-6}/j$  en dat er dus geen contour van  $10^{-6}/j$  bestaat). Verder kan worden opgemerkt dat de buitenste contour steeds de  $10^{-8}/j$  weergeeft (om misverstanden tussen roze/rood door mogelijk slechte afdrukkwaliteit te vermijden).



**Figuur 27: Plaatsgebonden risico Westerschelde Safeti 6.2 (studie 2003)**



**Figuur 28: Plaatsgebonden risico Westerschelde Safeti 6.6 (studie 2003)**

In onderstaande Tabel 38 wordt het risico weergegeven voor een aantal risicopunten. Hiertoe wordt het totale plaatsgebonden risico weergegeven, ontdebeld voor het toxische risico en het

brandbaar risico en de procentuele verandering tussen beide softwareversies. Verder wordt nog de procentuele bijdrage van de categorieën (giftig of brandbaar) weergegeven in het totaalrisico.

Uit de tabel volgt dat de nieuwe versie van de risicosoftware leidt tot een significante verhoging van de risico's (gemiddeld met ongeveer 50%). De verschillende redenen (welke vergelijkbaar zijn als de verschillen met versie 6.54) werden reeds bediscussieerd in het rapport van de Voorstudie 2010 en worden hieronder puntsgewijs herhaald:

- Verschil in berekenen van de isowarmtestralingscontour: in versie 6.6 gebeurt dit via 5 ellipsen die op een lineaire manier de warmtestraling doen afnemen met de afstand, met behulp van een probitcorrelatie (binnenste ellips 100% letaliteit, buitenste 1% letaliteit). In de 6.2 methode wordt slechts 1 ellips toegepast.
- Verbeterde modellering van warmtestraling afkomstig van fakkelbrandscenario's (vorm van de vlam en van het fakkelmodel)
- Verbeteringen in de berekeningen van warmtestralingsmodellering: de dosis wordt in versie 6.2 berekend als "warmtestralingsintensiteit x tijd", in versie 6.6 is dit met "warmtestralingsintensiteit<sup>4/3</sup> x tijd".
- Berekening van de individuele risicoranking: in versie 6.2 werd het centrum van het raster-vierkant waarin het bewuste risicoranking punt ligt gekozen om het risico in het betreffende risicoranking punt te bepalen (dit betekent dat de risicoranking kon wijzigen als de rastergrootte wijzigde). In versie 6.6 wordt de exacte locatie van het punt gehanteerd.
- Wijzigingen in de dispersieberekeningen

De toename is het grootst in het meetpunt Oostgat (65%) en dan in Terneuzen en Vlissingen (50%). Vastgesteld kan eveneens worden dat door de invoer van de nieuwe risicosoftware, de bijdrage van de brandbare gassen in het totaal risicobeeld toeneemt.



**Tabel 38 – Overzicht van het berekende risico met de Safetri versie 6.2 en de Phast Risk versie 6.6**

<b>Breskens</b>						
	PR 6.2	PR6.6	%change		PR 6.2	PR6.6
Total	2.71E-09	3.79E-09	39.65	%toxic	8.9	6.5
Toxic	2.41E-10	2.45E-10	1.71	%flammable	91.0	93.5
Flammable	2.47E-09	3.55E-09	43.57			

<b>Hansweert</b>						
	PR 6.2	PR6.6	%change		PR 6.2	PR6.6
Total	1.16E-07	1.71E-07	46.66	%toxic	17.7	12.3
Toxic	2.06E-08	2.10E-08	2.18	%flammable	82.2	87.7
Flammable	9.58E-08	1.50E-07	56.37			

<b>Oostgat</b>						
	PR 6.2	PR6.6	%change		PR 6.2	PR6.6
Total	7.38E-08	1.22E-07	65.52	%toxic	0.4	0.2
Toxic	2.59E-10	2.23E-10	-13.94	%flammable	99.7	99.8
Flammable	7.35E-08	1.22E-07	65.78			

<b>Terneuzen</b>						
	PR 6.2	PR6.6	%change		PR 6.2	PR6.6
Total	1.90E-07	2.86E-07	50.35	%toxic	14.8	9.3
Toxic	2.81E-08	2.66E-08	-5.36	%flammable	85.0	90.7
Flammable	1.62E-07	2.60E-07	60.37			

<b>Vlissingen</b>						
	PR 6.2	PR6.6	%change		PR 6.2	PR6.6
Total	2.64E-07	3.96E-07	50.18	%toxic	11.4	7.3
Toxic	3.00E-08	2.90E-08	-3.31	%flammable	88.6	92.7
Flammable	2.34E-07	3.67E-07	57.03			



---

## APPENDIX

---

### 2

### VERWERKTE DATA PROGNOSES

- o0o -

**Tabel II.1 Indexcijfer van het totaal aantal schepen met gevaarlijke goederen op de (Wester) Schelde voor de prognosejaren 2015 en 2030 ten opzichte van de referentieperiode 2004-2008**

	2008	2015	2030
ammoniak brandbare gassen	1.00	1.34	1.45
	1.00	1.03	1.03

**Tabel II.2 – Effect van de wijziging van de vergunningsvoorwaarden van Yara Sluiskil op het aantal scheepsbewegingen van ammoniak voor ieder segment**

Segment	Totaal over 2004-2008	Cijfers vanaf 2011	indexcijfer 2015	indexcijfer 2030
OG-VL/PV	0	0	0	0
RZ-VL/PV	467	363	0.80	0.80
PV-VL/BO	467	363	0.80	0.80
VL/BO-PVB	464	360	0.80	0.80
PVB-BO/TN	463	359	0.80	0.80
BO/TN-PT	463	359	0.80	0.80
PT-TN/HW	264	264	1.03	1.03
TN/HW-PH	264	264	1.03	1.03
Ph-HW/WA	264	264	1.03	1.03
WA/SA-OK	264	264	1.03	1.03
OK	264	264	1.03	1.03



**Tabel II.3 - Totaal aantal zeeschepen en het totaal aantal zeeschepen boven 20 kton per segment voor 2008.**

From	To	S	M	aantal middelgrote schepen boven 20.000 ton 56% (M)	L	aantal middelgrote schepen boven 20.000 ton 56% (M+L)	Totaal
OK	WA/SA	13371	10885	6096	7249	13345	31505
WA/SA	HW/WA	13088	10937	6125	7265	13390	31290
HW/WA	PH	13540	10942	6128	7269	13397	31751
PH	TN/HW	12952	10937	6125	7268	13393	31157
TN/HW	PT	12758	10935	6124	7263	13387	30956
PT	BO/TN	13359	12973	7265	7667	14932	33999
BO/TN	PVB	12952	10937	6125	7794	13919	31683
PVB	VL/BO	13456	12834	7187	7742	14929	34032
VL/BO	PV	17889	16245	9097	8227	17324	42361
PV	OG/VL	13436	5152	2885	267	3152	18855
PV	CA/VL	11109	11504	6442	7955	14397	30568

**Tabel II.4 - Indexcijfer (in %) van het totaal aantal zeeschepen en het totaal aantal zeeschepen boven 20 kton per segment voor 2015 en 2030.**

From	To	2015		2030	
		Indexcijfer totale scheepvaart	Indexcijfers scheepvaart > 20.000 ton	Indexcijfer totale scheepvaart	Indexcijfers scheepvaart > 20.000 ton
OK	WA/SA	1.12	1.34	1.08	1.11
WA/SA	HW/WA	1.13	1.34	1.09	1.11
HW/WA	PH	1.11	1.34	1.07	1.11
PH	TN/HW	1.14	1.34	1.10	1.11
TN/HW	PT	1.15	1.34	1.10	1.11
PT	BO/TN	1.28	1.35	1.19	1.11
BO/TN	PVB	1.24	1.44	1.16	1.17
PVB	VL/BO	1.17	1.35	1.08	1.09
VL/BO	PV	1.01	1.22	0.93	1.01
PV	OG/VL	1.01	1.50	0.91	1.65
PV	CA/VL	0.98	1.21	0.89	0.94

**Tabel II.5 – Ontvangen data inzake de botsingskans en de verdeling ervan langs de (Wester)Schelde**

<b>Collisions</b>	<b>2008</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>
<b>ZEEVAART</b>			
<b>(onderling)</b>	<b>ref</b>	<b>variatie (%)</b>	<b>variatie (%)</b>
<b>Wielingen</b>	0.059	133.5	126.3
<b>Oostgat</b>	0.046	98.4	83.9
<b>Vlissingen West</b>	0.235	114.9	107.7
<b>Sloe-Terneuzen</b>	0.242	125.8	119.2
<b>Terneuzen - 1.5Hansweert</b>	0.135	139.3	140.8
<b>-1.5Hansweert-Hansweert</b>	0.033	138.8	140.2
<b>Hansweert +1.5Hansweert</b>	0.034	140.3	142.6
<b>1.5Hansweert - Antwerpen</b>	0.216	140.4	142.7
<b>Totaal</b>	1.000	128.3	124.8

**Tabel II.6 – Berekende correctiefactoren (in %) voor transport brandbare gassen en ammoniak voor de prognosejaren 2015 en 2030 ten opzichte van de referentieperiode 2004-2008**

<b>segmentnr</b>	<b>segment</b>	<b>ammoniak</b>		<b>brandbare gassen</b>	
		<b>2015</b>	<b>2030</b>	<b>2015</b>	<b>2030</b>
<b>1</b>	<b>Wielingen</b>	1.31	1.17	2.19	2.12
<b>2</b>	<b>Rede van Vlissingen</b>	1.23	1.17	2.06	2.12
<b>3</b>	<b>Vlissingen to PVB</b>	1.02	0.93	1.71	1.68
<b>4</b>	<b>PVB to BOTN</b>	0.96	0.87	1.60	1.58
<b>5</b>	<b>BOTN tot Terneuzen</b>	0.85	0.78	1.42	1.42
<b>6</b>	<b>Terneuzen tot TNHW</b>	1.34	1.17	1.74	1.65
<b>7a</b>	<b>HW1 to HW1</b>	1.36	1.19	1.76	1.67
<b>7b</b>	<b>HW1 to HW1</b>	1.36	1.19	1.76	1.67
<b>8a</b>	<b>HW to HW2</b>	1.42	1.24	1.85	1.74
<b>8b</b>	<b>HW2 to HWWA</b>	1.42	1.24	1.85	1.74
<b>9</b>	<b>HWWA to WASA</b>	1.38	1.21	1.80	1.69
<b>10a</b>	<b>WASA to Ok</b>	1.41	1.22	1.83	1.72
<b>10b</b>	<b>OK to AW</b>	1.41	1.22	1.83	1.72
<b>12</b>	<b>Oostgat</b>	0.00	0.00	2.53	3.63



---

## APPENDIX

3

### VOORNAAMSTE PARAMETERS PHAST RISK

- o0o -

De parameters die in deze studie worden gebruikt zijn gebaseerd op de waarden voorgeschreven door de Nederlandse Overheid (Paarse Boek (nu Handleiding Risicoberekeningen BEVI) - waarden vertaald in een RIVM set van Phast Risk waarden) en de waarden voor Vlaamse QRA studies, zoals voorgeschreven door het departement Leefmilieu, Natuur en Energie. Daarenboven zijn een belangrijk aantal parameters in overeenstemming gebracht met lokale situaties en de karakteristieken van de gemodelleerde stoffen (en in de Basisstudie vastgelegd met de expertgroep). De voornaamste parameters die in het model worden gebruikt, worden hieronder weergegeven en besproken waar relevant.

**Standaard Luchttemperatuur** \_\_\_\_\_ **288 K (dag)**  
**283 K (nacht)**

**Standaard Luchtdruk** \_\_\_\_\_ **101510 N/m<sup>2</sup>**  
 Paarse boek waarde

**Relatieve vochtigheid** \_\_\_\_\_ **83 %**  
 Paarse boek waarde, te gebruiken voor alle seizoenen en dag/nacht condities.

**Oppervlakteruwheid:** parameter (SRP): 0.07

Lengte: 33 mm

Gebaseerd op de volgende referentietabel:

		zo (m)	SRP
1	open water, at least 5 km	0.0001	0.0347
2	mud flats; snow; no vegetation; no obstacles	0.005	0.0526
3	open flat terrain; grass; few isolated objects	0.03	0.0688
4	low crops; occasional large obstacles, $x/h > 20$	0.1	0.0868
5	high crops; scattered large obstacles, $15 < x/h < 20$	0.25	0.1084
6	parkland; bushes; numerous obstacles, $x/h < 15$	0.5	0.1335
7	regular large obstacle coverage (suburb, forest)	1	0.1737
8	city centre with high- and low-rise buildings	3	0.3322

**Land en water Temperatuur** \_\_\_\_\_ **283 K (dag)**  
**283 K (nacht)**

**Zonnestraling** \_\_\_\_\_ **0.24 kW/m<sup>2</sup> (dag)**  
**0 (nacht)**

De Paarse Boek waarde is 0.12 kW/m<sup>2</sup>

Default DNV is 0.5 kW/m<sup>2</sup>

*Deze waarde geeft de hoeveelheid straling weer die de plas ontvangt via de zon.*

**Moleculair gewicht van de lucht** **28.966**

**LFL fractie voor de berekening \_\_\_\_\_ 1.0 fractie**

Default DNV = 0.5, Parse Boek gaat uit van 1.0

*Dit is de concentratie (als fractie van de laagste ontvlambare limiet – LFL) waarbij het programma zijn dispersieberekeningen zal beëindigen. Deze concentratie bepaalt eveneens de zone die wordt omvat door de wolkbrand en de mogelijke brandbare massa in de explosieve wolk. Typische waarden zijn 50% en 100%. 50% geeft meer conservatieve resultaten en wordt gebruikt om de effecten van niet perfecte menging in rekening te brengen, waardoor lokale concentraties hoger zijn dan deze voorspeld door de dispersiemodellering.*

**BLEVE Massa correctie factor \_\_\_\_\_ 3**

Nieuwe parameter sinds Phast Risk versie 5.3. Default DNV = 3.0. Het Parse Boek schrijft voor dat de totale inhoud van een vat in de BLEVE berekening moet worden meegenomen, dit kan worden geforceerd door de factor op 1000 te zetten. Echter, omdat in voorliggende studie het met name gaat om gekoelde scenarios, die niet kunnen leiden tot een BLEVE effect, wordt deze benadering hier niet gevolgd. Er wordt aangesloten bij de default waarde van Phast Risk.

*De fractie van de vrijgezette massa meegenomen voor de berekeningen van de BLEVE wordt gegeven door:*

$$f_{flam} = \min(1, R_{fire}(1 - f_{rainout}))$$

*waarbij:*

*R<sub>fire</sub> “BLEVE Mass Correction Factor”.*

*f<sub>rainout</sub> de rainout fractie berekend door het UDM model*

**Jet fire correctie factor \_\_\_\_\_ 3**

Default DNV

*Deze factor wordt gebruikt voor het berekenen van de brandbare massa bij een jetfire:*

$$f_{jetfire} = \min(1, R_{fire}(1 - f_{rainout}))$$

*R<sub>fire</sub> is de Jet fire Correction Factor*

*f<sub>rainout</sub> de rainout fractie berekend door het UDM model*

**effect stralingsniveau \_\_\_\_\_ 35 kW/m2 \*\*****Pool en Jet**

Conform Parse Boek is een waarde van 35 kW/m2 nodig om voor zowel FN als IR berekening het 100%-letaliteitsniveau vast te leggen. Beneden deze waarden wordt een warmtestralingprobit gebruikt om de letaliteit te bepalen.

**Stralingsdosis \_\_\_\_\_ 500 kJ/m2 \*\*****BLEVE**

Deze parameter wordt in Phast Risk gebruikt om het effectniveau van een BLEVE te bepalen als de blootstellingstijd kleiner dan 20 seconden is. Voor een BLEVE wordt dus niet de 'effect

Stralingsniveau' gebruikt om het warmtestralingsniveau te zetten. Het bijbehorende warmtestralingsniveau in SAFETI wordt bepaald door de opgegeven dosis te delen door de blootstellingstijd. Er wordt dus geen rekening gehouden met de macht  $4/3$  zoals gehanteerd in de probit.

Echter, door de waarde op 500 te zetten – in plaats van op de default waarde van 700 – wordt deze probit-aanpak alsnog indirect gevolgd bij de modellering van de dosis als gevolg van warmtestraling van een BLEVE.

**Explosie efficiëntie** \_\_\_\_\_ **0.1**

Default DNV, Paarse Boek

*Deze waarde wordt gebruikt om de brandbare massa om te zetten in een equivalente massa TNT.*

**Minimum explosieve massa** \_\_\_\_\_ **1000 kg**

*Als de brandbare massa in de wolk kleiner is dan deze waarde op het moment van ontsteking dan worden geen explosieberekeningen uitgevoerd voor dat moment van ontsteking.*

**Overdruk schade coëfficiënt: zware schade** \_\_\_\_\_ **0.03**

**Overdruk schade coëfficiënt: lichte schade** \_\_\_\_\_ **0.06**

Conform Paarse Boek. De waarden 0.03 en 0.06 komen overeen met een overdruk niveau van circa 0,3 resp. 0,1 bar overdruk.

*Deze coëfficiënten worden gebruikt in het TNT-explosiemodel en corresponderen met de overdruk of schadezones die het programma gebruikt voor de berekening van de fractie doding. Buiten de zone van lichte schade is het dodingniveau gelijk aan 0.*

**Minimum explosie energie (schademodel)** \_\_\_\_\_ **5e+009 J**

In het oude Gele Boek wordt 5.0e09 J als minimale energie inhoud voor een wolk gegeven waarbij nog effecten als gevolg van een explosie zijn te verwachten.

**Oppervlakteruwheidsfactor** \_\_\_\_\_ **2.634 (zand)**

Default DNV, zie onderstaande tabel

	Surface	Roughness factor $c_s$
1	Wet soil	2.63
2	Dry soil	2.63
3	Concrete	1.00
4	Insulating concrete	1.00

**Thermische diffusiviteit grond (per seconde)** \_\_\_\_\_ **3.3e-7 m<sup>2</sup>/s**

Paarse Boek (Tabel4.3). Waarde voor 'wet sand 8wt% moist./clay' gekozen vanwege gemiddelde waarde.

Isolation concrete : 2.5e-07



Light concrete	:	2.5e-07
Heavy concrete	:	5.9e-07
Average subsoil 8wt% moist.	:	4.3e-07
Dry sand subsoil	:	2.0e-07
Wet sand 8wt% moist./clay	:	3.3e-07

**Oppervlakte type voor dispersieberekeningen** \_\_\_\_\_

**Water**

**Oppervlakte type voor de inkuiping** \_\_\_\_\_

**Diepe rivier**

**Berekening van de brandbare massa** \_\_\_\_\_ **massa tussen LFL en UFL**  
 Paarse Boek (par. 4.8)

**Basis uitmiddelingstijd** \_\_\_\_\_ **18.75 s (brandbaar)**  
**600 s (toxisch)**

Paarse Boek: 20 seconden voor brandbare stoffen, 600 seconden voor toxische stoffen, zoals ammonia.

**Fractie populatie buiten, F-N** \_\_\_\_\_ **0.07 (day)**  
**0.01 (night)**

Paarse Boek waarden zijn 0.07 (dag) and 0.01 (nacht) (par. 5.3.2)

**Fractie doding personen buiten bij explosie R1** \_\_\_\_\_ **0.3**  
 Paarse Boek waarde is 1.0

**Fractie doding personen binnen bij explosie R1** \_\_\_\_\_ **1.0**  
 Idem Paarse Boek

**Fractie doding personen buiten bij explosie R1-2** \_\_\_\_\_ **0.1**  
**Fractie doding personen binnen bij explosie R1-2** \_\_\_\_\_ **0.3**

Paarse Boek geeft 0.025. (par. 5.2.4), R2 komt overeen met een piekoverdruk van 0,1 bar.

#### **Fractie doding bij warmtestraling:**

In de Basisstudie van de Westerschelde (2003) is er gebruik gemaakt van Safeti versie 6.2, waarbij de Probit aanpak niet opgenomen was. Er is toen gekozen om het warmtestraling niveau op 20 kW/m<sup>2</sup> te zetten en de kwetsbaarheid van mensen voor deze warmtestraling te veranderen. In de huidige risicoanalyse werd het impact niveau voor doding door warmtestraling ingesteld op 35 KW/m<sup>2</sup> voor een blootstellingsduur van 20 seconden, in overeenstemming met het Paarse Boek en de Handleiding Risicoberekeningen. Vervolgens wordt aangenomen dat 100% van de blootgestelden buitenshuis overlijden en 100% van de blootgestelden binnenshuis boven deze waarde. Beneden de 35kW/m<sup>2</sup> wordt een warmtestralingsprobit gebruikt om het dodingsniveau

buiten te bepalen. Voor mensen binnenshuis is de doding onder de 35kW/m<sup>2</sup> gelijk gesteld aan 0%. De gebruikte probit voor de warmtestraling van koolwaterstofbranden (voor mensen buitenhuis) is de volgende:

$$Pr = -36.38 + 2.56 \cdot \ln(I^{4/3} \cdot t)$$

waarin :

t : blootstellingstijd in s;  
 I : warmtestralingsbelasting in W/m<sup>2</sup>

Onderstaande tabel vat de bovenstaande tekst samen.

Gebied	Plaatsgebonden Risico	Groepsrisico Binnen	Groepsrisico buiten
vlamgebied	1	1	1
warmtestraling > 35 kW m <sup>-2</sup>	1	1	1
warmtestraling < 35 kW m <sup>-2</sup>	P <sub>letaal</sub>	0	0,14 × P <sub>letaal</sub>

Fractie doding personen buiten door toxiciteit \_\_\_\_\_ **1**  
 Fractie doding personen binnen door toxiciteit \_\_\_\_\_ **0.1**  
 Default DNV.

Probabiliteit BLEVE \_\_\_\_\_ **1**  
 Probabiliteit brand \_\_\_\_\_ **1**



---

## APPENDIX

4

### BESCHRIJVING VAN DE METHODE VAN HAUER

- o0o -

## ON THE ESTIMATION OF THE EXPECTED NUMBER OF ACCIDENTS

EZRA HAUER

Transport Safety Studies Group, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto,  
Ont., M5S 1A4, Canada

(Received 18 February 1985)

**Abstract**—We show that similar entities (drivers, intersections, bus companies, rail crossings) which in one period recorded “ $x$ ” accidents do not have, on the average, “ $x$ ” accidents in the subsequent period. The difference is large and systematic. This leads us to conclude that in circumstances in which only the safety estimates in these two periods matter, use of “ $x$ ” to estimate the expected number of accidents has definite shortcomings. Better estimators are suggested, explored and their use is illustrated. We note that the suggested estimators are similar to what is used when estimation is based on a “treatment–control” type experimental design. It is hoped that the suggested estimators will alleviate some practical problems in the structuring of controlled experiments in safety research, eliminate bias-by-selection from uncontrolled studies and in general enhance the accuracy of safety estimates.

### INTRODUCTION

Safety, or rather its absence, is the property of specific entities (city A, driver B, intersection C, bus company D) during a certain period of time. Because the actual *count* of accidents (to be denoted by  $x$ ) is subject to random variation, we define the safety of an entity to be the *expected number of accidents*  $m$ . It follows, that to measure the safety of some entity means to obtain an *estimate* of its  $m$ .

It is common practice to use  $x$  (the actual count of accidents) to serve as an estimate of  $m$  (the expected number of accidents). In the first part of this paper we will show that in many cases of practical interest, perhaps in most,  $x$  is not a very good estimate of  $m$ . With some added effort one can estimate better. How to do so will be the subject of the second part of this paper. Section 3 is devoted to a recapitulation of the principal conclusions and their discussion.

#### 1. THE COUNT OF ACCIDENTS IS NOT A GOOD ESTIMATE OF SAFETY

Consider the entries in Table 1. The table is based on the count of accidents occurring during the years 1974 and 1975 at 1142 intersections in San Francisco. All intersections in this population had stop signs on the two approaches carrying the lesser flows. Column 1 gives the number of intersections [ $n(x)$ ] on which the count of accidents in 1974 was  $x = 0, 1, 2, \dots$  as shown in column 2. Column 3 gives the average of the count of accidents [ $x_m$ ] for the same  $n(x)$  intersections during 1975.

The use of  $x$  as an estimate of  $m$  means that if an intersection registered, say,  $x = 3$  accidents in 1974 and if it has remained largely unchanged for 1975, we think and assert that 3 is a sensible estimate of the accident count for 1975. This belief and assertion applies to each of the 65 intersections in the group. Therefore, while for any intersection in this group the 1975 count of accidents may be different from 3, the average count for all 65 intersections should be quite close to 3.

However, inspection of Table 1 reveals that intersections which in 1974 registered 3 accidents, had in 1975 1.97 accidents on the average. Similar discrepancies between the entries of columns 2 and 3 exist for all values of  $x$  (except for  $x = 1$  which will turn out to be the rule-confirming exception). These discrepancies can not be reasonably attributed to chance. Nor are they likely to reflect a sudden, large and peculiarly systematic change between these two years. (The total number of accidents at these intersections was 1253 in 1974 and 1216 in 1975.)

We observe therefore, that in this case, the 1974 count of accidents is not a good indication of the average count in 1975 for any value of  $x$  (except for  $x = 1$ ). One is led to conclude

Table 1. Accident count at 1142 intersections—1974/1975

1 Number of intersections [ $n(x)$ ]	2 Number of accidents per intersection in 1974 [ $x$ ]	3 Average number of accidents per intersection in 1975 [ $x_m$ ]
553	0	0.54
296	1	0.97
144	2	1.53
65	3	1.97
31	4	2.10
21	5	3.24
9	6	5.67
13	7	4.69
5	8	3.80
2	9	6.50

(2 intersections had 13 accidents, one had 16)

that (in this case)  $x$  can not be a very good estimate of  $m$  for the single intersections from which the groups with common  $x$  are constituted.

Tables 2 and 3 give similar information for the same 1142 intersections but during the pairs of years 1975–1976 and 1976–1977. The above observation and conclusion remain unchanged. It follows that there was nothing unique or peculiar about the years 1974–1975 (Table 1);  $x$  did not prove to be a good estimate of  $m$  in 1975–1976 and 1976–1977 either. It is worth noting however, that there is a pronounced similarity between the corresponding entries of columns 3 in the three tables. This regularity will be explored and exploited later.

In our earlier work (see, e.g., Hauer and Persaud, 1984) we have examined a large number of similar data sets pertaining to drivers, road sections and intersections in various countries. Just as in Tables 1, 2 and 3, we find in all cases large and systematic discrepancies between  $x$  (in its capacity as the estimate of  $m$ ) and between the average number of accidents in the subsequent period  $x_m$  (in its role as the estimate of the mean of the  $m$ 's for the group of entities which have had the same  $x$ ). Thus, the results in Tables 1, 2 and 3 are not an exception or aberration. They are used here merely to illustrate a general phenomenon. Based on diverse and ample empirical evidence we observe the following:

(a) Were  $x$  a good estimate of  $m$ , entities which recorded  $x$  accidents in one period would record, on the average,  $x$  accidents in the next period of equal duration if their expected number of accidents remained unchanged. However, this is not born out by empirical facts.

(b) We deduce therefore that  $x$  is not a good estimate of  $m$ .

Table 2. Accident counts at 1142 intersections—1975/1976

1 Number of intersections [ $n(x)$ ]	2 Number of accidents per intersection in 1975 [ $x$ ]	3 Average number of accidents per intersection in 1976 [ $x_m$ ]
559	0	0.55
286	1	0.98
144	2	1.41
73	3	1.82
35	4	1.97
18	5	2.50
11	6	3.91
9	7	4.22
3	8	2.00
1	9	3.00
2	10	2.50
1	11	5.00

Table 3. Accident counts at 1142 intersections—1976/1977

1 Number of intersections [ $n(x)$ ]	2 Number of accidents per intersection in 1976 [ $x$ ]	3 Average number of accidents per intersection in 1977 [ $x_m$ ]
562	0	0.53
287	1	0.94
155	2	1.37
74	3	1.72
33	4	2.61
13	5	3.00
11	6	2.64
4	7	2.25
1	8	1.00
2	9	3.50

The logical deduction in (b) runs counter to much of common practice. Thus, e.g. almost all the “before-and-after” and “with-without” studies, be they controlled or uncontrolled, take it to be self-evident that  $x$  is the proper estimate of  $m$ . This assumption is necessary to justify the use of  $\Sigma x$  in such studies. However, if  $x$  is not a good estimate of  $m$  as we assert, the standard procedures of evaluative research in road safety must also be found deficient. (The only exception to this are studies in which for each “treated” entity there are one or more “control” entities which have the same number of accidents in the “before” period as the “treated” entity. More will be said on this later.)

The use of  $x$  as an estimate of  $m$  leads to substantial bias when, as is common, high-accident locations are “treated” and on the basis of results so obtained, the effectiveness of the treatment is estimated. This we have shown in earlier work (see, e.g. Hauer, 1982). Here we make a stronger claim; we assert that  $x$  is not a good estimate of  $m$  irrespective of how systems are selected for treatment. Even a “random” selection for treatment is no insurance against bias; it only renders the bias subject to the vagaries of randomness. With random selection for treatment, bias may be positive or negative, large or small.

Because this claim is broad, contrary to engrained intuition and common practice and has wide-ranging implications for road safety research and management the reader is invited to independently verify its empirical basis. All that is needed are two years of accident data about several hundred “entities” (intersections, road sections, drivers etc.) arranged as in Tables 1, 2 and 3. Such data sets are ubiquitous.

Our claim about the inadequacy of  $x$  as an estimate of  $m$  has been based on empirical fact. Even when the validity of the empirical basis for observation (a) is verified and accepted (and therefore one is compelled to embrace the logical deduction in (b) with all its consequences) one would like to understand why it is that  $x$  and  $x_m$  are different. A brief exploration of the logical and historical roots of the noted empirical fact is in order.

There is a distinct pattern to the difference between  $x$  and  $x_m$  in columns 2 and 3 of Tables 1, 2 and 3. When  $x < 1$ ,  $x < x_m < 1$ ; when  $x > 1$ ,  $1 < x_m < x$ . What we observe here is the familiar phenomenon of “regression-to-the-mean.” (It so happens that in the 1974–1977 period the average annual number of accidents for these 1142 intersections was approximately 1. In the above inequalities, 1 stands for the average number of accidents in the population.)

Sir Francis Galton, the noted meteorologist, biologist and statistician reported in 1877 that the offspring of tall parents are, on the average, shorter than their progenitors (and vice versa). Kendall and Buckland (1967, pp. 244–245) attribute to Galton the term “regression” in its meaning of a tendency to “return toward” the mean. In his case as in ours, what happened “before” (the stature of the parent) turned out to be an imperfect and biased indication of what happened “after” (the height of the offspring). The term “regression” has in our days acquired a new meaning. However, the original phenomenon noticed by Galton more than a century ago has been consistently observed since his time in a variety of situations. Thus, e.g. Efron and Morris (1977) use an example of baseball batting averages, Hauer and Persaud (1983) show its occurrence in golf scores, traffic law violations and, of course, counts of road accidents.



In all cases one finds that what happened “after” is, on the average, not what happened “before.”

What nature so clearly and consistently tells us by empirical facts has not only a name and historical roots, it also has a logical explanation. In all cases, what is observed [ $x$ ] fluctuates around some unknown expected value [ $m$ ]. Even if  $x$  in one period happens to be larger than  $m$ , the best guess about the magnitude of  $x$  in the next period is still  $m$ . This comes close to the essence and meaning of “expected value.” Conversely, if the first observed value of  $x$  happens to be a “down-fluctuation” a return to the mean should be expected for the next observation. This is how regression-to-the-mean works at the level of a single entity. When single entities are aggregated into groups which have  $x$  in common as has been done in Tables 1, 2 and 3, there is a good chance that an entity included in a group with a large  $x$  happened to be observed in an “up-fluctuation” and therefore it is expected to return to its mean during the next period. This is why we find that for the groups with large  $x$ ,  $x_m < x$  and vice versa. A more quantitative account of this phenomenon is provided in Section 2.

Viewed in this historical perspective, and in light of the explanation provided, our claim is neither a new discovery nor heresy. Yet, even with the backing of empirical fact and logical necessity, the suggestion that  $x$  is not a good estimate of  $m$  may be found disconcerting. First, because what is almost universal practice in research on the effect of safety measures is now claimed to be deficient. Second, because what one reads in elementary accounts on statistical estimation may be taken to support the use of  $x$  for the estimation of  $m$ . This second concern requires airing.

The contrast between two estimation rationales is best brought out against the background of specific circumstances. Imagine that we ask at the end of 1974 what was the  $m$  for 1974 at a certain intersection which in that year registered, say, 3 accidents. The entries of column 3 (Table 1) are still unknown to us at that time. Thus, to produce an estimate, we have to use the fact that  $x = 3$  and the information provided in columns 1 and 2 of Table 1.

We propose to judge this estimate to be “good” if it turns out to be close to 1.97 (see column 3 of Table 1). This criterion for estimation quality, obvious as it may seem to be, still requires explicit justification. A longhand justification argument might go as follows: The entity under scrutiny belongs to a group of similar entities (here intersections in San Francisco with stop signs on minor approaches which in 1974 recorded 3 accidents); we have no grounds or data on which to further distinguish between the members of this group and therefore, for the usual reasons, the average of the  $m$ 's for this group is the most likely  $m$  for the entity under scrutiny; it will turn out that 1.97 is the estimate of the average of the  $m$ 's for the group to which the entity under scrutiny belongs (assuming there was no substantive change between 1974 and 1975); this is why the estimate of  $m$  for the entity under scrutiny will be deemed good if it is close to 1.97.

In contrast, elementary estimation theory appears to advise us to use 3 as an estimate of  $m$ . This is not close to what will prove to be the average for similar intersections (1.97). However, should we proceed to record accident counts at the same intersection in future years and were the intersection safety not to change in all those years, the average of such counts would converge to the  $m$  for that intersection (which may or may not be close to 1.97).

There is a substantive difference between these two estimation rationales.

Elementary estimation theory focuses on “signals” provided by a specific entity and on the performance in the long run of an estimator derived exclusively from these signals. Perhaps this focus has developed because in many practical applications it was indeed feasible to select the entities to be treated randomly and also because one could actually choose the size of the experiment in order to obtain the required estimation accuracy; perhaps the focus on a single entity also reflects the fact that the notions of repeated trials and frequency-in-the-long-run play such a pivotal role in giving meaning to the concept of probability that thought is automatically channeled into imagining repeated trials on something akin to a coin-tossing machine.

In road safety work, the “size” of the experiment is often dictated by opportunity and is difficult to influence by considerations having to do with the needs of estimation. Nor can one pretend that entities are chosen for treatment in a random fashion. There are usually good reasons why one entity is treated and another not. However, even if this were not so, when there is good evidence that an estimator will produce biased estimates at the time it is used, it

is no consolation that it would become unbiased in a long sequence of subsequent uses. Our interest in the safety of a specific entity is temporary, it will vanish shortly after the act of estimation is completed and there is no intent to examine and use future accident counts on it. Thus, whether an estimator would be good or even best in a long sequence of experiments is somewhat beside the point when subsequent experiments are not performed. What counts is that the estimator perform well in the instance and at the time when the estimate is needed.

This is why our preference is to seek an estimator which, using the data about  $n(x)$  for  $x = 0, 1, 2, \dots$ , will return estimates of  $m$  such that these match closely the subsequently observed averages for each group of entities which have a common  $x$ . Because we now have a criterion of estimation quality which differs from what is used in elementary estimation theory, it should not be surprising that we will also find the estimators to be different.

## 2. HOW TO ESTIMATE THE EXPECTED NUMBER OF ACCIDENTS

Consider a population of "entities," each entity having its own expected number of accidents— $m$ . The collection of  $m$ 's for the population forms a probability distribution function which will be denoted by  $G(\cdot)$ . It will be assumed that were one to perform a long sequence of trials on a specific entity, one which has  $m$  as the expected value, the count of accidents would conform to the Poisson probability law. Thus,

$$P(X = x|m) = p(x|m) = e^{-m}m^x/x! \tag{1}$$

However, as the  $m$  of the entity in question is not known to us, the probability to obtain an accident count  $x$  on an entity selected at random from the population is given by

$$\begin{aligned} p(x) &= \int_0^\infty p(x|m)dG(m) \\ &= \int_0^\infty (e^{-m}m^x/x!) dG(m). \end{aligned} \tag{2}$$

Robbins (1956) shows in his landmark paper that, irrespective of the form of the distribution  $G(\cdot)$ , if  $x$  has been observed, the estimator

$$T = (x + 1).p(x + 1)/p(x) \tag{3}$$

minimizes  $E\{(T - m)^2\}$ . In a more recent paper (1980a) Robbins shows that  $T$  estimates the expected value of  $m$  for an entity which had an accident count  $x$ , it estimates also the average of the  $m$ 's of the  $n(x)$  entities which all had accident counts  $x$ . (The notation  $\bar{m}|x$  will be used later to designate this average.)  $T$  also estimates the average of the future accident counts for these  $n(x)$  entities, provided that their  $m$ 's did not change.

A natural estimate of  $p(x)$  is the ratio of  $n(x)$  to the sum of the  $n(x)$  taken over all values  $x$ . Therefore, according to Robbins, if an entity recorded  $x$  accidents, we can estimate  $T$  by

$$\hat{T} = (x + 1).n(x + 1)/n(x). \tag{4}$$

How this exceedingly simple estimator performs with respect to the data in Table 1 is shown in Table 4.

Even though  $\hat{T}$  estimates the expected values for 1974 while column 3 pertains to 1975, it is quite clear that as long as the  $n(x)$  are large,  $\hat{T}$  is a better estimate of  $x_m$  than  $x$  is. (The reader may wish to calculate  $\hat{T}$  using data in Tables 2 and 3 in order to reach a similar conclusion on different data.)

In the lower reaches of Table 4, both  $x_m$  and  $\hat{T}$  fluctuate wildly because  $n(x)$  are small. We suggest below two ways in which "smoothed" estimates of  $T$  can be obtained in order to reduce some of the random noise.

Table 4. Performance of  $\hat{T}$  on data in Table 1

1 [ $n(x)$ ]	2 [ $x$ ] (from Table 1)	3 [ $x_n$ ]	4 [ $\hat{T}$ ] [eqn (4)]
553	0	0.54	0.54
296	1	0.97	0.97
144	2	1.53	1.35
65	3	1.97	1.91
31	4	2.10	3.39
21	5	3.24	2.57
9	6	5.67	10.11
13	7	4.69	3.08
5	8	3.80	3.60
2	9	6.50	n.a.

First, one can fit a function  $f(x)$  to the points  $\hat{T}$ . The value of the fitted function at  $x = 0, 1, 2, \dots$  is then the smoothed estimate of  $m$  for the corresponding  $x$ . When fitting a function to  $\hat{T}$  one must remember that the variance of each "data" point is different. It is estimated by  $\hat{T}^2\{1/[n(x+1)] + 1/[n(x)]\}$ . One should perhaps also recognize in curve fitting that the points  $\hat{T}$  and their variances are not independent. In addition, for reasons of consistency, the parameters of  $f(x)$  should be so chosen so that  $\sum f(x).n(x) = \sum \ln(x)$ .

Not all functions  $f(x)$  are legitimate. Equation (3) implies the recursive relationship  $p(x+1) = p(x).[f(x)/(x+1)]$ . This is the seed from which the entire probability mass function unfolds. To ensure that the probabilities add to one, the limit of the ratio  $f(x)/(x+1)$  must be less than 1 as  $x$  approaches infinity. Thus, to fit a curve to a rising set of points, an S-shaped  $f(x)$  is required.

Except for this limitation, the "curve fitting" approach to smooth estimates of  $T$  is quite general. It applies equally when the  $x$  are accident counts covering a period of  $k$  years. In this case, to get an estimate of the *annual* expected number of accidents  $m_a$ , divide  $f(x)$  by  $k$ .

A linear  $f(x)$  has been fitted to the data in Table 4 and the results are shown in Fig. 1.

The second option for obtaining smoothed estimates of  $T$  is less general. It has the advantage of simplicity and a slightly mystical appeal. Katz (1963) showed that a large family of discrete probability distributions (including, among others, the Poisson, Binomial and Negative Binomial) satisfies the difference relation:

$$(x+1).p(x+1) = (a+bx).p(x) \quad x = 0, 1, \dots; \quad a > 0, \quad b < 1. \quad (5)$$

Summing on both sides over all  $x$  we find  $E\{x\} = a + bE\{x\}$ . Multiplying both sides by  $(x+1)$  and summing again we obtain  $E\{x^2\} = a + (a+b)E\{x\} + bE\{x^2\}$ . Solving for  $a$  and  $b$  from here and using eqns (3) and (5) we obtain:

$$T = a + bx = x + [E\{x\}/\text{VAR}\{x\}](E\{x\} - x) \quad (6)$$

Substitution of the sample mean  $[\bar{x} = \sum xn(x)/\sum n(x)]$  and sample variance  $[s^2 = \sum (x - \bar{x})^2.n(x)/\sum n(x)]$  for  $E\{x\}$  and  $\text{VAR}\{x\}$  yields a smoothed estimate of  $T$ .

The appeal of eqn (6) is not only in its simplicity. The two terms of the sum on its right-hand side have recognizable meaning. The first is the commonly used (but deficient) estimator  $x$ ; the second is a "correction term" which is proportional to the size of the difference between  $x$  and its mean in the population. This correction term will accomplish the shifting of the estimate in the direction of the population mean. An additional noteworthy feature of eqn (6) is the fact that a relationship of the form  $T = x + \text{constant}.(E\{x\} - x)$  seems to crop up in several places. Thus, e.g. the James-Stein estimator (1961) has the same form and has been proved to outperform the classical maximum likelihood estimator. Alternatively, within a Bayesian frame of reference, if a random variable is Normally distributed and so is the mean of its distribution, the Bayes estimate of the mean is again of the same form.

The limitation of eqn (6) stems from the fact that  $p(x)$  may not belong to the family of probability distribution functions which satisfies the difference relationship (5). There is at

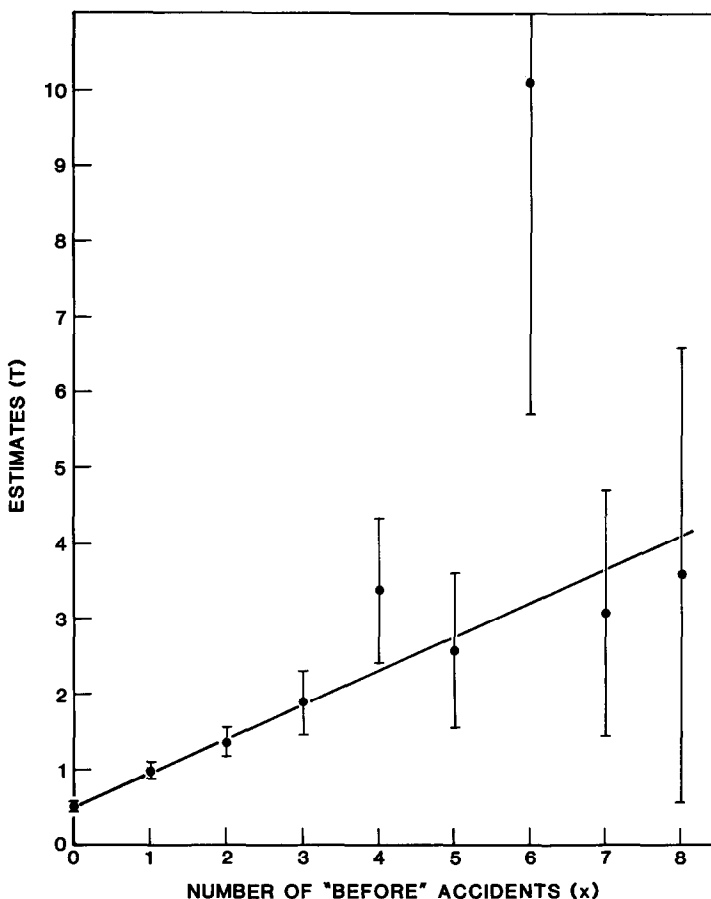


Fig. 1.

present no ground to believe that  $p(x)$  (or the distribution  $G(\cdot)$  which is, so to speak, behind the scenes) is of one form or another. Therefore, there is no firm reasoning which can be applied to the question whether to fit a function to the data points or whether to use eqn (6) instead.

In practical terms, it is perhaps best to prepare a graph as in Fig. 1 in every case. If, considering the different weights of the data points a linear fit appears sensible, use eqn (6); if the pattern of points looks distinctly nonlinear, select a legitimate function  $f(x)$  and fit it to the data.

Using again the data in columns 1 and 2 of Table 1, the various estimates of  $m$  are juxtaposed in Table 5.

The explicit form of eqn (6) presents us with an opportunity to explore what happens if for each entity we have several accident counts. This exploration has twofold importance. First, the need to estimate on the basis of several years of data arises in practice. Second, the analysis should lead to insight about whether the suggested estimator is biased or not.

To be specific, assume that for each entity we have  $k$  consecutive annual accident counts  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{ik}$  where  $i = 1, 2, \dots, r$  ( $r$  being the total number of entities in the population). Our aim is to obtain for a specific entity an estimate of the expected *annual* number of accidents which is characteristic of the  $k$ -year period for which accident counts are available.

Denote by  $y_i$  the sum the  $k$  values of  $x_{ij}$ . Because these are independent and Poisson-distributed,  $y_i$  is also Poisson-distributed with a mean  $km_i$ . Thus, if in eqn (6) we replace  $x$  by  $y$ ,  $\hat{T}$  will become an estimate of  $km_i$ . It remains to replace  $E\{y\}$  and  $VAR\{y\}$  by the corresponding

Table 5. Comparison of estimates

1	2	3	4	5	6
$[n(x)]$	$[x]$	$[x_m]$	estimates $\hat{T}$ of $m$		
			[eqn (4)]	$f(x)$	[eqn (6)]
553	0	0.54	0.54	0.53	0.44
296	1	0.97	0.97	0.98	1.04
144	2	1.53	1.35	1.43	1.64
65	3	1.97	1.91	1.88	2.24
31	4	2.10	3.39	2.32	2.84
21	5	3.24	2.57	2.77	3.44
9	6	5.67	10.11	3.22	4.04
13	7	4.69	3.08	3.67	4.64
5	8	3.80	3.60	4.11	5.25
2	9	6.50	n.a.	4.56	5.85
(from Table 1)			(smoothed)		

sample mean and variance and to express these in terms of the counts  $x_{ij}$ . It can be shown that

$$\bar{y} = k\bar{x} \text{ and } s_y^2 = k^2 (s_x^2 - \bar{x} + \bar{x}/k)$$

in which

$$\bar{x} = \sum_1^r \sum_1^k x_{ij}/rk \text{ and } s_x^2 = \sum_1^r \sum_1^k (x_{ij} - \bar{x})^2/rk.$$

With this, the estimate of the expected *annual* number of accidents for an entity which during the  $k$  years recorded  $\Sigma x$  accidents is given by

$$\hat{T}_a = \Sigma x/k + \{\bar{x}/[k(s_x^2 - \bar{x} + \bar{x}/k)]\} (\bar{x} - \Sigma x/k). \quad (7)$$

The subscript  $a$  of  $\hat{T}$  underscores the fact that the estimate is of the *annual* expected number of accidents.

Equation (7) is a generalization of eqn (6) and allows estimation when several years of accident data are used. It also serves to illumine an important facet of the suggested estimator. The first term on its right-hand side is the average of the  $k$  accident counts for the entity under scrutiny; the second term is the "correction" which is a function of the distribution of accident counts in the population. As  $k$  increases, the first term converges in the well-known manner on the  $m$  of the entity under scrutiny. Simultaneously, the correction term diminishes as  $k$  increases and vanishes entirely when  $k$  grows without limit. It follows that the suggested estimator is asymptotically unbiased. It follows also that the more information one has about the entity under scrutiny, the less is the estimate influenced by information derived from the accident counts on the other entities in the population.

The principal aim of this paper is to offer for consideration an alternative way for the estimation of the number of accidents expected to occur per unit of time on a specific entity. To complete the description of the suggested estimator it remains to explore the magnitude of the difference  $(m - \hat{T})$ . As is common, we use the Mean-Square-Error  $E\{(m - \hat{T})^2\}$  for this purpose. The MSE can be thought of as constituted of two parts. The first part, to be denoted by  $V_1$ , measures how far is the  $m$  of the entity under scrutiny from the mean of the  $m$ 's of the group of entities which all had an accident count  $x$ . We denote this mean by  $\bar{m}|x$ . The second part of the MSE to be denoted by  $V_2$ , measures how far is the estimate  $\hat{T}$  from  $\bar{m}|x$ . We examine both components below.

When the distribution of  $m$ 's in the population  $[G(\cdot)]$  is a member of the two-parameter Gamma family of distributions, we may use for the first component of the MSE

$$V_1 = E\{(m - \bar{m}|x)^2\} = (x + \beta)/(1 + \alpha)^2 \tag{8}$$

The parameters  $\alpha$  and  $\beta$  are estimated by

$$\hat{\alpha} = \bar{x}/(s^2 - \bar{x})$$

$$\hat{\beta} = \bar{x}^2/(s^2 - \bar{x}).$$

As before,  $\bar{x}$  and  $s^2$  stand for the sample mean and variance.

The first component of the MSE  $[V_1]$  does not depend on the estimator  $T$ . It describes the variability of the  $m$ 's within the group of entities which have  $x$  in common. The only way to reduce  $V_1$  is by judiciously changing the criteria which are used to define what entities are considered "similar." Thus, e.g. a further subdivision of the San Francisco intersections by traffic volume categories might prove beneficial in reducing this inherent "intra-group" variability. Consideration of this nature suggest interesting research directions.

It is the second component of the MSE which depends directly on the quality of the estimator. We consider the quality of the smoothed and unsmoothed estimators separately.

Robbins (1980b) shows that when the  $\hat{T}$  given by eqn (4) is used to estimate the  $m$  of a certain entity,

$$\hat{V}_2 = \hat{E}\{(\hat{T} - \bar{m}|x)^2\} = \hat{T} \cdot (\hat{T} + x + 1)/n(x). \tag{9}$$

Thus, if we estimate  $m$  by  $\hat{T}$  in eqn (4), the MSE of the estimate is the sum of the two components given by eqns (8) and (9). For the data first presented in Table 1, these two constituent parts of the MSE are given in columns 3 and 5 of Table 6.

As has been stressed earlier, when  $n(x)$  is small the contribution to the MSE of  $V_2$  [eqn (9)] is large. By "smoothing" [either through curve fitting or by use of eqn (6)] we hope to reduce the contribution of  $V_2$  to the MSE. When estimation is by "curve fitting," the role of eqn (9) is played by the variance of the regression function  $f(x)$ . Standard methods are available for this purpose (see, e.g Hald, 1952, sec. 18.6). Estimates of the variance of the regression function (see Fig. 1 and column 5 in Table 5) are shown in column 4 of Table 6. The use of eqn (6) is roughly equivalent to the fitting of a linear function and therefore similar variance estimates should apply.

Comparison of the entries in columns 3 and 4 shows that the advantage of "smoothing" is large when  $n(x)$  is small, i.e in the lower reaches of the table. While smoothing is an effective variance-reducing tool, the estimates in column 4 must not be taken too seriously. They are based on the assumption that were  $n(x)$  very large, all data points in Fig. 1 would line up on a straight line. However, there is no reason whatsoever to believe that this would indeed be so (say, for  $x > 3$ ). Moreover, no statistical analysis of this data set can produce such reasons.

Table 6. Estimates of mean-square-error

1 [ $x$ ]	2 [ $n(x)$ ]	3 $\hat{V}_2$ unsmoothed [eqn (9)]	4 $\hat{V}_2$ smoothed (variance of regm. fctn.)	5 $\hat{V}_1$ [eqn (8)]
0	553	0.002	0.001	0.26
1	296	0.01	0.002	0.56
2	144	0.03	0.01	0.85
3	65	0.17	0.03	1.14
4	31	0.92	0.05	1.43
5	21	1.05	0.08	1.72
6	9	19.22	0.11	2.01
7	13	6.76	0.15	2.31
8	5	9.07	0.20	2.60
9	2			2.89



Comparison of entries in columns 4 and 5 of Table 6 leads to the conclusion that, for this data set, almost the entire MSE is contributed by the component  $V_1$ . Thus, to improve the precision of estimation further, one has to find ways which will render entities more “similar” to each other. A measure of this “similarity” is the difference between the sample variance and mean for the population [see, e.g. eqn (8)].

Finally, the results in Table 6 also allow us to compare the MSE associated with the suggested method of estimation to the Mean-Square-Error of what we claim to be a poor estimator, (the use of  $x$  to estimate  $m$ ). In this case, the MSE would be approximately  $m$ . Comparison of columns 5 or 6 of Table 5 with the sum of columns 4 and 5 in Table 6 reveals that, for this data set, the MSE is about twice the size of  $(V_1 + V_2)$ .

### 3. DISCUSSION

In Section 1 we assert that in some cases of practical interest the *count* of accidents for an entity is not a good estimator of its *expected number* of accidents. The assertion is based on the empirical evidence contained in numerous data sets. What we observe repeatedly is that the count “before” differs consistently and systematically from the average count “after” when the average is taken over all similar entities which had the same “before” accident count. This is the familiar and universal “regression to the mean” and thus our assertion has very general empirical support and perhaps also some respectability which comes from a long history. A detailed explanation as to why this assertion is true, is furnished in Section 2 and is based on the conceptual model due to H. Robbins.

The core of the model is in the recognition that the entities of which a population is comprised differ in their  $m$ 's. Speaking pictorially, the distribution of the accident counts  $x$  taken over the population of entities is always “wider” than the distribution of the  $m$ 's taken over the same population. (In particular, when  $p(x|m)$  is Poisson,  $\text{VAR}\{x\} = E\{m\} + \text{VAR}\{m\}$ .) Accordingly, when making inferences about  $m$  on the basis of counts  $x$ , consistent use of the estimator  $\hat{m} = x$  would render identical two distributions which are known to be different. This is logically unsupportable. A coherent estimator must ensure that the wider distribution (of  $x$ ) is squeezed by the process of estimation into the narrower distribution (of  $m$ 's). This is why the estimate of  $m$  when  $x$  has been observed must be closer to the mean than  $x$  is.

Section 2 also contains suggestions on how to estimate better. The suggested methods of estimation offer two main advantages. First, the usual estimates of the effect of safety measures often suffer from bias-by-selection as it is seldom feasible to select for treatment entities which are sufficiently numerous and also representative of the entire population. More often than not it is the entity which is perceived as dangerous which gets treated. If for such entities  $x$  is used to estimate  $m$ , the safety effect of the treatment is consistently overestimated. The resulting pollution of knowledge can be largely eliminated by the use of estimators suggested in Section 2. Second, use of the smoothed estimators can markedly improve the accuracy of estimation.

In Section 1 we note that, with one exception, our conclusion about  $x$  being a relatively poor estimate of  $m$  runs counter to common practice. The exception is that specific experimental design in which each “treated” entity which had  $x$  accidents in the “before” period is matched by one or more “control” entities which also had  $x$  accidents in that period and are left untreated. Inferences about treatment effectiveness are then based on the assumption that were the treated entities left without treatment, they would have behaved just like the “control” entities, except for the effect of random variation. Thus, e.g. if an intersection in San Francisco had 3 accidents in 1974 and after being “treated” had 1 accident in 1975 the effect of treatment would be inferred from what happened to similar intersections which were left untreated. From Table 1, similar untreated intersections had an average of 1.97 accidents in 1975. On this basis one would usually claim that only the difference between 1.97 and 1 can be attributed to the treatment (not the reduction from 3 to 1). This is almost exactly what we advocate in Section 2!

It follows that the experimental design which in safety work is commonly held to be superior to all others, implicitly abandons the notion that  $x$  is an estimate of  $m$ . This notion is replaced by the principle: “the  $m$  which would have prevailed during the after period had the

entity not been treated is estimated by the average accident count on the matched control entities in the ‘after’ period” (column 3 in Tables 1, 2 and 3). This leads to several observations.

First, there is perhaps no need to be defensive about advocating the replacement of  $\hat{m} = x$  by the methods developed in Section 2. After all, what is considered to be the superior experimental design accomplishes much the same.

Second, conclusions drawn from experiments in which the “control” entities are matched to “treatment” entities on  $x$  are commonly thought to have high inductive validity. In such studies, averages similar to those in column 3 of Tables 1, 2 and 3 play a central role. As can be seen in these tables, when  $n(x)$  are small, the entries  $x_m$  fluctuate widely. In contrast, the methods of Section 2 produce smoothed estimates which are less susceptible to the vagaries of random variation. It may therefore turn out that the methods of Section 2 will yield results which are better than those obtainable by the “treatment-matched control” experimental design. All this without the need to designate a limited number of entities to serve as “control” and to follow their accident history during the “after” period. This issue requires careful examination. After all, the purpose of control entities is not only to counter the effect of the regression to the mean but also to recognize the autonomous workings of various factors which do not remain constant during the study period. For this purpose, the need for control entities remains vital. It is not clear, however, that the predesignation of a relatively small number of entities to act as “control entities” serves this purpose well.

Third, when use is made of a “treatment-control” experimental design, inference is always based on the assumption that what has happened on the “control” entities is what one would expect to happen on the “treatment” entities were these left untreated. Thus, lurking in the background, there is an unprovable presupposition. (It is another version of the argument about the “uniformity of nature” which is the central problem of inductive logic. See, e.g. Skyrms, 1975.) In experimental designs of the “treatment-control” type, presupposed is a certain uniformity or common fate of several distinct entities which all exist at the same time. This is precisely the type of “uniformity” on which methods of Section 2 rest. In contrast, when statistical estimation focuses on a specific entity and is based on the outcomes of a long sequence of trials conducted on that entity, a “uniformity of nature” presupposition is required to extrapolate the pattern of the past into the unobserved future. Which of these two types of “uniformity of nature” holds the promise of better inductive validity is another interesting research question. We can only claim that the methods of estimation explored in Section 2 are consistent with the conceptual framework of the “treatment-control” experimental designs and that in the real circumstances in which safety research work is done they make good practical sense.

The estimators discussed in Section 2 all require the knowledge of accident occurrence on a population of similar entities. What is the criterion which defines “similarity”? The answer given to this question by the analyst introduces into the interpretation of data an element of the arbitrary and of the questionable.

Procedures which allow the analyst some freedom of choice may be viewed with suspicion. Two arguments may be raised in defense. First, in practice the choice of the population of similar entities does not seem to be unduly difficult because it is severely circumscribed by what data is available and by our prior understanding of what makes for a homogeneous population. However, that in practical applications the choice is narrow, is only a weak defense. A stronger argument is that all known methods for the statistical interpretations of data require a similar measure of the arbitrary. Thus, for example, were it at all possible to match a control group (of entities left untreated) to the treated entities, one would also have to make a judgement about what entities match. This is the same kind of judgement as is required for the delineation of the population of similar entities.

Even if a degree of arbitrariness is accepted as unavoidable, serious questions remain. Entities are subjected to treatment not only on the basis of their previous accident history but (hopefully) also on the basis of a diagnosis of fault and determination of it being rectifiable. If so, the treated entities are almost certainly a group which is different from the entities which are left untreated. The extent to which this difference affects estimation accuracy remains to be determined.

Finally, it may be worth noting that the estimators discussed in this paper can also be

characterized in terms of the data they use. The estimator  $\hat{m} = x$ , so much maligned here, uses only data about the entity under scrutiny. The unsmoothed estimator [eqn (4)] uses data about  $n(x) + n(x + 1)$  entities. The two smoothed estimators [curve fitting and eqn (6)] extract information from all  $n(x)$  entities. Thus, if information about "similar" entities is of relevance to inference about a specific entity and if the methods suggested make sensible use of such information, the smoothed estimated should outperform the others. They seem to do so in our limited experience.

*Acknowledgment*—These musings grew out of the need to grapple with problems which arose in the course of work sponsored jointly by Transport Canada (Safety) and the U.S. Department of Transportation (FHWA). Their support and patience is gratefully acknowledged.

#### REFERENCES

- Efron B. and Morris C., Stein's paradox in statistics. *Scientific Amer.* **236**, 119–128 (1977).  
 Galton Sir F., Typical laws of heredity. *Proc. Roy. Inst.* **8**, 282–301 (1877).  
 Hald A., *Statistical Theory with Engineering Applications*, Wiley, New York, 1952.  
 Hauer E., Selection for treatment as a source of bias in before-and-after studies, *Traffic Eng. Control* **21**, 419–421 (1980).  
 Hauer E. and Persaud B. N., A common bias in before and after accident comparisons and its elimination, *Transpn Res. Rec.* **905**, 164–174 (1983).  
 James W., and Stein C., Estimation with quadratic loss, *Proc. 4th Berkeley Symp. Math. Stat. Prob.* **1**, 361–369 (1961).  
 Katz L., Unified treatment of a broad class of discrete probability distributions, *Proc. Int. Symp. Discrete Distributions*, Montreal, 175–182, 1963.  
 Kendall M. G. and Buckland W. R., *A Dictionary of Statistical Terms*. Oliver and Boyd, London, 1967.  
 Robbins H., An empirical Bayes approach to statistics. *Proc. 3rd Berkeley Symp. Math. Stat. Prob.* **1**, 157–163, Univ. California Press, 1956.  
 Robbins H., Some estimation problems for the compound Poisson distribution. In: *Asymptotic Theory of Statistical Tests and Estimation*. pp. 251–257. Academic, New York, 1980 a.  
 Robbins H., An empirical Bayes estimation problem. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* **77**, 6988–6989, Dec. 1980 b.  
 Skyrms B., *Choice and Chance. An Introduction to Inductive Logic*. Wadsworth, 1975.



## Det Norske Veritas:

Det Norske Veritas (DNV) is a leading, independent provider of services for managing risk with a global presence and a network of 300 offices in 100 different countries. DNV's objective is to safeguard life, property and the environment.

DNV assists its customers in managing risk by providing three categories of service: classification, certification and consultancy. Since establishment as an independent foundation in 1864, DNV has become an internationally recognised provider of technical and managerial consultancy services and one of the world's leading classification societies. This means continuously developing new approaches to health, safety, quality and environmental management, so businesses can run smoothly in a world full of surprises.

## Global impact for a safe and sustainable future:

Learn more on [www.dnv.com](http://www.dnv.com)