



Aan
Belangstellenden

Contactpersoon
Ing. D. v. Maldegem

Datum
16 mei 1995

Ons kenmerk
RIKZ/AB9560059

Project
SCHOON

Onderwerp
Invloed speciëstortingen Zeebrugge

Doorkiesnummer
01180-72222

Bijlage(n)
1*rapport RIKZ 94.049

Uw kenmerk

In het mondingsgebied van de Westerschelde wordt vervuilde baggerspecie gestort, afkomstig uit de haven van Zeebrugge.

Op verzoek van de Rijkswaterstaat, directie Zeeland heeft RIKZ een schatting gemaakt van de aanvoer van verontreinigd slib vanaf de stortlokatie naar de Westerschelde. Deze aanvoer kan namelijk gevolgen hebben voor de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde. Bijgaand rapport bevat de resultaten van dit onderzoek, dat is uitgewerkt voor de metalen chroom, koper en zink.

De belangrijkste conclusie is dat de jaarlijkse aanvoer ongeveer even groot als die van het kanaal Gent-Terneuzen, namelijk 7 ton chroom, 2 ton koper en 15 ton zink.

Voor verdere vragen kunt u terecht bij ing. D. van Maldegem (telefoonnummer 01180-72222).

Hoogachtend,
de hoofdingenieur directeur,
namens deze
hoofd afdeling advies en beleidsanalyse Delta


dr. ir. H. Smit



VERZENDLIJST

RIKZ Middelburg

P. Bollebakker
Drs.J. Coosen
Dr.G.T.H. van Eck
K. Hendrikse
A.M.B. Holland
Drs.S. Huijs
Drs.D.J. de Jong
Drs.B.J. Kater
Ir.A. Langerak
F.O.B. Léfèvre
C.van de Male
P.L. Meininger
G. Mol
J.P.F. Pieters
Ir.T. Pieters
A. Schouwenaar
G.C. Spronk
Dr.ir. H. Smit
Ing.E. Stikvoort
Drs.C. Storm
Drs.L.A. Uit den Bogaard
G. Wattel

RIKZ Den Haag

Drs.J.M. de Kok
Dr.ir.W. van Leussen
Drs.K.Robaczewska
Drs.R.M. Salden
Drs.J.H.M. Schobben
Drs.J.M. Suijlen
H.M. Verlaan
Drs.K.J. Wuffraat

RIKZ Haren

Dr.ir.V. de Jonge
Ir.H.P.J. Mulder
Drs.F.H.I.M. Steyaert

RIZA Arnhem.

Gildemeestersplein 1.
6826 LL Arnhem.
Dr.W.M.B. ten Brinke

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 01180-72200
Telefax 01180-16500



RWS Directie Zeeland,
Postbus 5014,
4330 KA Middelburg.
Drs.F.d.Bruijkere
Drs.E.Daemen
Ing.L.Dekker
Drs.S.A. de Jong
Drs. N.L. Houtekamer
Drs. A.W. van Kleef
Ir.M. Meulblok
Ir.L.L.P.A. Santbergen
Ir.E. Turkstra
Ing.S. Vereeke

Instituut van Natuurbehoud
België,
Kiewitdreef,
3500 Hasselt. België
Dr.P. Meire

Administratie Waterinfra-
structuur en Zeewezen,
Afdeling Maritieme Schelde,
Tavernierskaai 3,
2000 Antwerpen, België
Ir.H.Belmans
Ir.J.Claessens

IMDC
Winrijkstraat 37-45, bus 4,
2140 Borgerhout, België
Ir.M.Sas
Dhr.M.Fettweis

Beheerseenheid Mathematisch
model,
Gulledelle 100,
1200 Brussel, België
Dhr.M.Moens

Dienst der Kust,
Vrijhavenstraat 3,
8400 Oostende.
Ir.B. de Putter
Ir.P. de Wolf

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 01180-72200
Telefax 01180-16500



RIKZ/AB/9560059

Dienst Tijgebonden Waterwe-
gen,
Copernicuslaan1,
2018 Antwerpen, België.
Ir.Kersten

Gemeentewerken Rotterdam,
Galvanistraat 15,
3029 AD Rotterdam.
Ir.P.Blokland

Instituut voor Bodemvrucht-
baarheid,
Postbus 3003,
9750 RA Haren (Groningen).
Dr.W.Salomons

NIOO-CEMO,
Vierstraat 28,
4401 EA Yerseke.
Dr.P.M.J.Herman

NIOZ,
Postbus 59,
1790 AB Texel.
Prof.Dr.D.Eisma

RWS RIZA,
Postbus 17,
8200 AA Lelystad.
Ir.H.Verbeek

TU Delft,
Postbus 5,
2600 AA Delft
Dr.ir.C.Kranenburg

VU Brussel,
Pleinlaan 2,
1050 Brussel, België
Drs.F.Monteny
Prof.dr.R. Wollast

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadlerweg 31

Telefoon 01180-72200
Telefax 01180-16500



RIKZ/AB/9560059

Waterloopkundig Laboratori-
um

Postbus 152,
8300 AD Emmeloord.
Ir. E. Allersma
Drs. M. Karelse

Waterloopkundig Laboratori-
um,

Postbus 77,
2600 MH Delft.
Ir. C. Kuijper
Ir. J. Cornelisse
Ir. H. Winterwerp

NBLE, regio zuidwest

Postbus 6,
4460 AA Goes
Ir. W. M. v. d. Hoofd

Bibliotheek 3 exemplaren

Schelde Informatie Centrum

Vestiging Middelburg
Postbus 8039, 4330 EA Middelburg
Bezoekadres Grenadierweg 31

Telefoon 01180-72200
Telefax 01180-16500

Inhoud

Samenvatting	5
1. Inleiding en probleemstelling	9
2. Beschrijving van het mondingsgebied van de Westerschelde	11
2.1 Geulen en havens	11
2.2 Water- en sedimentbeweging	12
2.3 Slib in water en bodemsediment	13
3. De speciéstortingen in het mondingsgebied van de Westerschelde	15
4. Transport van slib en verontreinigingen naar de Westerschelde	17
4.1 Beschrijving van de ruimtelijke factoren	17
4.2 Modellerings van het probleem	20
4.3 Het transport van verontreinigingen naar de Westerschelde	22
5. Vergelijking van de transportrichting met de gradiënten in gemeten verontreinigingen	25
6. Conclusies en aanbevelingen	31
Literatuurlijst	33

Samenvatting

In deze pilotstudie wordt de invloed bepaald van het storten van vervuilde baggerspecie uit de haven van Zeebrugge op de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde.

Voor de Belgische kust bevindt zich oostelijk van de haven van Zeebrugge een "ontmoetingsgebied" van residuele sedimenttransporten, ook wel troebelheids-maximum genaamd. Door de aanwezigheid van dit troebelheidsmaximum sedimenteert veel materiaal in de vaarweg, zodat een aanzienlijke bagger inspanning noodzakelijk is om deze op diepte te houden; de jaarlijks gebaggerde hoeveelheid specie bevat ca. 4 miljoen ton slib. Dit slib wordt buiten het troebelheidsmaximum gestort op de Vlakte van de Raan. Uit Belgisch onderzoek blijkt dat ca. 85 % van de gestorte specie erodeert en weer terug wordt getransporteerd naar het troebelheidsmaximum. Dit betekent dat door het baggeren en storten in het mondingsgebied van de Westerschelde een circulatiepatroon in stand wordt gehouden waarin zeer grote hoeveelheden slib om gaan. En het betekent ook dat de "lek" uit dit circulatiepatroon, hoewel relatief gering (15%), in absolute zin groot is, namelijk ca. 0.6 miljoen ton per jaar. Een deel van het slib dat uit circulatiepatroon "lekt" is verontreinigd. In het gebied waar zich het troebelheidsmaximum bevindt is namelijk ook de lokatie gelegen waar verontreinigd fluviaal slib, afkomstig uit de haven van Zeebrugge, wordt gestort. Door het baggeren en storten gaat deze verontreinigde specie deel uitmaken van het circulatiepatroon.

Op verzoek van de directie Zeeland is een schatting gemaakt van de aanvoer van verontreinigd slib en verontreinigingen naar de Westerschelde.

Allereerst is een schatting gemaakt van de hoeveelheid verontreinigd slib dat via het afleidingskanaal van de Lele naar de haven van Zeebrugge wordt gevoerd. Dit is gebeurd op 3 manieren: door een slibbalans te maken voor de Lele, door de aanvoer te berekenen uit het debiet en de slibconcentratie en door te rekenen aan de hoeveelheid specie die jaarlijks in de haven van Zeebrugge wordt gebaggerd. Op basis van deze berekeningen wordt de jaarlijkse aanvoer van verontreinigd fluviaal slib geschat op orde 0.1 miljoen ton.

Vervolgens is het meest waarschijnlijke patroon opgesteld, volgens welke het slib door het mondingsgebied van de Westerschelde wordt getransporteerd. Dit is gebeurd op basis van debietmetingen, reststroom-berekeningen, slibgehalten, slibgradiënten en satellietopnamen. Het aldus verkregen patroon ziet er als volgt uit:

In het mondingsgebied vindt netto transport van slib plaats in noordwaartse richting. Dit betekent dat het slib dat "lekt" uit het circulatiepatroon zich verplaatst in de richting van de Westerschelde. Een deel van dit slib wordt langs de zuidzijde de Westerschelde in getransporteerd. Een ander deel wordt, samen met slib dat via de Noordzijde het Schelde-estuarium verlaat, afgevoerd naar de Noordzee. Hier voegt het zich bij het grootschalige zuid-noord transport dat zich langs de kust beweegt. Het slib dat "lekt" uit het circulatiepatroon wordt gecompenseerd door slib

van de Noordzee, afkomstig uit het zuid-noord transport en door het verontreinigde fluviatiele slib afkomstig uit de haven van Zeebrugge, dat in of nabij het troebelheidsmaximum wordt gestort.

Uit het hiervoor beschreven patroon volgt dat het mogelijk is dat in het meest ongunstige geval de totale hoeveelheid verontreinigd slib, te weten 0.1 miljoen ton per jaar, de Westerschelde in wordt getransporteerd. Dit meest ongunstigste geval wordt gekenmerkt door twee aannamen. Ten eerste dat al het slib dat lekt uit het circulatiepatroon naar de Westerschelde wordt getransporteerd en ten tweede dat de vervuilingsgraad van dit slib gelijk is aan de vervuilingsgraad van het inkomende slib. Dit laatste zal pas het geval zijn indien de slibvoorraad in het troebelheidsmaximum is vervangen door het inkomende slib en dus ook de vervuilingsgraad van het inkomende slib heeft aangenomen. Hoe snel dit gebeurt hangt af van de verhouding tussen de inkomende hoeveelheid nieuw slib en de slibvoorraad in het troebelheids maximum waarmee het zich mengt.

Indien het meest ongunstigste geval niet optreedt kan er toch sprake zijn van een probleem. De hoeveelheid van 0.1 miljoen ton per jaar is namelijk een orde groter dan de hoeveelheid slib welke wordt aangevoerd naar de Westerschelde via het Kanaal Gent-Terneuzen. Bovendien zal, indien de vervuilingsgraad van het slib dat lekt uit het troebelheidsmaximum minder is dan de vervuilingsgraad van het inkomende slib, in de loop van de tijd de vervuilingsgraad van het weglekkende slib toenemen.

Ter controle zijn nog twee andere benaderingen toegepast.

Ten eerste door uit te gaan van het gegeven uit de slibbalans voor het Schelde-estuarium dat jaarlijks ca. 0.3 miljoen ton marien slib het estuarium in wordt getransporteerd. Door deze hoeveelheid te vermenigvuldigen met de gevonden concentraties aan verontreinigen kunnen vrachten worden berekend. Deze berekening is ook uitgevoerd omdat de berekende hoeveelheid vervuild slib nog niets zegt over de hoeveelheid verontreinigen.

Uit de berekening volgt dat de aanvoer vanuit het mondingsgebied ten gevolge van de spieclozingen, van dezelfde orde is als de aanvoer via het kanaal van Gent naar Terneuzen. De schattingen komen voor enkele zware metalen uit op 7 ton Cr, 2 ton Cu en 15 ton Zn.

Ten tweede is de bepaalde transportrichting vergeleken met de gradiënten in gemeten gehalten aan verontreinigen. Zowel de gradiënten in het bodemsediment als in het zwevende stof onderbouwen een aanvoer van verontreinigen vanuit het mondingsgebied naar de Westerschelde.

Op basis van de pilotstudie kan worden geconcludeerd dat het storten van verontreinigd fluviatiel slib uit de haven van Zeebrugge in het mondingsgebied, van invloed is op de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde. Geschat wordt dat de aanvoer van verontreinigen van zeker dezelfde orde van grootte is als de belasting van het Kanaal van Gent naar Terneuzen op de Westerschelde.

Aanbevolen wordt de aanvoer van verontreinigd fluviatiel slib via de Leie na te rekenen met Vlaamse meetgegevens. Indien de schattingen van de aanvoer van verontreinigd slib kloppen en er geen plannen zijn om het storten van slib in de kustzone te verminderen, wordt aanbevolen de mogelijkheid van een andere stortlokatie te onderzoeken. Tenslotte wordt aanbevolen het geconstrueerde stromingspatroon in het mondingsgebied en de uitwisseling met de Westerschelde te verifiëren met behulp van modellen en veldmetingen. Met betrekking tot deze laatste aanbeveling kan worden opgemerkt dat eerste oriënterende berekeningen met een

slibmodel bevestigen dat aanzienlijke hoeveelheden slib naar de Westerschelde worden getransporteerd.

Daarnaast wordt aanbevolen nader te onderzoeken waarheen het troebelheidsmaximum zich verplaatst als de vaarweg verder wordt verdiept en welke gevolgen dit kan hebben voor het natuurgebied het Zwin. Ook wordt aanbevolen te onderzoeken of de eventuele opname van verontreinigd slib in het grootschalige zuid-noord transport langs de kust, gevolgen heeft voor de bodemkwaliteit van het mondingsgebied vóór de Oosterschelde.

1. Inleiding en probleemstelling

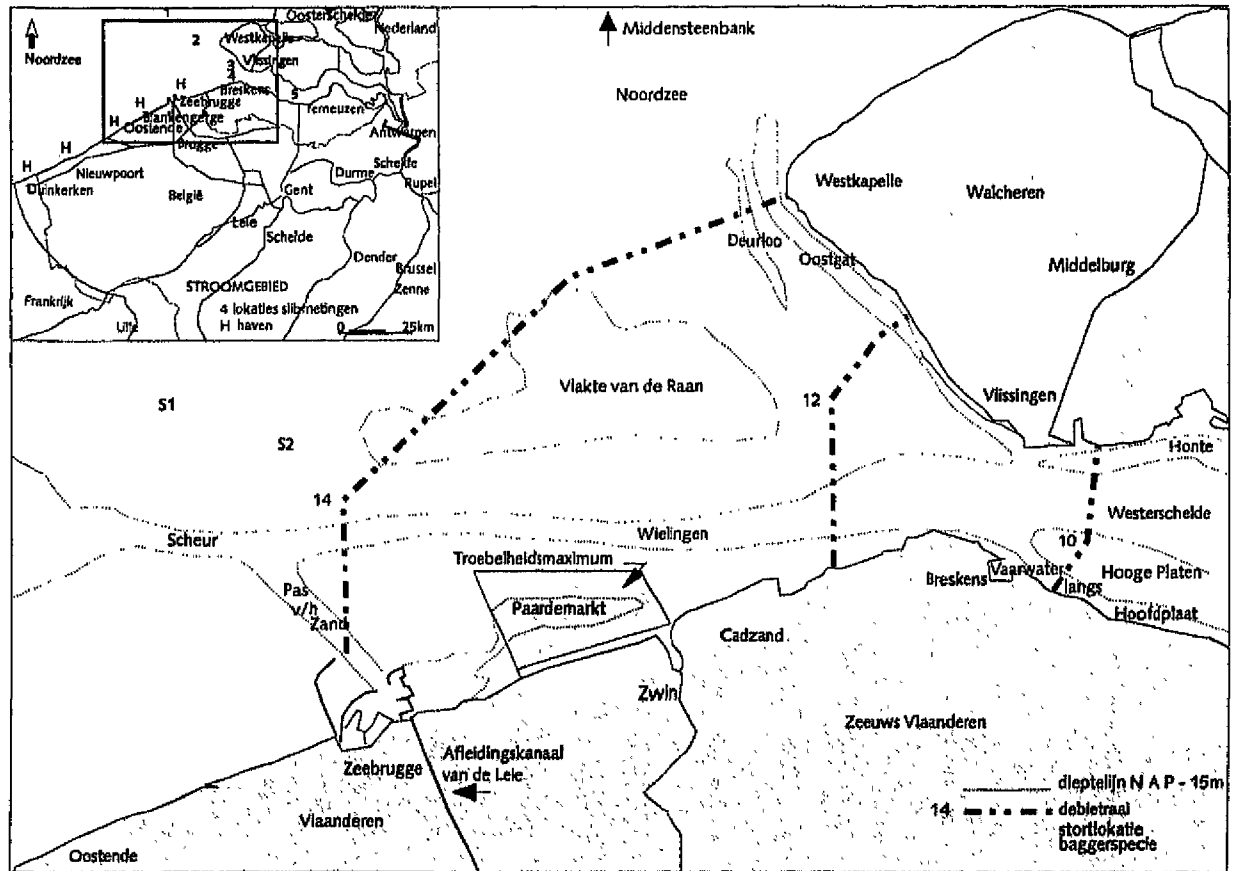
Voor de Belgische kust in het mondingsgebied van de Westerschelde bevindt zich oostelijk van de haven van Zeebrugge een troebelheidsmaximum (Figuur 1). Dit is een gebied waarin, door specifieke hydraulische omstandigheden, sediment gevangen blijft. Door de aanwezigheid van dit troebelheidsmaximum sedimenteert er veel materiaal in de vaarweg, zodat er een aanzienlijke baggerinspanning noodzakelijk is om de vaarweg op diepte te houden. De gebaggerde specie wordt gestort op lokaties gelegen tegenover de haven van Zeebrugge (lokaties S1 en S2). Lodingkaarten en tracermetingen laten zien dat het grootste deel van de gestorte specie erodeert en weer terug wordt getransporteerd naar het troebelheidsmaximum. Op deze manier en omdat het sediment veel slib bevat wordt een circulatiepatroon in stand gehouden waarin zeer grote hoeveelheden slib om gaan.

Dit slib is deels verontreinigd met specie afkomstig uit de haven van Zeebrugge, dat wordt gestort op de lokatie Paardenmarkt. Uit een rapport van het Belgische Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu [1993] volgt dat het 'weglekken' van slib uit het circulatiepatroon van grote invloed kan zijn voor de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde [Ten Brinke, 1992].

Dit rapport geeft de belangrijkste resultaten van de berekende aanvoer van slib en verontreinigingen vanuit het mondingsgebied naar de Westerschelde. Meer gedetailleerde informatie en onderliggende berekeningen zijn gerapporteerd in werkdocument GWWS-93.874X.

Bij de bepaling van de aanvoer is uitgegaan van de huidige waterhuishoudkundige situatie van het mondingsgebied en het estuarium (Hoofdstuk 2). Hoofdstuk 3 gaat over de speciestortingen in het mondingsgebied. De slibaanvoer vanuit het mondingsgebied naar de Westerschelde is bepaald uit de beschikbare informatie van de water- en sedimentbeweging in het mondingsgebied (Hoofdstuk 4). Met het slib worden onder andere zware metalen aangevoerd. Een deel van de zware metalen wordt met het slib afgezet in de Westerschelde. De afzetting van de zware metalen is vergeleken met de gradiënten in gemeten gehalten aan verontreinigingen (Hoofdstuk 5). Tenslotte volgen de conclusies en aanbevelingen (Hoofdstuk 6).

Figuur 1. Mondingsgebied Schelde-estuarium



2. Beschrijving van het mondingsgebied van de Westerschelde

Het mondingsgebied van de Westerschelde, zie figuur 1, wordt gedefinieerd als het gebied tussen debietraai 10 (Breskens-Vlissingen) en debietraai 14 (Zeebrugge-Westkapelle). Landwaarts ligt dit gebied ingeklemd tussen de Vlaamse en Walcherse kust.

2.1 Geulen en havens.

In het mondingsgebied liggen langs de Vlaamse en Zeeuws-Vlaamse kust de inlopen Scheur en Wielingen en langs de Walcherse kust is het Oostgat gelegen. Tussen en langs beide inlopen ligt het zeer omvangrijke bankengebied Vlake van de Raan. Langs de Noordwestzijde van dit gebied bevindt zich de ondiepe geul van het Deurloo.

Hoewel het mondingsgebied van nature met bijna een meter per eeuw is verdiept, is de ligging van de Vlake van de Raan redelijk stabiel te noemen [De Looft, 1986; Uit den Boogaard, 1991]. Binnen dit stabiele morfologische systeem komen cyclische ontwikkelingen voor van geulen als Deurloo en andere geultjes. Deze worden echter buiten beschouwing gelaten.

Tussen de geulen Scheur en Wielingen en de Belgische kust liggen ondiepe gebieden, zoals de Wenduine bank en de Paardenmarkt. De strook direct langs de kust bevat materiaal kleiner dan 200µm. Voorbij Oostende tot aan Cadzand bevat dit gebied veel slib, soms klei en over het algemeen minder dan 50% zand.

Het Oostgat ligt pal tegen de Zuidwest kust van Walcheren aangedrukt. De steile oever van deze kust wordt door middel van paalschermen en zandsuppleties beschermd tegen verdere afkalving.

Langs de Belgische en verder de Franse kust bevinden zich tal van havens. Een aantal havens hebben recreatieve of defensieve doeleinden. Verreweg de grootste zeehaven is die van Zeebrugge. Deze haven is in de periode 1975 - 1985 zeewaarts uitgebouwd. In dezelfde periode is ook de maritieme toegangsweg met ca. 2 m. verdiept. De haven van Zeebrugge is vanuit het Scheur bereikbaar via het Pas van Zand. De maritieme toegangsweg naar de haven van Zeebrugge wordt kunstmatig op diepte gehouden voor alle zeescheepvaart.

De havens van het Schelde-estuarium zijn momenteel bereikbaar voor zeeschepen met een diepgang van max. ongeveer 14 m. tijdens hoogwater springtij. Ook deze diepte wordt door baggerwerk in stand gehouden. In 1995 zal waarschijnlijk met een verdere verdieping van de vaargeul worden begonnen, zodat schepen met een diepgang van bijna 15 m. de havens kunnen bereiken. De geplande verdieping van ongeveer 2 m. t.o.v. de situatie in 1986 is al voor ca. 30% gerealiseerd [Van Dam et al, 1992]. Gebaggerde specie wordt gedumpt op de stortlokaties S1, S2 en Paardemarkt.

Het ondiepe en nauwe Oostgat, dat bevaarbaar is voor schepen van max. ongeveer 10 m. diepgang, heeft een natuurlijke diepte.

De havens langs de kust zijn door middel van scheepvaartsluizen en een omvangrijk kanalenstelsel weer verbonden met hun achterland. Soms worden de havens gebruikt als lozingspunt voor afwaterings-kanalen. In de meeste havengebieden vinden industriële activiteiten plaats.

2.2 Water- en sedimentbeweging

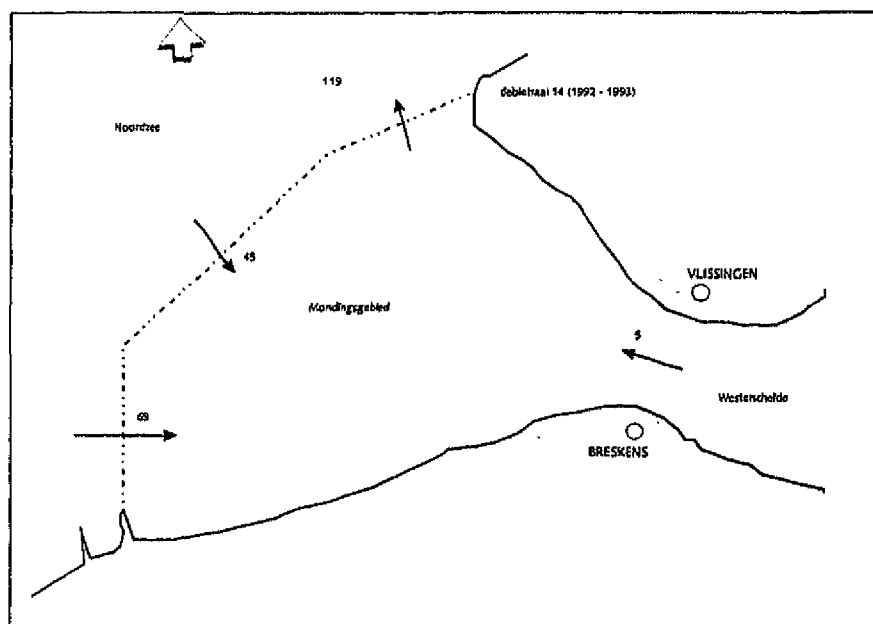
In het mondingsgebied van de Westerschelde zijn water en sediment bijna continu in beweging door het horizontale- en verticale getij: een heen en weer gaande longitudinale beweging door de geulen over een afstand van gemiddeld 20 km., en een op en neer gaande verticale beweging van de waterspiegel tussen het niveau van laag water en hoogwater over een hoogte van gemiddeld 36 dm. Het mondingsgebied wisselt met de Westerschelde en de Noordzee netto water en sediment uit door fysische processen. Hiervan is reststroming het meest effectief.

Buiten het mondingsgebied op de Noordzee wordt netto water en sediment getransporteerd in Noord-Oostelijke richting [ICONA, 1992]. Deze transportrichting is een gevolg van de getijbeweging en de overwegend zuidwestelijke windrichting.

De in- en uitgaande waterbeweging van het mondingsgebied is bepaald uit debietmetingen. Omdat de Vlakte van de Raan een stabiel gedrag vertoont wordt aangenomen dat de getijbeweging in het mondingsgebied een vast patroon heeft. Het verschil tussen de vloed- en ebvolumes, het restvolume, geeft een indruk van de richting van het resulterende slibtransport. Dit onder aanname dat de belangrijkste verspreidingsrichting van slib kan worden toegeschreven aan de richting van de netto reststroom [Svasek, 1986] en dat deze richting vervolgens weer overeenkomt met de richting van het restvolume. Figuur 2 geeft de restvolumes in debietraai 14. Uit deze figuur volgt een import uit zuidelijke en westelijke en een export langs de Walcherse kust.

Figuur 2

Restvolumes in het mondingsgebied [$10^9 \text{ m}^3/\text{jr}$], deze zijn sluitend gemaakt op de rivierafvoer in de Westerschelde.



2.3 Slib in water- en bodemsediment

Slibgehalte in het water

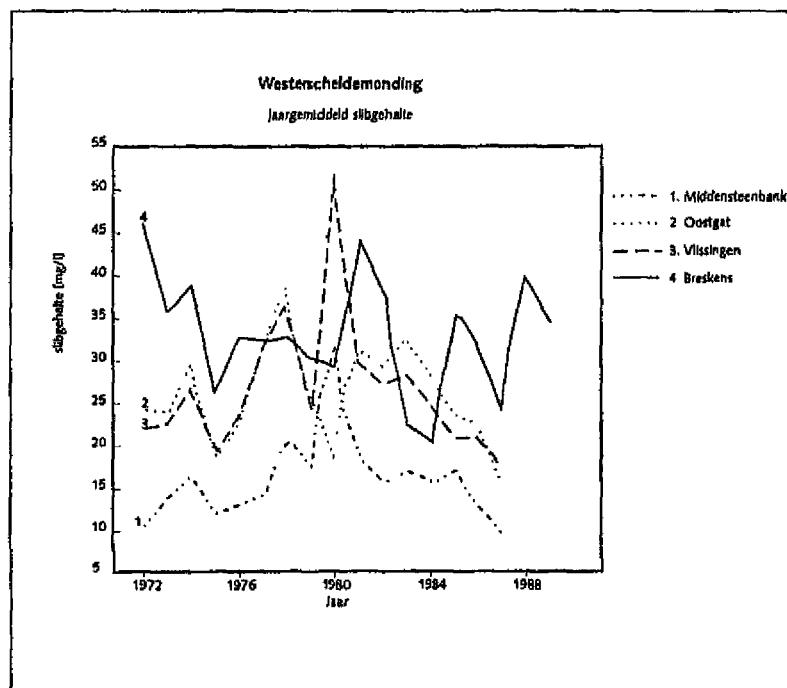
Slib wordt hier gedefinieerd als de sediment deeltjes kleiner dan 63 µm. Afhankelijk van de analysemethode wordt onderscheid gemaakt naar een organisch- en/of een anorganisch deel. De jaargemiddelde slibgehalten (anorganisch deel) zijn volgens vier lokaties langs het mondingsgebied meestal het hoogst bij Breskens en het laagst bij de Middensteenbank (Figuur 3). De gehalten van lokatie Vlissingen en Oostgat komen redelijk overeen.

De slibgehalten zijn 's winters veel hoger dan 's zomers [Maldegem, 1993.2]. Vermoedelijk is er ook een relatie met de 18½ jarige cyclus van het getij [WL Delft, 1991].

Verhouding marien - fluviatiel slib

Uit de verhouding in de gehalten van de koolstof- en andere isotopen in slib van het mondingsgebied tot de splitsing van de Schelde met de Rupel [Ten Brinke, 1994] volgt, dat het slib in het mondingsgebied voor het grootste deel, maar niet volledig, van mariene oorsprong is. Via de Westerschelde en West-Vlaamse kanalen wordt fluviatiel slib vanuit het stroomgebied van de Schelde en de Leie naar de Belgische Franse Noordzeekust afgevoerd [Van Maldegem, 1993.1]. De haven van Zeebrugge heeft een directe verbinding met het afleidingskanaal van de Leie. Uit de isoto-penverhouding $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ van bodemonsters uit de havens langs de Belgische en Franse Noordzeekust, volgt dat de havens van Duinkerken, Oostende en Zeebrugge naar schatting 0 tot maximaal 20% slib van fluviatiële oorsprong bevatten [Van Maldegem, 1993.1]. Opgemerkt wordt dat het meeste fluviatiële materiaal is aangetroffen in de haven van Duinkerken.

Figuur 3
Jaargemiddeld slibgehalte in de monding van de Westerschelde (aantal jaarlijkse waarnemingen per meetlokatie ≥ 26)



Marien troebelheidsmaximum.

Voor de Belgische Kust bevindt zich een "gebied", waar de residuele sedimenttransporten samenkomen. Hier heeft zich een marien troebelheidsmaximum gevormd, naar analogie met het estuariene troebelheidsmaximum [Belgische Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, 1993]. De ligging van het troebelheidsmaximum wordt bepaald door de residuele getij- en golftransporten. Het lag, voor de uitbouw van de haven van Zeebrugge (1975-1978) ca. 15 km. meer in zuidwestelijke richting. Sinds 1986 bevindt dit troebelheidsmaximum zich aan de oostzijde van de haven Zeebrugge. De verschuiving van het troebelheidsmaximum is een gevolg van de 3 kilometer zeewaartse uitbouw en de gelijktijdige verdiepingen van het Scheur en de toegangsheul naar Zeebrugge [Belgische Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, 1993]. De verbreding en verdieping van de inloop zijn vermoedelijk verantwoordelijk voor de meer geconcentreerde vloedstroom westwaarts van de uitbouw, waardoor het Scheur veel sterker vloeddominant is geworden. Het vloedoverschot in de inloop van het Scheur is één van de factoren die de plaats van het troebelheidsmaximum beïnvloedt. Oostwaarts van de uitbouw treedt verlamming van de vloedstroom op. Niet bekend is of het troebelheidsmaximum een grotere omvang heeft gekregen en/of de grootte van de troebelheid is veranderd.

Slibcirculatie.

Door het baggeren en storten van specie (waarover meer in het volgende hoofdstuk) wordt een slibcirculatiepatroon in stand gehouden. Uit verschilkaarten van de gebieden ter plekke van de stortlokaties volgt namelijk dat het grootste deel van de gestorte specie weer erodeert. Met een radioactieve tracer is onderzocht waar dit slib zich naar toe verplaatst. Op basis van dit onderzoek [Malherbe, 1992], concludeert Ten Brinke (1992), dat 85 % van het slib gestort tegenover de haven van Zeebrugge weer terecht komt in het troebelheidsmaximum oostelijk van deze haven. Het slib aanwezig in het troebelheidsmaximum zet zich af in de vaargeulen om daarna weer opgebaggerd te worden. Door de continue baggerwerken circuleren zodoende grote hoeveelheden deels verontreinigde slib in het mondingsgebied.

Ook wordt slibrijk materiaal uit de haven, gestort tegen over Zeebrugge, na ca. 10 dagen weer terug-gevonden in de haven [Putter et al]. Materiaal, dat op de oostwaarts van Zeebrugge gelegen lokatie Paardenmarkt werd gestort, was pas veel later terug te vinden in de haven van Zeebrugge.

3. De speciestortingen in het mondingsgebied van de Westerschelde

Onderhoud van vaarwegen en havens

Voor het onderhoud van de vaarwegen en havens langs de Belgische kust wordt jaarlijks gemiddeld $25 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie gebaggerd in het Scheur, het Pas van het Zand (de toegangsgeul naar de haven van Zeebrugge) en de haven van Zeebrugge [Belgische Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, 1993]. De specie uit het Scheur en het Pas van Zand, ongeveer $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jr.}$, wordt hoofdzakelijk gestort op de lokaties S1 en S2 (vanaf 1986 wordt 30 % op lokatie S2 gestort). De specie uit de havens en de voorhavens van Zeebrugge, ongeveer $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jr.}$, wordt aan de oostzijde op de lokatie Paardenmarkt gestort.

Voor het onderhoud van de Belgische- en Franse Noordzeehavens buiten het mondingsgebied wordt jaarlijks $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie in zee gestort. Het effect van deze stortingen is vermoedelijk verwaarloosbaar door de afstand tot Zeebrugge en de uitstraling naar open zee.

De verontreiniging van de baggerspecie uit de haven van Zeebrugge

De specie uit de haven van Zeebrugge komt uit de voorhavens en de binnenhavens aan de zeezijde van de schutsluizen. Het sediment op de bodem van de Belgische Noordzeehavens en aangrenzende toegangsgeulen is in 1989 uitgebreid onderzocht op verontreinigingen [Belgische Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, 1993] (Tabel 1). Deze studie wees uit dat de pollutiegraad van de sedimenten in de vissershaven van Zeebrugge en de eraan grenzende toegang tot de oude zeesluis nader onderzocht diende te worden. Daartoe werden halfweg 1990 aanvullende monsternames en analyses uitgevoerd. Van deze laatste monstername werd een beperkt aantal parameters geanalyseerd.

Tabel 1. Overzicht van de gemiddelde waarden van anorganische componenten

Parameter	Havens	Marien	Ref.1	Ref. 2	Ref. 3
Al [%]	0.82	0.62	0.57	0.91	0.6
Fe [%]	1.69	1.14	0.73	1.36	1.09
Cd [ppm]	2.61	1.65	0.69	1.2	0.26
Hg [ppb]	368	187	58	219	5
As [ppm]	13.4	10.2	9.2	12.7	5.3
Cr [ppm]	10.7	27.7	<1	<1	14.5
Cu [ppm]	28.8	8.4	75.6	9.8	4.6
Ni [ppm]	22.2	16.7	0.45	14.6	15.8
Pb [ppm]	67.2	34.2	13.7	36.5	13.2
Zn [ppm]	150	81	75.6	70.1	43

Havens zijn de haven van Nieuwpoort, Oostende, Blankenberge en Zeebrugge

Marien zijn de mariene toegangsgeulen tot de havens

Ref. 1 is een historisch siltmonster uit 1905 voor Zeebrugge

Ref. 2 is een boorkern uit de tertiaire klei voor haven van Zeebrugge

Ref. 3 is een kern uit polderklei of Duinkerke I transgressie

Uit tabel 1 volgt dat de havens meer zijn verontreinigd met de beschouwde anorganische componenten dan de toegangsgeulen. In het tijdok en de toegangsgeul naar de oude zeesluis van de haven van Zeebrugge zijn aanmerkelijk hogere gehalten aan TBT, PAK's en purgeerbare organische

stoffen gevonden dan in de andere havens. De verontreinigingen zijn afkomstig van schepen, havenactiviteiten en lozingen. De belangrijkste lozing op de buitenhaven van Zeebrugge is het afleidingskanaal van de Leie. Via dit afleidingskanaal wordt zo veel mogelijk water van de (sterk vervuilde) Leie geloosd [Ovaa, 1991].

Aangevoerde hoeveelheid verontreinigd slib.

Met het water dat via het afleidingskanaal wordt afgevoerd, wordt fluviaal slib meegenomen en op de haven gebracht. De aanvoer van fluviaal slib naar de haven wordt geschat op orde $100 \cdot 10^3$ t/jr. Deze schatting wordt hieronder toegelicht.

Slibbalans Leie. De aanvoer van vaste stof op de bekken van de Leie bedraagt naar schatting $90 \cdot 10^3$ t/jr. [Wollast & Marijns, 1981]. Hiervan is 50% van natuurlijke aard en 50% van industriële aard. Vermoedelijk wordt zijdelings langs het afleidingskanaal nog extra vaste stof toegevoegd. Jaarlijks wordt uit het afleidingskanaal en de Leie $210 \cdot 10^3$ m³ specie door baggeren verwijderd [v.d.Eede]. Als droge dichtheid is 0.1 t/m³ aangenomen, zodat jaarlijks $20 \cdot 10^3$ ton droge stof wordt verwijderd. Onder aanname dat er geen permanente berging van slib in het afleidingskanaal en de Leie plaatsvindt en onder aanname dat de verontreinigingen zich onderweg ook hechten aan het schone slib (slib van natuurlijke herkomst), wordt de afvoer van verontreinigd slib via het afleidingskanaal geschat op minimaal $70 \cdot 10^3$ t/jr.

Afvoerdebiet maal slibconcentratie. Bovenstaande schatting kan worden gecontroleerd met behulp van gemeten afvoerdebieten en slibconcentraties. Het jaargemiddelde debiet van de afleiding inclusief de afvoer van het kanaal van Gent naar Zeebrugge is geschat op 20 m³/s. [Technische Scheldec commissie, Eindrapport werkgroep TGHW]. Dit is een reëel uitgangspunt omdat de afvoercapaciteit van het kanaal 60 m³/s bedraagt. De stroomsnelheid tijdens het spuien bedraagt naar schatting > 0.2 m/s. Hierdoor wordt de kritische erosiesnelheid van slib in ruime mate overschreden, waardoor eerder afgezet slib kan resuspendieren. Dit betekent dat het geschatte slibtransport optreedt indien tijdens het spuien een debietgewogen gemiddelde slibconcentratie van 150 mg/l aanwezig is.

Gebaggerde hoeveelheid fluviaal slib. Een andere controle is mogelijk door te rekenen aan de gestorte hoeveelheid onderhoudspecie afkomstig uit de haven van Zeebrugge. Deze bedraagt $5 \cdot 10^6$ m³/jr. Uitgaande van een slibpercentage van 50% en een droge dichtheid van 0.5 t/m³ komt dit neer op $1 \frac{1}{4} \cdot 10^6$ ton/jr. Uit bemonsteringen blijkt dat de haven 5 tot 10% fluviaal slib bevat. Dit betekent dat in de haven jaarlijks 60 tot $130 \cdot 10^3$ ton fluviaal slib wordt gebaggerd. Een deel van dit slib kan echter afkomstig zijn van de stortplaats de Paardenmarkt (retourstroom). Deze hoeveelheid wordt echter beperkt verondersteld. Dit gezien het feit dat de resulterende stroming van de haven richting stortlocatie loopt en tracermetingen aangeven dat specie die op de oostwaarts van Zeebrugge gelegen lokatie Paardenmarkt wordt gestort, pas na relatief lange tijd weer terug wordt gevonden in de haven van Zeebrugge (zie par. 2.3).

4. Transport van slib en verontreinigingen naar de Westerschelde

4.1 Beschrijving van de ruimtelijke factoren.

Algemeen

De slibhuishouding in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium is een samenspel tussen de volgende ruimtelijke factoren:

- * de uitwisseling met de Noordzee;
- * De uitwisseling met het estuarium;
- * De uitwisseling met de waterbodem;
- * Het baggeren en storten van slib;
- * De zijdelingse aanvoer van (verontreinigd) slib;
- * De interne circulatie van het slib in de waterfase;

Deze factoren worden achtereenvolgens besproken.

De uitwisseling met de Noordzee

In een smalle zone langs de Belgisch-Nederlandse kust wordt door de overheersende zuidwestelijke windrichting netto water getransporteerd in Noord-Oostelijke richting. Hiermee wordt jaarlijks ca. $9 \cdot 10^6$ ton slib getransporteerd [v.Alphen, 1990; ICONA, 1992]. Het grootste deel hiervan wordt aangevoerd uit het Nauw van Calais. Door erosie van de Vlaamse Banken wordt ca. $1 \cdot 10^6$ t/jr marien slib toegevoegd aan dit transport [v.Alphen, 1990].

Over de uitwisseling tussen het grootschalige slibtransport op de Noordzee en het mondingsgebied is weinig bekend. Uit de debietmetingen in de raai Zeebrugge-Westkapelle in 1992 en 1993 is een vloedoverschot voor het Scheur en de Vlake van de Raan en een eboverschot voor het Deurloo en het Oostgat bepaald. Hieruit volgt, met de aannamen in paragraaf 2.2, een import van slib van uit het zuidwesten en westen en een export van slib aan de noordzijde van het mondingsgebied.

De uitwisseling met het estuarium

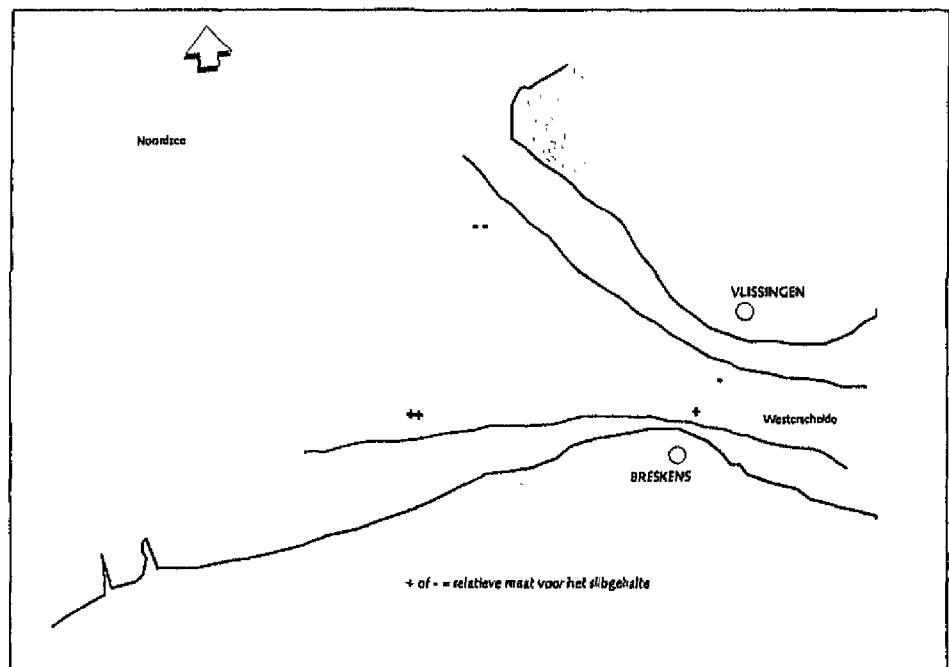
De resulterende uitwisseling van slib tussen het mondingsgebied en het Schelde-estuarium wordt in de regel bepaald door het opstellen van een slibbalans voor het Schelde-estuarium. Volgens de balans van het estuarium over de periode 1975-1985 [Maldegem, 1993.2] is er vanuit het mondingsgebied een export van $0.1 \pm 0.2 \cdot 10^6$ t/jr naar de Westerschelde. Deze export is de resultante van een export van $0.3 \pm 0.1 \cdot 10^6$ t/jr marien slib en een import van $0.2 \pm 0.2 \cdot 10^6$ t/jr fluviatiel slib. Het mariene slib dat naar het estuarium wordt geëxporteerd, sedimenteert in de Westerschelde en de Zeeschelde.

Een belangrijke beperking van de balans benadering is de aanname dat de rivier de Schelde de enige bron is voor het fluviatiel slib. Dit slib wordt via het estuarium en het mondingsgebied naar zee getransporteerd. Bij het opstellen van de balans is het onmogelijk om rekening te houden met fluviatiel bronnen aan de zeezijde. Dit betekent dat de uitkomst van de balans, namelijk een transport van fluviatiel slib van uit het estuarium naar het mondingsgebied niet correct hoeft te zijn. Het zou zelfs omgekeerd kunnen zijn.

Om hier meer duidelijkheid over te krijgen én over de wijze waarop de uitwisseling tussen het mondingsgebied en de Westerschelde plaats vindt, zijn debietmetingen nader uitgewerkt, reststroomberekeningen uitgevoerd, slibgehalten bepaald en slibgradiënten berekend, en is er gekeken naar satellietopnamen :

- uit de debietmetingen kan in de praktijk geen netto transport worden bepaald en ook kan niet worden bepaald of er verschillende netto transportrichtingen in de raai zijn. Dit was te verwachten, omdat dit namelijk ook de reden is voor het toepassen van de balansbenadering, waarbij de uitwisseling tussen het mondingsgebied en het estuarium sluitpost is.
- uit, met een waterbewegingsmodel berekende, Euleriaanse reststromen gedurende een doodtij-springtijcyclus [v. d. Male, 1994] kan een netto transport van $0.6 \cdot 10^6$ t/jr langs de zuidzijde het estuarium in en een netto transport van $0.3 \cdot 10^6$ t/jr langs de noordzijde het estuarium uit worden afgeschat.
- de slibfracties tonen twee tegengestelde slibgradiënten tussen het mondingsgebied en de Westerschelde: langs de zuidzijde neemt de slibfractie af in de richting van de Westerschelde, terwijl aan de Noordzijde de fractie toeneemt in de richting van de Westerschelde. Verder is ter hoogte van Vlissingen de slibfractie langs de zuidzijde wat hoger dan langs de noordzijde [Maldegem, 1993.2]. Samengevat levert dat een kwalitatief beeld van de gradiënten (Figuur 4).

Figuur 4.
Kwalitatief beeld van de slibgradiënten



Dit beeld wijst op de slibbron langs de Vlaamse kust en geeft tevens aan dat de bron uitstraalt langs de zuidzijde van het mondingsgebied.

- Landsat TM beelden tonen slibmassa's welke tijdens eb in het verlengde van het Vaarwater langs de Hoofdplaat zichtbaar zijn [Storm et al, 1995]. Dit wijst op de mogelijkheid dat tijdens vloed langs de zuidzijde slib het estuarium in wordt getransporteerd, waarna het met de ebstroom weer naar buiten wordt getransporteerd.

Geconcludeerd kan worden dat de reststroomberekeningen, het gradiëntverloop en de Landsat TM beelden een consistent beeld vertonen. De uitkomsten wijzen op de mogelijkheid dat het slib langs verschillende banen uitwisselt: netto transportrichting estuarium langs de zuidzijde en netto transport naar de monding langs de noordzijde. Met het transport langs de zuidzijde komt verontreinigd fluviatiel slib mee het estuarium in. Dit hoeft, voor alle duidelijkheid, overigens nog niet te betekenen dat er netto transport van fluviatiel slib naar het estuarium is. Er wordt immers ook nog slib van bovenstreams aangevoerd.

De uitwisseling met de waterbodem

Informatie over de uitwisseling met de waterbodem kan alleen worden afgeleid uit het feit dat het mondingsgebied gemiddeld met 1 cm/jr. verdiept [Uit den Bogaard, 1991]. Behalve bij de stortplaatsen, waar de waterbodem is verhoogd, lijkt nergens resulterende afzetting van slib op te treden.

De kuststrook tussen Oostende en Cadzand (100 km²) bevat ca. 50% slib. Dit betekent dat, uitgaande van een droge dichtheid van 0.6 t/m³, jaarlijks ca. 0.3.10⁶ t/jr. marien slib wordt geërodeerd.

De interne circulatie van het slib in de waterfase.

De slibbeweging in de monding van Westerschelde, Oosterschelde en Haringvliet vertoont een circulatiepatroon, dat gerelateerd kan worden aan de waterbeweging [Ferguson et al]. Over de richting van het circulatiepatroon is verschillend gerapporteerd. Terwindt [1967] veronderstelt een "links om" (uitgaande van het middelpunt van de circulatie tegen de richting van de klok in) circulatie van het slib in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium. In het ICONA rapport wordt de waterbeweging in het mondingsgebied van het Schelde-estuarium "rechtsom" voorgesteld [Otto et al, 1990]. Uit de debietmetingen in 1992/1993 in het mondingsgebied is een "links om" circulatie afgeleid. De noordwaartse richting van het netto slibtransport bij de "linksom" circulatie wordt bevestigd door metingen in de Wielingen ten noordoosten van de Paardenmarkt [Svasek, 1986].

Behalve een circulatiepatroon is er ook sprake van een mariene troebelheidszône (gebied met verhoogde slibgehalten). Deze troebelheidszône bevindt zich sinds 1986 ten oosten van de haven van Zeebrugge en wordt in stand gehouden door de specifieke hydrodynamische omstandigheden [Van Veen, 1936; Bastin, 1974]. De huidige lokatie van de troebelheidszône is vastgesteld met behulp van de richting van de sedimenttransporten in het mondingsgebied. De richting van de transporten is bepaald uit de korrelverdeling van het sediment in het mondingsgebied [Malherbe, 1991]. Deze richting is vertaald naar het totale residuele sedimenttransport. De bepaalde transportrichtingen komen redelijk over een met de resultaten van de debietmetingen: in het Scheur richting Westerschelde, op de Vlake van de Raan en in het Deurloo richting Wielingen en in het Oostgat zeewaarts. Vanuit de Westerschelde is de richting naar Scheur en de Vlake van de Raan.

Op basis van de resultaten van de debietmetingen en de transportrichtingen van Malherbe wordt een "linksom" circulatie in het mondingsgebied aangenomen volgens het volgende algemene beeld: een zeer duidelijke import vanuit de Noordzee via het Scheur langs de Vlaamse kust en over de Vlake van de Raan in de richting van de troebelheidszône. Een zeer duidelijke export naar de Noordzee langs de Walcherse kust via het Oostgat.

Het baggeren en storten van slib

In de slibrijke toegangseulen en de haven van Zeebrugge wordt gebaggerd. Het slib uit de toegangseulen bedraagt ca. $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$ (hetgeen overeenkomt met ca. $2 \cdot 10^6 \text{ t/jr}$) en wordt op de Vlakte van de Raan gestort (Stortplaats S1 en S2). Het slib uit de haven van Zeebrugge, ca. $1 \cdot 10^6 \text{ t/jr}$, wordt oostelijk hiervan op de Paardenmarkt in het gebied van de troebelheidszone gestort. Het gestorte slib veroorzaakt nauwelijks een verhoging van de stortplaatsen. Hieruit volgt dat het gebaggerde en gestorte slib voor een groot deel wordt rondgepompt. Het gestorte slib op S1 en S2 wordt na 10 dagen teruggevonden in de haven van Zeebrugge. Het gestorte slib op de Paardenmarkt wordt veel later teruggevonden. Het gestorte slib op de Paardenmarkt maakt dus een andere en langere beweging dan het gestorte slib op S1 en S2. Malherbe [1989] geeft aan dat in het mondingsgebied van de Westerschelde een sterke recirculatie van de gebaggerde en gestorte specie plaats vindt. Meer dan 85% van het gestorte slib komt na circulatie weer terug in de troebelheidszone. Ten Brinke [1992] concludeert hieruit dat van het rondgepompte slib maximaal 15% of $0.6 \cdot 10^6 \text{ t/jr}$ kan verdwijnen. Hij wijst er verder op dat deze hoeveelheid groot is in verhouding tot de, met de slibbalans, berekende uitwisseling tussen monding en Schelde-estuarium.

De zijdelingse aanvoer van verontreinigd slib

Door het afleidingskanaal van de Leie wordt naar schatting $0.1 \pm 0.05 \cdot 10^6 \text{ t/jr}$ verontreinigd fluviatiel slib op de haven van Zeebrugge gebracht (zie hoofdstuk 3). Dit slib wordt als deel van de jaarlijkse hoeveelheid bagger-specie gestort op de Paardenmarkt.

Verder wordt opgemerkt dat vanuit de overige Franse en Belgische zeehavens naar schatting ca. $0.1 \cdot 10^6 \text{ t/jr}$ verontreinigd fluviatiel slib buiten deze havens wordt gestort. Hierdoor wordt een vergelijkbare hoeveelheid verontreiniging in zee gebracht. Het grootste deel hiervan wordt vermoedelijk opgemengd in het slibtransport langs de Belgisch-Nederlandse kust. Zoals in hoofdstuk 3 reeds opgemerkt is het effect hiervan waarschijnlijk verwaarloosbaar voor het mondingsgebied.

4.2 Modelling van het probleem.

Op basis van het voorgaande zijn de ruimtelijke factoren in het mondingsgebied geschematiseerd. Dit levert een "model" op waarmee de transporten van verontreinigingen vanuit het mondingsgebied naar de Westerschelde kunnen worden geschat. Hieronder wordt het "model" beschreven en het is weergegeven in figuur 5.

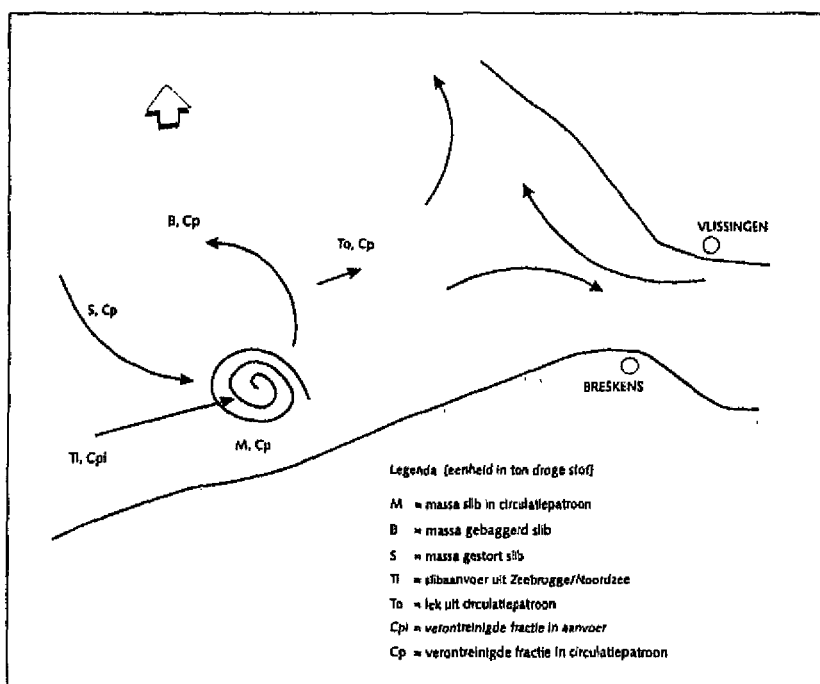
Voor de Vlaamse kust worden grote hoeveelheden slib gebaggerd (B) in het troebelheidsmaximum, daarbuiten gestort (S) en door de natuur weer teruggetransporteerd naar de baggerplaatsen. Uit dit circulatiepatroon lekt slib (To). Deze lek wordt gecompenseerd door stortingen van verontreinigd fluviatiel slib afkomstig uit de haven van Zeebrugge en door slib afkomstig van de Noordzee dat deel uitmaakt van het grootschalige zuid-noord transport (Ti). Een fractie (C_{pi}) van het geïmporteerde slib is dus verontreinigd. Dit verontreinigde slib mengt zich met het schone slib en het slib aanwezig in het troebelheidsmaximum (M). Dit betekent dat ook een zekere fractie (C_p) van de lek verontreinigd is. De grote van de fractie verontreinigd slib hangt af van de verhouding tussen de inkomende hoeveelheid nieuw slib en de slibvoorraad in het troebelheidsmaximum waarmee het zich mengt. Indien de import klein is ten opzicht van de

voorraad duurt het zeer lang voordat de vervuilingsgraad van het slib in het circulatiepatroon gelijk is aan de vervuilingsgraad van het inkomende slib.

In werkelijkheid is het ook nog mogelijk dat verontreinigingen loskomen van het fluviale slib, opgenomen worden in de waterfase en zich vervolgens hechten aan het mariene slib. De fractie verontreinigd slib kan dan toenemen, maar omdat de verontreinigingsgraad zal moeten afnemen, blijft het netto effect gelijk. Daarom wordt ervan uitgegaan dat de verontreiniging gehecht blijft aan het fluviale slib en $C_p \leq C_{pi}$.

Het slib dat lekt uit het circulatiepatroon wordt langs de zuidzijde de Westerschelde in getransporteerd. Een deel wordt ook via het grootschalige "linksom" circulatiepatroon afgevoerd naar de Noordzee, waar het zich voegt bij het zuid-noord transport. Dit circulatiepatroon wordt verder ook gevoed met slib dat via de noordzijde het Schelde-estuarium verlaat.

Figuur 5
Schematisch overzicht van de slibstromen



Bij de modellering van de slibstromen is uitgegaan van volledige menging. De toename aan vervuild slib in het mondingsgebied is het verschil tussen de aanvoer en lek van verontreinigd slib. De veranderingen van de hoeveelheden aan slib [1] en aan verontreinigd slib [2] zijn te formuleren door:

$$[1]: \frac{dM}{dt} = TI - (To + B - S) \quad \text{en}$$

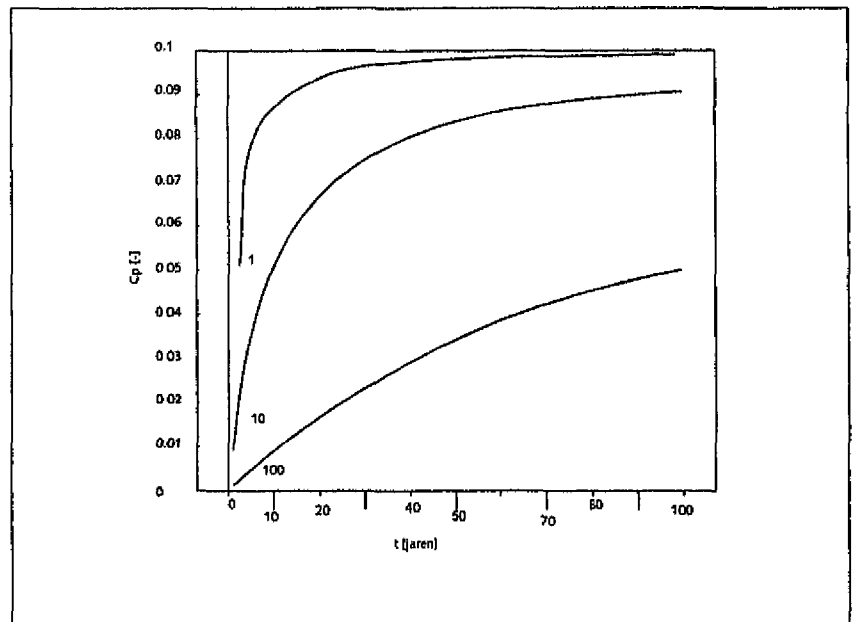
$$[2]: \frac{d(M \cdot Cp)}{dt} = TI \cdot C_{pi} - (To + B - S) \cdot Cp.$$

Uit [1] en [2] volgt $\frac{dCp}{dt} = \frac{TI}{M} \cdot (C_{pi} - Cp)$. De oplossing hiervan is: $Cp = \frac{TI \cdot t}{M} \cdot (C_{pi} - C_0) + C_0$, waarbij C_0 een integratieconstante is. Verdere uitwerking van deze vergelijking geeft:

$$Cp = \frac{TI \cdot t}{(M + TI \cdot t)} \cdot C_{pi} + \frac{M}{(M + TI \cdot t)} \cdot C_0$$

Uit deze vergelijking volgt
 voor $t = 0 \rightarrow Cp = C_0$
 voor $t \rightarrow \infty \rightarrow Cp = C_{pi}$

Ter illustratie is het verloop van C_p gegeven voor de $Tl=1.1 \cdot 10^6$ t/jr, $C_{pi}=0.1$ en $C_o=0$. De waarde van M is gevarieerd met 1, 10 en $100 \cdot 10^6$ t.



Het duurt minimaal 10 jaar tot orde 100 jaar voordat de verontreinigde fractie in het circulatiepatroon C_p enigszins overeenkomt met de verontreinigde fractie van de aanvoer C_{pi}

Ter onderbouwing van dit simpele model zijn verkennende berekeningen gemaakt met een numeriek 3D slibmodel voor de kuststrook, gebaseerd op TRIWAQ- in- SIMONA [Kuijper, 1993]. De berekeningen zijn onder meer uitgevoerd vanwege het complexe stromingsbeeld in het mondingsgebied. Het is namelijk zeer lastig om op basis van de waterbeweging (Eulerse reststroming) conclusies te trekken over het slibtransport. Met betrekking tot de uitkomsten van de modelberekeningen wordt, gezien het verkennende en kwalitatieve karakter van de berekeningen, hier volstaan met de mededeling dat de resultaten het simpele model niet tegenspreken. Volgens het computermodel worden namelijk aanzienlijke hoeveelheden slib naar de Westerschelde getransporteerd.

4.3 Het transport van verontreinigingen naar de Westerschelde

De lek uit het circulatiepatroon is 600.000 ton slib per jaar. De vervuilde fractie is maximaal 16 %, ofwel 100.000 ton. Er verdwijnt dus maximaal 100.000 ton vervuild slib de Westerschelde in. Ter vergelijking: dit is een orde groter dan de hoeveelheid welke wordt aangevoerd vanuit het Kanaal Gent-Terneuzen [Vereeke, 1994].

Een andere, meer rechttoe rechtaan, benadering is mogelijk door uit te gaan van het gegeven uit de slibbalans dat ca. $3 \cdot 10^5$ t /jr aan marien slib het estuarium in wordt getransporteerd. Door deze hoeveelheid te vermenigvuldigen met de gevonden concentraties aan verontreinigen kunnen vrachten worden berekend.

Bij de berekening is uitgegaan van vier "conservatieve" zware metalen (Tabel 2). De gehalten van de microverontreinigingen aan de zeezijde van het estuarium zijn hierbij representatief beschouwd voor de aanvoer van slib vanuit het mondingsgebied naar de Westerschelde.

Tabel 2. Belasting Westerschelde met zware metalen uit mondingsgebied

Zware metaal	Gehalte volgens fig. 9 [mg /kg]	Belasting Westerschelde [t/jr]
Cr	70	21
Cu	20	6
Pb	40	12
Zn	150	45

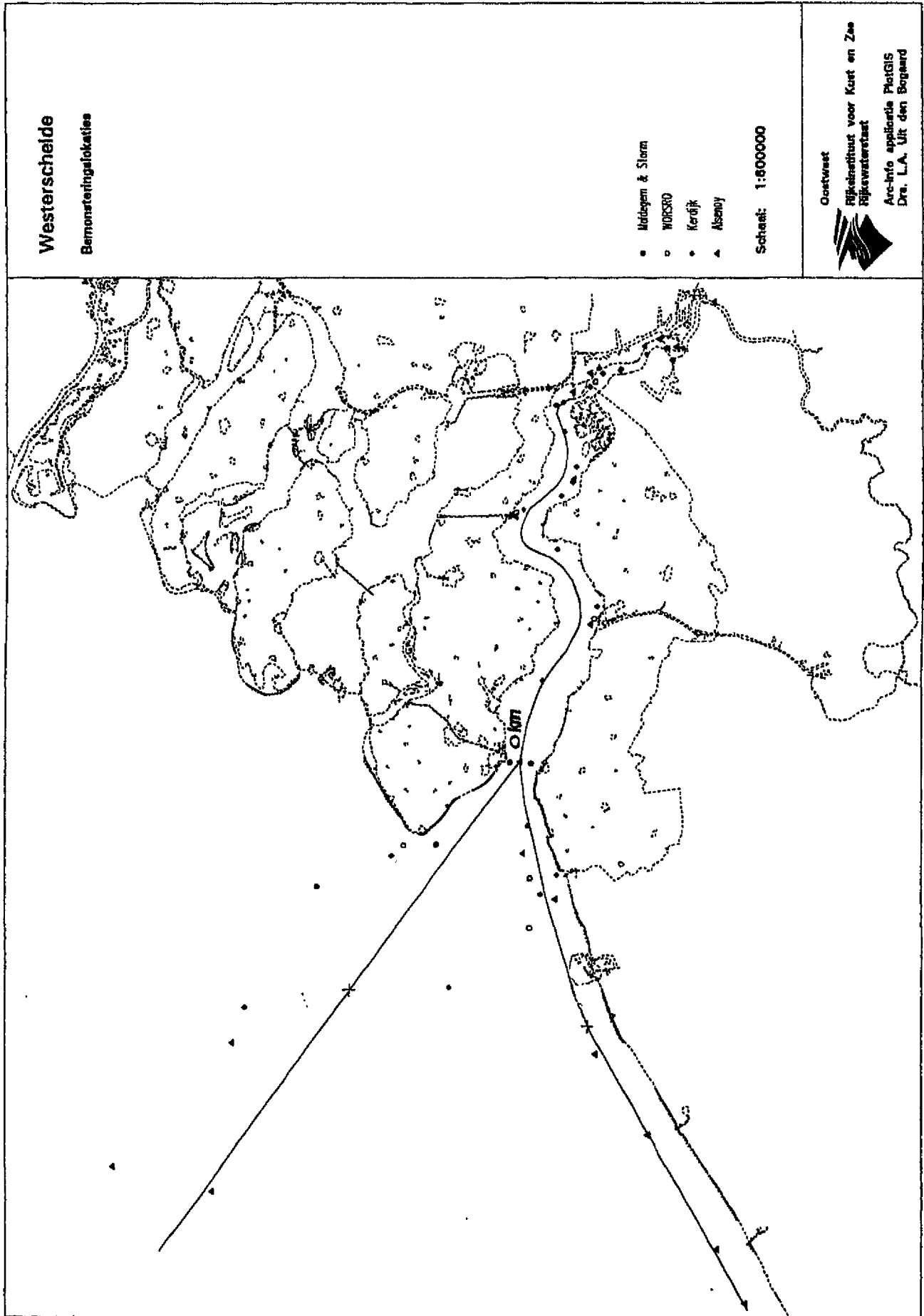
De berekende aanvoer vanuit het mondingsgebied is vergeleken met de aanvoer door de Zeeschelde en het kanaal van Gent naar Terneuzen in 1985 [Holland et al, 1991] en in 1991 [Lefèvre et al, 1992] (Tabel 3).

Tabel 3 Belasting van de Westerschelde met enkele zware metalen in 1985 en in (1991) [t/jr.].

Zware metaal	Zeeschelde	Kanaal Gent-Terneuzen	Mondings gebied
Cr	47 (49)	2 (3)	21
Cu	18 (21)	3 (2)	6
Zn	65 (79)	9 (39)	45

De aangevoerde vrachten vanuit het mondingsgebied zijn aanmerkelijk groter dan van het Kanaal Gent naar Terneuzen in 1985. Echter: indien de Westerschelde vervuild fluviatiel slib afvoert zal dit in het mondingsgebied terecht komen. Hierdoor zal de natuurlijke achtergrond van de concentraties in het mondingsgebied zijn verhoogd. Indien wordt aangenomen dat de Westerschelde 200.000 ton/jr fluviatiel slib afvoert (uitkomst slib-balans), dan dragen de speciëstortingen (100.00 ton/jr) voor 1/3 bij. Dit betekent dat door de speciëstortingen in het mondingsgebied jaarlijks naar schatting 7 ton Cr, 2 ton Cu en 15 ton Zn wordt aangevoerd naar de Westerschelde.

Figuur 6



5. Vergelijking van de transportrichting met de gradiënten in gemeten verontreinigingen.

Methode

Bij de vergelijking van de transportrichting met de gemeten gradiënten is gebruik gemaakt van zware metalen die zich in het water (min of meer) conservatief gedragen. De meetwaarde van deze stoffen is zo mogelijk genormeerd. Als de genormeerde meetwaarden in het water en de bodem worden uitgezet tegen de afstand in het estuarium ontstaat er vanaf de lozingsbron in principe een dalende lijn. Die lijn kan bol, hol of lineair verlopen. Op plaatsen waar afwijkingen van de "ideale" lijn optreden kunnen in principe andere bronnen dan de bovenstroomse bron voorkomen. De "ideale" gradiënt is aangenomen als de vloeiende lijn langs de ondergrens van het longitudinale verloop van de concentraties. Deze lijn kan de resultante zijn van meerdere gradiënten. Aangenomen wordt dat de lokale afwijkingen van de "ideale" lijn naar beide richtingen in het estuarium de zelfde verspreiding geeft. Deze afwijkingen worden toegeschreven aan lokale bronnen en systematische fouten. De resultaten van deze methode zijn meer indicatief doordat de ideale lijn vrij arbitrair is aangenomen.

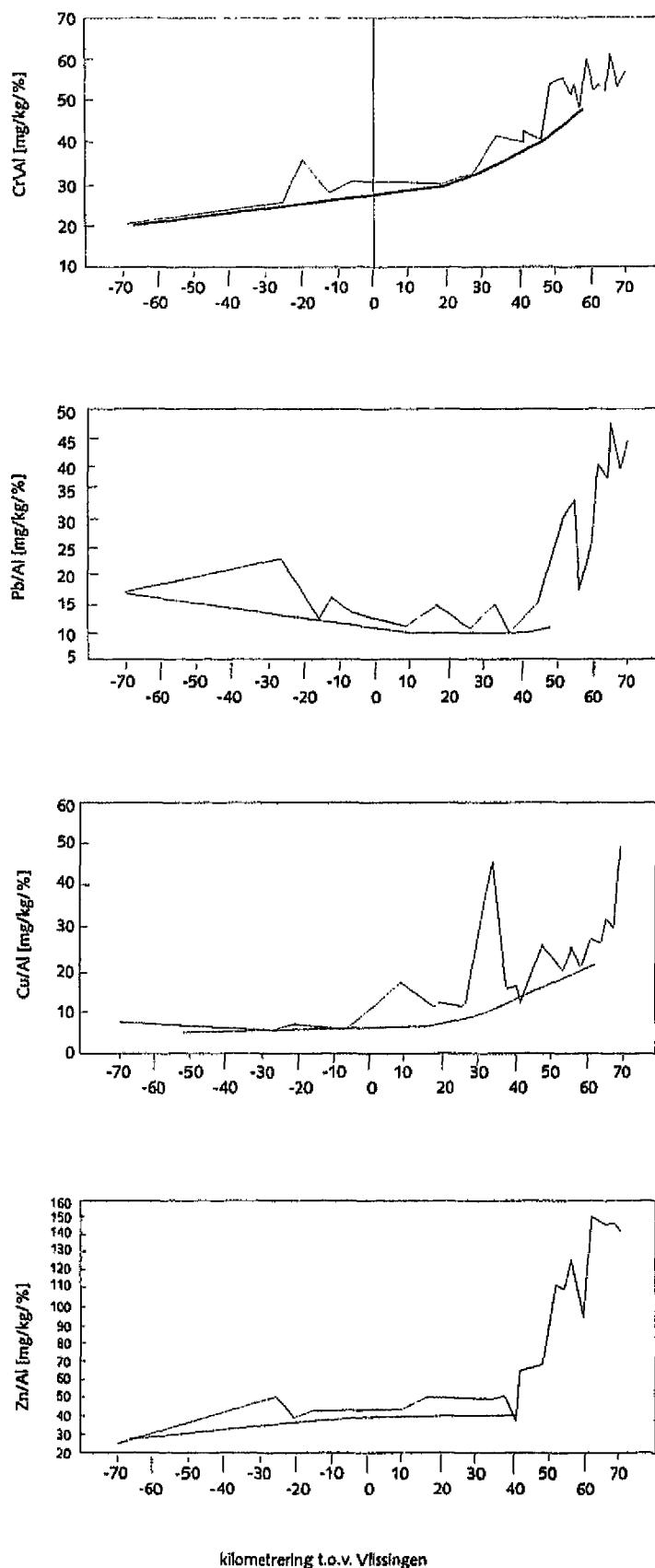
Gradiënten voor het bodemsediment

De gradiënt in de kwaliteit van de waterbodem is bepaald uit de genormeerde analyseresultaten [Kerdijk, 1992 en 1993, en Alsenoy, 1993] van de monsters vanuit de Noordzee naar het Schelde-estuarium, respectievelijk langs de Belgische kust naar het estuarium (Figuur 6). De "ideale" gradiënten zijn de vet getrokken lijnen over de ondergrens. Het verloop langs de kust [Alsenoy] is heel anders dan het verloop vanuit de Noordzee [Kerdijk] (vergelijk Figuur 7 en 8). Langs de Belgische kust is het effect van de lozings- en stortingen bij de havens Oostende en Zeebrugge te zien door de pieken in het mariene troebelheidsmaximum tussen km. - 80 tot -10 (Figuur 8). Vanuit de Noordzee (Figuur 7) is het verloop veel geleidelijker. De pieken hierin zijn waarschijnlijk het gevolg van de ongelijkmatige verspreiding van de vervuiling in het mondingsgebied. Op het Schelde-estuarium is eveneens de invloed van lozings- en stortingen bij de havens en sluisen van Vlissingen, Terneuzen en de Boudewijnslus zichtbaar. De grootste belasting op de Westerschelde is de Zeeschelde.

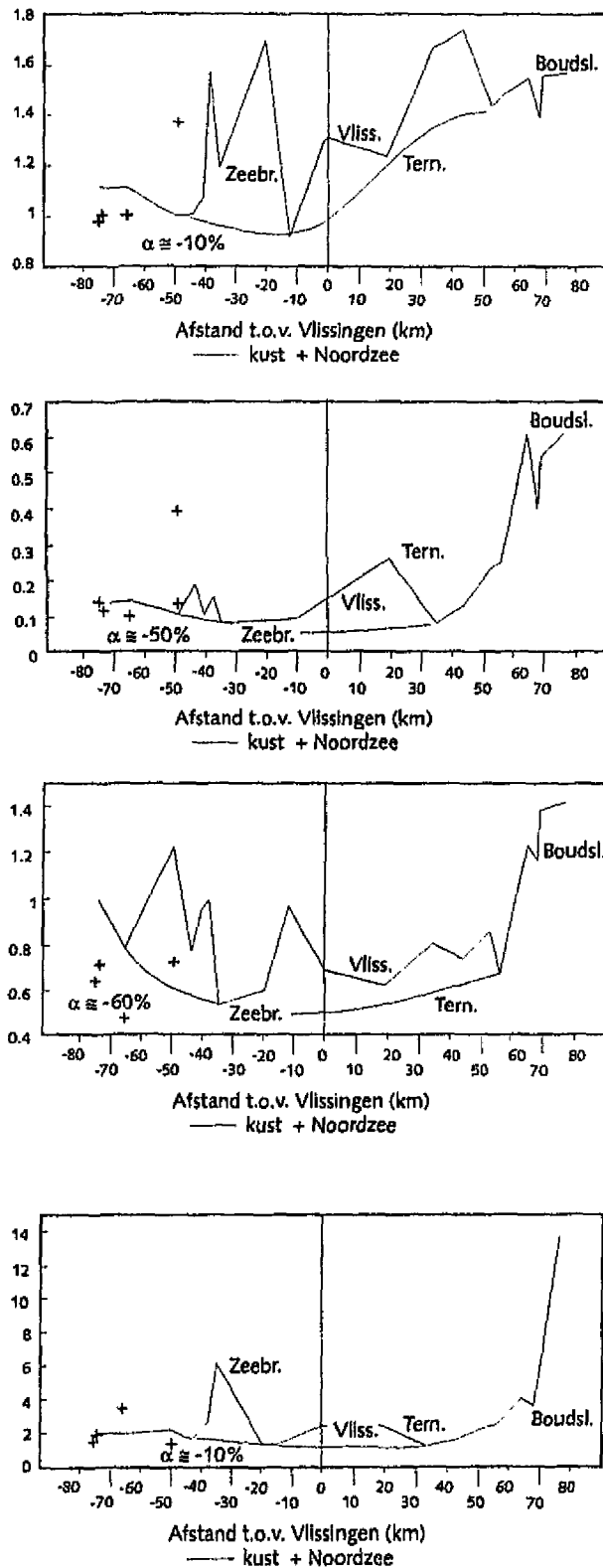
De gradiëntlijnen vanuit de Noordzee (Figuur 7) vertonen met uitzondering van Pb een stijgende gradiënt in landwaartse richting. Door de verschillende normeringsmethoden zijn figuur 7 en 8 niet rechtstreeks vergelijkbaar. Kwalitatieve beoordeling is echter wel toegestaan, temeer daar er voor het Schelde-estuarium een redelijke overeenkomst is wat betreft de lokaties van de pieken. De verschillen voor het Schelde-estuarium zijn mogelijk ook een gevolg van het systematisch verschil in bemonsteringslokaties (drempel, geul).

De gehalten van de "ideale" lijn langs de Belgische kust (Figuur 8) nemen van uit zee (kilometer 40) tot achterin de Westerschelde af met de orde van 10 tot 60%. Deze afname onderbouwt een aanvoer van verontreinigingen vanuit het mondingsgebied naar de Westerschelde, wat tevens betekent dat zware metalen met het slib worden afgezet. Deze afzetting komt overeen met de mariene slib afzetting volgens de balans.

Figuur 7 Verloop van naar Aluminium genormeerde metalen van de fractie <63µm in het bodemsediment van het Schelde-estuarium en het aangrenzende Noordzeegebied volgens gegevens van Kerdijk uit 1990 t/m 1993.



Figuur 8 Verloop van naar Vanadium en Calcium genormeerde metalen van de fractie <16µm in het bodemsediment van het Scheide-estuarium en het mondingsgebied langs de Vlaamse kust van Duinkerken tot Antwerpen volgens gegevens van Alsenoy 1987.88.



De aanvoer van verontreinigingen uit het mondingsgebied wordt enigszins bevestigd doordat de bodemkwaliteit van het sediment van de drempels in de Westerschelde zeewaarts van de sluizen voor het kanaal van Terneuzen in een hogere verontreinigingsklasse vallen dan rivierwaarts. De hogere verontreinigingsklasse betekent in ieder geval dat het westelijk deel van de Westerschelde belast wordt door lokale lozingen.

Vanuit de Noordzee neemt het Pb gehalte af met orde 40% (Figuur 7). De afname van Pb langs de Belgische kust is groter dan 60%. Het hoge Pb gehalte op de Noordzee is mogelijk indirect het gevolg van het hoge gehalte langs de Belgische kust.

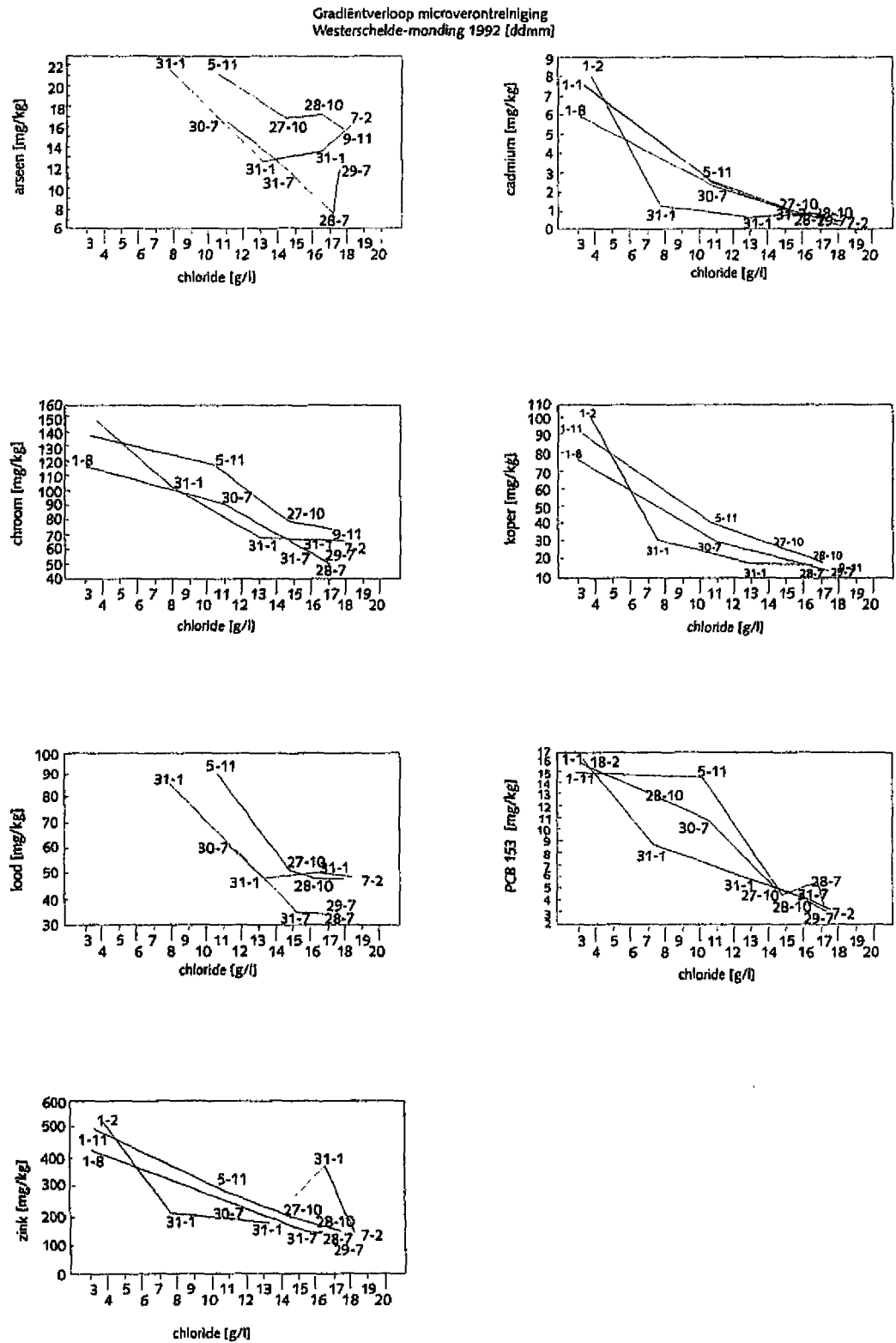
De gehalten van de zware metalen zijn minimaal in het oostelijk deel van de Westerschelde nabij Baalhoek (ten westen van het Land van Saftinge), wat betekent dat het grootste deel van de fluviaatiele aanvoer door de rivier de Schelde ten oosten van Baalhoek sedimenteert en het grootste deel van de mariene aanvoer ten westen hiervan sedimenteert.

Gradiënten voor het particulier materiaal in zwevende stof

De gradiëntlijnen vanaf Doel (Chloride 3 g/l) tot de Wielingen (Chloride 19 g/l) voor de microverontreinigingen in het zwevende stof (Figuur 9) laten zien dat de concentraties aan de zeezijde beïnvloed worden door de concentraties in het mondingsgebied. Want met name bij Cr, Pb en Cu zet de dalende tendens in het traject tussen 13 en 19 Cl gr/l. niet verder door. De aflopende gradiënt in zeewaartse richting laat in grote lijnen zien dat met het water fluviaatiele slib wordt getransporteerd in de richting van de Westerscheldemonding. Tijdens de bemonstering van 31-1 wijken de gehalten van As, Cr en Pb in de omgeving van de hoogste chloridegehalten af van de "ideale" lijn. Dit betekent dat er in de monding een lokale bron moet zijn. Het is echter niet mogelijk binnen het mondingsgebied de herkomst nog nader te onderscheiden.

Opvallend in deze gradiënten zijn ook de hoge gehalten van Cr en PCB153 op de Westerschelde. De resultaten van de zwevende stof kwaliteit in de waterfase zijn zodoende in grote lijnen in overeenstemming met resultaten van de waterbodem. Deze gehalten zijn zonder uitzondering hoger dan de gehalten die van nature in het mariene particuliere materiaal kunnen voorkomen.

Figuur 9 Verloop microverontreinigingen in zwevende stof (de gegevens zijn ontleend aan het WORSRO-bestand)



6. Konklusies en aanbevelingen

Op basis van de pilotstudie kan worden geconcludeerd dat het storten van verontreinigde specie uit de haven van Zeebrugge in het mondingsgebied, van invloed is op de water- en bodemkwaliteit van de Westerschelde. Geschat wordt dat de aanvoer van verontreinigingen zeker van dezelfde orde van grootte is als de belasting van het Kanaal van Gent naar Terneuzen op de Westerschelde.

De konklusie is gebaseerd op met name de volgende aannamen :

- via het afwateringskanaal van de Leie wordt ca. $100 \cdot 10^3$ t/jr verontreinigd fluviatiel slib geloosd op de buitenhaven van Zeebrugge.
- uit het circulatiepatroon voor de Vlaamse kust "lekt" ca. $0.6 \cdot 10^6$ ton slib per jaar, waarvan maximaal 100.000 ton is vervuild.
- een belangrijk deel van deze lek wordt langs de Zeeuws-Vlaamse kust naar het estuarium getransporteerd.

Aanbevelingen

Aanbevolen wordt na te gaan of door Vlaanderen metingen in de Leie zijn uitgevoerd en om op basis hiervan de aanvoer van verontreinigd fluviatiel slib te berekenen.

Indien de schattingen van de aanvoer van verontreinigd slib via het afwateringskanaal van de Leie kloppen en er geen plannen zijn om het storten van slib in de kustzone te verminderen, wordt aanbevolen de mogelijkheid van een andere stortlocatie te onderzoeken.

Het transport van verontreinigingen uit het mondingsgebied naar de Westerschelde is in dit rapport op empirische wijze bepaald. Aanbevolen wordt om te onderzoeken of het mogelijk is het geconstrueerde stromingspatroon in het mondingsgebied en de uitwisseling met de Westerschelde, te verifiëren met behulp van beschikbare computermodellen en veldmetingen met tracers.

Gelijktijdig met de uitbouw van de haven van Zeebrugge en de verdieping van de toegangseulen heeft zich het troebelheidsmaximum ca. 15 km. in noordoostelijke richting verplaatst. Bij een verdere verruiming van het Scheur kan het troebelheidsmaximum zich mogelijk tot bij de toegang tot het Zwin verplaatsen.

Aanbevolen wordt deze mogelijkheid nader te onderzoeken en na te gaan welke gevolgen dit kan hebben voor het natuurgebied het Zwin. Vanuit het mondingsgebied is export van slib naar de Noordzee. Deze export bevat naast verontreinigingen ten gevolge van de stortingen in het mondingsgebied ook verontreinigingen uit het Schelde-estuarium. Het verontreinigde slib wordt opgemengd in het zuid-noord gerichte transport langs de Nederlandse kust. Omdat de verspreiding van de verontreiniging naar alle richtingen diffuus verloopt wordt zo mogelijk ook de Ooster-

schelde beïnvloed door de verontreinigingen vanuit het estuarium en het mondingsgebied.

Aanbevolen wordt om verkennend onderzoek te verrichten naar de invloed van de speciestortingen op de bodemkwaliteit van het mondingsgebied vóór de Oosterschelde.

Literatuurlijst

Alsenoy V. van, Concentration and partitioning of heavy metals in the Scheldt estuary. *Universiteit van Antwerpen, proefschrift 1993*

Alsenoy V. van, Bernard P. and Grieken R. van, Elemental concentrations and heavy metal pollution in sediments and suspended matter from the Belgian North Sea and the Scheldt estuary. *The science of the total Environment*, 133 (1993) 153-181

Alphen J., Slibvoorkomens op het Nederlands en Belgisch deel van het Continentaal plat. *RWS, Directie Noordzee, Nota NZ N87.09b*.

Alphen J.S.L.J. van, A mud balance for Belgian Dutch coastal waters between 1969 and 1986. *Netherlands Journal of Sea Research* 25(1/2): 19- 30 (1990)

Aqua Sense (1993), Oesterlarventest op sedimenten uit de Zeeschelde en Westerschelde. Toxiciteit van baggerspecie uit het Schelde-estuarium. In op dracht van R.W.S. Directie Zeeland. *Rapport 93.0364*

Bakker W.T., Stationaire, één-dimensionale diffusie in getij estuaria in het algemeen en in het Westerschelde-estuarium in het bijzonder. *RWS, Studiedienst Vlissingen , Memo VI.75.5*

Bams C.J., Inventarisatie gegevens van microverontreinigingen in oppervlakte sedimenten van Nederlandse zoute wateren. *DGW notitie DDMI 85.425*

Bastin A., Regionale sedimentologie en morfologie van de Zuidelijke Noordzee en van het Schelde estuarium. *Katholieke Universiteit Leuven, proefschrift 1974*.

Belgische Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu, 1993, Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee en het Schelde-estuarium. *Ecologische Impact van specielozingen voor de Belgische kust*.

Brinke W.B.M. ten, Slib in het estuarium van de Schelde. Paden en lotgevallen, deel 2. *R.W.S. notitie GWAO- 92.846X., RU Utrecht rapport R92-10 (IMAU)*.

Commissie voor hydrologisch onderzoek TNO, Salt distribution in estuaries. *Verslag nr. 20, Den Haag 1976*

Coosen J., Monitoring Meiofauna. *Besprekingsverslag GWW-90.878*

Craeymeersch J.A., Hamerlynck O., Hostens K., Vanreusel A. & Vincx M. De ekologische ontwikkeling van de Voordelta. *DIHO, RU Gent, 1990*.

Dam D. van, Quartel C.J., Baggerwerken, drempeldiepten en zandhuishouding in de Westerschelde 1985 t/m 1990. *RWS, Directie Zeeland, Notitie NWL- 92.19*

- Disteche A., Elskens I.**, Distribution, transport and fate of heavy metals in the Belgian coastal marine environment. *Eindverslag boekdeel 2 geconcerteerde onderzoeksacties Dienst van de Eerste minister, België*
- DGW/Dir. Zeeland**, Beleidsplan Westerschelde. *Deelrapport 2: microverontreinigingen 1989*
- Dronkers J. and Zimmermann J.**, Principle of mixing in tidal basins in the Netherlands. *Deltadienst, nota DDWT 821015*
- Eede E.v.d.**, De civiel- en milieutechnische aanpak van de baggerwerken in het Vlaamse Gewest.
- Ferguson H., J.Terwindt, J.Dekker, W.Bakker, H.v.d.Tuin**, Slib in de Deltawateren. *Werkgroep slibtransportmechanismen*.
- Fischer**, Mixing in Inland and Coastal Waters. *Academic Press 1979*
- Heuvel Tj.van**, Sedimenttransport in het Eems- Dollard estuarium volgens de methode McLaren. *RWS, DGW Nota GWWS- 91.002*
- Holland A., G.Bitter G., B. van Eck, S.v.d.Kamer, F.Lefèvre, A.Schouwenaar, K.Wuffraat**, De belasting van het Schelde-estuarium (1980 - 1988). *RWS, DGW, nota GWWS- 91.082*.
- ICONA 1992**, Noordzee atlas voor het Nederlands beleid en beheer
- Jonge, V.N. de, 1983**, Relations between annual dredging activities, Suspended matter concentrations, and the development of the tidal regime in the Ems estuary. *Can.J.Fish.Aqua.Sci 40 (suppl.1):289- 300*
- Kerdijk N.**, Microverontreinigingen in sedimenten van de Noordzee. Verslag van de analyseresultaten van de bodemonsters. Campagne in 1991. *WL Delft, juli 1992*
- Kerdijk N.**, Belasting waterbodem Westerschelde met microverontreinigingen in 1990 en 1991. *WL Delft, februari 1992*
- Kerdijk N.**, Kwaliteit van de waterbodem in de Zeeschelde en de Westerschelde. *WL Delft, juli 1993*
- Kohsiek L.H.M., Mulder J.D.M.**, Een verkenning van een veranderend watersysteem: De Voordelta. *RWS DGW nota- 88.002*
- Kuljper E.V.L.**, Het 3D- KUSTSTROOK- model gebaseerd op TRIWAQ- in- SIMONA (gevoeligheidsonderzoek). *RWS RIKZ rapport DGW 93.044, december 1993*
- Lefèvre F.O.B.**, Ontwikkeling in de belasting en waterkwaliteit van het Schelde-estuarium in de periode 1980 - 1991. *RWS DGW en Directie Zeeland, Rapport DGW- 92.042*
- Leussen W.v.**, Fine sediment transport under tidal action. *Geo Marine Letters, 1991, Springer Verlag, New York Inc.*
- Looff A.P. de**, Mondingsgebied van de Westerschelde Getijstromingen, golfklimaatgegevens, bodemligging en morfologische processen. *RWS DGW nota GWWS 86.404*

Louisse C.J., Akkerman R.J. en Suylen J.M., A fluorescent tracer for cohesive sediments. *International Conference on Measuring Techniques of Hydraulics Phenomena in offshore, Coastal & Inland Waters, London, England:9- 11 April, 1986, Paper J2*

Male C.v.d., Berekening van reststromen op de Westerschelde m.b.v. het E- WESTII waqua model. *RWS DGW notitie GWWS 91.13096*

Male C.v.d., Ddh-Waterbewegingsmodel DETWES. *RWS DGW Werkdocument GWWS- 93.868x*

Male C.v.d., Euleriaanse resttransporten gedurende een doortij-springtijcyclus in de Westerschelde ter hoogte van Vlissingen. *RWS RIKZ Werkdocument in voorbereiding 1994.*

Maldegem D.C. van [1993.1], ^{12}C ^{13}C waarden in Franse- en Belgische Noordzeehavens. *RWS DGW Werkdocument GWA0 93876X*

Maldegem D.C. van [1993.2], De slibbalans van het Schelde- estuarium. *RWS DGW nota GWA0 91.081, uitgegeven in 1993.*

Malherbe, B. 1991, A case study of the dumping of dredged material in open areas. *Terra and Aqau 45: 5- 32*

McLaren, Patrick, Patterns of sedimenttransport in the Western portion of the Westerschelde. *RWS Tidal Water Division, GeoSea Consulting (UK) Ltd. Cambridge, 1993*

Meetdienst Zeeland, Stroom en sedimentmetingen in debietraai 10, 12 en 13. *Diverse notities en bewerkingen van anderen, Rijkswaterstaat Directie Zeeland*

Storm C., D.v.Maldegem, H.d.Hollander, J.Kokke, LANDSAT atlas Schelde-estuarium. *RWS RIKZ OS- 95.802x / MD- GAT94.11*

Svasek, Ingenieursbureau, Slibverspreidingsonderzoek stortplaats ten behoeve van de verdieping mondings gebied Westerschelde. *Projekt 690, juni 1986*

Mignot C., Tassement et rhéologie des vases, première partie. *La Houille Blanche/N 1- 1989.*

Nihoul J.C.J., Elskens I., Projekt Zee, boekdeel 6: inventaris van de pollutanten. Nationaal onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma Leefmilieu Water. *Dienst van de Eerste Minister, België*

Nihoul J.C.J., Boelen C., Projekt Zee, boekdeel 11: Verontreiniging van het Belgisch waterwegennet en de kustzone. Nationaal onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma Leefmilieu Water. *Dienst van de Eerste Minister, België*

Ovaa B.P.S.A., Naar een samenhangend beheer van het rivierensysteem van de Schelde in het perspectief van duurzame ontwikkeling. *Landbouwuniversiteit Wageningen, december 1991.*

Putter B. de, Wolf P. de, Malherbe B., Aquatic disposal of dredged material in the Belgian part of the North Sea. *Coastlines of the Southern North Sea 1993, pag. 288 - 297.*

- Roelse P. en J.W.Maranus**, Prognose ontwikkeling Zeeland 1990- 2090. Beschrijving methode en resultaten, Fase 2. *RWS, DGW Nota GWWS-88.409*.
- Selp P.A., Brand R.**, Inventarisatie van macrozoobenthos in de voordelta. Dichtheden voor de najaarstocht van 1984 en de voorjaerstocht van 1985. *NIOZ- rapport 1987- 1*
- Stronkhorst J.**, Milieueffecten van de verdieping 48'/43' Wielingen-Vlissingen. *DGW nota 403, april 1986*
- Stronkhorst, Hurk P.v.d., Smaal A.**, Toxiciteit van sedimenten in het Nederlandse kustwater; eerste resultaten van bioassays met oesterlarven en amphipoden. *H₂O 1993 (in concept)*.
- Sydow J.S., Duijts H.**, Microverontreinigingen in het Noordzeesediment. Beschrijving bodemsituatie 1987, vergelijk 1981 vs 1987. *RWS, Directie Noordzee en DGW, nota NZ_N_92.03, augustus 1992*.
- Technische Scheidecommissie, subcommissie Westerscheide, projekt morfologie**, Morfologisch onderzoek verdieping mondingsgebied. Wielingen Vlissingen 48' /43'. *ROO4p193, 1986*
- Technische Scheldecmissie, subcommissie kanaal van Terneuzen naar Gent**, Oriënterende studie nieuwe zeesluis Terneuzen. *Eindrapport werkgroep TGWH, 1987*
- Uit den Bogaard L.**, Relatie zandbalans Westerscheide met de morfologie van de eb-getijdedelta kust. *RUU Rapport GEOPRO 1991.021*.
- Vereeke S.**, Geactualiseerde slibbalans Schelde-estuarium. *RWS, Dir. Zeeland, Nota AX94.065*
- Vincx M. & Herman R.**, The influence of the Western Scheldt on the Meiobenthos of the Belgian coastal area. *Progress in Belgian Oceanographic research, 1989; Proceedings of the North Sea Symposium, 1989*
- Vincx M., Meire P., Help C.**, The distribution of Nematodes communities in the Southern Bight of the North Sea. *Cah.Biol.Mar.(1990), 31 : 107-129 Roscoff*
- Waterbodems**, Basisrapport derde Nota Waterhuishouding, *Ministerie van Verkeer en Waterstaat, april 1990*.
- Weide, M.J. v.d.**, De zware metalen gehalten van de bodem aan de westzijde van de Vlake van de Raan en die van de bodem van de toekomstige baggerspecie dumpingsplaats. "De Spleet" in september en oktober 1985; *DGW notitie GWAO-86.501*.
- WL Delft**, Procesbeschrijvende modellering van de waterkwaliteit van de Zuidnederlandse Noordzeekust. *Onderzoeksverslag R2176/T115, juni 1986*.
- WL Delft**, Trendanalyse van zwevend stof gegevens van de Waddenzee over de periode 1973-1990. *April 1991*.

Wollast & Marijns, 1981, Evaluation des contributions des différentes sources de matière en suspension à l'envasement de L'Escaut. *Rapport final au Ministère de la Santé Publique.*

Zwolsman, J.G., Geochemistry of suspended matter in The Scheldt Estuary. *Department of Geochemistry, Institute of Earth Science, University of Utrecht, The Netherlands. Submitted to Geochimica et Cosmochimica, April 1991.*

Colofon

Auteurs:

Dirk van Maldegem, Jacques Vroon

Vervaardiging GIS-kaarten:

Leo Uit den Bogaard

Vormgeving:

Thea Westerveld

Illustraties:

Jo de Brabander, Thea Westerveld

Rijksinstituut voor Kust en Zee

Postbus 8039

4330 EA Middelburg

Tel. 01180-72200