

Risicobeoordeling Munitiestort Oosterschelde.

6 juni 2001

Risicobeoordeling Munitiestort Oosterschelde.

6 juni 2001

Rapport RIKZ/2001.022

Auteurs:

Eck, dr. G.Th.M. van

Holland, A.M.B.M.

Pagee, ir. J.A. van

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	3
1 INLEIDING	6
2 ACHTERGRONDINFORMATIE MUNITIESTORT.....	8
3 WERKWIJZE.....	10
3.1 BEOORDELING VAN DE REEDS UITGEBRACHTE TNO RAPPORTEN.	10
3.2 TRACERBEREKENINGEN.....	11
3.3 MTR'S, (I)MTR'S EN AD HOC MTR'S.....	11
3.4 ANDERE LOKALE BRONNEN EN HET BELANG DAARVAN.	12
4 RESULTATEN EN DISCUSSIE.....	13
4.1 RESULTATEN NA DE INHOUDELIJKE BEOORDELING TNO RAPPORTEN.	13
4.2 RESULTATEN VAN TRACERBEREKENINGEN.	14
4.2.1 <i>Tracerberekeningen in kort bestek</i>	14
4.2.2 <i>Gestapelde onzekerheden</i>	16
4.3 MTR'S, (I)MTR'S EN AD HOC MTR'S.....	20
4.4 ANDERE BRONNEN EN HET BELANG DAARVAN	21
4.5 DE HUIDIGE CONCENTRATIES VAN STOFFEN IN DE OOSTERSCHELDE.....	22
5 INTEGRALE RISICO BEOORDELING	24
6 SLOTCONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	28

Samenvatting

In de Oosterschelde is, ter hoogte van Zierikzee, in de periode van 1945 tot 1967 een zeer grote hoeveelheid munitie gestort: ca 30 duizend ton. Bijna 9 duizend ton bestaat uit kruit, springstof en pyrotechniek en 21 duizend ton bestaat uit metalen (omhulsels).

Door de onafwendbare corrosie van de metalen omhulsels komt de inhoud van de munitie onvermijdelijk vrij en verspreidt zich via de bodem in het zeewater. De metalen in de munitie omvatten naar alle waarschijnlijkheid 16000 ton ijzer, 2500 ton lood, 1230 ton koper, 660 ton zink en 750 ton aluminium. De zware metalen lood, koper en zink zijn milieuverontreinigingen die boven bepaalde concentraties negatieve effecten op het ecosysteem veroorzaken.

De 9000 ton aan explosieve inhoud bestaat uit milieuvreemde (an)organische microverontreinigingen die ook negatieve effecten op ecosystemen kunnen veroorzaken omdat deze stoffen, of de afbraakproducten daarvan, toxisch tot zeer toxisch zijn. Zo is het anorganische elementaire witte fosfor zeer giftig en is van de afbraakproducten van de springstof TNT bekend, dat deze 'gen'-toxisch zijn. Dat betekent dat de effecten van die stoffen zich manifesteren in de genen van organismen.

De Directie Zeeland van Rijkswaterstaat heeft het RIKZ gevraagd een risicobeoordeling uit te voeren van de "munitiestort" in de Oosterschelde. Men wil antwoord op de vraag voor welke functies, die de Oosterschelde vervult, er sprake is van een verhoogd risico, door verspreiding en effecten van stoffen die kunnen vrijkomen. Tenslotte moet bekend worden wat de belangrijkste kennisleemten en onzekerheden zijn in de risicobeoordeling.

Over de risico's van deze munitiestort zijn door TNO al eerder, in opdracht van het Ministerie van Defensie, twee rapporten uitgebracht. Het ene behandelt de risico's voor massadetonatie en de risico's voor het milieu door het vrijkomen van milieubelastende stoffen. Het andere rapport behandelt vooral de risico's voor de volksgezondheid.

Het RIKZ heeft, om de vragen van Directie Zeeland te beantwoorden, berekend welke concentraties van een stof bij een gemiddelde waterbeweging (getij) en menging in de Oosterschelde zouden kunnen optreden, uitgaande van aannamen over de hoeveelheid gestorte munitie, de periode en wijze van vrijkomen en de eventuele afbraak in de waterfase.

De belangrijkste aannamen waren dat alle stoffen in de munitie gelijkmatig (of met constante snelheid) over een periode van 30 jaar vrijkomen in de waterfase.

Bovendien is berekend wat de concentraties kunnen worden in de Oosterschelde bij een korte (3 jaar) en lange (300 jaar) duur van vrijkomen, en bij een lage en een hoge geschatte hoeveelheid munitie.

De ecotoxicologische risico inschatting is gedaan door de berekende concentraties te vergelijken met Nederlandse normen; de MTR's (Maximaal Toelaatbare Risico niveau).

Voor enkele spoormetalen zijn de mogelijk vrijkomende hoeveelheden afgezet tegen de belasting met die stoffen via polderwateren en aangrenzende watersystemen, alsmede de atmosfeer. De resultaten laten zien dat de belasting van de Oosterschelde met zware metalen door de munitiestort bij het vrijkomen in 30 jaar aanmerkelijk hoger is dan de huidige belasting.

Geconcludeerd wordt dat de resultaten van de risicobeoordeling in belangrijke mate worden bepaald door de aannamen ten aanzien van het (gelijkmatig) degraderen (uiteenvallen) van de munitie. Verder ontbreken voor veel stoffen in de munitie een of meer gegevens om een risico-inschatting te kunnen doen. Er zijn dus een flink aantal kennisleemten.

Bij een worst-case aanname, dat wil zeggen een periode van 3 jaar waarover de stoffen vrijkomen in de waterfase en een hoge schatting van de aanwezige hoeveelheid munitie, wordt berekend dat gedurende deze periode van 3 jaar de MTR's voor vrijwel alle stoffen in de hele Oosterschelde worden overschreden. Bij deze aanname zijn dus flinke nadelige effecten voor het ecosysteem van de Oosterschelde te verwachten.

Bij een aanname dat de stoffen over een periode van 30 jaar gelijkmatig vrijkomen en dat de door TNO opgegeven hoeveelheden aanwezig zijn, wordt voor lood, koper, dinitrotolueen, trinitrotolueen en witte fosfor gedurende die periode van 30 jaar nog steeds een continue overschrijding van de MTR en (i)MTR in de nabijheid van de stort-locatie berekend. Dus ook bij deze aanname is er nog steeds een flink risico op nadelige effecten. Als echter afbraak van stoffen, zoals bijv. voor TNT optreedt, worden, gezien de hoge verblijftijd van het water in het oostelijk deel van de Oosterschelde, aanmerkelijk lagere concentraties berekend.

De huidige routinematig gemeten concentraties in het water van de Oosterschelde zijn beduidend lager dan in dit scenario berekend en kunnen bovendien beter verklaard worden door de huidige diffuse lozingen dan door de degradatie van munitie. Dit alles duidt er op dat de degradatie van de munitie beduidend trager verloopt dan de 3 cq 30 jaar die is aangenomen, of dat de periode van 30 jaar, waarin complete degradatie van de munitie plaatsvindt, de afgelopen 50 jaar nog niet is begonnen en er de afgelopen 50 jaar slechts corrosie heeft plaatsgevonden.

Als de stoffen in 300 jaar vrijkomen zijn er geen overschrijdingen van de maximaal toelaatbare risico's.

Bij de munitiestort zijn verder stoffen (bijvoorbeeld de spoormetalen) betrokken die vanwege hun eigenschappen vooral aan het sediment zijn gebonden. Voor deze stoffen geldt dat de aanname, dat ze geheel in waterfase zullen komen, niet juist is. Deze stoffen zullen dus in werkelijkheid minder in het water maar als gevolg daarvan meer in het sediment voor gaan komen.

Gezien de grote onzekerheden ten aanzien van het uiteenvallen van de munitie en de vrijkomende stoffen is het nut van monitoring onduidelijk.

Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar de belangrijkste kennisleemtes. Het betreft het afleiden van de ontbrekende (i)MTR of MTR van enige in de munitiestort voorkomende stoffen, of afbraakproducten daarvan, alsmede nader onderzoek naar het fysisch-chemische gedrag van witte fosfor. Tevens wordt aanbevolen om te onderzoeken of het aanwezige risico kan worden verminderd door de stortlocatie preventief af te dekken met sediment.

1 Inleiding

In de periode van 1945 tot 1967 is een zeer grote hoeveelheid munitie gestort in de Oosterschelde ter hoogte van Zierikzee. Het bestaan van de stortlocatie in het Gat van Zierikzee was algemeen bekend, maar pas nadat er op het strand van Kats ontstekers aanspoelden, werd duidelijk dat er rekening gehouden moet worden met de kans dat zich milieuverontreinigende stoffen uit de munitiestort verspreiden in het water en de bodem van de Oosterschelde. Thans wordt er naar gestreefd de Oosterschelde de status van Nationaal Park te geven en dat wordt moeilijk met de grote hoeveelheid milieuverontreinigende en milieuvreemde stoffen die in de munitie aanwezig is.

Die munitie bestaat deels uit 16000 ton ijzer, 2500 ton lood, 1230 ton koper, 660 ton zink, 750 ton aluminium en bijna 9000 ton milieuvreemde organische en anorganische microverontreinigingen.

Bij de problematiek rond de munitiestort in de Oosterschelde zijn verschillende overheidsinstanties betrokken. Het Ministerie van Defensie heeft een tijdlang vergunning gehad om munitie te dumpen. Die vergunning was afgegeven door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Rijkswaterstaat is waterbeheerder van de Oosterschelde. De specialistische Diensten RIZA en RIKZ zijn als adviseurs binnen Rijkswaterstaat al betrokken bij deze problematiek. De Provincie Zeeland is voortrekker van de Oosterschelde Nationaal Park in oprichting, de Gemeente Schouwen Duiveland is partij vanwege de ligging van de munitiestort in de omgeving van Zierikzee.

In juni 1999 is het TNO-rapport PML 1999-A59 uitgekomen, getiteld: "Onderzoek Munitiedump Oosterschelde". Lit. [1]

Dit rapport is in opdracht van Demonteer en Munitie Koninklijke Landmacht, van het Ministerie van Defensie (DMKL) gemaakt.

Het rapport beoogt antwoord te geven op de volgende vragen:

- Kunnen afzonderlijke munitieartikelen nog reageren?
- Kan er een massadetonatie optreden?
- Ontstaan er milieuproblemen door het weglekken van schadelijke stoffen uit de munitie?

Kort samengevat zijn de conclusies van het rapport uit 1999 als volgt.

- De risico's voor explosie zijn zeer gering.
- Het vrijkomen van milieubelastende stoffen uit de munitie gaat dusdanig langzaam dat er slechts zeer lage concentraties ontstaan.

In november 2000 is vervolgens door TNO het concept rapport "Beoordeling van de milieurisico's van gedumpte munitie in de Oosterschelde. Desk-study op basis van metingen in 1999." uitgebracht. Lit. [2]. Dat concept werd in maart 2001 gevolgd door een definitief rapport. Voor dit rapport is door de Coördinator Ruimtelijke Ordening en Milieuzaken Defensie (CROMD) opdracht gegeven.

De CROMD heeft besloten om aanvullend onderzoek te laten doen naar de secundaire risico's van de stortplaats, ten einde vast te stellen of de gevonden lage concentraties van milieubelastende stoffen via accumulatie in de voedselketen, gevaar voor de volksgezondheid kunnen opleveren.

Over dat vervolgonderzoek wordt in het rapport van 2000 het volgende geconcludeerd:

- De concentraties van milieubelastende stoffen die door middel van monsternames ter plaatse van de munitiestort zijn vastgesteld zijn gebruikt om een worst case* berekening te maken van de mogelijke ophoping van deze stoffen via de voedselketen. Hieruit blijkt dat er waarschijnlijk geen gevaar voor de volksgezondheid is.
- Daar niet alle milieubelastende stoffen, die in een gemiddeld munitie pakket aanwezig zouden kunnen zijn, ook daadwerkelijk gemeten zijn, wordt aanbevolen nogmaals metingen te verrichten in de munitiestortplaats.

Rijkswaterstaat zag zich geconfronteerd met het probleem dat in de twee uitgevoerde onderzoeken de beoordeling van milieurisico's hoofdzakelijk is gericht op die voor de mens (volksgezondheid). De door de Derde Nota waterhuishouding (NW3) ingezette strategie, die door de Vierde Nota waterhuishouding (NW4) verder wordt versterkt, is gebaseerd op integraal waterbeheer. Bij het toetsen van integrale watersysteemdoelstellingen staat het ecosysteem functioneren centraal. In NW4 is een normstelsel vastgelegd. Oppervlaktewateren dienen in eerste instantie te voldoen aan een minimumkwaliteit voor water en sediment. Die minimumkwaliteit wordt gerepresenteerd met de MTR, Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau. De MTR komt op basis van veel onderzoek tot stand. Zolang dat onderzoek nog niet tot volle tevredenheid is afgerond, kan er een indicatieve MTR, (i)MTR, aangehouden worden. Instanties die verantwoordelijk zijn voor het waterbeheer en -beleid mogen zelf zogenaamde ad-hoc MTR's gebruiken om hun doelstellingen te kunnen kwantificeren.

Aan RIKZ is gevraagd zich te richten op het beoordelen van milieurisico's voor het ecosysteem. Daarop heeft het RIKZ het daarvoor benodigde onderzoek uitgevoerd. Met nadruk wordt er op gewezen dat het door RIKZ uitgevoerde onderzoek niet in gaat op de vraag in hoeverre de munitiestort problematiek past in het WVO of WBB beleid.

Door RIKZ zijn de milieurisico's ingeschat, nadat antwoord is verkregen op de volgende vragen:

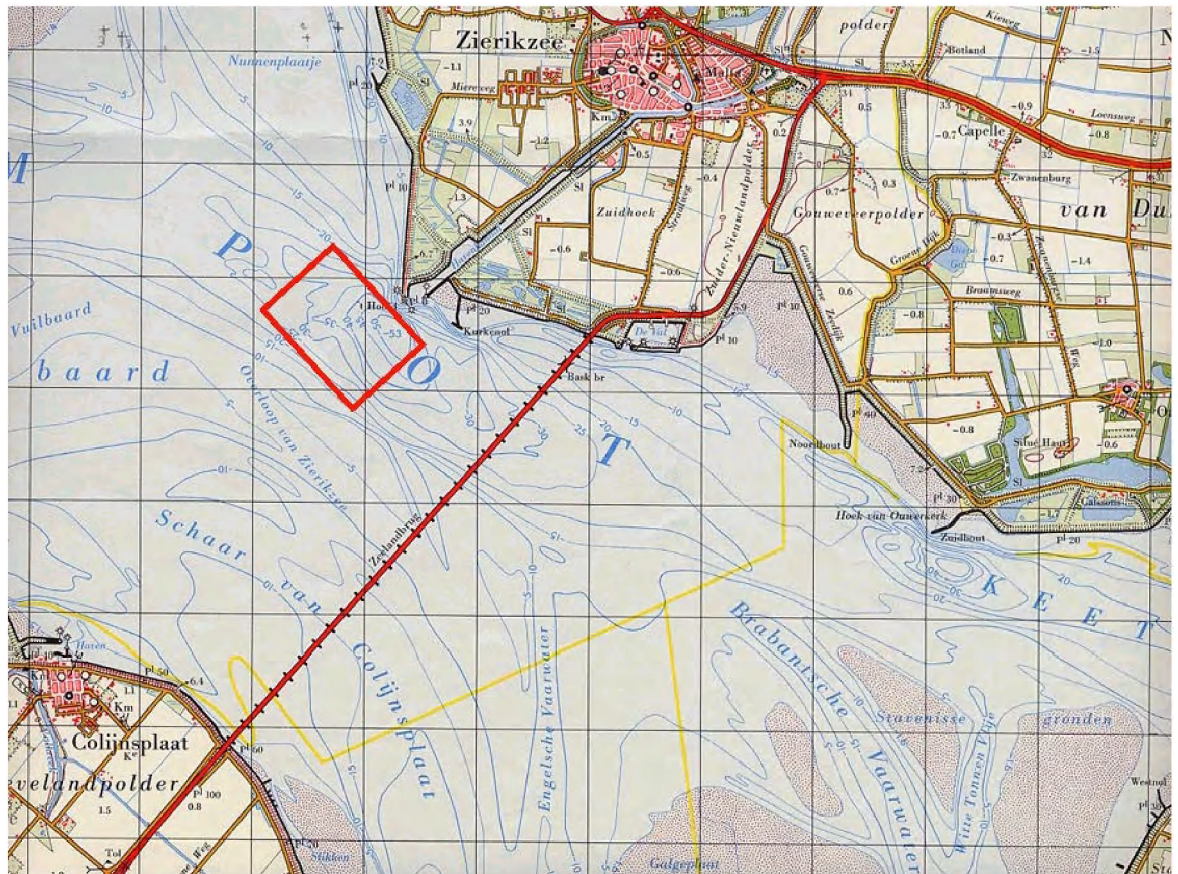
- **(Emissie)scenario's:** Wat zijn aannemelijke en worst case scenario's voor het vrijkomen van toxische stoffen uit de munitiestort?
- **Concentratie-niveau's:** Hoe groot is het gebied waarover stoffen vanuit de munitiestort worden verspreid en welke concentraties kunnen daarbij worden verwacht?
- **Risico's:** Bij welke concentraties in water en sediment is er sprake risico's voor het milieu en/of volksgezondheid.
- **Relatieve bijdrage.** Hoe groot zijn de belastingen van de Oosterschelde vanuit andere bron, met stoffen die in de munitiestort voorkomen?
- **Onzekerheden:** Wat zijn de belangrijkste kennisleemten en onzekerheden in de risicobeoordeling?

* Worst case in het TNO rapport houdt in, dat bij de beoordeling van het milieurisico, de berekende hoeveelheden die een persoon per jaar via het eten van vis of mosselen binnenkrijgt, op basis van gemiddelde concentraties in het water, voor de metalen, zijn vergeleken met 0,1 ADI (Acceptable Daily Intake) en dat er is aangenomen dat alle vis of mosselen die gemiddeld per persoon wordt gegeten, afkomstig is uit de onmiddellijke omgeving van de stortlocatie.

2 Achtergrondinformatie munitiestort

In de periode 1945 - 1967 is in de Oosterschelde ter hoogte van Zierikzee 30.000 ton munitie gestort. Lit. [1], [2]. Die omgeving wordt nu de munitiestort genoemd.

De munitiestort is gesitueerd in een deel van de Roompotgeul die ter plaatse circa 50 meter diep is en met 'diepe put' wordt aangeduid, gelegen op ongeveer 500 meter ten zuidwesten van het Havenkanaal te Zierikzee (Figuur 3.1).



Figuur 3.1. Locatie van de munitiestort in de Oosterschelde

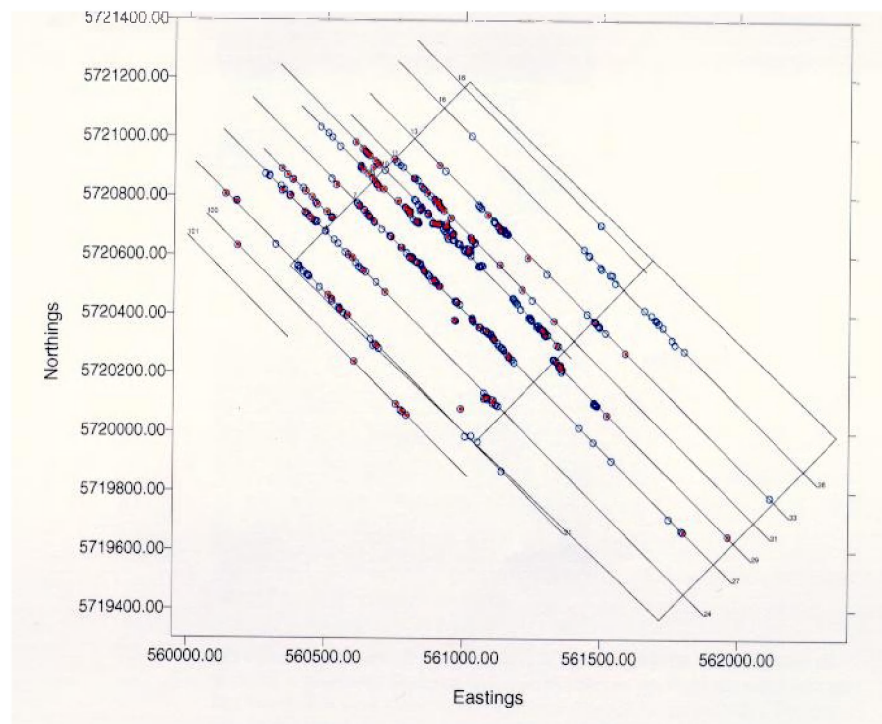
Het probleem van de munitiestort is, dat onzeker is wat de fysisch-chemische eigenschappen van het materiaal. Dat is ook de reden dat er over een munitiestort gesproken moet worden. Gebruikt men het woord munitiedepot, dan suggereert dat een gecontroleerde opslag van munitie. De locatie in het Gat van Zierikzee voldoet niet aan deze beschrijving. Er blijkt ook veel munitie buiten de afbakening van de locatie te liggen.

De afbakening is in feite een gebied binnen denkbeeldige lijnen met een breedte van 700 meter en een lengte van 1400 meter, in lengterichting zuidoost/noordwest georiënteerd.

Nadat in april en juni 1999 door diverse diensten de locatie was onderzocht met een side scan sonar, werd in juni van dat jaar de situatie vastgelegd met een ROV (Remote Operated Vehicle). Het is een onderwatercamera die vanaf een schip wordt bediend. Met deze boven de bodem zwevende camera zijn opnamen gemaakt terwijl er raaien werden gevaren op 50 m. afstand van

elkaar en zich uitstrekkend tot buiten het gebied. De totale lengte van de raaien was 14 Km. De ROV zweefde 10 cm boven de bodem en er kon een beeld van de bodem mee worden beoordeeld dat 50 bij 50 cm meet.

Figuur 3.2 geeft een beeld van de afbakening van het rechthoekige gebied waar gestort mocht worden en de plaatsen waar tijdens het door TNO uitgevoerde ROV-onderzoek een object is aangetroffen tijdens het varen van raaien. Deze raaien zijn de diverse evenwijdig lopende lijnen.



Figuur 3.2 De door ROV afgelegde raaien. Blauwe cirkels geven de plaats waar een object werd gevonden. Rode als een object werd geïdentificeerd als munitie. De rechthoek is de afbakening van de munitiestortplaats. Lit. [1]

De omvang van de cirkels in de figuur is niet representatief voor het oppervlak van het beeld dat met de ROV kan worden bekeken. De cirkel geeft slechts bij benadering de plaats aan waar een object werd gevonden.

De open plekken tussen de raaien suggereren dat daar geen objecten liggen. Dat is echter niet zo, omdat de afstand tussen de raaien ongeveer 100 meter is en de ROV slechts een breedte van 50 cm kan scannen.

Daar waar in de lengterichting een hoge dichtheid op de raai is aangegeven, zal dat mogelijk ook in de richting dwars op de raai het geval zijn.

3 Werkwijze

De volgende werkwijze is gevolgd voor het bepalen van de milieurisico's voor het Oosterschelde ecosysteem:

- De TNO rapporten zijn inhoudelijk beoordeeld in dialoog met de TNO-onderzoekers. Dit is gedaan om inzicht te krijgen in de onzekerheden van de gegevens die door TNO zijn gebruikt en de aannamen die zijn gedaan.
- Het RIKZ heeft WL I Delft Hydraulics zogenaamde tracer-berekeningen laten uitvoeren, waarmee de verspreiding van stoffen vanuit de stortlocatie gevisualiseerd worden en de bijbehorende concentratie-toenamen worden bepaald (dit onder aanname van verschillende emissie- en afbraaksnelheden.)

Als additionele opdracht is later nog een berekening gevraagd van de verspreiding van witte fosfor, ingeval de inhoud van het grootste type fosfor-granaat plotseling zou worden afgegeven aan de zeewaterkolom.

- Er zijn MTR's, (i)MTR's en ad hoc MTR's bepaald voor zoveel mogelijk stoffen die in de munitiestort aanwezig zouden kunnen zijn, alsmede voor een aantal mogelijke reactie- of afbraakproducten van die stoffen (dit als aanvullend onderzoek op de TNO rapporten.)
- Voor een aantal stoffen die in de munitiestort voorkomen, zijn de hoeveelheden gekwantificeerd, die via lozingen, afwateringen en diffuse bronnen in de Oosterschelde komen. Dit ter bepaling van een vergelijkingsnormering tussen bestaande verontreinigingen en enkele munitiestort gerelateerde verontreinigingen.

3.1 Beoordeling van de reeds uitgebrachte TNO rapporten.

Het probleem van de munitiestort is, dat er grote onzekerheden blijken te zijn met betrekking tot de hoeveelheid, de locatie, de exacte plaats (op of in de bodem) en de fysisch-chemische eigenschappen van het materiaal.

Ook blijkt er veel munitie buiten de afbakening van de locatie te liggen.

Hoeveel munitie er is gedumpt, daarover lopen de meningen sterk uiteen.

TNO heeft op basis van een berekening van de laagdikte aan materiaal als alle munitie **op** de bodem van de stortlocatie zou liggen, aangenomen dat het meeste van de munitie **in** de bodem zit.

Over de toestand waarin het materiaal verkeert, is zeer weinig bekend omdat er geen representatieve monsternamen van al het materiaal is uitgevoerd.

TNO verwacht dat, als gevolg van (verschillen in) materiaalsamenstelling, diepte-ligging en pakking van de munitie er geen plotselinge emissies van stoffen uit de munitiestort zijn, maar dat het een geleidelijk proces is.

TNO veronderstelt een regelmatig vrijkomen van de inhoud van de munitie over een periode van 500 jaar, en vindt dat een worst-case benadering omdat men op basis van literatuur op orde duizenden jaren zou uitkomen.

Of er afbraakproducten worden gevormd is ook zeer onzeker.

De eigenschappen van mogelijke afbraakproducten kunnen variëren van het onschuldige kooldioxide tot het 'gen'-toxische 2,4 amino dinitrotolueen.

Bij de bespreking van de onderzoeksresultaten wordt soms noodgedwongen gerefereerd naar situaties die niet vergelijkbaar zijn, dat geldt met name voor witte fosfor die in 1969 is aangetroffen in het zoutwatermilieu van Placentia Bay in Newfoundland, met het afvalwater van een fosforfabriek fijn verdeelde witte fosfor werd geloosd.

Ook de witte fosfor die is verspreid bij ruiming van fosforhoudende granaten in Amerika, door middel van detonatie, waarbij in het zoetwatermilieu nog resten fijn verdeelde witte fosfor werd aangetroffen, is naar de mening van TNO niet vergelijkbaar met de situatie in de Oosterschelde.

De vorming van fosfine is volgens mededeling van TNO niet aan de orde in het water-/bodemmilieu van de Oosterschelde omdat de situatie daar totaal verschilt met die van sommige zoetwatermilieu's waar fosfine soms wordt gevormd en ook met het productieproces van witte fosfor waarbij men er rekening mee houdt dat er fosfine kan ontstaan.

TNO gebruikt deels uit de literatuur overgenomen gemiddelden of verwachtingswaarden, waarmee een risiconiveau wordt berekend. In de literatuur zijn ook maxima en minima te vinden rond deze gemiddelden, waarmee een hele range van risico's te berekenen is.

Door inhoudelijke beoordeling van de TNO-rapporten en contacten met de auteurs is getracht de onzekerheden in te schatten. En dat is niet gelukt. Voor dit rapport is daarom een aanpak gevolgd die bestaat uit het berekenen van concentraties die in de Oosterschelde optreden bij een emissieperiode van 30 jaar en met daarbij de mogelijkheid te kiezen voor emissieperioden variërend van, bijvoorbeeld, 3 tot 300 jaar.

3.2 Tracerberekeningen.

Aan WL I Delft Hydraulics is gevraagd de verspreiding van de stoffen te berekenen, aannemende dat een bepaalde hoeveelheid vanuit de munitiestort vrijkomt, en als ware het opgeloste stof. Tevens is WL I Delft Hydraulics gevraagd inzicht te geven in de verversing van en de verblijftijd van het water in de Oosterschelde. Dit is praktische informatie voor het vermogen van de Oosterschelde om, door middel van uitwisseling van water met de Noordzee, stoffen af te voeren.

Er is een zestal simulaties uitgevoerd die uiteenvallen in twee categorieën. De eerste categorie betreft verspreidingsberekeningen vanuit de munitiestort, waarbij al dan niet een afbraaksnelheid op de vrijgekomen stof wordt toegepast. De tweede categorie betreft verversingsberekeningen van het Oosterscheldewater met Noordzeewater. Deze berekeningen zijn gerapporteerd in lit. [3].

Later is, ter verdere risicobepaling van het gevaarlijkste gif, witte fosfor, gevraagd een additionele berekening uit te voeren naar de verspreiding van witte fosfor, ingeval het grootste type gedumpte fosforgranaat zover is gecorrodeerd dat het daarin aanwezige witte fosfor plotseling vrij komt en zich, als ware het een opgeloste stof, door de waterkolom en de regio verdeelt. De resultaten hiervan worden in de definitieve versie van literatuur [3] als bijlage opgenomen.

3.3 MTR's, (i)MTR's en ad hoc MTR's.

In het kader van het project Integrale Normstelling Stoffen (INS) van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, worden momenteel algemene, niet-wettelijke milieukwaliteitsnormen ontwikkeld voor de compartimenten bodem, water en lucht. Het betreft maximaal toelaatbare risiconiveaus (MTR's) en streefwaarden. Deze normen worden ecotoxicologisch onderbouwd. Lit. [4]. MTR's worden momenteel gebruikt als graadmeter voor het ecologisch functioneren van onder andere watersystemen. Het geeft een minimaal te bereiken kwaliteitsniveau. Streefwaarden geven het kwaliteitsniveau dat op lange(re) termijn moet worden bereikt.

Definitie MTR:

Het MTR is in het INS-rapport: "Deel 4 -Milieukwaliteitsnormen bodem, water, lucht-", Lit. [5], als volgt gedefinieerd:

"Het MTR is de wetenschappelijk afgeleide waarde voor een stof, die aangeeft bij welke concentratie geen nadelig te waarden effect te verwachten is of -in geval van carcinogene stoffen- waar met een kans van 10^{-6} per jaar sterfte voorspeld kan worden."

De MTR's zijn volgens lit. [6] overgenomen in de vierde nota waterhuishouding en daarmee hebben de MTR's een beleidsmatige status gekregen. Evenals voor NW4 hebben de MTR-waarden in dit rapport betrekking op risico's voor het ecosysteem.

Een (i)MTR, indicatieve MTR, wordt volgens voorschrift afgeleid en voorgesteld aan een landelijke commissie die kan overgaan die (i)MTR vast te stellen. Een ad hoc MTR hoort ook op basis van een nauwgezet onderzoek tot stand te komen en mag als richtinggevend door specialisten op het gebied van normgeving gebruikt worden.

Definitie streefwaarde.

De definitie voor de streefwaarde naar lit. 5: "De streefwaarde is een waarde die aangeeft bij welke concentratie er sprake is van verwaarloosbare effecten op het milieu."

Er is een streefwaarde voor een beperkt aantal stoffen waar het bij de munitiestort-problematiek om gaat: lood, koper en zink. Deze streefwaarden zijn een factor 3 tot 30 lager dan de bijbehorende MTR.

Door TNO is het MTR gekozen als normstellend niveau om effecten op het Oosterschelde ecosysteem te beoordelen. Voor RIKZ is er reden om, naast het gebruiken van MTR's voor het beoordelen van het ecologisch risico, ook de streefwaarde als criterium te kiezen.

De reden om de streefwaarde te gebruiken om de ecologische risico's van de munitiestort te beoordelen is de termijn die aan deze normen is gekoppeld: "In het MP3 wordt naar de hiervoor vermelde INS notitie verwezen en is als beleidsdoel geformuleerd dat voor alle stoffen op zeer korte termijn, zo mogelijk voor 2000, het MTR niet meer overschreden mag worden als gevolg van emissies, en dat op langere termijn, zo mogelijk voor 2010, de streefwaarde niet meer overschreden mag worden als gevolg van emissies."

De kans dat het vrijkomen van stoffen uit de munitiestort zich over lange termijn uitstrekt, wordt, evenals door TNO is aangenomen, ook door RIKZ het meest aannemelijk geacht.

3.4 Andere lokale bronnen en het belang daarvan.

Uitgezonderd de zware metalen koper, zink en lood is er niets bekend over de belasting op de Oosterschelde met milieuverontreinigende stoffen die in de munitie voorkomen, via andere bronnen dan de munitie.

Cadmium komt voor zover bekend niet in de munitie voor, maar is wel in verhoogde concentratie gemeten in de monsters die ter plaatse van de munitiestort zijn genomen. Daarom wordt ook cadmium in de vergelijking meegenomen.

De belasting via andere lokale bronnen wordt relatief ten opzichte van de mogelijke belasting uit de munitiestort gepresenteerd. De input vanuit de Noordzee is niet meegenomen omdat die, samen met de concentratieverhoging door de lokale bronnen, het concentratieniveau in de Oosterschelde bepaalt.

4 Resultaten en discussie

4.1 Resultaten na de inhoudelijke beoordeling TNO rapporten.

Op de conclusies in de definitieve versies van de TNO rapporten is, rekening houdend met de in die rapporten beschreven aannamen, niets af te dingen. Die aannamen zijn door TNO gedaan op basis van de expert-kennis die daar aanwezig is, en RIKZ ziet geen aanleiding daaraan te twijfelen.

De methode die door TNO is gebruikt om (i)MTR's af te leiden is conform lit. [4], die ook door Rijkswaterstaat wordt toegepast.

Drie aspecten die in de TNO-rapporten naar voren komen zijn volgens RIKZ discutabel:

1. De door TNO gepresenteerde concentraties van stoffen afkomstig uit de munitiedump zijn niet representatief voor het bovenstaande water, omdat er watermonsters zijn genomen in de beschermende omgeving van munitiekisten en munitieonderdelen.
2. TNO heeft bij haar beoordeling deels (i)MTR's gebruikt die gelden voor totaalgehalten in water. De door TNO gemeten concentraties in de watermonsters afkomstig van de munitiestort zijn echter die voor opgeloste stof omdat de monsters zijn gefiltreerd.
3. TNO heeft zich beperkt het risico, voor mensen door de consumptie van vis, uit te drukken in de procentuele verhouding tussen dagelijkse opname en de ADI (Acceptable Daily Intake). De berekening is uitgevoerd op basis van zowel de gemiddelde concentratie en de maximumconcentratie in de watermonsters afkomstig van de stortplaats, met een gemiddelde consumptiehoeveelheid, en een gemiddelde bioconcentratiefactor. Die uitkomst zegt niets over de kans of, en hoeveel, personen er onder de minst gunstige omstandigheden risico te lopen.
4. De worst-case benadering die door TNO is gevolgd is erg beperkt.

Ad. 1. De exacte manier waarop de watermonsters zijn genomen is zeer slecht in de TNO rapporten verwoord.

Ad. 2. Waar mogelijk zullen in dit rapport ook de (i)MTR's voor de opgeloste stoffen gebruikt worden. En ook streefwaarden zijn, voor zover relevant, gebruikt in de beoordeling.

Ad. 3. Het RIKZ heeft voor een benadering gekozen op basis van kansverdelingen die kunnen worden gekozen voor diverse parameters die onderdeel vormen van de formules waarmee het risico wordt berekend dat 'men' teveel binnen krijgt. Dat houdt in dat er ranges zijn gebruikt voor zowel de concentratie, voor de bioconcentratiefactoren als voor de consumptiehoeveelheid vis per dag, met daarbij passende verdelingen van de parameters. De resultaten van dit onderdeel van het onderzoek hebben geen invloed op de conclusies en zijn om praktische reden niet meegenomen.

Ad. 4. Hoewel de specialisten van TNO weten dat er grote onzekerheden zijn ten aanzien van: hoeveelheden munitie, corrosiesnelheden van de munitie, afbraaksnelheden van vrijkomende stoffen, afbraakproducten die daarbij gevormd worden, bioconcentratiefactoren, consumptiehoeveelheden en effecten van de betreffende stoffen voor mens en milieu, is er geen worst case benadering gekozen die met die onzekerheden rekening houdt.

Conclusie:

- Aan de aannamen die door TNO zijn gedaan is weinig af te doen omdat er zoveel onbekend is.
- Voorbeelden uit de literatuur met betrekking tot, met name, witte fosfor zijn hoogstwaarschijnlijk niet toepasbaar op de situatie van de Oosterschelde.

- Een worst case benadering met betrekking tot een berekende ADI op basis van gemeten concentraties moet op basis van kansverdelingen van de parameters. Het is niet interessant te weten hoe ver een berekende inname van voedsel onder een ADI norm zit voor een gemiddelde vis- of mosseletend persoon. Men moet berekenen hoeveel personen er in een worst case benadering teveel van een stof kunnen binnen krijgen.
- Geconstateerde kennisleemten zijn: Hoeveelheden, emissiesnelheden, afbraaksnelheden, vorming afbraak- en reactieproducten, consumptiegetallen, blootstellingsroutes en -factoren.

4.2 Resultaten van tracerberekeningen.

Door WL I Delft Hydraulics zijn de concentraties in ruimte en tijd berekend van een willekeurige stof in zeewater, waarbij een emissiesnelheid is aangenomen die overeen komt met 1 ton per jaar, gedurende een periode van 30 jaar, te beginnen vanaf het moment dat de betreffende stof naar verwachting vrij zou kunnen komen. Het tijdstip waarop een emissie van die omvang zou kunnen beginnen is dus onbekend.

Omdat er verondersteld wordt dat er 30 ton witte fosfor in de munitiestort aanwezig is, voldoet witte fosfor aan deze emissiesnelheid.

Als we de concentratie van een stof willen weten waarvan meer of minder in de munitiestort aanwezig is dan er aan witte fosfor in zit, zal de berekende concentratie ook evenredig hoger of lager zijn. Ook voor andere stoffen staat het begintijdstip van de emissieperiode niet vast, maar die hoeft niet gelijk te zijn aan die voor witte fosfor.

Om bespreking van de resultaten eenvoudig te houden, zullen over het algemeen de resultaten van witte fosfor gepresenteerd worden.

Ook bij de uitleg van hoe het rekenproces werkt, of hoe er met onzekerheden moet worden omgegaan, staat witte fosfor als voorbeeldstof centraal.

De witte fosfor die zich vanuit de munitiestort verspreidt over de Oosterschelde, doet dat onder invloed van getijdenwerking. De instelparameters die gelden voor een normaal getij, leveren met het model een concentratieverdeling binnen een bandbreedte. De minimum- en maximumconcentratie van deze bandbreedte wordt gepresenteerd en de concentraties binnen die bandbreedte zijn normaal verdeeld.

Een gecompriëerde beoordeling van de rekenresultaten voor alle stoffen die in de munitiestort aanwezig zijn, wordt in paragraaf 4.2.1 gegeven.

In paragraaf 4.2.2. wordt voor witte fosfor verder ingegaan op de van concentraties die beschouwd zijn, en hoe die zich verhouden tot de norm die is gehanteerd.

Zoals in paragraaf 3.3 is uitgelegd is die norm, de (i)MTR:

"Het MTR is de wetenschappelijk afgeleide waarde voor een stof, die aangeeft bij welke concentratie geen nadelig te waarden effect te verwachten is of -in geval van carcinogene stoffen- waar met een kans van 10^{-6} per jaar sterfte voorspeld kan worden."

4.2.1 Tracerberekeningen in kort bestek.

In deze paragraaf wordt een gecompriëerd overzicht gegeven van de resultaten van tracerberekeningen. Dat overzicht is een tabel waarin de berekende maximumconcentraties van bijna alle stoffen staan, als ware het opgeloste stof, afgezet tegen beschikbare normen; (i)MTR of streefwaarde. Alleen van mogelijke afbraakproducten staan er geen berekende concentraties

in de tabel omdat de hoeveelheden die gevormd zouden kunnen worden onbekend zijn.

Voor het uitvoeren van de berekening is een aantal aannamen gedaan en voor de tabel zijn gegevens uit de TNO-rapporten over de munitiestort overgenomen.

De volgende resultaten zijn gebruikt.

- Een als redelijk of aannemelijk te veronderstellen emissiesnelheid van 30 jaar, voor alle stoffen die in de munitie aanwezig zijn, en voor enige stoffen die daaruit als afbraak- of omzettingsproduct gevormd zouden kunnen worden.
- De hoeveelheden van de stoffen die aanwezig zijn in de munitiestort, zijn overgenomen uit het rapport van TNO.
- Een MTR of (i)MTR, die in principe geldt voor de opgeloste concentratie.
- Voor zover beschikbaar een streefwaarde van opgeloste stoffen.
- Een berekende maximumconcentratie ter hoogte van de munitiestort (Gat van Zierikzee). Figuur T11 in bijlage 1. geeft een beeld over hoe het maximum- concentratieverloop over de Oosterschelde zal zijn, vanuit de omgeving van de munitiestort.
- Een berekende maximumconcentratie op een afstand van plusminus 5 Km in zuidoostelijke richting van de munitiestort (Engels Vaarwater). Het is de eerste locatie in de richting van de Kom van de Oosterschelde waarvan de concentraties zijn uitgerekend. De berekende maximumconcentratie is daar lager dan op de locatie van de munitiestort. Op alle andere locaties worden weer lagere maximum-concentraties berekend.

Tabel 4.1. MTR of (i)MTR naast **berekende maximumconcentratie** "Gat van Zierikzee" en "Engelse Vaarwater", **zonder afbraak** en **emissie over 30 jaar**.

Component	emissie Kg/jr	MTR of (i)MTR opgelost µg/L	Streef- waarde opgelost µg/L	[Cw]max berekend GvZee µg/L	[Cw]max berekend EngelsVw µg/L
IJzer/C-staal	533000			66,7	20,8
Lood	84000	11,0	0,3	10,5	3,3
Koper	40950	1,5	0,5	5,1	1,6
Zink	22050	9,4	2,9	2,8	0,9
Aluminium	25000			3,1	1,0
Nitrocellulose	136000			17,0	5,3
Difenylamine	1600			0,2	0,06
Dinitrotolueen	15700	0,7		1,9	0,6
2-Amino Dinitrotolueen*		0,2			
4-Amino Dinitrotolueen*		1,31			
Dibutylftalaat	4700			0,6	0,2
Trinitrotolueen	99000	4,6		12,3	3,9
RDX	5500	280		0,7	0,2
Tetryl	3300			0,4	0,1
PETN	2200			0,3	0,09
Hexachloorethaan	9800	83		1,2	0,4
Zinkoxide	9800			1,2	0,4
Bariumnitraat	1400			0,2	0,05
Strontiumnitraat	840			0,1	0,03
Witte fosfor	1000	0,025		0,125	0,039
Fosfine*					

* mogelijke afbraakproducten

Tabel 4.1. geeft in een oogopslag het resultaat van deze vergelijking tussen berekende concentratie opgeloste stof in water [Cw], en de MTR of (i)MTR. De belangrijkste aanname voor de resultaten in deze tabel is, dat **de aanwezige hoeveelheid van een stof gedurende een periode van 30 jaar, gelijkmatig, vrij komt**. Die emissiesnelheid is ook voor de berekeningen van de concentraties die kunnen optreden het uitgangspunt geweest.

Als men wil weten welke concentratie er ontstaat als de totale hoeveelheid van een stof in 3 jaar vrijkomt, dan zullen de berekende concentraties een factor 10 hoger zijn, en als men aanneemt dat het daarentegen 300 jaar duurt, dan zullen de concentraties een factor 10 lager zijn.

En als men wil weten wat de concentratie wordt als er tweemaal zoveel van een stof ligt (en dus ook vrij kan komen) dan moet de berekende concentratie behorende bij een aangenomen emissiesnelheid met twee worden vermenigvuldigd.

4.2.2 Gestapelde onzekerheden.

In deze paragraaf wordt aan de hand van de voorbeeldstof witte fosfor (P) ingegaan op de onzekerheden die bij het beoordelen van de rekenresultaten een zeer belangrijke rol spelen.

Twee (driedimensionale) figuren geven het benodigde inzicht.

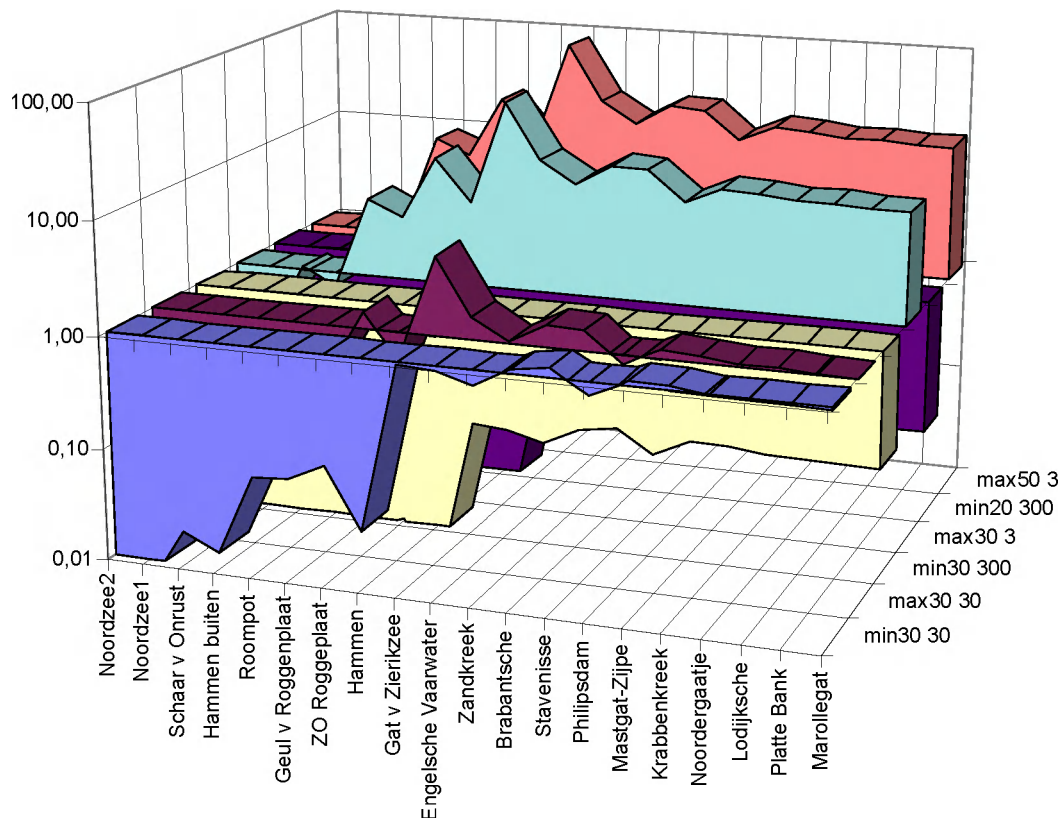
Figuur 4.1. geeft, voor drie verschillende aannamen in emissiesnelheid; het geïndexeerde minimum- en maximum concentratieverloop, op een

logaritmische schaal, van west naar oost over de Oosterschelde, voor witte fosfor, **zonder dat die witte fosfor wordt afgebroken**.

In de indexering is de (i)MTR op 1 gezet en zijn de concentraties relatief daarop uitgerekend. Dat betekent dat op de logaritmische schaal 0,1 staat voor eentiende van de (i)MTR, en 10 staat voor tien maal de (i)MTR.

Figuur 4.2 geeft hetzelfde weer als figuur 4.1., maar dan **met een afbraak van witte fosfor die 0,1 per dag bedraagt**.

Figuur 4.1. De verhouding van berekende concentraties tot de (i)MTR van witte fosfor (P) in de Oosterschelde bij drie minimale en drie maximale scenario's, **zonder afbraak**.



Toelichting bij de figuren 4.1 en 4.2.

De verticale as geeft op een logaritmische schaal hoe groot de berekende concentraties zijn ten opzichte van een norm die op 1,00 is gesteld.

Boven de norm geeft aan dat er een probleem is. Als de concentratie onder de norm zit is er uiteraard geen probleem.

Op de horizontale lengte-as staan de locaties, waaronder de stortlocatie Gat van Zierikzee, zie ook figuur 3.1 van Bijlage 1.

Op de horizontale diepte-as staan de volgende scenario's.

'van voor naar achter':

min30 30(blauw): de laagste concentratie, binnen een getij, relatief ten opzichte van de (i)MTR van witte fosfor (P), als er 30 ton witte fosfor aanwezig is in de munitiestort, die in 30 jaar vrij komt.

- max30 30(magenta): de hoogste concentratie, binnen een getij, relatief ten opzichte van de (i)MTR van P, bij 30 ton witte fosfor aanwezig in de munitiestort, die in 30 jaar vrij komt.
- min30 300(geel): de laagste concentratie, binnen een getij, relatief ten opzichte van de (i)MTR van P, bij een hoeveelheid witte fosfor van 30 ton, die in 300 jaar vrij komt.
- max30 300(lichtblauw): de hoogste concentratie, binnen een getij, relatief ten opzichte van de (i)MTR van P, bij een hoeveelheid witte fosfor van 30 ton, die in 3 jaar vrij komt.
- min20 300(paars): de laagste berekende concentratie, binnen een getij, relatief ten opzichte van de (i)MTR van P, als het langzaamste tempo van vrijkomen (300 jaar) wordt aangehouden, bij een minimale hoeveelheid van 20 ton witte fosfor aanwezig in de munitiestort.
- Max20 300(steenrood): de hoogste berekende concentratie, binnen een getij, relatief ten opzichte van de (i)MTR van P, als het snelste tempo van vrijkomen (3 jaar) wordt aangehouden, bij een maximale hoeveelheid van 50 ton witte fosfor aanwezig in de munitiestort.

Tabel 4.2. Matrix van scenario's, bij figuur 4.1 geen afbraak, bij figuur 4.2 een afbraak van 0,1 per dag.

Emissieduur	3 jaar		30 jaar		300 jaar	
Getijconcentratie	minimaal	maximaal	minimaal	maximaal	minimaal	maximaal
minimale hoev. witte fosfor van 20 ton					paars 5	
aangenomen hoev. witte fosfor 30 ton			blauw 1	magenta 2	geel 3	lichtblauw 4
maximale hoev. witte fosfor van 50 ton		steenrood 6				

De kleuren in de figuren 4.1 en 4.2 komen overeen met die in de matrix en de volgorde in de figuren die is aangegeven loopt daarbij van voor (1) naar achter (6).

De laagste concentraties, relatief ten opzichte van de (i)MTR, dus het kleinste risico wordt gerepresenteerd met de kleur paars (5). Het is de, als gevolg van het getij laagste concentratie die wordt berekend als 'slechts' 20 ton witte fosfor vrij komt gedurende een periode van 'wel' 300 jaar.

De hoogste concentraties, relatief ten opzichte van de (i)MTR, dus het grootste risico wordt gerepresenteerd met de kleur steenrood (6). Het is de, als gevolg van het getij hoogste concentratie die wordt berekend als 'wel' 50 ton witte fosfor vrij komt gedurende een periode van 'slechts' 3 jaar.

De (i)MTR van witte fosfor wordt bij het worst case scenario van de door RIKZ als aannemelijk veronderstelde emissieduur van 30 jaar, op zeven van de twintig locaties overschreden met een factor 0,1 tot 5 (blauw).

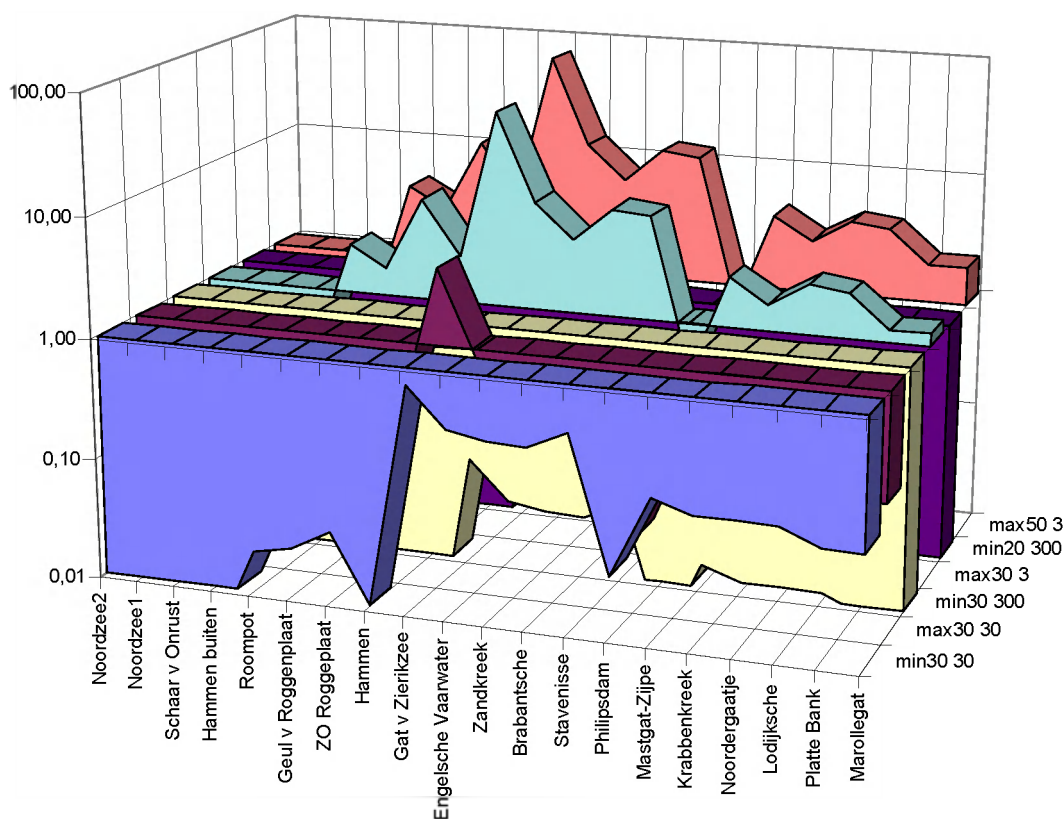
Voor het meest optimistische scenario bij deze aanname, wordt op twee plaatsen de (i)MTR van witte fosfor met een factor 0,1 tot 0,2 overschreden (magenta).

Als wordt aangenomen dat de hoeveelheid witte fosfor is onder- of overschat, dan resulteren de uitkomsten van het bijbehorende worstcase scenario in overschrijdingen van ongeveer 10 maal de (i) MTR tot 50 maal in het Gat van Zierikzee (lichtblauw) en het meest optimistische scenario bij deze aanname levert concentraties die allemaal een factor 10 of meer **kleiner** zijn dan de (i)MTR (geel).

Als wordt aangenomen dat zowel de hoeveelheid witte fosfor is onder- of overschat en dat ook de emissieduur is onder- of overschat, zijn de overschrijdingen van de (i)MTR voor witte fosfor in het daarbij horende worst-case scenario nog groter (steenrood) dan in het vorige worst-case scenario (lichtblauw), namelijk van 17 maal de norm tot 83 maal de norm in het Gat van Zierikzee.

Het meest optimistische scenario dat hierbij hoort, namelijk 20 ton witte fosfor komt in een periode van 300 jaar vrij, geeft concentraties die minstens een factor 10 tot 1000 **kleiner** zijn dan de (i)MTR van witte fosfor (P).

Figuur 4.2. De verhouding van berekende concentraties tot de (i)MTR van witte fosfor (P) in de Oosterschelde bij drie minimale en drie maximale scenario's, **afbraakconstante is 0,1/dag**.



Zodra rekening kan worden gehouden met afbraak neemt het aantal overschrijdingen van de (i)MTR van witte fosfor drastisch af. Het worst-case scenario bij een hoeveelheid witte fosfor van 30 ton en een emissieduur van 30 jaar, dat door RIKZ als realistisch worden ingeschat, geeft alleen op de locatie Gat van Zierikzee een overschrijding van de (i)MTR met een factor vier.

Bij de andere scenario's zijn zowel de berekende maxima als de berekende minima veel minder extreem en veel minder frequent dan als er geen afbraak zou zijn (figuur 5.1.).

Op dit punt is het wellicht interessant op te merken dat in Lit. [7] een degradatie van TNT in onverzadigde grond, bij 5 graden Celsius, is gerapporteerd die uitkomt op ongeveer 0,15 per dag. Het is niet duidelijk in hoeverre deze afbraaksnelheid bruikbaar is voor de situatie in de munitiestort in de Oosterschelde. Hetzelfde kan gezegd worden voor witte fosfor. Als er al afbraaksnelheden van witte fosfor bekend zijn, dan is het nog maar de vraag in hoeverre deze van toepassing zijn op de situatie van de munitiestort in de Oosterschelde.

Conclusie:

- Als aangenomen wordt dat de in de munitiestort aanwezige stoffen over een periode van 30 jaar, gelijkmatig, vrijkomen in de waterfase, en dat die stoffen niet worden afgebroken, dan wordt ter hoogte van de munitiestort, de MTR van een aantal stoffen in meer of mindere mate overschreden.
- Als gevolg van verdunning door uitwisseling, van water uit de Noordzee met de Oosterschelde onder invloed van getijdenwerking, zal op een afstand van het eerstvolgende berekende punt, ongeveer 5 Km van de munitiestort, alleen de concentratie van koper en van witte fosfor nog boven de MTR liggen die is aangenomen.
- Als het vrijkomen van de stoffen inderdaad 30 jaar duurt, zullen de overschrijdingen van de MTR's ook gedurende 30 jaar optreden.
- Van de zware metalen lood (Pb), koper (Cu) en Zink (Zn) is het alleen zink waarvan berekend wordt dat de concentratie onder de **streefwaarde** blijft als die stoffen over een periode van 30 jaar vrij zouden komen. Willen deze zware metalen in concentraties beneden de streefwaarde voorkomen, dan zal de periode waarover deze stoffen vrijkomen wel 300 jaar of meer moeten zijn. Dit komt in de buurt van de 500 jaar die door TNO in haar rapportages als mogelijke emissieperiode wordt genoemd.
- De kennisleemten zijn: de ordegrrootte van de emissiesnelheid, de afbraaksnelheden en de fysisch-chemische eigenschappen van witte fosfor onder de omstandigheden van de munitiestort.

4.3 MTR's, (i)MTR's en ad hoc MTR's

De door TNO gebruikte MTR's voor metalen zijn die voor de totale concentratie in oppervlaktewater, volgens NW4. Die MTR's gelden voor een zwevend-stofconcentratie van 30 mg/l. Omdat de watermonsters die geanalyseerd zijn eerst zijn gefiltreerd, moeten de MTR's voor opgeloste stoffen worden gebruikt. De door TNO gepresenteerde indicatieve MTR's zijn niet op exact dezelfde manier berekend als die voor NW4. Door RIKZ worden binnenkort, in overleg met RIZA, van deze stoffen ook (i)MTR's gepresenteerd die enigszins af kunnen wijken.

In de literatuur is er nog een ad hoc MTR gevonden voor (hexogeen)tetryl dat staat voor de springstof die met RDX wordt aangeduid en een MTR voor hexachloorethaan. Mogelijk levert de hiervoor genoemde inspanning door RIKZ en RIZA nog enige (i) of ad hoc MTR's op voor later uit te voeren evaluaties. Overigens gelden al deze (i)MTR's voor opgeloste stof.

Conclusie:

- Er zijn veel meer stoffen die een risico vormen dan uit tabel 4.1 zou blijken. Want stoffen in tabel 4.1., waarvan onbekend is of ze vrijkomen, of als afbraakproduct gevormd worden, en stoffen waarvan momenteel geen MTR afgeleid kan worden, kunnen evengoed tot de conclusie leiden dat een maximaal risiconiveau wordt overschreden.

- De conclusies die in paragraaf 4.2 zijn getrokken voor witte fosfor, zijn zodanig representatief voor alle andere stoffen, dat het zinloos is om ook voor die andere stoffen die deel uitmaken van het materiaal in de munitiestort, een beoordeling uit te voeren als voor witte fosfor is gedaan. Immers: iedere overschrijding, van welke MTR dan ook, is niet acceptabel, en ook van andere stoffen is weinig of niets bekend van de kansverdeling die hoort bij de hoeveelheid die aanwezig is, de duur van de emissie etc. Het maakt niet uit of een of meer stoffen hoger zijn dan de MTR. De conclusie is altijd: "Ja er is een nadelig te waarden effect te verwachten." MTR's en ook concentraties kunnen niet opgeteld worden om tot een soort combinantie-effect beoordeling te komen.
- Kennisleemten: het ontbreekt aan MTR's en (i)MTR's van diverse stoffen. Er is teveel onzekerheid over de kans dat witte fosfor uit de granaten uiteenvalt, en onder welke omstandigheden dat gebeurt.

4.4 Andere bronnen en het belang daarvan

Van een beperkt aantal stoffen is bekend hoe groot de belasting daarvan is op de Oosterschelde. In tabel 4.4 staat de jaarlijkse emissie door schepen, vanuit polders, vanuit aangrenzende watersystemen en vanuit de atmosfeer. Via de Noordzee-rand is er ook import van deze stoffen mogelijk maar die is buiten beschouwing gelaten. Tevens staat de emissie uit de munitie per jaar, onder aanname dat die 30 jaar duurt. Cadmium is in de tabel opgenomen omdat het ter hoogte van de munitiestort is gevonden, hoewel het geen deel zou uitmaken van de munitie. De emissies uit verschillende bron zijn opgeteld tot een totale belasting en het relatieve aandeel per emissiebron is uitgerekend.

Tabel 4.4 Totale en relatieve belasting per jaar naar de Oosterschelde, exclusief de Noordzee-rand, van stoffen die in de munitiestort voorkomen of in die omgeving zijn gemeten.

	Totale belasting	Emissie per jaar uit de munitiestort gedurende 30 jr.		Schepen		Polders		Volk. / Zoommeer en Veerse Meer		Atmosfeer	
Stof	Kg/jr	Kg/jr.	%	Kg/jr	%	Kg/jr.	%	Kg/jr.	%	Kg/jr.	%
Cd	77	?	?	0,02	0,03	46	59,7	17	22,1	14	18,2
Cu	42984	40950	93,5	505	1,1	560	1,3	1400	3,2	390	0,9
Zn	31532	22050	73,5	42	0,01	4830	16,1	1600	5,3	1500	5,0
Pb	84400	84000	96,6	11	0,01	280	0,3	150	0,2	2500	2,9

Ter toelichting:

De kolom "Emissie uit de munitiestort over 30 jr."

De hoeveelheid zink die in de munitiestort aanwezig is als zinkoxide, is in de berekening van de zinkemissie opgeteld bij de emissie door het metaal zink dat aanwezig wordt geacht in de munitiestort.

De kolom "Schepen".

De berekening van de belasting door schepen is enerzijds gebaseerd op de beroepsvaart op de Oosterschelde, in analogie van wat er over de Westerschelde bekend is, zie Lit. [8]. Anderzijds zijn gegevens over de recreatievaart en vissersschepen gebruikt uit Lit. [9].

De kolommen: "Polders", "atmosfeer", en "Volkerak/Zoommeer en Veerse Meer".

Met behulp van beschikbare gegevens over debieten van, en concentraties in polderwateren en watersystemen, alsmede neerslaggegevens, zijn voor enige

zwere metalen de vrachten vanuit deze compartimenten op de Oosterschelde berekend. De atmosferische depositie van koper is overgenomen uit Lit. [9].

Op basis van de in de tabel gegeven zijdelingse belasting wordt er een verhoging van de achtergrondconcentratie berekend die voor koper 0,1 µg/l bedraagt, voor Zn 0,4 µg/l en voor Pb 0,02 µg/l.

Conclusie:

- De mogelijke emissie van enige zware metalen uit andere bronnen is klein, vergeleken met de emissie van deze metalen uit de munitie, bij een veronderstelde emissieduur van 30 jaar. Ofwel: per jaar zou in dat geval de relatieve belasting vanuit de munitiestort als volgt zijn: koper (Cu) 93,5%, zink (Zn) 70,0% en lood (Pb) 99,5 %.
- Het is aannemelijk dat voor enige zware metalen de concentraties die regelmatig in het water worden gemeten, verklaard kunnen worden uit de omvang van de belasting op de Oosterschelde via polders, via de atmosfeer en aangrenzende watersystemen (behalve de Noordzee).
- Hoewel cadmium (Cd) geen deel uit maakt van de munitie, maar omdat het wel door TNO in verhoogde concentratie in water is aangetroffen ter hoogte van de munitiestort, wordt de geschatte hoeveelheid cadmium in de zijdelingse belasting gegeven: er komt jaarlijks 63 Kg cadmium vanuit polders etc. in de Oosterschelde.
- Kennisleemte: TNO heeft voorgesteld opnieuw te gaan monitoren welke concentraties er ter plaatse van de munitiestort voor komen. Daarbij moet er in het bijzonder op worden gelet dat er contaminatie van de monsters wordt voorkomen en dat er monsters worden genomen die representatief zijn voor de waterkolom.

4.5 De huidige concentraties van stoffen in de Oosterschelde.

In de TNO-rapporten is de waterkwaliteit van de Oosterschelde summier aangegeven. Op basis van de gegevens die in het kader van het MWTL-programma (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) beschikbaar zijn, wordt hierna in tabel 5.5 een overzicht gegeven het gemiddelde en de spreiding in concentraties van enige stoffen ter hoogte van Zierikzee.

Tabel 5.5. Concentraties opgeloste stof in de Oosterschelde.

Stof	Symbool	minimaal	gemiddel	maximaal	berekend GvZZee	berekend Eng.VW
Zwevend Stof	ZS	3 mg/l	7 mg/l	16 mg/l		
Zuurstof verzadigingsperc.	O ₂ %	85%	95%	120%		
Cadmium opgelost	Cd	0,01 µg/l	0,01 µg/l	0,01 µg/l		
Koper opgelost	Cu	0,3 µg/l	0,4 µg/l	0,6 µg/l	5,1 µg/l	1,6 µg/l
Lood opgelost	Pb	0,1 µg/l	0,1 µg/l	0,1 µg/l	10,5 µg/l	3,3 µg/l
Zink opgelost	Zn	1 µg/l	1 µg/l	1 µg/l	2,8 µg/l	0,9 µg/l

In deze tabel staan bovendien van koper, lood en zink de berekende opgeloste concentraties op de locatie Gat van Zierikzee en Engels vaarwater. Vergelijking van de berekende en regelmatig gemeten concentraties levert de volgende conclusie ten aanzien van de gebruikte emissiesnelheid.

Conclusie:

- De in de berekeningen aangehouden emissieduur van 30 jaar is (veel) te kort. Als koper, lood en zink inderdaad over een periode van 30 jaar uit de munitiestort vrijkomen, dan zouden hogere concentraties gemeten zijn. De gemeten concentraties worden immers al deels verklaard door de zijdelingse belasting plus de achtergrondswaarde. In paragraaf 4.4 is al voorgerekend

dat koper, met een accepteerbare achtergrondswaarde (streefwaarde) van 0,5 µg/l, door de zijdelingse belastingen wordt verhoogd tot 0,6 µg/l, dat zink met een accepteerbare achtergrond van 2,9 µg/l door de zijdelingse belasting op 3,3 µg/l uit zou komen en dat lood, met een accepteerbare achtergrond van 0,3 µg/l door de zijdelingse belasting een concentratie oplevert van 0,32 µg/l. Vergeleken met de routinematig gemeten concentraties is er geen aanwijzing dat er een probleem is in de zin van een meetbare emissie uit de munitiestort.

- De conclusie dat de routinematig gemeten concentraties niet veroorzaakt worden door emissie van substantiële hoeveelheden uit de munitiestort is ook gebaseerd op de overeenkomst in de verhouding van de zware metalen in de zijdelingse lozingen, die namelijk met de onderlinge verhouding van de concentraties overeenkomt, in tegenstelling tot de onderlinge verhouding van de hoeveelheden in de munitiestort die geheel niet overeenkomt met de onderlinge verhouding in concentraties die in het water zijn gemeten.
- Voor de volledigheid is het vermeldenswaard dat deze drie zware metalen en ook het opgeloste cadmium voldoen aan de daarvoor geldende MTR. Wat betreft de streefwaarden die bij deze stoffen horen kan geconcludeerd worden dat de maximale koperconcentratie die soms wordt gevonden, de streefwaarde overschrijdt.
- Kennisleemten: de exacte bijdrage van de Noordzee als bron voor het concentratieniveau van enige zware metalen in de Oosterschelde is onbekend.

5 Integrale risico beoordeling

In dit onderzoek zijn de milieurisico's van de munitiestort beoordeeld op basis van de volgende gegevens en criteria:

Ten aanzien van het vrijkomen van stoffen uit de munitiestort

1. de hoeveelheid munitie en de daarin aanwezige stoffen zijn ontleend aan gegevens zoals die in de door TNO uitgebrachte rapporten zijn vermeld.
2. het vrijkomen van de stoffen uit de munitie stort is voor de analyse geraamd op 30 jaar. Deze periode is klein als we dit vergelijking met de periode waarover is gestort (meer dan 20 jaar). Toch is als worst case een minimale periode van 3 jaar aangehouden. Tevens is een volgens TNO meer aannemelijke periode van 300 jaar beschouwd.
3. rekening houdend met zowel onzekerheden in de hoeveelheid als de periode waarover de stoffen worden afgegeven aan de waterkolom is het bepalen van de gemiddelde snelheid (flux) waarmee de stoffen vanuit de stortlocatie vrijkomen een van de grootste onzekerheden van de in dit rapport beschreven analyse. In onderstaande tabel is geïllustreerd welke range aan jaaremissies kunnen worden afgeleid voor aannamen over de gestorte hoeveelheid van een stof en de duur van vrijkomen.

Gestorte hoeveelheid (ton)	duur van vrijkomen 3 jaar	duur van vrijkomen 30 jaar	duur van vrijkomen 300 jaar
20 ton	6,7 ton / jaar	0,67 ton / jaar	0,067 ton /jaar
30 ton	10 ton / jaar	1,0 ton / jaar	0,1 ton/jaar
50 ton	16,7 ton /jaar	1,67 ton / jaar	0,167 ton /jaar

4. in de analyse is zowel rekening gehouden met een gemiddelde snelheid van vrijkomen als het discontinu vrijkomen van een stof waarbij bijvoorbeeld een fosforgranaat momentaan uiteen valt en de daarin aanwezige hoeveelheid witte fosfor (3,9 kg) direct wordt afgegeven aan de bovenliggende waterkolom. Als er dagelijks een dergelijk granaat uiteen valt, is de daarmee samenhangende emissie 1,4 ton witte fosfor op jaarbasis.
5. gelet op de grote diversiteit aan materialen en aard van de munitie, kan worden verwacht dat er een grote variëteit is ten aanzien van tijdschaal waarop en de tijdsduur waarover de verschillende stoffen vrijkomen. Ook de omstandigheden waaronder de munitie zich bevindt kan sterk uiteenlopen. Zo zal vrijliggende munitie aan het bodemoppervlak eerder uiteenvallen als gevolg van corrosieve en erosie invloeden dan munitie die zich in de diepere bodemlagen bevindt onder zuurstofloze omstandigheden en afgeschermd tegen de schurende werking van stroming en transport van bodemsedimenten.

Ten aanzien van de verspreiding van stoffen in de Oosterschelde

- 6 in de Oosterschelde wordt de waterbeweging en daarmee het transport van stoffen bepaald door de getjuitwisseling met de Noordzee. Ter plaatse van de stortlocatie variëren de maximale stroomsnelheden van ca. 0,6 m/s bij doortij tot en ca. 1,0 m/s bij springtij. Stoffen afkomstig van de stortlocatie worden door de vloedstroom zo'n 5-10 km oostwaarts verplaatst en door de ebstroom ca. 5-10 km westwaarts. Als gevolg van getijasymmetrie en menging worden stoffen tijdens volgende getijden verder getransporteerd in zowel oostelijke als westelijke richting. In het westen staat de Oosterschelde (via stormvloedkering) in open verbinding met de Noordzee. Alleen tijdens extreme hoogwaterstanden kan de kering

tijdelijk worden gesloten en stagneert de stroming door het getij. Omdat de omvang van afwateringen op de Oosterschelde klein is, is er vrijwel geen sprake van doorstroming waardoor de verversing van de Oosterschelde volledig afhankelijk is van de uitwisseling met de Noordzee (cq Voordelta). De verversing (= uitspoeling van stoffen) is daardoor het sterkst in het westen en het zwakst in het oosten. Gemiddeld gezien is de verversingstijd ca. 60 dagen maar voor stoffen die zich in het oostelijk deel bevinden kan het meer dan 100 dagen duren voordat zij uitspoelen naar de Noordzee.

- 7 Stoffen die vrijkomen van de munitiestort zullen zich over de gehele Oosterschelde kunnen verspreiden en uiteindelijk uitspoelen naar de Noordzee. Voor stoffen die niet afbreken zal bij een continue emissie vanuit de stortlocatie de (netto) emissie naar de Noordzee uiteindelijk even groot zijn als de emissie vanuit de stort. Ervan uitgaande dat het een stof betreft die in de Noordzee niet voorkomt zal er een afnemende concentratiegradiënt ontstaan vanaf de stortlocatie in westelijke richting. Oostelijk van de stortlocatie zal de concentratie vrijwel gelijk zijn aan de gemiddelde concentratie ter plaatse van de munitiestort. Het concentratie niveau dat zich uiteindelijk instelt bij een continue lozing van 1 ton/jaar, zonder afbraak en bij een gemiddeld getij, is ca. 0,04 µg/l. In de directe omgeving van de stortlocatie kan de concentratie tijdens laagwaterkentering ca. 3 maal zo hoog zijn. In deze fase van het getij vindt een zekere accumulatie plaats door stagnatie van de stroming. Deze concentratie verhoging neemt vervolgens door menging af. Ook tijdens hoogwaterkentering treedt een zekere accumulatie op maar uiteindelijk levert dit een kleinere concentratie op vanwege de grotere invloed van menging met (schoon) Noordzeewater en de toegenomen hoogte van de waterkolom.
- 8 Voor stoffen die afbreken of die via adsorptie aan zwevend stof sedimenteren, is de uiteindelijke concentratie lager dan voor stoffen die niet afbreken. Vooral in de delen die op grotere afstand van de stortlocatie zal de concentratie van afbreekbare stoffen beduidend lager kunnen zijn dan voor stoffen die geen afbraak of sedimentatie hebben. In onderstaande tabel is als voorbeeld de concentratie reductie in het oostelijk deel van de Oosterschelde weergegeven voor verschillende afbraaksnelheden bij een emissie van 1 ton/jaar na 10, 30 en 60 dagen.

Afbraaksnelheid	transporttijd vanaf stortlocatie 10 dagen	transporttijd vanaf stortlocatie 30 dagen	transporttijd vanaf stortlocatie 60 dagen
geen	0,040 µg/l	0,040 µg/l	0,040 µg/l
0,01 / dag	0,036	0,030	0,022
0,05 /dag	0,024	0,009	0,002
0,1 /dag	0,015	0,002	0,000
0,5 /dag	0,000	0,000	0,000

- 9 Op basis van bovenstaande kan worden geconcludeerd dat voor een worst case analyse het niet meenemen van de invloed van afbraak of verwijdering door sedimentatie een extra veiligheidsmarge betekent.
- 10 De verspreiding van vrijgekomen stoffen afkomstig van een momentane emissie als gevolg van het direct uiteenvallen van een munitie onderdeel resulteert in een vlek die met het getij in oostelijke en westelijke richting beweegt en via menging zich vergroot en geleidelijk in concentratie afneemt. Uiteindelijk spoelt ook deze emissie uit naar de Noordzee. Direct na emissie van 3,9 kg witte fosfor wordt ter plaatse van de stortlocatie een maximale concentratie berekend van 2,03 mg/l. Na 1 getij is deze concentratie teruglopen tot ca. 0,01 µg/l. Hoewel deze hoge concentratie

direct na emissie zorgwekkend is, lijkt het niet erg waarschijnlijk dat deze concentratie daadwerkelijk zal optreden. Mede op basis van informatie van TNO is het niet erg waarschijnlijk dat een degelijke hoeveelheid momentaan (in deze analyse 10 sec) beschikbaar komt. Indien momentaan wordt opgerekt tot 1 uur zal de initiële verdunning beduidend groter zijn omdat dan een veel groter waterpakket langs de stortlocatie is gestroomd. Toch kunnen in potentie hoge concentraties voorkomen omdat het ook enige tijd duurt voordat menging over de gehele waterkolom (= meer dan 30 meter) is opgetreden zodat in de omgeving van de stortlocatie de concentraties nabij de bodem beduidend hoger kunnen zijn dan uit de berekening voor de gehele waterkolom kan worden afgeleid.

Ten aanzien van verhoogde concentraties in water en sediment

11. Stoffen die vrijkomen uit de munitiestort resulteren in verhoogde concentraties in de gehele Oosterschelde. Uit de verspreidingsberekening blijkt dat een gemiddelde emissie van 1 ton/jaar van een niet afbreekbare of sedimenterende stof een concentratieverhoging geeft van ca. 0,040 µg/l in Oosterschelde water ten oosten van de munitie stort. Ter plaatse van de stortlocatie kan bij eb de concentratie oplopen tot ca. 0,125 µg/l. In het westelijk deel van de Oosterschelde neemt de concentratieverhoging als gevolg van menging met schoon Noordzee water af. Voor stoffen waarvoor de emissie niet 1 ton/jaar is maar X ton/jaar is de concentratieverhoging een factor X hoger. Voor stoffen die afbreken of sedimenteren zal concentratieverhoging afnemen naar mate de afstand (cq transporttijd) tot de stortlocatie groter is.
- 1 Uitgaande van een worst case beschouwing dat alle stoffen in oplossing komen en in de waterfase blijven, resulteert de emissie die hoort bij een duur van vrijkomen over 30 jaar in een significante verhoging van de zware metalen lood, koper en zink in de waterfase.
 - 2 De worst case aanname dat stoffen niet afbreken of sedimenteren is niet voor alle stoffen erg realistisch. Met name bij de zware metalen mag worden verwacht dat een belangrijk deel zal adsorberen aan sediment en zich gedeeltelijk als particulier gebonden stof in de waterfase zal bevinden en gedeeltelijk zal sedimenteren naar de bodem.
 - 3 Voor stoffen, die gezien hun milieu-chemische eigenschappen, vrijwel geheel aan sediment (de waterbodem) zijn gebonden (lood is een voorbeeld) zal de emissie van deze stoffen resulteren in naar verwachting duidelijk aantoonbaar hogere gehalten in het sediment rondom de munitiestort. De mate van verhoging hangt af van factoren als de verspreiding van sediment en een aantal biogeochemische processen in het sediment.

Ten aanzien van risico's voor organismen en het ecologisch functioneren van de Oosterschelde

- 15 Op basis van de range aan emissies van stoffen uit de stortlocatie en berekening van de verspreiding van stoffen in de Oosterschelde is bepaald welke concentratieverhogingen als gevolg van de munitiestort kunnen optreden in de waterfase. Deze concentratieverhogingen zijn vervolgens vergeleken met beschikbare normen (MTR, (i)MTR, ad-hoc MTR). Tevens is een vergelijk gemaakt met waargenomen concentraties.
- 16 De uitgevoerde indicatieve berekeningen laten zien dat bij aanname van 30 Kton munitie en een duur van vrijkomen van 30 jaar het maximaal

toelaatbare risico (MTR), zoals gedefinieerd in de vierde nota Waterhuishouding, voor enkele van de stoffen, waarvan MTR waarden bekend zijn, worden overschreden. Voor andere aan de munitiestort gerelateerde stoffen zijn MTR waarden niet bekend en kan een eerste ecotoxicologische risico-inschatting niet worden gemaakt. De kans op de aanwezigheid van stoffen met concentraties hoger dan het maximaal toelaatbaar risico vormt een potentieel risico voor het ecologisch functioneren van de Oosterschelde. Deze verhoging vormt ook een potentieel risico voor de visserijfunctie van de Oosterschelde omdat voor enkele van deze stoffen dit zal resulteren in verhoogde gehalten in schelpdieren en vissen. sediment.

Ten aanzien van mogelijkheden voor vermindering van de risico's

17. Op grond van bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de stoffen die vrijkomen een potentieel risico inhouden voor de organismen en het ecologisch functioneren van de Oosterschelde. Indien door preventieve maatregelen de omvang van de jaarlijkse afgifte wordt gereduceerd, zal door de continue uitwisseling met de Noordzee het risico op te hoge concentraties in het aquatisch ecosysteem sterk worden verminderd.
18. De munitiestort bevindt zich in een van de diepste delen van het geulensysteem van de Oosterschelde. Dit geulensysteem is ontstaan onder invloed van de stroomsnelheden en getijvolumes die heersten in de tijd van voor de Deltawerken. Met name na de bouw van de stormvloedkering en de aanleg van de compartimenteringsdammen (1987), zijn de hydraulische condities sterk veranderd. Deze veranderingen worden gekarakteriseerd door een afname van het getijde verschil met ca. 13% (bij Yerseke) en een afname van de stroomsnelheden en getijvolumes van 30-40%, lit [10]. In deze nieuwe situatie zijn de geulen over het algemeen te ruim en wordt de morfologische ontwikkeling gekarakteriseerd door een geleidelijke afname (erosie) van de platen en opvullen (sedimentatie) van de geulen. In lit [10] wordt op basis van het verloop in de dieptelijnen geconcludeerd dat de morfologische veranderingen over de periode 1981 - 1999 erg gering zijn. Wel is er sprake van netto aanslibbing.
Dit betekent dat in potentie de munitiestort duurzaam kan worden afgedekt met sediment, waardoor wordt voorkomen dat stoffen die vrijkomen niet rechtstreeks worden afgegeven aan de waterkolom.
Voor een goede isolatie van de munitiestort verdient afdekken met fijn sediment (slib, klei) met een hoge fysisch-chemische adsorptie capaciteit de voorkeur. Echter de maximale stroomsnelheden ter plaatse van de stortlokatie variëren van ca. 0,6 m/s bij doottij tot ca. 1,0 m/s bij springtij, zodat het risico aanwezig is dat (niet geconsolideerd) fijn sediment niet blijft liggen. Afdekken met grof zand of zelfs grind geeft een veel grotere garantie voor permanente afdekking. Door de grotere permeabiliteit is dan echter het risico aanwezig dat stoffen alsnog diffunderen naar het oppervlak.
Aanbevolen wordt om nader te onderzoeken op welke wijze en met welk soort materiaal (zand, grind, slib, klei of combinaties daarvan) de stortplaats effectief en duurzaam kan worden afgedekt. Hierbij dient ook te worden onderzocht welke resterende stoftransporten in de bodem kunnen optreden en met welke factor de jaarlijkse afgifte naar de waterfase (ook op lange termijn) kan worden verminderd.

6 Slotconclusies en aanbevelingen

- Gegeven het feit dat corrosie een onvermijdelijk proces is, zal de munitie in de toekomst doorroesten en uiteenvallen. Daarbij zullen milieuvreemde stoffen in het water en de bodem van de Oosterschelde terecht komen.
- De munitiestort vormt een potentieel risico voor het milieu en het ecosysteem vanwege het karakter van de 'mogelijk' vrijkomende stoffen.
 - a. spoormetalen of zware metalen die vrij komen tijdens het corroderen (doorroesten) van de omhulsels van de munitie en de degradatie van de inhoud.
 - b. de chemische inhoud van de munitie die een breed scala aan organische en anorganische verbindingen omvat.
- De vraag hoe groot het risico precies is, is echter lastig te beantwoorden. De grootste onzekerheid daarin vormt de aanname van de snelheid waarmee de munitie uiteenvalt. Daarnaast zijn er vele kennisleemten met betrekking tot de stoffen die in de munitie zitten en die een goede risico evaluatie in de weg staan.
- Als aangenomen wordt dat de munitie uiteenvalt tussen 3 en 300 jaar is de volgende risico inschatting te maken. Bij uiteenvallen in 3 jaar, wat niet erg waarschijnlijk is, zullen vele stoffen in concentraties boven het maximale toelaatbare risico uitkomen, zoals gedefinieerd in de vierde nota waterhuishouding. Bij uiteenvallen van alle munitie, en afgifte van stoffen daaruit, over een periode van 30 jaar, wat ook niet erg waarschijnlijk is, zal dat nog slechts voor een aantal stoffen in een gebied rondom de stortlocatie het geval zijn. Bij een emissieduur van 300 jaar, een acceptabel scenario, zullen de risico's op normoverschrijding klein zijn.
- Aanbevolen wordt kennisleemten waar mogelijk in te vullen opdat een zo optimaal mogelijke risico inschatting mogelijk wordt.
- Verder wordt aanbevolen om te onderzoeken hoe en op welke wijze het risico verminderd kan worden.

Het preventief isoleren van de munitiestort door het afdekken met sediment lijkt een relatief eenvoudige ingreep om de tijdsduur waarover stoffen vrijkomen en worden afgegeven aan de waterfase te vergroten. Mede doordat de stortlocatie zich in een netto sedimentatie gebied bevindt kan de jaarlijkse emissie van stoffen uit de munitiestort hierdoor mogelijk aanzienlijk worden verkleind. Vanwege de continue uitwisseling met de Noordzee zal een gereduceerde jaarlijkse emissie resulteren in lagere concentratie in de Oosterschelde en daarmee in een verminderd risico voor organismen en het functioneren van het ecosysteem.

Literatuur

- [1] **Ham, N.H.A. van en Duvalois, W., 1999.**
"Onderzoek Munitiedump Oosterschelde".
TNO-rapport PML 1999-A59.
- [2] **Ham, N.H.A. van, Dokkum, H.P. van, Blankendaal, V.G., 2000.**
"Beoordeling van de milieurisico's van gestorte munitie in de Oosterschelde.
Desk-study op basis van metingen in 1999".
TNO-rapport PML 2000-A68 (Concept).
- [3] **Nolte, A.J. 2001.**
"Tracerberekeningen Oosterschelde".
WL I Delft Hydraulics, Z3118. Mei 2001.
- [4] **Haenen, C.P.L., Van der Tol-Bakker, M., Schobben, J.H.M., 1993.**
"BCF's nader bekeken. Onderzoek naar methoden en variatie".
Rapport DGW-93.031.
- [5] **Anonymus, 1999.**
"Deel 4. Integrale Normstelling Stoffen. Milieukwaliteitsnormen bodem, water, lucht".
Geactualiseerde versie INS-notitie 1997. Oktober 1999.
- [6] **Guchte, C. van de, Beek, M., Tuinstra, J., Rossenberg, M. van., 1999.**
"Normen voor het waterbeheer".
Achtergronddocument NW4. CIW, mei 2000.
- [7] **Rijnaarts, H.H.M., 1994.**
"In Situ Bodemsanering Defensierrein. Een bodemonderzoek naar een adequate strategie voor bodemsanering van defensierreinen, met als voorbeeld de munitievernietigingslokatie op het schietterrein De Harskamp".
TNO-MEP-R 94/337
- [8] **Deayaldeen, S., Arens, E., Van Eck, B. 1995.**
"Belasting Westerschelde met stoffen uit de Scheepvaart".
RIKZ/AB95.880x. december 1995.
- [9] **Oele, J.F., 2000.**
"Bronnen van waterverontreiniging in Zeeland".
AXB 2000-1, Rijkswaterstaat, dir. Zeeland.
- [10] **Groenenberg, M., 1999.**
"Advies Morfologische en Hydraulische ontwikkelingen Munitiestortplaats Zierikzee".
Adviesnota NWL 99-32, Rijkswaterstaat, dir. Zeeland.

Bijlage 1

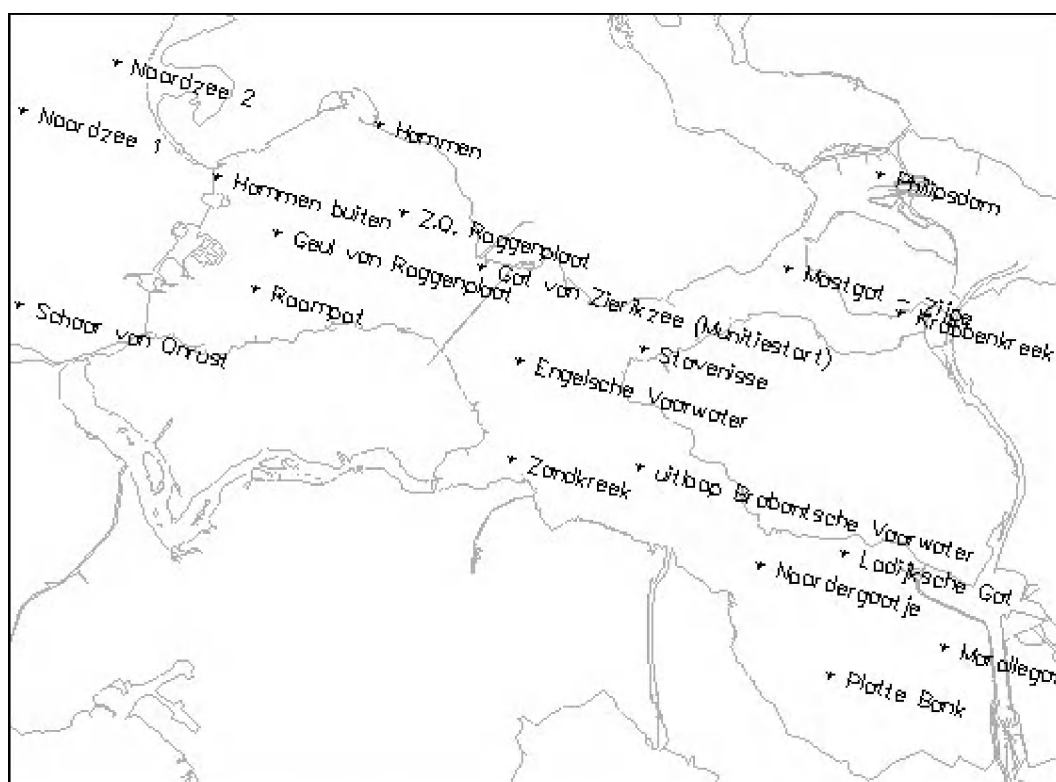
Deze bijlage bevat enige paragrafen uit het rapport: "Tracerberekeningen Oosterschelde", nr. Z3118, van WL I Delft Hydraulics.

De nummering van paragrafen, figuren en tabellen is onveranderd.

5.6. Resultaten

5.6.1. Verversing van de Oosterschelde

Allereerst worden de resultaten van de verversingsberekeningen besproken, om een beter inzicht te krijgen in de waterbeweging in de Oosterschelde. De bespreking is ook relevant voor de verspreiding van een stof uit de munitiestort. De figuren zijn terug te vinden in bijlage A, waarbij figuren V1 tot en met V10 het verloop van de concentratie op een aantal locaties weergeeft, terwijl in figuren V11 tot en met V16 enkele ruimtelijke patronen worden weergegeven. Figuur 3.1 laat de monitorlocaties zien.



Figuur 3.1 Monitorlocaties waarvoor modeluitvoer beschikbaar is

Binnen 8 weken is een belangrijk gedeelte van de Oosterschelde ververs met Noordzeewater. Echter binnen de Oosterschelde zijn er grote

ruimtelijke verschillen (Figuur V13). In het westelijk deel bij de kering is het initiële water volledig vervangen. De gebieden die het verst van de Oosterscheldekering verwijderd zijn, worden (uiteraard) het langzaamst vervast. Het gebied dat grenst aan de Grevelingen en het Volkerak heeft na 8 weken nog 50% van het initiële water behouden. Het gebied ter hoogte van de Oesterdam in het zuidoosten heeft na 8 weken nog circa 25% van het initiële water behouden.

5.6.2 Verspreiding vanuit de munitiestort

De figuren van de verspreidingsberekeningen zijn terug te vinden in bijlage B. De figuren T1 tot en met T10 geven het concentratieverloop van een stof uit de munitiestort op een aantal locaties in de Oosterschelde (zie Figuur 3.1). In de figuren wordt de concentratie voor de verschillende afbraaksnelheden weergegeven. Er is een middeling over de dag uitgevoerd, waardoor de invloed van het getij in de figuren is uitgeschakeld. De figuren T11 tot en met T14 laten het ruimtelijk concentratiepatroon zien eveneens voor verschillende afbraaksnelheden. Deze figuren geven de minimum en maximum concentratie gedurende een getij weer.

De figuren T11, T12, T13 en T14 voor afbraaksnelheden van respectievelijk 0, 0,01; 0,1 en 0,5 d⁻¹, laten een duidelijke afname van de concentratie zien als gevolg van afbraak. Het effect is het grootst in die gebieden waar een lange verversingstijd is geconstateerd. Door de lange tijd die de stof nodig heeft om deze gebieden (bij de Philipsdam en de Oesterdam) te bereiken, verdwijnt een deel van de stof door afbraak uit het systeem. In het geval van de hoogste afbraak die is toegepast (0,5 d⁻¹), wordt in de locaties Marollegat, Platte Bank (beide bij de Oesterdam, Figuur T1), Krabbenkreek en Philipsdam (bij de Grevelingendam en de Philipsdam, Figuur T3) de stof nauwelijks meer aangetroffen.

De maximale concentratie treedt op ter hoogte van de munitiestort in de situatie dat geen afbraak wordt toegepast (Figuur 3.2, Figuur T6). De maximale concentratie is $12,5 \times 10^{-5}$ mg/l en de daggemiddelde concentratie circa $6,5 \times 10^{-5}$ mg/l bij een continue emissie van 0,0317 g/s uit de munitiestort.

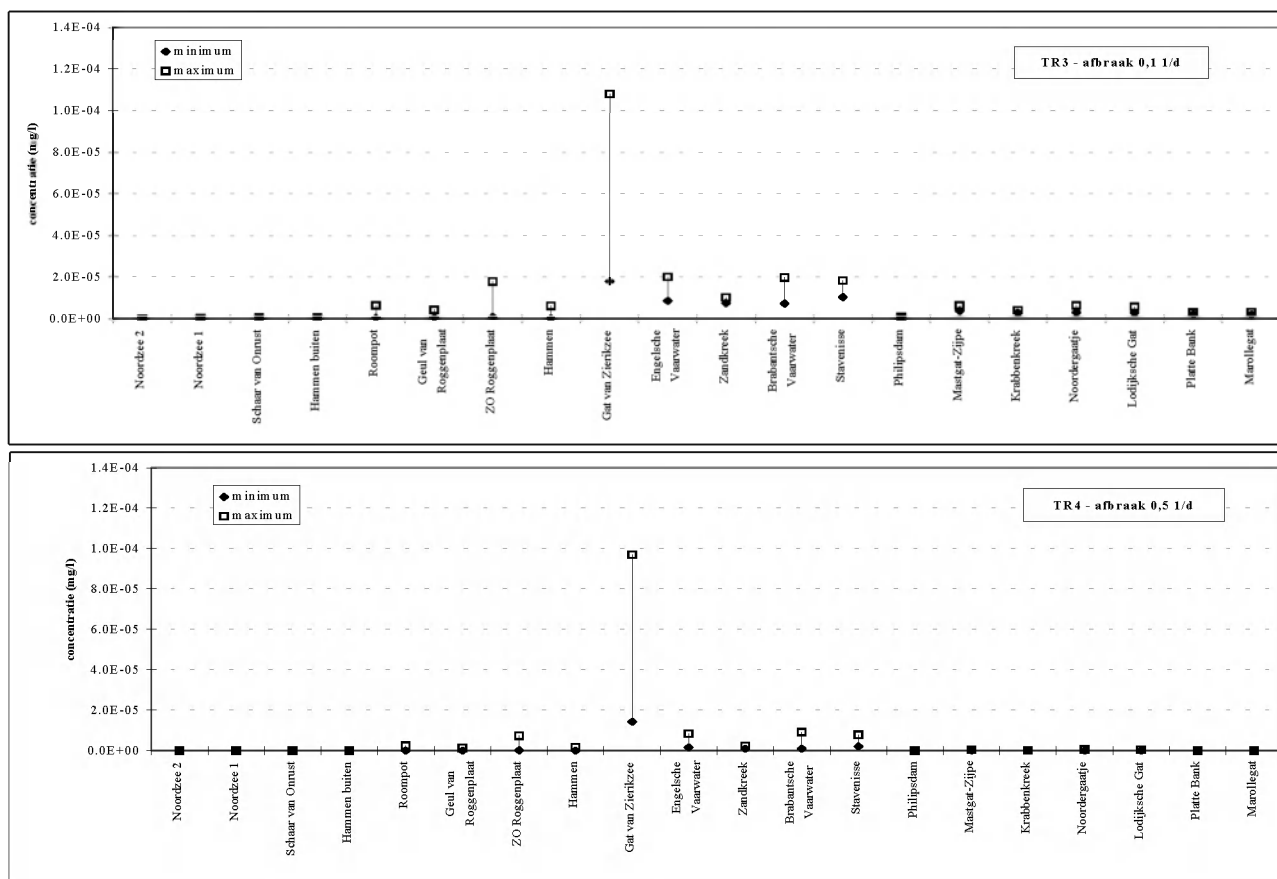
Aan het eind van de berekening van 60 dagen heeft zich nog geen dynamisch evenwicht ingesteld in de gebieden met een lange verversingstijd (Figuur T1 en T3), aangezien de concentratie nog steeds toeneemt. Opvallend is dat de concentratie ten oosten van de munitiestort een vrijwel constante waarde van 2 tot 3×10^{-5} mg/l is (Figuur T11). Richting de Noordzee neemt de concentratie wel af door verdunning met het Noordzeewater.

Tabel 3.1 geeft per locatie de minimum en maximum concentratie van de vrijgekomen stof na een simulatieperiode van 60 dagen. Figuur 3.2 laat de minimum en maximum concentratie zien, waarbij de monitorlocaties

ruwweg een doorsnede van de Oosterschelde representeren (zie ook Figuur 3.1).

Tabel 3.1 Minimum en maximum concentratie per locatie bij een verschillende afbraaksnelheid (een cursief gedrukte waarde geeft aan dat in het model nog geen evenwichtconcentratie is bereikt na 60 dagen voor de betreffende locatie, zie ook de discussie in hoofdstuk 4)

locatie	<i>TR1 - geen afbraak</i>		<i>TR2 - afbraak 0,01 1/d</i>		<i>TR3 - afbraak 0,1 1/d</i>		<i>TR4 - afbraak 0,5 1/d</i>	
	minimum	maximum	minimum	maximum	minimum	maximum	minimum	maximum
Noordzee 2	$1,72 \times 10^{-7}$	$4,37 \times 10^{-7}$	$1,45 \times 10^{-7}$	$3,71 \times 10^{-7}$	$4,59 \times 10^{-8}$	$1,26 \times 10^{-7}$	$2,52 \times 10^{-9}$	$9,16 \times 10^{-9}$
Noordzee 1	$1,42 \times 10^{-7}$	$6,81 \times 10^{-7}$	$1,19 \times 10^{-7}$	$5,80 \times 10^{-7}$	$3,74 \times 10^{-8}$	$2,02 \times 10^{-7}$	$1,95 \times 10^{-9}$	$1,61 \times 10^{-8}$
Schaar van Onrust	$5,00 \times 10^{-7}$	$2,68 \times 10^{-6}$	$4,23 \times 10^{-7}$	$2,28 \times 10^{-6}$	$1,36 \times 10^{-7}$	$7,92 \times 10^{-7}$	$7,65 \times 10^{-9}$	$6,16 \times 10^{-8}$
Hammen buiten	$3,53 \times 10^{-7}$	$1,90 \times 10^{-6}$	$3,01 \times 10^{-7}$	$1,64 \times 10^{-6}$	$1,06 \times 10^{-7}$	$6,53 \times 10^{-7}$	$8,06 \times 10^{-9}$	$8,83 \times 10^{-8}$
Roompot	$1,80 \times 10^{-6}$	$1,31 \times 10^{-5}$	$1,54 \times 10^{-6}$	$1,18 \times 10^{-5}$	$5,43 \times 10^{-7}$	$6,52 \times 10^{-6}$	$4,52 \times 10^{-8}$	$2,56 \times 10^{-6}$
Geul van Roggenplaat	$1,90 \times 10^{-6}$	$9,57 \times 10^{-6}$	$1,63 \times 10^{-6}$	$8,51 \times 10^{-6}$	$6,30 \times 10^{-7}$	$4,34 \times 10^{-6}$	$7,07 \times 10^{-8}$	$1,41 \times 10^{-6}$
ZO Roggenplaat	$2,67 \times 10^{-6}$	$3,50 \times 10^{-5}$	$2,32 \times 10^{-6}$	$3,15 \times 10^{-5}$	$9,64 \times 10^{-7}$	$1,79 \times 10^{-5}$	$1,42 \times 10^{-7}$	$7,42 \times 10^{-6}$
Hammen	$7,86 \times 10^{-7}$	$1,44 \times 10^{-5}$	$6,75 \times 10^{-7}$	$1,27 \times 10^{-5}$	$2,54 \times 10^{-7}$	$6,24 \times 10^{-6}$	$2,73 \times 10^{-8}$	$1,71 \times 10^{-6}$
Gat van Zierikzee	$2,39 \times 10^{-5}$	$1,25 \times 10^{-4}$	$2,27 \times 10^{-5}$	$1,21 \times 10^{-4}$	$1,80 \times 10^{-5}$	$1,08 \times 10^{-4}$	$1,43 \times 10^{-5}$	$9,70 \times 10^{-5}$
Engelsche Vaarwater	$2,27 \times 10^{-5}$	$3,94 \times 10^{-5}$	$1,98 \times 10^{-5}$	$3,55 \times 10^{-5}$	$8,64 \times 10^{-6}$	$2,02 \times 10^{-5}$	$1,57 \times 10^{-6}$	$8,48 \times 10^{-6}$
Zandkreek	$1,85 \times 10^{-5}$	$2,57 \times 10^{-5}$	$1,62 \times 10^{-5}$	$2,24 \times 10^{-5}$	$7,57 \times 10^{-6}$	$1,03 \times 10^{-5}$	$1,01 \times 10^{-6}$	$2,41 \times 10^{-6}$
Brabantsche Vaarwater	$2,72 \times 10^{-5}$	$3,90 \times 10^{-5}$	$2,27 \times 10^{-5}$	$3,49 \times 10^{-5}$	$7,27 \times 10^{-6}$	$1,98 \times 10^{-5}$	$8,81 \times 10^{-7}$	$9,21 \times 10^{-6}$
Stavenisse	$3,06 \times 10^{-5}$	$3,82 \times 10^{-5}$	$2,62 \times 10^{-5}$	$3,41 \times 10^{-5}$	$1,04 \times 10^{-5}$	$1,84 \times 10^{-5}$	$2,12 \times 10^{-6}$	$7,84 \times 10^{-6}$
Philipsdam	<i>$1,94 \times 10^{-5}$</i>	<i>$2,07 \times 10^{-5}$</i>	$1,32 \times 10^{-5}$	$1,43 \times 10^{-5}$	$7,94 \times 10^{-7}$	$1,01 \times 10^{-6}$	$1,37 \times 10^{-9}$	$3,12 \times 10^{-9}$
Mastgat-Zijpe	$2,76 \times 10^{-5}$	$2,96 \times 10^{-5}$	$2,12 \times 10^{-5}$	$2,40 \times 10^{-5}$	$3,76 \times 10^{-6}$	$6,51 \times 10^{-6}$	$1,16 \times 10^{-7}$	$5,53 \times 10^{-7}$
Krabbenkreek	$2,72 \times 10^{-5}$	<i>$2,82 \times 10^{-5}$</i>	$2,05 \times 10^{-5}$	$2,18 \times 10^{-5}$	$2,96 \times 10^{-6}$	$4,13 \times 10^{-6}$	$4,30 \times 10^{-8}$	$1,39 \times 10^{-7}$
Noordergaatje	<i>$2,48 \times 10^{-5}$</i>	<i>$2,59 \times 10^{-5}$</i>	$1,88 \times 10^{-5}$	$2,13 \times 10^{-5}$	$3,00 \times 10^{-6}$	$6,45 \times 10^{-6}$	$6,42 \times 10^{-8}$	$5,92 \times 10^{-7}$
Lodijksche Gat	<i>$2,47 \times 10^{-5}$</i>	<i>$2,63 \times 10^{-5}$</i>	$1,87 \times 10^{-5}$	$2,13 \times 10^{-5}$	$2,92 \times 10^{-6}$	$5,85 \times 10^{-6}$	$6,20 \times 10^{-8}$	$4,74 \times 10^{-7}$
Platte Bank	<i>$2,40 \times 10^{-5}$</i>	<i>$2,49 \times 10^{-5}$</i>	<i>$1,77 \times 10^{-5}$</i>	<i>$1,90 \times 10^{-5}$</i>	$2,13 \times 10^{-6}$	$3,13 \times 10^{-6}$	$1,89 \times 10^{-8}$	$7,61 \times 10^{-8}$
Marollegat	<i>$2,39 \times 10^{-5}$</i>	<i>$2,49 \times 10^{-5}$</i>	$1,76 \times 10^{-5}$	$1,90 \times 10^{-5}$	$2,11 \times 10^{-6}$	$3,17 \times 10^{-6}$	$1,95 \times 10^{-8}$	$8,10 \times 10^{-8}$



Figuur 3.2 Minimum en maximum concentratie per monitorlocatie bij een verschillende afbraaksnelheid.

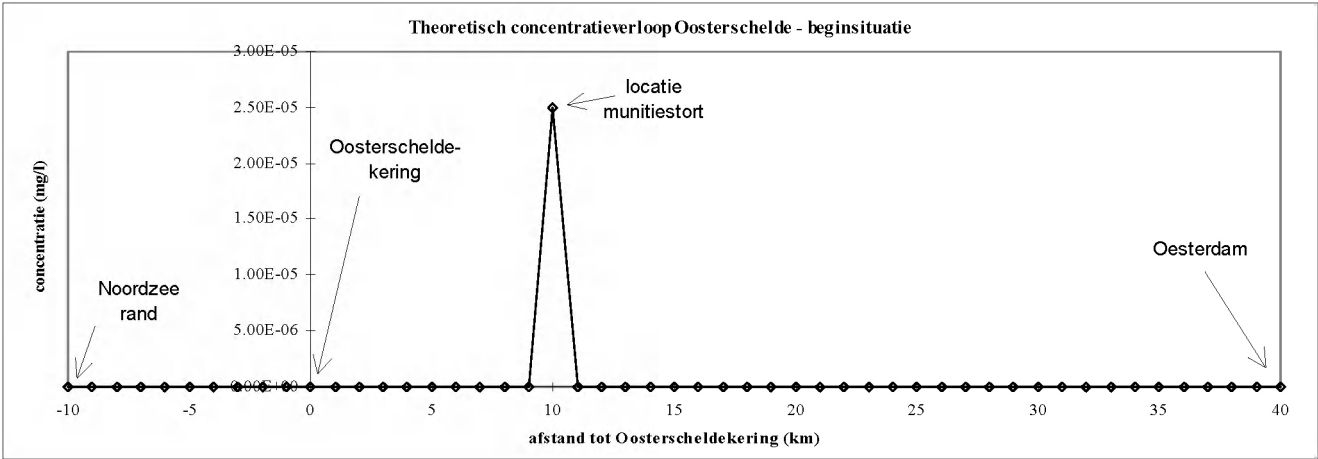
5.7 Discussie

De modelberekeningen tonen aan dat de verversing van het oostelijk deel van de Oosterschelde per etmaal betrekkelijk gering is. De gebieden bij de Grevelingendam, Philipsdam en Oesterdam fungeren voornamelijk als komberging voor het getij en de stroomsnelheden zijn gering (zie ook Alkyon, 1999). Het transport van (opgeloste) stoffen zal in de genoemde gebieden voor een belangrijk deel via dispersie verlopen en in mindere mate door advectie.

Een aantal aspecten met betrekking tot de hydrodynamica resulteert mogelijk in een onderschatting van de verversing:

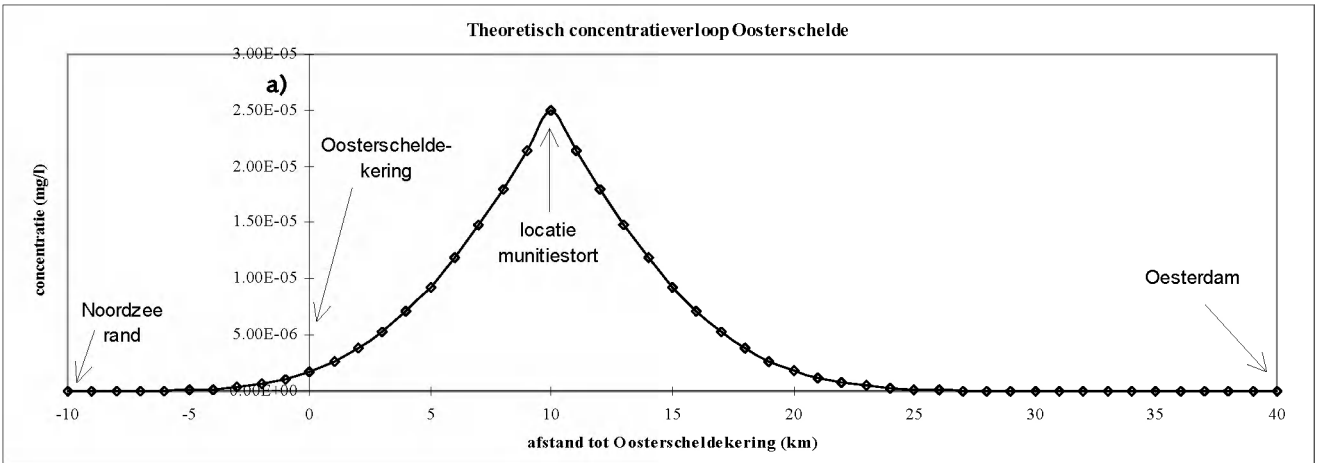
- Doordat een gemiddeld getij is gehanteerd wordt het dispersieve karakter van onder andere de springtij/doodtij cyclus, variabele windsterkte en windrichting niet in de berekening meegenomen.
- Hoewel de debieten op de Oosterschelde van en naar de Grevelingen, het Volkerak en het Zoommeer gering zijn, vinden ze juist plaats in de gebieden met een lange verblijftijd. Het niet meenemen van deze debieten in de hydrodynamica kan, hoewel onbelangrijk voor de grootschalige waterbeweging, mogelijk lokaal wel van invloed zijn.

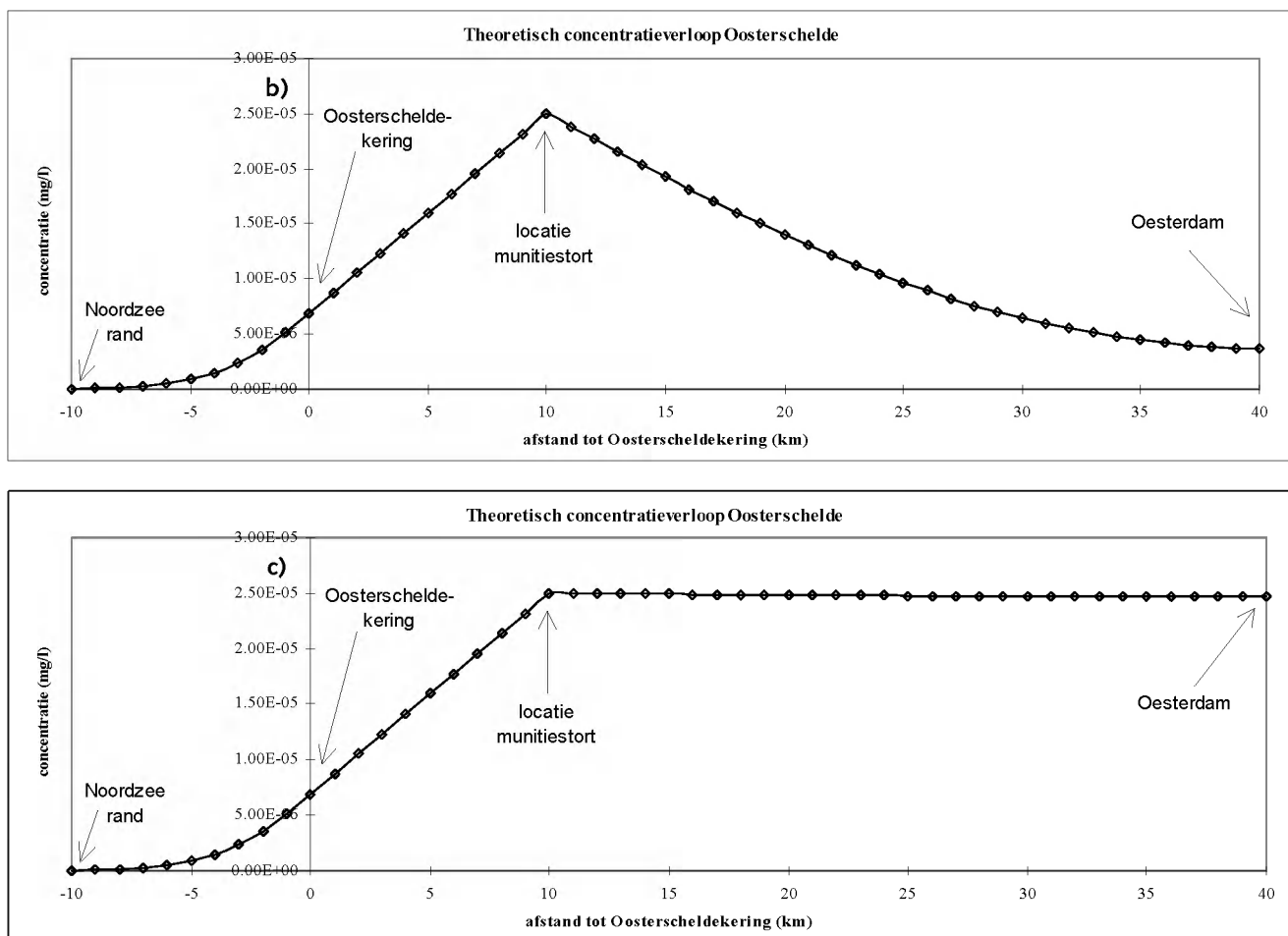
Wanneer gerekend wordt met een conservatieve stof (geen afbraak), krijgt het water in de Oosterschelde uiteindelijk een vrijwel identieke concentratie. Met een schematisch voorbeeld is aan te geven hoe dat komt. Veronderstel de Oosterschelde schematisch als een 1-dimensionaal langgerekte systeem met aan een kant een opening naar zee. Veronderstel vervolgens dat een continue lozing ter hoogte van de munitiestort overeenkomt met een constante concentratie. De beginsituatie ziet er dan uit als figuur 4.1.



Figuur 4.1 Initiële situatie theoretische verspreiding van een lozing in een afgesloten kanaal

De volgende vereenvoudiging is dat in de Oosterschelde transport alleen door dispersie kan plaatsvinden (ofwel het netto advectioneel transport door het getij wordt als nul verondersteld). Vanaf de Oosterscheldekering richting de Noordzee vindt echter verversing plaats met ‘schoon’ water.





Figuur 4.2 Theoretisch concentratieprofiel in de Oosterschelde indien ter hoogte van de munitiestort een constante concentratie wordt opgelegd

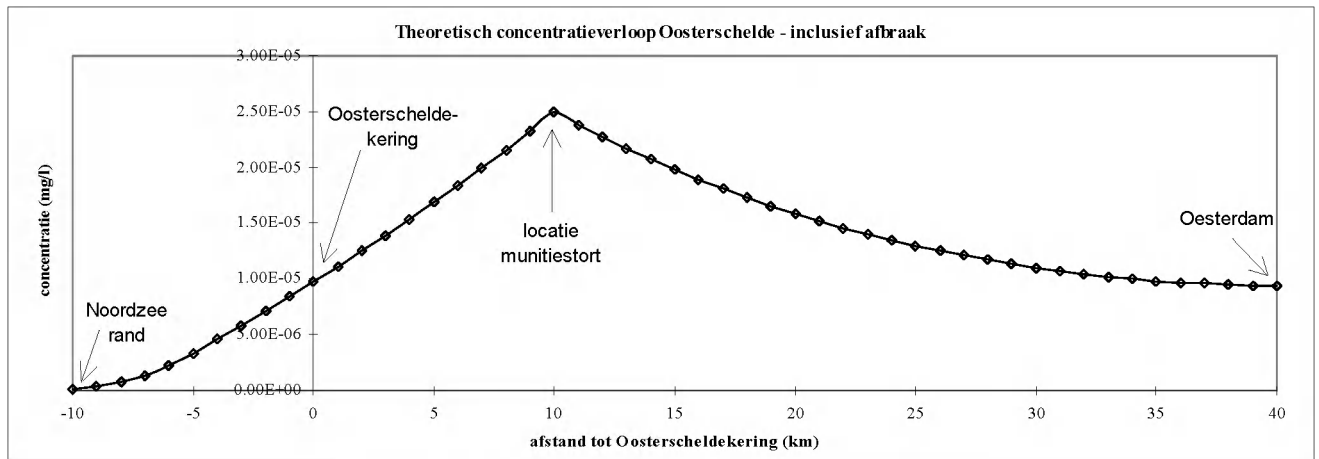
Figuur 4.2 vertoont het verloop van de concentratie met de tijd. Na vrij korte tijd vormt zich een uitgesmeerde piek met een verhoogde concentratie (Figuur 4.2a). Merk op dat de piek nog een symmetrische vorm heeft. In Figuur 4.2b is het effect van de verversing met Noordzeewater te zien. Terwijl richting de Oesterdam de concentratie nog steeds toeneemt, blijft de concentratie aan de Noordzezijde duidelijk achter, hetgeen resulteert in een asymmetrische piek. De eindsituatie wordt weergegeven in Figuur 4.2c. De gehele Oosterschelde ten oosten van de munitiestort heeft door dispersie dezelfde concentratie aangenomen als ter hoogte van de munitiestort. Er vindt geen netto stoftransport meer plaats. Ten westen van de munitiestort blijft een gradiënt bestaan, doordat de stof hier afgevoerd wordt met het Noordzeewater. Het profiel in Figuur 4.2c is goed te vergelijken met het berekende profiel in Figuur 3.2.

De werkelijkheid wijkt op een aantal punten af van de hier geschetste situatie:

- Het transport, zowel advectioneel als dispersief, zal niet constant zijn (variatie in getij, wind, e.d.);
- Ook in het oosten van de Oosterschelde vindt verversing dan wel uitwisseling plaats (Grevelingen, Volkerak, Zoommeer);

- Diverse processen waaronder afbraak maar ook bijvoorbeeld adsorptie aan zwevend stof, zullen van invloed zijn op de concentratie.

Indien afbraak in beschouwing wordt genomen, ontwikkeld zich een profiel als in Figuur 4.3. Ook dit profiel laat zich goed vergelijken met de berekende profielen in Figuur 3.2.



Figuur 4.3 Theoretisch concentratieprofiel indien afbraak wordt toegevoegd

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een gemiddeld getij. Een 'worst case' scenario zou uitgaan van een zo gering mogelijke uitwisseling met de Noordzee, waardoor de concentratie in de Oosterschelde hoger kan oplopen. Deze situatie doet zich voor tijdens een doottij en bij windstilte. Echter gezien de gemiddelde verblijftijd van circa 30 dagen zal deze situatie zich in werkelijkheid nooit voordoen.

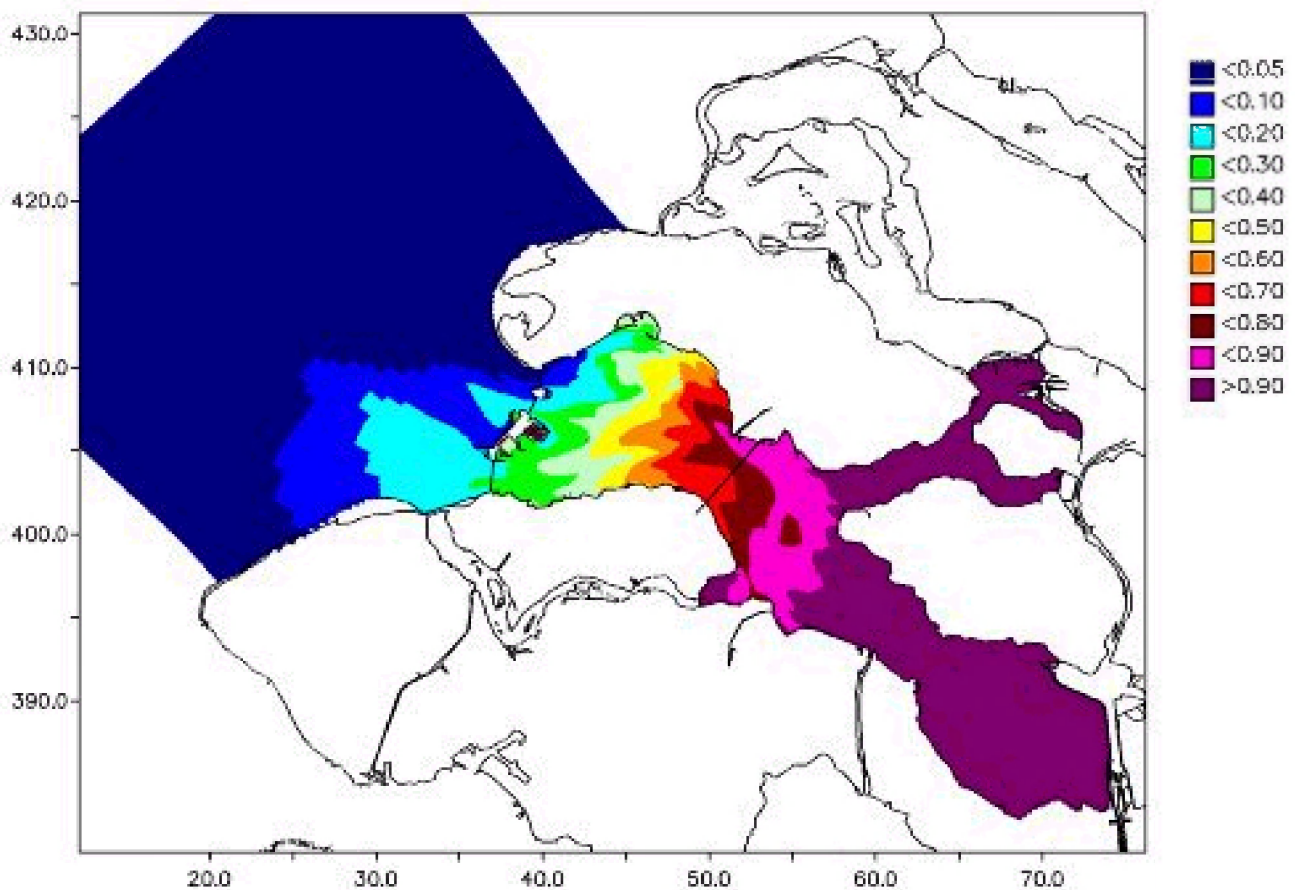
Bijlage 2.

Deze bijlage bevat drie figuren uit Bijlage B van het rapport: "Tracerberekeningen Oosterschelde", nr. Z3118, van WL I Delft Hydraulics.
De nummering van de figuren is onveranderd.

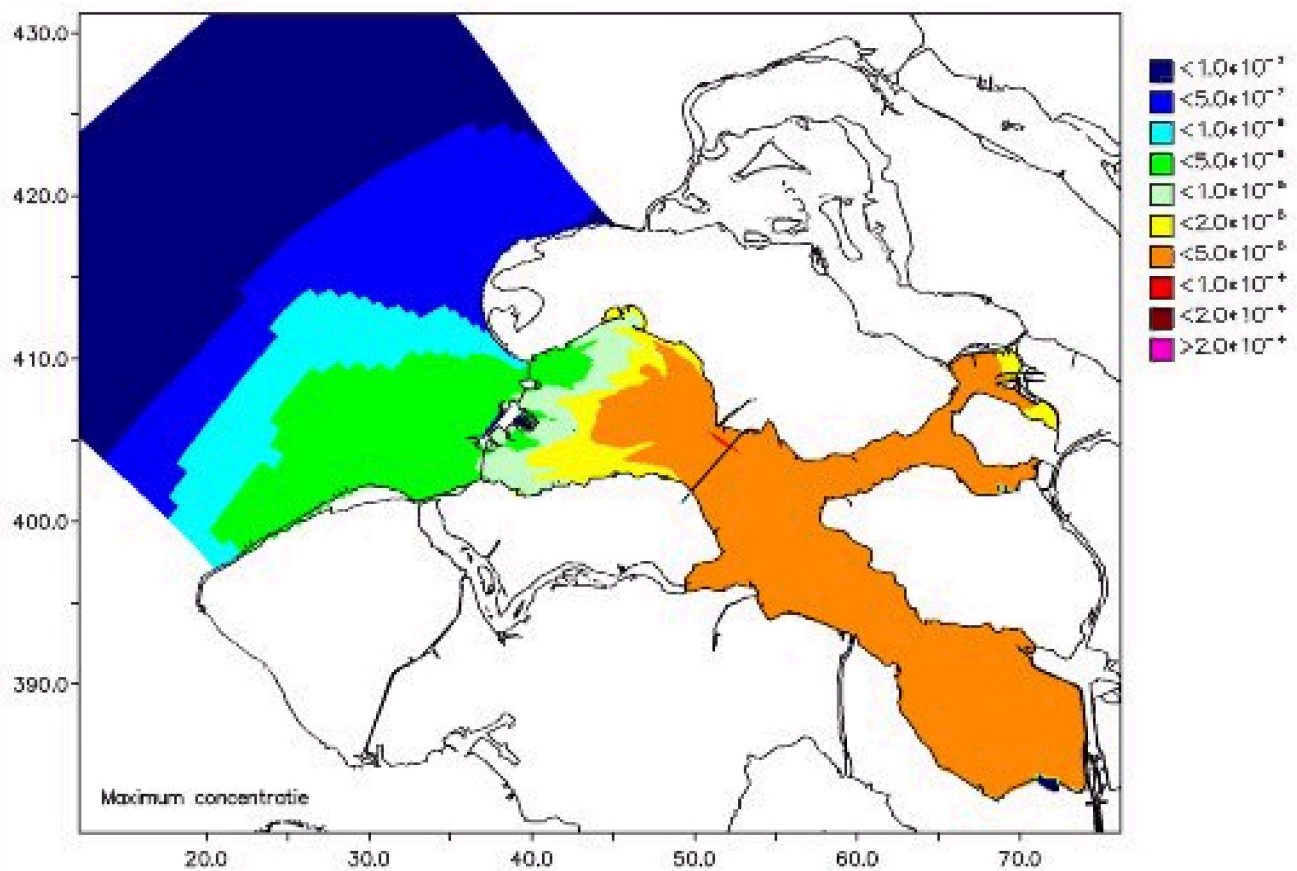
Fig. V11. Verversing van de Oosterschelde met Noordzeewater na een week.

Toelichting:

In de omgeving van de munitiestort is na een week nog 80 tot 90 procent van het Oosterscheldewater aanwezig. Na acht weken zal daar nog maar 10 procent van het Oorspronkelijke Oosterscheldewater aanwezig zijn.



Figuur T11. Emissie vanuit de munitiestort - geen afbraak.
Maximum concentratie gedurende een getij.
Concentratie in mg/l, bij een continue emissie van 1 ton per jaar.



Maximum optredende concentratie binnen een periode van 60 dagen na een momentane emissie van 3,9 kg uit de munitiestort.

