



Rijksinstituut voor kust en zee/RIKZ

Sedimentatiemetingen op het schor bij Waarde en het Verdronken Land van Saeftinge, Westerschelde (ZW Nederland)

Sedimento et submergo

Johan Stapel
Dick de Jong

Rapport RIKZ-98.022.

Rapportage in het kader van het project Delta Rapportage (DELRAP)

Inhoudsopgave

	Samenvatting	3
1	Inleiding	5
2	Materiaal en Methoden	8
	Kaolienveldjes	8
	Sedimentatie op kaolienveldjes, theorie	9
	Dataverwerking	11
3	Resultaten	13
	Schor bij Waarde	13
	Verdronken Land van Saeftinge	17
4	Discussie	22
5	Conclusie	25
6	Aanbevelingen	26
	Literatuur	28
	Summary	30
	Bijlagen	33

Figuren

1	Kaart met de onderzoeksgebieden	8
2	Theorie opslibbing kaolienveld	9
3	Opslibbing Schor bij Waarde	14
4	Gemiddelde netto sedimentatie Schor bij Waarde	18
5	Opslibbing Verdronken Land van Saeftinge	19
6	Hoogteligging kaolienveldjes Waarde	22
7	Gestorte hoeveelheid baggerspecie	24

Tabellen

1	Resultaat variantie-analyse	13
---	-----------------------------	----

Bijlagen

1a	Basisdata Schor bij Waarde	33
1b	Basisdata Verdronken Land van Saeftinge	36
2	Opslibdata Kaolienlocaties Waarde per periode	38

Samenvatting

Schorren zijn begroeide buitendijkse gebieden die alleen nog bij hoge hoogwaters overstromen. Het belang van schorren voor de natuurwaarden van de Westerschelde wordt onderkend, maar de druk van de economische vooruitgang is groot. Het voortbestaan van schorren is afhankelijk van het samenspel tussen sedimentatie en erosie enerzijds en veranderingen in het niveau van de zeespiegel anderzijds. Deze factoren worden in de Westerschelde sterk beïnvloed door menselijk handelen, dat in belangrijke mate is gericht op het bereikbaar houden c.q. beter bereikbaar maken van de haven van Antwerpen voor grote zeeschepen. Het beleidsplan Westerschelde is er onder meer op gericht schorren te behouden en waar mogelijk de vorming te bevorderen. Hiertoe is inzicht nodig in de relatie tussen schorontwikkeling en beheersmaatregelen.

In dit rapport worden de resultaten weergegeven van 11 jaar (schor bij Waarde: 1987 - 1997) en 7 jaar (Saeftinge: 1991 - 1997) onderzoek naar de sedimentatie op twee schorren in de Westerschelde met behulp van zgn. kaolienveldjes. In een kaolienveldje, groot 1,0 x 0,3m, wordt een dunne laag, bestaande uit kaolienklei gemengd met wit zand, op het bodemoppervlak aangebracht, waarna periodiek met een klein gutsje de dikte van de gesedimenteerde laag wordt gemeten. De bodemophoging op een veldje verloopt aanvankelijk snel, de bruto sedimentatie, maar als gevolg van klink geleidelijk langzamer. Theoretisch kan dit worden benaderd volgens een asymptotische lijn. Pas na 1,5-2 jaar is de ophoogsnelheid ongeveer constant, de netto sedimentatie. Er is getracht een verband te leggen tussen netto sedimentatie en windsnelheid, baggerstortingen en situering op het schor (gradiënt van dijk naar klif, van west naar oost en van oeverwal naar kom). Het gebruik van kaolienveldjes om sedimentatie te meten wordt bediscussieerd en een aanbeveling voor het werken met kaolienveldjes wordt gegeven.

De netto sedimentatie op het schor bij Waarde en het Verdrongen land van Saeftinge varieerde in de meetperiode tussen ca. 0,5 en 3 cm j⁻¹. Op het schor bij Waarde is de netto sedimentatie aan de dijkzijde lager dan op het midden van het schor. Ook hoogt de bodem in het oosten sneller op dan in het westen. Een significant verschil tussen oeverwal, overgang of kom kon voor alle plots samen niet worden aangetoond, maar visueel aan de dijkzijde lijkt de oeverwal sneller op te hogen. Dit duidt erop dat aan de dijkzijde sedimentimport via de daar gelegen grote kreek nog een belangrijke rol speelt, terwijl in de andere schordelen sedimentimport via het schorklif lijkt te overheersen. De netto sedimentatie is niet constant door de jaren heen, maar vertoont een op- en neergaande lijn. Er kon niet worden aangetoond dat deze variatie het gevolg is van veranderingen in baggerstorthoeveelheden of te maken heeft met het optreden van stormen. Voor het Verdrongen land van Saeftinge kon geen enkele relatie gevonden worden tussen netto sedimentatie en een van de andere onderzochte variabelen. Ook bleek er geen verschil aantoonbaar tussen netto sedimentatie op het schor bij Waarde en het Verdrongen land van Saeftinge. De netto sedimentatie op beide schorren is dusdanig hoog dat, vergeleken met berekeningen van de verwachte zeespiegelstijging als gevolg van

baggeractiviteiten en het broelkaseffect, de schorren in de (nabije) toekomst hierdoor niet zullen 'verdrinken'.

Metingen met behulp van kaolienveldjes beslaan een lange periode van 1,5-2 jaar aanloop en meerdere jaren feitelijke metingen. Hiermee moet terdege rekening gehouden worden als deze methode wordt gebruikt. Enerzijds moet tijdig worden begonnen met de metingen en anderzijds moeten de veldjes voldoende groot worden gemaakt in relatie tot de beoogde levensduur. De hier gebruikte maat kan worden beschouwd als een minimum; een maat van 1,0 x 0,5m lijkt beter.

1. Inleiding

Schorren zijn begroeide buitendijkse gebieden die alleen nog bij hoge hoogwaters overstromen. Een schor bestaat vaak uit verschillende zones, die gekenmerkt worden door verschillen in hoogte (=overstromingsfrequentie) en bodem en de daarmee gepaard gaande verschillen in vegetatietypen (De Leeuw, 1992). Van primair schor naar laag, midden en hoog schor neemt de overstromingsfrequentie af van zo'n 350 tot 600 keer per jaar naar nog maar enkele keren per jaar. Welke plantensoorten het vegetatietype van een bepaalde zone vorm geven is afhankelijk van het zoutgehalte van het overspoelende water en de morfologische eenheid binnen het schor (oeverwal – kom). Op een zoutwaterschor (saliniteit > 15‰) zullen soorten als Zeekraal en Engels slijkgras overheersen in de pionierzone, Lamsoor, Zeeaster, Gewoon kweldergras, Zeeweegbree en Schorrezoutgras op de lagere delen (kommen) en Gewone zoutmelde, Zeealsem en Rood zwenkgras op de hogere delen (oeverwallen). Wanneer het water zoeter wordt (saliniteit tussen 5 en 15‰; brakwater) komen soorten als Zeebies en Riet vaker voor in de kommen en Strandkweek en Spiesbladmelde op de oeverwallen. De zoetwaterschorren (saliniteit < 5‰) worden gedomineerd door biezen in de lage zone, Riet en andere moerasplanten in de kommen en uiteindelijk wilgenstruweel en -bossen op de hogere delen (Meire et al., 1995). Het schor bij Waarde (verder Waarde) en het Verdrongen Land van Saeftinge (verder Saeftinge) zijn twee voorbeelden van middelhoog tot hooggelegen brakwaterschorren. De pionierzone op deze schorren is vrijwel verdwenen.

Schorren vormen zich in rustig gelegen gebieden waar sediment de kans krijgt om te bezinken, zodat een netto bodemophoging optreedt. De bodem komt uiteindelijk zo hoog dat pionierplanten de mogelijkheid krijgen zich er te vestigen. De aanwezigheid van planten stimuleert het sedimentatieproces door het verlagen van de stroomsnelheid en het houdt het sediment vast. De zich ontwikkelende vegetatie beïnvloedt de waterstromingen over het (primair) schor waardoor kreekjes ontstaan. Dit is het begin van geomorfologische differentiatie. Als het water over de kreekranden de vegetatiezone instroomt, wordt de stroomsnelheid geremd als gevolg van een grotere weerstand en vergroting van het doorstroomoppervlak. Als gevolg daarvan zal eerst het grove zandige (zwaarste) sediment bezinken en verderop het fijnere kleiige materiaal (Stumpf, 1983). Doordat zandige afzettingen minder inklinken dan kleiige afzettingen ontstaan er langs de kreken hoger gelegen, zandiger en drogere oeverwallen waarachter zich lager gelegen, nattere en kleirijkere kommen vormen (Meire et al., 1995). Door de voortdurende afzetting van sediment komt het schor langzaam maar zeker steeds hoger te liggen, waardoor planten met een verschillende tolerantie ten aanzien van overspoelingsduur elkaar in de tijd en ruimte opvolgen. Ook ontstaat er door fysische en chemische rijping van de bodem (b.v. uitdroging en aeratie) een ander bodemmilieu dat de groei van andere plantensoorten mogelijk maakt. In een natuurlijke situatie vormt het schor eigenlijk slechts een stadium in een successiereeks waarbij uiteindelijk nieuw land ontstaat. De kwelderwerken in het noorden van Nederland zijn een voorbeeld van

hoe de zee via schorvorming in land verandert. Dit verlandingsproces wordt hier echter flink door de mens gestuurd. Zie voor een uitgebreide beschrijving van schorontwikkeling de literatuurstudie van Goedheer (1985) en de daarin opgenomen referenties.

De snelheid waarmee een schorbodem ophooft is afhankelijk van een aantal factoren. Het sedimentgehalte in het overstromende water is van belang, evenals de overstromingsfrequentie, de overspoelingsduur en het ontwikkelingsstadium van de vegetatie (Goedheer, 1985). Overstromingsfrequentie en overspoelingsduur worden voor het grootste deel door het getij bepaald. Daarnaast speelt wind een belangrijke rol. Door opstuwing tijdens storm kan een schor met een grotere waterlaag en langer overspoeld worden dan tijdens rustige weersomstandigheden. Daarbij komt dat tijdens een storm door verhoogde resuspensie (b.v. van sediment van het voorliggende slik) als gevolg van sterkere golfwerking en hogere stroomsnelheden meer sediment in de waterlaag terechtkomt, dat vervolgens op het (overspoelde) schor kan worden afgezet (Stumpf, 1983; Dankers et al., 1984). Het ontwikkelingsstadium van de vegetatie op een schor is normaal gesproken een gevolg van de successiereeks. Vaak worden (delen van) schorren echter actief beweide met een lagere vegetatie als gevolg. Hierdoor worden de golf- en stromingsenergie van het overspoelende water minder afgeremd waardoor er minder sediment bezinkt.

In een gebied als de Westerschelde worden factoren als overstromingsfrequentie, overspoelingsduur en sedimentgehalte ook sterk beïnvloed door menselijke activiteiten. De vaargeul in de Westerschelde wordt door middel van baggeren constant op diepte gehouden (Vroon et al., 1997). Hoe dieper de geul wordt, hoe meer water er doorheen kan stromen met als gevolg dat de getijslag stroomopwaarts in het estuarium toeneemt. Wanneer de vaargeul wordt uitgediept kan het daardoor gebeuren dat een schor vaker overspoeld wordt. Ook zeespiegelstijging als gevolg van het broeikas-effect kan de overspoelingsfrequentie doen toenemen. Wanneer de sedimentatie niet voldoende groot is om deze zeespiegelstijgingen bij te houden 'verdrinkt' het schor. Sedimenttekort wordt gezien als een groot probleem dat verlies aan schorareaal kan veroorzaken (Salinas et al., 1986; Reed, 1988). Verder worden grote hoeveelheden baggerspecie, afkomstig van diverse infrastructurele projecten, in de Westerschelde gestort. Wanneer storting in de nabijheid van een schor plaatsvindt neemt het sedimentgehalte van het water dat het schor overspoelt toe, hetgeen juist een versnelde ophoging van het schor tot gevolg kan hebben. In het recente verleden hebben er in de buurt van het schor bij Waarde en het Verdrongen Land van Saeftinge belangrijke stortlocaties gelegen (Figuur 1). De hier uitgevoerde stortingen zouden een versnelde sedimentatie op de beide schorren tot gevolg kunnen hebben gehad.

Schorgebieden vormen een belangrijk onderdeel van de natuurwaarden van de Westerschelde. Deze unieke gebieden, waarin het getij vrij spel heeft, herbergen een schat aan ongerepte ecologische en geomorfologische diversiteit die voor Nederland vrij zeldzaam is (Leemans & Verspaandonk, 1975). In Zuidwest Nederland bevinden zich vooral in de Westerschelde nog schorren van betekenis, waarbij het schor van Saeftinge door zijn grote omvang een bijzondere plaats inneemt. Maar juist in de Westerschelde is de druk van de economische vooruitgang groot. Het belang van schorren in dit bekken

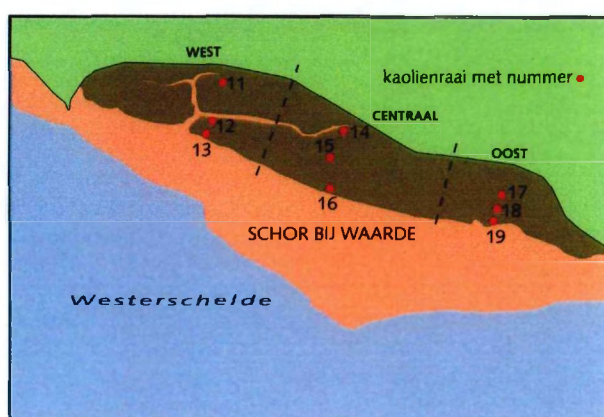
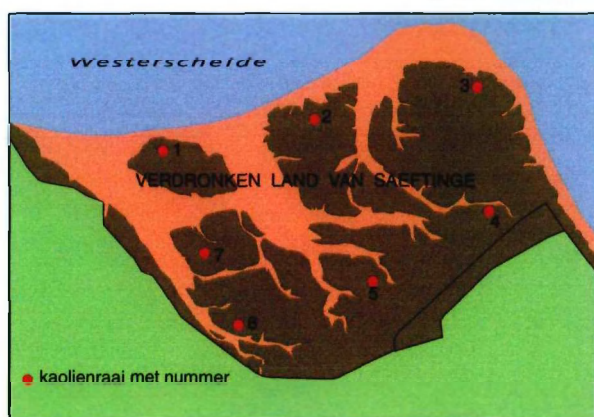
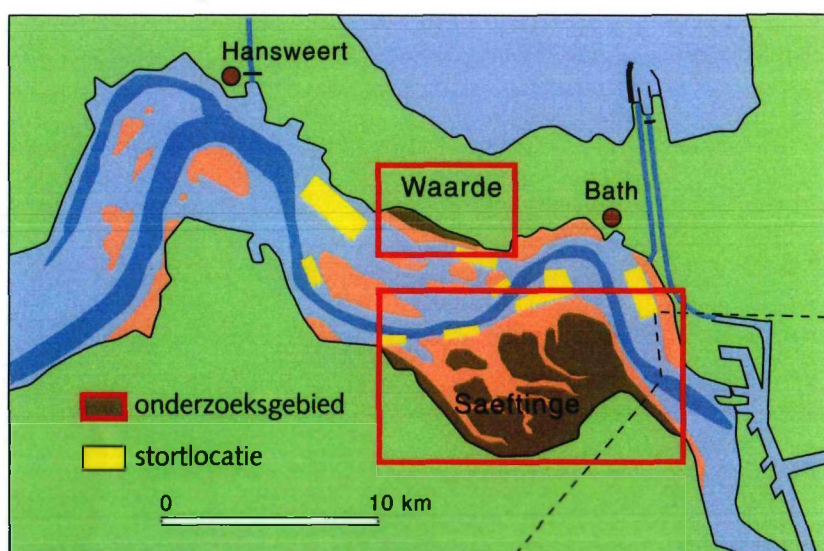
wordt door de beleidsmakers onderkend. Het beleidsplan Westerschelde is er onder meer op gericht deze gebieden te behouden en waar mogelijk de vorming te bevorderen (Werkgroep Waterbeheer Westerschelde, 1989). Hiertoe is echter wel inzicht nodig in de relatie tussen schorontwikkeling (sedimentatie) en beheersmaatregelen. In dit rapport worden de resultaten beschreven van onderzoek naar de sedimentatie op verschillende plaatsen in het schor bij Waarde en het Verdrongen Land van Saeftinge. Om de sedimentatie te meten is gebruik gemaakt van zgn. kaolienveldjes. Er is getracht een verband te leggen tussen de netto sedimentatie en de geografische positie in een schor (bv. oeverwal, overgang of kom), de hoeveelheid gestorte baggerspecie en de windsnelheid.

2. Materiaal en Methoden

Kaolienveldjes

De sedimentatie op de schorren kan worden bepaald met behulp van zgn. kaolienveldjes. Kaolienveldjes bestaan uit plotjes van 30 bij 100 cm die op verschillende plaatsen in het schor worden uitgezet. Binnen deze plotjes wordt een dun laagje (3 tot 5 mm) kaolien (mengsel van 25% kaolienklei en 75% fijn wit zand) op de oppervlakte van de schorbodem aangebracht (Schrauwen, 1994). Op gezette tijden wordt binnen de veldjes bepaald hoeveel bodemmateriaal zich bovenop het kaolienlaagje heeft afgezet. Hiertoe wordt in ieder veldje met een gutsje van 10 cm lengte en 1 cm doorsnede 5 tot 10 bodemprofieltjes gestoken, waarin de afstand tussen het kaolienlaagje en het bodemoppervlak wordt opgemeten.

Figuur 1.
Kaart van het onderzoeksgebied met de ligging van de schorren, de ligging van de kaolienraaien en de ligging van stortvakken voor baggerspecie.



Op het schor bij Waarde zijn 9 raaien uitgezet waarin op 4 maart 1987 in totaal 31 kaolienveldjes zijn aangebracht (Figuur 1): 3 raaien in het westelijk deel (W), 3 raaien in het centrale deel (C) en 3 raaien in het oostelijk deel (O) van het schor. In ieder deel (W, C en O) is 1 raai aan de dijkzijde (D) van het schor uitgezet, 1 raai in het midden (M) en 1

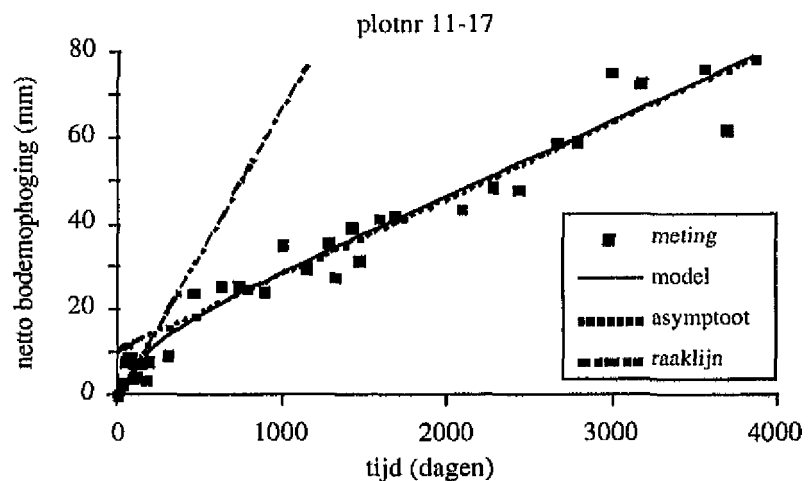
raai aan de schorklif (K). Elke raai bestaat uit één veldje op de oeverwal langs een kreek (O) en één in het overgangsgebied tussen oeverwal en kom (V). Op de raaien aan de dijkzijde en in het midden van het schor zijn bovendien één of meer veldjes in de kom (K) uitgezet. De kaolienveldjes op Waarde zijn aanvankelijk éénmaal per maand bemonsterd. Vanaf 1988 is overgegaan op een bemonsteringsfrequentie van ca. 4 maal per jaar en sinds 1992 worden de plotjes nog maar 2 keer per jaar opgenomen: één keer in het voorjaar en één keer in het najaar.

Op het Verdrongen Land van Saeftinge zijn 7 raaien uitgezet met in totaal 21 kaolienveldjes (Figuur 1). Elke raai bestaat hier uit 3 veldjes: 1 veldje op de oeverwal, 1 veldje in het overgangsgebied en 1 veldje in de kom. Raai 1 is uitgezet op het Konijnschors (west, klif), raai 2 op de Marlemontse plaat (centraal, klif), raai 3 op de Zouterik (oost, klif), raai 4 aan het einde van het Hondégat dicht bij de zanddam (oost, dijk), raai 5 aan de Eerste Platte Plaat (centraal, dijk), raai 6 op de Heuvel (west, dijk) en raai 7 op de Grauwse plaat (west, midden). De kaolienveldjes op raai 1 t/m 3 zijn aangebracht op 6 november 1990, terwijl de veldjes op raai 4 t/m 7 zijn aangebracht op 5 en 19 april 1991. De kaolienveldjes op Saeftinge zijn in principe 2 maal per jaar opgenomen (voor - en najaar). Door het niet altijd kunnen terugvinden van plotjes, slecht weer of erosie zijn niet van ieder plotje ook twee metingen per jaar beschikbaar.

Sedimentatie op kaolienveldjes: theorie

De dikte van een nieuw afgezet sedimentlaagje bovenop een kaolienlaagje is de resultante van de bruto sedimentatie en de

Figuur 2.
Voorbeeld van het fitten van de
mathematische relatie die de toename van
de laagdikte boven een kaolienlaagje in de
tijd beschrijft. Voor de formule zie de tekst;
 $l = 0,06774$; $c = 0,74$; $k = 0,00447$; R^2 van
de fitting: 0.98. Fitmethode: Systat non-
linear least square regression.



inklinking (samendrukking) van de bodem (voor het samendrukken van grond zie Van der Veen, 1962). Op een nieuw aangebracht kaolienlaagje zal, wanneer de mate van inklinking en de bruto sedimentatie constant zijn, de netto dikte van de nieuwe afzetting aanvankelijk snel, later minder snel en tenslotte lineair toenemen, de netto sedimentatiesnelheid (zie Figuur 2 als voorbeeld). De periode tussen het aanbrengen van de kaolienlaag en het bereiken van deze lineaire fase zou kunnen worden beschouwd als de opstartfase. In de lineaire fase die hierop volgt is er een evenwicht ontstaan tussen de

bruto sedimentinput en de inklinking van de bodem. Hoeveel een bodem kan inklinken is afhankelijk van de aard van het sediment en het watergehalte. Wanneer al het water uit de bodem is geperst, is de inklinking voltooid: het sedimentlaagje wordt niet meer dunner. De maximale inklinking van een sedimentlaagje wordt theoretisch bereikt op tijdstip $t = \infty$. Het sediment dat op een kaolienlaagje is afgezet zal dan een dikte hebben die is uit te drukken als een fractie (percentage) van de totale bruto sedimentinput die gedurende een bepaalde tijdsperiode heeft plaatsgevonden. Om de bodemophoging op een kaolienlaagje mathematisch te beschrijven is de input van vers sediment verdeeld in een fractie die niet inklinkt (en die de resterende dikte representeert) en een fractie die wel inklinkt en waarvan de dikte op $t \rightarrow \infty$ naar 0 nadert. De toename van de sedimentdikte bovenop het kaolienlaagje kan vervolgens worden omschreven als:

$$A_t = (1-c) \cdot I \cdot t + c \cdot I \cdot \left[\frac{1 - e^{-k \cdot t}}{k} \right]$$

waarin: A_t = bodemdikte boven het kaolienlaagje op tijdstip t (mm),
 t = tijd (d),
 I = bruto sedimentatie (mm d⁻¹),
 c = fractie van het sediment dat inklinkt
 k = *inklink snelheid* (d⁻¹).

De raaklijn aan deze functie op $t = 0$ levert de bruto sedimentatie I (mm d⁻¹) en de asymptoot op $t = \infty$ de netto sedimentatie $I \cdot (1-c)$ (mm d⁻¹) (Figuur 2).

De vergelijking beschrijft alleen de netto sedimentatie boven het kaolienlaagje en niet wat eronder gebeurt. Uiteraard zal de bodem onder het kaolienlaagje ook inklinken. De inklinking van de bodem onder het kaolienlaagje is afhankelijk van de 'sedimentatie historie', dus van de sedimentatiesnelheid en de hoeveelheid en het type sediment dat er vóór het aanleggen van het kaolienlaagje is gesedimenteerd, maar ook van de actuele (en zelfs toekomstige) sedimentatie. Een nieuwe laag sediment op het kaolienlaagje zal een bepaald gewicht hebben en daarmee het uitpersen van het water uit het sediment onder het kaolienlaagje beïnvloeden. Indien de bruto sedimentatie in verleden en heden gelijk zijn en steeds in evenwicht met de inklinking, kan worden gesteld dat de netto sedimentatie wordt beschreven door een lijn die de oorsprong snijdt en waarvan de richting gelijk is aan de richting van de asymptoot van bovenstaande relatie op $t = \infty$. Indien er niet sprake is van bodemdaling als gevolg van andere factoren, bijvoorbeeld gaswinning, komt deze netto sedimentatie overeen met de netto bodemophoging t.o.v. een vast punt (b.v. NAP).

Wanneer de grootte van de sedimentaanvoer verandert zullen de richtingen van de raaklijn en de asymptoot veranderen (de verhouding tussen de richtingen van beide lijnen blijft gelijk). Er zal zich een nieuw evenwicht instellen. Het is ook mogelijk dat de aard van het aangevoerde sediment verandert. Hierdoor zullen de inklink fractie en de inklink snelheid veranderen, hetgeen effect zal hebben op de richting van de asymptoot en de tijdsduur voor het bereiken van een evenwicht tussen inklinking en netto sedimentatie (de verhouding tussen de richtingen van de raaklijn en de asymptoot verandert nu

wel). In de praktijk zal het veranderen van de sedimentaanvoer, bijvoorbeeld veroorzaakt door stortingen in de buurt, vaak gepaard gaan met het veranderen van de aard van het aangevoerde sediment.

Dataverwerking

De opname-intensiteit van de kaolienveldjes maakt het in de meeste gevallen niet mogelijk om met de hierboven beschreven mathematische relatie de verschillende parameters te schatten. Alleen in de beginperiode van de kaolienexperimenten op Waarde zijn de veldjes intensief genoeg opgenomen om uit de opstartfase de bruto sedimentinput te schatten. Bij een aantal punten ontbreekt echter weer de lineaire fase (oorspronkelijke laag voortijdig verdwenen door b.v. (klif)erosie, of uitputting van de laag wegens intensieve bemonstering, of buiten bereik geraakt van het bemonsteringsgutsje, zodat er een nieuwe kaolienlaag moest worden aangebracht), waardoor de modelfitting weer onmogelijk is. Het is hierdoor niet mogelijk om een betrouwbare schatting te maken van de bruto sedimentinput, de inklink fractie en de inklink snelheid op de verschillende kaolienveldjes en om die in ruimte en tijd met elkaar te vergelijken. De lineaire fase, die de netto sedimentatie weergeeft, is echter ook goed te bepalen zonder gebruik te maken van het bovenstaande model. Hiertoe zijn voor alle punten de opnamen in de eerste 500 dagen (ongeveer 1,5 jaar) na de aanleg van een kaolienlaagje buiten beschouwing gelaten. Met de overgebleven gegevens is de relatie van de netto sedimentatie met de tijd onderzocht.

Voor de bepaling van verschillen in netto sedimentatie binnen een schor is de verandering in laagdikte boven een kaolienveldje bepaald door steeds de gemiddelde waarden van de opnamen gemaakt in oktober of november van twee opeenvolgende jaren van elkaar af te trekken en te delen door de tijdsperiode (aantal dagen) tussen de beide opnamedata. Er is er niet voor gekozen om de verandering in laagdikte tussen opeenvolgende opnamedata binnen een jaar te bepalen, omdat er door het jaar heen een aanzienlijk verschil is in de inklinking van de bodem en de bruto sedimentaanvoer. In de droge zomermaanden is er veel meer inklinking dan in de natte wintermaanden, terwijl in de wintermaanden de bruto sedimentatie groter zal zijn door een grotere sedimentaanvoer (zie eerdere opmerkingen hierover). Door te kiezen voor het vergelijken van laagdiktes gemeten op data in eenzelfde seizoen wordt deze extra jaarlijkse variatie, die veroorzaakt wordt door verschillen in inklinking en sedimentaanvoer, grotendeels uitgesloten. De toename in laagdikte is vervolgens getest door middel van een meer-weg ANOVA, waarin onderscheid gemaakt is tussen ligging in west - centraal - oost, dijk - midden - klif, oeverwal - overgang - kom en eventueel een tijdsperiode (bv. clusters van enkele jaren, zie resultaten). In plaats van een tijdsperiode is ook de windsnelheid en de gestorte hoeveelheid baggerspecie in de analyse betrokken. Hiertoe is voor de onderscheiden tijdsperiodes de gemiddelde windsnelheid en de hoeveelheid gestorte baggerspecie in de omgeving van de onderzoeksgebieden bepaald. Aangezien wind meestal pas een effect heeft op de bodemopwoeling boven een bepaalde waarde (er is geen lineair verband tussen windsnelheid en sedimenttransport (US Army, 1984)), is ook het effect van de gemiddelde windsnelheid verheven tot de 2^e en tot de 3^e macht getoetst. Via een dergelijke benadering weegt een hogere windsnelheid zwaarder mee in de analyse dan een lagere windsnelheid. De gemiddelde windsnelheid is hierbij bepaald door de

daggemiddelde windsnelheid over 24 uur, gemeten door het KNMI in Vlissingen, per onderscheiden periode eerst tot de 2^e of 3^e macht te verheffen en vervolgens te middelen. De hoeveelheden gestorte baggerspecie is het gemiddelde per jaar, berekend over de onderscheiden perioden.

De jaarlijkse netto sedimentatie op een bepaalde plaats in het schor is uiteindelijk bepaald uit de richting van de lineaire relatie tussen laagdikte boven het kaolienveldje en de tijd. De tijdsperiode die hiervoor in beschouwing wordt genomen is afhankelijk van de uitkomst van de statistische analyse zoals hierboven beschreven.

3. Resultaten

Schor bij Waarde

In Figuur 3 is de laagdikte boven de kaolienlaag vanaf 500 dagen na aanleg van de veldjes op Waarde weergegeven (zowel voor- als najaarsmetingen). Door schorkliferosie konden de raaien 13 en 16 maar tot eind 1992 worden bemonsterd. De aanleg van steeds nieuwe veldjes op raai 13, nog voordat de veldjes in de lineaire fase zijn geraakt, maakt deze raai onbruikbaar voor verdere analyses en deze zal verder niet meer worden behandeld. Voor de volledigheid zijn in Bijlage 1 de gemiddelden, standaarddeviaties en monstergroottes van alle monsternamen opgenomen.

Tabel 1:

Resultaat van de variantie-analyse van het effect van de tijdsperiode (P), de ligging in oost, centraal of west (OCW) en de ligging aan dijkzijde of het midden (DM) op de jaarlijkse netto sedimentatie op het schor bij Waarde (K). De hier getoonde gereduceerde ANOVA tabel is het resultaat van stapsgewijze verwijdering van de niet significante relaties uit het oorspronkelijke model.

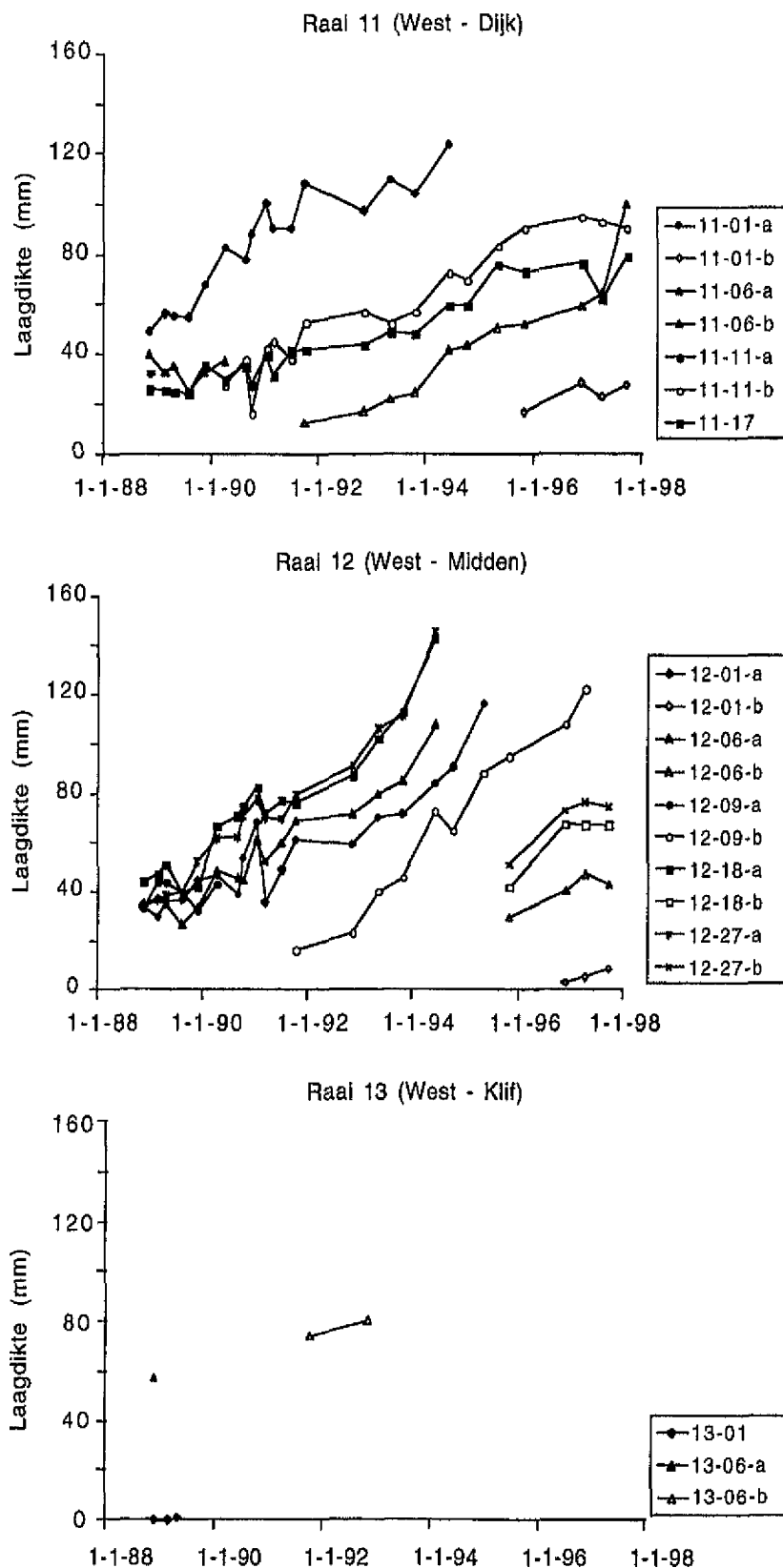
Dependent variable: K		n = 176	multiple R= 0.469	multiple R ² = 0.220	
ANALYSIS OF VARIANCE					
F-SOURCE OF VARIATION					
SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
P	0.014	3	0.005	6.900	0.000
OCW	0.013	2	0.006	9.819	0.000
DM	0.003	1	0.003	4.140	0.043
DM*P	0.005	3	0.002	2.746	0.045
ERROR	0.110	166	0.001		

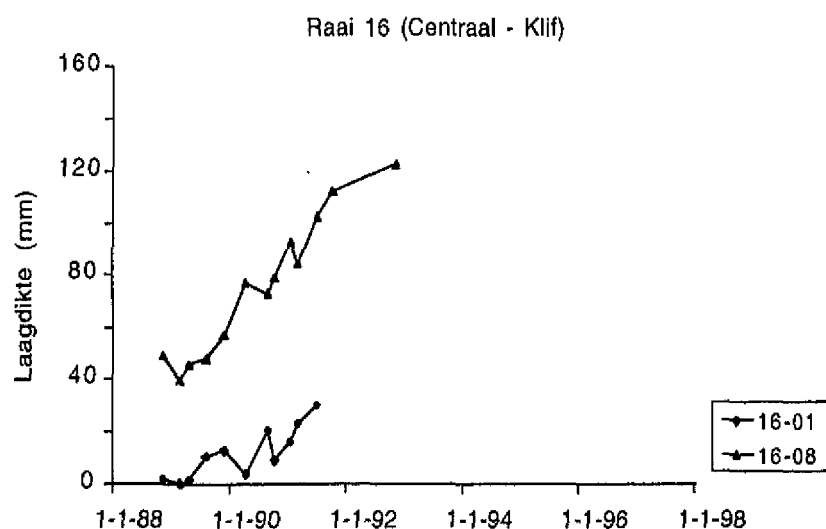
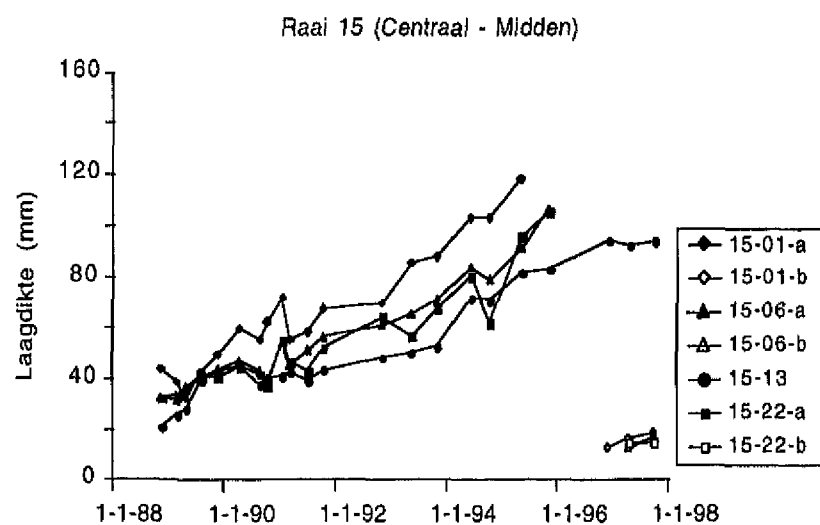
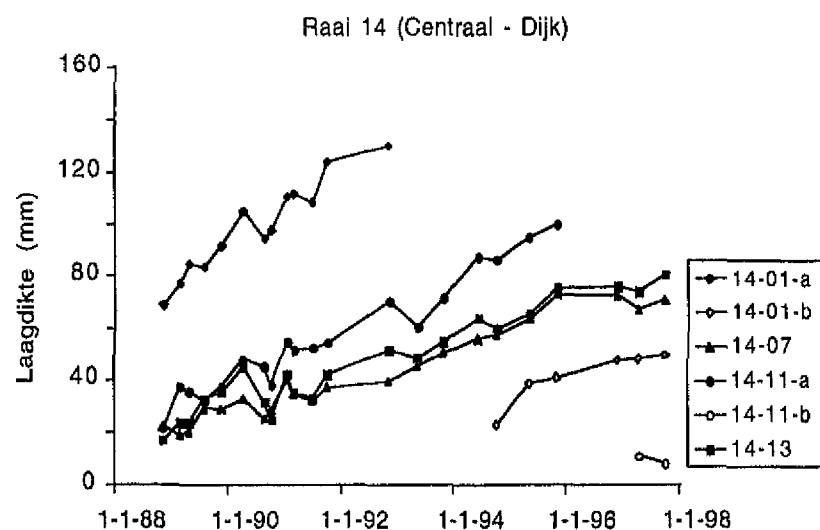
Na visuele inspectie van Figuur 3 valt op dat de netto sedimentatie over de periode 1988 - 1997 grofweg te verdelen is in vier perioden: de laagdikte op de kaolienveldjes neemt vanaf 500 dagen na het moment van aanleg lineair toe, waarbij in de periode 1991 - 1992 en 1996 - 1997 de toename geringer is dan in de periode 1988 - 1990 en 1993 - 1995. Bijlage 2 toont de gemiddelde toename onderverdeeld in deze 4 perioden. Voor de statistische analyse is de totale onderzoeksperiode ingedeeld in deze 4 perioden. De veranderingen in laagdikte (mm d^{-1}) zijn getest met een 4-weg ANOVA, waarin de 4 perioden en de ligging van de kaolienveldjes (W - C - O; D - M - K; O - V - K) als onafhankelijke en categorische variabelen zijn ingevoerd. Aangezien de raaien gelegen aan het klif niet compleet zijn (er zijn hier geen veldjes in de kom en er is niet voor iedere periode op elk veldje ten minste één waarneming), zijn deze raaien buiten beschouwing gelaten. Tabel 1 toont het uiteindelijke resultaat van de 4-weg ANOVA. De analyse geeft aan dat de indeling in verschillende tijdsperiodes significant is, dat er een significante relatie bestaat in de west/oost gradiënt en dat er een significant verschil is tussen de dijkzijde en het midden van het schor, waarbij moet worden opgemerkt dat er een significante interactie bestaat met de tijdsperiode. Post-hoc analyse toont aan dat in alle gevallen de netto sedimentatie in de periode 1993 - 1995 op het midden van het schor hoger is dan in de overige perioden, aan zowel de dijkzijde als op het midden. Die significante interactie wordt veroorzaakt doordat in de periode 1988 - 1990 de netto sedimentatie aan de dijkzijde bovendien significant verschilt van de netto sedimentatie aan de dijkzijde in de

Figuur 3.

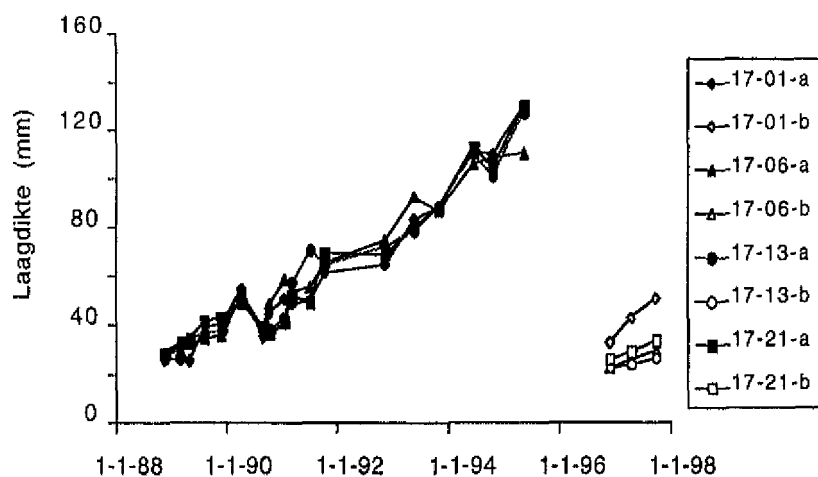
Laagdikte van het sediment boven een kaolienlaagje voor de verschillende raaien op het schor bij Waarde. Beschrijving legenda: getal bestaat uit raicode (11 tot 19), plotcode (01 = oeverwal; 06, 07 en 08 = overgang; >09 = kom) en laagcode (a is eerste kaolienlaagje; b is tweede kaolienlaagje op hetzelfde plotje). Symbolen met dezelfde vorm beschrijven de laagdikte boven het kaolienlaagje op hetzelfde kaolienplotje. Gesloten symbolen: laagdikte boven het eerste aangelegde kaolienlaagje; open symbolen: laagdikte boven het tweede kaolienlaagje dat is aangelegd ter vervanging van het eerste laagje. Indien het open symbool ontbreekt is nooit een tweede kaolienlaagje op het desbetreffende plotje aangelegd.

De klifraaien zijn alle vroegtijdig verdwenen als gevolg van erosie van de schorrand.

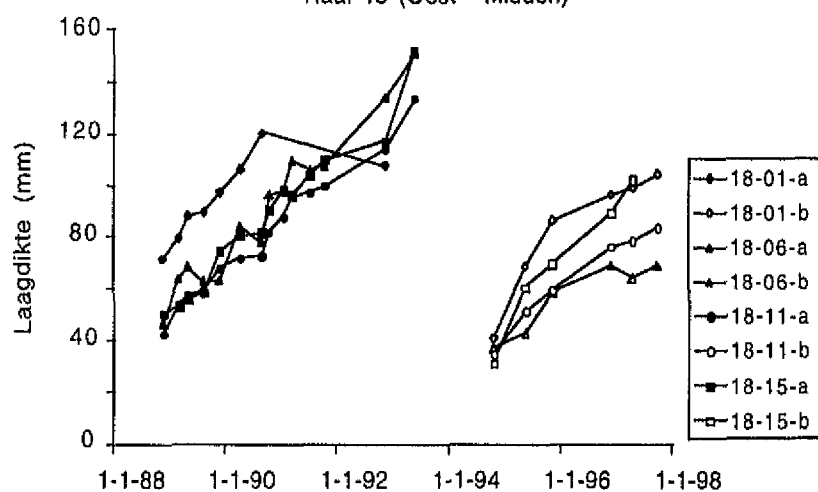




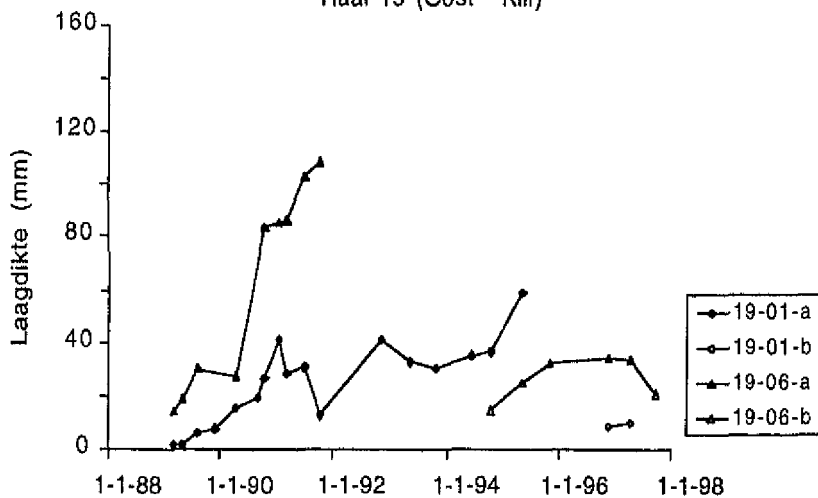
Raai 17 (Oost - Dijk)



Raai 18 (Oost - Midden)



Raai 19 (Oost - Klif)



periode 1993 - 1995 en van die in het midden in de periode 1988 - 1990. Post-hoc analyse laat tevens zien dat de netto sedimentatie in het oosten van het schor *significant hoger* is dan in het westen en het centrale deel. Er kunnen geen significante verschillen worden aangetoond tussen oeverwal, overgang of kom (O-V-K) voor alle plots samen. Maar wanneer figuur 3 nader wordt bekeken, dan lijken er wel toch wel enige verschillen te zijn tussen de raaien onderling. Aan de dijkzijde in west en centraal is er sprake van een hogere netto sedimentatiesnelheid op de oeverwal, in tegenstelling tot de andere raaien.

Voor de onderscheiden perioden is tevens het effect van de gemiddelde baggerstort en de gemiddelde windsnelheid, de gemiddelde (windsnelheid²) en de gemiddelde (windsnelheid³) op de netto sedimentatie getest. In plaats van de twee variabelen tijdsperiode (P) en ligging op oeverwal, overgang of kom (OVK), zijn nu in de bovenstaande vier-weg ANOVA de stort en de wind als onafhankelijke, maar niet als categorische variabelen ingevoerd. Een relatie van netto sedimentatie met windsnelheid of stortactiviteiten kon hiermee niet worden aangetoond.

Op grond van bovenstaande resultaten zijn de tijdsperioden 1988 - 1990 en 1991 - 1992 samengevoegd. Vervolgens is de netto sedimentatie op het schor van Waarde berekend voor 3 tijdsperioden: 1988 - 1992, 1993 - 1995 en 1996 - 1997. De locaties in het westen en centrale deel zijn samengevoegd en onderscheiden van de locaties in het oosten. Verder is er onderscheid gemaakt tussen dijkzijde en midden. In Figuur 4 is de gemiddelde netto sedimentatie, onderverdeeld in deze categorieën, per periode uitgezet. Tevens is hierin de gemiddelde baggerstort en de gemiddelde (windsnelheid³) over dezelfde perioden weergegeven.

Verdronken Land van Saeftinge

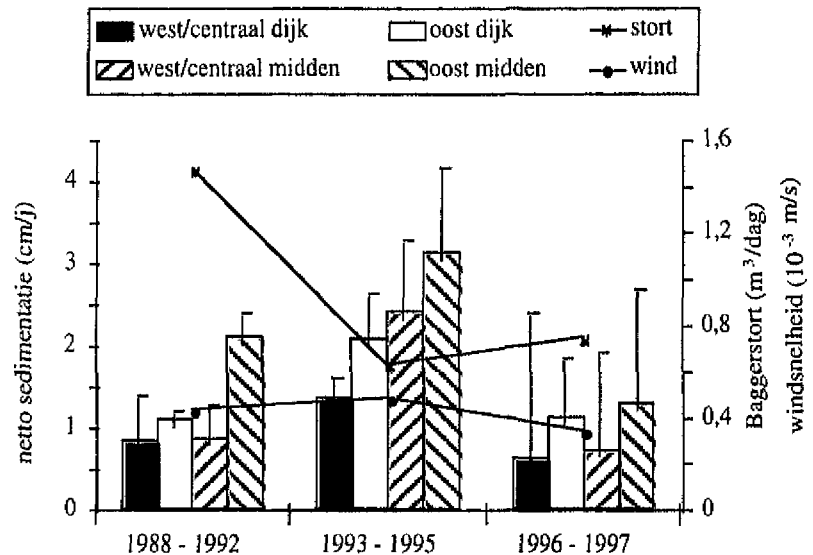
De dataserie van de kaolienveldjes op Saeftinge is veel minder lang dan die op Waarde. Op Saeftinge zijn bovendien veel vaker kaolienveldjes vroegtijdig, dat wil zeggen voordat de lineaire fase is bereikt, vervangen. Hierdoor blijven er voor het onderling vergelijken van de verschillende onderzoekslocaties op het schor uiteindelijk alleen data over voor netto sedimentatie in 1993, 1996 en 1997 (Figuur 5). Een verschil in situering op het schor, tussen W - C - O, D - M - K of O - V - K, kon niet worden aangetoond, noch een relatie met de tijd, baggerstort of windsnelheid. De gemiddelde netto sedimentatie op het Land van Saeftinge is bepaald door de richtingen van de relatie tussen bodemophoging en tijd voor alle kaolienveldjes te middelen. Het resultaat is $1.7 \pm 2.0 \text{ cm j}^{-1}$ ($n = 39$, waarbij n groter is dan het aantal kaolienplotjes (21), omdat er per plotje in de tijd door vernieuwing meerdere kaolienlaagjes aanwezig zijn geweest).

Met behulp van variantie-analyse is de netto sedimentatie in de jaren 1993, 1996 en 1997 op Saeftinge vergeleken met die op Waarde. Een verschil tussen de beide schorren kon hiermee niet worden aangetoond.

De netto sedimentatie op het schor bij Waarde en het Verdrongen Land van Saeftinghe varieert tussen ca. 0,5 en 3 cm j⁻¹. Deze getallen wijken niet af van waarden voor netto sedimentatie op schorren in andere estuaria met een vergelijkbaar getijverschil (tussen 0,5 en 5 cm

Figuur 4.

Gemiddelde netto sedimentatie op het schor bij Waarde in drie perioden en vier schordelen. De gemiddelde netto sedimentatie in west/centraal-dijk is berekend met behulp van de verschillende kaolienplotjes gelegen op oeverwal, overgang en kom van de raaien 11 en 14 per onderscheiden periode; voor de sedimentatie in west/centraal-midden zijn de raaien 12 en 15 gemiddeld. In de oostelijke delen zijn per raai de resultaten van oeverwal, overgang en kom gemiddeld. Tevens zijn hierin de gemiddelde baggerstort en de gemiddelde (windsnelheid³) voor de drie perioden aangegeven.

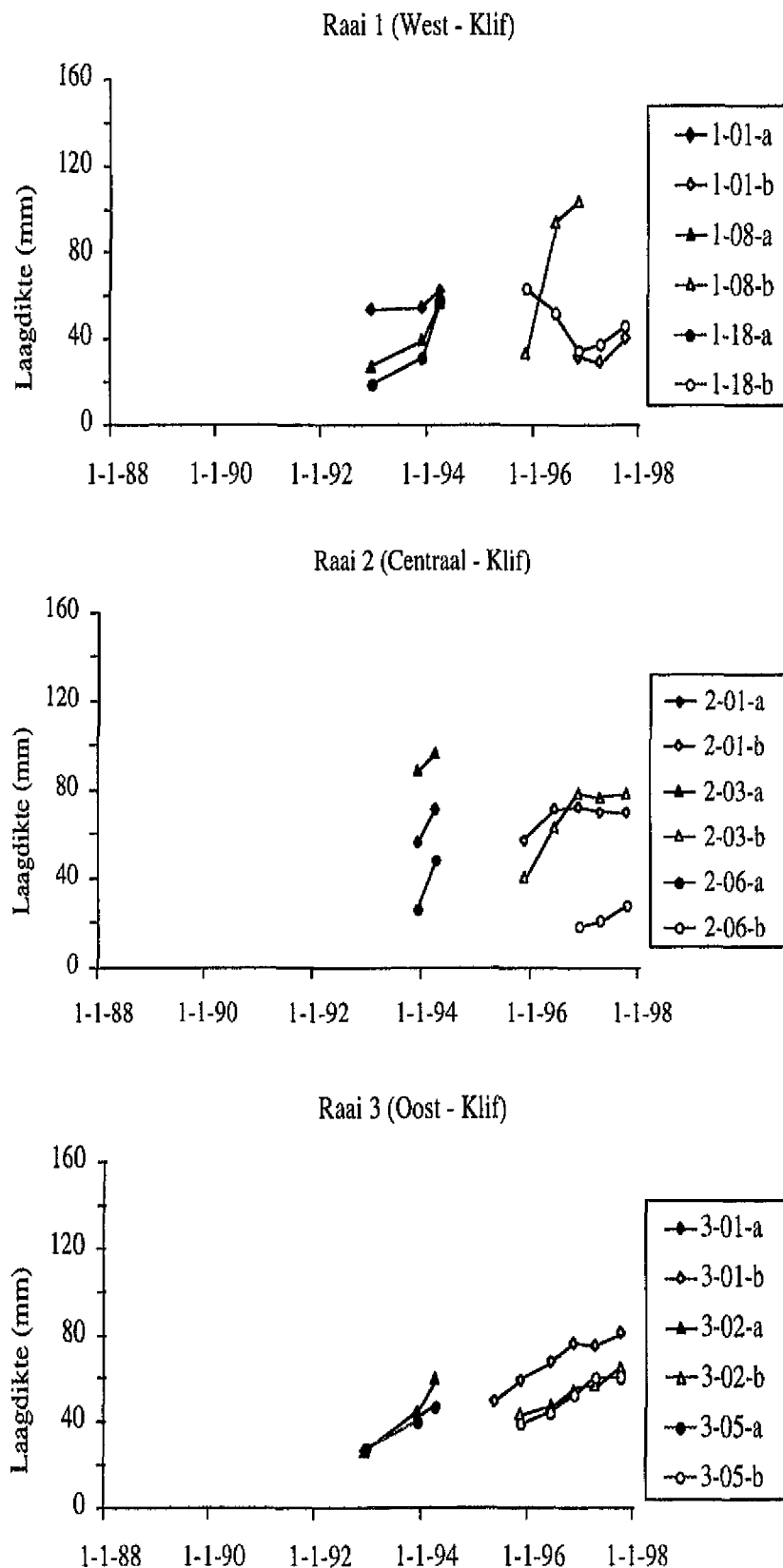


j⁻¹; Ranwell, 1964; Carling, 1982; Dankers et al., 1984; Oenema, 1985). Uit de resultaten van het schor bij Waarde blijkt dat de netto sedimentatie op het midden van het schor hoger is dan aan de dijkzijde. Voor Saeftinghe kon een relatie met de ligging niet worden aangetoond, mogelijk als gevolg van een te kleine dataset. Ook uit de literatuur valt af te leiden dat de sedimentatiesnelheid in de middenschor zone maximaal is (Ranwell, 1964; Carling, 1982; Oenema, 1985; 1988). De vaak lager gelegen middenschor zone wordt vaker overspoeld dan een hogere zone, waardoor er zich ook meer sediment kan afzetten, terwijl op een laag of pionier schor minder vegetatie staat om sediment in te vangen en stroomsnelheden af te remmen (Goedheer, 1985, referenties in Oenema, 1988). Wanneer de hoogteligging van de kaolienplotjes op de verschillende raaien wordt bekeken, kan dit hooguit ten dele de geringere netto sedimentatie aan de dijkzijde verklaren (Figuur 6). Een tweede verklaring is dat sediment dat met het vloedwater het schor binnenstroomt langzaam maar zeker uitzakt terwijl het vloedwater richting dijk stroomt. De delen van het schor die het verst verwijderd zijn van de schorrand ontvangen dan het minste sediment (Stumpf, 1983). Dit speelt extra sterk tijdens stormen wanneer een belangrijk deel van het overspoelingswater, dat dan als regel ook rijker is aan geresuspendeerd sediment, het schor overspoelt over het klif heen in plaats van via de kreken.

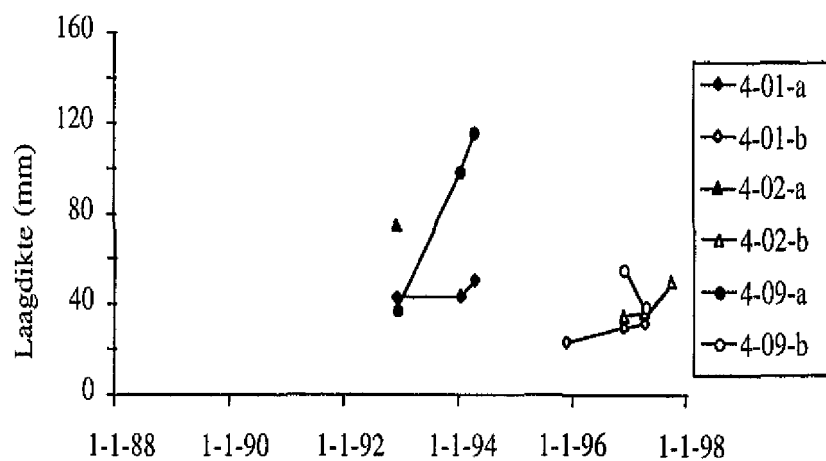
De hogere netto sedimentatiesnelheid op de oeverwallen aan de dijkzijde in west en centraal duidt er wellicht op dat in deze zone de sedimentaanvoer via de hier aanwezige grote kreek nog een belangrijke rol speelt; aanvoer via de kreken leidt immers tot een grotere sedimentatie op de oeverwal ten opzichte van de kom. In de andere schordelen overheerst waarschijnlijk de sedimentaanvoer via het schorklif, tijdens zeer hoge waterstanden zoals tijdens stormen, waardoor eerder een gradiënt van schorrand naar dijk ontstaat. Deze relatief grote invloed van sedimentatie tijdens hoge waterstanden en stormvloed in belangrijke delen van het schor hangt waarschijnlijk samen met de relatief hoge ligging van het schor ten opzichte van Gemiddeld Hoogwater (Figuur 6).

Figuur 5.

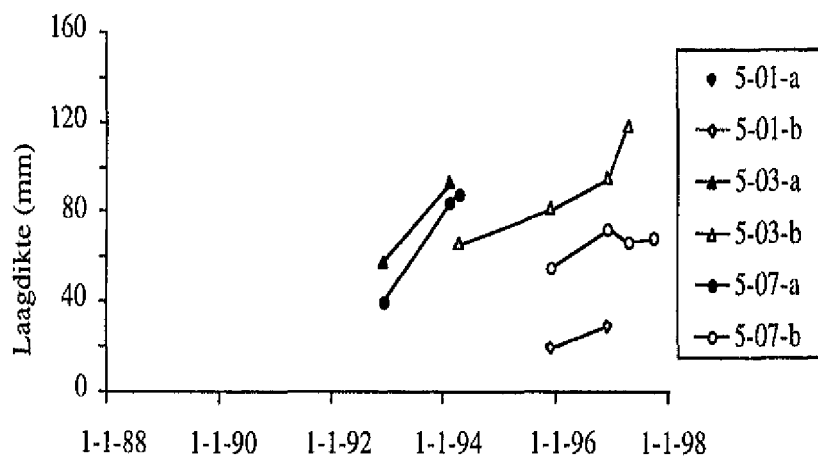
Laagdikte van het sediment boven een kaolienlaagje voor de verschillende raaien op het Verdrongen Land van Saeftinge. Beschrijving legenda: getal bestaat uit raalcode (1 tot 7), plotcode (01 = oeverwal; 02, 03 en 08 = overgang; 05, 06, 09 = kom; 07 raal 5 = kom; 07 raal 6 = overgang) en laagcode (a is eerste kaolienlaagje; b is tweede kaolienlaagje op hetzelfde plotje). Symbolen met dezelfde vorm beschrijven de laagdikte boven het kaolienlaagje op hetzelfde kaolienplotje. Gesloten symbolen: laagdikte boven het eerst aangelegde kaolienlaagje; open symbolen: laagdikte boven het tweede kaolienlaagje dat is aangelegd ter vervanging van het eerste laagje.



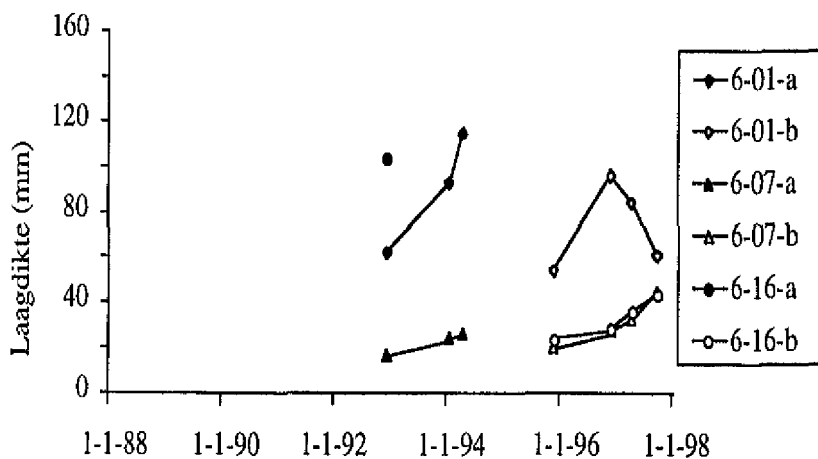
Raai 4 (Oost - Dijk)

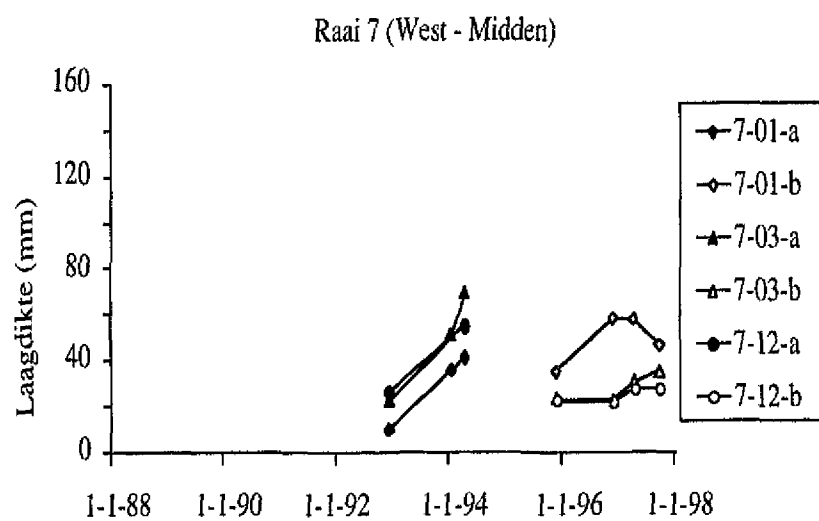


Raai 5 (Centraal, Dijk)



Raai 6 (West - Dijk)



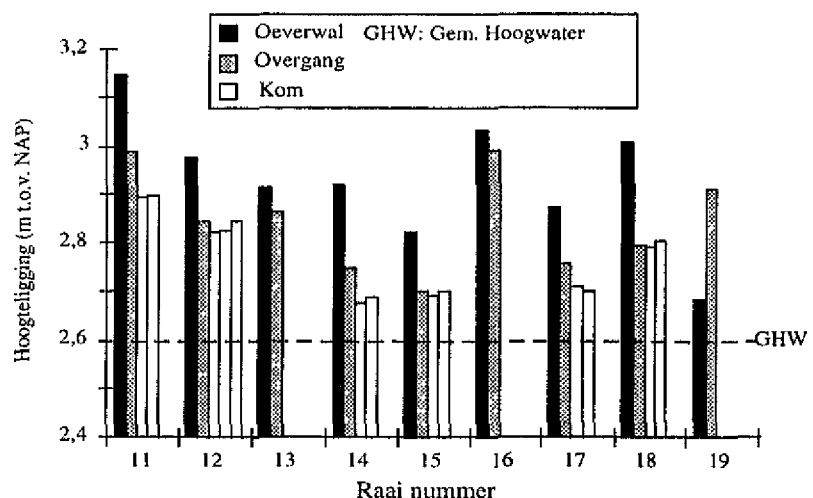


4. Discussie

De periode met sterkere sedimentatie, m.n. in het centraal-midden deel en het oostelijk deel van Waarde (1993-1995), zou mogelijk kunnen samenhangen met de sterke erosie van het voorliggende slik in de jaren '80/begin jaren '90 (de Jong 1994; De Jong et al 1993). Deze slikerosie leidde tot een sterke verlaging van de bodemhoogte, soms met 1 - 2 m, waardoor veel sediment vlak voor het schor in de waterkolom beschikbaar kwam. Rekening houdend met de overheersende aanvoerrichting van het overspoelingswater tijdens stormen, west tot zuidwest, kan dit geresuspendeerde sediment vooral zijn terechtgekomen in deze delen van het schor.

Een directe relatie tussen de netto sedimentatie en de stort van baggerspecie of de windsnelheid kon niet worden aangetoond. Toch is het interessant om te kijken naar de verschillende datareeksen. Het verloop van de gemiddelde (windsnelheid³) vertoont namelijk wel enige parallellen met de sedimentatiesnelheid. Stumpf (1983) toonde aan dat de sedimentatie op schorren voor het grootste deel wordt bepaald door een grote sedimentaanvoer tijdens extreem hoogwater veroorzaakt door storm en niet door sedimentatie onder normale getijomstandigheden. Wellicht dat natuurlijke variatie een belangrijker factor is dan de huidige menselijke activiteiten, waarbij gedacht zou kunnen worden aan (onvoorspelbare) variaties in overspoelingsfrequentie en -duur, al dan niet veroorzaakt door storm. De reden dat een effect van storm op de netto sedimentatie op Waarde en Saeftinge niet kan worden aangetoond is misschien het feit

Figuur 6.
Hoogteligging van de kaolienveldjes op het schor bij Waarde gemeten met waterpassingen in 1994. De kaolienplotjes zijn per raai (zie figuur 1) op de x-as gegroepeerd.



dat ook onder rustige weersomstandigheden het Westerscheldewater, dat tijdens vloed het schor overstroomt, al zeer rijk is aan sediment. Onder normale getij-omstandigheden is de sedimentatie op de schorren daarom mogelijk niet meetbaar minder dan onder de omstandigheden dat er tijdens storm extra sediment in het water zit. Ook de getijslag speelt een rol. Stormen hebben een geringer effect op

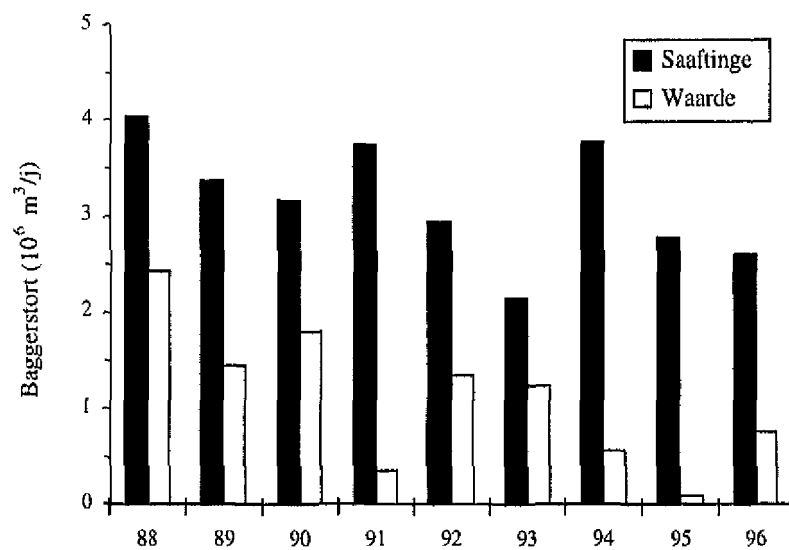
de sedimentatie op zogenaamde macrogetijde schorren (waartoe Waarde en Saeftinge behoren) die bij normale springvloed al onder een betrekkelijk diepe waterkolom staan, dan op de sedimentatie op micro- of meso-getijde schorren, waar die waterkolom bij normale springvloed beduidend geringer is in diepte, maar waar de diepte van de waterkolom tijdens stormvloed juist veelbetekenend kan zijn (Stumpf, 1983).

Wanneer de baggerstort bij Saeftinge wordt bekeken dan valt op dat er over de afgelopen 6 jaar eigenlijk weinig variatie is geweest in de gestorte hoeveelheden specie (Figuur 7). Er kan dan ook moeilijk worden gezegd wat de netto sedimentatie zou zijn geweest indien er niet gestort was. De gestorte hoeveelheid baggerspecie is bij Saeftinge echter beduidend hoger dan bij Waarde, terwijl de netto sedimentatie op Saeftinge niet verschilt van die op Waarde. Bij Waarde is de stort van baggerspecie aanzienlijk verminderd in de laatste jaren. Opvallend genoeg is de afname in storthoeveelheid hier tegenovergesteld aan de grotere netto sedimentatie. Bovendien wijkt, zoals reeds vermeld, de netto sedimentatie op Waarde en Saeftinge niet af van die op schorren in andere estuaria. De stort van baggerspecie lijkt dus geen aantoonbare rol te spelen bij het verklaren van de variatie in sedimentatiesnelheid.

Hierbij moet wel bedacht worden dat de eerder genoemde sterke slikerosie vermoedelijk (mede) een gevolg is van de grote baggerstortingen in de periode 1988 - 1992, waardoor het geulenpatroon in het gebied vóór het schor sterk is veranderd. Als deze slikerosie dus inderdaad heeft doorgewerkt in de sterkere netto sedimentatie dan is er dus wel sprake van een indirect effect van de stortingen.

De afgelopen jaren is het gemiddelde hoogwater met ca. 1 cm j^{-1} gestegen (Vroon et al., 1997). De netto sedimentatie op de beide schorren is meer dan dat. In de toekomst zal de vaargeul in de Westerschelde ten behoeve van de scheepvaart naar Antwerpen verder worden verdiept. Er is berekend dat door de geplande vaargeulverdieping de zeespiegel in het oosten van de Westerschelde de komende 25 jaar met 5 cm extra zal stijgen (De Jong & Van Kleef, 1996). Hierdoor zal het gemiddeld hoogwater in de toekomst met mogelijk $1,2 \text{ cm j}^{-1}$ gaan stijgen. Ook dit zal geen 'verdrinking' van de schorren tot gevolg hebben. Pas wanneer de zeespiegel als gevolg van het broeikas effect nog sneller gaat stijgen, hetgeen niet onrealistisch is, zouden er voor sommige delen van de schorren problemen kunnen worden verwacht. Men moet zich echter wel realiseren dat bij een verhoogde overspoelingsfrequentie in principe meer sediment kan bezinken, hetgeen weer een verhoogde netto sedimentatie tot gevolg heeft.

Figuur 7.
Jaarlijkse hoeveelheden gestorte
baggerspecie ($10^6 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$) vanaf 1988 t/m
1996 voor de stortlocaties gelegen bij
Waarde en Saeftinge (zie Figuur 1)



5. Conclusie

De netto sedimentatie op het schor bij Waarde en het Verdrongen Land van Saeflinge vertoont van jaar tot jaar en van plaats tot plaats een aanzienlijke variatie. Deze variatie is hoogstwaarschijnlijk van natuurlijke aard, maar mogelijk heeft de sterke erosie van het voorliggende slik bij Waarde ook een rol gespeeld. Een direct effect van het storten van baggerspecie op de netto sedimentatie op deze schorren in het oostelijk deel van de Westerschelde is niet aantoonbaar. Maar op Waarde is er mogelijk wel sprake van een indirect effect van de stortingen. De snelheid waarmee de bodem van de schorren op dit moment ophooft wijst er niet op dat de gebieden in de toekomst als gevolg van zeespiegelstijging zullen 'verdrinken'. Ook is de netto sedimentatie niet ongewoon hoog te noemen vergeleken met schorren in estuaria met vergelijkbare getijregimes als in de Westerschelde.

6. Aanbevelingen voor het werken met kaolienveldjes

Bij het vaststellen van de sedimentatie op een schor met behulp van kaolienveldjes moet met een aantal zaken rekening worden gehouden. Zo duurt het een bepaalde tijd, in de praktijk zo'n 1,5 tot 2 jaar, voordat de bodemophoging boven een kaolienlaagje in de lineaire fase belandt (Figuur 2). Deze periode kan worden beschouwd als de opstartfase. Na deze opstartfase is de netto sedimentatie van het schor nog steeds niet vast te stellen. Er moet nog enige tijd worden doorgemeten voordat de richting van de lineaire fase kan worden vastgesteld. Deze periode zal minimaal 3 jaar bedragen. Een ander aspect dat een lange tijdserie noodzakelijk maakt is de jaarlijkse variatie in inklinking en bruto sedimentatie. In de winter wordt het schor vaker overspoeld dan in de zomer en wordt door het water over het algemeen meer sediment meegevoerd. Hierdoor is 's winters de bruto sedimentaanvoer groter en blijft tegelijkertijd het sediment veel vochtiger waardoor de inklinking geringer is dan in de zomer, wanneer het water sneller uit het sediment verdwijnt. Er doet zich dus in de praktijk een 'zaagtandachtige' bodemophoging voor, waardoorheen pas na enige jaren (mits er in de opeenvolgende jaren zowel in kwaliteit als in kwantiteit een vergelijkbare bruto sedimentatie heeft plaatsgevonden) een lineaire lijn te trekken valt. Het werken met kaolienveldjes betekent dus dat er ver vooruit gedacht moet worden. Een praktisch probleem vormt hierbij de 'levensduur' van een kaolienveldje. Een periode van 5 jaar is een minimum voor een goede meting. Wanneer een veldje te intensief wordt bemonsterd kan het kaolien vroegtijdig opraken. De in dit onderzoek gehanteerde maat van 1,0x0,3m kan als een minimum maat worden beschouwd; 1,0x0,5m lijkt een betere maat.

Aan de andere kant is het bij een te extensieve bemonstering moeilijk vast te stellen in welke fase het veldje zich bevindt. Wanneer een kaolienveldje uiteindelijk toch een keer vervangen moet worden is het zaak om tijdig, zo'n 2 jaar voordat het oude kaolienveldje 'opraakt', een nieuw veldje aan te leggen en dat ook meteen, zo mogelijk redelijk intensief, te bemonsteren. Tegen de tijd dat het oude veldje vervalst bevindt het nieuwe veldje zich in de lineaire fase. Ook wanneer men het effect van storten van baggerspecie of zandwinning op de netto sedimentatie in een schor wil bepalen met behulp van kaolienveldjes zal dat ver vooruit gepland moeten worden. Eigenlijk moeten er 5 jaar voordat er wordt begonnen met stort- of win-activiteiten kaolienveldjes in gereedheid zijn gebracht, omdat de sedimentatie in het schor ten gevolge van die activiteiten alleen dan vergeleken kan worden met de situatie van vóór die tijd. Het spreekt vanzelf dat ook geruime tijd nadat de activiteiten zijn gestaakt metingen noodzakelijk zijn, zeker in het geval dat niet vroegtijdig met de kaolienmetingen is begonnen.

Het voordeel van het meten van de sedimentatie in schorren met behulp van kaolienveldjes ligt in de eenvoud van de methode, het arbeidsextensieve karakter en de tamelijk geringe standaardafwijking van de resultaten. De onderzoeker zal zich echter goed bewust moeten zijn van de beperkingen van de methode. Wanneer snel resultaat is

vereist zal voor een andere methode gekozen moeten worden. Daarbij moet tevoren goed worden bedacht wat men precies wil meten, (bruto en/of) netto sedimentatie of netto bodemophoging t.o.v. NAP of beide.

Literatuur

Carling PA (1982).

Temporal and spatial variation in intertidal sedimentation rates.
Sedimentology 29: 17-23.

Dankers N, Binsbergen M, Zegers K, Laane R, Rutgers van der Leef M (1984).

Transportation of water, particulate and dissolved organic and inorganic matter between a salt marsh and the Ems-Dollard estuary, The Netherlands. Est Coast Shelf Sci 17: 143-165.

De Jong, DJ, 1994.

Veldbezoek schor en slik bij Waarde. Werkdocument RIKZ/OS-94.812x.

De Jong, DJ , J Consemulder & K Hendrikse, 1993.

Veranderingen in het voorland van 5 schorgebieden in de Westerschelde. Werkdocument GWAO-93.826x (Rijksinstituut voor Kust en Zee).

De Jong, JE A & O van Kleef (1996).

Ontwikkelingen in de Westerschelde: prognose voor de komende 25 jaar. Rijkswaterstaat, directie Zeeland/RIKZ, Nota AX-96.009/NWL-96.14/RIKZ-96.006.

De Leeuw J (1992).

Dynamics of salt marsh vegetation. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.

Goedheer GJ (1985). Schorontwikkeling - een kwalitatieve en kwantitatieve beschouwing van de invloed van abiotische factoren op de vegetatieontwikkeling van schorren en van de vegetatie op de morfologische ontwikkeling. Geografisch Instituut Rijksuniversiteit Utrecht, Nota DDMI-85.22.

Leemans J, Verspaandonk B (1975).

Het Verdrongen Land van Saeftinge - een vegetatiekundige studie met behulp van luchtfoto's. Rapport Botanisch Laboratorium, afd. Geobotanie, Katholieke Universiteit Nijmegen.

Meire P, Hoffmann M, Ysebaert T (1995).

De Schelde: een stroom natuurtalent. Instituut voor Natuurbehoud, Hasselt, Rapport 95.10.

Oenema O (1985).

Resultaten sedimentatiemetingen op het schor van Rattekaai-west. Notitie DDMI-82.272.

Oenema O (1988).

Early diagenesis in recent fine-grained sediments in the Eastern Scheldt. Proefschrift Rijksuniversiteit Utrecht.

Ranwell DS (1964).

Spartina salt marshes in southern England II: rate of seasonal pattern of sediment accretion. J Ecol 52: 79-94.

Reed DJ (1988).

Sediment dynamics and deposition in a retreating coastal salt marsh. Est Coast Shelf Sci 26: 67-79.

Salinas LM, DeLaune RD Patrick WH (1986).

Changes occurring along a rapidly submerging coastal area: Louisiana, USA. J Coast Res 2: 269-284.

Schrauwen WCM (1994).

Effect van het veranderd getij op de schorren in de Oosterschelde en de invloed van menselijk handelen op de schorren bij Waarde in de Westerschelde Stageverslag Hogeschool West-Brabant, Polytechnische faculteit, Rijksinstituut voor Kust en Zee.

Stumpf RP (1983).

The process of sedimentation on the surface of a salt marsh. Est Coast Shelf Sci 17: 495-508.

US Army (1984).

Shore protection manual. Coastal engineering research center, department of the army, Waterways experiment station, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi.

Van der Veen J (1962).

Grondmechanica. Kosmos, Amsterdam.

Vroon J, Storm C, Coosen J (1997).

Westerschelde, stroom of struis? Rijksinstituut voor Kust en Zee rapport RIKZ-97.023.

Werkgroep Waterbeheer Westerschelde (1989).

Beleidsplan Westerschelde. Rijkswaterstaat Directie Zeeland/Dienst Getijdewateren.

Summary

Saltmarshes are areas above mean high tide level, which are covered by sea water only during the highest tides, usually covered with a thick mat of halophyte vegetation, on the seaward side of dikes. The importance of saltmarshes for the natural values of the Westerschelde is being acknowledged; pressures of economic progress are high. The survival of saltmarshes depends on the combined action of sedimentation and erosion on the one side and changes in the sea level on the other. In the Westerschelde these factors are strongly influenced by human actions, that are mainly aimed at maintaining the accessibility of Antwerp to large sea-going vessels and/or trying to make a better accessibility over water of that town. The Policy Plan Westerschelde is among other things aimed at the maintaining of saltmarshes and wherever possible to stimulate the generation of new saltmarshes. In order to do this, insight is needed in the relation between saltmarsh development and management measures.

In this report the results are presented of 11 years (saltmarsh near Waarde 1987-1997) and 7 years (saltmarsh Saeftinge 1991-1997) of research on sedimentation on saltmarshes by means of so called kaolin plots. This method consists of the application of a mixture of china clay and white sand on the surface of a plot, after which the thickness of the sediment layer on top is measured periodically with a gouge-like auger. The increase in surface level on the kaolin plots is fast initially, but as a result of settling it decreases. Theoretically this may be represented by an asymptotic line. Only after 18 months to 2 years, the increase in surface level is nearly stable and then measurements of the net sedimentation can start for at least a period of 3 years. It has been tried to link up net sedimentation and wind velocity, dredging dumps and the location on the saltmarsh (gradients from dike to saltmarsh edge, from west to east and from levee to basin). The use of kaolin plots to measure sedimentation is discussed and some advice is given for the use of kaolin plots.

Net sedimentation on the saltmarsh near Waarde and on the Verdrongen land van Saeftinge (Flooded land of Saeftinge) varied between about 0.5 and 3 cm y^{-1} . On the saltmarsh near Waarde net sedimentation near the dike is lower than on the saltmarsh centre. The net sedimentation in the east is larger than in the west. There was no evidence of a difference between levee, transition and basin for overall. At plotlevel a higher sedimentation rate can be observed on the dike side plots in west en central. This indicates that in this part of the saltmarsh sediment import via the major creek is still important, where in the other parts sediment import via the saltmarsh edge may dominate.

Net sedimentation is not constant throughout the years, but shows an up and down going line. It was not proved that this variation was due to the variation in the amount of dredging material that was dumped or that it was due to the occurrence of storms. No relation whatsoever could be proved between net sedimentation and one of the other variables researched in the Verdrongen land van Saeftinge. Neither there was a demonstrable difference between net sedimentation on the saltmarsh near Waarde and that of the Verdrongen land van Saeftinge.

The net sedimentation on both saltmarshes is such that, compared to calculations of the expected increase in sea level height as a consequence of the dredging activities and the greenhouse effect, the saltmarshes will not be flooded permanently in the (near) future. Measurements by the kaolin plots method cover a period of 18 months to 2 years initially, added with several years of actual measurements. This should be taken into account when this method is used, by starting on time and by making the plots sufficiently large in view of the supposed length of time the measurements take place. The dimensions used in this report, 1.00 x 0.30 m, should be regarded as minimal dimensions; 1.00 x 0.50 m seems better.

Legend to the figures and table

Figure 1.

Map of the research area with the location of the saltmarshes, lay-out of kaolin plot transects and the location of the dredging dumps.

Figure 2.

Example of the fitting of the mathematical relation describing the increase of layer thickness on top of a kaolin plot in time. The formula is given in the text; $l = 0.06774$; $c = 0.74$; $k = 0.00447$; R^2 of the fitting : 0.98. Method of fitting: Systat non-linear least square regression. X-axis : time (days) and Y-axis : net sedimentation (mm)

Figure 3.

Layer thickness of the sediment on top of kaolin plot for the various transects on the saltmarsh near Waarde. Description of the legend: number consists of a transect code (11 to 19), a plot code (01= levee; 06, 07 and 08 = transition, >09= basin) and a layer code (a = the first kaolin layer; b= second kaolin layer on the same plot). Symbols of the same shape describe the layer thickness on top of the kaolin on the same kaolin plot). Closed symbols : thickness on top of the first kaolin layer; open symbols: thickness on top of the second kaolin layer, applied as a replacement of the first kaolin layer. If open symbols are absent, then no second kaolin layer has been applied on that particular plot. The transects on the saltmarsh cliffs have all disappeared prematurely as a result of erosion of the saltmarsh edge. Y-axis: layer thickness (mm)

Figure 4.

Mean net sedimentation on the saltmarsh near Waarde in three periods and four sections of the saltmarsh. Mean net sedimentation in the west and central dike section has been calculated by means of the kaolin plots that are situated on the levees, transitions and basins of transects 11 and 14 per distinguished period; mean net sedimentation in the west and central middle section has been calculated by means of the kaolin plots of transects 12 and 15. In the eastern sections the results of levee, transition and basin averaged per transect have been used. Mean dredging dump and mean (wind velocity³) for the three periods have been added. Y-axis left: net sedimentation (cm/y), Y-axis right: dumped dredging material (m³/d) and mean (wind velocity³) (10⁻³ m/s).

Figure 5.

The thickness of the sediment on top of a kaolin layer for the various transects on the Verdrongen land van Saeftinge. Description of the

legend : number consists of transect code (1 to 7), plot code (01= levee; 02, 03 and 08 = transition; 05, 06, ≥09 = basin ; 07 transect 5 = basin; 07 transect 6 = transition) and layer code (a = first kaolin layer, b = second kaolin layer on the same plot). Symbols with the same shape describe the layer thickness on top of the same kaolin plot. Closed symbols: layer thickness on top of the first kaolin layer, open symbols: layer thickness on top of the second kaolin layer that has been applied as a replacement of the first layer. Y-axis : layer thickness (mm)

Figure 6.

Height of kaolin plots on the saltmarsh near Waarde. Measured by triangulation in 1994. The kaolin plots are grouped per transect on the X-axis (see Figure 1). Y-axis: Height (m. above MSL). GHW: Mean High Tide.

Figure 7.

Annual amount of dumped dredging material from 1988 to 1996 inclusive for dredging dumps situated near Waarde and Saeftinge (see Figure 1). Y-axis: dumped dredging material ($10^6 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$).

Table 1.

Result of the analysis of variance of the effect of period of time (P), location (east, central, west; OCW) and near the dike of in the middle of the saltmarsh (DM) on the yearly net sedimentation on the saltmarsh of Waarde (K). The shown, reduced, ANOVA table is the result of stepwise deleting of the non-significant relations from the original model.

Annex 1.

Data of the kaoline plots

A: Waarde; B: Saeftinge.

I: average depth of the soil layer above the kaoline layer per observation day; II: standard deviation; III: number of observations per observation day.

Annex 2.

Data kaoline plots Waarde, averaged per period and per plot.

A: average yearly net sedimentation; B: standard deviation; C: number of observations per observation day.

Bijlage 1A: Waarde

[Gemiddelde bodemlaagdikte (mm) boven de verschillende kaolienlaagjes op Waarde

datum	241101	241106	241111	241117	241201	241206	241209	241218	241227	241301	241306	241401	241407	241411	241413	241501	241506	241513	241522	241601	241608	241701	241706	241713	241721	241801	241806	241811	241815	241901	241906
28-apr-87	14	11	9	9	12	7	6	8	9	0	8	9	6	6	5	7	7	6	7	1	6	11	7	7	8	13	11	9	10	0	2
14-mei-87	14	11	9	9	3	3	6	7	4	0	10	10	6	3	2	4	2	4	4	0	4	1	3	4	2	8	11	9	4	2	1
5-jun-87	11	8	5	7	7	7	7	8	8	0	16	10	6	5	4	8	7	6	7	0	6	6	7	8	5	10	8	7	8	3	5
26-jun-87	10	5	3	4	5	7	7	8	4	0	19	13	5	7	3	7	4	5	6	0	6	4	5	5	6	9	7	9	6	5	4
17-jul-87	8	6	8	7	11	8	9	9	10	0	16	11	7	5	3	11	8	9	7	2	6	12	9	6	7	14	7	8	12	7	7
21-aug-87	10	5	5	3	11	9	9	9	9	0	16	11	7	5	4	10	7	9	9			12	8	6	7	13	8	7	10	8	7
9-sep-87	12	7	11	8	11	10	15	11	15	0	26	28	16	13	11	17	7	10	12	3	8	15	14	12	12	23	10	12	13	5	8
29-dec-87	21	15	15	9	16	16	18	22	17	0	44	42	16	16	23	24	15	19	18	7	21	18	19	18	15	36	26	20	22	5	27
2-jun-88	42	26	28	24	26	31	32	35	30	0	54	29	16	30	20	28	19	19	25	2	38	16	18	23	21	52	24	20	21		47
18-nov-88	49	39	33	26	34	36	34	44	35	0	57	69	22	22	17	43	32	21	32	1	49	26	29	27	28	71	46	43	51	0	39
1-mrt-89	56	32	1	26	30	37	44	47	37	0	9	77	19	38	24	38	31	26	33	0	40	26	30	32	33	80	64	54	53	1	14
28-apr-89	55	35	34	25	36	35	44	51	39	1	15	85	20	36	24	32	36	28	36	2	46	26	32	34	35	88	68	57	56	2	19
10-aug-89	55	25	29	24	37	27	40	40	40			83	29	32	33	42	40	39	41	10	48	40	35	37	42	90	63	60	59	6	31
28-nov-89	68	33	35	35	45	34	33	42	53			91	29	38	35	49	44	42	40	13	57	41	36	38	43	97	63	68	75	8	
10-apr-90	83	37	27	30	47	49	43	67	62			105	33	48	45	59	46	44	44	4	77	55	52	53	50	106	84	72	80	15	28
30-aug-90	78	4	38	35	39	46	2	71	62	5	4	94	25	45	31	55	43	37	42	20	73	36	38	40	40	120	78	73	81	19	
12-okt-90	88	8	16	28	54	45	4	74	71	3	20	98	28	38	24	62	39	40	37	9	79	45	49	39	37	25	96	82	90	27	84
18-jan-91	100	9	42	39	68	61	16	83	78	6	36	111	40	55	42	71	53	40	55	16	93	51	59	43	42	27	98	88	98	41	85
8-mrt-91	90	8	45	31	36	52	8	72	70		43	111	34	51	35	55	45	42	46	23	85	49	54	58	52	44	109	96	96	29	86
4-jul-91	90	10	38	41	49	60	8	77	70		62	108	32	52	33	57	51	39	43	30	103	50	56	71	50	65	106	97	104	31	103
11-okt-91	108	12	53	42	61	69	17	76	80	4	74	124	37	54	42	67	56	43	51		113	62	65	65	69	74	107	100	110	13	108
9-nov-92	97	17	57	44	60	72	24	87	91		81	130	39	70	51	70	60	48	64		123	65	75	72	69	108	134	114	117	41	
14-mei-93	109	22	52	49	70	80	40	102	106				45	60	49	85	65	50	56			84	93	79	80		150	133	152	33	
25-okt-93	104	25	57	48	72	85	46	113	111		2	51	72	55	88	70	52	67				88	87	89	88	5	5	7	8	31	2
9-jun-94	123	41	72	59	84	108	73	143	145			23	56	87	63	102	83	71	80			111	106	110	113	38	30	34	31	35	19
11-okt-94	1	43	69	59	90	1	65	2	2			22	57	86	60	102	78	70	61			110	109	101	105	41	37	35	31	37	15
8-mei-95	18	50	83	75	116	28	88	38	45			38	63	94	66	118	90	81	95			130	110	127	130	68	43	51	60	59	25
3-nov-95	16	52	90	73	1	30	95	42	51			41	73	100	75	2	106	82	105			17	8	7	14	86	58	60	70	6	32
26-nov-96	28	59	94	76	3	40	107	67	73			47	72	9	76	13	10	94	9			33	22	23	26	96	69	76	89	8	34
16-apr-97	22	64	92	62	6	47	122	67	77			48	67	11	74	16	13	92	15			43	26	24	29	99	64	79	102	10	34
29-sep-97	27	99	90	79	9	43	1	67	75			50	71	8	80	18	17	94	14			51	30	27	34	104	69	83	3		21

II Standaard deviatie van de gemiddelde bodemlaagdikte (mm) boven de verschillende kaolienlaagjes op Waarde

datum	241101	241106	241111	241117	241201	241206	241209	241218	241227	241301	241306	241401	241407	241411	241413	241501	241506	241513	241522	241601	241608	241701	241706	241713	241721	241801	241806	241811	241815	241901	241906
28-apr-87	2,4	2,5	1,5	1,9	3,9	1,1	1,7	1,9	1,4	0,0	3,2	2,6	1,7	2,0	1,3	1,4	1,3	1,3	2,2	0,8	2,3	1,7	2,0	1,3	1,9	2,4	1,2	1,4	1,8	0,0	0,0
14-mei-87	2,4	2,5	1,5	1,9	0,9	0,6	0,7	1,4	1,9	0,0	2,8	1,2	1,3	0,8	1,0	1,1	1,0	1,7	1,8	0,0	1,4	0,5	0,6	2,5	0,7	1,1	2,1	2,5	1,6	1,9	0,0
5-jun-87	1,5	1,2	0,7	0,8	1,6	0,9	0,8	0,9	1,2	0,0	3,4	1,5	1,0	1,2	0,9	1,3	0,9	0,7	1,2	0,0	1,1	1,3	1,6	1,2	1,3	2,3	1,5	1,2	0,7	1,0	1,0
26-jun-87	2,1	1,1	1,2	0,8	1,5	1,2	0,9	1,1	0,7	0,0	2,1	2,5	1,1	1,2	1,0	1,2	1,0	1,4	1,0	0,0	0,9	1,8	1,8	1,3	2,2	3,3	2,6	3,3	0,6	3,5	2,0
17-jul-87	1,3	0,8	1,1	1,2	2,8	2,1	0,9	1,8	3,2	0,0	5,4	0,8	1,3	0,8	1,0	1,3	1,1	1,3	2,7	0,7	1,7	2,9	1,8	1,4	1,4	1,8	1,8	1,2	2,7	2,2	2,1
21-aug-87	2,8	1,3	1,6	1,2	2,8	1,9	1,2	1,9	2,7	0,0	3,4	1,2	1,1	0,8	1,3	1,8	1,1	1,2	2,0			3,0	2,5	1,6	1,5	3,3	1,8	1,1	1,8	2,2	2,0
9-sep-87	2,0	1,4	1,6	1,3	3,7	1,2	3,8	2,5	1,3	0,0	3,2	4,2	2,7	2,0	0,9	2,4	2,0	1,3	1,5	0,7	2,8	2,8	2,4	0,8	1,4	4,7	4,3	1,9	1,5	1,9	0,7
29-dec-87	1,7	2,7	2,2	2,2	5,1	3,4	3,5	2,3	2,7	0,0	4,4	2,9	3,6	2,2	5,5	3,1	1,2	1,9	0,9	2,3	2,4	3,4	3,7	5,4	1,0	3,4	3,3	3,6	1,6	2,2	3,0
2-jun-88	4,8	1,9	3,1	2,9	3,4	2,0	1,4	1,9	1,5	0,0	2,3	2,3	2,7	3,1	3,4	4,5	2,1	2,1	1,9	1,6	3,2	2,6	2,6	2,7	1,7	1,8	2,3	2,0	1,9		2,0
18-nov-88	4,1	4,6	0,7	2,6	2,4	2,5	1,7	4,3	1,5	0,0	2,4	4,9	3,7	2,6	2,3	4,7	6,0	5,3	6,3	1,3	2,2	2,9	3,2	3,0	2,9	12,6	5,5	5,6	1,6	0,0	3,0
1-mrt-89	5,7	2,6	0,6	4,1	1,5	4,6	6,4	3,8	2,7	0,4	2,9	4,9	4,7	4,6	3,5	2,5	1,7	3,7	1,7	0,4	1,6	1,4	4,1	2,0	2,0	3,4	2,6	4,0	1,2	0,8	2,8
28-apr-89	3,7	3,2	3,0	2,5	1,9	1,2	2,5	1,5	4,7	0,8	3,7	4,8	4,3	3,4	1,4	6,2	3,5	5,0	3,9	0,7	1,6	2,2	3,8	3,9	3,3	2,1	6,9	5,0	7,3	1,1	2,6
10-aug-89	6,4	2,7	5,0	2,8	4,2	1,5	4,2	7,7	4,6			6,3	1,9	4,1	4,7	3,1	2,5	3,1	2,5	1,6	3,4	3,0	2,2	3,3	5,5	4,4	4,6	6,2	6,4	1,7	2,5
28-nov-89	3,0	2,6	4,0	2,6	4,4	4,1	1,3	2,9	3,4			7,8	1,9	5,6	3,9	2,8	1,6	3,2	3,1	1,3	4,5	3,3	2,2	2,6	3,1	3,6	1,8	4,9	5,2	0,7	
10-apr-90	7,6	4,5	16,9	6,6	6,7	5,2	8,2	4,9	3,5			8,0	3,5	4,8	8,5	9,5	6,9	4,1	6,1	1,0	11,8	10,4	5,1	5,0	4,6	19,6	4,7	7,3	5,4	2,8	4,3
30-aug-90	4,3	0,8	14,6	4,8	4,0	4,9	1,0	11,7	7,5	2,9	1,6	6,4	3,4	7,0	9,5	11,9	3,8	9,2	5,1	1,6	7,0	3,3	7,7	7,7	5,1	2,0	7,5	3,2	3,8	2,3	
12-okt-90	8,1	3,0	3,1	4,5	8,3	14,7	1,7	11,7	4,0	2,1	11,9	6,0	1,7	6,6	8,9	8,0	2,4	5,4	4,4	1,4	7,5	5,3	8,3	4,2	2,0	2,1	5,0	5,8	4,7	6,5	10,5
18-jan-91	8,6	1,3	15,3	4,9	3,9	4,0	2,0	5,2	7,0	1,0	8,8	4,9	1,8	4,9	8,9	5,9	7,5	3,1	4,0	7,1	5,1	10,6	3,8	12,4	11,2	3,3	5,3	5,8	4,4	12,2	12,6
8-mrt-91	9,9	1,8	6,0	3,7	14,7	9,7	2,7	6,8	4,5		11,4	3,9	2,0	3,8	4,7	3,1	4,4	1,8	4,2	2,4	5,6	5,6	4,0	6,6	4,7	5,1	2,8	4,1	3,6	3,4	5,4
4-jul-91	12,1	2,3	10,2	5,5	8,4	10,4	2,7	7,1	14,6		10,8	4,3	5,2	9,1	11,2	8,9	8,5	9,1	8,6	4,2	5,7	8,2	5,2	13,7	4,6	4,6	5,0	4,6	5,5	2,8	9,4
11-okt-91	6,4	1,0	5,5	2,2	5,6	11,8	1,6	6,9	2,7	0,8	10,7	7,4	3,2	4,4	3,5	8,9	6,9	3,9	6,1		4,2	3,3	4,3	3,3	6,7	3,9	5,3	4,4	4,0	3,5	3,4
9-nov-92	11,7	5,5	4,0	3,5	4,5	10,2	1,1	2,2	1,2		9,1	6,4	2,4	5,8	3,5	2,6	3,8	5,4	10,6		8,2	6,9	3,1	6,2	6,3	6,3	6,3	2,2	2,6	8,2	
14-mei-93	7,3	6,2	11,3	2,2	4,3	4,9	7,5	8,9	6,5				6,6	11,1	12,0	10,6	2,5	5,7	9,8			10,2	3,8	4,4	6,1		8,8	13,3	8,3	3,1	
25-okt-93	5,5	5,2	16,8	8,9	6,1	8,1	3,7	2,9	4,3			0,6	11,7	8,4	11,5	5,6	5,1	5,2	5,7			3,9	2,5	3,3	1,2	1,0	0,6	1,2	0,8	3,8	0,7
9-jun-94	13,7	5,7	11,5	3,6	5,3	8,0	1,8	8,2	8,6			3,8	4,7	4,9	4,2	5,1	4,4	5,8	6,1			3,7	3,1	3,6	4,1	5,4	3,4	6,8	4,0	4,0	5,1
11-okt-94	0,4	7,9	13,6	2,9	6,5	0,4	3,6	0,4	0,8			2,7	1,0	4,0	4,2	3,3	3,6	5,6	7,3			6,6	1,5	1,5	7,8	6,5	4,0	1,7	2,5	2,1	2,8
8-mei-95	4,6	5,9	1,6	10,6	6,0	7,2	9,8	7,3	6,5			1,7	8,9	4,5	11,3	9,8	1,7	8,1	1,7			13,0	11,7	2,0	12,3	2,6	5,2	9,9	7,7	11,3	4,8
3-nov-95	2,2	11,4	4,0	12,2	0,5	2,6	4,3	8,2	4,8			1,4	8,1	8,0	11,3	0,7	8,3	2,1	3,4			4,5	1,9	1,9	2,7	1,6	3,2	7,1	5,6	3,8	3,4
26-nov-96	6,4	7,5	4,0	7,9	1,1	4,0	3,8	14,7	2,5			5,9	2,4	1,8	8,2	4,1	1,2	5,2	4,5			5,1	4,0	2,3	4,7	4,0	9,6	7,1	6,2	2,3	2,9
16-apr-97	4,4	8,2	4,2		1,5	9,4	9,2	5,8	4,5			1,9	3,8	1,5	9,8	4,6	1,6	2,4	1,5			3,2	4,2	2,3	3,1	0,9	2,9	3,8	7,8	3,1	5,4
29-sep-97	3,6	6,9	4,8	8,0	1,6	17,6	0,5	6,4	5,0			3,6	2,6	1,3	2,3	2,9	1,3	3,5	2,1			2,3	1,2	4,0	4,2	2,8	10,5	7,1	3,2		15,0

III Aantal waarnemingen (n)

datum	241101	241106	241111	241117	241201	241206	241209	241218	241227	241301	241306	241401	241407	241411	241413	241501	241506	241513	241522	241601	241608	241701	241706	241713	241721	241801	241806	241811	241815	241901	241906
28-apr-87	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
14-mei-87	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5-jun-87	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
26-jun-87	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
17-jul-87	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
21-aug-87	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9-sep-87	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
29-dec-87	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2-jan-88	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	9
18-nov-88	10	10	2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1-mrt-89	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
28-apr-89	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10-aug-89	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
28-nov-89	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0
10-apr-90	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
30-aug-90	5	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0
12-okt-90	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
18-jan-91	10	10	10	10	10	10	10	10	10	4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10
8-mrt-91	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	6
4-jul-91	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11-okt-91	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9-nov-92	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10	10	10	10	10	10	8	4	10	0	0
14-mei-93	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	0	5	5	5	0	0
25-okt-93	10	10	10	10	10	10	9	10	10	0	0	10	10	9	10	10	10	10	10	0	0	10	10	10	10	10	10	10	10	0	10
9-jun-94	5	5	5	3	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	5
11-okt-94	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5
8-mei-95	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	4	5	2	5
3-nov-95	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
26-nov-96	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
16-apr-97	5	5	5	1	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
29-sep-97	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	0	5

Bijlage 1B: Saeftinge

I Gemiddelde bodemlaagdikte (mm) boven de verschillende kaolienlaagjes

datum	256101	256108	256118	256201	256203	256206	256301	256302	256305
6-nov-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-apr-91	4	9	9	10	4	21	10	5	7
14-dec-92	54	28	19				27	26	27
3-dec-93	55	39	32	56	89	27		44	41
31-mrt-94	63	57	58	71	97	48	20	60	47
10-okt-94	11	7	4	24	5		22	4	5
16-mei-95	6	48	73	21	50	82	49	34	33
15-nov-95	15	34	64	57	41	8	59	43	39
6-jun-96	21	94	52	72	63	17	68	47	44
13-nov-96	32	103	35	73	79	18	76	54	53
10-apr-97	30	9	38	70	77	21	75	56	60

II Standaard deviatie van de gemiddelde bodemlaagdikte (mm)

datum	256101	256108	256118	256201	256203	256206	256301	256302	256305
6-nov-90									
19-apr-91	1	1	2	2	1	1	1	1	1
14-dec-92	8	7	4				5	6	7
3-dec-93	17	11	10	8	14	16		2	9
31-mrt-94	16	4	8	11	7	16	3	12	7
10-okt-94	1	1	1	11	3		4	1	1
16-mei-95	3	29	2	9	2	3	4	6	2
15-nov-95	4	9	22	8	10	4	17	7	3
6-jun-96	4	10	27	3	6	2	9	3	2
13-nov-96	4	8	1	14	11	3	8	3	2
10-apr-97	7	3	3	15	9	4	6	2	1
6-okt-97	3	3	3	4	5	5	7	5	2

III Aantal waarnemingen (n)

datum	256101	256108	256118	256201	256203	256206	256301	256302	256305
6-nov-90	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19-apr-91	10	10	10	10	10	10	10	10	10
14-dec-92	5	5	5	0	0	0	5	5	5
3-dec-93	4	5	5	5	5	5	0	5	5
31-mrt-94	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10-okt-94	5	5	5	5	5	0	5	5	5
16-mei-95	5	2	5	5	5	5	5	5	5
15-nov-95	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6-jun-96	5	5	5	5	5	5	4	5	5
13-nov-96	5	3	5	5	5	5	5	5	5
10-apr-97	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6-okt-97	5	5	5	5	2	5	5	5	5

I Gemiddelde bodemlaagdikte (mm) boven de verschillende kaolienlaagjes

datum	256401	256402	256409	256501	256503	256507	256601	256607	256616	256701	256703	256712
19-apr-91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-dec-92	44	75	39	38	58	40	62	17	104	10	22	26
17-jan-94	44		98				93	24	35	36	51	
11-feb-94				52	93	84						
11-apr-94	51		116	40	67	88	114	27	57	41	69	55
11-okt-94	1	1	2	4	5	5	12	2	4	2	1	4
10-mei-95	18	33			67	42	44	22	19	37	32	39
24-nov-95	24	3	6	20	82	56	54	21	24	35	23	23
28-nov-96	30	35	56	30	95	73	96	28	29	58	23	22
10-apr-97	32	37	39		118	67	84	33	37	58	31	28
22-sep-97							61	45	44	47	35	27
23-sep-97		50	1		2	69						

II Standaard deviatie van de gemiddelde bodemlaagdikte (mm)

datum	256401	256402	256409	256501	256503	256507	256601	256607	256616	256701	256703	256712
19-apr-91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-dec-92	22	3	4	2	15	4	8	3	16	2	3	4
17-jan-94	25		1				5	8	8	7	5	
11-feb-94				3	32	5						
11-apr-94	19		4	6	21	5	10	8	5	3	7	10
11-okt-94	0	0	1	2	1	2	13	0	1	1	0	1
10-mei-95	4	16			14	7	12	8	3	7	10	19
24-nov-95	2	1	2	7	13	1	8	2	3	2	2	8
28-nov-96	9	7	17	3	10	5	7	3	5	7	6	4
10-apr-97	4	11	7		11	11	15	3	2	9	3	4
22-sep-97							23	16	3	9	5	3
23-sep-97		7	1		1	3						

III Aantal waarnemingen (n)

datum	256401	256402	256409	256501	256503	256507	256601	256607	256616	256701	256703	256712
19-apr-91	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10-dec-92	10	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5
17-jan-94	5	0	3	0	0	0	5	5	5	5	5	0
11-feb-94	0	0	0	6	3	10	0	0	0	0	0	0
11-apr-94	5	0	5	3	3	5	5	5	5	5	5	5
11-okt-94	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10-mei-95	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5
24-nov-95	3	5	5	3	5	5	3	5	5	5	5	5
28-nov-96	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5
10-apr-97	2	5	4	0	5	5	4	5	5	5	5	5
22-sep-97	0	0	0	0	0	0	5	5	5	6	5	5
23-sep-97	0	5	5	0	5	5	0	0	0	0	0	0

Bijlage 2: Data kaolienlocaties Waarde

A: (gemiddelde) jaarlijkse netto sedimentatie/erosie (cm/j) op de verschillende kaolienlocaties op het schor bij Waarde, onderverdeeld in de vier onderscheiden perioden (zie tekst).

B: standaard deviatie behorende bij de waarden uit bijlage 2A.

C: aantal observaties behorende bij bijlage 2A en 2B.

A		Periode	1988-1990	1991-1992	1993-1995	1996-1997	
West	Dijk	Oeverwal	1,46	0,13	1,40	-0,04	
		Overgang	-0,15	0,43	1,33	4,91	
		Kom	-0,27	0,65	1,37	-0,85	
	Midden	Oeverwal	0,17	0,40	2,25	0,67	
		Overgang	0,71	0,87	2,70	0,27	
		Kom	1,23	0,72	3,32	1,29	
	Kliff	Oeverwal					
		Overgang		0,61			
	Centraal	Dijk	Oeverwal	1,46	1,16	1,78	0,27
Overgang			0,44	0,15	1,03	-0,18	
Kom			0,73	0,87	1,25	0,01	
Midden		Oeverwal	1,28	0,39	1,65	0,66	
		Overgang	0,58	0,64	1,52	0,97	
		Kom	0,70	0,60	1,65	-0,03	
Kliff		Oeverwal	0,69	2,88			
		Overgang	2,03	1,92			
Oost		Dijk	Oeverwal	1,10	0,91	2,36	2,15
			Overgang	1,00	1,06	1,19	0,30
			Kom	0,64	1,28	2,35	0,72
		Midden	Oeverwal	2,53		4,31	0,91
			Overgang	1,92	1,76	2,00	0,03
			Kom	1,92	1,22	3,02	2,08
		Kliff	Oeverwal	1,34	0,23	1,18	0,36
	Overgang		2,41	3,47	1,68	-1,65	

B		Periode	1988-1990	1991-1992	1993-1995	1996-1997
West	Dijk	Oeverwal	0,77			
		Overgang				
		Kom	0,92	0,30	0,26	0,64
	Midden	Oeverwal				
		Overgang				
		Kom	0,98	0,25	0,88	2,16
Kliff	Oeverwal					
	Overgang					
	Centraal	Dijk	Oeverwal			
Overgang						
Kom			0,13	0,17	0,41	0,76
Midden		Oeverwal				
		Overgang				
		Kom	0,40	0,29	0,26	0,02
Kliff		Oeverwal				
		Overgang				
		Oost	Dijk	Oeverwal		
Overgang						
Kom	0,12			0,15	0,12	0,34
Midden	Oeverwal					
	Overgang					
	Kom		0,27	0,14	0,92	1,75
Kliff	Oeverwal					
	Overgang					

C		Periode	1988-1990	1991-1992	1993-1995	1996-1997	
West	Dijk	Oeverwal	2	1	1	1	
		Overgang	1	1	1	1	
		Kom	2	2	2	2	
	Midden	Oeverwal	1	1	1	1	
		Overgang	1	1	1	1	
		Kom	3	3	3	3	
	Kliff	Oeverwal	0	0	0	0	
		Overgang	0	1	0	0	
	Centraal	Dijk	Oeverwal	1	1	1	1
Overgang			1	1	1	1	
Kliff			2	2	2	2	
Midden		Oeverwal	1	1	1	1	
		Overgang	1	1	1	1	
		Kom	2	2	2	2	
Kliff		Oeverwal	1	1	0	0	
		Overgang	1	1	0	0	
Oost		Dijk	Oeverwal	1	1	1	1
			Overgang	1	1	1	1
			Kom	2	2	2	2
		Midden	Oeverwal	1	1	1	1
			Overgang	1	1	1	1
			Kom	2	2	2	2
		Kliff	Oeverwal	1	1	1	1
	Overgang		1	1	1	1	