

082

Risico's van het vervoer van olie
en vloeibare toxische stoffen.
Een eerste verkenning in verband
met de verdieping van de Wester-
schelde.

Nota DDMI-84.07

Middelburg, april 1985
ir. P.B.M. Stortelder,
A.M.B. Holland.

INHOUD

	pag.
INLEIDING	1
1. OLIE	3
1.1. Omvang vervoer, ladinggrootte, kans	3
1.2. Verspreiding en afbraak van olie	4
1.2.1. Vlekvorming	4
1.2.2. Processen en tijdschalen	7
1.3. Effecten van olielozingen op het Westerschelde-systeem	9
1.3.1. Fysische effecten	9
1.3.2. Effecten op organismen	11
1.3.3. Totaal-effecten op het milieu bij olierampen	13
1.4. Nader onderzoek	15
2. VLOEIBARE TOXISCHE STOFFEN	16
2.1. Indeling	16
2.2. Omvang vervoer, ladinggrootte en risico	16
2.3. Verspreiding van vloeibare toxische stoffen	19
2.4. Effecten op organismen	30
2.5. Nader onderzoek	37
3. CONCLUSIES	38
4. LITERATUUR	41

INLEIDING

In verband met de studies naar de verdieping van de Westerschelde is de vraag gesteld of ten gevolge van deze verdieping de risico's m.b.t. veiligheid en milieu, die gepaard gaan met het vervoer van gevaarlijke stoffen, toenemen. Hierbij wordt gedacht aan de grotere risico's bij een intensiever scheepvaartverkeer en bij toename van de ladinggrootte.

Door TNO is een risico-analyse van de Westerschelde-verdieping uitgevoerd (lit. 1). Door het ontbreken van een betrouwbare prognose over het vervoer van gevaarlijke stoffen is een vergelijking van de risico's voor en na de verdieping niet uitvoerbaar gebleken. De studie heeft zich dan ook beperkt tot:

- het analyseren van de nauwkeurigheid waarmee risicoberekeningen (schade-omvang en kans op schade) uitgevoerd kunnen worden. Uit deze analyse kan worden afgeleid hoe groot de veranderingen in het vervoersbeeld moeten zijn wil de schade-omvang en -kans significant veranderen;
- het uitvoeren van een beperkte risico-analyse van het huidige transport van gevaarlijke stoffen over de Westerschelde.

In het TNO-rapport wordt de meeste aandacht geschonken aan de risico's bij het vervoer van tot vloeistof verdichte- of gekoelde brandbare gassen (LPG als voorbeeldstof), tot vloeistof verdichte- of gekoelde toxische gassen (NH_3 als voorbeeld stof) en brandbare vloeistoffen (benzine als voorbeeldstof). M.b.t. tot de risico's bij het vervoer van olieachtige vloeistoffen (nafta en ruwe olie) en toxische vloeistoffen beperkt het rapport zich in hoofdzaak tot het aangeven van de kans op calamiteiten en de nauwkeurigheid in die schatting.

In deze nota wordt op basis van het TNO-rapport een eerste verkenning gemaakt m.b.t. de mogelijke risico's voor het milieu van de Westerschelde in de huidige situatie bij het vervoer van de volgende stofcategorieën:

- olie(-produkten);
- vloeibare toxische stoffen.

De studie beperkt zich in aansluiting op het TNO-rapport tot het vervoer in zeeschepen; deze beperking is in dat rapport gemaakt omdat alleen de grootste risico's werden beschouwd. Buiten beschouwing zijn ook gelaten de effecten op andere functies zoals recreatie en visserij.

M.b.t. beide stofcategorieën wordt in deze nota achtereenvolgens aandacht geschonken aan de omvang van het vervoer, grootte van de lading, de kans op calamiteiten, de verspreiding en afbraak van de betreffende stoffen, de gevolgen voor het milieu en aanbevelingen m.b.t. nader onderzoek.

1. OLIE

1.1. Omvang vervoer, ladinggrootte, kans

In 1981 werd over de Westerschelde totaal $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ruwe olie en $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ nafta en daarmee gelijkgestelde stoffen vervoerd in zeeschepen. In dit hoofdstuk wordt alleen ingegaan op olie en primaire olieprodukten die een dermate hoog kookpunt hebben, dat de dampontwikkeling zo gering is, dat brand en flash-fire niet erg waarschijnlijk zijn.

De aantallen zeeschepen die nafta en ruwe olie vervoeren zijn in dat jaar naar ladingscapaciteit te verdelen in:

200 schepen/jaar van 49000 m^3 ($1900 \text{ m}^3/\text{tank}$); nafta

50 schepen/jaar van 91000 m^3 ($6300 \text{ m}^3/\text{tank}$); 30 ruwe olie, 20 nafta

3 schepen/jaar van 195000 m^3 ($9600 \text{ m}^3/\text{tank}$); 1 ruwe olie, 2 nafta

De gemiddelde kans dat er een ongeval optreedt waarbij de totale inhoud van één tank van een schip leegstroomt - een zogenaamde kritische aanvaring - is voor de gehele Westerschelde door TNO geschat op $5 \cdot 10^{-6}$ /scheepsbeweging; d.w.z. één ongeval op de 200.000 scheepsbewegingen.

De te verwachten hoeveelheid ruwe olie of nafta die vrijkomt met de daarbij behorende kans is op basis van bovenstaande eenvoudig te berekenen en gegeven in tabel 1. Tevens is aangegeven hoe groot de onzekerheid is in de berekende kans van optreden. De kans dat meerdere tanks leegstromen is niet in beschouwing genomen.

Tot nu toe is in de Westerschelde nog geen calamiteit van de omvang zoals vermeld in tabel 1 voorgekomen. Dit is ook niet zo verwonderlijk gezien de gegeven kans, die gesommeerd in de orde van 1 maal per duizend jaar ligt.

In de periode 1966 t/m 1978 waren in totaal 2653 zee- en binnenvaartschepen op de Westerschelde bij ongevallen betrokken. Hierbij waren 28 schepen met olie of olieprodukten. In enkele gevallen is olie vrijgekomen, met name van binnenvaartschepen. De hoeveelheid lag maximaal in de orde van 500 m^3 , hetgeen overeenkomt met 2 tanks in een binnenvaartschip.

Tabel 1. Kans van optreden olielozingen op de Westerschelde als gevolg van ongevallen met zeeschepen (lit. 1).

Voorbeeldschip (enkelwandig)	Kans van optreden (j ^r - ¹)	grenzen in kans van optreden (j ^r - ¹)*
Ruwe olie:		
6300 m ³ /tank	2.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁵ tot 8.10 ⁻⁴
9600 m ³ /tank	5.10 ⁻⁶	9.10 ⁻⁷ tot 2.10 ⁻⁵
Nafta		
1900 m ³ /tank	1.10 ⁻³	2.10 ⁻⁴ tot 4.10 ⁻³
6300 m ³ /tank	1.10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁵ tot 4.10 ⁻⁴
9600 m ³ /tank	1.10 ⁻⁵	2.10 ⁻⁶ tot 4.10 ⁻⁵

* Deze grenzen zijn gekozen gebruik makend van de onzekerheid waarmee de kans van optreden bepaald kon worden (lit. 1). De onzekerheidsfactor wordt voor een kritieke aanvaring aangegeven met +3/+5, hetgeen betekent dat de werkelijke waarde van de kans op een aanvaring ligt tussen 4 en 1/6 maal de berekende waarde. (De notatie +a/+b geeft aan de grenzen a + 1 en $\frac{1}{b+1}$ maal de berekende waarde.)

1.2. Verspreiding en afbraak van olie

1.2.1. Vlekvorming

De meeste ruwe oliesoorten en olieprodukten verspreiden zich over het wateroppervlak. Er zijn echter ook oliesoorten die zich nauwelijks spreiden t.g.v. een hoge grensvlakspanning tussen het water en het olieprodukt of t.g.v. een hoog "pour point". Het "pour point" is de temperatuur waarbij de olie nog net vloeit. Sommige olieprodukten hebben een hoger soortelijk gewicht dan water en bezinken.

De twee krachten waardoor een olievlek zich vergroot zijn de zwaartekracht en de grensvlakspanning. De krachten die de spreiding van olie tegenwerken zijn de traagheidskrachten die ontstaan doordat de olie t.o.v. water een versnelling krijgt bij de verspreiding, en de wrijvingskrachten.

In de eerste uren na lozing overheerst de zwaartekracht bij de verspreiding; daarbij eerst vooral tegengewerkt door de traagheidskrachten, en later bij een geringere laagdikte door de wrijvingskrachten. Na enkele uren overheersen de krachten t.g.v. grensvlakspanning. Door Fay en anderen zijn deze verspreidingsprocessen wiskundig beschreven. Bij deze beschrijvingen is ervan uitgegaan dat de eigenschappen en het volume niet veranderen, dat er geen golven en getijstromingen zijn en dat er geen invloed van de wind is. Deze aannames resulteren in een cirkelvormige verspreiding. Zie voor een samenvatting van enkele eenvoudige verspreidingsmodellen van Wingerden (lit. 10).

In het TNO-rapport zijn schattingen gemaakt van het initieel plasoppervlak van ruwe olie en nafta na vrijkomen bij een aanvaring waarbij de inhoud van één tank wordt geloosd (lit. 1). Daarbij is aangenomen dat 75% van de uitgestroomde ruwe olie een drijvende laag vormt van 0,5 cm en 90% van de uitgestroomde nafta een laag van 0,1 cm. Deze aannames zijn gemaakt omdat ook processen als stolling, emulsiëvorming en de vorming van plakken van enkele centimeters kunnen optreden.

In tabel 2 zijn de plasoppervlakken voor ruwe olie en nafta onder deze aannamen gegeven. Tevens zijn hierbij de onzekerheidsgrenzen aangegeven gebaseerd op een onzekerheidsfactor +1/+1 (zie tabel 1) in het plasoppervlak (lit. 1).

Tabel 2: Initieel en maximaal plasoppervlak bij uitstroming van ruwe olie en nafta, waarbij respectievelijk 75% en 90% van de uitgestroomde hoeveelheid bijdraagt aan de drijvende laag. Tussen haakjes is de laagdikte aangegeven.

Voorbeeldschip (enkelwandig)	initieel plasoppervlak (km ²)	grenzen in initieel plasoppervlak (km ²)	maximaal plasoppervlak volgens Fay (km ²)
Ruwe olie:	(0,5 cm)		(0,1 mm)
6300 m ³ /tank	0,9	0,45 tot 1,8	71
9600 m ³ /tank	1,4	0,7 tot 2,8	97
Nafta	(0,1 cm)		
1900 m ³ /tank	1,7	0,8 tot 3,4	
6300 m ³ /tank	5,7	2,8 tot 11,4	
9600 m ³ /tank	8,6	4,3 tot 17,2	

Theoretisch zal de spreiding van de olie doorgaan tot er een monomoleculaire laag is bereikt. In de praktijk blijkt de spreiding echter eerder te stoppen doordat de samenstelling van de olie verandert door verdamping, oplossen en dispersie van bepaalde fracties. Het maximale oppervlak van de olievlek kan volgens Fay (zie lit. 10) benaderd worden door:

$$A_{\max} = 10^5 V_0^{3/4}$$

V_0 = begin volume olie (m³)
 A_{\max} = maximale oppervlak van de olievlek (m²)

Uit vergelijking met metingen is deze schatting van het maximale oppervlak erg aan de veilige kant. Veelal is het oppervlak een factor 2 à 3 kleiner (10). De omvang van de vlek hangt ook af van de soort olie door de verschillen in spreidingscoëfficiënt*) en de verandering die daarin optreden tijdens de verspreiding ten gevolge van verdamping en oplossen. De viscositeit van de olie blijkt van geringe invloed op het verspreidingsgedrag (10). Bij nafta geldt de formule van Fay niet en wordt ten gevolge van de verdamping nooit een laag van 0,1 mm bereikt. Bij olie zijn dergelijke laagdiktes wel in de praktijk waargenomen.

Ook als we er vanuit gaan dat het maximale plasoppervlak met een factor 2 à 3 is overschat dan kan toch gesteld worden dat in de voorbeeldcalamiteiten een relatief vrij groot deel van de Westerschelde met een olielaag van 0,1 mm bedekt wordt (zie tabel 2). Ter vergelyk: het totale oppervlak van de Westerschelde is ca. 320 km².

In de voorgaande benadering is uitgegaan van een cirkelvormige vlek die zich niet verplaatst. Door de getijstromingen, de wind, de randen van een estuarium en de grillige morfologie zal de vlek zich verplaatsen en wel relatief meer in de lengterichting van het estuarium dan in de breedte.

*) spreidingscoëfficiënt $T = T_{w1} - T_{o1} - T_{w2}$ met
 T_{w1} = grensvlakspanning water-lucht
 T_{o1} = grensvlakspanning olie -lucht
 T_{w2} = grensvlakspanning water-olie

Door de horizontale getijbeweging zal de vlek meerdere getijcycli over grote afstand heen en weer verplaatst kunnen worden. De getijweg in de Westerschelde bedraagt 10-20 km. Door het vertikaal getij zal bij afgaand water een deel van de olie achterblijven op de intergetijdegebieden (schorren en slikken).

Daarnaast heeft de wind "vat" op de olie. De oppervlakedrift van een olielaag varieert van 2 tot 4,5% van de gemiddelde windsnelheid op 10 meter hoogte. Een windkracht van 4-5 Beaufort (5-10 m/s) komt gemiddeld 50% van het jaar voor. Voor de oppervlakedrift wordt over het algemeen 3% gehanteerd, zodat bij een windsnelheid van 5 m/s een olie-vlek 0,54 km/uur verplaatst wordt. De gemiddelde breedte van de Westerschelde is 5 km, zodat een olievlek zich t.g.v. de wind in ongeveer 10 uur van de ene oever naar de andere kan verplaatsen. Uit nader onderzoek moet nog blijken wat de relatieve invloed van wind, getijstroming, randen en geomorfologie is op de verplaatsing en verspreiding van de vlek.

1.2.2. Processen en tijdschalen

Vanaf het moment dat de olie verspreid wordt gaan processen een rol spelen die de eigenschappen en de hoeveelheid olie(-produkten) beïnvloeden. In tabel 3 staan deze processen met de bijbehorende tijdschaal, alsmede de fractie waarin dat proces meetelt.

Tabel 3. Schatting van het aandeel en de tijdschaal van diverse processen bij de verspreiding en verwerking van ruwe olie op zee (Morris, 1976, naar lit. 2).

proces	tijdschaal (dagen)	percentage
verdamping	1-10	25
oplossing	1-10	5
dispersie (gevolgd door:)	1-10	
- desintegratie	100-1000	15
- bezinking		
- fotochemische afbraak	10-100	5
- microbiële afbraak	50-500	30
residue	100	20

Over de verspreidings- en verweringsprocessen valt het volgende op te merken:

- Verdamping

Uit de tabel blijkt dat gemiddeld 25% van ruwe olie verdampt zal zijn binnen enige dagen. Door het proces van verdamping veranderen de eigenschappen van de olie. De dichtheid en de viscositeit van de olie-rest neemt toe. De spreidingscoëfficiënt neemt af.

- Oplossing

Het oplossen van oliefracties gaat slechts zeer langzaam en in zeer kleine hoeveelheden. Lagere saliniteit en hogere temperatuur doen de oplosbaarheid toenemen.

- Dispersie

Dispersie is het mengen van zeer kleine druppeltjes olie door de waterkolom onder invloed van golfactiviteit en stroming. Desintegratie, bezinking, fotochemische en microbiële afbraak vindt veelal plaats nadat de olie eerst gedispergeerd is, aangezien dispersie een veel sneller verlopend proces is. De snelheid van de dispersie is sterk afhankelijk van de windsterkte en golfhoogte.

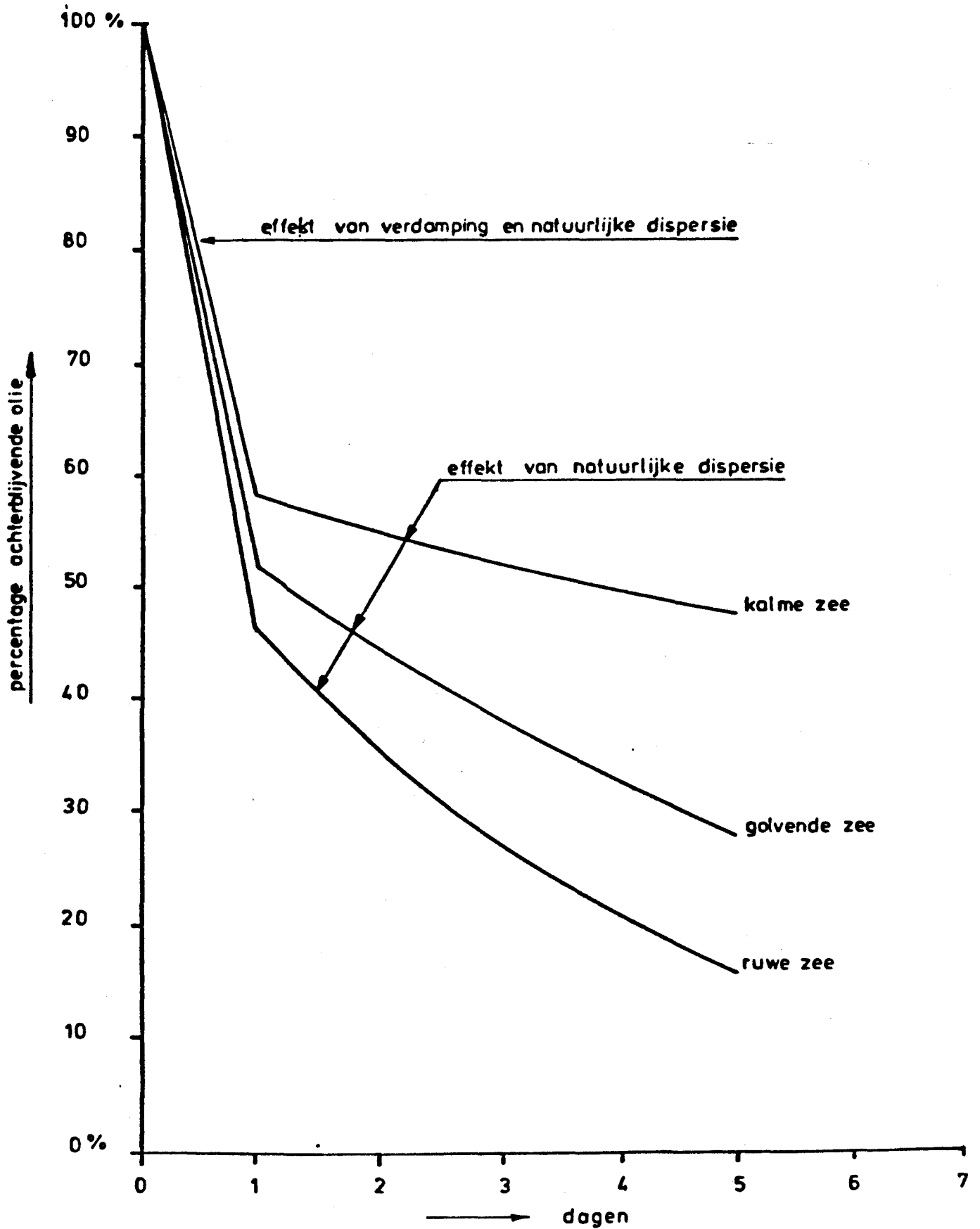
Tabel 4 geeft percentages voor de dispersie bij verschillende windsnelheden en in figuur 1 is de invloed van golfactiviteit op verdamping en dispersie van olie gegeven.

Tabel 4. Relatie dispersiesnelheid van olie en windsnelheid (Naar lit. 3).

Windkracht Beaufort	Dispersie gedurende dag (%)		
	1 t/m 3	4 t/m 5	overige
0-3	10-30	5-15	0- 5
3-5	20-40	10-20	0- 7
5-7	30-50	20-30	0-10
7	40-60	25-35	0-10

- Emulsievorming.

Een emulsie ontstaat als ten gevolge van de golfbeweging het water met olie wordt vermengd. Over het algemeen worden emulsies gevormd bij ruwe oliesoorten met een grote laagdikte en bij zware zeegang. De hoeveelheid water kan oplopen tot 80%. Er ontstaat dan een schuimige bruinvlokkige massa die op den duur in brokken uiteenvalt en



Figuur 1. Invloed van de golfactiviteit op verdamping en dispersie van Noordzee-olie (lit. 3).

deels bezinkt en deels drijvende "teerklompen" vormt. In de Westerschelde kan dat proces in voorkomende gevallen vooral in de oeverzone optreden.

- Desintegratie, bezinking.

Oliecomponenten worden over het algemeen door particulier materiaal naar de bodem getransporteerd. Door de hoge concentraties particulier materiaal in de Westerschelde zal sedimentatie een belangrijke bijdrage leveren aan het verdwijnen van olie uit de waterfase.

- Afbraakprocessen: Fotochemische en microbiële afbraak.

Bacteriën, fungiciden en gisten kunnen de olie afbreken wanneer er voldoende licht en/of zuurstof aanwezig is. Deze organismen reageren op de concentratie olie, hun aantal neemt enige dagen na de olie-lozing meestal enorm toe.

De zuiver fotochemische afbraak (oxidatie) is ondergeschikt aan de microbiële afbraak.

Samengevat mag geconcludeerd worden dat verdamping en dispersie van olie (-produkten) in een tijdschaal van 1-10 dagen de dominante verdwijningsprocessen zijn. Na 1 dag is door verdamping en natuurlijke dispersie al ca. 50% van de olie uit de vlek verdwenen.

De andere verspreidingsprocessen (bezinking) en de afbraakprocessen verlopen relatief langzaam. De termijn dat deze verontreinigingen aanwezig zijn is zo lang dat toxische effecten van de olie en de olieafbraakprodukten op organismen niet kan worden uitgesloten.

Voor een uitgebreidere beschrijving van deze processen kan verwezen worden naar Bergman (lit. 2) en Van Wingerden (lit. 10). Voor toepassing van de gegevens op de Westerschelde is het van belang inzicht te hebben in de soorten olie die vervoerd worden.

1.3. Effecten van olielozingen op het Westerscheldesysteem

1.3.1. Fysische effecten

Gasuitwisseling

Bij aanwezigheid van olie op het water wordt de uitwisseling van zuurstof en koolzuur duidelijk minder (20% minder bij laagdikte 0,05 mm).

Dit kan in het oostelijk deel van de Westerschelde wellicht enig effect hebben omdat daar de zuurstofgehalten al laag zijn en er een grote zuurstofbehoefte bestaat. Bij vermindering van O_2 -uitwisseling zal de grens van de zuurstofloosheid meer naar het westen komen te liggen.

Warmte uitwisseling

De veranderingen in de warmteuitwisseling wordt van ondergeschikt belang geacht.

Lichtindringing

Onder een drijvende olielaag (0,5 cm) is de lichtintensiteit gemiddeld slechts 1% en maximaal 5 tot 10% van de intensiteit aan het oppervlak. Daarom zal als gevolg van olie op het water de produktie van fytoplankton en fyto benthos tijdelijk sterk verminderen. Op de totale jaarproduktie is de invloed gering omdat de vlek slechts een aantal dagen bestaat.

Accumulatie

In de oliefase kunnen zich pesticiden en zware metalen concentreren (extractie-effect). Daardoor kan opname van deze stoffen in de voedselketen tijdelijk versterkt worden.

Erosie

Door olie vervuiling vernietigde vegetatie op een schor kan aanleiding geven tot sterke erosie van het schor; deze schade is onherstelbaar. Ook in de Westerschelde komen natuurwetenschappelijk belangrijke schorren voor.

1.3.2. Effecten op organismen

Voor een uitgebreid literatuuronderzoek naar de effecten op organismen kan verwezen worden naar Bergman (lit. 2). Enkele algemene effecten zijn hieronder samengevat:

In de waterfase

De concentratie van (de bestanddelen van) olie in het water kan zo

hoog zijn dat organismen die bepaalde tijd aan die concentratie zijn blootgesteld, afsterven. Een maat voor de acute toxiciteit is de LC₅₀-waarde.*) Iedere oliesoort en iedere expositieduur heeft zijn eigen LC₅₀-waarde.

Door Nelson-Smith (1977) zijn diverse groepen estuariene organismen gerangschikt naar gevoeligheid voor ruwe olie bij een expositie gedurende enkele uren (tabel 5).

Tabel 5. Toxiciteit van ruwe olie voor diverse organismengroepen; LC₅₀-experimenten met een duur van enkele uren.

Organisme	LC ₅₀ -waarde
- micro-flora	} 2 ppm - 20.000 ppm
- larvaal en adult zoöplankton	
- vrij zwemmende vis	10 ppm - 10.000 ppm
- crustaceeën	} 25 ppm - 50.000 ppm
- mollusken	
- bodembewoners	

De enorme spreiding in de weergegeven LC₅₀-waarden wordt veroorzaakt door de grote verschillen die kunnen bestaan in de samenstelling van de ruwe olie de toxiciteit van de verschillende fracties in de olie. Daarnaast zijn er binnen de groepen van organismen soorten met verschillende toxische gevoeligheid.

Voor het Westerschelde estuarium zijn deze concentraties van belang, omdat ze betrekking hebben op een korte expositieduur. Door de uitwisseling van het Westerscheldewater met de Noordzee en de naar verwachting uit te voeren oliebestrijding bij een eventuele ramp zullen de concentraties olie snel afnemen.

Op andere effecten dan sterfte (groei, ontwikkeling en reproductie b.v.) wordt hier niet verder ingegaan. Wel moet gezegd dat dié effecten al bij lagere concentraties optreden, en bij vervolgstudies zeker aandacht moeten krijgen.

*) LC₅₀: De concentratie van een stof waarbij binnen een bepaalde tijd (veelal 96 uur) 50% van de blootgestelde groep testorganismen sterft.

Bij gebruik van chemische middelen voor oliebestrijding moet rekening gehouden worden met de effecten van die middelen die soms ook milieu-onvriendelijk zijn.

Intergetijdegebieden

In de intergetijdezone moet de toxiciteit anders beoordeeld worden dan in de waterfase, omdat daar naast de toxiciteit van de door olie verontreinigde waterfase de effecten van bedekking van organismen door olie een belangrijke rol speelt. De invloed van afgezette olie op intergetijdegebieden zal ook langer duren, omdat deze resten minder snel worden afgevoerd dan uit de waterfase.

Naast acute sterfte van bodemgebonden flora en fauna door oliebedekking zal de olie een fysische invloed uitoefenen die tot sterfte leidt: de bewegingen voor ademhaling en voeding worden beperkt, organismen kunnen over grote afstanden worden verplaatst, vogels die voedsel zoeken komen in aanraking met olie met als gevolg dat voedsel zoeken moeilijker wordt, dat de beschermingslaag op de veren wordt aangetast en water op de huid komt waardoor te sterke afkoeling van het lichaam optreedt, dat het zwem- en vliegvermogen wordt aangetast en dat maag- en darmkanaal wordt aangetast t.g.v. inslikken van olie bij het schoonmaken van de veren.

De aantasting van de intergetijdeflora is sterk afhankelijk van de hoeveelheid en de vorm waarin de olie contact maakt met de planten. Bij alle olierampen waarvan de effecten in het veld werden onderzocht, bleek achteruitgang of sterfte van enige of meerdere soorten vegetatie waaronder macro-algen, ééncellige algen en zeegras. Sommige soorten bleken onder bepaalde omstandigheden opvallend resistent, als gevolg van de fysische eigenschappen van die soort. Bij de beschrijvingen van deze effecten zijn de hoeveelheden olie op/aan de vegetaties niet gekwantificeerd.

1.3.3. De totaal-effecten op het milieu bij olierampen

In voorgaande hoofdstukken is getracht de toxiciteit van olie en de omvang van de effecten enigszins te kwantificeren. Een voorspelling van wat er in de Westerschelde zou kunnen gebeuren is daaraan af te schatten. Een andere mogelijkheid is te kijken naar de effecten die

olierampen in het verleden gehad hebben. In tabel 6 is aangegeven wat er na verschillende olierampen is geconstateerd aan effecten en om welke oliehoeveelheid het ging.

Tabel 6. Totaal-effect op marine levensgemeenschappen bij enkele olierampen voor zover direct na de ramp werd onderzocht. (Gebaseerd op lit. 2).

jaar	schip	plaats	hoeveelheid olieveront- reiniging	geconstateerde effecten
1957	"Tampico Maru"	Zuid Californië (estuarium)	? ton dieselolie	sterfte van macroalgen, sterfte van schelpdieren, slakken en zeeëgels
1967	"Torrey Canyon"	Cornwall England (rotskust)	14000 ton ruwe olie	grôte sterfte in de levensgemeenschappen van deze rotskust, waaronder naar schatting meer dan 40.000 vogels (mede door 10.000 ton dispergenten).
1969	"Florida"	W-Falmouth (USA) (getijdegebied van beperkte grootte)	700 ton stookolie	massale en onmiddellijke sterfte van dierlijke organismen in zowel het intergetijdegebied als beneden de LW-lijn
1978	"Amoco Cadiz"	Bretonse kust (zand- en slikplaten en rotskust)	230.000 ton ruwe olie	Grote sterfte van organismen, waaronder naar schatting meer dan 15.000 vogels

Uit deze voorbeelden blijken voor alle gevallen de gevolgen voor de levensgemeenschappen desastreus, zelfs bij verlies van "kleine" hoeveelheden olie. Voor een zeer uitgebreide beschrijving van effecten op organismen, alsmede over de herstelduur kan verwezen worden naar het rapport van M. Bergman (lit. 2). In dat rapport wordt ook gewezen op de milieugevolgen van het gebruik van dispergeermiddelen bij de bestrijding.

1.4. Nader onderzoek

Om voor de Westerschelde tot een meer gedetailleerd beeld te komen van de milieukundige gevolgen t.g.v. olievervuiling is het noodzakelijk meer specifieke kennis te verzamelen omtrent

- a) soorten (ruwe) olie die - ook met binnenschepen - vervoerd worden;
- b) verspreidingsgedrag onder verschillende omstandigheden van getij, wind per locatie; met name de kans op vervuiling van het intergetijdegebied, inclusief schorren en dijken, dient onderzocht te worden.
- c) inzicht in de verdwijnprocessen per soort (ruwe) olie
- d) toepassing van literatuurgegevens over de gevolgen van olie en olieprodukten in estuariene gebieden op het Westerscheldegebied, gedifferentieerd naar diverse deelgebieden zoals het Land van Saeftinge en de Hooge platen.
- e) onderzoek naar bestrijdingsmethoden in relatie tot de milieugevolgen.

2. VLOEIBARE TOXISCHE STOFFEN

2.1. Indeling

Door de IMCO (Inter-Governmental Maritime Consultative Organisation) is in 1973 een internationale conventie voor de preventie van verontreiniging door schepen opgesteld. In deze conventie zijn een groot aantal vloeibare toxische stoffen opgenomen en ingedeeld naar de mate van toxiciteit. Daarbij zijn 5 groepen (A t/m D, overigen) onderscheiden, waarvan de groep A de meest toxische stoffen omvat. Deze groep is omschreven als stoffen die zich in het weefsel van planten of dieren ophopen en risico's opleveren voor het aquatisch leven of de menselijke gezondheid bij gebruik als voedsel; of die zeer toxisch zijn ($LC_{50} < 1$ mg/l) of toxisch ($LC_{50} < 10$ mg/l) waarbij additionele factoren bepaalde schade kunnen veroorzaken.

Een aantal belangrijke stoffen (volgens opgave Dir. Zeeland) uit de groepen A en B van de IMCO-conventie van 1973 zijn vermeld in tabel 7.

Tabel 7. Lijst met een aantal belangrijke toxische stoffen in groepen A en B volgens de IMCO-conventie van 1973. Tevens is de omvang van de vervoerde hoeveelheid in Rotterdam (1979) gegeven. De indeling in categorieën is gebaseerd op fysische eigenschappen volgens lit. 8 (zie ook par. 2.3.).

Groep A	m ³ x10 ³	cat.	Groep B	m ³ x10 ³	cat.
Creosote			Acrylonitrile	207	IIB
Cresols	21	IVc	Ammonia	80	IIIB
Cresylic acid			Benzyl Chloride	-	-
Dichlorobenzenes	1,6	IVa	n - Butyraldehyde	-	-
Naphtalene (molten)	0,2	IVa	Butyric acid	-	-
Tetraethyl lead	22	IVa	Carbon tetrachloride	15	IVa
Tetramethyl lead	1,1	IVa	Chloroform	12	IVa
			para - Chlorotoluene	1	IVa
			Crotonaldehyde	-	-
			Dichlorodiethyl ether	-	-
			Dichloropropene-propane	-	-
			Ethylene dibromide	-	-
			Ethylene dichloride	55	IVa
			Methylene chloride	-	-
			Monochlorobenzene	5	IVa
			Perchloroethylene	-	-
			Tetrachloroethylene	-	-
			Phenol	96	IVa
			Pyridine	-	-
			Toluene diisocyanate	20	IVc
			Trichloroethylene	15	IVa

Ofschoon de IMCO-conventie van 1973, voor zover het de vloeibare toxische stoffen betreft, nog niet geratificeerd is, heeft er inmiddels wel een evaluatie plaatsgevonden van de risico's van schadelijke stoffen vervoerd per schip (lit. 4), hetgeen tot een groot aantal wijzigingen in de groepsindeling leidt. Mede door het ontbreken van gegevens over de omvang van het vervoer van de afzonderlijke chemicaliën over de Westerschelde leek het weinig nuttig om de geconstateerde veranderingen in de groepsindeling in deze nota te verwerken, en is de oude indeling gehanteerd.

2.2. Omvang vervoer, ladinggrootte en risico

Voor de omvang van het vervoer van toxische vloeistoffen, genoemd onder 2.1. is in tabel 8 een schatting gegeven.

Tabel 8: Geschatte hoeveelheden toxische stoffen die per jaar over de Westerschelde worden vervoerd (exclusief binnenvaart).

grote schip (dwt)	inhoud van één tank m ³	aantal scheeps- bewegingen/jaar	vervoerde hoeveel- heid tox. stof/jaar
1.600	200	150	350.000 ton
20.000	700	150	350.000 ton

Deze schatting (med. Dir. Zeeland) is gebaseerd op de volgende veronderstellingen.

- 1) Van de ca. 2000 zeeschepen die op de Westerschelde chemicaliën vervoeren, hebben 15% één of meer deelladingen van de in tabel 7 genoemde stoffen.
- 2) Op grond van een in 1981 gehouden weektelling wordt geschat dat ca. de helft van de chemicaliën-tankers tot de kleinere typen hoorde.
- 3) Geschat wordt dat van de 4,5 miljoen ton chemicaliën die in 1981 door de Antwerpse haven zijn behandeld, 5 - 10% behoort tot de in

tabel 4 vermelde stoffen. Het gaat dan om ongeveer 350.000 ton. Aangezien er ook stoffen - als deellading - mee vervoerd worden die niet in de Antwerpse haven verhandeld worden is deze geschatte hoeveelheid verdubbeld. De vervoerde hoeveelheid is vervolgens verdeeld over beide scheepstypen.

Uit een recente schatting voor de Rotterdamse haven, gebaseerd op een gedetailleerde registratie van alle vervoerde chemicaliën in 1979 in de Rotterdamse haven, blijkt dat 7-8% van de vervoerde chemicaliën tot groep A en B zijn te rekenen. Als uitgegaan wordt van de herziene indeling (lit. 4) is het percentage enigszins hoger (10-15%).

In de risico-analyse van TNO is uitgegaan van een geschatte kans op een kritieke aanvaring van $5 \cdot 10^{-6}$ per scheepsbeweging. De daarmee berekende kans op een calamiteit is voor zowel tankschepen met 200 m³ tanks als 700 m³ tanks $4 \cdot 10^{-4}$ per jaar (d.w.z. 1 maal per 2500 jaar). De grenzen die bepaald zijn op basis van de onzekerheidsfactor voor een kritieke aanvaring (+3/+5*) komen daarmee op $1,6 \cdot 10^{-3}$ tot $0,7 \cdot 10^{-4}$ per jaar (lit. 1).

Stemt dit nu overeen met de werkelijkheid?

Uit een studie van de Dienst Verkeerskunde (lit. 5) blijkt dat in de periode 1966 t/m 1978 in totaal 1922 ongevallen op de Westerschelde zijn geregistreerd, waarbij in totaal 2653 schepen waren betrokken: 1666 zeeschepen en 961 binnenschepen, waarvan er voor zover bekend respectievelijk 75 en 124 een gevaarlijke lading (brandbaar, giftig, ontplofbaar etc.) vervoerden. Meestal betrof het brandbare vloeistoffen (respectievelijk 52 en 103 schepen).

In een groot aantal gevallen was echter de lading niet bekend; dit gold voor 58% van de zeeschepen en 24% van de binnenschepen.

Onder de bij de ongevallen betrokken schepen - waarvan bovendien de lading bekend is geworden - bevonden zich 3 zeeschepen en 2 binnenschepen met giftige stoffen.

In dezelfde studie wordt vermeld dat er bij 82 ongevallen sprake is geweest van schade aan het milieu door uitstroming van milieuvreemde stoffen. In 27 gevallen door de uitstroming minerale olieprodukten, in

* Voor toelichting zie p4 en lit. 1.

2 gevallen door giftige chemicaliën en in 3 gevallen door giftige gassen. In 49 gevallen was echter de waterverontreiniging onbekend omdat de lading onbekend was, maar uitgaande van dezelfde verhouding qua aard van de stof zouden er van deze 49 schepen ook 3 tot 4 giftige stoffen bevatten. In 13 jaar zijn er dus 2 zekere gevallen van waterverontreiniging met giftige chemicaliën geconstateerd, en 3 tot 4 gevallen worden vermoed. Uit de nota (5) is niet op te maken of de geconstateerde gevallen zeeschepen en/of binnenschepen betreffen. Ook de omvang van de geloosde hoeveelheid is niet bekend. Wel is vrijwel zeker dat zich geen echt grote calamiteiten hebben voorgedaan met giftige stoffen.

Gezien deze lacunes in beschikbare gegevens en gezien de erg korte periode waarover gegevens bekend zijn, is nu geen schatting te maken van de kans op een ongeval met een zeeschip, waarbij giftige stof vrijkomt.

Wel kan worden geconcludeerd dat er veel meer ongevallen zijn waarbij giftige stoffen vrijkomen dan het door TNO geschatte aantal ongevallen met zeeschepen waarbij 200 of 700 m³ vrijkomt. Voor deze ongevallen met zeeschepen is een kans 1 maal per 2500 jaar geschat. Op basis van de feitelijke gegevens - 2 zekere gevallen en 3-4 onzekere in 13 jaar - ligt de frequentie op één ongeval in enkele jaren, waarbij het waarschijnlijk vooral om lozingen van kleinere omvang gaat door zeeschepen en/of binnenschepen.

2.3. Verspreiding van vloeibare toxische vloeistoffen

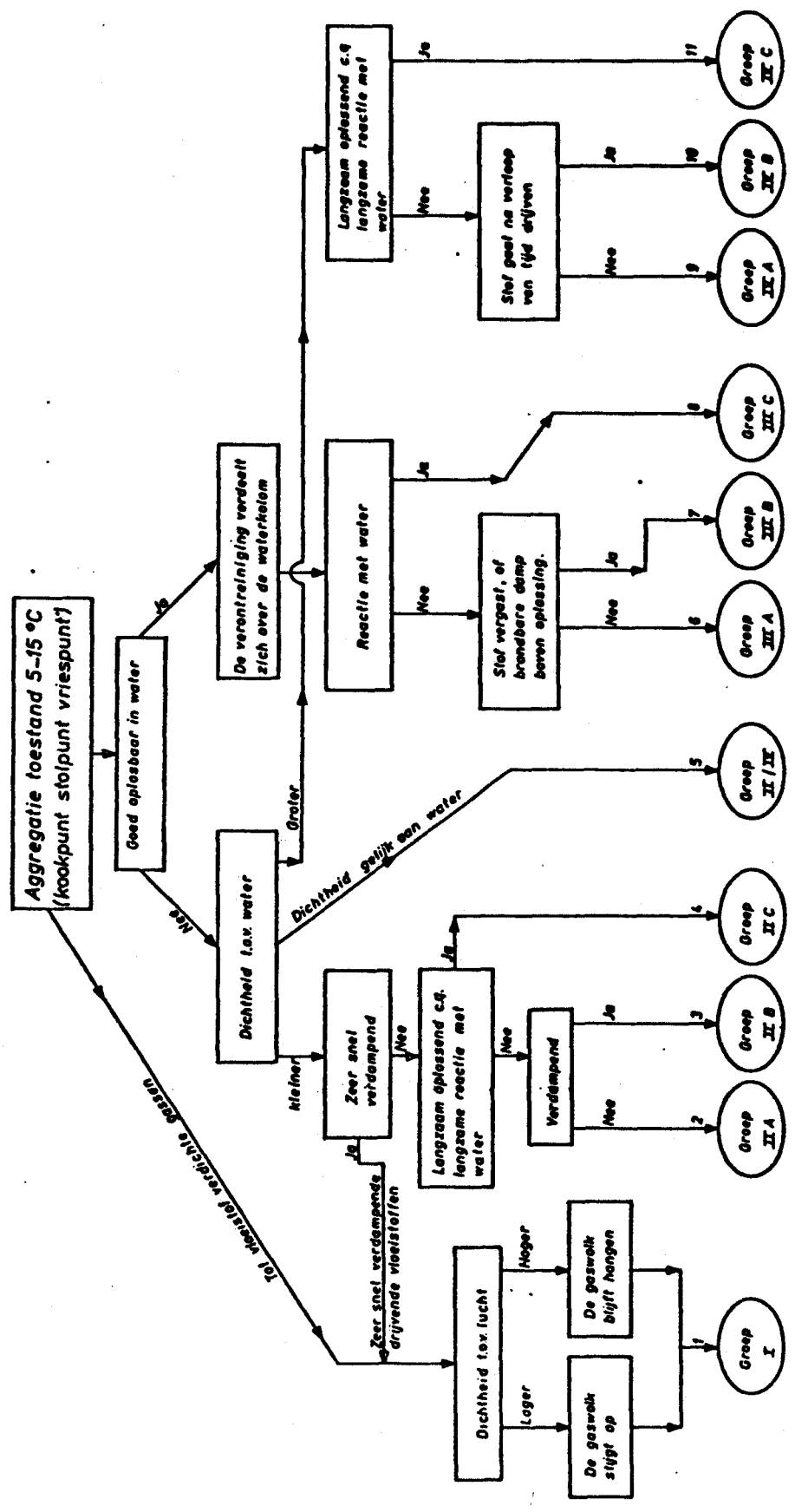
De wijze van verspreiding van vloeibare toxische vloeistoffen verschilt sterk van stof tot stof. Afhankelijk van de fysische eigenschappen bij uitstroming in water kunnen de volgende 4 categorieën worden onderscheiden (lit. 8):

- I stoffen die meteen verdampen
- II stoffen die op water blijven drijven
- III stoffen die snel oplossen c.q. reageren met water
- IV stoffen die zinken

Figuur 1a geeft deze indeling schematisch weer.

FIG 1 a

Fysische en chemische eigenschappen die het gedrag van een verontreiniging bepalen



Tabel 9. Indeling naar fysische en chemische eigenschappen en omvang van in bulk over zee vervoerde chemicaliën geregistreerd in Rotterdam in 1979.

Categorie	Dichtheid	Oplosbaarheid in water	Verdamping (-snelheid)	Overige karakteristieken	Totaal hoeveelheid (Rotterdam) m ³ x 10 ³	Totaal hoeveelheid tox. stof m ³ x 10 ³	Voorbeelden van meest vervoerde toxische stoffen (m ³ x 10 ³)
IIa	< 1	zeer klein	zeer langzaam		563	-	-
IIb	< 1	zeer klein	langzaam		3.349	3.115	Benzeen (640), xylene (537), toluen (527), styrene (386), cyclohexane (208), acrylonitrile (207)
IIC	< 1	langzaam	zeer langzaam		46	-	-
IIIa	n.v.t.	groot	(zeer langzaam)		1.634	976	Methanol (532), caustic soda (426)
IIIb	n.v.t.	groot	snel		257	82	Ammonia (80)
IIIc	n.v.t.	groot	n.v.t.	reageert met water	135	132	Zwavelzuur (117), acetoncyanohydrine (8)
IVa	> 1	zeer klein	n.v.t.		1.103	936	Zwavel (684), fenol (96), ethyleen dichloride (55)
IVb	> 1	zeer klein	n.v.t.	gaat na verloop van tijd weer drijven	7	3	-
IVc	> 1	langzaam	n.v.t.		74	66	Cresolen (21), Papi (25) toluene diisocyanate (20)
II/IV	≈ 1				42	9	Nafteenzuur (2)

Categorie I behoort niet tot de vloeibare stoffen en is uitvoerig behandeld in het TNO-rapport (lit. 1). Ook olie zal in deze paragraaf verder buiten beschouwing worden gelaten.

Een verdere onderverdeling van de categorieën II t/m IV en de omvang van het vervoer per categorie en voorbeelden van de meest vervoerde toxische stoffen is gegeven in tabel 9. De in tabel 9 gegeven omvang van vervoer van toxische stoffen betreft ook matige en licht toxische stoffen.

Uit tabel 9 blijkt dat de omvangrijkste categorie van vloeibare toxische stoffen IIb is. Dit betreft stoffen die blijven drijven, zeer slecht oplosbaar zijn in water en langzaam verdampen. De toxiciteit van de voorbeeldstoffen is veelal groot.

Van de snel oplosbare stoffen (categorie III) blijkt een beperkt aantal stoffen waarvan de toxiciteit niet zo erg groot is de hoofdmoot te vormen. Tot deze stoffen behoren methanol, ammonia en zwavelzuur.

De categorie bezinkende stoffen (IV) blijkt een omvangrijke hoeveelheid toxische stoffen te bevatten, waarvan het grootste deel gevormd wordt door zwavel dat matig toxisch is.

Keren we terug naar de meest gevaarlijke groep A en B toxische stoffen (tabel 7) dan blijken de meeste stoffen tot categorie IVa te behoren, terwijl in de categorie drijvende stoffen alleen acrylonitril naar voren komt en bij de oplosbare stoffen alleen ammonia. Beide laatstgenoemde stoffen echter wel in omvangrijke hoeveelheden.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat de verspreidingsstudies zich vooral moeten richten op de categorieën IIb, IIIb, IVa en IVc.

Drijvende stoffen

De verspreiding van drijvende stoffen die slecht oplosbaar zijn en langzaam verdampen (categorie IIb) vertoont grote overeenkomst met de verspreiding van olie. Zie voor de omvang van de vlek paragraaf 1.2.1. Een belangrijk verschil met olie is echter dat de verdamping + dispersie sneller verloopt dan voor ruwe olie. Bovendien blijft er geen moeilijk of niet-verdampend residu achter. De meeste stoffen uit categorie IIb zijn binnen 1 uur verdampt of gedispergeerd (tabel 10). An-

dere processen zoals oplossen en afbraak spelen op deze tijdschaal nauwelijks een rol. Uit de tabel blijkt ook dat slechts een klein percentage dispergeert: minder dan 10%. De verspreiding van het gedispergeerde deel komt onder oplosbare stoffen aan de orde. De in groep B vermelde toxische stof acrylonitril is qua gedrag vergelijkbaar met benzeen.

Voor estuariene gebieden kan geconcludeerd worden dat de drijvende chemicaliën slechts een beperkt gevaar inhouden door de snelle verdamping. Alleen bij een calamiteit in de buurt van een plaat, slik of schor kan bij afgaand water en een ongunstige windrichting (richting plaat, slik en schor) de stof afgezet worden in het intergetijdegebied en in de bodem dringen.

Voor de berekenwijze van de verspreiding, verdamping en dispersie van drijvende chemicaliën en een aantal eigenschappen van de stoffen kan verwezen worden naar Nieuwenhuize (lit. 11).

Tabel 10. Procentuele verdamping en dispersie in het water van enkele drijvende chemicaliën 1 uur na lozing (naar lit. 11).

	Geloosde hoeveelheid in m ³	% verdampt na 1 uur	% gedispergeerd na 1 uur	totaal na 1 uur
Benzeen	100	98,1	1,9	100
	1000	96,7	3,3	100
Propyleen-trimeer	100	95,5	4,5	100
	1000	77,6	6,7	84
Methyl-methacrylaat	100	97,9	2,1	100
	1000	96,4	3,6	100

Zinkende stoffen

De verspreiding van zinkende stoffen (categorie IV) wordt vooral bepaald door de getijstrooming. Wind en golven hebben nauwelijks invloed. De grootte van de stroomsnelheid bepaalt ook of de bezinkende stof in de directe omgeving van de calamiteit een plas vormt op de bodem of eerst nog getransporteerd wordt en onder rustiger stroomcondities zal bezinken. Ook de op de bodem gevormde plas kan onder veranderende stroomcondities nog verplaatst of verspreid worden. Een goede beschrijving van het verspreidingsgedrag van deze categorie stoffen is nog niet voorhanden.

Het belangrijkste proces dat zich naast transport in de eerste fase na lozing afspeelt is oplossen. Een aantal van de zinkende stoffen blijken redelijk oplosbaar te zijn in water (tabel 11).

Tabel 11. Oplosbaarheid in water van enkele veel vervoerde bezinkende chemicaliën.

	Oplosbaarheid in g/l
Cresol	31
Ethyleendichloride	8,7
Fenol	82

Ten aanzien van het oplossen van drijvende en bezinkende stoffen het volgende:

Voorals er een sterke stroming staat ter plaatse van de calamiteit kan het debiet in korte tijd zo groot zijn dat de geloosde stof in korte tijd volledig oplost is in het voorbijstromende water. Ter illustratie: Bij een stroomsnelheid van 0,5 m/s, hetgeen een normale waarde is voor getijdesystemen, stroomt er 50 m³ water per seconde door een dwarsdoorsnede van 100 m² (de geulen hebben een diepte van meer dan 10 m en zijn minstens 500 m breed). Bij een oplosbaarheid van 30 g/l is bij een lozing van 200 m³ de stof oplosbaar in ca. 6,5.10³ m³. M.a.w. in het volume dat in ca. 2 minuten voorbij stroomt. Er is daarbij volledige menging en een zeer hoge oplossnelheid verondersteld. In de werkelijkheid kan echter de snelheid waarmee de stof oplost na lozing een beperkende factor zijn, waardoor de bezinkende stof eerst naar de bodem zinkt en vervolgens pas langzaam oplost.

Naast het oplossen is ook de adsorptie van de stof aan particulier materiaal (o.a. slib) van belang zijn bij de verspreiding, vooral gezien de vaak hoge slibgehalten in estuaria.

Gezien het grote aantal zeer toxische chemicaliën in deze categorie IV is het gewenst dat aan de verspreiding van deze stoffen en in het bijzonder de snelheid van oplossen en mate van adsorptie meer aandacht wordt geschonken.

Oplosbare stoffen

Tot de categorie stoffen die snel oplossen c.q. reageren met water (categorie III) behoren slechts weinig stoffen die erg toxisch zijn. In tabel 7 met de meest toxische stoffen komt alleen ammonia voor.

Het is van belang aan het verspreidingspatroon van oplosbare stoffen de nodige aandacht te schenken omdat dit verspreidingspatroon ook van toepassing is voor het vaak snel gedispergeerde deel van de drijvende chemicaliën en het opgeloste deel van de zinkende en drijvende chemicaliën.

Bij de verspreiding van bovengenoemde categorieën stoffen kan in het algemeen worden uitgegaan van volledige menging over de vertikaal, tenzij er sprake is van stratificatie of grote diepte. De menging over de vertikaal in de Westerschelde is zeer goed, alleen bij hoge Scheldeafvoeren kan in het oostelijk deel een zoutgradiënt over de vertikaal aanwezig zijn.

Bij lozing van de merkstof rhodamine-B aan het wateroppervlak in het westelijk deel van de Westerschelde bij een waterdiepte van 18 m was na 2,5 uur al tot een diepte van 10,5 m menging opgetreden (lit. 9).

De verspreiding in de dwarsrichting en lengterichting van het estuarium is moeilijker te beschrijven en hangt onder meer af van de locatie van de calamiteit (midden in de geul of langs de oevers), van het - vaak gecompliceerde - stromingsbeeld in estuaria door de aanwezigheid van platen, schorren en slikken en van het karakter van de geul (eb- of vloed-dominant). Bij de verspreiding in dwars- en lengterichting kan een onderscheid gemaakt worden tussen het groter worden van de wolk t.g.v. mengingsprocessen en de verplaatsing van de wolk door de getijstroming.

Bij de groei van een wolk opgeloste stof kunnen de volgende stadia worden onderscheiden (lit. 12):

- het stadium waarin de oevers nog geen remmende invloed uitoefenen op de groei van de vlek;
- het stadium waarin de invloed van de oevers zo sterk is geworden dat de concentraties homogeen over de dwarsdoorsnede zijn geworden;
- het tussenstadium.

Uit simulaties voor een 1200 m brede geul blijkt het eerste stadium binnen enkele uren afgelopen te zijn. Bij lozingen midden in de geul is er na 12 uur geen concentratieverschil meer in de dwarsrichting en

bestaan er bij lozingen aan de rand nog slechts kleine verschillen (zie figuur 6, lit. 7). Met uitzondering van het uiterst oostelijk deel is de Westerschelde echter breder dan 1200 m, namelijk 4 tot 6 km.

Uit diffusie experimenten met Rhodamine-B in het Eems-estuarium met vergelijkbare breedte als de Westerschelde is volgens Suylen (12) voor de Westerschelde af te leiden dat het eerste stadium ca. 10 uur na lozing is afgelopen, en na ca. 5 dagen volledige menging over de dwarsrichting heeft plaatsgevonden. De grootte van de wolk, geschat op basis van deze experimenten, afgeleid uit bijlage 2 van literatuur 12, is gegeven in tabel 12.

Tabel 12. Grootte van de wolk (95% aanwezige massa) na een momentane puntlozing van oplosbare stof.

Tijdstip na lozing in uren	Grootte van de vlek in km ²		
	Gemiddeld	Minimaal	Maximaal
1	0,02	0,01	0,07
10	20	6,5	50
48 (2 dagen)	130	90	200
168 (7 dagen)	260	210	370

Bij de schatting van de omvang van de wolk is het oppervlak bekeken waarbinnen 95% van de op dat moment aanwezige massa aanwezig is. Eventuele verdamping of afbraak heeft geen consequenties voor de omvang van de wolk, maar wel voor de concentraties erin. Uit de tabel blijkt ook duidelijk de grote spreiding in de geschatte waarden. Bij calamiteiten waarbij de uitstroming langer duurt dan enkele minuten is de wolk in het algemeen nog groter.

Een ruwe indicatie over de verplaatsing van het centrum van de wolk kan verkregen worden uit de getijweg, d.i. de afstand die een waterpakket gemiddeld binnen één getij aflegt. Deze bedraagt in de Westerschelde ca. 15 km. De richting van de verplaatsing is afhankelijk van de fase van het getij waarin geloosd wordt. Zie voor een globale schatting van de verplaatsing van het centrum van de wolk als functie van de getijfase Daamen (13).

Na verloop van tijd (ca. 5 dagen) is sprake van 1-dimensionale verspreiding en kan de vlek beschreven worden met een ééndimensionaal waterkwaliteitsmodel zoals het model VEDWAM (14).

Door Suijlen (15) is een schatting gemaakt over de afname van de topconcentratie van een momentane puntlozing in een verticaal goed gemengd estuarium.

Vrij kort na de lozing (enkele uren) is het verloop van de concentratie in het hart van de vlek, d.i. de zogenaamde topconcentratie, te beschrijven volgens:

$$C(o,t) = \frac{M e^{-kt} G(t)}{h} \stackrel{\text{Def}}{=} \frac{M e^{-kt} V(t)}{h}$$

waarin: C(o,t): topconcentratie (kg/m³)
M : massa op moment van lozing (kg)
k : afbraakconstante (s⁻¹)
h : gemiddelde waterdiepte of doordringingsdiepte (m)
t : tijd na lozing (s)
G(t) : gereduceerde topconcentratie (m⁻²)
V(t) : verdunningsfunctie (=G(t) in het eerste stadium)

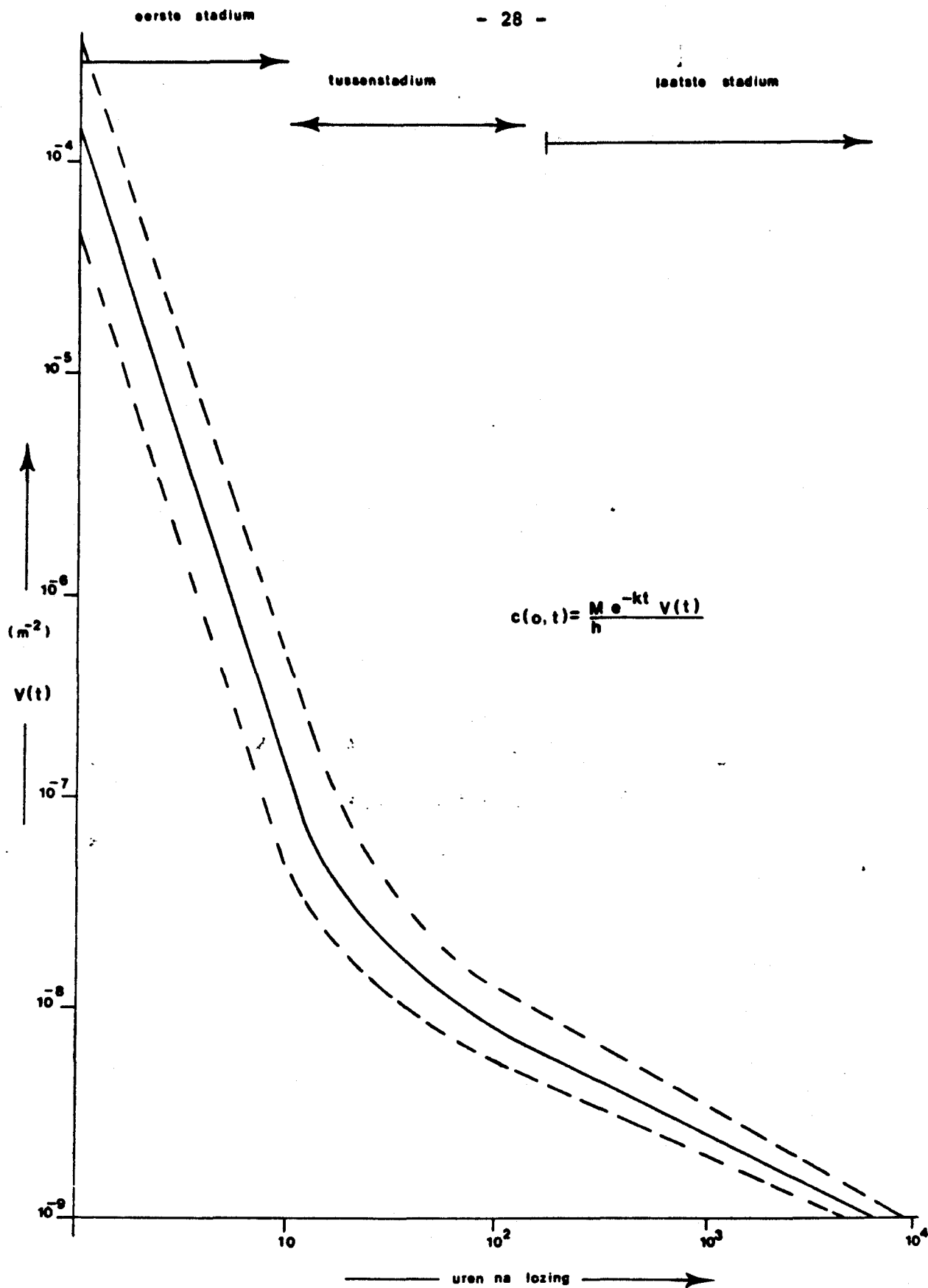
In het stadium dat er over de breedte geen concentratieverschillen meer bestaan wordt de topconcentratie gegeven door:

$$C(o,t) = \frac{M e^{-kb}}{h b \sqrt{4\pi K t}} \stackrel{\text{Def}}{=} \frac{M e^{-kb} V(t)}{h}$$

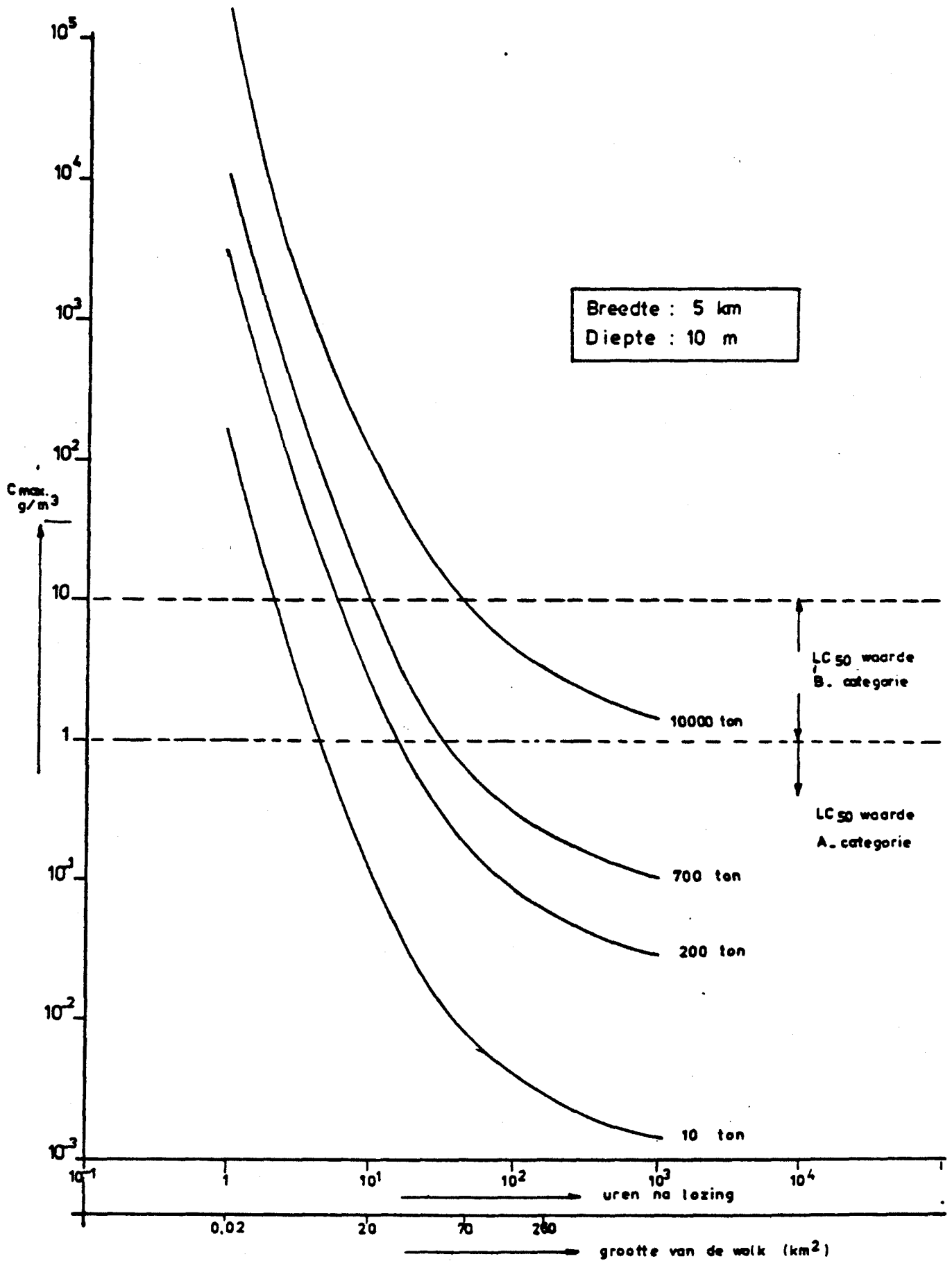
waarin: K: dispersiecoëfficiënt (m²/s)
b: breedte van het estuarium

In het tussenstadium, d.w.z. voordat volledige menging in de dwarsrichting is opgetreden, geldt een wat ingewikkelder formule (zie lit. 7), maar kan ook via interpolatie vrij nauwkeurig geschat worden.

In figuur 2 is de verdunningsfunctie V(t) uitgezet voor een conservatieve stof, d.w.z. er vindt geen afbraak van de stof plaats (k=0), bij een breedte (b) van 5000 m en een dispersiecoëfficiënt (K) van 140 m² s⁻¹.



Figuur 2: Het verloop van de verdunningsfunctie $V(t)$ bij een momentane puntlozing in de Westerschelde.



Figuur 3: De afname van de maximale concentratie in de wolk na een calamiteit op de Westerschelde.

In figuur 3 is het verloop van de maximale concentratie in de wolk als functie van de tijd weergegeven bij verschillende hoeveelheden geloosde stof, uitgaande van conservatief gedrag. In tabel 13 zijn de belangrijkste gegevens nog eens samengevat. Bij de gepresenteerde gegevens moet worden ingecalculeerd dat ok de oplossnelheid een beperkende factor kan vormen. Om die reden zijn ook geen gegevens voor de concentratie na 1 uur opgenomen bij de grotere lozing. Ook kan door absorptie van opgeloste stoffen aan slib de concentratie en het verspreidingspatroon veranderen.

Tabel 13. Maximale concentraties opgeloste stof bij puntlozingen na verschillende tijdstippen.

Lozings hoeveelheid in tonnen	Maximum concentratie g/m ³			
	na 1 uur	na 10 uur	na 48 uur (2 dagen)	na 168 uur (1 week)
10	140	0,14	0,007	0,003
200	-	2,8	0,15	0,06
700	-	9,8	0,53	0,22
10000	-	140	7,6	2,8

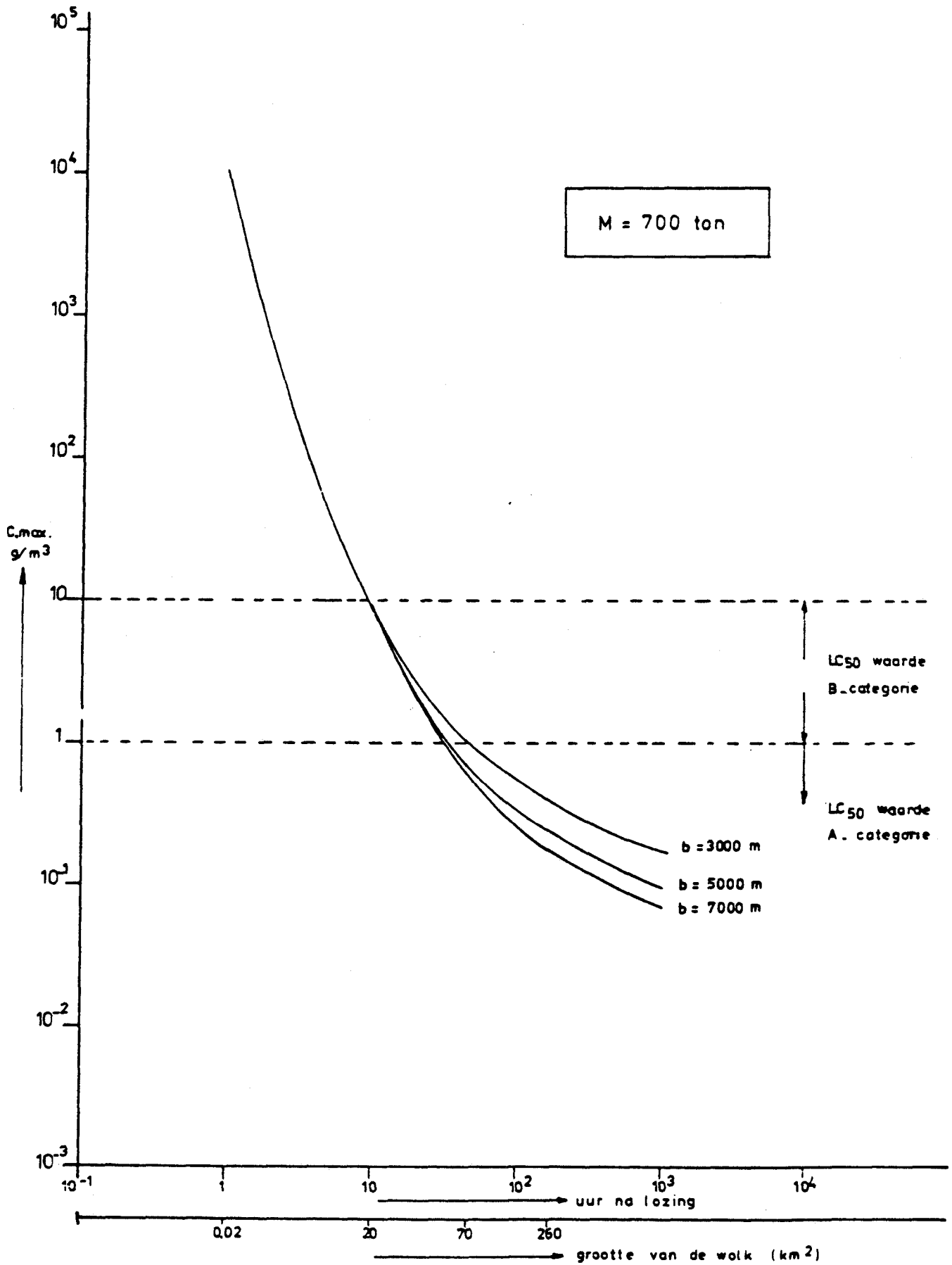
In figuur 4 is het verloop van de maximale concentratie bij verschillende breedtes van het estuarium weergegeven, waaruit blijkt dat de breedte slechts een geringe invloed heeft op de maximale concentratie als functie van de tijd.

2.4. Effecten op organismen

Bij een beschrijving van de effecten op organismen moet een onderscheid gemaakt worden tussen:

- organismen in de waterfase c.q. die hun voedsel uit de waterfase betrekken;
- organismen in of op het sediment c.q. die het voedsel op of in het sediment vinden.

De reden voor dit onderscheid ligt in de wijze van verspreiding van de verschillende toxische stoffen en daarmee in de mate van blootstelling van deze organismen aan toxische stoffen. Indien namelijk een bepaalde toxische stof na een calamiteit in het sediment dringt kan de blootstelling aan de ter plaatse aanwezige organismen zeer langdurig zijn. De toxische stoffen in de waterfase zullen zich, zeker in een estuarium, snel verspreiden.



Figuur 4: De afname van de maximale concentratie in de wolk na een calamiteit bij verschillende breedte van een estuarium.

Organismen in de waterfase

Voor een beoordeling van de effecten van calamiteiten op organismen in het water is feitelijk alleen de acute toxiciteit van de stof van belang. Gezien het zeer incidentele voorkomen van zo'n lozing en de mate van verspreiding zijn bio-accumulatie en persistentie van de stof relatief van minder betekenis.

Een indicatie voor de acute toxiciteit is de LC₅₀-waarde. Zoals in 2.1. is aangegeven geldt voor de categorie A stoffen een LC₅₀-waarde van < 1 mg/l en voor de B-categorie een LC₅₀-waarde tussen 1 en 10 mg/l.

Uit figuur 3 is af te leiden hoe lang na de lozing de maximale concentratie groter is dan de LC₅₀-waarde van de betreffende categorie. In tabel 14 zijn enkele gegevens samengevat. Hieruit blijkt onder meer dat bij een lozing van 700 m³ de maximale concentratie in de wolk tenminste 31 uur hoger is dan de LC₅₀-waarde voor de categorie A stoffen. De bovengrens is niet aan te geven aangezien onder de categorie A-stoffen ook stoffen vallen met een zeer kleine LC₅₀-waarde. Gezien de definitie van de LC₅₀-waarde (50% sterfte bij 96 uur blootstelling) is bij een blootstelling van tenminste 31 uur sterfte te verwachten.

Om een indruk te krijgen van de omvang van de sterfte is ook het oppervlak berekend waarbinnen na 10 resp. 96 uur de concentratie hoger is dan de LC₅₀-waarde (figuur 5 en 6, tabel 14). Hierbij is in eerste instantie uitgegaan van een cirkelvormige verspreiding. Deze aanname is voor het tijdstip 10 uur na de lozing nog acceptabel, maar daarna niet meer, gezien de breedte van het estuarium (5 km). Voor t=96 uur is het concentratieverloop in de lengte-as van de wolk geschat m.b.v. de berekende maximale concentratie in de vlek (zie figuur 3) en de aanname dat op grote afstand van het centrum van de wolk (40 km) de concentratie overeenkomt met de concentratie op dezelfde afstand bij cirkelvormige verspreiding. Na 96 uur is er sprake van volledige menging in de dwarsrichting zodat het oppervlak eenvoudig berekend kan worden uit: 2 x max. afstand tot centrum van de wolk x breedte.

Deze benadering geeft niet meer dan een indicatie over de orde van grootte van het wolkoppervlak. Zoals al uit tabel 12 was af te leiden bedraagt de onnauwkeurigheid tenminste ca. 50%.

Uit de resultaten (figuur 5, tabel 14) blijkt dat bij A-categorie stoffen het oppervlak met een concentratie groter dan de LC₅₀-waarde bij een lozing van 200 m³ na 10 uur minimaal 7 km² is. Voor de B-categorie-stoffen is de concentratie in de gehele wolk binnen 10 uur maximaal over een oppervlak van 7 km² nog boven de LC₅₀-waarde.

De omvang van de sterfte is moeilijk te kwantificeren en wel om de volgende redenen:

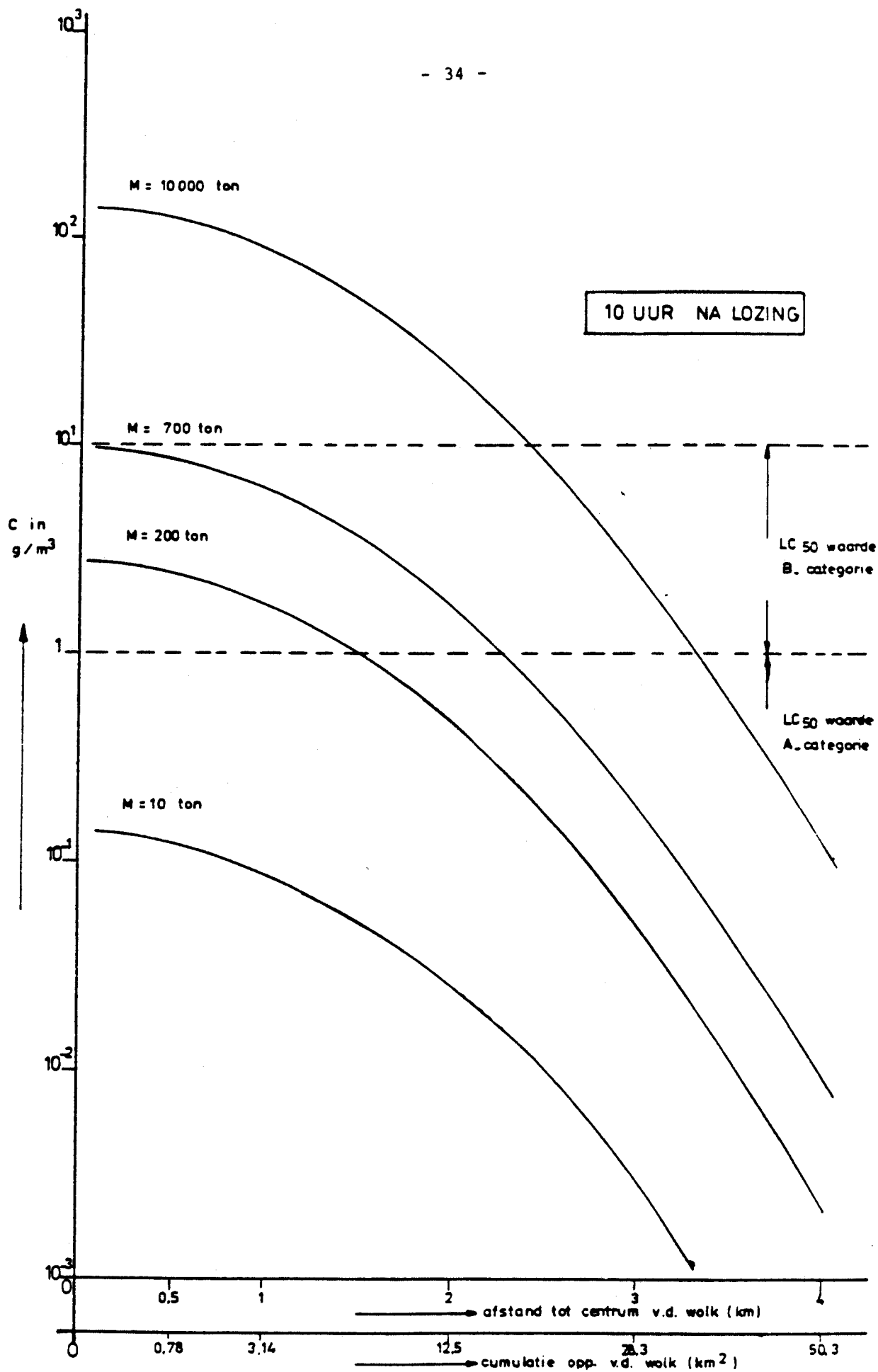
- voor verschillende organismen gelden verschillende LC₅₀-waarden, m.a.w. de LC₅₀-waarden zijn soortenspecifiek;
- de expositieduur van de organismen is bij een calamiteit anders dan in het laboratorium, waar bij de bepaling van de LC₅₀-waarde gebruikelijk een expositieduur van 96 uur (of 48) wordt aangehouden;
- de concentratie waaraan het organisme wordt blootgesteld is bij calamiteiten, anders dan bij de laboratoriumproeven, niet constant;
- gezien de definitie van de LC₅₀-waarde (50% sterfte) kan ook sterfte optreden bij waarden beneden de LC₅₀-waarde.

Naast sterfte kan ook schade optreden aan de organismen, onder meer door ophoping van milieuvreemde stoffen in de voedselketens. Om deze reden is een no-effectlevel gedefinieerd, gelijk aan 1/100 van de LC₅₀waarde. Er is nagegaan tot welk tijdstip en over welk oppervlak er mogelijk door olieverontreiniging schade optreedt. Uit tabel 14 blijkt dat gedurende zeer lange periode (meer dan 1000 uur) de maximale concentratie in de wolk groter blijft dan de 0,01 * LC₅₀-waarde indien de stof als conservatief wordt beschouwd. In de praktijk zal de concentratie na 96 uur lager zijn ten gevolge van verdwynprocessen zoals verdamping, afbraak en adsorptie.

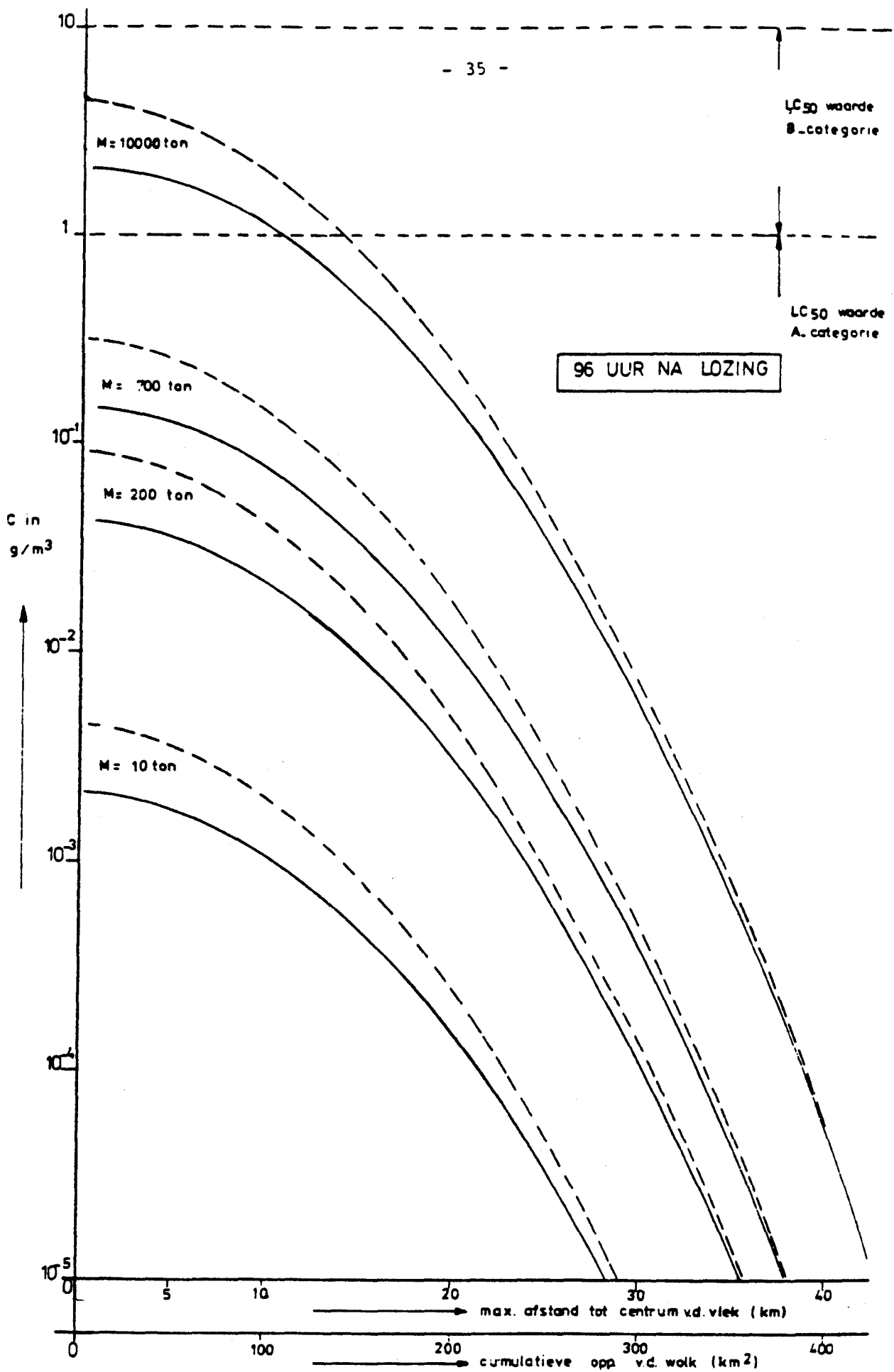
Het oppervlak waarbinnen de concentratie na 10 uur hoger is dan 0,01 LC₅₀ is bij een lozing van 200 m³ voor de A-categorie minimaal 40 km². Voor de B-categorie stoffen ligt dit tussen de 24 en 48 km².

Na 96 uur is het oppervlak waarbinnen de concentratie groter is dan 0,01 * LC₅₀ zeer aanzienlijk, namelijk voor de A-categorie minimaal 180 km² bij een lozing van 200 ton en 230 km² bij 700 ton. Voor de B-categorie is het betreffende oppervlak maximaal 180 km² bij 200 ton en 230 km² bij 700 ton lozing.

Voor een meer gedetailleerde beschouwing over de mogelijke effecten van calamiteiten met chemicaliën op organismen in de waterfase is het noodzakelijk de effecten per soort chemische stof en per organismengroep te beschouwen.



Figuur 5. De afname van de concentratie in de wolk als functie van de afstand tot het centrum van de wolk en het cumulatief oppervlak van de wolk 10 uur na een calamiteit, uitgaande van een cirkelvormig verspreidingspatroon.



Figuur 6. Afname van de concentratie in de wolk als functie van de afstand tot het centrum van de wolk en het cumulatief oppervlak van de wolk 96 uur na een calamiteit, uitgaande van een cirkelvormig verspreidingspatroon (—) en een in de dwarsrichting (5 km) begrensde verspreiding (----).

Tabel 14. Duur van de periode en oppervlakte waarboven milieuschade in de Westerschelde kan optreden bij lozing van giftige chemicaliën, uitgaande van conservatief gedrag en bij twee schade-criteria (LC_{50} en $0,01 * LC_{50}$).

	Omvang lozing in m ³	200		700	
	Categorie stof	A	B	A	B
 criterium $C_{max} > LC_{50}$	Duur periode (uren)				
	min *	26	6	31	10
	max *	**	16	**	31
	$C > LC_{50}$				
	Oppervlakte (km ²) Na 10 uur				
	min	7	0	16	0
max	**	7	**	16	
	Na 96 uur				
min	0	0	0	0	
		**	0	**	0
$C_{max} > 0,01 * LC_{50}$	Duur periode (uren)				
	min	> 1000	95	> 1000	1000
	max	**	> 1000	**	> 1000
	$C > 0,01 * LC_{50}$				
	Oppervlakte (km ²) Na 10 uur				
	min	40	24	48	33
max	**	40	**	48	
	Na 96 uur				
min	180	0	230	120	
max	**	180	**	230	

* Minimum en maximum hebben betrekking op de grenzen van de betreffende categorie: A: $LC_{50} < 1 \text{ mg/l}$, B: $1 < LC_{50} < 10$.

** Maximale waarde niet te bepalen door het ontbreken van een ondergrens voor de LC_{50} -waarde van de A-categorie stoffen.

Organismen in het sediment

De effecten van calamiteiten op organismen die op of in het sediment-leven is nog moeilijker te bepalen dan voor de organismen in de waterfase, hetgeen op de eerste plaats veroorzaakt wordt door de geringe kennis over de verspreiding van de categorie bezinkende stoffen. Op zichzelf kunnen de effecten voor organismen in of op het sediment beïnvloedend ernstiger zijn dan voor die in de waterfase, in geval de betreffende toxische stof in het sediment dringt. Daardoor kan namelijk de expositieduur zeer veel langer worden, en de concentratie relatief hoog. Naast verhoogde acute toxiciteit kan ook de chronische toxiciteit een rol gaan spelen.

Een ander effect is dat het sediment na een calamiteit belast wordt met chemicaliën die geadsorbeerd zijn aan slibsteeltjes.

Naast de categorie bezinkende stoffen kunnen ook de drijvende stoffen in het sediment dringen, doordat ze bij afgaand water in het intergetijdegebied kunnen achterblijven.

Ook hier geldt dat, naast meer kennis over de verpreiding van de chemische stof, per soort chemische stof en per organismengroep de effecten nader moeten worden onderzocht.

2.5. Nader onderzoek

Om voor de Westerschelde tot een meer gedetailleerd beeld te komen van de milieukundige gevolgen t.g.v. calamiteiten met chemicaliën is het nodig meer specifieke kennis te verzamelen omtrent:

- a. vervoersomvang van de diverse chemicaliën, inclusief vervoer met binnenschepen;
- b. verspreidingsgedrag van de verschillende categorieën stoffen met de nadruk op bezinkende stoffen en verontreiniging van het sediment;
- c. inzicht in de verdwijprocessen van de veel vervoerde chemicaliën;
- d. toepassing van ecotoxicologische gegevens om de effecten van chemicaliën op organismengroepen in de Westerschelde nader te kwalificeren en kwantificeren;
- e. milieuvriendelijke bestrijdingsmethoden.

3. CONCLUSIES

Zoals in de inleiding ook al is gesteld is door het ontbreken van prognoses over de wijziging van het vervoersbeeld geen uitspraak te doen over de invloed van de verdieping van de Westerschelde op het risico voor het milieu ten gevolge van het transport van gevaarlijke stoffen.

In de door TNO uitgevoerde risicoanalyse is gegeven bovenstaande constatering de analyse van de gevolgen van de verdieping dan ook beperkt gebleven tot

- a. het analyseren van de nauwkeurigheid waarmee risicoberekeningen uitgevoerd kunnen worden en
- b. het uitvoeren van een beperkte risico-analyse van het huidig transport van gevaarlijke stoffen.

Ten aanzien van het eerste punt concludeert het TNO-rapport dat er een onzekerheid bestaat van een factor 4 in de kans op een uitstroming van milieugevaarlijke stof. De kans op milieuschade van bepaalde omvang tengevolge daarvan kon niet worden bepaald door het ontbreken van schademodelen.

De onzekerheid in de berekening van de kans op milieuschade zal aldus het rapport groter zijn dan een factor 4. De toename van de vervoersomvang van milieugevaarlijke stoffen zal dan ook groter moeten zijn dan een factor 4 wil er sprake zijn van een significant ander risico, aldus het TNO-rapport. Op deze conclusie wordt in deze nota niet verder ingegaan.

Ten aanzien van het tweede punt kan uit een eerste verkenning van de risico's voor het milieu ten gevolge van het transport van gevaarlijke stoffen in de huidige situatie geconcludeerd worden dat in geval van calamiteiten er duidelijke milieuschade zal optreden.

Bij calamiteiten met olie- en naftaschepen moet afhankelijk van de grootte van het schip en ervan uitgaande dat slechts één tank in het schip leegstroomt rekening worden gehouden met een uitstroom in de orde van 1900 tot 9600 m³. Dit leidt tot een initieel plasoppervlak van ca. 1 tot 5 km² en een maximaal plasoppervlak van 70 tot 100 km².

Binnen 1 tot 10 dagen zal deze plas van het wateroppervlak verdwenen zijn. In de tussentijd zal het vooral in het intergetijdegebied (schorren, platen) afgezet worden, hetgeen tot duidelijke schade aan de aanwezige planten en dieren leidt. Gezien de soms lage LC₅₀-waarden van olie voor organismen moet er ook rekening mee gehouden worden dat er direct na de calamiteit sterfte optreedt van organismen in de waterfase.

Bij calamiteiten met schepen die toxische chemicaliën vervoeren is bij uitstroming van één tank de grootte van de lozing 200 tot 700 m³. Er zijn echter weinig gegevens over de omvang van het vervoer van de verschillende soorten chemicaliën. De effecten bij lozing worden bepaald door de mate van toxiciteit en de concentratie. De concentratie wordt in sterke mate bepaald door de wijze van verspreiding (drijven, mengen of zinken) en de processen die van invloed zijn op de stof (verdampen, oplossen, afbraak, etc.). Met name de categorie bezinkende stoffen verdient extra aandacht omdat een groot aantal van de vervoerde toxische stoffen van de A- en B-categorie juist bezinkende stoffen zijn. De meest vervoerde toxische stoffen behoren tot de B-categorie volgens de IMCO-conventie van 1973. Voor deze categorie geldt dat de LC₅₀-waarde tussen de 1 en 10 mg/l ligt.

De lozing van toxische chemicaliën kan leiden tot acute sterfte of schade aan organismen in de waterfase. Bij lozingen van 700 m³ is voor oplosbare stoffen uit de B-categorie de maximale concentratie in de wolk 10 tot 30 uur boven de LC₅₀-waarde. Uitgaande van een arbitrair gekozen "no-effect level" van 0,01 * LC₅₀-waarde en van conservatief gedrag van de stof is de maximale concentratie in de wolk meer dan 1000 uur boven het "no-effect level". Bij lozing van 700 m³ van een B-categorie stof is het oppervlak waarbinnen de concentratie hoger is dan het "no-effect level" na 10 uur gemiddeld 3,3 tot 4,5 km² en na 96 uur 120 tot 230 km².

De effecten op organismen op of in het sediment kunnen ernstiger zijn dan in de waterfase doordat met name de drijvende en bezinkende chemicaliën weinig verdund in de toplaag van respectievelijk het interge-

tijdegebied en de onderwaterbodem terecht kunnen komen en tot sterfte leiden. Door de veel minder snelle verdunning en verspreiding van de chemicaliën in de bodem kunnen ook chronische toxiciteitseffecten een rol gaan spelen.

Voor een meer gedetailleerd beeld van de milieukundige gevolgen van calamiteiten met olie en vloeibare toxische chemicaliën is nader onderzoek nodig, waarvoor in de paragrafen 1.4 en 2.5 enkele aanbevelingen worden gedaan.

LITERATUUR

1. J. v d Horst en C.M.A. Jansen. De invloed van de verdieping op het risico voor mens en milieu ten gevolge van het transport van gevaarlijke stoffen. TNO, Apeldoorn, 1983.
2. M. Bergman. Gedrag, bestrijding en biologische effecten van olie in estuariene gebieden. 1. Literatuuroverzicht. RIN-rapport 82/18 Texel, 1982.
3. Rijkswaterstaat. Oliebestrijding op de Noordzee. Directie Noordzee, 1982.
4. GESAMP. The evaluation of the hazards of harmful substances by ships. IMCO 1982.
5. Rijkswaterstaat. Scheepsongevallen op de Westerschelde over de periode 1966 t/m 1978. Dienst Verkeerskunde, Hoofdafdeling Scheepvaart, nota S77.42, 1981.
6. G.C. van Dam. Korte samenvatting van de resultaten van het onderzoek in de Westerschelde in 1975 met betrekking tot verspreiding, uitgevoerd met rhodamine-B. Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, notitie FA 03-77A, 1977.
7. J.M. Suijlen. Meting van turbulente diffusie in het Eems-estuarium met behulp van rhodamine-B. Deel I: Scheepsmetingen. Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, rapport 04 81-FA, 1981.
8. P. Hogewoning en M.T.C. Scholten. Groepsindeling naar chemische en fysische eigenschappen van in hulk over zee vervoerde chemicaliën. Stageverslag. Rijkswaterstaat, Directie Noordzee, 1980.
9. J.S. Sydow. Merkstof-experimenten in de Westerschelde in 1975 (momentlozingen). I. Beschrijving van de proeven en primaire uitwerking. Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging. Nota FA 7803, 1978.

10. A. van Wingerden. De spreiding van olie op zee. Afstudeerverslag. Rijkswaterstaat Directie Noordzee, 1983.
11. L. Nieuwenhuize. Gedrag van op zee drijvende chemicaliën. Stageverslag. Rijkswaterstaat. Directie Noordzee, 1983.
12. J.M. Suijlen. Enkele opmerkingen over de groei van het oppervlak van een momentane puntlozing in een vertikaal goed gemengd estuarium. Rijkswaterstaat. Directie Waterhuishouding en Waterbeweging. Notitie 83-FA-660, 1983.
13. J.W. Daamen. Eenvoudige benadering voor afschatting van de verspreiding van vrijgekomen opgeloste stof op de Westerschelde. Concept-notitie WWKZ-83.V356, 12983.
14. P. van de Stap. A branched one-dimensional water quality model. Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, nota FA 8102, 1981.
15. J.M. Suijlen. Enkele opmerkingen over de afname van de topconcentratie van een momentane puntlozing van een vertikaal goed gemengd estuarium. Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging. Notitie 83-FA-779.