

DNV

RAPPORT

QRA Toekomstig Transport Gevaarlijke Stoffen (Wester)Schelde



DET NORSKE VERITAS



RAPPORT

QRA Toekomstig Transport Gevaarlijke Stoffen (Wester)Schelde

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

Versie	Datum	Opgesteld door	Review door	Opmerkingen
0	28 mei 2004	M. Spruijt F. Destat	E. Schouwenaars	Eerste versie
1	14 juni 2004	M. Spruijt F. Destat	E. Schouwenaars K. De Jongh	Eind versie (scen. 1 – 18)
2	22 juni 2004	M. Spruijt F. Destat	E. Schouwenaars	Eind versie (scen. 1 – 20)
3	24 juni 2004	M. Spruijt	E. Schouwenaars	Eind versie (opmerkingen ProSes verwerkt)
4	29 juni 2004	M. Spruijt F. Destat	E. Schouwenaars	Eind versie

INHOUD

0.	SAMENVATTING.....	1
1.	INLEIDING.....	5
1.1	Voorgaande studie: Actualisatie Risico Analyse anno 2003.....	5
1.2	Toekomstverkenning: QRA toekomstig transport 2010, 2020 en 2030	5
2.	STUDIE-AANPAK	6
3.	SYSTEEMBESCHRIJVING, SITUATIE 2003	8
3.1	Data vaarbewegingen.....	8
3.2	Overzicht Aanvaringen 1998-2002	9
4.	IDENTIFICATIE VAN GEVAREN & DEFINITIE VAN FAALSCENARIO'S.....	11
4.1	Identificatie van gevaren: uitgangssituatie 2003	11
4.2	Definitie van faalscenario's	12
5.	ANALYSE VAN GEVOLGEN	15
5.1	Inleiding	15
5.2	Ammoniak	15
5.3	Brandbare Stoffen	16
6.	ANALYSE VAN LEKFREQUENTIES – SITUATIE 2003	17
6.1	Inleiding	17
6.2	Energiemodel 2003 : berekende lekfrequenties.....	17
7.	ACHTERGRONDGEGEVENS	19
7.1	Bevolkingsgegevens	19
7.2	Ontstekingsgegevens	19
7.3	Studie van meteorologische condities	21
8.	AANPASSING RISICOMODEL VOOR SITUATIES 2010, 2020 EN 2030	22
8.1	Introductie.....	22
8.2	Economische groei en verdiepen van de Schelde.....	22
8.3	Variatie input parameters	23
8.3.1	Aantal transportbewegingen gevaarlijke stoffen per zeeschip.....	23
8.3.2	Aantallen totale zeescheepvaart	25
8.3.3	Schatting van het aantal botsingen.....	28
8.3.4	Effecten van gewijzigde parameters.....	30

9.	RESULTATEN	32
9.1	Plaatsgebonden risico 2003	32
9.2	Groepsrisico 2003	34
9.3	Resultaten 2010, 2020, 2030	37
9.4	Gevoeligheidsanalyses scenario 18 : 2030 GC Y	41
9.4.1	Resultaten scenario 19: scenario 18 + voorhavenontwikkeling te Vlissingen	41
9.4.2	Resultaten scenario 20: scenario 18 + alternatieve inschatting transport brandbare stoffen havengebied Antwerpen	42
9.4.3	Vergelijking groepsrisico's Scenario's 18, 19 en 20	43
10.	CONCLUSIES.....	44

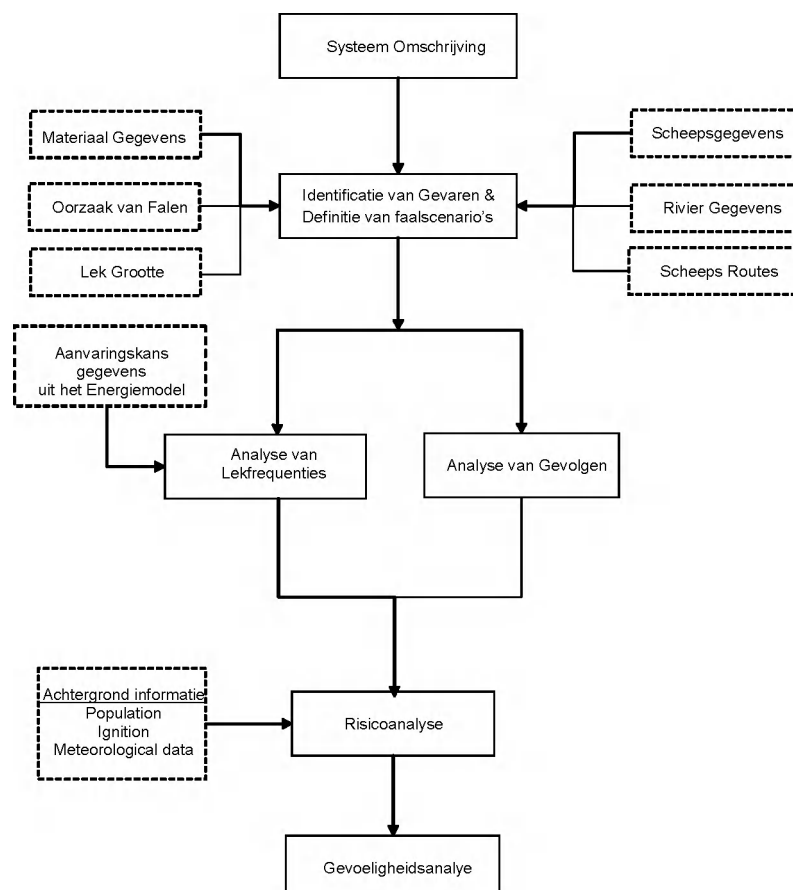
BIJLAGEN

0. SAMENVATTING

In het *Memorandum van Vlissingen* verbinden Vlaanderen en Nederland er zich toe om gezamenlijk een ontwikkelingsschets voor het Schelde estuarium op te stellen waarin onder meer de externe veiligheid aan bod komt. Om de toekomstige externe veiligheidssituatie op de (Wester)schelde verder te kunnen onderzoeken heeft ProSes aan DNV Consulting de opdracht verstrekt om een aantal kwantitatieve risicoanalyses uit te voeren. De mogelijke bandbreedte waarbinnen de externe veiligheidssituatie zich in de komende decennia zal gaan ontwikkelen is bestudeerd aan de hand van de peiljaren 2010, 2020 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 2003 geldt als referentiepunt voor de gedefinieerde scenario's.

De risico analyse is gebaseerd op een klassieke aanpak uitgaande van het identificeren van gevaren en het vervolgens kwantificeren van de voorkomingfrequenties en mogelijke schade effecten. De combinatie van kans en effect leiden tot risico inschattingen. 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 drietal locaties langs de Westerschelde, te weten Terneuzen, Vlissingen en Hansweert).

Het proces wordt schematisch weergegeven in het onderstaande figuur.



De toekomstverkenning voor de peiljaren 2010, 2020 en 2030 is gebaseerd op het risicomodel zoals dat in de basisstudie is opgebouwd. De basisstudie – die DNV Consulting in opdracht van de provincie Zeeland heeft uitgevoerd – omvat de risicoanalyse van de huidige situatie, gebaseerd op data van de periode 1998-2002 (aangeduid als referentiesituatie 2003). Voor een aantal geïdentificeerde parameters als verruiming, verwachte economische groei en specifieke transportontwikkelingen wordt in de toekomstverkenning geanalyseerd wat de invloed is op het externe risicoprofiel van de Westerschelde zoals eerder berekend voor de situatie 2003. De basisstudie is uitgevoerd in nauwe samenwerking met vertegenwoordigers van de Vlaamse en Nederlandse autoriteiten en het bedrijfsleven in beide landen. Specialisten op het gebied van risicoanalyse en externe veiligheid van beide landen hebben in de vorm van een Expert Groep de studie actief begeleid. Daarnaast is in het periodieke Management Overleg met vertegenwoordigers van betrokken partijen de studie eveneens ondersteund. De bestuurlijke coördinatie volgt vanuit het Veiligheidsmemorandum van Vlissingen. De totale risicostudie is geverifieerd en gevalideerd door TNO.

Het gehanteerde risicomodel maakt gebruik van een (verbeterd en geijkt) 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. Het risicomodel baseert zich voor de potentiële gevolgen van een ammoniaklekkage uit een aangevaren schip op de resultaten van een gedetailleerde ammoniak uitstroomstudie, welke is uitgevoerd door TNO. In deze studie is het oplosvermogen van ammoniak in water in detail bestudeerd, op basis waarvan een verdampingsbronterm in het risicomodel is ingevoerd. De opvolgende ammoniak dispersie in de atmosfeer is uitgevoerd met het DNV softwarepakket SAFETI, uitgaande van een neutraal gas gedrag. Gevaarsafstanden zijn berekend met DNV's gevalideerde dispersiemodel gebruik makend van een gecombineerde ammoniak probit functie om het risico te berekenen voor een gegeven blootstelling.

Het risicomodel is aangepast voor de te verwachten veranderingen in scheepsbewegingen in 2010, 2020 respectievelijk 2030, gebaseerd op een drietal economisch groeiscenario's in combinatie met het al dan niet verruimen van de Westerschelde. Uitgaande van de aangeleverde informatie door het Centraal Plan Bureau en adviesbureau MARIN, heeft DNV geanalyseerd wat het effect is van deze prognoses op het risicomodel.

Uit de risicoberekeningen kan worden geconcludeerd dat het maximale plaatsgebonden risico op land voor nagenoeg alle beschouwde peiljaren kleiner is dan de in de Nederlandse wetgeving aangegeven grenswaarde van $1E-06$ per jaar. Het plaatsgebonden risico wordt gedefinieerd als de kans op overlijden van een individu als gevolg van een (onbeschermde) 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). Dit impliceert dat – geredeneerd vanuit het plaatsgebonden risico – het vervoer van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde nu en in de toekomst leidt tot een beperkt risiconiveau op land. Alleen het plaatsgebonden risiconiveau voor sterke economische groei (zowel met als zonder verruiming) voor het peiljaar 2030 wordt op de boulevard berekend boven de grenswaarde van $1E-06$ per jaar (zijnde $1,43 E-06$ per jaar met verruiming). De $1E-6$ risicocontour treedt voor dit meest extreme groeiscenario 250 meter aan land. Voor de overige groeiscenario's is dit (net) niet het geval. Voor hetzelfde groeiscenario geldt in Terneuzen dat de $1E-6$ contour 100 meter op de wal ligt. In geval van Hansweert, Oostgat of Breskens ligt deze contour op het water.

Het begrip groepsrisico geeft omwonenden antwoord op de vraag: wat is de kans per jaar dat onder mijn groep van wijk- of dorpsgenoten een x-aantal (bijvoorbeeld 20) mensen dodelijk worden getroffen door een ongeval bij het naastgelegen bedrijf? 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 Terneuzen blijkt voor alle doorgerekende scenario's het hoogst over de hele Westerschelde. Het meest extreme groeiscenario in combinatie met verruiming resulteert voor Terneuzen in een groepsrisicocurve die een minimum aantal slachtoffers van meer dan 1000 toont bij een voorkomingsfrequentie van $1E-8$. De Nederlandse risiconormering – die tot op heden de status van oriënterende waarde kent – geeft aan dat een slachtofferaantal van 10 maximaal mag voorkomen eens in de 10.000 jaar ($1E-04$ per jaar), een slachtofferaantal van 100 maximaal eens in de miljoen jaar ($1E-06$ per jaar) etc..

Ten aanzien van de verdere loop van de Schelde doorheen de Antwerpse haven kan worden afgeleid dat ook voor de meest extreme situatie (2030, grootste economische groei en met verruiming) de $1E-06$ risicocontour naar verwachting grotendeels op het water zal liggen.

De bijdrage van ammoniak op de resultaten is veel lager dan de bijdrage van de ontvlambare stoffen. De bijdrage van brandbare stoffen 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 30 jaar het ammoniaktransport nagenoeg zal stabiliseren.

De **verruiming** van de Westerschelde brengt ter plekke een vergroot plaatsgebonden en groepsrisico met zich mee. Echter, de toename als gevolg van verruiming van de rivier staat in de schaduw van de risicotename als gevolg van de geprognoseerde economische groei. Het grootste effect van verruiming wordt berekend voor het meest extreme scenario (2030, 'open markt economie') op het risicomeetpunt 'Oostgat'. De toename van het plaatsgebonden risico op dit risicomeetpunt bedraagt 27 % (versus dezelfde situatie zonder verruiming). De gemiddelde toename van het plaatsgebonden risico langs de Westerschelde ten gevolge van verruiming (versus 'geen verruiming') bedraagt 13 %.

Economische groei leidt tot een toename van het risico als gevolg van een toename van de intensiteit van het totale scheepvaartverkeer, en bijgevolg ook een hogere kans op botsingen voor de schepen die gevaarlijke goederen vervoeren. Behalve deze ontwikkeling in de algemene zeevaart geldt daarnaast dat ook het transport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde toeneemt (met name geldt dit voor de brandbare stoffen, voor ammoniak geldt dit niet). Wanneer men per peiljaar afzonderlijk het risiconiveau beschouwt is de invloed van economische groei aanzienlijk. De toename van de plaatsgebonden risiconiveaus op land gaande van 'beperkte economische groei' naar 'open wereldmarkt economie' levert de stijgingspercentages op tot 350% (voor 2030).

De toename van het externe risico van gevaarlijke stoffen transport wordt voor sommige riviersegmenten en situaties gecompenseerd door de zogenaamde 'swapping overeenkomst' tussen BASF Antwerpen en Yara Sluiskil (het vroegere Hydro Agri) voor wat betreft ammoniak.

In aanvulling op de bovenstaande toekomstverkenning is het meest extreme scenario 18 onderworpen aan twee gevoeligheidsanalyses, welke zijn gedefinieerd als scenario's 19 en 20.

Het scenario 19 is identiek aan 18 (de prognose: 2030, 'open markteconomie', met verdieping van de rivier) echter is dit scenario inclusief een virtuele **voorhavenontwikkeling te Vlissingen**. De plaatsgebonden risico's voor het scenario 19 zijn wat betreft Hansweert en Terneuzen ongewijzigd ten opzichte van het scenario 18, terwijl de overgang van 18 naar 19 voor Vlissingen, Breskens en Oostgat een vermindering betekent. Zowel bij scenario 18 als bij scenario 19 komen de 1E-06 risicocontouren aan land bij Vlissingen en Terneuzen. Inbegrip van de voorhavenontwikkeling heeft geen significante invloed op het groepsrisico van scenario 18.

Op verzoek van het Havenbedrijf Antwerpen heeft ProSes een 20^{ste} scenario aan de studie toegevoegd. ProSes respecteert hiermee de opvatting van het Havenbedrijf dat de toename van **transport van brandbare stoffen** door het CPB wordt overschat. De context van een wereldwijd sterk groeiende economie gaat mogelijk voorbij aan een meer realistisch beeld cq een meer lokatiespecifieke inschatting van de toekomstige aard en intensiteit van het scheepvaartverkeer te Antwerpen. Het scenario 20 is identiek aan 18, echter is bij modellering de geschatte groeifactor voor het transport van brandbare gassen verlaagd van 2.85 naar 1.73, beide ten opzichte van referentiejaar 2003. De plaatsgebonden risico's liggen voor alle 5 lokaties zo'n 38% lager dan bij het scenario 18. Conform de aanname van het Havenbedrijf Antwerpen ligt de 1E-06 risicocontour voor scenario 20 nergens meer op land. Ook het berekende groepsrisico neemt af, maar overschrijdt ter plekke van Terneuzen nog de Nederlandse richtlijn.

1. INLEIDING

1.1 Voorgaande studie: Actualisatie Risico Analyse anno 2003

De voorliggende studie is een vervolg op de kwantitatieve risicoanalyse die DNV Consulting recent uitvoerde voor de provincie Zeeland, waarbij de risico's verbonden aan het huidige vervoer van gevaarlijke stoffen door de (zee)scheepvaart over de (Wester)Schelde rivier nader zijn beschouwd. In het kader van deze voorgaande opdracht maakte DNV het SAFETI-rekenmodel specifiek op maat voor de Westerschelde situatie, en wel speciaal met inbegrip van het 'Energimodel' en de specifieke segmentering van de rivier. De actualisatie anno 2003 samengevat:

In 2003 gunde de Provincie Zeeland, Afdeling Milieuhygiëne aan Det Norske Veritas (DNV) de opdracht om een gedetailleerde risicoanalyse uit te voeren op het scheepvaarttransport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde. Het bureau AVIV assisteerde bij de statistische analyse van data welke werden verstrekt door de Schelde Radar Keten (SRK; aantal/type vaarbewegingen en frequentie aanvaringen). Bij het totstandkomen van de definitieve rapportage voerde TNO als onafhankelijke derde partij een verificatie uit op uitgangspunten en de bij berekening gebruikte gegevens, vergeleek de modellering met andere modellen, en gaf een fiat aan de interpretaties van de resultaten.

De doelstelling van de opdracht was om eerdere studies te actualiseren en de modellering van de risico's te verfijnen. Hiertoe zijn de resultaten uit voorgaande studies beschouwd, is uitgegaan van het meest actuele overzicht van vaarbewegingen en zijn de recent voorgevallen aanvaringen verwerkt (periode 1998 – 2002). Reeds geïmplementeerde (nautische) (risico)beheersmaatregelen zijn als uitgangspunt genomen voor deze studie.

Het vervoer van brandbare stoffen over de de Westerschelde werd in aanvang van ondergeschikt belang geacht ten opzichte van het vervoeren van toxische stoffen (ammoniak) per schip. Gaandeweg de studie bleek dat naast toxische stoffen ook het vervoer van brandbare stoffen per schip significant bijdraagt tot het risicoprofiel aan de oevers van de Westerschelde.

De oorspronkelijke opdrachtschrijving van de provincie Zeeland omvat(te) tevens het maken van een schatting van de risico's verbonden aan de toekomstige vaardrukke (verkeersintensiteit) op de Westerschelde in het jaar 2010. Echter, het modelleren van dit scenario is destijds vooruitgeschoven in de wetenschap dat een uitgebreidere toekomstverkenning vanuit ProSes geïnitieerd zou worden. Deze uitgebreide verkenning inclusief het 2010 scenario dat gevraagd werd door de provincie Zeeland wordt derhalve in voorliggende rapportage meegenomen.

1.2 Toekomstverkenning: QRA toekomstig transport 2010, 2020 en 2030

De toekomstverkenning voor de peiljaren 2010, 2020 en 2030 is gebaseerd op het risicomodel zoals dat in de voorgaande studie is opgebouwd. Voor een aantal geïdentificeerde parameters als verruiming, verwachte economische groei en specifieke transportontwikkelingen wordt in de toekomstverkenning geanalyseerd wat de invloed is op het externe risicoprofiel van de Westerschelde. Voorliggende rapportage 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.

2. STUDIE-AANPAK

In het *Memorandum van Vlissingen* verbinden Vlaanderen en Nederland er zich toe om gezamenlijk een ontwikkelingsschets 2010 voor het Schelde estuarium op te stellen waarin onder meer de externe veiligheid aan bod komt.

Om de toekomstige externe veiligheidssituatie op de Westerschelde / rivier De Schelde verder te kunnen onderzoeken heeft **ProSes** aan **DNV** de opdracht verstrekt om een kwantitatieve risicoanalyse uit te voeren. De mogelijke bandbreedte waarbinnen de externe veiligheidssituatie zich in de komende decennia zal gaan ontwikkelen wordt bestudeerd aan de hand van de **peiljaren 2010, 2020 en 2030**.

De opdracht richt zich op de transport(on)veiligheid van het scheepvaartverkeer op de rivier. De aandacht gaat specifiek uit naar mogelijke calamiteiten op de vaarweg waarbij mogelijk brandbare of toxische stoffen vrijkomen. De opdracht omvat een modellering van de specifieke aard en intensiteit van het toekomstig scheepvaartverkeer op de (Wester)schelde. De situatie in 2003 geldt als referentiepunt voor de gedefinieerde scenario's. De uitkomst van de modellering betreft een serie berekende plaatsgebonden risico's. De toekomstbeelden worden gevisualiseerd middels risicocontourlijnen op kaart.

Voor elk van deze peiljaren zullen drie economische prognoses onderzocht worden namelijk:

- Divided Europe (DE) of een beperkte economische groei;
- European Coördination (EC) of een gemiddelde economische groei;
- Global Competition (GC) of een sterke economische groei;

en dit zowel **bij verruiming** als **zonder verruiming** van de rivier. Onder verruiming wordt verstaan het verdiepen van de bestaande vaargeulen in de Westerschelderivier tot een getijonafhankelijke vaart met diepgang van 13,1 m., waardoor grotere zeeschepen (met een grotere waterverplaatsing) de rivier kunnen betreden.

Het bovenstaande resulteert in 18 te onderzoeken scenario's, te weten:

- Scenario 2010, beperkte economische groei, zonder verruiming
- Scenario 2010, beperkte economische groei, met verruiming
- Scenario 2010, gemiddelde economische groei, zonder verruiming
- Scenario 2010, gemiddelde economische groei, met verruiming
- Scenario 2010, sterke economische groei, zonder verruiming
- Scenario 2010, sterke economische groei, met verruiming
- Scenario 2020, beperkte economische groei, zonder verruiming
- Scenario 2020, beperkte economische groei, met verruiming
- Scenario 2020, gemiddelde economische groei, zonder verruiming
- Scenario 2020, gemiddelde economische groei, met verruiming
- Scenario 2020, sterke economische groei, zonder verruiming
- Scenario 2020, sterke economische groei, met verruiming
- Scenario 2030, beperkte economische groei, zonder verruiming
- Scenario 2030, beperkte economische groei, met verruiming
- Scenario 2030, gemiddelde economische groei, zonder verruiming
- Scenario 2030, gemiddelde economische groei, met verruiming
- Scenario 2030, sterke economische groei, zonder verruiming
- Scenario 2030, sterke economische groei, met verruiming

De recente analyse van de externe veiligheidssituatie anno 2003 geldt als referentie voor de genoemde scenario's. Behalve de twee hierboven genoemde parameters (economische groei en verruiming) is ook de zogenaamde 'swapping overeenkomst' tussen Yari Sluiskil (het vroegere Hydro Agri) en BASF Antwerpen in de toekomstverkenning meegenomen. Deze overeenkomst betreft het beperken van het aantal ammoniaktransporten over de Westerschelde door een verbeterde samenwerking tussen de ammoniakproducent Yara en de ammoniakgebruiker BASF. Deze overeenkomst brengt een reductie van het ammoniak transport op de Westerschelde ten westen van Terneuzen teweeg en geldt als uitgangspunt voor alle berekeningen c.q. scenario's die in het voorliggende rapportage zijn doorgerekend.

Aan de hand van het te verwachten zeevaartverkeer in het Schelde estuarium dient voor elk van deze achttien scenario's zowel het plaatsgebonden risico (PR/IR waarde 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8}) als het groepsrisico voor de locaties Vlissingen, Terneuzen en Hansweert te worden onderzocht. Er wordt voor elk van de 18 scenario's berekend of de PR/IR waarde van 10^{-6} op het land dan wel op het water gelegen is. Ook wordt voor het groepsrisico de afwijking t.o.v. de "oriënterende waarde" gepresenteerd voor de verschillende scenario's. Tevens wordt het verschil voor beide grootheden gegeven tussen de scenario's met en zonder verruiming.

In aanvulling op de bovenstaande toekomstverkenning heeft ProSes opdracht gegeven om het meest extreme scenario 18 te onderwerpen aan twee gevoeligheidsanalyses, welke zijn gedefinieerd als scenario's 19 en 20.

Het scenario 19 is identiek aan scenario 18 (de prognose 2030, 'open markteconomie', met verdieping van de rivier) echter is deze inclusief een virtuele **voorhavenontwikkeling te Vlissingen**. De doelstelling is te onderzoeken in hoeverre het risicoprofiel van scenario 18 beïnvloed zal kunnen worden door een eventuele voorhavenontwikkeling.

Het Havenbedrijf Antwerpen heeft een andere perceptie van het scenario 18 dan het CPB, dit specifiek waar het toekomstig transport van brandbare stoffen per schip op de (Wester)schelde betreft. ProSes heeft hiertoe aan DNV opdracht gegeven om 20^{ste} scenario aan de studie toe te voegen.

ProSes respecteert hiermee de opvatting van het Havenbedrijf dat de toename van **transport van brandbare stoffen** zoals het CPB deze inschat - scenario 18 - wellicht teveel gezien wordt in de context van een wereldwijd sterk groeiende economie. Deze extreme aanname kan daarmee voorbijgaan aan een meer realistische en meer lokatiespecifieke inschatting van de toekomstige aard en intensiteit van het scheepvaartverkeer te Antwerpen. Het CPB¹ gaat bij scenario 18 uit van een groeifactor 2,85 ten opzichte van het referentiejaar 2003, terwijl het Havenbedrijf Antwerpen² conform een eigen onderbouwing (trendanalyse) uitkomt op een geschatte groeifactor ter grootte van 1,73. De twee visies op de toekomst worden beiden doorgerekend. De uitkomsten van plaatsgebonden en groepsrisico's voor scenario's 18 en 20 worden onderling vergeleken.

¹ Email CPB (R. Saitua) aan ProSes (J. Claessens) dd 11 juni 2004

² Fax Havenbedrijf Antwerpen (Chris Coeck) aan ProSes (J. Claessens) dd 4 juni 2004

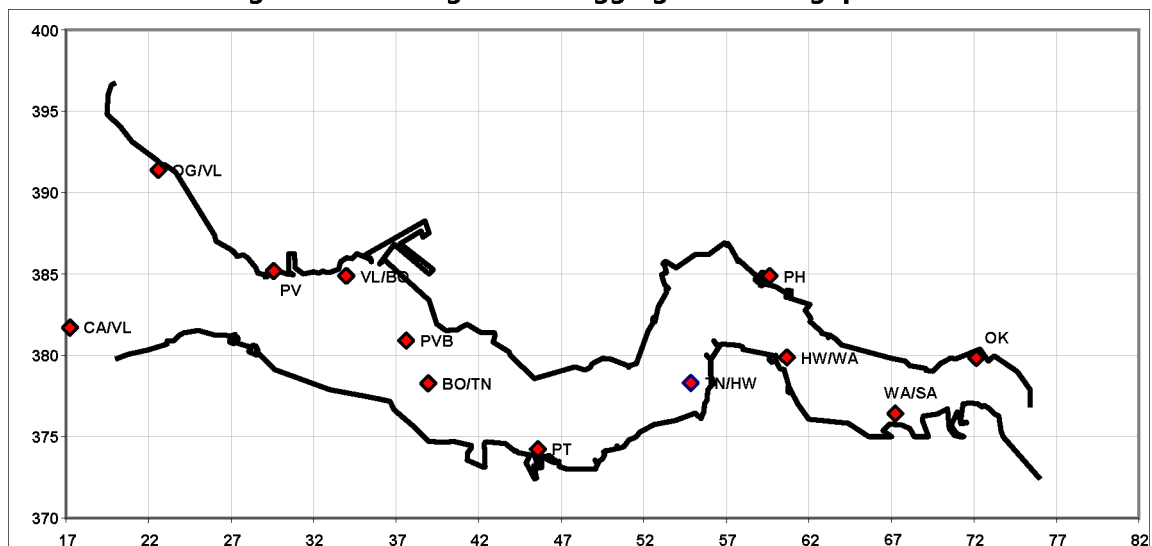
3. SYSTEEMBESCHRIJVING, SITUATIE 2003

3.1 Data vaarbewegingen

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

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

Figuur 3.1 – Geografische ligging van Passagepunten



Elk van de punten is voorzien van een afkorting. De afkortingen representeren de passagepunten als is weergegeven in Tabel 3.1. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de aantallen zeeschepen per passagepunt per jaar.³

Tabel 3.1 – Passagepunten en Afkortingen

ca/vl	Grens Cadzand / 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/vl	Grens Oostgat / Vlissingen
tn/hw	Grens Terneuzen / Hansweert (Middelgat)		

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

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

3.2 Overzicht Aanvaringen 1998-2002

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

³ In verband met SRK-afstemming

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

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

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

4. IDENTIFICATIE VAN GEVAREN & DEFINITIE VAN FAALSCENARIO'S

4.1 Identificatie van gevaren: uitgangssituatie 2003

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

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

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

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

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

De grootten van lekkages zijn gemodelleerd conform de definitie in "Het Protocol"⁴, waarbij een diameter van 250 mm wordt aangehouden als representatieve grootte voor een kleine lekkage en 1100 mm is gedefinieerd als een standaard voor grote lekkages. Deze keuze wordt geacht het volledige spectrum van mogelijke lekkages te vertegenwoordigen, een bandbreedte die qua omvang kan variëren van een speldenprik tot catastrofale scheur in de tank. De Engelstalige eindrapportage geeft de argumentatie op basis waarvan deze tweedeling te rechtvaardigen is.

De analyse van het vaarverkeer die AVIV opstelde, verschaftte DNV de namen van alle transportschepen die brandbare en toxische gassen vervoerden in de periode 1998-2002. Al de relevante data inzake het ontwerp van de betreffende schepen zijn bestudeerd, daarbij gebruik

⁴ Protocol ontwikkeld door AVIV en DNV op vraag van Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Directoraat-Generaal Goederenvervoer). Het betreft een richtlijn voor het uitvoeren van een risico analyse van de risico's verbonden aan het vervoer van gevaarlijke stoffen over binnenwateren.

makend van het "Lloyds Shipping Register". De inventarisatie over genoemde tijdspanne maakte duidelijk dat het in alle gevallen Type 2 gastransporterende zeeschepen betreft. De karakteristieken van Type 2 schepen zijn opgenomen in de Technische Rapportage.

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

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

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

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

4.2 Definitie van faalscenario's

Op grond van de gevaaridentificatie in hoofdstuk 4.1. zijn de onderstaande faalscenario's (Tabellen 4.2, 4.3, en 4.4) gedefinieerd, uitgedrukt in de parameters druk, temperatuur, massa, grootte van het lek, en snelheid waarmee de ontstane damp zich verspreidt. De berekening van de uitstroomsnelheid van het vloeibare gas is gebaseerd op eerder uitgevoerde modelleringen. De massa van het verdampende Ammoniak en de verdampingssnelheid van de stof is berekend in overeenstemming met de TNO-uitstroomstudie.

Tabel 4.2 - GT3 (Ammoniak) Faalscenario's

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

Tabel 4.3 – GF2 (Butaan) Faalscenario's

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

Tabel 4.4 – GF3 (Ethyleen & Propaan) Faalscenario's

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

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

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

- De eerste letter representeert de water(massa)verplaatsing van het schip (S, M or L)
- De tweede letter staat voor het type opslagtank (P or R)
- De derde letter staat voor de wijze van opslag (P or R)
- De vierde (en vijfde) letter staat voor de plaats van lekkage (WL or B)
- De getallen 250 of 1100 representeren de grootte van het lek
- Het eerste stuk van het alfanumerieke deel is een label voor de gemodelleerde stof in kwestie (C2=, C3, C4 or NH₃)
- Het tweede stuk van het alfanumerieke deel geeft het segment van de Westerschelde aan waarin de gebeurtenis is gemodelleerd. Zo betekent bijvoorbeeld: S1 "Wielingen" en S2 "Rede van Vlissingen".

5. ANALYSE VAN GEVOLGEN

5.1 Inleiding

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

5.2 Ammoniak

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

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

$$Pr = A + B \ln (c^n \times t)$$

Waarin:

- *Pr de berekende probit-impact waarde is (evt bij standaard condities uit probit tabellen)*
- *"A", "B" en "n" probit constanten zijn, uniek voor elk toxisch gas*
- *"c" de concentratie is van het toxische gas in ppm of in mg/m³*
- *"t" de blootstellingsduur is in minuten*

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

De formule luidt:

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

5.3 Brandbare Stoffen

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

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

6. ANALYSE VAN LEKFREQUENTIES – SITUATIE 2003

6.1 Inleiding

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

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

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

6.2 Energiemodel 2003 : berekende lekfrequenties

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

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

Tabel 6.1 – Resultaten Analyse Lekk frequenties

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

BUTANE Failure Cases	Segment 1 (Wielingen)		Segment 2 (Rede van Vlissingen)		Segment 3		Segment 4		Segment 5		Segment 6		Segment 7A		Segment 7B		Segment 8A		Segment 8B		Segment 9		Segment 10		Segment 12 (Oostgat)	
	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK
MPR-WL-C4 (250 OR 1100)	2.66E-09	4.42E-10	4.11E-08	1.08E-08	1.46E-08	3.62E-09	1.30E-08	3.83E-09	7.23E-09	1.30E-09	9.17E-09	1.66E-09	1.00E-08	1.71E-09	6.00E-09	1.02E-09	6.07E-09	1.03E-09	4.24E-09	7.22E-10	4.08E-09	8.33E-10	4.17E-09	8.25E-10	1.16E-09	2.63E-10
LPR-WL-C4 (250 OR 1100)	7.51E-10	1.21E-10	1.15E-08	2.56E-09	3.00E-09	5.79E-10	2.64E-09	6.32E-10	2.21E-09	3.67E-10	2.94E-09	4.69E-10	2.98E-09	4.57E-10	1.78E-09	2.73E-10	1.80E-09	2.85E-10	1.26E-09	1.99E-10	1.23E-09	2.04E-10	1.25E-09	2.04E-10	1.87E-10	4.42E-11
MPR-B-C4 (250 OR 1100)	5.18E-09	7.95E-10	6.84E-08	1.74E-08	2.46E-08	5.21E-09	2.02E-08	5.71E-09	1.36E-08	2.49E-09	1.68E-08	3.15E-09	1.86E-08	3.55E-09	1.11E-08	2.12E-09	1.15E-08	2.01E-09	8.05E-09	1.40E-09	7.20E-09	1.48E-09	7.44E-09	1.47E-09	2.09E-09	5.48E-10
LPR-B-C4 (250 OR 1100)	1.49E-09	2.02E-10	1.98E-08	4.63E-09	5.17E-09	1.02E-09	4.28E-09	1.08E-09	4.23E-09	7.53E-10	5.48E-09	1.02E-09	5.59E-09	1.06E-09	3.34E-09	6.32E-10	3.46E-09	5.95E-10	2.42E-09	4.16E-10	2.21E-09	4.39E-10	2.27E-09	4.37E-10	3.56E-10	6.33E-11
SCP-WL-C4 (250 OR 1100)	2.15E-08	5.76E-09	4.51E-07	2.72E-07	1.43E-07	9.52E-08	1.07E-07	8.66E-08	1.88E-07	5.99E-08	2.12E-07	1.03E-07	2.23E-07	1.02E-07	1.33E-07	6.13E-08	1.45E-07	5.39E-08	1.01E-07	3.77E-08	7.82E-08	4.44E-08	8.14E-08	4.43E-08	1.08E-07	3.53E-08
MCP-WL-C4 (250 OR 1100)	6.33E-09	1.41E-09	9.58E-08	4.38E-08	3.43E-08	1.52E-08	2.80E-08	1.60E-08	2.05E-08	5.10E-09	2.62E-08	8.30E-09	2.76E-08	8.37E-09	1.65E-08	5.00E-09	1.73E-08	4.42E-09	1.21E-08	3.09E-09	1.06E-08	4.00E-09	1.10E-08	3.92E-09	7.31E-09	2.51E-09
LCP-WL-C4 (250 OR 1100)	2.23E-11	1.05E-11	2.40E-10	2.40E-10	7.95E-11	7.54E-11	6.23E-11	7.38E-11	7.78E-11	4.47E-11	9.86E-11	6.44E-11	1.01E-10	6.37E-11	6.05E-11	3.81E-11	6.39E-11	3.59E-11	4.46E-11	2.51E-11	3.83E-11	2.98E-11	3.96E-11	2.96E-11	0.00E+00	0.00E+00
SCP-B-C4 (250 OR 1100)	4.19E-08	7.20E-09	7.34E-07	2.85E-07	2.30E-07	9.81E-08	1.60E-07	8.22E-08	3.58E-07	7.13E-08	3.72E-07	1.14E-07	3.95E-07	1.17E-07	2.36E-07	6.98E-08	2.69E-07	6.41E-08	1.88E-07	4.48E-08	1.31E-07	4.80E-08	1.38E-07	4.87E-08	1.90E-07	5.87E-08
MCP-B-C4 (250 OR 1100)	1.30E-08	2.40E-09	1.67E-07	7.30E-08	5.96E-08	2.63E-08	4.77E-08	2.23E-08	4.18E-08	7.82E-09	4.79E-08	1.78E-08	5.08E-08	1.81E-08	3.04E-08	1.08E-08	3.38E-08	8.65E-09	2.36E-08	6.04E-09	1.89E-08	7.79E-09	1.96E-08	7.99E-09	1.57E-08	3.95E-09
LCP-B-C4 (250 OR 1100)	0.00E+00	6.49E-11	5.20E-10	2.94E-10	1.68E-10	9.61E-11	1.31E-10	8.65E-11	1.79E-10	5.51E-11	2.16E-10	8.68E-11	2.23E-10	8.62E-11	1.33E-10	5.16E-11	1.44E-10	4.74E-11	1.01E-10	3.31E-11	8.25E-11	3.96E-11	8.55E-11	3.99E-11	0.00E+00	0.00E+00

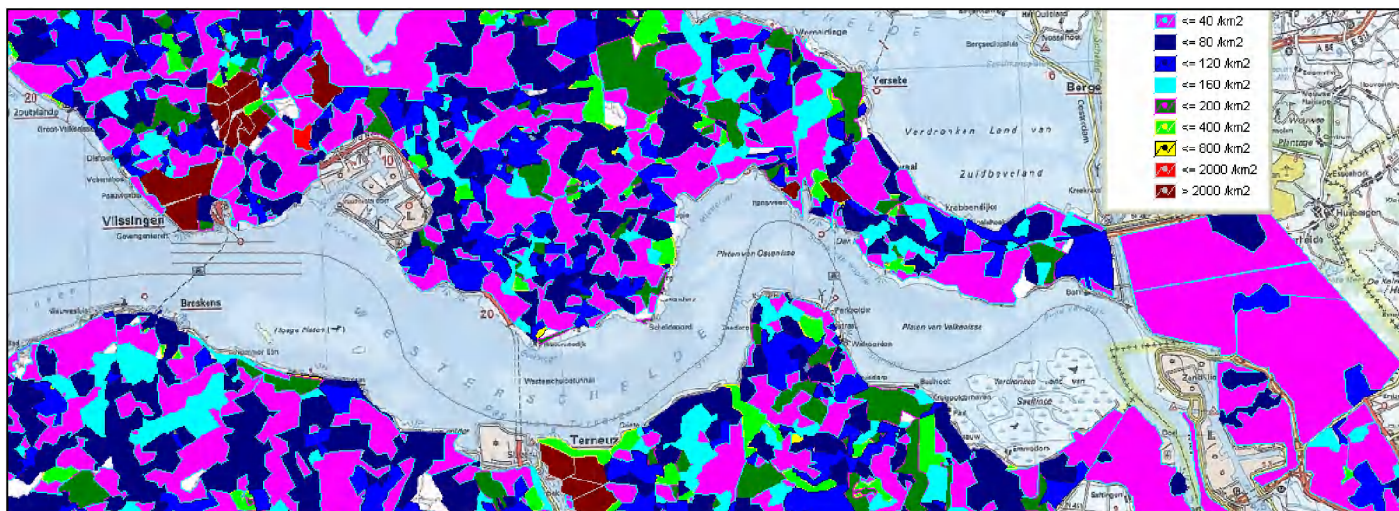
GF3 Failure Cases Propane is C3; Ethylene is C2=	Segment 1 (Wielingen)		Segment 2 (Rede van Vlissingen)		Segment 3		Segment 4		Segment 5		Segment 6		Segment 7A		Segment 7B		Segment 8A		Segment 8B		Segment 9		Segment 10		Segment 12 (Oostgat)	
	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm LEAK	FREQ 1100mm LEAK	FREQ 250mm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

7. ACHTERGRONDGEGEVENS

7.1 Bevolkingsgegevens

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

Figuur 7.1 – Bevolkingsgegevens (SAFETI plot)



7.2 Ontstekingsgegevens

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

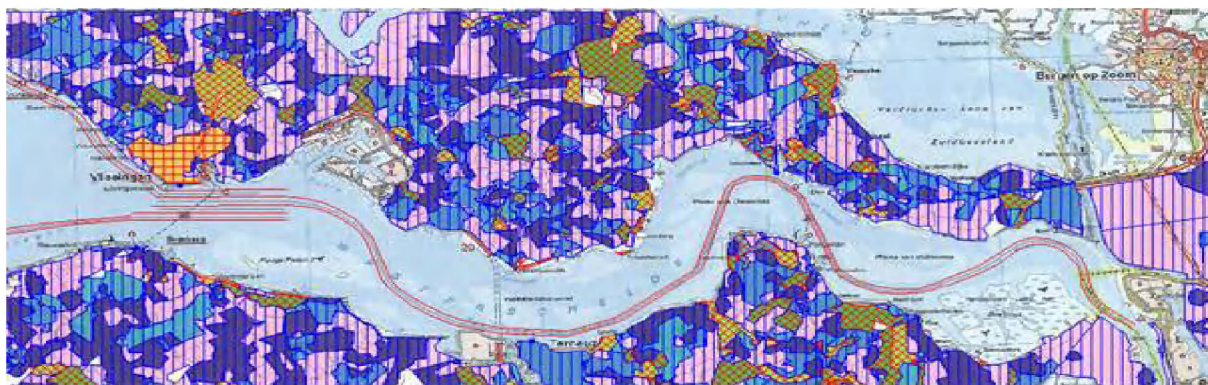
SAFETI-software biedt de mogelijkheid om de zowel kans op een onmiddellijke als een vertraagde ontbranding in te geven. Echter, de computerprogrammatuur kan ook apart een

vertraagde ontbranding berekenen op basis een aparte set data van specifiek aangegeven ontstekingsbronnen. Bij uitvoer van de risicoanalyse viel de keuze op de laatste optie, aangezien de parameters "tijd" en "plaats" de reikwijdte van de kritieke gevarezone sterk kan beïnvloeden.

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

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

Figuur 7.2 – Ontstekingsbronnen Scheepvaartverkeer



7.3 Studie van meteorologische condities

De meteorologische condities die in de studie zijn gebruikt corresponderen met hetgeen "Het Paarse Boek"⁵ aangeeft voor weerstation Vlissingen, en zijn eveneens consistent met de weerkundige gegevens die AVIV gebruikte in eerdere QRA's.

- De specifieke meteorologische data voor de Westerschelde zijn:
- Luchttemperatuur: 15 °C dag; 10 °C nacht
- Vochtigheidsgraad: 83 % dag en nacht
- Stralingsintensiteit Zon: 0.24 kW/m² dag; 0 kW/m² nacht
- Land-en Watertemp: 10 °C dag and nacht
- Oneffenheid Oppervlakte: 0.07

⁵ Guidelines For Quantitative Risk Assessment CPR 18E

8. AANPASSING RISICOMODEL VOOR SITUATIES 2010, 2020 EN 2030

8.1 Introductie

De Projectdirectie ontwikkelingsschets Schelde-estuarium (ProSes) is een gezamenlijk initiatief van het Vlaamse Gewest en de Staat der Nederlanden met als doel om voor het Schelde-estuarium een Ontwikkelingsschets op te stellen. In de Ontwikkelingsschets zal een verscheidenheid aan belangen aan bod komen; de projecten en maatregelen die tegen 2010 gerealiseerd dienen te zijn of juist dan zullen zijn aangevangen worden in het document opgenomen. De Ontwikkelingsschets, die eind 2004 gereed zal zijn, moet zo breed mogelijk worden gedragen en vormt de onderbouwing voor de politieke besluiten.

Overeenkomstig de eigen doelstellingen stelt ProSes een Strategische MER (SMER) op, waarbij de projectorganisatie een doorkijk geeft naar de situatie in jaren 2010, 2020 en 2030. De ontwikkeling van de waterweg, de aanliggende havenplaatsen en het aangrenzende landelijke gebied omvat ook de noodzaak tot inzicht in de externe veiligheidssituatie. In dezen zijn de variabele economische groei, de eventuele verruiming van de rivier en de mogelijke exploitatie van een mogelijk te bouwen Container Ontwikkeling Vlissingen als belangrijke parameters onderkend. Prognoses voor de komende decennia zijn (in de vorm van indexcijfers) aangeleverd door het maritiem adviesbureau MARIN en het Centraal Plan Bureau (CPB).

De provincie Zeeland nam recent het initiatief met het in kaart brengen van de risico's verbonden aan het transport van gevaarlijke stoffen op de Westerschelde. In de Hoofdstukken 3 t/m 7 is reeds de algemene opzet van de kwantitatieve risico analyse anno 2003 aan de orde geweest. In concreto zijn daarbij de invoergegevens, de gehanteerde uitgangspunten en de modellering van de actuele situatie op de Westerschelde in grote lijnen beschreven.

In dit hoofdstuk is per paragraaf aangegeven in hoeverre de kwantitatieve analyses voor de jaren 2010, 2020 en 2030 een variatie zijn op het referentiejaar 2003. De invoergegevens en aannames zijn beschouwd ter onderlinge vergelijking.

8.2 Economische groei en verdiepen van de Schelde

In het kader van de opdracht aan DNV identificeerde ProSes 18 relevante scenario's. Zoals omschreven in hoofdstuk 2 zijn deze scenario's gekarakteriseerd door 3 parameters: het bestudeerde jaartal (peiljaar), de mate van economische groei en de mogelijkheid om de rivier al dan niet te verruimen. De studie heeft tot doel om een beeld te geven van de bandbreedte waarbinnen het transport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde zich gedurende de komende decennia zal ontwikkelen, in het bijzonder wat de mogelijke gevolgen hiervan zullen zijn voor de externe veiligheidssituatie in het gebied. De 18 prognoses betreffen drie peiljaren, te weten 2010, 2020 en 2030. Voor elk peiljaar zijn 3 economische groeiscenario's uitgewerkt:

DE: Divided Europe (zeer bescheiden economische groei)

EC: European cooperation (gemiddelde economische groei)

GC: Global competition (grote economische groei)

Elk van deze 9 afzonderlijke toekomstscenario's zijn onderverdeeld in koppels: ieder scenario bestudeerd 'met verruiming' en 'zonder verruiming' van de rivier.

Om de lezer een beknopt inzicht te geven in de invoergegevens, de modellering en de resultaten, staat één scenario model voor de 17 andere bestudeerde situaties: 2010, gemiddelde economische groei, geen verruiming van rivier. Wat betreft een nadere uitleg en de achtergrond van de overige invoergegevens en resultaten die in dit hoofdstuk wordt verwezen naar de voorgaande DNV-rapportage.

8.3 Variatie input parameters

Recent is het SAFETI - risicoanalyse model specifiek op maat gemaakt voor het transport van gevaarlijke stoffen door zeeschepen op de Westerschelde. De situatie anno 2003 ('base case') geldt als referentiepunt ten opzichte van de modellering van toekomstige scenario's.

In opdracht van ProSes leverde MARIN (en CPB) aan DNV de geprognoseerde indexcijfers voor de jaren 2010, 2020, en 2030; deze indices zijn gerelateerd ten opzichte van de uitgangssituatie anno 2003.

Bij invoer van de gegevens zijn puntsgewijs de volgende parameters gevarieerd:

8.3.1 Aantal transportbewegingen gevaarlijke stoffen per zeeschip

Het aantal transportbewegingen van zeeschepen met gevaarlijke stoffen is een relevante parameter bij de berekening van de frequentie waarmee dergelijke lading (per riviersegment) kan vrijkomen. Wanneer het aantal vaarbewegingen van schepen geladen met gevaarlijke stoffen per segment wordt vermenigvuldigd met de faal(lees: lek)frequentie per schip is de uitkomst de lekfrequentie per segment.

Data inzake het in de toekomst in totaliteit verwachte transport van gevaarlijke stoffen zijn versteekt voor al de beschouwde riviersegmenten. Hierbij is echter geen onderscheid gemaakt tussen GF2 en GF3 transporten.

Onderstaande Tabel 8.1 geeft een overzicht weer van de data (indexcijfers) die DNV ontving inzake het toekomstig transport van ammoniak en brandbare stoffen op jaarbasis op de Westerschelde:

Tabel 8.1 – Indexcijfers transport gevaarlijke stoffen met zeescheepvaart

		GC			EC			DE		
	2003	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
Ammoniak	100	104	108	106	98	96	92	94	89	82
Brandbare Stoffen	100	142	212	285	122	165	198	104	115	119

Voorts werd bekend dat Yara (voormalig: Hydro Agri) te Sluiskil een contract op jaarlijkse basis heeft afgesloten met BASF te Antwerpen, inmiddels bekend staand als de "swapping overeenkomst". Deze overeenkomst tussen de bedrijven heeft tot gevolg dat de met ammoniak geladen schepen op weg naar BASF (= afnemer) voor een deel direct afkomstig zal zijn van het even verderop gelegen Yara (= producent/leverancier). Het aantal ammoniaktransporten dat vanuit Yara westwaarts de rivier afvaart richting de Noordzee neemt derhalve af. In vergelijking met de Ausgangssituatie in 2003, zal BASF minder schepen met ammoniak ontvangen van andere leveranciers (aanvoer via Noordzee), hetgeen een verdere terugloop betekent in het westelijk deel van de rivier.

Samengevat: de 'swapping overeenkomst' verkleint de intensiteit van het ammoniaktransport ten westen van Terneuzen. In 2003 betekende dit dat 130.000 ton ammoniak (2 maal 65.000 ton) minder ten westen van Terneuzen getransporteerd werd. Er werd aangenomen dat dit aantal in 2010 200.000 ton (2 maal 100.000 ton) zal bedragen. Deze hoeveelheid is te vergelijken met een afname van 14 scheepsladingen op jaarbasis op de Westerschelde ten westen van Terneuzen : 7 schepen niet invarend vanaf de Noordzee richting BASF, 7 schepen niet afvarend van Yara richting de Noordzee.

Het effect van de 'swapping overeenkomst' is per segment verrekend met het aantal transporten dat op basis van de AVIV data (referentiejaar 2003, per 5 jaar) het uitgangspunt vormt voor de toekomstverkenningen. Tabel 8.2 geeft het aantal ammoniak transporten per 5 jaar en per segment weer; conform de overeenkomst is een reductie van 70 transportbewegingen aan de orde (14 x 5 jaar). De rechtse kolom geeft de ratio van de nieuwe transportsituatie weer ten opzichte van 2003, een afname van 17 % ten westen van Terneuzen.

Tabel 8.2 – Effect van 'swapping overeenkomst' Yari en BASF (ammoniak transport)

Riviersectie	Aantal ammoniak transporten in 2003 (AVIV)	Aantal ammoniak transporten na 'swapping'	Ratio versus 2003
ca/vl-pv	401	331	0.83
pv-vl/bo	408	338	0.83
vl/bo-pvb	406	336	0.83
Pvb-bo/tn	406	336	0.83
bo/tn-tn	398	328	0.82
tn-tn/hw	176	176	1.00
tn/hw-pw	176	176	1.00
tn/hw-pw	176	176	1.00
pw-hw/wa	176	176	1.00
pw-hw/wa	176	176	1.00
hw/wa-wa/sa	177	177	1.00
wa/sa-ok	177	177	1.00
wa/sa-ok	177	177	1.00
og/vl-pv *	7	7	1.00

8.3.2 Aantallen totale zeescheepvaart

MARIN verstrekte data omtrent totale zeescheepvaart op de Westerschelde per riviersegment in de verschillende toekomstige situaties. De aantallen zeeschepen per segment zijn verder opgedeeld volgens de volgende massa categorieën:

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

De gegevens inzake de totale zeescheepvaart op de Westerschelde is driemaal gebruikt in de berekening van de frequentie waarmee stoffen vrijkomen:

- Ten eerste zijn 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 (Zie hoofdstuk 7 voor details).
- Ten tweede zijn 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 zijn 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 hand van de data aangeleverd door MARIN. Tabel 8.3 geeft een overzicht van de door MARIN berekende relatieve aantallen.

Tabel 8.3 – Fractie middelgrote zeeschepen (onder / boven de 20.000 ton) door MARIN berekend

Jaar	Situatie zonder verzuim		
	10.000 t/m 20.000	20.000 t/m 40.000	
2002	47.0%	53.0%	100.0%
2010	42.5%	57.5%	100.0%
2020	43.9%	56.1%	100.0%
2030	43.7%	56.3%	100.0%
Gemiddeld	43.4%	56.6%	

Jaar	Situatie met verzuim		
	10.000 t/m 20.000	20.000 t/m 40.000	
2002	47.0%	53.0%	100.0%
2010	42.9%	57.1%	100.0%
2020	44.2%	55.8%	100.0%
2030	44.5%	55.5%	100.0%
Gemiddeld	43.9%	56.1%	

Uitgaande van de in Tabel 8.3 gepresenteerde getallen is de fractie van middelgrote schepen met een massaverplaatsing groter dan 20.000 ton aangehouden van 56%.

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 2003, 2010, 2020 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 2003. Als voorbeeld van een dergelijke vergelijking is de variatie tussen 2010 en 2003 weergegeven in Tabel 8.4, waarbij de verschillen zowel in absolute aantallen als in procenten zijn vermeld:

Tabel 8.4 – Berekening van de geschatte hoeveelheid zeeschepen > 20.000 ton, 2010, gemiddelde economische groei, geen verzuim van de rivier

		2002						2010								
Varend van	Varend naar	S	M	Aantal middelgrote schepen boven 20.000 ton 56% (M)	L	Aantal middelgrote schepen boven 20.000 ton 56% (M+L)	Totaal S M L	S	M	delta M	Variatie aantal middelgrote schepen boven 20.000 ton 56% delta M	L	Variatie van het aantal grote schepen	Variatie van alle schepen boven 20.000 ton	% Variatie van alle schepen boven 20.000 ton	Totaal S M L
OK	WA/SA	14470	10991	6155	5519	11674	30980	12011	9844	-1147	-642	688 7	1368	726	106	28742
WA/SA	HW/W A	14470	10991	6155	5519	11674	30980	12011	9844	-1147	-642	688 7	1368	726	106	28742
HW/WA	PH	14493	10991	6155	5519	11674	31003	12029	9844	-1147	-642	688 7	1368	726	106	28760
PH	TN/HW	14744	10995	6157	5519	11676	31258	12254	9847	-1148	-643	688 7	1368	725	106	28988
TN/HW	PT	14744	10995	6157	5519	11676	31258	12254	9847	-1148	-643	688 7	1368	725	106	28988
PT	BO/TN	21177	13167	7374	6178	13552	40522	17650	12077	-1090	-610	771 3	1535	925	107	37440
BO/TN	PVB	16579	13037	7301	6273	13574	35889	13730	11904	-1133	-634	781 3	1540	906	107	33447
PVB	VL/BO	16799	13175	7378	6286	13664	36260	13915	12034	-1141	-639	782 8	1542	903	107	33777
VL/BO	PV	18836	14571	8160	6474	14634	39881	15526	13558	-1013	-567	802 4	1550	983	107	37108
PV	OG/VL	14118	5475	3066	411	3477	20004	11791	5928	453	254	513	102	356	110	18232
PV	CA/VL	11023	9881	5533	6105	11638	27009	8713	9034	-847	-474	756 2	1457	983	108	25309

De variatie in N_{E1} en N_{E2} voor elk van de toekomstige situaties (scenario's) is verondersteld gelijk te zijn aan de variatie in het aantal schepen met een massaverplaatsing groter dan 20.000 ton.

Onderstaande Tabel 8.5 is een overzicht van de totale hoeveelheid vaarverkeer met een massaverplaatsing boven de 20.000 ton, zoals deze berekend is aan de hand van de MARIN aangeleverde data: het voorbeeld betreft 2010, gemiddelde economische groei, geen verruiming van de rivier, dit scenario vergeleken met 2003.

Tabel 8.5 – Berekende aantallen totale zeescheepvaart, massaverplaatsing > 20.000 ton (2010 EC geen verruiming versus 2003)

Van	Naar	Indexcijfer Totale scheepvaart	Indexcijfer scheepvaart > 20.000 ton
OK	WA/SA	92.78	106.22
WA/SA	HW/WA	92.78	106.22
HW/WA	PH	92.77	106.22
PH	TN/HW	92.74	106.21
TN/HW	PT	92.74	106.21
PT	BO/TN	92.39	106.82
BO/TN	PVB	93.20	106.67
PVB	VL/BO	93.15	106.61
VL/BO	PV	93.05	106.72
PV	OG/VL	91.14	110.23
PV	CA/VL	93.71	108.44

Uit het bovenstaande overzicht is af te lezen dat de prognose uitgaat van een afname van het totale aantal schepen in 2010 (dit in vergelijking met 2003, voor alle beschouwde riviersegmenten) echter dat een toename is te verwachten van het aantal schepen met een massaverplaatsing boven de 20.000 ton. Met andere woorden, hoewel in vergelijking met vandaag de dag in 2010 minder botsingspartners op de rivier zullen zijn voor de gevaarlijke goederen transporten, zal echter wel het aantal botsingspartners op de vaarweg toenemen met de mogelijkheid (omvang) om bij aanvaring een gat te slaan in tanklading van het gevaarlijke goederen schip.

8.3.3 Schatting van het aantal botsingen

De gemiddelde botsingskans voor wat betreft het klasse 4 + 5 aanvaringen (ernstigste categorie) is per segment berekend voor het peiljaar 2003 en is een functie van: het totale aantal klasse 4 + 5 aanvaringen dat is opgetreden op de rivier gedurende de periode 1998-2002 en de fractie van het totaal aantal ongevallen (1990-2002) dat in een zeker segment is voorgevallen.

Belangrijke kanttekening in dezen is dat bij de modellering van het aantal botsingen in het referentiejaar 2003 is uitgegaan van actuele ongevaldata [ref. AVIV/SRK], en dat voor dit jaar geen virtueel berekend aantal ongevallen ten grondslag ligt. In het geval van de toekomstige scenario's zijn de geprognosticeerde hoeveelheden (gefractioneerde) aanvaringen binnen elk segment uiteraard wel berekend aan de hand van een verkeersmodellering van de vaarbewegingen per segment. MARIN heeft het aantal berekende botsingen per jaar en per segment geïndexeerd ten opzichte van het peiljaar.

Van de 7 aanvaringen die zijn optreden in de periode 1998-2002, zijn 2 gekarakteriseerd als ernstige incidenten. Aangezien ongevallen zich ook in de toekomst willekeurig en te allen tijde kunnen voordoen, is het noodzakelijk geweest om een statistische analyse toe te passen op het recente verleden. Uitgaande van ervaringen in de periode tussen 1998 en 2002 kan met een betrouwbaarheid van 75 % worden gesteld dat in de huidige situatie gemiddeld 3,9 ongevallen optreden per 5 jaar, ofwel 0,78 ernstige aanvaringen per jaar. Het aantal botsingen betreft de optelsom voor de gehele Westerschelde, en omvat het totale zeescheepvaartverkeer op de rivier (inclusief het transport gevaarlijke stoffen).

Het genoemde gemiddelde aantal botsingen voor de totale zeescheepvaart is nog eens nader onderverdeeld, een opdeling van de rivier in 8 segmenten elk met een eigen karakteristieke botsingsintensiteit (hoger / lager risicoprofiel). Gebaseerd op de ligging van het aantal en de ligging van passagepunten die de Schelde Radar Keten aanhoudt, is wat betreft de telling van het aantal schepen op de Westerschelde de rivier opgedeeld 12 gebieden met een eigen verkeersintensiteit. Om te komen tot een uniforme beschouwing van de verkeersintensiteit en de botsingsintensiteit voegde DNV de twee opdelingen samen en definieerde in totaal 14 riviersegmenten.

Om te kunnen komen tot een schatting van risiconiveau in de jaren 2010, 2020 en 2030 gaf ProSes opdracht aan MARIN om een toekomstbeeld van de scheepvaart op het Schelde estuarium te berekenen. MARIN hanteerde een eigen theoretisch mathematisch botsingsmodel (SAMSON) voor de Westerschelde waarbij de wereldwijde nautische trends en data zijn gehanteerd. Het Centraal Plan Bureau (CPB) leverde aan MARIN de mogelijke bandbreedte waarbinnen de economische ontwikkeling mogelijk zal plaatsvinden. DNV ontving van MARIN de prognoses wat betreft de botsingskans op de Schelde, zo ook de onderverdeling hiervan per riviersegment.

Een voorbeeld van MARIN's berekeningen is voor één van de scenario's weergegeven in de onderstaande Tabel 8.6. De modellering wijst uit dat in de jaren 2010, 2020 en 2030 (in geval van een gemiddelde economische groei – geen verruiming van de rivier) het verwachte aantal botsingen op de rivier met 10 % zal afnemen ten opzichte van de referentiesituatie in 2003.

Table 8.6 – Variatie in botsingsfrequenties (MARIN) 2010, 2020 en 2030, gemiddelde economische groei, geen verruiming

Botsingen (per segment)	2003	2010	2020	2030
	referentie	Variatie (%)	Variatie (%)	Variatie (%)
Wielingen	0.058	92.60	83.93	74.09
Oostgat	0.048	85.33	73.17	61.04
Vlissingen West	0.244	88.80	81.29	73.05
Sloe-Terneuzen	0.239	89.81	80.11	70.01
Terneuzen -1.5Hansweert	0.133	90.29	80.60	72.36
-1.5Hansweert-Hansweert	0.032	90.14	80.32	72.01
Hansweert +1.5Hansweert	0.033	90.41	80.84	72.74
1.5Hansweert – Antwerpen	0.213	90.42	80.85	72.75
Totaal	1.000	89.74	80.54	71.61

Zoals eerder is aangegeven worden in opdracht van ProSes de toekomstscenario's gespiegeld aan de huidige situatie, en wel uitgaande van de ervaringen opgedaan in de periode (1998-2002) c.q. de interpretaties van AVIV-kentallen en DNV-(SAFETI)modellering van 2003. MARIN's model in 2003 wijkt af van de data die AVIV betrok uit de praktijk. Om een inzicht te verschaffen in de onderlinge verschillen zijn in onderstaande Tabel 8.7 de beide botsingsverdelingen over de segmenten weergegeven. Voor elk van de 14 beschouwde riviersegmenten zijn de (substantiële) verschillen tussen 'base case' (referentiejaar 2003 AVIV/DNV) en SAMSON (2003) zowel in absolute getallen alsook in procenten aangegeven.

Tabel 8.7 – Vergelijking botsingsverdelingen AVIV en MARIN

Type aanvaring		P ₄₊₅		
Sectie	Sectie code	AVIV 2002	Marin 2002	Variation MARIN/AVIV
1	Wielingen	0.014	0.058	412%
2	Rede van Vlissingen	0.261	0.244	93.4%
3	Vlissingen tot PVB	0.066	0.068	102.9%
4	PVB tot BOTN	0.039	0.040	102.9%
5	BOTN tot Terneuzen	0.127	0.130	102.9%
6	Terneuzen tot TNHW	0.158	0.081	51.1%
7a	TNHW tot HW1	0.103	0.053	51.1%
7b	HW1 tot HW	0.014	0.032	230.7%
8a	HW tot HW2	0.014	0.033	238.7%
8b	HW2 tot HWWA	0.024	0.035	146.7%
9	HWWA tot WASA	0.049	0.072	146.7%
10a	WASA tot OK	0.040	0.058	146.7%
10b	OK tot AW	0.033	0.048	146.7%
12	Oostgat	0.058	0.048	82.4%

De verschillen tussen de Westerschelde botsingsverdelingen van MARIN en AVIV zijn aanzienlijk. Zo voorspelt AVIV dat bij botsing 16 % kans bestaat dat deze plaats zal vinden in segment 6, terwijl MARIN deze kans houdt op 8 %.

Wanneer alsnog de waarden voor het referentie jaar 2003 betrokken worden uit de MARIN modellering (SAMSON) zal dit een enorme verschuiving in het berekende risico teweeg brengen, aangezien de lekfrequentie (en het risico) direct afhankelijk zijn van de botsingsfrequentie(s).

De keus van ProSes om de resultaten van de toekomstige scenario's direct vergelijkbaar te houden met vorige studies te houden is voor de hand liggend, maar is evenwel ingegeven door een heldere visie op de zaak: de huidige situatie wordt gebaseerd op de ervaringscijfers (actuele ongevalgegevens), echter het toekomstbeeld wordt c.q de prognoses geheel middels modellen in kaart gebracht.

MARIN's data zijn derhalve aangehouden wat betreft de variatie van het aantal ongevallen op de rivier, maar wat betreft de verdeling van de ongevallen op de rivier is uitgegaan van AVIV's gegevens voor de rivier.

8.3.4 Effecten van gewijzigde parameters

In de voorgaande paragrafen een nadere uitleg gegeven omtrent de parameters waaruit het model zijn bestaansrecht ontleent. Tevens zijn de parameters gehanteerd voor het jaar 2003 vergeleken met de wijzigingen in parameters die wat betreft de modellering van de toekomstscenario's doorgevoerd zijn.

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 kans (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 van 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 8.8 – Berekening van de lekfrequentie aan de hand van correctiefactoren

Voorbeeld: Ammoniaktransport per schip door riviersectie 2 'Vlissingen'

(scenario 2010, gemiddelde economische groei, geen verruiming van de Westerschelde).

correctie factor						Gecombineerde correctie factor
P ₄₊₅	N ₄₊₅	N _{DG}	N _{seaships}	N _{E0}	N _{E1} , N _{E2}	
1.00	0.90	0.81	0.93	0.93	1.07	0.90

Uitleg per factor:

De totale correctiefactor P₄₊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 (2003).

N₄₊₅ correctie factor is gelijk aan 0.90 (zie Tabel 8.6).

Correctiefactor voor de parameter N_{DG} heeft een waarde van 0.81 en is een resultaat van een verwachte afname van ammoniaktransport op de rivier (2%) en een directe afname (17%) van het aantal ammoniaktransporten op de rivier door de zogenaamde 'swapping overeenkomst' ($0.98 \times 0.83 = 0.81$).

De correctiefactoren voor de parameters N_{seaships} en N_{E1}/N_{E2} zijn respectievelijk 0.93 en 1.07 (Tabel 8.5, 3^e rij van onderen).

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 I : 'Aangeleverde gegevens, parameters en berekende factoren'.

9. RESULTATEN

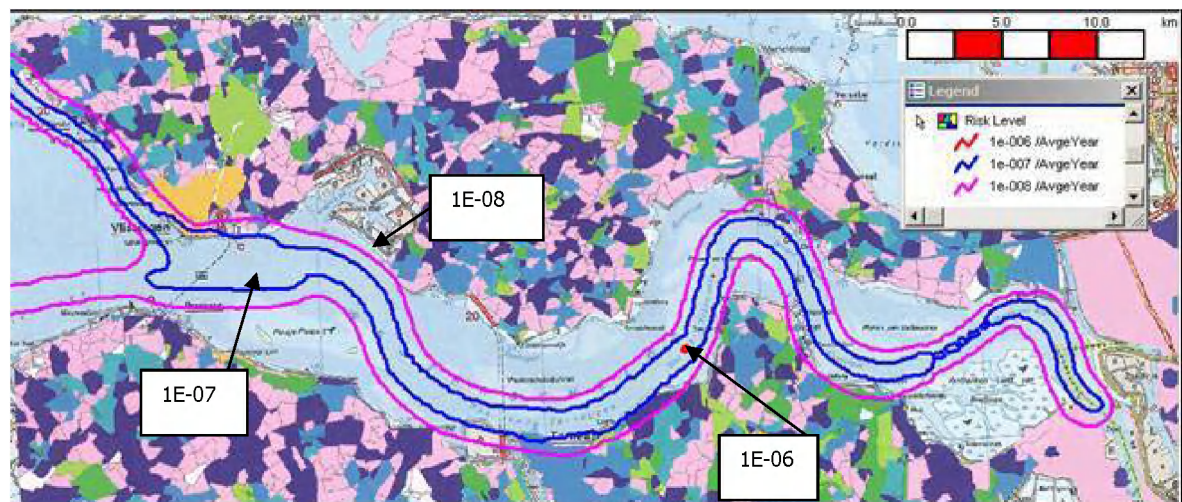
Voorliggende risicoanalyse is uitgevoerd op alle mogelijke scenario's (als is uitgewerkt in de voorgaande hoofdstukken) waarbij ammoniak en brandgevaarlijke stoffen op de Westerschelde kunnen vrijkomen. De resultaten van de studie zijn uitgedrukt in de termen plaatsgebonden Risico (PR) en groepsrisico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

De modellering van het risico verbonden aan het toekomstig transport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde omvat de verwerking van een grote hoeveelheid invoergegevens cq parameters. De uitkomst van deze studie omvat een grote hoeveelheid (tussenliggende) uitkomsten van berekeningen (in tabelvorm en de visualisaties van risicocontourlijnen op geografische kaart).

9.1 Plaatsgebonden risico 2003

Figuur 9.1 geeft het totale plaatsgebonden risico van al het maritieme gevaarlijke goederen verkeer weer voor de Ausgangssituatie in 2003 (gemiddeld over 1998 – 2002). De risicocontouren komen overeen met de plaatsgebonden risico niveaus van 10^{-6} , 10^{-7} and 10^{-8} per jaar. De 10^{-6} risico contour komt slechts in een kleine sectie van de rivier tussen Terneuzen en Hansweert voor, het overige deel van de rivier heeft enkel kleinere risico contouren. De risicocontourlijnen 10^{-7} en 10^{-8} per jaar liggen op het vaste land bij Vlissingen, het Oostgat, bij Terneuzen en in de nabijheid van Hansweert. De 10^{-7} contour beslaat slechts een relatief klein deel van het land in vergelijking met de 10^{-8} contour.

Figuur 9.1 – Gecombineerde Risico Contouren, referentiejaar 2003



Op 5 plaatsen langs de kust is het plaatsgebonden risico berekend in de vorm van risicocijfers. Deze 5 plaatsen langs de kust zijn in figuur 9.2 weergegeven aan de hand van een rode ster. De gekozen risico meet punten zijn (van links naar rechts): Oostgat, Breskens, Vlissingen, Terneuzen en Hansweert.

Figuur 9.2 – Locatie van de Plaatsgebonden Risico Meet Punten (rode sterren)



Tabel 9.1 geeft de plaatsgebonden risico resultaten van de hierboven genoemde risico meetpunten weer. De tabel laat tevens zien dat het hoogste PR langs de kust van Vlissingen is berekend, hierna volgen Terneuzen en Hansweert met een PR van $19,0E-08$ en $11,5E-08$. De risico niveaus van de kustlijnen bij Breskens en het Oostgat zijn aanzienlijk lager.

Tabel 9.1 – Risico Meet Punten Plaatsgebonden Risico Resultaten

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

Uit de tabel blijkt dat het risico van de brandbare vloeibare gassen groter is dan het risico van de ammoniaktransporten.

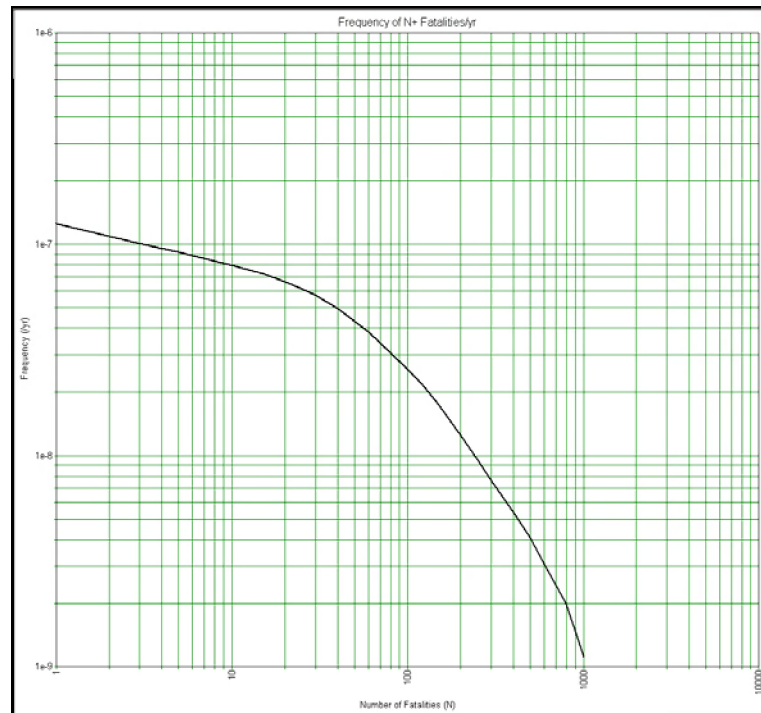
9.2 Groepsrisico 2003

Figuur 9.3 geeft gecombineerd de groepsrisico curves (fN-plots) weer voor Vlissingen, Terneuzen en het gebied in en om Hansweert. De 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. Deze figuren tonen aan dat bij Terneuzen het groepsrisico hoger is dan in de nabijheid van Vlissingen en Hansweert. Dit betekent dat Terneuzen het grootste groepsrisico vertegenwoordigt. Bij een frequentie van 1E-9 blijken slachtofferaantallen tot meer dan 1.000 voorspelbaar in de omgeving van Terneuzen.

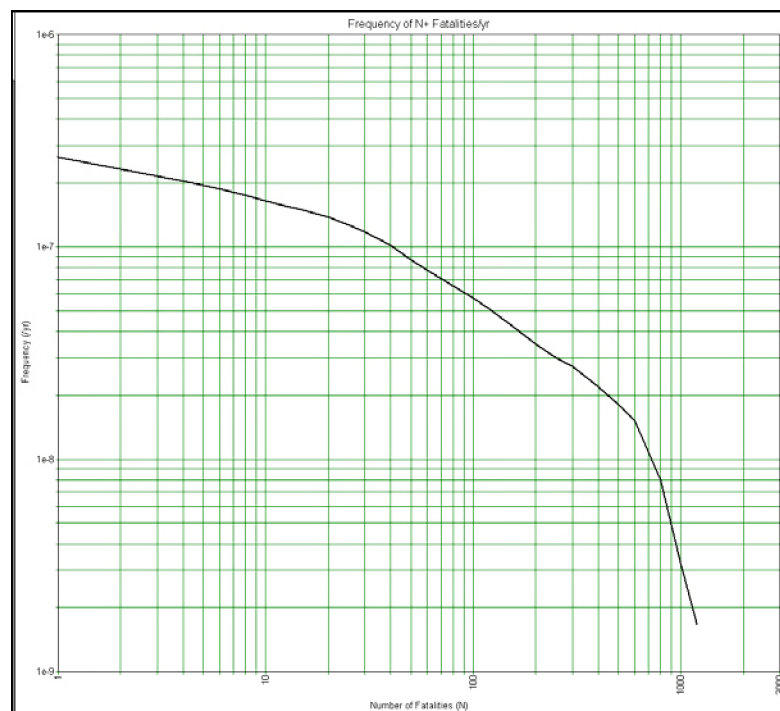
Voor alle 3 locaties wordt de grenswaarde voor het groepsrisico niet overschreden. Deze normlijn – die tot op heden de status van oriënterende waarde bezit – loopt door de punten (10 – 1E-4), (100 – 1E-06), (1000 – 1E-08), etc..

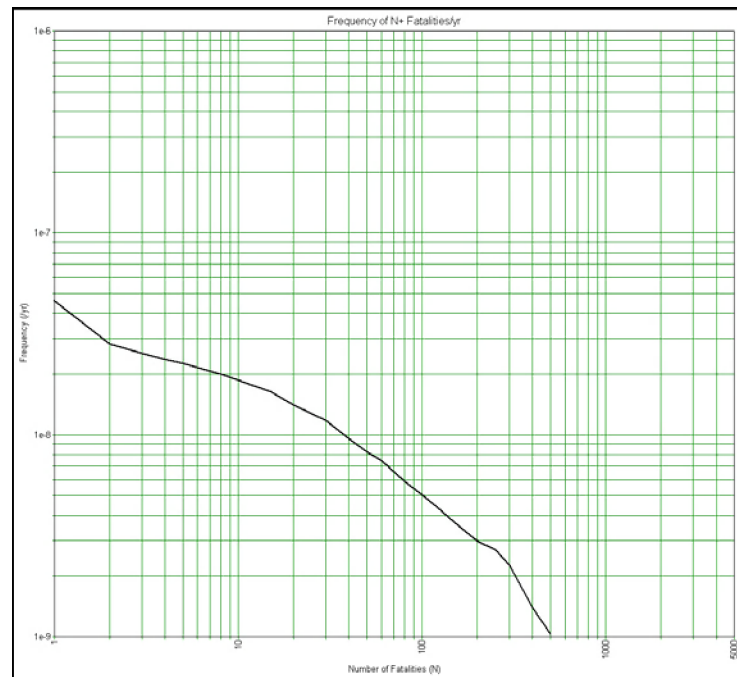
In de figuren 9.3, 9.4, 9.5 zijn de fN curven voor Vlissingen, Terneuzen en Hansweert in beeld gebracht.

Figuur 9.3 – fN curve Vlissingen , referentiejaar 2003



Figuur 9.4 – fN curve Terneuzen, referentiejaar 2003



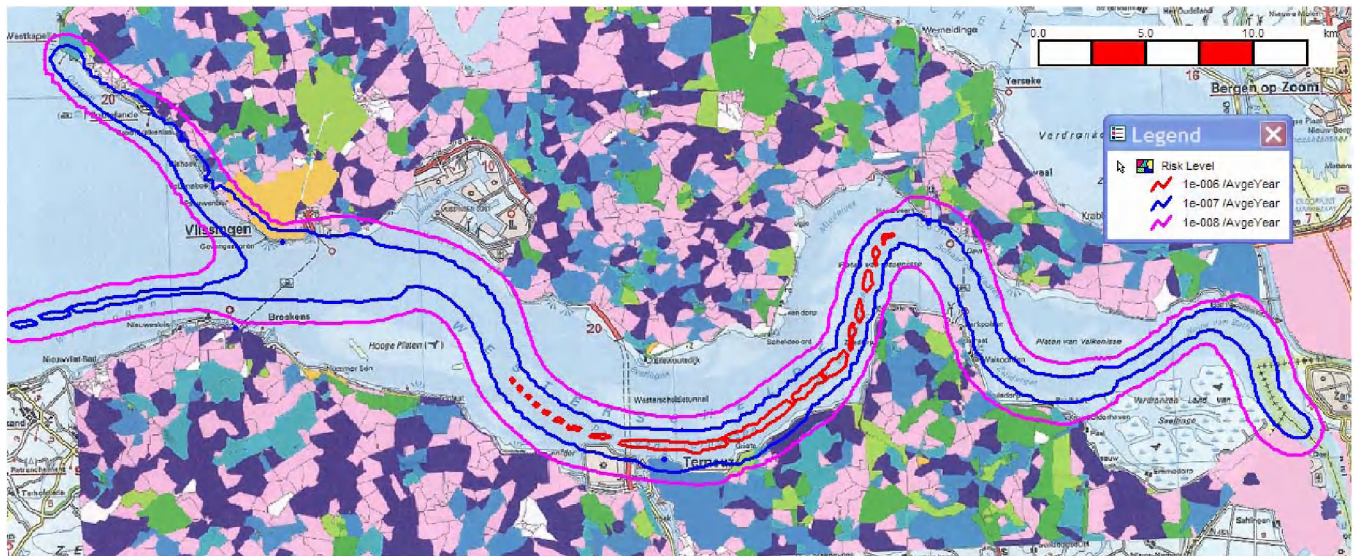
Figuur 9.5 – fN curve Hansweert, referentiejaar 2003

9.3 Resultaten 2010, 2020, 2030

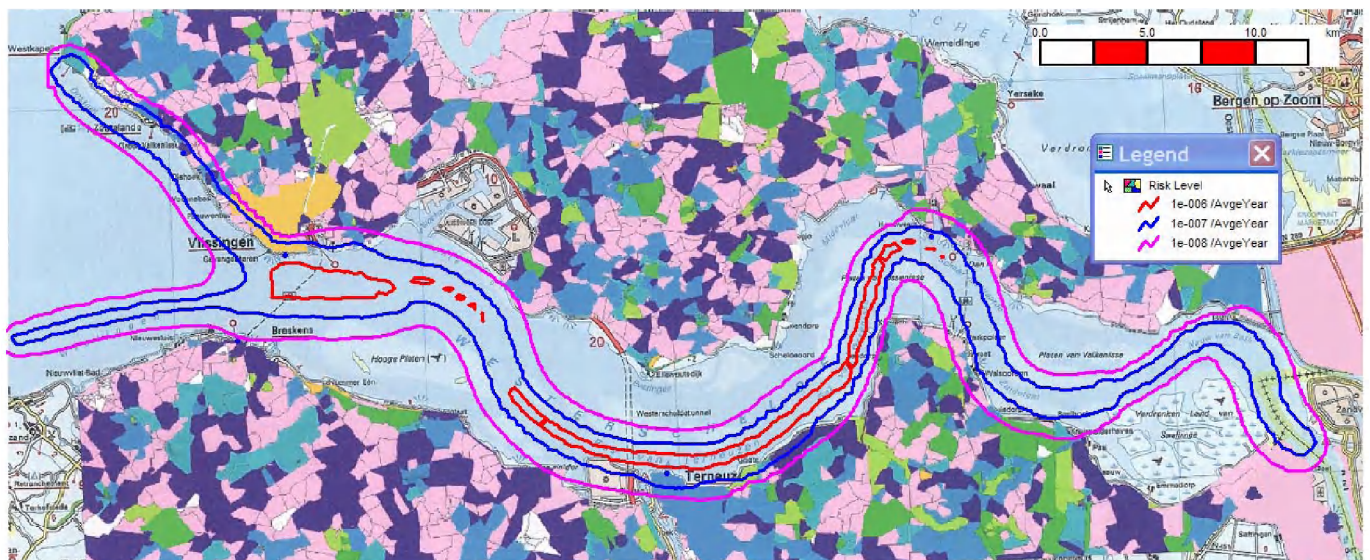
- Plaatsgebonden risico

Figuur 9.6, figuur 9.7 en figuur 9.8 geven het plaatsgebonden risico weer voor de situatie van sterke economische groei en verruiming voor respectievelijk de jaren 2010, 2020 en 2030. De resultaten van de andere scenario's zijn in een aparte bijlagen ondergebracht (bijlage 2).

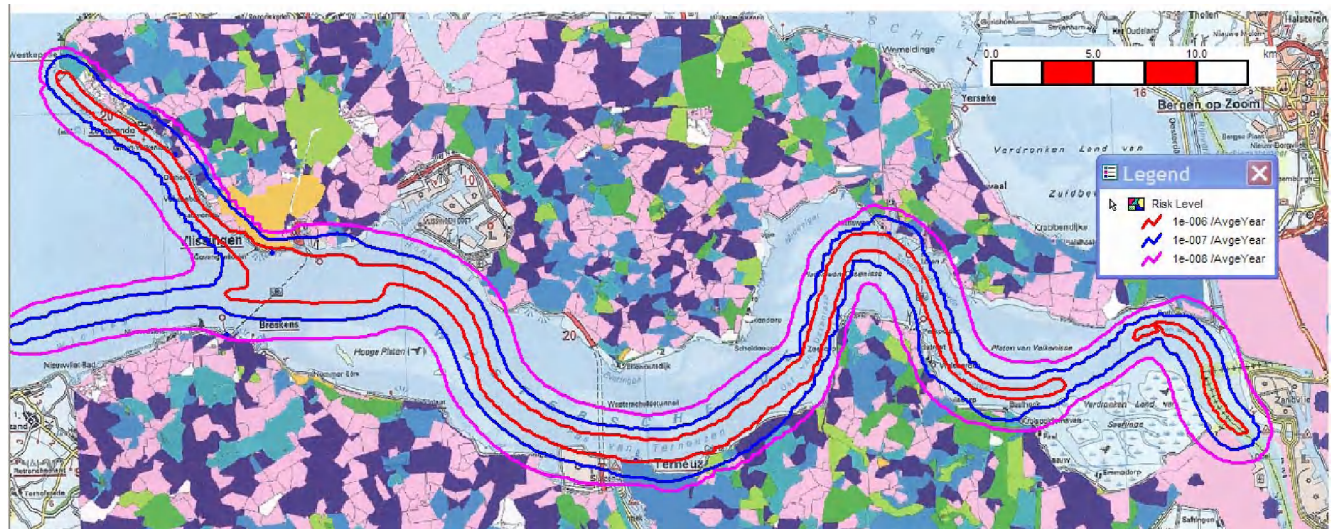
Figuur 9.6 : plaatsgebonden risico voor 2010, sterke economische groei met verruiming



Figuur 9.7 : plaatsgebonden risico voor 2020, sterke economische groei met verruiming



Figuur 9.8 : plaatsgebonden risico voor 2030, sterke economische groei met verruiming



Uit deze figuren blijkt dat het plaatsgebonden risico toeneemt met de tijd: De 1E-6 risicocontour bestrijkt gaandeweg een steeds groter gebied. In 2010 beperkt deze risicocontour zich nog tot het middendeel van de rivier Westerschelde. In 2020 wordt ook ter hoogte van Vlissingen deze contour zichtbaar. In 2030 raakt de 1E-6 contour zelfs het land bij Vlissingen en Terneuzen in het geval van sterke economische groei. Voor alle andere doorgerekende situaties blijkt dit niet te gelden (zie bijlage 2).

In tabel 9.2 wordt het plaatsgebonden risico in Vlissingen weergegeven en dat voor alle 18 doorgerekende scenario's. Als voorbeeld is voor Vlissingen gekozen aangezien in Vlissingen het plaatsgebonden risico het hoogste is. In bijlage 4 zijn de tabellen van de andere locaties opgenomen.

Tabel 9.2 : plaatsgebonden in risico in Vlissingen.

			Plaatsgebonden risico (X 10E-8)		
Jaar	Economie	Verruiming (J=ja;N=nee)	Ammoniak	Brandbare gassen	Totaal
2002	Base case		3.00	23.40	26.40
2010	DE	N	2.46	25.53	27.99
	DE	J	2.70	27.99	30.68
	EC	N	2.70	31.57	34.27
	EC	J	2.99	34.93	37.92
	GC	N	2.98	38.21	41.19
	GC	J	3.33	42.70	46.04
2020	DE	N	2.49	30.22	32.72
	DE	J	2.52	30.53	33.05
	EC	N	2.68	43.26	45.94
	EC	J	2.73	44.05	47.05
	GC	N	3.03	55.81	59.26
	GC	J	3.10	57.07	60.17
2030	DE	N	2.38	32.37	34.74
	DE	J	2.80	38.08	40.88
	EC	N	3.30	66.74	70.05
	EC	J	3.97	80.12	84.09
	GC	N	4.45	112.35	116.80
	GC	J	5.44	137.28	142.72

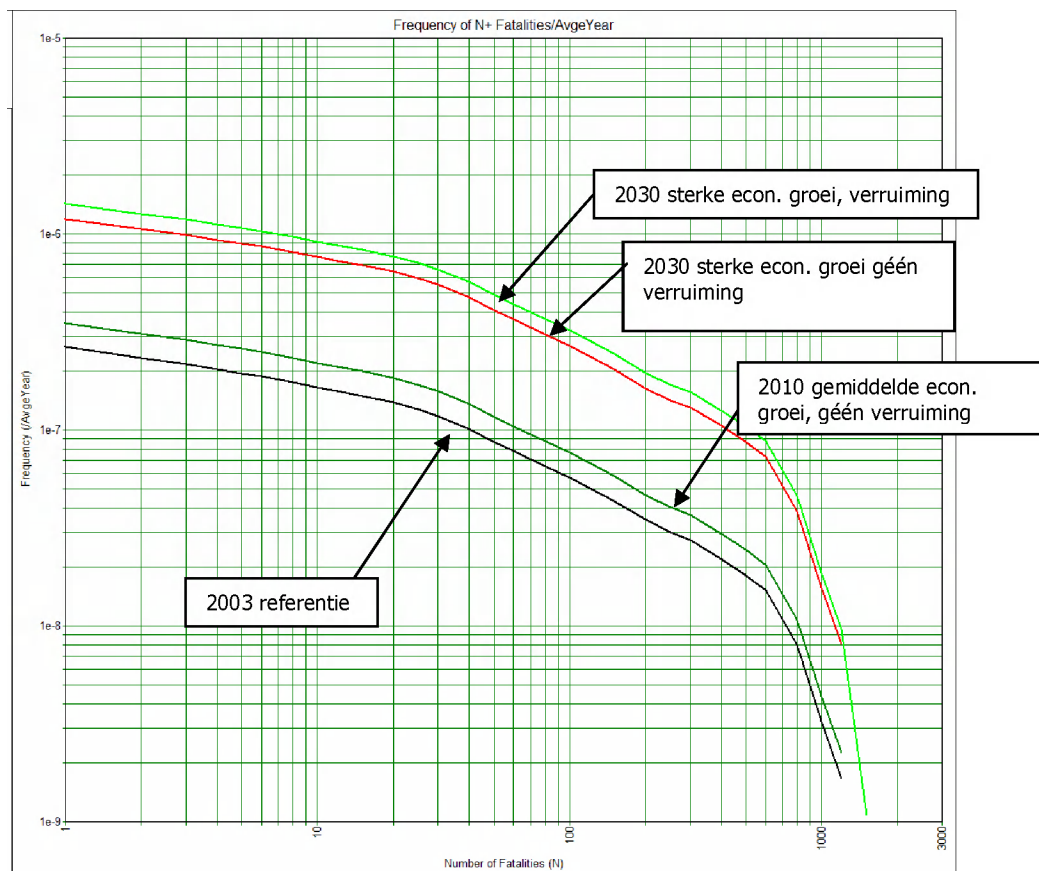
Uit deze tabel blijkt het risico toe te nemen tot een maximale factor van circa 5 voor het risicomeetpunt in Vlissingen in 2030. Verruiming blijkt voor alle situaties te leiden tot een hoger risico in Vlissingen. Hoe groter de economische groei, des te groter het risiconiveau op land.

• Groepsrisico

In figuur 9.9 wordt de fN curve voor Terneuzen voorgesteld en dit voor 4 scenario's zijnde :

- Sterke economische groei zonder verruiming voor het jaar 2030
- Sterke economisch groei met verruiming voor het jaar 2030
- Gemiddelde economische groei zonder verruiming voor het jaar 2010
- Base case 2003

Figuur 9.9 : fN curve voor Terneuzen



De fN curven voor Vlissingen en Hansweert zijn opgenomen in Bijlage 3.

9.4 Gevoeligheidsanalyses scenario 18 : 2030 GC Y

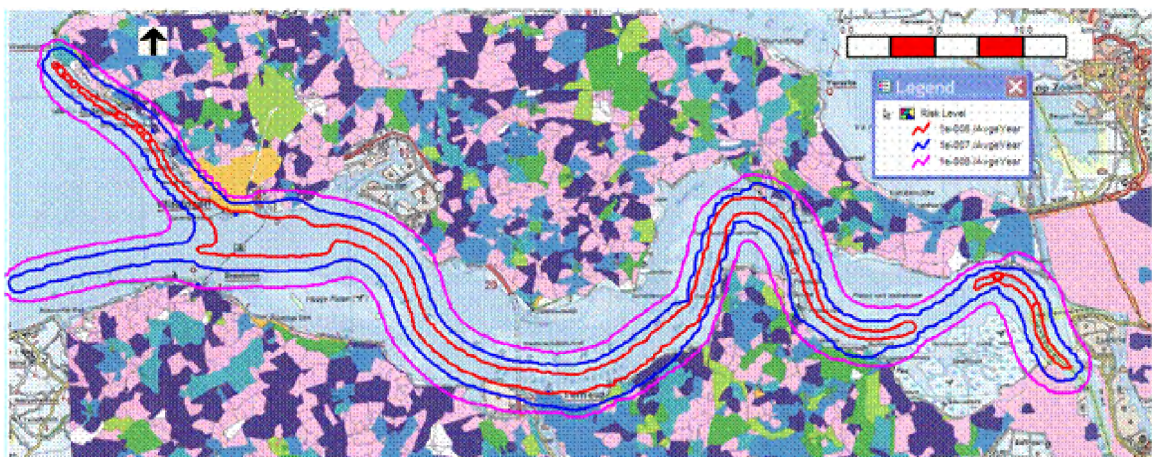
9.4.1 Resultaten scenario 19: scenario 18 + voorhavenontwikkeling te Vlissingen

• Plaatsgebonden risico

Figuur 9.9 geeft het plaatsgebonden risicocontouren weer voor de situatie in peiljaar 2030, dit in geval van een sterke economische groei, verruiming van de (Wester)schelde en met inbegrip van een voorhavenontwikkeling te Vlissingen. Tabel 9.3 geeft een vergelijking tussen de berekende getalwaarden van plaatsgebonden risico's, scenario's 18 en 19.

Figuur 9.9 : Scenario 19

Plaatsgebonden risico voor 2030, sterke economische groei, met verruiming van de rivier, inclusief voorhavenontwikkeling te Vlissingen



Tabel 9.3: Vergelijking Plaatsgebonden risico's scenario's 18 en 19

Plaatsgebonden risico 2030, sterke economische groei, met verruiming van de rivier, wel/geen voorhavenontwikkeling te Vlissingen

		Individual risk (X 10E-8)			Index 2030 GC Y		
		Toxic	Flammable	Total			
2030 GC Y	Breskens	0,04	1,44	1,49			
	Hansweert	4,44	54,40	58,83			
	Oostgat	0,08	58,64	58,72			
	Terneuzen	6,04	93,89	99,93			
	Vlissingen	5,44	137,28	142,72			
Scenario 19	Breskens	0,04	1,30	1,34	90%	90%	90%
	Hansweert	4,52	55,41	59,93	102%	102%	102%
	Oostgat	0,06	42,91	42,97	73%	73%	73%
	Terneuzen	6,15	95,56	101,71	102%	102%	102%
	Vlissingen	4,87	122,90	127,77	90%	90%	90%

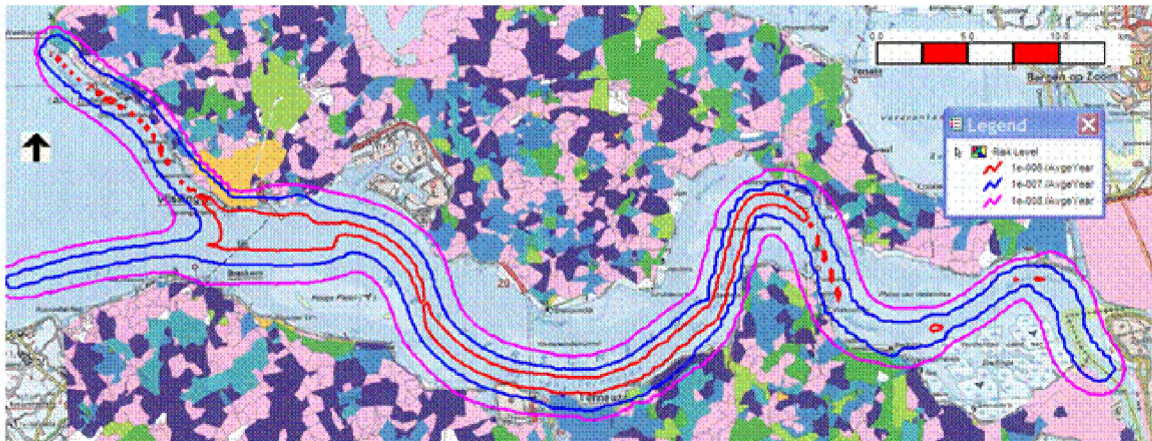
9.4.2 Resultaten scenario 20: scenario 18 + alternatieve inschatting transport brandbare stoffen havengebied Antwerpen

• Plaatsgebonden risico

Figuur 9.10 geeft het plaatsgebonden risico weer het voor scenario 20. Het betreft de situatie in peiljaar 2030, dit in geval van een sterke economische groei en met verruiming van de (Wester)schelde, echter met een lagere prognose (groefactor) voor het transport van brandbare stoffen. Scenario 18 gaat uit van een groefactor 2,85 ten opzichte van het referentie jaar 2003, terwijl scenario 20 uitgaat van een groefactor 1,73. Tabel 9.4 vergelijkt de berekende getalwaarden van plaatsgebonden risico's, scenario's 18 en 20.

Figuur 9.10 : Scenario 20

Plaatsgebonden risico voor 2030, sterke economische groei, met verruiming van de rivier, alternatieve inschatting transport brandbare stoffen havengebied Antwerpen



Tabel 9.4: Vergelijking plaatsgebonden risico's, scenario's 18 en 20

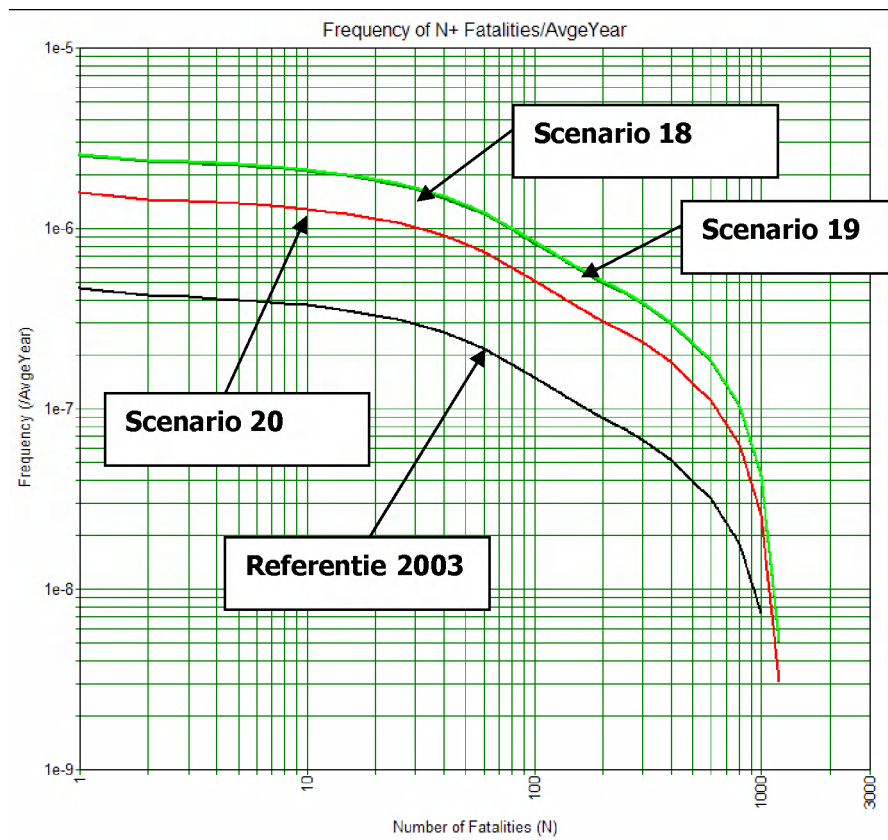
Plaatsgebonden risico 2030, sterke economische groei, met verruiming van de rivier, groefactoren transport brandbare stoffen 2,85 (scenario 18) en 1,73 (scenario 20)

		Individual risk (X 10E-8)			Index 2030 GC Y		
		Toxic	Flammable	Total			
2030 GC Y	Breskens	0,04	1,44	1,49			
	Hansweert	4,44	54,40	58,83			
	Oostgat	0,08	58,64	58,72			
	Terneuzen	6,04	93,89	99,93			
	Vlissingen	5,44	137,28	142,72			
Scenario 20	Breskens	0,04	0,88	0,92	100%	61%	62%
	Hansweert	4,44	33,02	37,46	100%	61%	64%
	Oostgat	0,08	35,60	35,67	100%	61%	61%
	Terneuzen	6,04	57,00	63,04	100%	61%	63%
	Vlissingen	5,44	83,33	88,77	100%	61%	62%

9.4.3 Vergelijking groepsrisico's Scenario's 18, 19 en 20

In figuur 9.11 wordt de fN curve voor **Terneuzen** voorgesteld en dit voor 4 scenario's zijnde :

- Scenario 20 : Sterke economische groei met verruiming voor het jaar 2030, inclusief voorhavenontwikkeling Vlissingen
- Scenario 19 : Sterke economisch groei met verruiming voor het jaar 2030, verminderde hoeveelheid getransporteerde brandbare stoffen
- Scenario 18 : Gemiddelde economische groei met verruiming voor het jaar 2030
- Scenario 0 : Referentie 2003



10. CONCLUSIES

Voor scheepstransporten met ammoniak en ontvlambare gassen langs de Westerschelde is het risico gekwantificeerd in termen van plaatsgebonden risico (PR) en groepsrisico (voor Vlissingen, Terneuzen en Hansweert) voor de peiljaren 2010, 2020 en 2030. De basis voor deze berekeningen was enerzijds het bestaande risicomodel met de uitgebreide groep mogelijke lekkagescenario's (dat ook voor de referentiestudie van 2003 is gehanteerd) en anderzijds de aangeleverde prognoses voor de genoemde peiljaren (zoals de te verwachten economische groei en het al dan niet verruimen van de Westerschelde).

Uit de berekeningen blijkt dat de Rede van Vlissingen in alle situaties de grootste kans op aanvaring met zich meebrengt, mede veroorzaakt door het grote aantal schepen dat de Rede van Vlissingen op relatief kleine afstand passeert. Het maximale plaatsgebonden risico op de boulevard is $1,43 \times 10^{-6}$ per jaar (berekend voor sterke economische groei, met verruiming voor het peiljaar 2030). In het geval van sterke economische groei met of zonder verruiming voor 2030 valt de 10^{-6} contour op land aan Terneuzen en Vlissingen, dit betekent een overschrijding van de grenswaarde voor de 10^{-6} contour. Met andere woorden: in de reeks van de 18 onderzochte scenario's blijken slechts twee scenario's een 10^{-6} contour op het land op te leveren (scenario's 17 en 18). In de 16 andere onderzochte scenario's blijven de 10^{-6} contouren in alle gevallen op het water gesitueerd.

De 10^{-6} contour treedt voor het meest extreme scenario 250 meter aan land voor Vlissingen. Voor hetzelfde scenario geldt in Terneuzen dat de 10^{-6} contour 100 meter op de wal ligt. Opgemerkt wordt dat dit blijkt uit de risicountourplot en niet uit de getabelleerde waarden voor één enkel meetpunt in Terneuzen. Voor de overige scenario's is dit (net) niet het geval. In geval van Hansweert, Oostgat of Breskens ligt de 10^{-6} contour voor alle scenario's (in meerdere of mindere mate) op het water.

Het gebied Terneuzen toont het grootste groepsrisico in alle 18 berekende scenario's. Wanneer de resultaten worden vergeleken met de norm zoals van toepassing in Nederland, kan worden afgeleid dat in de toekomst de normlijn zal worden overschreden. De normlijn loopt door de punten ($10, 10^{-4}$), ($100, 10^{-6}$) en ($1000, 10^{-8}$).

De bijdrage van ammoniak op de resultaten is veel lager dan de bijdrage van de brandbare gassen.

Puntsgewijs de **algemene conclusies** samengevat:

1. Het verdiepen van de Westerschelde brengt ter plekke een vergroot plaatsgebonden en groepsrisico met zich mee. Echter, de toename als gevolg van verruiming van de rivier staat in de schaduw van een veel grotere toename van de risico's die teweeg gebracht worden door de geprognosticeerde economische groei.
2. De berekeningen wijzen uit dat het risico van transport van gevaarlijke stoffen (dit zijn : toxische en brandbare stoffen) over de Westerschelde in de toekomst zal toenemen ten opzichte van het referentiejaar 2003. De toename in termen van het plaatsgebonden risico (PR) op de wal is in het meest extreme geval (zijnde de situatie in 2030 met de grootste economische groei en verruiming "ter plaatse van Oostgat") een factor 8. Wat betreft de lokaties Breskens, Hansweert, Vlissingen en Terneuzen is een gemiddelde maximale toename met een factor 5 aan de orde.

3. Het vervoer van gevaarlijke stoffen per schip op de Westerschelde wordt gedomineerd door de categorie 'brandbare stoffen'. Dit leidt er toe dat voor elk van de 18 afzonderlijk 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 stoffen. Dit ondanks het feit dat de mogelijke schadeafstanden van de ammoniakongevalscenario's over het algemeen verder reiken dan de ongevalsscenario's voor brandbare stoffen.
4. Wanneer men vergelijkbare scenario's (factoren: verruiming, economische groei) in de jaren 2010, 2020 en 2030 naast elkaar beschouwt, neemt de relatieve bijdrage van brandbare stoffen op het totale risicoprofiel in de toekomst gaandeweg toe. Met andere woorden: het risico ten gevolge van het transport van brandbare stoffen 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 stoffen volgens de toekomstverwachting substantieel zal toenemen, terwijl over de komende 30 jaar het ammoniaktransport nagenoeg zal stabiliseren.
5. Ten aanzien van de verdere loop van de Schelde doorheen de Antwerpse haven kan worden afgeleid dat in de meest extreme situatie (2030, grootste economische groei en met verruiming) de 1E-6 risicocontour naar verwachting grotendeels op het water zal liggen. Deze inschatting wordt gemaakt uit de constateringenvolgende:
 - dat deze contour ter hoogte van de Berendrechtssluisen is gelegen op maximaal 200 meter vanaf (het centrum van) de vaargeul;
 - dat de ammoniakrisicobijdrage vervalt ten zuiden van deze sluisen;
 - 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;
 - 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 Westerschelde 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.

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 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.

Ten aanzien van het **effect van economische groei** kunnen expliciet de volgende conclusies worden getrokken:

1. Zoals verwacht is er een toename van het risico te constateren bij een toename van de economische groei. Immers, economische groei heeft een toename van de intensiteit van het totale scheepvaartverkeer tot gevolg, en bijgevolg ook een hogere kans op botsingen voor de schepen die gevaarlijke goederen vervoeren. Behalve de invloed van het algemeen transport per schip geldt daarnaast dat ook het transport van gevaarlijke stoffen over het algemeen toeneemt (met name geldt dit voor de brandbare stoffen, voor ammoniak geldt dit niet) waardoor per definitie een hoger risico resulteert. Zie tevens punt 3.

2. Wanneer men per peiljaar afzonderlijk het risiconiveau beschouwt is de invloed van economische groei aanzienlijk. De toename van de plaatsgebonden risiconiveaus op land gaande van 'beperkte economische groei' naar 'open wereldmarkt economie' levert de volgende stijgingspercentages op:

2010	150 %
2020	180 %
2030	350 %

Deze trend is geobserveerd voor alle 5 bestudeerde risicomeetpunten langs de rivier, en is onafhankelijk van de eventuele verruiming.

3. De toename van het externe risico van gevaarlijke stoffen transport wordt voor sommige riviersegmenten en situaties gecompenseerd door de zogenaamde 'swapping' overeenkomst tussen BASF Antwerpen en Yara Sluiskil (het vroegere Hydro Agri) voor wat betreft ammoniak. Een tweede bijkomstigheid is in dezen: bij een beperkte (of gemiddelde) economische groei is de verwachting dat het aantal ammoniaktransporten mogelijk enigszins zal teruglopen ten opzichte van de situatie in 2003. Afhankelijk van het scenario kunnen deze twee factoren 'swapping' en 'economische situatie' (lichte toename/lichte afname van de vraag naar ammonia – toename van de verkeersintensiteit) elkaar versterken of elkaar juist opheffen. In sommige gevallen ligt het risico ten gevolge van ammoniaktransport derhalve niet geheel in de lijn van de eerste verwachting, doch zijn de resultaten pas verklaarbaar met bovenstaande uitleg. Voor enkele scenario's is het berekende risico voor ammoniaktransport zelfs lager dan voor de referentiesituatie in 2003.

Ten aanzien van het **effect van verruiming** van de rivier kunnen expliciet de volgende conclusies worden getrokken:

1. Zoals verwacht is er een toename van het risico te constateren wanneer men overgaat tot verruiming van de rivier, zij het dat deze toename beperkt in omvang blijkt te zijn (zeker wanneer wordt vergeleken met de spreiding die in de verschillende economische groeiscenario's resulteert).
2. Het grootste effect van verruiming wordt berekend voor het meest extreme scenario (2030, 'open markt economie') op het risicomeetpunt 'Oostgat'. De toename van het plaatsgebonden risico op dit risicomeetpunt bedraagt 27 % (versus dezelfde situatie zonder verruiming). De gemiddelde toename van het plaatsgebonden risico langs de Westerschelde ten gevolge van verruiming (versus 'geen verruiming') bedraagt 13 %.

Ten aanzien van het **effect van voorhavenontwikkeling te Vlissingen**, uitgaande van het meest extreme scenario 18, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Berekende plaatsgebonden risico's voor scenario's 18 en 19 hebben eenzelfde orde van grootte. Ter plekke van Hansweert en Terneuzen zijn de berekende plaatsgebonden risico's met of zonder voorhavenontwikkeling identiek. Uitgaande van scenario 18 leidt een voorhavenontwikkeling tot een risicoreductie ter plekke van Vlissingen, Breskens en Oostgat.
2. De 1 E-06 risicocontour ligt aan land te Vlissingen en Terneuzen (scenario 18 en 19).
3. De grootste reductie is geobserveerd bij Oostgat (27%), hetgeen kan worden verklaard door een toename van het scheepvaartverkeer, dit bij een gelijkblijvend aantal botsingen. Een vast aantal botsingen wordt verdeeld over een toegenomen aantal schepen, waarmee (ook) de kans op een botsing van een schip waarbij gevaarlijke stoffen kunnen vrijkomen is verlaagd.

Daarentegen zal een toename van het aantal schepen met een massaverplaatsing boven de 20.000 ton resulteren in een toename van de lekfrequentie, aangezien de bewegingsenergie van deze categorie groot genoeg is om bij aanvaring een lekkage te veroorzaken. Echter de toename van schepen (gevaarlijke stoffen vervoerend) met een massaverplaatsing boven de 20.000 ton kleiner dan de toename van de totale scheepvaartverkeer.

Ten aanzien van het **effect van een alternatieve prognose transport brandbare stoffen** (verlaagde groeifactor, inbreng/verzoek Havenbedrijf Antwerpen), uitgaande van het meest extreme scenario 18, kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Het drastisch verlagen van de geprognostiseerde groei voor transport van brandbare stoffen (scenario 20 - groeifactor 1,73 in plaats van 2,85 ten opzichte van het referentiejaar 2003) leidt tot een sterke verandering van het uiterste toekomstbeeld. Op alle 5 lokaties wordt het plaatsgebonden risico gereduceerd naar 62 % van de waarden die zijn berekend aan de hand van scenario 18.
2. In geval van scenario 20 bereikt de 1 E-06 risicocontour de oever niet meer.
3. Het groepsrisico is gereduceerd, maar overschrijdt de Nederlandse richtlijn nog in Terneuzen.

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN

I DELIVERED DATA, PARAMETERS AND CALCULATED VALUES

II RISK CONTOURS

III FN CURVES (VLISSINGEN, TERNEUZEN AND HANSWEERT)

IV INDIVIDUAL RISK RESULTS

V COMPARISON SAMSON / AVIV

VI RESULTS OF ADDITIONAL SCENARIOS

APPENDIX I: DELIVERED DATA, PARAMETERS AND CALCULATED VALUES

Glossary:

DE: Divided Europe

EC: European coordination

GC: global competition

Y: Deepening of the river

N: No deepening of the river

Table I.1 Index total number of DG ships on the whole river

	2002	GE			EC			DE		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
ammonia	100	104	108	106	98	96	92	94	89	82
flammable gasses	100	142	212	285	122	165	198	104	115	119

Table I.2 Effect of swapping on number of ammonia vessels on each segment

	N AVIV	N after Swapping	%
ca/vl-pv	401	331	0.825436
pv-vl/bo	408	338	0.828431
vl/bo-pvb	406	336	0.827586
Pvb-bo/tn	406	336	0.827586
bo/tn-tn	398	328	0.824121
tn-tn/hw	176	176	1
tn/hw-pw	176	176	1
tn/hw-pw	176	176	1
pw-hw/wa	176	176	1
pw-hw/wa	176	176	1
hw/wa-wa/sa	177	177	1
wa/sa-ok	177	177	1
wa/sa-ok	177	177	1
og/vl-pv *	7	7	1

Table I.3 Index total number of seaships on each segment.

From	To	DE N			DE Y			EC N			EC Y			GC N			GC Y		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
OK	WA/SA	85.44	72.85	61.58	90.90	80.23	69.82	92.78	84.11	76.53	99.29	93.14	86.82	97.40	92.36	88.04	104.15	101.92	100.68
WA/SA	HW/WA	85.44	72.85	61.58	90.90	80.23	69.82	92.78	84.11	76.53	99.29	93.14	86.82	97.40	92.36	88.04	104.15	101.92	100.68
HW/WA	PH	85.43	72.83	61.56	90.88	80.20	69.79	92.77	84.09	76.50	99.27	93.11	86.78	97.39	92.34	88.01	104.14	101.89	100.64
PH	TN/HW	85.43	72.82	61.54	90.84	80.13	69.71	92.74	84.03	76.42	99.19	92.99	86.61	97.34	92.24	87.86	104.04	101.71	100.39
TN/HW	PT	85.43	72.82	61.54	90.84	80.13	69.71	92.74	84.03	76.42	99.19	92.99	86.61	97.34	92.24	87.86	104.04	101.71	100.39
PT	BO/TN	85.04	72.17	60.31	89.21	77.80	66.60	92.39	83.50	74.90	97.37	90.40	82.76	96.98	91.50	85.99	102.15	98.80	95.63
BO/TN	PVB	86.05	74.01	62.21	90.68	80.27	69.08	93.20	85.17	76.92	98.75	92.87	85.59	97.78	93.33	88.32	103.54	101.48	98.99
PVB	VL/BO	86.01	73.93	62.11	90.59	80.13	68.91	93.15	85.07	76.78	98.64	92.70	85.36	97.73	93.22	88.14	103.43	101.28	98.70
VL/BO	PV	85.86	73.62	61.55	90.02	79.25	67.71	93.05	84.83	76.16	98.04	91.75	83.93	97.59	92.82	87.30	102.77	100.15	96.89
PV	OG/VL	83.31	69.79	57.79	84.98	72.02	60.66	91.14	81.71	72.55	92.78	83.78	75.22	96.06	89.72	83.70	97.71	91.71	86.53
PV	CA/VL	86.93	74.86	62.79	91.95	81.66	70.08	93.71	85.68	77.10	99.96	94.49	86.89	97.85	93.25	87.61	104.37	102.73	99.99

Table I.4 Index total number of seaships above 20 T on each segment calculated from MARIN data.

From	To	DE N			DE Y			EC N			EC Y			GC N			GC Y		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030	2010	2020	2030
OK	WA/SA	99.70	98.81	95.18	111.43	115.84	114.87	106.22	112.08	118.64	120.96	134.24	144.48	110.47	122.86	137.28	125.85	146.44	169.27
WA/SA	HW/WA	99.70	98.81	95.18	111.43	115.84	114.87	106.22	112.08	118.64	120.96	134.24	144.48	110.47	122.86	137.28	125.85	146.44	169.27
HW/WA	PH	99.70	98.81	95.18	111.43	115.84	114.87	106.22	112.08	118.64	120.96	134.24	144.48	110.47	122.86	137.28	125.85	146.44	169.27
PH	TN/HW	99.69	98.82	95.19	111.42	115.85	114.88	106.21	112.10	118.65	120.95	134.26	144.49	110.46	122.88	137.30	125.84	146.45	169.29
TN/HW	PT	99.69	98.82	95.19	111.42	115.85	114.88	106.21	112.10	118.65	120.95	134.26	144.49	110.46	122.88	137.30	125.84	146.45	169.29
PT	BO/TN	100.33	100.87	96.55	110.44	115.53	113.51	106.82	114.34	120.43	119.52	133.43	142.69	111.13	125.27	139.50	124.37	145.58	167.04
BO/TN	PVB	100.24	100.41	95.17	110.30	114.98	111.75	106.67	113.65	118.37	119.31	132.62	140.29	110.94	124.39	136.88	124.11	144.57	164.05
PVB	VL/BO	100.17	100.31	95.02	110.16	114.77	111.49	106.61	113.54	118.19	119.16	132.39	139.97	110.88	124.29	136.68	123.97	144.33	163.67
VL/BO	PV	100.12	99.69	93.68	109.44	113.18	109.02	106.72	113.04	116.71	118.42	130.62	136.99	111.01	123.65	134.87	123.23	142.34	160.04
PV	OG/VL	102.65	107.45	107.06	107.62	115.21	118.06	110.23	122.90	136.44	115.64	130.94	147.59	115.82	136.21	161.29	121.34	144.15	173.58
PV	CA/VL	101.86	100.67	93.50	112.14	115.41	109.91	108.44	114.29	116.20	121.60	134.08	138.73	112.59	124.58	133.40	126.35	145.82	161.77

Table 1.5 A, B and C: Data received on collision number and distribution along the river.

A

Global Competition

Vaarweg scenario 0: zonder verdieping

Vaarweg scenario 1: met verdieping

Collisions ZEEVAART	2002				2010				2020				2030			
	aatal	verd	aatal	verd	0		1		0		1		0		1	
	kruisend	kruisend	alle	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle
Wielingen	0.000	0.000	0.053	0.058		101.12		115.65		100.16		123.97		98.01		130.97
Oostgat	0.019	0.047	0.044	0.048	95.40	95.38	98.30	98.28	89.37	89.33	98.30	92.93	83.05	82.97	88.34	88.27
Vlissingen West	0.148	0.357	0.226	0.244	94.80	96.09	101.06	103.38	92.83	94.27	101.06	105.80	90.50	91.90	104.20	107.91
Sloe-Terneuzen	0.094	0.229	0.221	0.239	99.32	99.22	110.07	110.45	97.37	97.05	110.07	114.76	94.57	94.46	117.92	119.00
Terneuzen 1.5Hansweert	0.031	0.074	0.124	0.133	99.75	99.85	114.09	114.43	98.00	98.18	114.09	121.31	97.96	98.31	130.13	131.08
-1.5Hansweert- Hansweert	0.021	0.052	0.030	0.032	99.58	99.67	113.92	114.11	97.52	97.73	113.92	120.64	97.39	97.69	129.55	130.11
Hansweert +1.5Hansweert	0.023	0.057	0.031	0.033	100.02	100.02	114.76	114.79	98.57	98.55	114.76	122.09	98.98	98.94	132.29	132.27
1.5Hansweert Antwerpen	0.076	0.184	0.197	0.213	100.02	100.02	114.79	114.84	98.59	98.56	114.79	122.10	99.02	98.96	132.32	132.32
Totaal	0.413	1.000	0.927	1.000	97.73	98.68	107.93	110.17	95.72	96.73	107.93	114.93	94.04	95.22	116.61	120.76

B

European Coordination

Vaarweg scenario 0: zonder verdieping

Vaarweg scenario 1: met verdieping

Collisions ZEEVAART	2002				2010				2020				2030				
	aatal	verd	aatal	verd	0		1		0		1		0		1		
	kruisend	kruisend	alle	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	
Wielingen	0.000	0.000	0.053	0.058		92.60		100.31		83.93		103.64		74.09		95.99	
Oostgat	0.019	0.047	0.044	0.048	85.34	85.33	86.40	86.38	73.20	73.17	76.61	76.58	61.08	61.04	65.31	65.28	
Vlissingen West	0.148	0.357	0.226	0.244	87.87	88.80	92.19	93.96	80.59	81.29	89.11	91.13	72.71	73.05	82.59	84.32	
Sloe-Terneuzen	0.094	0.229	0.221	0.239	89.92	89.81	99.48	99.83	80.44	80.11	94.55	94.87	70.15	70.01	85.95	86.59	
Terneuzen 1.5Hansweert	-	0.031	0.074	0.124	0.133	90.20	90.29	103.03	103.36	80.44	80.60	99.39	99.88	72.08	72.36	93.73	94.44
-1.5Hansweert - Hansweert		0.021	0.052	0.030	0.032	90.07	90.14	102.84	103.03	80.18	80.32	99.12	99.40	71.82	72.01	93.50	93.86
Hansweert +1.5Hansweert		0.023	0.057	0.031	0.033	90.41	90.41	103.73	103.74	80.85	80.84	100.39	100.40	72.75	72.74	95.17	95.16
1.5Hansweert Antwerpen	-	0.076	0.184	0.197	0.213	90.41	90.42	103.73	103.78	80.86	80.85	100.41	100.44	72.78	72.75	95.20	95.21
Totaal		0.413	1.000	0.927	1.000	89.12	89.74	97.72	99.33	80.24	80.54	93.77	95.78	71.50	71.61	86.98	88.96

C

Divided Europe

Vaarweg scenario 0: zonder verdieping

Vaarweg scenario 1: met verdieping

Collisions ZEEVAART	2002				2010				2020				2030			
	aatal	verd	aatal	verd	0		1		0		1		0		1	
	kruisend	kruisend	alle	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle	kruis	alle
Wielingen	0.000	0.000	0.053	0.058		80.25		89.94		63.95		76.69		48.57		61.08
Oostgat	0.019	0.047	0.044	0.048	71.64	71.63	74.13	74.11	52.89	52.88	55.90	55.89	38.09	38.07	41.54	41.52
Vlissingen West	0.148	0.357	0.226	0.244	78.09	78.56	82.59	83.72	64.77	64.83	70.86	71.71	52.81	52.41	59.34	59.60
Sloe-Terneuzen	0.094	0.229	0.221	0.239	76.92	76.74	84.29	84.44	60.07	59.69	69.56	69.61	45.05	44.82	54.53	54.77
Terneuzen 1.5Hansweert	- 0.031	0.074	0.124	0.133	76.88	76.98	86.70	86.97	59.55	59.70	72.22	72.60	45.62	45.83	58.61	59.05
-1.5Hansweert - Hansweert	0.021	0.052	0.030	0.032	76.84	76.88	86.67	86.79	59.44	59.53	72.12	72.30	45.59	45.68	58.58	58.77
Hansweert +1.5Hansweert	0.023	0.057	0.031	0.033	77.05	77.05	87.17	87.18	59.82	59.82	72.90	72.91	46.00	45.99	59.40	59.40
1.5Hansweert Antwerpen	- 0.076	0.184	0.197	0.213	77.05	77.06	87.18	87.21	59.84	59.83	72.92	72.95	46.01	46.00	59.43	59.44
Totaal	0.413	1.000	0.927	1.000	77.11	77.25	84.21	85.18	61.29	60.90	70.52	71.18	47.80	47.02	57.33	57.53

Table I.6 Calculated correction factors for ammonia transport compared to base case

		2010						2020						2030					
		DE N	DE Y	EC N	EC Y	GC N	GC Y	DE N	DE Y	EC N	EC Y	GC N	GC Y	DE N	DE Y	EC N	EC Y	GC N	GC Y
1	Wielingen	0.81	0.88	0.90	0.98	1.00	1.10	0.80	0.79	0.87	0.85	0.99	0.98	0.75	0.87	1.06	1.24	1.45	1.71
2	Rede van Vlissingen	0.82	0.90	0.90	0.99	0.99	1.11	0.83	0.84	0.89	0.91	1.01	1.03	0.79	0.93	1.10	1.32	1.48	1.81
3	Vlissingen to PVB	0.81	0.89	0.89	0.99	0.99	1.10	0.82	0.82	0.89	0.89	1.00	1.01	0.79	0.92	1.09	1.30	1.47	1.78
4	PVB to BOTN	0.81	0.89	0.89	0.99	0.99	1.10	0.82	0.81	0.88	0.89	0.99	1.00	0.78	0.91	1.09	1.30	1.47	1.77
5	BOTN to Terneuzen	0.83	0.92	0.91	1.01	1.00	1.13	0.86	0.86	0.92	0.93	1.03	1.05	0.84	0.99	1.17	1.41	1.57	1.93
6	Terneuzen to TNHW	0.99	1.08	1.09	1.20	1.20	1.33	1.02	0.99	1.10	1.07	1.23	1.21	0.97	1.12	1.34	1.58	1.80	2.15
7a	TNHW to HW1	0.99	1.08	1.09	1.20	1.20	1.33	1.02	0.99	1.10	1.07	1.23	1.21	0.97	1.12	1.34	1.58	1.80	2.15
7b	HW1 to HW	0.99	1.08	1.09	1.20	1.20	1.33	1.02	0.99	1.10	1.07	1.23	1.21	0.97	1.12	1.34	1.58	1.80	2.15
8a	HW to HW2	0.99	1.08	1.09	1.19	1.20	1.33	1.02	0.99	1.09	1.06	1.23	1.20	0.97	1.11	1.34	1.57	1.79	2.14
8b	HW2 to HWWA	0.99	1.08	1.09	1.19	1.20	1.33	1.02	0.99	1.09	1.06	1.23	1.20	0.97	1.11	1.34	1.57	1.79	2.14
9	HWWA to WASA	0.99	1.08	1.09	1.19	1.20	1.33	1.02	0.99	1.09	1.06	1.23	1.20	0.97	1.11	1.33	1.57	1.79	2.14
10a	WASA to OK	0.99	1.08	1.09	1.19	1.20	1.33	1.02	0.99	1.09	1.06	1.23	1.20	0.97	1.11	1.33	1.57	1.79	2.14
10b	OK to AW	0.99	1.08	1.09	1.19	1.20	1.33	1.02	0.99	1.09	1.06	1.23	1.20	0.97	1.11	1.33	1.57	1.79	2.14
12	Oostgat	1.07	1.19	1.17	1.31	1.29	1.46	1.11	1.22	1.16	1.31	1.30	1.48	1.24	1.51	1.71	2.13	2.32	2.97

Table 1.7 Calculated correction factors for flammable gas transport compared to base case

		2010						2020						2030					
		DE N	DE Y	EC N	EC Y	GC N	GC Y	DE N	DE Y	EC N	EC Y	GC N	GC Y	DE N	DE Y	EC N	EC Y	GC N	GC Y
1	Wielingen	1.08	1.17	1.35	1.47	1.65	1.81	1.25	1.23	1.81	1.78	2.36	2.32	1.33	1.53	2.77	3.24	4.72	5.57
2	Rede van Vlissingen	1.09	1.20	1.35	1.49	1.63	1.83	1.29	1.31	1.85	1.88	2.39	2.44	1.38	1.63	2.85	3.43	4.80	5.87
3	Vlissingen to PVB	1.09	1.19	1.35	1.48	1.63	1.81	1.28	1.28	1.84	1.84	2.37	2.39	1.38	1.61	2.84	3.38	4.77	5.78
4	PVB to BOTN	1.09	1.19	1.34	1.48	1.63	1.81	1.28	1.27	1.83	1.84	2.36	2.38	1.38	1.60	2.84	3.37	4.76	5.76
5	BOTN to Terneuzen	1.11	1.23	1.37	1.53	1.66	1.86	1.34	1.35	1.91	1.94	2.46	2.51	1.49	1.75	3.04	3.67	5.12	6.29
6	Terneuzen to TNHW	1.10	1.20	1.35	1.49	1.63	1.82	1.32	1.28	1.88	1.83	2.42	2.37	1.41	1.62	2.88	3.39	4.83	5.78
7a	TNHW to HW1	1.10	1.20	1.35	1.49	1.63	1.82	1.32	1.28	1.88	1.83	2.42	2.37	1.41	1.62	2.88	3.39	4.83	5.78
7b	HW1 to HW	1.10	1.20	1.35	1.49	1.63	1.82	1.32	1.28	1.88	1.83	2.42	2.37	1.41	1.62	2.88	3.39	4.83	5.78
8a	HW to HW2	1.10	1.20	1.35	1.49	1.63	1.82	1.32	1.27	1.88	1.83	2.41	2.36	1.41	1.61	2.87	3.38	4.81	5.75
8b	HW2 to HWWA	1.10	1.20	1.35	1.49	1.63	1.82	1.32	1.27	1.88	1.83	2.41	2.36	1.41	1.61	2.87	3.38	4.81	5.75
9	HWWA to WASA	1.10	1.19	1.35	1.49	1.63	1.82	1.32	1.27	1.88	1.83	2.41	2.36	1.40	1.61	2.87	3.38	4.81	5.75
10a	WASA to OK	1.10	1.19	1.35	1.49	1.63	1.82	1.32	1.27	1.88	1.83	2.41	2.36	1.40	1.61	2.87	3.38	4.81	5.75
10b	OK to AW	1.10	1.19	1.35	1.49	1.63	1.82	1.32	1.27	1.88	1.83	2.41	2.36	1.40	1.61	2.87	3.38	4.81	5.75
12	Oostgat	1.19	1.32	1.45	1.63	1.76	1.99	1.44	1.58	1.99	2.26	2.56	2.91	1.79	2.20	3.68	4.59	6.25	7.98



APPENDIX II: RISK CONTOURS

Glossary:

DE: Divided Europe

EC: European coordination

GC: global competition

Y: Deepening of the river

N: No deepening of the river

RESULTS SCENARIOS 0-18:

FIGURE II.0. – BASE CASE COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS 2003 SITUATION

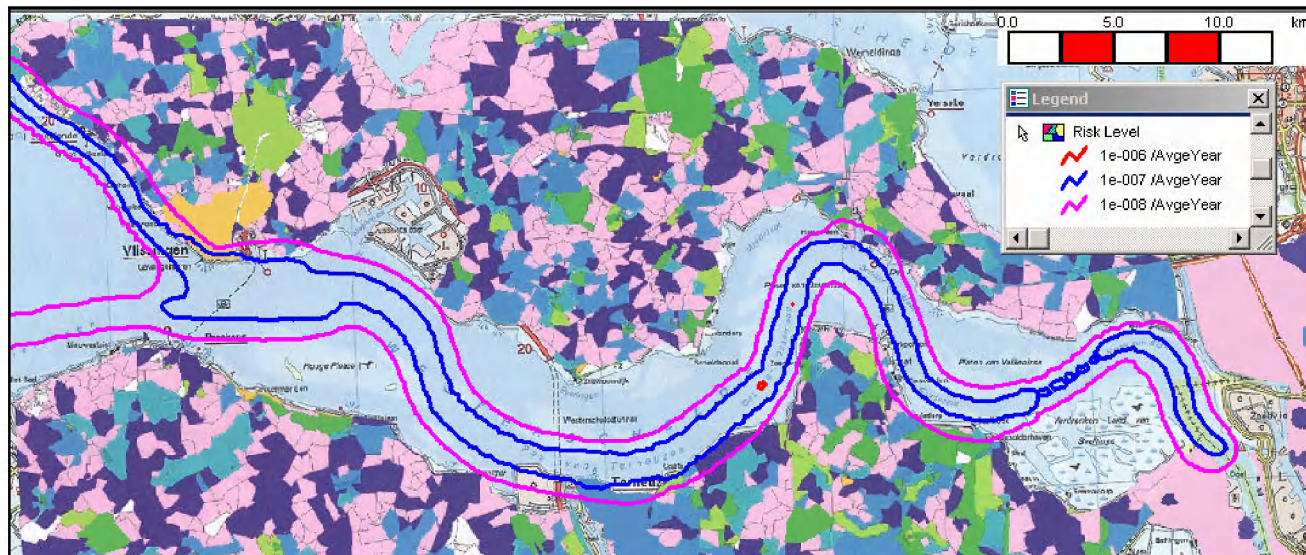


FIGURE II.1. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2010 DE N

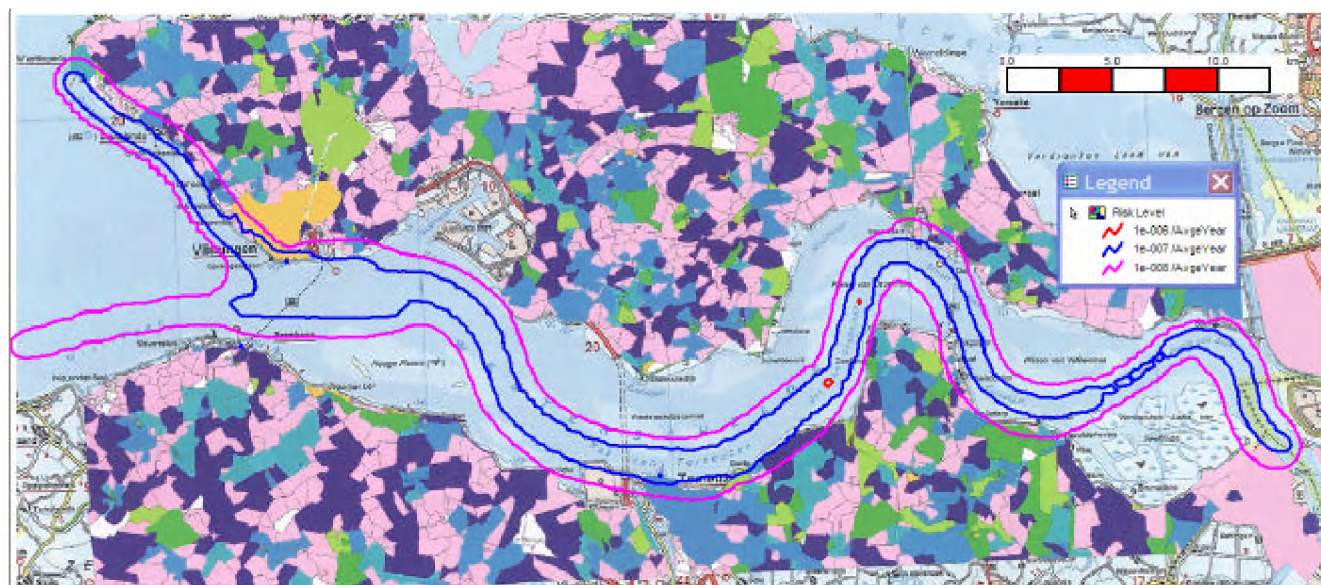


FIGURE II.2. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2010 DE Y

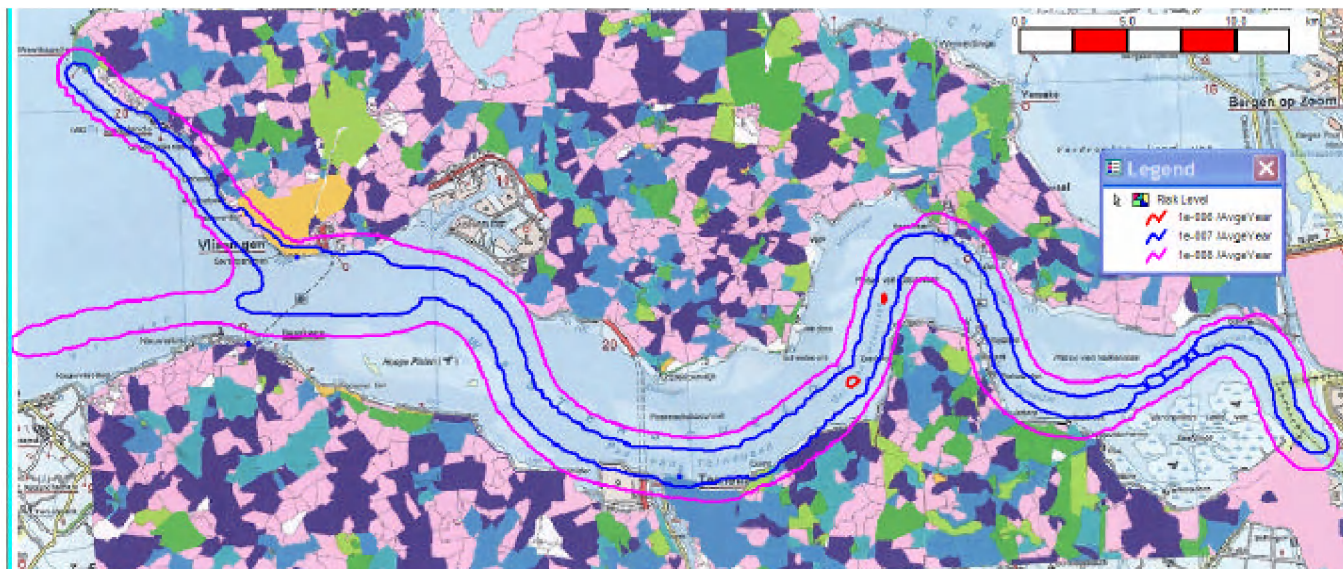


FIGURE II.3. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2010 EC N

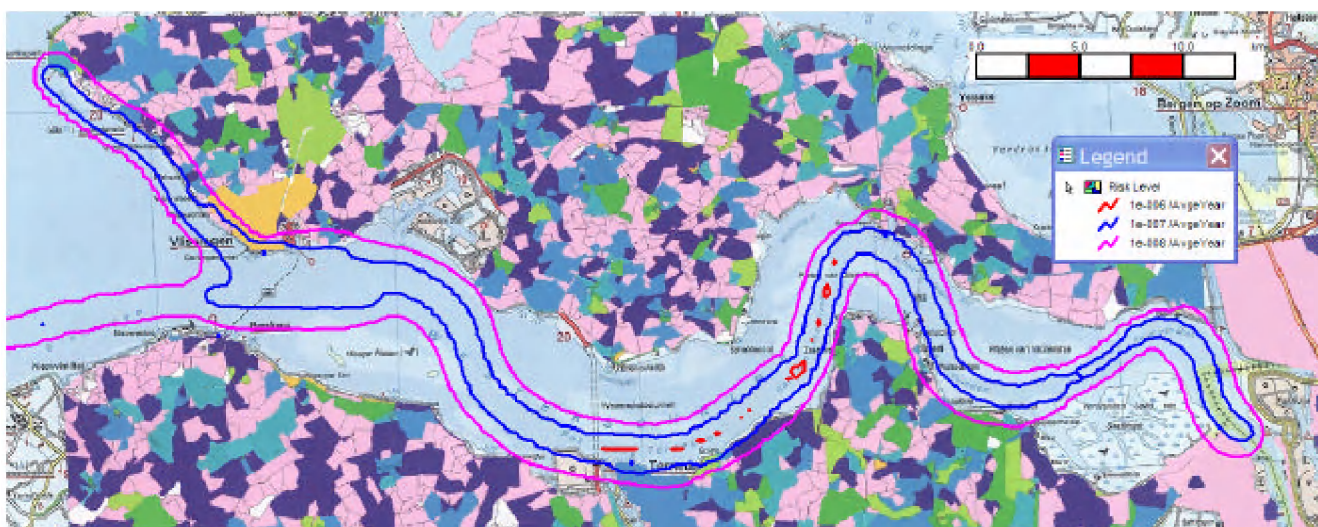


FIGURE II.4. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2010 EC Y

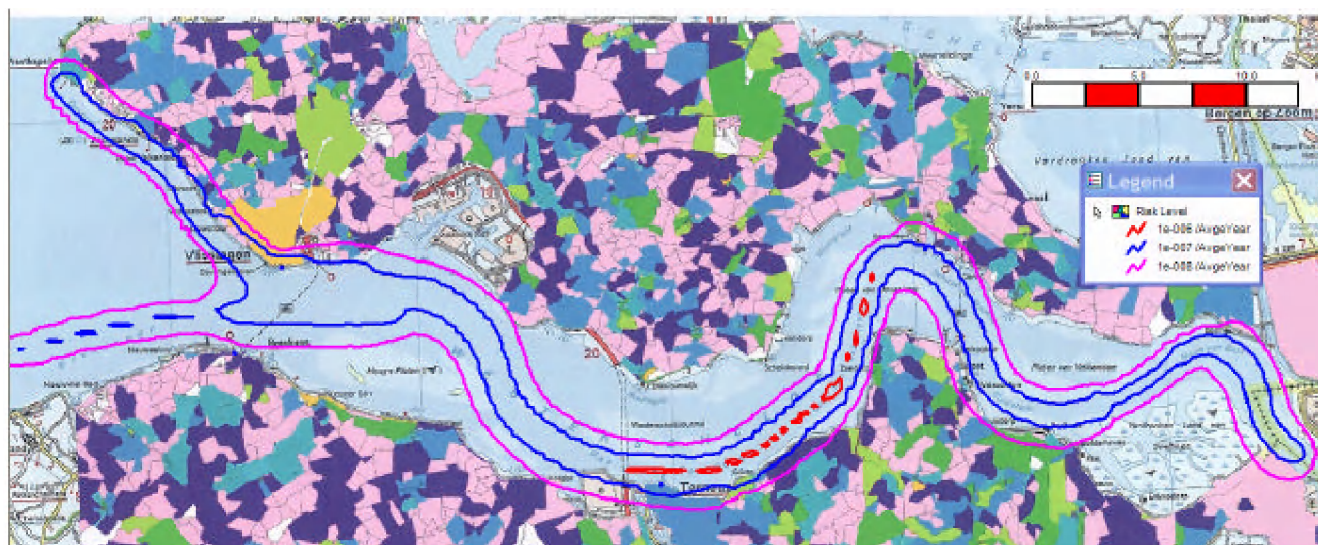


FIGURE II.5. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2010 GC N

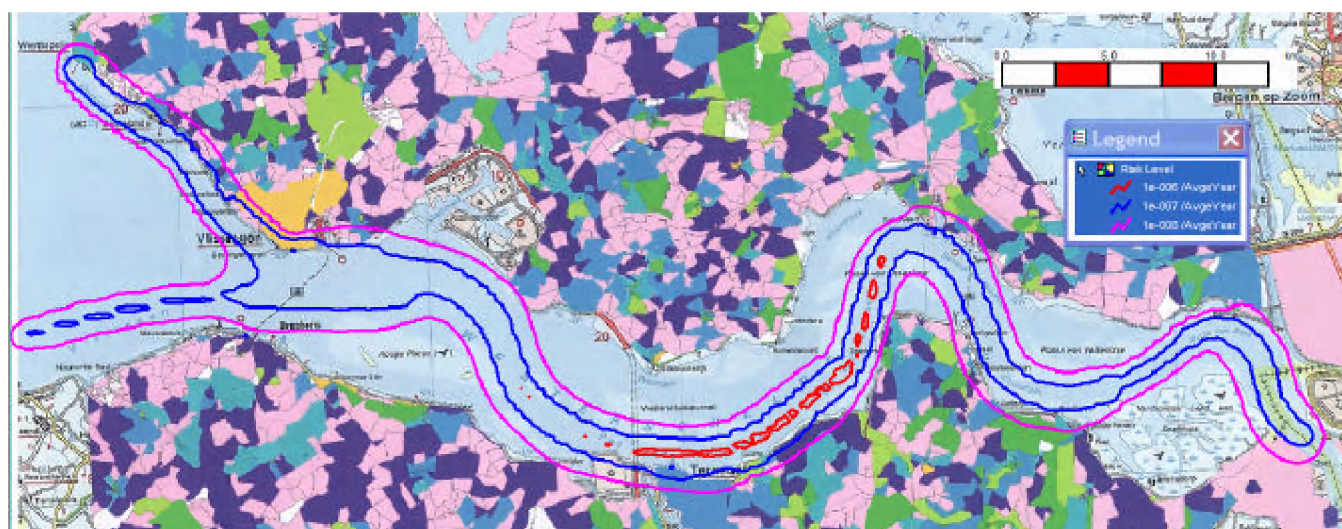


FIGURE II.6. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2010 GC Y

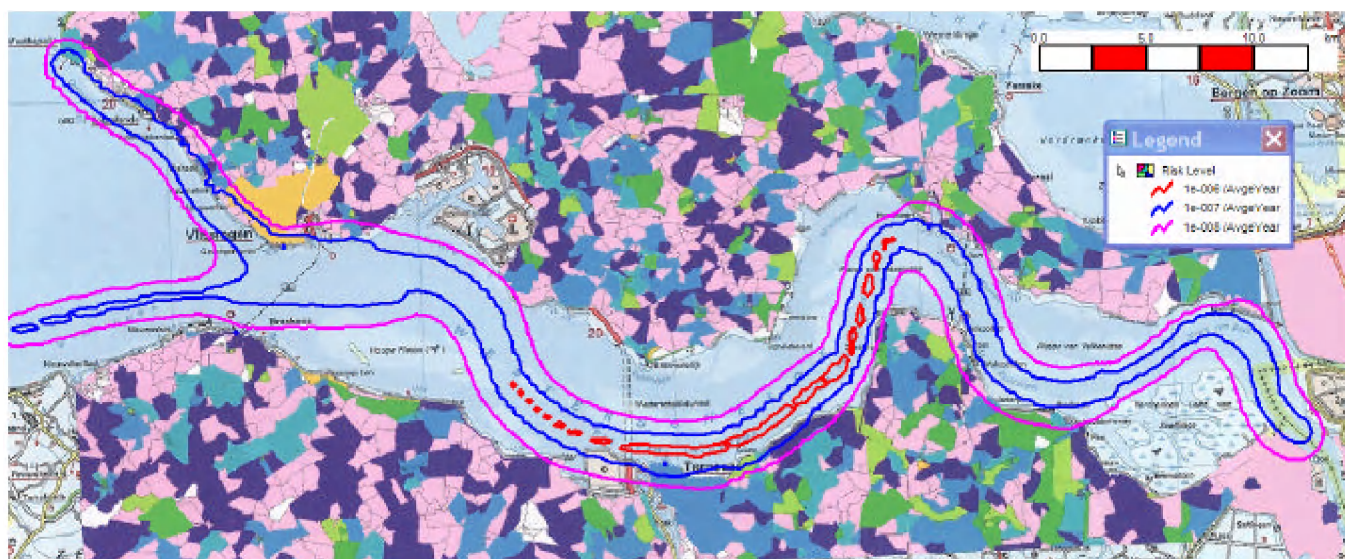


FIGURE II.7. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2020 DE N

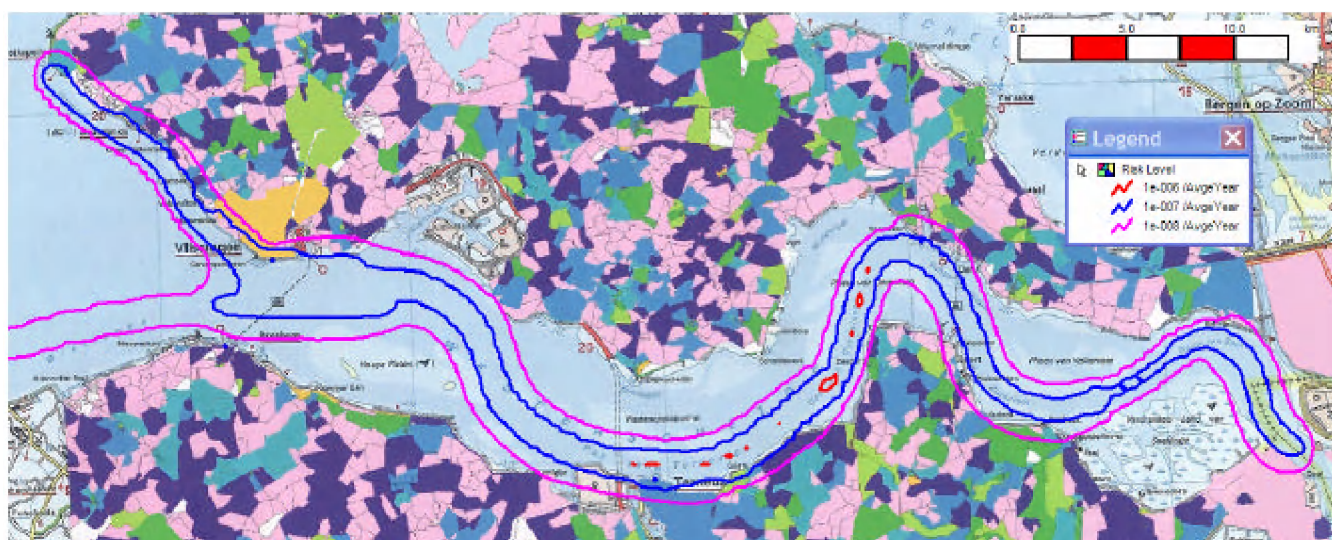


FIGURE II.8. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2020 DE Y

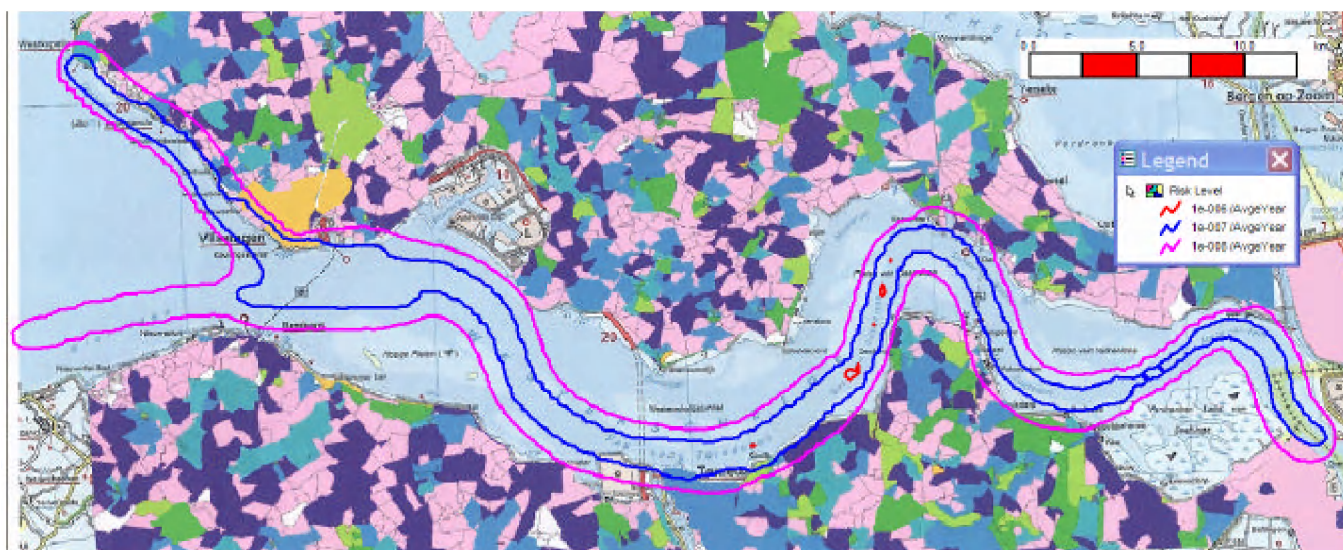


FIGURE II.9. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2020 EC N

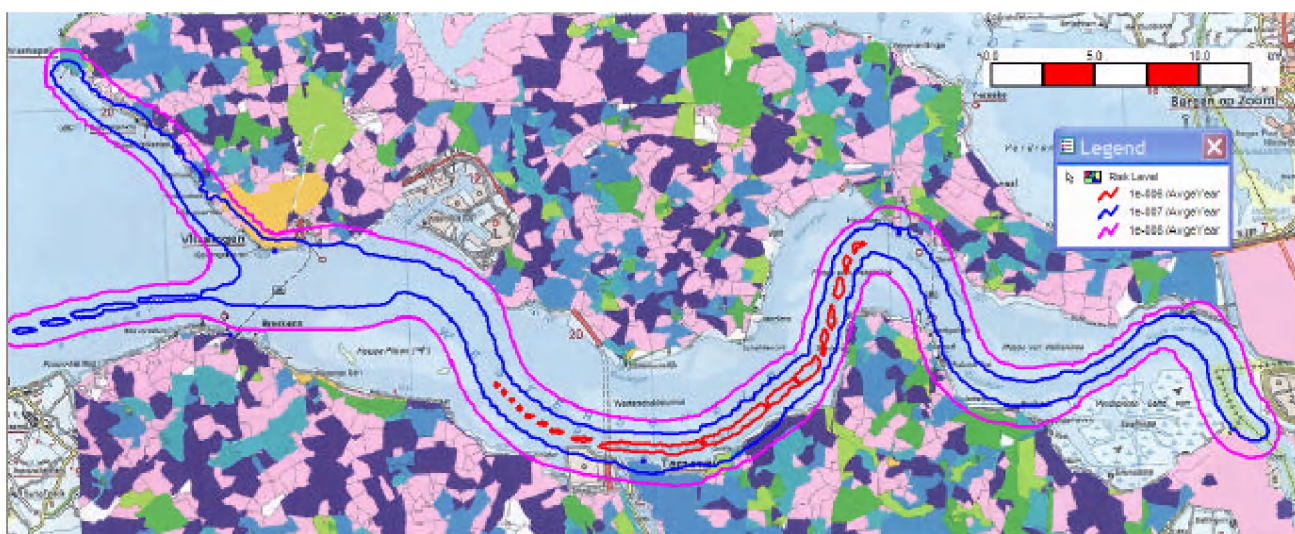


FIGURE II.10. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2020 EC Y

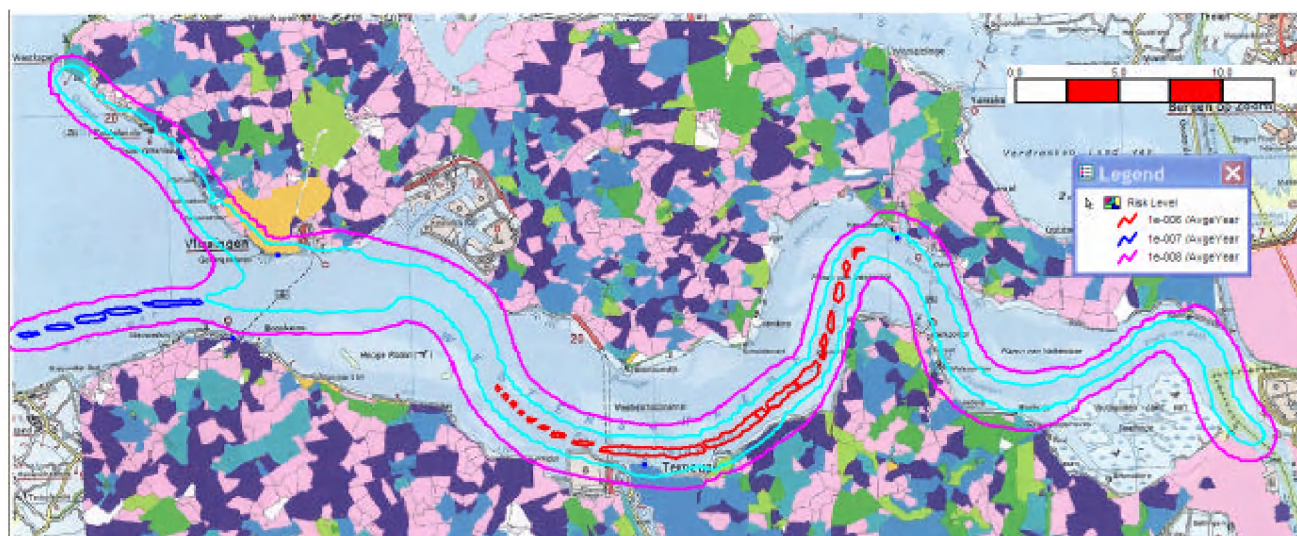


FIGURE II.11. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2020 GC N

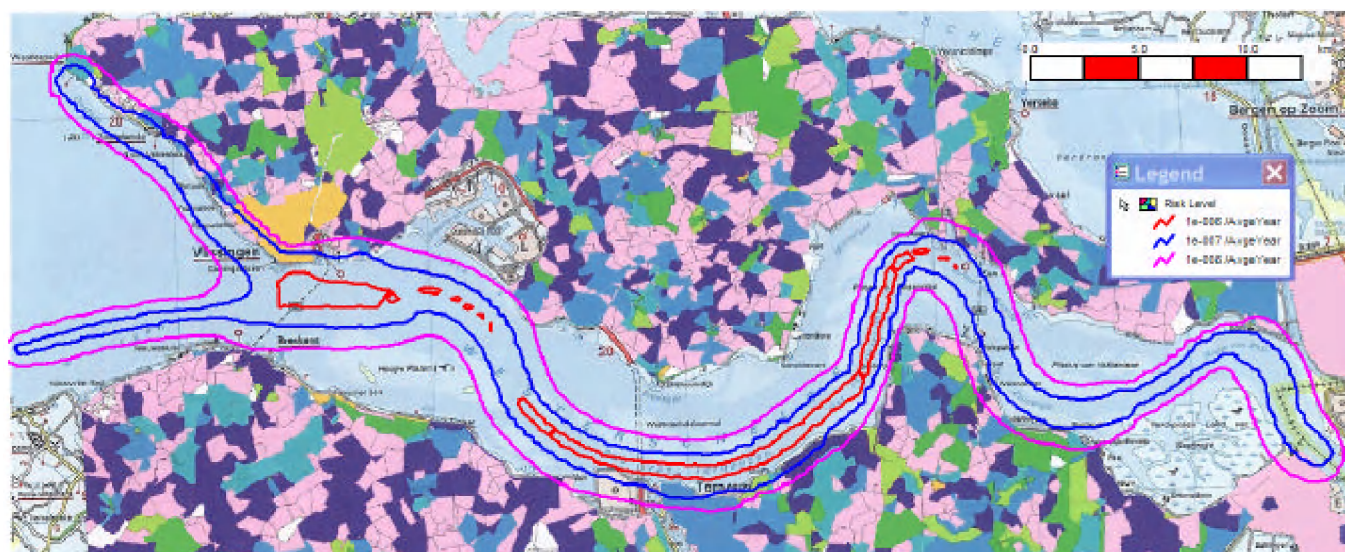


FIGURE II.12. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2020 GC Y

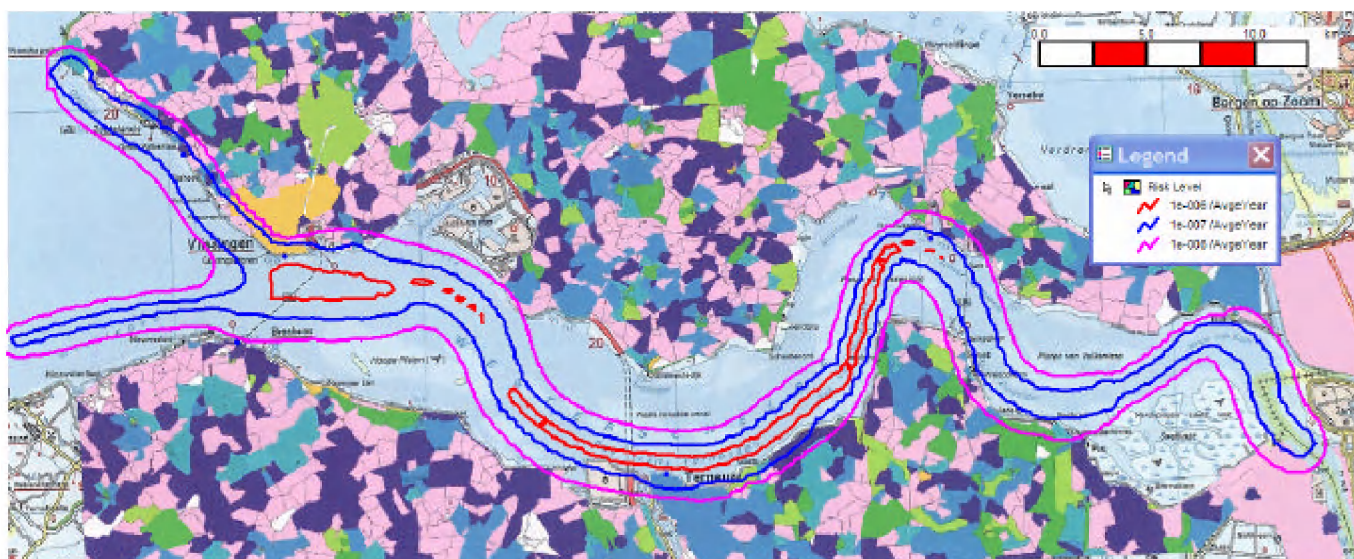


FIGURE II.13. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2030 DE N

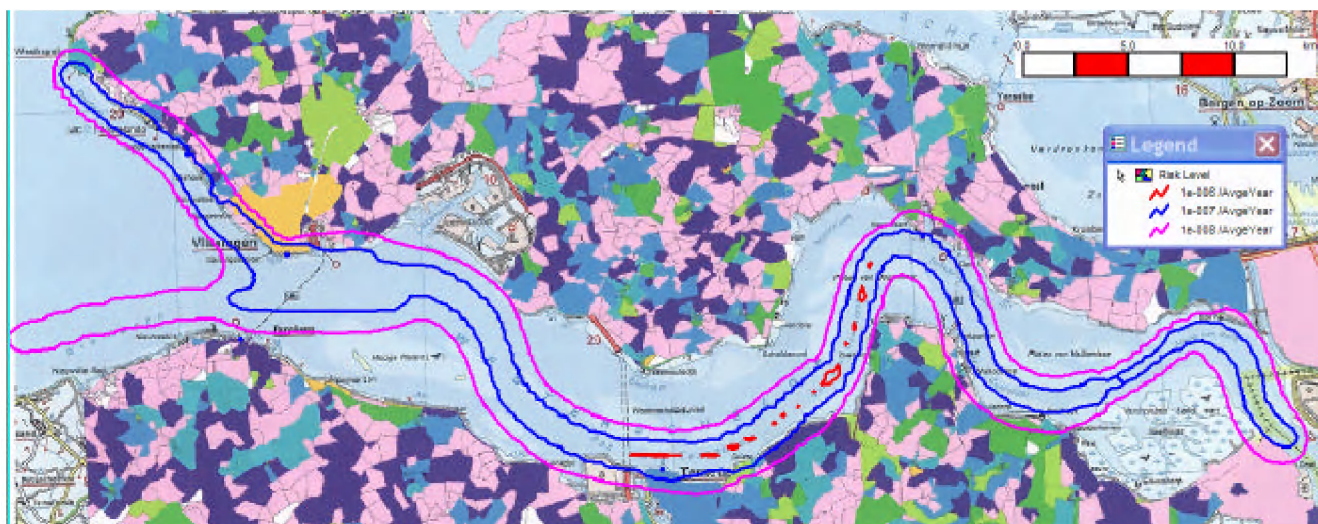


FIGURE II.14. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2030 DE Y

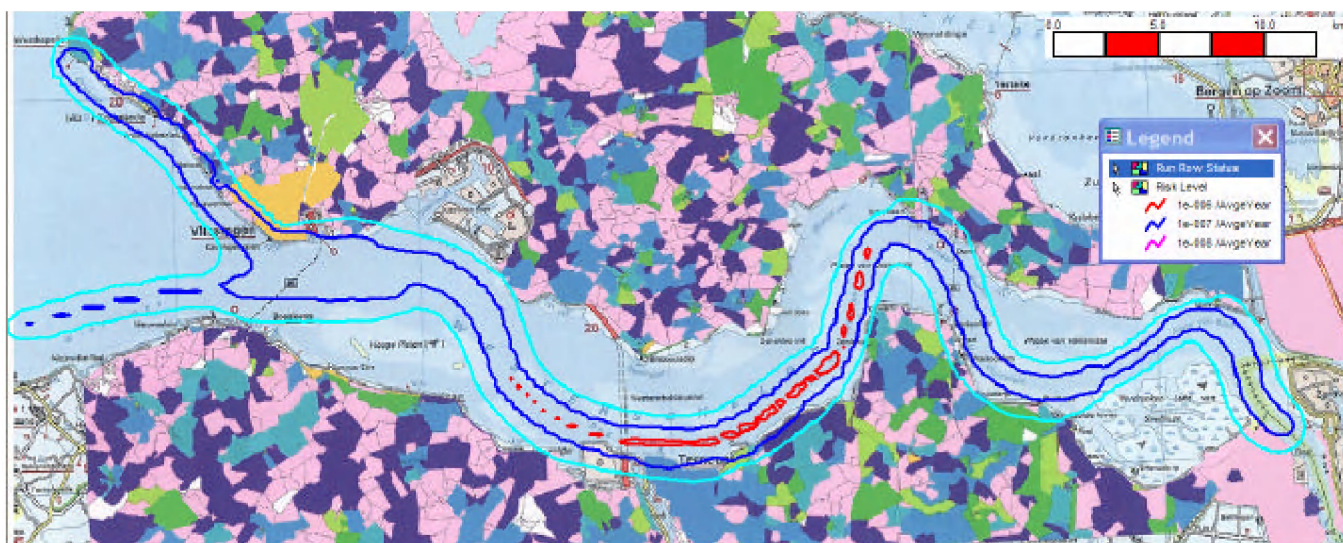


FIGURE II.15. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2030 EC N

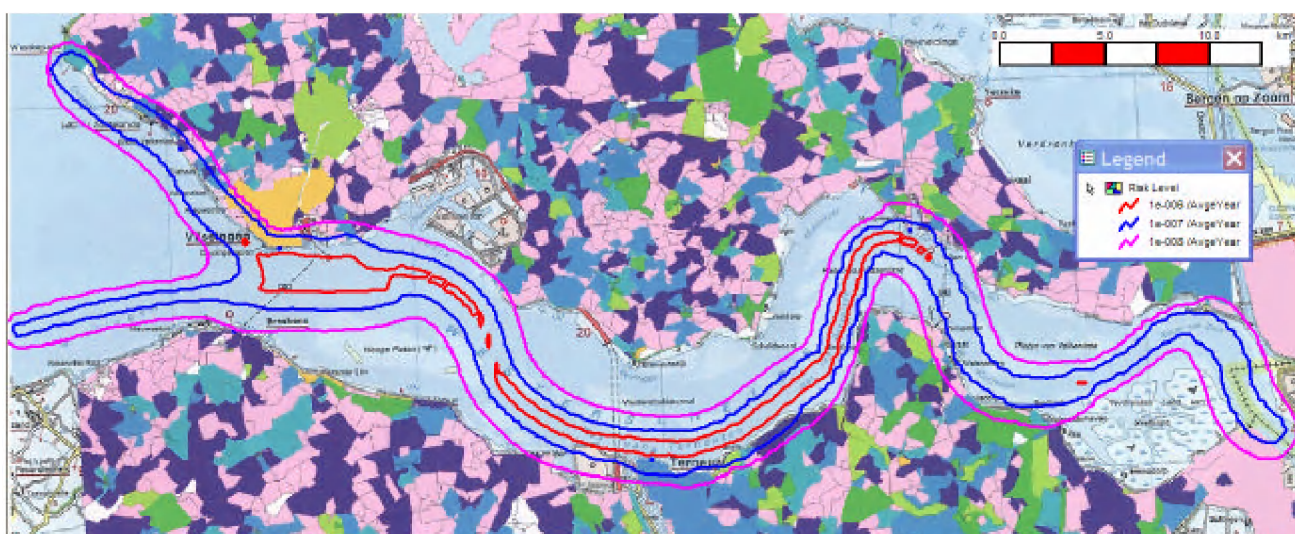


FIGURE II.16. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2030 EC Y

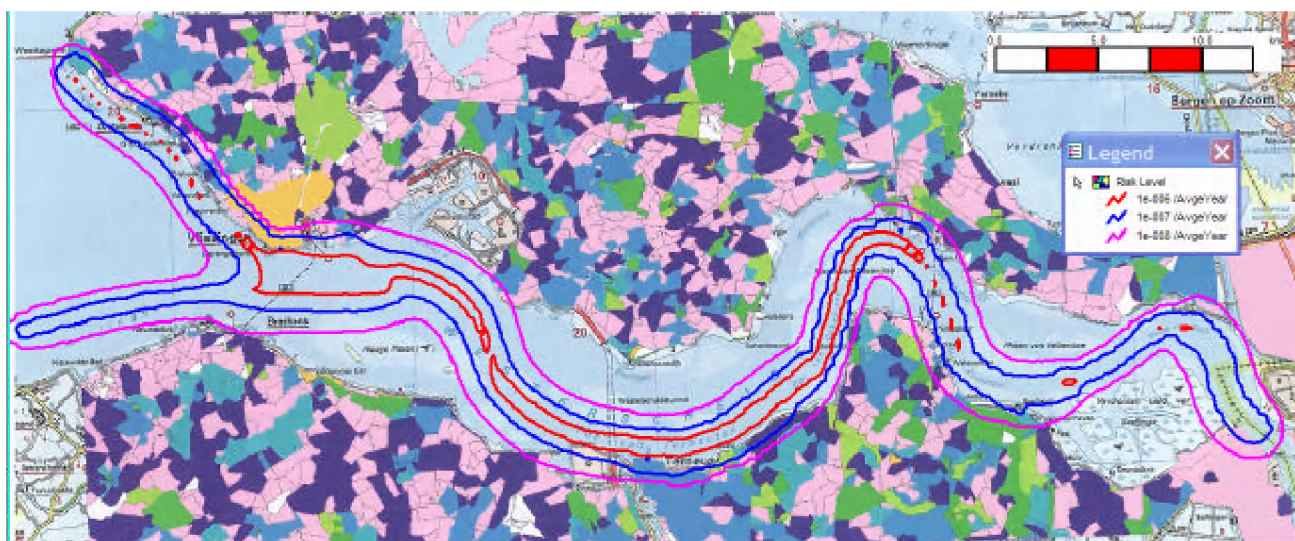
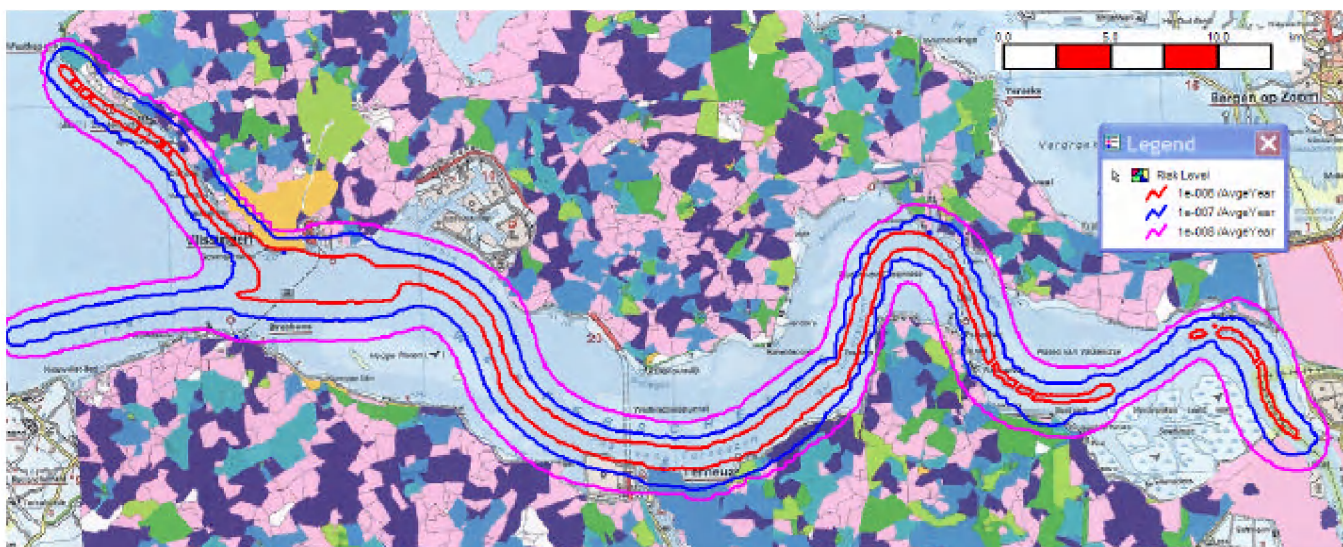
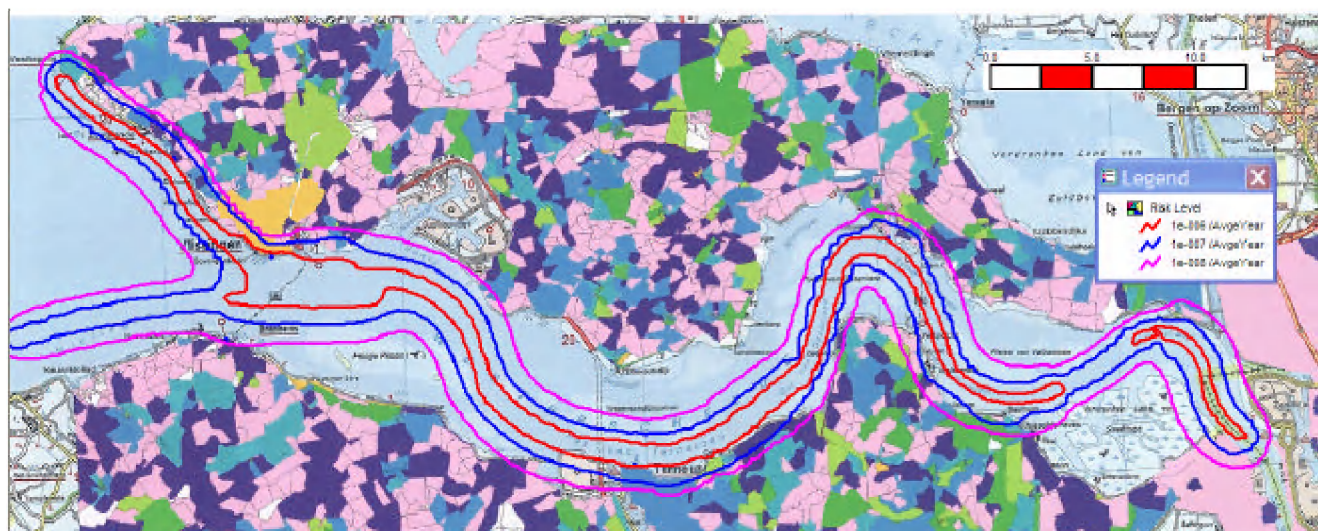


FIGURE II.17. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2030 GC N



**FIGURE II.18. –COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2030 GC Y
(Extreme case)**



APPENDIX III: FN CURVES (VLISSINGEN, TERNEUZEN AND HANSWEERT)

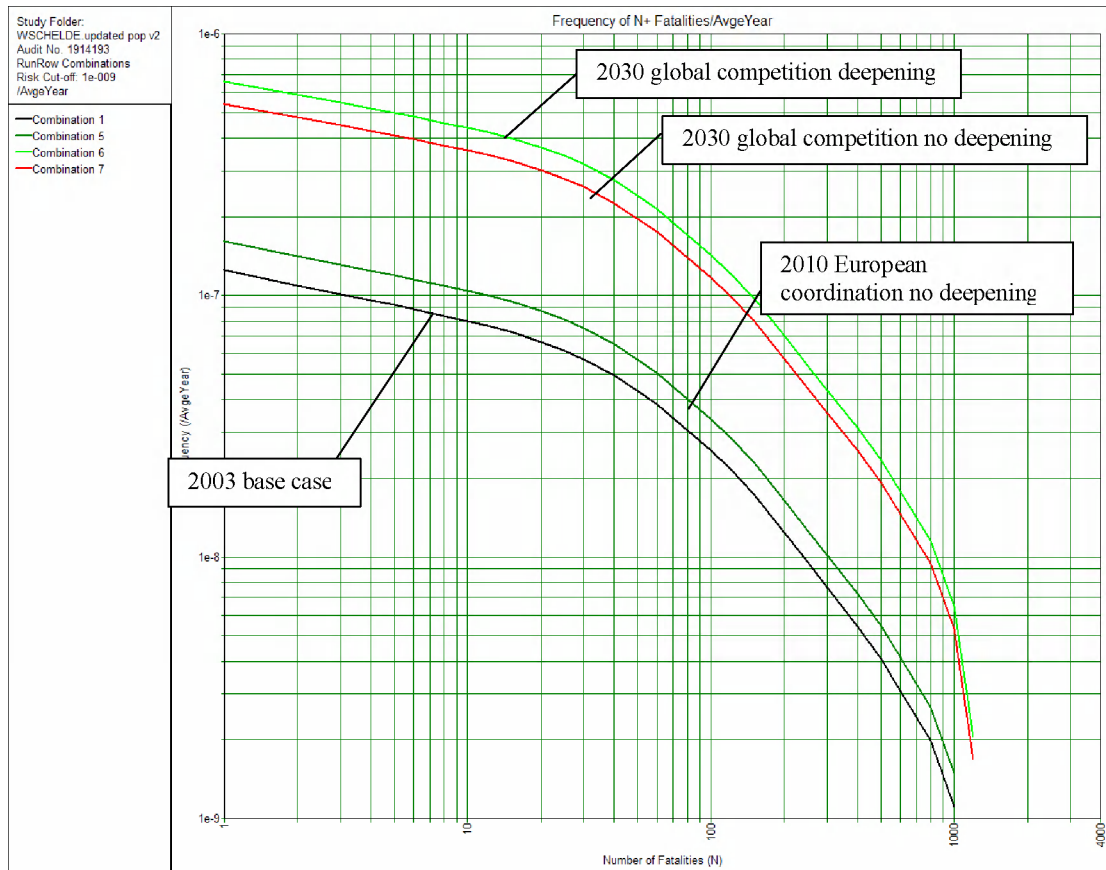
Figure III.1
Combined fN results Vlissingen 2003, 2010 and 2030 situations (for 1 km shipping lane)


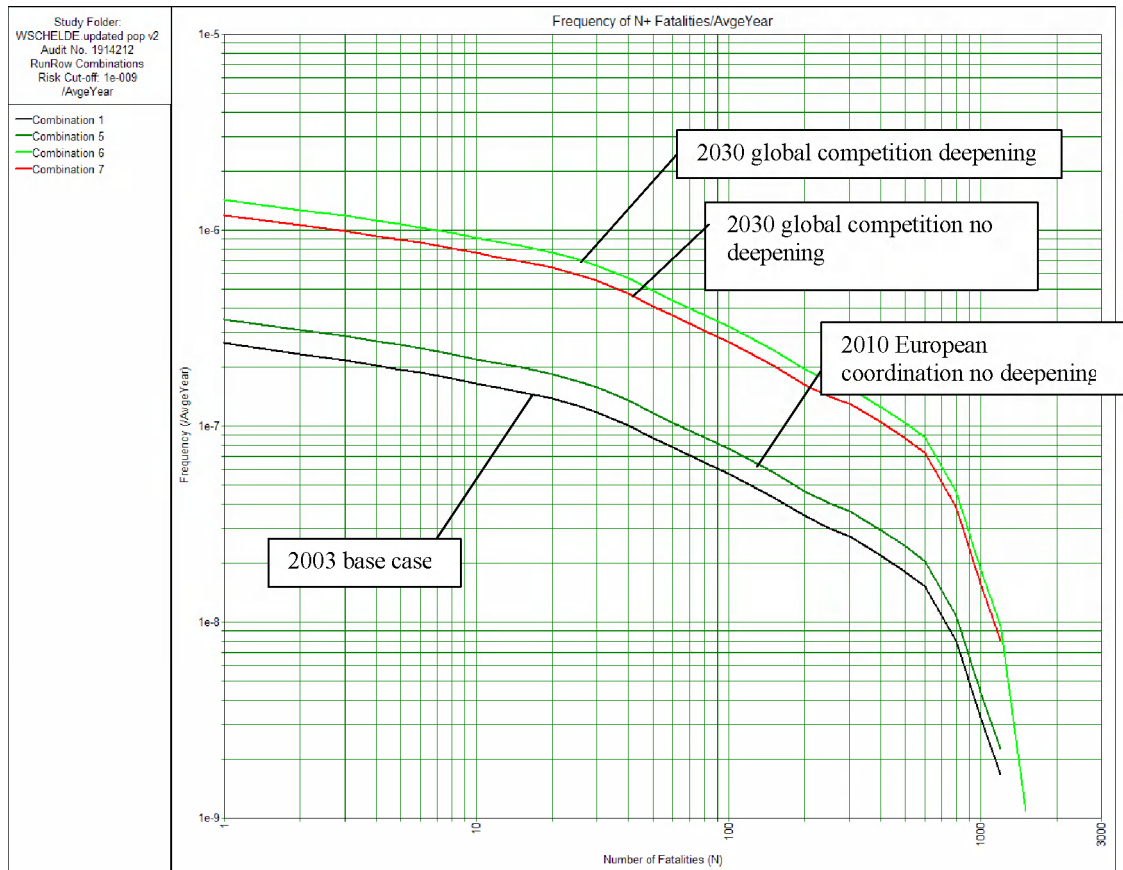
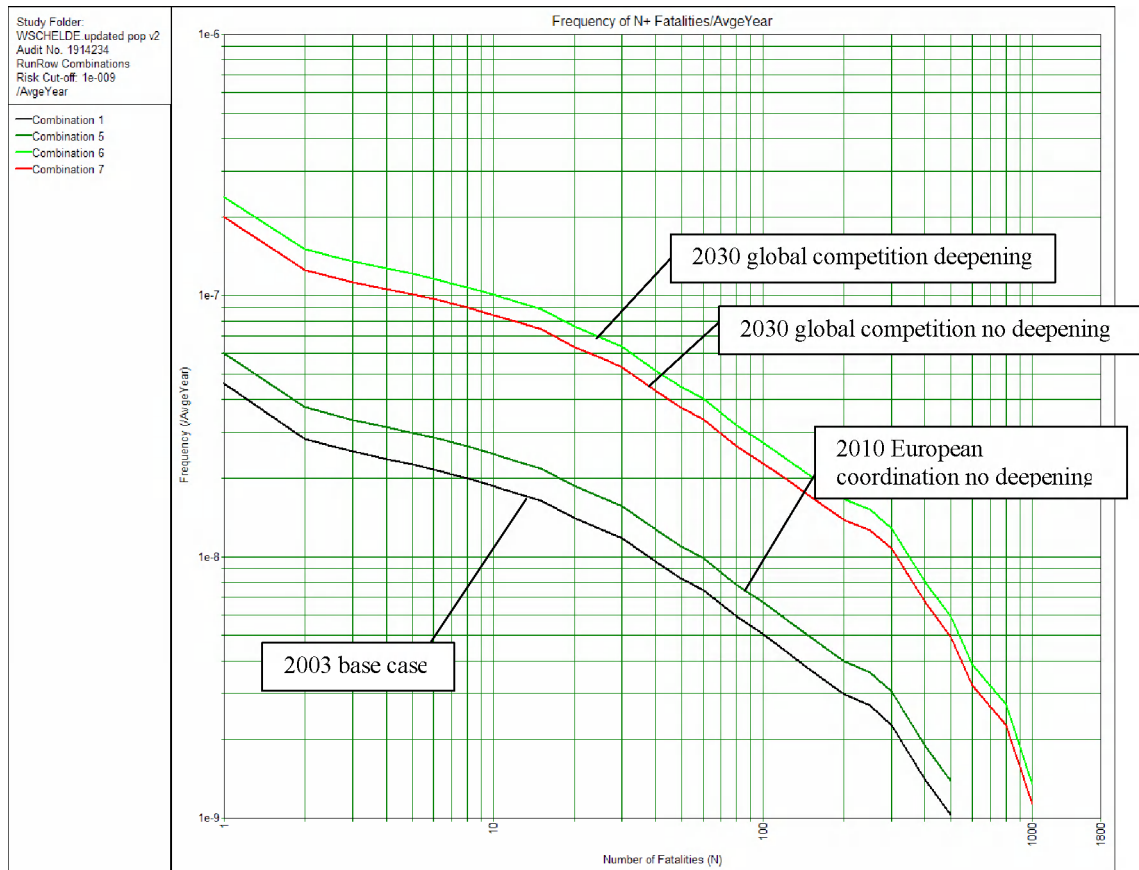
Figure III.2
Combined fN results Terneuzen 2003, 2010 and 2030 situations (for 1 km shipping lane)


Figure III.3

Combined fN results Hansweert 2003, 2010 and 2030 situations (for 1 km shipping lane)



APPENDIX IV: INDIVIDUAL RISK RESULTS

Table IV.1
Individual risk in Breskens for 18 scenarios

			Individual risk (X 10E-8)					
Year	Economy	Deepening	Toxics	% 2003	Flammables	% 2003	Total	% 2003
2002	Base case		0.10	100.00%	0.20	100.00%	0.30	100.00%
2010	DE	N	0.02	19.66%	0.27	134.87%	0.29	96.47%
	DE	Y	0.02	21.52%	0.30	147.74%	0.32	105.66%
	EC	N	0.02	21.64%	0.33	166.93%	0.36	118.50%
	EC	Y	0.02	23.89%	0.37	184.46%	0.39	130.94%
	GC	N	0.02	23.91%	0.40	202.19%	0.43	142.76%
	GC	Y	0.03	26.66%	0.45	225.66%	0.48	159.32%
2020	DE	N	0.02	19.85%	0.32	159.33%	0.34	112.84%
	DE	Y	0.02	19.97%	0.32	160.59%	0.34	113.72%
	EC	N	0.02	21.40%	0.46	228.73%	0.48	159.62%
	EC	Y	0.02	21.66%	0.46	232.12%	0.49	161.97%
	GC	N	0.02	24.22%	0.59	295.30%	0.61	204.94%
	GC	Y	0.02	24.60%	0.60	300.41%	0.63	208.48%
2030	DE	N	0.02	18.90%	0.34	170.50%	0.36	119.97%
	DE	Y	0.02	22.17%	0.40	200.27%	0.42	140.91%
	EC	N	0.03	26.33%	0.70	351.97%	0.73	243.42%
	EC	Y	0.03	31.48%	0.84	421.53%	0.87	291.51%
	GC	N	0.04	35.55%	1.19	593.03%	1.22	407.20%
	GC	Y	0.04	43.19%	1.44	722.48%	1.49	496.05%

Table IV.2
Individual risk in Hansweert for 18 scenarios

			Individual risk (X 10E-8)					
Year	Economy	Deepening	Toxics	% 2003	Flammables	% 2003	Total	% 2003
2002	Base case		2.10	100.00%	9.40	100.00%	11.50	100.00%
2010	DE	N	2.05	97.54%	10.33	109.92%	12.38	107.66%
	DE	Y	2.23	106.29%	11.26	119.80%	13.49	117.33%
	EC	N	2.24	106.77%	12.73	135.41%	14.97	130.18%
	EC	Y	2.47	117.62%	14.02	149.17%	16.49	143.41%
	GC	N	2.47	117.62%	15.38	163.59%	17.85	155.19%
	GC	Y	2.75	130.94%	17.12	182.13%	19.87	172.78%
2020	DE	N	2.11	100.48%	12.43	132.27%	14.54	126.46%
	DE	Y	2.04	97.13%	12.02	127.88%	14.06	122.26%
	EC	N	2.26	107.75%	17.74	188.69%	20.00	173.91%
	EC	Y	2.20	104.86%	17.26	183.63%	19.46	169.25%
	GC	N	2.54	120.95%	22.74	241.90%	25.28	219.81%
	GC	Y	2.49	118.44%	22.27	236.87%	24.75	215.25%
2030	DE	N	1.97	93.84%	13.27	141.16%	15.24	132.52%
	DE	Y	2.27	107.97%	15.27	162.43%	17.54	152.49%
	EC	N	2.72	129.60%	27.16	288.92%	29.88	259.82%
	EC	Y	3.20	152.57%	31.97	340.14%	35.18	305.89%
	GC	N	3.65	173.76%	45.48	483.80%	49.13	427.18%
	GC	Y	4.44	211.23%	54.40	578.69%	58.83	511.59%

Table IV.3
Individual risk in Oostgat for 18 scenarios

			Individual risk (X 10E-8)					
Year	Economy	Deepening	Toxics	% 2003	Flammables	% 2003	Total	% 2003
2002	Base case		1.00	100.00%	7.40	100.00%	7.40	100.00%
2010	DE	N	0.03	2.78%	8.73	118.01%	8.76	118.38%
	DE	Y	0.03	3.09%	9.70	131.14%	9.73	131.55%
	EC	N	0.03	3.02%	10.68	144.29%	10.71	144.69%
	EC	Y	0.03	3.38%	11.96	161.69%	12.00	162.14%
	GC	N	0.03	3.33%	12.93	174.68%	12.96	175.13%
	GC	Y	0.04	3.76%	14.61	197.48%	14.65	197.99%
2020	DE	N	0.03	2.88%	10.58	142.91%	10.60	143.30%
	DE	Y	0.03	3.16%	11.62	157.00%	11.65	157.42%
	EC	N	0.03	3.00%	14.66	198.13%	14.69	198.54%
	EC	Y	0.03	3.40%	16.60	224.31%	16.63	224.77%
	GC	N	0.03	3.37%	18.79	253.91%	18.82	254.36%
	GC	Y	0.04	3.83%	21.38	288.97%	21.42	289.49%
2030	DE	N	0.03	3.20%	13.18	178.13%	13.21	178.56%
	DE	Y	0.04	3.91%	16.14	218.15%	16.18	218.68%
	EC	N	0.04	4.42%	27.01	365.02%	27.06	365.62%
	EC	Y	0.06	5.52%	33.76	456.25%	33.82	457.00%
	GC	N	0.06	6.01%	45.91	620.42%	45.97	621.23%
	GC	Y	0.08	7.67%	58.64	792.47%	58.72	793.51%

Table IV.4
Individual risk in Terneuzen for 18 scenarios

			Individual risk (X 10E-8)					
Year	Economy	Deepening	Toxics	% 2003	Flammables	% 2003	Total	% 2003
2002	Base case		2.80	100.00%	16.20	100.00%	19.00	100.00%
2010	DE	N	2.79	99.50%	17.82	110.00%	20.61	108.46%
	DE	Y	3.04	108.45%	19.43	119.91%	22.46	118.22%
	EC	N	3.05	108.92%	21.96	135.53%	25.00	131.60%
	EC	Y	3.36	120.02%	24.19	149.32%	27.55	145.00%
	GC	N	3.36	120.00%	26.52	163.73%	29.88	157.29%
	GC	Y	3.74	133.62%	29.54	182.32%	33.28	175.14%
2020	DE	N	2.87	102.51%	21.45	132.38%	24.32	127.98%
	DE	Y	2.78	99.13%	20.74	128.01%	23.51	123.76%
	EC	N	3.08	109.95%	30.60	188.87%	33.68	177.24%
	EC	Y	3.00	107.03%	29.78	183.85%	32.78	172.53%
	GC	N	3.46	123.43%	39.23	242.16%	42.69	224.66%
	GC	Y	3.39	120.92%	38.42	237.18%	41.81	220.05%
2030	DE	N	2.72	97.20%	22.84	140.96%	25.56	134.51%
	DE	Y	3.13	111.88%	26.29	162.26%	29.42	154.83%
	EC	N	3.76	134.28%	46.79	288.80%	50.55	266.03%
	EC	Y	4.43	158.14%	55.10	340.10%	59.52	313.28%
	GC	N	5.04	180.08%	78.38	483.84%	83.42	439.08%
	GC	Y	6.04	215.73%	93.89	579.59%	99.93	525.97%

Table IV.5
Individual risk in Vlissingen for 18 scenarios

			Individual risk (X 10E-8)					
Year	Economy	Deepening	Toxics	% 2003	Flammables	% 2003	Total	% 2003
2002	Base case		3.00	100.00%	23.40	100.00%	26.40	100.00%
2010	DE	N	2.46	81.97%	25.53	109.09%	27.99	106.01%
	DE	Y	2.70	89.86%	27.99	119.61%	30.68	116.23%
	EC	N	2.70	90.08%	31.57	134.90%	34.27	129.81%
	EC	Y	2.99	99.67%	34.93	149.26%	37.92	143.63%
	GC	N	2.98	99.41%	38.21	163.30%	41.19	156.04%
	GC	Y	3.33	111.10%	42.70	182.49%	46.04	174.38%
2020	DE	N	2.49	83.10%	30.22	129.17%	32.72	123.93%
	DE	Y	2.52	83.94%	30.53	130.49%	33.05	125.20%
	EC	N	2.68	89.40%	43.26	184.87%	45.94	174.02%
	EC	Y	2.73	91.04%	44.05	188.25%	46.78	177.21%
	GC	N	3.03	100.99%	55.81	238.50%	58.84	222.87%
	GC	Y	3.10	103.28%	57.07	243.90%	60.17	227.92%
2030	DE	N	2.38	79.23%	32.37	138.33%	34.74	131.61%
	DE	Y	2.80	93.21%	38.08	162.74%	40.88	154.84%
	EC	N	3.30	110.16%	66.74	285.23%	70.05	265.33%
	EC	Y	3.97	132.25%	80.12	342.41%	84.09	318.53%
	GC	N	4.45	148.44%	112.35	480.12%	116.80	442.43%
	GC	Y	5.44	181.36%	137.28	586.65%	142.72	540.59%

Table IV.6
Contribution of flammables to total risk

Ratio Flammable risk/ Total risk in %		
	Extreme case	
	2003	2030
Breskens	66.67%	92.46%
Hansweert	81.74%	92.46%
Oostgat	100.00%	99.87%
Terneuzen	85.26%	93.96%
Vlissingen	88.64%	96.19%

Table IV.7
Influences of deepening and economical growth on risk results.

Ranking point	Year	Economy	Individual risk		Effect of the deepening	Effect of economical growth: Index GC/DE	
			Without Deepening	With Deepening		Without Deepening	With Deepening
Breskens	2010	DE	2.89E-09	3.17E-09	109.53%	147.99%	150.78%
		EC	3.56E-09	3.93E-09	110.49%		
		GC	4.28E-09	4.78E-09	111.60%		
	2020	DE	3.39E-09	3.41E-09	100.78%	181.62%	183.33%
		EC	4.79E-09	4.86E-09	101.47%		
		GC	6.15E-09	6.25E-09	101.73%		
	2030	DE	3.60E-09	4.23E-09	117.45%	339.43%	352.04%
		EC	7.30E-09	8.75E-09	119.76%		
		GC	1.22E-08	1.49E-08	121.82%		
Hansweert	2010	DE	1.24E-07	1.35E-07	108.98%	144.15%	147.26%
		EC	1.50E-07	1.65E-07	110.16%		
		GC	1.78E-07	1.99E-07	111.33%		
	2020	DE	1.45E-07	1.41E-07	96.68%	173.82%	176.05%
		EC	2.00E-07	1.95E-07	97.32%		
		GC	2.53E-07	2.48E-07	97.92%		
	2030	DE	1.52E-07	1.75E-07	115.07%	322.36%	335.50%
		EC	2.99E-07	3.52E-07	117.73%		
		GC	4.91E-07	5.88E-07	119.76%		
Oostgat	2010	DE	8.76E-08	9.73E-08	111.13%	147.93%	150.50%
		EC	1.07E-07	1.20E-07	112.06%		
		GC	1.30E-07	1.47E-07	113.05%		
	2020	DE	1.06E-07	1.16E-07	109.85%	177.50%	183.89%
		EC	1.47E-07	1.66E-07	113.21%		
		GC	1.88E-07	2.14E-07	113.81%		
	2030	DE	1.32E-07	1.62E-07	122.47%	347.91%	362.86%
		EC	2.71E-07	3.38E-07	124.99%		
		GC	4.60E-07	5.87E-07	127.73%		
Terneuzen	2010	DE	2.06E-07	2.25E-07	109.00%	145.03%	148.15%
		EC	2.50E-07	2.76E-07	110.18%		
		GC	2.99E-07	3.33E-07	111.35%		
	2020	DE	2.43E-07	2.35E-07	96.70%	175.55%	177.81%
		EC	3.37E-07	3.28E-07	97.34%		
		GC	4.27E-07	4.18E-07	97.94%		
	2030	DE	2.56E-07	2.94E-07	115.11%	326.42%	339.70%
		EC	5.05E-07	5.95E-07	117.76%		
		GC	8.34E-07	9.99E-07	119.79%		

Vlissingen	2010	DE	2.80E-07	3.07E-07	109.64%	147.19%	150.03%
		EC	3.43E-07	3.79E-07	110.64%		
		GC	4.12E-07	4.60E-07	111.76%		
	2020	DE	3.27E-07	3.31E-07	101.02%	179.84%	182.05%
		EC	4.59E-07	4.68E-07	101.83%		
		GC	5.88E-07	6.02E-07	102.26%		
	2030	DE	3.47E-07	4.09E-07	117.65%	336.17%	349.14%
		EC	7.00E-07	8.41E-07	120.05%		
		GC	1.17E-06	1.43E-06	122.19%		

APPENDIX V: COMPARISON SAMSON/AVIV

FIGURE V.1. – BASE CASE COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS WITH AVIV PROBABILITIES

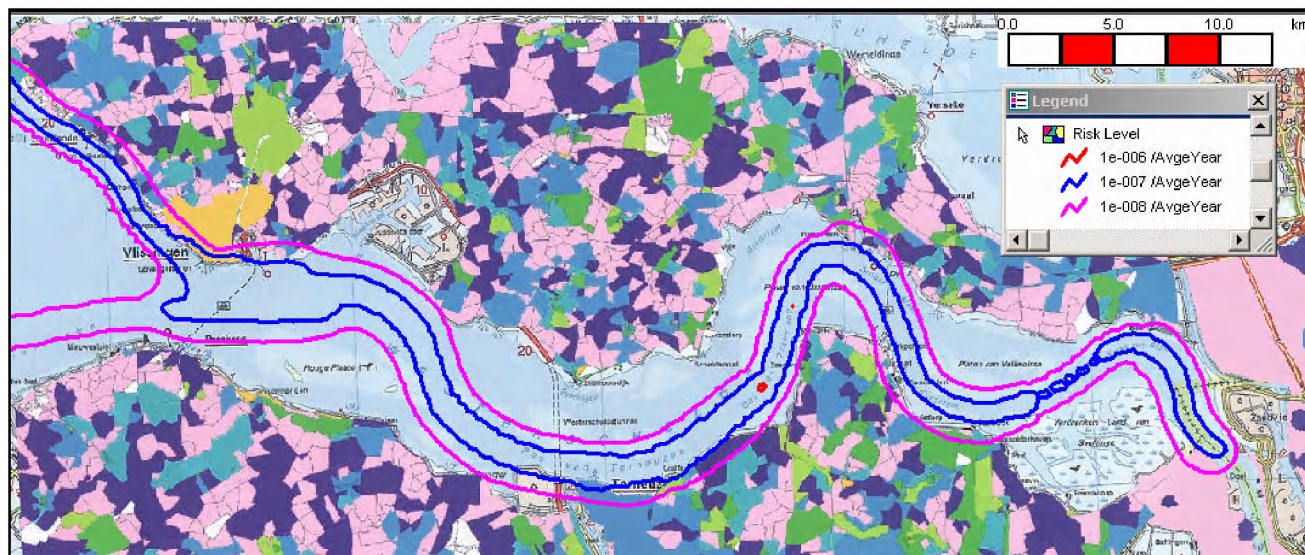
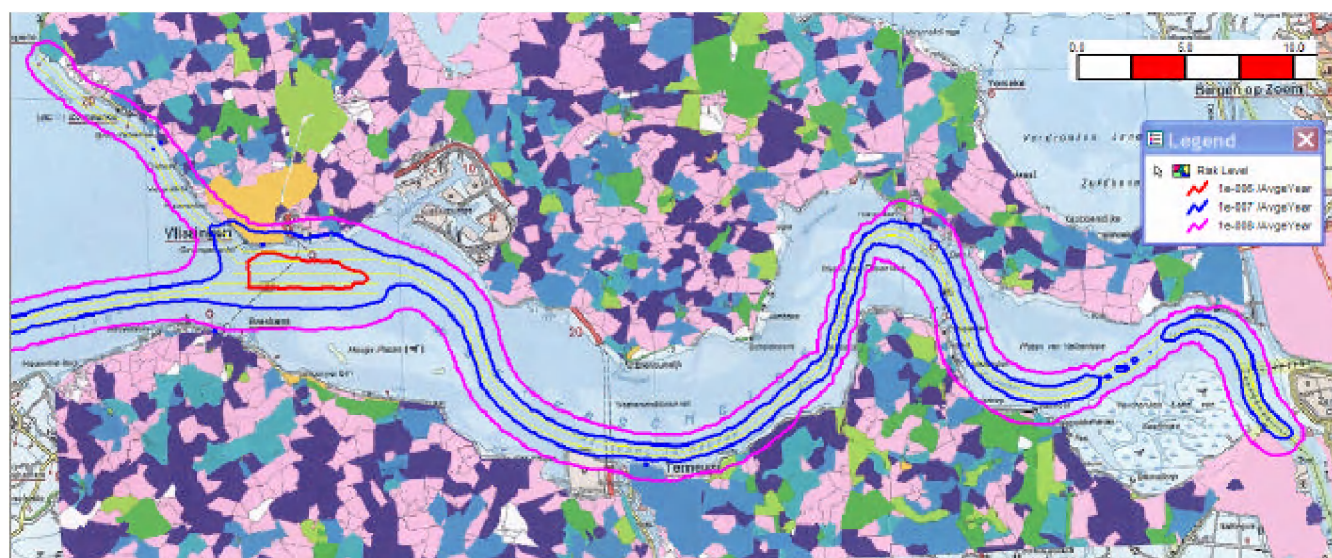


FIGURE V.2. – BASE CASE COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS USING MARIN PROBABILITIES (SAMSON I ¹)



¹ A first draft probability set has been received from MARIN and used for preliminary calculations, and is referred as SAMSON I. The final probability distribution set provided by MARIN is referred to as SAMSON II.

Table V.1

Comparison of Individual risk produced with AVIV and MARIN accident distribution along the river.

Risk Ranking Point	Individual Risk (per year) situation 2002				
	Total IR with AVIV prob (base case)	Total IR with Samson I prob	Variation of total IR (Samson I <> AVIV)	Variation of collision prob. per segment (Samson I <> AVIV)	Variation of collision prob per segment (Samson II <> AVIV)
Breskens	0.3E-08	0.6E-8	200.0%	271.429%	411.920%
Oostgat	7.4E-08	3.09E-8	41.8%	41.379%	82.493%
Vlissingen	26.4E-08	57E-8	215.9%	216.475%	93.390%
Terneuzen	19.0E-08	4.95E-8	26.1%	26.437%	51.134%
Hansweert	11.5E-08	14E-8	121.7%	121.429%	230.792%



APPENDIX VI: RESULTS OF ADDITIONAL SCENARIOS (19 – 20)

FIGURE VI.1. – BASE CASE COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS 2003 SITUATION

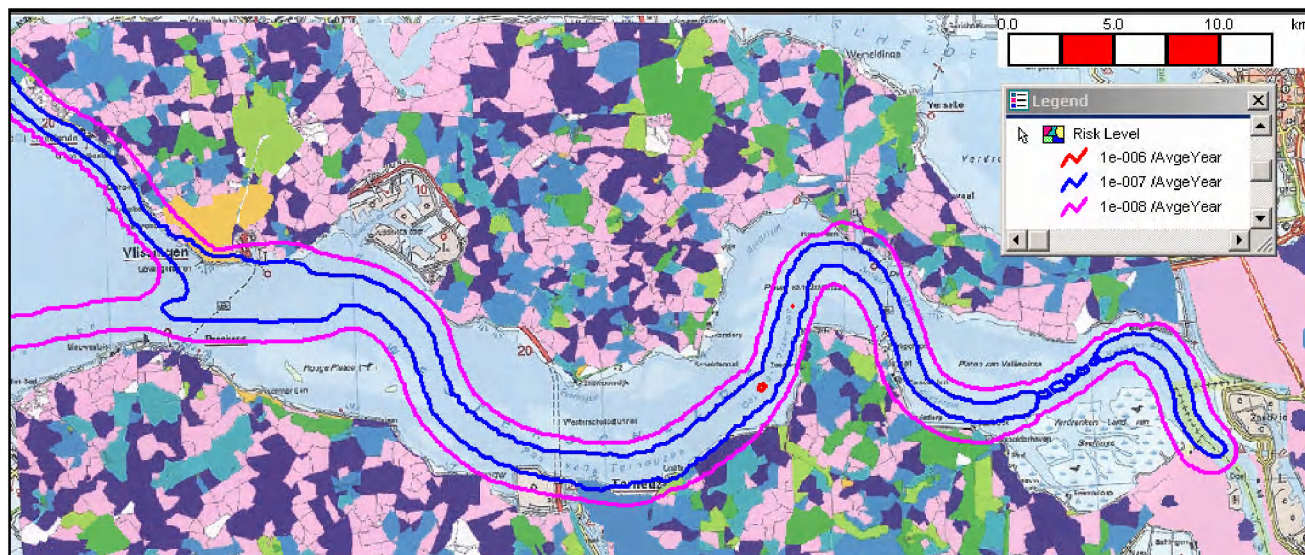


FIGURE VI.2. – COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for 2030 GC Y (Extreme case)

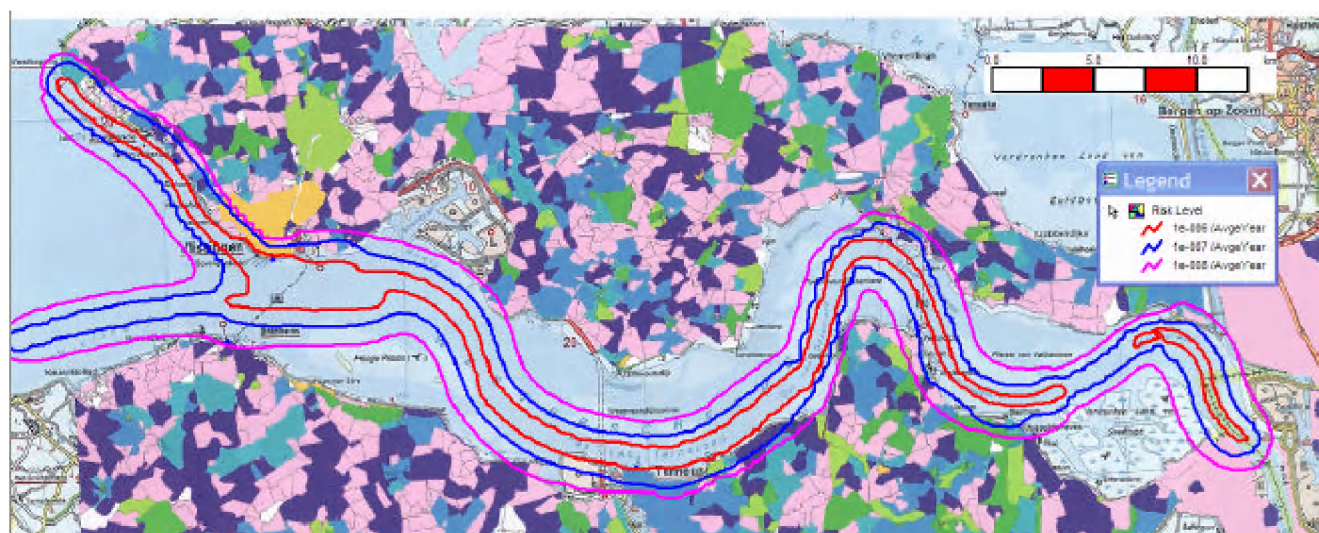


FIGURE VI.3. – COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for Scenario 19 (Vlissingen harbour development)

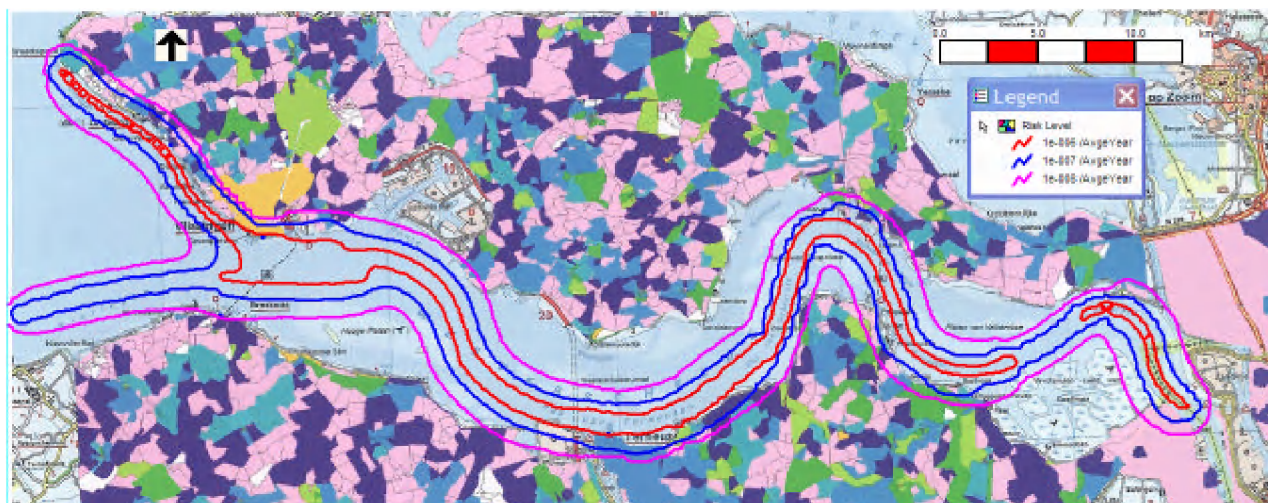


FIGURE VI.4. – COMBINED INDIVIDUAL RISK CONTOURS for Scenario 20 (Antwerp harbour scenario – transport flammables)

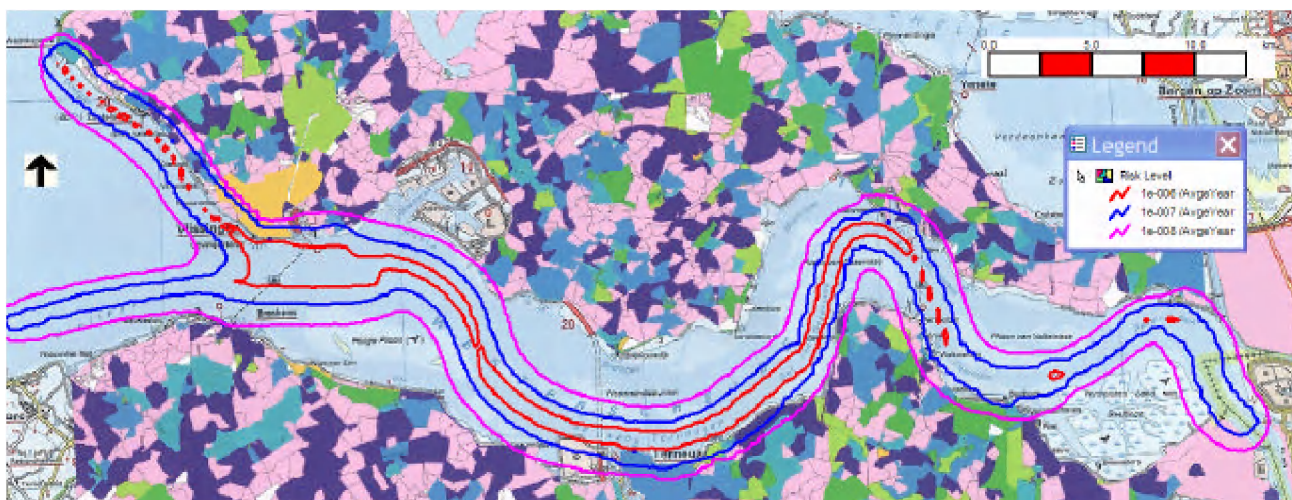


Table VI.1

Individual risk result for scenario 19 and 20, comparison with risk result of scenario 2030 GC Y

		Individual risk ($\times 10^{-8}$)			Index 2030 GC Y		
		Toxic	Flammable	Total			
2030 GC Y	Breskens	0.00	0.14	0.15			
	Hansweert	0.44	5.44	5.88			
	Oostgat	0.01	5.86	5.87			
	Terneuzen	0.60	9.39	9.99			
	Vlissingen	0.54	13.73	14.27			
Scenario 19	Breskens	0.00	0.13	0.13	90%	90%	90%
	Hansweert	0.45	5.54	5.99	102%	102%	102%
	Oostgat	0.01	4.29	4.30	73%	73%	73%
	Terneuzen	0.61	9.56	10.17	102%	102%	102%
	Vlissingen	0.49	12.29	12.78	90%	90%	90%
Scenario 20	Breskens	0.00	0.09	0.09	100%	61%	62%
	Hansweert	0.44	3.30	3.75	100%	61%	64%
	Oostgat	0.01	3.56	3.57	100%	61%	61%
	Terneuzen	0.60	5.70	6.30	100%	61%	63%
	Vlissingen	0.54	8.33	8.88	100%	61%	62%

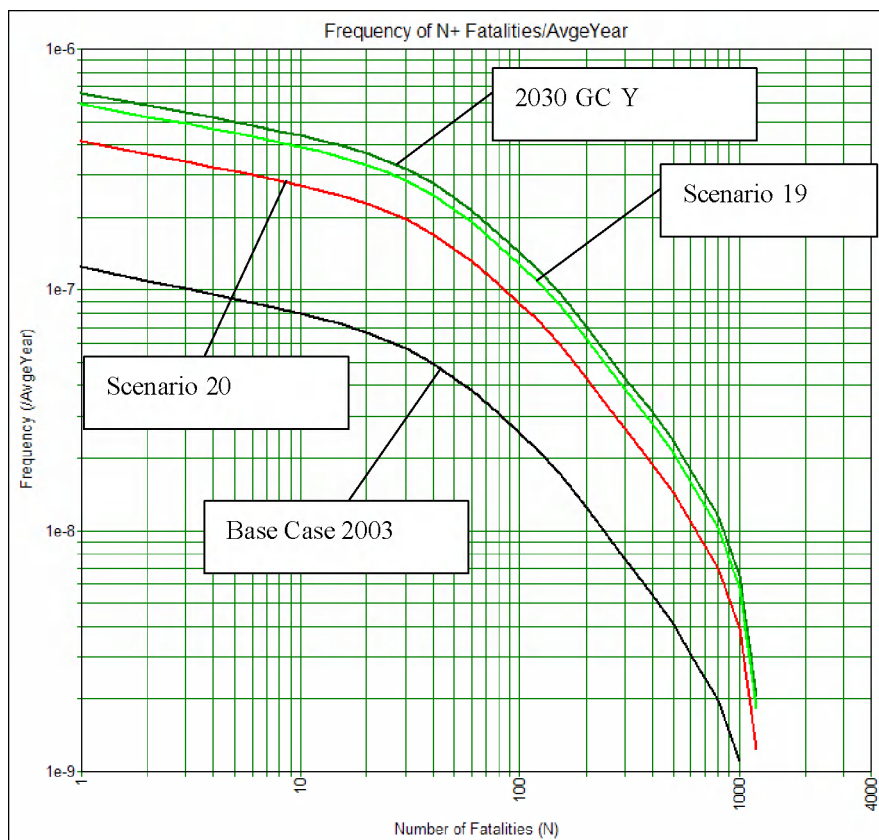
FIGURE VI.5. FN CURVES FOR VLISSINGEN


FIGURE VI.6. FN CURVES FOR TERNEUZEN

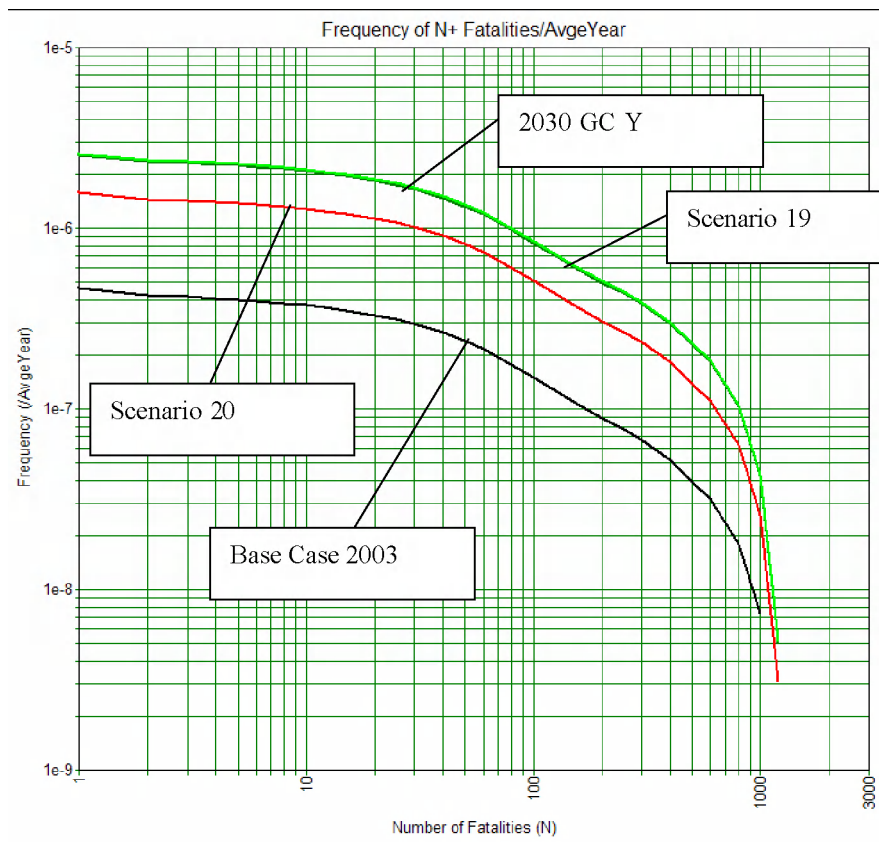


FIGURE VI.7. FN CURVES FOR HANSWEERT