

Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap

Departement Leefmilieu en Infrastructuur

Algemene Milieu Impactstudie Sigmaplan (AMIS)

**SEDIMENTTRANSPORT EN SEDIMENTATIE-
PROCESSEN IN DE SCHELDE TUSSEN
ZANDVLIET EN GENT**

Suspensiemateriaal in de Schelde

23695

Verslag : AMIS DS6.1 – 7 – Volume III

Stanislas Wartel & Frederic Francken



Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen
Vautierstraat 29, 1000 Brussel

November 1998

BESPREKING

Suspensiemateriaal in de Schelde

Het gesuspendeerd sediment is verre van homogeen verspreid, noch op regionaal vlak, noch verticaal over de waterkolom. Dit geldt zowel voor de concentratie als voor de aard van het sediment. Er werden opmerkelijke verschillen verwacht in de concentratie aan gesuspendeerd sediment langs de longitudinale as (b.v. tussen de bemonstering ter hoogte van de Rupel monding en plaatsen meer stroomafwaarts dan Oosterweel en Fort De Parel), langs transversale as en in de diepte. Om dit na te gaan zijn tijdens de BELGICA campagnes diepteprofielen met een CTD-sonde op verschillende dwarsraaien en stations verspreid over de lengteas van de Schelde uitgevoerd. De raaien zijn gesitueerd ter hoogte van de Rupelmonding, Kallebeek, Kruibeke, De Vlake, Oosterweel, Fort De Parel, Zandvliet, Zuidergat en Ossenissee om longitudinale verschillen waar te kunnen nemen. Ter hoogte van de punten "Oosterweel", "Fort De Parel" en "Zandvliet" zijn zowel links als rechts van de vaargeul metingen uitgevoerd om transversale verschillen waar te kunnen nemen. Dat er zich verschillen voordoen in de aard van het sediment werd aangetoond met behulp van foto's verkregen met de benthoscamera. In een vorige deeltijds verslag, AMIS DS6.1-2 (Wartel S. & Francken F. 1996), werden ter hoogte van Kruibeke al verschillen aangetoond in vloggrootte in de bovenste en onderste waterlagen, met duidelijk een toename aan flocculatie naar de bodem toe. Dit bevestigt het bestaan van twee (of meer) waterlagen in de waterkolom: enerzijds de "graded suspension", die in de onderste waterlagen voorkomt en anderzijds de "uniform suspension", die in de bovenste waterlagen te situeren valt. De gradiënten van concentratie en korrelverdeling worden in belangrijke mate bepaald door de samenstelling van de

bodem. Er kunnen dus ook laterale verschillen verwacht worden, net als een variatie te wijten aan de stroomsnelheid (bovendebiet, tijamplitude, eb/vloed) en de turbulentie van het water. Door de keuze van de ligging van de meetraaien, gecombineerd met de uitvoering van 12-uursmetingen op die posities zijn we in staat geweest zo veel mogelijk variatie waar te nemen.

De interpretatie van de suspensiegegevens, verkregen door de CTD-sonde en het nemen van suspensiestalen, wordt eerst vanuit twee standpunten bekeken. In eerste instantie kijken we naar de concentratie van het gesuspendeerd materiaal. De ruwe gegevens, in het vorige deel weergegeven, worden hier gegroepeerd om zo o.a. een overzicht te krijgen van het massatransport. In tweede instantie wordt er naar het spectrum van de korrelgrootteverdeling gekeken.

Stroomsnelheid

Uit talrijke terreinwaarnemingen evenals uit laboratoriumexperimenten is gebleken dat de stroomsnelheidsverdeling, volgens een verticale in een rivier, beantwoordt aan een algemene vergelijking van de vorm (WARTEL, 1973):

$$\frac{U}{U_*} = \frac{U_m}{U_*} + \frac{2.3}{k_0} \log_{10} \frac{z}{h}$$

Waarin U de stroomsnelheid op een gegeven diepte (cm/s), U_* de wrijvingsnelheid tegen de bodem (cm/s), U_m de maximale stroomsnelheid op een verticale, k_0 de Von Karman constante, z de gegeven diepte onder het wateroppervlak, h waterdiepte op ogenblik van de meting.

Deze vergelijking is bekend als de Von Karman – Prandtl vergelijking. Deze vergelijking dient als uitgangspunt voor talrijke mathematische studies van het sedimenttransport in water. Er wordt hier namelijk rekening gehouden met de

zogenaamde wrijvingssnelheid tegen de bodem (U_*), welke zeer belangrijk is voor het sedimenttransport. De waarde van U_* kan afgeleid worden uit de stroomsnelheidsvergelijking. Wordt de stroomsnelheid (U) uitgezet tegen het logaritme van z/h , dan moet, wanneer aan de Von Karman – Prandtl vergelijking voldaan is, de stroomsnelheidsverdeling volgens een rechte verlopen. Uit de helling van deze rechte kan dan U_* berekend worden. De meetprocedure brengt echter een aantal beperkingen met zich mee. Zo moet men er rekening mee houden dat de metingen verricht werden met slechts één stroommeter en er dus een tijdspanne van enkele minuten bestaat tussen de eerste en de laatste meting op het profiel. Er zijn de bewegingen van het meetschip en het feit dat door de stroming de stroommeter van de verticale zal meegesleurd worden. Al deze en nog andere factoren zullen bijdragen tot de meetfout die tot 10% kan bedragen.

Massatransport

In combinatie met de suspensieprofielen kunnen de stroomsnelheidsprofielen informatie leveren over het massatransport. Het transport kan hieruit bekend worden volgens (PERJUP, 1988; DE HAAS & EISMA, 1992):

$$Transport = \int_0^t \int_0^z v_{tz} \cdot c_{tz}$$

Waarbij: v = stroomsnelheid
 c = concentratie gesuspendeerd sediment
 t = tijd
 z = diepte

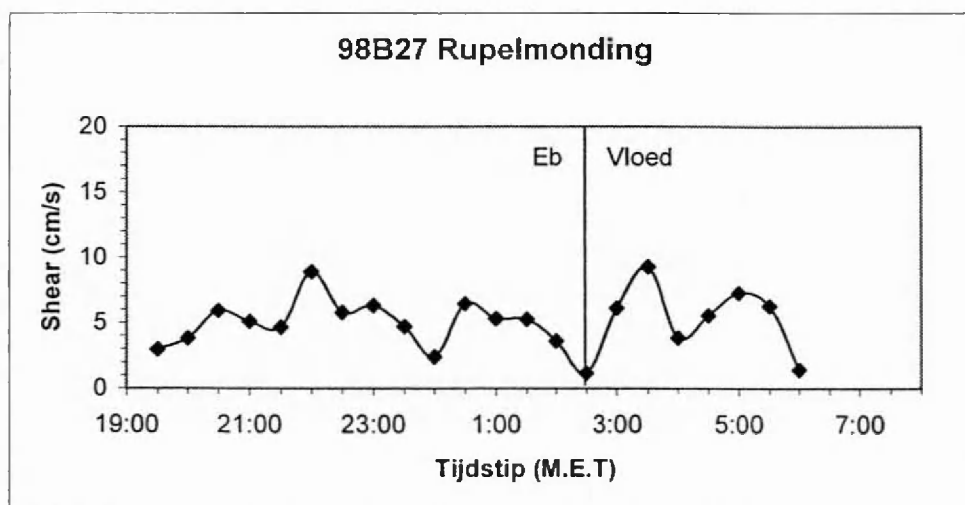
We gaat hier van een rechtlijnig verband uit, terwijl het in realiteit een zeer complexe interactie is. Hoewel een suspensieprofiel en een stroomsnelheidprofiel vrij snel (in enkele minuten) gemeten kunnen worden, zijn variaties over het profiel tijdens de meting niet uit te sluiten. De metingen gebeuren ook niet simultaan om de onderlinge beïnvloeding van de meetapparatuur te vermijden. Als laatste opmerking dient vermeld te worden dat de metingen bovendien niet continu gebeuren, maar dat de 30 minuten intervallen een goede benadering geven. Met deze beperking voor ogen,

kunnen we toch een idee krijgen van wat er zich aan gesuspendeerd materiaal in de waterkolom verplaatst.

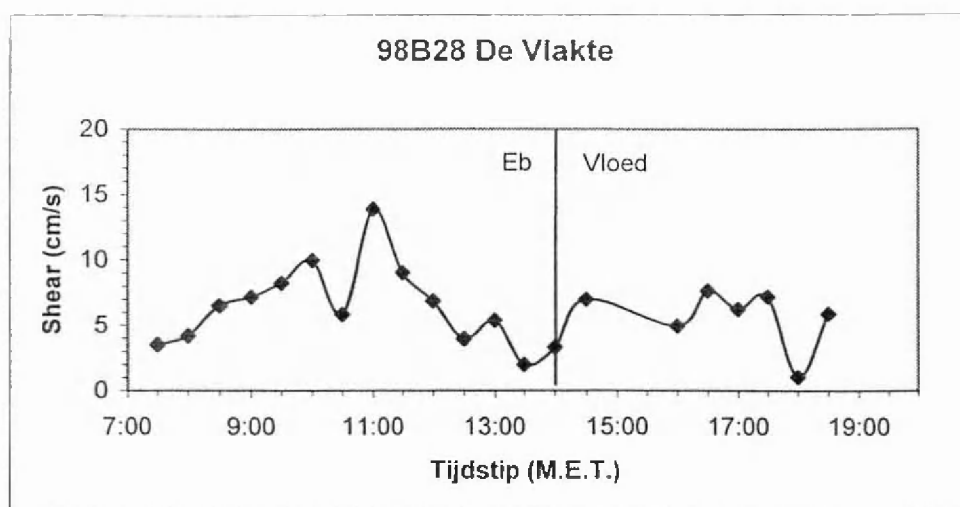
In het volgende overzicht worden variaties over de lengteas en transversale verschillen getoond voor het verloop in de wrijvingssnelheid of shear velocity en het massatransport met de tijd.

Overzicht wrijvingssnelheid

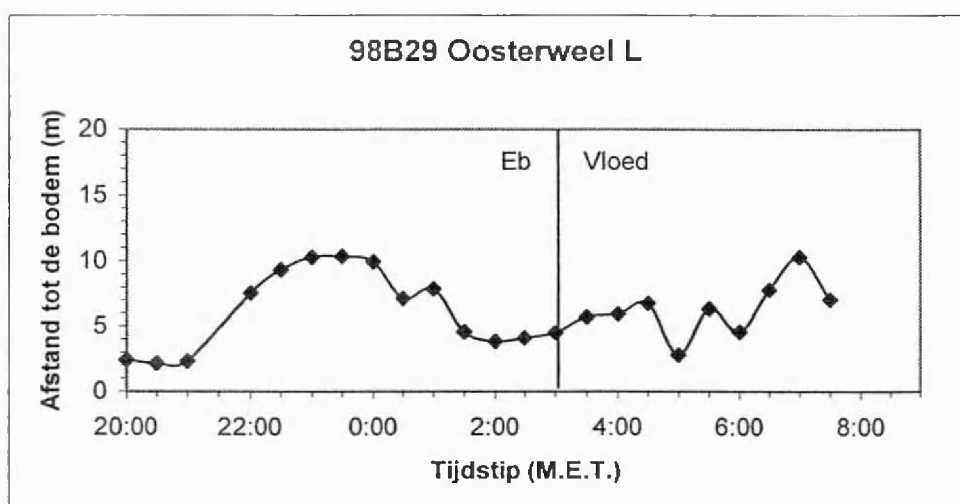
Een eerste reeks geeft een longitudinale reeks metingen weer. De metingen zijn uitgevoerd tijdens de Belgica Campagne 98-07, met meetstation "Rupelmonde" als meest stroomopwaardse station en meetstation "Ossenisse" als meest stroomafwaardse station (zie figuren 1 t.e.m. 7).



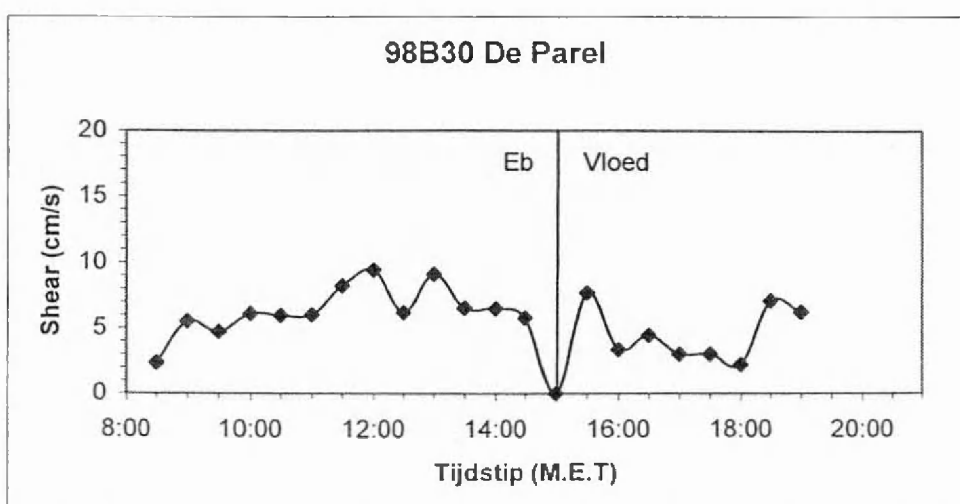
Figuur 1: variatie in de wrijvingssnelheid (shear) in de tijd ter hoogte van de Rupelmonding.



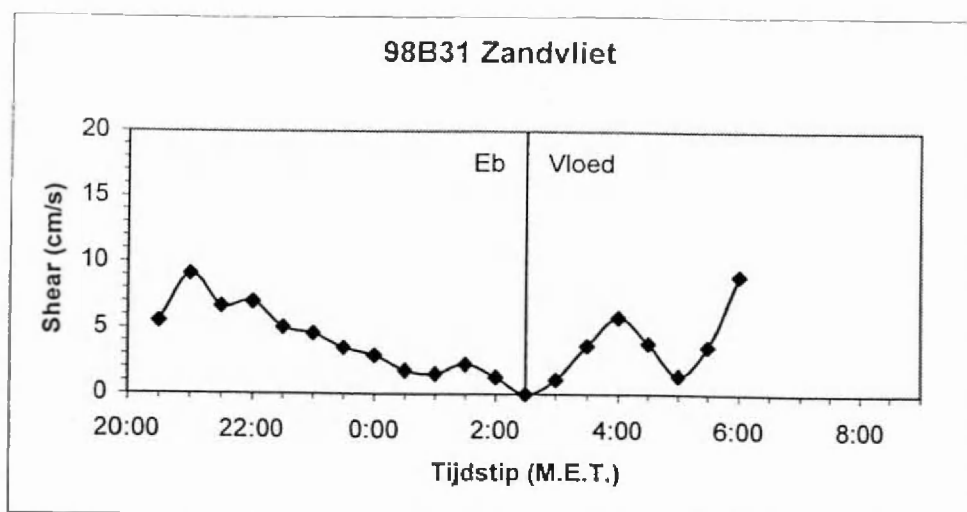
Figuur 2: wrijvingsnelheid ter hoogte van meetstation De Vlake



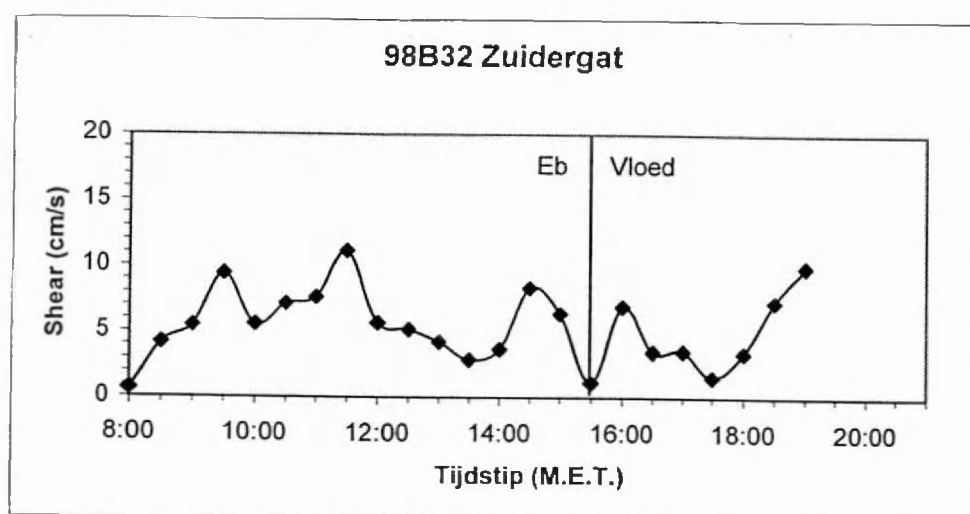
Figuur 3: variatie in de wrijvingsnelheid ter hoogte van Oosterweel



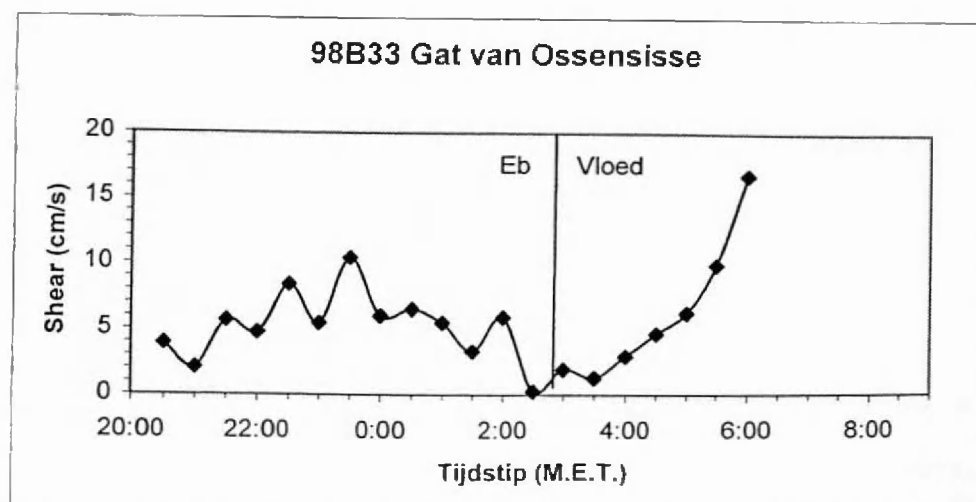
Figuur 4: wrijvingsnelheid in functie van de tijd op station De Parel



Figuur 5: variatie in de wrijvingssnelheid ter hoogte van Zandvliet

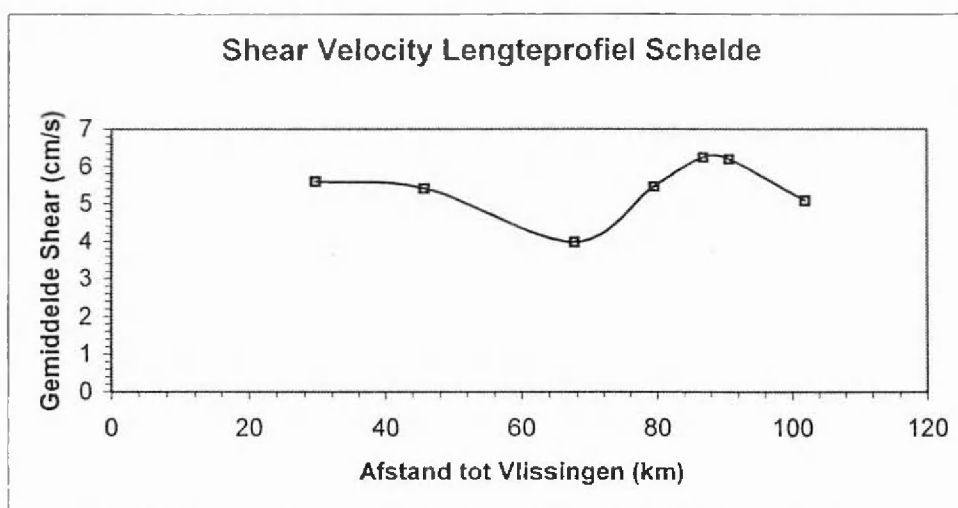


Figuur 6: wrijvingssnelheid ter hoogte van het Zuidergat

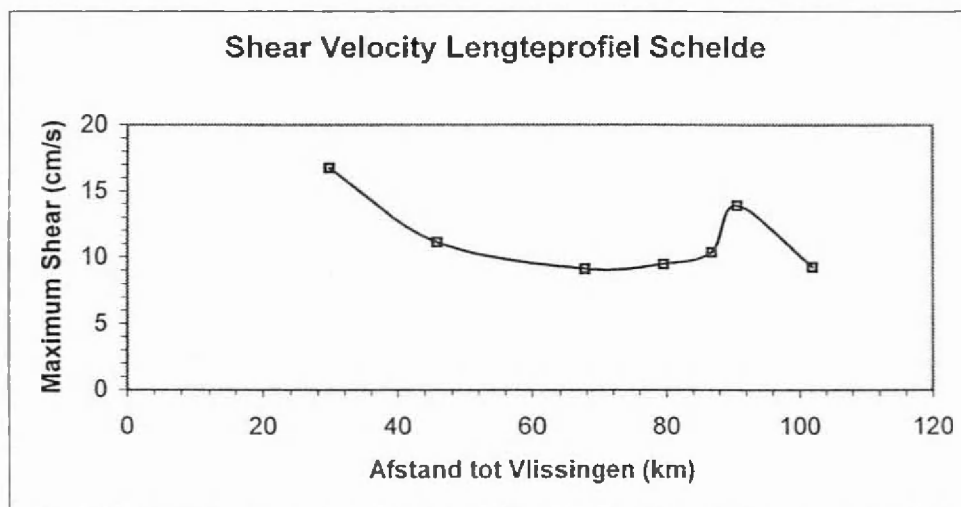


Figuur 7: variatie van de wrijvingssnelheid te Ossensisse

Zetten we de gegevens even op een rijtje, dan vinden we voor de verschillende stations een maximum wrijvingsnelheid van 16.7 cm/s te Ossensisse en een gemiddelde wrijvingsnelheid die schommelt tussen 4.0 en 6.2 cm/s over het gehele traject. Deze gegevens zijn terug te vinden in de volgende grafieken (fig. 8 en 9), die het overzicht geven volgens de afstand tot Vlissingen.



Figuur 8: variatie in de gemiddelde wrijvingsnelheid in functie van de afstand tot Vlissingen.



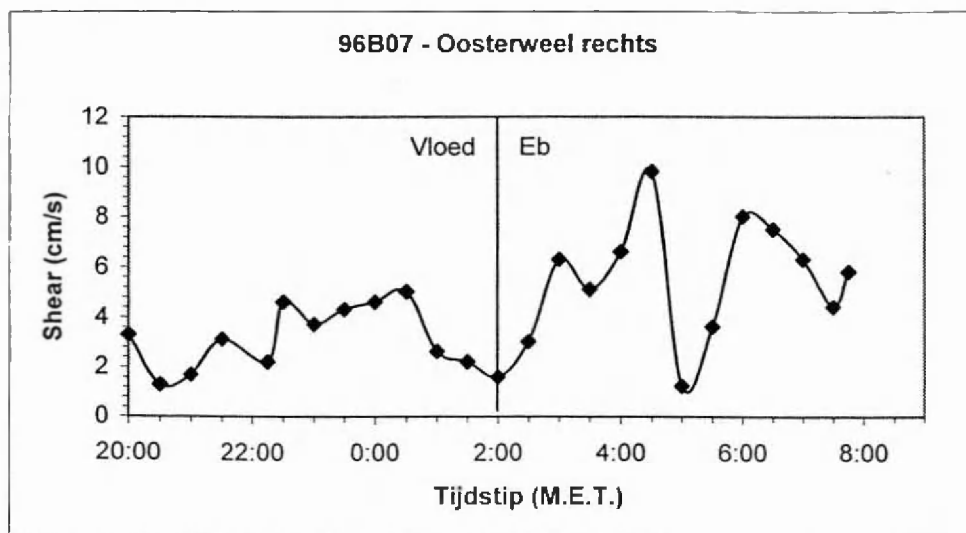
Figuur 9: variatie in de maximale wrijvingsnelheid in functie van de afstand tot Vlissingen.

Beide gegevens, het gemiddelde en de maximum wrijvingsnelheid, vertonen een gelijkaardig verloop, namelijk, een piek (6.2 cm/s gemiddeld, 13.9 cm/s maximum) tussen de 80 en 100 km. Dit gebied situeert zich tussen de monding van de Rupel en Antwerpen. Aan de Rupelmonding zelf zijn de waarden lager (5.1 cm/s gemiddeld,

9.3 cm/s maximum), zoals ook het geval is in de zone De Parel – Zandvliet (5.5 cm/s en 4.0 cm/s gemiddeld, 9.5 en 9.1 cm/s maximum). Vanaf de Belgisch-Nederlandse grens verhoogt de wrijvingssnelheid terug, met zelfs een maximum van 16.7 cm/s voor Ossensisse. Daar de wrijvingssnelheid een bepalende factor is in welke mate er sediment geresuspendeerd zal worden, kunnen we voor de regio's Rupel tot Antwerpen en vanaf de Belgisch-Nederlandse grens een verhoogd massatransport verwachten.

De raaien ter hoogte van Oosterweel, De parel en Zandvliet werden zowel aan de linker- als aan de rechterkant van de vaargeul bemonsterd. Dit laat toe transversale verschillen waar te nemen. De volgende reeks grafieken geeft een overzicht van deze berekeningen.

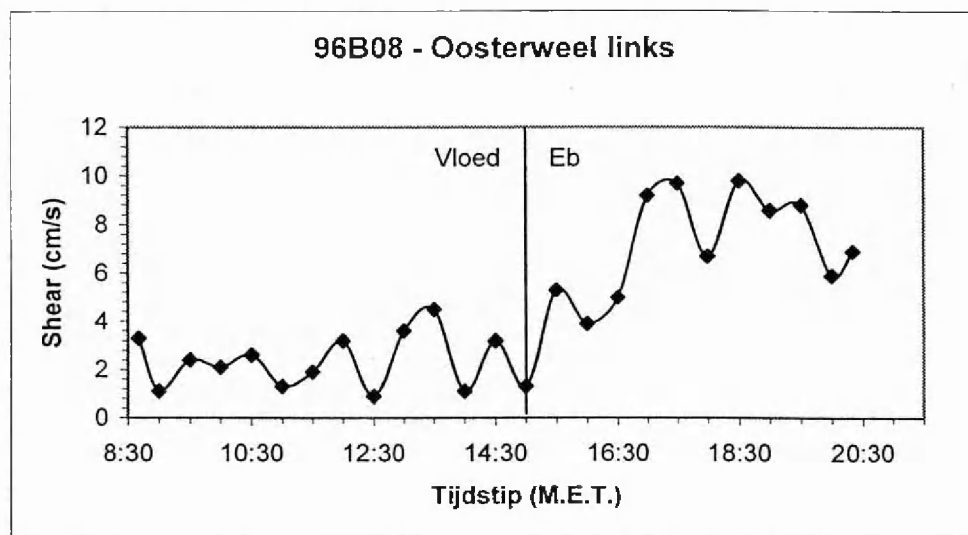
Dwarsraai Oosterweel



Figuur 10: de wrijvingssnelheid in Oosterweel rechts in het voorjaar van 1996.

Met een gemiddelde van 4.3 cm/s over 12 uur vertoont dit profiel een duidelijk verschil tussen vloed en eb (fig.10). Op dit station, Oosterweel rechts, zijn de

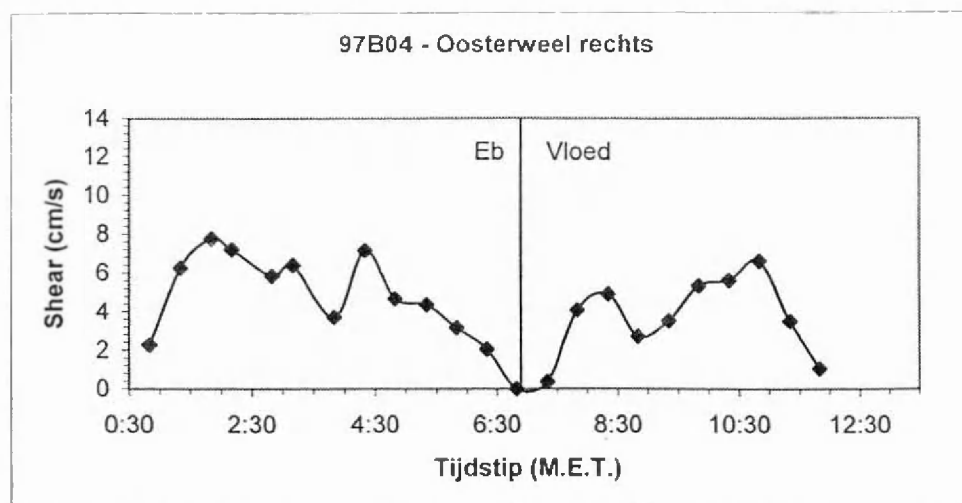
eb-wrijvingssnelheden duidelijk groter (gemiddeld 5.3 cm/s) dan de krachten die heersen tijdens vloed (gemiddeld 3.2 cm/s). De wrijvingssnelheid tegen de bodem stijgt tijdens eb naar een maximum van 9.8 cm/s, om dan naar een minimum terug te zakken. Dit "dal" dat ook waarneembaar is bij de stroomsnelheidsmetingen, doet zich ook voor bij andere stations. Een verklaring zou kunnen gezocht worden bij de rheologie van de bodemsedimenten, waarbij na een bepaalde tijd een meer geconsolideerde laag vrij komt.



Figuur 11: de wrijvingssnelheid in Oosterweel links (voorjaar 1996).

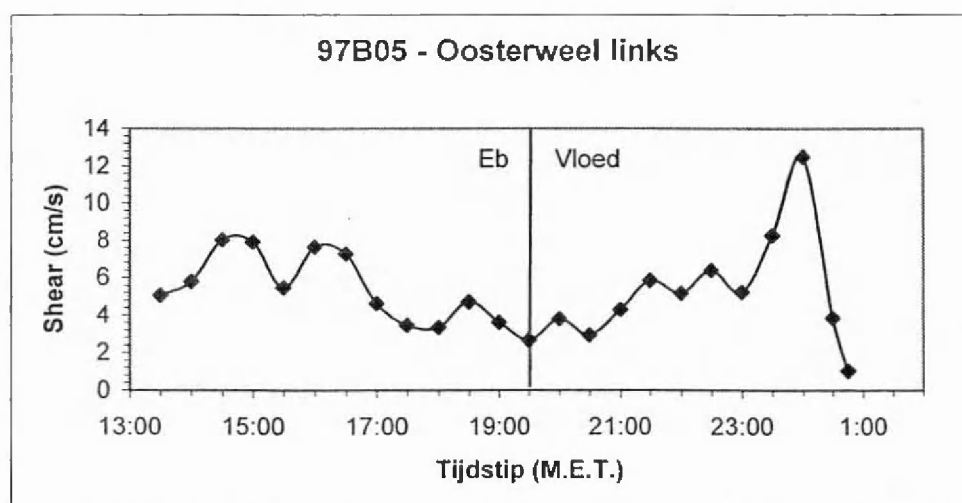
Oosterweel links (fig. 11) vertoont een min of meer analoog verloop. Gemiddeld is de wrijvingssnelheid er 4.5 cm/s met een sterkere eb-wrijvingssnelheid (gemiddeld 6.8 cm/s) dan de vloed-wrijvingssnelheid (2.4 cm/s). De maximum wrijvingssnelheid is dan ook bij eb terug te vinden en bedraagt 9.8 cm/s.

Deze stations zijn bemonsterd in het najaar van 1996; een jaar later, het najaar 1997, werden de twee stations opnieuw uitgekozen voor 12-uursmetingen (fig. 12 en 13).



Figuur 12: wrijvingssnelheid te Oosterweel rechts (voorjaar 1997).

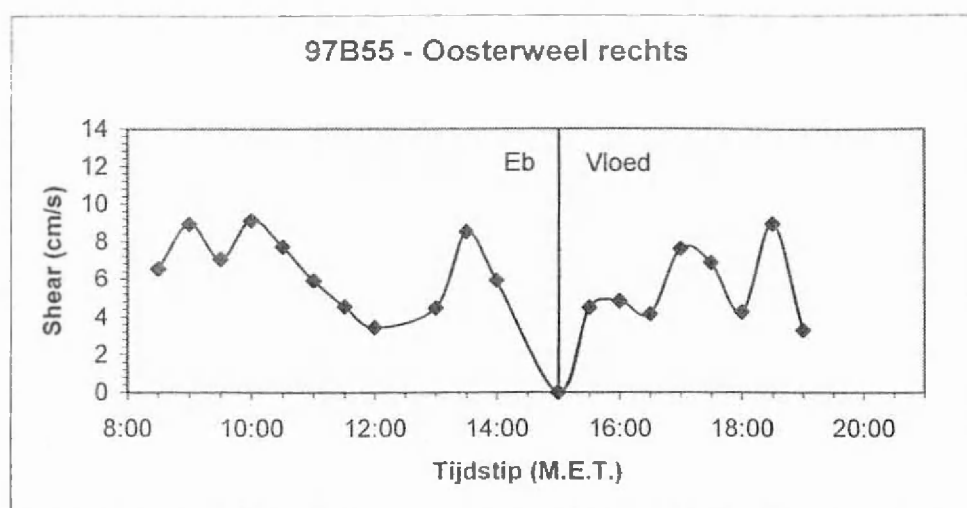
Ook hier bemerken we gemiddeld hogere wrijvingssnelheden bij eb dan bij vloed: 5.1 cm/s ten opzichte van 3.4 cm/s. De totale gemiddelde wrijvingssnelheid bedraagt 4.3 cm/s met een maximum van 7.8 cm/s bij eb.



Figuur 13: wrijvingssnelheid te Oosterweel links (voorjaar 1997)

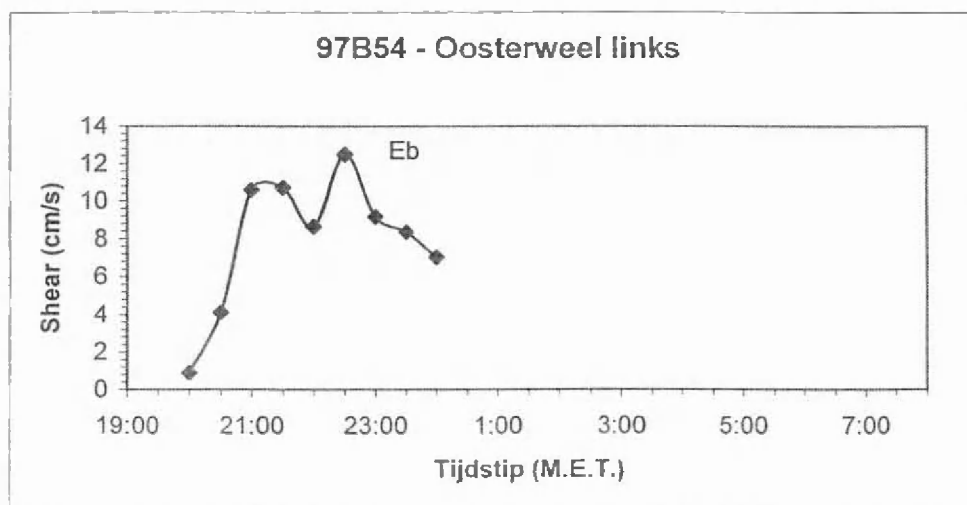
Op het eerste gezicht lijkt de wrijvingssnelheid tegen de bodem tijdens eb in dit station minder uitgesproken te zijn. Een vloed-gemiddelde wrijvingssnelheid van 5.2 cm/s ligt dicht bij de eb-gemiddelde waarde van 5.6 cm/s. Het maximum van 12.5 cm/s tijdens vloed trekt het vloed-gemiddelde wel sterk naar boven. Indien deze meting (al dan niet correct) eruit wordt gefilterd, valt de wrijvingssnelheid tijdens vloed terug naar een gemiddelde van 4.5 cm/s.

De volgende twee grafieken (fig. 14 en 15) geven hetzelfde station in het najaar van 1997 weer.



Figuur 14: wrijvingssnelheid te Oosterweel rechts (najaar 1997)

Weerom dezelfde situatie voor station 97B55, waar de gemiddelde wrijvingssnelheid tegen de bodem bij eb 6.6 cm/s bedraagt, terwijl ze bij vloed iets lager ligt, namelijk 5.6 cm/s. De gemiddelde wrijvingssnelheid over de eb en vloed cyclus bedraagt 5.8 cm/s met een maximum van 9.1 cm/s.



Figuur 15: wrijvingssnelheid ter hoogte van Oosterweel links (najaar 1997)

Door het ontbreken van een reeks stroomsnelheidsgegevens is er slechts een stuk van de eb-wrijvingssnelheden berekend kunnen worden. Hier blijkt een hoog gemiddelde

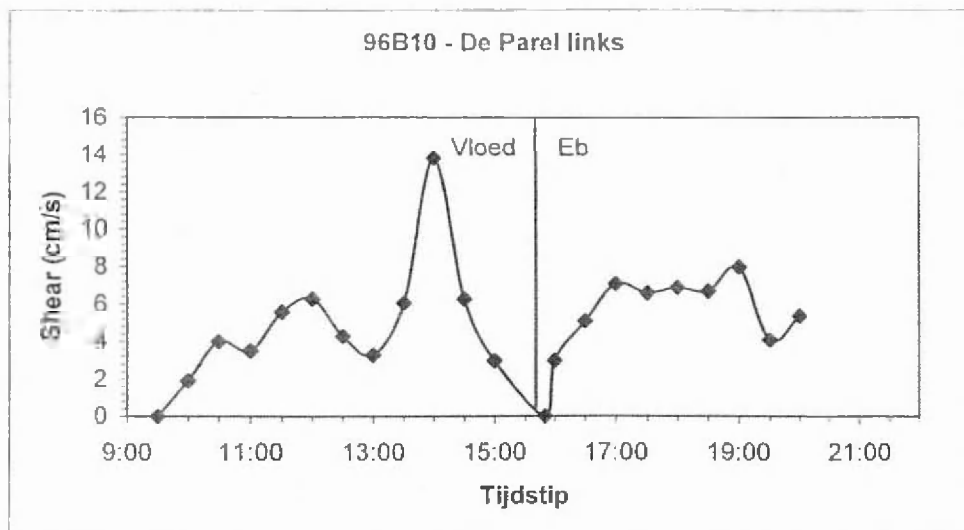
van 8.0 cm/s en een piek van 12.5 cm/s voor dit getij. Als we de lijn doortrekken met het verloop van de andere stations in gedachte, dan zal de wrijvingssnelheid tijdens vloed ook hier weer lager liggen.

Tabel 1 geeft een samenvatting weer voor de twee stations te Oosterweel. Voor station Oosterweel links in het voorjaar van 97 zijn er voor het totaal gemiddelde, het vloed gemiddelde en de maximale waarde telkens twee getallen weergegeven. De vetjes afgedrukte waarden zijn deze berekend met de maximale waarde van 12.5 cm/s tijdens vloed, de andere zijn berekend zonder deze extreme waarde.

Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximaal
Rechts voorjaar 96	4.3	5.3	3.2	9.8
Links voorjaar 96	4.5	6.8	2.4	9.8
Rechts voorjaar 97	4.3	5.1	3.4	7.8
Links voorjaar 97	5.4/5.1	5.6	5.2/4.5	12.5/8.5 *
Rechts najaar 97	5.8	6.6	5.6	9.1
Links najaar 97	N.B.	8.0	N.B.	12.5

Tabel 1: samenvatting wrijvingssnelheid (cm/s) over dwarsraai te Oosterweel

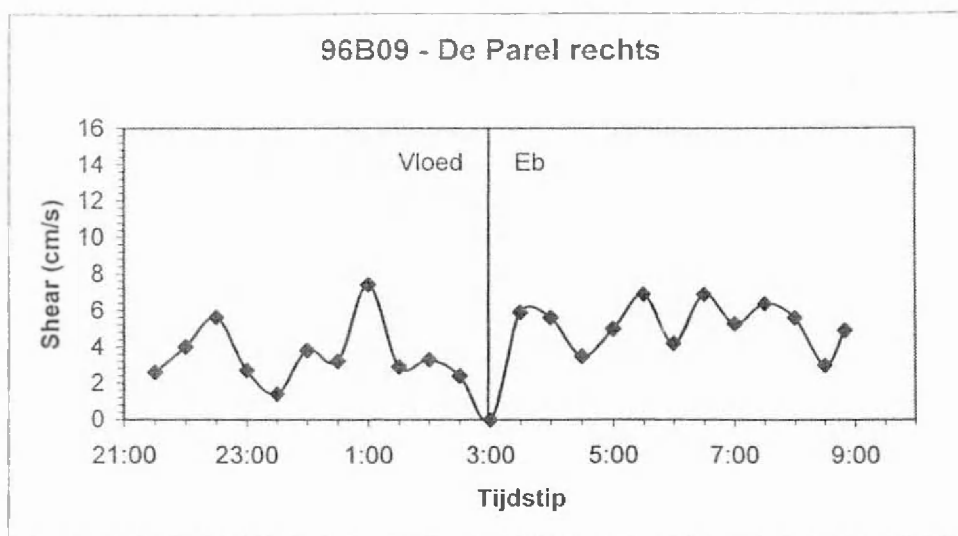
Duidelijke verschillen langs de dwarssectie vallen er niet te noteren, behalve dat aan de linkerkant iets hogere waarden van de wrijvingssnelheid berekend werden. Dit geldt voor zowel het totale gemiddelde als voor het gemiddelde tijdens eb en in mindere mate tijdens vloed. Een duidelijker verschil is er tussen eb en vloed, waarbij telkens bij eb hogere wrijvingssnelheden bekomen worden dan bij vloed. Over de seizoensgebonden verschillen kan men moeilijker een besluit vormen. Hiervoor moeten nog extra metingen uitgevoerd worden.

Dwarsraai De Parel

Figuur 16: de wrijvingssnelheid ter hoogte van De Parel links.

De Parel links (fig. 16) wordt gekarakteriseerd door een totaal gemiddelde wrijvingssnelheid van 5.0 cm/s. De gemiddelde waarden voor eb en vloed bedragen respectievelijk 5.9 cm/s/ en 4.8 cm/s. De maximale wrijvingssnelheid vinden we bij vloed terug en bedraagt 13.8 cm/s. Deze waarde is echter sterk afwijkend van het geheel en van het verloop tijdens de vloed in het bijzonder. Laten we die meting uit de reeks, dan valt het gemiddelde tijdens vloed terug naar 4.0 cm/s en de totale gemiddelde wrijvingssnelheid bedraagt dan 4.6 cm/s. Als een gevolg daarvan vinden we de maximale wrijvingssnelheid terug bij eb en die bedraagt dan 8.0 cm/s.

De gemiddelde wrijvingssnelheid tegen de bodem bij vloed en eb samen bedraagt voor station De Parel rechts 4.3 cm/s (zie fig. 17). Ook hier bemerken we een hogere "shear velocity" bij eb: gemiddeld bedraagt ze hier 5.3 cm/s ten opzichte van 3.6 cm/s bij vloed. Hoewel het gemiddelde tijdens eb hoger ligt, wordt hier de maximale wrijvingssnelheid bij vloed opgemeten, namelijk 7.4 cm/s



Figuur 17: overzicht wrijvingssnelheid op station De Parel rechts.

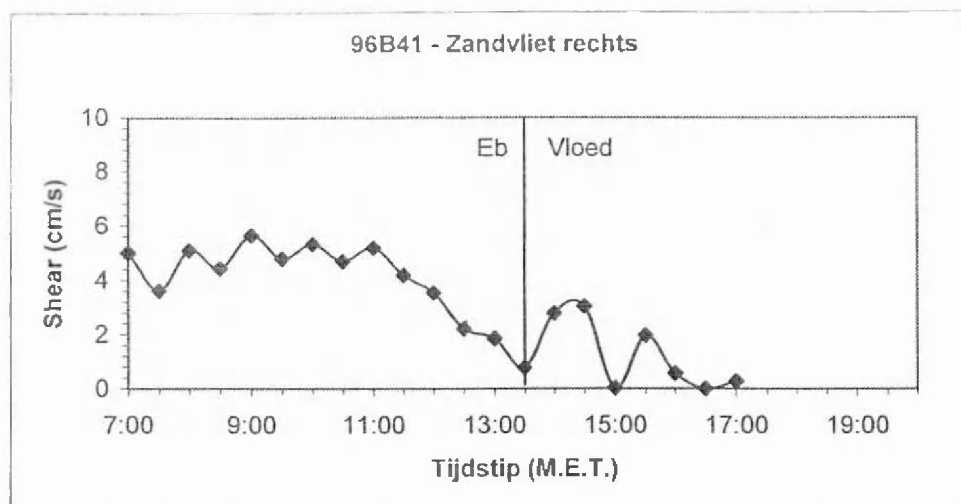
Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximaal
De Parel links	5.0/4.86	5.9	4.8/4.0	13.8/8.0
De Parel rechts	4.3	5.3	3.6	7.4

Tabel 2: samenvatting wrijvingssnelheid (cm/s) over de dwarsraai van De Parel.

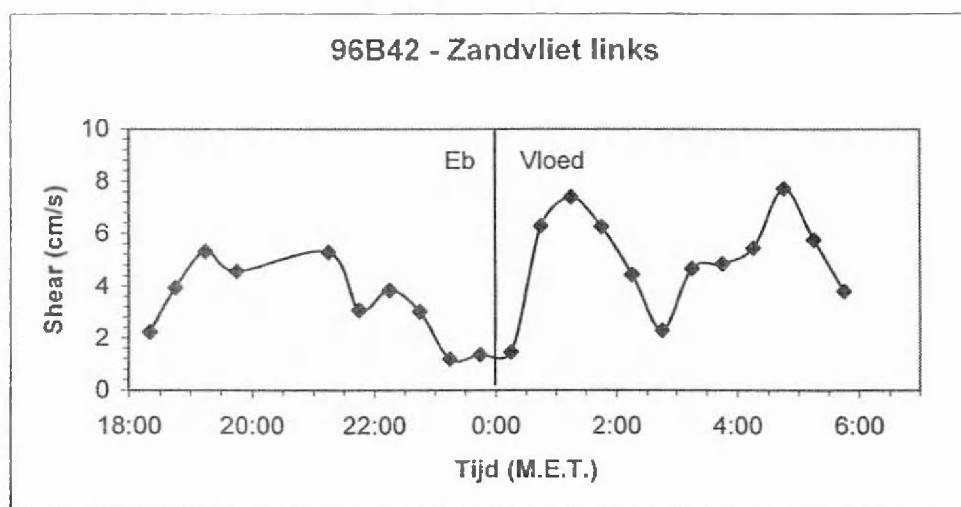
De vetjes afgedrukte waarden vertegenwoordigen de gemiddelden met de extreme waarde van 13.8 cm/s bij vloed meegerekend (zie tabel 2). Zonder de extreme waarde blijkt er wat betreft de wrijvingssnelheid weinig verschil te zijn tussen links en rechts op station De Parel.

Dwarsraai Zandvliet

Het station Zandvliet rechts (fig. 18) vertoont een globaal gemiddelde shear velocity van 3.1 cm/s. Tijdens eb ligt dit gemiddelde rond 4.3 cm/s, bij vloed 1.2 cm/s. De maximale wrijvingssnelheid van 5.6 cm/s wordt tijdens eb gemeten. Op dit station zijn de eb-wrijvingskrachten weer het belangrijkste.



Figuur 18: overzicht wrijvingssnelheid te Zandvliet rechts.



Figuur 19: verloop van de wrijvingssnelheid ter hoogte van Zandvliet links.

Algemeen bekeken situeert de gemiddelde wrijvingssnelheid op station Zandvliet links zich rond de 4.3 cm/s (fig. 19). Bij eb is die waarde gemiddeld 3.4 cm/s, bij vloed 5.0 cm/s. De maximale shear wordt bij vloed opgemeten en bedraagt 7.7 cm/s. Hier wordt het scenario omgekeerd: de hoogste wrijvingssnelheid wordt bij vloed gevonden en gemiddeld liggen de waarden er ook hoger dan bij eb. In Zandvliet is er, wat deze campagne betreft, een transversaal verschil waar te nemen.

Tabel 3 geeft een samenvatting van de wrijvingssnelheid ter hoogte van de dwarsraai in Zandvliet.

Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximaal
Zandvliet rechts	3.1	4.3	1.2	5.6 (eb)
Zandvliet links	4.3	3.4	5.0	7.7 (vloed)

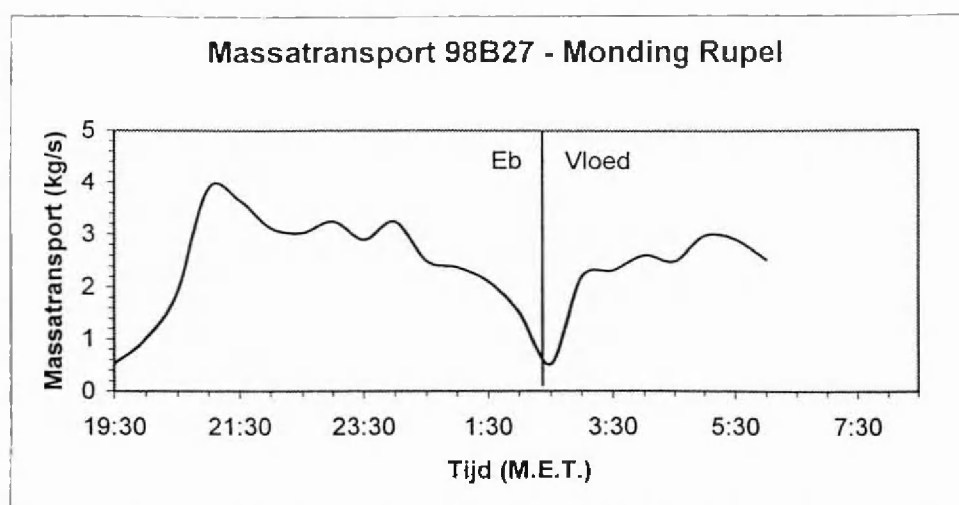
Tabel 3: samenvatting van de wrijvingssnelheid (cm/s) voor de dwarsraai in Zandvliet.

Een merkwaardig verschil valt op te merken tussen de vloedgemiddelde wrijvingsnelheden: bij station Zandvliet rechts is deze vrij laag (1.2 cm/s) terwijl de hoogste waarde van 7.7 cm/s bij station Zandvliet links tijdens vloed gemeten wordt en de gemiddelde wrijvingssnelheid er 5.0 cm/s bedraagt.

Algemeen genomen is er een trend om hogere wrijvingssnelheden te meten tijdens eb (behalve op Zandvliet links) en de transversale verschillen beperken zich tot een minimum daar waar de gemiddelde en maximale shear zich tijdens hetzelfde getij voordoet.

Overzicht massatransport

Ook hier beginnen we met een longitudinaal overzicht. Het meest stroomopwaarts gelegen station is weer de monding van de Rupel (fig.20); het meest stroomafwaarts is het station aan het Gat van Ossensisse. Het massatransport is iedere keer berekend over één diepteprofiel en geïntegreerd over de tijd. Daar het ons ontbreekt aan extra metingen over de dwarsrichting van de geul, zijn de resultaten te interpreteren als kg/s per meter dwarsrichting. Omdat één meting niet representatief is voor de totale dwarssectie, wordt op dit moment geen transport berekend over de breedte van de rivier.



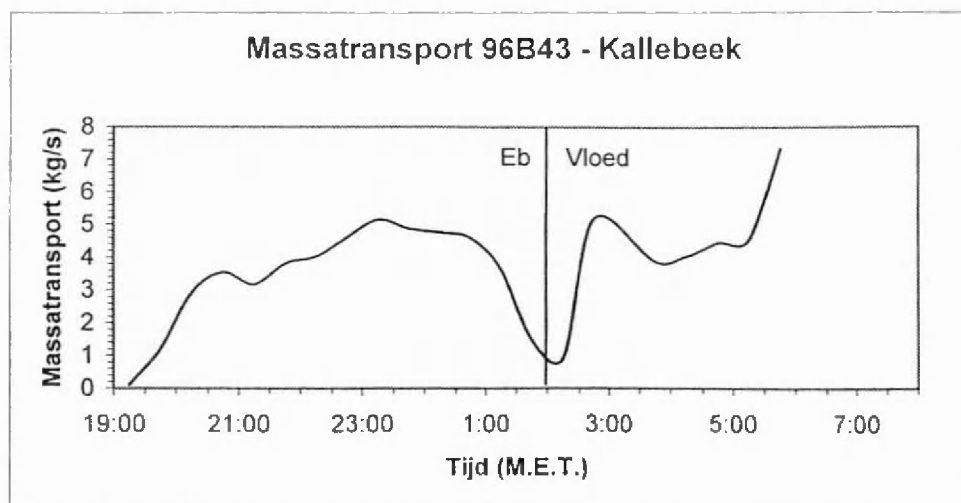
Figuur 20: massatransport ter hoogte van de Rupelmonding.

Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
Monding Rupel	2.4	2.5	2.3	3.9

Tabel 4: samenvatting massatransport (kg/s) station Monding Rupel

Een licht voordeel voor het eb gemiddelde (2.5 kg/s) ten opzichte van het massatransport bij vloed (2.3 kg/s), maar met een maximum piek van 3.9 kg/s die het zwaartepunt van het transport toch wel bij eb legt.

Gaan we verder stroomafwaarts dan komen we aan het station van Kallebeek (fig. 21). Om een zo hoog mogelijke resolutie in het lengteprofiel te krijgen zijn metingen van verscheidene campagnes bij elkaar gevoegd. Het totaal mag men hierdoor niet als absoluut gaan beschouwen, maar men kan toch onderlinge trends bekijken.

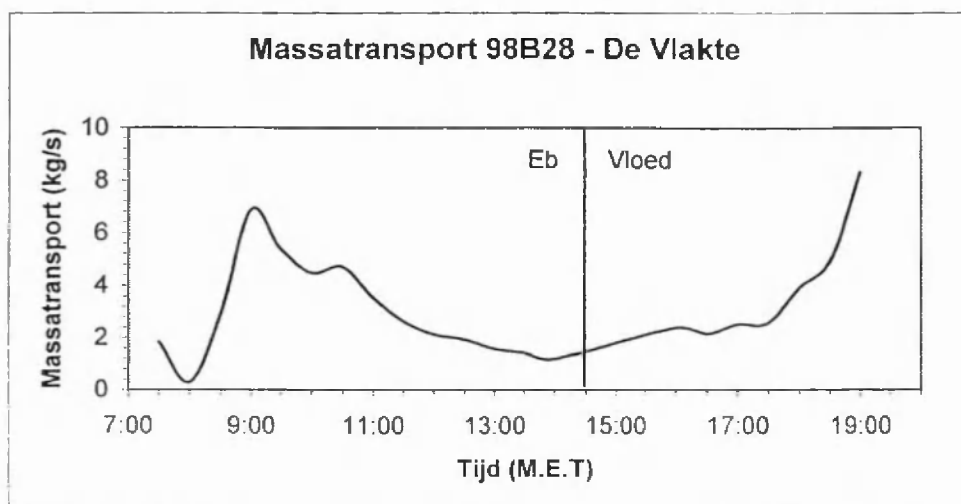


Figuur 21: het massatransport ter hoogte van station Kallebeek

Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
Kallebeek	3.7	3.4	4.9	7.3

Tabel 5: samenvatting massatransport (kg/s) ter hoogte van station Kallebeek

In Kallebeek (fig. 21) is er één punt (5:45; 7.3 kg/s) dat het vloedgemiddelde opdrijft tot 4.9 kg/s en zo hoger komt te liggen dan het gemiddeld massatransport bij eb, namelijk 3.4 kg/s. Het totaal gemiddeld massatransport doorheen de zone van Kallebeek bedraagt 3.7 kg/s per meter dwarsrichting.



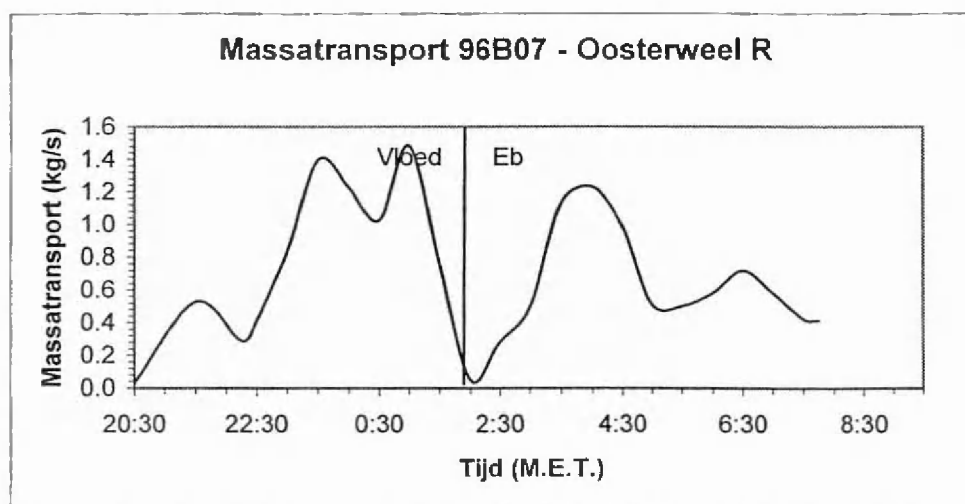
Figuur 22: overzicht massatransport ter hoogte van De Vlakte

Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
De Vlakte	3.2	2.9	3.8	8.3

Tabel 6: samenvatting massatransport (kg/s) op station De Vlakte

Tijdens de metingen op station De Vlakte (fig. 22) zijn er door technische storingen tussen 14:00 en 16:00 geen gegevens opgenomen door het on-line ODAS systeem aan boord van de "BELGICA". Hierdoor worden de gegevens van die periode hier weergegeven als een benadering van de werkelijke situatie.

Tijdens Eb werd er gemiddeld 2.9 kg/s per meter dwarrichting getransporteerd (tabel 6). Bij vloed liep dit op tot een gemiddelde van 3.8 kg/s met een maximum van 8.3 kg/s per meter dwarssectie. Globaal bekeken ging er tijdens de metingen door één meter sectie van het station De Vlakte 3.2 kg/s.



Figuur 23: variatie in massatransport ter hoogte van Oosterweel rechts.

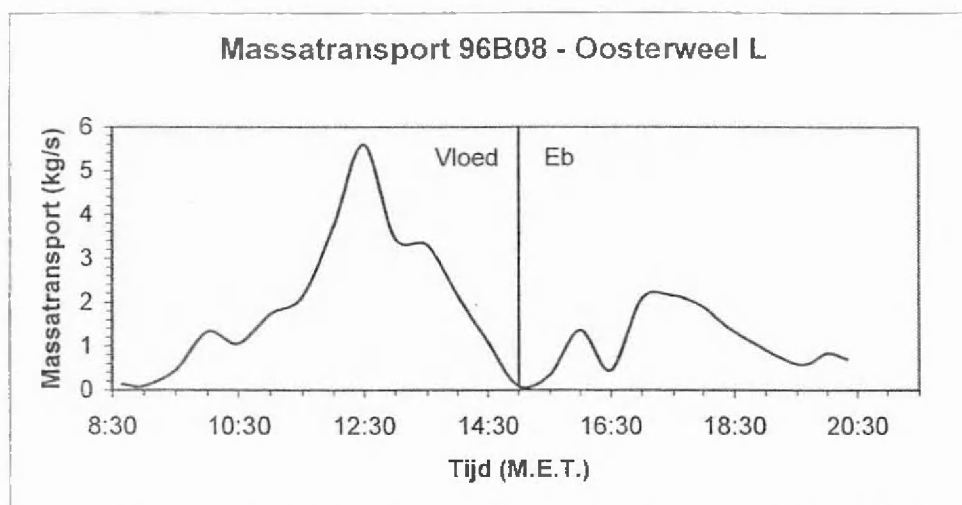
Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
Oosterweel rechts	0.7	0.7	0.8	1.5

Tabel 7: samenvatting massatransport (kg/s) voor Oosterweel rechts.

Opvallend is dat het transport hier minimaal is: een totaal gemiddeld transport door 1 meter dwarssectie van 0.7 kg/s (fig. 23 en tabel 7). De gemiddelden over eb en vloed zijn vergelijkbaar, respectievelijk 0.7 en 0.8 kg/s per meter dwarssectie. Het

maximum massatransport is hier bij vloed terug te vinden: 1.5 kg/s per meter dwarsrichting.

Aan de andere kant van de vaargeul vinden we Oosterweel links.



Figuur 24: overzicht massatransport te Oosterweel links.

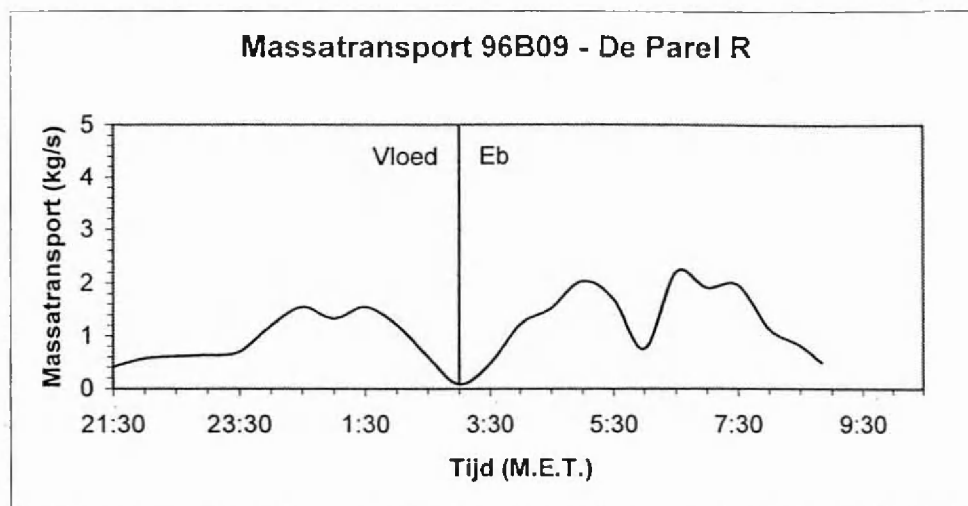
Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
Oosterweel links	1.6	1.2	2.0	5.6

Tabel 8: samenvatting massatransport (kg/s) voor Oosterweel links.

Ook hier gemiddeld een laag massatransport: globaal gaat er door 1 meter dwarssectie 1.6 kg/s te Oosterweel links. Het verschil tussen eb en vloed is niet uitgesproken groot, maar toch in het voordeel van vloed: 2.0 kg/s tegenover 1.2 kg/s per meter dwars. Het maximum massatransport van 5.6 kg/s doet zich voor bij vloed.

Verder stroomafwaarts komen we aan de meetraai van De Parel. Deze heeft aan de rechterkant de eigenschap dat er over eb en vloed gemiddeld 1.1 kg/s per meter dwars aan gesuspendeerd materiaal doorstroomt (fig. 25, tabel 9). De eb vertoont een groter massatransport met gemiddeld 1.4 kg/s in vergelijking met vloed (0.9 kg/s per meter

dwarssectie). Het maximum transport wordt tijdens eb bereikt: 2.2 kg/s per meter dwars



Figuur 25: massatransport ter hoogte van De Parel rechts.

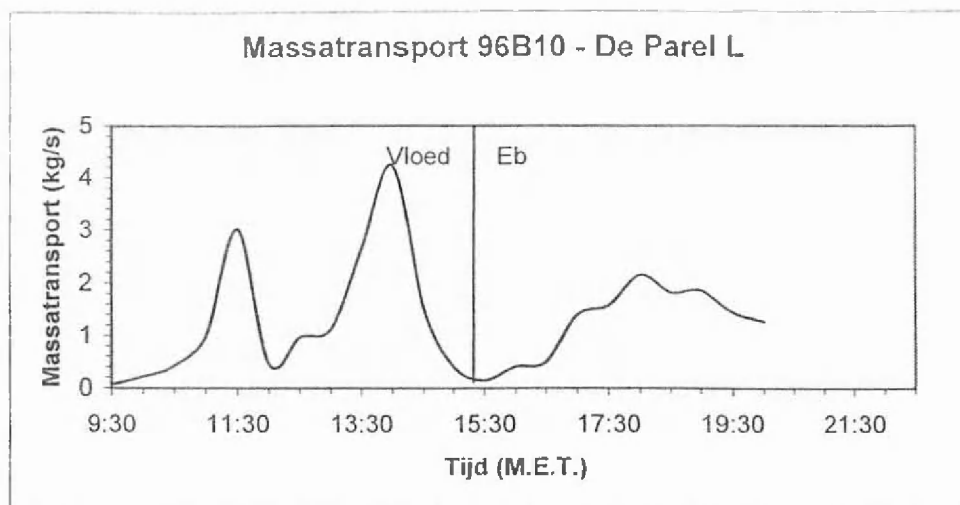
Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
De Parel rechts	1.1	1.4	0.9	2.2

Tabel 9: samenvatting massatransport (kg/s) op station De Parel rechts.

De Parel links (fig. 26) vertoont op het eerste gezicht een sterk verschil tussen eb en vloed, maar het gemiddelde massatransport is tijdens beide getijden gelijk, namelijk 1.3 kg/s per meter dwarsraai (tabel 10). Dit is ook het gemiddelde over de gehele 13-uursmeting. De vloed onderscheidt zich echter wel van eb door twee pieken, waarvan één met een maximum van 4.2 kg/s.

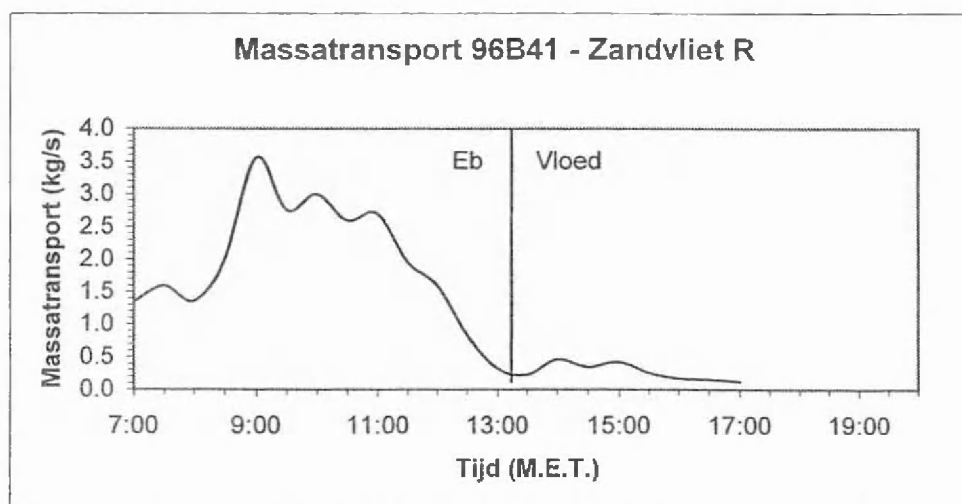
Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
De Parel links	1.3	1.3	1.3	4.2

Tabel 10: samenvatting massatransport (kg/s) ter hoogte van De Parel links.



Figuur 26: overzicht massatransport op De Parel links.

Aan de Belgisch-Nederlandse grens vinden we de meetraai van Zandvliet. Op Zandvliet rechts (fig. 27) vonden we het volgende massatransport:



Figuur 27: variatie in massatransport op station Zandvliet rechts.

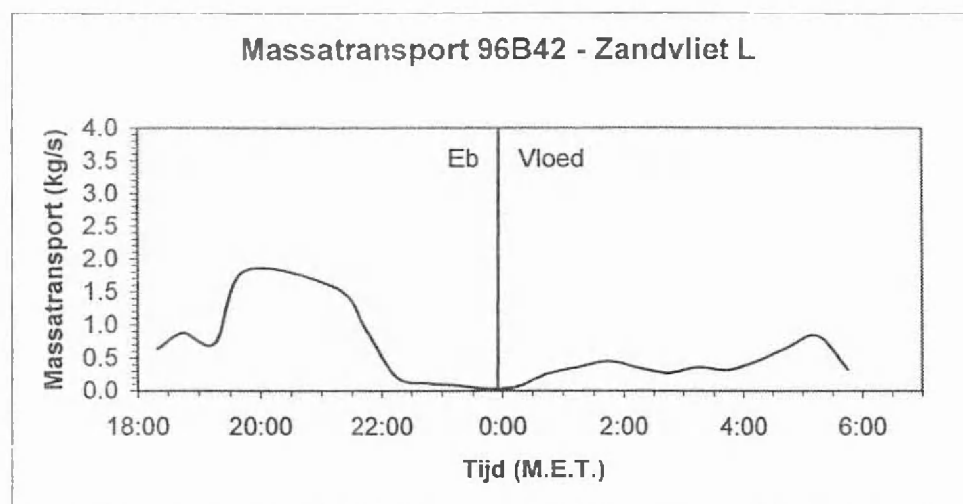
Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
Zandvliet rechts	1.3	2.1	0.3	3.6

Tabel 11: samenvatting massatransport (kg/s) voor Zandvliet rechts

Een duidelijk verschil tussen eb en vloed, waarbij het massatransport een gemiddelde bereikt van 2.1 kg/s voor eb en 0.3 kg/s voor vloed. Door dit lage vloedgemiddelde,

wordt het globaal gemiddelde naar beneden getrokken: 1.3 kg/s per meter dwarssectie. Het maximum massatransport is 3.6 kg/s bij eb.

Het massatransport aan de overkant van de geul, Zandvliet links, ligt weer lager (fig. 28):



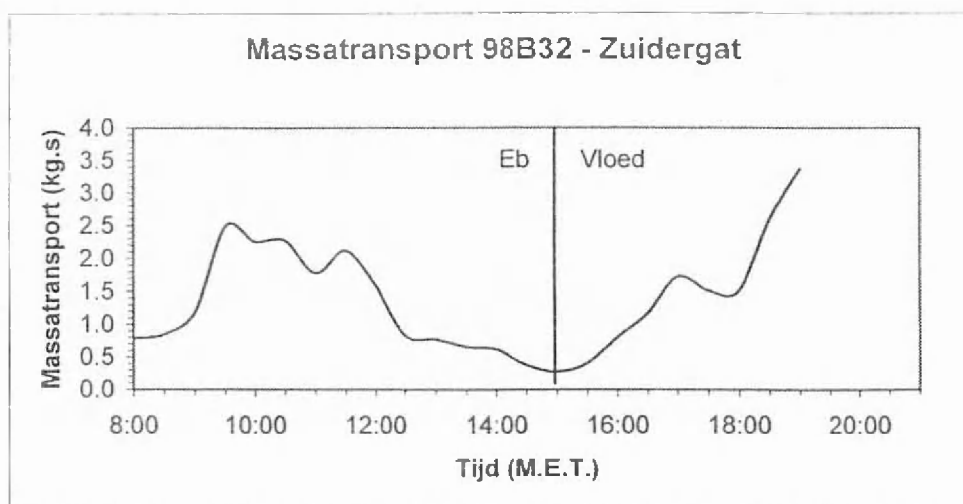
Figuur 28: overzicht van het massatransport ter hoogte van Zandvliet links

Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
Zandvliet links	1.3	2.1	0.3	3.6

Tabel 12: samenvatting massatransport (kg/s) ter hoogte van Zandvliet links.

Het station Zandvliet links wordt tijdens deze metingen gekenmerkt door een laag massatransport (tabel 12): gemiddeld gaat er door een meter dwarssectie over vloed en eb samen 1.3 kg/s aan gesuspendeerd sediment. Eb vertoont een groter massatransport dan vloed: 2.1 kg/s tegenover 0.3 kg/s per meter dwarsraai. Het maximum vindt men dan ook terug bij eb en bereikt een waarde van 3.6 kg/s.

Het eerste station in Nederland is ter hoogte van het Zuidergat (fig. 29).

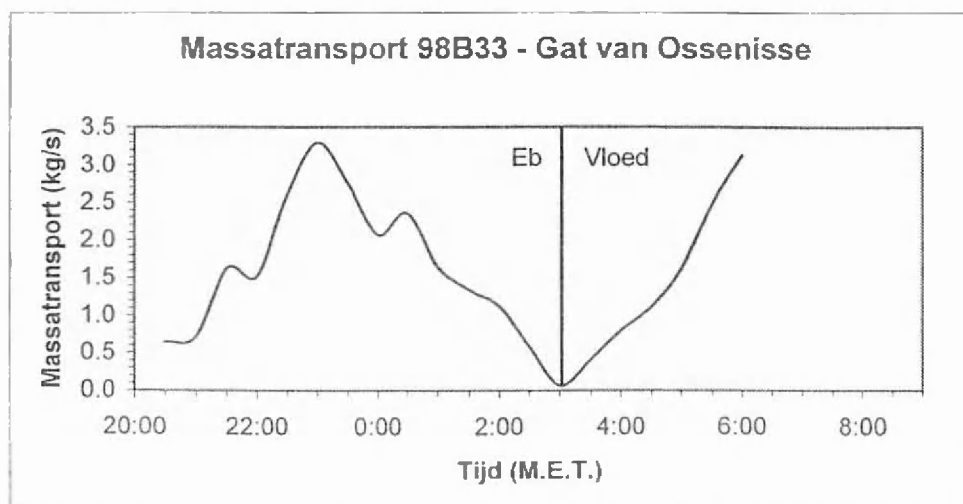


Figuur 29: variatie in massatransport op station Zuidergat.

Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
Zuidergat	1.4	1.3	1.5	3.4

Tabel 13: samenvatting van het massatransport (kg/s) voor Zuidergat.

Op het eerste gezicht is er weinig verschil tussen eb en vloed op station Zuidergat. Een licht hoger vloedgemiddeld massatransport van 1.5 kg/s tegenover 1.3 kg/s bij eb karakteriseren het getij (tabel 13). Het totale gemiddelde situeert zich rond de 1.4 kg/s en het maximum is bij vloed te vinden, namelijk een massatransport van 3.4 kg/s per meter dwarssectie.



Figuur 30: massatransport ter hoogte van het Gat van Ossensisse.

Station	Tot. Gemidd.	Ebgemiddeld.	Vloedgemidd.	Maximum
Gat van Ossenisse	1.6	1.7	1.4	3.3

Tabel 14: samenvatting massatransport (kg/s) ter hoogte van het Gat van Ossenisse.

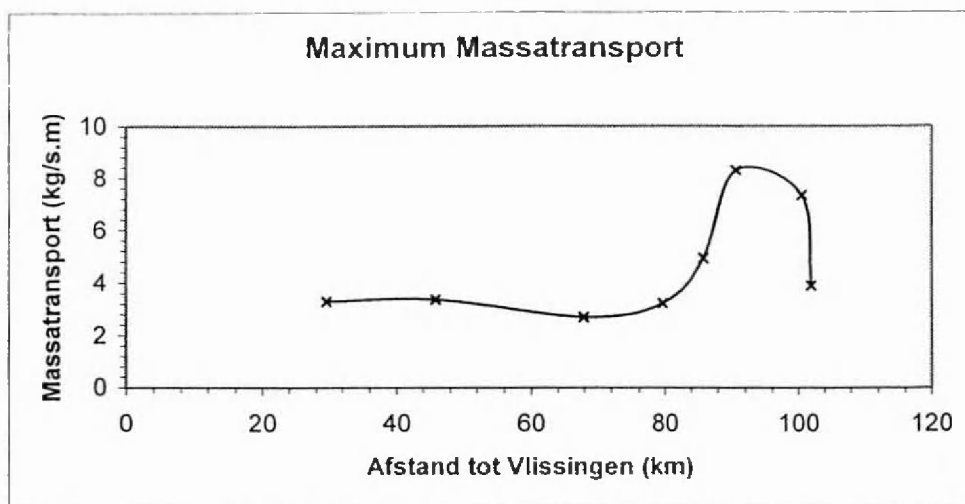
Tijdens eb bereikt het massatransport een maximum van 3.3 kg/s, waardoor het gemiddelde rond de 1.7 kg/s komt te liggen (fig.30, tabel 14). Een gelijksoortig verloop valt te verwachten bij vloed, daar is het gemiddelde 1.4 kg/s. Het totaal massatransport wordt dan 1.6 kg/s per meter dwarsraai.

Tabel 15 geeft nog eens een overzicht van het lengteprofiel (massatransport in kg/s per meter dwarssectie)

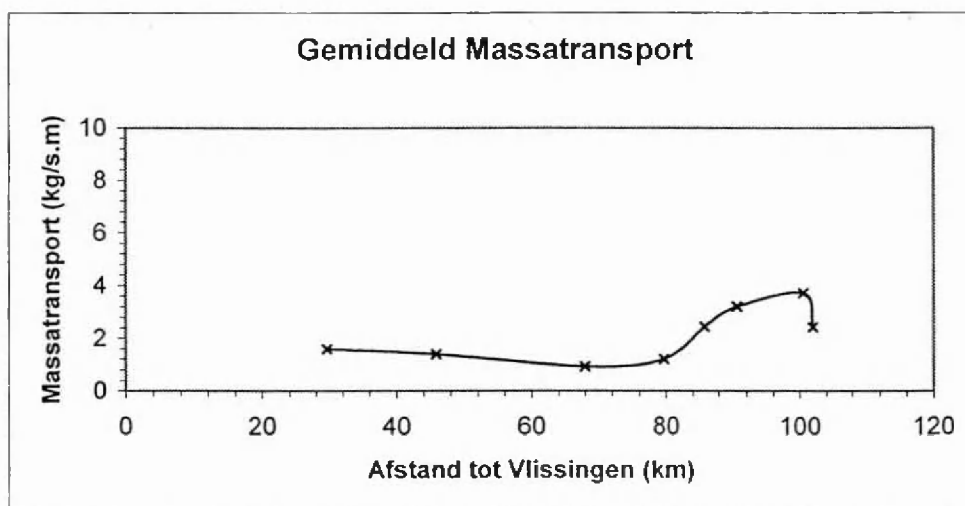
Station	Tot. Gemidd.	Eb Gemiddeld.	Vloed Gemidd.	Maximum
Monding Rupel	2.4	2.5	2.3	3.9
Kallebeek	3.7	3.4	4.9	7.3
De Vlake	3.2	2.9	3.8	8.3
Oosterweel rechts	0.7	0.7	0.8	1.5
Oosterweel links	1.6	1.2	2.0	5.6
De Parel rechts	1.1	1.4	0.9	2.2
De Parel links	1.3	1.3	1.3	4.2
Zandvliet rechts	1.3	2.1	0.3	3.6
Zandvliet links	1.3	2.1	0.3	3.6
Zuidergat	1.4	1.3	1.5	3.4
Gat van Ossenisse	1.6	1.7	1.4	3.3

Tabel 15: overzicht massatransport (kg/s) langsheen lengteprofiel door de Schelde

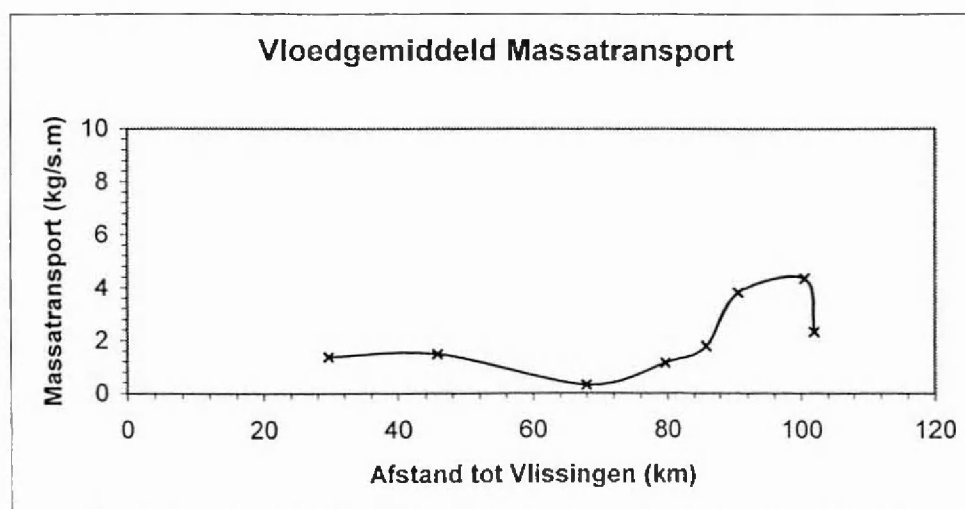
De volgende grafieken (fig. 31 t.e.m. 34) geven het longitudinaal verloop grafisch weer.



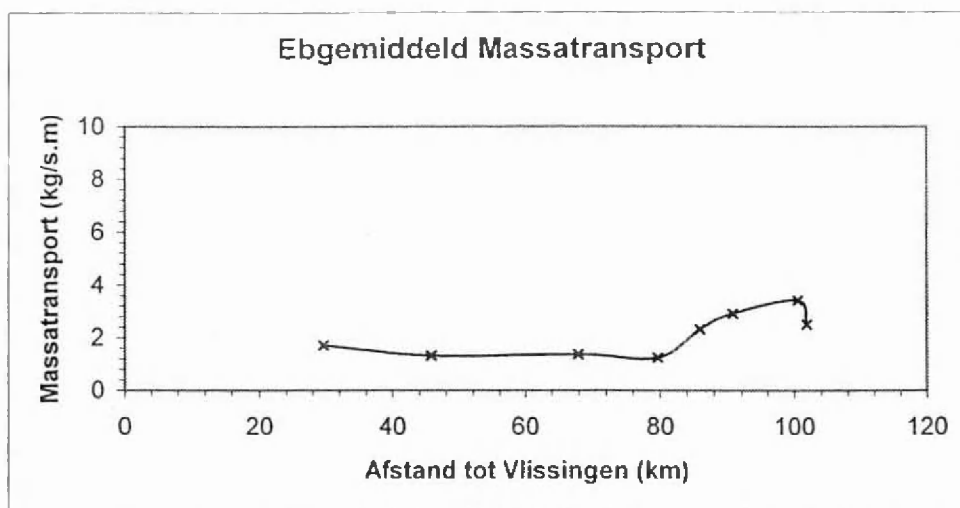
Figuur 31: maximum massatransport volgens de afstand tot Vlissingen.



Figuur 32: gemiddeld massatransport in functie van de afstand tot Vlissingen.



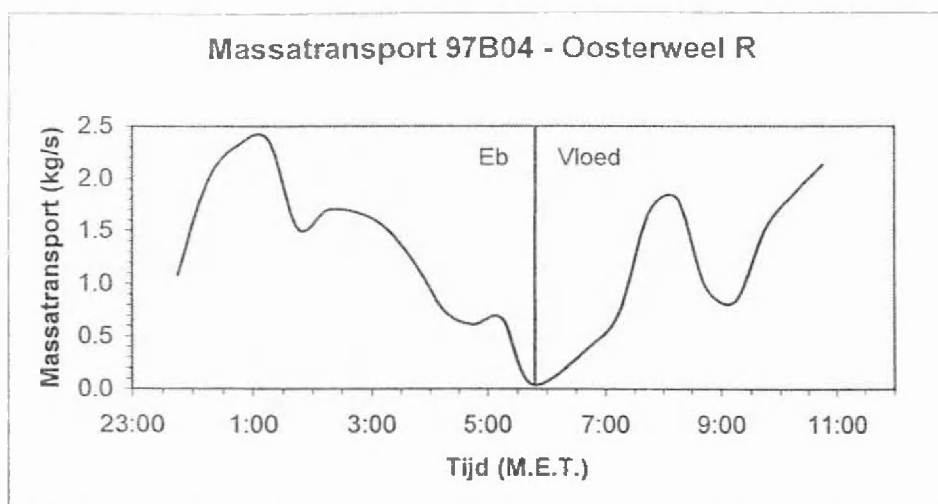
Figuur 33: vloedgemiddeld massatransport volgens de afstand tot Vlissingen.



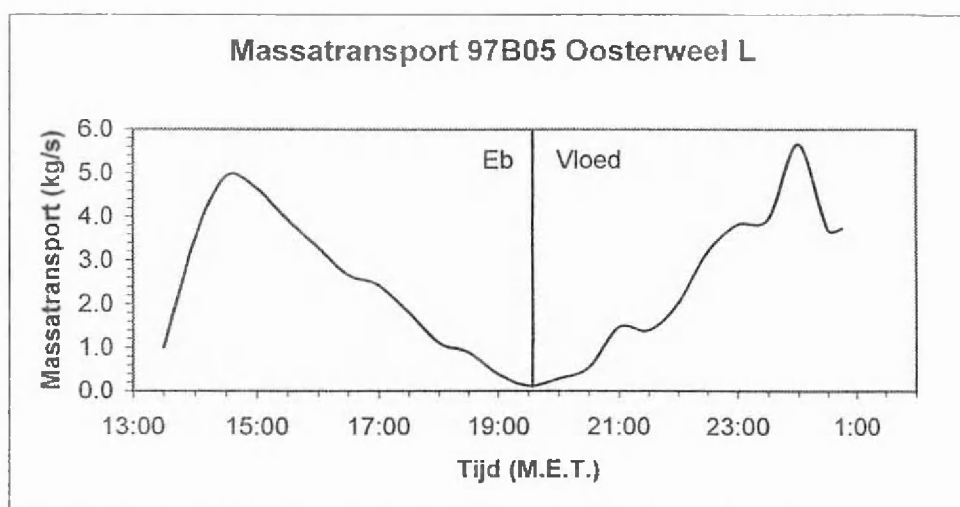
Figuur 34: ebgemiddeld massatransport in functie van de afstand tot Vlissingen.

De grafieken middelen per dwarsraai de metingen zowel in plaats (links-rechts) als in tijd uit. Zoals bij de wrijvingssnelheid, vertonen alle gemiddelden en het maximum een vergelijkbaar verloop over de lengteas van het estuarium. Het maximum massatransport per meter dwarssectie blijkt zich voor te doen in het gebied tussen de monding van de Rupel en Antwerpen. Dit is in overeenkomst met wat de wrijvingssnelheid deed vermoeden: het maximum van deze parameter is ook in dit gebied te vinden. Het maximum massatransport werd opgemeten aan De Vlakte, nl. 8.3 kg/s per meter. Tussen Oosterweel en De Parel is er een daling waarneembaar, waarna een kleine stijging op te merken valt vanaf de grens richting Ossenisse.

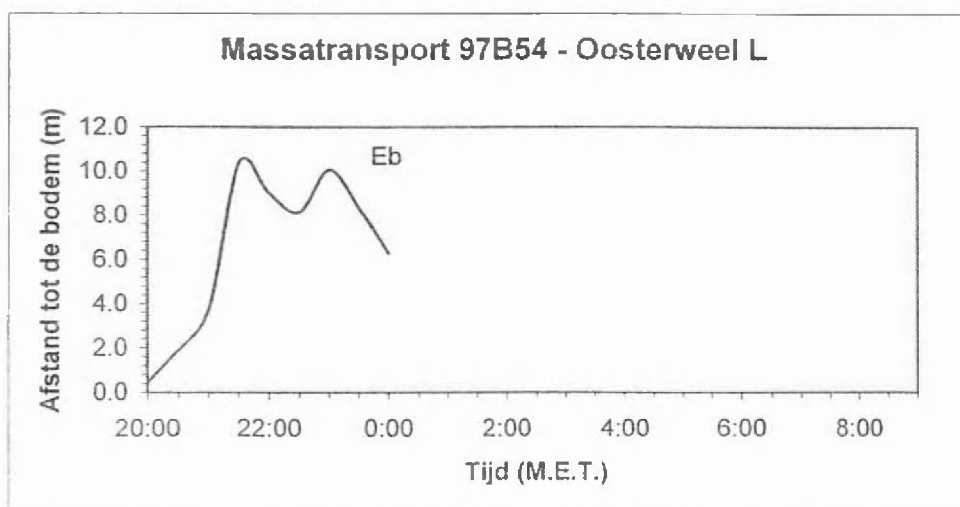
Om de seizoensinvloeden na te gaan zijn zowel de linkse als rechtse stations te Oosterweel voor 1996 en 1997 vergeleken. De volgende grafieken geven het verloop weer van de stations in 1997 (fig. 35 tot 38). De grafieken van 1996 zijn terug te vinden in het overzicht van het longitudinaal profiel.



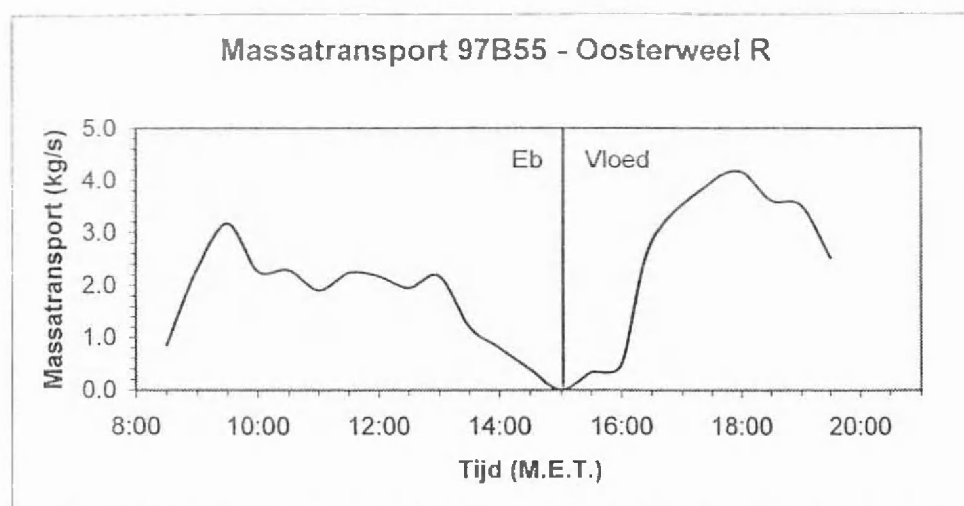
Figuur 35: variatie in massatransport ter hoogte van Oosterweel rechts (voorjaar 1997).



Figuur 36: variatie in massatransport ter hoogte van Oosterweel links (voorjaar 1997).



Figuur 37: variatie in massatransport ter hoogte van Oosterweel links (najaar 1997).

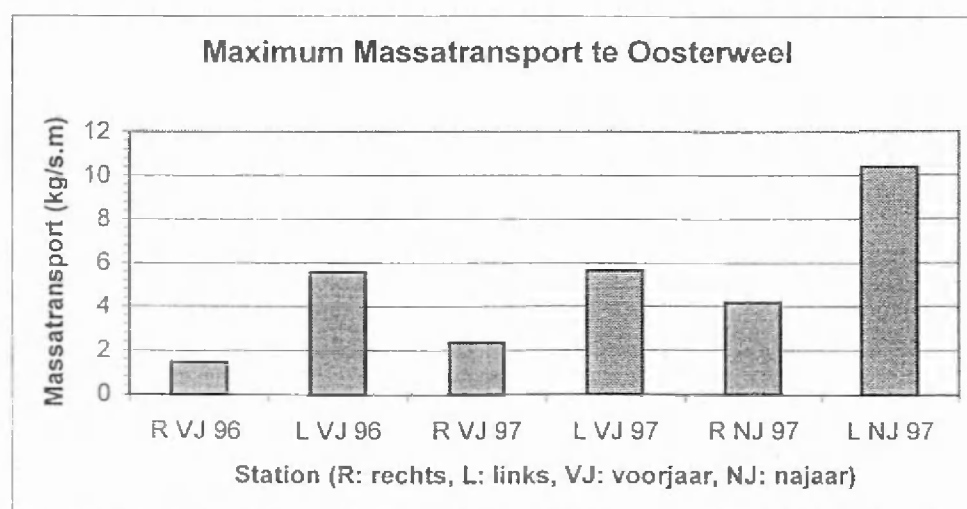


Figuur 38: variatie in massatransport ter hoogte van Oosterweel rechts (najaar 1997).

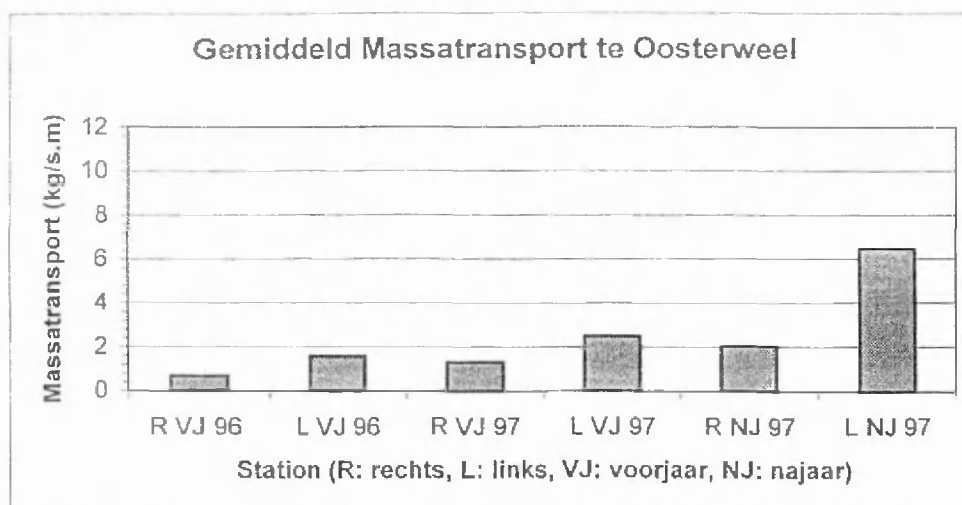
Station	Maximum	Gemidd. Tot	Vloed Gemidd.	Eb Gemidd.
Rechts VJ 1996	1.5	0.7	0.8	0.6
Links VJ 1996	5.6	1.6	2.0	1.1
Rechts VJ 1997	2.4	1.3	1.2	1.4
Links VJ 1997	5.7	2.5	2.5	2.5
Rechts NJ 1997	4.2	2.1	2.4	1.8
Links NJ 1997	10.4	6.5		6.5

Tabel 16: seizoensgebonden variatie in het massatransport (kg/s.m) ter hoogte van de dwarsraai Oosterweel.

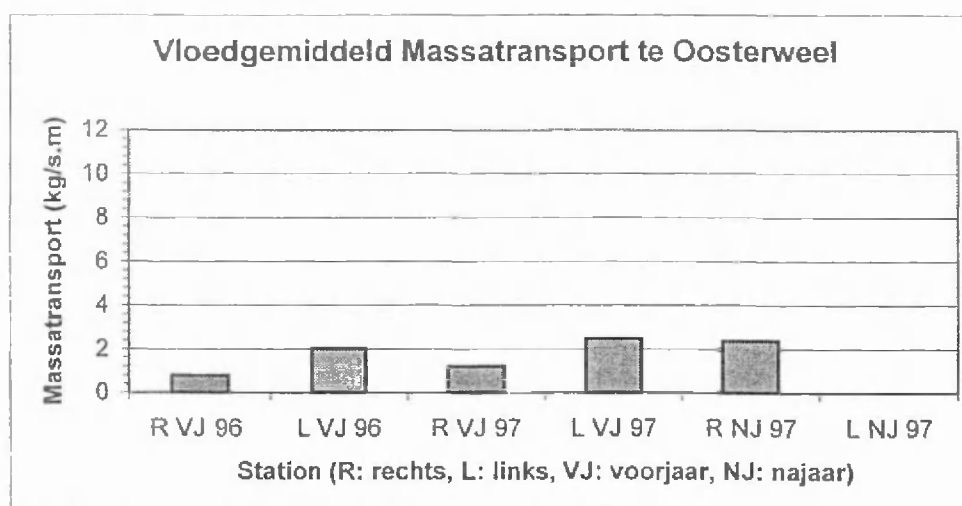
Volgende staafdiagrammen (fig. 39 tot 42) geven de cijfers van tabel 16 over de dwarsraai te Oosterweel grafisch weer. VJ staat voor voorjaar, NJ voor najaar.



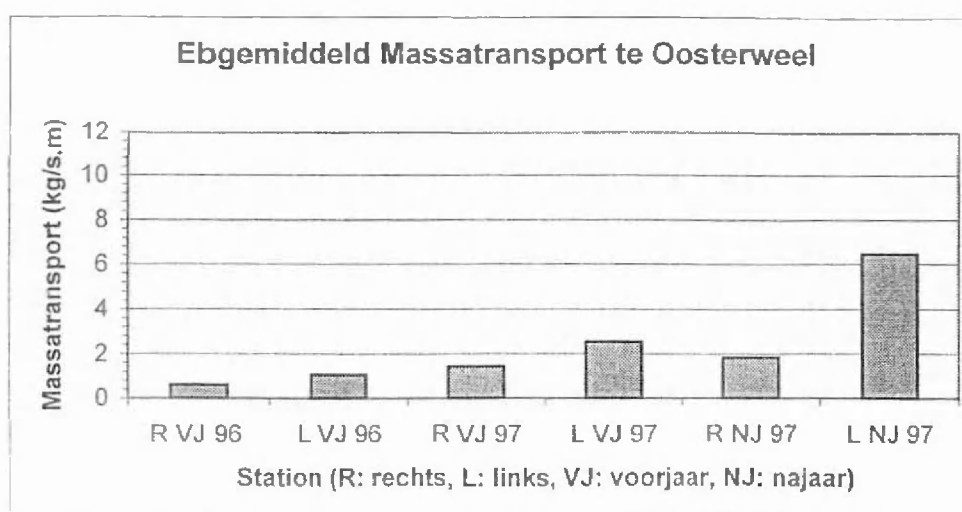
Figuur 39: maximum massatransport te Oosterweel voor 1996 en 1997.



Figuur 40: gemiddeld massatransport (kg/s.m) in 1996-97 te Oosterweel



Figuur 41: vloedgemiddeld massatransport (kg/s.m) in 1996-97 te Oosterweel



Figuur 42: ebgemiddeld massatransport (kg/s.m) voor 1996-97 te Oosterweel

Gemiddeld genomen is het massatransport aan de linkerkant van de vaargeul groter dan aan de rechterkant. Het verschil tussen eb en vloed schommelt zo wat heen en weer. De fluctuatie kan zijn oorzaak vinden in het niet stabiel liggen van het schip. Door kleine zijdelingse variaties ontstaan er grote diepteverschillen, wat resulteert in volledig verschillende metingen. Verschillen tussen voor- en najaar zijn opmerkelijk: zowel voor het maximum als de gemiddelde waarden is een verdubbeling van het transport in het voorjaar ten opzichte van het najaar waarneembaar. Er zijn duidelijk gebieden met sterk van elkaar verschillende stroomsnelheden en massatransport hoeveelheden. In het volgende stuk wordt naar de energieverdeling over het estuarium gekeken en onderzocht of er een verband bestaat.

De energieverdeling in het estuarium – Dalrymple

Inleiding

Dalrymple (DALRYMPLE *et al.*, 1992) legt in zijn model een verband tussen de dynamiek van het estuarium en de onderverdeling van het estuarium in verschillende facies zones. Hiervoor ging hij eerst uit van twee modellen voor de eindleden (dominantie van de golfwerking en dominantie van de getijdenwerking), waaruit alle lokale variabelen waren verwijderd, namelijk een model voor golf-gedomineerde estuaria en een model voor getijden-gedomineerde estuaria. In een estuarium heeft men drie energiebronnen, namelijk de getijdenstroom, de golfwerking en de fluviatiele stroom. De energie van de getijdenstroom zit in de hoeveelheid water die ten gevolge van de getijdenwerking het estuarium in en uit stroomt, met andere woorden in het volume van de tij-prisma, terwijl de energie van de golven afkomstig is van de opzet aan water die door de wind het estuarium wordt in geduwd. De energie van de fluviatiele stroom ligt in het debiet van het water afkomstig uit het fluviatiel bekken. Het estuarium wordt in het model van Dalrymple opgedeeld in drie zones. De eerste zone, zeewaarts gelegen, wordt vooral door de energietoevoer van mariene oorsprong (getijden en golven) beïnvloed en wordt marien-gedomineerd genoemd. Bij de fluviatiele limiet van het estuarium heeft men een fluviatiel-gedomineerde zone, waarin de processen vooral bepaald worden door de energetische bijdrage van het fluviatiele water. Het facies bestaat hier vooral uit sedimenten van fluviatiele oorsprong en het sedimenttransport is vooral zeewaarts gericht. Tenslotte heeft men, gelegen tussen de twee voorgaande zones, een zone van gemengde energie. Dit wil zeggen dat de relatieve energetische bijdrage van het fluviatiel milieu ongeveer gelijk is aan de relatieve energetische bijdrage van het marien milieu. Zowel de relatieve lengten van de verschillende zones, als de totale lengte van de

estuaria zijn sterk variërend. Dit is het gevolg van verschillen in het bovendebiet, het tijvolume en het reliëf.

Het model

Het model dat voor deze studie van belang is, is deze over tij-gedomineerde estuaria. In zulke omgevingen overschrijdt de energie van de getijdenstromen in de monding de energie van de golven, waardoor geen barrière maar wel longitudinale zandbanken ontstaan. Dit heeft eveneens tot gevolg dat in de zone van gemende energie de totale energie veel hoger zal zijn dan in een golf-gedomineerd estuarium.

De zandbanken verminderen de energie van de golven, terwijl de vernauwing van het estuarium de energie van de vloedstroom doet stijgen, wat resulteert in een toename van de getijverschillen (hypersynchroon tijgedrag) in het estuarium. Na een bepaalde afstand neemt de wrijving de bovenhand, resulterend in een afname van de energie van de getijdenstroom. De energie van golven neemt landinwaarts langzaam af, terwijl de fluviatiele energie zeewaarts afneemt. In de getijdengeul treft men over de gehele lengte van het estuarium in hoofdzaak zanden aan, met de fijnste zanden in het gebied met de laagste energie. De fijnere sedimenten (klei en silt) worden vooral afgezet op de schorren en slikken. Het marien gedeelte van het estuarium bestaat uit getijde-zandbanken bij de monding, gevolgd, in het gedeelte met de hoogste energetische waarde, door een zandvlakte in het breed gedeelte, waarin een verwilderde rivier aangetroffen wordt, welke stroomopwaarts ten gevolge van de vernauwing overgaat in een "rechte" geul met alternerende zandbanken. In de zone van gemengde energie, wordt de lagere energie van de stroom gekenmerkt door het voorkomen van getijde-meanders met als typische afzettingen de sikkelvormige banken van de kronkelwaarde. In het rivier-gedomineerd deel van het estuarium heeft men weer een "rechte" geul met alternerende zandbanken. Het gaat vooral om fluviatiele sedimenten, maar tengevolge van de inversie van de stroomrichting

(veroorzaakt gedurende de vloed) kan men hier ook wat sedimenten aantreffen van mariene oorsprong. De limiet van dit gebied ligt ergens tussen de 0.1 ‰ saliniteitsgrens en de getijdenlimiet. Boven dit gebied zijn de sedimenten enkel fluviaal van oorsprong, zelfs al is er nog een kleine invloed van de getijden mogelijk. Dit komt doordat hier de getijden geen inversie meer kunnen veroorzaken van de stroming, in tegenstelling tot lager gelegen gebieden.

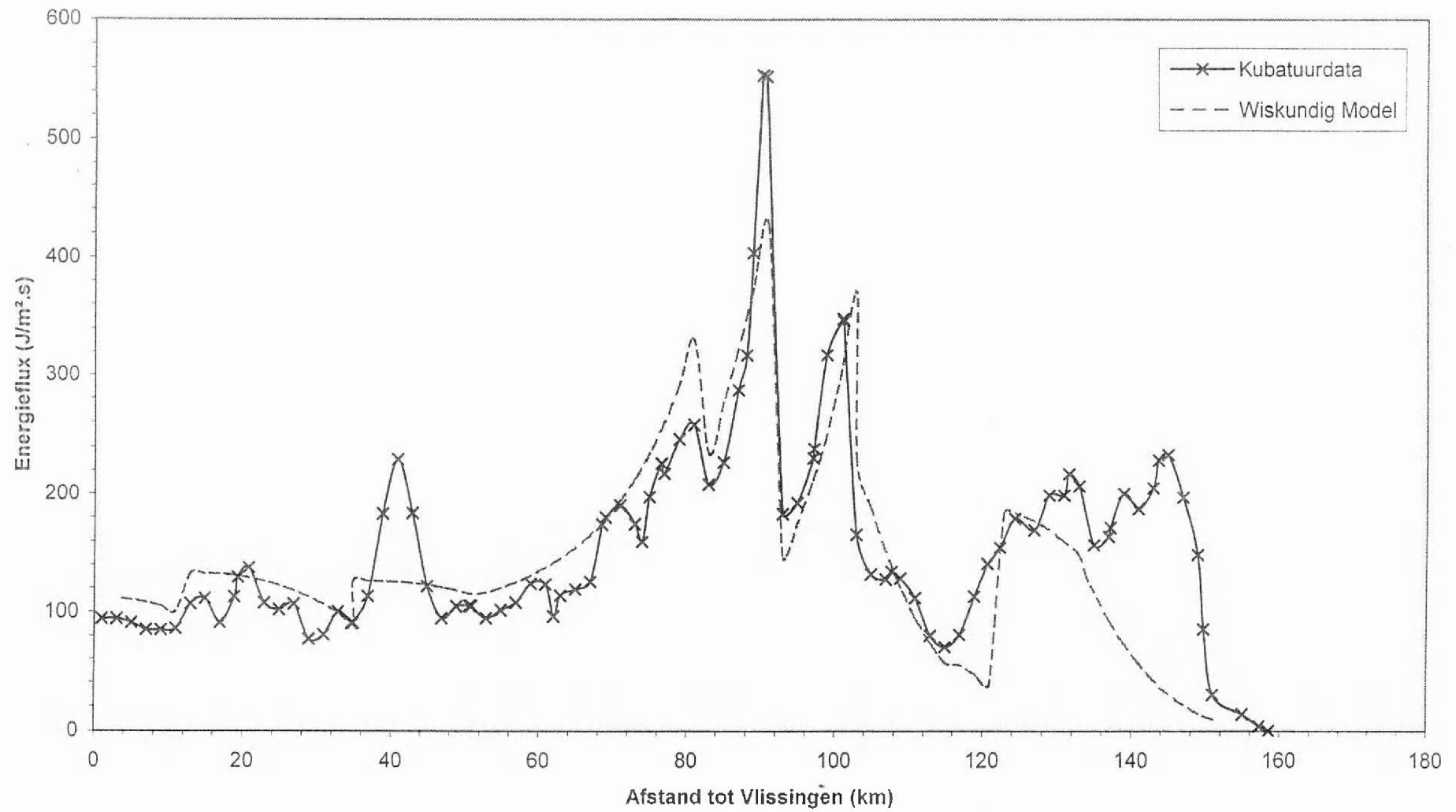
Er zijn verschillende parameters welke voor variaties op het model kunnen zorgen. Het estuarium kan bijvoorbeeld in een transitie zijn van golf- naar tij-dominantie. Verder is de lengte van het estuarium van belang, heeft de vorm van de vallei een invloed en moet er rekening gehouden worden met de graad van opvulling (evolutie van het estuarium).

Het Schelde estuarium is echter veel complexer dan het estuarium gebruikt in het model, niet alleen omdat het stroomopwaarts vertakt is, maar ook omdat de schorren ten gevolge van indijking bijna overal ontbreken. Dit heeft in eerste instantie effect op het tijvolume en de natte sectie bij hoog water, wat ook onrechtstreeks een invloed heeft op de natte sectie bij laag water en dus op de energieflux in het estuarium.

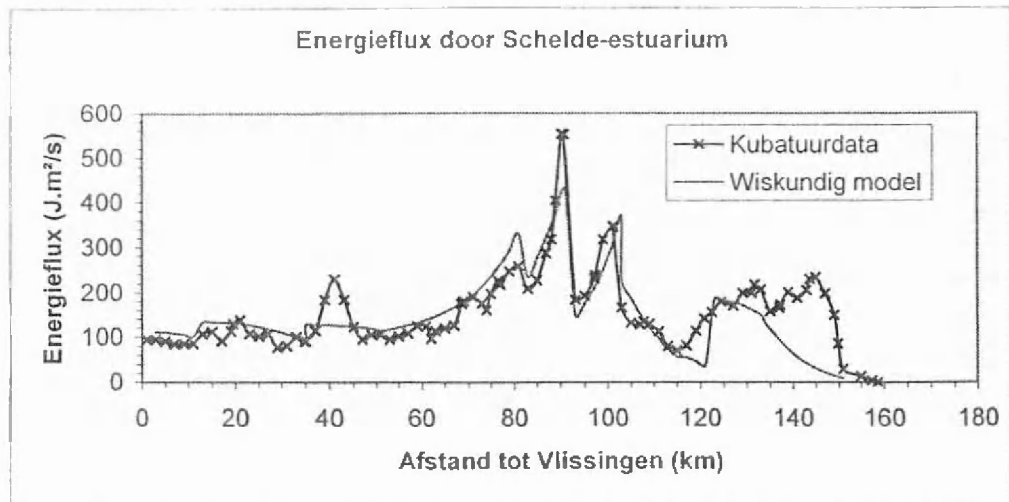
Via een wiskundige beschrijving van de natte secties en het bovendebiet kunnen het vloeddebet, de duur van de vloed, de gemiddelde stroomsnelheid van de vloedstroom, de kinetische energie en eventueel de potentiële energie berekend worden. Wordt de kinetische energie, de belangrijkste energiecomponent in het estuarium, gedeeld door de natte sectie, dan verkrijgen we een energieflux.

Op pagina 35 wordt een grafiek weergegeven met daarop het resultaat van de wiskundige beschrijving van het estuarium. Ze stelt het verloop van de energieflux (in $J/m^2.s$) in verhouding tot de afstand tot Vlissingen voor. De tweede curve stelt de actuele data voor. Hiervoor is uit de kubatuurberekeningen van 1971-1980 de

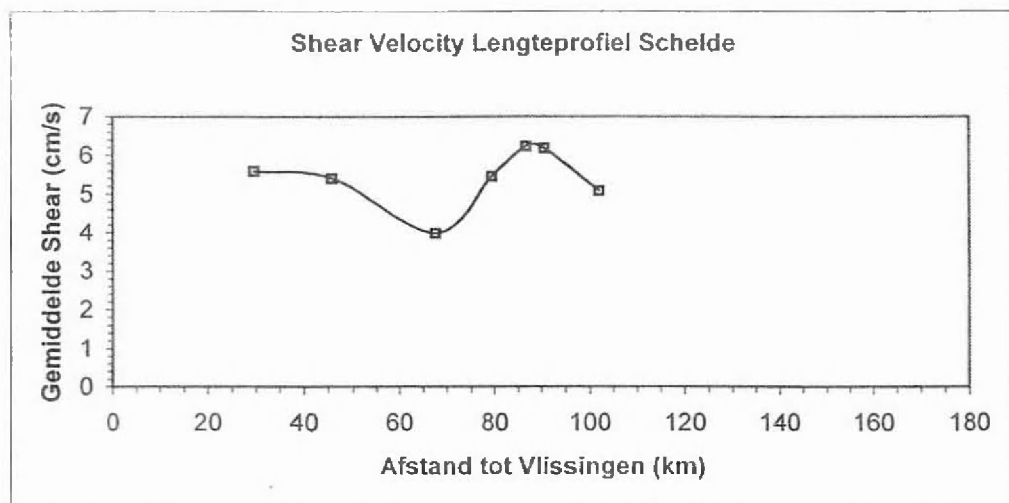
Energieflux door het Schelde-estuarium



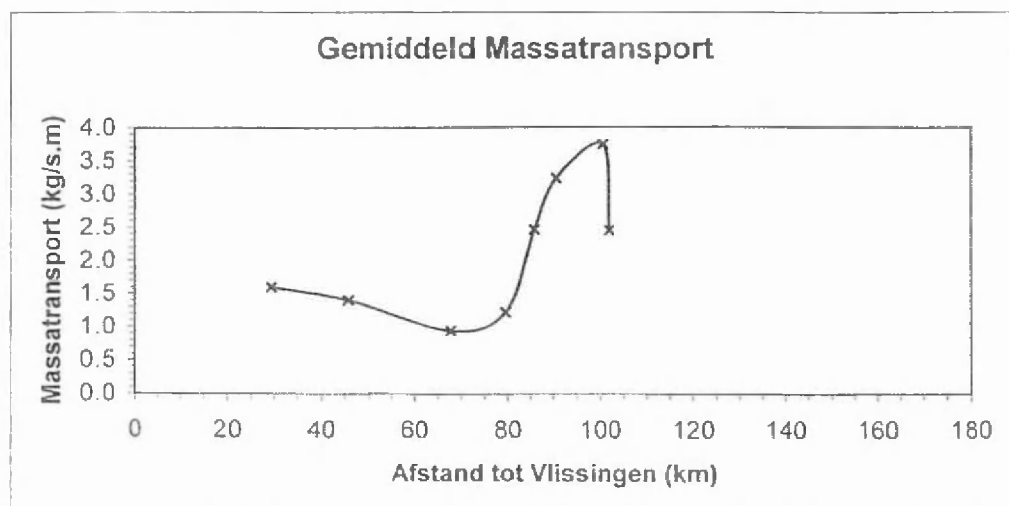
kinetische energie van de vloedstroom berekend, waaruit dan weer de energieflex kan afgeleid worden. Hieruit blijkt dat via de wiskundige beschrijving van het Schelde-estuarium de energieverdeling over het estuarium goed kan voorspeld worden. Opvallend is de zone rond 90 km waar een sterke stijging in de energieflex waar te nemen is. Die zone stemt overeen met de monding van de Rupel in de Schelde. De andere pieken vallen samen met de Durme en de Dender. De energieflex vertoont een verloop zoals eerder werd voorspeld uit de evolutie van de wrijvingssnelheid en het massatransport. Als we de grafieken van deze parameters nog eens herhalen en vergelijken met de energieflex, dan valt het op dat de maxima op dezelfde plaats samenvallen, namelijk ter hoogte van de monding van de Rupel (fig. 43 tot 45). Ook bemerken we een lichte toename in energie op Nederlands grondgebied. Een toename in energie wordt weerspiegeld in hogere stroomsnelheden, die op hun beurt zorgen voor grotere wrijving tegen de bodem. Hoe groter de wrijvingssnelheid zal zijn, hoe meer materiaal er in (re-)suspensie kan komen en eenmaal een bepaalde grens wordt overschreden zal er ook meer grof materiaal in suspensie geraken. Dit alles heeft dan weer invloed op het vormen van vlokken. In hoog energetische, turbulente gebieden zullen vlokken minder gemakkelijk gevormd worden of afgebroken worden. Door de shift naar grovere korrelgroottes zal de vorming van vlokken ook weer minder gemakkelijk verlopen, daar de silt- en zandfracties in vergelijking met kleikorrels minder gemakkelijk deel zullen uitmaken van vlokken en zelfs bestaande vlokken kunnen afbreken. Veldwerk heeft aangetoond dat bezinkingssnelheden van de grootorde van mm.s^{-1} nodig zijn om het snelle uitklaren van de waterkolom tijdens intertidaal slack water te verklaren (MILLIGAN, 1995) en deze kunnen alleen toegeschreven worden aan het vormen van vlokken. In het volgende deel wordt ingegaan op de samenstelling van het suspensiemateriaal zelf. Er zal naar de geografische verspreiding van de drie grote fracties (zand, silt en klei) gekeken worden en uiteindelijk zal getracht worden de situatie *in situ* te beschrijven.



Figuur 43: energieflux door het Schelde-estuarium.



Figuur 44: variatie in wrijvingsnelheid door het Schelde-estuarium.



Figuur 55: gemiddeld massatransport door het Schelde-estuarium.

Korrelgrootte onderzoek van het gesuspendeerd sediment

Indeling van de sedimenten in klassen en in groepen

Tijdens de periode 1996 tot 1998 werden ongeveer 170 stalen genomen van het gesuspendeerde sediment. Deze stalen werden onderzocht op hun korrelgroottesamenstelling. De plaatsen van staalname waren verspreid over het gehele estuarium van de Schelde, gaande van Vlissingen tot Gent. Het merendeel van de staalname echter gebeurde in de zones van Dendermonde-Appels tot Tielrode en van Antwerpen tot Zandvliet. In Appels, Tielrode en het Groot Buitenschoor waren sifon-samplers opgesteld die principieel om de veertien dagen een sedimentstaal opleverden. Het is de bedoeling aan de hand van deze staalnames een aanvaardbaar overzicht te krijgen van de samenstelling van het gesuspendeerd sediment. Ook werd een poging ondernomen om regionale verschillen op te speuren.

Algemeen genomen is de korrelgrootteverdeling van het gesuspendeerd sediment redelijk gelijkmatig. Toch toont het onderzoek aan dat de gemiddelde samenstelling van het gesuspendeerd sediment van jaar tot jaar kleine verschillen vertoont.

<i>Jaar</i>	<i>N</i>	<i>Mediaan</i> <i>µm</i>	<i>Sortering</i> <i>phi</i>	<i>Zand</i> <i>(%)</i>	<i>Silt</i> <i>(%)</i>	<i>Silt</i> <i>ratio</i>	<i>Klei</i> <i>(%)</i>	<i>Silt-klei</i> <i>ratio</i>
1996	52	1.15	4.27	8	43	0.64	49	0.88
1997	58	0.86	4.28	7	38	1.01	56	0.68
1998	42	1.79	4.30	14	42	0.89	44	0.95

Tabel 17: gemiddelde korrelgrootteparameters per jaar (N is het aantal waarnemingen)

De mediaan van het gesuspendeerd sediment ligt tussen 1 en 2 µm. De gemiddelde spreiding, uitgedrukt in phi eenheden, bedraagt 4.3. Hieruit volgt dat 68% van het gesuspendeerd sediment een korrelgrootte heeft tussen 38 en 0.1 µm.

Het kleigehalte bedraagt gemiddeld 44% tot 56%. De verhouding silt-klei is gemiddeld kleiner dan 1. Er is dus meer klei dan silt aanwezig in het Belgisch gedeelte van het Schelde estuarium.

Een opvallend verschijnsel, dat uit deze tabel kan afgeleid worden, is dat het zandgehalte in 1998 ongeveer tweemaal hoger was dan de vorige jaren. Gelijklopend hiermee kan men ook opmerken dat de silt-klei ratio in 1998 dichter bij de eenheid komt. Dit laatste betekent dat er in 1998 een aanzienlijke hoeveelheid meer silt dan klei in suspensie voorkwam. De evolutie van de silt ratio wijst er verder op dat de toename aan silt voornamelijk in de grovere silt fractie plaats vindt.

Om het relatief groot aantal sedimentanalyses onderling te vergelijken werd gebruik gemaakt van een multivariaat uitbreiding van de entropy analyse (FORREST & CLARK, 1989). Deze methode heeft het voordeel dat het volledige korrelgroottespectrum in beschouwing genomen wordt in plaats van een beperkt aantal statistische parameters.

De analyse werd voor ieder jaar afzonderlijk uitgevoerd op alle geanalyseerde suspensiesedimenten. Op basis van deze statistische analyse konden de sedimenten per jaar gegroepeerd worden in 6 klassen. Het percentage van de variatie die door de voorgestelde indeling verklaard wordt bedraagt respectievelijk 78% (1996), 67% (1997) en 73% (1998). Een indeling in meer klassen zou zeker een nog hoger verklaring voor de variatie opleveren maar zou dan weer niet de interpretatie ten goede komen.

De korrelgroottespectra van de gemiddelde waarden van iedere klasse werden onderling vergeleken en de sedimentparameters hiervan werden berekend. Een overzicht hiervan is gegeven in tabel 18.

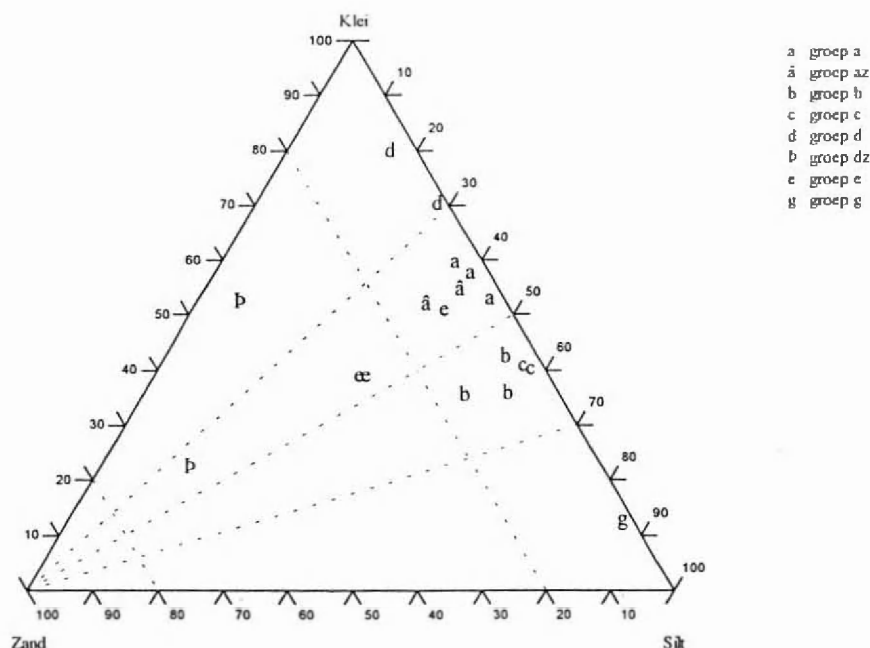
Vervolgens werden de gemiddelde waarden van de klassen voor de verschillende jaren samengenomen en gegroepeerd op basis van hun sedimenteigenschappen. Als voornaamste criteria werden de verhouding silt tot klei (silt-klei ratio) en grof silt

(>16µm) tot fijn silt (>16µm) (silt ratio) gebruikt. In sommige gevallen werd ook het zandgehalte in beschouwing genomen.

Dit leverde een groepering op in 8 groepen. Het aantal groepen is groter dan het aantal klassen omdat voor de opeenvolgende jaren de klassen niet noodzakelijk overlappen. De korrelgroottespectra van deze 8 groepen zijn terug te vinden op de pagina's 46 tot en met 63.

Het onderscheid tussen de groepen komt vrij goed tot uiting in een ternair zand-silt-klei diagramma (figuur 46). Hieruit valt duidelijk af te leiden dat 4 van de 7 groepen (groepen a, b, c en d) zeer dicht bij de klei-silt as liggen. Ze vertonen een zandgehalte dat lager is dan 15%. Het onderscheid dat tussen deze groepen gemaakt kan worden berust op de silt-klei ratio. Voor de groepen "a" en "d" is deze ratio kleiner dan de eenheid en domineert dus het kleigehalte. Dit bedraagt meer dan 70% voor sedimenten van groep "d", en 50 tot 60% voor sedimenten van groep "a". De groepen "b" en "c" zijn rijker aan silt en hebben een kleigehalte dat lager is dan 50%.

Binnen de siltfractie kan verder een onderscheid gemaakt worden tussen een grove fractie (>16µm) en een fijne fractie (<16µm). De verhouding waarin deze fracties voorkomen is de silt ratio. De silt ratio bedraagt 0.4 voor sedimenten van de "c" groep en 0.9 tot 1.4 voor sedimenten van de "b" groep. Hieruit volgt dus dat het onderscheid tussen beide groepen gelegen is in de aanwezigheid van een grotere hoeveelheid grof silt in de "b" sedimenten. Sedimenten van de "c" groep bevatten meer fijn silt.



Figuur 46: gemiddelde zand-silt-klei samenstelling van de sedimentgroepen

Sommige sedimenten hebben een silt-klei ratio die hen doet aanleunen bij hetzij de "a" groep hetzij de "d" groep. Ze worden evenwel hiervan onderscheiden door een hoger zandgehalte. Deze sedimenten werden ondergebracht in respectievelijk de "az" en "dz" groepen. Voor de "dz" sedimenten is niet alleen het zandgehalte opmerkelijk hoger maar is ook meer grof silt aanwezig. Dit komt tot uiting in een lagere silt ratio. De sedimenten van de "e" groep liggen in het ternaire zand-silt-klei diagramma in de buurt van de "az" sedimenten. Hun kleigehaltes zijn zeer vergelijkbaar. De "e" sedimenten onderscheiden zich echter door hun vrij hoge silt ratio (1.4 tot 2.8). Ze bevatten dus een redelijk hoog gehalte aan grove silt partikels. Verder verschillen ze van de "az" sedimenten door een hoger zandgehalte (10 tot 30%).

Tot slot is er nog een totaal aparte groep namelijk de "g" groep. De sedimenten in deze groep worden gekenmerkt door een opvallend hoge silt-klei ratio (6.39). Dit is een gevolg van de zeer hoge concentratie aan silt partikels. 75% van de silt partikels zijn bovendien geconcentreerd in de fijne siltfractie zodat de silt ratio zeer laag is.

Dit sediment is dermate afwijkend dat aan een speciale oorsprong moet gedacht worden. Mogelijks hebben baggerwerken die tijdens de staalname plaats vonden een invloed op het gesuspendeerd sediment.

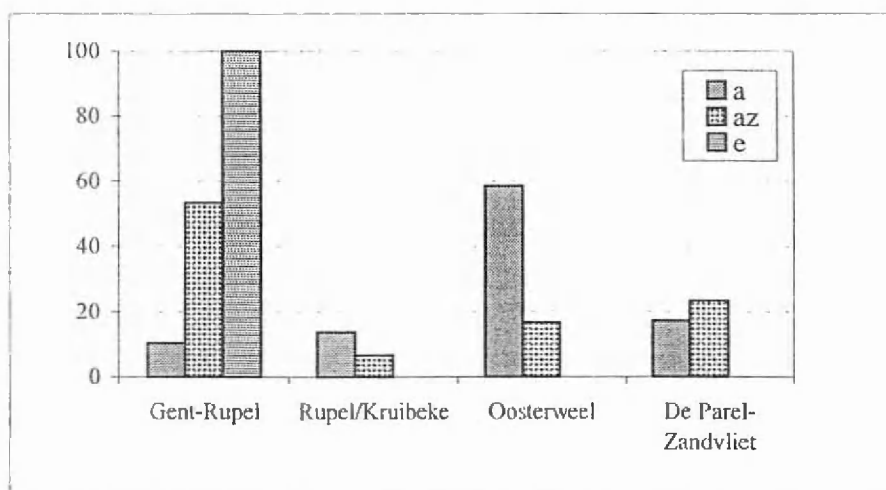
klasse	groep	mediaan µm	sorterig phi	scheefheid phi	kurtosis phi	zand %	silt %	silt ratio	klei %	silt-klei ratio
1996 totaal		1.15	4.28	0.24	1.98	7.9	42.8	0.64	49.3	0.87
96-1	b	2.31	4.04	0.68	2.41	7.9	55.9	0.88	36.2	1.55
96-2	d	0.23	3.88	-0.56	2.58	4.3	15.5	0.62	80.2	0.19
96-3	c	1.42	3.76	0.62	2.56	2.3	57.1	0.40	40.6	1.41
96-4	g	4.68	2.59	1.79	7.51	1.6	85.1	0.25	13.3	6.39
96-5	a	0.70	4.20	0.09	1.85	2.9	39.0	0.98	58.1	0.67
96-6	dz	2.19	5.45	0.15	1.43	41.1	6.1	1.53	52.8	0.12
1997 totaal		0.86	4.33	0.11	1.82	6.8	37.5	1.01	55.7	0.67
97-1	b	1.64	4.17	0.51	2.08	5.0	52.2	1.19	42.9	1.22
97-2	a	0.83	4.02	0.29	1.92	2.3	44.3	0.74	53.5	0.83
97-3	az	1.14	4.53	0.13	1.80	12.7	34.9	1.06	52.4	0.67
97-4	e	3.70	4.84	0.60	1.88	29.7	31.0	2.80	39.4	0.79
97-5	a	0.65	4.27	0.01	1.79	4.3	35.5	1.05	60.2	0.59
97-6	d	0.34	3.88	-0.15	1.97	1.7	27.7	0.62	70.6	0.39
1998 totaal		1.79	4.39	0.39	1.99	13.7	42.4	0.89	43.9	0.97
98-1	e	1.21	4.50	0.22	1.74	10.1	38.4	1.42	51.5	0.75
98-2	b	2.88	4.23	0.66	2.31	14.8	49.2	1.38	36.0	1.36
98-3	az	0.81	4.13	0.16	1.94	6.0	38.9	0.60	55.1	0.71
98-4	c	1.40	3.74	0.66	2.45	3.0	55.6	0.41	41.4	1.34
98-5	dz	16.65	4.46	1.36	3.43	63.8	13.5	1.55	22.8	0.59
98-6	e	3.34	4.76	0.53	1.92	28.5	32.0	1.73	39.5	0.81

Tabel 18: overzicht van de korrelgroottegroottespectra van de gemiddelde waarden van de entropie klassen

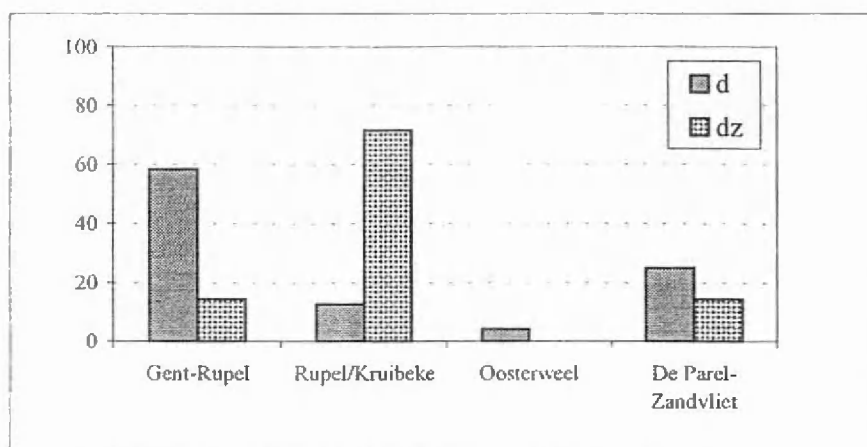
Regionale spreiding van de sedimentgroepen

Het is natuurlijk belangrijk om weten waar deze sedimentgroepen voorkomen. Om dit na te gaan werd voor de verschillende lokaliteiten het aantal waarnemingen van een gegeven groep weergegeven met staaf diagrammen (figuur 47 en 48). Om de figuur overzichtelijk te houden en aangezien het hier toch slechts om relatieve gegevens gaat werden de waarnemingen samengevat in enkele grote zones. Een eerste zone omvat alle waarnemingen uitgevoerd op de Schelde opwaarts van de Rupelmonding. Een

tweede zone omvat waarnemingen uitgevoerd tussen de Rupelmonding en Kruibeke. Een derde zone is gesitueerd in de omgeving van Antwerpen en Oosterweel. Een vierde zone omvat alle waarnemingen stroomafwaarts van Fort De Parel.

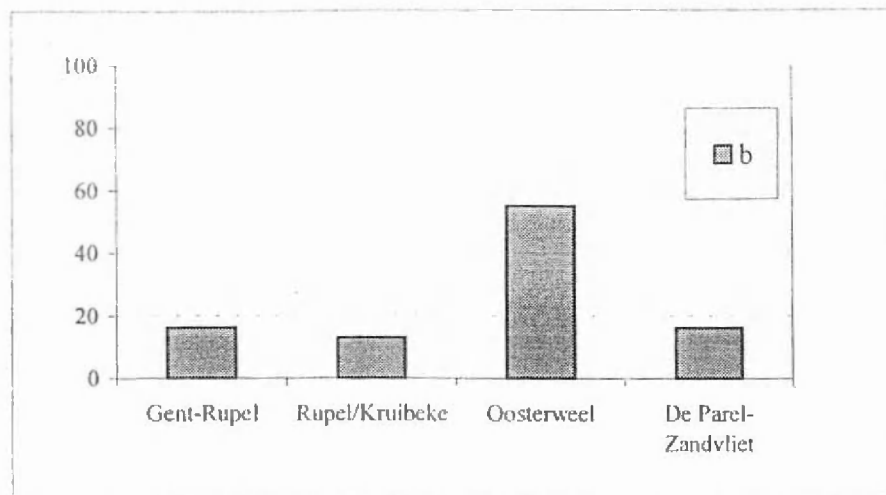


Figuur 47: regionale verdeling van de sedimentgroepen "a", "az" en "e"

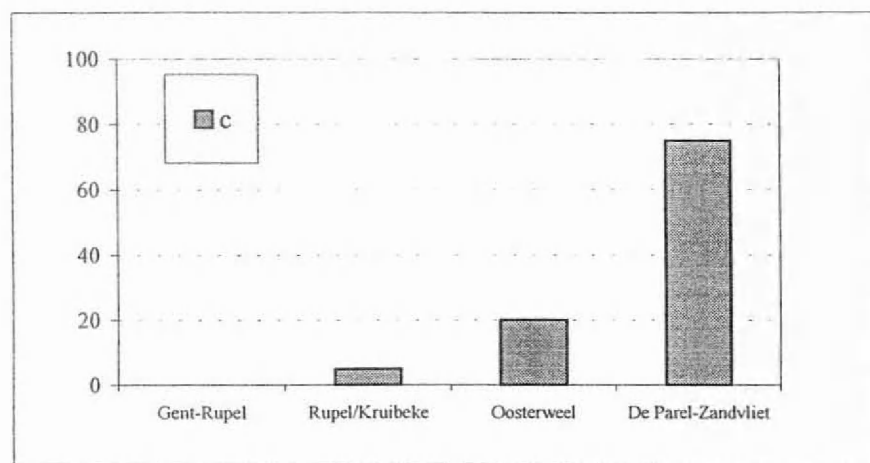


Figuur 48: regionale verspreiding van de sedimentgroepen "d", "dz"

Voor iedere zone werd het aantal waarnemingen van een gegeven groep uitgedrukt als procent van het totaal aantal waarnemingen van die groep. Op deze wijze werd een poging ondernomen om de verspreiding van de verschillende groepen op een representatieve wijze weer te geven.



Figuur 49: regionale verbreiding van de sedimentgroep "b"

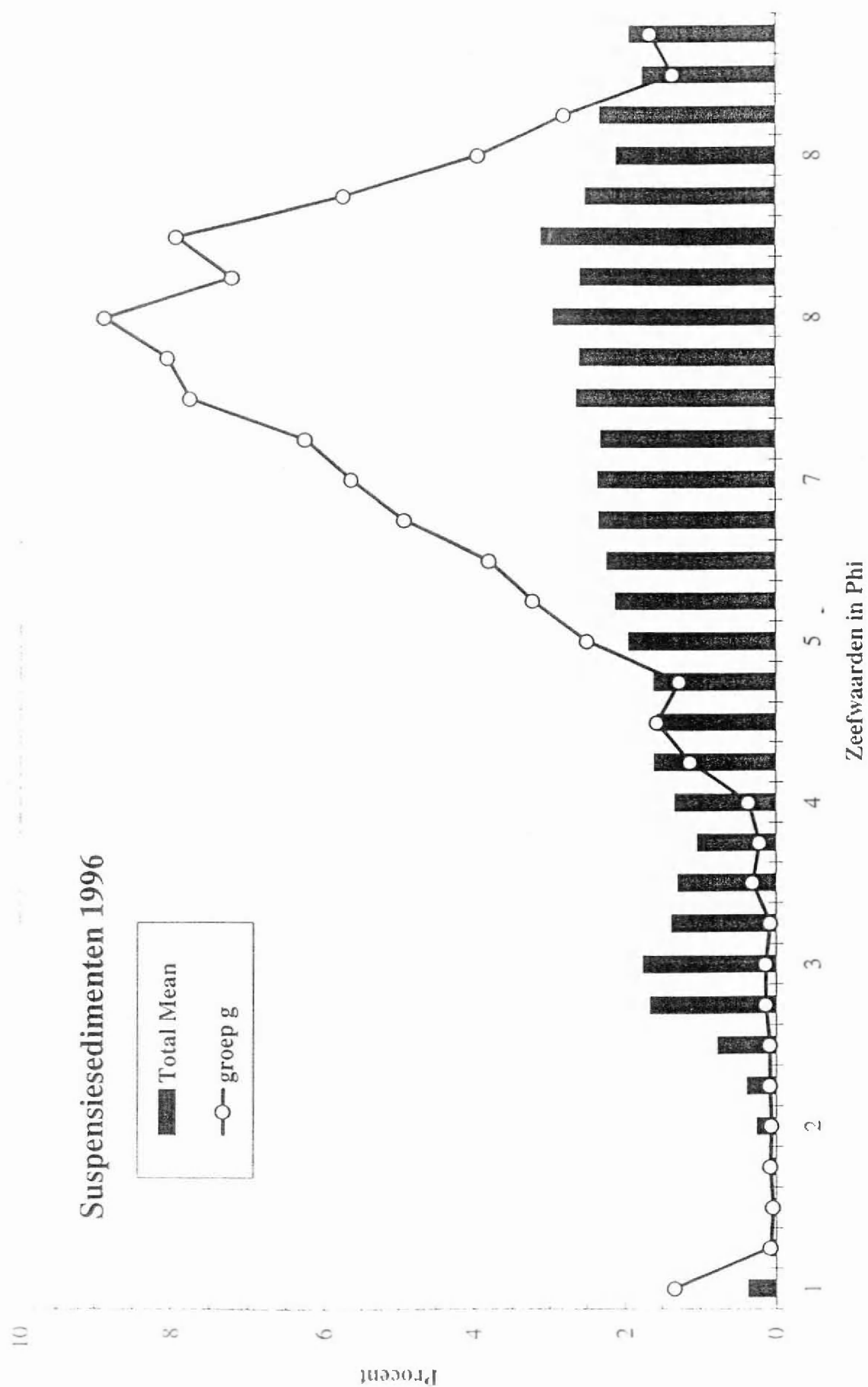


Figuur 50: regionale verbreiding van de sedimentgroep "c"

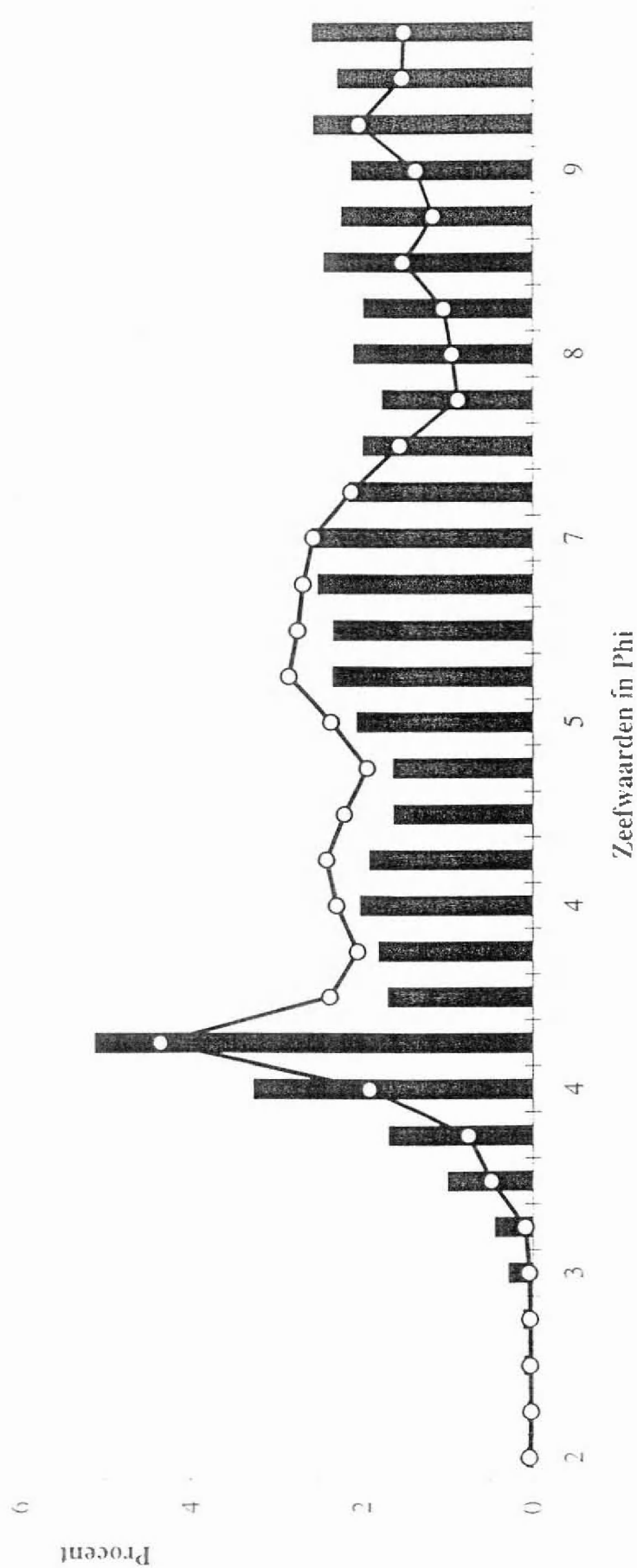
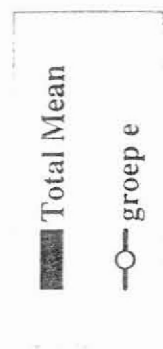
Uit figuur 49 en 50 is af te leiden dat er inderdaad regionale verschillen voorkomen. Zo kan men zien dat de vrij zandige groepen "az" en "dz" vooral stroomopwaarts van Antwerpen aangetroffen worden. Dit geldt eveneens voor de meer kleirijke sedimenten van de groepen "a", "d" en "e". Deze groepen worden gekenmerkt door een silt-klei ratio die kleiner is dan de eenheid.

De sedimenten van de groepen "b" en "c" komen meer voor in de omgeving van Oosterweel en verder stroomafwaarts. Deze sedimenten worden vooral gekenmerkt door een siltgehalte dat groter is dan de kleifractie. De grove siltfractie is meer dominant in de omgeving van Oosterweel (sedimenten van groep "b"). De fijnere siltfractie (sedimenten van groep "c") domineert meer stroomafwaarts.

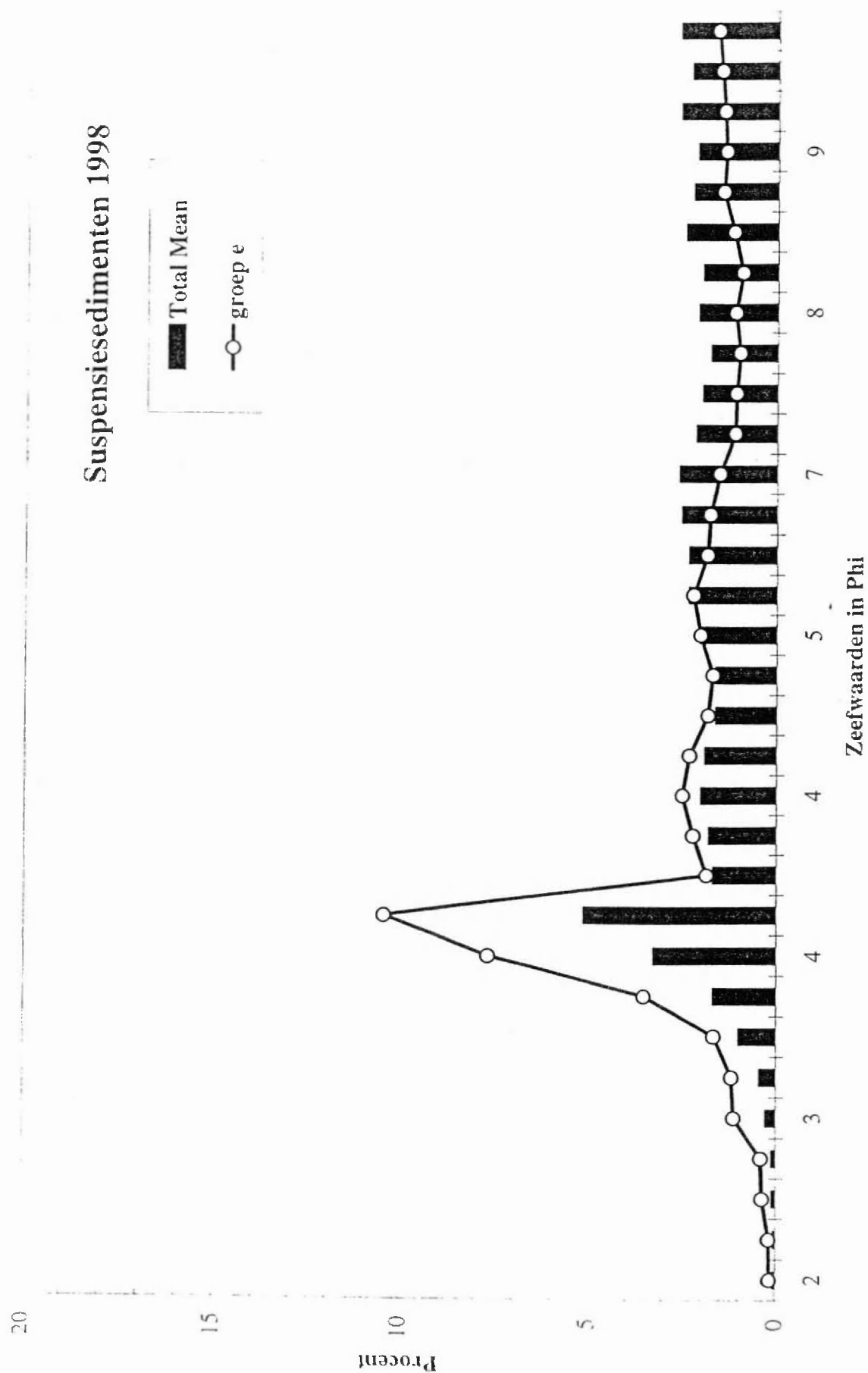
Samengevat stelt men vast dat in het bovendee! van het Schelde estuarium (Schelde ss) meer zand en grof silt naast klei aanwezig zijn. In zeewaartse richting vermindert het zandgehalte en wordt ook de siltfractie fijner en tevens belangrijker ten opzichte van de kleifraction. Extreme waarnemingen, niet opgenomen in de tabel laten trouwens een suspensie zien die uitermate rijk is aan fijn silt (groep "g"). De silt-klei verhouding begraagt 6.39 wat uitzonderlijk hoog is. Het is niet uitgesloten dat dit sediment, bemonsterd in de omgeving van Zandvliet, het gevolg is van baggerwerkzaamheden. Tijdens de staalname was immers een baggerschip operationeel in de buurt van het meetschip.

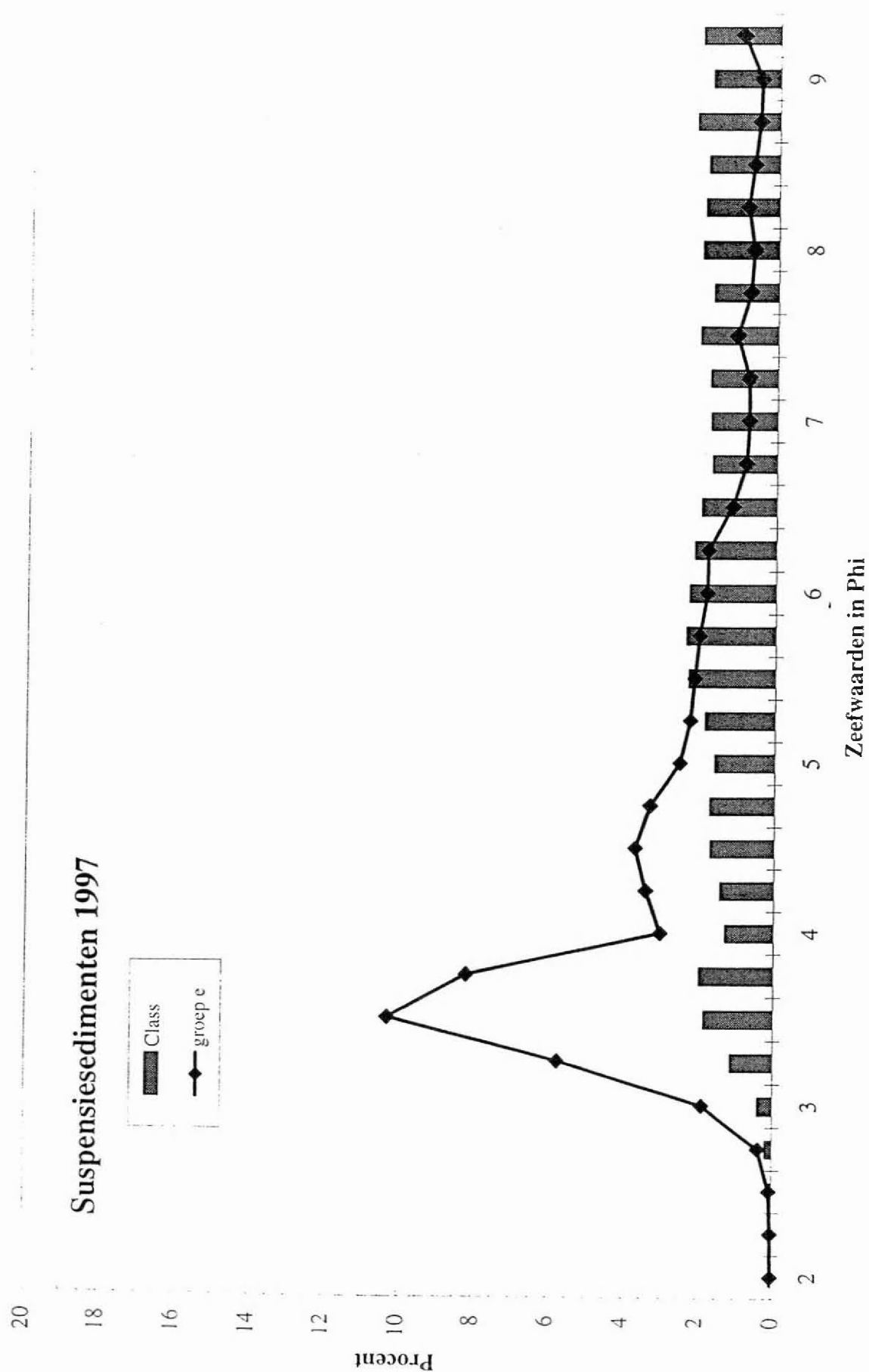


Suspensiesedimenten 1998

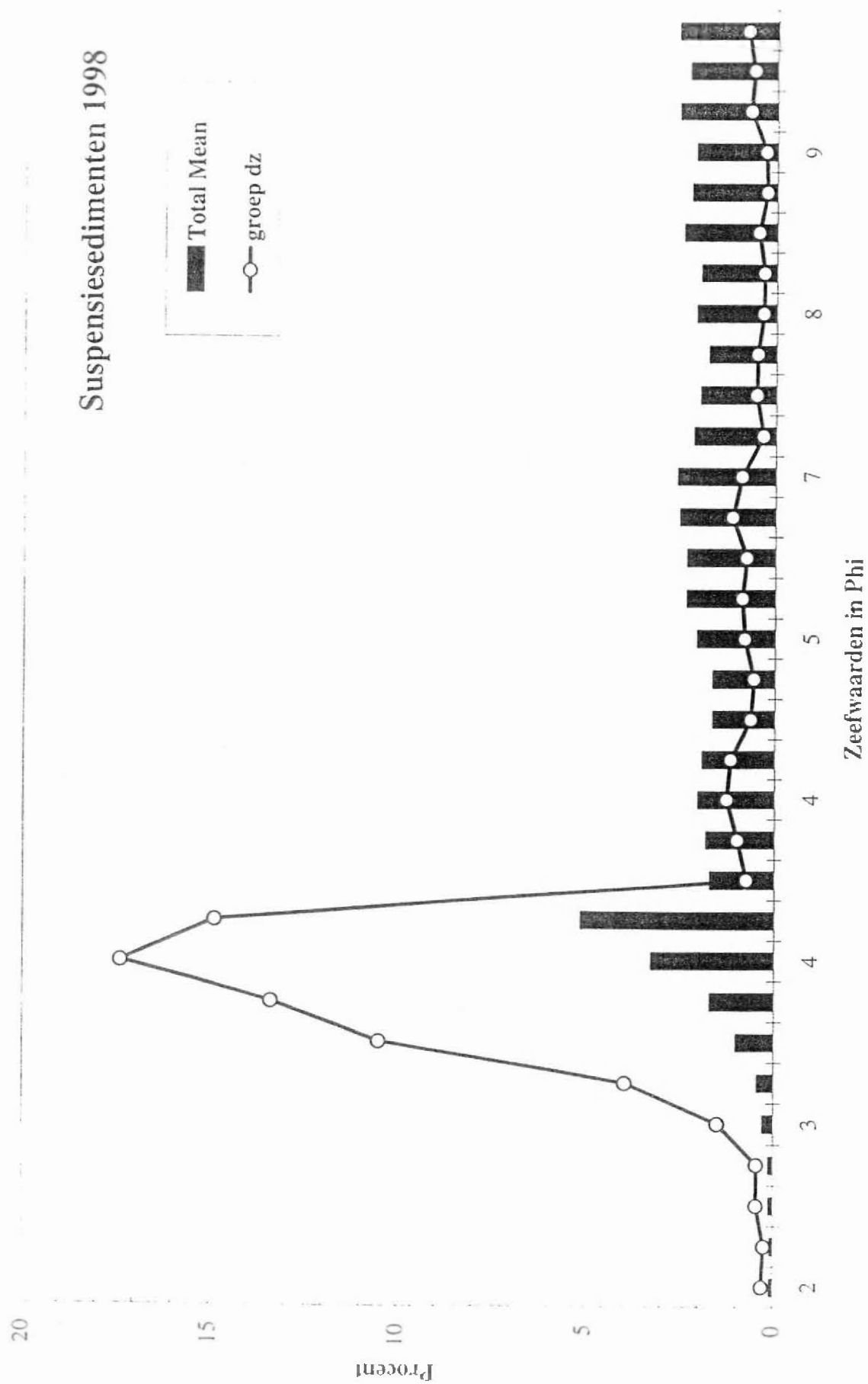


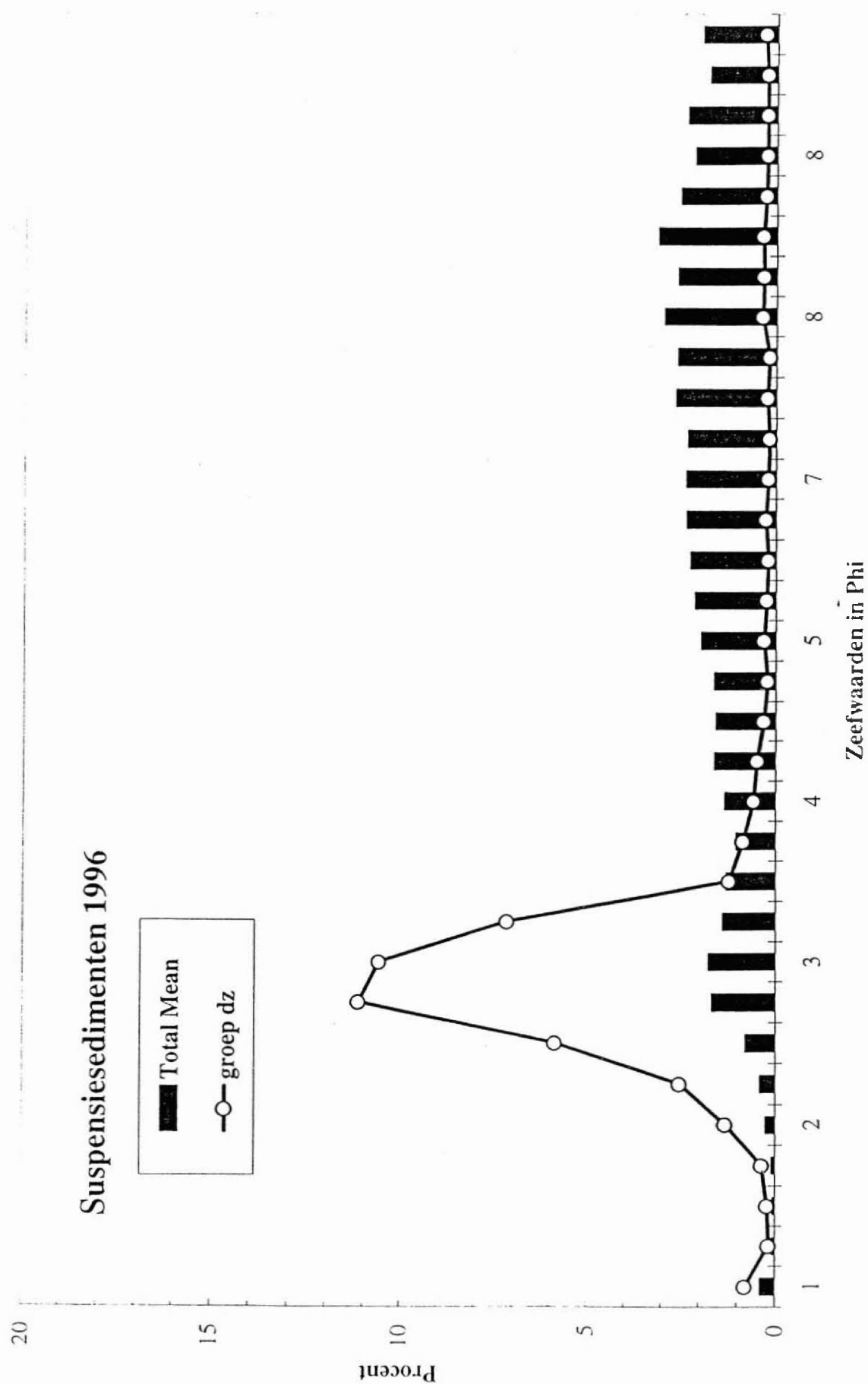
Suspensiesedimenten 1998

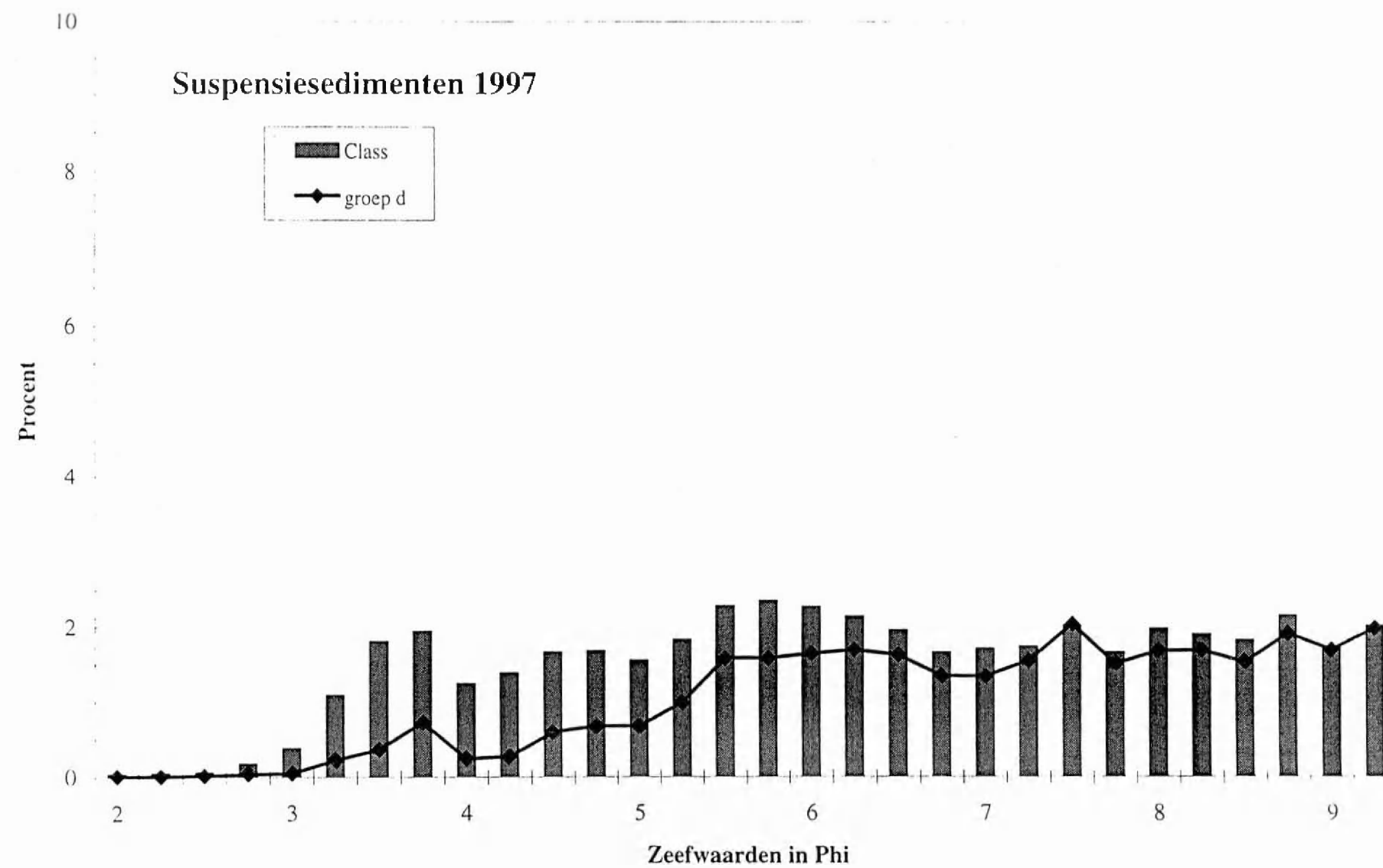


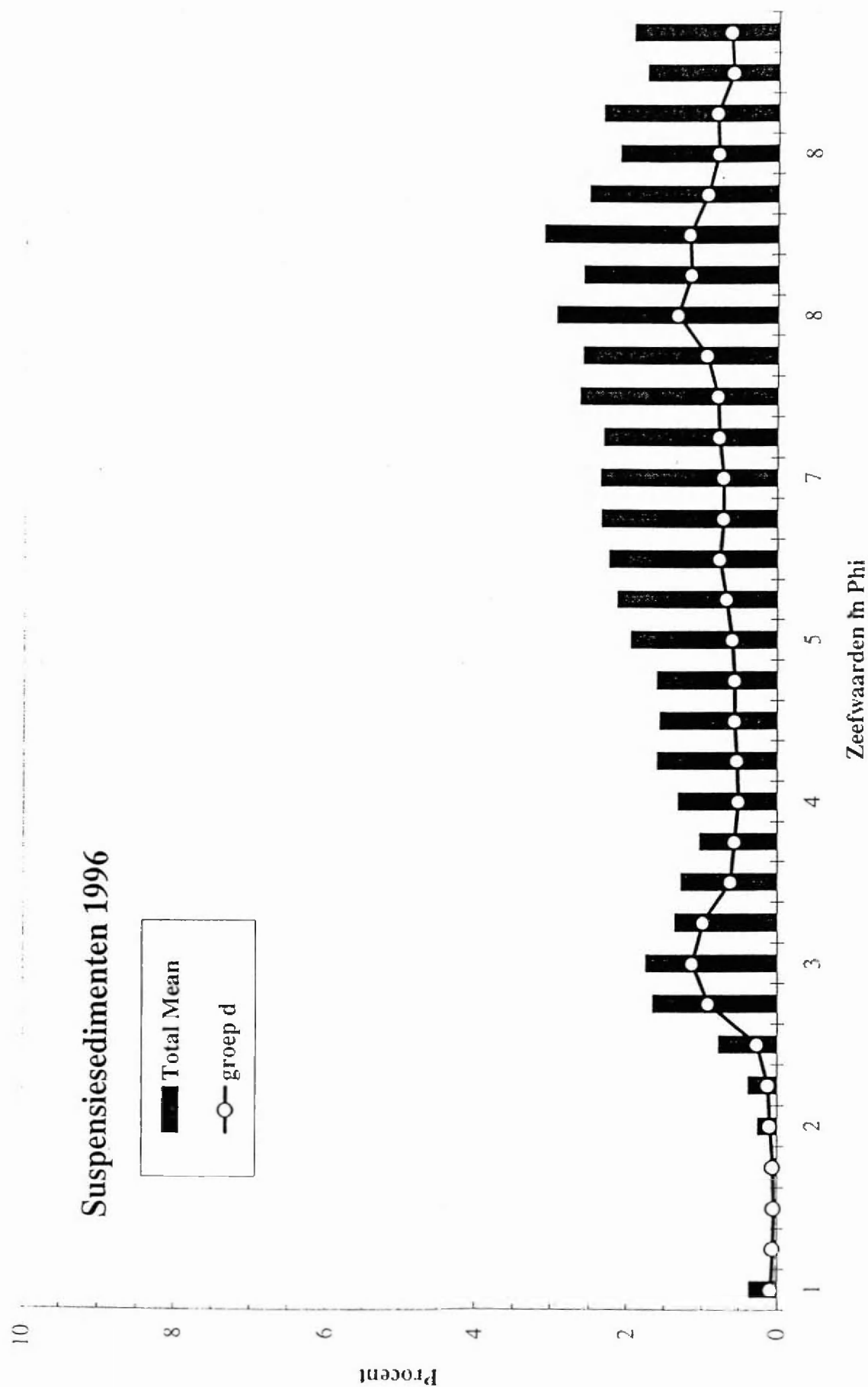


Suspensiedimenten 1998

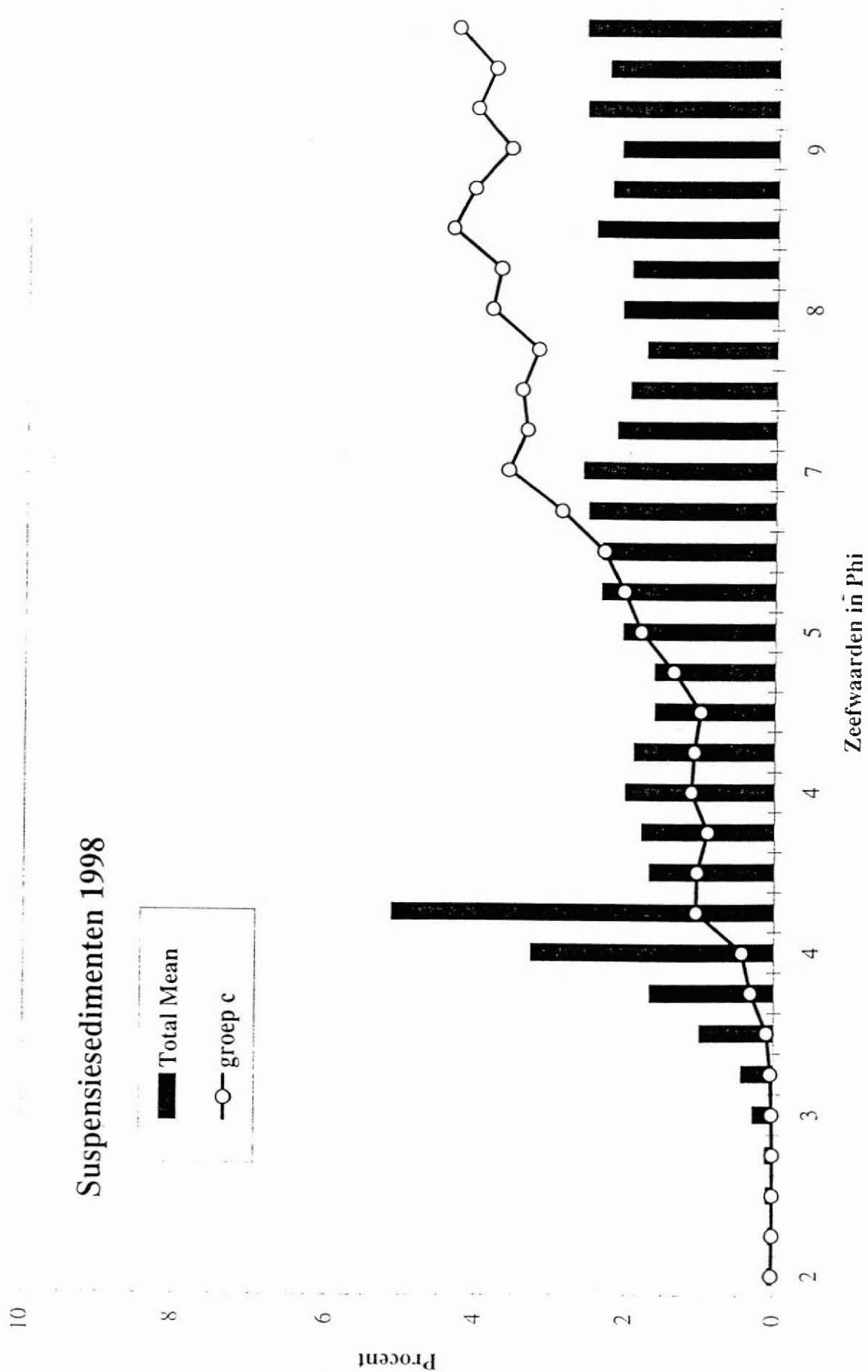


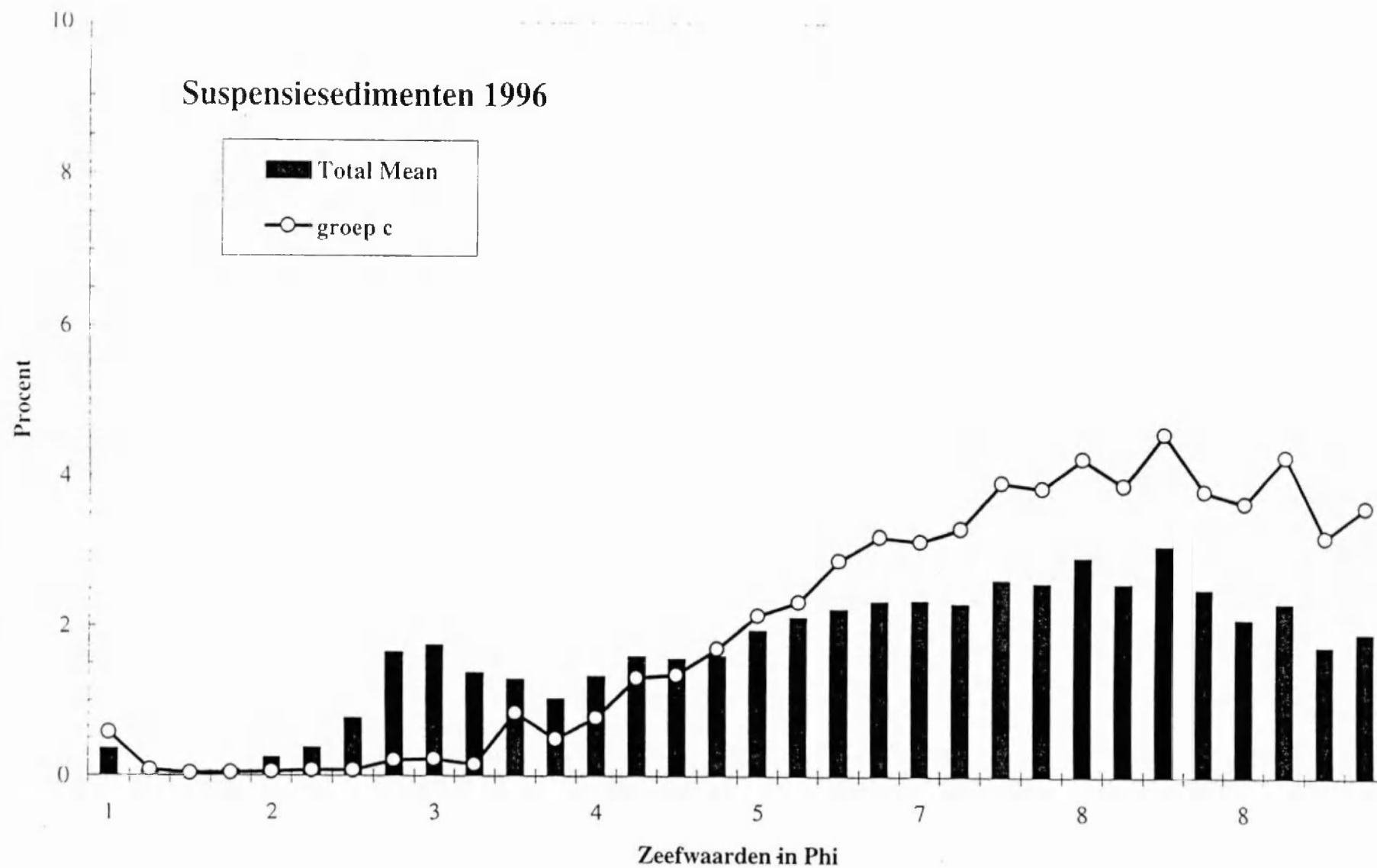


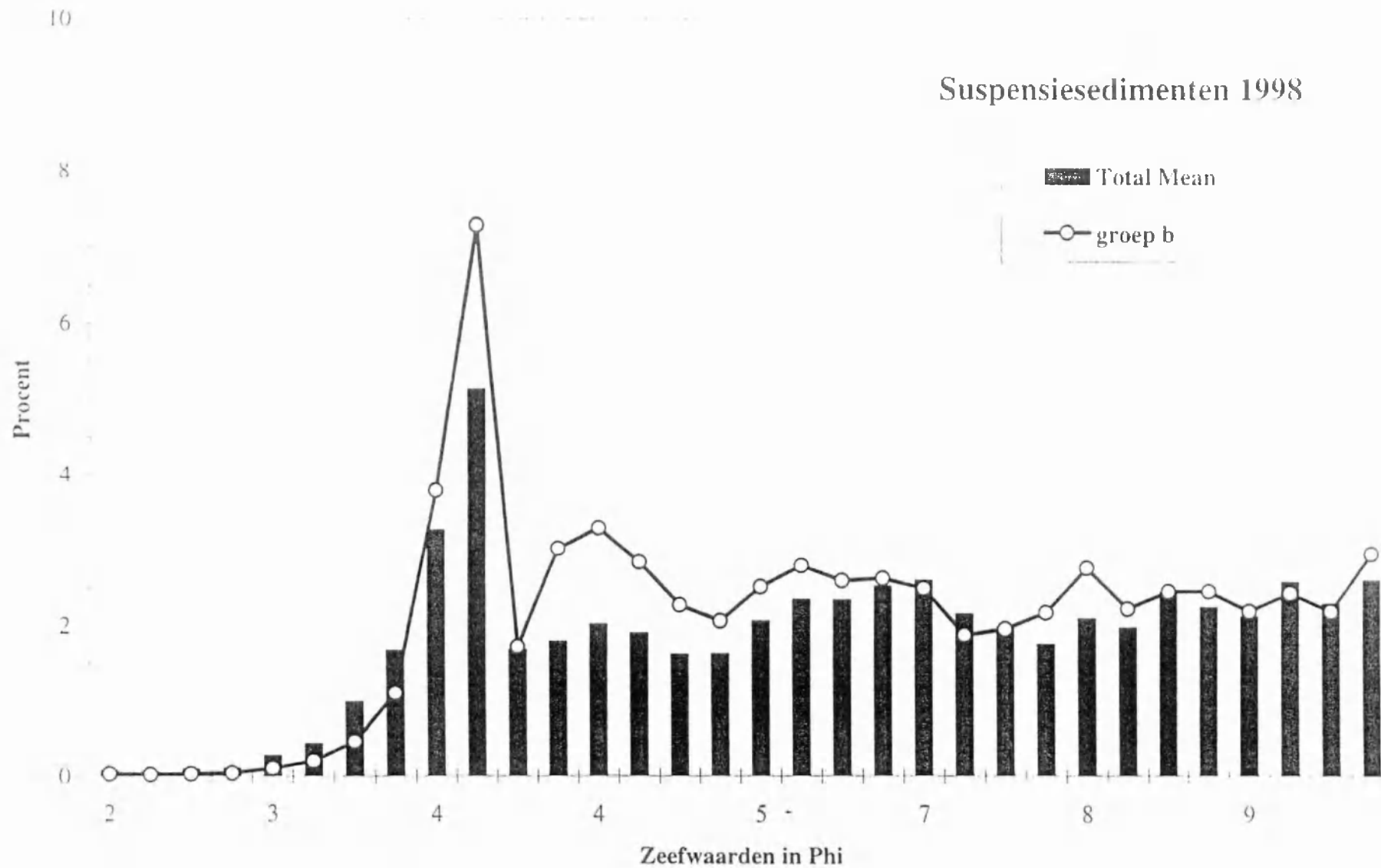




Suspensiedimenten 1998

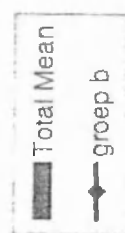






Class 1

Suspensiesedimenten 1997



10

8

6

4

2

0

Procent

2

3

4

5

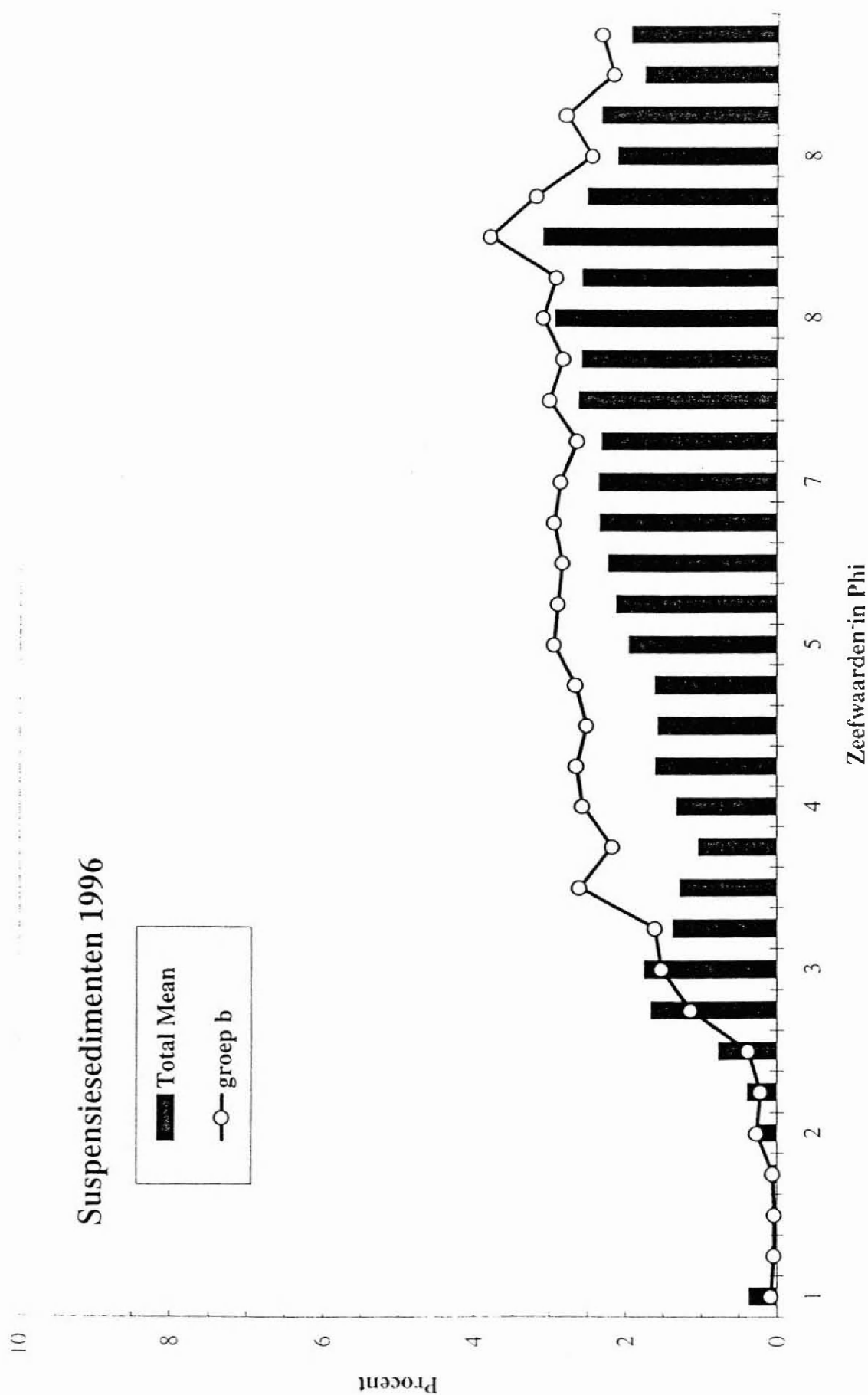
6

7

8

9

Zeefwaarden in Phi



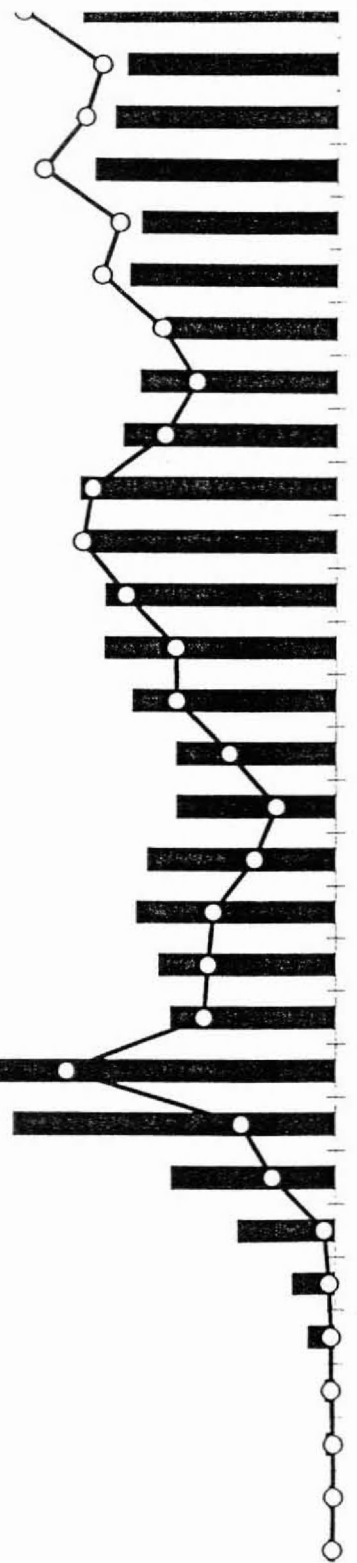
Suspensiesedimenten 1998

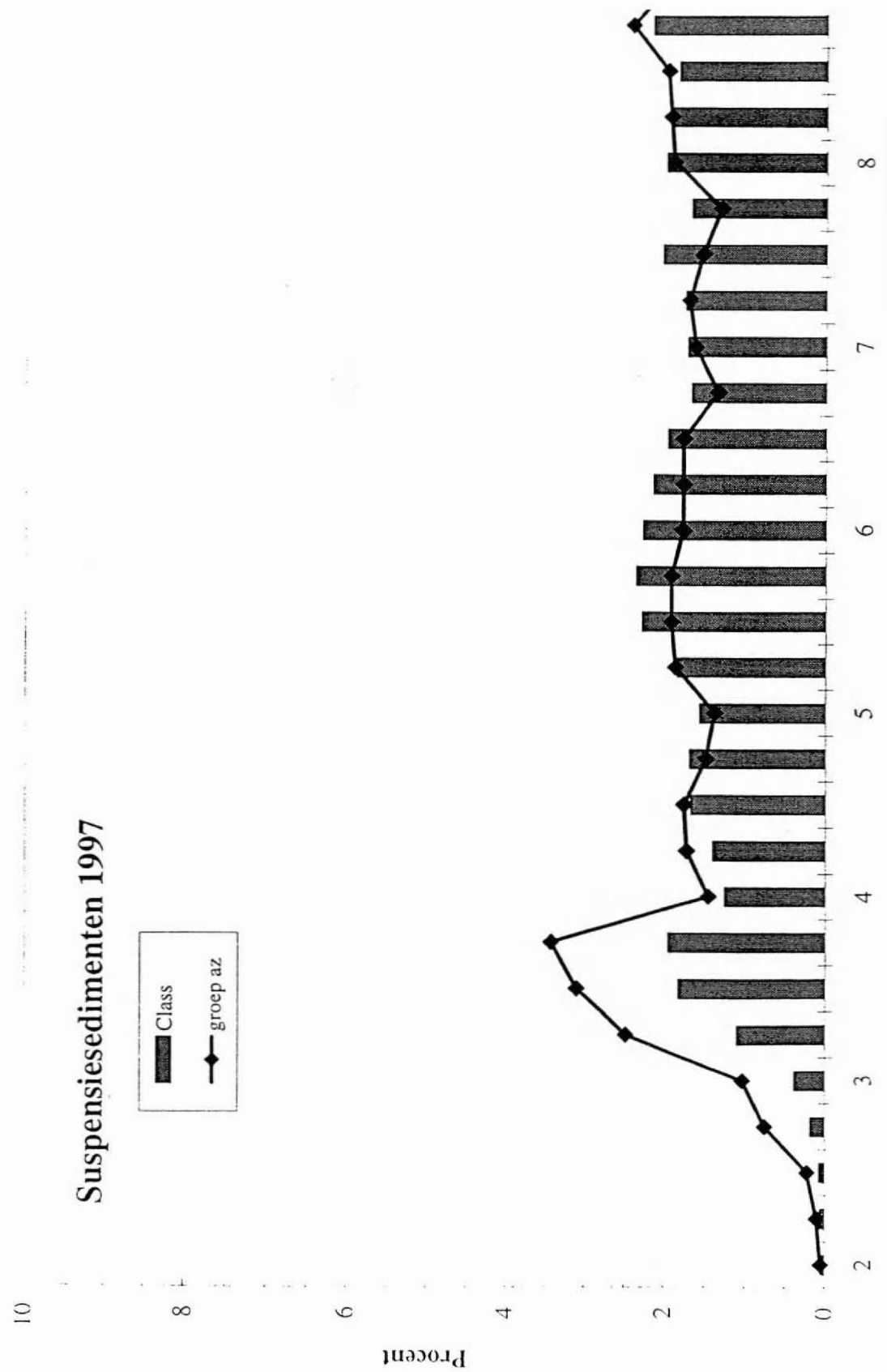
10 8 6 4 2 0

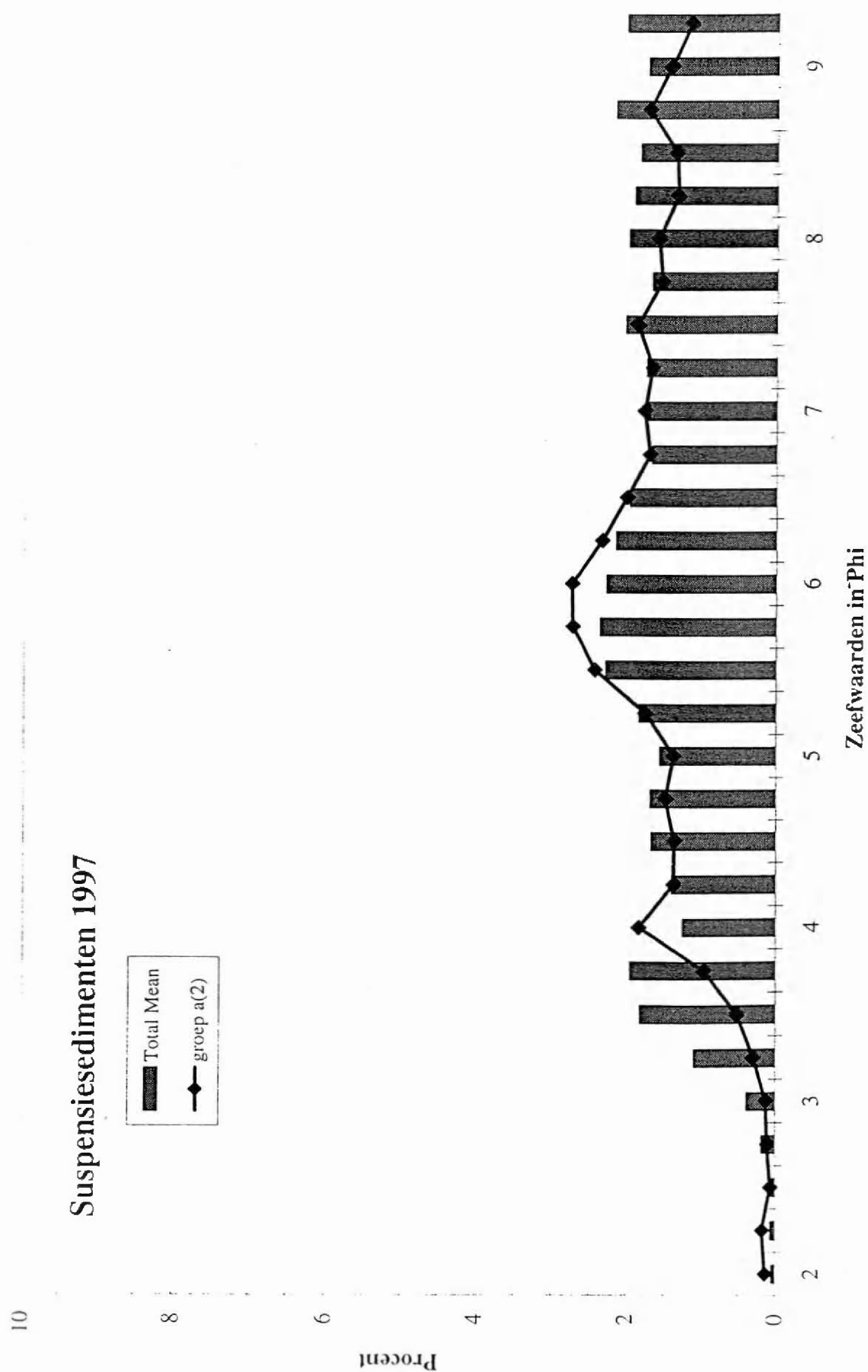
Total Mean

groep az

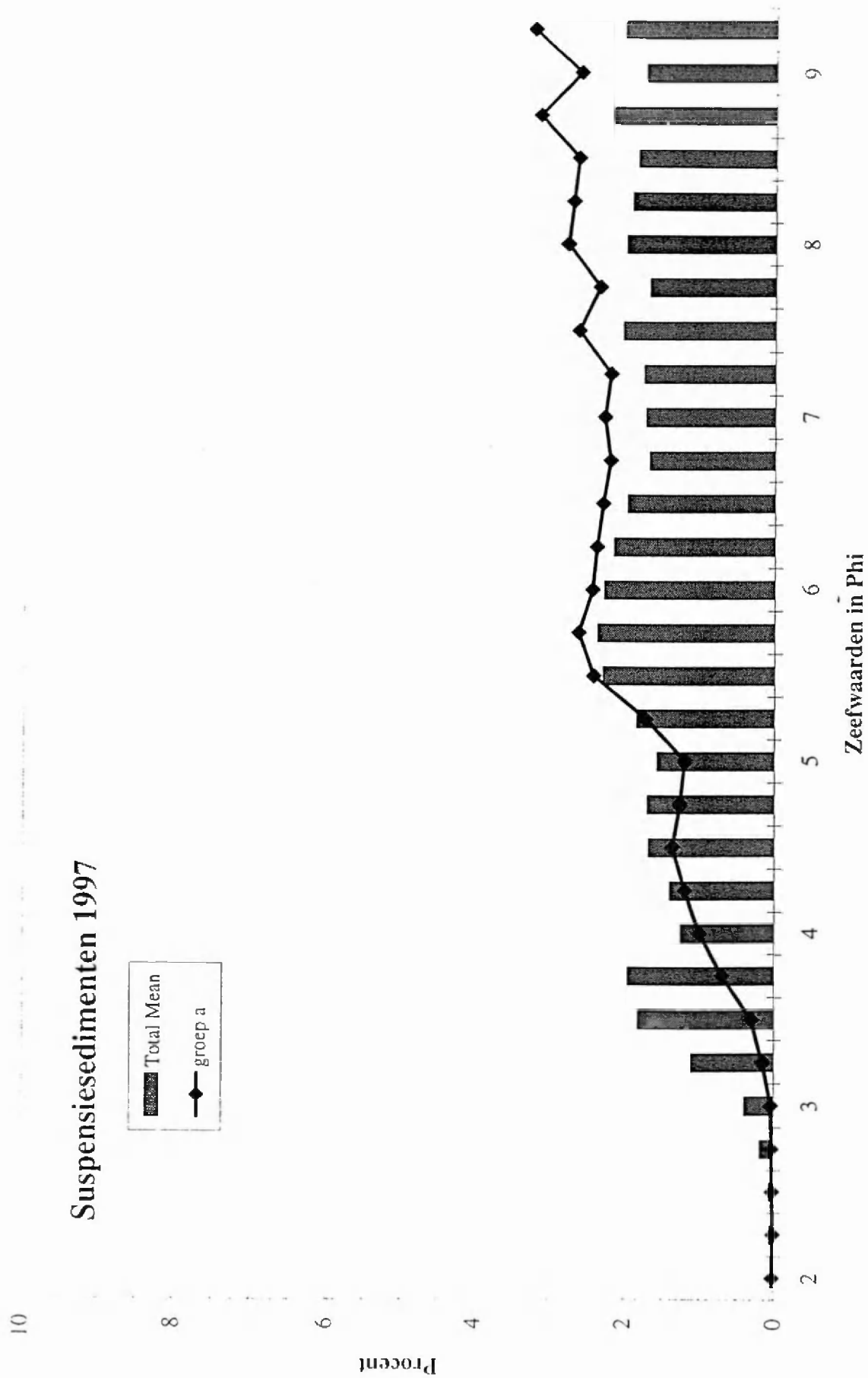
Procent

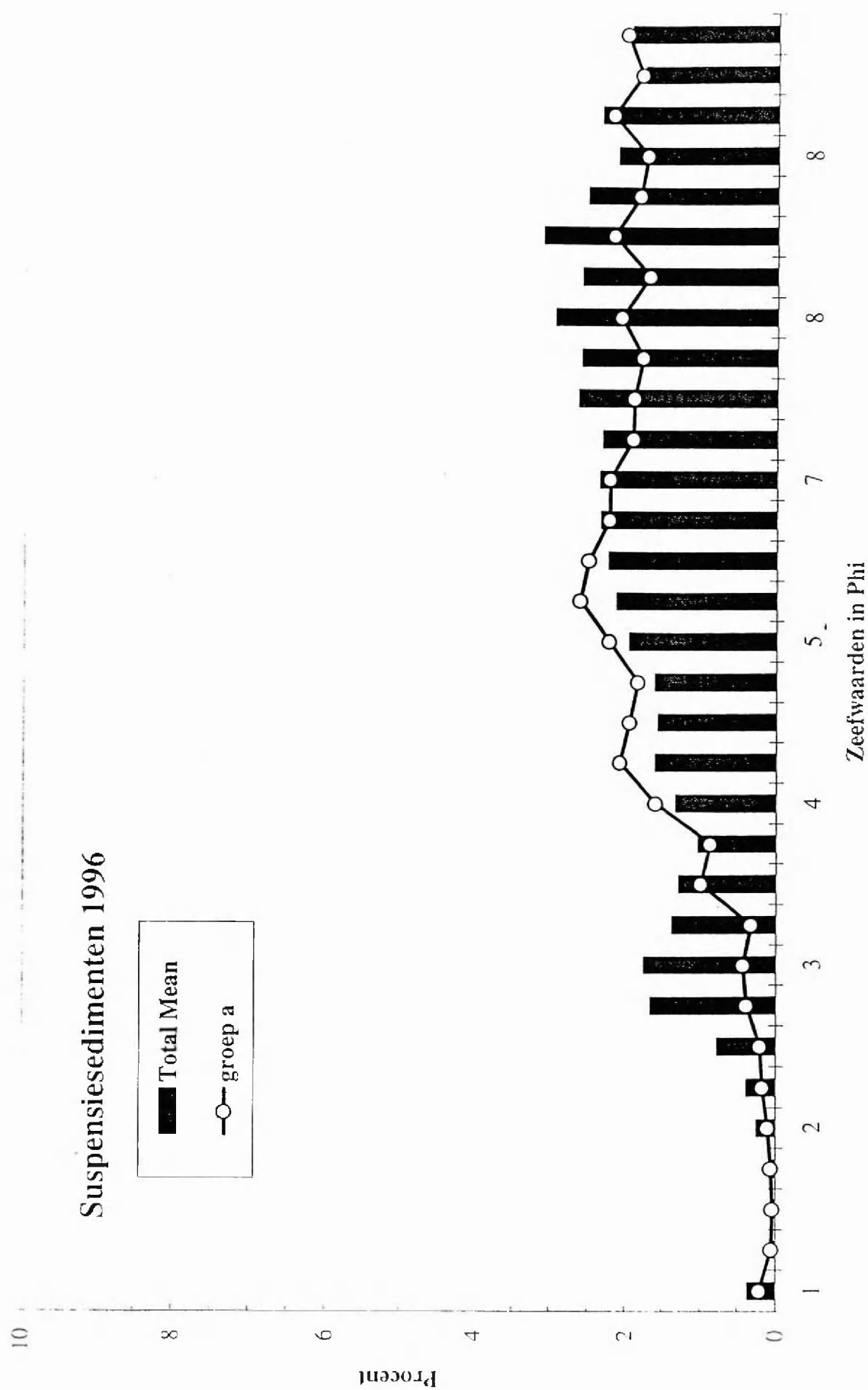






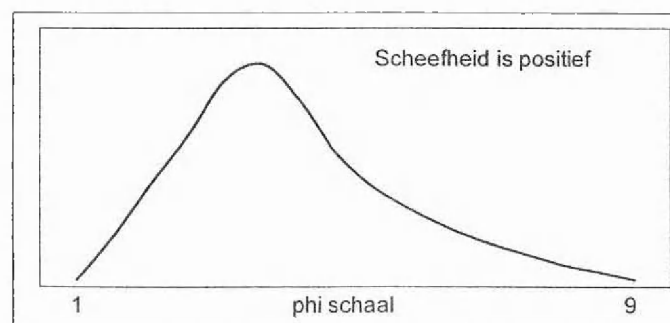
Suspensiedimenten 1997



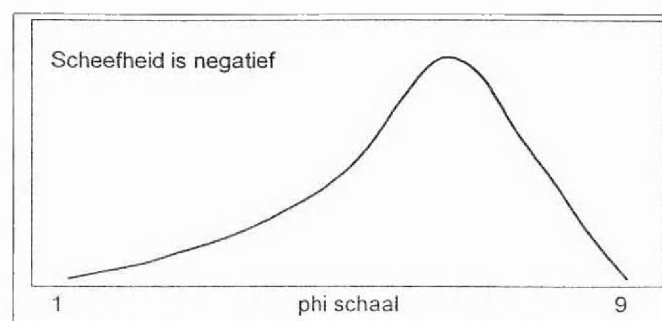


Studie van de scheefheid van het gesuspendeerd sediment

Het statistisch multivariaat onderzoek van de korelgrootteverdeling van het sediment in suspensie toont aan dat er in stroomafwaartse richting veranderingen optreden in de korrelsamenstelling. Een bijkomende analyse bestaat erin om na te gaan hoe de scheefheid van het sediment verandert langs het estuarium. De scheefheid is een statistische parameter die aangeeft in welke mate de korrelverdeling afwijkt van een normale gauss verdeling. Indien de modale fractie sterk afwijkt van de gemiddelde waarde zal de verdeling als het ware scheef getrokken worden. Een normale verdeling heeft een scheefheid gelijk aan nul. Wordt de modale fractie ten opzichte van de mediaan opgeschoven naar de grovere fracties dan wordt de scheefheid positief. In het omgekeerde geval wordt een negatieve scheefheid genoteerd (fig. 51a en 51b)



Figuur 51a: positieve scheefheid



Figuur 51b: negatieve scheefheid

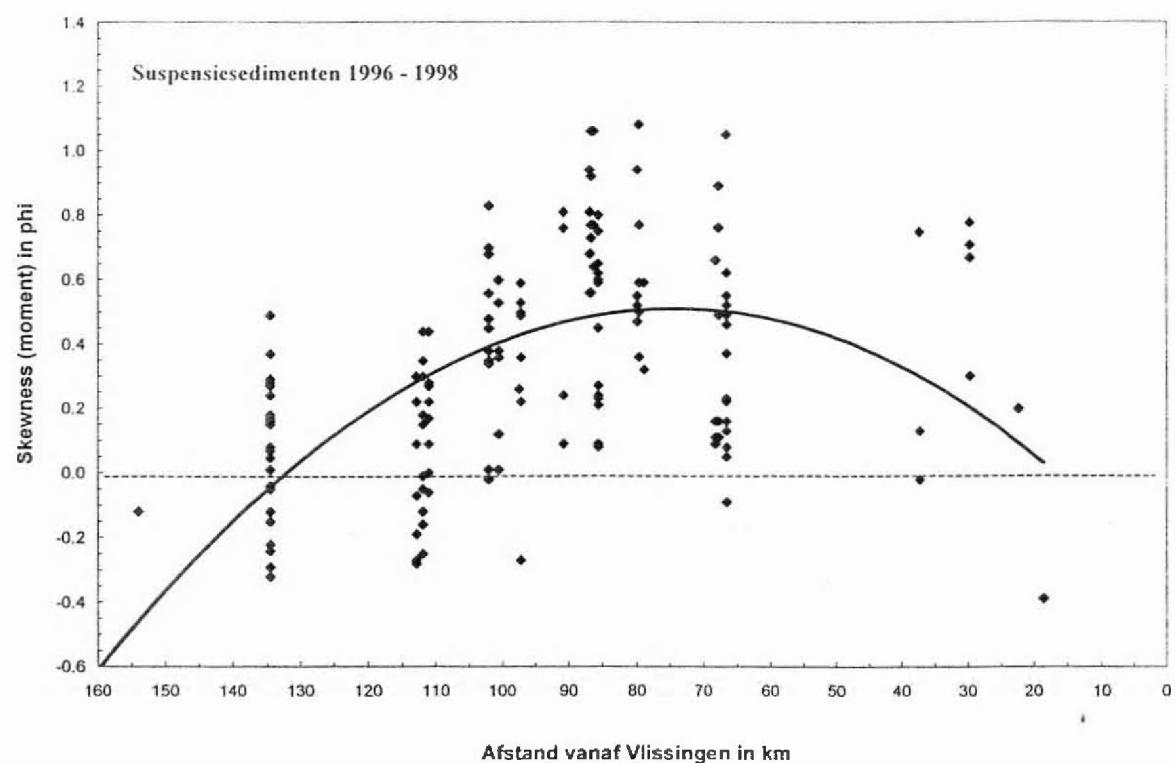
Men zal hier opmerken dat de scheefheid onafhankelijk is van de gemiddelde korelgrootte. Ze is ook niet afhankelijk, van de sortering.

Veranderingen in het energiepatroon van de rivier hebben uiteraard een effect op de grootte van de partikels die geërodeerd worden en in suspensie gebracht. Neemt de energie af dan zullen grovere partikels eerst sedimenteren en dus onttrokken worden aan het gesuspenseerd sediment. Een vermindering van het aantal grove partikels uit zich in een afname van de scheefheid. Het omgekeerde is natuurlijk ook waar. Een toenemende energie zal de scheefheid doen opschuiven naar meer positieve waarden omdat meer grovere partikels in de suspensie zullen terechtkomen.

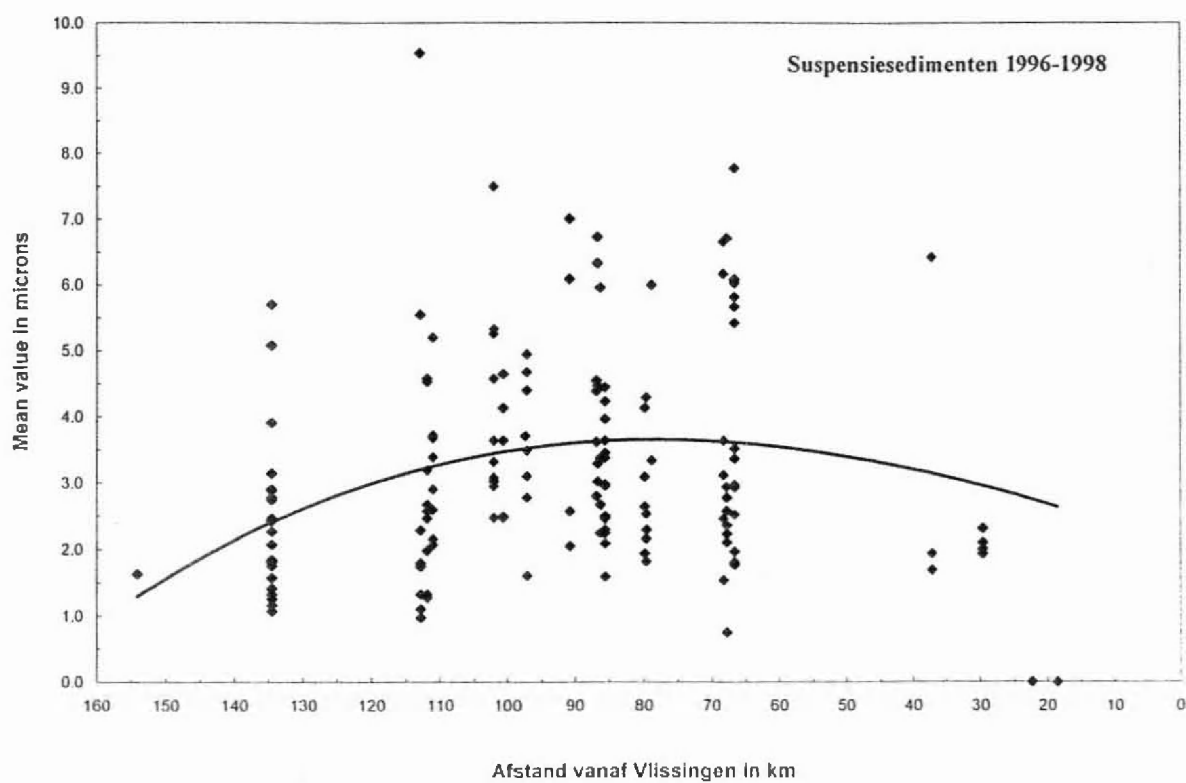
Figuur 52 geeft de scheefheid weer van het suspensiesediment voor de jaren 1996 tot 1998. De resultaten tonen aan dat er een zekere trend bestaat. De scheefheid stijgt in zeewaartse richting en bereikt een maximum in het gebied tussen Oosterweel en Zandvliet. Vanaf Zandvliet daalt de scheefheid opnieuw in zeewaartse richting.

Deze waarneming is in overeenstemming met de eerder vermelde relatieve afname aan kleipartikels en een toename aan silt vanaf de Durmemonding naar Oosterweel toe.

Hier blijkt dus dat de scheefheid een gevoeliger parameter is om kleine verschuivingen in de korrelsamenstelling te meten dan bijvoorbeeld de gemiddelde korrelgrootte. Figuur 53 toont de gemiddelde korrelgrootte voor alle suspensiestalen geanalyseerd in de jaren 1996 tot 1998. Er is weliswaar een zekere toename in gemiddelde korrelgrootte merkbaar in de omgeving van Oosterweel tot Zandvliet maar de verandering is veel minder uitgesproken dan het geval is voor de scheefheid.



Figuur 52: scheefheid van suspensiesedimenten 1996-1998



Figuur 53: gemiddelde korrelgrootte van suspensiesedimenten 1996-1998

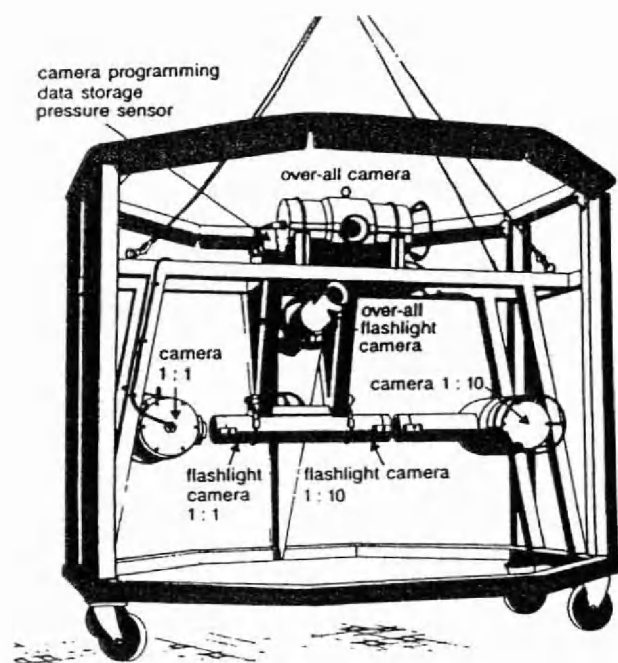
Benthoscamera

Inleiding

Het nemen van suspensiestalen met als doel de gesuspendeerde vlokken te bestuderen is een delicate kwestie. De vlokken zijn zeer broos en zullen uiteenvallen van zodra ze bemonsterd worden (EISMA *et al.*, 1983; KRANCK, 1984; EISMA, 1986; WELLS & SHANKS, 1987). Door deze fragiliteit is weinig gekend over de *in situ* grootte van vlokken. Een aantal *in situ* technieken is ontworpen om de vlokken te bestuderen en hun grootte te analyseren, waaronder de benthoscamera van het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) (EISMA *et al.*, 1990).

Het systeem bestaat uit een octagonaal roestvrij stalen frame, 180 cm hoog en 200 cm in diameter. In dit frame zijn 3 camera's zo gemonteerd dat er een minimale verstoring is van het stromingspatroon door het frame en langs de cameraraampjes (fig. 54). De camera's zitten elk in een roestvrij stalen cilinder met de lens achter een 45 mm dik conisch venster. De 1:1 en 1:10 camera's zijn horizontaal naar een flitsstelsel georiënteerd. De derde camera die een overzichtbeeld levert, werd bij onze campagnes niet gebruikt.

De gebruikte camera's zijn professionele Nikon F3 fototoestellen met een magazijn voor 250 opnamen. Het gewicht van het totale systeem bedraagt ongeveer 800 kg en dient met een kraan te water te worden gelaten. Een computer stuurt de apparaten en zorgt dat er elke keer een reeks van 14 foto's wordt genomen. De negatieven worden onder de microscoop gedigitaliseerd en verwerkt via een "image analysis" programma. De vlokverdeling is gebaseerd op een telling van minstens 300 vlokken per camera, zodat de statistische verwerking betrouwbaar wordt.



Figuur 54: schema van de benthoscamera

Campagnes

In totaal is de camera tijdens drie campagnes ingezet. Het volgende tabelletje geeft er een overzicht van.

Campagne	Datum	Lokaleiteit	Aantal verwerkte foto's
Kruikeke	2/5/1996	Kruikeke	56
Belgica 96/24	29/10 – 31/10/96	Ossenissee tot Kallebeek	86
Durmeschor	27/1/98	Tielrode	29

Tabel 19: overzicht van de campagnes waarbij de benthoscamera werd ingezet.

De volgende tabellen geven een overzicht van de verwerkte resultaten. Ze staan gerangschikt van Ossenissee naar Tielrode, in stroomopwaartse richting. Elke tabel vermeldt de camera (1:1 of 1:10), het station, de datum en het uur waarop de foto's genomen werden, en als resultaten de mediaan, de gemiddelde vloggrootte, de deviatie, de skewness en de kurtosis in ϕ -waarden en de gemiddelde vloggrootte in μm . Het vloggroottegebied waarin de camera's werken zijn respectievelijk van 161 tot 3 μm voor de 1:10 camera en van 1625 tot 30 μm voor de 1:1 camera. De

gegevens van de twee toestellen dienen als aparte gegevens beschouwd te worden. Daar het aantal foto's dat geteld moet worden, om aan een statistisch voldoende aantal vlokken te komen, verschillend was voor de twee camera's onderling en het bestudeerd volume niet hetzelfde was kunnen de gegevens niet zonder introductie van een grote fout aan elkaar gekoppeld worden (KALF, persoonlijke communicatie).

Ossenisse

1:1 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Ossenisse	29/10/96	10:00	4.02	4.01	0.76	-0.16	2.47	62
		10:05	3.93	3.89	0.86	-0.29	2.54	68
		10:30	3.89	3.86	0.85	-0.27	2.62	69
		10:35	3.96	3.93	0.81	-0.25	2.58	65
		11:00	3.86	3.84	0.84	-0.23	2.59	70
		11:05	3.84	3.78	0.92	-0.32	2.54	73
Gemiddelde waarden Ossenisse			3.92	3.89	0.84	-0.25	2.56	68

Tabel 20: resultaten van de 1:1 camera te Ossenisse

Van het meetstation te Ossenisse zijn enkel de 1:1 foto's bestudeerd. Voor de 1:10 foto's was te weinig materiaal in suspensie om statistisch betrouwbare gegevens te verkrijgen. De gemiddelde waarde van 68 μm voor de vloggrootte ligt in het gebied van 22 tot 211 μm waarin 95% van de vlokken gefotografeerd door de 1:1 camera ligt.

Zandvliet

1:1 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Zandvliet L	30/10/96	4:05	3.97	3.91	0.87	-0.49	3.06	67
		4:35	4.02	3.99	0.83	-0.46	3.09	63
		5:05	3.99	3.90	0.90	-0.48	2.76	67
		5:35	3.91	3.84	0.92	-0.41	2.75	70
Gemiddelde waarden Zandvliet L			3.97	3.91	0.88	-0.46	2.91	67

Tabel 21: resultaten van de 1:1 camera te Zandvliet links

De 1:1 camera levert voor Zandvliet links een gemiddelde vloggrootte van 67 μm op. Deze waarde ligt in het gebied van 20 tot 219 μm dat 95% van de door de 1:1 camera gefotografeerde vlokken vertegenwoordigd.

1:10 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Zandvliet L	29/10/96	21:11	8.15	7.90	0.85	-1.74	6.49	4.2
		21:16	8.02	7.75	0.93	-1.33	4.73	4.7
		22:00	7.84	7.57	1.03	-1.06	3.86	5.2
		22:05	7.53	7.34	1.11	-0.75	2.90	6.2
		22:30	7.53	7.35	1.08	-0.73	2.97	6.1
		22:35	7.97	7.72	0.92	-1.30	4.71	4.7
		23:00	7.85	7.57	1.02	-1.06	3.72	5.2
		23:05	7.55	7.37	1.07	-0.82	3.23	6.1
		23:30	7.83	7.61	0.97	-1.07	3.88	5.1
		23:35	7.90	7.66	0.95	-1.13	4.13	4.9
	30/10/96	0:00	7.92	7.67	0.96	-1.18	4.16	4.9
		0:05	7.88	7.65	0.94	-1.10	4.08	5.0
		0:30	7.88	7.64	0.96	-1.05	3.78	5.0
		0:35	7.92	7.68	0.94	-1.16	4.07	4.9
		4:05	7.58	7.33	1.14	-0.78	2.84	6.2
		4:35	7.27	7.13	1.15	-0.52	2.54	7.1
		5:05	7.69	7.40	1.14	-0.90	3.06	5.9
		5:35	7.56	7.33	1.13	-0.69	2.70	6.2
Gemiddelde waarden Zandvliet L			7.77	7.54	1.02	-1.02	3.77	5.4

Tabel 22: resultaten van de 1:10 camera te Zandvliet links

95% van de door 1:1 camera gefotografeerde vlokken liggen in het interval 21.4 tot 1.4 μm . Voor deze reeks werd een gemiddelde vloggrootte van 5.4 μm gevonden op Zandvliet links. De data leveren iedere keer weer een bimodale spreiding van de vloggrootte op. Door het ontbreken van gegevens over het relatieve aandeel van beide meetreeksen, kunnen de curven niet aan elkaar gekoppeld worden om zo een unimodale spreiding te geven.

1:1 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Zandvliet R	30/10/98	9:00	4.03	3.98	0.86	-0.29	2.39	63
		9:30	3.99	3.96	0.85	-0.24	2.40	64
		10:00	4.03	4.02	0.81	-0.25	2.47	62
		10:05	4.06	3.96	0.97	-0.45	2.41	64
		10:30	3.96	3.94	0.85	-0.26	2.49	65
		10:35	4.11	4.01	0.92	-0.50	2.67	62
		11:00	4.19	4.16	0.76	-0.31	2.48	56
		14:55	3.86	3.66	1.19	-0.62	2.63	79
Gemiddelde waarden Zandvliet R			4.03	3.96	0.90	-0.37	2.49	65

Tabel 23: resultaten van de 1:1 camera te Zandvliet rechts

Voor Zandvliet rechts levert de 1:1 camera een vergelijkbare gemiddelde vlokgrootte op als aan de overkant van de geul, namelijk 65 μm . Deze waarde valt in het gebied van 218 tot 19 μm , waarin 95% van de door deze camera gefotografeerde vlokken liggen.

1:10 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Zandvliet R	30/10/96	9:00	6.90	6.91	1.12	-0.17	2.27	8.3
		9:05	7.37	7.22	1.12	-0.60	2.67	6.7
		9:30	7.95	7.59	1.11	-1.22	3.78	5.2
		9:35	6.92	6.89	1.14	-0.26	2.39	8.4
		10:00	6.78	6.83	1.12	-0.13	2.36	8.8
		10:05	7.13	7.08	1.10	-0.39	2.54	7.4
		10:30	6.98	6.94	1.15	-0.29	2.43	8.1
		10:35	6.75	6.77	1.11	-0.08	2.34	9.2
		11:00	7.26	7.11	1.18	-0.47	2.28	7.2
		11:05	7.28	7.13	1.18	-0.51	2.39	7.1
		13:20	7.58	7.40	1.03	-0.74	2.95	5.9
		13:25	7.24	7.14	1.06	-0.42	2.49	7.1
		13:50	7.61	7.40	1.06	-0.75	2.84	5.9
		13:55	7.56	7.36	1.10	-0.72	2.75	6.1
Gemiddelde waarden Zandvliet R			7.24	7.13	1.11	-0.48	2.61	7.2

Tabel 24: resultaten van de 1:10 camera te Zandvliet rechts

De gemiddelde vlokdiаметer die de 1 op 10 camera observeerde op Zandvliet rechts is iets groter dan de gemiddelde grootte aan de linkerkant, namelijk 7.2 μm tegenover 5.4 μm . 7.2 μm ligt opnieuw in het 95% gebied dat zich strekt van 32.4 μm tot 1.6

μm . Aan de rechterkant van de vaargeul is er voor de kleine partikels een grotere spreiding dan aan de overkant, Zandvliet links.

Kruikeke

1:1 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Kruikeke	2/05/96	10:20	3.85	3.78	0.94	-0.53	3.13	73
		10:25	3.83	3.73	0.95	-0.51	2.98	75
		11:00	3.96	3.91	0.85	-0.45	3.02	67
		11:05	3.84	3.78	0.88	-0.57	3.49	73
		11:30	3.94	3.89	0.84	-0.53	3.32	67
		11:35	3.72	3.64	1.01	-0.50	2.89	80
		12:00	4.11	4.10	0.77	-0.40	2.97	58
		12:05	3.57	3.50	1.08	-0.28	2.37	88
		12:30	4.00	3.98	0.77	-0.38	3.15	63
		12:35	3.89	3.87	0.82	-0.34	3.03	68
		13:00	4.03	3.99	0.79	-0.42	2.96	63
		13:05	3.68	3.66	0.91	-0.18	2.44	79
		13:30	3.95	3.88	0.89	-0.46	2.84	68
		13:35	3.90	3.85	0.86	-0.39	2.83	69
		14:00	3.93	3.92	0.81	-0.31	2.91	66
		14:05	3.68	3.62	0.93	-0.28	2.58	81
		14:30	3.89	3.87	0.81	-0.32	2.97	68
		14:36	3.70	3.66	0.90	-0.30	2.78	79
		15:00	3.91	3.90	0.81	-0.34	3.07	67
		15:05	3.63	3.62	0.89	-0.06	2.43	81
		15:30	3.82	3.78	0.89	-0.28	2.60	73
		15:35	3.69	3.67	0.91	-0.13	2.41	79
		16:00	3.64	3.55	1.12	-0.22	2.10	85
		16:05	3.84	3.79	1.02	-0.28	2.24	72
		16:30	3.85	3.73	1.06	-0.51	2.61	75
		16:35	3.88	3.79	0.99	-0.39	2.50	72
		17:00	4.16	4.11	0.80	-0.55	3.20	58
		17:05	3.82	3.73	1.02	-0.40	2.46	75
Gemiddelde waarden Kruikeke			3.85	3.80	0.90	-0.37	2.80	72

Tabel 25: resultaten van de 1:1 camera te Kruikeke

Een gemiddelde vloggrootte van 72 μm karakteriseert het gesuspendeerd materiaal ter hoogte van Kruikeke. De spreiding rond dit gemiddelde gaat van 246 μm tot 21 μm en omvat 95% van de door deze camera geobserveerde vlokken.

		10:20	7.88	7.87	0.92	-1.10	3.90	4
		11:00	7.43	7.31	1.03	-0.62	2.72	6
		11:05	8.07	7.85	0.09	-1.51	5.57	4
		11:30	8.06	7.82	0.88	-1.36	4.73	4
		11:35	7.76	7.58	0.92	-0.93	3.51	5
		12:00	7.76	7.57	0.94	-0.87	3.26	5
		12:05	8.10	7.85	0.86	-1.48	5.23	4
		12:30	8.00	7.76	0.91	-1.32	4.55	4
		12:35	7.87	7.60	1.01	-1.01	3.39	5
		13:00	8.00	7.75	0.91	-1.22	4.11	4
		13:05	7.74	7.46	1.07	-0.85	2.92	5
		13:30	7.97	7.74	0.90	-1.21	4.27	4
		13:35	8.12	7.89	0.82	-1.54	5.63	4
		14:00	7.78	7.62	0.98	-0.96	3.18	5
		14:05	7.85	7.51	1.11	-0.93	2.98	5
		14:30	7.96	7.73	0.90	-1.18	3.98	4
		14:36	8.08	7.77	0.97	-1.36	4.28	4
		15:00	8.11	7.84	0.87	1.39	4.66	4
		15:05	7.89	7.55	1.09	-1.00	3.11	5
		15:30	7.94	7.64	1.01	-1.09	3.45	5
		15:35	7.77	7.43	1.12	-0.81	2.67	5
		16:00	8.00	7.69	1.00	-1.18	3.68	4
		16:05	8.00	7.67	1.02	-1.12	3.46	4
		16:30	8.02	7.73	0.96	-1.25	3.98	4
		16:35	7.72	7.39	1.16	-0.77	2.54	6
		17:00	7.90	7.64	0.97	-1.07	3.64	5
		17:05	7.83	7.50	1.11	-1.14	3.66	5
Gemiddelde waarden Kruibeke			7.91	7.65	0.95	-1.03	3.83	5

Tabel 26: resultaten van de 1:10 camera te Kruibeke

Met de 1:10 camera bemerken we een gemiddelde vlokdiаметer van 5.0 μm . 18.0 e 1.4 μm zijn de grenzen van het 95% interval waarin de vlokken, door deze camera gefotografeerd, liggen.

Gaan we verder stroomopwaarts, dan komen we ter hoogte van het meetstation van de Kallebeek.

Kallebeek

1:1 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Kallebeek	30/10/96	19:30	4.21	4.17	0.74	-0.54	3.30	55
		19:35	3.84	3.81	0.85	-0.20	2.56	71
		20:35	3.78	3.74	0.97	-0.34	2.54	75
		21:00	3.87	3.84	0.87	-0.25	2.60	70
		21:35	3.81	3.76	0.97	-0.32	2.46	74
		22:00	3.85	3.77	0.98	-0.38	2.52	73
		22:30	3.93	3.83	1.02	-0.40	2.34	70
		23:00	3.82	3.74	1.05	-0.31	2.26	75
		23:05	3.96	3.80	1.14	-0.52	2.36	72
		23:30	4.09	3.90	1.10	-0.60	2.49	67
	31/10/96	0:30	3.92	3.81	1.05	-0.38	2.26	71
Gemiddelde waarden Kallebeek			3.92	3.83	0.98	-0.38	2.52	70

Tabel 27: resultaten van de 1:10 camera te Kallebeek

Hier meten we vergelijkbare diameters op als op het station te Kruibeke. Een gemiddelde grootte van 70 μm typeert de vlokken ter hoogte van de Kallebeek. Deze waarde ligt in het interval dat zich van 264 μm tot 19 μm uitstrekt en 95% van de gefotografeerde vlokken omvat. De spreiding in de kleinere vloggroottes wordt door de 1:10 camera waargenomen, waarvan de tabel op de volgende pagina staat.

De gemiddelde vloggrootte door de 1:10 camera gefotografeerd ligt rond de 5.7 μm . De spreing rond dit gemiddelde gaat van 25.2 tot 1.3 μm . Dit vormt weer het gebied waarin 95% van de gefotografeerde vlokken vallen.

1:10 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Kallebeek	30/10/96	22:00	7.65	7.44	1.06	-0.92	3.60	5.8
		22:05	7.41	7.22	1.16	-0.62	2.57	6.7
		22:30	8.03	7.76	0.94	-1.33	4.48	4.6
		22:35	7.62	7.36	1.15	-0.80	2.90	6.1
		23:00	7.19	7.08	1.22	-0.58	2.74	7.4
		23:05	7.88	7.51	1.15	-1.07	3.31	5.5
		23:30	8.15	7.78	1.01	-1.51	4.87	4.5
		23:35	7.86	7.45	1.22	-0.96	2.94	5.7
	31/10/96	0:00	7.92	7.61	1.04	-1.13	3.90	5.1
		0:05	7.59	7.25	1.25	-0.74	2.68	6.6
		0:30	7.91	7.60	1.06	-1.23	4.15	5.1
		0:35	7.92	7.59	1.10	-1.17	3.81	5.2
		1:00	7.76	7.43	1.16	-0.92	3.06	5.8
		2:30	7.93	7.74	0.87	-1.22	4.70	4.7
		2:35	7.98	7.69	1.02	-1.36	4.67	4.8
		3:00	7.34	7.16	1.16	-0.66	2.80	7.0
		3:05	7.84	7.53	1.09	-1.13	3.86	5.4
		3:30	7.65	7.41	1.10	-0.95	3.32	5.9
		3:35	7.80	7.54	1.05	-1.04	3.68	5.4
		4:00	7.82	7.54	1.05	-1.04	3.55	5.4
		4:05	7.28	7.13	1.21	-0.60	2.64	7.2
		4:30	7.85	7.59	1.02	-1.10	3.77	5.2
		4:35	7.51	7.25	1.23	-0.75	2.72	6.6
		5:00	7.39	7.25	1.09	-0.67	2.88	6.6
		5:05	7.86	7.60	1.04	-1.21	4.11	5.2
Gemiddelde waarden Kallebeek			7.72	7.46	1.10	-0.99	3.51	5.7

Tabel 28: resultaten van de 1:10 camera te Kallebeek

Het meest stroomopwaartse station waarbij de benthoscamera werd gebruikt is te Tielrode. Daar werden bij de Durmeschor 13-uurs metingen de vloggrootten *in situ* bestudeerd. Het volgende deel geeft daar een overzicht over.

Tielrode

1:1 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Tielrode	27/01/98	11:45	3.61	3.45	1.15	-0.45	2.52	91
		12:45	3.64	3.47	1.18	-0.41	2.38	90
		16:45	3.59	3.49	1.14	-0.43	2.52	89
Gemiddelde waarden Tielrode			3.62	3.47	1.16	-0.43	2.47	90

Tabel 29: resultaten van de 1:1 camera te Tielrode

Te hoge concentraties aan vlokken belette bij de meeste metingen het licht van de flash dwars door de suspensie te gaan om een duidelijk aftekening van de vlokken te verkrijgen. Voor de 1:1 camera levert dit 3 statistisch betrouwbare metingen op. Die vertonen een gemiddelde vloggrootte van 90 μm en een spreiding die van 435 μm tot 19 μm gaat. Dit is het gebied waarin 95% van de gefotografeerde vlokken liggen.

1:10 Camera								
Station	Datum	Tijd	Mediaan (ϕ)	Gemiddelde (ϕ)	Deviatie (ϕ)	Skewness (ϕ)	Kurtosis (ϕ)	Gemiddelde (μm)
Tielrode	27/01/98	11:20	7.63	7.37	1.12	-0.75	2.73	6.0
		11:25	7.68	7.44	1.07	-0.85	3.10	5.8
		11:45	7.80	7.56	1.06	-0.99	3.47	5.3
		11:50	7.64	7.32	1.18	-0.82	2.83	6.3
		12:45	7.28	7.12	1.20	-0.50	2.38	7.2
		12:50	7.68	7.38	1.18	-0.92	3.18	6.0
		13:45	7.54	7.31	1.15	-0.63	2.50	6.3
		13:50	7.26	7.08	1.24	-0.46	2.27	7.4
		14:45	7.57	7.28	1.21	-0.67	2.44	6.4
		14:50	7.94	7.59	1.09	-1.11	3.47	5.2
		15:45	7.60	7.30	1.21	-0.68	2.48	6.3
		15:50	7.62	7.28	1.27	-0.76	2.56	6.4
		16:45	7.80	7.54	1.04	-1.11	3.99	5.4
		16:50	7.25	7.12	1.19	-0.72	3.05	7.2
		17:45	7.52	7.35	1.11	-0.77	3.05	6.1
		17:50	7.51	7.16	1.36	-0.69	2.42	7.0
		18:45	7.10	7.05	1.18	-0.34	2.28	7.6
		18:50	7.22	7.02	1.28	-0.51	2.39	7.7
		19:45	7.76	7.54	1.01	-0.87	3.25	5.4
		19:50	7.56	7.25	1.25	-0.68	2.43	6.6
		20:45	7.94	7.61	1.06	-1.07	3.39	5.1
		20:50	7.74	7.43	1.19	-0.97	3.22	5.8
		21:45	7.88	7.52	1.11	-1.10	3.55	5.4
		21:50	7.59	7.27	1.23	-0.75	2.60	6.5
		22:45	7.87	7.52	1.10	-0.99	3.15	5.4
		22:50	7.34	7.10	1.26	-0.57	2.36	7.3
Gemiddelde waarden Tielrode			7.59	7.33	1.17	-0.78	2.87	6.3

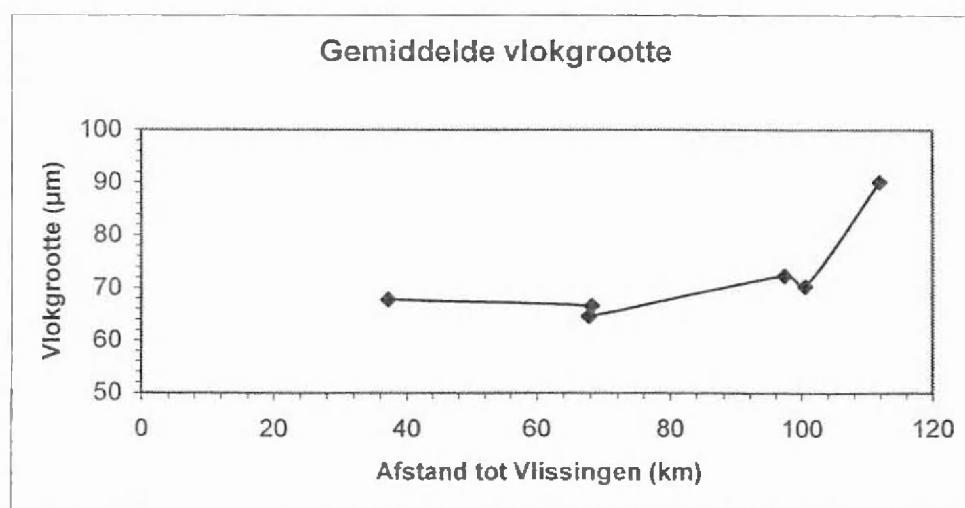
Tabel 30: resultaten van de 1:10 camera te Tielrode

De 1:10 camera levert meer resultaten op. Hierbij bedraagt de gemiddelde vlokdiаметer 6.3 μm . 95% van de gefotografeerde vlokken spreiden zich rond dit gemiddelde in een interval dat gaat van 30.4 μm tot 1.3 μm .

De gemiddelde vlokgrootten zijn in tabel 31 samengevat. De grafiek geeft de gemiddelde vlokgrootte van de 1:1 camera in functie van de afstand tot Vlissingen weer (fig. 55).

Station	Afstand (km)	1:1 gem (μm)	1:1 Spreiding (μm)		1:10 gem (μm)	1:10 Spreiding (μm)	
Ossenissee	37.2	68	211	22			
Zandvliet L	68.2	67	219	20	5.4	21.4	1.4
Zandvliet R	67.8	65	218	19	7.2	32.4	1.6
Kruibeke	97.3	72	246	21	5.0	18.0	1.4
Kallebeek	100.5	70	264	19	5.7	25.2	1.3
Tielrode	111.9	90	435	19	6.3	30.4	1.3

Tabel 31: Samenvatting van de metingen van de vlokgrootte met de benthoscamera



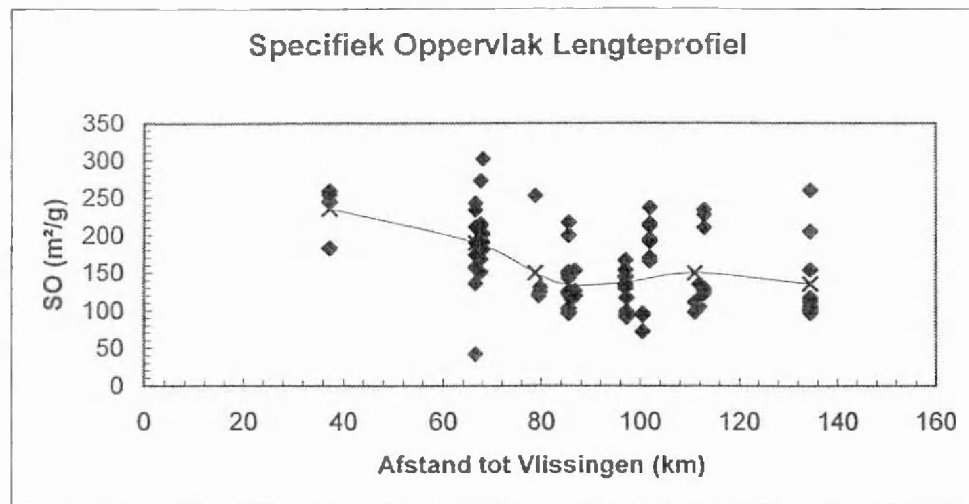
Figuur 55: de gemiddelde vlokgrootte in functie van de afstand tot Vlissingen

Bij de 1:1 camera is een stijging in de gemiddelde vlokgrootte waarneembaar naarmate men zich meer stroomopwaarts begeeft. Er valt een verschil van ruim 20 μm in gemiddelde vlokgrootte tussen Ossenissee en Tielrode te noteren. Voor de 1:10 camera is het verloop niet eenduidig. Zoals eerder vermeld is het verschil in vlokgrootte tussen zandvliet links en rechts opmerkelijk. Buiten de piekwaarde van 7.2 μm op Zandvliet rechts is in de modale spreiding van de kleine vlokken een toename van de gemiddelde grootte in de richting van Tielrode te merken.

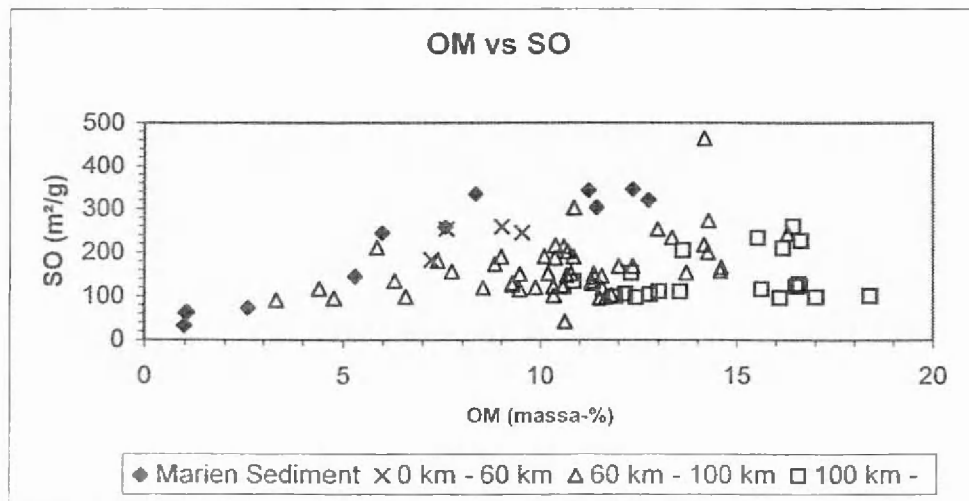
De toename van de vloggrootte stemt overeen met de eerdere bevinding dat het kleigehalte stroomopwaarts toeneemt. Klei is samen met het organisch materiaal een belangrijke factor voor het vormen van vlokken. Grovere fracties zoals zand en silt lenen zich daartoe niet, door het ontbreken van ladingen aan het korreloppervlak. Dit sluit evenwel niet uit dat deze korrels in een netwerk van vlokken kunnen vastgehouden worden. Het is duidelijk dat grotere vlokken sneller kunnen sedimenteren dan kleinere, maar de dynamiek van het estuarium speelt hierin ook een rol. Vlokken van een bepaalde grootte kunnen sedimenteren in een bepaalde tijd en aanleiding geven tot een hoge aanslibbingssnelheid in één gebied, maar door de dynamiek kan in een ander gebied de sedimentatie van dezelfde vloggrootte verhinderd worden en aanleiding geven tot een lagere aanslibbing. Dit wordt duidelijk door het bepalen van de aanslibbingssnelheden door middel van de bepaling van het gehalte aan ^{210}Pb dat in een volgend hoofdstuk wordt besproken.

Het aaneenklitten van suspensiepartikels verleent aan vlokken een ruimtelijk structuur waarin en waarrond zich allerhande (bio-)chemische processen kunnen afspelen. Hoe groter het oppervlak van de structuur is, des te groter de interactie met het omringende milieu kan zijn. Van het beschikbare oppervlak voor uitwisselingsprocessen en interactie met micro-organismen kan een beeld gevormd worden door het specifieke oppervlak van de materie te bepalen en die wordt uitgedrukt in m^2/g . Aan de hand van 93 suspensiestalen waarvan het specifiek oppervlak werd bepaald werd de variatie over het Schelde-estuarium bepaald (fig. 56). Hier zien we dat het specifiek oppervlak stroomafwaarts groter blijkt te zijn dan in het gebied Rupelmonde – Appels (gemiddeld $235 \text{ m}^2/\text{g}$ voor Ossensisse tegenover gemiddeld $135 \text{ m}^2/\text{g}$ voor Appels). Er is ook een daling in het specifiek oppervlak waar te nemen in de regio rond Antwerpen, namelijk gemiddeld $134 \text{ m}^2/\text{g}$. Dit is op het eerste gezicht in tegenspraak met de bevinding dat het kleigehalte en de vloggrootte toeneemt naarmate we stroomopwaarts gaan. Kijken we naar figuur 57 en 58, die de relatie organisch materiaal – specifiek oppervlak voorstelt, dan zien we dat voor een zelfde hoeveelheid

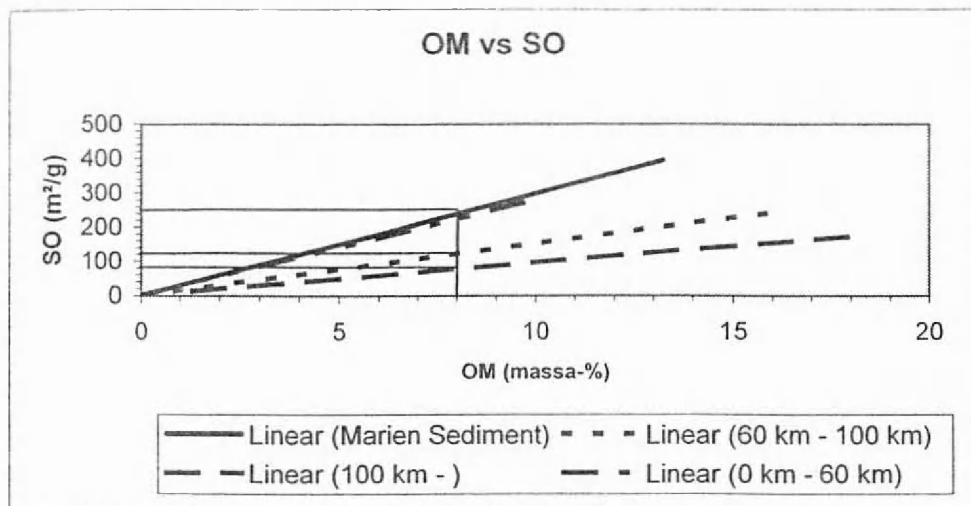
organisch materiaal het specifiek oppervlak tot 3 keer groter is voor sedimenten afkomstig uit de mariene zone tot 60 km, dan voor sedimenten uit het gebied stroomopwaarts vanaf 60 km.



Figuur 56: variatie van het specifiek oppervlak van suspensiesedimenten over het Schelde-estuarium.

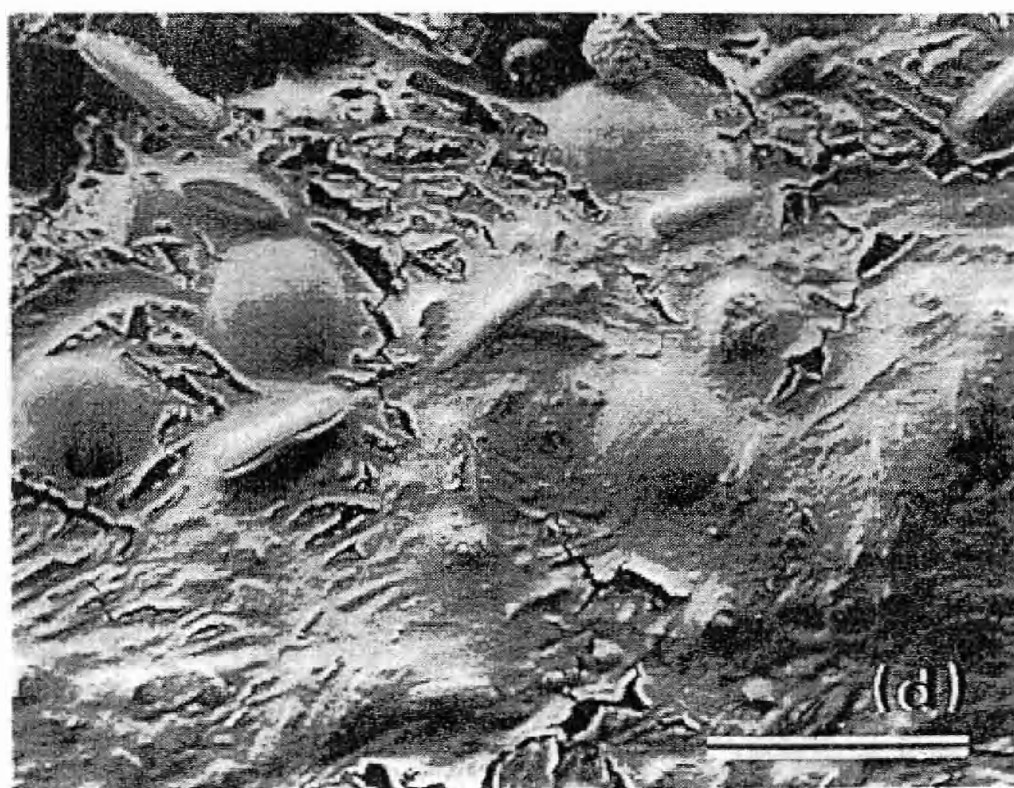
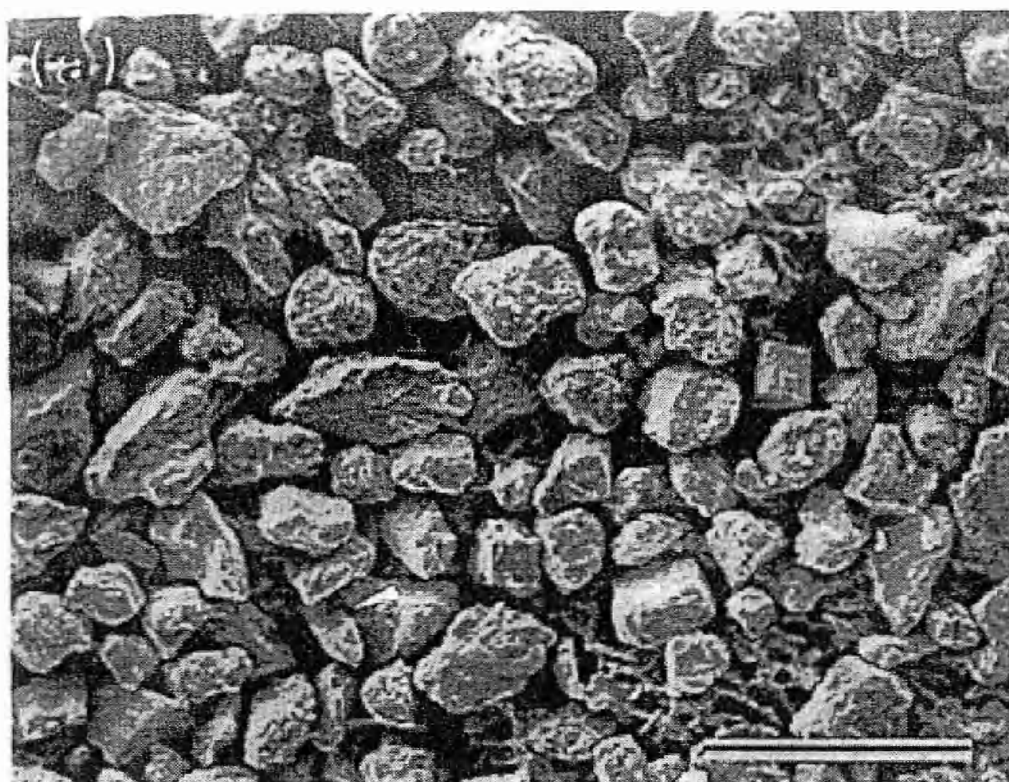


Figuur 57: relatie organisch materiaal – specifiek oppervlak voor Schelde-suspensiesedimenten.

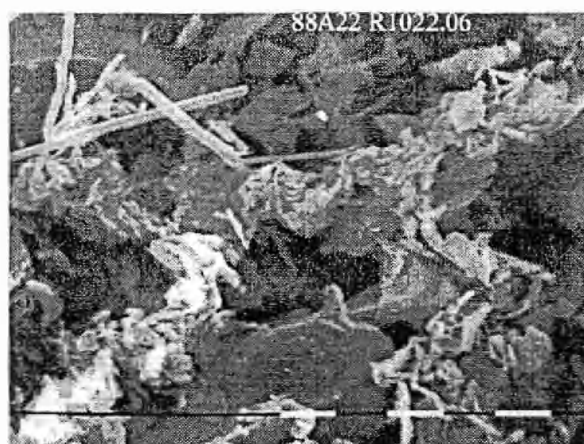


Figuur 58: relatie organisch materiaal – specifiek oppervlak volgens afstand tot Vlissingen.

De interactie tussen het mariene milieu en het gesuspendeerd sediment is niet eenvoudig. Het is niet alleen de samenstelling van het sediment die de oppervlakte voor processen bepaald; andere factoren zoals de hoeveelheid organisch materiaal, het specifiek oppervlak eigen aan het sedimenttype, saliniteit, turbiditeit en de hydrodynamica bepalen de uiteindelijk vloggrootte en bijgevolg de mogelijkheid tot interactie met het milieu. Dat die wisselwerking belangrijk is kan met een aantal foto's geïllustreerd worden. De micro-organismen vertonen duidelijk een interactie met de sedimentpartikels en dragen hier bij tot de consolidatie van de sedimenten door de uitscheiding van EPS (extracellulaire polymere substanties). Op die manier zullen ze in grote mate de erosie/sedimentatieprocessen in het estuarium gaan bepalen.



Figuur 59 sedimenten van de slikken (a) juist na afgaand water en zonder protozoa, en (b) 4 uur na afgaand water. De aanwezigheid van de protozoa euglenida in (b) is duidelijk zichtbaar, het sediment is bedekt door een mucilagine matrix die tijdens het droogvallen van het slikken-oppervlak



Figuur 60: kettingvormige vlokken in Noordzeeslib.



Figuur 61: bolvormige vlok in Scheldeslib. Dergelijke vlokken kunnen door bacteria gevormd worden.



Figuur 62: een bacterie omgeven door kleipartikels.

De Radio-Isotopen

Radio-isotopen worden sinds vele jaren gebruikt om de ouderdom van gesteenten te bepalen. Deze ouderdomsbepaling berust op het principe dat de radioactieve desintegratie voor ieder isotoop aan een constante snelheid, de vervalconstante (λ) verloopt. De reciproke waarde hiervan is de halfwaardetijd voor het isotoop

$$\lambda = \frac{1}{t_{1/2}}$$

Om een nauwkeurige ouderdom te bepalen moet dus de activiteit van het isotoop nauwkeurig gemeten worden en moet ook de oorspronkelijke activiteit gekend zijn. Een meer recente toepassing van deze isotopen methode bestaat erin om met behulp van het ^{210}Pb de accumulatiesnelheid van lacustriene en mariene sedimenten te bepalen (o.m. Oenema & DeLaune, 1988; Kearney & Stevenson, 1991). Op dit aspect wordt in een afzonderlijk hoofdstuk uitvoeriger ingegaan bij de bespreking van de accumulatiesnelheden in het estuarium. Sinds een tiental jaren zijn er eveneens pogingen ondernomen om met dezelfde methode ook de verhouding fluviaal tot marien sediment in estuariene suspensies te schatten (Olsen et al., 1989). Op analoge wijze wordt in deze studie de activiteit van het ^{210}Pb -isotoop gebruikt om het aandeel van het geresuspendeerd sediment in het totaal aanwezige suspensiesediment te schatten.

Het ^{210}Pb isotoop komt voor in de desintegratiereeks van ^{238}U , dat via enkele tussenstappen omgezet wordt in het ^{226}Ra isotoop. Uranium komt in vrijwel alle gesteenten voor, zij het soms in zeer minieme mate. Het bestaat voor 99.3% uit ^{238}U dat een halfwaardetijd heeft van $4.47 \cdot 10^9$ jaar. Een van de isotopen uit de desintegratiereeks van ^{238}U is het ^{226}Ra dat een halfwaardetijd heeft van 1600 jaar. Dit ^{226}Ra vervalst op zijn beurt tot het gasvormige radon of het ^{222}Rn isotoop. Radon is het zwaarste van de edele

gassen. Het is 100 keer zwaarder dan waterstof en 7.5 keer zwaarder dan lucht. Het heeft een zeer korte levensduur met een halfwaardetijd van 3.8 dagen. Na zijn ontstaan ontsnapt een deel van het radongas uit het gesteente en komt in de onderste lagen van de atmosfeer terecht. Radon is een voorloper van het vaste ^{210}Pb -isotoop dat een halfwaardetijd heeft van 22.3 jaar. In de atmosfeer vervalt het radon tot het ^{210}Pb dat zich kan vasthechten aan kleine stofpartikels en aldus met de neerslag zal terugkeren naar het aardoppervlak waar het ook in het mariene milieu terechtkomt. Het ^{210}Pb is echter ook als product van de desintegratiereeks:



in het estuariene sediment zelf aanwezig. De neerslag van ^{210}Pb uit de atmosfeer veroorzaakt dus een overmaat of "exces" aan ^{210}Pb in het gesuspendeerde mariene sediment. Samen met dit sediment dringt het isotoop het estuarium binnen waar het geconcentreerd wordt in het troebelheidsmaximum.

Het bestaan van dit exces aan ^{210}Pb laat toe om het aandeel geresuspendeerd slib in de totale hoeveelheid suspensiemateriaal te schatten. Hiervoor wordt uitgegaan van een andere aspect van radio-isotopen. Na een tijdspanne die 5 keer de halfwaardetijd bedraagt van het beschouwde isotoop zal het exces aan dit isotoop niet meer meetbaar zijn. In het geval van ^{210}Pb met een halfwaardetijd van 22.3 jaar bedraagt deze tijdspanne dus ongeveer 100 jaar. Slib dat ouder is dan 100 jaar zal dus geen meetbaar exces aan ^{210}Pb bevatten. Dit is uiteraard ook het geval voor geologisch oudere sedimenten die in de ondergrond van het Schelde estuarium aangetroffen worden.

De activiteit van het ^{210}Pb wordt uitgedrukt in Bq/g.silt-klei zodat het meetresultaat onafhankelijk is van de hoeveelheid fijn sediment dat in de suspensie aanwezig is. Beschouwd men nu 2 brongebieden, enerzijds de zee en anderzijds het rivierbekken en gaat men er van uit dat de aanvoer van ^{210}Pb hoofdzakelijk vanuit zee gebeurt. Volgens wat voorafging zal in dit geval de activiteit van het ^{210}Pb zijn hoogste waarde bereiken in

het troebelheidsmaximum van het estuarium (Olsen C.R. et al., 1989). Er zullen theoretisch geen noemenswaardige veranderingen in de tijd optreden aangezien de toevoer van ^{210}Pb uit de atmosfeer als constant mag beschouwd worden.

Recent slib, minder dan 100 jaar geleden afgezet, moet dan een activiteit vertonen die vergelijkbaar is met de activiteit van het slib in suspensie. Is dit niet het geval en zijn de activiteiten lager dan verwacht dan heeft vermenging van recent aangevoerd slib met "oud" slib plaats gevonden. Men heeft dus twee eindtermen: de hoogste activiteit gemeten in het suspensiesediment en een laagste activiteit die uit metingen op boorkernen kan afgeleid worden. Op basis van deze eindtermen kan het aandeel van de resuspensie in het suspensiesediment geschat worden.

Gedurende verschillende jaren werden metingen verricht op suspensiesedimenten uit het Schelde estuarium. Stalen genomen sinds 1990 werden onderzocht op hun radio-isotopen samenstelling. De activiteiten van zowel het ^{210}Pb als het ^{226}Ra werden bepaald. Het excès aan ^{210}Pb werd berekend door het verschil te maken tussen de activiteit van het ^{226}Ra en het ^{210}Pb . Hierbij werd uitgegaan van de veronderstelling dat de activiteiten van beide isotopen met elkaar in evenwicht zijn.

De resultaten zijn weergegeven in figuren 63-65. Om het aantal figuren te beperken werden de resultaten van meerdere jaren gegroepeerd.

Het excès ^{210}Pb varieert van bijna niets tot 1.3 Bq/g.klei. Uit de figuren kunnen drie zaken afgeleid worden:

- Voor alle plaatsen en voor ieder jaar treden belangrijke verschillen op in het excès ^{210}Pb . In welke mate deze verschillen hetzij seizoenaal, hetzij met het tij of met het bovendebiet gecorreleerd zijn werd nog niet onderzocht.
- Voor alle waarnemingsperiodes werd een landinwaartse toename aan het excès ^{210}Pb vastgesteld. Er treedt dus wel degelijk een concentratie in het troebelheidsmaximum op. De hoogste activiteiten werden waargenomen in het gebied tussen Zandvliet en de

Rupelmonding. In datzelfde gebied komt ook het troebelheidsmaximum van het Schelde estuarium voor.

- Er is een duidelijk verschil waarneembaar tussen de hoogste activiteiten waargenomen in de periode 1990-1992 ($> 0.7 \text{ Bq/g.klei}$) en de hoogste activiteiten in latere jaren waargenomen (steeds $< 0.5 \text{ Bq/g.klei}$). Men kan dus stellen dat vanaf 1993 er een terugval is in de activiteit van het ^{210}Pb in het suspensiesediment. Er werd reeds op gewezen dat een dergelijke terugval niet kan te wijten zijn aan een verandering in de aanvoer van het ^{210}Pb isotoop. Er moet dus een andere reden zijn, waarschijnlijk een toename aan de hoeveelheid geresuspendeerd bodemsediment.

Men kan nu de vraag stellen of er ook in de tijd een evolutie merkbaar is. Met dit doel voor ogen werden de bekomen resultaten van het ^{210}Pb onderzoek uitgezet volgens een tijdschaal uitgedrukt in jaren (figuur 66). De meetresultaten hebben betrekking op suspensiesedimenten bemonsterd in het troebelheidsmaximum (Zandvliet-Rupelmonding).

Het valt hierbij onmiddellijk op dat in 1990 het suspensiesediment een aanzienlijk hogere totale ^{210}Pb activiteit vertoonde dan in de daaropvolgende jaren. Bekijkt men het exces aan ^{210}Pb dan bemerkt men niet alleen hogere waarden in 1990 maar eveneens een lichte verhoging van de exces activiteit op het einde van 1996 (figuur 67). Metingen uitgevoerd in 1995 daarentegen vertoonden zeer lage waarden.

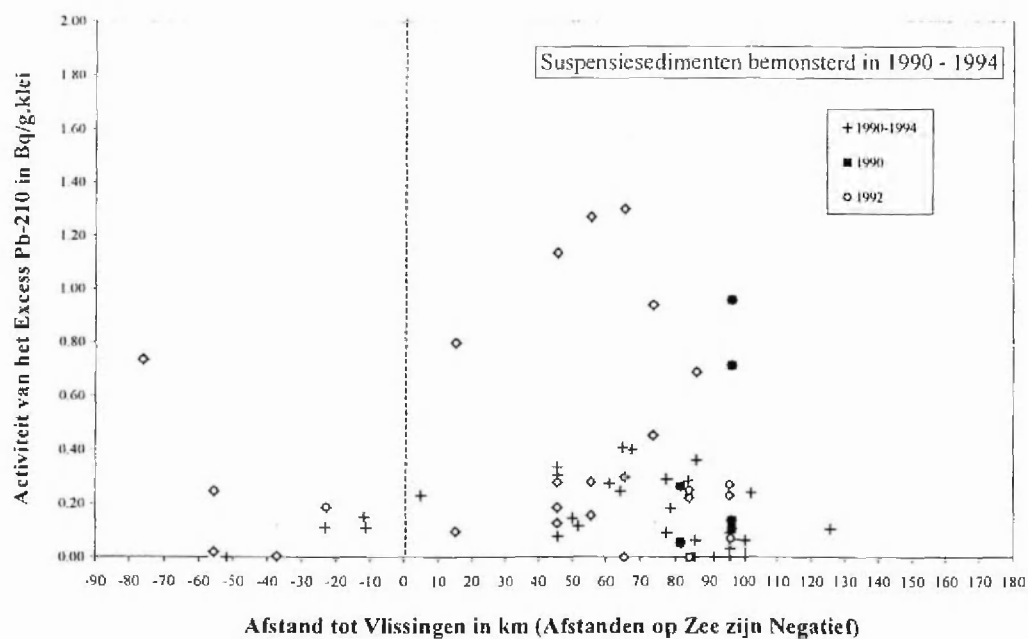
Deze schommelingen in de tijd kunnen niet verklaard worden door een verandering in de aanvoer van het ^{210}Pb isotoop te veronderstellen. Er dient dus een verklaring gezocht te worden in de aard van het aangevoerde sediment. Een verband tussen de korrelgrootte en het exces ^{210}Pb behoort hierbij tot de mogelijkheden. Vergelijkt men de totale hoeveelheid ^{210}Pb en het silt-klei gehalte (alle sediment $< 63 \mu\text{m}$) dan blijkt er inderdaad een negatief verband te bestaan. Hogere gehalten aan fijn sediment stemmen overeen met een lagere ^{210}Pb activiteit (figuur 68). Een minimum waarde van ongeveer 0.15 Bq/g.silt-

klei wordt bereikt vanaf 70% silt en klei. Dit is echter in tegenspraak met het feit dat het ^{210}Pb juist gekoppeld is aan deze fijne fractie.

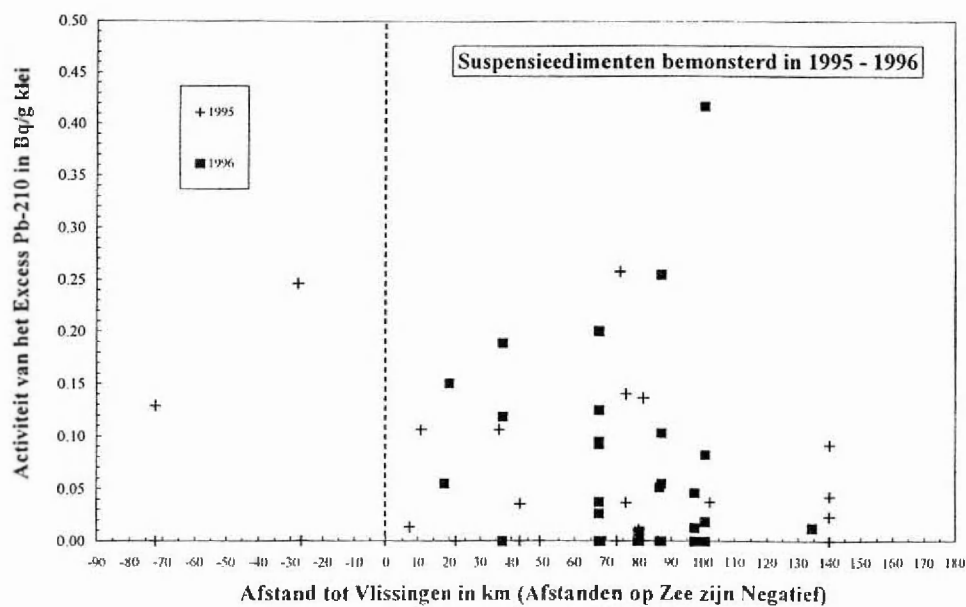
Het is daarom nuttig de evolutie van het fijn gesuspendeerd sediment in de tijd nader te bekijken. Dit werd gedaan voor suspensiesedimenten uit de omgeving van Oosterweel. Men stelt daarbij vast dat in de periode 1993-1998, de periode waarin de ^{210}Pb activiteit daalt, een stijging optreedt van de gemiddelde korrelgrootte (mean) (figuur 69). Tezelfdertijd stijgt ook de silt-klei ratio. Een hogere waarde voor de gemiddelde korrelgrootte en een stijgende silt-klei ratio (figuur 70) betekenen een toename aan de siltfractie. Dit wordt bevestigd door de scheefheid die van 1990 naar 1998 opschuift naar kleinere waarden (figuur 71). De modale fractie schuift dus op naar iets grovere fracties en de korrelgrootteverdeling wordt grover en meer symmetrisch.

Voor de totale ^{210}Pb activiteit is er nu wel tegenspraak tussen enerzijds een hogere ^{210}Pb activiteit indien grover sediment aanwezig is en anderzijds afname aan ^{210}Pb activiteit daar waar het sediment juist grover wordt. Een verklaring kan gevonden worden indien men veronderstelt dat het grovere sediment (silt) dat aangevoerd wordt geen, of een zeer lage ^{210}Pb activiteit vertoont. Een dergelijk siltrijk sediment werd aangetroffen in de omgeving van Zandvliet, zowel in suspensie als in het bodemsediment.

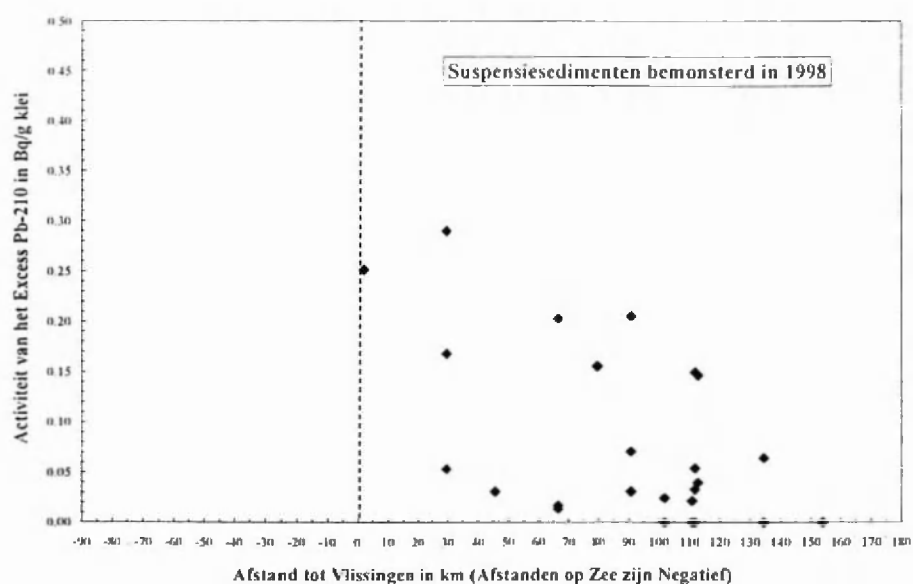
Uit de hier besproken gegevens zou men dus kunnen afleiden dat dit silt stroomopwaarts migreert en zo verantwoordelijk is voor de lage ^{210}Pb activiteit.



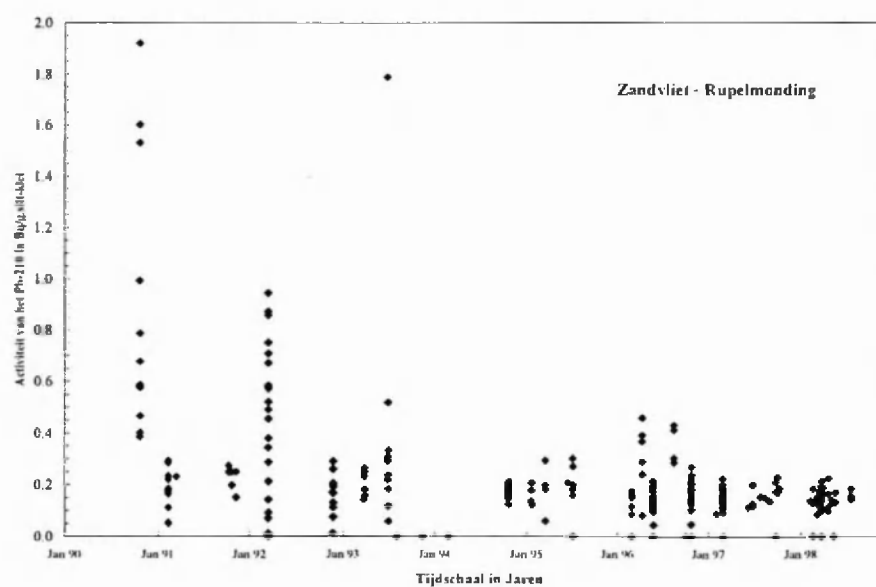
Figuur 63: exces activiteit van het ^{210}Pb in Bq/g.klei voor suspensiesedimenten uit de periode 1990-1994



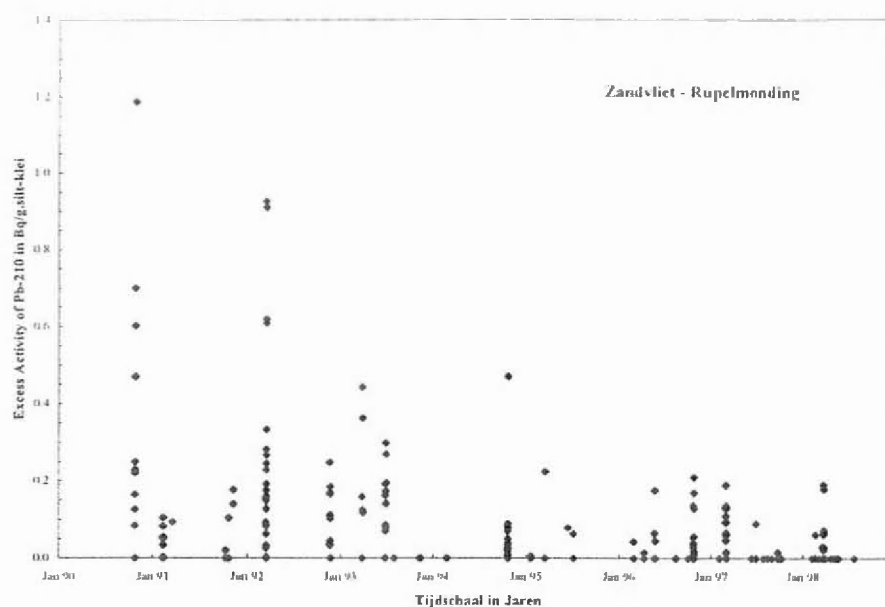
Figuur 64: exces activiteit van het ^{210}Pb in Bq/g.klei voor suspensiesedimenten uit de periode 1995-1996



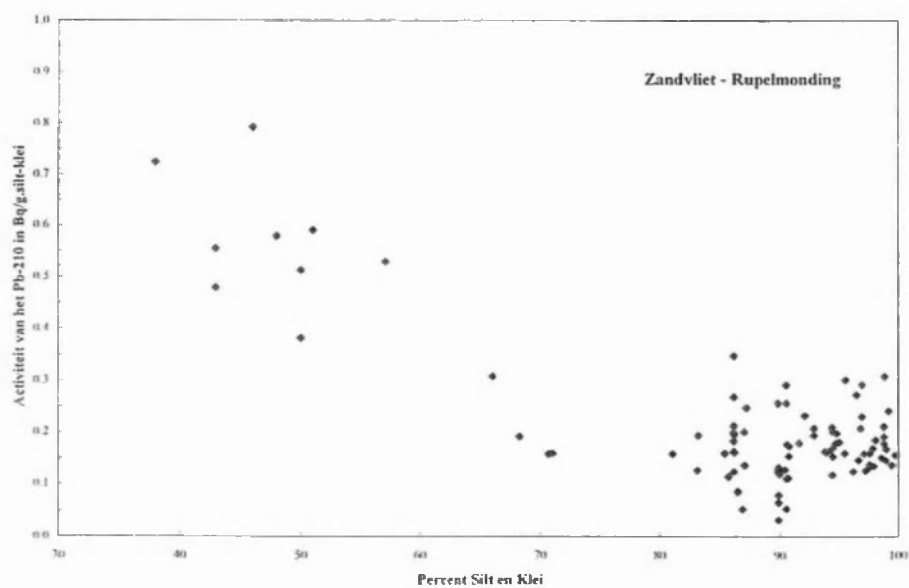
Figuur 65: exces activiteit van het ^{210}Pb in Bq/g.klei voor suspensiesedimenten uit de periode 1998



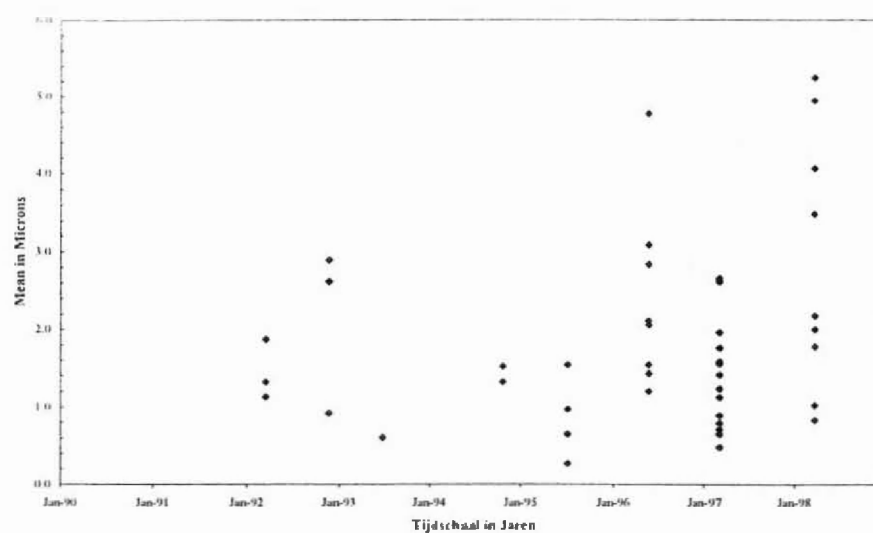
Figuur 66: activiteit van het ^{210}Pb in Bq/g.silt-klei voor sedimenten bemonsterd in de periode 1990-1998.



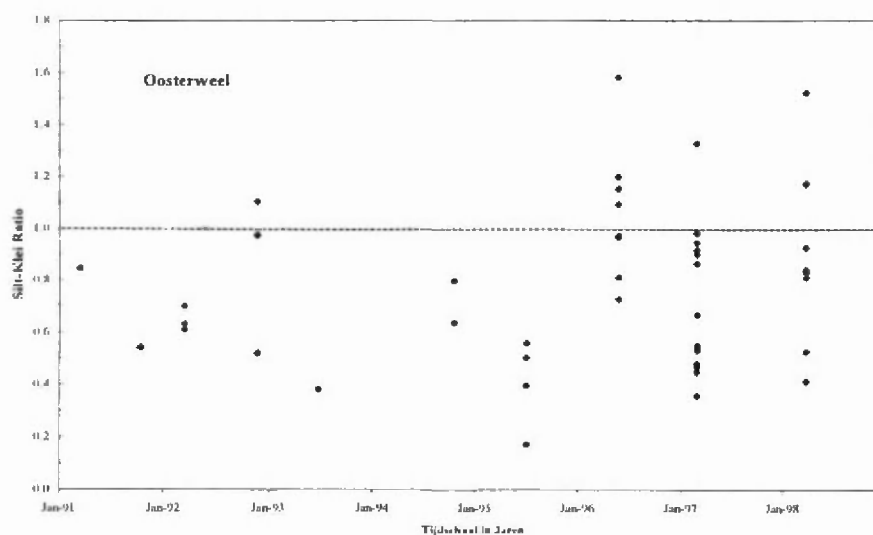
Figuur 67: exces-activiteit van het ^{210}Pb in Bq/g.silt-klei voor sedimenten bemonsterd in de periode 1990-1998.



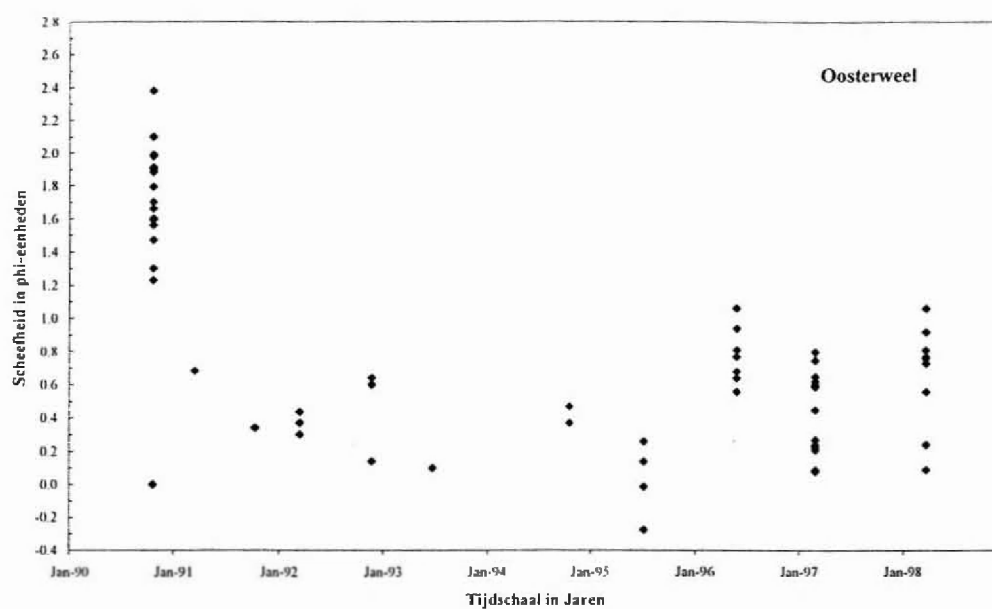
Figuur 68: activiteit van het ^{210}Pb in Bq/g.silt-klei ten opzichte van percentage silt-klei in het supsiesediment.



Figuur 69: gemiddelde korrelgrootte van het suspensiesediment voor de periode 1990-1998.



Figuur 70: silt-klei verhouding van het suspensiesediment voor de periode 1990-1998.



Figuur 71: scheefheid van de korrelgrootteverdeling van het suspensiesediment voor de periode 1990-1998.

Referenties

- DALRYMPLE, R.W., ZAITLIN, B. A. & BOYD, R. 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, **62** (6), p. 1130-1146.
- DE HAAS, H. & EISMA, D. 1993. Suspended-sediment transport in the Dollard estuary. *Netherlands Journal of Sea Research*, **31** (1), p. 37-42.
- EISMA, D. 1986. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries. *Netherlands Journal of Sea Research*, **20**, p. 183-199.
- EISMA, D., BOON, J., GROENEWEGEN, R., ITTEKKOT, V., KALF, J. & MOOK, W. G. 1983. Observations on macro-aggregates, particle size and organic composition of suspended matter in the Ems estuary. *Mitt. Geol. Paläont., Inst. Univ. Hamburg. SCOPE/UNEP Sonderb.* **55**, p. 295-314.
- EISMA, D., SCHUMACHER, T., BOEKEL, H., VAN HEERWAARDEN, J., FRANKEN, H., LAAN, M., VAARS, A., EIJGENRAAM, F. & KALF, J. 1990. A camera and image-analysis system for *in situ* observations of flocs in natural waters. *Netherlands Journal of Sea Research*, **27** (1), p. 43-56.
- FORREST, J. & CLARK, N.R. 1989. Characterizing grain size distributions: evaluation of a new approach using a multivariate extension of entropy analysis. *Sedimentology*, **36**, p. 711-722.
- KEARNY, M.S. & STEVENSON, J.C. 1991. Island land loss and marsh vertical accretion rate evidence for historical sea-level changes in Chesapeake Bay. *Journal of Coastal Research*, **7** (2), p. 403-415.
- KRANCK, K. 1984. The role of flocculation in the filtering of particulate matter in estuaries. In (V. KENNEDY, ed.) *The estuary as a filter*. Acad. Press, London, p. 159-175.
- MILLIGAN, T.G. 1995. An examination of the settling behaviour of a flocculated suspension. *Netherlands Journal of Sea Research*, **2** (2), p. 163-171.
- OENEMA, O. & DeLAUNE, R.D. 1988. Accretion rates in salt marshes in the Eastern Scheldt, south-west Netherlands. *Estuarine, coastal and shelf science*, **26** (4), p. 379-394.
- OLSEN, C.R., THEIN, M., LARSEN, I.L., LOWRY, Ph.D., MULHOLLAND, P.J. CUTSHALL, N.M., BYRD, J.T. & WINDOM, H.L. 1989. Plutonium, lead-210, and Carbon isotopes in the Savannah estuary: riverborne versus marine sources. *Environmental Science Technology*, **23** (12), 1475-1481.
- PERJUP, M. 1988. Suspended sediment transport across a tidal flat. *Marine Geology*, **82**, p. 187-198.
- WARTEL S. & FRANCKEN, F. 1996. Sedimenttransport en sedimentatieprocessen in de Schelde tussen Zandvliet en Gent. Rapport AMIS DS6.1 – 2. Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen. 43 pp.
- WARTEL, S. 1973. Shear velocity measurements and sediment transport in the Scheldt estuary. *Bull. Soc. belge Géol., Paléont., Hydrol.*, **82** (4), p. 501-510.
- WELLS, J.T. & SHANKS, A.L. 1987. Observations and geologic significance of marine snow in a shallow-water, partially enclosed marine embayment. *J. geophys. Res.*, **92** C12, p. 13185-13190.