



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling

Verspreiding van microverontreinigingen tijdens en na het storten van baggerspecie in een diepe put in het Volkerak/Zoommeer

Notanr. 95.004

Dit rapport is te bestellen bij Hageman Verpakkers, Postbus 281, 2700 AG Zoetermeer à f 25,- per stuk.
Betaling na levering ; een acceptgiro wordt bijgevoegd.
Het rapport is gratis voor dienstonderdelen van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

This publication can be ordered trough Hageman Verpakkers, PO Box 281, 2700 AG Zoetermeer,
The Netherlands at DFL 25,- per copy. Payment on delivery.



Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat

RIZA Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling

**Verspreiding van microverontreinigingen tijdens en
na het storten van baggerspecie in een diepe put
in het Volkerak/Zoommeer**

RIZA nota nr. :95.004
ISBN-nr. :9036900158

B.P.C. Steenkamp
G.A.J. Mol
C.A. Schmidt

augustus 1994

INHOUD

Samenvatting	i
1. Inleiding	1
1.1 Probleemstelling	1
1.2 Doelstelling	2
2. Verspreidingsprocessen	3
2.1 Verspreidingsprocessen tijdens de vulfase	3
2.2 Verspreidingsprocessen tijdens de eindfase	6
3. Uitgangspunten bij de kwantificering van de verontreinigingsfluxen . .	9
4. Berekening van de consolidatiedebieten	13
4.1 Algemeen	13
4.2 Werkwijze	14
4.3 Berekeningsscenario's en uitgangspunten	15
4.4 Berekeningsresultaten	20
5. Kwantificering van de verontreinigingsfluxen	23
5.1 Organische microverontreinigingen	23
5.2 Zware metalen	29
5.3 Verspreiding als gevolg van diffusie gedurende de eindfase . .	32
6. Discussie	37
7. Conclusies	39
Referenties	41

Bijlagen 1 t/m 8 Verontreinigingsfluxen tijdens de vulfase en de eindfase door de verschillende processen per scenario (exclusief de diffusieflux)

Samenvatting

De Directie Zeeland heeft het RIZA verzocht om een prognose te maken van de verspreiding van verontreinigingen naar het oppervlaktewater tijdens en na het storten van klasse 2 onderhoudsbaggerspecie in een diepe put in het Volkerak/Zoommeer. De gevraagde informatie is nodig voor de onderbouwing van een beleidsstandpunt ten aanzien van een dergelijke storting.

De verspreiding van verontreinigingen is ingeschat voor het storten van specie in de diepe put ten noorden van de Krammersluizen en in de diepe put ten oosten van de Bergsche Diep sluis. Er zijn twee mogelijke vulscenario's doorgerekend, t.w. storten van 100.000 m³ in situ specie in 5 jaar en storten van 250.000 m³ in situ specie in 10 jaar. In de Bergsche Diep put kan overigens vanwege het geringere volume onder een niveau van NAP-15,5 m maximaal 188.000 m³ (in situ) specie in 10 jaar hydraulisch worden gestort.

Voor het berekenen van de verspreiding is gebruik gemaakt van een door het RIZA ontwikkeld model [Mol, G.A.J. e.a, 1994, rapportage in voorbereiding]. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het storten van de specie met onderlossers en het hydraulisch storten van de specie via een stortpijp en een diffusor. Bij de eerste stortmethode is verspreiding van verontreinigingen mogelijk als gevolg van menging van poriënwater en desorptie tijdens het storten en door consolidatie. Bij hydraulisch storten zal (bij een zorgvuldige uitvoering) alleen verspreiding als gevolg van consolidatie optreden. In de eindfase (de periode na afloop van de vulfase) zal verspreiding optreden als gevolg van consolidatie en door diffusie. Verspreiding als gevolg van erosie van de bodem wordt in verband met de grote diepteligging van het specieoppervlak (minimaal NAP-15,5 m) en de geringe stroomsnelheden uitgesloten geacht.

N.B. Voor een aantal parameters in het model is gebruik gemaakt van veldwaarnemingen bij speciestortingen met onderlossers in de put Cromstrijen (Hollandsch Diep). Een verificatie van het model voor speciestortingen in andere putten heeft nog niet plaats gevonden. De rapportage over de modelopzet bevindt zich thans in de conceptfase.

De voor deze studie benodigde consolidatiedebieten zijn door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat berekend met het model FSCONBAG. Bij gebrek aan gegevens van de te storten specie zijn de consolidatieparameters gebruikt van specie uit het Slufterdepot en uit het Ketelmeer. Er zijn ook verspreidingsberekeningen gemaakt met een overschatting van de consolidatiedebieten.

Voor de verspreidingsberekeningen is de kwaliteit van de te storten specie in overleg met de Directie Zeeland voor γ -HCH, fluorantheen, benzo(a)pyreen, benzo(b)fluorantheen, cadmium en kwik gelijk gesteld aan de toetsingswaarden en voor PCB28, PCB153 en 2,4-DDT gelijk gesteld aan de grenswaarden voor de betreffende stoffen. Voor het organisch stofgehalte is 10 % (standaardbodem) aangehouden.

Uit de berekeningsresultaten zijn de volgende conclusies getrokken.

De fluxen tijdens de vulfase zijn gering. Bij storten met onderlossers is de verspreiding groter dan bij toepassing van een diffusor. Relatief ten opzichte van de gestorte massa bedraagt bij storten met onderlossers de flux γ -HCH 1,1 % en bij overschatting van de consolidatie 1,6 % en respectievelijk 0,6 en 1,0 % bij storten met een diffusor. De relatieve fluxen van de overige onderzochte stoffen zijn geringer dan die van γ -HCH vanwege de hogere verdelingscoëfficiënten.

Tijdens de eindfase (de periode na de vulfase) ligt de totale flux als gevolg van consolidatie voor beide stortmethoden in dezelfde orde van grootte. De fluxen zijn zeer gering. Voor bijvoorbeeld γ -HCH bedraagt de totale flux bij storten van 250.000 m³ in 10 jaar ca 0,05 % van de gestorte massa γ -HCH. Bij een overschatting van het consolidatiedebiet is dit 0,4 %. Voor de overige stoffen is dit percentage een factor 10 of meer lager.

De verspreiding van cadmium en kwik is zowel tijdens de vulfase als tijdens de eindfase zeer gering.

Het geschatte massatransport vanuit de specie naar het oppervlaktewater als gevolg van diffusie in de eindfase is, in tegenstelling tot het transport als gevolg van consolidatie, niet verwaarloosbaar klein. Door natuurlijke sedimentatie zal de gestorte specie in de loop der tijd worden afgedekt. Daardoor zal een diffusieremmende laag ontstaan met mogelijk ook een adsorberende werking. De diffusieflux neemt hierdoor af.

Eindconclusie:

Voor het bergen van klasse 2 specie in een diepe put in het Volkerak/Zoommeer kan worden gesteld dat bij een zorgvuldige uitvoering van het storten de verspreiding van microverontreinigingen gering is ten opzichte van de massa's van de verontreinigingen in de gestorte specie. Bij het storten met behulp van een diffusor is de verspreiding geringer dan bij storten met onderlossers.

Benadrukt wordt hierbij dat de uitgevoerde studie betrekking heeft op klasse 2 specie. Hogere verontreinigingsgehalten geven een meer dan lineair effect op de verspreiding omdat het verschil tussen de gehalten in de specie en het achtergrondgehalte (gehalte in het zwevend stof van het oppervlaktewater) relatief groter wordt.

Een ander belangrijk uitgangspunt voor de berekeningen is dat het baggeren, transporteren en storten op een milieuhygiënisch verantwoorde wijze wordt uitgevoerd. Indien met lagere dichtheden wordt gestort dan in de berekeningen is aangehouden (zie paragraaf 4.3) zal de verspreiding groter zijn.

1. Inleiding

1.1 Probleemstelling

Bij het op diepte houden van de havens langs het Volkerak/Zoommeer komt baggerspecie vrij. Een mogelijke optie voor het bergen van deze specie is storten in een van de diepe putten in het Volkerak/Zoommeer. Tijdens en na het storten kunnen verontreinigingen uit de specie vrijkomen in het oppervlaktewater en in het grondwater.

Ter voorbereiding van het bepalen van een beleidsstandpunt inzake het storten van klasse 2 specie in een put in het Volkerak/Zoommeer heeft de Directie Zeeland aan het RIZA gevraagd inzicht te verschaffen in de grootte van de verontreinigingsfluxen van γ -HCH, fluorantheen, benzo(a)pyreen, benzo(b)fluorantheen, PCB28, PCB153, 2,4-DDT, cadmium en kwik naar het oppervlaktewater tijdens en na de stortactiviteiten.

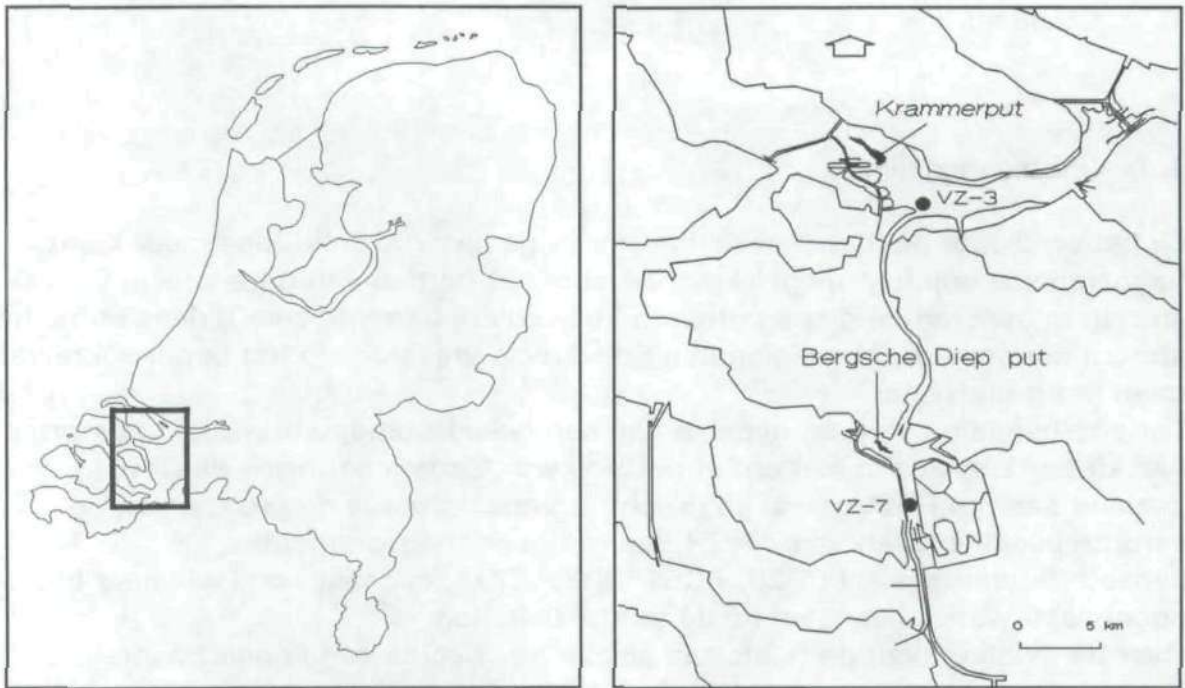
Over de kwaliteit van de te storten specie zijn slechts een beperkt aantal gegevens bekend. In overleg met de Directie Zeeland zijn voor deze studie de volgende uitgangspunten gehanteerd. Voor stoffen met een gehalte lager dan de detectiegrens zijn de gehalten gelijk gesteld aan de grenswaarden (klasse 1/2 grens). Dit geldt voor PCB28, PCB153 en 2,4-DDT. Voor de individuele PAK's, γ -HCH, cadmium en kwik zijn enkele cijfers beschikbaar waaruit blijkt dat de gehalten liggen tussen de grenswaarde en de toetsingswaarde. Voor deze stoffen is het gehalte in de specie gelijk gesteld aan de toetsingswaarde (klasse 2/3 grens). Als organisch stofgehalte van de specie is een waarde van 10 % (= standaard bodem) aangehouden.

Uitgangspunt in de berekeningen is dat er milieuhygiënisch verantwoord gebaggerd, getransporteerd en gestort wordt, d.w.z. dat de belasting van het milieu geminimaliseerd wordt. Dit houdt in deze studie met name in dat wordt voldaan aan de in paragraaf 4.3 vermelde dichtheden tijdens het storten met onderlossers of via een stortpijp met diffusor. Indien met lagere dichtheden wordt gestort zal de verspreiding groter zijn dan is berekend.

De eventuele stortlocaties zijn:

- * een diepe put direct ten noorden van de Krammersluizen met een grootste diepte van NAP-24,5 m (in deze studie verder Krammerput genoemd)
- * een diepe put ten oosten van de Bergsche Diep sluis met een grootste diepte van NAP-21.9 m (in deze studie verder Bergsche Diep put genoemd)

De lokaties van de putten zijn in figuur 1 aangegeven.



Figuur 1. Lokatie Krammerput en Bergsche Diep put.

1.2 Doelstelling

De doelstelling van deze studie is het kwantificeren van verontreinigingsfluxen naar het oppervlaktewater tijdens en na het storten van klasse 2 onderhoudsbaggerspecie in de Krammerput en de Bergsche Diep put voor een tweetal vulscenario's (100.000 m³ in situ specie in 5 jaar en 250.000 m³ in 10 jaar).

De berekeningen zijn uitgevoerd voor twee fases: de vulfase en de daarna volgende eindfase.

De vulfase is gedefinieerd als de periode tussen de start en het einde van de speciestortingen (voor de beide scenario's respectievelijk 5 en 10 jaar), de eindfase als de periode na het einde van de speciestortingen.

Voor de vulfase zijn de fluxen berekend als gevolg van menging van poriënwater, desorptie en consolidatie; voor de eindfase zijn naast de fluxen als gevolg van consolidatie ook inschattingen gemaakt van de fluxen als gevolg van diffusie. De flux ten gevolge van diffusie tijdens de vulfase is verwaarloosbaar klein ten opzichte van de andere fluxen.

2. Verspreidingsprocessen

In dit hoofdstuk worden de verspreidingsprocessen beschreven tijdens de vul- en de eindfase. Overeenkomstig de vraagstelling van de Directie Zeeland beperkt deze studie zich tot de verspreiding van de verontreinigingen naar het oppervlaktewater.

2.1 Verspreidingsprocessen tijdens de vulfase

In deze paragraaf zullen de verspreidingsprocessen die bij twee storttechnieken optreden beschreven worden [Mol, G.A.J. e.a., 1994]. Deze storttechnieken zijn:

- * hydraulisch storten vanuit een bak met behulp van een stortpijp en een diffusor
- * storten met onderlossers

hydraulisch storten met behulp van een diffusor

Bij deze stortmethode wordt de specie per bak aangevoerd en vervolgens, eventueel na verdunning met water, met een relatief lage dichtheid hydraulisch via een stortpijp met een wijde uitstroomopening (= diffusor) in de put gebracht. De specie wordt hierbij met een geringe snelheid vlakbij de bodem of het reeds gestorte specieoppervlak als het ware rustig neergelegd. Hierbij blijft resuspensie van de reeds gestorte specie en de nieuw gestorte specie tot een minimum beperkt. In deze studie is aangenomen dat de techniek zorgvuldig wordt uitgevoerd zodat tijdens het stortproces geen verspreiding van verontreinigingen naar het oppervlaktewater plaats vindt. Er is bij deze wijze van storten dan alleen een verontreinigingsflux als gevolg van het vrijkomen van poriënwater dat door consolidatie wordt uitgedreven. De verspreiding als gevolg van diffusie is tijdens de vulfase verwaarloosbaar klein.

storten met een onderlosser

De specie wordt bij deze stortmethode met hoge dichtheid met onderlossers tot boven de put aangevoerd en door het openen van de kleppen gestort. De specie valt vervolgens min of meer als één geheel naar de bodem. Aan de randen zal enig verlies aan materiaal en poriënwater optreden. Op het moment dat de speciemaassa de bodem raakt, zal opwerveling plaatsvinden van reeds aanwezige specie en van een deel van de ingebrachte specie.

N.B. Met nadruk wordt er op gewezen dat in deze studie de specie bij het storten met onderlossers een hoge dichtheid heeft (1420 kg/m^3). Dit kan alleen worden bereikt indien de specie b.v. met grijpers wordt gebaggerd en zonder bijmenging met water naar de put wordt getransporteerd en vervolgens wordt gestort. Het storten van specie met een lagere dichtheid met onderlossers zal een grotere verspreiding tot gevolg hebben.

In 1984 is een veldonderzoek uitgevoerd naar de verspreiding van slib bij speciestortingen met een onderlosser in depot Cromstrijen in het Hollandsch Diep [Mol, G.A.J., 1984]. De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek zijn:

- * Stortingen van 500 m³ specie veroorzaakten meetbare concentratieverhogingen van het zwevend stof in een waterpakket van 2 à 3 m dikte boven de waterbodem over een gebied met een oppervlakte van 10.000 m². Dit is ca 8 % van de totale bodemoppervlakte van het depot te Cromstrijen.
- * In dit waterpakket, met een maximaal volume van 30.000 m³, was de toename van het zwevend stofgehalte maximaal 155 mg/l. De gemiddelde waarde van de toename van het zwevend stofgehalte bedroeg 86 mg/l (1 % van de gestorte specie).
- * Het grootste gedeelte van het opgewervelde slib was binnen 20 minuten bezonken.

De stortdiepte in de putten in het Volkerak/Zoommeer is 2 tot 2,5 maal groter dan die in de put Cromstrijen. Het is hierdoor denkbaar dat de concentratietoename van het zwevend stof in de door de stort beïnvloede waterschijf groter is in deze putten. Bij de berekeningen in dit werkdocument is daarom veiligheidshalve de bij de put Cromstrijen gevonden maximale zwevend stof toename (155 mg/l) als gemiddelde waarde aangehouden. Indien er sprake is van een waterbeweging als gevolg van een doorgaande stroming of onder invloed van de wind of scheepvaart kunnen de opgewervelde slibdeeltjes zich verplaatsen. De stroomsnelheden als gevolg van het waterbeheer in het Volkerak/Zoommeer zijn zeer gering; de stroming onder invloed van wind is onder een niveau van ca 5 m beneden de waterspiegel ook bij harde wind niet meer merkbaar. Omdat de putten in het Volkerak/Zoommeer tot maximaal NAP-15,5 m zullen worden gevuld zal de stroming boven het specieoppervlak ook als gevolg van scheepvaart verwaarloosbaar klein zijn. Verplaatsing van opgewerveld slib tot buiten de put wordt daarom zeer onwaarschijnlijk geacht.

Verwacht wordt dat sterk aan zwevende stof gebonden microverontreinigingen, zoals zware metalen en de meeste organische microverontreinigingen met een hoge verdelingscoëfficiënt, zich slechts in geringe mate zullen verspreiden, omdat verspreiding vrijwel alleen via het zwevend stof plaats vindt. Niet sterk gebonden microverontreinigingen zoals γ -HCH gaan in oplossing en zullen zich sterker verspreiden.

Bij het storten van specie m.b.v. een onderlosser komen opgeloste microverontreinigingen vrij als gevolg van:

- * menging van poriënwater met oppervlaktewater
- * desorptie van aan de specie gebonden verontreinigingen
- * uittreden van consolidatiewater

Menging van het poriënwater met het ontvangende oppervlaktewater

Door het snelheidsverschil tussen de specie en de omgeving tijdens het storten zullen deeltjes in suspensie komen. Het poriënwater dat zich bevindt in het gesuspendeerde deel van de specie zal zich mengen met het ontvangende oppervlaktewater.

Desorptie van de aan de specie gebonden verontreinigingen

De microverontreinigingen gebonden aan het deel van de gestorte specie dat in suspensie is gegaan, zullen als gevolg van desorptie deels in het water oplossen. De mate van desorptie hangt af van de desorptiesnelheid en de verdelingscoëfficiënt van de desbetreffende stof. Hoe sterker de stof geadsorbeerd is (hoge K_d of K_{poc}) hoe minder de stof in oplossing zal gaan. Naast POC (Particulair Organisch Carbon) in de specie is ook DOC (Dissolved Organic Carbon) als adsorbens aanwezig in het poriënwater en in het oppervlaktewater. De verdelingscoëfficiënt voor DOC is in het algemeen lager dan die voor POC. De DOC-concentratie van het oppervlaktewater in het Volkerak/Zoommeer is gemiddeld 5,3 mg/l [Schmidt, C.A. e.a., 1993]; van poriënwater \pm 40 mg/l [Gerrits, H.J. e.a., 1993].

Indien de gestorte specie een hogere concentratie aan slib-gebonden verontreinigingen heeft dan het zwevend slib in het oppervlaktewater zal de verontreiniging in oplossing gaan totdat er evenwicht bereikt is tussen het gehalte in het zwevend slib en in het oppervlaktewater. Het bereiken van dit evenwicht heeft een bepaalde tijd nodig, die uitgedrukt wordt in de desorptiesnelheid: k_2 [uur⁻¹]. Dit is de fractie van de aan het slib gebonden hoeveelheid verontreiniging die per tijdseenheid desorbeert. Onderscheid kan worden gemaakt in twee soorten desorptiesnelheden [Mol, G.A.J. e.a., 1994]:

- Bij **desorptie van de labiel gebonden fractie** wordt uitgegaan van een momentane evenwichtsinstelling.
- **Desorptie van de stabiel gebonden fractie** speelt zich af in grotere tijdseenheden (uren tot dagen).

De totale desorptie wordt berekend door eerst de desorptie van de labiele fractie te berekenen uit de verdelingscoëfficiënt en de zwevend-slibconcentratie in de waterschijf. Vervolgens wordt uit de desorptiesnelheid de desorptie van de resterende stabiele fractie bepaald in de periode dat het slib in suspensie is. De desorptiesnelheid wordt bepaald uit de snelheidsconstante die wordt beschreven met de vuistregel:

$$1/k_2 = 0,3 * K_p$$

waarin:

$$k_2 = \text{desorptiesnelheidsconstante van organische microverontreinigingen van de stabiele fractie [uur}^{-1}\text{]}$$
$$K_p = \text{verdelingscoëfficiënt voor de aan slib gebonden microverontreinigingen [l.kg}^{-1}\text{]}$$

De desorptiesnelheid van de stabiele fractie wordt berekend door:

$$V_{\text{des-st}} = k_2 * C_{\text{s-st}}$$

waarin:

$$V_{\text{des-st}} = \text{desorptiesnelheid van de stabiele fractie van de organische microverontreinigingen [mg.kg}^{-1}\text{.uur}^{-1}\text{]}$$

$$C_{\text{s-st}} = \text{stabiele fractie [mg.kg}^{-1}\text{]}$$

De desorptieflux is de desorptiesnelheid maal de tijdsduur.

Op basis van de verdelingscoëfficiënten van de verschillende stoffen wordt verwacht dat de desorptie van γ -HCH het hoogst is. Deze verontreiniging is te beschouwen als een representant van een niet sterk aan het zwevend stof gebonden organische microverontreiniging ($\log K_{\text{poc}} = 3,30$). Voor de overige organische microverontreinigingen en voor cadmium en kwik wordt verwacht dat de desorptie klein zal zijn vanwege de hoge adsorptiegraad aan slib ($\log K_{\text{poc}} = 5$ tot 7).

2.2 Verspreidingsprocessen tijdens de eindfase

Na de vulfase gaat het consolidatieproces (in steeds afnemende mate) theoretisch eeuwig door. Het grootste deel van het consolidatieproces vindt echter in de eerste jaren plaats. Als gevolg van de consolidatie komt verontreinigd poriënwater vrij in het oppervlaktewater (en grondwater). De beschrijving van het proces en de kwantificering van de consolidatiedebieten en de verontreinigingsfluxen wordt gegeven in hoofdstuk 4.

Naast de consolidatieflux kunnen ook verontreinigingen vanuit de gestorte specie in het oppervlaktewater komen door erosie van de bodem en als gevolg van diffusie.

Erosie van de bodem kan optreden door:

- stroming (windgedreven, afvoer)
- scheepvaart (golven, schroefstraal)
- windgolven

Ten aanzien van de mate van erosie van de gestorte specie kan het volgende worden gesteld. De specie zal maximaal tot een niveau van NAP-15,5 m worden gestort en vervolgens door consolidatie verder inklinken waardoor het oppervlak dieper komt te liggen en bovendien erosie-bestendiger wordt. Het specieoppervlak blijft ver beneden de invloedssfeer van wind- en scheepvaartgolven. Ook de sleepkracht door overstromend water zal vanwege de kleine debieten en het ruime doorstroomprofiel uitermate gering zijn. Gezien het bovenstaande wordt verspreiding van de gestorte specie door erosie uitgesloten geacht.

Diffusie vanuit de gestorte specie naar het oppervlaktewater treedt op als gevolg van het concentratieverschil tussen poriënwater en oppervlaktewater.

De diffusieflux is evenredig met de concentratiegradiënt.

Als gevolg van het diffusieproces zal in de bovenste zône van de stort de poriënwaterconcentratie afnemen. Daardoor ontstaat een diffusieremmende laag die geleidelijk in dikte zal toenemen. Ook kan door sedimentatie afdekking met schoner sediment plaatsvinden, waardoor de diffusieafstand toeneemt. De diffusieflux naar het oppervlaktewater zal daardoor een in de tijd afnemende tendens vertonen. In paragraaf 5.3 is een veilige inschatting van de grootte van de diffusieflux gemaakt waarbij geen rekening wordt gehouden met afdekking.

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

3. Uitgangspunten bij de kwantificering van de verontreinigingsfluxen

Bij de berekening van de fluxen naar het oppervlaktewater zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Onderlosser

- De specie wordt met grijpers gebaggerd en vervolgens met onderlossers naar de stortplaats getransporteerd. Het storten geschiedt door het openen van de kleppen van de onderlosser boven de betreffende put. De dichtheid van de te storten specie bedraagt 1420 kg/m^3 , deze dichtheid komt nagenoeg overeen met de dichtheid in situ. Er wordt dus geen water bijgemengd. Het stortvolume is gelijk aan het in situ volume van de specie.
- De verspreiding is berekend voor speciestortingen met een onderlosser met een beuninhoud van 500 m^3 .
- Uit metingen in het speci depot Cromstrijen is een indicatie verkregen van de mate van slibverspreiding bij storten met een onderlosser. Deze stortingen veroorzaakten een verhoging van het slibgehalte in een waterschijf met een volume van 30.000 m^3 .
- De flux van de in het poriënwater opgeloste verontreiniging naar het oppervlaktewater betreft alleen het volume poriënwater dat behoort bij het gedeelte van de specie dat in suspensie raakt tijdens het storten. Dit gedeelte van het poriënwater mengt zich volledig en momentaan met het oppervlaktewater.
- Er vindt momentane evenwichtinstelling plaats van de labielgebonden fractie met de gemiddelde hoeveelheid zwevend slib die aanwezig is in de waterschijf die door de storting beïnvloed wordt.
- Desorptie van de stabielgebonden microverontreinigingen vindt plaats gedurende de 20 minuten dat de specie in de waterschijf aanwezig is voordat deze bezinkt.
- De toename van de zwevend-slibconcentratie t.g.v. de storting bedraagt 155 mg/l [Mol, G.A.J., 1984]. De genoemde waarde is de maximale toename die bij metingen tijdens stortingen met onderlossers te Cromstrijen is waargenomen. De gemiddelde toename bedroeg 86 mg/l . Voor de berekeningen is, mede met het oog op de grotere stortdiepte bij de putten in het Volkerak/Zoommeer, veiligheidshalve de maximale toename als gemiddelde waarde aangehouden. Dit komt overeen met ca $1,3 \%$ van de gestorte specie.

Diffusor

- Om de specie hydraulisch te kunnen storten wordt de soortelijke massa van 1420 kg/m^3 (in situ dichtheid) verlaagd naar 1250 kg/m^3 door bijmenging met oppervlaktewater. Het stortvolume is daardoor 1,64 maal groter dan het in situ volume.
- Door het hoge slibgehalte in de beun is desorptie van de stabiele fractie verwaarloosbaar klein.
- Het storten wordt zorgvuldig uitgevoerd zodat geen opwerveling van specie plaats vindt.

Sorptie-eigenschappen

De desorptiesnelheden en verdelingscoëfficiënten (K_{poc} en K_{doc}) van de verschillende microverontreinigingen staan vermeld in tabel 3.1.

Tabel 3.1. Sorptie-eigenschappen van microverontreinigingen in de te storten specie [Gerrits, H.J. e.a., 1993].

	desorptiesnelheid stabiele fase	verdelingscoëfficiënten	
		log K_{poc}	log K_{doc}
	[uur ⁻¹]	[l.kg _{oc} ⁻¹]	[l.kg _{doc} ⁻¹]
fluorantheen	0,001	4,77	4,78
benzo(a)pyreen	0,00005	6,11	6,25
benzo(b)fluorantheen	0,00004	6,21	6,07
PCB28	0,0002	5,46	4,80
PCB153	0,000004	7,14	6,45
γ -HCH	0,0306	3,30	2,60
2,4-DDT	0,0002	5,55	4,80

Samenstelling en kwaliteit van de te storten specie

Over de kwaliteit van de te storten specie zijn slechts summiere gegevens beschikbaar. Voor deze beleidsvoorbereidende studie is dit niet als een onoverkomelijk bezwaar gezien. De samenstelling van de specie is van belang voor de grootte van de consolidatiegebieden. Voor de berekeningen met het model FSCONBAG dienen een aantal consolidatieparameters te worden ingevoerd. Hiervoor zijn de gegevens van twee speciesoorten gebruikt waarvoor in eerdere studies consolidatieberekeningen zijn uitgevoerd (MER speciedepots Ketelmeer en Hollandsch Diep). Het betreft specie uit de grootschalige berging op de Maasvlakte en specie uit het Ketelmeer. In deze studie zijn deze speciesoorten respectievelijk type Slufterspecie en type Ketelmeerspecie genoemd. In tabel 3.2 zijn voor beide speciesoorten en de te storten specie enkele gegevens over de korrelverdeling vermeld (gegevens beschikbaar gesteld door respectievelijk de Bouwdienst en Directie Zeeland).

Tabel 3.2 Samenstelling specie.

	Slufterspecie	Ketelmeerspecie	te storten specie
% < 16 μm	75,98	47,34	gem. 22 spreiding 3-53 (n=29)
% < 63 μm	94,80	79,29	gem. 33 spreiding 3-74 (n=27)
organisch stofgehalte		10,6 % [Flevovericht nr.325, 1991]	gem. 6 % spreiding 0,4-16 (n=3527)

Uit tabel 3.2 blijkt dat de te storten specie voor wat betreft de fracties kleiner dan 16 en 63 μm de Ketelmeerspecie het dichtst benadert. De specie is echter duidelijker grover van samenstelling dan de Slufter- en Ketelmeerspecie. Dit houdt in dat het consolidatieproces sneller zal verlopen.

Voor de kwaliteit van de te storten specie is voor wat betreft de PAK's, γ -HCH, cadmium en kwik de toetsingswaarde aangehouden en voor de overige stoffen de grenswaarde (zie voor de motivatie paragraaf 1.1). Voor het percentage organisch stof is 10 % (standaardbodem) aangehouden.

Vulscenario's

De verontreinigingsfluxen zijn berekend voor twee vulscenario's:

- * totaal 100.000 m³ in situ specie in 5 jaar storten
- * totaal 250.000 m³ in situ specie in 10 jaar storten

De scenario's zijn door de Directie Zeeland aangegeven.

Year	Value
2010	100
2011	105
2012	110
2013	115
2014	120
2015	125
2016	130
2017	135
2018	140
2019	145
2020	150

The following table shows the results of the regression analysis. The dependent variable is the natural logarithm of the number of employees, and the independent variables are the natural logarithm of the number of sales, the natural logarithm of the number of assets, and the natural logarithm of the number of liabilities. The results show that the number of sales, assets, and liabilities are all positively correlated with the number of employees. The coefficient for sales is 0.15, for assets is 0.10, and for liabilities is 0.05. The adjusted R-squared value is 0.85, indicating a strong fit of the model.

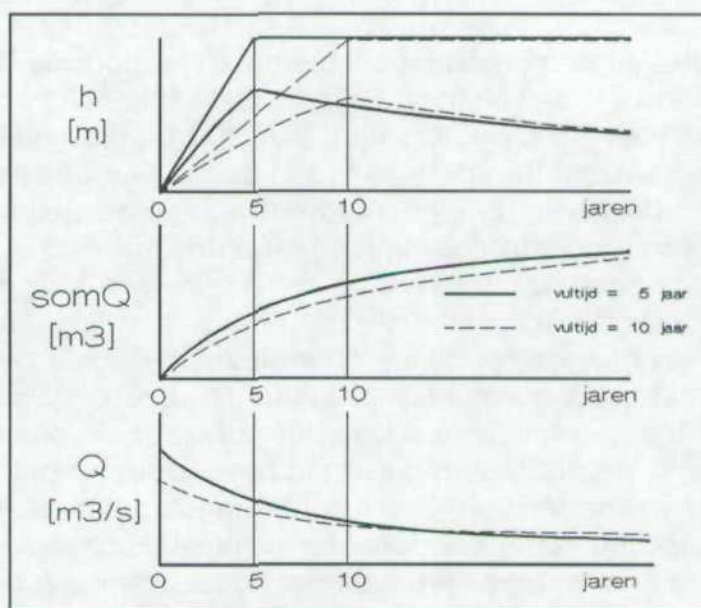
The regression equation is: $\ln(\text{Employees}) = 0.15 \ln(\text{Sales}) + 0.10 \ln(\text{Assets}) + 0.05 \ln(\text{Liabilities}) + \text{Error}$. The standard error of the estimate is 0.02. The F-statistic is 12.5, and the p-value is less than 0.001, indicating that the model is statistically significant.

4. Berekening van de consolidatiedebieten

Consolidatie treedt zowel op tijdens de vulfase als in de eindfase. Voor de berekening van de totale verontreinigingsfluxen tijdens beide fasen dient het consolidatiedebiet te worden ingevoerd. Daarom wordt dit proces voorafgaand aan de berekening van de verontreinigingsfluxen (hoofdstuk 5) behandeld.

4.1 Algemeen

Na het storten van baggerspecie in een diepe put in het Volkerak/Zoommeer zal als gevolg van consolidatie verontreinigd poriënwater vrij komen. Het grootste deel hiervan komt in het oppervlaktewater terecht, het overige deel wordt via het grondwater afgevoerd. De verhouding tussen deze twee fluxen is afhankelijk van de geohydrologische situatie. Indien er direct onder de stortplaats slechtdoorlatende kleilagen aanwezig zijn zal vrijwel al het consolidatiewater naar het oppervlaktewater worden afgevoerd. Als de put direct contact maakt met een watervoerend pakket (dit is bij de putten in het Volkerak/Zoommeer zeer waarschijnlijk het geval) zal er een flux in de orde van grootte van 20 % van het totale consolidatiedebiet in het grondwater terecht kunnen komen. Dit percentage zal hoger zijn als de potentiaal boven het depot duidelijk hoger is dan in het watervoerend pakket. Dit is in het Volkerak/Zoommeer niet waarschijnlijk. De hoeveelheid poriënwater die uit de gestorte specie zal vrijkomen en de snelheid waarmee dit gebeurt zijn afhankelijk van het stortvolume, de specie-eigenschappen (o.a. de korrelverdeling) en de dichtheid van de specie tijdens het storten. In onderstaande figuur is dit schematisch weergegeven.



Figuur 2. Schematische weergave van het consolidatieverloop voor twee vulscenario's.
(h = speciehoogte [m], Q = momentaan consolidatiedebiet [m^3/s], $\text{som } Q$ = gesommeerd consolidatiedebiet [m^3])

Figuur 2 toont het verloop in de tijd van de storthoogte, het gesommeerde consolidatiedebiet en het momentane consolidatiedebiet voor twee vulscenario's met hetzelfde stortvolume. In de bovenste grafiek is tevens de storthoogte weergegeven voor het theoretische geval dat geen consolidatie zou optreden. Het betreft in dit voorbeeld een put met rechte wanden; voor een put met taluds zijn deze lijnen gekromd.

Het verticale verschil tussen de lijnen met en zonder consolidatie is gelijk aan de waterschijf die door consolidatie vrij komt. De eindhoogte en het totale gesommeerde consolidatiedebiet is voor beide scenario's nagenoeg gelijk.

Theoretisch duurt het consolidatieproces oneindig lang; in praktische zin is het proces binnen enkele tientallen jaren nagenoeg beëindigd. Het overgrote deel van het totale consolidatiedebiet komt evenwel vrij in een periode van enkele jaren.

Indien het storten van een bepaald specievolume in 5 jaar plaats vindt is de storthoogte op het eind van de vulperiode hoger dan bij het vulscenario van 10 jaar. Dit komt omdat in de kortere vulperiode minder consolidatie optreedt. Het momentane consolidatiedebiet is aanvankelijk hoger maar zal na verloop van tijd lager liggen dan bij het vulscenario van 10 jaar.

Samengevat: hoe langer de vultijd des te geringer is de maximale vulhoogte en het maximale momentane consolidatiedebiet voor hetzelfde stortvolume; na verloop van tijd is het momentane consolidatiedebiet echter (in geringe mate) hoger naarmate de vultijd langer was. De eindhoogte en het totale gesommeerde consolidatiedebiet zijn beide nagenoeg onafhankelijk van de duur van de vulperiode.

4.2 Werkwijze

Voor het berekenen van de consolidatiedebieten is het door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde en Grondmechanica Delft ontwikkelde computermodel FSCONBAG beschikbaar [Greeuw, G., e.a., 1989]. Met dit model kunnen prognoses worden gemaakt van het verloop in de tijd van de specielaagdikte en de debieten die aan de boven- en onderbegrenzing van de specie naar het oppervlaktewater en de ondergrond worden uitgedreven. De consolidatieberekeningen voor deze studie zijn uitgevoerd door de Bouwdienst van de Rijkswaterstaat [Stefess, H., 1993].

De in een put gestorte baggerspecie zal onder invloed van de zwaartekracht inklinken. Er ontstaat een wateroverspanning in de poriën, waardoor poriënwater naar de omgeving wordt uitgedreven. Daardoor neemt het volume en het poriëngehalte af en de hydraulische weerstand toe. Doordat het vulproces stapsgewijs geschiedt, ondervindt iedere eerder ingebrachte laag telkens weer een extra bovenbelasting waardoor de wateroverspanning weer toeneemt. FSCONBAG berekent de wateroverspanningen, de watertransporten, de hydraulische weerstanden en de volumevermindering voor de verschillende lagen tijdens en na het vulproces. Er wordt rekening gehouden met de eigenschappen van de specie en de wijze en snelheid van inbrengen.

Met FSCONBAG kunnen betrouwbare resultaten worden verkregen als de specie-eigenschappen en consolidatieparameters goed bekend zijn. Onnauwkeurigheden in deze gegevens hebben een grote invloed op het eindresultaat van de berekeningen. Voor het bepalen van de consolidatieparameters zijn laboratoriumproeven noodzakelijk.

Omdat deze studie een beleidsondersteunend doel heeft en het in dit stadium niet bekend is welke specie eventueel in de putten gestort zal worden zijn laboratoriumproeven (nog) niet mogelijk c.q. zinvol. In overleg met de Bouwdienst is daarom besloten voor de FSCONBAG-berekeningen gebruik te maken van reeds bekende invoergegevens van specie met (naar verwachting) min of meer vergelijkbare fysische eigenschappen als de specie die eventueel gestort zal worden. Om inzicht te verkrijgen in de spreiding in de berekeningsresultaten zijn de berekeningen gemaakt voor twee soorten specie met verschillende eigenschappen. Het betreft specie uit het Slufterdepot en specie uit het Ketelmeer (zie ook tabel 3.2).

4.3 Berekeningsscenario's en uitgangspunten

Berekeningsscenario's

De berekeningen voor beide speciesoorten zijn voor zowel de Krammerput als de Bergsche Diep put uitgevoerd voor twee vulscenario's en twee stortmethoden, te weten:

- * totaal in situ specievolume 100.000 m³,
vultijd 5 jaar.
 - * storten met onderlossers
 - * hydraulisch storten

- * totaal in situ specievolume 250.000 m³,
vultijd 10 jaar.
 - * storten met onderlossers
 - * hydraulisch storten

Stortmethoden

Ten aanzien van de stortmethoden is van de volgende veronderstellingen uitgegaan:

a. storten met onderlossers

De specie wordt met grijpers gewonnen en met onderlossers getransporteerd. De dichtheid van de specie direct na het storten bedraagt 1420 kg/m³, deze komt nagenoeg overeen met de in situ dichtheid. Het poriëngehalte is $n = 0,72$; het poriëngenetal $e = 2,6$ ($e = n/(1-n)$).

b. Hydraulisch storten

De specie wordt tijdens het winnen en/of vlak voor het storten verdund van de in situ dichtheid (1420 kg/m³) tot een dichtheid van 1250 kg/m³. Met deze dichtheid wordt de specie met behulp van een stortpijp met diffusor gestort zonder dat menging met het oppervlaktewater optreedt. Het poriëngehalte direct na het storten is $n = 0,83$ en het poriëngenetal is $e = 5,04$.

Bij hydraulisch storten is het stortvolume als gevolg van het bijmengen met water 1,6 á 1,7 maal groter dan het in situ volume van de te baggeren specie. Als gevolg van het consolidatieproces tijdens de vulperiode is de benodigde depotcapaciteit kleiner dan het stortvolume (maar groter dan het in situ volume). De verhouding tussen de benodigde depotcapaciteit en het in situ volume wordt volumefactor genoemd. De volumefactor is afhankelijk van de stortmethode en de specie-eigenschappen (na het storten) en het vulscenario. Bij storten met onderlossers zijn zowel het stortvolume als de benodigde depotcapaciteit nagenoeg gelijk aan het in situ volume.

Consolidatieparameters

Voor de consolidatieparameters zijn gegevens van speciesoorten gebruikt waarvoor in eerdere studies FSCONBAG-berekeningen zijn uitgevoerd. Het betreft coëfficiënten die in de in FSCONBAG gebruikte functies voor de doorlatendheid en de spanning-rek relatie moeten worden ingevoerd. Voor achtergronden wordt verwezen naar FSCONBAG-documentatie [Greeuw, G. e.a., 1989].

Schematisatie van de putten

FSCONBAG is een 1 dimensionaal model. Het model berekent in feite het consolidatieverloop voor een verticale kolom met rechte wanden die gelijkmatig in de tijd wordt gevuld. Omdat een put een min of meer kegelvormige verloop met de diepte heeft dient deze eerst te worden "vertaald" naar een cilinder met een oppervlakte die gelijk is aan de oppervlakte van de bovenkant van het speciepakket aan het eind van de vulfase (F_e) en een volume gelijk aan het volume van de specie aan het eind van de vulfase (V_e). De hierbij behorende hoogte wordt representatieve hoogte genoemd (h_{repr}). De representatieve hoogte is dus lager dan de werkelijke storthoogte.

Het volume van de specie in de put aan het eind van de vulperiode is per definitie gelijk aan de volumefactor maal het in situ volume van de te baggeren specie ($V_{i.s.}$). De bij dit volume behorende specie-oppervlakte kan via het verloop van de inhoud met de diepte en het verloop van de oppervlakte met de diepte voor de betreffende putten worden vastgesteld.

In formulevorm:

$$h_{repr} = V_e / F_e \text{ [m]}$$

$$V_e = \text{volumefactor} \cdot V_{i.s.} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$F_e = \text{bij } V_e \text{ behorende oppervlakte in de put [m}^2\text{]}$$

$$V_{i.s.} = \text{in situ volume van de specie [m}^3\text{]}$$

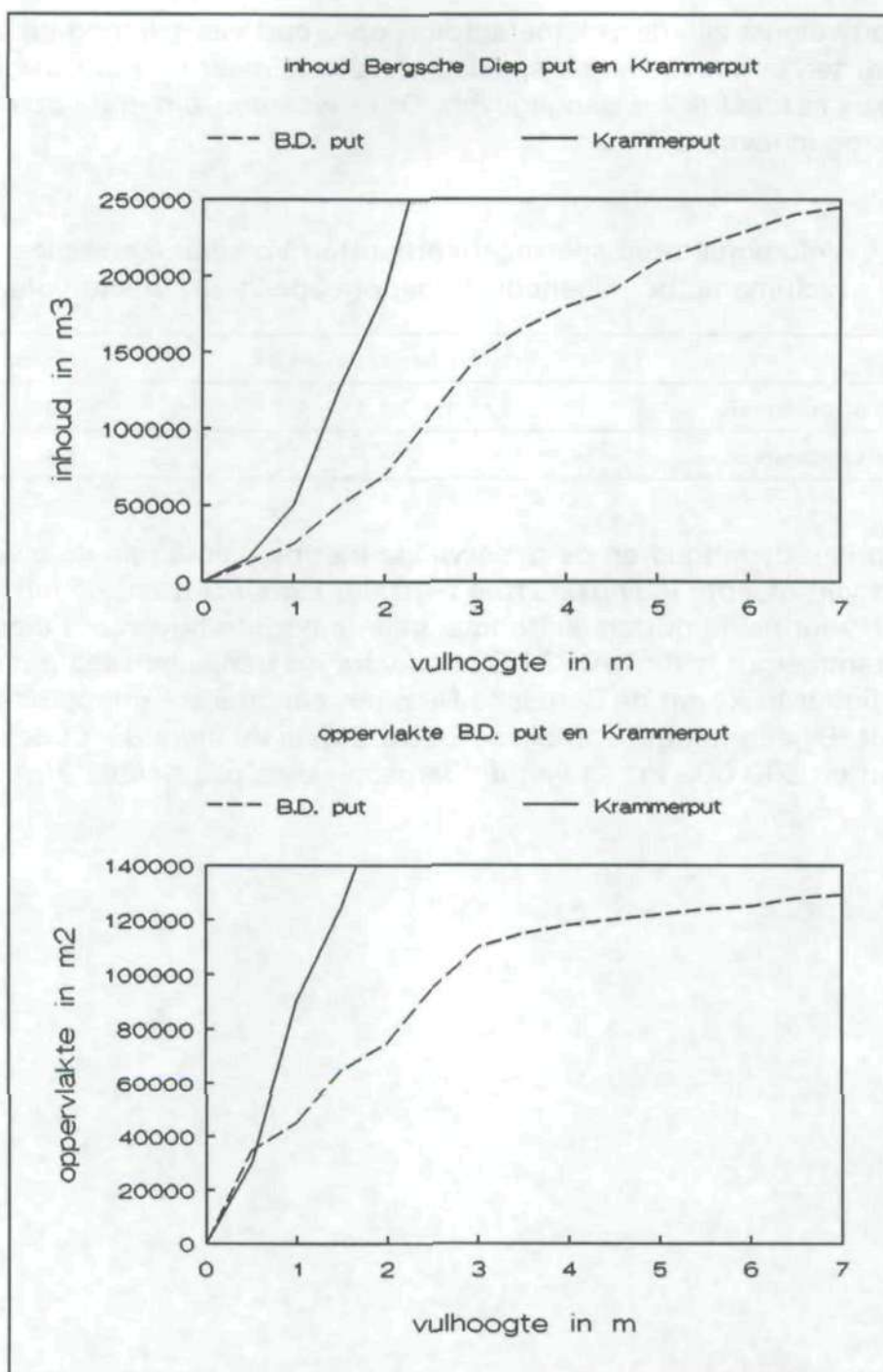
Indien de volumefactor bekend is of wordt aangenomen kan voor de putten de representatieve vulhoogte worden vastgesteld.

Door de Bouwdienst zijn de volumefactoren op grond van ervaring bij eerdere studies (o.a. ten behoeve van de speciedepots Ketelmeer en Hollandsch Diep) geschat zoals in tabel 4.2 is aangegeven. Deze waarden zijn in de berekening als opstartwaarde ingevoerd.

Tabel 4.2. Volumefactoren speciebergiging putten Volkerak/Zoommeer (volumefactor = benodigde depot capaciteit / in situ volume).

	storten met onderlossers	hydraulisch storten
type Slufterspecie	1,0 - 1,1	1,3 - 1,5
type Ketelmeerspecie	1,0	1,1 - 1,2

Het verloop van de inhoud en de oppervlakte met de diepte van de beide putten is op grond van recente lodingskaarten bepaald. Figuur 3 toont de inhoud en de oppervlakte voor beide putten als functie van de hoogte boven het diepste punt (voor de Krammerput is dit NAP-24,5 m en voor de Bergsche Diep put NAP-21,9 m). Uit de figuur blijkt dat de Bergsche Diep put een steiler verloop heeft dan de Krammerput. Bij een hoogte van bijvoorbeeld 2 m is de inhoud van de Krammerput ca 200.000 m³ en van de Bergsche Diep put slechts 75.000 m³.



Figuur 3. Inhoud en oppervlakte van de Krammerput en de Bergsche Diep put als functie van de hoogte boven het diepste punt.

Vulsnelheid

Als invoer voor een FSCONBAG-berekening dient de vulsnelheid te worden opgegeven. Deze is gedefinieerd als de snelheid waarmee de specie in het depot zou stijgen indien geen consolidatie zou optreden. Omdat de putten min of meer kegelvormig zijn neemt deze stijgsnelheid in de tijd af bij een constante specie-aanvoer; het model rekent echter met een constante vulsnelheid. Voor de

vulsnelheid is de stijgsnelheid in de tot cilinders geschematiseerde putten aangehouden.

In formulevorm:

$$v = (V / F_e) / T$$

waarin:

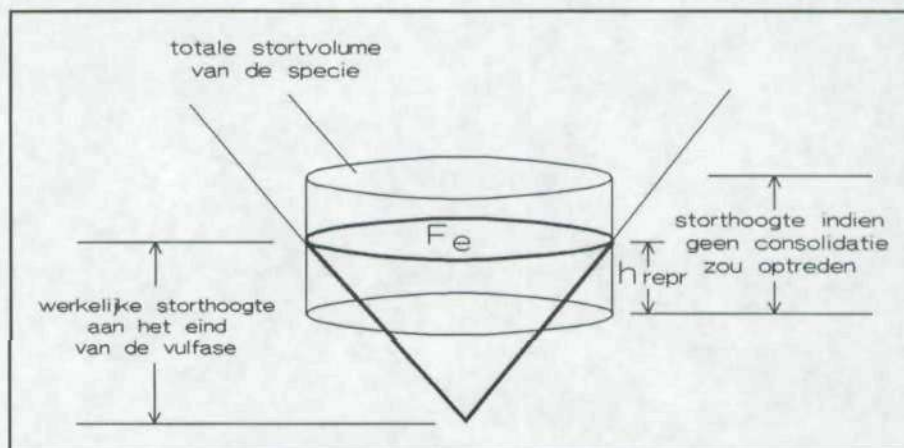
$$v = \text{vulsnelheid [m/jaar]}$$

$$V = \text{totaal stortvolume van de specie [m}^3\text{]}$$

$$T = \text{vultijd [jaar]}$$

$$F_e = \text{specieoppervlakte eind vulperiode [m}^2\text{]}$$

In figuur 4 is de schematisatie van een kegelvormige put tot een cilinder in beeld gebracht.



Figuur 4. Schematisatie van een kegelvormige put tot een cilinder.

Voor het totale stortvolume is bij hydraulisch storten 1,64 maal het in situ volume van de te baggeren specie aangehouden en bij storten met onderlossers 1,0 maal het in situ volume (zie uitgangspunten in hoofdstuk 3).

Als maximale stortheogte aan het einde van de vulfase is een niveau van NAP-15,5 m aangehouden.

4.4 Berekeningsresultaten

De FSCONBAG-berekeningen zijn helaas niet alle voorspoedig verlopen. Bij enkele berekeningen voor hydraulisch storten en bij alle berekeningen voor storten met onderlossers traden moeilijkheden op (instabiliteiten in het rekenproces). Hiervoor is nog geen duidelijke verklaring of goede oplossing gevonden. De Bouwdienst heeft door het aanpassen van coëfficiënten (volumefactor c.q. poriëngetal) voor een beperkt aantal berekeningen toch uitkomsten verkregen die in orde van grootte overeenkomen met ervaringen uit de praktijk (pers. mededeling H. Stefess, Bouwdienst). De Bouwdienst heeft de problemen met het model bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde (modelbeheerder) kenbaar gemaakt.

In tabel 4.3 zijn de berekeningsresultaten verzameld. Het betreft de debieten die in het oppervlaktewater vrij komen. De totale consolidatiedebieten (inclusief debieten naar het grondwater) zijn een factor 1,25 groter.

Vanwege de onzekerheid over de modelresultaten zijn de verspreidingsberekeningen ook uitgevoerd met een overschatting van de consolidatiedebieten (zie paragraaf 5.1).

Tabel 4.3 Resultaten van de consolidatieberekeningen.

vulscenario	stortvolume [m ³]	consolidatie- debiet in vulfase [m ³]	gem. hoogte specie eind vulfase [m]	consolidatie- debiet in eindfase [m ³]	gem. hoogte specie na consolidatie [m]
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar storten met onderlossers in Krammerput	100.000	6.500 (6,5 % , 6,5 % , 9,0 %) 4)	0,95	2.200 (2,2 % , 2,2 % , 3,0 %) 4)	0,81
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar storten met diffusor in Krammerput	164.000	40.000 (40 % , 24 % , 29 %)	1,00	4.000 (4,0 % , 2,4 % , 2,9 %)	0,79
250.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar storten met diffusor Krammerput	410.000	125.000 (50 % , 30 % , 37 %)	1,47	9.000 (3,6 % , 2,2 % , 2,6 %)	1,21
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar storten met diffusor in Bergsche Diep put	164.000	45.000 (45 % , 27 % , 33 %)	1,24	4.500 (4,5 % , 2,7 % , 3,3 %)	0,96
188.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar storten met diffusor in Bergsche Diep put 1)	308.000	100.000 (53 % , 32 % , 39 %)	1,88	10.500 (5,6 % , 3,4 % , 4,1 %)	1,47
100.000 m ³ type Ketelmeerspecie in 5 jaar storten met diffusor in Krammerput 2)	120.000	55.000 (55 % , 46 % , 55 %)	1,00	7.500 (7,5 % , 6,3 % , 7,5 %)	0,64
250.000 m ³ type Ketelmeerspecie in 10 jaar storten met diffusor storten in Krammerput 3)	410.000	125.000 (50 % , 30 % , 37 %)	1,60	17.500 (7,0 % , 4,3 % , 5,1 %)	0,81
1)	De Bergsche Diep put heeft onder het NAP-15,5 m onvoldoende ruimte om 250.000 m ³ in situ specie in 10 jaar hydraulisch te storten. Het maximum is 188.000 m ³ in situ specie.				
2)	Bij deze berekening is in verband met instabiliteit in het rekenproces de verdunningsfactor 1,2 (in plaats van 1,6).				
3)	Bij deze berekening is in verband met instabiliteit in rekenproces de volumefactor 1,5 (in plaats van 1,3).				
4)	Tussen haakjes is respectievelijk het percentage van het consolidatiedebiet t.o.v. het in situ volume, t.o.v. het stortvolume en t.o.v. het volume poriënwater direct na het storten vermeld.				

5. Kwantificering van de verontreinigingsfluxen

5.1 Organische microverontreinigingen

De verspreidingsprocessen (m.u.v. de diffusie) zijn gemodelleerd m.b.v. een SYMPHONY-spreadsheet: één voor het storten met een onderlosser en één voor het hydraulisch storten via een stortpijp met diffusor [Mol, G.A.J. e.a., 1994]. De diffusieflux in de eindfase is in paragraaf 5.3 gekwantificeerd.

In het spreadsheet voor onderlossers wordt in de vulfase rekening gehouden met menging van poriënwater, desorptie van de labiele en de stabiele fractie en consolidatie. In het spreadsheet voor hydraulisch storten via een diffusor wordt in de vulfase alleen de flux als gevolg van het uittredende consolidatiewater berekend, omdat als uitgangspunt wordt gehanteerd dat de verdunde specie zich tijdens het storten niet mengt met het oppervlaktewater. Dit is alleen het geval als deze stortmethode zorgvuldig wordt uitgevoerd.

Voor de eindfase wordt in beide spreadsheets de flux als gevolg van consolidatie berekend.

Het spreadsheet vraagt om een aantal invoergegevens. De ingevoerde waarden zijn in de volgende tabellen verzameld.

Tabel 5.1 Stofonafhankelijke invoergegevens.

	onderlosser	diffusor
gehalte droge stof in situ specie [%]	49,8	49,8
organisch stofgehalte in situ specie [%]	10	10
soortelijke massa in situ specie [kg/m ³]	1420	1420
soortelijke massa droge specie [kg/m ³]	2460	2460
gehalte DOC in het poriënwater in situ specie [mgC/l]	40	40
hoeveelheid specie in de beun [m ³]	500	500
droge stof gehalte specie in de beun [%]	49,8	33,7
soortelijke massa specie in de beun [kg/m ³]	1420	1250
gehalte DOC poriënwater in de beun [mgC/l]	40	23,6
volume waterschijf beïnvloed door het storten [m ³]	30.000	1 (uitgangspunt is dat het beïnvloede volume nul is, in het spreadsheet moet echter een waarde groter dan nul worden opgegeven)
toename zwevendstof concentratie door het storten [mg/l]	155	0
bezinktijd opgewerveld slib na het storten [min]	20	0

Tabel 5.2. Stofafhankelijke invoergegevens.

Gehalte verontreiniging in de in situ specie.

stof	mg/kg _{ds}	norm
γ-HCH	0,02	toetsingswaarde
fluorantheen	2	toetsingswaarde
benzo(a)pyreen	0,8	toetsingswaarde
benzo(b)fluorantheen	0,8	toetsingswaarde
PCB28	0,004	grenswaarde
PCB153	0,004	grenswaarde
2,4-DDT	0,01	grenswaarde

Absoluut gehalte in het zwevend stof in het oppervlaktewater in mg/kg_{ds}, gemiddelde waarden 1987-1990 [Schmidt e.a., 1993].

stof	Volkerakmeer VZ-3	Zoommeer VZ-7
γ-HCH	0,0066	0,00509
fluorantheen	0,472	0,537
benzo(a)pyreen	0,222	0,229
benzo(b)fluorantheen	0,332	0,309
PCB28	0,00778	0,00560
PCB153	0,00998	0,00589
2,4-DDT	0,00458	0,00304

Zwevend stofgehalten, % organisch koolstof in zwevend stof en DOC in het oppervlaktewater.

	Volkerakmeer VZ-3	Zoommeer VZ-7
gehalte zwevend stof in het oppervlaktewater [mg/l]	5,38	5,91
gehalte organisch koolstof in zwevend stof van het oppervlaktewater [%]	10,0	9,2
DOC-gehalte in het oppervlaktewater [mg/l]	5,3	5,3

De meetlokaties VZ-3 en VZ-7 zijn in figuur 1 aangegeven.

Naast de in de voorgaande tabellen vermelde gegevens moet in de spreadsheets worden ingevoerd welke totale hoeveelheid specie zal worden gestort en in welke termijn dit zal geschieden. Tevens dienen de totale consolidatiedebieten gedurende de vul- en eindfase te worden opgegeven (inclusief het debiet naar het grondwater). Deze gegevens zijn in tabel 5.3 verzameld.

Tabel 5.3 Ingevoerde gegevens met betrekking tot de vulscenario's en de totale consolidatiedebieten (berekend met FSCONBAG).

Vulscenario	In situ volume [m ³]	Stortvolume [m ³]	Consolidatiedebiet [m ³ /jaar]	
			Vulfase	Eindfase
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar met onderlossers storten in de Krammerput (VZM1c.WR2)	100.000	100.000	1.625	13,75
250.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar met onderlossers storten in de Krammerput (VZM2c.WR2) 1)	250.000	250.000	2.031	34,38
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar hydraulisch storten in de Krammerput (VZM3.WR2)	100.000	164.000	10.000	25,00
250.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar hydraulisch storten in de Krammerput (VZM4.WR2)	250.000	410.000	15.625	56,25
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar hydraulisch storten in de Bergsche Diep put (VZM5.WR2)	100.000	164.000	11.250	28,13
188.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar hydraulisch storten in Bergsche Diep put (VZM6.WR2)	188.000	308.000	12.500	65,63
100.000 m ³ type Ketelmeerspecie in 5 jaar hydraulisch storten in Krammerput (VZM7.WR2)	100.000	120.000	13.750	46,88
250.000 m ³ type Ketelmeerspecie in 10 jaar hydraulisch storten in Krammerput (VZM8.WR2)	250.000	410.000	15.625	109,38
1) Voor dit vulscenario zijn geen consolidatieberekeningen beschikbaar; de vermelde waarden zijn door extrapolatie uit het voorgaande scenario afgeleid.				

Opm. In het spreadsheet dienen de totale consolidatiedebieten te worden opgegeven. Bij de berekeningen wordt verondersteld dat hiervan 80 % vrij komt in het oppervlaktewater; het overige deel wordt afgevoerd naar het grondwater. Deze waarde kan desgewenst in het spreadsheet worden gewijzigd.

In verband met de eerder vermelde problemen met het model FSCONBAG zijn de verspreidingsberekeningen ook uitgevoerd met een overschatting van de consolidatiedebieten. Hierbij is het volgende verondersteld. Bij het storten met onderlossers en met behulp van een diffusor bevat de specie aanvankelijk respectievelijk 72 en 83 volume % water (zie paragraaf 4.3). In de variantberekeningen is aangenomen dat in de vulfase 75 % van de

oorspronkelijke hoeveelheid poriënwater door consolidatie vrijkomt en in de eindfase de resterende 25 %. Dit is een extreme overschatting omdat na de consolidatie de specie nog 30 tot 40 % water zal bevatten. Volgens de FSCONBAG berekeningen komt in de vulfase 12 tot 50 % van het oorspronkelijke volume poriënwater vrij en in de eindfase 4 tot 10 %. In tabel 4.3 zijn de percentages aangegeven van de consolidatiedebieten die in het oppervlaktewater vrij komen, de totale consolidatiedebieten (inclusief de debieten naar het grondwater) zijn een factor 1,25 groter.

Met de beide spreadsheets (voor onderlosser en diffusor) zijn de in tabel 5.3 aangegeven scenario's doorgerekend. In de hierna volgende tabellen zijn de relevante berekeningsresultaten verzameld.

Tabel 5.4 toont de berekende poriënwaterkwaliteit in de in situ specie en in de beun van de onderlosser of bak vlak voor het storten.

Tabel 5.4 Poriënwaterkwaliteit van de specie in situ en in een onderlosser of bak (indien hydraulisch wordt gestort) in $\mu\text{g/l}$.

stof	in situ	onderlosser	hydraulisch storten
γ -HCH	0,176	0,176	0,173
fluorantheen	1,997	1,997	1,418
benzo(a)pyreen	0,772	0,772	0,460
benzo(b)fluorantheen	0,408	0,408	0,244
PCB28	0,001	0,001	0,0006
PCB153	0,001	0,001	0,0003
2,4-DDT	0,002	0,002	0,001

De berekende fluxen voor de afzonderlijke processen tijdens de vulfase en de consolidatiefase zijn weergegeven in de tabellen op bijlagen 1 t/m 8. In de tabellen zijn ook de totale massa's van de gestorte verontreinigingen vermeld, alsmede de percentages van de verontreinigingsfluxen t.o.v. de gestorte massa's.

In de tabellen 5.5 t/m 5.8 zijn voor γ -HCH en benzo(a)pyreen enkele berekeningsresultaten onderling vergeleken waarbij telkens één variabele in het scenario verschilt. Gamma-HCH heeft een lage verdelingscoëfficiënt en komt daardoor voor het grootste deel in opgeloste vorm voor; B(a)P heeft een hoge verdelingscoëfficiënt en is daardoor in mindere mate in opgeloste vorm aanwezig.

Tabel 5.5 Vergelijking fluxen bij storten van type Slufterspecie met onderlossers in Krammerput volgens de vulscenario's 100.000 m³ in 5 jaar en 250.000 m³ in 10 jaar.

type Slufterspecie met onderlossers storten in Krammerput		γ -HCH	B(a)P
flux in vulfase in grammen en in % van de gestorte massa	100.000 m ³ in 5 jaar (VZM1c.WR2)	16,0 g 1,1 %	323 g 0,6 %
	250.000 m ³ in 10 jaar (VZM2c.WR2)	39,9 g 1,1 %	808 g 0,6 %
flux in eindfase in grammen in en % van de gestorte massa	100.000 m ³ in 5 jaar (VZM1c.WR2)	0,5 g 0,03 %	2,1 g 0,004 %
	250.000 m ³ in 10 jaar (VZM2c.WR2)	1,2 g 0,03 %	5,4 g 0,004 %

Tabel 5.5 toont aan dat de grootte van de fluxen nagenoeg lineair is met het te storten (in situ) volume (hetgeen ook te verwachten was).

Tabel 5.6 Vergelijking van de fluxen bij storten van 100.000 m³ in 5 jaar type Slufterspecie in Krammerput met onderlossers en met diffusor.

100.000 m ³ in 5 jaar type Slufterspecie storten in Krammerput		γ -HCH	B(a)P
flux in vulfase in grammen en in % van de gestorte massa	met onderlossers (VZM1c.WR2)	16,0 g 1,1 %	323 g 0,6 %
	met diffusor (VZM3.WR2)	6,9 g 0,5 %	18,4 g 0,03 %
flux in eindfase in grammen en in % van de gestorte massa	met onderlossers (VZM1c.WR2)	0,5 g 0,03 %	2,1 g 0,004 %
	met diffusor (VZM3.WR2)	0,9 g 0,06 %	2,3 g 0,004 %

Uit tabel 5.6 blijkt dat het storten met onderlossers tijdens de vulfase een grotere verspreiding tot gevolg heeft dan storten met een diffusor. De verklaring hiervoor is de relatief grote bijdrage aan de verspreiding als gevolg van desorptie tijdens het storten met onderlossers (zie ook de tabellen op bijlage 1 en 2). Gamma-HCH heeft relatief ten opzichte van de gestorte massa een grotere verspreiding dan B(a)P omdat het gehalte γ -HCH opgelost in het poriënwater vanwege de lage K_{poc} hoger is.

De fluxen als gevolg van consolidatie in de eindfase zijn voor beide stortmethoden gering. Indien het storten plaats vond met onderlossers is de flux γ -HCH globaal een factor 2 kleiner dan indien met een diffusor zou zijn gestort. Voor B(a)P is het verschil gering.

Tabel 5.7 Vergelijking van de fluxen bij storten van 100.000 m³ in 5 jaar type Slufterspecie met diffusor in de Krammerput en in de Bergsche Diep put.

100.000 m ³ in 5 jaar type Slufterspecie storten met diffusor		γ -HCH	B(a)P
flux in vulfase in grammen en in % van de gestorte massa	in Krammerput (VZM3.WR2)	6,9 g 0,5 %	18,4 g 0,03 %
	in Bergsche Diep put (VZM5.WR2)	7,8 g 0,5 %	20,9 g 0,04 %
flux in eindfase in grammen en in % van de gestorte massa	in Krammerput (VZM3.WR2)	0,9 g 0,06 %	2,3 g 0,004 %
	in Bergsche Diep put (VZM5.WR2)	1,0 g 0,07 %	2,6 g 0,005 %

Tabel 5.7 toont aan dat er geen relevant verschil is tussen de fluxen bij storten in de Krammerput of in de Bergsche Diep put. De fluxen bij storten in de Bergsche Diep put zijn iets hoger als gevolg van de grotere storthoogte voor hetzelfde stortvolume; daardoor is het consolidatiedebiet groter dan bij storten in de Krammerput.

Tabel 5.8 Vergelijking fluxen bij storten van 250.000 m³ in 10 jaar met diffusor in Krammerput van type Slufterspecie en type Ketelmeerspecie.

250.000 m ³ in 10 jaar storten met diffusor in Krammerput		γ -HCH	B(a)P
flux in vulfase in grammen en in % van de gestorte massa	Slufterspecie (VZM4.WR2)	21,6 g 0,6 %	57,5 g 0,04 %
	Ketelmeerspecie (VZM8.WR2)	21,6 g 0,6 %	57,5 g 0,04 %
flux in eindfase in grammen en % in van de gestorte massa	Slufterspecie (VZM4.WR2)	2,0 g 0,05 %	5,2 g 0,004 %
	Ketelmeerspecie (VZM8.WR2)	3,8 g 0,1 %	10,1 g 0,007 %

Uit tabel 5.8 blijkt dat er ten aanzien van de fluxen in de vulfase geen verschil is tussen beide speciesoorten. In de eindfase is de flux bij storten van type Ketelmeerspecie een factor 2 groter dan bij storten van type Slufterspecie. De fluxen zijn relatief klein ten opzichte van de massa van de gestorte verontreiniging.

5.2 Zware metalen

Overeenkomstig de eerder gestelde uitgangspunten zijn de gehalten van kwik en cadmium in de in situ specie gelijk gesteld aan de toetsingswaarden. Voor kwik bedraagt deze waarde 1,6 mg/kg droge stof en voor cadmium 7,5 mg/kg droge stof.

Bij de kwantificering van de verspreiding is er van uitgegaan dat de metalen in een anaëroob milieu blijven tijdens het storten. Er is dus aangenomen dat de door de storting beïnvloede waterschijf voldoende sulfiden zal bevatten om het systeem zuurstofloos te houden en dat daarmee de metalen in de vorm van sulfide-complexen gebonden blijven. Deze aanname wordt onderbouwd door de berekeningen van het Waterloopkundig Laboratorium voor een omdijkt depot [Gerrits, H.J. e.a., 1993].

Aangenomen is dat in de putten geen zoutstratificatie aanwezig is. Remobilisatie van zware metalen is dan niet te verwachten.

Met het specielaagmodel van ORPHEUS zijn berekeningen gemaakt voor het opgeloste gehalte cadmium in het poriënwater van de gestorte specie [Meijers, G.G.A., 1993]. Het is (nog) niet mogelijk deze berekeningen voor kwik uit te voeren, omdat er geen zekerheid is over de juiste waarde van de verdelingscoëfficiënt.

Bij een overmaat sulfide is een cadmiumgehalte van 0,23 $\mu\text{g/l}$ berekend; indien onvoldoende sulfide aanwezig is kan dit gehalte tot ca 2 $\mu\text{g/l}$ oplopen. Voor kwik kan worden gesteld dat bij aanwezigheid van voldoende sulfide het zeer slecht oplosbare kwiksulfide ontstaat dat nog stabiel is dan cadmiumsulfide. Dit houdt in dat bij dergelijke omstandigheden de concentratie kwik in het poriënwater lager zal zijn dan die van cadmium. Voor de berekening van de fluxen is voor cadmium en kwik hetzelfde gehalte aangehouden. Voor kwik is dit dus een overschatting.

In tabel 5.9 zijn de opgeloste gehalten voor cadmium en kwik weergegeven in het poriënwater van de specie.

Tabel 5.9 Gehalte opgelost cadmium en kwik in poriënwater.

	opgelost gehalte in poriënwater in $\mu\text{g/l}$
cadmium	0,23
kwik	0,23

N.B. De met het specielaagmodel van ORPHEUS berekende gehalten mogen niet worden getoetst aan normen voor waterbodems of grondwater omdat het model (nog) niet gevalideerd is.

Door ECN [Van der Sloot e.a., 1988] is in Ketelmeersediment met een cadmiumgehalte van 6,0 mg/kg een gereduceerd poriëngehalte van 0,36 $\mu\text{g/l}$ gevonden. Deze waarde ligt in dezelfde orde van grootte als het cadmiumgehalte zoals dat is berekend in de studie voor het MER speciedepot Hollandsch Diep (0,23 $\mu\text{g/l}$) [Gerrits, H.J. e.a., 1993].

De verspreidingsflux tijdens de vul- en eindfase is berekend door het volume uittreidend poriënwater te vermenigvuldigen met het gehalte in het poriënwater. In tabel 5.10 en 5.11 zijn de fluxen voor de verschillende scenario's weergegeven.

Tabel 5.10 Fluxen cadmium en kwik naar het oppervlaktewater als gevolg van consolidatie tijdens de vulfase in grammen en in % van de ingebrachte massa.

vulscenario	cadmium			kwik		
	totale gestorte massa in grammen	flux in grammen	flux in % van de gestorte massa	totale gestorte massa in grammen	flux in grammen	flux in % van de gestorte massa
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar met onderlossers storten in de Kramerput (VZM1c.WR2)	530.370	1,5	0,0003	113.150	1,5	0,001
250.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar met onderlossers storten in de Kramerput (VZM2c.WR2)	1325.925	3,8	0,0003	282.875	3,8	0,001
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar hydraulisch storten in de Kramerput (VZM3.WR2)	530.370	9,2	0,002	113.150	9,2	0,008
250.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar hydraulisch storten in de Kramerput (VZM4.WR2) put	1325.925	29	0,002	282.875	29	0,01
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar hydraulisch storten in de Bergsche Diep put (VZM5.WR2)	530.370	10	0,002	113.150	10	0,009
188.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar hydraulisch storten in Bergsche Diep put (VZM6.WR2)	997.096	23	0,002	212.722	23	0,01
100.000 m ³ type Ketelmeerspecie in 5 jaar hydraulisch storten in Kramerput (VZM7.WR2)	530.370	13	0,002	113.150	13	0,01
250.000 m ³ type Ketelmeerspecie in 10 jaar hydraulisch storten in Kramerput (VZM8.WR2)	1325.925	29	0,002	282.875	29	0,01

Tabel 5.11 Fluxen cadmium en kwik naar het oppervlaktewater als gevolg van consolidatie in de eindfase; in grammen en in % van de ingebrachte massa.

vulscenario	cadmium			kwik		
	totale gestorte massa in grammen	flux in grammen	flux in % van de gestorte massa	totale gestorte massa in grammen	flux in grammen	flux in % van de gestorte massa
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar met onderlossers storten in de Krammerput (VZM1c.WR2)	530.370	0,5	0,0001	113.150	0,5	0,0004
250.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar met onderlossers storten in de Krammerput (VZM2c.WR2) 1)	1325.925	1,3	0,0001	282.875	1,3	0,0004
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar hydraulisch storten in de Krammerput (VZM3.WR2)	530.370	0,9	0,0002	113.150	0,9	0,0008
250.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar hydraulisch storten in de Krammerput (VZM4.WR2) put	1325.925	2,1	0,0002	282.875	2,1	0,0007
100.000 m ³ type Slufterspecie in 5 jaar hydraulisch storten in de Bergsche Diep put (VZM5.WR2)	530.370	1	0,0002	113.150	1	0,001
188.000 m ³ type Slufterspecie in 10 jaar hydraulisch storten in Bergsche Diep put (VZM6.WR2)	997.096	2,4	0,0002	212.722	2,4	0,001
100.000 m ³ type Ketelmeerspecie in 5 jaar hydraulisch storten in Krammerput (VZM7.WR2)	530.370	1,7	0,0003	113.150	1,7	0,001
250.000 m ³ type Ketelmeerspecie in 10 jaar hydraulisch storten in Krammerput (VZM8.WR2)	1325.925	4	0,0003	282.875	4	0,001

Uit de tabellen 5.10 en 5.11 blijkt dat de verspreiding van cadmium en kwik als gevolg van consolidatie zowel in de vulfase als in de eindfase zeer gering is. Relatief ten opzichte van de ingebrachte massa is deze flux zeer klein (maximaal 0,002 % voor cadmium en 0,01 % voor kwik).

5.3 Verspreiding als gevolg van diffusie gedurende de eindfase.

In deze paragraaf is een prognose gemaakt van het massatransport door diffusie in het begin van de eindfase voor een speciestorting van 250.000 m³ in de Krammerput.

De diffusieflux is berekend over een periode van 10 jaar en vergeleken met de flux als gevolg van consolidatie in de eindfase. Hierbij is er van uitgegaan dat vanwege de relatief geringe storthoogte van de specie de consolidatie binnen een termijn van 10 jaar heeft plaats gevonden.

Het massatransport als gevolg van diffusie door het grensvlak tussen de waterbodem en het oppervlaktewater is rechtevenredig met de diffusiecoëfficiënt en de concentratiegradiënt tussen de opgeloste stof (inclusief het aan DOC gebonden gedeelte) in het poriënwater en het oppervlaktewater. Het transport kan worden berekend met de wet van Fick [Van der Molen, W.H. 1980].

In formulevorm:

$$M = A * D * \Delta C / L$$

hierin is :

A = voor diffusie beschikbare oppervlakte in m²

D = diffusiecoëfficiënt in m²/dag

ΔC = verschil concentratie poriënwater en concentratie oppervlaktewater in mg/m³

L = diffusielengte in m

M = diffusieflux in mg/dag

Indien het oppervlaktewater een lagere concentratie heeft dan het poriënwater zullen verontreinigingen uit de bovenste lagen door diffusie in het oppervlaktewater terecht komen, waardoor het gehalte in de bovenste bodemlagen afneemt. Door desorptie van aan de vaste stof gebonden verontreinigingen vindt voortdurend een toelevering naar de in het poriënwater opgeloste fase plaats. De concentratie van organische microverontreinigingen in het poriënwater daalt daardoor minder snel dan bij een conservatieve stof (bijvoorbeeld chloride).

Doordat de diffusieflux gering is en het volume van het (goed gemengde) oppervlaktewater groot is zal de concentratietoename in het oppervlaktewater verwaarloosbaar klein zijn. In een relatief geringe zone vlak nabij de waterbodem (orde van grootte 1 mm) zal wel een concentratieverhoging optreden.

De concentratiegradiënt zal in het begin van de eindfase relatief groot zijn en in de loop der tijd als gevolg van het diffusieproces zelf, maar mogelijk ook door afdekking met schoner materiaal afnemen. Dit houdt in dat de diffusieflux in de

tijd afneemt. Voor minder goed adsorberende microverontreinigingen zoals γ -HCH verloopt de afname aanvankelijk relatief snel, voor goed adsorberende stoffen met een hoge verdelingscoëfficiënt verloopt de afname langzaam. Voor dikke lagen verontreinigde specie zal na verloop van tijd een vrijwel stationaire situatie ontstaan waarbij de inkomende en uitgaande diffusiefluxen per laag nagenoeg gelijk zijn. Bij dunne verontreinigde bodems zal de diffusieflux uiteindelijk tot nul afnemen. De termijn is per stof verschillend en wordt bepaald door de bodemdikte, de diffusiecoëfficiënt en de verdelingscoëfficiënten van de stof (K_{poc} en K_{doc}).

De diffusiefluxen zijn berekend met een, niet stationair, rekenmodel waarin de waterbodem in 10 horizontale lagen is geschematiseerd. Uitgaande van een per laag opgegeven initiële concentratie in het poriënwater en in het oppervlaktewater wordt per laag voor elke rekentijdstap de verandering van de massa aan verontreinigende stof berekend waarbij rekening wordt gehouden met de inkomende en uitgaande diffusieflux over de grensvlakken van de laag en het desorptieproces in de laag.

De diffusieflux tussen de lagen wordt berekend met de formule van Fick waarbij het concentratieverschil wordt bepaald op grond van de concentraties in het poriënwater van de twee lagen. Voor de diffusie-afstand wordt de afstand tussen het midden van de beide laagjes aangehouden; voor de diffusie-afstand van het bovenste laagje naar het oppervlaktewater wordt de afstand van het midden van de laag tot 1 mm boven de waterbodem aangehouden.

Nadat op grond van de massabalans het totale gehalte van de verontreiniging in de lagen is berekend kunnen met behulp van de verdelingscoëfficiënten de concentraties in het poriënwater aan het eind van iedere rekentijdstap worden berekend. Deze concentraties zijn weer de beginconcentraties voor de volgende rekentijdstap, enz.

Ten aanzien van het desorptieproces is aangenomen dat dit binnen de rekentijdstap plaats vindt.

Voor de diffusiecoëfficiënt in het poriënwater is $0,00003 \text{ m}^2/\text{etm}$ aangehouden. Deze waarde is gelijk aan de moleculaire diffusiecoëfficiënt ($0,0001 \text{ m}^2/\text{etm}$) gedeeld door 3. De diffusiecoëfficiënt is in grondwater ongeveer een factor 3 kleiner dan de moleculaire diffusiecoëfficiënt vanwege de aanwezigheid van de korrels waardoor de diffusie-afstand groter is (deze factor wordt tortuositeit of labyrintfactor genoemd). Omdat de diffusie in de bodem en tussen bodem en water alleen in de poriën kan plaats vinden dient voor de berekening van de flux de oppervlakte van het grensvlak te worden vermenigvuldigd met het poriëngehalte. Voor het poriëngehalte is de waarde 0,4 aangehouden. Voor de verdelingscoëfficiënten zijn de waarden uit tabel 3.1 gebruikt.

Voor de Krammerput zal bij hydraulisch storten van 250.000 m^3 in situ specie de (bruto) specieoppervlakte aan het einde van de vulfase ca 250.000 m^2 bedragen. Deze waarde is aangehouden voor het berekenen van de diffusiefluxen. De totale laagdikte van de specie is gesteld op 1 m. Bij de verticale schematisatie is voor de bovenste twee lagen een dikte van 0,01 m gekozen, de laagdikten voor de diepere lagen nemen met de diepte geleidelijk toe.

De voor de berekening aangehouden initiële concentraties in het poriënwater en het oppervlaktewater zijn in tabel 5.12 vermeld.

Tabel 5.12 Voor de berekening van de diffusiefluxen aangehouden initiële concentraties in het oppervlaktewater en in het poriënwater.

	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB 28	PCB 153	2,4- DDT
concentratie oppervlakte- water (gem. 1988/1990 VZ-3) [$\mu\text{g/l}$]	0,016	0,011	0,006	0,004	0,0003	0,00005	0,0001
concentratie poriënwater (zie tabel 5.4 in situ specie) [$\mu\text{g/l}$]	0,176	1,997	0,772	0,408	0,00084	0,00057	0,0017
concentratie- verschil [$\mu\text{g/l}$]	0,160	1,986	0,766	0,404	0,00054	0,00052	0,0016

In tabel 5.13 zijn de volgens de hiervoor aangegeven methode berekende diffusiefluxen in een periode van 10 jaar weergegeven voor het scenario: storten van 250.000 m³ in situ specie (type Ketelmeerspecie) in de Krammerput. Ter vergelijking zijn ook de massafluxen als gevolg van uittredend consolidatiewater vermeld. Voor deze vergelijking is er dus van uitgegaan dat het consolidatieproces na 10 jaar is voltooid. Omdat de gemiddelde laagdikte bij een storting van 250.000 m³ specie in de Krammerput slechts ca 1 m bedraagt lijkt dit een redelijke veronderstelling.

Tabel 5.13 Fluxen als gevolg van diffusie en consolidatie in de eindfase voor een periode van 10 jaar voor het scenario: in 10 jaar storten van 250.000 m³ type Ketelmeer specie met diffusor in de Krammerput.

	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB 28	PCB 153	2,4- DDT
totaal gestorte massa in grammen	3580	354079	141625	141534	707	707	1768
diffusieflux in grammen en in %	79,5 2,3	2448 0,69	953 0,67	587 0,4	0,89 0,12	0,88 0,12	2,7 0,15
consolidatieflux in grammen en in % (consolidatie berekend met FSCONBAG)	3,8 0,1	31,0 0,009	10,1 0,007	5,3 0,004	0,01 0,002	0,007 0,001	0,03 0,001
consolidatieflux in grammen en % (consolidatie berekend als overschatting)	14,7 0,4	120,6 0,03	39,1 0,03	20,8 0,015	0,05 0,007	0,03 0,004	0,1 0,006

Uit tabel 5.13 blijkt dat het berekende massatransport als gevolg van diffusie van een grotere orde van grootte is als de consolidatieflux. Relatief ten opzichte van de gestorte massa is de diffusieflux van γ -HCH het grootst.

Opgemerkt wordt dat door natuurlijke sedimentatie de gestorte specie in de loop der tijd zal worden afgedekt. Daardoor zal een diffusieremmende laag ontstaan met mogelijk ook een adsorberende werking. De berekende diffusieflux is daardoor een overschatting. De gemiddelde sedimentatie in het Volkerakmeer in de periode 1988-1990 bedraagt ca 13,6 mm/jaar [Termeer, K en C.A. Schmidt, 1992]. In 10 jaar zou dus een sedimentatielaag van ca 14 cm kunnen ontstaan indien de sedimentatie met dezelfde snelheid door gaat.

1. The first part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

Name	Address
Mr. A. B. C.	123 Main St.
Mr. D. E. F.	456 Elm St.
Mr. G. H. I.	789 Oak St.
Mr. J. K. L.	101 Pine St.
Mr. M. N. O.	202 Cedar St.
Mr. P. Q. R.	303 Birch St.
Mr. S. T. U.	404 Spruce St.
Mr. V. W. X.	505 Fir St.
Mr. Y. Z. A.	606 Willow St.
Mr. B. C. D.	707 Poplar St.
Mr. E. F. G.	808 Ash St.
Mr. H. I. J.	909 Hickory St.
Mr. K. L. M.	1010 Sycamore St.
Mr. N. O. P.	1111 Chestnut St.
Mr. Q. R. S.	1212 Walnut St.
Mr. T. U. V.	1313 Pecan St.
Mr. W. X. Y.	1414 Maple St.
Mr. Z. A. B.	1515 Magnolia St.
Mr. C. D. E.	1616 Dogwood St.
Mr. F. G. H.	1717 Redwood St.
Mr. I. J. K.	1818 Cypress St.
Mr. L. M. N.	1919 Juniper St.
Mr. O. P. Q.	2020 Palm St.
Mr. R. S. T.	2121 Olive St.
Mr. U. V. W.	2222 Pear St.
Mr. X. Y. Z.	2323 Peach St.
Mr. A. B. C.	2424 Plum St.
Mr. D. E. F.	2525 Cherry St.
Mr. G. H. I.	2626 Apple St.
Mr. J. K. L.	2727 Orange St.
Mr. M. N. O.	2828 Lemon St.
Mr. P. Q. R.	2929 Lime St.
Mr. S. T. U.	3030 Grape St.
Mr. V. W. X.	3131 Strawberry St.
Mr. Y. Z. A.	3232 Blueberry St.
Mr. B. C. D.	3333 Raspberry St.
Mr. E. F. G.	3434 Blackberry St.
Mr. H. I. J.	3535 Elderberry St.
Mr. K. L. M.	3636 Mulberry St.
Mr. N. O. P.	3737 Currant St.
Mr. Q. R. S.	3838 Gooseberry St.
Mr. T. U. V.	3939 Elder St.
Mr. W. X. Y.	4040 Hawthorn St.
Mr. Z. A. B.	4141 Yew St.
Mr. C. D. E.	4242 Boxwood St.
Mr. F. G. H.	4343 Lavender St.
Mr. I. J. K.	4444 Rosemary St.
Mr. L. M. N.	4545 Sage St.
Mr. O. P. Q.	4646 Thyme St.
Mr. R. S. T.	4747 Basil St.
Mr. U. V. W.	4848 Parsley St.
Mr. X. Y. Z.	4949 Dill St.
Mr. A. B. C.	5050 Chives St.
Mr. D. E. F.	5151 Onions St.
Mr. G. H. I.	5252 Garlic St.
Mr. J. K. L.	5353 Shallots St.
Mr. M. N. O.	5454 Leeks St.
Mr. P. Q. R.	5555 Asparagus St.
Mr. S. T. U.	5656 Broccoli St.
Mr. V. W. X.	5757 Cauliflower St.
Mr. Y. Z. A.	5858 Spinach St.
Mr. B. C. D.	5959 Kale St.
Mr. E. F. G.	6060 Lettuce St.
Mr. H. I. J.	6161 Cabbage St.
Mr. K. L. M.	6262 Carrots St.
Mr. N. O. P.	6363 Potatoes St.
Mr. Q. R. S.	6464 Tomatoes St.
Mr. T. U. V.	6565 Peppers St.
Mr. W. X. Y.	6666 Eggplants St.
Mr. Z. A. B.	6767 Zucchini St.
Mr. C. D. E.	6868 Squash St.
Mr. F. G. H.	6969 Pumpkins St.
Mr. I. J. K.	7070 Melons St.
Mr. L. M. N.	7171 Watermelons St.
Mr. O. P. Q.	7272 Cantaloupes St.
Mr. R. S. T.	7373 Honeydews St.
Mr. U. V. W.	7474 Strawberries St.
Mr. X. Y. Z.	7575 Raspberries St.
Mr. A. B. C.	7676 Blackberries St.
Mr. D. E. F.	7777 Blueberries St.
Mr. G. H. I.	7878 Raspberries St.
Mr. J. K. L.	7979 Blackberries St.
Mr. M. N. O.	8080 Blueberries St.
Mr. P. Q. R.	8181 Raspberries St.
Mr. S. T. U.	8282 Blackberries St.
Mr. V. W. X.	8383 Blueberries St.
Mr. Y. Z. A.	8484 Raspberries St.
Mr. B. C. D.	8585 Blackberries St.
Mr. E. F. G.	8686 Blueberries St.
Mr. H. I. J.	8787 Raspberries St.
Mr. K. L. M.	8888 Blackberries St.
Mr. N. O. P.	8989 Blueberries St.
Mr. Q. R. S.	9090 Raspberries St.
Mr. T. U. V.	9191 Blackberries St.
Mr. W. X. Y.	9292 Blueberries St.
Mr. Z. A. B.	9393 Raspberries St.
Mr. C. D. E.	9494 Blackberries St.
Mr. F. G. H.	9595 Blueberries St.
Mr. I. J. K.	9696 Raspberries St.
Mr. L. M. N.	9797 Blackberries St.
Mr. O. P. Q.	9898 Blueberries St.
Mr. R. S. T.	9999 Raspberries St.

The second part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee.

6. Discussie

Bij de uitgevoerde studie naar de verspreiding van verontreinigingen tijdens en na het storten van klasse 2 onderhoudsbaggerspecie in een diepe put in het Volkerak/Zoommeer worden de volgende kanttekeningen gemaakt.

- * De verspreiding naar het grondwater is in de studie niet meegenomen (hiervoor is door de Directie Zeeland een opdracht aan het Waterloopkundig Laboratorium verstrekt). Mogelijk is in beide onderzochte putten sprake van infiltratie als gevolg van een potentiaalverschil tussen het oppervlaktewater en het diepere grondwater. Indien dit het geval is zijn de berekende fluxen naar het oppervlaktewater door consolidatie en diffusie overschat. Bij de berekeningen is aangenomen dat van het totale consolidatiedebiet 20 % in het grondwater terecht komt en 80 % in het oppervlaktewater.
- * De mogelijke emissies tijdens het baggeren en het transport van de specie zijn in deze studie niet gekwantificeerd.
- * Er is geen vergelijking gemaakt tussen de huidige toestand en de toestand waarin de verontreinigde specie uit de havenlokaties is verplaatst naar een diepe put in het Volkerak/Zoommeer.
- * Tot slot wordt nogmaals benadrukt dat de resultaten alleen gelden als aan de gehanteerde uitgangspunten is voldaan. Met name geldt dit voor de samenstelling en kwaliteit van de specie en de dichtheden bij het storten. De werkelijke gehalten in de te storten specie waren ten tijde van deze studie onbekend. Er is gerekend met de toetsingswaarden voor γ -HCH, fluorantheen, B(a)P, B(b)F, cadmium en kwik en de grenswaarden voor PCB28, PCB153 en 2,4-DDT. Voor het organisch stofgehalte is 10 % (standaardbodem) aangehouden.

7. Conclusies

Uit de resultaten van de verspreidingsberekeningen kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

1. De flux organische microverontreinigingen wordt bij storten met onderlossers voornamelijk bepaald door desorptie van de labiele fractie en (in mindere mate) door consolidatie. De fluxen t.g.v. menging van poriënwater en desorptie van de stabiele fractie zijn relatief klein. Bij storten met behulp van een diffusor treedt (bij een zorgvuldige uitvoering) alleen verspreiding op als gevolg van consolidatie. Bij deze stortmethode heeft de specie een geringere dichtheid dan bij storten met onderlossers, de consolidatieflux is daarom groter.
2. De fluxen tijdens de vulfase zijn gering. Indien wordt gestort met onderlossers zijn de fluxen groter dan bij toepassing van een diffusor. Als bijvoorbeeld in 10 jaar 250.000 m³ in situ specie met onderlossers wordt gestort in de Krammerput is de flux γ -HCH ten opzichte van de gestorte massa γ -HCH 1,1 % en bij toepassing van een diffusor 0,6 %. Voor de overige onderzochte stoffen is de verspreiding geringer. Indien een "worst case" benadering ten aanzien van de consolidatiegebieden wordt aangehouden liggen genoemde percentages hoger (respectievelijk 1,6 % en 1% voor de verspreiding van γ -HCH bij storten met onderlossers of met een diffusor).
3. In de Bergsche Diep put, kan vanwege het geringere volume onder een niveau van NAP-15,5 m, maximaal 188.000 m³ (in situ) specie in 10 jaar hydraulisch worden gestort (het totale stortvolume bedraagt 308.000 m³ en het specievolume aan het eind van de vulfase 244.000 m³). De relatieve verontreinigingsfluxen liggen in dezelfde orde van grootte als aangegeven bij punt 2.
4. Tijdens de eindfase ligt de totale flux als gevolg van consolidatie voor beide stortmethoden in dezelfde orde van grootte. Voor bijvoorbeeld γ -HCH bedraagt de totale flux in de eindfase, na het storten van 250.000 m³ in situ specie in de Krammerput, 0,05 % van de gestorte massa γ -HCH en bij een overschatting van de consolidatie 0,4 %. Voor de andere stoffen zijn deze percentages een factor 10 of meer lager. Globaal zijn de fluxen als gevolg van consolidatie in de eindfase een factor 10 kleiner dan de totale fluxen in de vulfase.
5. De verspreiding van cadmium en kwik is zowel tijdens de vulfase als in de eindfase zeer gering. De grootste flux treedt op tijdens de vulfase, relatief ten opzichte van de ingebrachte massa bedraagt de flux 0,002 % voor cadmium en 0,01 % voor kwik.

6. Indien geen afdekking door sedimentatie zou optreden is het massatransport als gevolg van diffusie gedurende een periode van 10 jaar groter dan de flux als gevolg van consolidatie in de eindfase. Relatief ten opzichte van de gestorte massa bedraagt de berekende diffusieflux voor γ -HCH ca 2,3 %; voor de overige stoffen varieert dit percentage tussen 0,12 en 0,69 %. De maximale consolidatieflux bedraagt voor γ -HCH 0,4 % en varieert voor de overige stoffen tussen 0,004 en 0,03 % van de gestorte massa.
7. Door natuurlijke sedimentatie zal de gestorte specie in de loop der tijd worden afgedekt. Daardoor zal een diffusieremmende laag ontstaan met mogelijk ook een adsorberende werking. Het diffusieproces zal gedurende zeer lange tijd doorgaan en uiteindelijk zorgen voor een concentratie-evenwicht tussen poriënwater en oppervlaktewater.
8. Uit de resultaten volgt dat het effect van stortvolume, type specie en lokatie op de relatieve fluxen gering is.
9. Doordat de taluds van de Krammerput minder steil zijn dan die van de Bergsche Diep put zal de oppervlakte op het grensvlak water-specie per m^3 geborgen specie voor de Krammerput groter zijn dan voor de Bergsche Diep put.

Referenties

1. Gerrits, H.J., W. van Ellen, M.P.J.M. Kroot en N.M. de Rooij, 1993. Verspreidingsberekeningen MER Speciedepot Hollandsch Diep. Waterloopkundig Laboratorium, nota T842, januari 1993.
2. Mol, G.A.J., 1984. Onderzoek naar de gevolgen op de waterkwaliteit van het Hollandsch Diep ten gevolge van slibstortingen te Cromstrijen. Rijkswaterstaat, RIZA, juni 1984
3. Stefess, H., 1993. Notitie FSCONBAG-berekeningen speciéstortingen putten Volkerak/Zoommeer. Rijkswaterstaat, Bouwdienst, 7-8-1993
4. Schmidt, C.A., K. Termeer en C.L.M. van de Ven, 1993. Balansstudie en trend-analyse van microverontreinigingen in het Volkerak/Zoommeer. Rijkswaterstaat, RIZA nota 92.023, maart 1993
5. Meijers, G.G.A., 1993. Memo ORPHEUS-berekeningen (t.b.v. advies speciéstortingen in putten Volkerak/Zoommeer). Rijkswaterstaat, RIZA (Arnhem), 2-12-1993
6. Greeuw, G., G.A.M. Kruse en J. van Heteren, 1989. Model voor consolidatie van baggerspecie in depots. Land + Water nu nr. 12, december 1989
7. Flevovericht nr. 325. Opbouw en kwaliteit van de waterbodem van het Ketelmeer. Rijkswaterstaat, Directie Flevoland, februari 1991
8. Mol, G.A.J., C.A. Schmidt en H. Verbeek, 1994. Verspreiding van microverontreinigingen uit een onderwaterdepot in het Hollandsch Diep. Rijkswaterstaat, RIZA Werkdocument 93.025X (in voorbereiding)
9. Milieukwaliteitsdoelstellingen bodem en water. Tweede Kamer, vergaderjaar 1990-1991, 21990, nr1.
10. Stefess, H., 1993. FSCONBAG-berekeningen slibputten Krammer/Bergsche Diep. Rijkswaterstaat Bouwdienst, notitie d.d. 7-8-1993

11. Schmidt, C.A., S.A. de Goederen en K. Termeer, 1993
Voorspelling van de verontreinigingssituatie van het Volkerakmeer vanaf 1990.
Rijkswaterstaat, RIZA notanr. 92.020, juni 1993
12. Termeer, K en C.A. Schmidt, 1992
Ontwikkeling van de waterbodempkwaliteit van het Volkerak Zoommeer in de periode 1986-1991.
Rijkswaterstaat, RIZA notanr. 92.024, december 1992
13. Van der Sloot e.a., 1988
Waterbodems onder geoxideerde en gereduceerde omstandigheden.
14. Van der Molen, W.H., 1980
Water Quality, Influence of transport and mixing processes.
Landbouw Hogeschool Wageningen, vakgroep cultuurtechniek.
Rapportnr. 06 05 2813, mei 1980.

Bijlage 1

Verontreinigingsfluxen tijdens de vulfase en de eindfase door de verschillende processen per scenario (exclusief de diffusieflux).

Scenario: 100.000 m³ in 5 jaar type Sluifterspecie storten met onderlossers in Kramerput.

ber.nr. VZM1c.WR2	γ-HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
totale gestorte hoeveelheid verontreiniging in grammen	1432	141632	56650	56614	283	283	707
flux t.g.v. menging poriënwater tijdens de vulfase in grammen en %	0,2 0,01	1,9 0,001	0,7 0,001	0,4 0,0007	0,0008 0,0003	0,0005 0,0002	0,0016 0,0002
flux t.g.v. desorptie labiele fractie tijdens de vulfase in grammen en %	14,6 1,0	1142,4 0,8	317,6 0,6	204,7 0,4	-0,4 -0,1	-0,4 -0,1	2,1 0,3
flux t.g.v. desorptie stabiele fractie tijdens de vulfase in grammen en %	0,009 0,0007	0,23 0,0002	0,006 0,00001	0,006 0,00001	-0,0003 -0,0001	-0,0000 -0,0000	0,0004 0,00006
flux t.g.v. consolidatie tijdens de vulfase in grammen en %	1,1 0,08	13,0 0,009	5,0 0,009	2,7 0,005	0,005 0,002	0,004 0,001	0,01 0,002
totale flux naar het oppervlaktewater tijdens de vulfase in grammen en %	16,0 1,1	1158 0,8	323 0,6	208 0,4	-0,4 -0,1	-0,4 -0,1	2,1 0,3
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	0,5 0,03	5,5 0,004	2,1 0,004	1,1 0,002	0,002 0,0008	0,002 0,0006	0,005 0,0007

Fluxen berekend met een overschatting van de consolidatiedebieten.

ber.nr. VZM1ac.WR2	γ-HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
flux t.g.v. consolidatie tijdens de vulfase in grammen en %	7,6 0,5	86,3 0,06	33,4 0,05	17,6 0,03	0,04 0,01	0,02 0,009	0,07 0,01
totale flux naar het oppervlaktewater tijdens de vulfase in grammen en %	22,4 1,6	1231 0,9	352 0,6	223 0,4	-0,3 -0,1	-0,4 -0,1	2,1 0,3
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	3,2 0,2	35,9 0,03	13,9 0,02	7,3 0,01	0,02 0,005	0,01 0,004	0,03 0,004

Bijlage 2

Verontreinigingsfluxen tijdens de vulfase en de eindfase door de verschillende processen per scenario (exclusief de diffusieflux).

Scenario: 250.000 m³ in 10 jaar type Sluifterspecie storten met onderlossers in Kramerput.

ber.nr. VZM2c.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
totale gestorte hoeveelheid verontreiniging in grammen	3580	354079	141625	141534	707	707	1768
flux t.g.v. menging poriënwater tijdens de vulfase in grammen en %	0,4 0,01	4,7 0,001	1,8 0,001	1,0 0,0007	0,002 0,0003	0,001 0,0002	0,004 0,0000
flux t.g.v. desorptie labiele fractie tijdens de vulfase in grammen en %	36,6 1,0	2856 0,8	794 0,6	512 0,36	-0,9 -0,1	-1,1 -0,1	5,1 0,3
flux t.g.v. desorptie stabiele fractie tijdens de vulfase in grammen en %	0,05 0,001	0,6 0,0002	0,02 0,00001	0,02 0,00001	-0,0006 -0,0001	-0,0000 -0,0000	0,001 0,0000
flux t.g.v. consolidatie tijdens de vulfase in grammen en %	2,8 0,08	32,4 0,009	12,5 0,009	6,6 0,005	0,01 0,002	0,009 0,001	0,03 0,002
totale flux naar het oppervlaktewater tijdens de vulfase in grammen en %	39,9 1,1	2894 0,8	808 0,6	519 0,4	-0,9 -0,1	-1,1 -0,1	5,2 0,3
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	1,2 0,03	13,9 0,004	5,4 0,004	2,8 0,002	0,006 0,0008	0,004 0,0006	0,01 0,0007

Fluxen berekend met een overschatting van de consolidatiedebieten.

ber.nr. VZM2ac.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
flux t.g.v. consolidatie tijdens de vulfase in grammen en %	19,0 0,5	215,7 0,06	83,4 0,06	44,1 0,03	0,09 0,01	0,06 0,009	0,2 0,01
totale flux naar het oppervlaktewater tijdens de vulfase in grammen en %	56,0 1,6	3077 0,9	879 0,6	557 0,4	-0,8 -0,1	-1,0 -0,1	5,3 0,3
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	7,9 0,2	89,9 0,03	34,8 0,02	18,4 0,01	0,04 0,005	0,03 0,004	0,08 0,004

Bijlage 3

Verontreinigingsfluxen tijdens de vulfase en de eindfase door de verschillende processen per scenario (exclusief de diffusieflux).

Scenario: 100.000 m³ in 5 jaar type Sluifterspecie storten met diffusor in Kramerput.

ber.nr. VZM3.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
totale gestorte hoeveelheid verontreiniging in grammen	1432	141632	56650	56614	283	283	707
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	6,9	56,7	18,4	9,8	0,02	0,01	0,05
	0,5	0,04	0,03	0,02	0,008	0,005	0,007
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	0,9	7,1	2,3	1,2	0,003	0,002	0,006
	0,06	0,005	0,004	0,002	0,001	0,0006	0,0008

Fluxen berekend met een overschatting van de consolidatiedebieten.

ber.nr. VZM3a.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	14,1	115,8	37,6	19,9	0,05	0,03	0,1
	1,0	0,08	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	5,9	48,2	15,6	8,3	0,02	0,01	0,04
	0,4	0,03	0,03	0,01	0,007	0,004	0,006

Bijlage 4

Verontreinigingsfluxen tijdens de vulfase en de eindfase door de verschillende processen per scenario (exclusief de diffusieflux).

Scenario: 250.000 m³ in 10 jaar type Sluifterspecie storten met diffusor in Kramerput.

ber.nr. VZM4.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
totale gestorte hoeveelheid verontreiniging in grammen	3580	354079	141625	141534	707	707	1768
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	21,6	177,2	57,5	30,5	0,07	0,04	0,2
	0,6	0,05	0,04	0,02	0,01	0,006	0,009
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	2,0	15,9	5,2	2,7	0,007	0,004	0,01
	0,05	0,005	0,004	0,002	0,0009	0,0005	0,0007

Fluxen berekend met een overschatting van de consolidatiedebieten.

ber.nr. VZM4a.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	35,3	289,5	93,9	49,9	0,1	0,07	0,2
	1,0	0,08	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	14,7	120,6	39,1	20,8	0,05	0,03	0,1
	0,4	0,03	0,03	0,01	0,007	0,004	0,006

Bijlage 5

Verontreinigingsfluxen tijdens de vulfase en de eindfase door de verschillende processen per scenario (exclusief de diffusieflux).

Scenario: 100.000 m³ in 5 jaar type Slufterspecie storten met diffusor in Bergsche Diep put.

ber.nr. VZM5.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
totale gestorte hoeveelheid verontreiniging in grammen	1432	141632	56650	56614	283	283	707
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	7,8 0,5	64,2 0,05	20,9 0,04	11,1 0,02	0,03 0,009	0,02 0,005	0,06 0,008
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	0,9 0,07	8,0 0,006	2,6 0,005	1,4 0,002	0,003 0,001	0,002 0,0007	0,007 0,001

Fluxen berekend met een overschatting van de consolidatiedebieten.

ber.nr. VZM5a.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	14,1 1,0	116,5 0,08	37,9 0,07	20,1 0,04	0,05 0,02	0,03 0,01	0,1 0,01
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	5,9 0,4	48,5 0,03	15,8 0,03	8,4 0,01	0,02 0,007	0,01 0,004	0,04 0,006

Bijlage 6

Verontreinigingsfluxen tijdens de vulfase en de eindfase door de verschillende processen per scenario (exclusief de diffusieflux).

Scenario: 188.000 m³ in 10 jaar type type Sluifterspecie storten met diffusor in Bergsche Diep put.

ber.nr. VZM6.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
totale gestorte hoeveelheid verontreiniging in grammen	2692	266267	106502	106433	532	532	1330
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	17,3 0,6	142,6 0,05	46,5 0,04	24,7 0,02	0,06 0,01	0,03 0,006	0,1 0,009
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	2,3 0,08	18,7 0,007	6,1 0,006	3,2 0,003	0,008 0,001	0,004 0,0008	0,02 0,001

Fluxen berekend met een overschatting van de consolidatiegebieten.

ber.nr. VZM6a.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	26,6 1,0	218,8 0,08	71,3 0,07	37,8 0,04	0,09 0,02	0,05 0,01	0,2 0,01
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	11,1 0,4	91,2 0,03	29,7 0,03	15,8 0,01	0,04 0,007	0,02 0,004	0,08 0,006

Bijlage 7

Verontreinigingsfluxen tijdens de vulfase en de eindfase door de verschillende processen per scenario (exclusief de diffusieflux).

Scenario: 100.000 m³ in 5 jaar type Ketelmeerspecie storten met diffusor in Krammerput.

ber.nr. VZM7.WR2	γ-HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
totale gestorte hoeveelheid verontreiniging in grammen	1432	141632	56650	56614	283	283	707
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	9,6 0,7	78,0 0,06	25,3 0,05	13,4 0,02	0,03 0,01	0,02 0,007	0,07 0,009
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	1,6 0,1	13,3 0,009	4,3 0,008	2,3 0,004	0,006 0,002	0,003 0,001	0,01 0,002

Fluxen berekend met een overschatting van de consolidatiedebieten.

ber.nr. VZM7a.WR2	γ-HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
nbflux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	10,4 0,7	84,7 0,06	27,5 0,05	14,6 0,03	0,04 0,01	0,02 0,007	0,07 0,01
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	4,3 0,3	35,3 0,02	11,5 0,02	6,1 0,01	0,01 0,005	0,008 0,003	0,03 0,004

Bijlage 8

Verontreinigingsfluxen tijdens de vulfase en de eindfase door de verschillende processen per scenario (exclusief de diffusieflux).

Scenario: 250.000 m³ in 10 jaar type Ketelmeerspecie storten met diffusor in Krammerput.

ber.nr. VZM8.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
totale gestorte hoeveelheid verontreiniging in grammen	3580	354079	141625	141534	707	707	1768
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	21,6 0,6	177,2 0,05	57,5 0,04	30,5 0,02	0,07 0,01	0,04 0,006	0,2 0,008
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	3,8 0,1	31,0 0,009	10,1 0,007	5,3 0,004	0,01 0,002	0,007 0,001	0,03 0,001

Fluxen berekend met een overschatting van de consolidatiedebieten.

ber.nr. VZM8a.WR2	γ -HCH	flu	B(a)P	B(b)F	PCB28	PCB153	2,4-DDT
flux t.g.v. consolidatie = totale flux tijdens de vulfase in grammen en %	35,3 1,0	289,5 0,08	93,9 0,07	49,9 0,04	0,1 0,02	0,07 0,01	0,2 0,01
flux t.g.v. consolidatie tijdens de eindfase in grammen en %	14,7 0,4	120,6 0,03	39,1 0,03	20,8 0,01	0,05 0,007	0,03 0,004	0,1 0,006