

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

*Sedigrafische analyse van het lutumgehalte van
bodemmonsters van Westerschelde en Beneden-
Zeeschelde en vergelijkend onderzoek met de
laserdiffractie methode*

Stanislas Wartel¹ & Margaret Chen^{1,2}



¹Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen

²Vrije Universiteit Brussel

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

*Sedigrafische analyse van het lutumgehalte van
bodemmonsters van Westerschelde en Beneden-
Zeeschelde en vergelijkend onderzoek met de
laserdiffractie methode*

Stanislas Wartel¹ & Margaret Chen^{1,2}



¹Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen

²Vrije Universiteit Brussel

SEDIGRAFISCHE ANALYSE VAN HET LUTUM-GEHALTE VAN BODEMMONSTERS VAN WESTERSCHELDE EN BENEDEN- ZEESCHELDE EN VERGELIJKEND ONDERZOEK MET LASERDIFFRACTIE METHODE

A. Inleiding

Onderhavig rapport handelt over een vergelijkend onderzoek tussen twee verschillende methoden om de korrelgrootteverdeling van estuariene sedimenten te bepalen.

De korrelgrootteverdeling van sedimenten kan langs verschillende weg bepaald worden. Twee veel gebruikte methoden zijn enerzijds de meting van de concentratiegradiënt in een gesuspenseerd sediment, en anderzijds de meting van de oppervlakte van partikels terwijl die doorheen een lichtstraal passeren. Het is genoegzaam gekend dat de resultaten sterk verschillen naargelang de gebruikte methode.

De vraag kan nu gesteld worden in hoeverre de resultaten bekomen met beide methoden onderling vergelijkbaar zijn?

B. Methodiek

Omdat de gebruikte methoden aan de basis liggen van het hier voorgestelde onderzoek worden ze in de volgende paragrafen zo gedetailleerd als nodig is weergegeven.

B.1. De Sedigraaf methode

B.1.1. Mengen

Voorafgaand aan de analyse wordt het vochtige sedimentstaal zo goed mogelijk gemengd. Van dit gemengde staal wordt een substaal genomen dat gedroogd wordt hetzij door lyophilisatie hetzij door drogen in een oven gedurende 12 uur bij een temperatuur van 105°C. De laatste methode heeft het nadeel dat voor lutumrijke¹ sedimenten het

¹ Lutum is synoniem voor klei als sedimentfractie en slaat op alle partikels kleiner dan 2 µm.

aanwezige lutum zal verharden en dus een verdere onderverdeling van het sediment onmogelijk wordt.

Van het gedroogde staal wordt ongeveer 15 gram, voor een slibrijk sediment, en 20 gram voor een zandstaal, tot op 0.01 g nauwkeurig afgewogen (W2) in een vooraf gewogen brede beker van 1 liter (W1).

B.1.2. Verwijderen van het organisch materiaal

30 ml verdund waterstofperoxide (1/3 verdund technische 27% oplossing van waterstofperoxide) wordt aan het droge staal toegevoegd. Het toevoegen gebeurt in een rookvang. De reactie, die zeer hevig kan zijn, laat men gedurende 2 uur doorlopen. Wanneer de reactie geluwd is kan het staal op een warmplaat (60°C) ingedampt worden. Dit moet onder voortdurende controle gebeuren zodat wanneer de reactie te hevig wordt de beker met behulp van een bekerklem van de warmplaat genomen kan worden. In het laatste geval kan de beker na afkoeling opnieuw op de warmplaat geplaatst worden.

Wanneer het staal volledig is ingedampt wordt opnieuw 30 ml verdund waterstofperoxide toegevoegd bij verwarming tot 60°C. Het staal wordt vervolgens volledig ingedampt waarna opnieuw 30 ml verdund peroxide toegevoegd wordt. Dit proces wordt herhaald tot toevoegen van nieuw peroxide geen reactie meer veroorzaakt.

B.1.3. Verwijderen van kalk

Na verwijdering van het organisch materiaal wordt 30 ml chloorwaterstofoplossing (1N) toegevoegd. Indien opbruising optreedt wordt na 15 minuten het staal omgeroerd en opnieuw 30 ml chloorwaterstofoplossing (1N) toegevoegd. Dit proces wordt herhaald tot geen opbruising bij toevoeging van chloorwaterstofoplossing meer waar te nemen is. Na 15 minuten wordt het staal omgeroerd. Indien opbruising optreedt wordt het omroeren met tussenpozen van een half uur herhaald tot geen opbruising meer zichtbaar is.

B.1.4. Spoelen

Nadat organisch materiaal en kalk verwijderd zijn wordt het staal gespoeld om alle resterende zouten te verwijderen en een stabiele suspensie te bekomen.

De beker met het staal wordt daarvoor een eerste maal volledig gevuld met leidingwater. Na 24 uur zal alle sediment bezonken zijn en kan het heldere water afgeheveld worden. Daarop wordt de beker een tweede maal gevuld ditmaal met gedemineraliseerd water. 24 uur later zal alle sediment bezonken zijn en opnieuw kan het heldere water afgeheveld worden. Het staal wordt nu overgebracht in een voorafgewogen kleine beker van 250 ml (W3) en de beker wordt gevuld met gedemineraliseerd water. Indien na 24 uur alle sediment bezonken is wordt het heldere water afgeheveld en wordt de beker opnieuw gevuld met gedemineraliseerd water. Dit proces wordt herhaald tot er na 24 uur een waarneembare suspensie aanwezig is.

De beker met de suspensie wordt in een oven geplaatst bij 105°C en volledig ingedampt. Daarna laat men de beker afkoelen tot kamertemperatuur waarna hij gewogen wordt (W4).

Aan de hand van de weegresultaten (W1 tot W4) wordt het uitgangsgewicht en het gewichtsverlies bij de voorbehandeling berekend.

B.1.5. Suspenderen van het staal

Het droge staal wordt opnieuw in suspensie gebracht in 50 ml gedemineraliseerd water. Deze suspensie wordt stabiel gemaakt door toevoegen van 5 ml van een disperaserende oplossing. Het hier gebruikte dispersiemiddel bestaat uit een oplossing van 1.33 g natriumcarbonaat en 8.93 g natriumoxalaat per liter water. De suspensie wordt vervolgens goed gemengd door oproeren met een glazen staaf waarna ze gedurende minstens 15 minuten verder gemengd wordt met behulp van een magnetische roerder.

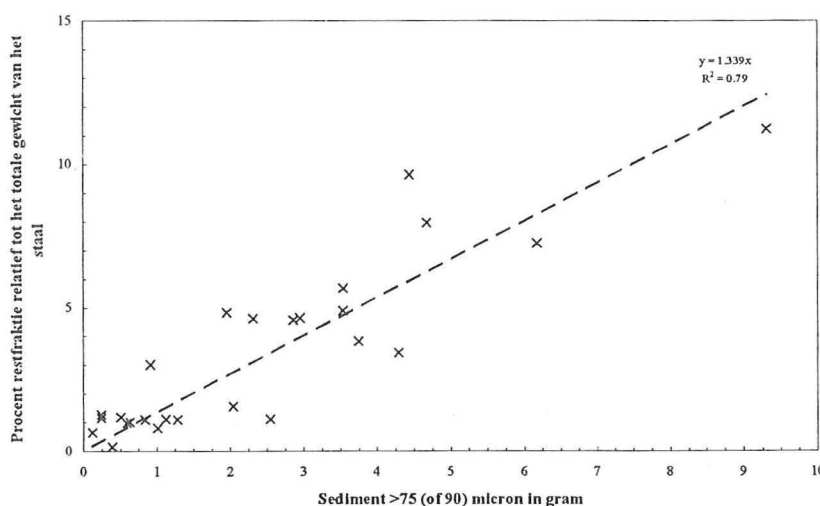
B.1.6. Natte zeving op 75 μm

De stabiele suspensie wordt vervolgens nat gezeefd op een zeef met een maasopening van 75 μm . De keuze van de zeefopening van 75 μm berust op het feit dat deze korrelgrootte

nog probleemloos meetbaar is met de sedigraaf enerzijds en geen groot probleem stelt voor de natte zeving anderzijds. Een fijnere maasopening is af te raden omwille van het feit dat een representatieve natte zeving zeer moeilijk wordt. Het is eenvoudig experimenteel vast te stellen dat bij kleinere maasopeningen een belangrijke hoeveelheid korrels fijner dan de zeefopening op de zeef weerhouden wordt.

De fraktie grover dan 75 μm wordt opgevangen in een voorafgewogen kleine beker van 150 ml (W5), ingedampt bij 105 °C en gewogen (W6).

De fraktie fijner dan 75 μm wordt opgevangen in een brede beker van 1 liter, ingedampt tot ongeveer 100 ml en overgeheveld in een kleine beker van 150 ml, waarin ze verder langzaam ingedampt wordt tot 100 ml suspensie overblijft.

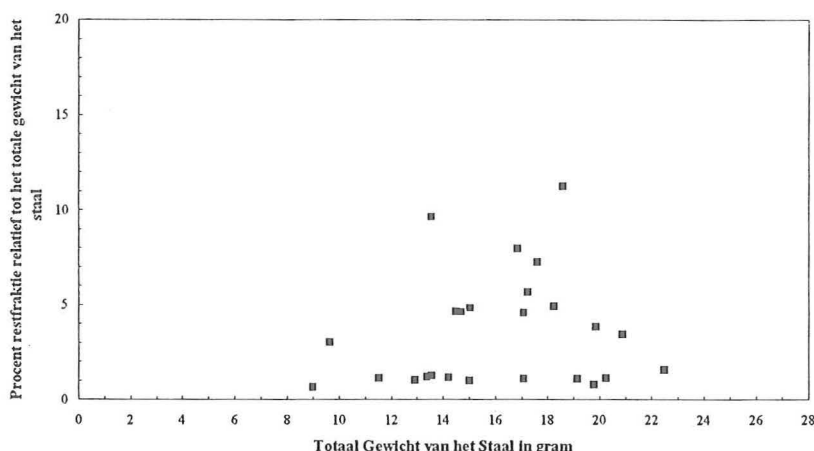


Figuur 1: restfraktie, als procent van het totale staal, in functie van de sedimentfraktie (in gram) groter dan de zeefopening gebruikt bij natte zeving (75 of 90 μm).

B.1.7. De droge zeving

De fraktie grover dan 75 μm wordt na drogen en wegen gezeefd doorheen een zeefserie met een zeefinterval van 0.5 phi ($\phi = -\log_2 d_{\text{mm}}$). De keuze van de zeef met grootste maasopening is afhankelijk van het te analyseren staal. Voor een grof zand zal men beginnen zeven bij 2 mm voor een fijn zand kan 0.5 mm of zelfs 0.25 mm volstaan. De

zeef met de kleinste zeefopening is dezelfde als deze gebruikt voor de natte zeping (75 μm in deze studie).

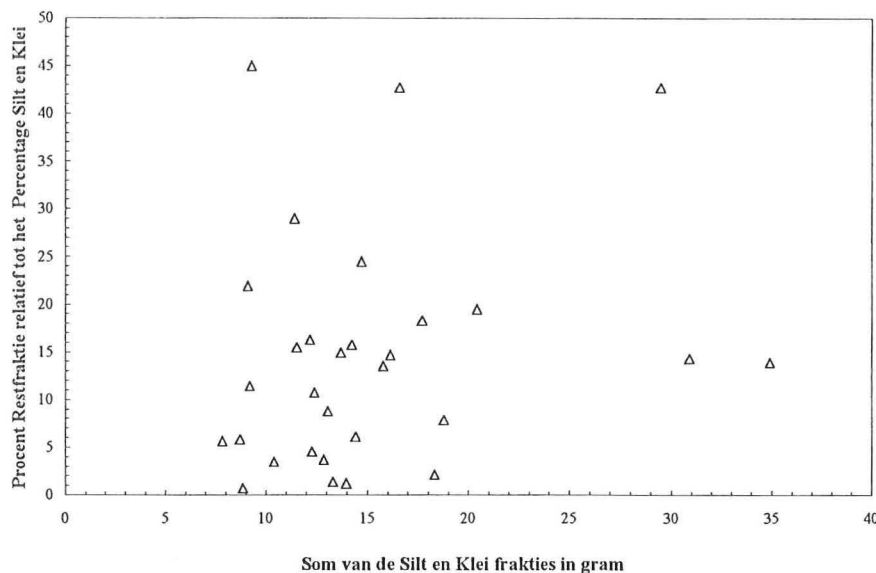


Figuur 2: restfraktie, als procent van het totale staal, in functie van het gewicht van het totale staal.

Wentworth heeft aangetoond dat het zeefproces eigenlijk nooit volledig is. Hoe lang men ook zeeft er blijft steeds een kleine hoeveelheid fijnere partikels op de zeef achter. In de praktijk zal men veelal zeven gedurende 20 minuten waarna men veilig kan aannemen dat meer dan 70% van de fijnere partikels door de zeven gepasseerd zijn (Krumbein & Pettijohn, 1938). Ook bij de natte zeping blijft een deel van het sediment fijner dan 75 μm op de zeef weerhouden zoals volgt uit het feit dat er bij de droge zeping nog fijn materiaal doorheen de zeef van 75 μm gaat (restfraktie).

Deze restfraktie is proportioneel tot de fraktie grover dan 75 μm (figuur 1) maar is onafhankelijk van zowel de grootte van het staal (figuur 2) als van de silt en kleifraktie (figuur 3).

In de praktijk wordt de restfraktie samengevoegd met de fraktie $< 75 \mu\text{m}$ vooraleer over te gaan tot de sedigraaf analyse.



Figuur 3: restfraktie, als procent van het silt en lutumgehalte, in functie van het gewicht van de hoeveelheid silt en lutum (in gram).

B.1.8. De sedigraafanalyse

De sedigraaf werkt volgens hetzelfde basisprincipe als de zeer bekende pipette- of dekantatiemethode. Het sedimentstaal wordt in suspensie gebracht en gehomogeniseerd, waarna de sedimentconcentratie gemeten wordt in functie van de tijd, op een vooraf bepaalde diepte onder het wateroppervlak en bij een stabiele temperatuur (32°C). De afname in sedimentconcentratie met de tijd is functie van het korrelgroottespectrum van het sediment. De sedigraafmethode verschilt wezenlijk van de pipettemethode in de wijze waarop de sedimentconcentratie gemeten wordt. Bij de pipettemethode gebeurt dit gravimetrisch door staalname van een kleine hoeveelheid suspensie (meestal 50 ml) die uitgedampt en gewogen wordt. De sedigraaf meet de sedimentconcentratie aan de hand van de absorptie van röntgenstralen in een stabiele X-stralenbundel. Hierbij wordt uitgegaan van de vooropstelling dat de massa-absorptiecoëfficiënt, en dus de chemische samenstelling, constant blijft voor de verschillende korrelgroottefrakties.

Een belangrijk voordeel van de sedigraaf is het feit dat in de beginfase zowel de homogeniteit van de suspensie als de totale sedimentconcentratie nauwkeurig bepaald worden. Bij de pipettemethode zijn deze bepalingen praktisch niet mogelijk. Ook het

homogeniseren van het staal door gelijktijdig roeren en ultrasonenbehandeling is belangrijk omdat hierdoor vrijwel alle fijne partikels die door adhesie aan grovere siltpartikels kleven vrijgemaakt worden. Een vorige studie heeft uitgewezen dat deze voorbehandeling kan verklaren waarom de sedigraaf systematisch meer lutum (en minder silt) aangeeft dan de pipetmethode (Wartel et al., 1995).

Een laatste, niet onaanzienlijk, voordeel van de sedigraaf is natuurlijk ook het feit dat alles automatisch verloopt en dat de meettijd per staal zeer kort is (ongeveer 20 minuten).

B.1.9. Verwerking van de gegevens

De voorbehandeling van de stalen voor de laser-diffractie methode verschilt een weinig van de hierboven besproken methode.

Alle gegevens worden samengebracht en verwerkt met behulp van speciaal daarvoor ontworpen informatica software SEDAN2001. Deze software controleert het ganse analyseproces vanaf het ruwe staal tot de volledige berekening van alle gebruikelijke statistische korrelgrootteparameters en het uittekenen van het korrelgroottespectrum.

B.2. de laserdiffractie methode

De voorbehandeling van het sedimentstaal voor de laserdiffractie methode (Temmerman, 1999) verschilt niet veel van de hierboven beschreven methode.

Na volledige homogenisatie wordt het monster behandeld met waterstofperoxide gedurende 48 uur en vervolgens gedurende 24 uur met chloorwaterstof. Het monster wordt niet gezeefd maar als dusdanig in de laserdiffractometer gebracht, waar het korrelgoottespectrum tussen 2 en 900 μm opgemeten wordt.

C. Vergelijkend onderzoek

Een vergelijkend onderzoek tussen de laserdiffractie methode en de sedigraaf methode werd uitgevoerd op 26 bodemmonsters afkomstig van de Westerschelde en de Beneden Zeeschelde. Ieder monster werd met beide methoden geanalyseerd. Voor de laserdiffractie methode gebeurde dit op het Laboratorium van de Vlaamse Milieu Maatschappij en voor de Sedigraaf op het Laboratorium voor Sedimentologie van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen. Tabel 1 (in bijlage) geeft een overzicht van de herkomst van de bodemmonsters en tabel 2 (in bijlage) geeft een overzicht van de meetresultaten.

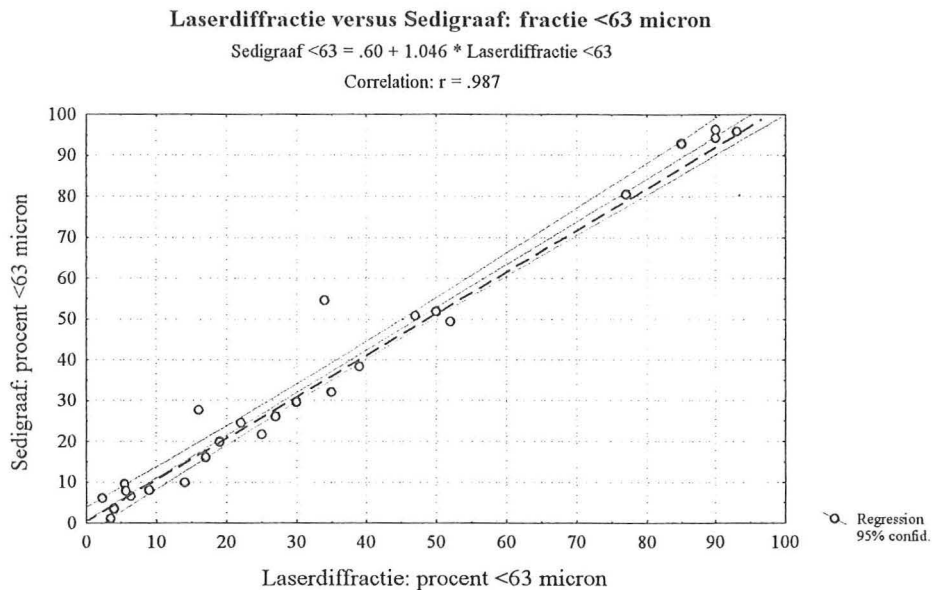
Er dient van meetaf aan op gewezen te worden dat voor het hier besproken vergelijkend onderzoek geen referentiestalen gebruikt werden. Dit betekent dat rekening moet gehouden worden met een mogelijke interne meetfout zowel voor het onderzoek met de Sedigraaf als voor de laserdiffractie methode. Een mogelijke bron van fouten werd reeds vermeld bij de bespreking van de methodiek.

Dat beide methoden niet hetzelfde resultaat opleveren is geweten. Echter, de eerste vraag die kan gesteld worden is na te gaan of de afwijking, vastgesteld tussen beide methoden, lineair is. Om deze vraag te beantwoorden werden 2 korrelgroottefracties beschouwd: (a) de totale fractie kleiner dan $63\ \mu\text{m}$ omdat het van deze fractie is dat het korrelgroottespectrum met de bedoelde methoden gemeten wordt. (b) de fractie kleiner dan $2\ \mu\text{m}$ omdat deze klei- of lutumfractie als standaard geldt voor de normalisering van scheikundige elementen in het sediment.

C.1. Vergelijking van de silt- en lutumfracties

In de eerste plaats wordt nagegaan of de uitgangssituatie van de meting betrouwbaar is. Dit wil zeggen dat men er moet kunnen van uitgaan dat beide methoden op zijn minst een gelijke hoeveelheid materiaal vinden in de fracties die gemeenschappelijk gemeten worden dit wil zeggen de silt en lutumfracties (fractie $<63\ \mu\text{m}$). De zandfractie, grover

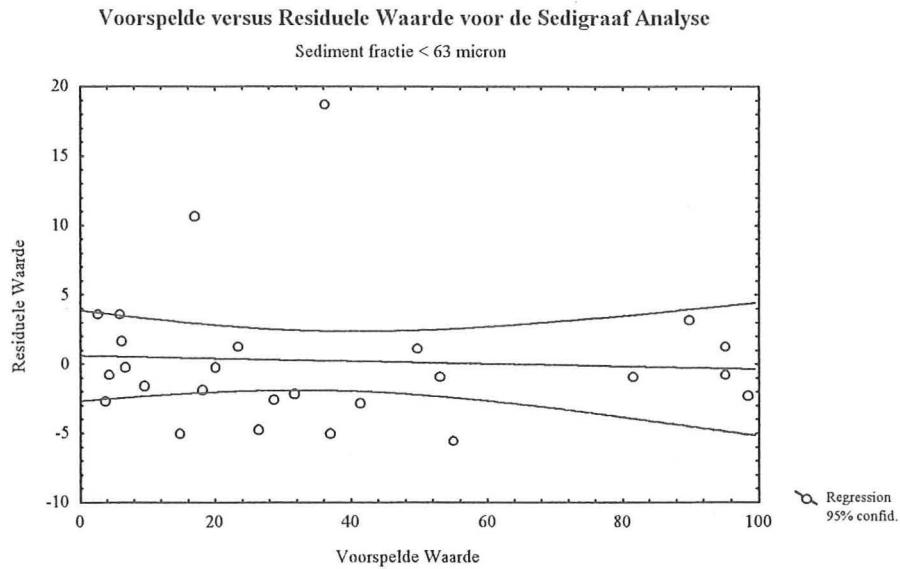
dan 63 µm, wordt in het geval van de sedigraaf methode op een ander wijze gemeten, namelijk door droge zeving, en valt buiten dit vergelijkend onderzoek.



Figuur 4: verband tussen de fractie <63 µm gemeten respectievelijk met de laserdiffractie methode en met de sedigraaf. Vanaf 25% <63 µm geeft de sedigraaf hogere waarden. Het verschil neemt toe naarmate de fractie <63 µm belangrijker wordt. Voor 8 op 26 resultaten valt het resultaat van de sedigraaf buiten de door de laserdiffractie methode voorspelde waarde.

De grafiek in figuur 4 toont aan dat er voor de silt en lutumfrakties tussen beide methoden inderdaad een lineair verband bestaat. Wel dient hierbij opgemerkt te worden dat de sedigraaf ongeveer 5 % meer materiaal fijner dan 63 µm aangeeft dan de laserdiffractometer.

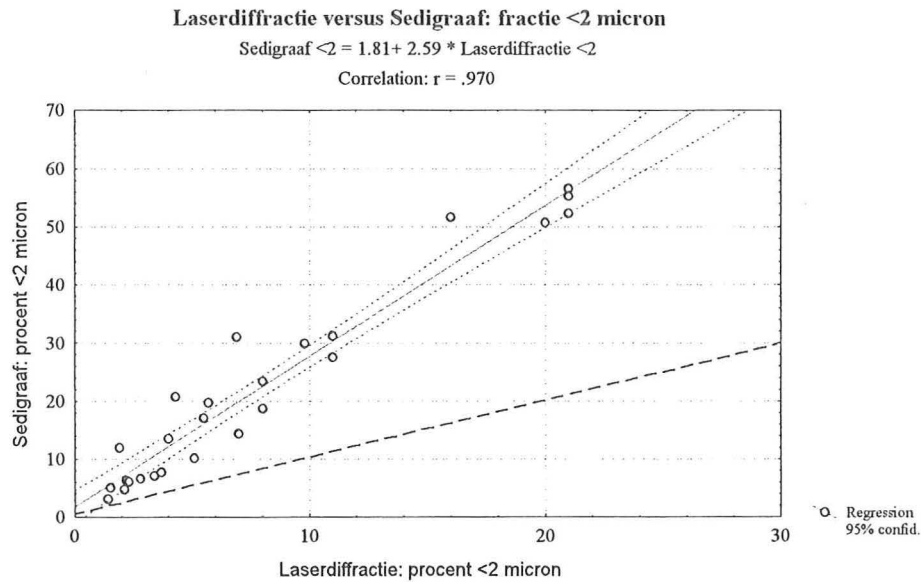
In figuur 5 is voor iedere analyse de residuwaarde uitgezet in functie van de voorspelde waarde. De residuwaarde is het verschil tussen de gemeten waarde en de voorspelde waarde. Om van een goede correlatie te kunnen spreken moet de residuwaarde kleiner zijn dan tweemaal de spreiding (2σ). Uit figuur 5 blijkt dat voor een aantal metingen de spreiding rond de voorspelde waarde buiten de $\pm 2\sigma$ zone valt. Voor 2 analyses bedraagt de afwijking ten opzichte van de voorspelde waarde meer dan 10% en voor 4 analyses meer dan 5%. Dit betekent dat voor 23% van de analyses de gevonden correlatie niet erg betrouwbaar is.



Figuur 5: de afwijking of 'residuwaarde' ten opzichte van de voorspelde waarde voor de sedigraaf-fractie < 63 μm . Er zijn 2 sterk afwijkende en 4 afwijkende analyses

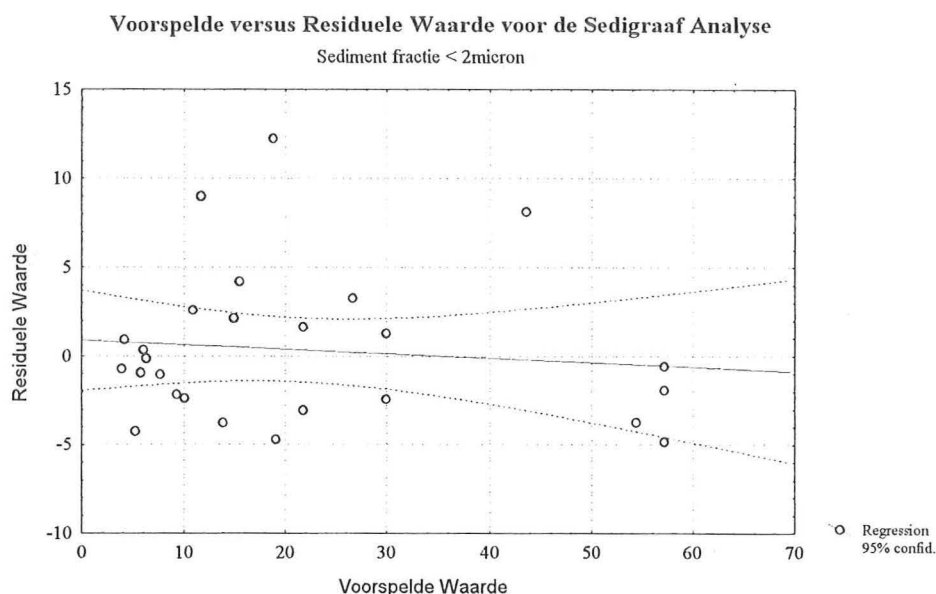
C.2. Vergelijking van de lutum fracties

Voor de lutumfractie, kleiner dan 2 μm , is het verschil tussen de sedigraaf en de laserdiffractie methode aanzienlijk groter dan voor de silt- en lutumfracties samen. Het lutumgehalte gemeten met de sedigraaf is bij benadering 2.6 keer hoger dan de meting met de laserdiffractie methode. Een sediment dat een lutumgehalte van 20% meet met de laserdiffractie methode heeft volgens de sedigraaf methode een lutumgehalte van 55%. Het gevonden verschil bedraagt in dit geval dus 35%.



Figuur 6: verband tussen de fractie <2 μm gemeten respectievelijk met de laserdiffractie methode en met de sedigraaf. De sedigraaf geeft systematisch hogere waarden. Het verschil neemt toe naarmate de fractie <2 μm belangrijker wordt. Voor 12 op 26 resultaten valt het resultaat van de sedigraaf buiten de door de laserdiffractie methode voorspelde waarde

De spreiding van de residuwaarde rond de voorspelde waarde is meer dan 8% voor 3 analyses en voor 6 analyses is de afwijking meer dan 3% (figuur 7).



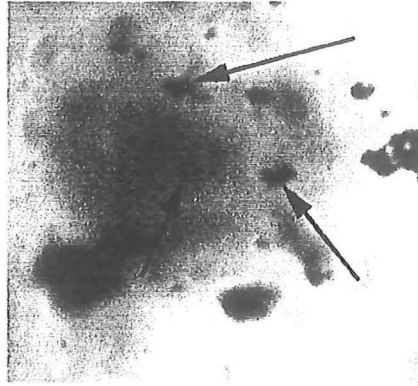
Figuur 7: de afwijking, of residuwaarde, ten opzichte van de voorspelde waarde voor de sedigraaf-fractie < 2 μm . Er zijn duidelijk 3 op 26 resultaten die sterk afwijken en als onbetrouwbaar dienen beschouwd te worden.

De vraag dringt zich nu op waaraan het verschil tussen de laserdiffractie methode en de sedigraaf te wijten is. Op het eerste gezicht blijkt het verschil er in te bestaan dat de sedigraaf meer korrels in de siltfractie “ziet” en dat daardoor het aandeel van de fijne fractie relatief kleiner wordt.

In dit opzicht dient gewezen te worden op het verschil in meetprincipe tussen de sedigraaf en de laserdiffractie methode. De sedigraaf meet zeer accuraat een sedimentmassa die gesuspendeerd is in een nauwkeurig gekend volume, en meet ook de verandering van die massa in functie van de tijd. Deze methode is gebaseerd op de massa-absorptiecoëfficiënt voor roentgenstralen en dus, voor een gegeven chemische samenstelling van het sediment, is dit een zeer betrouwbare en stabiele meting. De korrelgrootteverdeling uiteindelijk wordt bepaald aan de hand van de verandering in sedimentconcentratie in de tijd.

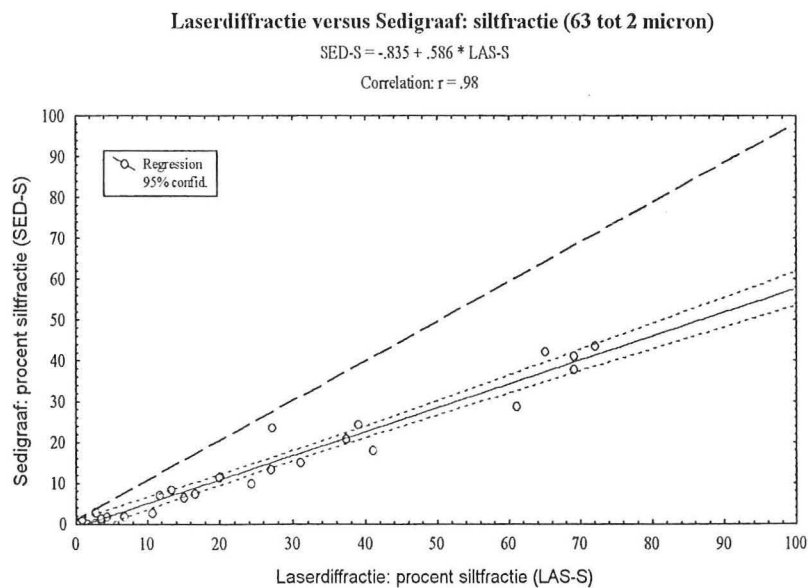
De laserdiffractie methode meet de lichtdiffractie van het geprojecteerd oppervlak van iedere korrel die zich in de laserstraal aandient. Door een snelle meting van een zeer groot aantal oppervlaktes en omrekening van de oppervlaktes naar overeenkomstige diameters kan een korrelgrootteverdeling bepaald worden. De korrelverdeling is dus afhankelijk van

de gemeten oppervlaktes. De omrekening naar een diameter is arbitrair aangezien slechts 2 van de 3 assen gekend zijn. Een ander probleem dat zich hier stelt is dat een grotere korrel veel kleinere korrels zal afschermen voor de lichtstraal waardoor de kans bestaat dat kleinere korrels relatief ondergewaardeerd worden.



Figuur 8: voorbeeld van gesuspenderde korrels. De pijlen tonen kleine korrels die zich in het schaduwveld van grotere korrels bevinden en niet meegeteld worden bij de laserdiffractie methode.

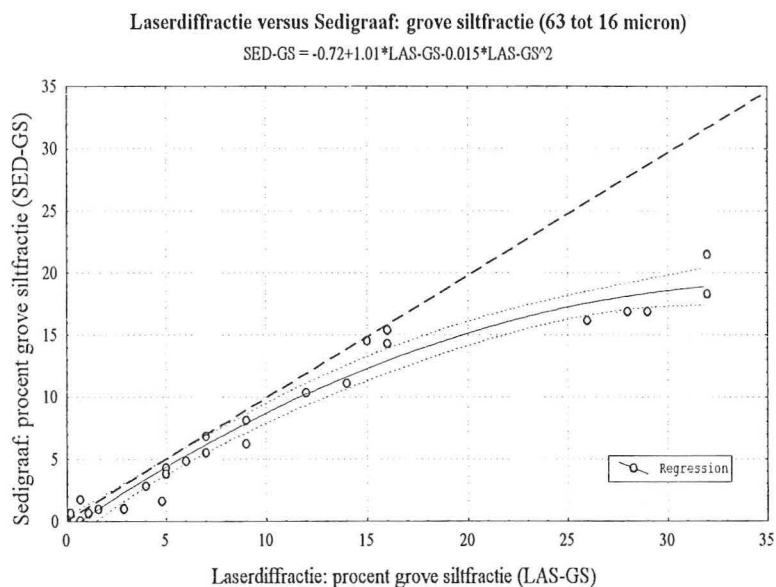
Bovendien zullen bij lichtdiffractiemeting kleine korrels die zich dicht in elkaars buurt bevinden als een enkele 'grote' korrel gemeten worden. Ook dit zal leiden tot onderwaardering van de fijnere fracties.



Figuur 9: verband tussen de siltfractie (van 63 tot 2 μm) gemeten respectievelijk met de laserdiffractie methode en met de sedigraaf. De sedigraaf geeft steeds lagere waarden. Het verschil neemt sterk toe naarmate de siltfractie belangrijker wordt. Voor minstens 6 op 26 resultaten valt het resultaat van de sedigraaf buiten de door de laserdiffractie methode voorspelde waarde

De zojuist besproken problemen zijn weerspiegeld in de verhouding tussen de grove siltfractie (63-16 µm) gemeten met de laserdiffractometer tot dezelfde fractie gemeten met de sedigraaf.

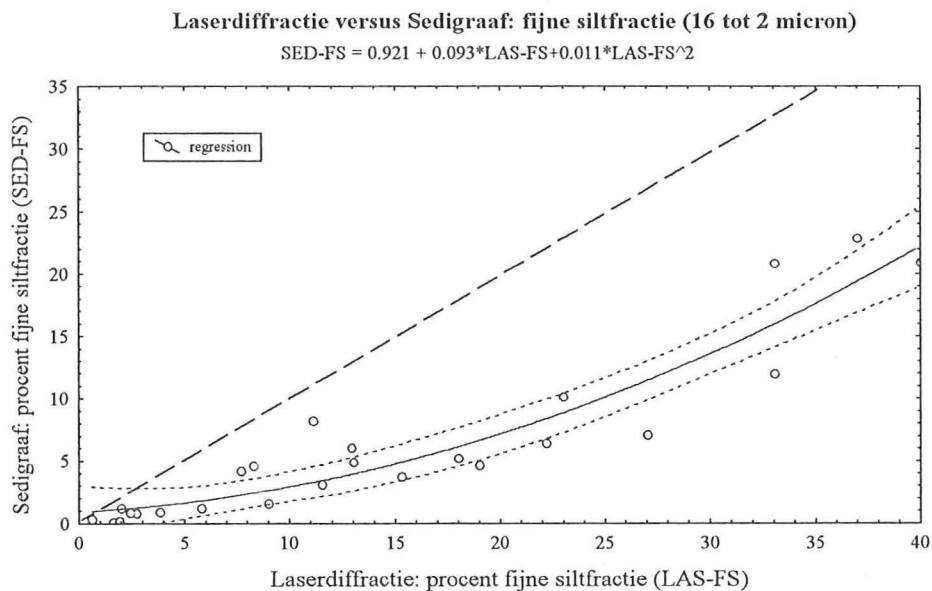
In figuur 9 is duidelijk te zien dat de laserdiffractometer meer korrels 'ziet' dan de sedigraaf. Opvallend is echter wel dat het verband tussen beide methoden niet lineair maar logaritmisch is zodat het verschil proportioneel toeneemt naarmate er meer grove korrels zijn (figuur 10). Met andere woorden hoe meer grove korrels hoe groter de kans dat kleinere korrels afgeschermd worden en dus dat de fijne fractie relatief minder vertegenwoordigd lijkt.



Figuur 10: vergelijking tussen de grove siltfractie (GS = 63 tot 16 µm) gemeten met de laserdiffractie methode (LAS) en met de sedigraaf (SED). Het is duidelijk dat het gemeten aandeel van de grove siltfractie groter is bij de laserdiffractie methode. Het verschil neemt sterk toe met toenemend gehalte aan grof silt.

Een vergelijking tussen de fijne siltfractie gemeten met beide methoden bevestigt deze zienswijze. In figuur 11 is te zien hoe ook de fijne siltfractie (16 – 2 µm) meer vertegenwoordigd is in de laserdiffractie meting, maar in tegenstelling tot de grove siltfractie neemt dit verschil snel af met toenemend gehalte aan fijne siltkorrels. Een verklaring hiervoor zou kunnen gevonden worden in het feit dat met toenemend fijn silt

ook een groter deel van de fijne siltfractie afgeschermd wordt door de grove siltfractie en dus ondergewaardeerd wordt in de laserdiffractie methode.



Figuur 11: verband tussen het gehalte aan fijn silt ($FS = 16$ tot $2 \mu m$) gemeten met de laserdiffractie methode (LAS) en gemeten met de sedigraaf (SED).

D. Besluit

De biogeochemische processen in de sedimenten van estuaria worden in sterke mate bepaald door de fysische eigenschappen van het sediment. De klei of lutumfractie speelt daarbij een bijzondere rol. Kleimineralen, die het grootste deel van de lutumfractie uitmaken, kunnen belangrijke dragers zijn van zowel organische als minerale polluenten omwille van hun specifieke kristalstructuur enerzijds en hun zeer groot soortelijk oppervlak anderzijds. Om die reden wordt de lutumfractie dikwijls gebruikt als normerende factor. Het is daarom van belang deze lutumfractie zo nauwkeurig mogelijk te kunnen bepalen. Hierbij speelt de snelle ontwikkeling van nieuwe onderzoekstechnieken een grote rol. In dit rapport wordt daarom een vergelijkend onderzoek besproken tussen korrelgrootteanalyses uitgevoerd tussen twee veelgebruikte methoden: de laserdiffractie methode enerzijds en de sedigraaf anderzijds.

Het onderzoek toont een lineair verband aan tussen de lutumfractie bepaald volgens beide methoden. De sedigraaf geeft echter aanzienlijk meer lutum aan dan de laserdiffractie methode. Het verschil kan verklaard worden aan de hand van de specifieke analysetechniek van iedere methode. De sedigraaf heeft daarbij het voordeel rechtstreeks de lutummassa te meten terwijl de laserdiffractie methode dit onrechtstreeks doet.

De spreiding die op het waargenomen lineaire verband gevonden werd is van dien aard dat een overgang van de ene methode naar de andere slechts een benaderend karakter heeft en dus met enige omzichtheid dient gebruikt te worden.

E. Litteratuuropgave

- Krumbein, W.C., and Pettijohn, F.J.**, 1938, Manual of sedimentary petrography: The Century Earth Science Series: New York, D. Appleton-Century Company inc., 549 p.
- Temmerman, I.**, 1999, De chemische kwaliteit van baggerspecie in de Westerschelde en in de Zeeschelde. - Campagne 12: Antwerpen, Vlaamse Milieumaatschappij, Bestuur Meetnetten en Onderzoek, Dienst Onderzoek en Labo.
- Wartel, S., , Barusseau J-P, and Cornand, L.**, 1995, Improvement of grain-size analyses using the automated Sedigraph 5100.: Documents de Travail de l'I.R.Sc.N.B., v. 80, p. 1-28.

BIJLAGEN

Lokatie	Monsternummer	Datum	Omschrijving van de lokatie
01S01	G-2001-00294	22/01/01	Sluissche Hompels
01S03	G-2001-00296	23/01/01	Drempel van Borssele - rode kant
01S06	G-2001-00305	23/01/01	Overloop van Hansweert - opwaarts
01S14	G-2001-00317	24/01/01	Drempel van Valkenisse - omgeving Schaarboei
01S15	G-2001-00316	24/01/01	Drempel van Bath - afwaarts boei 70
01S16	G-2001-00315	24/01/01	Drempel van Bath - opwaarts boei 70
01S17	G-2001-00329	26/01/01	Drempel van Zandvliet - rode kant
01S20	G-2001-00331	26/01/01	Rand Plaat van Doel
01S22	G-2001-00332	26/01/01	Drempel van Frederik - groene kant
01S23	G-2001-00334	26/01/01	Drempel van Lillo - rode kant
01S24	G-2001-00348	30/01/01	Drempel van Lillo - groene kant
01S26	G-2001-00357	30/01/01	Plaat en drempel van de Parel - rode kant
01S27	G-2001-00349	30/01/01	Plaat en drempel van de Parel - groene kant
01S30	G-2001-00358	30/01/01	Drempel van Krankeloon - groene kant
01S37	G-2001-00312	24/01/01	Vaarwater boven Bath
01S38	G-2001-00320	25/01/01	Geul Zandvlietsluis
01S39	G-2001-00319	25/01/01	Geul Berendrechtsluis
01S41	G-2001-00328	25/01/01	Geul Van Cauwelaertsluis
01S45	G-2001-00514	08/02/01	Geul zeesluis Wintam
01S46	G-2001-00513	08/02/01	Zeesluis Wintam - opwaarts
01S47	G-2001-00512	08/02/01	Zeesluis Wintam - afwaarts
01S51	G-2001-00413	05/02/01	Dokken Berendrecht/Zandvlietsluis - opwaarts
01S56	G-2001-00290	19/01/01	Wielingen - Zwin
01S57	G-2001-00291	22/01/01	Wielingen - Cadzand Bad
01S58	G-2001-00292	22/01/01	Wielingen - Zwarte Polder
01S59	G-2001-00293	22/01/01	Wielingen - Kruishoofd

Tabel 1: Lijst met onderzochte stalen.

	zand		grof silt		fijn silt		fijn silt + lutum		lutum	
	> 63 micron		63 - 16 micron		16 - 2 micron		< 16 micron		< 2 micron	
	VMM	KBIN	VMM	KBIN	VMM	KBIN	VMM	KBIN	VMM	KBIN
01S01	53	64	15	15	22	6	32	36	10	30
01S03	73	81	7	7	13	5	20	19	7	14
01S06	96	99	0	0	2	0	4	1	2	1
01S14	96	97	1	0	2	0	3	3	1	3
01S15	94	94	2	1	3	1	5	6	2	5
01S16	94	92	1	2	2	1	5	8	3	7
01S17	66	61	16	15	11	8	18	39	7	31
01S20	70	77	9	6	15	4	21	23	6	20
01S22	81	85	6	5	9	2	13	15	4	13
01S23	61	72	12	10	19	5	27	28	8	23
01S24	48	62	14	11	27	7	38	38	11	31
01S26	84	75	4	3	8	4	12	25	4	21
01S27	78	80	5	4	12	3	17	20	6	17
01S30	94	93	1	1	3	1	5	7	2	6
01S37	98	95	0	1	1	0	2	5	2	5
01S38	9.6	23	29	17	40	21	61	77	21	57
01S39	10	22	32	18	37	23	58	78	21	55
01S41	15	28	32	21	33	21	53	72	20	51
01S45	24	36	28	17	33	12	49	64	16	52
01S46	91	93	3	1	4	1	6	7	2.3	6
01S47	86	92	4.8	2	6	1	9	8	3.4	7
01S51	7	20	26	16	46	27	67	80	21	52
01S56	50	62	16	14	23	10	34	38	11	28
01S57	83	88	5	4	8	5	12	12	4	8
01S58	75	84	7	5	13	6	18	16	5	10
01S59	65	76	9	8	18	5	26	24	8	19

Tabel 2: Overzicht van de bekomen resultaten.