

22

GEDRAG VAN PARTICULAIR MATERIAAL IN HET SCHELDE-ESTUARIUM

76499

Uittreksel uit het ontwerp eindrapport
hoofdstuk 1 t.e.m. 8

Studie uitgevoerd voor rekening van de Beheerseenheid van het
Mathematisch Model van de Noordzee en van het Schelde-
estuarium (Ministerie van Volksgezondheid en Leefmilieu),
ref. BH/90/35

MARINE & DREDGING CONSULTANTS

40 Antwerpen - België

Fax: +32(0)335.87.11 Telex: 71849 MDC



G

6922

23-6-92

INHOUD

1. Inleiding
2. Methodiek
3. Algemene kenmerken Schelde-stroomgebied
 - 3.1. Gebiedsaafbakening
 - 3.2. Debietsvariaties
4. Bronnen van particulier materiaal
 - 4.1. Terrestrische aanvoer
 - 4.1.1. Rechtstreekse benadering
 - 4.1.2. Onrechtstreekse benadering
 - 4.1.2.1. Bronnen
 - 4.1.2.1.1. Huishoudelijk afvalwater
 - 4.1.2.1.2. Industrieel afvalwater
 - 4.1.2.1.3. Agrarisch afvalwater
 - 4.1.2.1.4. Erosie
 - 4.1.2.1.5. Neerslag
 - 4.1.2.2. Sedimentprocessen en bagger-activiteiten in het waterlopenstelsel (buiten de tijzone)
 - 4.1.2.2.1. Inschatting op basis van omrekeningsformules
 - 4.1.2.2.2. Inschatting op basis van bagger- en ruimingsgegevens
 - 4.1.3. Schatting terrestrische aanvoer
 - 4.2. Mariene aanvoer

- 4.3. Atmosferische aanvoer
- 5. Baggeractiviteiten in het estuarium
- 6. Onderwaterbodem in het Schelde-estuarium
 - 6.1. Definiëring slibstock
 - 6.2. Kwantitatieve inschatting
 - 6.3. Samenstellingskarakteristieken
 - 6.4. Erosie- en afzettingskarakteristieken
- 7. Sedimenttransportmetingen in het Schelde-estuarium
- 8. Eerste benadering slibbalans
- 9. Keuze en ontwikkeling van modelvergelijkingen
- 10. Besluiten en aanbevelingen
- 11. Referenties
- 12. Bijlagen

1. INLEIDING

Dit eindrapport komt tegemoet aan de bepalingen van het kontrakt tussen de Belgische Staat, vertegenwoordigd door Mevrouw Miet Smet, Staatssekretaris voor Leefmilieu, waarvan de Beheerseenheid van het Mathematisch Model van de Noordzee en van het Schelde-estuarium (BMM) afhangt, enerzijds, en International Marine and Dredging Consultants nv (IMDC), anderzijds.

De opdracht nam een aanvang op 7 december 1990 en liep tot 15 november 1991.

De studie maakt deel uit van het BMM-project "Comprehensive Study on Riverine Inputs", de Belgische bijdrage in het werk van de Parijs Commissie, Annex 12.

De hoofddoelstelling van dit project is het zo akkuraat mogelijk schatten van de vrachten - op jaarbasis - van een aantal geselecteerde polluenten door de rivieren aangevoerd naar de wateren waarop het Verdrag van Parijs van toepassing is, i.c. het Westerschelde-estuarium.

Hiertoe werd een programma van geïntegreerde informatie-verwerking en modelontwikkeling opgezet met verschillende wetenschappelijke instellingen (V.U.B., U.I.A., U.Lg, U.L.B., I.M.D.C.).

Het studiegebied is het Schelde-estuarium:

- landinwaarts tot aan de sekties op de grote bijrivieren relevant voor de polluttransportberekening;
- de zeewaartse grens van het studiegebied is gelegen ter hoogte van Vlissingen.

De volgende parameters worden in de studie bestudeerd:

- saliniteit en gesuspendeerd materiaal
- zware metalen (Hg, Cd, Cu, Zn, Pb)
- organische polluenten (PCB's, HCHγ)
- nutriënten (NO₃-N, totaal-N, O-PO₄, totaal-P)

De vrachtberekeningen dienden - in de mate van het mogelijke - uitgevoerd te worden voor 1990 (en de volgende jaren) en voor 1985.

Waar mogelijk dienen de bekomen resultaten vergezeld te worden van schattingen van hun precisie, betrouwbaarheid en gevoeligheid t.a.v. sterk wisselende invoergegevens en omstandigheden.

De methodologieën moesten dusdanig geconcipieerd worden dat zij toelaten ook vrachtberekeningen uit te voeren voor andere stoffen die behoren tot dezelfde categorieën, met name zware metalen, organische stoffen en nutriënten.

I.M.D.C. nv stond in voor het deelaspect "particulair materiaal". De opdracht bestond - verkort weergegeven - uit volgende onderdelen:

1. Inventarisatie, actualisatie, interpretatie en synthese van beschikbare gegevens, met name:
 - bronnen van gesuspendeerd materiaal aangevoerd via de verschillende deelbekkens van het Scheldebekken en rechtstreeks ingebracht in de Zeeschelde;
 - sedimenttransportmetingen;
 - samenstellingskarakteristieken van de vaste fase (macroconstituenten);
 - geotechnische karakteristieken (i.v.m. erosie en sedimentatie);
 - modelberekeningen in de Schelde of in deelgebieden ervan;
 - bagger- en stortvolumes van baggerspecie.
2. Integratie van deze informatie in een kwalitatieve sedimentbalans van de bestudeerde jaren, met nadruk op de pollutendragende fijne fraktie.
3. Keuze en verdere ontwikkeling van modelvergelijkingen die het gedrag van particulier materiaal o.i.v. hydrodynamische en transportomstandigheden beschrijven; wijze van voorstellen van de sedimentbodem.
4. Assistentie bij de implementatie en calibratie van het model dat het gedrag van particulier materiaal beschrijft door middel van de resultaten van sedimenttransportmetingen; validatie van het op jaarbasis geïntegreerde sedimenttransport.

De volledige opdrachtschrijving is vermeld in bijlage 1.

In dit eindrapport wordt een synthese gegeven van de bekomen onderzoeksresultaten. Deze zijn voornamelijk gebaseerd op literatuuronderzoek en op de inbreng van eigen expertise.

Gezien het grote gebrek aan gericht onderzoek in dit domein, zeker wat betreft het sedimenttransport op Frans en Belgisch grondgebied, moet rekening gehouden worden met een grote spreiding op de resultaten. Dit had ook te maken met de beperkte tijd, beschikbaar voor het uitvoeren van test-simulaties. Dit rapport eindigt dan ook met een reeks van aanbevelingen voor bijkomend onderzoek.

2. METHODIEK

Kennis van de fluxen van particulier materiaal in het Schelde-estuarium is van essentieel belang voor het inschatten van de vrachten van pollutanten.

Zoals bekend speelt vooral het gedrag van de fijne slibfractie (in eerste instantie gedefinieerd als de fraktie kleiner dan $63 \mu\text{m}$) een belangrijke rol in het verspreidingsproces van verontreinigende stoffen.

In het kader van de vooropgezette modelontwikkeling dienen met name volgende gegevens over het particulier (niet opgelost) materiaal ter beschikking te worden gesteld:

- sedimenthoeveelheden in het estuarium, die onderhevig zijn aan diverse processen (erosie, sedimentatie,...) en die voor de beschrijving van het gedrag van pollutanten van belang zijn;
- de hoeveelheden particulier materiaal rechtstreeks afgevoerd naar het Schelde-estuarium (Zeeschelde + Westerschelde) en aangevoerd via de Bovenschelde en de verschillende zijrivieren;
- de hoeveelheden particulier materiaal die via baggerwerken uit het estuarium worden verwijderd;
- de processen die de verplaatsing/verdwijning van particulier materiaal in het estuarium bepalen.

Particulair materiaal dat in het estuarium wordt gebracht (input) kan van stroomopwaartse, terrestrische, oorsprong zijn, van stroomafwaartse, mariene oorsprong of rechtstreeks aangevoerd worden via neerslag.

Afvoer van particulier materiaal uit het estuarium kan op natuurlijke wijze (via de stroming, via afbraakprocessen) of op kunstmatige wijze (via baggerwerken) geschieden.

Om deze diverse "balansposten" op een coherente wijze in rekening te kunnen brengen werd geopteerd voor de volgende benadering:

- In de eerste instantie wordt een schatting gemaakt van de inputvrachten met een terrestrische, mariene en atmos-

ferische oorsprong.

Bij de vrachtbepaling wordt rekening gehouden met de gehanteerde modelschematisatie (zie verder), waarbij Rupelmonde en Vlissingen als grenzen beschouwd worden.

- In tweede instantie wordt een schatting gemaakt van de slibvrachten die via baggerwerken verwijderd worden uit het estuarium.
- In derde instantie wordt de zgn. sedimentstock in het estuarium ingeschat, met een nadruk op het relevante deel ervan (slibmateriaal) en met een beschrijving van relevante eigenschappen t.a.v. de voorliggende vraagstelling. De processen worden beschreven waaraan particulier materiaal in het estuarium onderhevig is en het belang ervan wordt ingeschat.
- Resultaten van sedimenttransportmetingen in het estuarium worden gehanteerd als referentiebasis bij het tot stand komen van een eerste slibbalans en bij de keuze en ontwikkeling van modelvergelijkingen, die hierop volgt.

3. ALGEMENE KENMERKEN SCHELDE-STROOMGEBIED

3.1. Gebiedsafbakening

Het stroomgebied van de Schelde kan worden verdeeld in twee grote verschillende delen:

- een gedeelte dat niet onderhevig is aan getijdewerking: de Boven-Schelde tot Gent en het belangrijkste deel van de zijrivieren
- een gedeelte dat wel onderhevig is aan getijdewerking: de Zeeschelde (van Gent tot de Belgisch-Nederlandse grens), de Westerschelde (van de Belgisch-Nederlandse grens tot Vlissingen) en een beperkt deel van enkele zijrivieren (Durme, Rupel, Zenne, Dijle, Beneden-Nete, Grote Nete, Kleine Nete). Het geheel van deze rivierdelen wordt in deze studie gedefinieerd als het Schelde-estuarium en maakt het voorwerp uit van modellering (Figuur 3.1.).

Een aantal topografische en hydrologische parameters van het stroomgebied van de Schelde tot Rupelmonde en van de zijrivieren die hierop aansluiten werden bepaald in het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout (2).

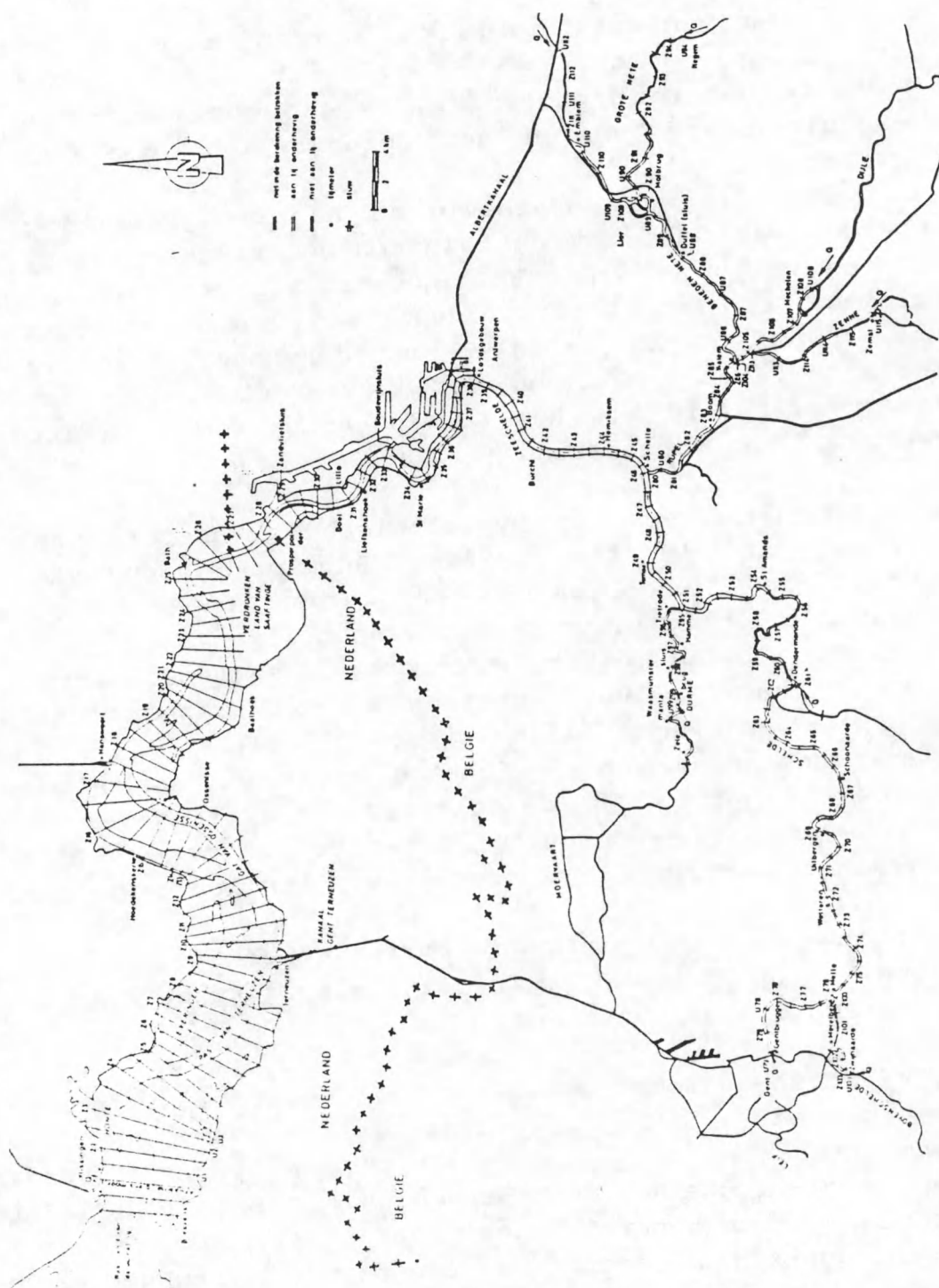
Voor de begrenzing van het stroomgebied stroomafwaarts van Rupelmonde kan worden gesteund op rapporten van Rijkswaterstaat - Dienst Getijdewateren (3) (4).

Het afwateringsgebied van de Schelde omvat een gedeelte van Noord-Frankrijk (Nord - Pas de Calais), een groot gedeelte van Vlaanderen, Brussel en omgeving, beperkte delen van Wallonië en een gedeelte van de Nederlandse provincies Noord-Brabant en Zeeland.

De begrenzing van de deelbekkens zoals vermeld in (2) en (3) is weergegeven op Figuur 3.2. In realiteit wijkt de begrenzing hier op verschillende punten van af :

- Leiebekken: in de zomer wordt het Leiedebiet bijna integraal afgevoerd via het afleidingskanaal van de Leie (Schipdonkkanaal) en via de Gentse ringvaart (voeding kanalen Gent-Brugge en Gent-Terneuzen); zelfs in de winter wordt slechts een beperkt gedeelte afgevoerd naar de Schelde. Het Schipdonkkanaal heeft een eigen afwateringsgebied van 153 km².

Figuur 3.1. Schelde-estuarium.
Bron: (1)



Figuur 3.2. Afbakening Schelde-stroomgebied



- Durmebekken: de Durme is in Lokeren, ter hoogte van het waterzuiveringsstation, afgesloten door een dwarsdam. Het stroomopwaartse gedeelte wordt afgevoerd via de Moervaart naar het kanaal Gent-Terneuzen, behalve het afwateringsgebied van de stad zelf en van de Ledebeek die naar de Beneden-Zeeschelde afwateren.
Hierdoor werd het afwateringsgebied van de Durme (richting Beneden-Zeeschelde) verkleind van 342 km² tot ca. 100 km².
- Zoommeer: sedert medio 1988 wordt via de Bathse spuisluis overtollig water uit het Zoommeer aangevoerd naar de Schelde (ca. 14 m³/s). Voor de peil- en chloridebeheersing wordt bovendien water afgevoerd via de Schelde-Rijnverbinding en de Zandvlietsluizen (ca. 6 m³/s). Het Zoommeer (oppervlakte: 83 km²) wordt gevoed met water vanuit de Rijn en de Maas (inlaat bij Volkeraksluizen) en een aantal kleinere rivieren in het westelijk deel van de Nederlandse provincie Noord-Brabant (stroomgebied ca. 1500 km²) (5).
- Walcheren en Meetjesland: het gedeelte van Walcheren dat afwatert naar de Schelde is verschillend aangegeven in de rapporten van van Maldegem (2) en van Holland (3). Voorlopig is uitgegaan van de eerste bron (bijkomende gegevens zijn aangevraagd). In dezelfde rapporten werd het afwateringsgebied van het kanaal Gent-Terneuzen verkeerd aangegeven. Met name een belangrijk gedeelte van het Meetjesland (streek rond Eeklo) watert af via het Leopoldskanaal naar de kust toe en maakt bijgevolg geen deel meer uit van het Scheldebekken.

De (gecorrigeerde) omvang van de verschillende deelbekkens is vermeld in Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Omvang subhydrografische bekkens van de Schelde
(in km²)

Leie		3873
Schelde (tot Gent)	6097	
Schelde (Gent tot Rupelmonde)	450	
Dender	1374	
Durme	100	
Subtotaal: Scheldebekken opwaarts Rupelmonde		11894
Zenne	1169	
Dijle (incl. Demer)	3577	
Grote Nete	736	
Kleine Nete	813	
Beneden-Nete	130	
Zijbekken Rupel	267	
Subtotaal Rupelbekken		6592
Schelde (Rupelmonde tot grens)	ca.	900
Schelde (grens tot Vlissingen)	ca.	2800
Algemeen totaal		ca. 26159

3.2. Debietsvariaties

De afvoer in het Scheldebekken wordt bepaald door de regenval, het gedraineerde oppervlak en de mate van afstroming en kan sterk variëren van seizoen tot seizoen en van jaar tot jaar; minimumdebieten treden op in de zomer en de herfst, maximumdebieten in de winter en het voorjaar.

In Tabel 3.2 zijn de jaargemiddelde debieten sinds 1981 weergegeven voor de Schelde te Schelle (afwaarts van de Rupelmonding). Dit jaargemiddelde schommelde tussen 80 en 168 m³/s (6). Op basis van dekadegemiddelden zijn de variaties nog veel groter, nl. tussen 35 en 435 m³/s.

Tabel 3.2. Jaargemiddeld debiet van de Schelde te Schelle
(in m³/s)

Bron: (6)

1981	143
1982	111
1983	107
1984	132
1985	108
1986	114
1987	150
1988	168
1989	101
1990	80

De aanvoer vanuit de diverse deelbekkens is voor de jaren 1985, 1988, 1989 en 1990 weergegeven in Tabel 3.3. Hieruit blijkt hoe belangrijk de debietsschommelingen wel zijn in elk subbekken en tussen subbekkens onderling.

Tabel 3.3. Aanvoer van diverse subbekkens in het Schelde-
stroomgebied (in m³/s)
Bron: (6)

	1985	1988	1989	1990
Schelde, afwaarts Gent	29,6	62,3	31,0	22,0
Dender	9,5	15,6	7,7	5,1
Durme + zijbekken Schelde	7,6	9,9	6,9	5,8
Schelde, opwaarts Rupel	47	88	46	32,9
Zenne-monding	10,5	14,3	10,4	9,6
Dijle-monding	28,0	37,0	27,7	21,7
Kleine Nete	10,6	13,3	7,9	7,5
Grote Nete	8,4	10,7	6,0	5,0
Beneden-Nete + Rupel	3,8	4,9	3,5	3,0
Rupel-monding	61	80	56	46,8
Schelde in Schelle	108	168	101	79,7

In Tabel 3.4 is de mate van afstroming vermeld per deelbekken, berekend op basis van het langjarig gemiddeld debiet en de

oppervlakte van de stroombekkens (7). Gemiddeld over het gehele stroomgebied wordt ca. 20 % van de regenval afgevoerd; in het bovenstroomse gebied van de Schelde en de Leie wordt ca. 15 % afgevoerd, in het benedenstroomse gebied ca. 30 %.

Tabel 3.4 Mate van afstroming in de diverse subbekkens van het Schelde-stroomgebied (m/jaar)

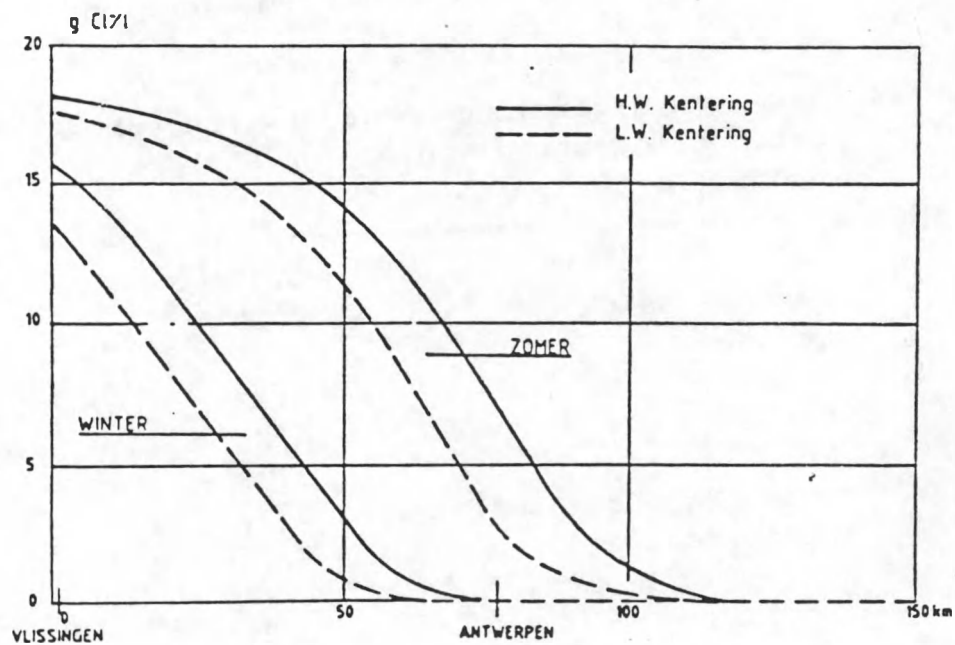
Bron: (7)

Leie	0,12
Boven-Schelde	0,12
Dender	0,26
Zenne	0,32
Dijle	0,23
Nete	0,38
Rupel/Beneden-Schelde	0,34
Westerschelde	0,30
Totaal	0,21

Ook in de getijbeweging treden grote variaties op; de grootte van het verticale getij en de op deze wijze getransporteerde waterhoeveelheden variëren sterk in de longitudinale richting van het stroomgebied. Kenmerkend voor het Schelde-estuarium is de goede verticale menging. Dit houdt verband met de verhouding tussen het vloedvolume en het zoetwaterdebiet, die vrij hoog ligt (tussen 10 en 150 op het traject Doel-Vlissingen). In de winter kan er in bepaalde gevallen (bij hoge zoetwataeraanvoer) en stroomopwaarts van Bath wel sprake zijn van een verticale inhomogeniteit. Deze verticale saliniteitsgradiënt is het grootst bij de Belgisch-Nederlandse grens (bij eb worden verschillen in het chloridegehalte vastgesteld tot 2 g/l) maar heeft geen wezenlijke invloed op de waterbeweging in de Schelde (wel op de stroming in de toegangsgeulen). Door menging van zoet en zout water ontstaat een oost-west chloridegradiënt, waarvan de ligging en vorm continu in beweging is, vnl. als gevolg van de getijdynamiek en de wijzigende zoetwataeraanvoer.

Figuur 3.3 laat het verloop van het chloridegehalte zien in functie van de afstand tot Vlissingen en van diverse zoetwaterdebieten.

Figuur 3.3. Chloridegehalte in het Schelde-estuarium
Bron: (8)



4. BRONNEN VAN PARTICULAIR MATERIAAL

4.1. Terrestrische aanvoer

4.1.2. Rechtstreekse benadering

In het kader van het SAWES-project (4) werden in de periode 1980-1988 maandgemiddelde vrachten bepaald van negentien stoffen, waaronder zwevende stoffen, die de Westerschelde en de Zeeschelde belasten.

Volgende bronnen van zwevende stof werden in aanmerking genomen: polders, kanalen, bedrijven, huishoudens, neerslag.

Op de Westerschelde wordt het water geloosd van 21 polders, 4 kanalen, 16 bedrijven en 13 persleidingen met (on)gezuiverd huishoudelijk afvalwater (soms met industrieel afvalwater erbij). De vrachten werden in hoofdzaak op rechtstreekse wijze bepaald door debiets- en concentratiemetingen. Een beperkt aantal emissies werd bepaald op basis van gerelateerde metingen en schattingen. Dit is met name het geval voor het zwevend stofgehalte van polderwater en ongezuiverd huishoudelijk afvalwater. Door de huishoudelijke afvalwaterzuivering van de laatste jaren is het aandeel van ongezuiverde lozingen echter vrijwel tot nul herleid, zodat eventuele schattingsfouten enkel te verwachten zijn voor de eerste helft van de tachtiger jaren.

Voor het inschatten van de zwevende stofvrachten op Belgisch grondgebied (Rupelmonde tot grens) werd gesteund op:

- het project "Monitoring Schelde" (9), waarin schattingen van industriële vuilvrachten zijn opgenomen;
- een lijst van industriële lozingsvergunningen, aanwezig bij de Zeeuwse Milieufederatie;
- het Algemeen Waterzuiveringsprogramma voor het Vlaams Gewest (gegevens over bruto-vuilvrachten, van huishoudelijke en industriële oorsprong, geloosd op riolering);
- immissiegegevens van het Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie en de Baalhoekcommissie (10).

Voor een aantal zaken is de situatie in september 1983 representatief gesteld voor de periode 1980-1988.

De aldus bepaalde aantallen I.E. werden vertaald naar feitelijke vuilvrachten op basis van de influent- en effluentsamenstelling van Nederlandse RWZI's (Bath en Breskens), van specifieke Nederlandse emissiefactoren, van afwaterende oppervlakten per segment (zie verder), van de maandgemiddelde concentraties van het polderwater van enkele Nederlandse polders (gemiddelde van 5 bemonsteringspunten) en van gemiddelde concentraties van zwevend stof in neerslagwater.

In tegenstelling tot de Nederlandse emissies zijn de emissiebepalingen voor het Belgische deel dus in hoofdzaak gebaseerd op schattingen.

Voor het bepalen van de randvoorwaarden in Vlissingen is weer gesteund op metingen; in Rupelmonde werd uitgegaan van immisiemetingen van het Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie en het Antwerps Provinciaal Instituut voor Hygiëne en van de tiendaagse debietgegevens van de Antwerpse Zeehavendienst.

Voor de verdeling van de inputvrachten over het estuarium werd uitgegaan van een segmentering van het estuarium in 14 segmenten (5 op Belgisch en 9 op Nederlands grondgebied).

De in SAWES gehanteerde segmentering is weergegeven in Figuur 4.1. Figuur 4.2. geeft de situering weer van de geïnventariseerde puntlozingen op Nederlands grondgebied.

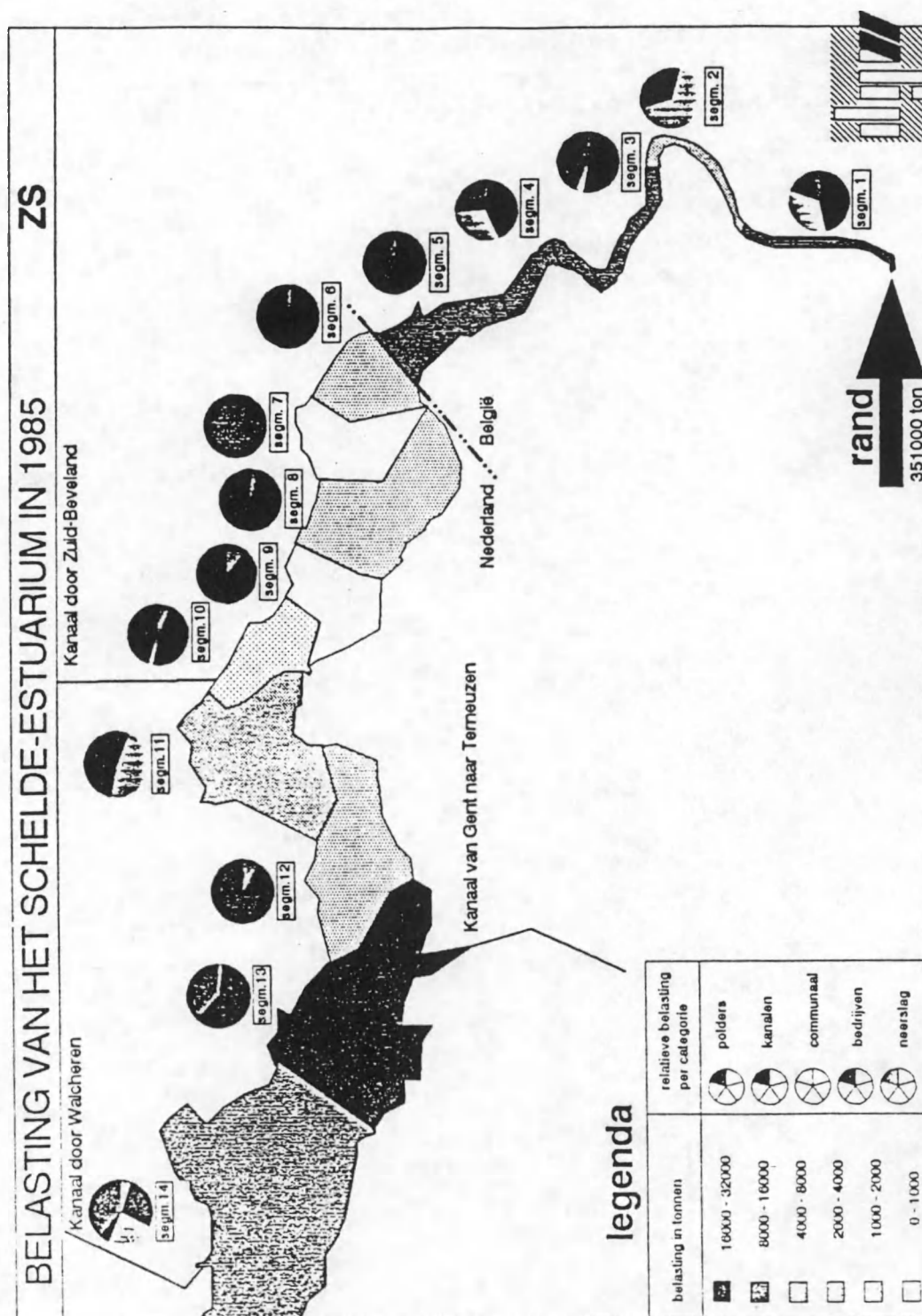
Tabellen 4.1. en 4.2. geven een overzicht van de onderzoeksresultaten voor 1985 en 1988.

Tabel 4.1. Zwevende stofvrachten in het Schelde-estuarium
in 1985. Bron: (4) (11)
po = polders; ka = kanalen; hu = huishoudens
be = bedrijven; ne = neerslag

Belasting rand segment 1 (1000 ton)						351
Segment	Aandeel van de categorieën in %					zijdelingse jaarlast in 1000 ton
	po	ka	hu	be	ne	
1	20	-	34	46	<1	11
2	30	-	66	3	1	5
3	44	-	4	51	1	8
4	26	-	31	43	<1	14
5	44	-	<1	55	1	8
Som België						46
6	98	-	-	-	2	3
7	-	-	-	-	100	<1
8	96	-	-	-	4	2
9	89	-	-	-	11	1
10	26	18	3	46	7	1
11	47	-	47	-	6	4
12	92	-	-	-	8	3
13	38	44*	-	16	2	10 8*
14	38	6	24	27	5	9
* Kanaal Gent-Terneuzen						8*
Som Nederland						33

Figuur 4.1. Modelschematisatie en belasting van het Schelde-estuarium met zwevende stoffen in 1985

Bron: (4)



Tabel 4.2. Zwevende stofvrachten in het Schelde-estuarium
in 1988. Bron: (4) (11)
po = polders; ka = kanalen; hu = huishoudens
be = bedrijven; ne = neerslag

Belasting rand segment 1 (1000 ton)						552
Segment	Aandeel van de categorieën in %					zijdelingse jaarlast in 1000 ton
	po	ka	hu	be	ne	
1	21	-	32	45	<1	12
2	34	-	62	3	1	5
3	48	-	4	47	1	9
4	30	-	29	41	<1	15
5	48	-	<1	50	1	9
Som België						49
6	39	61	-	-	-	10
7	-	-	-	-	100	<1
8	82	-	-	-	18	1
9	91	-	-	-	9	1
10	21	7	2	65	4	3
11	61	-	33	<1	5	6
12	92	-	-	-	8	4
13	51	32*	-	15	2	10 8*
14	45	6	1	43	6	1 0
* Kanaal Gent-Terneuzen						8*
Som Nederland						52

Zoals aangegeven is de situatie sinds 1985 enigszins gewijzigd.

De lozingen van water uit het Zoommeer hebben een extra-belasting met zich gebracht van ca. 16000 ton/jaar (3), waarvan 70 % op Nederlands en 30 % op Belgisch grondgebied.

Ook de sinds 1985 uitgevoerde saneringsplanning voor de lozing van zuurstofbindende stoffen op het Nederlandse deel van de Westerschelde (zie Tabel 4.3.) is weerspiegeld in de verschillen tussen Tabel 4.1. en Tabel 4.2.. Belgische

evoluties in dit verband werden niet in rekening gebracht (gelijke huishoudelijke en industriële emissiegegevens voor 1985 en 1988).

Tabel 4.3. Saneringsplanning voor de lozing van zuurstofbindende stoffen op het Nederlandse deel van de Westerschelde. Bron: (12)

Jaar	Omschrijving	Hoeveelheid 10 ³ i.e.
1980	Ongezuiverd gemeentelijk afvalwater	785
	Gezuiverd gemeentelijk afvalwater	2
	Rechtstreekse industriële lozingen	147
1985	Ongezuiverd gemeentelijk afvalwater	325
	Gezuiverd gemeentelijk afvalwater	25
	Rechtstreekse industriële lozingen	145
1990	Ongezuiverd gemeentelijk afvalwater	0
	Gezuiverd gemeentelijk afvalwater	41
	Rechtstreekse industriële lozingen	57

Opmerkelijk bij de berekende emissiebalansen is het grote aandeel van de input te Rupelmonde: 84,5 % van de totale aanvoer in 1988. Bij de zijdelingse aanvoer afwaarts Rupelmonde is de emissie ongeveer gelijk verdeeld over Belgische en Nederlandse emissiepunten en nemen polderwaters het grootste aandeel voor hun rekening (26 % in Nederland, 17 % in België; samen 43 % van de totale zijdelingse aanvoer in 1988). Belgische bedrijven zorgen voor bijna 20 % van de zijdelingse emissies en gaan hiermee in belang de Nederlandse kanalen, de Belgische huishoudens en de Nederlandse bedrijven vooraf (resp. 12,4 ; 11,3 en 8,9 %).

Nederlandse huishoudens en neerslag leveren maar een marginale bijdrage.

Ten behoeve van de vooropgezette modelisatie kunnen de Nederlandse emissiegegevens, tenminste wat betreft de terrestrische en atmosferische aanvoer, als dusdanig overgenomen worden; zeer recente wijzigingen kunnen geïnventariseerd worden bij Rijkswaterstaat.

De Belgische gegevens kunnen worden geactualiseerd op basis van meer preciese en meer recente informatie over het Algemeen Waterzuiveringsprogramma, de lozingsvergunningen en het emissiemeetnet.

Deze actualisatie zal noodzakelijk beperkt zijn tot de huishoudelijke en industriële lozingscategoriën, aangezien enkel deze emissiebronnen geregeld bemonsterd worden.

Stroomopwaarts van Rupelmonde werd vrijwel geen recent en globaal onderzoek uitgevoerd naar de terrestrische aanvoer van particulier materiaal. In het kader van het project "Monitoring Schelde" (9) werd een éénmalige bemonstering uitgevoerd van het zwevend stofgehalte aan de monding van de Rupel, de Durme en de Dender. Wollast en Marijns (13) onderzochten in 1981 uurlijkse stalen genomen aan de randen van de tijzone in de Zenne, de Dijle (Keerbergen) en de Nete (frekwentie: 4x/jaar).

De resultaten van beide onderzoeken zijn weergegeven in Tabel 4.4. Er worden grote verschillen vastgesteld, zowel in concentratie als in samenstelling. Op basis hiervan is het niet mogelijk betrouwbare vrachtschattingen te maken.

Tabel 4.4. Concentraties (in mg/l) en samenstelling zwevend stof aan de monding van drie Scheldezijrivieren

Wollast en Marijns (1981) (13)

	Zwevend stof gehalte (mg/l)			
	mei 80	sept. 80	dec. 80	maart 81
Zenne (Eppegem)	159	58,8	142	387
Nete (Duffel)	105	246	249	412
Dijle (Keerbergen)	118	40	576	612

Rietman (1990) (9)

	Zwevende stof (mg/l)	Droogrest (%)	Gloeirest (%)	Org. stof (% D.S.)	Gewicht na voorbehandeling (g)	Korrelgrootte		
						0-2 μ m %	0-16 μ m %	0-63 μ m %
Dender	3	16,5	4,5	72,7	1,97	36,3	48,2	48,4
Durme	31	31	22	29,0	6,96	26,2	77,1	90,1
Rupel	85	34	23,5	30,9	4,68	28,4	64,8	68,7

De emissiemetingen van de Vlaamse Milieumaatschappij leverden voor 1990 volgende resultaten op voor de zijdelingse aanvoer afwaarts Rupelmonde (14):

- industriële bronnen: 326.345 Ton S.S. (aantal: 75)
- R.W.Z.I.'s: 1.124 Ton S.S. (aantal: 8)
- Totaal: 327.461 Ton S.S.

Bij de industriële bronnen neemt 1 bedrijf (B.A.S.F.) een overweldigende positie in met 324.258 Ton S.S. in 1990. Het betreft gispafval, geloosd nabij de Nederlandse grens. In functie van de modelisatie van zwevend stof is het aangewezen dat een duidelijke karakterisatie van dit bijzonder type afvalwater plaatsvindt.

Zonder BASF-gips is de verdeling als volgt:

- industriële bronnen: 2.087 Ton S.S. (65 %)
- R.W.Z.I.'s: 1.124 Ton S.S. (35%)
- Totaal: 3.211 Ton S.S.

Hierbij dient opgemerkt dat enkel rechtstreekse industriële emissies op oppervlaktewateren van enige omvang (groter dan 500 I.E.) en de rioolwaterzuiveringsinstallaties in de metingen betrokken zijn.

Dit verklaart zonder twijfel de grote verschillen met de SAWES-inventarisatie, waarin ook (on)gezuiverde rioollozingen zijn opgenomen. Voor de zijdelingse aanvoer op Belgisch grondgebied afwaarts Rupelmonde (1988) kwam men bij SAWES uit op volgende totalen:

- industriële bronnen: 20.030 Ton S.S.
- huishoudelijke bronnen: 11.472 Ton S.S.
- Totaal: 31.502 Ton S.S.

Het totaal van Belgische directe industriële lozingen bedraagt in het SAWES-model 8.919 Ton S.S. (zonder BASF-gips: 7.189 Ton S.S.). Dit totaal stemt helemaal niet overeen met de door VMM in 1990 gemeten waarden van grote industriële die rechtstreeks op de Zeeschelde lozen: in totaal 980,6 Ton S.S. (excl. BASF-gips).

Hiermee is aangegeven dat een uitbreiding van emissiemetingen in functie van de modelisatie aangewezen is.

Bovendien lijkt het nuttig om ook via een onrechtstreekse benadering tot emissieschattingen te komen. Deze benadering (verder uitgewerkt onder punt 4.1.2.) zit er als volgt uit:

- kwantificering van de terrestrische bronnen van particulier materiaal;
- inschatting van sedimentatie en afbraak in het waterlopenstelsel;
- kwantificering van de sedimenthoeveelheden die via baggerwerken worden verwijderd.

Zeker voor het bepalen van de input te Rupelmonde betekent deze benadering een nuttige aanvulling op de immissiemetingen die nu als basis dienen voor de inputberekening. Deze metingen geven geen uitsluitsel over de herkomst van het aangevoerde zwevende stofmateriaal en de resultaten ervan vertonen een grote spreiding, gezien de estuariene situatie waarin gemeten wordt en de beperkte meetfrequentie (ca. 4 x/jaar door IHE; deze problematiek wordt verder uitgediept onder punt 7.).

In het samenvattend SAWES-rapport (4) wordt deze grote spreiding, samen met de variaties in gemeten en berekende debieten (bron: Antwerpse Zeehavendienst) als reden opgegeven voor de niet onbelangrijke schommelingen die de berekende input te Rupelmonde vertoont. Figuur 4.2. geeft deze schommelingen weer voor de periode 1980-1988. Voor de hier gehanteerde referentie jaren 1985 en 1988 kwamen tot volgende inputs:

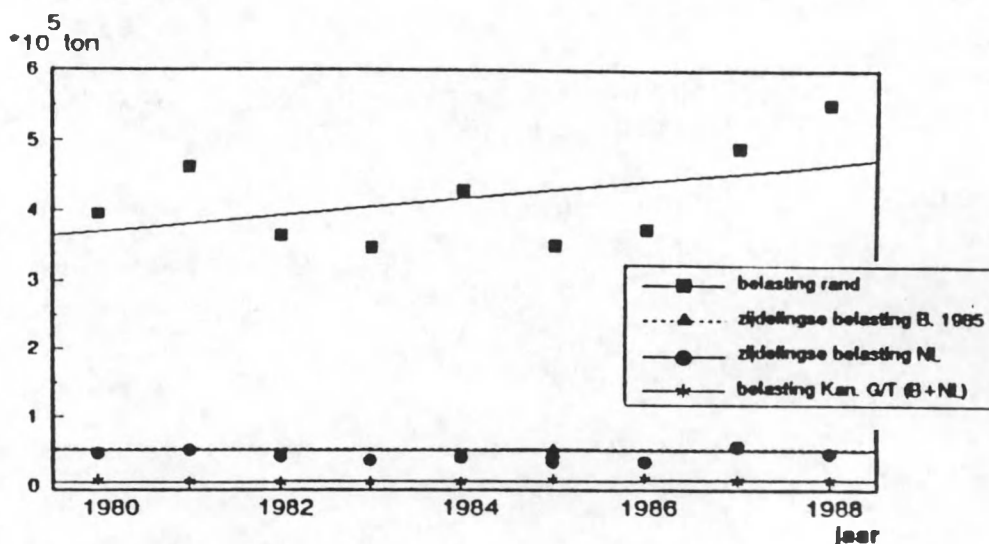
- 1985: 351.000 Ton S.S.
- 1988: 552.000 Ton S.S.

Het is duidelijk dat, gezien het belang van deze input, in

functie van een correcte modelisatie een bijkomend meetprogramma ter hoogte van Rupelmonde zeker op zijn plaats is.

Figuur 4.2. Evolutie van de zwevend stofvracht te Rupelmonde volgens de SAWES-inventarisatie.

Bron: (4)



4.1.2. Onrechtstreekse benadering

4.1.2.1. Bronnen

Particulair materiaal kan afkomstig zijn van puntbronnen (huishoudens, bedrijven) of van diffuse bronnen (mestoverschotten, erosie, neerslag). Materiaal dat via puntbronnen wordt aangebracht kan verschillende wegen volgen:

- rechtstreekse aanvoer naar de waterloop;
- lozing via septictanks en grachten;
- lozing via het rioleringsstelsel;
- lozing via een rioolwaterzuiveringsinstallatie;
- lozing via een eigen (industriële) zuiveringsinstallatie.

Processen die zich daarbij kunnen afspelen zijn onder meer:

- sedimentatie (septictanks, grachten, riolen);
- anaërobe afbraak (idem);
- resuspensie bij hoge afvoeren (idem);
- overstortingen uit het rioolstelsel bij hoge afvoeren;
- verwijdering via waterzuivering en via ruiming van septisch materiaal (septictanks, grachten, riolering).

Sedimentatie en afbraak in septic tanks en grachten levert een reductie op van ca. 50 % (15). Sedimentatie en afbraak in het rioolstelsel levert een reductie op van ca. 30 % (berekend op basis van huishoudelijke bruto-vuilverachtgegevens (16) en van influentgegevens van Nederlandse rioolwaterzuiveringsinstallaties (17)).

Volgens (18) is bij een goed ontworpen rioolstelsel sprake van 0,4 % relatieve vuiluitworp.

Waterzuivering levert een reductie op met ca. 90 % (huishoudelijke influentconcentratie: ca. 600 mg/l; effluentwaarde: 60 mg/l).

In Vlaanderen worden naar schatting jaarlijks volgende hoeveelheden septisch materiaal verwijderd (19):

- rioolkolkenslib: 64000 ton
- controleputten, rioolspoelingen: 3600 ton
- septisch materiaal putten (incl. aal): 735000 m³ (hiervan wordt een kleine 200000 m³ centraal verwerkt in R.W.Z.I.'s)
- slib van vetvangers: 100000 à 150000 m³

Voor het Brussels Gewest, Wallonië en Frankrijk zijn geen schattingsgegevens bekend. Bijgevolg wordt bij het inschatten van de suspensievrachten in eerste instantie uitgegaan van de aangegeven verwijderingspercentages.

4.1.2.1.1. Huishoudelijk afvalwater

In Tabel 4.5. is de gemiddelde vuilveracht per inwonerequivalent weergegeven. Hieruit blijkt dat 47 % van huishoudelijk afvalwater bestaat uit onopgeloste stoffen, waarvan ca. 2/3 als niet bezinkbaar wordt beschouwd.

Tabel 4.4. Gemiddelde huishoudelijke vuilvracht
Bron: (20)

g/inw/dag	anorganisch	organisch	totaal
bezinkbare, onopgeloste stoffen	20	40	60
niet bezinkbare, onopgeloste stoffen	10	20	30
niet bezinkbare, opgeloste stoffen	50	50	100
Totaal	80	110	190

Er bestaat geen volledige inventaris van de bruto huishoudelijke vuilvracht in het Scheldebekken.

Op basis van arrondissemantele bevolkingsgegevens kunnen voor de Belgische en Franse bijdrage en voor de grote deelbekkens globale cijfers worden gegeven. De verdeling van de arrondissementen over de deelbekkens is weergegeven in Figuur 4.3. De bruto huishoudelijke vuilvracht voor de verschillende deelbekkens en voor de referentie jaren 1985 en 1989 is weergegeven in Tabel 4.6.

Er kan worden opgemerkt dat tussen 1985 en 1988 slechts geringe verschillen worden vastgesteld, wijzend op een stagnerende bevolking.

Figuur 4.3. Administratieve grenzen in het Scheldebekken op Belgisch grondgebied



Tabel 4.6. Geschatte bruto huishoudelijke vuilvracht in het Scheldebekken op Frans en Belgisch grondgebied (uitgedrukt in 1000 I.E. en in ton zwevend stof)
Bronnen: N.I.S., I.N.S.E.E.

		1985		1989	
		1000 I.E.	T	1000 I.E.	T
deelbekken					
Leie	FR	1936	63598	1950	64058
	WA	18	591	18	591
	VL	539	17706	540	17739
	Tot	2493	81895	2508	82388
Schelde (tot Rupelmonde)					
	FR	967	31766	958	31470
	WA	581	19086	576	18922
	VL	969	31832	967	31766
	Tot	2517	82684	2501	82158
Rupel	WA	380	12483	386	12680
	BR	980	32193	970	31864
	VL	2010	66028	2029	66653
	Tot	3370	110704	3385	111197
Schelde (Rupelmonde tot grens)					
	VL (Tot)	912	29959	909	29861

De recente rioleringsgraad in het stroomgebied van de Schelde is niet goed gekend. Voor het Vlaams Gewest wordt de huidige rioleringsgraad geschat op 63 % (21). Voor een aantal deelbekkens werden vrij recente gegevens geïnventariseerd in het kader van de uitwerking van het Algemeen Waterzuiveringsprogramma (bron: Vlaamse Milieumaatschappij). Voor het Brussels Gewest mag gerekend worden met een aansluitingsgraad van 100 %. Gegevens over Wallonië en Frankrijk ontbreken. Er wordt maar in beperkte mate aan rioolwaterzuivering gedaan in het Scheldebekken: ca. 26 % in Vlaanderen (22), 0 % in het Brussels Gewest, ca. 28 % in Wallonië. Dit laatste cijfer werd

geschat op basis van de huidige zuiveringscapaciteit (23) en van een gelijke benuttingsgraad van R.W.Z.I.'s als in Vlaanderen (45 %)(bron: (24)).

De mate van waterzuivering in België verschilt nogal van bekken tot bekken:

- Leie: - Vlaanderen: 18,1 %
 - Wallonië: 0 %
- Schelde (opwaarts Rupelmonde): - Wallonië: 25 %
 - Vlaanderen: 27,7 %
- Rupelbekken: - Wallonië: 35 %
 - Brussel: 0 %
 - Vlaanderen: 18,4 %
- Schelde (afwaarts Rupelmonde): 44,8 %

In Frankrijk wordt ca. 56 % van de bruto-huishoudelijke vuilvracht aangevoerd op zuiveringsstations (25).

Op basis van voormelde gegevens werd de netto huishoudelijke vuilvracht berekend voor 1989 (van 1985 zijn te weinig uitgangsgesgevens voorhanden). Hierbij werd voor Wallonië en Frankrijk dezelfde rioleringsgraad aangenomen als in Vlaanderen. Berekeningsresultaten zijn samengevat in Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Geschatte netto huishoudelijke vuilvracht in het Scheldebekken op Frans en Belgisch grondgebied (uitgedrukt in 1000 I.E. en in ton zwevend stof)
Bronnen: (15) tot (25) + eigen berekeningen

		1989	
		1000 I.E.	T
deelbekken			
Leie	FR	629	20663
	WA	11	370
	VL	317	10413
	Tot	957	31446

Tabel 4.7. (vervolg)

Schelde (tot Rupelmonde)

FR	309	10151
WA	278	9132
VL	507	16657
Tot	1094	35940

Rupel

WA	170	5585
BR	679	22305
VL	1186	38960
Tot	2035	66850

Schelde (Rupelmonde tot grens)

VL	381	12516
----	-----	-------

De input afwaarts Rupelmonde stemt goed overeen met de SAWES-schatting (11472 T in 1988) en is gevoelig groter dan het door VMM gemeten totaal (1124 T in 1990).

4.1.2.1.2. Industriële afvalwater

Recente gegevens over de produktie van particulier materiaal door bedrijven in het Scheldebekken kunnen voor het Vlaams Gewest worden berekend op basis van de debiets- en concentratiemetingen die bij bedrijven worden doorgevoerd in functie van het berekenen van de waterzuiveringsheffing.

Deze emissiegegevens zijn beschikbaar per deelbekken bij de Vlaamse Milieumaatschappij (maar niet beschikbaar voor dit project).

Er kan alleen worden gewerkt op basis van recente arrondissementale tewerkstellingsgegevens (Nationaal Instituut voor de Statistiek, Rijksinstituut voor de Sociale Zekerheid). Voor Frankrijk is gesteund op gegevens van het I.N.S.E.E..

Figuur 4.4. geeft de administratieve grenzen weer op Frans grondgebied en de afbakening van het Leie- en Scheldebekken. De agrarische tewerkstelling werd niet in rekening gebracht.

Voor de omrekening van het aantal werknemers per sector naar de bruto-vuilvracht (uitgedrukt in I.E.) werd gesteund op recente Belgische productiegegevens (Nationaal Instituut voor de Statistiek) en op twee lijsten van emissiefactoren per sector:

- een lijst gebaseerd op het recente Besluit van de Vlaamse Executieve van 12 oktober 1988 (wettelijke omzettingscoëfficiënten);
- een lijst gebaseerd op een enquête bij 200 Belgische bedrijven (gerapporteerd in 1973 door De Nijs (26)).

Voor het Brussels Gewest (deel uitmakend van het Rupelbekken) werd het aandeel van de industriële vuilvracht enerzijds bepaald door uit te gaan van een procentueel aandeel in de totale vuilvracht van 43 % (onder meer vermeld in Wollast en Marijns, ref. 13), anderzijds door voormelde omzettingscoëfficiënten toe te passen op de sectoriële tewerkstellingscijfers. Beide benaderingen blijken gelijklopende resultaten op te leveren, als tenminste wordt uitgegaan van de wettelijke bepaalde omzettingscoëfficiënten (eerste lijst). Voor het Brussels Gewest werden de resultaten op basis van de tweede lijst dan ook weggelaten.

Resultaten op basis van lijst 2 levert bruto-vuilvrachten op die tussen 2,2 en 2,3 maal groter zijn dan die, berekend volgens lijst 1.

Voor de omrekening van het aantal I.E. wordt voorlopig uitgegaan van de waarde van 90 g/I.E., zoals bij huishoudelijk afvalwater. Dit is dan wel een minimale waarde, aangezien vele industriële afvalwaters relatief meer zwevend stof bevatten dan huishoudelijk afvalwater.

De berekeningsresultaten zijn vermeld in Tabel 4.8.

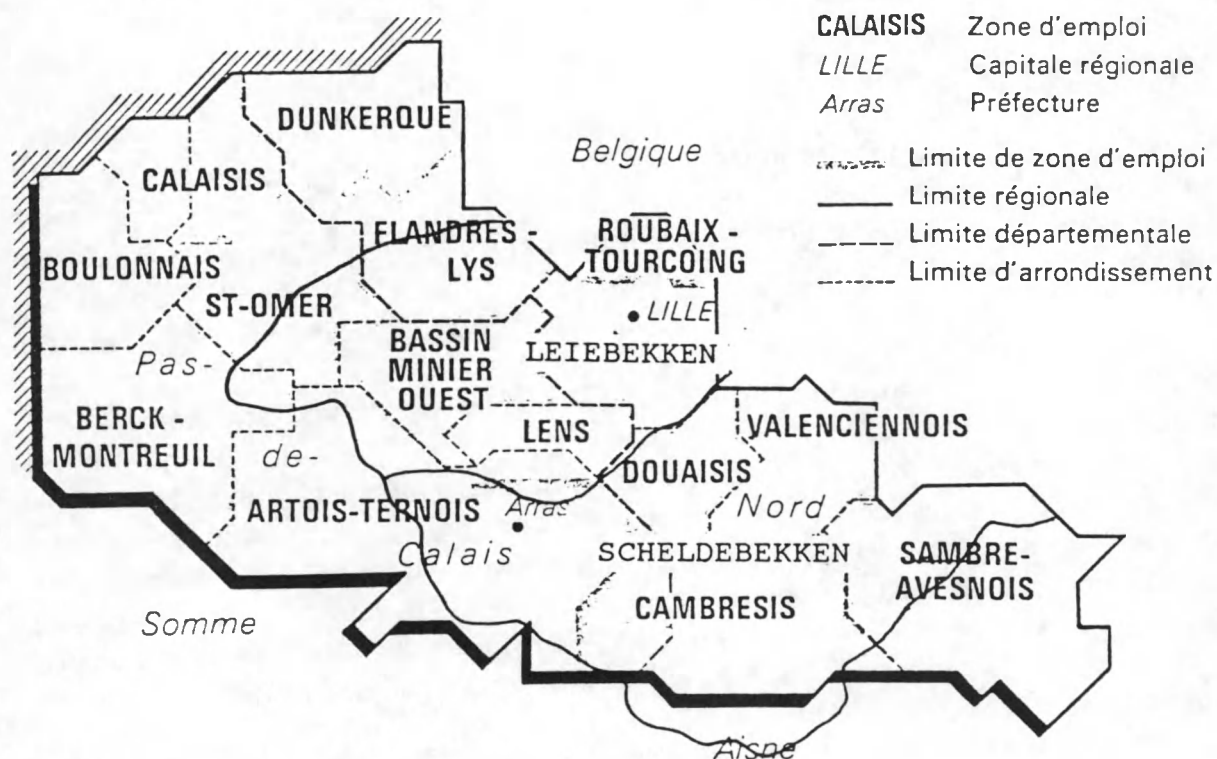
Tabel 4.8. Geschatte bruto industriële vuilvracht in het Scheldebekken op Frans en Belgisch grondgebied (uitgedrukt in 1000 I.E. en in ton zwevend stof)
Bronnen: N.I.S., I.N.S.E.E.

	1985		1989	
	1000 I.E.	T	1000 I.E.	T
Leie				
FR	1079-2492	35445- 81878	961-2153	31569- 70726
WA	14- 31	445- 1029	14- 31	445- 1029
VL	438-1013	14403- 33266	451-1011	14830- 33201
Tot	1531-3536	50293-116173	1426-3195	46844-104956
Schelde (tot Rupelmonde)				
FR	480-1109	15768- 36431	428- 959	14060- 31503
WA	101- 233	3317- 7661	109- 244	3581- 8024
VL	338- 781	11104- 25649	365- 818	11990- 26863
Tot	919-2123	30189- 69741	902-2021	29631- 66390
Rupel				
WA	128- 296	4205- 9724	131- 293	4303- 9625
BR	717	23553	734	24112
VL	551-1273	18100- 41818	560-1254	18396- 41194
Tot	1396-2286	45858- 75095	1425-2281	46811- 74931
Schelde (Rupelmonde tot grens)				
VL	1209-2793	39716-91750	1254-2809	41194- 92276

Er zijn geen exacte gegevens bekend over de mate van riolering en zuivering van bedrijfslozingen in het Scheldebekken. Voor een eerste benadering kan worden uitgegaan van het globale aandeel van bedrijfslozingen in rioolwater in de verschillende deelbekkens in het Vlaams Gewest. Voor Wallonië en Frankrijk wordt het algemeen gemiddelde in Vlaanderen (22,59 %) geëxtrapoleerd. Zoals bekend kent het Brussels Gewest geen enkele vorm van rioolwaterzuivering.

Figuur 4.4. Administratieve afbakening van het Scheldebekken op Frans grondgebied

Bron: I.N.S.E.E.



Op basis van de bruto-huishoudelijke vuilvracht en het procentuele aandeel van industriële lozingen in rioolwater kan de bedrijfsvuilvracht berekend worden die geloosd wordt op riolering. De mate van zuivering wordt dan eveneens afgeleid uit de gegevens over de huishoudelijke vuilvracht (en verschilt van gewest tot gewest en van land tot land; zie eerder).

Wat de rechtstreeks op oppervlaktewateren geloosde vuilvracht betreft (al of niet na zuivering bij de bron) wordt er uitgegaan van volgende gegevens en veronderstellingen.

Voor het Franse deel van het bekken wordt de mate van zuivering in 1989 bekomen na lineaire extrapolatie van gemeten waarden voor heel Frankrijk voor de jaren 1980 en 1985 (uitgedrukt in ton gesuspenseerd materiaal; bron: I.N.S.E.E.).

Resultaat: 87 % van de industriële vuilvracht wordt verwijderd in zuiveringsstations.

Voor het Belgische deel wordt uitgegaan van het aantal toegekende vergunningen voor bedrijfslozingen in oppervlaktewateren van het Vlaams Gewest (27). Van de 1784 gekende rechtstreekse bedrijfslozingen waren er in 1989 1328 vergund (74,4 %), waarvan 414 nog werden afgeleverd door de Nationale Dienst voor Zuivering van Afvalwater en 914 door de regionale zuiveringsmaatschappijen.

Van de 532 als belangrijk beschouwde lozingen (groter dan 500 I.E.) waren er 501 vergund (94,2 %)(144 met een oude en 357 met een nieuwe vergunning). Er wordt aangenomen dat het beschikken over een vergunning een verwijdering van het gesuspenseerd materiaal meebrengt met 90%. en dat er zonder vergunning ook niet wordt gezuiverd. Dit brengt het reductiepercentage op ca 65 %, berekend op basis van het totaal aantal lozingen, en op ca 85 %, op basis van het aantal belangrijke lozingen. Als gemiddelde wordt 75 % gehanteerd (onnodig te wijzen op de grote foutenmarge bij deze benadering). De hieruit afgeleide netto-vuilvracht, veroorzaakt door industriële bedrijven in 1989, is weergegeven in Tabel 4.9.

Tabel 4.9. Geschatte netto-vuilveracht van bedrijven in het Scheldebekken op Frans en Belgisch grondgebied (uitgedrukt in 1000 I.E. en in ton zwevend stof)
Bronnen: N.I.S., I.N.S.E.E. + eigen berekeningen

1989		1000 I.E.	T
Leie	FR	249 - 404	8180 - 13271
	WA	6 - 10	197 - 328
	VL	166 - 306	5453 - 10052
	Tot	420 - 719	13797 - 23626
Schelde (tot Rupelmonde)			
	FR	116 - 185	3811 - 6077
	WA	91 - 181	2989 - 5946
	VL	212 - 303	6964 - 9954
	Tot	419 - 598	13775 - 19636
Rupel			
	WA	59 - 99	1938 - 3252
	BR	512	16819
	VL	282 - 456	9264 - 14980
	Tot	853 - 1067	28021 - 35051
Schelde (Rupelmonde tot grens)			
	VL	355 - 744	11662 - 24430

De berekende waarden voor het gedeelte afwaarts Rupelmonde stemt in zekere mate overeen met de SAWES-schatting (20030 T in 1988) en wijkt sterk af van de directe meetresultaten van de VMM (2087 + 326346 T in 1990). Rekening houdend met de door de VMM tot dusver niet gemeten kleine rechtstreekse en rioollozingen mag voormelde schatting als een wezenlijke aanvulling bij de reële meetresultaten beschouwd worden.

4.1.2.1.3. Agrarisch afvalwater

Een te grote concentratie van voornamelijk bio-industriële bedrijven kan in bepaalde streken leiden tot overbemesting en tot sluiklozingen van drijfmest in waterlopen. Gegevens over de mestproductie per diersoort zijn weergegeven in Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Brutomestproductie per diersoort
Bron: (28)

	kg mest/dier/dag	% stoffen in suspensie
runderen	35	13 - 14
varkens	5	5 - 6
kippen	0,18	25

Er is niet bekend welk percentage hiervan geloosd wordt in waterlopen van het Scheldebekken.

Het risico op sluiklozingen (en bijgevolg op verontreiniging met zwevende stoffen) kan onrechtstreeks worden afgeleid uit (over)bemestingsgegevens in het Vlaams Gewest (er mag aangenomen worden dat dit probleem zich veel minder stelt in Wallonië en Noord-Frankrijk).

Het overbemestingsprobleem stelt zich voornamelijk in Centraal West-Vlaanderen en de Noorderkempen in de arrondissementen Turnhout, Roeselare en Tielt (27). Hier wordt vrij systematisch een overschrijding vastgesteld van de N-norm (Besluit van de Vlaamse Executieve van 27 maart 1985) en/of van de P-norm (125 kg P205/ha). Voor deze arrondissementen werd voor 1989 de totale brutoproductie van zwevende stoffen berekend, alsook het aandeel dat behoort tot overbemeste gedeelten in het Scheldebekken (toepassing van de N-norm):

- arrondissement Roeselare (Leiebekken): ca. 15 %
- arrondissement Tielt (Leiebekken): ca. 75 %
- arrondissement Turnhout (Rupelbekken): ca. 35 %

Voor het aandeel dat rechtstreeks geloosd wordt, worden twee hypothesen beschouwd, nl. 1 en 10 %.

De berekeningsresultaten zijn samengevat in Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Agrarische zwevende stofproductie (ZS in T/jaar)
in overbemeste delen van het Scheldebekken
Bronnen: berekeningen op basis van (28) en (29)

	1985		1989	
	stuks vee	ZS	stuks vee	ZS
<u>Leiebekken</u>				
Roeselare				
runderen	38675	64230	37032	61501
varkens	415349	37901	521684	47604
kippen	380288	6246	434521	7137
subtotaal		108377		116242
aandeel in bekken 15 %		16257		17436
Tielt				
runderen	68758	114190	73617	122259
varkens	656419	59898	813864	74265
kippen	770068	12648	837839	13761
subtotaal		186736		210285
aandeel in bekken 75 %		140052		157714
Totaal Leiebekken		156309		175150
Hypothese 1 % lozing		1563		1751
Hypothese 10 % lozing		15631		17515
<u>Rupelbekken</u>				
Turnhout				
runderen	202967	337077	221024	367055
varkens	402915	36766	544856	49718
kippen	2142365	35188	2066738	33946
subtotaal		409031		450719
aandeel in bekken 35 %		143161		157752
Totaal Rupelbekken		143161		157752
Hypothese 1 % lozing		1432		1578
Hypothese 10 % lozing		14316		15775

4.1.2.4. Erosie

Tot dusver was de inschatting van de Belgische bijdrage tot de slibbalans in de Schelde steeds gebaseerd op de bevindingen van Wollast en Marijns (13). Zij baseerden hun schatting van de aanvoer van natuurlijk particulier materiaal op een reeks sedimenttransportmetingen, uitgevoerd te Bousval in het bekken van de Wavre (40,13 km²; stroomgebied van de Dijle). 6-uurlijkse stalen werden genomen tussen 3 mei en 5 juni 1981. Zowel de kenmerken van het bekken (gemiddelde helling, bodemverhang, bodemgesteldheid, begroeiing) als de totale regenval (omgerekend ca. 1000 mm) stemden vrij goed overeen met de gemiddelde situatie in het Scheldebekken, wat de auteurs ertoe liet besluiten de bekomen sedimentijklijn als representatief te beschouwen. De omgerekende gemiddelde afvoer (12,56 T/ha/jaar) werd daarop vermenigvuldigd met de oppervlakte van de verschillende deelbekkens van de Schelde. Zo kwamen ze tot een totale natuurlijke aanvoer van 271030 T/jaar.

Deze methodiek kan verbeterd worden door het in rekening brengen van:

- verschillen tussen deelbekkens inzake landerosie;
- slibtransportmetingen, uitgevoerd over een langere periode, met een grotere frekwentie en in vrij representatieve bekkens waar de invloed van vervuiling minimaal is evenals de bezinking van particulier materiaal stroomopwaarts van het meetpunt.

De zgn. sediment yield (A) van onbegroeide of begroeide terreinen kan worden benaderd door toepassing van de Universal Soil Loss Equation (USLE) (30):

$$A = R.K.C.P.L.S.$$

R: regenvalerosiviteitsfactor

K: bodemerodibiliteitsfactor

C: gewas- en teeltfactor

P: bodembewerkingsfactor

L.S: topografische factor (lengte en steilte van de helling)

Voor de bepaling van deze factoren werden een aantal nomogrammen opgesteld, op basis van Amerikaanse ervarings-

gegevens. Bollinne (31) stelde enkele aanpassingen voor voor het gebruik van de formule in West-Europa.

Volgens De Ploey (32) komt er op zandgronden slechts sporadisch actieve hellingserosie voor en is ook de winderosie vrij beperkt (in vergelijking met de pluviale erosie). Ook velden die onder een geringe helling liggen (minder dan 1 %) en alluviale en colluviale bodems zijn in principe relatief vrij van erosie (33). Erosie treedt in het Scheldebekken voornamelijk op in de zandleem- en de leemstreek. Op lemige akkers in Haspengouw daarentegen kan de erosie tot 15 ton/ha/jaar bedragen, wat neerkomt op een bodemverlies van 1 mm/jaar (34). Boon en Savat (35) toonden aan dat geultjes-erosie snel een algemeen verschijnsel wordt in de leemstreek en dit zelfs bij relatief lage neerslagintensiteiten (9 mm/h). Verhogen tot een extreme intensiteit van 44 mm/h doet in se weinig veranderen. In het zandleemgebied van Binnen-Vlaanderen ten westen van de Leie kunnen op de meeste plaatsen mogelijk nog geultjes voorkomen, terwijl in vochtig Haspengouw zelfs dat niet zeker is. De Kempen en de noordelijke helft van Oost-Vlaanderen zijn absoluut veilig. Daarbij kan worden opgemerkt dat goed gestructureerde gronden weinig gevoelig zijn voor geultjeserosie maar daarentegen wel voor spaterosie.

Eén van de grote moeilijkheden bij het inschatten van de landerosie bestaat in de begroting van de colluviatie, die bij leemgronden optreedt bij hellingen kleiner dan 2 %. Immers, slechts een fractie van het bodemverlies komt uiteindelijk ook in waterlopen terecht (en kan eventueel geschat worden op basis van sedimenttransportmetingen). Zo werd bijvoorbeeld in de Leemstreek door Lamalle (36) een netto-bodemverlies van 0,07 mm/jaar gemeten. Onder meer door Williams (37) werd een aangepaste USLE-formule opgesteld, waarbij de R-factor (zie hoger) vervangen wordt door een runoff-energiefactor, afgeleid uit Amerikaanse sedimenttransportmetingen. Onder meer door Jackson (38) werd erop gewezen dat deze benadering bezwaarlijk kan toegepast worden in om het even welk stroomgebied voor het voorspellen van het sedimenttransport. Dit geldt a fortiori voor nog eenvoudiger formules zoals die van Fleming (op basis van de oppervlakte van het stroomgebied)(39) of van Mitchell et al (op basis van de oppervlakte en de gemeten suspensielast van een gelijkaardig stroomgebied)(40).

Tabel 4.12 geeft een overzicht van sedimenttransportmetingen

die in België uitgevoerd werden en die enigszins representatief zijn voor het Scheldebekken.

Tabel 4.12. Overzicht van sedimenttransportmetingen

Bronnen: (13) (36) (41) (42) (43) (44) (45) (46)

Waterloop	opp. bekken (km ²)	meetperiode	frekwentie	resultaat (T/km ² /jaar)	Ref.
Wavre	40,1	3.5.1981 - 5.6.1981	6-uurlijks	12,56	11
Dijle	741	maart '59 - februari '60	dagelijks	31	37
Mehaigne	20,4	sept. '73 - juni '77	wekelijks	3 - 17	38
Meuse	16800	1974 - 1980	dagelijks	24	39
Dijle	752	jan. '86 - maart '87 23.3.87 - 29.3.87	16 metingen 2-uurlijks	49 (1985) 73 (1986)	40
Meuse	16500	1986	bij hoge afvoeren	29	41
Ourthe	3600	"	"	27	"
Hoegne	190	"	"	19	"
Hunselbeek	22,8	okt. '87 - maart '88 dec. '87 - juni '88	18 metingen 2-uurlijks	228,1	42
Burdinale	7,2	okt. '85 - jan. '87	156 metingen	73	32
	26,0	"	167 metingen	145	"

Als vergelijkingscijfer kan het gemiddelde Europese bodemverlies vermeld worden: 32 T/km²/jaar (47).

Sinds het begin van 1989 worden ook sedimenttransportmetingen uitgevoerd door het Station voor Landbouwtechniek (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap)(48) op een 7-tal plaatsen in kleine deelbekkens van de Schelde (oppervlakte van de deelbekkens varieert tussen 176 en 1200 ha). De gegevensset is nog te beperkt om nu al conclusies te trekken.

Ook de Dienst Landbouwstructuren (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap) is recent gestart met onderzoek in dit verband (metingen op de Kleine Nete en de Aa)(49).

Tenslotte kan verwezen worden naar het meetnet van de Vlaamse Milieumaatschappij (zie hoger).

De grote verschillen tussen de onderzoeksresultaten zijn te wijten aan:

- verschillen tussen deelbekkens, waarbij de bodemhelling, de begroeiing en de oppervlakte een voorname rol spelen
- verschillen in meetperiodes en -frekwenties en omrekeningsmethodiek

Bij relatief grote deelbekkens kan er opwaarts van het meetpunt al sedimentatie optreden. Bij een lage meetfrekwentie en bij korte meetperiodes bestaat het risico dat hoge afvoeren onvoldoende gedetecteerd worden (50). Bij relatief grote deelbekkens is het bovendien aannemelijker dat er door vervuiling interferenties optreden bij het meten.

Grote fouten worden gemaakt door bij de bepaling en het gebruik van de sedimentijkingscurve uit te gaan van een lineair verband tussen het debiet en de concentratie gesuspendeerd materiaal (51), zoals dat gebeurde in het onderzoek van Gilles en Lorent op de Dijle (41). Zelfs op basis van een logaritmisch verband kunnen de fouten nog aanzienlijk zijn, als voor het beter in acht nemen van de hoge afvoeren geen bijkomende correctiefactoren zoals die van Ferguson (51) worden toegepast. Dit was bijvoorbeeld het geval in het onderzoek van Wollast en Marijns (13) en dat van Close-Lecocq (43). Uit een onderzoek van Walling (53) blijkt dat het gebruik van een ijkingscurve voor de inschatting van sedimenttransport, een afwijking inhoudt van 10 % t.o.v. de resultaten van uurlijkse meetreeksen (op basis waarvan een bevredigende inschatting is te maken). Gebruik van dagelijkse i.p.v. uurlijkse gegevens kan leiden tot een onderschatting van 20 % bij stroombekkens van ca. 200 km². In kleinere bekkens kan de fout oplopen tot 50 %. Parker (54) berekende

dat de standaardafwijking op sedimenttransportberekeningen daalt tot 20-50 % na 1 jaar dagelijks meten, tot 10-20 % na 5 jaar meten en tot 5-10 % na 25 jaar.

Op basis van deze weinig bemoedigende bevindingen kan alvast besloten worden dat enkel het onderzoek van Lamalle (36), Verbeelen (44) en Ayala (46) een verbetering kan betekenen t.o.v. het werk van Wollast en Marijns (13).

Er wordt vastgesteld dat metingen over langere perioden en met een lagere frekwentie vrij systematisch hogere resultaten geven dan die van Wollast en Marijns. Waarschijnlijk was er sprake van een grote onderschatting. Metingen in relatief grote stroombekkens (Dijle, Meuse) wijzen ook in die richting. De begroting van de landerosie wordt bijgevolg benaderd op basis van metingen van kleine stroombekkens, waar de sedimentatie verwaarloosbaar is (Hunselbeek, Burdinale).

Bij het onderzoek van Ayala op de Hunselbeek (46) (resultaat: 228,1 T/km²/jaar) kan worden opgemerkt dat de sedimentijkingscurve werd opgesteld uitgaande van metingen in een winterperiode: een overschatting is dan ook mogelijk. Bovendien is het water van de Hunselbeek zeer vervuild, wat het sedimenttransport tijdens de metingen nog zal verhoogd hebben.

Het onderzoek van Lamalle op de Burdinale (36) liep over een langere periode; de ijkingscurve werd bovendien op basis van een groter aantal metingen opgesteld. Bijgevolg wordt er in eerste instantie uitgegaan van deze onderzoeksresultaten en wel van het afwaartse meetpunt (Marneffe). Het stroomgebied heeft er een oppervlakte van 26 km².

Voor het inschatten van de landerosie wordt van het berekende totale sedimenttransport (145 T/km²/jaar) de organische stofvracht afgetrokken (8,3 T/km²/jaar) naast een minerale stofvracht die hiermee geassocieerd is (4,15 T/km²/jaar; de helft van de organische vracht). Het resultaat is afgerond tot 130 t/km²/jaar.

De Burdinale is een zijrivier van de Mehaigne en hoort bij het Maasbekken maar is wel helemaal gelegen in de leemstreek.

Voor de extrapolatie van dit eenheidscijfer wordt uitgegaan van de bevindingen van Boon en Savat (35). Bij een neerslagintensiteit van 9 mm/h wordt geultjeserosie vastgesteld op ca. 32 % van de onbewerkte velden in het

Belgisch Scheldestroomgebied. Bij extreme intensiteiten van 16 en 44 mm/h loopt dit percentage op tot respectievelijk 38 en 43 %.

Voor de omrekening wordt 35 % gehanteerd.

Er is geen differentiatie van dit percentage bekend naar deelbekkens, noch zijn er gegevens bekend over Noord-Frankrijk. Ruw geschat zien deze percentages voor het Belgische deel van de diverse deelbekkens er als volgt uit:

- Leiebekken: 11 %
- Scheldebekken tot Rupelmonde: 45 %
- Rupelbekken: 37 %
- Scheldebekken tot de Belgisch-Nederlandse grens: 2,5 %

Als voor Noord-Frankrijk eenzelfde gemiddeld percentage van 35 % wordt aangehouden, dan komt men tot volgende jaarlijkse bruto-producties van natuurlijk particulier materiaal:

- Leiebekken: 130907 T
- Scheldebekken tot Rupelmonde: 417092 T
- Rupelbekken: 321885 T
- Scheldebekken tot de Belgisch-Nederlandse grens: 2925 T

Volgens SAWES voeren polderwaters tussen Rupelmonde en de Belgisch-Nederlandse grens 17386 T zwevende stof aan (1988). Het grote verschil met voormelde schatting (factor 5,9) is als volgt te verklaren. In de SAWES-schatting is uitgegaan van een specifieke aanvoer van ca. 19,3 T/km², in onze schatting van ca. 3,2 T/km². Bij SAWES is uitgegaan van een extrapolatie van Nederlandse polderuitslagen. Gezien het overwegend zandige of geürbaniseerde karakter van het stroomgebied afwaarts Rupelmonde (met als gevolg een beperkte erosie, zoals bepaald door Boon en Savat (35)), is zulke extrapolatie moeilijk te verantwoorden.

4.1.2.1.5. Neerslag

Naar analogie met de benadering van van Maldegem (3) en van Holland (4) kan de jaarlijkse zwevende stofinput door directe neerslag op watervlakken geschat worden door vermenigvuldiging van een gemiddelde zwevende stofconcentratie in regenwater (10 mg/l) met de jaarlijkse neerslaghoeveelheid (800 mm/jaar) en de totale wateroppervlakte in een (sub)bekken.

De berekeningsresultaten zijn samengevat in Tabel 4.13.

De grootte van de wateroppervlakken werd daarbij ingeschat door extrapolatie van Belgische bodembezettingsgegevens, die per gemeente het percentage gekadaastreerde wateren vermelden (55).

Voor het Scheldebekken stroomafwaarts Rupelmonde werd in het bijzonder rekening gehouden met de oppervlakten, ingenomen door de havendokken op de linker en de rechter Schelde-oever. Met deze benadering wordt geen rekening gehouden met droge depositie, welke wellicht slechts een beperkte bijdrage levert.

Tabel 4.13. Aanvoer van zwevend stof via directe neerslag
Bron: eigen berekeningen op basis van (55)

subbekken	wateroppervlakte (ha)	zwevende stof (T/jaar)
Leiebekken	2014	161
Schelde opwaarts Rupel	4171	334
Rupelbekken	3480	278
Schelde afwaarts Rupel	4914	393

4.1.2.2. Sedimentprocessen en baggeractiviteiten in het waterlopenstelsel (buiten de tijzone)

4.1.2.2.1. Inschatting op basis van omrekeningsformules

Er zijn weinig of geen gegevens bekend over het specifiek gedrag van particulier materiaal in waterlopen van het Scheldebekken. De sedimentatie kan onrechtstreeks worden afgeleid uit de bagger- of ruimingshoeveelheden, die verderop zijn vermeld. Dit is een onderschatting aangezien een gedeelte van het bezonken organisch materiaal onderhevig is aan afbraakprocessen. Deze benadering wordt gevolgd in par. 4.1.2.2.2.

Een eerste ruwe inschatting is mogelijk op basis van omrekeningsformules waarbij de erosie van grote stroombekkens wordt afgeleid uit gegevens van kleine stroombekkens, waarvoor metingen zijn uitgevoerd. Er kan dan verondersteld worden dat

het verschil tussen de erosie, berekend met en zonder toepassing van een reductieformule (voor het in rekening brengen van de grootte van het stroomgebied), een maat is van de hoeveelheid die in het waterlopenstelsel achterblijft (en verwijderd wordt via bagger- en ruimingswerken of door afbraakprocessen).

In Tabel 4.14 zijn voor de verschillende deelbekkens de reductiefactoren weergegeven, berekend met een formule, ontwikkeld door Julien en Frenette (56):

$$Q_e = 0,85 \cdot A \cdot (-0,137) \quad \text{met } A \text{ in km}^2$$

Er zij opgemerkt dat voor de gedeelten die rechtstreeks aansluiten bij het Schelde-estuarium geen reducties werden toegepast.

Tabel 4.14. Reductiefactoren voor omrekening van gemeten erosie in kleine stroombekkens naar grote stroombekkens

subbekken	km ²	correctiefactor	gewogen gemiddelde
<u>Leie</u>	3873	0,274	0,274
<u>Schelde opwaarts Rupelmonde</u>			0,312
Schelde	6097	0,258	
Dender	1374	0,316	
Durme	100	0,452	
Schelde	450	1	
<u>Rupel</u>			0,343
Zenne	1169	0,323	
Dijle	3577	0,277	
Grote Nete	736	0,344	
Kleine Nete	813	0,339	
Rest	397	1	
<u>Schelde afwaarts Rupelmonde</u>			1

4.1.2.2.2. Inschatting op basis van bagger- en ruimingsgegevens

In verband met de beschikbaarheid van gegevens dient onderscheid gemaakt tussen bevaarbare en onbevaarbare waterlopen. Voor bevaarbare waterlopen zijn de baggerhoeveelheden redelijk goed gekend (57). Zo werd door I.M.D.C. een inventaris opgemaakt van de studies die een globaal overzicht trachten te geven van het slibtransport in de Zeeschelde. De resultaten hiervan werden getoetst aan de baggervolumes die gedurende het laatste decennium gebaggerd werden in de Zeeschelde en in de Antwerpse haven (75). Voor waterlopen waarvoor deze cijfers ontbreken (meestal rivieren en kanalen in Wallonië en Noord-Frankrijk) kan geëxtrapoleerd worden op basis van vergelijkbare rivier- en kanaalstroken. Hiertoe werden gemiddelde jaarlijkse baggerproducties berekend per strekkende kilometer. Voor de kanalen werd daartoe onderscheid gemaakt tussen kanalen van klasse I tot III (tot een tonnenmaat van 1000 T), enerzijds, en kanalen van klasse IV tot VI (tonnenmaat 1350 T en meer), anderzijds.

Dit leverde volgende gemiddelden op:

- kanalen van klasse I tot III: $350 \text{ m}^3/\text{km}/\text{jaar}$
- kanalen van klasse IV tot VI: $970 \text{ m}^3/\text{km}/\text{jaar}$

Er moet gewezen worden op de grote foutmarges; vooral de extrapolatie naar de Franse kanalen en rivieren kan grote fouten inhouden.

De onbevaarbare waterlopen stellen nog grotere problemen; meestal worden de ruimingshoeveelheden hiervan niet genoteerd (de aannemer wordt betaald per strekkende meter waterloop).

Dit is vooral een probleem voor waterlopen van cat. 2 (in België beheerd door de provincies) en van cat. 3 (beheerd door de gemeenten). Voor onbevaarbare waterlopen van cat. 1 (beheerd op gewestelijk niveau) is er voor het Vlaams Gewest wel een globale recente schatting beschikbaar.

Extrapolaties werden uitgevoerd op basis van gegevens over de lengte van onbevaarbare waterlopen in het Vlaams Gewest (zie Tabel 4.15), waarbij werd omgerekend naar de totale oppervlakte van de verschillende deelbekkens.

Volgende basisproductiecijfers werden gehanteerd:

- cat. 1 - waterlopen: 170 m³/km/jaar (totale productie in het Vlaams Gewest: 185000 m³) (19)
- cat. 2 - waterlopen: 31 m³/km/jaar (productie in Vlaams-Brabant: 28045 m³) (58)
- cat. 3 - waterlopen: 15,5 m³/km/jaar (1/2 van voorgaand cijfer)

Weer dient gewezen op de onzekerheid rond de gekozen waarden. Bovendien dient opgemerkt dat het onmogelijk is onderscheid te maken tussen de referentie jaren 1985 en 1989, bij gebrek aan gegevens en aangezien niet elke waterloop jaarlijks wordt geruimd of gebaggerd. De gemiddelde frekwentie mag geschat worden op ca. 3 jaar. De gegeven volumes zijn geldig voor de tweede helft van de jaren tachtig.

Tabel 4.15 Lengte van de onbevaarbare waterlopen in het Vlaams Gewest (in km). Bron: (19)

1e categorie

district Brugge:	278
district Gent:	110
district Antwerpen:	372
district Hasselt:	328
totaal:	1088

2e categorie

3e categorie

prov. Antwerpen	1208	1561
prov. Vlaams-Brabant	904	534
prov. West-Vlaanderen	1312	1000
prov. Oost-Vlaanderen	1604	1265
prov. Limburg	937	675
totaal	5965	5035

De geregistreeerde en geschatte bagger- en ruimingsvolumes zijn per deelbekken weergegeven in de Tabellen 4.16 tot 4.19.

Tabel 4.16 Gemiddelde jaarlijkse bagger- en ruimingsvolumes
(in m³) in het Leiebekken
Bronnen: (57) (59) (60) (61) + eigen inschattingen

Bevaarbare waterlopen:

Leie	80000
Kanaal Roeselare-Leie	10000
Ringvaart (1/3)	25000
Lys	12000 (geschat)
Liaison Dunkerque-Escaut	58000 (geschat)
Liaison Bauvin-Lys + Deule	32000 (geschat)
Lens	2000 (geschat)

Onbevaarbare waterlopen:

1e categorie	53000 (geschat)
2e categorie	53000 (geschat)
3e categorie	22000 (geschat)

Totaal	347000 m ³
--------	-----------------------

Tabel 4.17 Gemiddelde jaarlijkse bagger- en ruimingsvolumes
(in m³) in het Scheldebekken opwaarts Rupelmonde
Bronnen: (57) (59) (60) + eigen inschattingen

Bevaarbare waterlopen:

Bovenschelde (tot Gent):	Frans gedeelte	93000 (geschat)
	Waals gedeelte	36000 (geschat)
	Vlaams gedeelte	70000
	totaal	199000
Kanaal Bossuit-Kortrijk		5000
Dender		100000
Doortocht Gent		20000
Canal de l'Espierres		8000 (geschat)
Canal Blaton-Ath		10000 (geschat)
Canal Nimy-Blaton-Péronnes		34000 (geschat)
Canal Pommeroeuil-Condé		10000 (geschat)
Canal du Centre		9000 (geschat)

Canal du Nord	8000 (geschat)
Liaison Dunkerque-Escaut	43000 (geschat)
Scarpe	32000 (geschat)

Onbevaarbare waterlopen:

1e categorie	110000 (geschat)
2e categorie	110000 (geschat)
3e categorie	46000 (geschat)

Totaal	744000 m ³
--------	-----------------------

Tabel 4.18. Gemiddelde jaarlijkse bagger- en ruimingsvolumes
(in m³) in het Rupelbekken

Bronnen: (57) (62) (63) + eigen inschattingen

Bevaarbare waterlopen:

Kanaal Brussel-Rupel	88000
Kanaal Brussel-Charleroi	60000
Kanaal Leuven-Dijle	15000
Albertkanaal	9000
Kanaal Bocholt-Herentals	10000
Kanaal Dessel-Kwaadmechelen	15000
Kanaal Dessel-Schoten	32000
Kanaal naar Beverlo	5000

Onbevaarbare waterlopen:

1e categorie	92000
2e categorie	92000
3e categorie	39000

Totaal:	457000 m ³
---------	-----------------------

Tabel 4.19. Gemiddelde jaarlijkse bagger- en ruimingsvolumes
(in m³) in het Scheldebekken afwaarts Rupelmonde
Bronnen: (57) + eigen inschattingen

Bevaarbare waterlopen:	
Albertkanaal	1500
Kanaal Dessel-Schoten	8000
Onbevaarbare waterlopen:	
1e categorie	12000
2e categorie	12000
3e categorie	5000
Totaal:	38500

Opmerking : de baggerspecie uit de Antwerpse Haven is vnl. afkomstig van de Schelde en is bijgevolg niet meegerekend.

Voor de omrekening naar slibtonnages (droge stof) werd uitgegaan van beschikbare gegevens over de samenstelling van baggerspecie uit baggerzones gelegen buiten de tijzone (meer specifiek de korrelverdeling). Deze gegevens zijn samengevat in Tabel 4.20..

Als gemiddelde wordt een slibpercentage van 70 % gehanteerd. Bijkomend werd gerekend met drie verschillende densiteiten, waarbij als gemiddelde 1,4 T/m³ werd aangenomen (er zijn geen exacte gegevens bekend). Dit levert tonnages op die tot een factor 3 uiteen liggen en die zijn samengevat in Tabel 4.21.

Tabel 4.20. Korrelverdeling van een aantal stalen van bagger-
specie, genomen in waterlopen van het Schelde-
bekken (buiten de tijzone)

waterloop	%		aantal stalen	ref.
	< 63 μ	> 63 μ		
Leie	70,65	29,35	13	59
Brussel-Charleroi	87,5	12,5		64
Haven Antwerpen	79,84	20,16	122-135	65
Laak	68,83	31,17	6	66

Tabel 4.21. Geschatte gemiddelde slibtonnages, jaarlijks
verwijderd in waterlopen van het Scheldebekken
(buiten de tijzone)
Bron: eigen berekeningen

Leiebekken

Slibvolume (70 %)		243000 m ³
Slibtonnage: bij densiteit 1,2	T/m ³	78975 T/jaar
	1,4	157950 T/jaar
	1,6	236925 T/jaar

Schelde opwaarts Rupelmonde

Slibvolume (70 %)		520800 m ³
Slibtonnage: bij densiteit 1,2	T/m ³	169260 T/jaar
	1,4	338520 T/jaar
	1,6	507780 T/jaar

Rupel

Slibvolume (70 %)		319900 m ³
Slibtonnage: bij densiteit 1,2	T/m ³	103970 T/jaar
	1,4	207940 T/jaar
	1,6	311910 T/jaar

Schelde afwaarts Rupelmonde

Slibvolume (70 %)		26950 m ³
Slibtonnage: bij densiteit 1,2	T/m ³	8759 T/jaar
	1,4	17518 T/jaar
	1,6	26277 T/jaar

4.1.3. Eerste schatting terrestrische aanvoer

In Tabel 4.22 wordt een samenvatting gegeven van bovenstaande berekeningsresultaten. Voor de industriële en agrarische bijdragen tot de aanvoer van gesuspendeerd materiaal naar het Scheldebekken werden twee waarden weerhouden, waartussen de echte waarde waarschijnlijk ligt. Voor de andere bronnen zijn de onzekerheden moeilijker aan te geven.

Bij het totaliseren werd rekening gehouden met het beperkte debiet dat vanuit de Leie naar het Zeeschelde wordt gevoerd.

Het blijkt dat erosie de dominante bron is van gesuspendeerd materiaal (ca. 81-83 %), dit in tegenstelling tot de bevindingen van Wollast en Marijns in 1981 (ca. 36%) (13).

Dit verschil is wellicht te wijten aan onder- en overschattingen en niet van bepaalde evoluties sinds 1981 (meer waterzuivering, meer erosie).

Agrarische bronnen en neerslag leveren maar een beperkte bijdrage.

Uit de tabel blijkt ook dat de berekende reducties (als gevolg van baggerwerkzaamheden in het waterlopenstelsel buiten de tijzone) fel uiteen liggen.

De berekeningen bevestigen de stelling dat het overgrote deel van de baggerspecie in de Antwerpse haven afkomstig is van de Schelde en bijgevolg slechts in zeer beperkte mate in rekening mag gebracht worden. De gemiddelde densiteit van het baggerslib blijkt te schommelen tussen 1,2 en 1,4.

Als besluit mag gesteld worden dat de input van gesuspendeerd materiaal in het Schelde-estuarium te Rupelmonde schommelt tussen ca. 340.000 en 640.000 ton/jaar.

Dit stemt overeen met de SAWES-berekeningen (350.000 T in 1985; 552.000 T in 1988), zoals gekend gebaseerd op immissiemetingen.

De zijdelingse aanvoer afwaarts schommelt tussen 10.000 en 31.400 T/jaar. De overeenstemming met de SAWES-schatting is hier minder goed (45.960 T in 1985; 48883 T in 1988).

Verschillen zijn te wijten aan een overschatting (door SAWES) van de bijdrage door polderwater (zie eerder) en aan het veronachtzamen (door SAWES) van bagger- en ruimingsvolumes.

Tabel 4.22. Terrestrische aanvoer naar het Schelde-estuarium
in 1989 (in 1000 T gesuspendeerd slibmateriaal)

	Leie	Schelde opwaarts R.	Rupel	Schelde afwaarts R.	Totaal tot R.
<u>Bronnen</u>					
Huishoudelijk	31,4	35,9	66,8	12,5	103,1
Bedrijven	13,8-23,6	13,8-19,6	28,0-35,1	11,7-24,4	42,0-55,0
Agrarisch	1,7-17,5	-	1,6-15,8	-	1,6-16,0
Neerslag	0,2	0,3	0,3	0,4	0,6
Erosie	130,9	417,1	321,9	2,9	740,7
Subtotaal	178,0- 203,6	467,1- 472,9	418,6- 439,9	27,5- 40,2	888,0- 915,4

Reductie op basis van berekeningsformule (1):

	129,2- 147,8	321,4- 325,4	275,0- 289	-	598,1- 616,3
<u>Totaal 1</u>	48,8- 55,8	145,7- 147,5	143,6- 150,9	27,5- 40,2	289,9- 299,1

Reductie op basis van baggergegevens (2):

- dens. 1,2	79,0	169,2	104,0	8,8	274,2
- dens. 1,4	158,0	338,5	207,9	17,5	548,4
- dens. 1,6	236,9	507,8	311,9	26,3	822,8

Totaal 2

- dens. 1,2	99,0- 124,6	297,9- 303,7	314,6- 335,9	18,7- 31,4	613,8- 641,2
- dens. 1,4	20,0- 45,6	128,6- 134,4	210,7- 232,0	10,0- 22,7	339,6- 367,0
- dens. 1,6	X	X	106,7- 128,0	1,2- 13,9	65,2- 92,6

4.2. Mariene aanvoer

De slibaanvoer vanuit zee werd door Terwindt (1976) geschat op ca. 1.000.000 T/jaar. Latere onderzoeken bevestigen deze schatting. Manni (1986) (67) maakt wel de bemerking dat deze hoge slibaanvoer in het verleden mogelijk was, toen er aan de randen van het bekken nog voldoende afzettingsmogelijkheden waren. Hij vermeldt hierbij dat in de huidige configuratie van het bekken de afzetmogelijkheden aanzienlijk gereduceerd zijn en bijgevolg zal de hoeveelheid slib die uit zee wordt aangevoerd met het getijvolume en bij de hoogwaterkentering in het bekken bezinkt, aanzienlijk geringer zijn. Voorlopig zijn er echter geen betere schattingen van deze grootte beschikbaar.

4.3. Atmosferische aanvoer

Analoog met de benadering onder 4.1.2.1.5. kan een schatting gemaakt worden van de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal die rechtstreeks via neerslag wordt aangevoerd op het Schelde-estuarium.

Voor het gedeelte afwaarts Rupelmonde (wateroppervlakte: 4914 ha) gaat het om 393 T/jaar.

Voor het Nederlands gedeelte van het Schelde-estuarium wordt verwezen naar Holland et al (4).

5. BAGGERACTIVITEITEN IN HET ESTUARIUM

In Tabel 5.1. wordt een overzicht gegeven van de onderhoudsbaggerwerken uitgevoerd sinds 1975 in de Westerschelde, de Zeeschelde en de haven van Antwerpen.

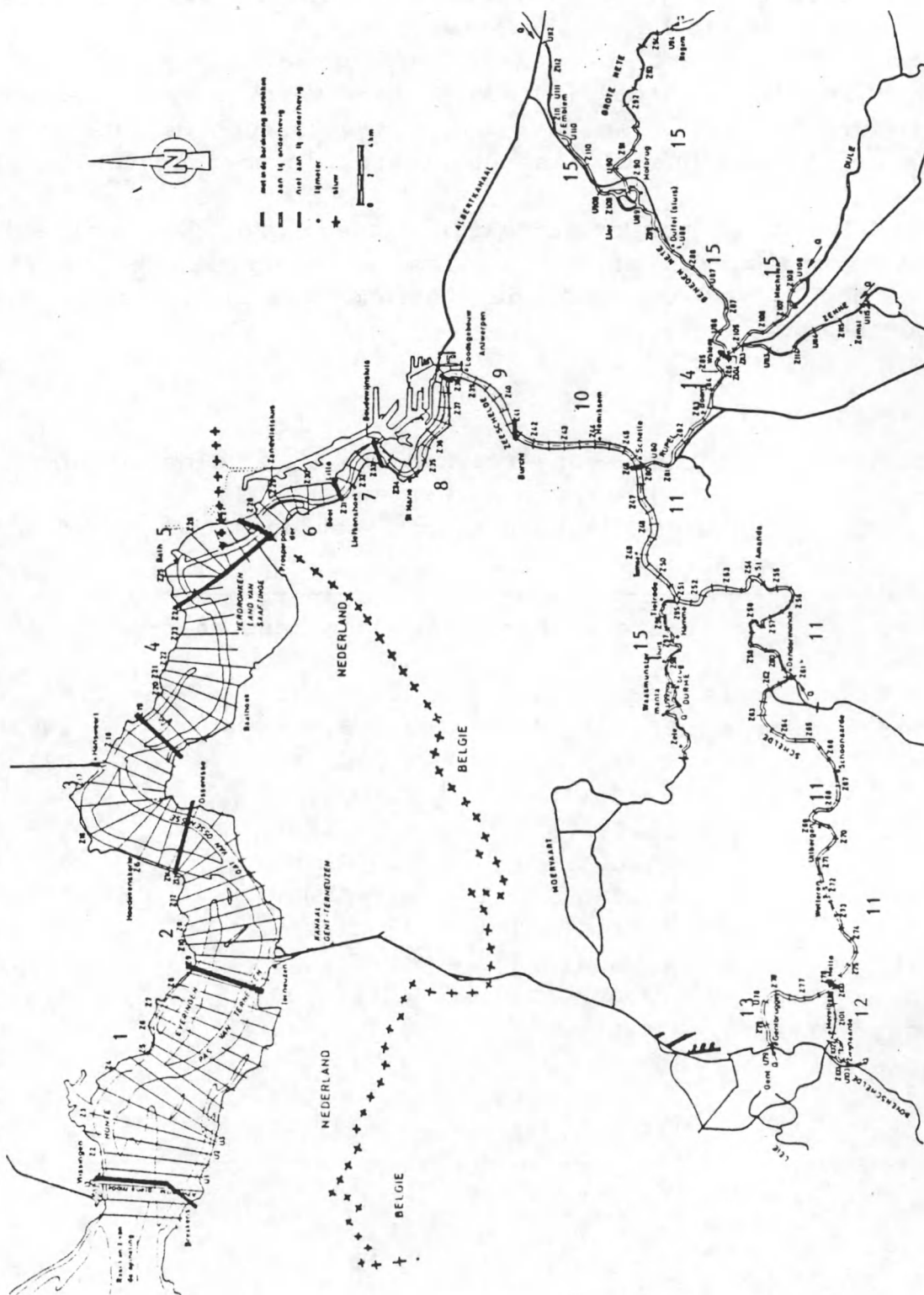
Tabel 4.24. geeft de gemiddelde hoeveelheden slibtransport weer in de periode 1980-1985 ten gevolge van bagger- en stortwerkzaamheden en dat voor de Westerschelde. De compartimentering, die daarbij is gehanteerd, is weergegeven in Figuur 5.1.

Uit Tabel 5.2. blijkt duidelijk dat een grote hoeveelheid slib wordt rondgepompt en dat de import groter is dan de export. Dit houdt verband met de inbreng van baggerslib uit de Zeeschelde.

Tabel 5.1. Onderhoudsbaggerwerken in het Schelde-estuarium en de haven van Antwerpen
Volumes uitgedrukt in m³ met densiteit 1,6 T/m³
Bron: 57

Jaar	Westerschelde	Beneden-Zeeschelde	Haven
1975	20.271.546	3.897.986	1.776.435
1976	20.574.807	3.383.965	1.848.488
1977	14.378.898	4.890.986	692.274
1978	17.871.783	6.190.724	808.826
1979	19.292.829	4.243.665	1.179.473
1980	18.005.024	2.737.352	1.585.579
1981	16.250.506	4.951.009	1.900.004
1982	18.215.609	3.861.203	1.375.237
1983	11.625.888	3.885.443	1.494.989
1984	13.002.291	4.765.922	1.024.768
1985	15.659.205	4.438.141	777.645
1986	17.687.231	4.343.555	711.050
1987	17.797.708	3.565.164	937.089
1988	16.771.168	4.517.482	1.675.560

Figuur 5.1. Indeling van het Schelde-estuarium in 15 compartimenten



Tabel 5.2. Gemiddelde hoeveelheden slibtransport in de Westerschelde ten gevolge van baggerwerken (1000 T/jaar)

Bron: 3

Compartiment	Import	Export	Rond pompen
1	1	0	65
2	175	24	1
3	27	178	9
4	154	47	164
5	1	27	6

Het slib uit de Zeeschelde sedimenteert in de eerste plaats in de Zeeschelde zelf in de zone met brak water (68). Maar ook een belangrijk deel van de aanslibbingen in de dokken van de Antwerpse Haven is afkomstig uit de Schelde. In het hiernavolgende overzicht wordt bijgevolg rekening gehouden met beide baggergebieden.

De gebaggerde volumes in de Zeeschelde worden gegeven in de Tabellen 5.3. en 5.4. (69). Voor de Antwerpse Haven staan ze in tabel 5.5.

Tabel 5.3. Volumes gebaggerd in de Zeeschelde (1000 m³/jaar)

Bron: Antwerpse Zeehavendienst

baggerzone jaar	Zandvliet	Frederik	Lillo **	De Parel	Diverse **
1980	1352	-	319	-	154
1981	1483	338	549	346	517
1982	1038	679	283	83	442
1983	1016	-	210	263	1012
1984	1015	500	504	1	1041
1985	1099	165	763	139	632
1986	1267	163	434	269	669
1987	1300	353	372	37	221
1988	1032	288	480	133	1140
1989	1187	110	101*	104	194
gemiddeld	1179	260	435*	137	602

Tabel 5.4. Baggervolumes (1000 m³/jaar) per bergingszone)
Bron: Antwerpse Zeehavendienst

jaar	Westerschelde	Zeeschelde	Opgespoten
1980	680	459	684
1981	292	1.582	1.360
1982	62	1.784	679
1983	799	1.261	441
1984	425	1.214	1.422
1985	485	2.013	301
1986	954	1.284	564
1987	153	2.102	27
1988	103	1.834	1.135
1989	-	1.392	303
gemiddeld	395	1.492	689

Tabel 5.5. Volumes gebaggerd en gestort uit de Antwerpse Haven
(1000 m³/jaar)
Bron: Antwerps Havenbedrijf

jaar	Totaal Baggervolume	Volume in de Zeesluizen en hun zwaaikommen	STORTZONE		
			Zeeschelde	Overdieptes	Op land
1980	1.958	801	687	22	1.248
1981	2.346	1.926	745	15	1.559
1982	1.698	1.199	185	164	1.352
1983	1.846	1.605	455	7	1.381
1984	1.265	590	756	44	466
1985	960	759	172	258	531
1986	878	655	129	11	739
1987	1.157	370	57	5	1.094
1988	1.676	734	38	489	1.149
1989	1.929	510	7	1.205	717
gemid.	1.571	915	323	222	1.024

Bij de interpretatie van de baggerstatistieken en de vergelijking met de resultaten van de theoretische studies moet rekening gehouden worden met de volgende problemen (75) :

- de statistieken worden gegeven in m³, de theoretische analyses rekenen in tonnen. Voor slib is er geen eenduidig verband tussen beiden;

- de baggerstatistieken geven volumes zand en slib samen. De theoretische benaderingen op basis van bronneninventarisatie en turbiditeitsmetingen beperken zich tot slib.

Daarnaast speelt uiteraard ook het feit dat een deel van de gebaggerde specie opnieuw in de Zeeschelde wordt gedumpt op één van de daartoe geselecteerde plaatsen.

Wat betreft het eerste probleem (omrekening tonnen - m^3) is er geen probleem voor de baggerwerken in de Schelde gezien hier de slibrijke baggerladingen omgerekend worden naar een equivalent volume met dichtheid $2 \text{ t}/m^3$; voor de zandrijke ladingen werd een gemiddelde dichtheid geraamd van $1.8 \text{ t}/m^3$. Voor de specie uit de Antwerpse Haven wordt deze omrekening niet gemaakt. Er wordt daarentegen een gemiddelde dichtheid van $1.15 \text{ t}/m^3$ in beun aangenomen voor de specie uit de Antwerpse Haven.

Wat betreft het tweede probleem (onderscheid zand/slib) zijn er 2 benaderingen mogelijk voor het slib van de Zeeschelde :

- de volumes worden onderverdeeld per baggerzone waarbij aan elke zone een typische zand/slib verhouding wordt toegekend. De resultaten worden gegeven in Tabel 5.6.
- aan de baggervolumes wordt een zand/slib verhouding toegekend die is gerelateerd aan de dichtheid (zie Tabel 5.7.).

Beide benaderingen leveren hetzelfde resultaat, nl. gemiddeld 1.500.000 ton slib gebaggerd per jaar in de periode 1980-1989.. *met middelen over langere periode*

Voor de specie uit de Antwerpse haven kan de zand/slib verhouding opnieuw op basis van de baggerlocatie worden geraamd :

- zeesluizen + zwaaikommen : 95% slib
- andere zones : 50% slib

Op basis van de hierbovenvermelde aannames is een overzicht gemaakt van de gemiddelde **slibhoeveelheden** die jaarlijks verplaatst worden in en uit de Zeeschelde.

slib gebaggerd in de Zeeschelde	: 1.500.000 t
slib gebaggerd in de haven van Antwerpen	: 300.000 t

totaal	: <u>1.800.000 t</u>
--------	----------------------

Het belangrijkste deel van dit slib wordt aangetroffen in de toegangseulen naar de zeesluizen en onmiddellijk achter de sluizen in de zwaaikommen.

Van het gebaggerde slib (1.800.000 t/jaar) wordt een gedeelte verwijderd uit de Zeeschelde.

Slib van de Zeeschelde

- hoeveelheid opgespoten slib : 250.000 t/j
- Enkele grote werken (Berendrecht, Liefkenshoek; jaargemiddelde 80-89) : 30.000 t/j

Slib van de haven van Antwerpen

- hoeveelheid opgespoten slib : 190.000 t/j
- hoeveelheid slib in overdieptes : 40.000 t/j

Uit de analyse van de baggerwerken kan afgeleid worden dat er jaarlijks ca. 1.800.000 ton slib gebaggerd wordt in de Zeeschelde en de Antwerpse Haven waarvan ca. 510.000 ton wordt verwijderd uit het morfologisch systeem.

Tabel 5.6. Jaarlijkse gebaggerde slibhoeveelheid: raming per drempel (1000 T)

Baggerzone	(> 63 μ) Zandgehalte %	(< 63 μ) Slibgehalte %	Jaarlijks bagger- volume 1000 m ³	Jaarlijkse slib- hoeveelheid 1000t
Drempel van Zandvliet	90	10	1180	153
Drempel van Frederik	75	25	260	85
Drempel van Lillo	50	50	435	353
Drempel van de Parel	90	10	137	18
Diverse(toegangseulen)	10	90	602	881
Totaal	-	-	2614	1490

Tabel 5.7. Jaarlijkse gebaggerde slibhoeveelheid: raming per type densiteit (1000 T)

densiteit	zandgehalte	slibgehalte	jaarlijks bagger- volume (1000 m ³)	jaarlijkse slib- hoeveelheid 1000t
> 1.6 t/m ³	90	10	1760	228
1.4 à 1.6 t/m ³	50	50	60	49
< 1.4 t/m ³	10	90	865	1265
Totaal :	-	-	2685	1542

6. ONDERWATERBODEM VAN HET SCHELDE-ESTUARIUM

6.1. Definiëring van de slibstock

Gezien de complexe aard van de slibproblematiek in de Schelde zijn de bruikbare studies in dit verband zeer schaars. Voornamelijk gegevens over de samenstelling van de Scheldesedimenten op Belgisch grondgebied blijken zeer fragmentarisch tot zelfs totaal onbestaande te zijn voor bepaalde deeltrajecten. De lithologische kaarten van Bastin (76) bijvoorbeeld geven slechts een kwalitatieve indeling van de sedimenten van de Beneden-Zeeschelde. In tegenstelling hiermee werden de sedimenten van de Westerschelde reeds vrij gedetailleerd gekarakteriseerd.

Om de slibstock aanwezig in de onderwaterbodem in te schatten werd het volledige van het Schelde-estuarium onderverdeeld in 15 compartimenten. De verdeling is gedeeltelijk gebaseerd op de indeling van Van Maldegem (3) voor wat betreft de Westerschelde en op de indeling van Wattel (11) voor wat betreft de Zeeschelde. Figuur 5.1 en Tabel 6.1 geven een overzicht van de indeling in compartimenten.

Voor het slibgehalte wordt voor de berekeningen uitgegaan van de fraktie $\leq 63\mu\text{m}$. Indien in bepaalde literatuur slib anders gedefinieerd werd, zijn de gehalten omgerekend tot gehalten aan slib volgens bovenstaande definitie.

In Tabel 6.2 wordt een overzicht gegeven van de slibpercentages per compartiment. Voor compartiment 9 tot 15 bleken geen gegevens met betrekking tot het slibpercentage voorhanden te zijn. Op basis van het verband dat Wollast et al. (71) konden leggen tussen het gehalte aan organisch materiaal en de geografische verdeling van slib in het Schelde-estuarium werden de slibgehalten voor compartimenten 9 tot en met 13 afgeleid uit het slibgehalte van compartiment 6 tot 8. Voor compartiment 14 en 15 werd eenzelfde slibgehalte als compartiment 11 aangenomen.

Tabel 6.1. : Indeling van het Schelde-estuarium in
compartimenten
Bronnen (3) (11) (70)

Compartiment	Oppervlakte bij N.A.P. (10 ⁴ m ²)	Lengte langsheen de geometrische as (m)
1 (Z1 tot Z9)	9321,9	16000
2 (Z9 tot Z14)	4874,2	10000
3 (Z14 tot Z19)	4236,7	10000
4 (Z19 tot U24)	3622,6	11000
5 (U24 tot U27)	1324,9	6000
6 (U27 tot U31)	777,2	7000
7 (Z31 tot Z33)	285,4	4000
8 (Z33 tot Z38)	638,7	10000
9 (Z38 tot Z41)	307,5	6000
10 (Z41 tot Z46)	297,3	10000
11 (Z46 tot Z76)	1375,4	59800
12 (Z76 tot U79)	41,8	7600
13 (Z76 tot U103)	36,3	6600
14 (Z80 tot Z86)	23,2	11600
15 (Z86 tot U94; Z95 tot U99; Z104 tot U108; Z109 tot U112; Z113 tot U115)	149,8	74900
Totaal	27312,9	250500

Tabel 6.2. : Slibpercentages per compartiment
Bronnen (3) (71) (72)

Compartiment	Slibpercentage (%)		
	$\bar{x}$	$\pm$	s
1	11,66	$\pm$	13,64
2	8,74	$\pm$	11,10
3	11,52	$\pm$	14,41
4	2,37	$\pm$	3,42
5	10,23	$\pm$	11,52
6	20,17	$\pm$	17,28
7	27,97	$\pm$	18,68
8	22,36	$\pm$	22,20
9	19,07	$\pm$	16,31
10	19,07	$\pm$	16,31
11	7,35	$\pm$	6,29
12	50,09	$\pm$	42,82
13	50,09	$\pm$	42,82
14	7,35	$\pm$	6,29
15	7,35	$\pm$	6,29

Naast het gemiddelde slibpercentage ($\bar{x}$) wordt tevens de spreiding (s) aangegeven, illustrerend dat de ONZEKERHEID op de slibpercentages zeer groot is.

De soortelijke massa van de slibdeeltjes werd in eerste instantie naar analogie met Van Maldegem (3) op 1,59 ton/m³ (= droge densiteit, gebaseerd op in situ metingen van havenslib) gesteld. Hiervoor is uitgegaan van een holtepercentage in de onderwaterbodem van 40 %.

Nog volgens Van Maldegem (3) kan de morfologische invloedssfeer van de onderwaterbodem op jaarbasis op 0,5 tot 1 m geschat worden (= erosie- of sedimentatiegevoelige laagdikte).

6.2. Kwantitatieve inschatting

Per compartiment werd de slibhoeveelheid van het sediment vervolgens als volgt berekend :

$$\begin{array}{lclclclcl} \text{HOEEELHEID SLIB} & = & \text{SOORTELIJKE MASSA} & \times & \text{SLIBPERCENTAGE} & \times & \text{DIKTE} & \times & \text{OPPERVLAKTE} \\ \text{i/d onderwaterbodem} & & \text{v/h materiaal} & & (\%) & & \text{v/d laag} & & \text{v/d onderwaterbodem} \\ (\text{ton}) & & (\text{ton/m}^3) & & & & (\text{m}) & & (\text{m}^2) \end{array}$$

De berekeningsresultaten zijn samengevat in Tabel 6.3. Er werden telkens 2 laagdiktes beschouwd.

Tabel 6.3. : Hoeveelheid slib ($\leq 63 \mu\text{m}$) in de onderwaterbodem van het Schelde estuarium in 10^3 ton

Compartiment	Slibhoeveelheid 10^3 ton					
	dikte = 0,5 m			dikte = 1 m		
	$\bar{x}$	$\pm$	s	$\bar{x}$	$\pm$	s
1	8641	$\pm$	10108	17282	$\pm$	20216
2	3387	$\pm$	4301	6774	$\pm$	8602
3	3880	$\pm$	4854	7760	$\pm$	9707
4	683	$\pm$	985	1365	$\pm$	1970
5	1078	$\pm$	1213	2155	$\pm$	2427
6	1246	$\pm$	1067	2492	$\pm$	2135
7	635	$\pm$	424	1269	$\pm$	848
8	1135	$\pm$	1127	2271	$\pm$	2255
9	466	$\pm$	399	933	$\pm$	797
10	451	$\pm$	385	902	$\pm$	771
11	804	$\pm$	687	1608	$\pm$	1375
12	166	$\pm$	142	333	$\pm$	285
13	145	$\pm$	124	289	$\pm$	247
14	14	$\pm$	12	27	$\pm$	23
15	88	$\pm$	75	175	$\pm$	150
Totaal	22819	$\pm$	25903	45635	$\pm$	51808

De totale hoeveelheid slib aanwezig in het Schelde-estuarium kan bijgevolg op 22,8 miljoen ton voor een laagdikte van 0,5 meter en op 45,6 miljoen ton voor een laagdikte van 1 meter geschat worden. De slibhoeveelheid in de onderwaterbodem van Rupelmonde tot aan de monding (compartiment 1 t.e.m. 10) bedraagt 21,6 (voor 0,5 m) tot 43,2 (voor 1 m) miljoen ton of 94,7 % van de slibhoeveelheid van het gehele Schelde-estuarium. In Tabel 6.4 wordt de hoeveelheid slib in de onderwaterbodem uitgedrukt per oppervlakte eenheid en per lengte eenheid.

Tabel 6.4. : Hoeveelheid slib ($\leq 63 \mu\text{m}$) in de onderwaterbodem van het Schelde-estuarium per oppervlakte eenheid (ton/m^2) en per lengte eenheid (ton/m)

Compartiment	Hoeveelheid slib per oppervlakte eenheid (ton/m^2)		Hoeveelheid slib per lengte eenheid (ton/m)	
	d = 0,5 m $\bar{x} \pm s$	d = 1 m $\bar{x} \pm s$	d = 0,5 m $\bar{x} \pm s$	d = 1 m $\bar{x} \pm s$
1	0,0927 $\pm$ 0,1084	0,1854 $\pm$ 0,2169	540,06 $\pm$ 631,75	1080,12 $\pm$ 1263,50
2	0,0695 $\pm$ 0,0882	0,1390 $\pm$ 0,1765	338,70 $\pm$ 430,10	677,40 $\pm$ 860,20
3	0,0916 $\pm$ 0,1146	0,1832 $\pm$ 0,2291	388,00 $\pm$ 485,40	776,00 $\pm$ 970,70
4	0,0188 $\pm$ 0,0272	0,0377 $\pm$ 0,0544	62,09 $\pm$ 89,55	124,18 $\pm$ 179,09
5	0,0813 $\pm$ 0,0916	0,1627 $\pm$ 0,1832	179,67 $\pm$ 202,17	359,33 $\pm$ 404,33
6	0,1603 $\pm$ 0,1374	0,3207 $\pm$ 0,2747	178,01 $\pm$ 152,50	356,02 $\pm$ 305,01
7	0,2223 $\pm$ 0,1485	0,4447 $\pm$ 0,2971	158,63 $\pm$ 105,97	317,27 $\pm$ 211,95
8	0,1778 $\pm$ 0,1765	0,3555 $\pm$ 0,3530	113,54 $\pm$ 112,73	227,07 $\pm$ 225,47
9	0,1516 $\pm$ 0,1296	0,3033 $\pm$ 0,2593	77,72 $\pm$ 66,43	155,43 $\pm$ 132,87
10	0,1516 $\pm$ 0,1296	0,3033 $\pm$ 0,2593	45,08 $\pm$ 38,54	90,17 $\pm$ 77,08
11	0,0585 $\pm$ 0,0500	0,1169 $\pm$ 0,0999	13,45 $\pm$ 11,49	26,89 $\pm$ 22,99
12	0,3982 $\pm$ 0,3404	0,7965 $\pm$ 0,6808	21,90 $\pm$ 18,72	43,81 $\pm$ 37,45
13	0,3982 $\pm$ 0,3404	0,7965 $\pm$ 0,6808	21,90 $\pm$ 18,72	43,81 $\pm$ 37,45
14	0,0585 $\pm$ 0,0500	0,1169 $\pm$ 0,0999	1,17 $\pm$ 1,00	2,34 $\pm$ 2,00
15	0,0585 $\pm$ 0,0500	0,1169 $\pm$ 0,0999	1,17 $\pm$ 1,00	2,34 $\pm$ 2,00
Gemiddeld	0,1460 $\pm$ 0,1322	0,2919 $\pm$ 0,2643	142,74 $\pm$ 157,74	285,48 $\pm$ 315,48

De slibstock in de onderwaterbodem per oppervlakte eenheid van Rupelmonde tot aan de monding bedraagt gemiddeld $0,1218 \text{ ton/m}^2$ (voor een dikte = $0,5 \text{ m}$) en $0,2435 \text{ ton/m}^2$ (voor een dikte = 1 m). De slibstock in de onderwaterbodem per lengte eenheid voor het traject Rupelmonde - monding bedraagt respectievelijk $208,15 \text{ ton/m}$ en $416,3 \text{ ton/m}$.

Algemeen beschouwd kunnen twee belangrijke slibaccumulatiezones in het sediment van het Schelde-estuarium onderscheiden worden :

1. Compartiment 6-7-8 : Antwerpen tot de Belgisch-Nederlandse grens
2. Compartiment 12 en 13 : Gent tot Melle en Zwijnaarde tot Melle.

6.3. Samenstellingskarakteristieken

6.3.1. Verhouding marien/fluviatiel slib

Het bodemslib van het Schelde-estuarium is deels van mariene en deels van fluviatiele oorsprong. Het mariene slib is hoofdzakelijk afkomstig van de Vlaamse Banken voor de Belgische zee kust terwijl het fluviatiel slib grotendeels afkomstig is van het stromingsgebied van de Schelde rivier zelf. De verdeling marien/fluviatiel slib over het estuarium speelt een belangrijke rol bij het opstellen van de slibbalans en het bepalen van het slibtransport.

Op basis van de verhouding van het aan het slib gebonden koolstof kan de herkomst van het slib bepaald worden. Door Swart (73) werd voor een 12-tal locaties in de Westerschelde de verhouding marien/fluviatiel bodemslib bepaald. De samenstelling van het bodemslib in de Boven-schelde (Dendermonde tot de Belgisch-Nederlandse grens) werd onderzocht door het Waterloopkundig Laboratorium (74). De resultaten van beide studies zijn samengevat in Tabel 6.5.

Meer recente gegevens over de verhouding marien/fluviatiel slib in het Schelde-estuarium zijn niet voorhanden. Wartel (77) bestudeert momenteel de oorsprong van de mariene sedimen

ten van de Schelde aan de hand van de Pb-210 methode (gebaseerd op natuurlijke radioactiviteit). De resultaten zijn echter nog niet beschikbaar omdat het onderzoek nog niet volledig afgerond is.

Tabel 6.5. : Herkomst van het slib in de onderwaterbodem van het Schelde-estuarium
Bronnen (73) (74)

Compartiment	% marien slib	% fluviatiel slib
1	87,52 ± 10,40	12,48 ± 10,40
2	81,57 ± 8,43	18,43 ± 8,43
3	75,98 ± 8,04	24,02 ± 8,04
4	55,39 ± 13,53	44,61 ± 13,53
5	61,37 ± 13,72	38,63 ± 13,72
6	0	100
7	5,88	94,12
8	5,88	94,12
9	0	100
10	0	100
11	0	100
12	--	--
13	--	--
14	0	100
15	--	--

(--) = geen gegevens voorhanden

De hoeveelheid rivierslib in de bodem bedraagt aan de monding 8 - 14 % en neemt stroomopwaarts toe tot 39 % aan de Belgisch-Nederlandse grens. Ter hoogte van Doel bedraagt het percentage rivierslib nagenoeg 100 % (compartiment 6). In het bovenstroomse traject van de Schelde (tussen Doel en Dendermonde) wordt praktisch geen slib van mariene oorsprong meer aangetroffen. Voor compartimenten 12, 13 en 15 werden geen waarden in de literatuur teruggevonden. Rekening houdend met

bovenstaande vaststelling kan aangenomen worden dat ook in deze compartimenten enkel fluviatiel slib voorkomt. In Tabel 6.6. worden de berekeningsresultaten voor de totale hoeveelheid marien en fluviatiel slib samengevat.

Tabel 6.6. : Hoeveelheid marien en fluviatiel slib in de onderwaterbodem van het Schelde-estuarium

Compartiment	Hoeveelheid marien slib (10^3 ton)		Hoeveelheid fluviatiel slib (10^3 ton)	
	d = 0,5 m $\bar{x} \pm s$	d = 1 m $\bar{x} \pm s$	d = 0,5 m $\bar{x} \pm s$	d = 1 m $\bar{x} \pm s$
1	7563 $\pm$ 9746	15125 $\pm$ 19491	1078 $\pm$ 2159	2157 $\pm$ 4319
2	2763 $\pm$ 3794	5526 $\pm$ 7588	624 $\pm$ 1078	1248 $\pm$ 2156
3	2948 $\pm$ 4000	5896 $\pm$ 8000	932 $\pm$ 1478	1864 $\pm$ 2956
4	378 $\pm$ 637	757 $\pm$ 1275	305 $\pm$ 532	609 $\pm$ 1065
5	662 $\pm$ 893	1323 $\pm$ 1786	416 $\pm$ 616	832 $\pm$ 1232
6	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	1246 $\pm$ 1067	2492 $\pm$ 2134
7	37 $\pm$ 25	75 $\pm$ 49	598 $\pm$ 399	1195 $\pm$ 799
8	67 $\pm$ 67	133 $\pm$ 133	1068 $\pm$ 1060	2137 $\pm$ 2121
9	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	466 $\pm$ 399	933 $\pm$ 798
10	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	451 $\pm$ 385	902 $\pm$ 770
11	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	804 $\pm$ 687	1608 $\pm$ 1374
12	-- (0)	-- (0)	-- (166 $\pm$ 142)	-- (333 $\pm$ 284)
13	-- (0)	-- (0)	-- (145 $\pm$ 124)	-- (289 $\pm$ 24)
14	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	14 $\pm$ 12	27 $\pm$ 24
15	-- (0)	-- (0)	-- (88 $\pm$ 75)	-- (175 $\pm$ 150)
Totaal	14418 $\pm$ 19162	28836 $\pm$ 38324	8401 $\pm$ 10213	16802 $\pm$ 20426

(--) = geen gegevens voorhanden

Zoals uit tabel 6.6 blijkt, bevat het bodemslib van het Schelde-estuarium meer marien slib dan fluviatiel slib. Bovendien wordt dit marien slib enkel aangetroffen in het traject Antwerpen tot aan de monding. De globale verhouding marien/fluviatiel slib aanwezig in het Schelde-estuarium bedraagt 1,71. De verhouding marien/fluviatiel slib voor compartiment 1 tot 5 bedraagt 4,87 ; voor compartiment 6 tot 8

is de verhouding gedaald tot 0,03. Stroomopwaarts Antwerpen wordt enkel nog fluviatiel slib aangetroffen.

6.3.2. Organisch stof gehalte van het bodemslib

Door Wollast et al. (71) werd het organisch stof gehalte van de sedimenten van het Schelde-estuarium op een 80-tal locaties bepaald. In de veronderstelling dat de zandfractie geen organische stof bevat, kan op basis van deze metingen het organisch stof gehalte van de slibfractie berekend worden. Voor het organisch stof gehalte van de sedimenten uit compartiment 14 en 15, waarvoor geen gegevens voorhanden zijn, werd dezelfde waarde als voor compartiment 11 aangenomen. De berekeningsresultaten staan samengevat in Tabel 6.7.

Tabel 6.7. : Organisch stof gehalte van de sedimenten en de slibfracties in de onderwaterbodem van het Schelde-estuarium
Bron (73)

Compartiment	% organische stof in het sediment	% organische stof in het bodemslib
1		11,5377 ± 26,6701
2		15,3924 ± 37,1230
3	1,3453 ± 1,5360	11,6780 ± 27,9410
4		56,7637 ± 146,7223
5		13,1505 ± 29,8234
6		19,6748 ± 32,1691
7	3,9684 ± 3,0887	14,1881 ± 20,5186
8		17,7478 ± 31,4343
9		17,5469 ± 31,6072
10	3,3462 ± 3,1656	17,5469 ± 31,6072
11	1,2900 ± 1,2653	17,5510 ± 32,2348
12		17,5434 ± 27,6486
13	8,7875 ± 6,3371	17,5434 ± 27,6486
14		17,5510 ± 32,2348
15	1,2900 ± 1,2653	17,5510 ± 32,2348

Het organisch stof gehalte van het bodemslib blijft vrij constant en bedraagt gemiddeld 18,86 % voor het totale traject. De waarde voor compartiment 4 is vrij groot. Een verklaring voor deze piekwaarde is niet onmiddellijk voorhanden. Indien deze abnormaal hoge waarde buiten beschouwing gelaten wordt, wordt het gemiddeld gehalte aan organische stof 16,16 % voor het volledige traject. Dit is in overeenstemming met de waarden die door I.M.D.C. (78) bepaald werden voor het slib in de toegangseul van de Kallosluis : gehalte organische stof tussen 13,3 en 16,7 %.

6.4 Erosie- en afzettingskarakteristieken van het slib

6.4.1 Inleiding

Het volledig proces van transport, afzetting en erosie van slib is een complex fenomeen omwille van het cohesief karakter van dit sediment. Een uitvoerige proces- beschrijving wordt gegeven door Mehta et al. (79), waarbij de nadruk gelegd wordt op een aantal basisprocessen en de karakterisatie hiervan vanuit een praktisch waterbouwkundig oogpunt (flocculatie, uitzakken, afzetting, opwervelen, in suspensie komen en consolideren). Bovendien wordt aandacht geschonken aan de parameters die de sedimenten karakteriseren en de onderzoekstechnieken die toelaten deze parameters te bepalen.

Met betrekking tot het Scheldeslib werd tot nu toe nauwelijks onderzoek verricht naar de erosie- en afzettingskarakteristieken. In het kader van de hydraulische studie van de stormvloedkering werden door Hydraulics Research (80) proeven uitgevoerd in een cirkelvormige goot, terwijl tijdens de aanslibbingsstudie van de toegangseul naar de Kallosluis door IMDC de in situ valsnelheid van het slib werd bepaald (78).

6.4.2 Uitzakken

Het uitzakken van slib beschrijft de beweging van de partikels onder invloed van zwaartekracht, visceuse schuifspanning en interactie tussen partikels onderling. Meestal wordt de 'valsnelheid' omschreven in rusttoestand en als tijd-onafhankelijk (aggregatie wordt dus niet beschouwd). Zowel

marien als rivierslib vertonen een breed gamma van valsnelheden (10^{-4} tot 1 mm/s). Voor een bepaald sediment zijn de belangrijkste factoren die de valsnelheid bepalen de sedimentconcentratie, de saliniteit en het snelheidsveld.

Algemeen kan worden gesteld dat de valsnelheid stijgt bij toenemende slibconcentratie tot waarden tussen 5000 en 10000 mg/l. Boven deze grens wordt het uitzakken gehinderd, omdat het sediment dan een continue structuur vormt waardoor het poriënwater slechts langzaam opwaarts kan ontsnappen.

De valsnelheid neemt toe bij stijgende saliniteit tot zoutwaarden van 10 ppt. Bij hogere waarden speelt het zoutgehalte enkel een rol voor de montmorilloniet fractie.

Voor de Schelde werd door Manni (67) gesteld dat de valsnelheid van de slibvlokken niet groter is dan 0.3mm/s, dit in tegenstelling met de in situ proeven met de Owen-tube in de toegangsgseul naar de Kallosluis, waar valsnelheden tussen 0.1 en 1.5mm/s werden gemeten. In het hoofdstuk over de ontwikkeling van de modelvergelijkingen en de keuze van de inputparameters zal hierop nader worden ingegaan.

6.4.3 Afzetting (depositie)

Hoewel slibvlokken continu uitzakken, houdt dit niet noodzakelijk in dat de slibvlokken worden afgezet op de bodem. Ten gevolge van de snelheid van het water is de bodemschuifspanning te groot, en voorkomt aldus het afzetten van slibvlokken. Niettemin bestaat er een grenswaarde voor de bodemschuifspanning, waaronder vlokken zich kunnen hechten aan de bodem, de kritische bodemschuifspanning voor depositie, τ_{cd} , genoemd. Krone (80) stelde dat de waarschijnlijkheid dat vlokken zich hechten aan de bodem lineair varieert tussen 0 en 1 als de bodemschuifspanning afneemt van de kritische waarde naar 0. De waarde van τ_{cd} is afhankelijk van het soort sediment dat beschouwd wordt en kan bepaald worden uit een depositietest in een cirkelvormig kanaal. Bij gebrek aan reële gegevens geeft Delo (82) als grootte-orde voor de kritische bodemschuifspanning voor depositie :

$$0.06 < \tau_{cd} < 0.1 \text{ N/m}^2$$

Voor de Schelde werd een waarde bepaald $\tau_{cd} = 0.07 \text{ N/m}^2$ (80).

6.4.4 Opwervelen (erosie)

De bodemschuifspanning is de voornaamste stromingskarakteristiek die het opwervelen van slibdeeltjes beheerst. De weerstand tegen opwervelen is afhankelijk van ondermeer de sedimentsamenstelling, de eigenschappen van het poriënwater (saliniteit, Sodium Adsorption Ratio, pH en temperatuur), de wijze waarop het bodemsediment is afgezet en de consolidatiegraad. Globaal kunnen 3 types van erosie worden onderscheiden (79) :

1. oppervlakte erosie, waarbij de slibvlokken op successieve wijze in suspensie komen
2. massa erosie, waarbij grote gedeelten van de bodem losgerukt worden als gevolg van hoge bodemschuifspanningen (een typisch verschijnsel in gebieden met hoge getijsnelheden)
3. opwervelen van een stationaire slibsuspensie, waarbij 'fluid mud' aan hoge snelheden in de waterkolom geresuspendeerd wordt.

De mate waarin slib geërodeerd wordt, is afhankelijk van de bodemschuifspanning (τ_b) en de kritische bodemschuifspanning voor erosie (τ_{ce}). Algemeen mag worden aangenomen dat de 'rate of erosion' onafhankelijk is van de sedimentconcentratie in de eroderende stoming (83). Partheniades (84) formuleerde een lineair verband :

$$E = M (\tau_b / \tau_{ce} - 1)$$

waarin M een constante is, de erosieconstante genoemd.

Later onderzoek wijst eerder op een formulering waarbij M/τ_{ce} constant is (82), (85) en een waarde heeft van ± 0.002 .

Voor de Schelde werden waarden gevonden (86) :

$$5 \cdot 10^{-5} < M < 7 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m}^2/\text{s}$$

7. SEDIMENTTRANSPORTMETINGEN IN HET SCHELDE-ESTUARIUM

7.1 Inleiding

Vooraleer in te gaan op het overzicht van de uitgevoerde sedimenttransportmetingen in het Schelde-estuarium, verdient het aanbeveling te onderlijnen dat onderscheid dient gemaakt te worden tussen zand- en slibtransport. In vele gevallen wordt enkel de totale hoeveelheid sediment in suspensie bemonsterd, zonder onderscheid tussen de fijne en de grovere fractie. Bovendien dient erop gewezen te worden dat de sedimentconcentratie (zowel slib als zand) sterk varieert over de waterkolom en over de breedte van de Schelde. Daarnaast zijn er variaties gedurende het getij, binnen de cyclus doodtij-springtij-doodtij en seizoensvariaties. Dit houdt in dat een bemonstering van de sedimentconcentratie enkel door het nemen van oppervlaktemonsters slechts resulteert in een pover beeld van het sedimentgedrag.

Inzake de variatie van het sedimenttransport langsheen de langsas van de Schelde zijn een aantal langsprofielen gekend in het begin van de jaren 70 (68) en (87) en globaal over de periode 1970-1990 (88).

Tijdens de evaluatie van de beschikbare gegevens voor de Liefkenshoek tunnel (89) werd duidelijk dat er een grondige kennis was van het hydraulisch regime van de Schelde, maar bleek er met betrekking tot het sedimenttransport een tekort aan gegevens. Er is geen continue registratie van het slibtransport in de Schelde, noch wat betreft langsprofielen noch inzake dwarsverdeling, noch op het vlak van variaties in de tijd in vaste meetstations. De gegevens beperkten zich voor de omgeving van Liefkenshoek tot één 13-uursmeting (28 april 1987), gedurende dewelke er in één meetpunt turbiditeit werd gemeten (90). Voor Oosterweel, naar aanleiding van de studie van de stormvloedkering, zijn gegevens ter beschikking uit een meetcampagne die uitgevoerd werd door Hydraulics Research (80). Ter hoogte van de Drempel van Zandvliet werden recent stroom- en sedimentmetingen uitgevoerd door het Studieconsortium IMDC-WL Borgerhout (91) die een aanvulling vormen bij de gegevens die verzameld werden ter hoogte van de toegangsgeul Zandvliet-Berendrecht (92).

Inzake zandtransport waren er tot 1988 nauwelijks gegevens te

vinden. Enkel gedurende een beperkte meting (16 mei 1988) werd ter hoogte van Liefkenhoek de zandconcentratie gemeten in één meetpunt, in een beperkt aantal punten over de verticaal.

De afgelopen jaren werd, gezien de beschikbaarheid van aangepaste en hoogtechnologische apparatuur (93), in het kader van de studie van de Liefkenshoektunnel en de Containerkaai Noord een hele serie 13-uursmetingen uitgevoerd alsook een aantal langdurige stroom- en sedimentmetingen.

7.2 13-uursmetingen

Het zou te ver leiden alle stroom- en sedimentmetingen hier te vermelden die in het Schelde-estuarium werden uitgevoerd. Daarom wordt in tabel 7.1 een overzicht gegeven van de metingen in de periode 1985-1990, voor wat betreft de metingen op Belgisch grondgebied en 1987-1990 voor de Schelde op Nederlands grondgebied. Naast de datum en de plaats van de meting wordt tevens aangegeven bij welk getij (doodtij, gemiddeld getij of springtij) werd gemeten en welke grootheden gemeten werden :

- stroomsnelheid [V]
- stroomrichting [R]
- temperatuur [T]
- conductiviteit [C]
- slibconcentratie [S]
- zandconcentratie [Z]

Tabel 7.1 : Overzicht der stroom- en sedimentmetingen in het Schelde-estuarium 1985-1990

Datum	Plaats	Getij	Grootheden
27/05/87 02-03/06/87	Schaar van Waarde		V,R,
14/10/87 18/11/87	Pas van Terneuzen	DT GT	V,R,S,Z V,R,S,Z

03/03/88 17/03/88 19/05/88 26/05/88 10/06/88 21/06/88	Middelgat		V,R V,R,S V,R,S V,R,S V,R,S V,R,S
15/09/88 29-30/09/88 11/10/88	Raai 5 Schaar van Valkenisse	ST ST ST	V,R,Z
15/09/88 29-30/09/88 11/10/88	Raai 3 Schaar van Valkenisse	ST ST ST	V,R,Z
15/09/88 29-30/09/88 11/10/88	Schaar van Valkenisse	ST ST ST	V,R,Z
02/06/88	Raai 6	ST	V,R,S
25/10/88	Nauw van Bath		V,R,S
04/04/89	Nauw van Bath	ST	V,R,S,Z
03/10/89	Raai 6- Middelgat, Overl.Hanswee rt	ST	V,R,Z

06/04/89	Pas van Terneuzen	ST	V,R,S,Z
10/04/89	Hoofdplaat	ST	V,R,S,Z
12/04/89	Schaar van de Noord	GT	V,R,S
02/11/89	Honte- Vaarwater Hoofdplaat	GT	V,R,S,Z
30/31/08/90	Oostelijk	DT	V,R,T,C,S,Z
05-06/09/90	deel	ST	V,R,T,C,S,Z
10-18/09/90	Westerschelde	ST	
08/05/90	Honte	ST	V,R,S,Z
26-30/9/86	Kallo	DT	V,R,T,C,S
03/10/86		ST	V,R,T,C,S
28/04/87	Liefkenshoek	ST	V,T,C,S
16/05/88	Liefkenshoek	ST	V,S
25/01/89	Liefkenshoek	ST	V,R,T,C,S,Z
14/10/89	Liefkenshoek	ST	V,R,T,C,S,Z
23/11/89	Liefkenshoek	DT	V,R,T,C,S,Z
04/04/89	Zandvliet- Berendrecht	ST	V,R,T,C,S
27/09/90	Drempel van Zandvliet	DT	V,R,T,C,S,Z
04/10/90	Drempel van Zandvliet	ST	V,R,T,C,S,Z

Tabel 7.1 (vervolg): Overzicht der stroom- en sedimentmetingen in het Schelde-estuarium 1985-1990

7.3 Langdurige stroom-en sedimentmetingen

De opvolging van de snelheid en de sedimentconcentratie over meerdere getijden is uitermate belangrijk om inzicht te verwerven in de variabiliteit van de deze grootheden van

doodtij naar springtij en tussen winter en zomerregime. Niettemin zijn dergelijke meetprogramma's niet in uitvoering, wel werden in de afgelopen jaren in het kader van infrastructuurwerken langdurige meetcampagnes opgezet.

Ter hoogte van Oosterweel werden door de Antwerpse Zeediensten turbiditeitsmetingen uitgevoerd van 1983-1985 op een diepte van 0.5, 4 en 8m onder het oppervlak (94), de resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 7.2.

Tabel 7.2 : Turbiditeit Oosterweel
Bron (94)

Diepte [m]	Jaar	Gemiddeld		Maximum		Minimum	
		Vloed	Eb	Vloed	Eb	Vloed	Eb
0.5	1983	-	-	-	-	-	-
	1984	113	61	328	181	32	21
	1985	163	86	473	274	20	18
	83/85	138	74	473	274	20	18
4.0	1983	126	101	306	206	17	22
	1984	145	110	399	277	46	47
	1985	186	140	594	435	20	18
	83/85	152	117	594	435	17	18
8.0	1983	258	215	794	401	29	47
	1984	317	279	480	505	114	146
	1985	412	349	1153	774	107	101
	83/85	329	281	1153	774	29	47

In het kader van de werken voor de Liefkenshoektunnel werden twee langdurige metingen uitgevoerd (95):

08/02 - 25/05/89 en

13/10/89 - 09/01/90.

Deze metingen vonden plaats ter hoogte van de tijpost Liefkenshoek. Gedurende deze meetseries werden volgende grootheden gemeten op ± 1 m boven de bodem : snelheid, richting, temperatuur, zoutgehalte, slib- en zandconcentratie.

Alle gemeten grootheden werden samengevoegd in een databestand dat moet toelaten dagrapporten te maken. De meetresultaten werden per dag gerapporteerd, daarnaast werden de onderscheiden grootheden per cyclus doottij-springtij-doottij uitgetekend. Uit een visuele beoordeling van de bekomen grafieken volgt een duidelijke variatie van de maximale snelheid met de amplitude van het getij, gekoppeld aan een toename van de zandconcentratie rond springtij. De slibconcentratie is minder sterk gekoppeld aan de doottij-

springtij cyclus, wat ook kan gezegd worden van de saliniteit. Ook werden voor de eerste meetperiode getijgemiddelde waarden berekend voor respectievelijk vloed en eb, resulterend in 204 getijgemiddelde observaties. Deze zijn samengebracht in tabel 7.3 waarbij het gemiddelde (μ) en de spreiding (σ) voor de volledige meetreeks zijn aangegeven.

Karakteristiek		Vloed		Eb	
		μ	σ	μ	σ
Snelheid	[cm/s]	51.8	6.0	17.2	4.4
Slibconcentratie	[mg/l]	242	140	174	111
Zandconcentratie	[mg/l]	8.1	11.5	6.6	9.3
Temperatuur	[°C]	11.2	3.4	11.1	3.4
Saliniteit	[g/l]	4.92	1.46	5.18	1.59
Amplitude	[m]	4.99	0.79	4.99	0.76

De gemiddelde amplitude die aldus berekend werd (4.99m) komt goed overeen met de amplitude van het gemiddeld getij van de periode 1971-1980 (4.93m) in Liefkenshoek. Deze geringe toename van de amplitude volgt de tendens van stijgende getijvariatiën welke de afgelopen decennia is vastgesteld. Gezien de gemiddelde waarden zo goed overeenstemmen kunnen de gemeten grootheden als representatief beschouwd worden voor het hydraulisch, morfologisch regime ter hoogte van Liefkenshoek.

Rekening houdend met de ruimtelijke variatie van de slibconcentratie enerzijds en de vereiste omrekening tussen turbiditeit en slibconcentratie anderzijds geven de bovenstaande meetreeksen de grootte-orde aan van de gemiddelde slibconcentratie in het turbiditeitsmaximum (op ± 1 m van de bodem) :

vloed : slibconcentratie = ± 250 mg/l
 eb = ± 175 mg/l

Aangezien deze gegevens slechts op 1 punt in de dwarsdoorsnede werden gemeten is een extrapolatie naar de volledige doorsnede niet aan te bevelen.

8. Kwalitatieve slibbalans

Integratie van de gegevens inzake de bronnen van het particulier materiaal, de baggeractiviteiten in de Schelde, het gedrag van de onderwaterbodem en de gemeten slibconcentraties in de de Schelde moeten theoretisch toelaten een sedimentbalans op te stellen voor de beschouwde jaren. De beperkte beschikbaarheid van coherente gegevens laat dit niet toe.

Manni (67) geeft een overzicht van de slibbalansen voor de Westerschelde en geeft een schatting van de totale afzetting in de Beneden Zeeschelde (zie tabel 8.1). Bij het opmaken van een inventaris van de slibhoeveelheden in de Beneden Zeeschelde werden eveneens grootte-orde geschat van de hoeveelheden slib die getransporteerd worden en die zich afzetten (75).

Tabel 8.1 : Slibbalans Beneden Zeeschelde

Slib [10 ³ ton/jaar]	Manni	Wollast	Salomons	Eigen berekening
Aanvoer				
-terrestrisch				340 - 640
-lateraal				10 - 32
-atmosferisch				< 1
-totaal	1000	1520	800	350 - 700
Sedimentatie	300	1200	660	510
Afvoer naar Westerschelde	700	320		0-200

Uit bovenstaande gegevens blijkt duidelijk dat het opmaken van een slibbalans voor de Beneden Zeeschelde slechts leidt tot conclusies die zeer globaal van aard zijn en die de noodzaak onderstrepen van permanente monitoring van het slibproces.

11.Referenties

1. Roovers, P. et al. (1977) Mathematisch model van het tijgebied der Schelde. Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout, MOD. 331-1, 42 p. + bijlagen.
2. Roovers, P. et al. (1978) Topografische kenmerken van het Scheldebekken. Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout. 21 p. + bijlagen.
3. van Maldegem, D.C. (1987) 1e benadering slibbalans Westerschelde. Rijkswaterstaat, dienst getijdewateren. Nota GWA0-87.101, 68 p.+ bijlagen.
4. Holland, A. et al. (1991) De belasting van het Schelde-estuarium (1980-1988). Rijkswaterstaat, dienst getijdewateren. SAWES-nota 91.07, 74 p. + bijlagen.
5. An. (1986) Het waterbeheer in het Zoommeer na 1987. Rijkswaterstaat, directie Zeeland. 114 p. + bijlagen.
6. Belmans, H. (1991) Debieten van het Scheldebekken. Maand- en jaargemiddelden 1981-1990. Antwerpse Zeediensten, 11 p.
7. Ludikhuizen, D. (1989) Scheldt River Basin Study. International Centre for Water Studies, Amsterdam. Nr. 89.09. 45 p. + bijlagen.
8. Claessens, J. (1988) Het hydraulisch regime van de Schelde. Water nr. 43, p. 163-169.
9. Rietman, F. (1990) Project "Monitoring Schelde". Identificatie puntbronnen tussen Gent en de Belgisch-Nederlandse grens. Meetcampagne 1989. International Centre of Water Studies, Amsterdam, 26 p. + bijlagen.
10. An. (1983) Schelde. Kwaliteit tussen Hansweert en Burcht en van de bijrivieren, periode 1972-1982. Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout. 2 volumes.

11. Wattel, G. en Schouwenaar, A. (1991) De bestanden met hieruit de berekende belasting van het Schelde-estuarium over de periode 1980-1988. SAWES-nota 91.06. Rijkswaterstaat, dienst Getijdewateren.
12. An. (1989) Beleidsplan Westerschelde. De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde. Deelrapport 1: zuurstofhuishouding en nutriëntenhuishouding. Rijkswaterstaat, dienst getijdewateren en directie Zeeland, 78 p. + bijlagen.
13. Wollast, R., Marijns, A. (1981) Evaluation des contributions des différentes sources de matière en suspension à l'envasement de l'Escaut. U.L.B. - Laboratoire d'océanographie. 151 p.
14. Emissiemetingen Vlaamse Milieumaatschappij 1990.
15. Van der Beken, A. et al (1985). Alternatieve waterzuiveringstechnieken. Geïntegreerd waterkwaliteitsbeheer in landelijke gebieden. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 247 p.
16. Van der Graaf, S.H.J. et al (1988). Individuele behandeling van afvalwater bij verspreide bebouwing. Functioneren behandelingssystemen onder praktijkomstandigheden. Ministerie VROM, 's Gravenhage, 205 p. + bijlagen.
17. An. (1985) Het inwoner-equivalent getoetst. STORA-rapport. Ministerie VROM, 's Gravenhage.
18. Berlamont, J. (1987) Nieuwe richtlijnen voor het ontwerp en de berekening van rioolstelsels in Vlaanderen. KUL, Laboratorium voor Hydraulica, 90 p. + bijlagen.
19. Schurmans, Y. (1989) Rioolslib en septisch materiaal. Voorbereiding ontwerpplan 1991-1995. OVAM, directie planning. 42 p. + bijlagen.
20. Koot, A.C.J. (1980) Behandeling van afvalwater. Waltman, Delft, 393 p.

21. De Jonge, E. (1990) Financieel-economische aspecten van het oppervlaktewaterbeleid: rioleren en zuiveren tot elke prijs ? R.U.G. - Centrum voor Milieusanering, afstudeerwerk, 189 p. + bijlagen.
22. Vlaamse Maatschappij voor Waterzuivering. Jaarverslag 1989.
23. An. (1990) Liste des stations d'épuration d'eaux usées classés par association intercommunale. Région Wallonne, direction générale de l'eau.
24. Kelchtermans, T. (1989) MINA-plan 2000. Analyse en voorstellen voor een vernieuwd Vlaams milieu- en natuurbeleid. 347 p.
25. Gegevens I.N.S.E.E.
26. De Nijs, W. (1973) Belasting van het Belgisch hydrografisch net door lozing van afvalwater. Synthese Rapport. Ministerie van Volksgezondheid en van het Gezin.
27. Kelchtermans, T. (1990) Milieubeleidsplan en natuurontwikkelingsplan voor Vlaanderen. Voorstellen voor 1990-1995. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 2 boekdelen.
28. Verstraete, W. et al (1981) Biogas. Stichting Leefmilieu. Leefmilieu-dossier nr. 6, 207 p.
29. N.I.S. - landbouwtellingsgegevens 15.5.1985 en 15.5.1989
30. Wischmeier, W.H. (1976) Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation, vol. 31, nr., p. 5-9.
31. Bollinne, A. (1985) Adjusting the universal soil loss equation for use in Western Europe. Extrait de: Soil Erosion and Conservation. Soil Conservation Society of America, p. 206-213.

32. De Ploey, J. (1979) Actieve hellingserosie in België. Bull. Belg. Ver. voor Geologie, vol. 88, deel 2, p. 137-142.
33. Pauwels, J.M. et al. (1980) Soil erodibility map of Belgium. In : Assessment of erosion, De Boodt and Gabriels (eds.), John Wiley & Son, 1980, p. 193 - 201.
34. Bollinne, A., Pissart, A. (1978) L'érosion des sols limoneux cultivés de la Hesbaye. Aperçu général. Pédologie, XXVIII, 2, p. 161-182.
35. Boon, W., Savat, J. (1980) Computerkartering van geultjes-erosie in het Belgische Scheldebekken. Tijdschrift van de Belgische Vereniging voor Aardrijkskundige Studies. Jaargang XLIX, nr. 2, p. 227-252.
36. Lamalle, C. et al. (1989) les transports en suspension et en solution dans la Burdinale, affluent principal de la Méhaigne. Bull. Soc. Géographique de Liège, 25, 39-51.
37. Williams, J.R. (1975) Sediment yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources. U.S. Dept. Agric. ARS-S-40, p. 244-252.
38. Jackson, W.L. et al. (1977) Use of the Modified Universal Soil Loss Equation for average annual sediment yield estimates on small rangeland drainage basins. In: Erosion and solid matter transport in inland waters. IAHS-publication no. 122, p. 413-422.
39. Fleming, G. (1969) Design curves for suspended load estimation. Proc. Inst. of Civ. Eng. 43: 1-9.
40. Mitchell, J.K. et al. (1980) Soil Erosion. J. Wiley, p. 56.
41. Gilles, M., Lorent, J. (1966) Debiet en lading van de Dijle. Acta Geographica Lovaniensia, 4, p. 48-56.

42. Sine, L., Agneessens, J.P. (1978) Etude des débits solides et du phénomène de migration dans une rivière drainant un bassin agricole. *Pédologie*, XXVIII, 2, p. 183-191.
43. Close-Lecocq, J.F. (1981) Les transports en suspension de la Meuse à Liège et à Tailfer (avec observations sur les transports en solution à Liège). *Mémoire lic. en Sciences Géographiques*, ULg, 184 p.
44. Verbeelen, D. (1987) Meetmethodiek en studie van het sedimenttransport van de Dijle. VUB - dienst hydrologie, afstudeerwerk, 123 p.
45. Lemin, G. et al (1987) Les transports en suspension de la Meuse, l'Ourthe et la Hoegne. *Bull. Soc. Géographique de Liège*, 22-23, p. 39-61.
46. Ayala, M. (1988) Sediment transport in the Hunselbeek. Interuniversity Postgraduate Programme in Hydrology. Faculty of Applied Science. VUB, Brussels, 108 p.
47. Holeman, J.N. (1968) Sediment yield of Major Rivers of the World. *Water Resources Research*, vol. 4, no. 4, p. 737-747.
48. Maton, A. (1991) Beschikbare gegevens inzake sedimentafvoeren. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. Rijksstation voor Landbouwtechniek, 12 p.
49. De Schutter, J. (1991) Sedimenttransportmetingen op de Kleine Nete en de Aa. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap - Landbouwstructuren. Persoonlijke mededeling.
50. Ferguson, R.I. (1987) Accuracy and precision of methods for estimating river loads. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, p. 95-104.
51. Singh, K.P., Durgunoglu, A. (1989) Developing accurate and reliable stream yields. In: *Sediment and the environment*, IAHS-publication no. 184, p. 193-199.

52. Ferguson, R.I. (1986) River loads underestimated by rating curves. Water Resources Research, 1, p. 48-56.
53. Walling, D.E. (1986) Limitations of the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers. In: Hadley, R.F. (1986) Drainage basin sediment delivery. IAHS-publication no. 159, p. 34-48.
54. Parker, R.S. (1988) Uncertainties in defining the suspended sediment budget for large drainage bassins. In: Sediment budgets, IAHS-publication no. 174, p. 523-532.
55. An. (1980) Statistiek van de Bodembezetting op 1.1.1980. Nationaal Instituut voor de Statistiek, Brussel, 633 p.
56. Julien, P.Y., Frenette, M. (1977) Scale effects in predicting soil erosion. In: Erosion and solid matter transport in inland waters. IAHS-publication no. 122, p. 251-259.
57. Demoen, J. (1989) Naar een nieuwe aanpak van de berging van onderhoudsbaggerspecie van de bevaarbare waterlopen. Water nr. 47, p. 117-120.
58. gegevens Provinciale Technische Dienst Brabant
59. gegevens Stroomgebied der Schelde (1e directie) (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap)
60. gegevens Stroomgebied der Schelde (2e directie) (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap)
61. Deschamps, A., Gheysen, K. (1987) Planologische benadering van de baggerproblematiek in de Gentse regio, gebruikmakend van evaluatietechnieken. R.U.G. - Interfacultair Centrum voor Stedebouw, Ruimtelijke Ordening en Ontwikkeling. Afstudeerwerk, 201 p. + bijlagen.
62. gegevens nv Zeekanaal en Haveninrichtingen van Brussel

63. gegevens Dienst der Kolenafvoerkanalen
64. Buydts, H., Cosyn, J. (1989) De toepassing van hydrocyclonen op het kanaal Brussel-Charleroi te Anderlecht. Water nr. 47, p. 134-136.
65. Senten, R., Charlier, R.H. (1984) Composition of waters and sediments in the Antwerp Harbor. Environmental Geology, Vol. 5, no. 3, p. 139-165.
66. An. (1988) Pilootproject voor de behandeling van het slib van de Laak. Eindrapport mei 1988. OVAM, 50 p.
67. Manni, R.J. (1986) Slibtransport en slibbalans in de Westerschelde. Reeks Westerscheldestudies rapport nr. 4. Rijkswaterstaat - Vlissingen.
68. Peters, J.J. (1972) Transport de sédiments dans l'estuaire de l'Escaut.
69. vzw WEL en vzw AGHA (1988) De Schelde - toegang tot Antwerpen. Water nr. 43 (artikels P. Rovers, H. Belmans, en J. Claessens)
70. Wens, F. (1977) Mathematisch model van het tijgebied der Schelde (Mod.331-1). Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout, 21 p.
71. Wollast, R., Debroeu, F., Halberthal, I., Hoenig, M., Szejnberg, H., Vanderborght, J.P. en Vinikas, B. (1973) Origine et mécanismes de l'envasement de l'estuaire de l'Escaut. Rapport de synthèse. U.L.B. Faculté des Sciences Appliquées. Institut de Chimie Industrielle, 140 p.
72. An. (1990) De chemische kwaliteit van baggerspecie in de Westerschelde en de Zeeschelde tussen de Drempel van Krankeloon en de Sluissche Hompels, Deel I. Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie, Departement Leefmilieu Afdeling Water en Bodem.
73. Swart, J.P. (1987) Onderzoek verhouding marien/fluviatiel slib in de Westerschelde. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Nota NXL-87.015. 14 p.

74. An. (1975) Voorkomen en gedrag van zware metalen in slib uit de Westerschelde. Waterloopkundig Laboratorium, Instituut voor bodemvruchtbaarheid. Verslag onderzoek R994, mei 1975.
75. I.M.D.C. (1990) Rivierbodemsanering en landschapsbouw : het nuttig gebruik van baggerspecie uit de Antwerpse regio. Eindrapport 126 - 90.10.02.
76. Bastin, A.L. (1988) Schelde : Lithologische kaart 1986 - 1987. Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, 9 p.
77. Wartel, S. (1992)

In voorbereiding
78. I.M.D.C. (1987) Studie betreffende de aanslibbing in de Kallosluis. Interimrapport 2, 906 - 88.01.02.
79. Metha, A.J., Hayter, E.J., Parker, W.R., Krone, R.B., Teeter, A.M. (1989) Cohesive Sediment Transport. I : Process Description & II : Application. ASCE Journ. of Hydr. Eng., Vol 115, No. 8, pp. 1076-1112.
80. An. (1980). River Scheldt Surge Barrier - Study of estuary sediments. Hydr. Research Station, Ex. 928.
81. Krone, R.B. (1962) Flume studies of the transport of sediment in estuarine shoaling processes. Tech. Report, Hydr. Laboratory, Univ. of California, Berkeley, California.
82. Delo, A. (1988) Estuarine muds manual, Hydraulics Research Wallingford, SR 164.
83. Odd, N., Owen, M. (1972), A two-layer model of mud transport in the Thames Estuary, Proc. of the Institution of Civil Eng, Paper 7517S.
84. Partheniades, E. (1962) A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water, PhD Thesis, Univ. of California.

85. Puls, W. (1984) Erosion characteristics of estuarine muds, Hydraulics Research Wallingford, IT 265.
86. Mulder, H., Udink, C. (1990) Modelling of cohesive sediment transport. A case study : the Western Scheldt Estuary, Int. Conf. on Coastal Eng, Delft.
87. Nihoul, J.C.J., Wollast, R. (1976) L'estuaire de l'Escaut. Rapport Final Projet Mer. Volume 10.
88. Van Eck, G.T., De Pauw, N., Van den Langenbergh, M., Verreet, G. (1991) Emissies, gehaltenm gedrag en effecten van (micro)verontreinigingen in het stroomgebied van de Schelde en Schelde-estuarium. Water Nr. 60, september/oktober, pp.164-181.
89. I.M.D.C. (1988) Tunnel Liefkenshoek, Onderzoek betreffende de morfologische factoren. Rapport 130-88.09.03.
90. An. (1987) Zeeschelde, stroomsnelheids- en debietmetingen Liefkenshoek, 28 april 1987. Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Antwerpse Zeediensten. Verslag nr. AZ.87.3.
91. I.M.D.C.- WLB (1991) Hydraulisch- sedimentologisch onderzoek. Metingen van 27/09 en 04/10/90. (in voorbereiding)
92. I.M.D.C. (1990) Toegangsgeul Zandvliet - Berendrecht. Meetcampagne t.b.v. de Baggerwerken. Rapport 922-90.03.02.
93. Sas, M. (1990) Sedimenttransportmetingen in de Schelde, KVIV lessenreeks Hydraulica in de praktijk.
94. An. (1987) Zeeschelde, Temperatuur en zoutgehalte 1981-1985. Verslag AZ.87/2.
95. I.M.D.C. (1989) Tunnel Liefkenshoek, Onderzoek betreffende de morfologische factoren (2D). Langdurige stroom- en sedimentmeting. Rapport 138-89.11.06.

