

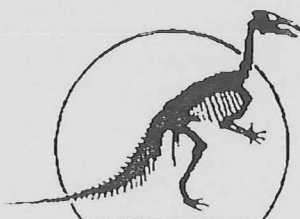
MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP
DEPARTEMENT LEEFMILIEU EN INFRASTRUCTUUR
BESTUUR WATERWEGEN EN ZEEWEZEN
AFDELING MARITIEME SCHELDE

BENEDEN ZEE-SCHELDE, LINKEROEVER TE DOEL

STUDIE CONTAINERDOK-WEST

GAMMADENSITOMETRISCH ONDERZOEK
KORRELGROOTTE ONDERZOEK
RADIO-ISOTOPEN ONDERZOEK

Stanislas Wartel, Margaret Shan Chen & Patrik Schotte



Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen
Vautierstraat 29, 1000 Brussel
Mei 1998

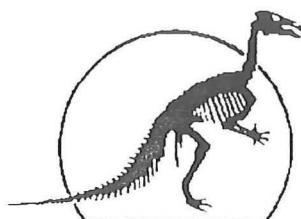
MINISTERIE VAN DE VLAAMSE GEMEENSCHAP
DEPARTEMENT LEEFMILIEU EN INFRASTRUCTUUR
BESTUUR WATERWEGEN EN ZEEWEZEN
AFDELING MARITIEME SCHELDE

BENEDEN ZEE-SCHELDE, LINKEROEVER TE DOEL

STUDIE CONTAINERDOK-WEST

GAMMADENSITOMETRISCH ONDERZOEK
KORRELGROOTTE ONDERZOEK
RADIO-ISOTOPEN ONDERZOEK

Stanislas Wartel, Margaret Shan Chen & Patrik Schotte



Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen
Vautierstraat 29, 1000 Brussel
Mei 1998

Voorwoord

Dit rapport beschrijft een deel van het onderzoek dat momenteel door de groep Sedi-mentologie, Departement Beheer van het Marien Ecosysteem, wordt uitgevoerd. Een belangrijk deel hiervan handelt over de sedimentatie-problematiek in het Schelde-estuarium. De studie van het sedimentatieproces in de Beneden-Zeeschelde te Doel ka-dert in deze problematiek omdat inzicht verkregen wordt in de accumulatiesnelheden van sedimenten. Dit inzicht is van groot belang voor een betere kennis van het gedrag van sedimenten in het estuarium.

De auteurs betuigen hun speciale dank aan Professor P. Van Den Winkel, Vrije Univer-siteit Brussel, voor zijn daadwerkelijke steun bij het radio-isotopen onderzoek.

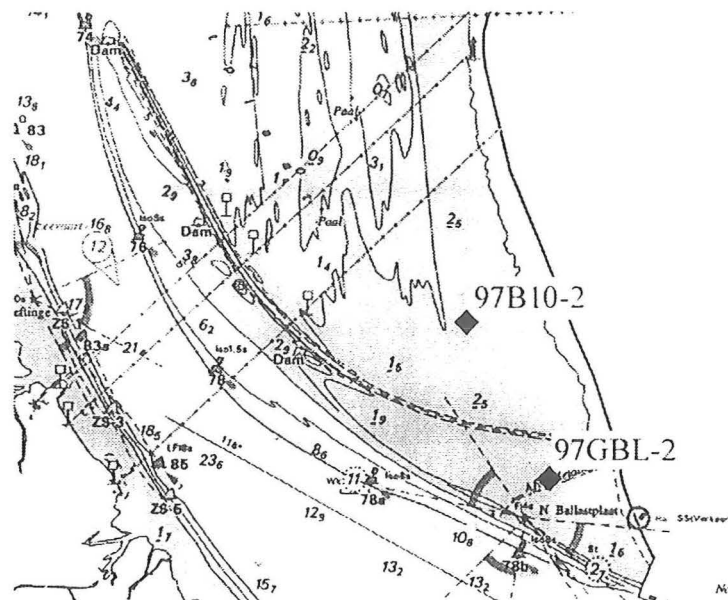
Hebben bijgedragen tot de verwezenlijking van dit rapport:

Promotor:	S. Wartel
Wetenschappelijke uitvoering:	F. Francken
	P. Schotte
	M. Chen
	C. Salinas
Technische assistentie:	A. Laus
	A. Druyts
	J. Tavernier

INLEIDING

Lokalisatie en Bemonstering

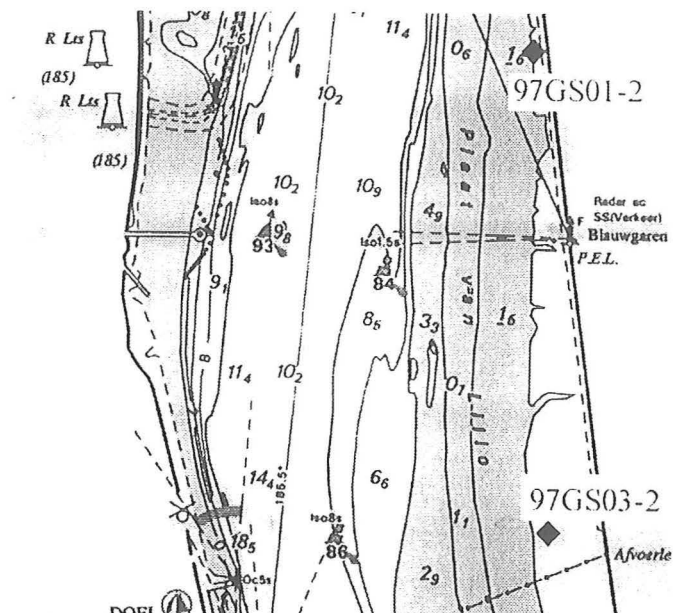
Het hier voorgestelde onderzoek heeft als doel de accumulatiesnelheid van sedimenten te bepalen op een aantal slikken en schorren van het Schelde-estuarium. Het studiegebied situeert zich nabij de Belgisch-Nederlandse grens. Langs de rechteroever werden bodemonsters onderzocht uit de omgeving van het Galgeschoor (ten noorden van Lillo) en het Groot Buitenschoor (ten noorden van Zandvliet). Langs de linkeroever werden bodemonsters genomen op het Paardenschoor (ten noorden van Doel).



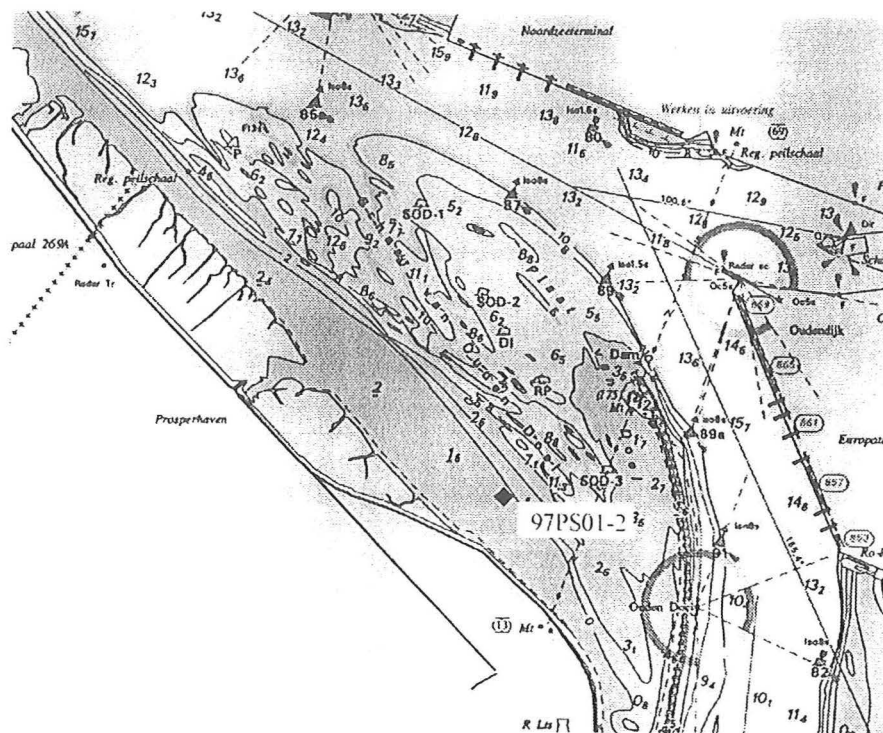
Kaart 1: lokalisatie van de boringen op het Groot Buitenschoor.

Alle boorkernen werden genomen in PVC-buizen met ongeveer 8cm doormeter. De buizen werden geleidelijk in de bodem geduwd en boven en onderaan afgesloten met rubber stoppen. De bemonsterde diepte bedroeg tussen 30 en 60cm afhankelijk van de dichtheid

van het sediment. Deze bemonsteringsmethode heeft het voordeel dat sedimentverlies tijdens de bemonstering tot een minimum herleid wordt.



Kaart 2: lokalisatie van de boringen op het Galgenschoor



Kaart 3: lokalisatie van de boringen op het Paardenschoor

Bepaling van de Korrelgrootte

De korrelgrootteverdeling van het sediment werd bepaald na verwijdering van alle zouten, organisch materiaal en kalk. Deze voorbehandeling vindt zijn verklaring in het feit dat de korrelgrootte beoogd wordt van een volledig gesuspendeerd sediment. Alle korrels zijn dus zuiver en individueel in een waterige suspensie aanwezig. Dit is geen natuurlijke toestand maar biedt wel het voordeel dat sedimenten zo objectief mogelijk onderling kunnen vergeleken worden.

De zandfractie $>0.075\mu\text{m}$ werd geanalyseerd met behulp van ASTM zeven met een zeeffinterval van 0.25ϕ .

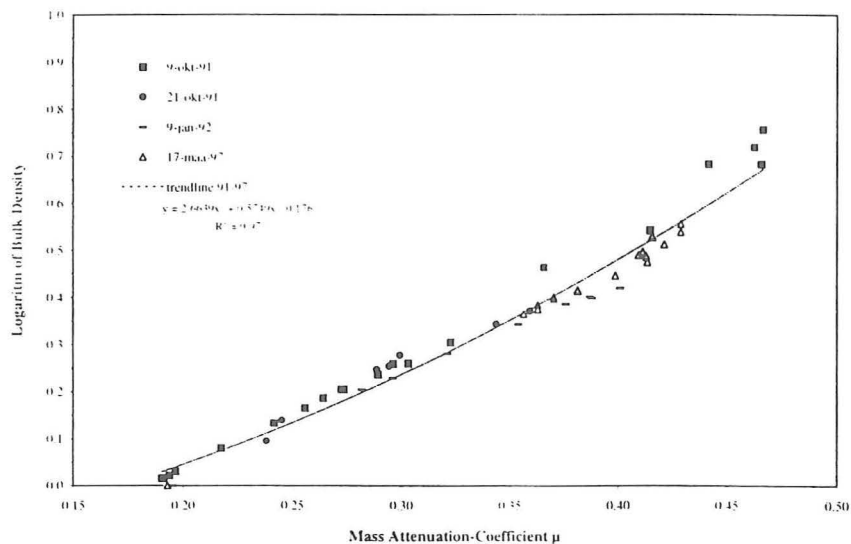
$$1 \phi = -\log_2 d_{\text{mm}},$$

d_{mm} is de zeefopening in mm

De fijne fracties werden bepaald met behulp van de SEDIGRAPH 51 volgens een methode beschreven in Wartel et al., 1995.

Meting van de Densiteit

De meting van de densiteit op boorkernen is gebaseerd op het principe van absorptie en diffusie van gammastralen in een waterig midden. Het verlies aan energie van de straling is een functie van de chemische samenstelling van het materiaal waar de straling door gaat. Dit heeft als gevolg dat een hoger watergehalte en dus een lagere densiteit ook een lager energieverlies veroorzaakt. Het volstaat dus om onder gelijke omstandigheden het verlies aan stralingsenergie te meten bij toenemend watergehalte om een ijkcurve op te stellen.

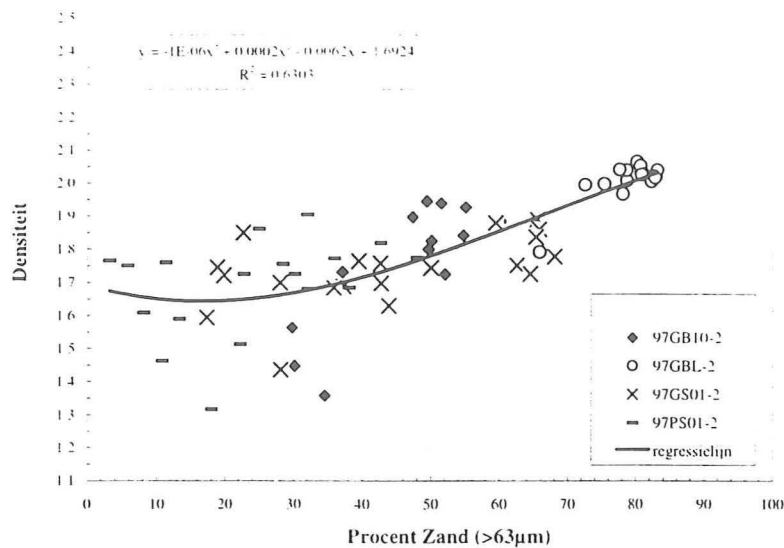


Figuur 1: ijkcurve voor het bepalen van de densiteit in sedimenten met behulp van doorvallende gammastraling.

Hiervoor wordt gebruik gemaakt van identiek dezelfde materialen als deze waarin de boorkern genomen werd. Ook het sediment dient uit hetzelfde gebied afkomstig te zijn om te grote verschillen in chemische samenstelling te vermijden. Voor de lagere densiteiten (tot 1.7g/cm^3) werd gebruik gemaakt van een kleirijk slibsediment van de Scheldegeul. Voor de hogere densiteiten werd een fijn zand gebruikt.

Overeenkomst tussen de densiteit en de korrelgrootte.

In de volgende grafieken wordt het verband aangetoond tussen de densiteit en respectievelijk de zand- en kleifracties. Uit beide grafieken blijkt dat er een overeenkomst bestaat. Voor de zandfractie (figuur 2) geldt dat vanaf 40% de densiteit toeneemt met de hoeveelheid zand. Voor de kleifractie (figuur 3) neemt de densiteit exponentieel af met toenemend kleigehalte.

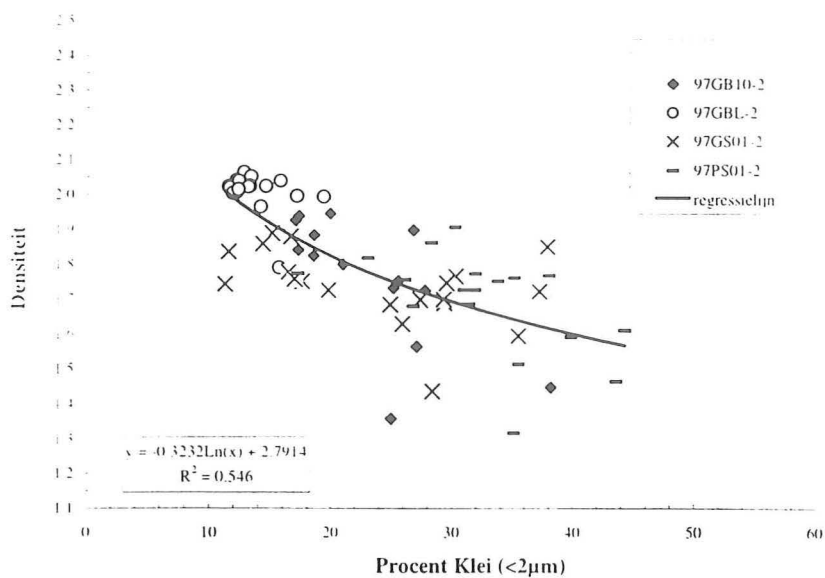


Figuur 1. Verhouding tussen de densiteit en het zandgehalte.

Opvallend in de grafieken is dat voor sommige sedimenten uit de bovenste laag de densiteit lager uitvalt dan verwacht. Deze sedimenten bevatten minder dan 35% zand en meer dan 25% klei. Dit sediment is zeer recent afgezet, en waarschijnlijk nog niet volledig compact zodat het nog een redelijk hoog watergehalte bevat. De bovenste laag is ongeveer 5cm dik in boorkernen 97GB10-2 en 97PS01-2, 2cm in boorkern 97GS01-2 en onbestaande in boorkern 97GBL-2. Worden deze punten buiten beschouwing gelaten dan is de correlatie-coëfficiënt merkkelijk beter (0.73).

Sedimenten met minder dan 35% zand en meer dan 25% klei vertonen een min of meer gelijke densiteit tussen 1.6 en 1.8 g/cm³. Een verklaring hiervoor kan gevonden worden

in het feit dat deze sedimenten een cohesief gedrag vertonen waarbij ontwatering veel moeilijker wordt.



Figuur 2. Verhouding tussen de densiteit en het kleigehalte.

Diepte (cm)	97GB10-2	97GBL-2	97GS01-2	97PS01-2
0 - 1	1.42	1.79	1.44	1.32
1 - 2	1.54	1.97	1.59	1.46
2 - 3	1.45	2.01	1.69	1.59
3 - 4	1.36	2.03	1.69	1.59
4 - 5	1.56	2.04	1.74	1.61
5 - 6	1.75	2.06	1.78	1.68

Tabel 1. De densiteit in functie van de diepte voor enkele boorkernen.

Berekening van de accumulatiesnelheid van sedimenten

De accumulatiesnelheid van sedimenten is de gemiddelde hoeveelheid sediment welke jaarlijks afgezet wordt. De accumulatiesnelheid kan uitgedrukt worden in $\text{g/cm}^2\cdot\text{jaar}$ of in mm/jaar . In deze studie werd de accumulatiesnelheid berekend over een periode van 50 tot 100 jaar. De berekening steunt op het radioactief verval van de overmaat aan het ^{210}Pb -dochterisotoop ten opzichte van haar ^{226}Ra -moederisotoop. Deze overmaat is het gevolg van de neerslag van ^{210}Pb uit de atmosfeer. In de atmosfeer ontstaat het uit het gasvormige ^{222}Rn isotoop.

Voor de bepaling van de accumulatiesnelheid kan uitgegaan worden van 3 verschillende modellen:

Het CFCS model gaat uit van een constante flux van ^{210}Pb en ook een constante sedimentatie.

Het CRS model veronderstelt een constante ^{210}Pb flux en een in de tijd veranderende sedimentatie

Het CIC model dat gaat uit van de veronderstelling dat de sedimenten een constante initiële ^{210}Pb concentratie hebben.

Het CFCS model

Dit is het eenvoudigste model en gaat uit van een constante aanvoer (F_0) van ^{210}Pb uit de atmosfeer en een constante sedimentatiesnelheid. Wanneer C_0 de ^{210}Pb activiteit in de bovenste sedimentlaag voorstelt dan geldt dat:

$$C_0 \left(\text{Bq}\cdot\text{g}^{-1} \right) = \frac{F_0 \left(\text{Bq}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1} \right)}{R_0 \left(\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{yr}^{-1} \right)} = \text{constant}$$

De accumulatiesnelheid wordt dan gegeven door:

$$t = \frac{x}{R_0}$$

waarin x de dikte voorstelt van een sedimentlaag welke in een tijdspanne t afgezet werd.

De activiteit van de overmaat aan ^{210}Pb zal exponentieel afnemen met de diepte volgens de vergelijking (Robbins, 1993):

$$C = C_0 e^{-kt} = C_0 e^{-k \left(\frac{x}{R_0} \right)}$$

Hierin is de vervalconstante van ^{210}Pb verwerkt:

$$k = \frac{\ln 2}{22.26 \text{ yr}} \approx 0.03114 \text{ yr}^{-1}$$

De activiteit van de overmaat aan ^{210}Pb , logaritmisch uitgezet in functie van de diepte, vertoont een rechtlijnig profiel met een helling $-k/R_0$. De accumulatiesnelheid R_0 kan dus grafisch bepaald worden.

Aangezien geen van beide uitgangsveronderstellingen aanvaardbaar zijn in het estuarium van de Schelde wordt dit model verder buiten beschouwing gelaten.

Het CRS model

Het "Constant Rate of Supply" model gaat uit van de veronderstelling dat de toevoer van ^{210}Pb onafhankelijk is van de sedimentaanvoer. Veranderingen in de sedimentaanvoer kunnen dus de ^{210}Pb concentratie zowel doen toenemen als afnemen (Evans, 1991). Dit betekent dat de netto aanvoer van atmosferisch ^{210}Pb (F_0) constant is maar niet de concentratie aan ^{210}Pb in de toplaag van het sediment (C_0). Men kan dan schrijven:

$$F_0 = \text{constant} = R \cdot C_0$$

Voor de volgende vergelijking wordt verondersteld dat de sedimentmassa en de diepte aan de basis van de boorkern nul zijn (Appleby & Oldfield, 1983).

$$A = \int_0^m C dm = \int_0^x \rho C dx$$

Indien A de cumulatieve hoeveelheid aan overmaat ^{210}Pb is beneden niveau x (cm) of beneden een cumulatieve hoeveelheid droge stof m ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), en de droge dichtheid van het sediment gelijk is aan $\rho = dm/dx$, dan kan aangetoond worden dat de ouderdom t van het sediment op een diepte x kan bepaald worden met de vergelijking:

$$A = A_0 e^{-kt}$$

In deze vergelijking stelt A_0 de totale hoeveelheid overmaat ^{210}Pb in de sedimentkolom voor. Zowel A als A_0 worden berekend door integratie van het ^{210}Pb profiel. De "ouderdom" van het sediment op een diepte x wordt dan verkregen uit:

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{A_0}{A}$$

De gemiddelde aanvoersnelheid van het ^{210}Pb , uitgedrukt in $\text{Bq}/\text{cm}^2\cdot\text{yr}^{-1}$, is (Appleby & Oldfield, 1983):

$$F_0 = kA_0$$

De accumulatiesnelheid kan dan voor ieder sedimentatieniveau berekend worden uit de vergelijking (Appleby & Oldfield, 1983):

$$R = \frac{kA}{C}$$

Het CIC model

Het CIC model veronderstelt een constante initiële concentratie aan overmaat ^{210}Pb (C_0). C_0 is onafhankelijk van veranderingen die zich hebben kunnen voordoen in de netto sedimentaanvoer (R) of in de netto toevoer van ^{210}Pb (F).

$$C_0 (\text{Bq.g}^{-1}) = \frac{F (\text{Bq.cm}^{-2}.\text{yr}^{-1})}{R (\text{g.cm}^{-2}.\text{yr}^{-1})} = \text{constant}$$

Daar alle sedimentlagen dezelfde initiële overmaat ^{210}Pb concentratie bezitten zal de concentratie aan overmaat ^{210}Pb exponentieel afnemen met de ouderdom:

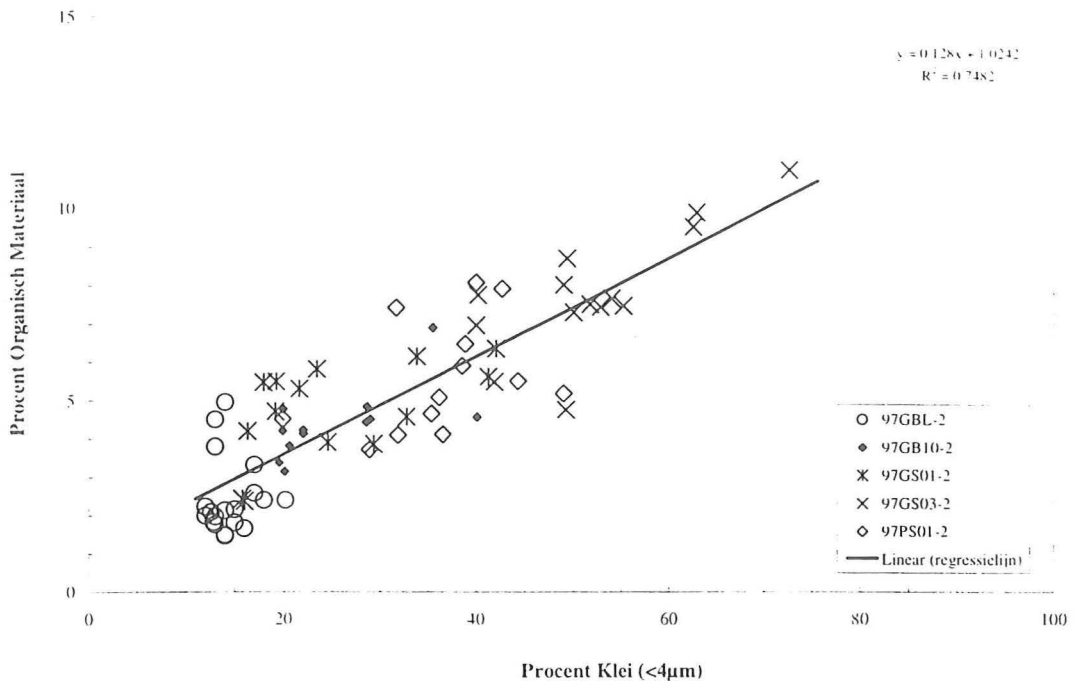
$$C = C_0 e^{-kt}$$

C en C_0 kunnen direct afgeleid worden uit de ^{210}Pb metingen. De ouderdom t van iedere laag volgt uit:

$$t = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C}$$

Bepaling van het Organisch Materiaal

Het organisch materiaal werd bepaald door verbranding. Vooraf werd het sediment ge-lyophiliseerd en daarna gedroogd bij 105°C om alle niet-gebonden water te verwijderen.



Figuur 4: hoeveelheid organisch materiaal in functie van het kleigehalte.

Vervolgens werd het droge sediment in een moffeloven verhit op een temperatuur van 430 °C gedurende 24 uren. Het gewichtsverlies na verhitting is een maat voor het gehalte aan organisch materiaal. De nauwkeurigheid van deze methode bedraagt 2 à 3%. In bijgaande grafiek wordt duidelijk aangetoond dat er een overeenkomst bestaat tussen de hoeveelheid klei (<4µm) en de hoeveelheid organisch materiaal.

BESPREKING EN INTERPRETATIE

Inleiding

Op de schorren en slikken van respectievelijk het groot Buitenschoor, Paardenschoor en Galgeschoor werden een reeks ondiepe boringen uitgevoerd. De sedimenten werden geanalyseerd op densiteit, korrelgrootte en accumulatiesnelheid.

Onder accumulatiesnelheid verstaat men de gemiddelde jaarlijkse sedimentatie. Deze kan uitgedrukt worden in $\text{g/cm}^2\cdot\text{jaar}$ of nog in mm/jaar en wordt berekend op basis van de activiteit van de overmaat aan ^{210}Pb . Hierbij wordt verondersteld dat uitsluitend natuurlijke processen plaatsgrijpen en de sedimentaanvoer niet wezenlijk verandert van jaar tot jaar. Beide veronderstellingen zijn in het beschouwde gebied onjuist. Kunstmatige ingrepen in de rivier en zoals baggerwerken en storten van baggerspecie hebben een niet-controleerbare invloed op het natuurlijk sedimentatieproces. Dit bemoeilijkt uiteraard de interpretatie van de ^{210}Pb gegevens. Ook blijkt dat de opgebaggerde sedimenten duidelijk een oudere geologische ouderdom hebben (Kwartair, Tertiair) en daarom geen overmaat aan ^{210}Pb bevatten. Evenwel kunnen andere parameters zoals korrelgrootteverdeling, densiteit en organisch materiaal bijkomende informatie verschaffen. Dit alles laat uiteindelijk toch toe een vrij betrouwbaar inzicht in het sedimentatieproces te krijgen. Men mag echter nooit de opgesomde beperkingen uit het oog verliezen.

Sedimentatie op het Groot Buitenschoor

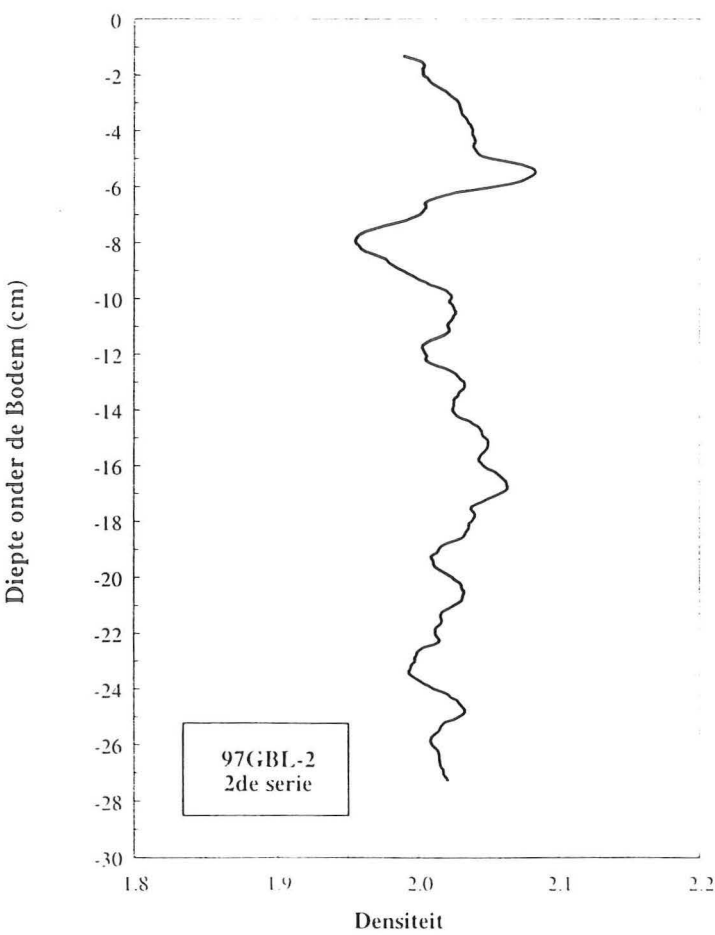
Op het groot Buitenschoor moeten, wat de sedimentatie betreft, 2 verschillende gebieden onderscheiden worden. Het eerste gebied ligt buiten de leidam en staat open voor rechtstreekse uitwisseling van sedimenten met de Schelde geul. Het tweede gebied is van

de hoofdgeul van de Schelde afgezonderd door een leidam. Sedimenten kunnen in dit gebied alleen maar worden aangevoerd doorheen een vloedschaar. In beide gebieden werden enkele boorkernen onderzocht.

Sedimentatie buiten de leidam – Boorkern 97GBL-2

Densiteitprofiel

De sedimenten in boorkern 97GBL-2 vertonen een redelijk hoge densiteit (schommelend rond $\rho=2\text{g/cm}^3$) en weinig variatie naar de diepte. Aan de top komt een dunne laag voor, ongeveer 1 cm dik, met lagere densiteit ($\rho=1.8\text{g/cm}^3$).

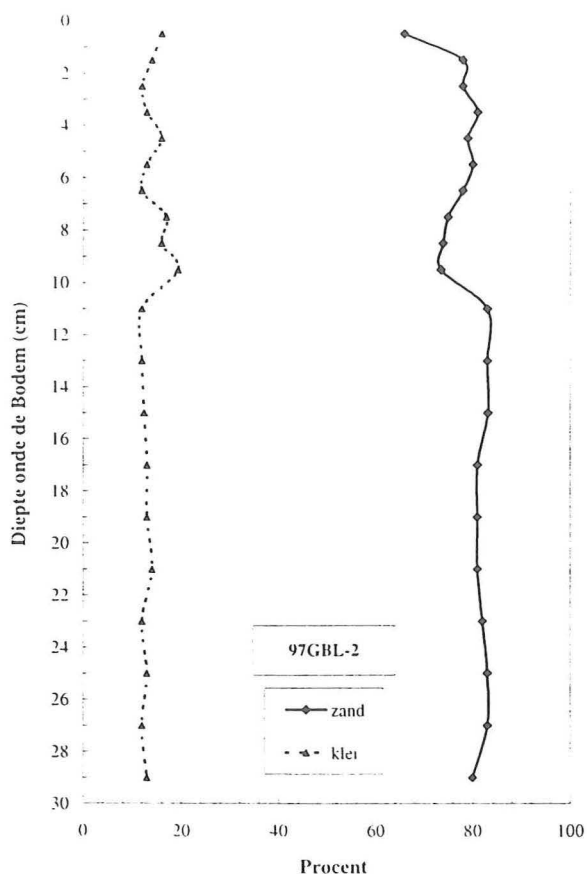


Figuur 5: Voortschrijdend gemiddelde van de densiteit in functie van de diepte onder het oppervlak

Tussen 6 en 10cm onder het oppervlak is een opmerkelijke daling in de densiteit waarneembaar.

Korrelgrootte

Ook de korrelgrootte van het sediment vertoont slechts een zeer geringe variatie. In de toplaag en tussen 6 en 10cm onder het oppervlak is het zandgehalte iets lager dan in de rest van de boorkern. Deze zones stemmen overeen met een verlaging van de densiteit.



Figuur 6: het verloop van het zand- en kleigehalte met de diepte onder het bodemoppervlak

Organisch Materiaal

In de toplaag en onder aan de boorkern (van 22 tot 30cm) is het gehalte aan organisch materiaal normaal (3 à 4%). In de tussenliggende lagen echter is het gehalte aan organisch materiaal echter opmerkelijk laag (< 2%). Dit blijkt onder andere uit de

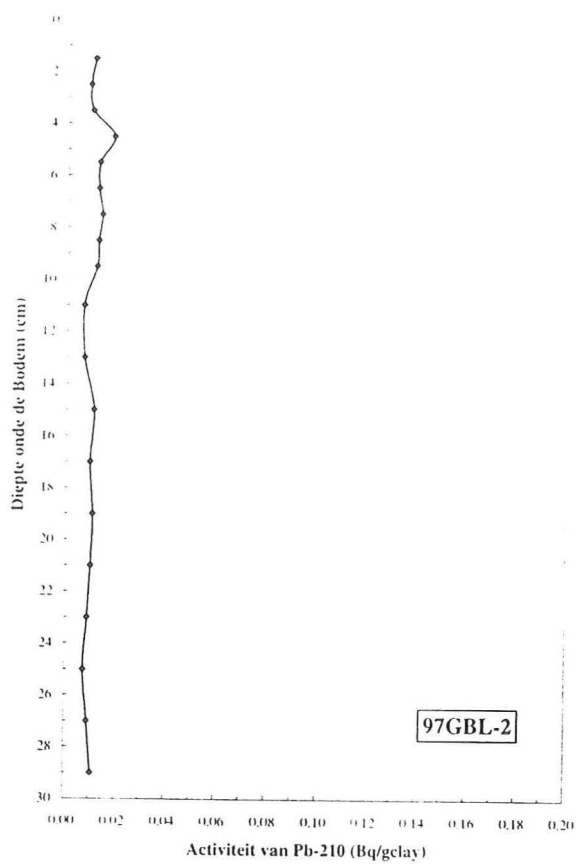
vergelijking van de hoeveelheid organisch materiaal en het kleigehalte (zie inleiding). De figuur toont aan dat op andere plaatsen sedimenten met een zelfde hoeveelheid klei bijna de dubbele hoeveelheid organisch materiaal bezitten. Dit tekort aan organisch materiaal kan een aanwijzing zijn voor de afzetting van een geologisch oud sediment.

Boring #	Niveau cm	Klei <0.004mm	Organisch Materiaal %
97GBL-02	-0.50	17.00	3.32
97GBL-02	-1.50	15.00	2.16
97GBL-02	-2.50	12.62	2.09
97GBL-02	-3.50	13.00	1.97
97GBL-02	-4.50	16.00	1.66
97GBL-02	-5.50	13.00	1.77
97GBL-02	-6.50	14.00	2.13
97GBL-02	-7.50	18.00	2.40
97GBL-02	-8.50	17.00	2.58
97GBL-02	-9.50	20.21	2.40
97GBL-02	-13.00	12.00	2.23
97GBL-02	-15.00	12.85	1.83
97GBL-02	-17.00	14.00	1.47
97GBL-02	-19.00	14.00	1.50
97GBL-02	-21.00	15.00	1.81
97GBL-02	-23.00	12.00	2.00
97GBL-02	-25.00	13.00	3.79
97GBL-02	-27.00	13.00	4.50
97GBL-02	-29.00	14.00	4.95

Tabel 2: kleigehalte en hoeveelheid organisch materiaal in functie van de diepte onder het bodemoppervlak.

De accumulatiesnelheid

De afzettingssnelheid van deze sedimenten kon niet berekend worden omdat er geen overmaat aan ^{210}Pb aanwezig is. De activiteit van het ^{210}Pb stijgt nooit boven de gemiddelde achtergrond uit ($0.011\text{Bq/g.klei.} \pm 0.003$). Dit ondersteunt de eerder geopperde veronderstelling dat hier een snel afgezet oud sediment aangetroffen wordt. Het storten van baggerspecie in de omgeving kan hiervoor een verklaring zijn. Een snelle sedimentatie kan ook de lage concentratie aan organisch materiaal in de bovenste sedimentlaag verklaren.

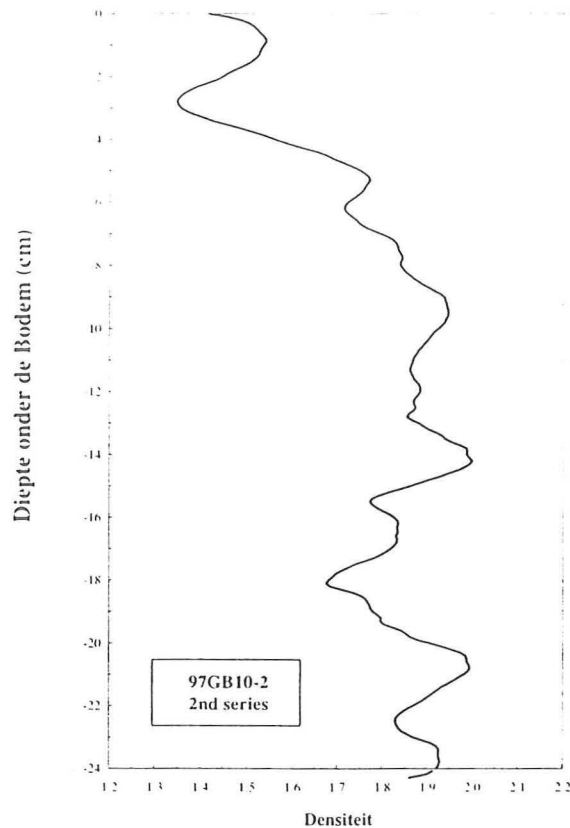


Figuur 7: activiteit van het ^{210}Pb isotoop in functie van de diepte.

Sedimentatie binnen de leidam - Boorkern 97GB10-2

Densiteitsprofiel

De boorkern was 26cm lang. In het densiteitsprofiel kunnen 4 lagen herkend worden.

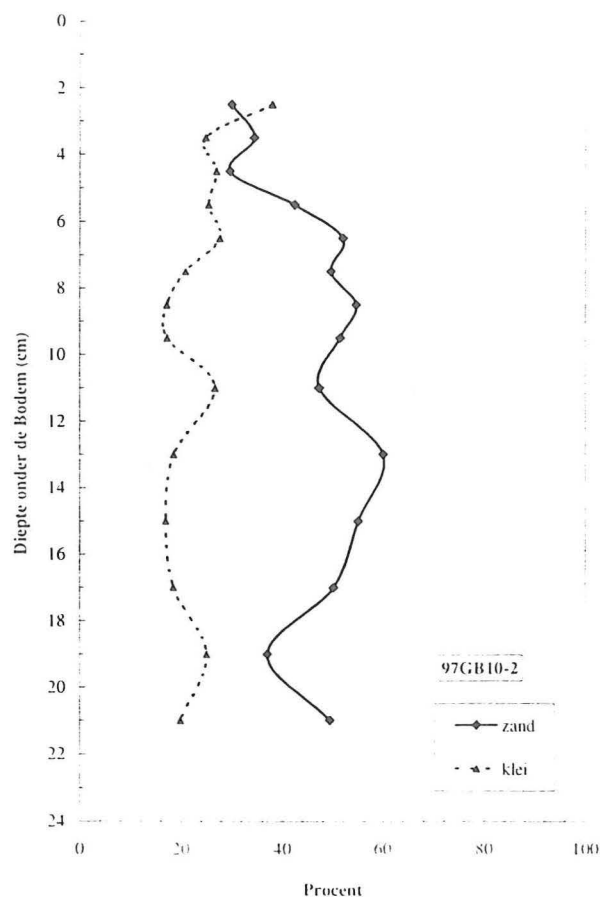


Figuur 8: voortschrijdend gemiddelde van de densiteit in functie van de diepte onder het bodemoppervlak.

- ✓ Van de basis tot -21 cm: de densiteit ligt tussen 1.9 en 2g/cm² met een lage waarde rond -24 cm
- ✓ Van -20 tot -16cm: de densiteiten schommelen rond 1.8g/cm² met een lage waarde rond -19cm.
- ✓ Van -16 tot -6cm: de densiteiten dalen geleidelijk van 1.8g/cm² (-16cm) tot 1.6g/cm² (-6cm)
- ✓ Van -6cm tot aan de top: de daling van de densiteit is zeer sterk met een minimum rond 3cm.

Korrelgrootte

De korrelgrootteverdeling geeft deze gelaagdheid minder goed weer. De analyses werden uitgevoerd op secties van 1 of 2cm dikte waardoor schommelingen over een kleinere afstand niet zichtbaar zijn. Toch zijn enkele zones met een lage dichtheid ook terug te vinden in de korrelverdeling, namelijk op 4, 7, 12 en 19cm onder het oppervlak. In ieder van deze lagen is het zandgehalte lager en het kleigehalte iets hoger dan in de andere lagen. Er is een kleine ongelijkheid tussen de niveaus in het densiteitprofiel en de korrelverdeling. Dit is vooral te wijten aan het feit dat bij het opsplitsen van de ingevroren boorkern de top niet altijd nauwkeurig kan bepaald worden.



Figuur 9: het verloop van het zand- en kleigehalte met de diepte onder het bodemoppervlak

Organisch Materiaal

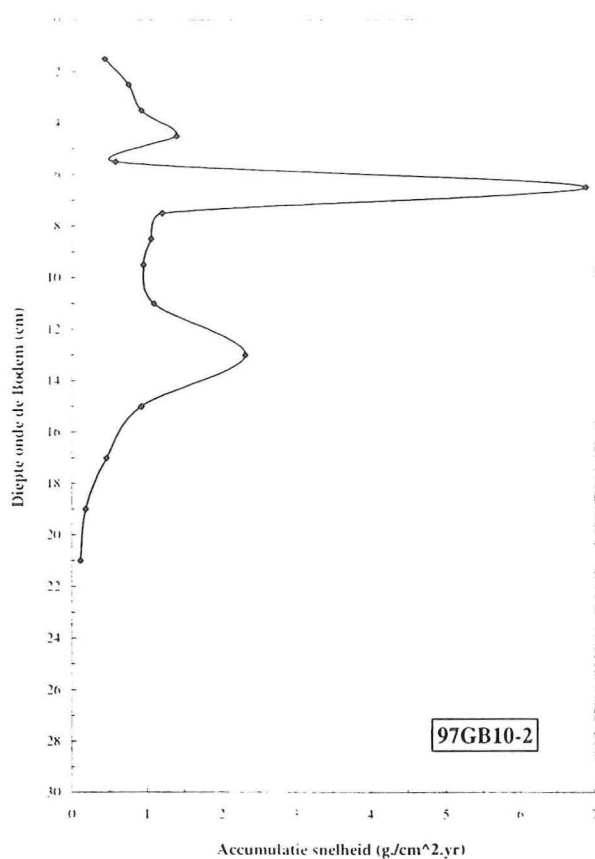
Het gehalte aan organisch materiaal is weergegeven in onderstaande tabel. Dit gehalte is ongeveer het dubbele van de concentraties gevonden buiten de leidam alhoewel de hoeveelheid klei niet aanzienlijk hoger ligt.

Boring #	Niveau cm	Klei <0.004mm	Organisch Materiaal %
97GB10-2	-2.50	40.09	4.56
97GB10-2	-3.50	35.47	6.90
97GB10-2	-4.50	29.01	4.50
97GB10-2	-7.50	22.04	4.22
97GB10-2	-8.50	19.92	4.20
97GB10-2	-9.50	19.96	4.77
97GB10-2	-11.00	28.59	4.43
97GB10-2	-13.00	20.14	3.14
97GB10-2	-15.00	19.57	3.37
97GB10-2	-17.00	20.62	3.81
97GB10-2	-19.00	28.65	4.83
97GB10-2	-21.00	22.07	4.12

Tabel 3: gehalte aan klei en aan organisch materiaal in functie van de diepte.

De accumulatiesnelheid

De gemiddelde accumulatiesnelheid berekend volgens het CRS model bedraagt $1.29\text{g/cm}^2\cdot\text{jaar}$ of 7.8mm/jaar . Figuur 10 toont de accumulatiesnelheid voor de verschillende dieptes onder het oppervlak. Er komen 3 niveaus voor met uitgesproken hogere accumulatiesnelheden: 4-5cm, 6-7cm en 12-14cm.



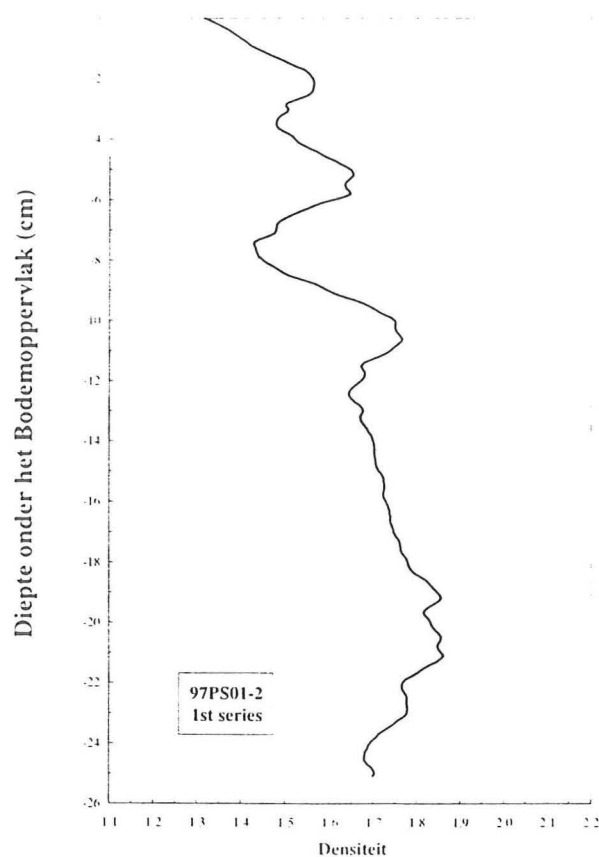
Figuur 10: accumulatiesnelheid voor verschillende niveaus onder het bodemoppervlak.

Volgens de CIC methode berekend op niveau 1.5cm en op niveau 19cm is de accumulatiesnelheid 17mm/jaar (ongeveer $2.6\text{g/cm}^2\cdot\text{jaar}$). Deze waarde is het dubbele van de CRS methode.

Sedimentatie op het Paardenschoor

Densiteitprofiel

Drie boorkernen werden geanalyseerd. De densiteitprofielen verschillen van elkaar toch zijn er een aantal gemeenschappelijke kenmerken. Voor de meetpunten 97PS01 en 97PS02 variëren de densiteiten tussen 1.5g/cm^3 en 1.8g/cm^3 . Het derde meetpunt 97PS03 vertoont densiteiten die hoger zijn 1.8g/cm^3 en er is minder variatie te zien.



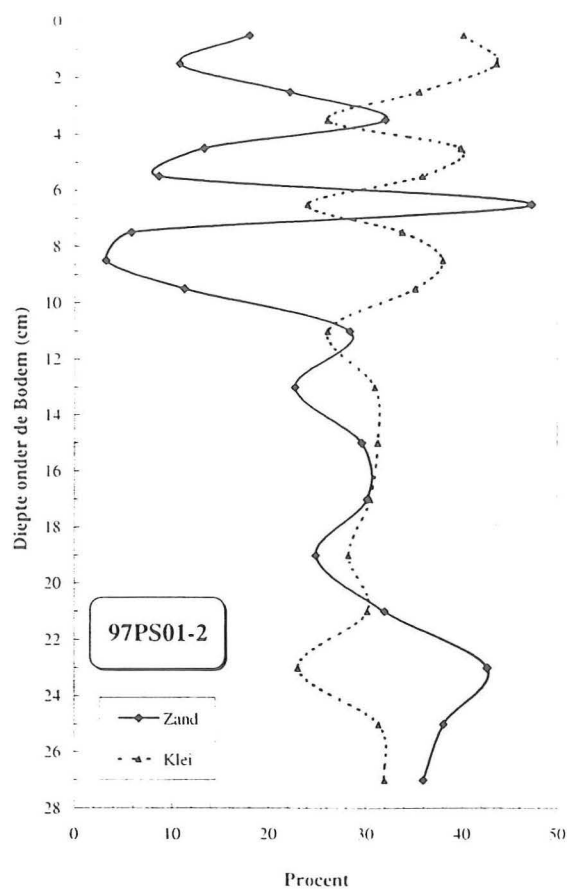
Figuur 11: voortschrijdend gemiddelde van de densiteit in functie van de diepte onder het bodemoppervlak.

Een gemeenschappelijk kenmerk is dat niveaus met een hogere densiteit afwisselen met niveaus met een lagere densiteit. De maxima en minima komen weliswaar niet op precies dezelfde dieptes in de verschillende boorkernen voor maar een zekere overeenkomst is onmiskenbaar.

De figuur toont het voortschrijdend gemiddelde voor boorkern 97PS01-2. Maxima zijn waar te nemen op -1.5, -5, -10 en -21cm onder het oppervlak. Minima komen voor op -4, -8, -12 en -25cm onder het bodemoppervlak.

Korrelgrootte

Op basis van de korrelgroottesamenstelling van boorkern 97PS01-2 zijn meerdere lagen te onderscheiden.



Figuur 12: zand- en kleigehaltes in functie van de diepte onder het bodemoppervlak.

Laag A

Vanaf de basis op 26cm tot op ongeveer -22cm onder het oppervlak komt een fijnkorrelig zandig sediment voor. Het zandgehalte bedraagt meer dan 40%. Opvallend is de afwezigheid van sedimentpartikels groter dan 125µm.

Laag B

Van -21cm tot ongeveer -10cm komt een laag voor met een lager zandgehalte (20 tot 30%). De korrelverdeling in deze laag vertoont weinig verschillen met de onderliggende laag. Het voornaamste verschil bestaat in een meer uitgesproken grove siltfractie tussen 63 en 32 μ m.

Laag C

Deze laag komt voor van ongeveer -10cm tot aan het oppervlak. Ze wordt gekenmerkt door aanzienlijke schommelingen in het zandgehalte dat varieert van minder dan 10% tot bijna 50%. De korrelverdeling van het sediment wordt vooral gekenmerkt door de aanwezigheid van grof silt (63 μ m - 8 μ m). In deze laag is vrijwel geen sediment grover dan 125 μ m aanwezig.

De densiteit maxima en minima worden ook in de korrelgrootte teruggevonden. Een hoge densiteit stemt overeen met een maximum in het zandgehalte en omgekeerd.

Korrelgrootte-minima vindt men op: -1.5 (-1 tot -3)¹, -5.5 (-5 tot -6), -8 tot -9 (-10 tot -11), -13 (?), -19 (-19 tot -21)cm. Korrelgrootte-maxima vindt men op: -3.5 (-3.5), -6 tot -7 (-7 tot -8), -11 tot -12 (-12 tot -13), -23 tot -25 (-23 tot -25)cm.

¹ De cijfers tussen de haakjes zijn de niveaus waarop de densiteit een maximum bereikt.

Organisch Materiaal

Het gehalte aan organisch materiaal is weergegeven in onderstaande tabel.

Boring #	Niveau cm	Klei <0.004mm	Organisch Materiaal %
97PS01-2	-2.50	38.57	5.90
97PS01-2	-3.50	44.31	5.50
97PS01-2	-4.50	48.99	5.18
97PS01-2	-5.50	31.69	7.42
97PS01-2	-6.50	19.90	4.51
97PS01-2	-7.50	38.88	6.47
97PS01-2	-8.50	42.68	7.91
97PS01-2	-9.50	40.00	8.07
97PS01-2	-11.00	28.92	3.71
97PS01-2	-13.00	36.15	5.08
97PS01-2	-15.00	35.35	4.65
97PS01-2	-17.00	36.54	4.11
97PS01-2	-19.00	31.87	4.09

Tabel 4: gehalte aan klei en aan organisch materiaal in functie van de diepte onder het oppervlak

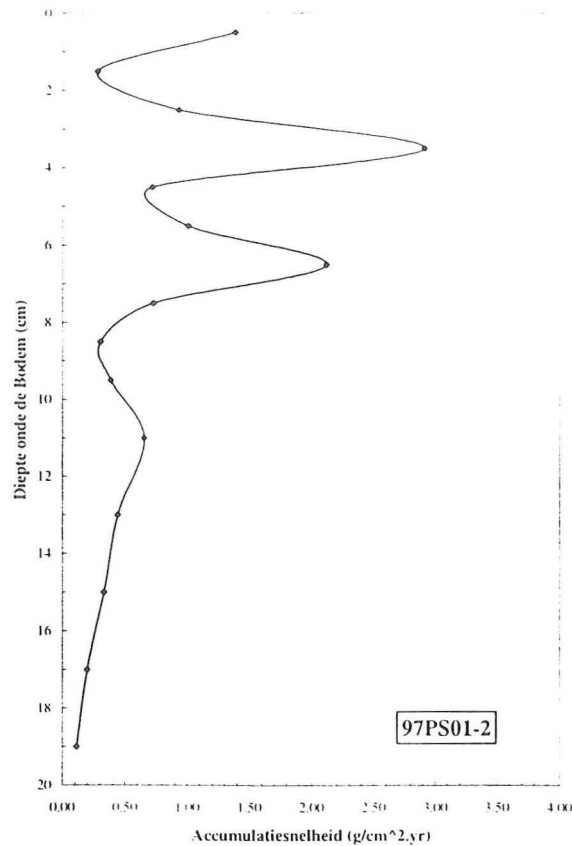
Zowel het kleigehalte als het gehalte aan organisch materiaal zijn hoger dan in de omgeving van het Groot Buitenschoor. Hier is dus geen onmiddellijke invloed van eventueel gestorte baggerspecie merkbaar.

De accumulatiesnelheid

De analyse van de radio-isotopen ^{210}Pb en ^{226}Ra toont helemaal geen regelmatig profiel waardoor een accurate berekening moeilijk is. De lagen, herkenbaar op basis van de korrelgrootte, zijn ook terug te vinden in het verloop van de activiteit van het ^{210}Pb . Onder het niveau -21cm komen zeer lage activiteiten voor. De activiteiten zijn iets hoger van -21cm tot ongeveer -9cm. In de bovenste laag tenslotte komen 3 lagen met hogere activiteiten voor. De waarden in de bovenste laag stemmen overeen met ^{210}Pb activiteiten gemeten op gesuspendeerd materiaal uit de geul van de Schelde in deze omgeving. Het betreft hier dus vrijwel zeker recent afgezet materiaal.

Volgens het CRS model bedraagt de accumulatiesnelheid in de bovenste lagen tussen 2 en 3g/cm^2 per jaar (zie figuur). Dit stemt overeen met respectievelijk -12 en -18mm per

jaar. Wanneer het volledige profiel in rekening wordt gebracht bedraagt de accumulatiesnelheid ongeveer 5.2mm per jaar. Het verschil tussen beide resultaten kan een gevolg zijn van het hiaat in de sedimentatie dat voorkomt rond -9cm. Berekening volgens het CIC model (waarden gemeten op niveaus 1.5 en 8.5cm) levert een accumulatiesnelheid op van 3.4mm per jaar.



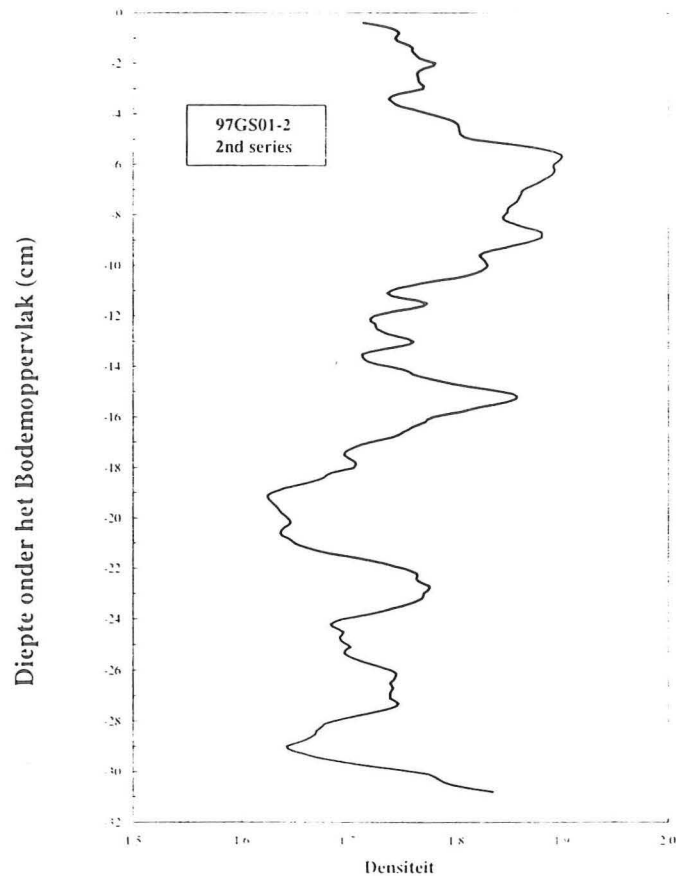
Figuur 13: accumulatiesnelheid berekent per niveau onder het oppervlak.

Er bestaat een onmiskenbaar verband tussen het densiteitprofiel, de korrelsamenstelling en de ^{210}Pb activiteit. Men stelt vast dat niveaus met een hogere densiteit niet alleen meer zand bevatten maar eveneens zeer lage ^{210}Pb activiteiten vertonen. Voorbeelden zijn de niveaus 1-2cm, 4-5cm en 8-10cm. Dit ondersteunt de reeds eerder aangevoerde argumentatie dat de zandfractie in deze niveaus waarschijnlijk uit baggerspecie bestaat.

Sedimentatie op het Galgeschoor

Densiteitprofiel

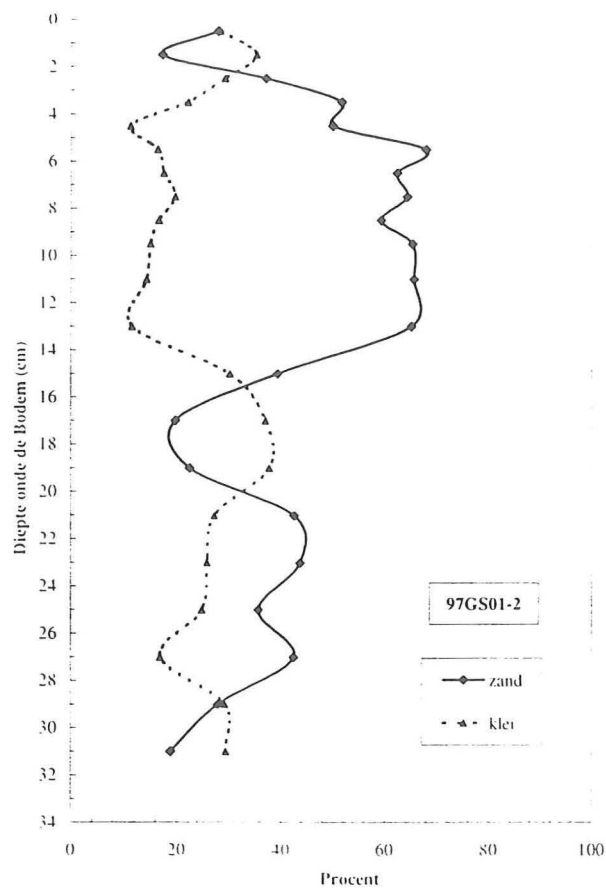
Twee profielen (97GS01-2 en 97GS03-2) werden onderzocht. In beide profielen is de densiteit vrij hoog en varieert tussen 1.5 en 2.1g/cm³. Een duidelijk patroon is niet aanwezig. Laagjes met een dikte van 1 tot enkele centimeter en een hoge densiteit wisselen af met dunnere laagjes van enkele millimeter dikte en lagere densiteit. Men verkrijgt echter een duidelijk beeld van de gelaagdheid wanneer het voortschrijdend gemiddelde van de densiteit in functie van de diepte uitgezet wordt.



Figuur 14: voortschrijdend gemiddelde van de densiteit in functie van de diepte onder het oppervlak.

*Korrelgrootte**Boring 97GS01-2*

De opeenvolgende sedimentlagen, herkenbaar in het densiteits-profiel, zijn ook op basis van de korreleigenschappen vrij goed onderscheidbaar. Het korrelgrootte-profiel vertoont lagen met een hoger zandgehalte (>40% zand), overeenstemmend met hogere densiteiten. Afwisselend hiermee komen lagen voor met een laag zandgehalte (<30%) en een lagere densiteit (<1.5g/cm³).



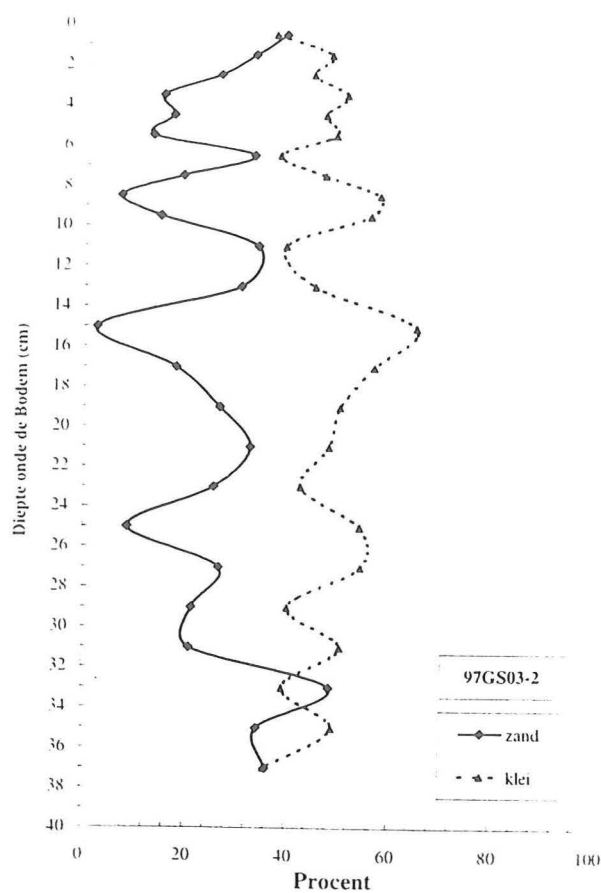
Figuur 15: zand- en kleigehaltes in functie van de diepte onder het oppervlak.

Afwijkingen in de overeenkomst tussen beide metingen zijn aan verschillende factoren te wijten. De densiteitanalyse gebeurt per millimeter en opsplitsing voor korrelgrootte per cm of per 2 cm. Invriezen van de boorkern veroorzaakt eveneens een kleine uitzetting.

Boring 97GS03-2

In deze boring komt een gelijksoortige opbouw voor als in boring 97GS01-2. Zandrijke lagen met hogere densiteit wisselen af met zandarme lagen met lagere densiteit.

De overeenkomst tussen het zandgehalte en de densiteit is vooral duidelijk op niveau's -6 tot -8cm, -10 tot -14 cm, -20 tot -24 cm en -26 tot -28 cm.



Figuur 16: zand- en kleigehaltes in functie van de diepte onder het oppervlak.

Organisch Materiaal

Het gehalte aan organisch materiaal voor de 2 onderzochte boorkernen is weergegeven in onderstaande tabellen.

Boring #	Niveau cm	Klei <0.004mm	Organisch Materiaal %
97GS01-2	-2.50	33.82	6.15
97GS01-2	-3.50	24.57	3.90
97GS01-2	-4.50	23.44	5.81
97GS01-2	-5.50	17.92	5.47
97GS01-2	-6.50	19.22	5.49
97GS01-2	-7.50	21.63	5.30
97GS01-2	-8.50	19.14	4.71
97GS01-2	-9.50	16.29	4.19
97GS01-2	-11.00	15.77	2.43
97GS01-2	-13.00	15.99	2.37
97GS01-2	-15.00	32.77	4.57
97GS01-2	-17.00	42.03	6.35
97GS01-2	-19.00	41.26	5.61
97GS01-2	-21.00	29.35	3.86

Tabel 5: gehalten aan klei en aan organisch materiaal in functie van de diepte onder het oppervlak.

Boring #	Niveau cm	Klei <0.004mm	Organisch Materiaal %
97GS03-2	-1.50	49.32	8.70
97GS03-2	-3.50	54.00	7.66
97GS03-2	-4.50	49.00	8.01
97GS03-2	-5.50	51.71	7.51
97GS03-2	-6.50	40.00	6.96
97GS03-2	-7.50	50.00	7.30
97GS03-2	-8.50	62.52	9.51
97GS03-2	-9.50	40.18	7.75
97GS03-2	-11.00	41.88	5.48
97GS03-2	-13.00	49.22	4.75
97GS03-2	-15.00	72.58	10.98
97GS03-2	-17.00	62.88	9.88
97GS03-2	-19.00	55.22	7.47
97GS03-2	-21.00	52.82	7.44

Tabel 6: gehalten aan klei en aan organisch materiaal in functie van de diepte onder het oppervlak.

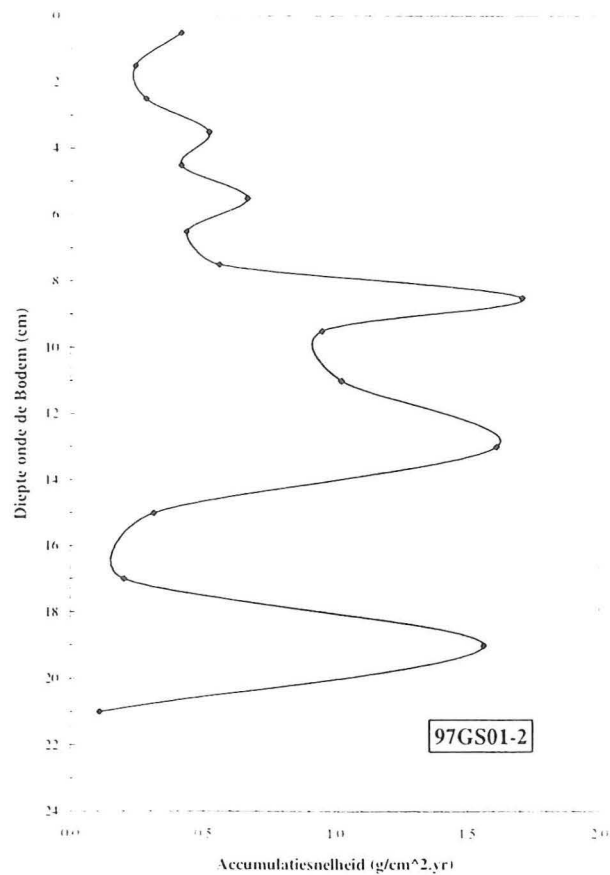
De sedimenten van boorkern 97GS01-2 hebben zowel een kleigehalte als een gehalte aan organisch materiaal dat vergelijkbaar is met de waarden gevonden op het Paardenschoor.

Boorkern 97GS03-2 vertoont echter duidelijk een hoger kleigehalte en een hoger gehalte aan organisch materiaal.

De accumulatiesnelheid

Boorkern 97GS01-2

De gemiddelde afzettingssnelheid, berekend volgens het CRS model bedraagt $0.7\text{g/cm}^2\cdot\text{jaar}$ of 4mm per jaar. Volgens het CIC model wordt een waarde van 3.5mm per jaar gevonden. Beide metingen geven dus zeer vergelijkbare waarden.

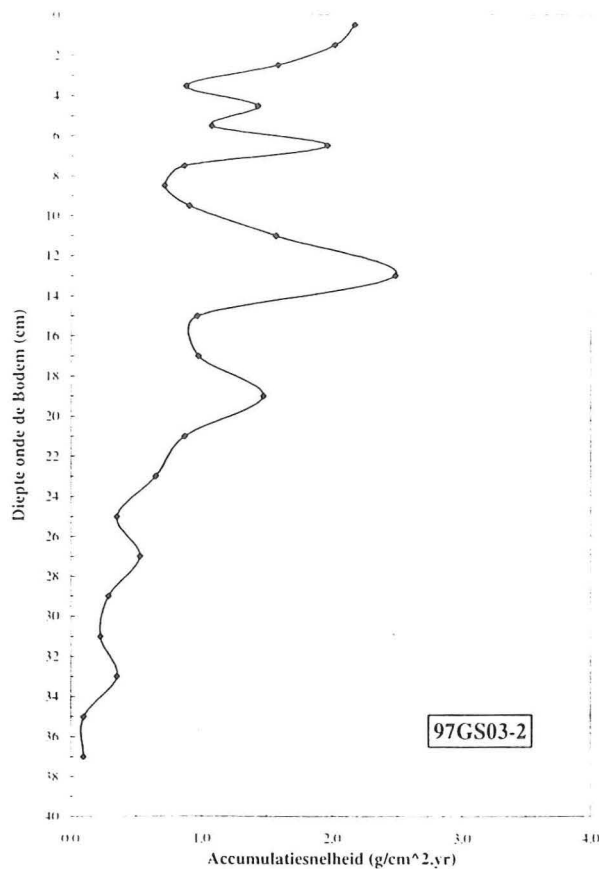


Figuur 17: accumulatiesnelheden berekend per niveau onder her oppervlak.

Hoge accumulatiesnelheden komen voor op niveaus -8 tot -10 , -12 tot -14 -18 tot -20cm . De 2 bovenste niveaus zijn zandige afzettingen.

Boorkern 97GS03-2

Het algemene verloop van de ^{210}Pb activiteit benadert een exponentiële afname met de diepte. De metingen op deze boorkern hebben dus een hogere graad van betrouwbaarheid. Abnormaal lage waarden worden waargenomen tussen 0 en -3cm, tussen -4 en -7cm en tussen -9 en -14cm (laag D). In de overige lagen kan de ^{210}Pb activiteit als normaal beschouwd worden.



Figuur 18: accumulatiesnelheden berekend per niveau onder het oppervlak.

Volgens het CRS model bedraagt de gemiddelde accumulatiesnelheid $1.02\text{g/cm}^2\cdot\text{jaar}$ of 6.83mm per jaar en is dus hoger dan in boorkern 97GS01-2. Er is ook een duidelijke toename aan accumulatiesnelheid waarneembaar naar de top. Het CIC model levert een accumulatiesnelheid op van 13.9mm per jaar.

Algemene opmerking met betrekking tot CRS en de CIC methode

Uit het onderzoek blijkt dat er soms grote verschillen bestaan tussen de CRS en de CIC methode. Deze verschillen zijn te wijten aan de afzetting van baggerspecie waarin geen ^{210}Pb activiteit aanwezig is en de verschillende verwerking hiervan door de CRS en de CIC methode.

De CRS methode gaat uit van de veronderstelling dat de toevoer van ^{210}Pb constant is en de sedimentaanvoer veranderlijk is in de tijd. Er kunnen zich hier drie mogelijkheden voordoen:

1. De sedimentaanvoer is constant en dus neemt de ^{210}Pb activiteit exponentieel af met de diepte.
2. De sedimentaanvoer is niet constant en er komen periodes voor met een versnelde sedimentatie. Het versneld aangevoerde sediment bezit een “normale” ^{210}Pb activiteit. De afname aan ^{210}Pb activiteit gebeurt nu trapsgewijze doordat de beschouwde lagen een gelijkblijvende ^{210}Pb activiteit vertonen.
3. De sedimentaanvoer is niet constant en er komen periodes voor met een versnelde sedimentatie. Het versneld aangevoerde sediment bezit geen ^{210}Pb activiteit. Het exponentiële profiel wordt nu onderbroken door lagen met een zeer lage ^{210}Pb activiteit.

In het laatste geval treedt dus een sterke verdunning op van de ^{210}Pb concentratie. Dit is wat er gebeurt bij het storten van baggerspecie. De CRS methode zal met deze lagen geen rekening houden want er is geen toename aan activiteit met de diepte. Met andere woorden de CRS houdt alleen rekening met het natuurlijke sediment.

De CIC methode echter berekent de gemiddelde accumulatiesnelheid over de ganse diepte. Deze methode veronderstelt dat alle lagen dezelfde initiële ^{210}Pb activiteit bezaten. Zodoende worden ook lagen bestaande uit baggerspecie meegerekend en zal de accumulatiesnelheid groter zijn dan deze gevonden met de CRS methode.

De waargenomen verschillen tussen beide methoden geven dus een maat voor de aanvoer van baggerspecie in het beschouwde gebied.

Samenvatting

Volgende tabel geeft een samenvatting van de berekende accumulatiesnelheid. Er dient hier opgemerkt te worden dat de accumulatiesnelheid slaat op de afzetting van “slib” dit wil zeggen het sediment $<0.063\text{mm}$. Dit slib is slechts een fractie $a\%$ is van het totale sediment. De berekende accumulatiesnelheid is dus eveneens een evenredige fractie $a\%$ van de totale accumulatiesnelheid, berekend volgens de CRS methode.

lokaliteit	boorkern #	accumulatiesnelheid		toevoersnelheid
		$\text{g/cm}^2\cdot\text{yr}$	mm/yr	Bq/g.klei
Groot Buitenschoor	97GB10-2	0.73	4.47	0.020
Groot buitenschoor	97GBL-2	0.00	0.00	0.000
Galgenschoor	97GS01-2	0.40	2.35	0.024
Galgenschoor	97GS03-2	0.58	3.87	0.088
Paardenschoor	97PS01-2	0.57	3.58	0.035

Tabel 7: gemiddelde accumulatiesnelheid, berekend volgens de CRS methode, en toevoersnelheid van atmosferisch ^{210}Pb voor ieder gebied.

De accumulatiesnelheid is duidelijk het grootst op het Groot Buitenschoor achter de leidam ($0.73\text{g/cm}^2\cdot\text{jaar}$). Op het Galgeschoor en het Paardenschoor zijn vergelijkbare accumulatiesnelheden gevonden de gemiddelde waarde bedraagt hier $0.52\text{g/cm}^2\cdot\text{jaar}$ of 3.27mm/jaar .

De accumulatiesnelheid geeft een beeld van de totale hoeveelheid sediment dat gemiddeld per jaar afgezet wordt. Belangrijker dan het totale sediment is het echter na te gaan hoeveel slib ($<63\mu\text{m}$) of hoeveel organisch materiaal er op iedere plaats afgezet wordt. Daarom werden de gemiddelde hoeveelheden slib en organisch materiaal per boorkern berekend. Op basis van deze gegevens en van de gemiddelde accumulatiesnelheid werden vervolgens de partiële afzetting van slib en organisch materiaal berekend (tabel 8).

lokaliiteit	boorkern	slib	organisch materiaal
	#	g/cm ² .yr	g/cm ² .yr
Groot Buitenschoor	97GB10-2	0.38	0.02
Groot buitenschoor	97GBL-2	0.11	0.01
Galgenschoor	97GS01-2	0.21	0.02
Galgenschoor	97GS03-2	0.41	0.04
Paardenschoor	97PS01-2	0.41	0.03

Tabel 8: partiële afzettingen van slib (fractie <63µm) en van organisch materiaal.

De resultaten tonen geen verschil aan in de afzetting van slib op het Groot Buitenschoor (binnen de leidam), het Paardenschoor, en op een gedeelte van het Galgenschoor. De hoeveelheid organisch materiaal echter afgezet op het Galgenschoor is het dubbele van de afzetting op het Groot Buitenschoor.

Het gedeelte van het Groot Buitenschoor buiten de leidam (97GBL-2) wordt gekenmerkt door een zeer lage slibafzetting en een bijzonder lage sedimentatie van organisch materiaal.

De gevonden verschillen in het gehalte aan organisch materiaal zijn belangrijk. Inderdaad, het organisch materiaal vervult een belangrijke rol niet alleen als nutriënt maar ook als drager van pollutanten. Grote verschillen in concentratie zijn dus niet zonder belang voor het milieu.

LITERATUUR

- Appleby P.G. & Oldfield F., 1984. The assessment of ²¹⁰Pb data from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiologia*, 103, 29-35.
- Evans R.D., 1991. The impact of sediment focusing on total residual ²¹⁰Pb: implications for choice of a dating model. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24, 2335-2339.
- Robbins J.A. & Herche L., 1993. Models and uncertainty in ²¹⁰Pb dating of sediments. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25, 217-222.
- Wartel S., Barusseau J.P. & Cornand L., 1995. Improvement of grain-size analysis using the automated SEDIGRAPH 5100. Royal Belgian Institute of Natural Sciences. Studiedokumenten 80. 28pp.