

**notitie** GWAO 89.1255

Aan : deelnemers      SAWES werkgroepen en belangstellenden  
Van :                    ing. D.C.van Maldegem  
Datum :                21 mei 1990  
Onderwerp :            Schatting natuurlijke slibtransporten  
                         op de Belgisch-Nederlandse grens van  
                         het Scheldeestuarium

Deze notitie bevat de resultaten van een  
onderbouwende studie voor de  
NOTA SLIBTRANSPORTEN IN HET SCHELDEESTUARIUM

Deze notitie is samengesteld ten behoeve van het projekt SAWES (transport)

N.B. In deze notitie wordt het Scheldeestuarium stroomopwaarts van de  
Belgisch-Nederlandse grens " Belgische Schelde " genoemd.

## INHOUD

1.0 Inleiding

2.0 Netto slibtransporten op de Belgisch-Nederlandse grens

2.1 Algemeen

2.2 Benadering 1 : Mariene- en fluviatiele slibbalans  
Belgische Schelde

2.3 Benadering 2 : Advectief en dispersief slibtransport uit  
berging tussen grens en concentratieminimum

2.4 Benadering 3 : Fluviatiel slibtransport naar het  
Land van Saeftinge

3.0 Weging van de berekende netto slibtransporten

4.0 Bruto slibtransporten op de Belgisch -Nederlandse grens

5.0 Konklusies

Geraadpleegde literatuur

Bijlagenlijst

## 1.0 Inleiding

Onderzoek naar het fenomeen slibtransport heeft de belangstelling omdat slib de drager is van microverontreinigingen.

De slibtransporten op de Belgisch-Nederlandse grens zijn een belangrijk gegeven voor de mate van grensoverschrijdende vervuiling en bij saneringsmaatregelen op Belgisch gebied.

Door diverse onderzoekers (Bakker, Wollast, Salomons, Steyaert e.a.) zijn vanaf 1970 berekeningen en/of schattingen gemaakt voor het slibtransport op de Belgisch-Nederlandse grens van het Scheldeestuarium ter hoogte van Prosperpolder. Deze studies hebben onder andere bijgedragen aan het recent verschenen beleidsplan Westerschelde (april 1989)

Binnen het projekt SAWES zijn de berekende slibtransporten noodzakelijk voor de modellering van de stoftransporten. Het geheel van slibtransporten, de zgn. slibbalans ( en daarin voorkomende transporten ) wordt benaderd door binnen de grenzen van een te verklaren sedimentbalans (zand + slib) een aantal schattingen te geven voor de slibtransporten.

De slibbalans wordt besproken in het perspectief van sediment- en zandbalans, want door het geringe percentage slib in het sediment is het slibprobleem eigenlijk een zandprobleem. De gekozen tijdsperiode voor het opstellen van de zandbalans (1968 - 1981) werd bepaald door de tijdstippen, waarin de dwarsprofielen van de Belgische Schelde zijn opgemeten.

De slibbalans geeft een gemiddeld jaarbeeld voor de periode van globaal de afgelopen 20 jaar (1970 - 1990).

In deze balans is de slibbelasting vanuit België essentieel voor de goede orde van grootte van de slibtransporten. Deze notitie bespreekt daarom de resulterende netto slibbelasting naar en vanuit België (hoofdstuk 2 en 3).

In hoofdstuk 4 wordt daarnaast een schatting gegeven van de bruto slibtransporten, die met ieder getij langs de Belgisch-Nederlandse grens heen en weer pendelen.

In deze notitie is slib gedefinieerd als het sediment  $< 63 \mu$ .

IN DEZE NOTITIE WORDT ZONDER VERWIJZING STEEDS GEBRUIK  
GEMAAKT VAN DE GEGEVENS UIT DE BIJLAGEN

## 2.0 NETTO SLIBTRANSPORTEN OP DE BELGISCH-NEDERLANDSE GRENS

### 2.1 Algemeen

Op de Belgisch Nederlandse grens bevat het slib in het water en de waterbodem ca. 10 tot 40 % materiaal van mariene oorsprong [10,12]. Uit recent onderzoek blijkt dat de variatie van de verhouding marien/fluviatiel materiaal gedurende een jaar waarschijnlijk gering is [8].

Getijbeweging, afvoer en diffusie zorgen voor netto import van marien slib en netto export van fluviatiel slib. Deze posten zijn in de sedimentbalans op basis van literatuurgegevens voorlopig gesteld op:

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| Fluviatiel transport      | 280000 t/jaar |
| Marien transport          | 90000 t/jaar  |
| → Resultierend slibexport | 190000 t/jaar |

Een nadere verifikatie is van deze posten is gewenst. Dit is echter niet eenvoudig.

De indruk bestaat dat ca. 0.5 miljoen m<sup>3</sup> sediment/jaar via de waterfase stroomopwaarts wordt getransporteerd ter hoogte van de Belgisch - Nederlandse grens. Het aangevoerde sediment (voornamelijk zand) is afkomstig van een gebied tot max. de lengte van de getijweg  $\approx 13$  km. Stel dat het zand gemiddeld afkomstig is van een  $3/4$  getijweg. Het oppervlaktegemiddelde slibpercentage van de geulen tot 10 km voor de landgrens bedraagt ca. 2%.

Indien slib zich fysisch zou gedragen zoals zand betekent dit een netto import van  $0.5 \cdot 10^6 \cdot 0.02 \approx 10000$  ton marien slib i.p.v. 90000 ton/jaar. Dit is gezien de beschikbare gegevens onrealistisch.

Slib gedraagt zich in werkelijkheid zeker in het zout/zoet overgangsgebied fysisch anders dan zand door het proces van flokkulatie. Verder zijn de fijne slibdeeltjes veel gevoeliger voor sedimentatie en erosie, waardoor aannemelijk te maken is dat 10000 ton een duidelijke onderschatting is van de mariene import.

De verhouding 60 tot 90% fluviatiel tegen 10 tot 40% marien materiaal [8,12] in het water en de waterbodem nabij de Belgisch-Nederlandse grens geeft aan dat menging van marien en fluviatiel slib plaatsvindt. Deze menging wijst in ieder geval op import van marien slib en export van fluviatiel slib via de waterfase.

Om de slibtransporten te bepalen zijn ter aanvulling van de voorgaande schatting volgens drie verschillende methoden de slibtransporten geschat. Deze schattingen betreffen het natuurlijk slibtransport. In het vervolg van dit hoofdstuk behandeld worden deze schattingen behandeld.

## 2.2 Benadering 1 : Mariene- en fluviatiele slibbalans Belgische Schelde ( zie Bijlage 15)

Bij deze benadering worden de volgende aannamen gedaan:

1. De mariene slibimport zet zich af tussen de grens en Rupel.
2. De fractie fluviatiel slib bedraagt op de grens 0.7 ( $\sigma=0.2$ ).
3. De fractie fluviatiel slib bedraagt in de Belgische Schelde tussen de grens en Rupel 0.8 zowel in het water als in de waterbodem.
4. De fout in de slibaanvoer vanuit België bedraagt 20%.

De slibbalansen zijn opgesteld voor het fluviatiel zwevende materiaal, het fluviatiele bezinkbare materiaal en het mariene bezinkbare materiaal

Na oplossen van de 6 vergelijkingen met 6 onbekenden zijn de volgende transporten op de Belgisch-Nederlandse grens berekend:

- Fluviatiel transport 334000 t/jaar ( $\sigma=82000$ )
- Marien transport 24000 t/jaar ( $\sigma=36000$ )

## 2.3 Benadering 2: Mariene en fluviatiele slibbalans van het gebied tussen de grens en het concentratiemimum bij Hansweert

Schematische voorstelling slibtransporten in het Scheldeestuarium tussen de Belgisch-Nederlandse grens en Hansweert. In de figuur is de pijl-richting aangegeven volgens de veronderstelde transportrichting.

|        |     |           |                           |
|--------|-----|-----------|---------------------------|
| → Talf |     | → Ta2f    | verklaring: a = advectief |
| → Talm | △Bm | → Ta2m    | d = dispersief            |
| → Tdlf | △Bf | → Td2f    | f = fluviatiel            |
| ← Tdlm |     | ← Td2m    | m = marien                |
| -----  |     |           |                           |
| grens  |     | Hansweert | 1 = Belg./Ned. grens      |
|        |     |           | 2 = omgeving Hansweert    |

Ter hoogte van Hansweert is sprake van een minimum in het verloop van de slibconcentratie. Verondersteld wordt dat t.g.v. dit buigpunt het dispersieve transport getijgemiddeld verwaarloosbaar is. Uit het voorkomen van marien slib tot op Belgisch gebied blijkt dat echter dispersief transport aanwezig moet zijn. Daarom wordt gesteld dat  $Td2f + Td2m = 0$

De afzonderlijke balansen voor fluviatiel- en marien slib zijn als volgt:

$$\begin{aligned} Talf + Tdlf - Ta2f - Td2f &= \triangle Bf \\ Talm - Tdlm - Ta2m - Td2m &= \triangle Bm \end{aligned}$$

Aannamen:

1. De waarden voor de advectieve transporten zijn gebaseerd op de debietgewogen slibtransporten van de Scheldeafvoer.
2. De mariene- en fluviatiele advectieve en dispersieve transportdelen zijn gebaseerd op de verhouding fluviatiel/marien in het slib van de waterbodem nabij de grens. Deze verhouding van ca. 0.75 / 0.25 mag feitelijk alleen worden gebruikt voor getijgemiddelde situaties.

Invulling van de balansen geeft:

$$\begin{aligned} 11.7 + Tdlf - 2.6 - Td2f &= 9.4 \rightarrow Tdlf - Td2f = 0.3 \quad \dots\dots\dots(1) \\ 3.9 - Tdlm - 4.8 - Td2m &= 7.3 \rightarrow -Td2m - Td2m = 8.2 \quad \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

Sommatie van (1) en (2) en  $Td2f + Td2m = 0 \rightarrow Tdlf - Tdlm = 8.5$

Uit aanname 2 volgt dat  $Tdlf \approx 3 \cdot Tdlm$

Konklusie:  $Tdlm \approx 4.3$  en  $Tdlf \approx 12.8$

Hieruit volgt:

- totaal fluviatiel :  $Talf + Tdlf = 11.7 + 12.8 = 24.5 \text{ kg/s}$  stroomafwaarts
- totaal marien :  $Talm + Tdlm = 3.9 - 4.3 = -0.4 \text{ kg/s}$  stroomopwaarts

Uit deze benadering zijn zodoende de volgende slibtransporten op de Belgisch-Nederlandse grens berekend:

- Fluviatiel transport 773000 t/jaar (schatting  $\sigma \approx 400000$ )
- Marien transport 13000 t/jaar (schatting  $\sigma \approx 100000$ )

#### 2.4 Benadering 3 : Uit fluviatiel slibtransport naar het Land van Saeftinge

De opslibbing van het Land van Saeftinge bedraagt  $410.10^3$  ton/jaar [8].  
Het percentage fluviatiel slib in de waterbodem in de omgeving van het Land van Saeftinge is als volgt [6,11]:

- Belgisch-Nederlandse grens      ca. 75%
- Baalhoek                              ca. 45%

Indien ervan wordt uitgegaan dat de verandering in deze verhouding alleen een gevolg is van de aanslibbing van het Land van Saeftinge, kan gesteld worden dat ongeveer 30% van het fluviatiele materiaal verdwenen is tussen de grens en Baalhoek ( $\sigma \approx 14\%$ ).

Het percentage fluviatiel slib in de schorren bedroeg in 1988 ca. 45% ( $\sigma = 10\%$ ). Dit geeft een massa van 185000 ton fluviatiel slib/jaar ( $\sigma = 40000$ ).

Indien het fluviatiel transport zeewaarts van Baalhoek als verwaarloosbaar wordt verondersteld kan het fluviatiel transport nabij de Belgisch - Nederlandse grens worden geschat op  $185000/0.75 \approx 247000$  ton/jaar.

Uit de verhouding marien/fluviatiel slib op de grens volgt dus:

|                               |                                            |
|-------------------------------|--------------------------------------------|
| Fluviatiel transport :        | 247000 ton/jaar ( $\sigma \approx 100\%$ ) |
| Marien            transport : | 82000 ton/jaar ( $\sigma \approx 100\%$ )  |

N.B. Het geringere fluviatiele slibpercentage in de schorren t.o.v. het omringende water is een gevolg van het overspoelen tijdens de hoogwater top met " meer marien " water.

### 3.0 Weging van de berekende netto slibtransporten

De berekende netto fluviatiele- en mariene transporten zijn samengevat in tabel 2:

TABEL 2 Fluviatiel- en marien slibtransport [1000 t/jaar]

| Benadering |                    | Fluviatiel transport |          | Marien transport |          | opmerking: |
|------------|--------------------|----------------------|----------|------------------|----------|------------|
| nr.        | aanduiding         | $\mu$                | $\sigma$ | $\mu$            | $\sigma$ |            |
| 0          | 1e schatting       | 280                  | 280      | 90               | 90       |            |
| 1          | slibbalans Belg.   | 334                  | 82       | 24               | 36       |            |
| 2          | slibbalans Wsch.O. | 773                  | 400      | 13               | 100      |            |
| 3          | Saeftinge          | 247                  | 247      | 82               | 82       |            |
| gemiddeld  |                    | 409                  | 252      | 52               | 77       |            |

Uit deze analyse volgt dat de transporten niet binnen een grote nauwkeurigheid zijn te bepalen. De voorlopige jaargemiddelde waarden voor het fluviatiele transport ( $\mu=338$ ,  $\mu=26$ ), die medio 1989 aan het Waterloopkundig Laboratorium zijn verstrekt op grond van slibbalans berekeningen komen redelijk overeen met de gemiddelde waarde.

Op grond van de resultaten van de verschillende benaderingen lijkt het zinnig om uit te gaan van de volgende berekende jaargemiddelde waarden:

- Fluviatiel slibtransport 409000 t/jaar ( $\sigma=252000$ )
- Marien slibtransport 52000 t/jaar ( $\sigma= 77000$ )

Aan de hand van het verloop van de slibconcentratie bij de grens gedurende een jaar zijn de jaargemiddelde slibtransporten vertaald in netto slibtransporten op de Belgisch-Nederlandse grens voor de seizoenen (Tabel 3).

TABEL 3

| Netto Slibtransporten landengrens 1000 ton/jaar |     |    |  |                    |                      |             |
|-------------------------------------------------|-----|----|--|--------------------|----------------------|-------------|
| SEIZOEN                                         |     |    |  | MARIEN             | FLUVIATIEL           | RESULTEREND |
| Maand 1                                         | t/m | 3  |  | 78                 | 614                  | 536         |
| Maand 4                                         | t/m | 6  |  | 52                 | 409                  | 357         |
| Maand 7                                         | t/m | 9  |  | 26                 | 205                  | 179         |
| Maand 10                                        | t/m | 12 |  | 52                 | 409                  | 357         |
| Jaargemiddeld                                   |     |    |  | 52 ( $\sigma=77$ ) | 409 ( $\sigma=252$ ) | 357         |

De netto slibtransporten voor de seizoenen gelden voor een tijdsstap van minimaal 3 maanden in verband met onzekerheden in debieten, accumulatie en transporten.



#### 4.0 BRUTO SLIBTRANSPORTEN OVER DE BELGISCH-NEDERLANDSE GRENS

Gedurende iedere getijperiode pendelt met de eb resp. vloedfase een hoeveelheid slib heen en weer t.o.v. de Belgisch-Nederlandse grens over een maximale afstand van ca. 13 km. Deze afstand betreft het gebied tusse de Boudewijnsluis en Baalhoek.

De eb- en vloedvolumes bedragen orde van grootte 150 miljoen m<sup>3</sup>/getij nabij de Belgisch -Nederlandse grens. Deze hoeveelheden water zijn van dezelfde orde van grootte als het watervolume in het gebied van de getijweg. De getijgolf veroorzaakt grotendeels een verdringing van het water in de lengterichting van het estuarium. Op Nederlands gebied vindt een intensieve menging met "zeewater" plaats. Dit betekent dat de verblijftijd van het water in de omgeving van de Nederlands-Belgische grensgebied kort is.

Bij de bruto slibtransporten moet onderscheid worden gemaakt naar een bruto ebtransport en een bruto vloedtransport. Dit zijn de hoeveelheden slib, die gedurende de eb- en vloedfase worden getransporteerd. Deze transporten worden benaderd door de volgende algemene formulering:

$$T = Q * c * f, \text{ waarin: } T = \text{het slibtransport tijdens de eb-, resp. vloedfase [t/getij].}$$

$$Q = \text{het eb-, resp. vloedvolume [m}^3\text{/getij].}$$

$$c = \text{de gemiddelde slibconcentratie van het eb-, resp. vloedvolume [t/m}^3\text{].}$$

$$f = \text{fractie fluviatiel-,resp. marien slib [-]}$$

Voor het kunnen toepassen van deze formulering worden de volgende aannamen gedaan:

1. De berekende eb-, en vloedvolumen op grond van de debietmetingen tussen 1970 en 1985 op de Belgisch-Nederlandse grens geven een reële verwachtingswaarde van de werkelijke volumen.
2. De gemeten slibconcentraties nabij de Belgisch-Nederlandse grens (boei 76) zijn representatief voor de slibconcentraties van eb- en vloedvolume.
3. De fracties fluviatiel- en marien slib op de grens, resp. 0.75 en 0.25, zijn representatief voor zowel het eb- als vloedtransport.

Bij de gemeten slibconcentraties is verder onderscheid gemaakt naar zomer- en winterperiode. In bijlage 18 zijn de berekeningen nader uitgewerkt.

De berekende bruto slibtransporten zijn weergegeven in de volgende tabel.

Tabel Bruto slibtransporten op Belgisch-Nederlandse grens [1000t/getij]

| Maanden   | EB-FASE    |   |        |   | VLOED-FASE |   |        |   |
|-----------|------------|---|--------|---|------------|---|--------|---|
|           | fluviatiel |   | marien |   | fluviatiel |   | marien |   |
|           | x          | σ | x      | σ | x          | σ | x      | σ |
| 1 t/m 3   | 21         | 4 | 7      | 2 | 18         | 4 | 6      | 1 |
| 4 t/m 6   | 11         | 2 | 4      | 1 | 10         | 1 | 3      | 1 |
| 7 t/m 9   | 7          | 1 | 2      | 1 | 6          | 1 | 2      | 1 |
| 10 t/m 12 | 11         | 3 | 4      | 1 | 9          | 2 | 3      | 1 |
| Jaargem.  | 12         | 1 | 4      | 1 | 11         | 1 | 4      | 1 |

Opgemerkt wordt dat de aldus berekende bruto slibtransporten een faktor 20 tot 30 maal groter zijn dan de netto slibtransporten; het verschil tussen eb- en vloeddebiet is zodoende niet significant i.v.m. de eerder berekende netto slibtransporten.

## 5. Konklusies

Op de Belgische Schelde wordt fluviatiel slib aangevoerd, die ook in de Belgische Schelde gedeeltelijk sedimenteert.

Naar verwachting wordt het grootste gedeelte van het aangevoerde fluviatiele slib door natuurlijke processen getransporteerd over de Belgisch-Nederlandse grens.

Vanuit zee vindt een veel geringer marien slibtransport over de grens plaats naar de Belgische Schelde

De bruto slibtransporten zijn een faktor 20 tot 30 maal groter dan de netto slibtransporten. Bij dit transport pendelt ieder getij t.o.v. de grens het watervolume heen en weer tussen de Boudewijnsluys en Baalhoek. Mogelijk is hieruit de sterke aanslibbing van het Land van Saeftinge te verklaren.

## Geraadpleegde Literatuur

1. Bastin A.  
Regionale sedimentologie en morfologie van de zuidelijke Noordzee en van het Scheldeestuarium.  
Katholieke universiteit Leuven proefschrift 1974.
2. D'Hondt P., Jacques T.G.  
Gesuspenderde materie in de Schelde.  
Evaluatie van een onderzoek van de ULB voor het Ministerie van Volksgezondheid.  
Water nr. 4 mei/juni 1982.
3. Hengst P. en Bollebakker G.P.  
Inhoudsberekeningen Scheldebekken traject Vlissingen - Antwerpen, Opneming 1968 - 1969.  
Rijkswaterstaat, nota WWKZ 79V018.
4. Jong H.de  
Berekening van inhouden en oppervlaktes van de Schelde en Westerschelde t.b.v. SAWES.  
Dienst Getijde Wateren, notitie GWAO-88.1314
5. Jong H.de  
Debietgegevens van de Westerschelde vanaf 1932.  
Dienst Getijde Wateren, nota GWAO-89.1004.
6. Klerk J. de  
Inhoudsberekeningen Belgische Schelde, opneming 1968 - 1969 en opneming 1981 - 1982.  
Rijkswaterstaat Dir. Zeeland ( niet gepubliceerd )
7. Maldegem D.C. van  
De bevaarbaarheid van de Westerschelde  
Rijkswaterstaat, nota's t/m WWKZ85V001
8. Maldegem D.C.van  
Verhouding marien/fluviatiel slib Scheldeestuarium medio 1987 - 1988  
Dienst Getijde Wateren, notitie GWAO-89.1287
9. Schelde de, toegang tot Antwerpen  
referatenboek colloquium van VZW WEL en VZW AGHA 1-2 december 1988.  
Water 7e jrg., nr. 43/1 - nov./dec/ 1988
10. Steyaert F., Maldegem D.van  
Research of mud transport Westerschelde  
DGW poster t.b.v. Schelde symposium van DIHO te Terneuzen mei 1987.
11. Swart J.P  
Onderzoek oppervlaktebemonsteringen slib in de Westerschelde periode '69 - '80.  
adviesdienst Vlissingen, nota WWKZ-82.V003.
12. Swart J.P.  
Onderzoek verhouding mariene-fluviatieleslib in de Westerschelde.  
Directie Zeeland nota NXL-87.015

13. Werkgroep Waterbeheer Westerschelde

De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde,  
Deelrapport 3: Slibhuishouding en bodemkwaliteit.  
Concept 7/02/1989

14. Wartel S.

Sedimentologisch onderzoek van de opbouw van het Scheldeestuarium.  
Katholieke universiteit te Leuven Proefschrift 1972.

## Bijlagenlijst

1. Schematisatie sedimentbalans Belgische Schelde en overzicht balansposten
2. Indrukken omtrent natuurlijke zandtransporten op de Belgische Schelde
3. Onderhoudsbaggerwerken op het Scheldeestuarium tussen Vlissingen en Rupel periode 1969 t/m 1981
4. Inhoudsveranderingen Belgische Schelde tussen 1969 en 1981
5. Slibimporten vanuit België op de Belgische Schelde
6. Evolutie van de waterbodem van de Belgische Schelde 1970 - 1980
7. Vergelijking van slibconcentratie oppervlaktewater en Scheldeafvoer
8. Verloop van de slibconcentratie in het water gedurende een getij
9. Morfologische indeling Scheldeestuarium tussen Rupel en Vlissingen
- 10 Statistiek baggerhoeveelheid en drempeldiepte van Burcht en Zandvliet
- 11 Toename doorstroomprofiel Belgische Schelde tussen 1968 en 1981
- 12 Slibtransporten op Belgisch-Nederlandse grens - berekeningsresultaten
- 13 Relatie debiet - zwevende stofconcentratie in de Belgische Schelde periode 1983 t/m 1986
- 14 Omrekening kubieke meters sediment - tonnages droge stof
- 15 UITWERKING mariene- en fluviatiele slibbalansen van de Belgische Schelde
- 16 UITWERKING
- 17 Berekening jaargewogen slibvracht door Scheldeafvoer
- 18 UITWERKING Bruto slibtransporten op Belgisch-Nederlandse grens

## BIJLAGE 1

### SEDIMENTBALANS SCHELDEESTUARIUM TUSSEN RUPEL EN BELGISCH-NEDERLANDSE GRENS VAN DE PERIODE 1969 T/M 1981

#### 1. Algemeen

##### Doelstelling sedimentbalans:

De sedimentbalans is opgesteld omdat het slib zich in / op het sediment bevindt. Deze balans is een grove afschatting van de waar binnen grenzen het slibtransport moet plaatsvinden.

##### Uitgangspunten:

- Sediment bestaat uit zand en slib
- Zand is de fractie  $> 63 \mu$
- Slib is de fractie  $\leq 63 \mu$

##### Probleemstelling:

Bij het opstellen van de sedimentbalans moet er rekening mee worden gehouden dat gedurende de onderzoeksperiode het watersysteem veranderingen ondergaat door interne fysische processen.

##### Aanpak van de sedimentbalans:

De sedimentbalans is de verzameling van de IMPORT- en EXPORT-posten van zand en slib ( of sediment) en de posten m.b.t. de zgn INTERNE VERANDERINGEN van het watersysteem volgens de formulering.

$$\text{IMPORT} = \text{EXPORT} + \text{INTERNE VERANDERING}$$

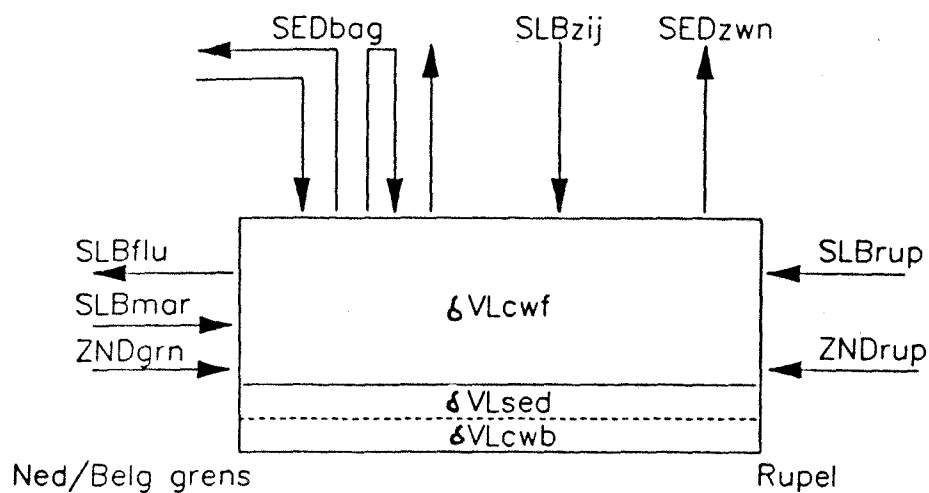
Voor iedere post is een verwachtingswaarde ( $\mu$ ) en standaardafwijking ( $\sigma$ ) bepaald.

Bij het opstellen van de balans zijn een aantal aannamen gedaan; de resultaten van de balans worden daarom ook getoetst op realiteit.

De sedimentbalans is gesplitst in de posten m.b.t. zand en slib. Deze posten zijn afzonderlijk beschouwd in de zand- en slibbalans.

# BIJLAGE 1

## Schematisatie sedimentbalans Belgische Schelde



## Overzicht balansposten voor sedimentbalans Belgische Schelde

N.B. Definities : sediment = fractie zand + fractie slib  
zand = fractie  $>63\mu$   
slib = fractie  $\leq 63\mu$

schatting (miljoen m3)

periode 1969 t/m 1981

$\mu$   $\sigma$

#### IMPORT posten

##### materiaal van mariene oorsprong

|                                              |     |     |
|----------------------------------------------|-----|-----|
| SEDgrn = sedimentimport via Ned./Belg. grens |     |     |
| ZNDgrn = zandimport via Ned./Belg. grens     | 0.0 |     |
| SLBmar = slibimport via Ned./Belg. grens     | 1.2 | 1.2 |

##### materiaal van fluviatiele oorsprong

|                                                      |     |     |
|------------------------------------------------------|-----|-----|
| SEDrup = sedimentimport t.h.v. Rupel                 |     |     |
| ZNDRup = zandimport t.h.v. Rupel                     | 6.0 | 6.0 |
| SLBRup = slibimport t.h.v. Rupel                     | 4.2 | 2.1 |
| SLBzij = slibimport zijdelings tussen Rupel en grens | 1.4 | 0.7 |

#### EXPORT posten

##### materiaal van fluviatiele oorsprong

|                                                          |     |     |
|----------------------------------------------------------|-----|-----|
| SEDzwn = sedimentexport door zandwinning Rupelmondeplaat |     |     |
| ZNDzwn = zandexport t.g.v. zandwinning Rupelmondeplaat   | 6.0 | 3.0 |
| SLBzwn = slibexport t.g.v. zandwinning Rupelmondeplaat   | 0.0 |     |
| SLBflu = slibexport via Belg./Ned. grens                 | 3.6 | 3.6 |

##### materiaal van zowel fluviatiele als mariene oorsprong

|                                                       |      |     |
|-------------------------------------------------------|------|-----|
| SEDbag = sedimentexport door onttrekking baggerwerken | 35.0 | 7.0 |
| ZNDbag = zandexport door onttrekking van baggerwerken |      |     |
| SLBbag = slibexport door onttrekking van baggerwerken |      |     |

(deze post is een resultante van baggeren en storten)

#### INTERNE VERANDERING

|                                                                             |       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|-----|
| $\delta VL_{sed}$ = volumeverandering door sedimentimport/export            | -40.5 | 8.1 |
| $\delta VL_{znd}$ = volume verandering t.g.v. zandimport en export          |       |     |
| $\delta VL_{slb}$ = volume verandering t.g.v. slibimport en export          |       |     |
| $\delta VL_{cwf}$ = constitutie verandering van het materiaal in suspensie  |       |     |
| $\delta VL_{cwb}$ = constitutie verandering van het materiaal in waterbodem |       |     |

(aanname:  $\delta VL_{cwf}$  en  $\delta VL_{cwb}$  komt tot uiting in  $\delta VL_{sed}$ )



#### FORMULERINGEN:

$IMPORT = EXPORT + INTERNE\ VERANDERING$

$SEDgrn = ZNDgrn + SLBmar$

$SEDrup = ZNDrup + SLBrup$

$SEDzwn = ZNDzwn + SLBzwn$

$SEDbag = ZNDbag + SLBbag$

SEDIMENTBALANS = balans van alle posten (zonder dubbel te tellen!)

ZANDBALANS = balans van de "zand" posten

SLIBBALANS = balans van de "slib" posten

Algemene aannamen op grond van gegevens:

1. De bovenste waterbodemiaag bevat gemiddeld 60% zand en 40% slib.
2. De baggerspecie in het beun bevat gemiddeld 95% zand en 5% slib.
3. De schatting van het natuurlijk slibtransport is gebaseerd op evenwicht de IMPORT en EXPORT van slib en de verhouding C12/13 op de landengrens.

## 2 Zandbalans

De zandbalans ziet er als volgt uit:

$$\text{ZNDgrn} + \text{ZNDrup} - \text{ZNDzwn} = \text{ZNDbag} + \delta\text{VLznd}$$

Uit beheersoogpunt van het watersysteem kan worden gesteld dat baggeren en volumeverandering bij benadering in evenwicht moeten zijn. Het eventuele overschot van de import- en exportposten aan de linkerkant van het = teken wordt verondersteld zand te zijn dat gesedimenteerd is boven N.A.P.. In de volumeverandering is het gebied hoger dan N.A.P. niet meegenomen i.v.m. onbetrouwbare gegevens.

$$\text{D.w.z. } \text{ZNDgrn} + \text{ZNDrup} - \text{ZNDzwn} \approx 0$$

$$\text{en } \text{ZNDbag} + \delta\text{VLznd} \approx 0$$

De grootste volumeverandering heeft plaatsgevonden in de omgeving van Zandvliet (vak 5). De waterbodemplaat aan de "oppervlakte" heeft een slibpercentage van gemiddeld 30% [10]. Dit vak is sterk verruimd en verdiept (tot max. 4 m.). Stel m.b.t. het gemiddelde slibpercentage  $\mu=20\%$  en  $\sigma=10\%$ .

$$\text{Hieruit volgt: } \delta\text{VLznd} = 0.8 * \delta\text{VLsed}$$

$$\text{Verder geldt: } \text{ZNDbag} = 0.95 * \text{SEDbag}$$

$$\text{Indien } \delta\text{VLsed} = 40.5 \rightarrow \text{SEDbag} = 34.1 (\sigma=7.4)$$

Uit de baggercijfers is bekend dat  $\text{SEDbag} \approx 35$

De uitlevering van het gebaggerde sediment bedraagt  $100 - 34.1/35 * 100 \approx 3\%$

Dit uitleveringspercentage is niet onwaarschijnlijk gezien de geringe dichtheidsverschillen tussen het sediment in de waterbodem en het beun in vak 5.

### 3 Slibbalans

De slibbalans ziet er als volgt uit:

$$\text{SLBmar} + \text{SLBrup} + \text{SLBzij} - \text{SLBzwn} - \text{SLBflu} = \text{SLBbag} + \delta\text{VLslb}$$

$$\rightarrow 1.2 + 4.2 + 1.4 - 0 - 3.6 = 2.0 - 8.1 \quad [\text{miljoen m}^3]$$

Uit de zandbalans volgt:  $\delta\text{VLslb} = 0.2 * \delta\text{VLsed}$

$$\text{Verder geldt : } \text{SLBbag} = 0.05 * \text{SEDbag} = 0.05 * 34.1 = 1.7$$

Invulling van de posten in de slibbalans geeft een sliboverschot in het watersysteem van 9.3 ( $\sigma$ )

Dit sliboverschot is vermoedelijk ontstaan doordat bij het baggerproces de fijne slibdeeltjes lange tijd via de overloop van het beun terug worden gebracht in het watersysteem.

De IMPORT van slib bedraagt 6.8 tegen een natuurlijke EXPORT van 3.6; dit betekent dat  $9.3/(6.8-3.6) \approx 3$  perioden van de balans of ca. 40 jaar nodig zijn geweest voor de accumulatie onder de omstandigheden tijdens de balansperiode.

Waar blijft dit sliboverschot van 9.3 in het watersysteem? (NOOT A)

- Afzetting van 0.02 m./jaar op 960 ha. slikken en schorren  $\approx 2.5$

- Aanslibbing van de Durme door afdamming bij Lokeren;

een gebied van 5 ha, dat stel 0.1 m./jaar aanslibt  $\approx 0.7$

- Afzetting van stel 0.1 m./jaar in 212 ha. potpolders  $\approx 2.8$

-----  
Totaal 6.0

Resteert een hoeveelheid van slib van  $9.3 - 6.0 = 3.3$  ( $\sigma=3$ ).

De hoeveelheid slib in de waterbodem is tijdens de balansperiode toegenomen met  $13/11 * 4.7 \approx 5.6$  per m' diepte

Hieruit volgt dat  $3.3/5.6 \approx 0.59$ , d.w.z. dat een laagdikte van ruim 0.5 m. nodig is om de resterende hoeveelheid slib te kunnen bergen.

Inpakken van slib in de waterbodem is verklaarbaar uit de diepteveranderingen gedurende een jaar tot ca. 1 m.

Een alternatieve verklaring is een extra sliblaag op de waterbodem van  $3.3/2036 \text{ ha} \approx 0.16 \text{ m}$ . Bij dit alternatief is een irreele verhoging van de slibconcentraties in het water te verwachten. Hiervan is echter geen sprake.

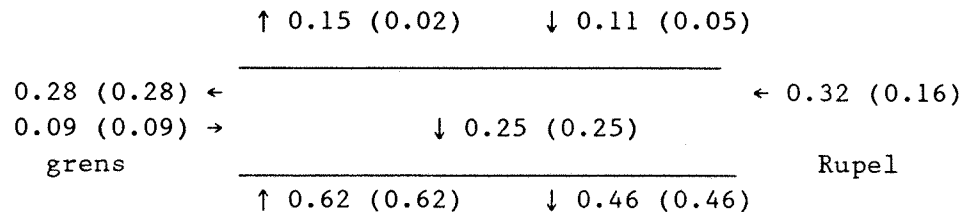
Uit de berekeningen m.b.t. de slibbalans blijkt dat de geschatte orde van grootte van de slibtransporten op de Belgisch-Nederlandse grens ten aanzien van de sedimentbalans acceptabel is.

In figuur 1 wordt tenslotte een overzicht gegeven berekende slibbalans

**FIGUUR 1 JAARGEMIDDELDE SLIBBALANS BELGISCHE SCHELDE**

PERIODE 1970 - 1990 [miljoen m<sup>3</sup>/jaar]

(getal tussen haakjes is  $\sigma$ )



Totaal IN = 0.32 + 0.11 + 0.09 + 0.62 = 1.14

Totaal UIT = 0.15 + 0.28 + 0.46 = 0.89

Het verschil 1.14 - 0.89 = 0.25 miljoen m<sup>3</sup>/jaar betekent een oplading van de waterbodem.

In hoofdstuk 2 is nagegaan of de voor de sedimentbalans aangenomen slibtransporten op de grens reeel zijn:

Fluviatiel transport : 280000 ton/jaar ( $\sigma=280000$ )

Marien transport : 90000 ton/jaar ( $\sigma= 90000$ )

NOOT A

Mondelinge informatie van drs.P.Meire (RUG) 14 augustus 1989:

- Over de veranderingen van de schorren en slikken in België is weinig bekend; momenteel wordt het Groot Buitenschor, waarvan de strekdam onder het slik is geraakt onderzocht.
- De Durme is sterk dichtgeslibd na de afdamming bij Lokeren.
- Vroeger werden de potpolders regelmatig overspoeld.

## BIJLAGE 2

### Indrukken omtrent natuurlijke zandtransporten op de Belgische Schelde

De indrukken omtrent de natuurlijke zandtransporten, zijn gebaseerd op baggergegevens vanaf ca 1940 en mondelinge informatie van Ir.J.Claessens van de Antwerpse Zeediensten.

#### 1. Zandtransport ter hoogte van Rupelmonde

Ter hoogte van Rupelmonde vindt natuurlijke aanzanding plaats op de Rupelmondeplaat. Ten behoeve van de scheepvaart wordt de vaarweg op diepte gehouden door zandwinning ter plaatse.

De gewonnen hoeveelheden zand bedragen globaal:

- periode 1960 tot 1980 : 0.5 miljoen kubieke meter per jaar
- periode 1980 tot 1987 : 0.2 " " " " "
- periode 1988 tot heden :  $\leq 0.1$  " " " " "

Uit deze informatie zou kunnen blijken dat het evenwichtsverhang van de rivierbedding zich heeft ingesteld op de grote ingrepen van de zeventiger jaren. Verondersteld zou kunnen worden dat de gewonnen hoeveelheden zand overeenkomen met het natuurlijk zandtransport. De bovenstroomse aanvoer van de rivier zorgt voor het transport.

#### 2. Zandtransporten ter hoogte van de Nederlands-Belgische grens

Op de Belgische Schelde vinden al vele decennia baggerwerken plaats t.b.v. de scheepvaart. Tot ca. 1950 vertonen de drempels een zeer stabiel verloop. In de periode 1950 - 1970 vindt zeer regelmatig een geringe verdieping plaats en van 1970 tot 1980 een sterke verdieping t.b.v. de scheepvaartontwikkeling. Door België werd in de periode tot 1950 jaarlijks tussen 0.5 en 1.0 miljoen m<sup>3</sup> specie netto aan de Belgische Schelde onttrokken t.b.v. het onderhoud van de rivier. Dit materiaal bestaat voor 95% uit zand.

Verondersteld zou kunnen worden dat de sedimentonttrekking tot 1950 overeenkomt met het natuurlijk zandtransport. Volgens Claessens hebben de veranderingen van de zeventiger jaren geen extra "zuigkracht" tot gevolg gehad m.b.t. natuurlijk zandtransport.

Als aangenomen wordt dat de inhoud van de Belgische Schelde tot 1950 niet is gewijzigd kan worden verondersteld dat de netto zandimport vanuit de Wester-

schelde 0.5 tot 1.0 miljoen m<sup>3</sup>/jaar bedroeg tot ca 1950. Verondersteld wordt dat het netto zandtransport in beschouwde periode van dezelfde orde van grootte is. Door de verdieping mag een wat groter netto transport worden verwacht; hiertegenover staat dat de aanleg van de leidammen nabij de landengrens weer reducerend werkt. De periode na 1980 vertoont een stabilisering in drempelliging en netto-onttrekking van ca 1.0 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.

Bij de verdere berekeningen wordt van de volgende zandtransporten uitgegaan:

- netto onttrekking baggeren : 47.3 miljoen m<sup>3</sup>/periode  $\approx$  3.6 miljoen m<sup>3</sup>/jaar
- netto zandimport Rupel : 1.3 "  $\approx$  0.1 "
- netto zandimport landgrens : 6.5 "  $\approx$  0.5 "

Tenslotte wordt opgemerkt dat de Belgische Schelde zodanig is verdiept dat de waterbodem zich bevindt tot op het nivo van de zgn. Boomse klei.

### BIJLAGE 3

Onderhoudsbaggerwerken op het Scheldeestuarium tussen Vlissingen en Rupel  
periode 1969 t/m 1981

Voor het verkrijgen van een overzicht van de baggerwerken over de periode 1969 t/m 1981 is gebruik gemaakt van de Nota's Bevaarbaarheid Westerschelde [3] en de gegevens in het Belgische referatenboek "De Schelde Toegang tot Antwerpen", gepubliceerd in Water nr. 43.1 van december 1988 [4]. De gegevens van zowel [3] als [4] zijn gebaseerd op opgaven van de Antwerpse Zeediensten. Tussen de gegevens zijn wat verschillen geconstateerd; deze zijn ten dele te verklaren door wijze van afronding, nagekomen opgaven en correctie voor dichtheid. Afstemming tussen de gegevens heeft plaatsgevonden door aan [4] het grootste gewicht toe te kennen. Tabel 2 geeft een overzicht van de "gecorrigeerde" gegevens van de onderhoudsbaggerwerken door de Belgische overheid op het scheldeestuarium tussen Vlissingen en Rupel.

| TABEL 2                 | Baggerhoeveelheden [miljoen m <sup>3</sup> ] 1969 t/m 1981 |                 |               |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|
|                         | A                                                          | B               | C             |
| Bestemming baggerspecie | Nederlands gebied                                          | Belgisch gebied | Totale gebied |
| a. Derden in Nederland  | 3                                                          | -               | 3             |
| b. Opgespoten in België | 18                                                         | 32              | 50            |
| c. Derden in België     | 3                                                          | 3               | 6             |
| d. Gestort in Nederland | 108                                                        | 5               | 113           |
| e. Gestort in België    | 5                                                          | 12              | 17            |
| f. Totaal gebaggerd     | 137                                                        | 52              | 189           |

Netto onttrokken hoeveelheid specie op Belgisch gebied tussen 1969 en 1981:

$$B_f - B_e - A_e \approx 52 - 12 - 5 = 35 \text{ miljoen m}^3.$$

De onttrokken hoeveelheid specie is voor de helft afkomstig van de drempel van Zandvliet met een percentage slib  $\approx 1.4\%$  [3]. Het gemiddelde slibpercentage van de onttrokken specie bedraagt:  $(50 \cdot 1.4 + 50 \cdot 5.0) / 100 \approx 3.2\%$ .

De gemiddelde vracht onttrokken slib is zodoende  $35 \cdot 10^6 \cdot 0.032 = 1120000 \text{ ton} \approx 86000 \text{ t/jaar}$ .

N.B. Het slibpercentage van de onttrekkingen door baggerwerken, gemiddeld  $\approx 5\%$  [4], is t.g.v. de overflow van het beun van voornamelijk hopperzuigers veel lager dan het slibpercentage van de bovenste laag van de waterbodem.

Het baggeren heeft als neveneffekt dat jaarlijks ca. 360000 ton slib in suspensie wordt gebracht, waarvan 86000 ton werkelijk wordt onttrokken. De totaal bezinkbare hoeveelheid slib (ca 288000 t/jaar) wordt minstens 1 maal per jaar opgewerveld.

In deze opgaven is niet betrokken de zandwinning ter hoogte van Rupel (zie bijlage 2).



#### BIJLAGE 4

##### Inhoudsveranderingen Belgische Schelde tussen 1969 en 1981

De inhoudsveranderingen van de Belgische Schelde zijn bepaald gedurende de periode 1968 - 1981 voor het trace Rupel - landengrens. Bovenstrooms Antwerpen zijn de inhoudsveranderingen verwaarloosbaar. Dit blijkt ook uit de stabiele ligging van de drempel van Burcht (bijlage 2).

De veranderingen in het estuarium tussen Antwerpen en de landengrens zijn een gevolg van de baggerwerken. De verruiming heeft voornamelijk plaatsgevonden in het meest westelijke deel tot aan de Zandvlietsluis (bijlage 2).

##### Opname 1968/1969 Bollebakker, Hengst [1]

De inhoud is berekend m.b.v. planimetreren van de dieptelijnen voor het gedeelte tussen de landengrens en Antwerpen (tabell).

##### Tabell

| niveau (N.A.P.) | Natte volume miljoen m3.<br>beneden niveau |
|-----------------|--------------------------------------------|
| - 2.50          | 116                                        |
| 0.00            | 158                                        |
| + 2.50          | 203                                        |

##### Opname 1981/1982 De Klerk [2]

De gemiddelde oppervakte van de riviersekties (gedeelte landengrens tot Rupel) is berekend a.d.h.v. de oppervlakte van de dwarsprofielen.

De Klerk heeft de berekende oppervlakte vergeleken met de gemiddelde oppervlakte volgens de opname in 1968/1969 (bijlage 3). Volgens Claessens (Antwerpse Zeediensten) geeft door de wijze van opname deze vergelijking alleen een betrouwbaar beeld over de veranderingen in het rivierbed beneden N.A.P.. Boven N.A.P. is het rivierbed niet veranderd.

De verandering van het natte volume voor het gedeelte tussen de Belgisch-Nederlandse grens en Antwerpen is zodoende vastgesteld op een toename van 40.5 miljoen m3 beneden N.A.P.. Stel i.v.m. de lodingsonnauwkeurigheid  $\sigma \approx 5$  miljoen m3.

Uit deze gegevens is weer het volume van de Belgische Schelde in 1981/1982 te berekenen.

## BIJLAGE 5

### Slibimport vanuit België

#### Uitgangspunten

Belgische berekeningen voor de slibimport vanuit België zijn door D'hondt en Jacques [5] samengevat. Uitgangspunt is een belasting per I.E. van 90 g/dag voor de huishoudelijke en industriële bijdrage. De natuurlijke bijdrage door erosie van de landbouwgronden is gebaseerd op troebelheidsmetingen.

Uit proeven met huishoudelijk - en industrieel slib blijkt dat globaal gezien een belasting van 90 g/dag de volgende kenmerken heeft (Veldkamp TUD):

|            | organisch | anorganisch | zuiverbaar |
|------------|-----------|-------------|------------|
| bezinkbaar | 40        | 20          | 80%        |
| zwevend    | 20        | 10          | 80 - 100%  |

Het slibimport van het huishoudelijke en industriële afvalwater bestaat volgens deze proeven voor 1/3 deel uit anorganisch materiaal, waarvan 1/3 deel zwevend en 2/3 deel bezinkbaar.

De slibimport vanuit België wordt benaderd als de import van het anorganische materiaal in 1000 ton/jaar.

Aangenomen wordt dat het organische deel bovenstrooms Rupel of in het trace tot de landengrens wordt omgezet in water en CO<sub>2</sub>.

#### 1. Bepaling slibimport te Rupel volgens voornoemde uitgangspunten:

##### Slibimport te Rupel

|                                        |              |          |               |      |
|----------------------------------------|--------------|----------|---------------|------|
| Natuurlijk                             | 227 ,waarvan | 100%     | anorganisch = | 227  |
| Huishoudelijk                          | 137 ,waarvan | 1/3 deel | "             | = 46 |
| Industrieel                            | 144 ,waarvan | 1/3 deel | "             | = 48 |
| Totaal                                 | 508 .        | Totaal   | anorganisch = | 321  |
| (waarvan 107 zwevend & 214 bezinkbaar) |              |          |               |      |

#### 2. Bepaling slibimport te Rupel volgens sedimentimport

De slibimport te Rupel zal deel uitmaken van de sedimentimport van ca. 0.5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. De waterbodem bevat in dit gedeelte ca 45% slib. De slibimport is te schatten op  $0.5 \cdot 10^6 \cdot 1.6 \cdot 0.45 = 360 \cdot 10^3$  ton slib. Deze hoeveelheid komt redelijk overeen met de schatting van  $321 \cdot 10^3$  ton slib.

### 3. Bepaling slibimport te Rupel volgens rivierafvoer

De slibimport te Rupel is van invloed op de slibconcentratie direkt benedenstrooms Rupel. Als verondersteld wordt dat de diffusieterm  $A \cdot D \cdot \delta c / \delta x$  in dit gebied jaargemiddeld verwaarloosbaar is t.o.v. de convectieve term  $Q \cdot c$ , dan is er sprake van een stationaire slibafvoer. Het jaargemiddelde debiet ( $Q$ ) bedraagt 100 m<sup>3</sup>/s, terwijl de jaargemiddelde slibconcentratie ( $c$ ) bovenstrooms ca. 100 kg/m<sup>3</sup> bedraagt. De slibafvoer van ca.  $100 \cdot 0.100 \approx 10$  kg/s  $\approx 315 \cdot 10^3$  ton slib per jaar. Deze hoeveelheid komt eveneens redelijk overeen met de schatting van  $321 \cdot 10^3$  ton.

Konklusie : De 3 methoden ter bepaling van de slibimport stemmen redelijk overeen. De schatting van methode 1 wordt verder gebruikt.

De import zijdelings langs het riviergedeelte tussen Rupel en de Belgisch-Nederlandse grens wordt op de wijze van methode 1 benaderd.

#### Slibimport Zijdelings

|               |              |          |                                      |     |
|---------------|--------------|----------|--------------------------------------|-----|
| Natuurlijk    | 44 ,waarvan  | 100%     | anorganisch =                        | 44  |
| Huishoudelijk | 154 ,waarvan | 1/3 deel | " =                                  | 51  |
| Industrie     | 47 ,waarvan  | 1/3 deel | " =                                  | 16  |
| Totaal        | 245 .        | Totaal   | anorganisch =                        | 111 |
|               |              |          | (waarvan 37 zwevend & 74 bezinkbaar) |     |

## BIJLAGE 6

### Evolutie van de waterbodem

Het slib in de waterbodem is gedurende 2 perioden onderzocht:

- Door WARTEL [9] en Bastin [10] omstreeks 1970

De vakindeling is globaal gelegd over de vakindeling van SAWES.

- Door diverse bronnen rond 1980 (zie DGW bestand van SAWES "DDMISTAT")  
Deze inventarisatie geeft waarschijnlijk een enigszins overschatting doordat veel slibrijke gebieden zijn bemonsterd. De gegevens van de periode 1974 tot 1985 zijn omgerekend van  $<16\mu$  naar  $<63\mu$ .

Aan de hand van bovenmelde slibinventarisaties is de hoeveelheid slib berekend voor slib  $<63 \mu$  per m' bovenste waterbodemplaat voor de vakindeling van SAWES van het Scheldeestuarium. (zie tabel 4).

Tabel 4

| vak oppervlakte    |       | bestand van Wartel 1970 |               | bestand van DGW 1980 |       |
|--------------------|-------|-------------------------|---------------|----------------------|-------|
| ↓NAP-2.50m         | %slib | slib lm.                | %slib         | slib lm.             |       |
| (ha)               |       | (10^6 m3)               |               | (10^6 m3)            |       |
| 1                  | 272   | -                       | 1.22(geschat) | 45                   | 1.22  |
| 2                  | 280   | 32                      | 0.90          | 86                   | 2.41  |
| 3                  | 561   | 51                      | 2.86          | 81                   | 4.54  |
| 4                  | 251   | 43                      | 1.08          | 43                   | 1.08  |
| 5                  | 672   | 30                      | 2.02          | 53                   | 3.56  |
| Σ                  | 2036  | Totaal                  | 8.08          | Totaal               | 12.81 |
| gewogen gemiddelde |       | 40%                     |               | 63%                  |       |

In het estuarium tussen de landgrens en Rupel blijkt max. bijna 5 miljoen/m' kubieke meter slib te zijn gebufferd in een periode van ongeveer 10 jaar. De gebufferde slibvracht bedraagt  $\max. 4.73 \cdot 1.6 / 10 = 757 \cdot 10^3$  ton slib/jaar/m'. laagdikte.

Gekonkludeerd kan worden dat in de waterbodem een slibaanvoer van enkele honderduizend tonnen kan zijn geaccumuleerd (Ta).

Dit verklaard mogelijk de dalende trend van de slibconcentratie op de grens.

## BIJLAGE 7

### Vergelijking van slibconcentratie oppervlaktewater en Scheldeafvoer te Schelle

#### 1. Vergelijking van de langjarige trendlijnen

Uit de evolutie van de waterbodem blijkt dat verslibbing van de Belgische Schelde optreedt. Bij verslibbing kan een verwachte grotere troebelheid van het water een hypothese zijn.

De trendlijnen van de slibconcentratie over de periode 1975 - 1985 laten echter een dalende trend zien van de slibconcentratie nabij Doel.

De dalende trend in de slibconcentratie gaat tevens gepaard met een stijgende trend van de Scheldeafvoer in de vergelijkbare periode. Blijkbaar is er sprake van meer verdunning. De evolutie van de waterbodem kan daarom uit deze vergelijking niet worden verklaard.

#### 2. Vergelijking van de seizoensverlopen

De slibconcentratie van het water in de seizoenen verloopt globaal omgekeerd evenredig met het debiet van de Schelde. Dit "schijnbare" lineaire verband tussen beide grootheden kan een toevallig gevolg zijn van de gezamenlijke veranderingen van de turbulentie en viscositeit van het water en de flokkulatie van de slibdeeltjes gedurende een jaarcyclus.

Het is mogelijk dat binnen een jaarcyclus de waterbodem een bepaalde accumulerende functie heeft.

Voor de slibbalans is het verloop van de vracht gedurende een jaarcyclus interessant. Er wordt verondersteld dat deze bepaald wordt door het debiet en het dispersieve transport. Het dispersieve transport is afhankelijk van de longitudinale gradiënt en de dispersiefaktor. De gradiënt in het gebied van het troebelheidsmaximum is in de winter steiler dan in de zomer. Veronderstel dat een grotere viscositeit de dispersie doet afnemen, dan is de verandering van het dispersieve transport gedurende de seizoenen verwaarloosbaar.

De slibvracht tijdens een jaar wordt zodoende bepaald door Scheldeafvoer en slibconcentratie in het water. Een indicatie van de vrachten nauwkeuriger dan voor een tijdsstap van één seizoen (= 3 maanden) is gezien de vele aannamen voorlopig niet zinvol. Stel de jaargemiddelde vracht bedraagt X ton/tijdseenheid, dan gelden voor de seizoenen de volgende richtlijnen:

(gebaseerd op zwevende stofconcentratie te Oosterweel en debiet te Schelle)

|                 |               |   |                  |
|-----------------|---------------|---|------------------|
| maand 1 t/m 3   | $\approx 1.5$ | X | ton/tijdseenheid |
| maand 4 t/m 6   | $\approx$     | X | "                |
| maand 7 t/m 9   | $\approx 0.5$ | X | "                |
| maand 10 t/m 12 | $\approx$     | X | "                |

#### BIJLAGE 8

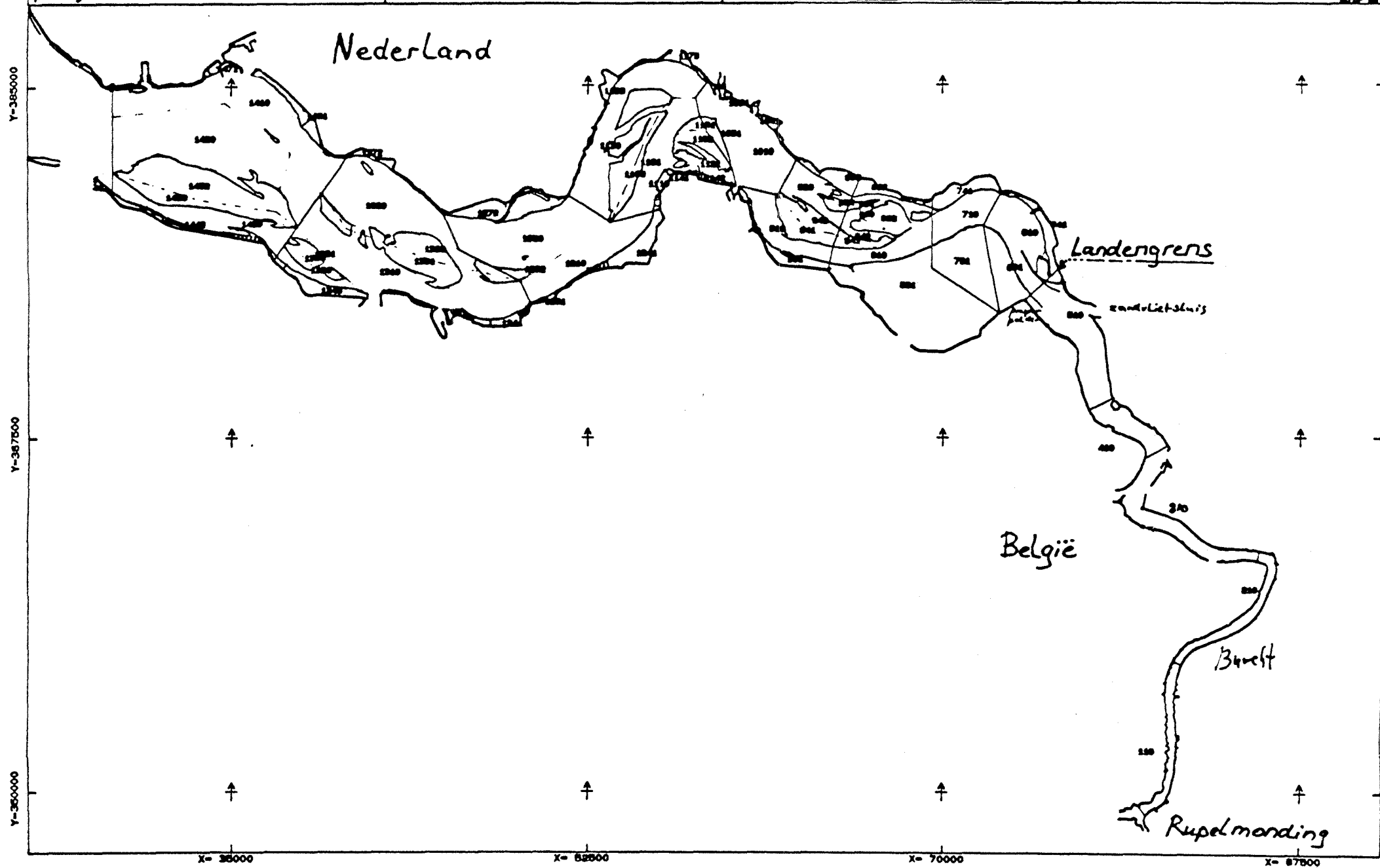
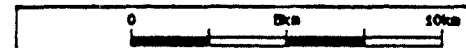
Verloop van de slibconcentratie in het water gedurende een getij

De Scheldeafvoer te Schelle is een berekend decadegemiddeld debiet. Gedurende een getijcyclus zullen de veranderingen in de debieten en zodoende de slibvrachten veel groter zijn dan volgens de hiervoor gepresenteerde gegevens. Het debiet wordt veel meer geconcentreerd gedurende de ebfase afgevoerd. De slibconcentratie wordt sterk beïnvloed door de stroomsnelheid van het water. De maximum concentratieverschillen gedurende een getijfase bedragen voor het oppervlaktewater een factor 2 tot 3 en voor de bodem een zelfde factor of groter.

De resulterende slibvracht wordt richting de landengrens en verder stroomafwaarts veel meer bepaald door de getijbeweging dan door het debiet van de Schelde.

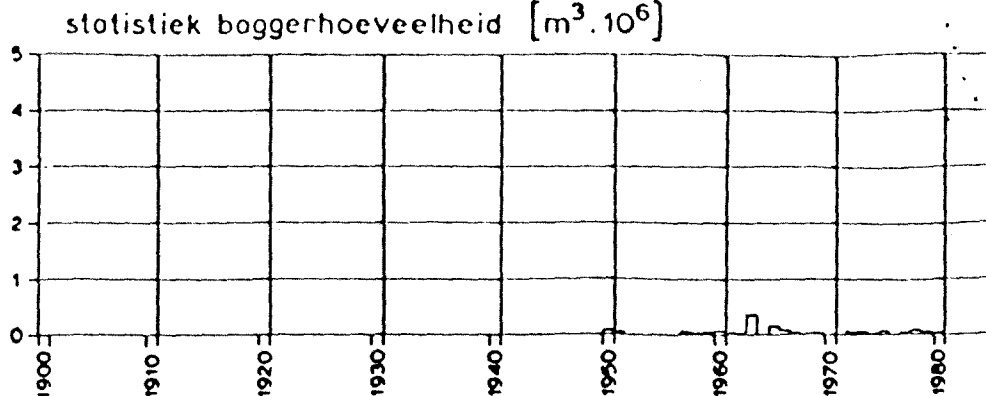
SLIBONDERZOEK  
SCHELDEESTUARIUM  
project SAWES TRANSPORT

Plot: 29 maart 1989 12.09 uur  
X10= 25000.00 Y10= 347000.00  
Rotatie y-as = 0 grad  
Schaal 1: 175000

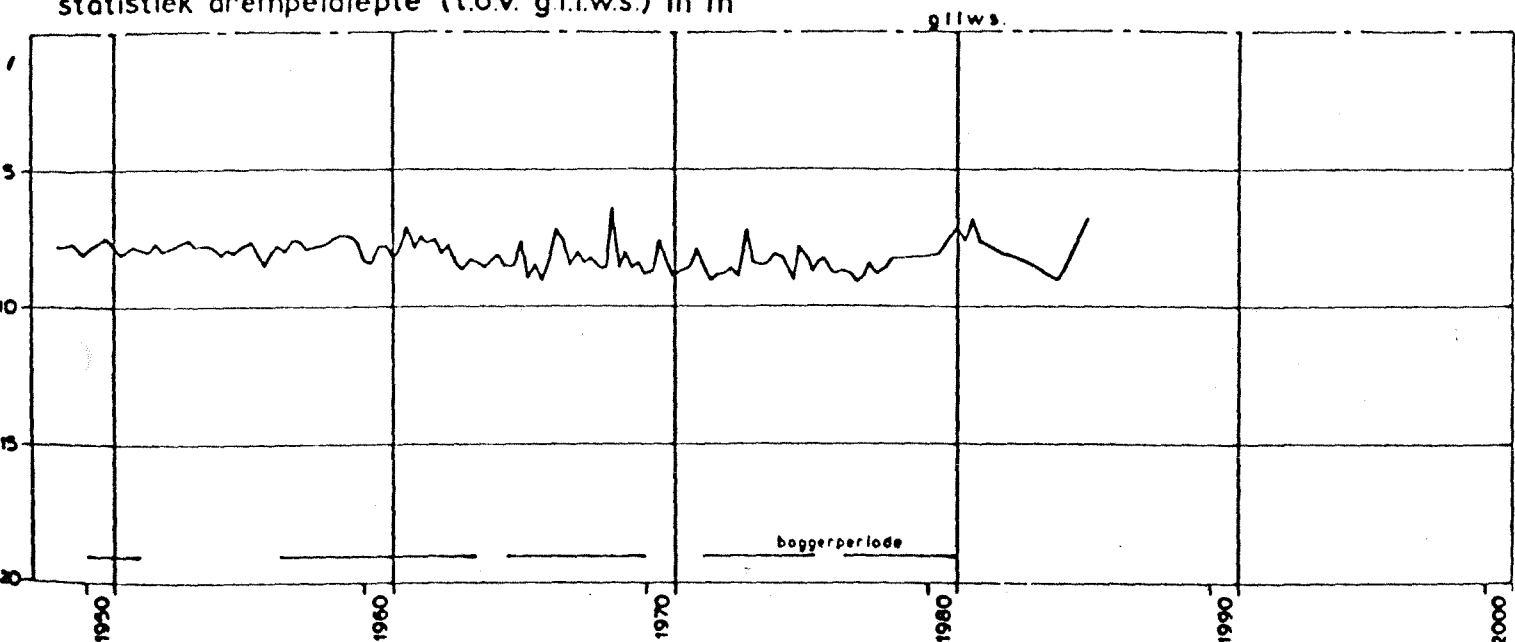




drempel van burcht

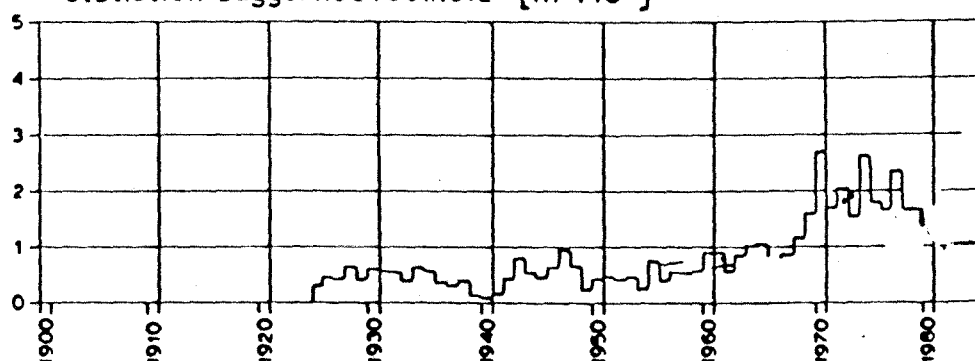


statistiek drempeldiepte (t.o.v. g.l.l.w.s.) in m

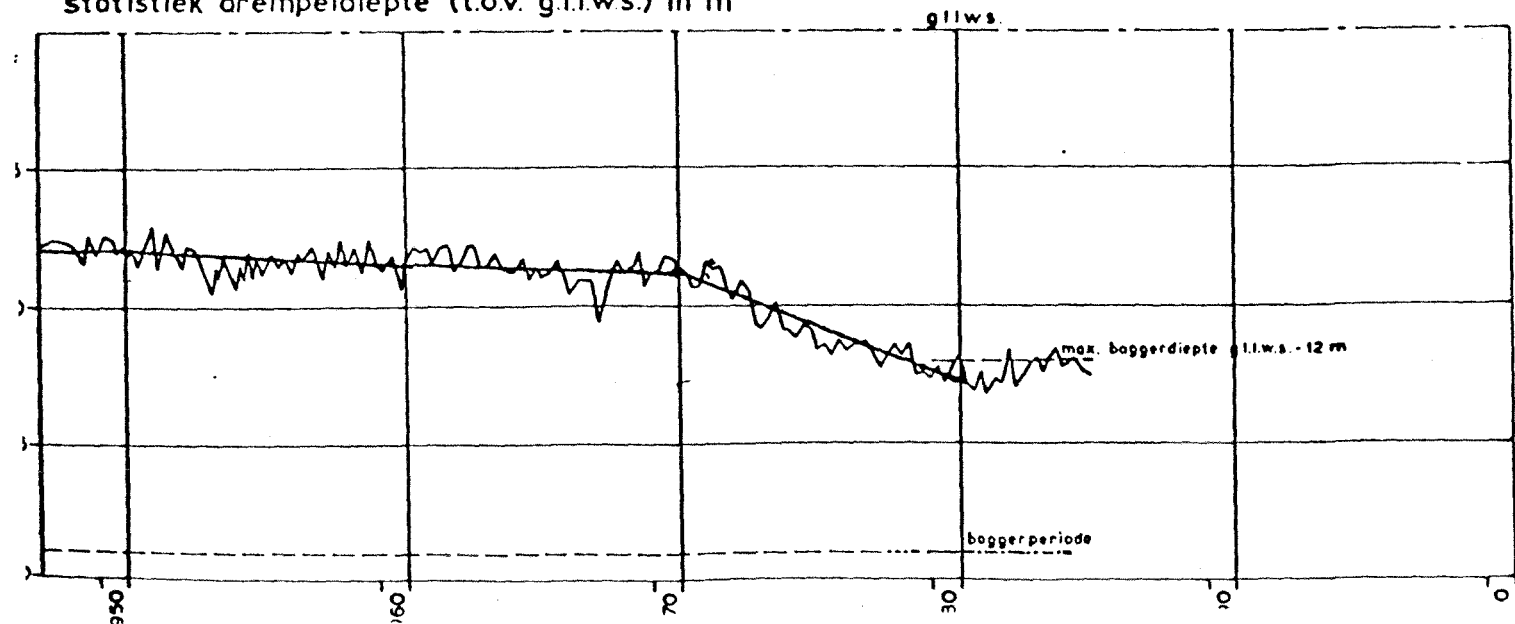


statistiek boggerhoeveelheid [ $\text{m}^3 \cdot 10^6$ ]

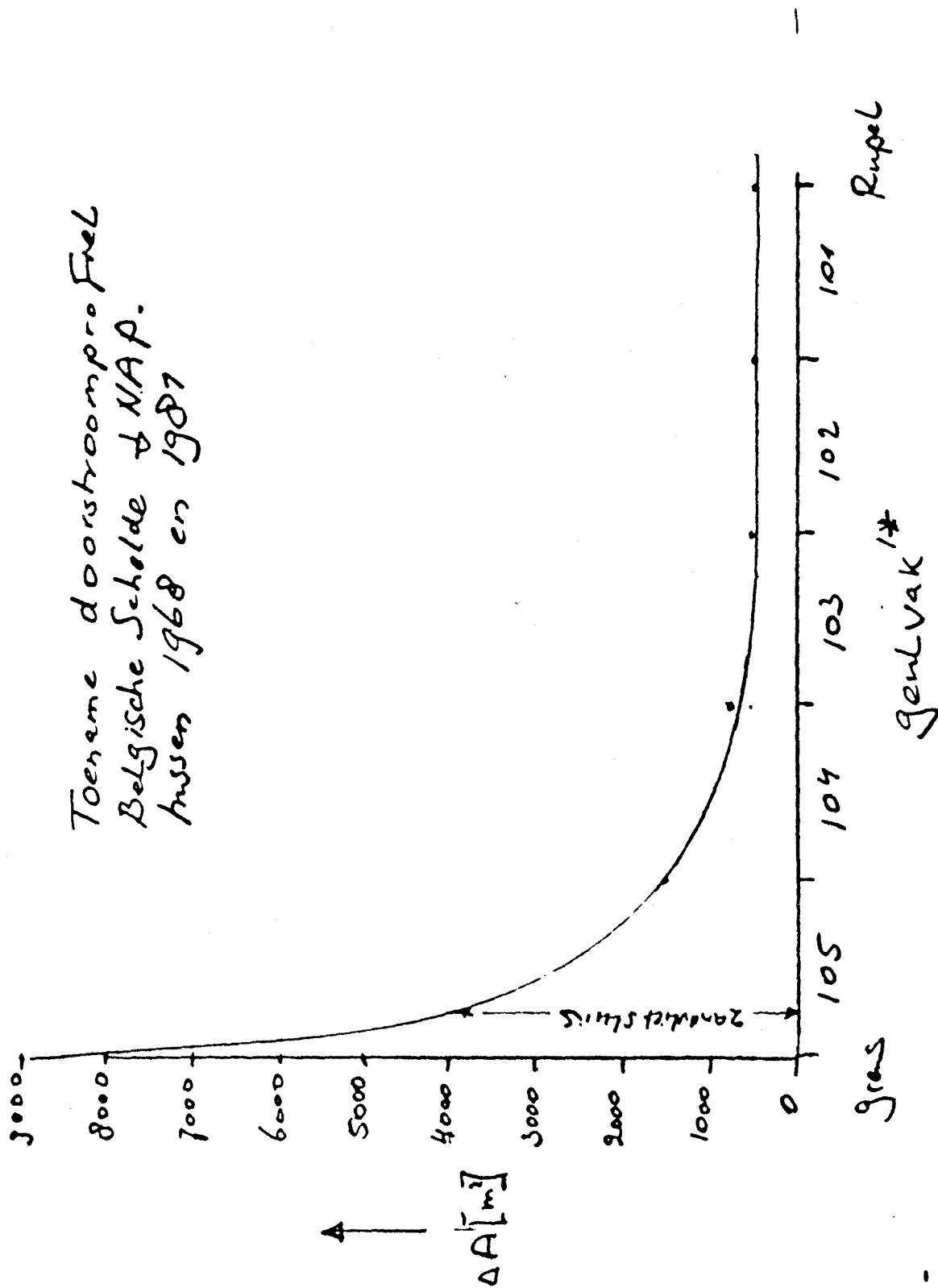
drempel van zandvliet



statistiek drempeldiepte (t.o.v. g.l.l.w.s.) in m



Toename doorstroomprofiel  
Belgische Scholde & NAP.  
tussen 1968 en 1987



Aan : SAWES leden  
 Van : Dirk van Maldegem  
 Datum : 22 mei 1989

Onderwerp : Slibtransporten Scheldeestuarium  
 (voorlopige resultaten volgens huidige inzichten)

De slibtransporten zijn berekend uit de Belgische gegevens van de import van het fluviatiele slib, sedimentatie en erosie van de morfologische eenheden op Nederlands gebied, de slibpercentages van deze morfologische eenheden en de verhouding marien/fluviatiel slib volgens het verloop van de koolstofisotoop C12/C13 langs het estuarium.

De berekende transporten zijn netto getijgemiddelde waarden voor een gemiddeld jaar.

Vertaling naar kwartaalgemiddelde transporten is gedaan door de jaargemiddelde slibtransporten te herleiden volgens het verloop van de slibconcentraties in het water gedurende een jaar (Bijlage 1) .

De berekende jaargemiddelde transporten zijn een gemiddelde van een ondergrens en bovengrens voor het verloop van de verhouding marien/fluviatiel slib (Bijlage 2).

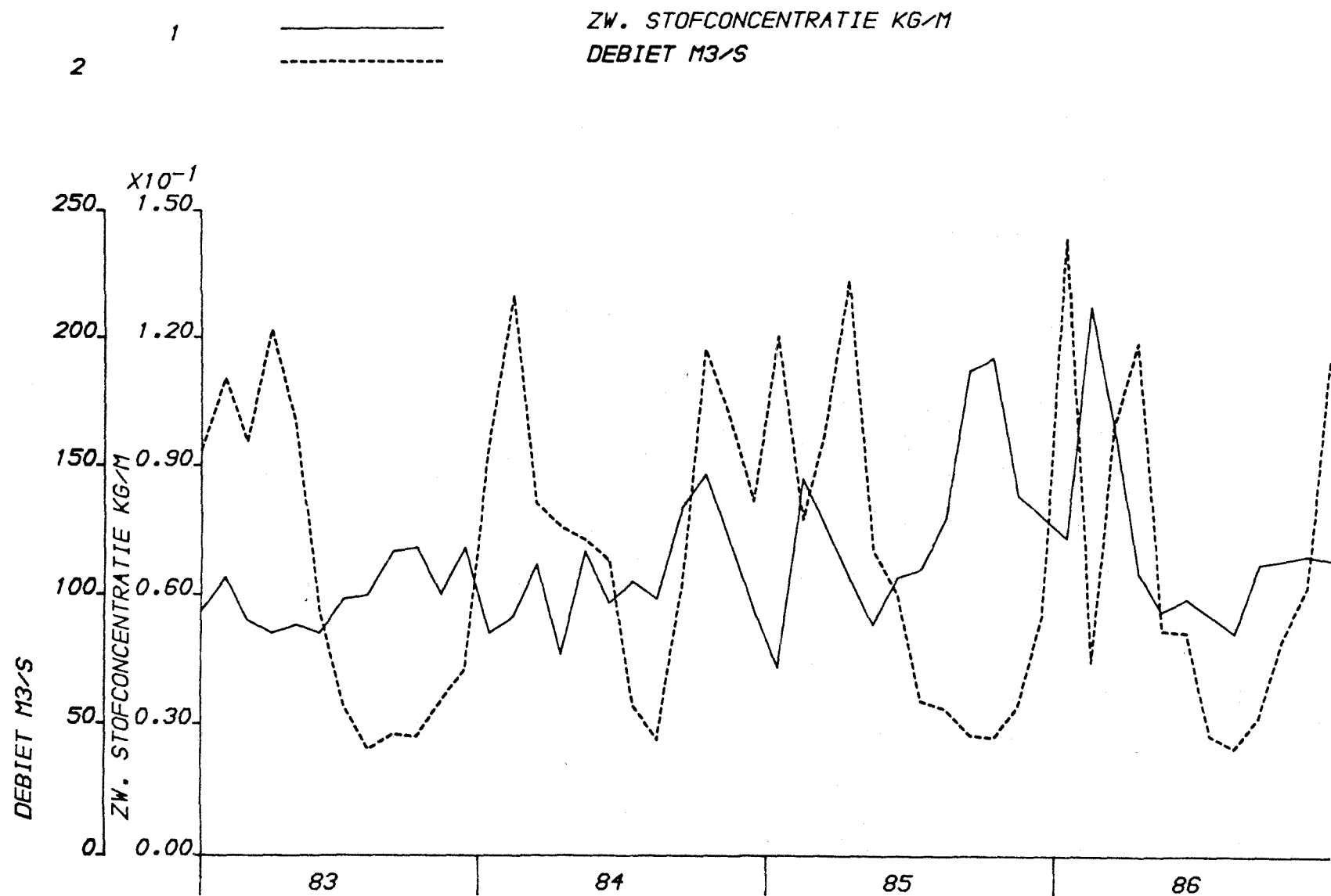
In de tabel zijn de berekende mariene- en fluviatiel slibtransporten gegeven.

| slibtransport Scheldeestuarium 1000 t/jaar |                      |          |          |                  |          |          |  |
|--------------------------------------------|----------------------|----------|----------|------------------|----------|----------|--|
| raai                                       | fluviatiel transport |          |          | marien transport |          |          |  |
|                                            | jaargem.             | 3e kwart | 1e kwart | jaargem          | 3e kwart | 1e kwart |  |
| 1                                          | 321                  | 161      | 482      | 0                | 0        | 0        |  |
| 12                                         | 321                  | 161      | 482      | 0                | 0        | 0        |  |
| 23                                         | 360                  | 180      | 540      | 0                | 0        | 0        |  |
| 34                                         | 341                  | 170      | 511      | 1                | 1        | 2        |  |
| 45                                         | 364                  | 182      | 545      | 1                | 1        | 2        |  |
| 56                                         | 338                  | 169      | 507      | 26               | 13       | 39       |  |
| 67                                         | 279                  | 139      | 418      | 27               | 14       | 41       |  |
| 78                                         | 104                  | 52       | 156      | 152              | 76       | 228      |  |
| 89                                         | 49                   | 24       | 73       | 255              | 128      | 383      |  |
| 100                                        | 57                   | 29       | 86       | 255              | 128      | 383      |  |
| 111                                        | 59                   | 29       | 88       | 255              | 128      | 383      |  |
| 122                                        | 34                   | 17       | 50       | 451              | 226      | 677      |  |
| 133                                        | 31                   | 15       | 46       | 451              | 226      | 677      |  |
| 144                                        | 32                   | 16       | 48       | 451              | 226      | 677      |  |
| 155                                        | 32                   | 16       | 48       | 451              | 226      | 677      |  |
| 166                                        | 32                   | 16       | 48       | 451              | 226      | 677      |  |

opmerking: 2e en 4e kwartaal ~ jaargemiddelde cijfers

## SLIBTRANSPORTONDERZOEK SCHELDE

RELATIE DEBIET ZWEVENDE STOF

Rijkswaterstaat  
Dienst Getijdewateren  
Middelburg

Begindatum :830115

Begintijd :1200

Tijdas in jaren

#### BIJLAGE 14

#### OMREKENING KUBIEKE METERS SEDIMENT - TONNAGES DROGE STOF

Algemene formule :  $SG = G / V$

SG = soortelijk gewicht

G = Gewicht [ton]

V = Volume [kubieke meters]

Voor een bodemonmonster, bestaande uit sediment en water geldt:

$G_t = G_s + G_w$       Stel  $G_t \approx 1.60 \text{ ton} / 1 \text{ m}^3$

anders geschreven :

$V_s * SG_s + V_w * SG_w = 1.6 \rightarrow V_s * 2.65 + V_w * 1 = 1.6 \dots\dots\dots[1]$

ook geldt :  $V_s + V_w = 1 \dots\dots\dots[2]$

kombinatie van [1] en [2] geeft :  $V_s \approx 0.36$  en  $V_w \approx 0.64$

Hoeveel volume neemt met deze getallen 1 ton droog sediment in ?

Stel dit volume bedraagt N m<sup>3</sup>.

Voorgaande berekening liet zien dat de term van de droge stof is :

$V_s * SG_s = G_s \rightarrow 0.36 * N * 2.65 \approx 1 \rightarrow N \approx 1.05 \text{ m}^3$ .

Konklusie : VOOR GOED GEPAKT SEDIMENT GELDT: 1 M<sup>3</sup> BEVAT 1 TON DROGE STOF

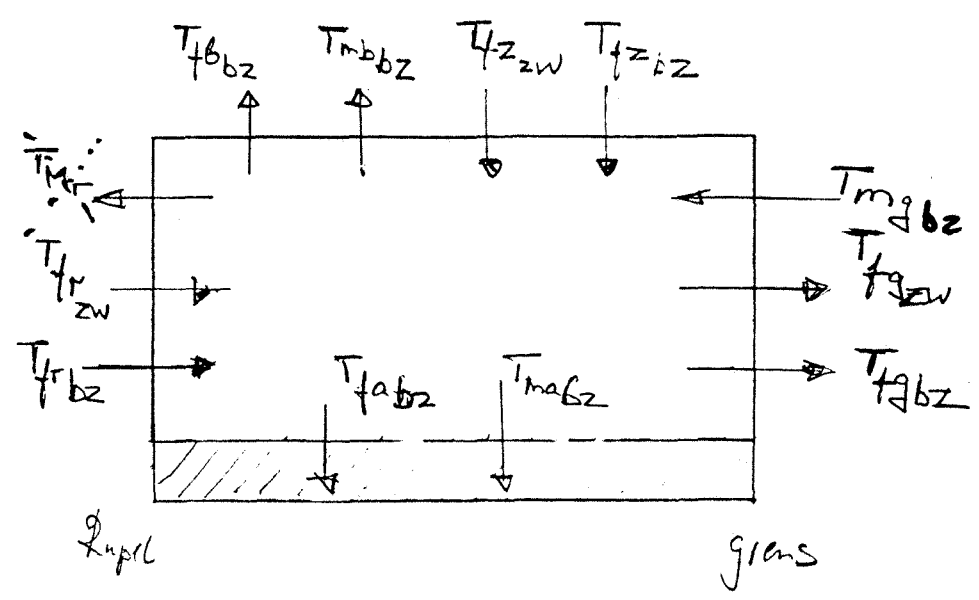
STEL  $G_t \approx 1.1 \text{ t/lm}^3$

toepassen van formule [1] en [2] geeft:  $V \approx 0.06$  en  $V_w \approx 0.94$

dus voor de droge stof geldt :  $0.06 * N * 2.65 \approx 1 \rightarrow N \approx 6.29 \text{ m}^3$ .

Konklusie : VOOR ZEER SLAPPE SEDIMENT GELDT: 6 M<sup>3</sup> BEVAT 1 TON DROGE STOF

# Marine- en Fluviale stibbalans Belgische Schelde



Verklaring gebruikte Symbolen :

- $T_{frzw}$  = fluviale import te Zuigel Zwerend met.
- $T_{frbz}$  = " " " " bezalb. "
- $T_{zww}$  = " " " " zedings zwerend "
- $T_{ziz}$  = " " " " bezalb. "
- $T_{fbbz}$  = netto orth. bygeven fluviaal bezalb. "
- $T_{mbbz}$  = " " " " marine " "
- $T_{fabz}$  = accumulerend veldalen fluviaal " "
- $T_{mabz}$  = " " " " marine " "
- $T_{gzw}$  = fluviale export grens zwerend met.
- $T_{gbz}$  = " " " " bezalb. "
- $T_{MG}$  = marine import " " zw. + bez "
- $T_{MG}$  = " " " " export rupeel Zwerend "

Aanname :

$T_{MG} \rightarrow 0$   
 d.w.z.  $T_{MG} = T_{MGbez}$

BALANSEN

$$ITD = UIT + \Delta V$$

1. fluïdale zware materialen:

$$T_{fzW} + T_{fzW} = T_{fzW}$$

2. fluïdale beemkbaar materialen:

$$T_{fzB} + T_{fzB} = T_{fzB} + T_{fzB} + T_{fzB}$$

3. massen beemkbaar materialen:

$$T_{mzB} = T_{mzB} + T_{mzB}$$

invocwaarden:

$$T_{fzW} = 107 \pm 30$$

$$T_{fzB} = 214 \pm 61$$

$$T_{fzW} = 37 \pm 10$$

$$T_{fzB} = 74 \pm 21$$

$$T_{fzB} =$$

$$T_{mzB} =$$

$$\left. \begin{array}{l} T_{fzB} + T_{mzB} = 86 \pm 24 \end{array} \right\}$$

Verondersteld in sensor Regel en zijden fouten 20%

→ Samengestelde fout t.s.v. opteken  $\approx \sqrt{20^2 + 20^2} \approx 28\%$

invullen van invoerwaarden in berekenen:

$$\text{ad 1: } \bar{x} \quad \left. \begin{array}{l} 107 + 37 = T_{fz2w} \\ \sigma = \sqrt{30^2 + 10^2} \end{array} \right\} T_{fz2w} = 144 \quad (\sigma = 32)$$

$$\text{ad 2: } \bar{x} \quad 214 + 74 = T_{fz62} + T_{f662} + T_{fa62}$$

$$\rightarrow T_{fz62} = 288 - T_{f662} - T_{fa62} \quad \text{--- [1]}$$

$$\sigma = \sqrt{61^2 + 21^2 + \sigma^2 + \sigma^2}$$

$$\text{ad 3: } \bar{x} \quad T_{mg62} = T_{m662} + T_{ma62} \quad \text{--- [2]}$$

volgens bijlage 3 }  $T_{f662} + T_{m662} = 86 \quad (\sigma = 24) \quad \text{--- [3]}$

volgens [11] }  $\frac{T_{fz62}}{T_{fz62} + T_{mg62}} \approx 0,7 \quad (\sigma = 0,2) \quad \text{--- [4]}$

$$\frac{T_{f662}}{T_{f662} + T_{m662}} \approx 0,8 \quad (\sigma = 0,2) \quad \text{--- [5]}$$

$$\frac{T_{fa62}}{T_{fa62} + T_{ma62}} \approx 0,8 \quad (\sigma = 0,2) \quad \text{--- [6]}$$

Resultaat 6 vergelijkingen met 6 onbekenden,  
dus oplosbaar.

Mitwerking:

subst [3] in [5] geeft:  $T_{f662} = 0,8 \times 86 = 69 \quad (\sigma = 26)$   
 $\rightarrow T_{m662} = 86 - 69 = 17 \quad (\sigma = 35)$

subst bekende in [1] geeft:  $T_{fz62} = 219 - T_{fa62}$   
 " " " [2] " :  $T_{mg62} = 17 + T_{ma62}$  }  $\rightarrow$

$\rightarrow$  subst vgl in [4] geeft:  $\frac{219 - T_{fa62}}{T_{ma62} + T_{fa62} + 236} \approx 0,7$

Mitwerking hiervan in vgl [6] geeft:



$$\left. \begin{aligned} T_{mab2} &= 77 - 2,43 \cdot T_{fab2} \\ T_{mab2} &= 0,25 \times T_{fab2} \end{aligned} \right\}$$

$$\rightarrow 2,68 T_{fab2} = 77 \quad \cdot > \quad T_{fab2} = 29 \quad (\sigma = 29) \quad \text{std}$$

$$T_{mab2} = 7 \quad (\sigma = 7)$$

$$T_{fgb2} = 219 - 29 = 190 \quad (\sigma = 75)$$

$$T_{msb2} = 17 + 7 = 24 \quad (\sigma = 36)$$

Konklusie :

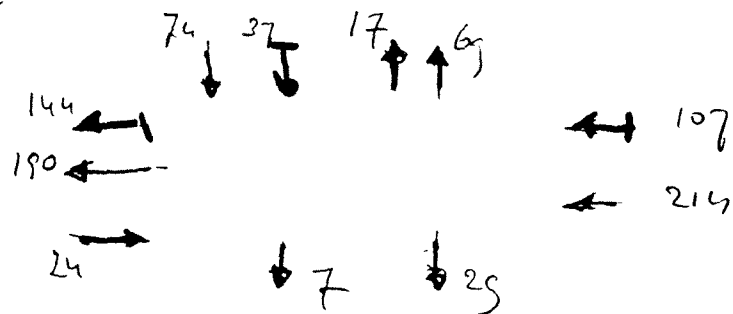
- Fluviële transport UIT op grans :

$$T_{fs2w} + T_{fgb2} = 144 + 190 = 334 \quad (\sigma \approx 82)$$

- MARIEN transport IN op grans :

$$T_{msb2} = 24 \quad (\sigma = 36)$$

Contrôle



grans

Rupel

6-14-77

Berekening Jaargewogen Stikstofvrucht door Schelde-afvoer

Schelde gras

| Land | afvoer3 | afvoer5 | Doslib7 | co/cv7 | Doslib7 | Doslib9 | co/cv9 | Doslib9 | Ta7 | Ta9 |
|------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|-----|-----|
| 1    | 183     | 216     | 53      | 0.68   | 78      | 134     | 0.70   | 191     | 17  | 41  |
| 2    | 151     | 174     | 53      | 0.68   | 78      | 104     | 0.70   | 149     | 14  | 26  |
| 3    | 155     | 178     | 41      | 0.68   | 60      | 115     | 0.70   | 164     | 11  | 29  |
| 4    | 187     | 215     | 38      | 0.47   | 61      | 66      | 0.51   | 129     | 17  | 28  |
| 5    | 123     | 141     | 16      | 0.47   | 34      | 47      | 0.51   | 92      | 5   | 13  |
| 6    | 98      | 113     | 11      | 0.47   | 23      | 31      | 0.51   | 61      | 3   | 7   |
| 7    | 55      | 63      | 9       | 0.47   | 19      | 27      | 0.51   | 53      | 1   | 3   |
| 8    | 45      | 52      | 12      | 0.47   | 26      | 28      | 0.51   | 55      | 1   | 3   |
| 9    | 62      | 71      | 14      | 0.47   | 30      | 29      | 0.51   | 57      | 2   | 4   |
| 10   | 92      | 104     | 20      | 0.68   | 29      | 38      | 0.70   | 54      | 3   | 6   |
| 11   | 87      | 112     | 31      | 0.68   | 46      | 60      | 0.70   | 86      | 5   | 10  |
| 12   | 122     | 140     | 48      | 0.68   | 71      | 89      | 0.70   | 127     | 10  | 18  |

gew. Jaargew : 7.39 15.63

## Bijlage 18

Bruto slibkenspoken over de Belgisch-Nederlandse grens.

formule  $T = Q * c * f$ ,      waarom:

$T$  = slibkempunt tussen eb- resp. vloedfase  $[t/secty]$   
 $Q$  = eb- resp. vloedvolume  $[m^3/secty]$   
 $c$  = gemiddelde slibconcentratie van eb- resp. vloedvolume  $[t/m^3]$   
 $f$  = fractie fluviaal- resp. marren slib  $[-]$

- De waarden van de eb- en vloedvolumen zijn als volgt:

$$\begin{aligned}
 \bar{Q}_{eb} &= 157,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/secty \quad (\sigma = 13,7) \\
 \bar{Q}_{vl} &= 146,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/secty \quad (\sigma = 10,7)
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \bar{Q}_{eb} &= 157,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/secty \\ \bar{Q}_{vl} &= 146,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/secty \end{aligned}} \right\} \begin{array}{l} \text{gem. '71-'05} \\ \text{volgens} \\ \text{Lit. 12} \end{array}$$

- De waarden van gemiddelde slibconcentraties zijn gebaseerd op TABEL 1 en 15 met lit. 13 voor meetpunt 3:

| maand     | $\bar{c}_0$ | $\rho_0 / \bar{c}_0$ EB | $\rho_0 / \bar{c}_0$ VLOED |
|-----------|-------------|-------------------------|----------------------------|
| 1 t/m 3   | 0,12 (0,02) | 0,66 (0,20)             | 0,74 (0,24)                |
| 4 t/m 6   | 0,05 (0,01) | 0,53 (0,24)             | 0,55 (0,21)                |
| 7 t/m 9   | 0,03 (0,01) | 0,53 (0,24)             | 0,55 (0,21)                |
| 10 t/m 12 | 0,06 (0,02) | 0,66 (0,20)             | 0,74 (0,24)                |

De factor  $\rho$  is berekend met  $\rho_0 * \frac{\bar{c}_0}{c_0}$  voor de verschillende maanden en getyfasen:

| maand     | EB          | VLOED       |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 t/m 3   | 0,18 (0,03) | 0,16 (0,03) |
| 4 t/m 6   | 0,09 (0,01) | 0,09 (0,01) |
| 7 t/m 9   | 0,06 (0,01) | 0,05 (0,01) |
| 10 t/m 12 | 0,09 (0,02) | 0,08 (0,02) |

- De waarden van de fractie fluviaal- resp. marren slib bedraagt 1 op 0,75 ( $\sigma = 0,1$ ) en 0,25 ( $\sigma = 0,1$ )

Het berekende totale Bruto slijbtransport  $Q \times C$  is samengevoet in de volgende tabel:

TABEL Bruto slijbtransport 1000 ton / setij

| maanden   | EB        |           | VLOED     |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|           | $\bar{x}$ | $\bar{y}$ | $\bar{x}$ | $\bar{y}$ |
| 1 t/m 3   | 28,3      | 5,3       | 23,5      | 4,7       |
| 4 t/m 6   | 14,2      | 2,0       | 13,2      | 1,8       |
| 7 t/m 9   | 9,4       | 1,8       | 7,3       | 1,6       |
| 10 t/m 12 | 14,2      | 3,4       | 11,7      | 3,1       |
| Jaargem.  | 16,5      | 1,7       | 13,9      | 1,5       |

Het berekende Bruto fluviaal- en marien transport  $Q \times C \times f$  is samengevoet in de volgende tabel:

TABEL Bruto Fluviaal en marien slijbtransport 1000 ton / setij

| maanden   | EB                             |                              | VLOED                          |                              |
|-----------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|           | Fluviaal<br>$\bar{x} (\sigma)$ | Marien<br>$\bar{x} (\sigma)$ | Fluviaal<br>$\bar{x} (\sigma)$ | Marien<br>$\bar{x} (\sigma)$ |
| 1 t/m 3   | 21,2 (4,1)                     | 7,1 (1,6)                    | 17,6 (3,6)                     | 5,9 (1,4)                    |
| 4 t/m 6   | 10,7 (1,6)                     | 3,5 (0,7)                    | 9,9 (1,4)                      | 3,3 (0,6)                    |
| 7 t/m 9   | 7,1 (1,4)                      | 2,3 (0,5)                    | 5,5 (1,2)                      | 1,8 (0,5)                    |
| 10 t/m 12 | 10,7 (2,6)                     | 3,5 (1,0)                    | 0,8 (2,4)                      | 2,9 (0,9)                    |
| Jaargem.  | 12,4 (1,3)                     | 4,1 (0,5)                    | 10,5 (1,2)                     | 3,5 (0,5)                    |