

Overzicht analyseresultaten van de sedimentkarakteristieken
langs de Zeeschelde en haar zijrivieren
(1999 tot september 2005).

Van den Neucker Tom, Verbessem Ingrid, De Belder Wim, De Regge Nico,
Soors Jan, Van den Bergh Erika

ONTVANGEN 05 MEI 2008

Auteurs:

Van den Neucker Tom, Verbessem Ingrid, De Belder Wim, De Regge Nico, Soors Jan, Van den Bergh Erika,
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek

Het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO) is het Vlaams onderzoeks- en kenniscentrum voor natuur en het duurzame beheer en gebruik ervan. Het INBO verricht onderzoek en levert kennis aan al wie het beleid voorbereidt, uitvoert of erin geïnteresseerd is.

Vestiging:

INBO Brussel
Kliniekstraat 25
1070 Brussel

e-mail:

tom.vanderneucker@inbo.be

Wijze van citeren:

Van den Neucker T., Verbessem I., De Belder W., De Regge N., Soors J. & Van den Bergh E. (2007). Overzicht analyseresultaten van de sedimentkarakteristieken langs de Zeeschelde en haar zijrivieren (1999 tot september 2005). INBO.IR.2007.30, Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

VLIZ (VZW)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium



Reports

A		K		U	
B		L		V	
C		M		W	
D		N		X	
E		O		Y	
F		P		Z	
G		Q			
H		R	<i>x</i>		
I		S			
J		T			



Overzicht analyseresultaten van de sediment-
karakteristieken langs de Zeeschelde en haar
zijrivieren (1999 tot september 2005).

Van den Neucker Tom, Verbessem Ingrid, De Belder Wim, De Regge Nico,
Soors Jan, Van den Bergh Erika

Samenvatting

In het voorliggend rapport wordt een overzicht gegeven van de granulometrie, het percentage organische stof (1999 tot en met september 2005) en de fysisch-chemische sedimentkarakteristieken (1999 tot en met 2004) van de locaties in de Zeeschelde en haar getijgebonden zijrivieren die door het INBO en door het Labo Van Vooren bemonsterd werden voor W&Z afdeling Zeeschelde. Sedimentstalen werden over de volledige saliniteitsgradiënt van de Zeeschelde verzameld, zowel subtidaal als intertidaal. In de zijrivieren werden voornamelijk subtidaal stalen verzameld.

De mediane korrelgrootte varieerde sterk, zowel ruimtelijk als temporeel, maar was gemiddeld groter in de subtidaal stalennamepunten. In de Zeeschelde werden subtidaal de meeste slibrijke stalen verzameld in de mesohaliene zone en de meeste zandige in de zoete zone. Intertidaal werd geen duidelijke gradiënt gevonden tussen de saliniteitszones. Wel was de mediane korrelgrootte groter in de lager gelegen intertidale stalennamepunten. In de fijnste sedimenten werden meestal de hoogste percentages organische stof teruggevonden.

In de onderzochte rivieren weken de concentraties cadmium, chroom, koper, kwik, lood en zink het vaakst af van de referentiewaarde. Wat de organische verontreiniging betreft ging het meestal om te hoge concentraties apolaire koolwaterstoffen, PCB's en PAK's. De concentraties EOX en OCP's waren meestal laag. Het sediment van de Zeeschelde was het sterkst verontreinigd stroomafwaarts van Antwerpen en in de omgeving van Gent en Schoonaarde. De Grote Nete en de Zenne kregen de slechtste eindbeoordeling op basis van het fysisch-chemisch luik van de Triademethode. Het sediment van de Durme was het minst verontreinigd.

Op basis van de Triadebeoordeling en de VLAREBO-normen kan men besluiten dat het sediment van de Zeeschelde en haar zijrivieren voor de beschouwde periode veelal ongeschikt was voor de meeste binnendijkse toepassingen. Het sediment van de Durme was meestal wel geschikt voor gebruik op bodem binnen bestemmingstypes II tot en met V.

Inhoudstafel

Samenvatting

1. Inleiding	1
2. Studiegebied	1
3. Granulometrie en organische stof	5
3.1. Materiaal en methode	5
3.1.1. Staalname	5
3.1.2. Analyse	6
3.1.3. Verwerking	6
3.2. Resultaten	7
3.2.1. Overzicht analyseresultaten	7
3.2.2. Resultaten geselecteerde gebieden	12
4. Fysisch-chemische sedimentkarakteristieken	15
4.1. Materiaal en methode	15
4.1.1. Staalname	15
4.1.2. Analyse	16
4.1.3. Verwerking	20
4.2. Resultaten	21
4.2.1. Overzicht analyseresultaten	21
4.2.2. Correlatieanalyses	25
4.2.3. Beoordeling sedimentkwaliteit a.d.h.v. Triadeklassen	27
4.2.4. Sedimentkwaliteit geselecteerde gebieden	43
4.2.5. VLAREBO-normen	45
5. Bespreking	48
6. Conclusie	49
7. Referenties	50
Bijlagen (CD-rom)	

Bijlagen (CD-rom)

Bijlage 1: Overzicht van alle staalnamepunten met Lambert-coördinaten (*: staalnamepunt waarvoor geen fysisch-chemische sedimentkwaliteit bepaald werd gedurende de studieperiode).

Bijlage 2: Overzicht van de sedimentverdeling, het percentage organische stof en de overstromingsduurklassen per getijdencyclus voor de intertidale locaties en de subtidale locaties die bemonsterd werden met een box corer in de periode 1999 tot en met september 2005; fractie 0 tot 10 cm.

Bijlage 3: Overzicht van de sedimentverdeling, het percentage organische stof en de overstromingsduurklassen per getijdencyclus voor de intertidale locaties en de subtidale locaties die bemonsterd werden met een box corer in de periode 1999 tot en met september 2005; fractie 0 tot 1 cm.

Bijlage 4: Overzicht van de sedimentverdeling en het percentage organische stof voor de subtidale locaties die in de periode 1999 tot en met september 2005 bemonsterd werden met een Van Veen grijper door het INBO.

Bijlage 5: Overzicht van de sedimentverdeling en het percentage organische stof voor de locaties die in 2003 en 2004 bemonsterd werden door de LVV met een Van Veen grijper of de eigen methode.

Bijlage 6: Contaminanten waarvan de bepaling van belang is voor het fysisch-chemische luik van de Triademethode.

Bijlage 7: Overzicht van de concentraties aan contaminanten per staalnamepunt (1999 tot en met 2004).

Bijlage 8: Mediane waarden van de concentraties aan contaminanten, de 25 en 75 percentielen en de minima en maxima per rivier (1999 tot en met 2004).

Bijlage 9: Mediane waarden van de concentraties aan contaminanten, de 25 en 75 percentielen en de *non-outlier range* voor de drie saliniteitszones van de Zeeschelde, subtidaal en intertidaal (1999 tot en met 2004).

Bijlage 10: Overzicht van de Triadeklassen en de globale klasse (eindbeoordeling) per staalnamepunt (1999 tot en met 2004).

Bijlage 11: Normen VLAREBO bijlagen IV, VII en VIII.

1. Inleiding

Het Schelde-estuarium is op economisch - ondermeer door de aanwezigheid van havens en de daaraan gekoppelde industrieterreinen - en ecologisch vlak van buitengewoon belang. De hele getijdenzone vormt een zeer dynamisch ecosysteem met een grote diversiteit aan habitats (Pieters *et al.*, 1991; Meire *et al.*, 1992). Als gevolg van hun economisch interessante ligging en de toenemende industrialisatie, staan estuaria onder sterke druk door lozingen, run-off en atmosferische depositie van contaminanten (Zhou & Rowland, 1997).

Het onderzoek van de waterbodemkwaliteit is van groot belang omdat sedimenten een sleutelrol spelen in de geochemische en biologische processen van estuariene ecosystemen. Sedimenten doen dienst als sink voor metalen en organische stoffen die in een estuarium terecht komen. Daardoor reguleren ze de concentraties van deze stoffen in de waterkolom (De Groot *et al.*, 1976). De accumulatie van contaminanten in sedimenten is afhankelijk van de nabijheid van vervuilingsbronnen en van het patroon van sedimenttransport en sedimentatie geassocieerd met de estuariene hydrodynamica (Zhang *et al.*, 2001). Er bestaan ook belangrijke interacties tussen sedimentkarakteristieken, contaminanten en bodemdieren (macrobenthos) (Luoma, 1989). Zo zal de aanwezigheid van benthos een effect hebben op het sedimenttransport, doordat het de stabiliteit en erosiegevoeligheid van het sediment beïnvloedt. Anderzijds bepalen omgevingsfactoren zoals overstromingsduur, sedimentkarakteristieken en sedimentkwaliteit welke benthosgemeenschap zich kan ontwikkelen. De kwaliteit van de waterbodem is dus medebepalend voor de kwaliteit van het aquatisch ecosysteem. Bovendien is controle van de sedimentkwaliteit ook belangrijk omdat baggerspecie gebruikt wordt voor bepaalde toepassingen aan land, zoals het aanleggen van dijken (de Deckere *et al.*, 2001).

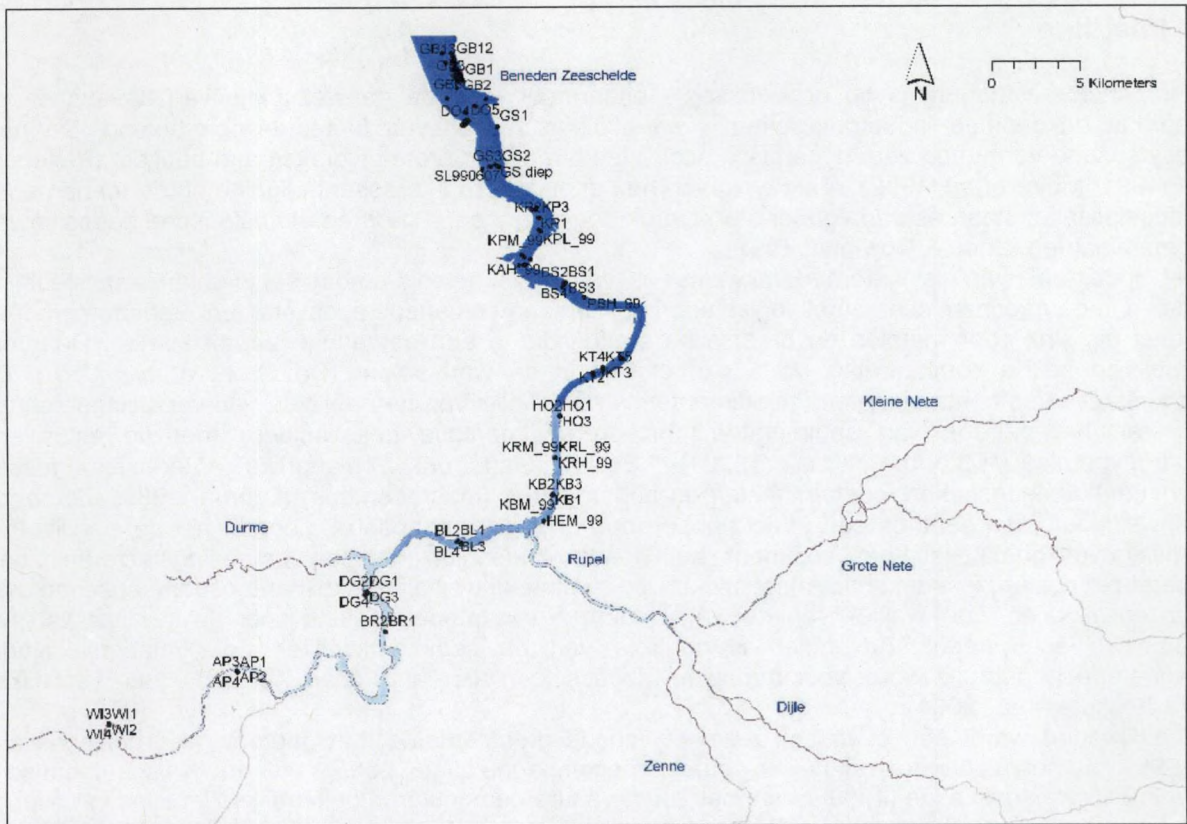
In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de granulometrie, het percentage organische stof (1999 tot net voor de ruimtelijke staalnamecampagne van 2005) en de fysisch-chemische sedimentkarakteristieken (1999 tot en met 2004) van de bemonsterde buitendijkse locaties in en langs de Zeeschelde en haar zijrivieren. Deze gegevens werden verzameld door het INBO in het kader van de Zeescheldemonitoring, in opdracht van W&Z afdeling Zeeschelde. In de jaren 2003 en 2004 werden ook stalen genomen door het labo Van Vooren in het kader van de baggerstortvergunning op de platen van Doel en Boomke. De resultaten van Boereschans, Ballooi en Appels worden in detail weergegeven. De resultaten van het onderzoek op het Groot Buitenschoor (1990 tot en met 2001) werden reeds gerapporteerd door Verbesssem *et al.* (2002). Over de natuurontwikkelingsgebieden Ketenisse schor, Doel (Paardenschor) en Paddebeek werd elders gerapporteerd (Van den Neucker *et al.*, 2007). Voor de volledigheid worden de analyseresultaten van deze gebieden wel weergegeven in de algemene overzichten.

2. Studiegebied

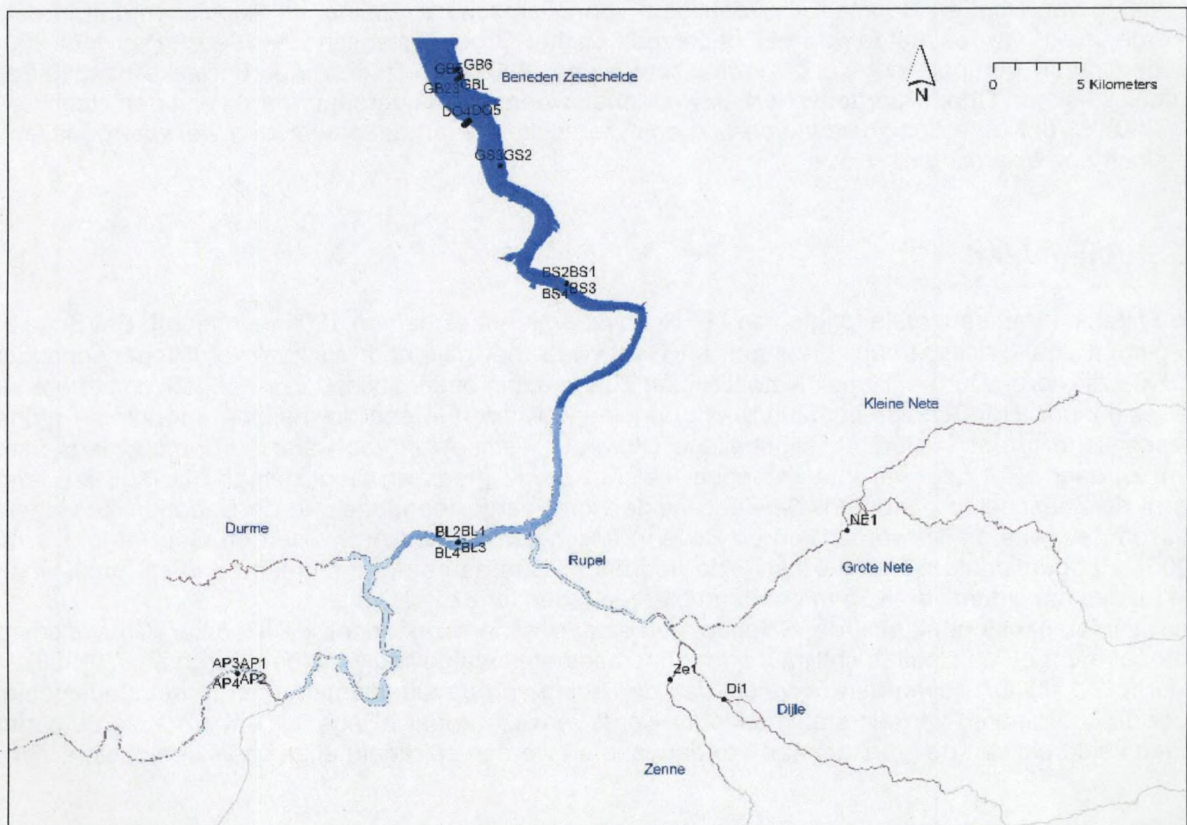
De Schelde heeft een totale lengte van 355 km, waarvan het estuarium 160 km inneemt. Het Schelde-estuarium strekt zich uit van Vlissingen tot Gent, waar het getij door sluizen wordt tegengehouden. Ook de zijrivieren Durme, Rupel, Nete, Dijle en Zenne staan onder invloed van het getij en behoren tot het estuarium. Het Schelde-estuarium kan opgedeeld worden in een polyhaliene (monding – grens), mesohaliene (grens – Burcht), oligohaliene (Burcht – Temse) en zoetwater (stroomopwaarts vanaf Temse) zone. Het deel van het estuarium dat tussen de grens en Gent gelegen is (105 km lang), wordt de Zeeschelde genoemd. De Zeeschelde wordt verder opgedeeld in de Beneden Zeeschelde (tussen de grens en Antwerpen) en de Boven Zeeschelde (tussen Antwerpen en Gent) (Meire *et al.*, 2005). Het gemiddeld tij in de Zeeschelde bedraagt 3.8 m aan de grens, neemt dan stroomopwaarts toe tot een maximum van 5.33 m om daarna af te nemen tot 2 m in Gent.

Een aantal gebieden langs de Schelde genieten bescherming onder de Ramsar Conventie, de Europese Vogel- en Habitatrichtlijnen of de Vlaamse natuurwetgeving (Van den Bergh *et al.*, 1998).

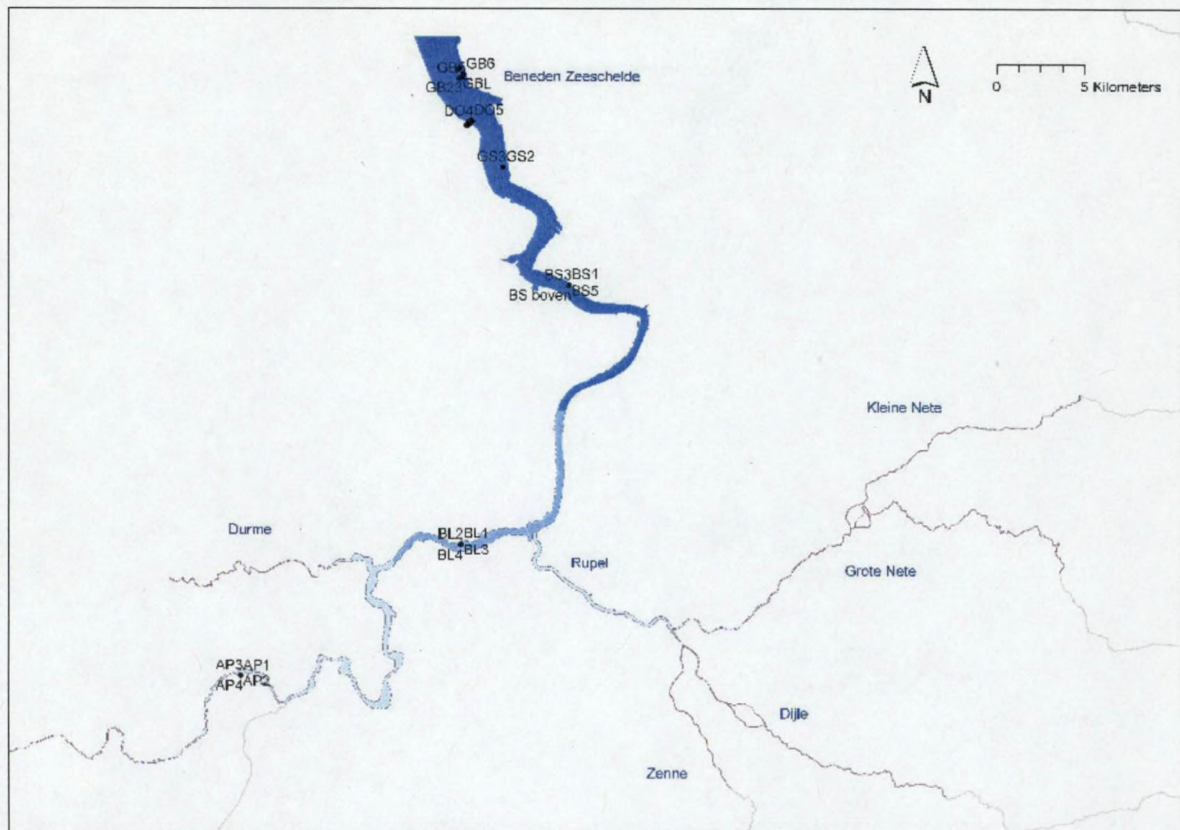
Figuren 2.1 tot 2.7 geven een overzicht van de ligging van de staalnamepunten in het studiegebied. Voor de coördinaten van elk staalnamepunt wordt verwezen naar bijlage 1. De bemonsterde punten liggen verspreid van de grens tot aan de Ringvaart en worden op regelmatige basis bemonsterd.



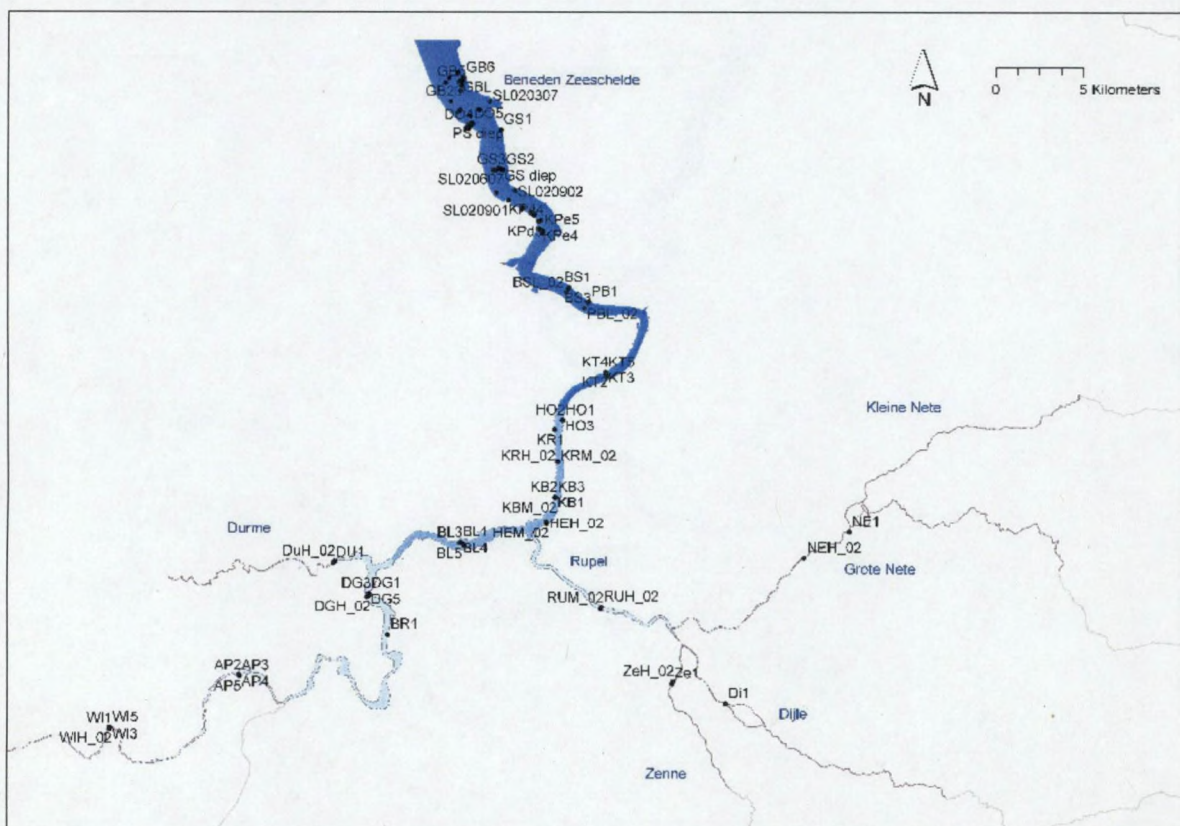
Figuur 2.1: Locaties van de staalnamepunten in het jaar 1999.



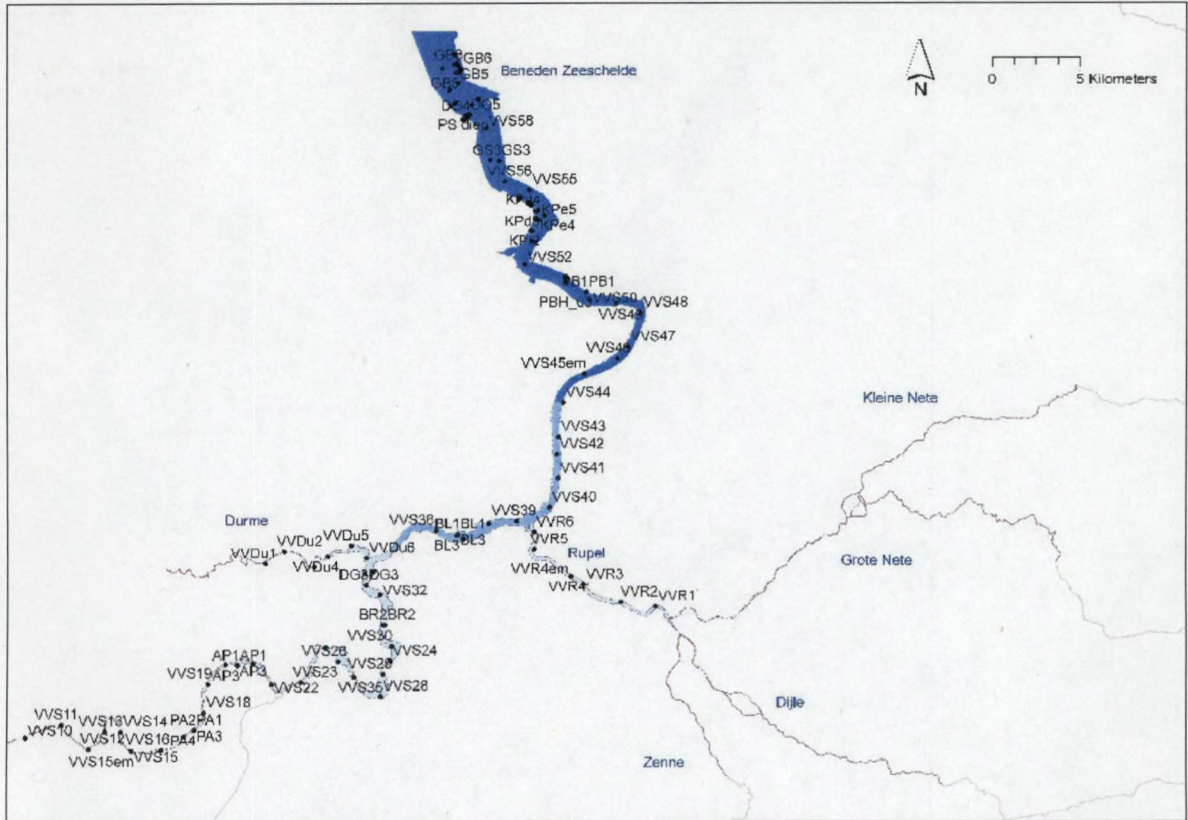
Figuur 2.2: Locaties van de staalnamepunten in het jaar 2000.



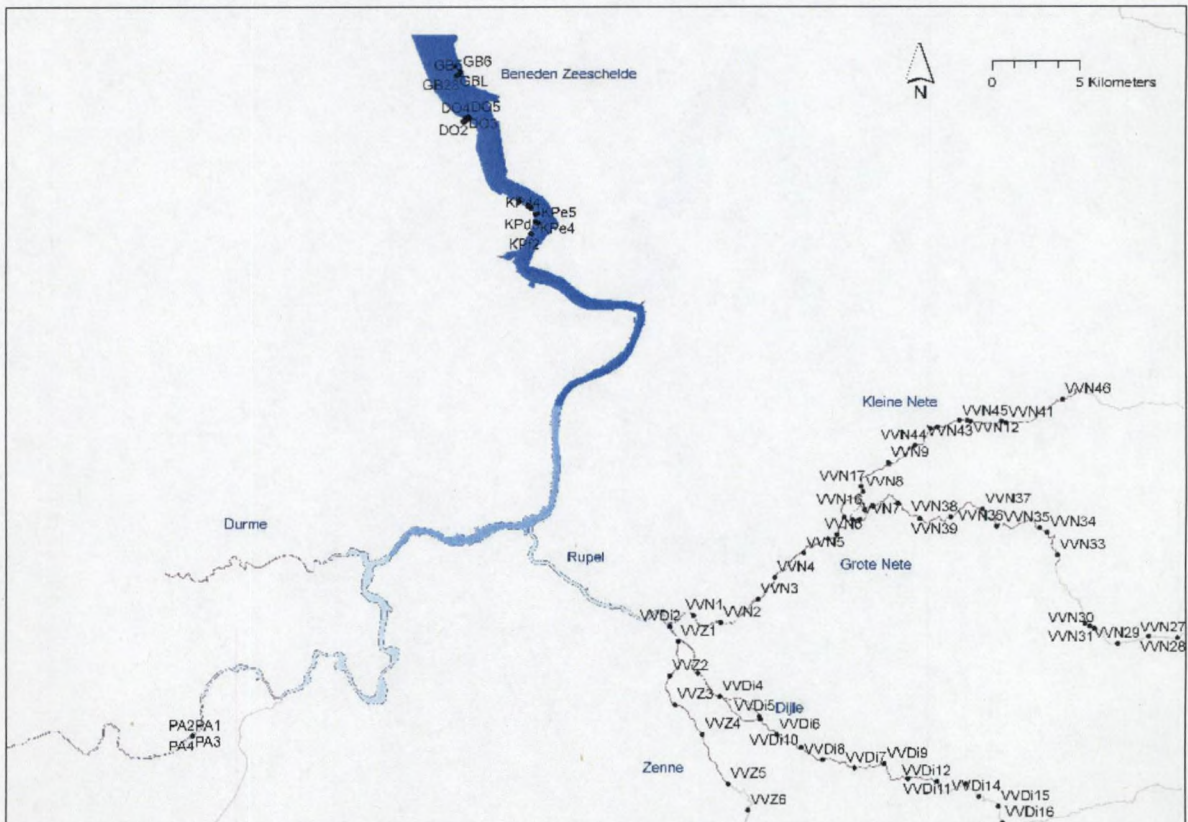
Figuur 2.3: Locaties van de stalnamepunten in het jaar 2001.



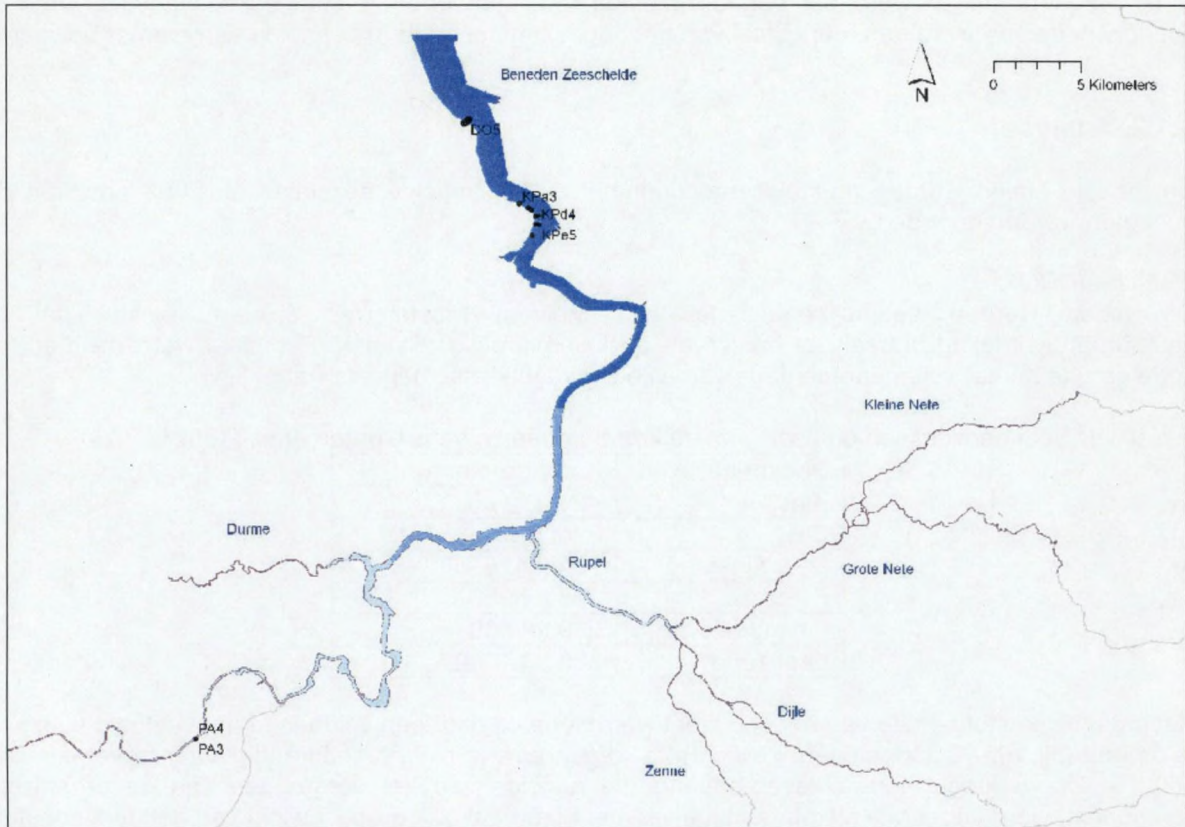
Figuur 2.4: Locaties van de stalnamepunten in het jaar 2002.



Figuur 2.5: Locaties van de staalnamepunten in het jaar 2003.



Figuur 2.6: Locaties van de staalnamepunten in het jaar 2004.



Figuur 2.7: Locaties van de staalnamepunten in het jaar 2005.

3. Granulometrie en organische stof

3.1. Materiaal en methode

3.1.1. Staalname

De sedimentstalen voor granulometrie en bepaling van het percentage organische stof werden hoofdzakelijk verzameld door het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (INBO). In 2003 en 2004 werden ook sedimentstalen genomen door de Laboratoria Van Vooren NV (LVV).

Methode INBO:

Intertidale sedimentstalen werden verzameld met een steekbuis (diameter 2 cm). Telkens werden drie replica's genomen tot op 1 cm en één replica tot op 10 cm diepte.

Subtidale stalen werden genomen van op een boot met behulp van een Van Veen grijper of box corer. Uit elke greep van de Van Veen grijper werd één replica genomen, tot op 10 cm diepte. Uit de kern van de box corer werden drie replica's genomen tot op 1 cm en één replica tot op 10 cm diepte.

Methode LVV:

Intertidale sedimentstalen werden op dezelfde manier verzameld als door het INBO.

Subtidale stalen werden genomen van op een boot met een Van Veen grijper. Er werd telkens een mengmonster gemaakt van 10 grepen. Naast deze methode gebruikten de LVV ook een eigen methode die de baggertechniek benadert. Baggerspecie werd opgezogen door middel van een baggerbuis met ingebouwde injectiepomp. Het opgezogen water en het grootste deel van het waterrijk baggermateriaal werd onmiddellijk weer geloosd. Om een staalname mogelijk te maken, werd op de leiding naar de lozingsbuis een aftakking gemonteerd. Hierlangs kon een deel van het baggermateriaal via een buis worden opgevangen in een filterkous. Op die manier kon het overtollige

water wegstromen en werd het baggermateriaal tegengehouden. Eens de kous gevuld, werd ze opengesneden en werd een mengstaal van het opgevangen baggermateriaal in een emmer bewaard.

3.1.2. Analyse

De meeste stalen werden geanalyseerd door het INBO, behalve de stalen uit 2003 en 2004 die genomen werden door de LVV.

Methode INBO:

De stalen werden geanalyseerd met een Malvern Mastersizer S, een toestel dat de korrelgrootteverdeling bepaalt op basis van de laserdiffractie techniek. Per staal werd de mediane korrelgrootte en het volumepercentage van elke sedimentklasse bepaald (tabel 3.1).

Tabel 3.1: Sedimentklassen op basis van de korrelgrootte volgens Gordon *et al.* (1992).

Sedimentklasse	Korrelgrootte (μm)
Klei	<2
Slib	2 tot 63
Zeer fijn zand	63 tot 125
Fijn zand	125 tot 250
Gemiddeld zand	250 tot 500
Grof zand	500 tot 1000

Het organische stofgehalte van het sediment werd bepaald door een voldoende hoeveelheid sediment te drogen (bij 105 °C tot constant gewicht), te wegen en vervolgens gedurende 2 uur te verassen bij 550 °C. De verkregen gewichtsverandering ten gevolge van het verbranden van de organische component, werd uitgedrukt als percentage van het oorspronkelijk drooggewicht van het deelmonster.

Methode LVV:

De korrelgrootteverdeling werd bepaald met de sedigraafmethode. Deze techniek maakt gebruik van het sedimentatieprincipe volgens de wet van Stokes. De korrelgrootteverdeling wordt hierbij bepaald met behulp van röntgenstraling. Door de intensiteit van de doorgelaten röntgenstraling op verschillende plaatsen en tijdstippen te meten, wordt een beeld verkregen van de korrelgrootteverdeling¹.

Het percentage organische stof werd berekend uit het Totaal Organisch Koolstof (TOC; uitgedrukt in g/kgDS) met de volgende formule: $(\text{TOC}/10) \cdot 1.724$. TOC werd bepaald volgens procedure CMA/2/II/A.7 van het Compendium voor Monsterneming en Analyse (CMA)².

3.1.3. Verwerking

De variatie in mediane korrelgrootte en percentage organische stof werd nagegaan in functie van de dieptefractie. Hierbij werd ook een onderscheid gemaakt tussen intertidale en subtidale punten. De mediane korrelgrootte in de intertidale en subtidale staalnamepunten van de Zeeschelde werd ook onderzocht rekening houdend met de saliniteitszones.

Daarnaast werd de variatie in mediane korrelgrootte en percentage organische stof voor alle intertidale staalnamepunten langs de Zeeschelde nagegaan in functie van de overstromingsduur (berekend op basis van de hoogteligging en de getijdencurves). Hiertoe werd een ANOVA-test uitgevoerd met log-getransformeerde gegevens (om een normale verdeling te krijgen), gevolgd door een post-hoc test (Tukey HSD). Enkel de sedimentstalen die genomen zijn tijdens de najaarscampagnes werden hierbij in rekening gebracht, om te vermijden dat seizoens schommelingen de verschillen zouden maskeren. Ook staalnamepunten van de afgegraven delen van de natuurontwikkelingsgebieden Ketenisse schor, Paardenschor en Paddebeek werden geweerd, omdat de sedimentkarakteristieken mogelijk nog een weerspiegeling zijn van de oorspronkelijke situatie.

¹ <http://www.scg.nl/artikelen/beoordeling/zeefkromme.htm>

² <http://www.vito.be/milieu/milieumetingen8a2b.htm>

Voor een selectie van drie gebieden langs de Zeeschelde (Boereschans, Ballooi en Appels) werd de granulometrie (mediane korrelgrootte en sedimentklassen) zowel ruimtelijk als temporeel behandeld. Boereschans (BS) ligt in het mesohaliene, Ballooi (BL) in het oligohaliene en Appels (AP) in het zoete deel van de Zeeschelde. Deze gebieden werden gekozen omdat hiervan verschillende datareeksen beschikbaar zijn. De intertidale punten werden ieder jaar bemonsterd. De meeste subtidale punten werden enkel tijdens de najaarscampagnes van 1999 en 2002 bemonsterd.

3.2. Resultaten

3.2.1. Overzicht analyseresultaten

Bijlagen 2, 3 en 4 geven een overzicht van de sedimentverdeling, het percentage organische stof en de overstromingsduurklassen per getijdencyclus voor de bemonsterde locaties in en langs de Zeeschelde en haar zijrivieren in de periode 1999 tot en met september 2005. Voor de fractie 0 tot 1 cm zijn de waarden van de sedimentverdeling en het percentage organische stof de gemiddelden van drie replica's. In bijlage 5 zijn deze gegevens weergegeven voor de locaties die bemonsterd werden door de LVV. Het achtervoegsel 'em' bij de locatieafkortingen van de LVV verwijst naar de 'eigen methode' van staalname (zie paragraaf 3.1.1.). Voor de coördinaten van alle staalnamepunten wordt verwezen naar bijlage 1.

De mediane korrelgrootte varieerde sterk tussen de verschillende locaties (bijlagen 2, 3 en 4). De gemiddelde mediane korrelgrootte was het grootst in de subtidale punten en verschilde nauwelijks tussen beide dieptefracties (tabel 3.2). Procentueel werden de meeste zandige stalen dan ook subtidaal verzameld (tabel 3.3). Voor de punten die door het INBO bemonsterd werden met een Van Veen grijper lag de gemiddelde mediane korrelgrootte wel een stuk lager. Alle punten die met een Van Veen grijper bemonsterd werden situeerden zich in de mesohaliene zone van de Zeeschelde (zie ook figuur 3.1).

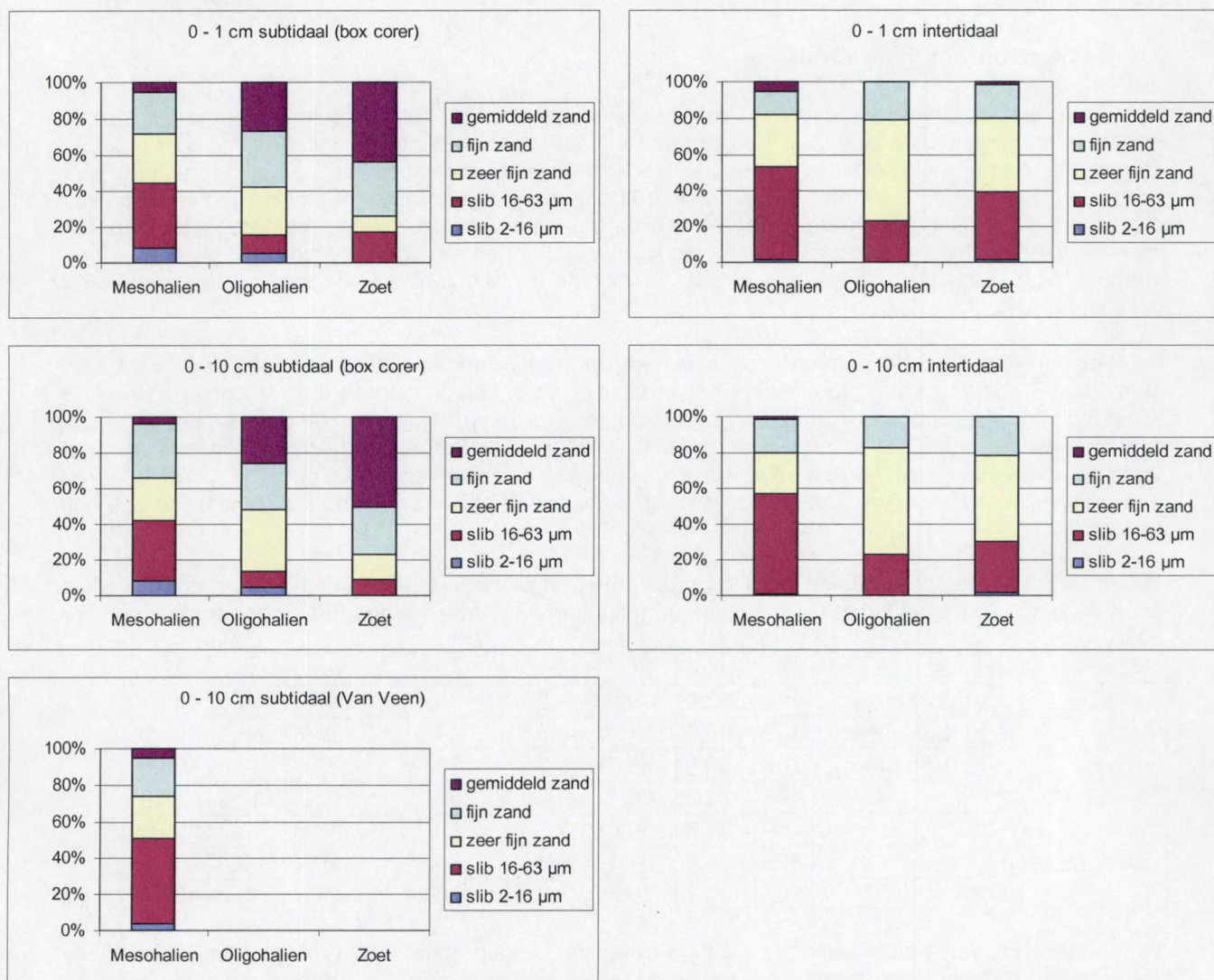
Tabel 3.2: Gemiddelde mediane korrelgrootte (μm) met standaard afwijking (SD) en standaardfout (SE), de 25 en 75 percentielen en minimum en maximum per dieptefractie (1999 tot en met september 2005).

Stalen	Dieptefractie (cm)	N	Gem.	SD	SE	25 Perc.	75 Perc.	Min.	Max.
subtidaal	0-1 (box corer)	110	142,0	118,9	11,3	35,5	207,3	9,2	480,7
	0-10 (box corer)	122	140,0	117,6	10,6	44,5	175,8	9,3	495,5
	0-10 (Van Veen)	106	90,6	85,8	8,3	23,6	139,6	12,5	408,8
intertidaal	0-1	483	86,3	66,1	3,0	39,1	107,8	14,6	358,9
	0-10	479	85,6	60,0	2,7	39,7	113,5	13,2	329,3
sub + inter	0-1	593	96,6	81,4	3,3	38,5	120,1	9,2	480,7
	0-10	707	95,7	79,5	3,0	38,1	127,7	9,3	495,5

Tabel 3.3: Aantallen en percentages zandige (mediane korrelgrootte > 63 μm) en slibrijke (mediane korrelgrootte < 63 μm) stalen per dieptefractie (1999 tot en met september 2005).

Stalen	Dieptefractie (cm)	N	zandig	slibrijk	% zandig	% slibrijk
subtidaal	0-1 (box corer)	110	76	34	69,1	30,9
	0-10 (box corer)	122	87	35	71,3	28,7
	0-10 (Van Veen)	106	52	54	49,1	50,9
intertidaal	0-1	483	256	227	53,0	47,0
	0-10	479	247	232	51,6	48,4
sub + inter	0-1	593	332	261	56,0	44,0
	0-10	707	386	321	54,6	45,4

In figuur 3.1 wordt het percentage stalen per sedimentklasse weergegeven (gebaseerd op de mediane korrelgrootte) voor alle bemonsterde punten (uitgezonderd de natuurontwikkelingsgebieden) in de drie saliniteitszones van de Zeeschelde. Subtidaal was het percentage zandige stalen het grootst in het zoete deel en het kleinst in de mesohaliene zone van de Zeeschelde. Deze gradiënt was in beide dieptefracties terug te vinden. Intertidaal werd geen duidelijke gradiënt gevonden tussen de verschillende saliniteitszones. Ongeveer 80 % van de intertidale sedimentstalen uit elke saliniteitszone had een mediane korrelgrootte kleiner dan 125 μm (slib of zeer fijn zand). Zowel intertidaal als subtidaal waren de meeste slibrijke stalen afkomstig uit de mesohaliene zone.



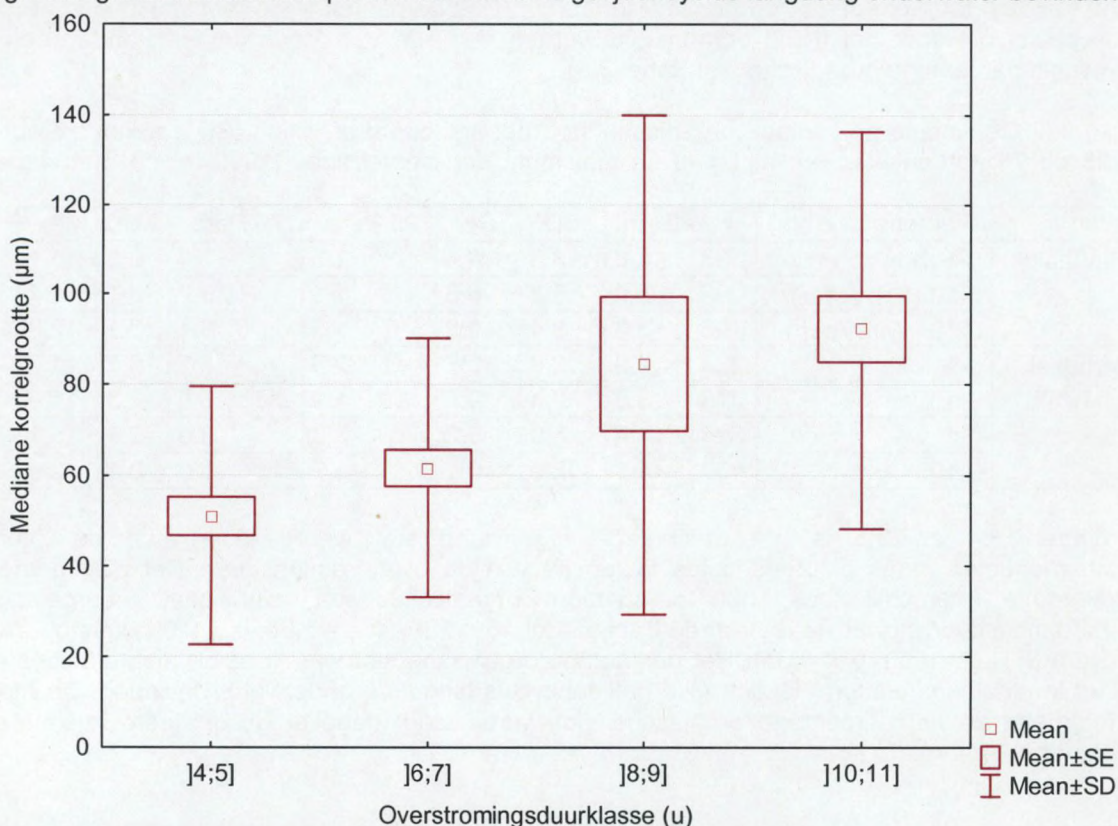
Figuur 3.1: Percentage stalen per sedimentklasse in de drie saliniteitszones van de Zeeschelde.

Binnen een bepaalde saliniteitszone verschilde de gemiddelde mediane korrelgrootte weinig tussen de dieptefracties, zowel subtidaal als intertidaal. Subtidaal was de gemiddelde mediane korrelgrootte het kleinst in de mesohaliene zone en het grootst in het zoete deel van de Zeeschelde. Intertidaal was de gemiddelde mediane korrelgrootte vergelijkbaar in elke saliniteitszone, hoewel ze toch iets groter was in de oligohaliene zone (tabel 3.4).

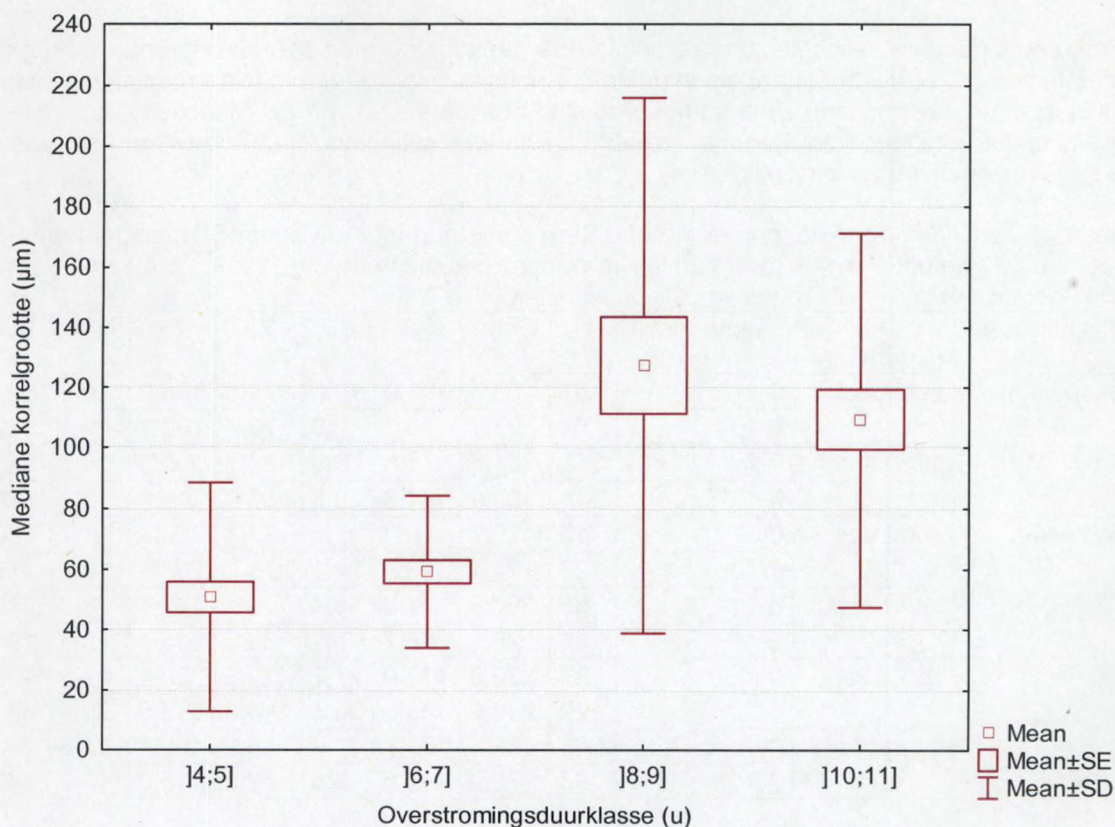
Tabel 3.4: Gemiddelde mediane korrelgrootte (μm) met standaard afwijking (SD), standaardfout (SE), de 25 en 75 percentielen en minimum en maximum per dieptefractie (1999 tot en met september 2005) voor de drie saliniteitszones van de Zeeschelde.

Saliniteitszone	Sub-/intertidaal	Dieptefractie (cm)	N	Gem.	SD	SE	25 Perc.	75 Perc.	Min.	Max.
Mesohalien	subtidaal	0-1	61	93,7	81,0	10,4	29,5	135,0	9,2	362,1
		0-10	74	93,1	76,7	8,9	29,6	133,1	9,3	377,0
	intertidaal	0-1	348	84,6	71,5	3,8	37,2	95,5	14,7	358,9
		0-10	344	83,4	64,8	3,5	37,6	111,9	13,2	329,3
Oligohalien	subtidaal	0-1	19	172,7	119,3	27,4	76,1	306,4	11,7	420,6
		0-10	23	164,4	115,6	24,1	79,5	253,7	10,7	413,7
	intertidaal	0-1	53	96,6	41,6	5,7	70,2	120,1	18,5	240,9
		0-10	52	90,1	36,7	5,1	65,9	115,4	16,6	190,4
Zoet	subtidaal	0-1	23	220,6	132,9	27,7	122,6	322,1	27,0	465,3
		0-10	22	240,6	133,6	28,5	144,6	315,5	28,4	495,5
	intertidaal	0-1	66	82,3	51,7	6,4	35,9	108,4	14,6	263,9
		0-10	66	85,0	47,5	5,8	52,5	115,0	13,5	242,0

In figuren 3.2 en 3.3 is de mediane korrelgrootte weergegeven van de intertidale staalnamepunten langs de Zeeschelde in functie van de overstromingsduur. De mediane korrelgrootte verschilt significant naargelang de overstromingsduur, zowel wat betreft de fractie 0 tot 10 cm ($F_{(3,142)} = 9.14$, $p < 0.0001$) als de fractie 0 tot 1 cm ($F_{(3,162)} = 18.81$, $p < 0.0001$). In beide dieptefracties was de mediane korrelgrootte groter in staalnamepunten die zich elke getijdencyclus langdurig onderwater bevinden.



Figuur 3.2: Mediane korrelgrootte in functie van de overstromingsduur (fractie 0 tot 10 cm).



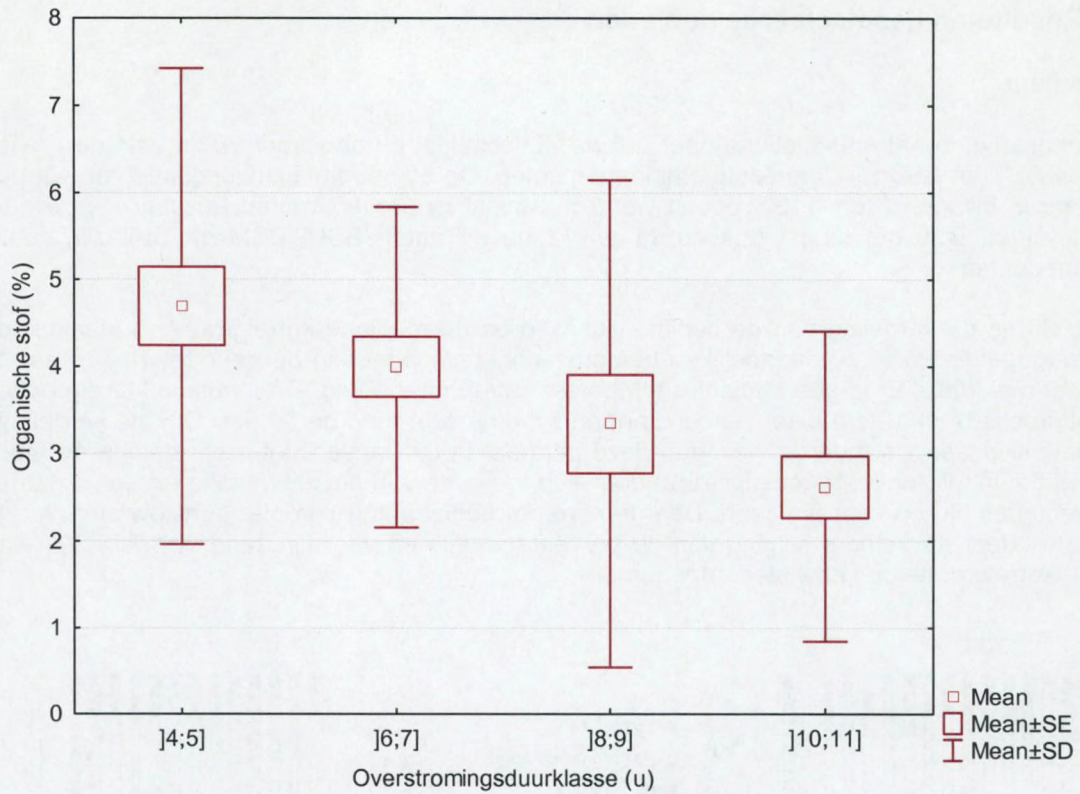
Figuur 3.3: Mediane korrelgrootte in functie van de overstromingsduur (fractie 0 tot 1 cm).

Het percentage organische stof was zowel subtidaal als intertidaal gemiddeld iets groter in de dieptefractie 0 tot 1 cm dan in de fractie 0 tot 10 cm. Ook de punten in de mesohaliene zone van de Zeeschelde, die door het INBO bemonsterd werden met een Van Veen grijper, hadden een hoog gemiddeld percentage organische stof (tabel 3.5).

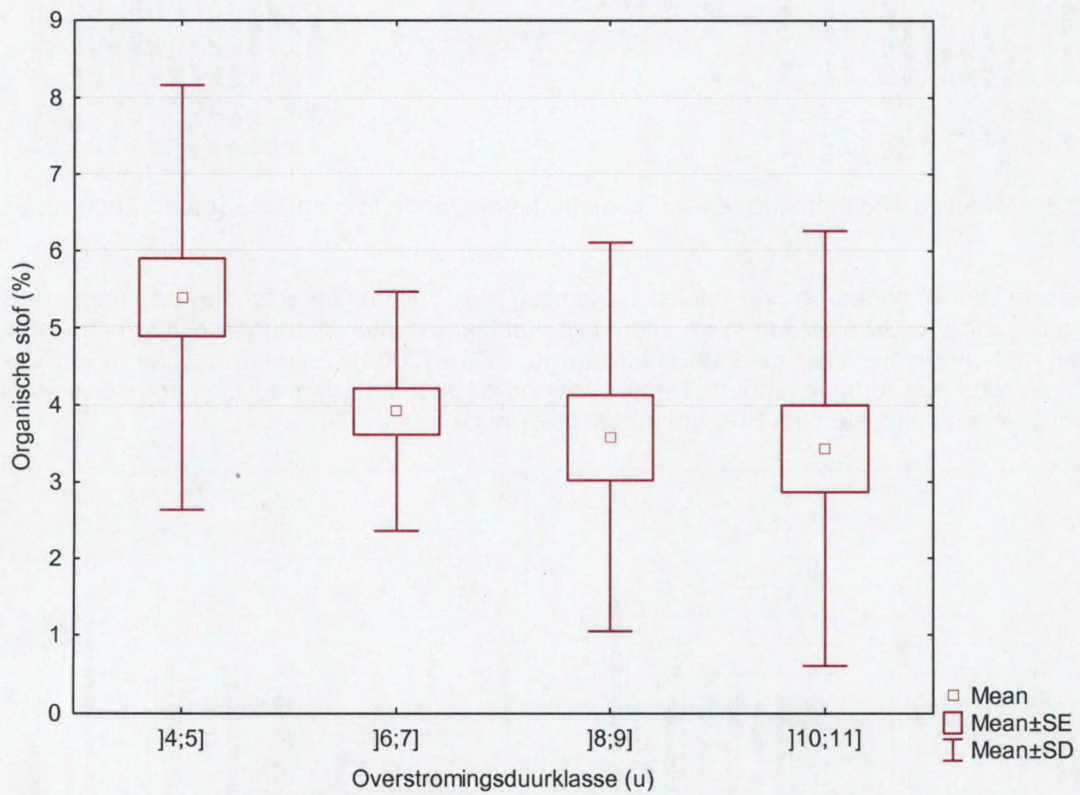
Tabel 3.5: Gemiddeld percentage organische stof met standaard afwijking (SD), standaardfout (SE), de 25 en 75 percentielen en minimum en maximum per dieptefractie (1999 tot en met september 2005).

Stalen	Dieptefractie (cm)	N	Gem.	SD	SE	25 Perc.	75 Perc.	Min.	Max.
subtidaal	0-1 (box corer)	93	4,8	3,8	0,4	1,3	7,4	0,3	15,1
	0-10 (box corer)	96	3,9	3,2	0,3	1,1	6,2	0,1	11,7
	0-10 (Van Veen)	95	5,3	3,4	0,3	1,7	8,1	0,1	12,8
intertidaal	0-1	223	4,3	2,6	0,2	2,6	5,7	0,1	11,7
	0-10	278	3,9	2,4	0,1	1,9	5,5	0,3	11,9
sub + inter	0-1	316	4,4	3,0	0,2	2,3	6,0	0,1	15,1
	0-10	469	4,2	2,9	0,1	1,7	6,0	0,1	12,8

In figuren 3.4 en 3.5 is het percentage organische stof weergegeven van de intertidale staalnamepunten langs de Zeeschelde in functie van de overstromingsduur. Net als de mediane korrelgrootte, verschilt ook het percentage organische stof significant naargelang de overstromingsduur, zowel wat betreft de fractie 0 tot 10 cm ($F_{(3,111)} = 5.96$, $p < 0.001$) als de fractie 0 tot 1 cm ($F_{(3,99)} = 4.53$, $p < 0.01$). Het percentage organische stof was in beide dieptefracties echter kleiner in staalnamepunten die zich elke getijdencyclus langdurig onderwater bevinden. De mediane korrelgrootte en het percentage organische stof waren sterk negatief gecorreleerd (zie paragraaf 4.2.2., tabel 4.7).



Figuur 3.4: Percentage organische stof in functie van de overstromingsduur (fractie 0 tot 10 cm).



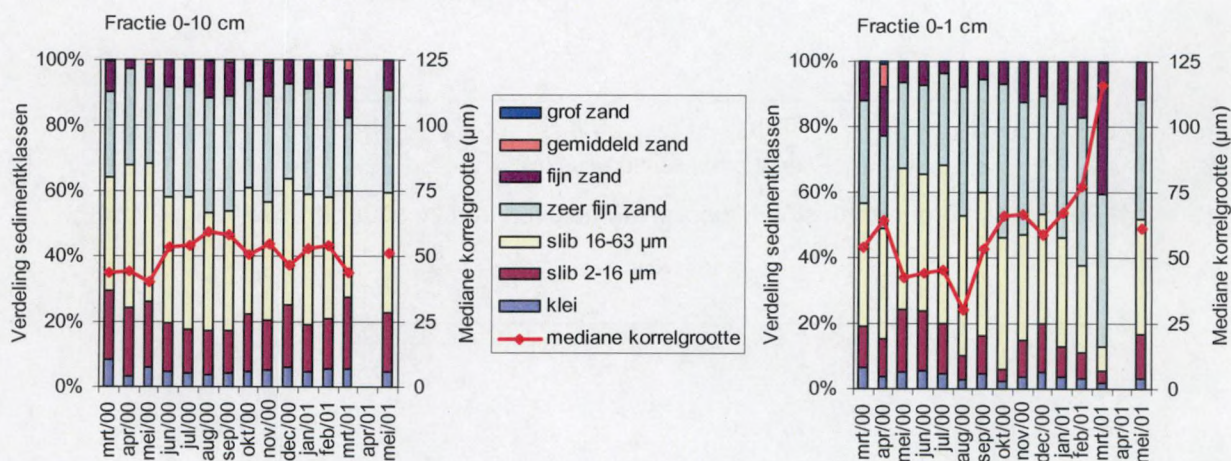
Figuur 3.5: Percentage organische stof in functie van de overstromingsduur (fractie 0 tot 1 cm).

3.2.2. Resultaten geselecteerde gebieden

Boereschans

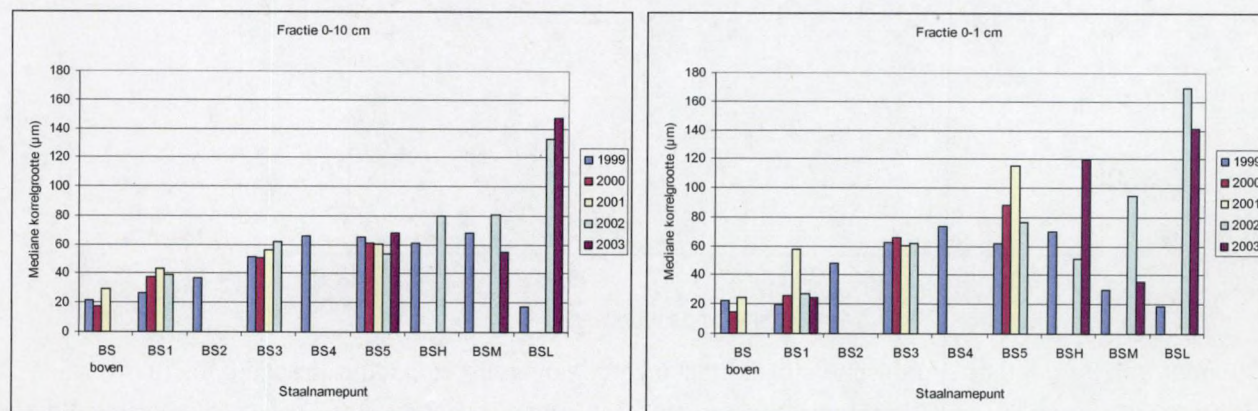
Boereschans ligt in het mesohaliene deel van de Zeeschelde, op ongeveer 20 km van de grens. BS boven en BS1 tot BS5 zijn intertidale staalnamepunten. De overstromingsduurklasse van elk punt is opgesomd in bijlagen 2 en 3. BS boven wordt het minst lang overstroemd (tussen 4 en 5 uur per getijdencyclus), BS5 het langst (tussen 11 en 12 uur). Punten BSH, BSM en BSL zijn subtidale staalnamepunten.

In figuur 3.6 is de verdeling van de sedimentklassen en de mediane korrelgrootte in staalnamepunt BS3 weergegeven voor de maandelijkse bemonsteringscampagnes in de periode vanaf maart 2000 tot en met mei 2001. Er is geen duidelijk temporeel patroon aanwezig. De mediane korrelgrootte van de dieptefractie 0 tot 10 cm bleef vrij constant en schommelde rond de 50 μm . Ook de verdeling van de sedimentklassen veranderde weinig in deze periode. In de fractie 0 tot 1 cm daalde de mediane korrelgrootte vanaf april tot augustus 2000 door een toename van het slibgehalte en een afname van de percentages fijn en zeer fijn zand. Daarna nam de mediane korrelgrootte opnieuw sterk toe tot in maart 2001 door een sterke stijging van de percentages fijn en zeer fijn zand. In mei 2001 was de mediane korrelgrootte opnieuw sterk afgenomen.



Figuur 3.6: Verdeling sedimentklassen en mediane korrelgrootte in punt BS3 (maart 2000 tot en met mei 2001).

De mediane korrelgrootte in de stalen afkomstig van de najaarscampagnes nam in beide dieptefracties toe van 20 à 30 μm in de intertidale staalnamepunten met korte overstromingsduur tot meer dan 130 μm in het diep gelegen subtidale punt BSL (2003). Enkel in het jaar 1999 werd dit ruimtelijk patroon niet teruggevonden. Temporeel was de toename van de mediane korrelgrootte in het diepst gelegen subtidale punt BSL het meest opvallend (figuur 3.7).

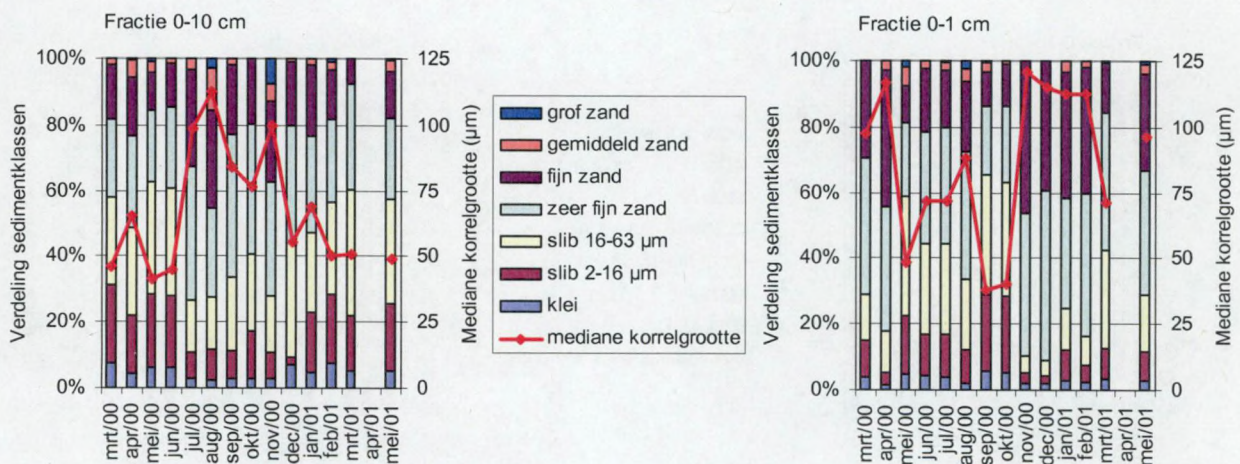


Figuur 3.7: Mediane korrelgrootte per staalnamepunt.

Ballooi

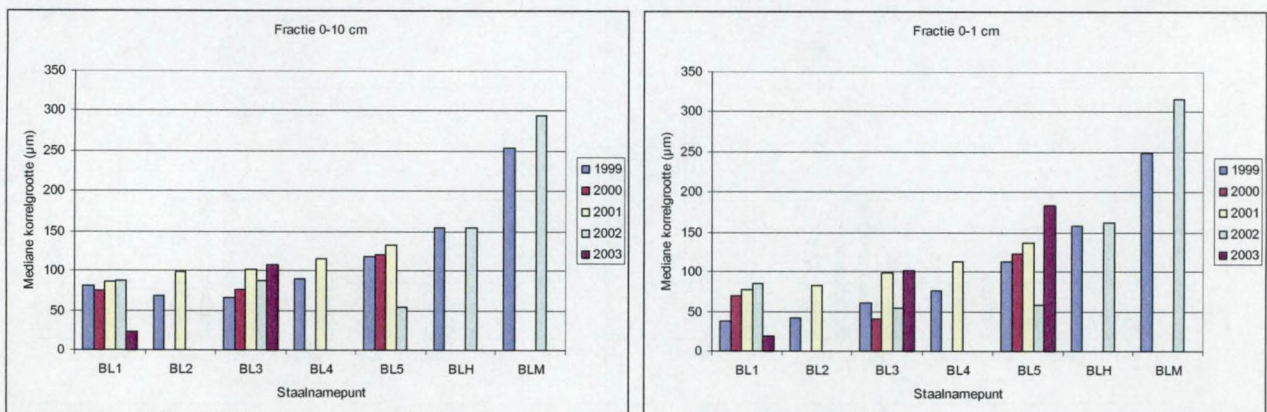
Ballooi ligt in het oligohaliene deel van de Zeeschelde, op ongeveer 44.5 km van de grens. BL1 tot BL5 zijn intertidale staalnamepunten. BL1 wordt het minst lang overstromd (tussen 5 en 6 uur per getijdencyclus), BL5 het langst (tussen 11 en 12 uur). Punten BLH en BLM zijn subtidale staalnamepunten.

In figuur 3.8 is de verdeling van de sedimentklassen en de mediane korrelgrootte in staalnamepunt BL3 weergegeven voor de maandelijkse bemonsteringscampagnes in de periode vanaf maart 2000 tot en met mei 2001. Er is geen duidelijk temporeel patroon aanwezig. Zowel de mediane korrelgrootte als de verdeling van de sedimentklassen schommelden sterk in beide dieptefracties. In de fractie 0 tot 10 cm was de mediane korrelgrootte het grootst in de maanden augustus en november van het jaar 2000. In beide maanden was er een toename van de percentages gemiddeld en grof zand. De mediane korrelgrootte in de fractie 0 tot 1 cm was het grootst in april 2000 en in de periode november 2000 tot februari 2001. Dit was het gevolg van lage percentages slib en hoge percentages fijn en zeer fijn zand.



Figuur 3.8: Verdeling sedimentklassen en mediane korrelgrootte in punt BL3 (maart 2000 tot en met mei 2001).

De mediane korrelgrootte in de stalen afkomstig van de najaarscampagnes nam in beide dieptefracties toe van rond de 70 µm in de intertidale staalnamepunten met korte overstromingsduur tot meer dan 250 µm in het diep gelegen subtidale punt BLM (2002). In het intertidale punt BL1 was de plotse afname van de mediane korrelgrootte in 2003 opvallend. Ook in punt BL5 werd in het jaar 2002 in beide dieptefracties een plotse afname vastgesteld, na enkele jaren met lichte toename. De mediane korrelgrootte in de bovenste centimeter van punt BL3 vertoonde sterke schommelingen (figuur 3.9).

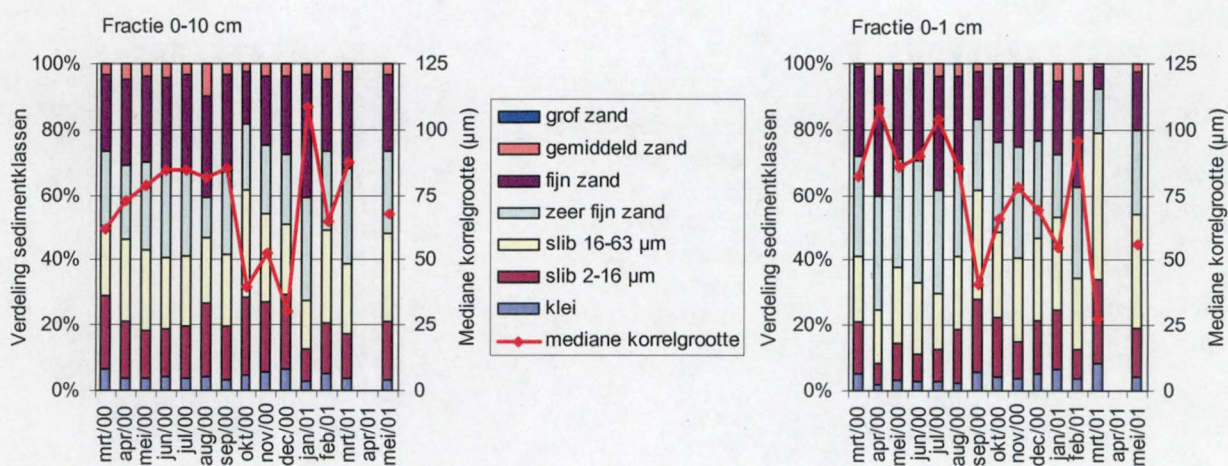


Figuur 3.9: Mediane korrelgrootte per staalnamepunt.

Appels

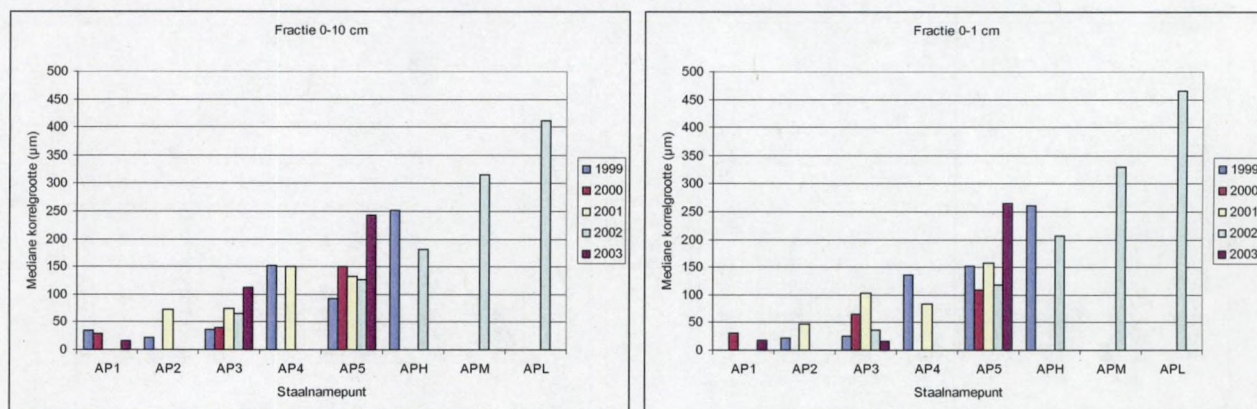
Appels ligt in het zoete deel van de Zeeschelde, op ongeveer 74 km van de grens. AP1 tot AP5 zijn intertidale staalnamepunten. AP1 wordt het minst lang overstromd (tussen 2 en 3 uur per getijdencyclus), AP5 het langst (tussen 11 en 12 uur). Punten APH, APM en APL zijn subtidale staalnamepunten.

In figuur 3.10 is de verdeling van de sedimentklassen en de mediane korrelgrootte in staalnamepunt AP3 weergegeven voor de maandelijkse bemonsteringscampagnes in de periode vanaf maart 2000 tot en met mei 2001. Er is geen duidelijk temporeel patroon aanwezig. In de fractie 0 tot 10 cm nam de mediane korrelgrootte toe tot juni 2000. Daarna bleef ze gelijk tot september 2000 om dan plots sterk af te nemen van ongeveer 85 tot 40 μm . Na december 2000 was er een sterke stijging van de mediane korrelgrootte tot ongeveer 110 μm , door afnemende slibpercentages. In de fractie 0 tot 1 cm was er een sterke afname van de mediane korrelgrootte in september 2000 van rond de 90 μm tot 40 μm . Daarna schommelde de korrelgrootte om in februari 2001 opnieuw te stijgen tot 96 μm . In maart 2001 werd een minimum van ongeveer 28 μm bereikt door een sterke toename van de percentages slib.



Figuur 3.10: Verdeling sedimentklassen en mediane korrelgrootte in punt AP3 (maart 2000 tot en met mei 2001).

De mediane korrelgrootte in de stalen afkomstig van de najaarscampagnes nam in beide fracties toe van ongeveer 30 μm in de intertidale staalnamepunten met korte overstromingsduur tot meer dan 400 μm in het diep subtidaal gelegen punt APL. In de diepe fractie van punt AP3 vertoonde de mediane korrelgrootte een min of meer continue toename, terwijl in de bovenste centimeter een afname vastgesteld werd in de tweede helft van de studieperiode. De mediane korrelgrootte van punt AP5 vertoonde vrij grote schommelingen in beide dieptefracties (figuur 3.11).



Figuur 3.11: Mediane korrelgrootte per staalnamepunt.

4. Fysisch-chemische sedimentkarakteristieken

4.1. Materiaal en methode

4.1.1. Staalname

In tabel 4.1 wordt een overzicht gegeven van het aantal stalen dat verzameld werd door het INBO en de LVV. Iets meer dan de helft van de stalen (219) werden verzameld door het INBO. De LVV verzamelden 178 stalen in de jaren 2003 en 2004. Dit gebeurde in het kader van de baggerstortvergunning op de platen van Doel en Boomke. De 17 intertidale punten die in 2003 bemonsterd werden door de LVV zijn een selectie van de vaste staalnamepunten van het INBO en liggen alle langs de Zeeschelde.

Tabel 4.1: Overzicht van het aantal intertidale en subtidale stalen per jaar.

Jaar	INBO		LVV	
	intertidaal	subtidaal	intertidaal	subtidaal
1999	34	19	0	0
2000	29	0	0	0
2001	13	0	0	0
2002	57	25	0	0
2003	13	11	17	85
2004	18	0	0	76

Methode INBO:

Intertidale sedimentstalen voor fysisch-chemische analyse werden verzameld met een steekbuis (diameter 3.5 cm), tot op een diepte van 10 cm. Telkens werd een mengmonster gemaakt van vijf replica's.

Subtidale stalen werden verzameld van op een boot met behulp van een box corer. Uit de kern werden vijf replica's genomen met een steekbuis (diameter 3.5 cm), tot op een diepte van 10 cm. Van deze replica's werd een mengmonster gemaakt.

Methode LVV:

Intertidale stalen werden op dezelfde manier verzameld als door het INBO.

Subtidale stalen werden genomen van op een boot met behulp van een Van Veen grijper. Er werd telkens een mengmonster gemaakt van 10 grepen. Naast deze methode, gebruikten de LVV ook een eigen methode die de baggertechniek benadert (zie paragraaf 3.1.1.).

4.1.2. Analyse

Tabel 4.2 geeft een overzicht van het aantal geanalyseerde stalen per rivier en per jaar. Het Provinciaal Instituut voor Hygiëne (PIH) analyseerde alle stalen die in de periode 1999 tot 2002 genomen werden. In 2003 analyseerden de LVV 17 intertidale en 71 subtidaal stalen uit de Zeeschelde. De subtidaal stalen uit 2003 en 2004 die verzameld werden in de zijrivieren van de Zeeschelde werden alle geanalyseerd door de LVV.

Tabel 4.2: Overzicht van het aantal geanalyseerde stalen per rivier en per jaar.

Rivier	Inter-/subtidaal	Jaar					
		1999	2000	2001	2002	2003	2004
Schelde	intertidaal	34	20	13	50	32	18
	subtidaal	19	0	0	20	80	0
Durme	intertidaal	0	0	0	1	0	0
	subtidaal	0	0	0	1	7	0
Rupel	intertidaal	0	3	0	3	0	0
	subtidaal	0	0	0	1	7	0
Dijle	intertidaal	0	1	0	1	0	0
	subtidaal	0	0	0	1	0	17
Zenne	intertidaal	0	1	0	1	0	0
	subtidaal	0	0	0	1	0	13
Nete	intertidaal	0	1	0	1	0	0
	subtidaal	0	0	0	1	0	10
Grote Nete	intertidaal	0	3	0	0	0	0
	subtidaal	0	0	0	0	0	23
Kleine Nete	intertidaal	0	0	0	0	0	0
	subtidaal	0	0	0	0	0	6
Netekanaal	intertidaal	0	0	0	0	0	0
	subtidaal	0	0	0	0	0	7

Voor alle stalen werden de concentraties aan zware metalen (arsen, cadmium, chroom, koper, kwik, lood, nikkel en zink) en organische contaminanten (apolaire koolwaterstoffen, extraheerbare organohalogenen, organochloorpesticiden, polychloorbifenylen en polyaromatische koolwaterstoffen) bepaald. De analyseprocedures waren volgens het Compendium voor Monsterneming en Analyse (CMA)³ (tabel 4.3).

Tabel 4.3: Analyseprocedures per contaminant.

Contaminant	Analyseprocedure
zware metalen	CMA/2/I/B.1 (kwik volgens CMA/2/I/B.3)
organochloorpesticiden	CMA/3/I
polychloorbifenylen	CMA/3/I
polyaromatische koolwaterstoffen	CMA/3/B
apolaire koolwaterstoffen	CMA/3/C
extraheerbare organohalogenen	CMA/3/N

Naast de concentraties aan contaminanten, werden ook het lutumgehalte⁴ en het percentage organische stof bepaald. Het lutumgehalte wordt uitgedrukt als percentage gemineraliseerde stof. Lutumbepaling wordt uitgevoerd na zieving over 2 mm en verwijdering van cementerende materialen zoals carbonaten, organisch materiaal, oxiden en opgeloste zouten.

³ <http://www.vito.be/milieu/milieumetingen8a2b.htm>

⁴ De bepaling van het lutumgehalte werd door het PIH uitbesteed aan Analytico Milieu BV, Breda, Nederland (analyseprocedure NEN5753).

Het percentage organische stof werd berekend uit het Totaal Organisch Koolstof (TOC; uitgedrukt in g/kgDS) met de volgende formule: $(TOC/10) \cdot 1.724$. Het PIH bepaalde TOC volgens procedure CMA/2/II/A.10 en de LVV volgens CMA/2/II/A.7.

Er waren enkele kleine verschillen in aantal en soorten organochloorpesticiden (OCP's) die geanalyseerd werden door beide labo's. In tabel 4.4 wordt een overzicht gegeven van de OCP's die geanalyseerd werden door het PIH en de LVV. Sinds 2004 worden vijf extra OCP's geanalyseerd door het PIH. Voor 2004 werd bovendien enkel het bèta-isomeer van heptachloorepoxide bepaald. Vanaf 2004 werden zowel het alfa- als het bèta-isomeer bepaald. De LVV bepaalde enkel het cis-isomeer van heptachloorepoxide.

Door de LVV werd nooit een exact cijfer weergegeven voor OCP-concentraties kleiner dan 10 µg/kgDS. Deze werd dan beschouwd als nul. Bijgevolg kan de totale concentratie (som) aan OCP's van de LVV een onderschatting zijn.

Tabel 4.4: Geanalyseerde organochloorpesticiden (OCP's) per labo.

Organochloorpesticide	PIH		LVV
	voor 2004	vanaf 2004	
alfa HCH	x	x	x
beta HCH	x	x	x
gamma HCH	x	x	x
delta HCH		x	
Hexachloorbenzeen	x	x	x
Hexachloorbutadieen			x
Heptachloor	x	x	x
Heptachloorepoxide	x	x	x
op'DDD	x	x	x
pp'DDD	x	x	x
op'DDE	x	x	x
pp'DDE	x	x	x
op'DDT	x	x	x
pp'DDT	x	x	x
Aldrin	x	x	x
Dieldrin	x	x	x
Endrin	x	x	x
Isodrin	x	x	x
Telodrin		x	x
alfa Endosulfan	x	x	x
cis-chloordaan		x	x
trans-chloordaan		x	x
Methoxychloor		x	x

Beoordeling fysisch-chemische sedimentkwaliteit a.d.h.v. fysisch-chemische luik Triademethode

Door de mogelijke variaties ten gevolge van de fysische eigenschappen van de sedimentdeeltjes, is het moeilijk om de concentraties aan contaminanten tussen verschillende locaties met elkaar te vergelijken (Ladd *et al.*, 1998). Om de milieuhygiënische kwaliteit van het sediment te beoordelen, werd daarom gebruik gemaakt van het fysisch-chemische luik van de Triademethode, een beoordelingsstelsel waarmee een kwaliteitsklasse aan het sediment wordt toegekend (tabel 4.5). Hierbij wordt de kwaliteit van de waterbodem gerelateerd aan een referentietoestand door middel van omrekeningsformules (standaardisatie voor zware metalen t.o.v. klei (11 %) en organische stof (5 %) en organische microcontaminanten t.o.v. organische stof (5 %)). Deze normalisatie reduceert de variatie in concentraties ten gevolge van variatie in sedimentkarakteristieken tussen de staalnamepunten. De fysisch-chemische component van de Triade beschrijft de chemische inhoud van de waterbodem in beperkte vorm. Steeds worden de meest voorkomende chemische verontreinigingen geanalyseerd, waardoor een eerste schets wordt gegeven van de waterbodempkwaliteit (de Deckere *et al.*, 2001).

Tabel 4.5: Betekenis (afwijking t.o.v. referentie) van elke klasse⁵.

LogIndex	Klasse	Betekenis
0 - < 0.4	1	Niet afwijkend
0.4 - < 0.8	2	Licht afwijkend
0.8 - < 1.2	3	Matig afwijkend
1.2 - < 1.6	4	Sterk afwijkend
1.6 - < 2.0	5	Extreem afwijkend

De chemische variabelen die gebruikt worden voor de berekening van de fysisch-chemische toestand van het sediment zijn (zie ook bijlage 6):

- Lutumgehalte
- Percentage organische stof
- Apolaire koolwaterstoffen (APKWS)
- Extraheerbare organohalogenen (EOX)
- Som van de organochloorpesticiden (OCP)
- Som van 7 PCB's (PCB)
- Som van 6 PAK's van Borneff (PAK)
- Zware metalen (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Hg, Zn en As)

Eindbeoordeling:

De hoogste van alle klassen wordt de globale klasse of eindklasse van het staal. Maar, wanneer de concentraties van ten hoogste twee variabelen kleiner zijn dan het midden van die klasse, krijgt het staal een lagere eindklasse.

Voor een uitgebreide bespreking van de Triademethode wordt verwezen naar de Deckere *et al.* (2001).

Beoordeling fysisch-chemische sedimentkwaliteit a.d.h.v. VLAREBO-normen

Naast de Triademethode werden ook de VLAREBO bodemsaneringsnormen (tabel 4.6) gebruikt om de sedimentkwaliteit te beoordelen, alsmede de normen waaraan uitgegraven bodem moet voldoen voor gebruik als bodem op een ontvangende grond die binnen bestemmingstype I, II, III, IV of V gelegen is (tabel 4.7). Telkens werden de contaminanten beschouwd die ook van belang zijn bij de Triademethode. De VLAREBO-normen gelden voor een standaardbodem met een kleigehalte van 10 % en een gehalte organisch materiaal van 2 %. Om bij het toetsen van de gemeten concentraties aan contaminanten rekening te houden met de kenmerken van de bodem, worden de normen omgerekend naar de percentages klei en organische stof in het te toetsen staal. Voor de omrekeningsformules en de betekenis van de bestemmingstypes wordt verwezen naar Heyman & Smout (2007).

⁵ Door de Deckere *et al.* (2001) worden vier klassen gebruikt om de sedimentkwaliteit te beoordelen.

Tabel 4.6: De bodemsaneringsnormen (per bestemmingstype) voor het vaste deel van de aarde (uitgedrukt in mg/kgDS) die gelden voor een standaardbodem met een kleigehalte van 10 % en een gehalte organisch materiaal van 2 %.

Contaminant	VLAREBO Bijlage IV (bodemsaneringsnormen)				
	I	II	III	IV	V
arseen	45	45	110	200	300
cadmium	2	2	6	15	30
chromium	130	130	300	500	800
koper	200	200	400	500	800
kwik	10	10	15	20	30
lood	200	200	700	1500	2500
nikkel	100	100	470	550	700
zink	600	600	1000	1000	3000
APKWS (minerale olie)	1000	1000	1000	1500	1500
PAK					
acenafteen	9	9	14	210	210
acenaftyleen	1	1	1	20	40
antraceen	3	3	70	2380	4690
benzo(a)antraceen	5	5	10,5	30	30
benzo(a)pyreen	0,5	0,5	1,5	3	3
benzo(b)fluoranteen	2	2	7	30	30
benzo(ghi)peryleen	160	160	3920	4300	4690
benzo(k)fluoranteen	1	1	11,5	30	30
chryseen	10	10	180	320	320
dibenz(a,h)antraceen	0,5	0,5	1,5	3	3
fenantreen	60	60	65	1650	1650
fluoranteen	20	20	30	270	270
fluoreen	45	45	3950	4320	4690
indeno(1,2,3-cd)pyreen	1	1	20	30	30
naftaleen	1,5	1,5	5	80	160
pyreen	125	125	395	3150	3150

Tabel 4.7: Normen (maximale concentratie in mg/kgDS) waaraan uitgegraven bodem moet voldoen voor het gebruik als bodem op een ontvangende grond die binnen bestemmingstype I gelegen is (VLAREBO Bijlage VII) en ontvangende grond die binnen bestemmingstypes II, III, IV of V gelegen is (VLAREBO Bijlage VIII).

Contaminant	VLAREBO Bijlage VII	VLAREBO Bijlage VIII
arseen	19	27
cadmium	0,8	1,2
chromium	37	78
koper	17	109
kwik	0,55	1,5
lood	40	120
nikkel	9	55
zink	62	300
APKWS (minerale olie)	100	300
OCP	0,1	0,2
PCB	0,002	0,004
PAK		
acenafteen	0,2	4,6
acenaftyleen	0,2	0,6
antraceen	0,1	1,5
benzo(a)antraceen	0,06	2,5
benzo(a)pyreen	0,1	0,3
benzo(b)fluoranteen	0,2	1,1
benzo(ghi)peryleen	0,1	80
benzo(k)fluoranteen	0,2	0,6
chryseen	0,15	5,1
dibenz(a,h)antraceen	0,1	0,3
fenantreen	0,08	30
fluoranteen	0,2	10,1
fluoreen	0,1	22
indeno(1,2,3-cd)pyreen	0,1	0,55
naftaleen	0,1	0,8
pyreen	0,1	62

4.1.3. Verwerking

De variatie in sedimentkwaliteit werd nagegaan voor de Zeeschelde en haar zijrivieren. Hierbij werd onderscheid gemaakt tussen intertidale en subtidale staalnamepunten. De sedimentkwaliteit van de Zeeschelde werd ook onderzocht rekening houdend met de saliniteitszones. Hiertoe werd een Kruskal-Wallis-test uitgevoerd, gevolgd door een post-hoc test.

Om relaties na te gaan tussen concentraties aan contaminanten, de mediane korrelgrootte en de volumepercentages klei, slib en organische stof werden Spearman Rank correlatieanalyses uitgevoerd.

De sedimentkwaliteit werd besproken aan de hand van de kwaliteitsklassen op basis van het fysisch-chemische luik van de Triademethode en de VLAREBO normen.

Voor een selectie van drie gebieden langs de Zeeschelde (Boereschans, Ballooi en Appels), werd de sedimentkwaliteit zowel ruimtelijk als temporeel behandeld. Net als voor de granulometrie werden deze gebieden gekozen omdat hiervan verschillende datareeksen beschikbaar zijn.

4.2. Resultaten

4.2.1. Overzicht analyseresultaten

Analyseresultaten volledige studiegebied:

In bijlage 7 wordt een overzicht gegeven van de concentraties aan contaminanten in alle bemonsterde punten van de Zeeschelde en haar zijrivieren (1999 tot en met 2004).

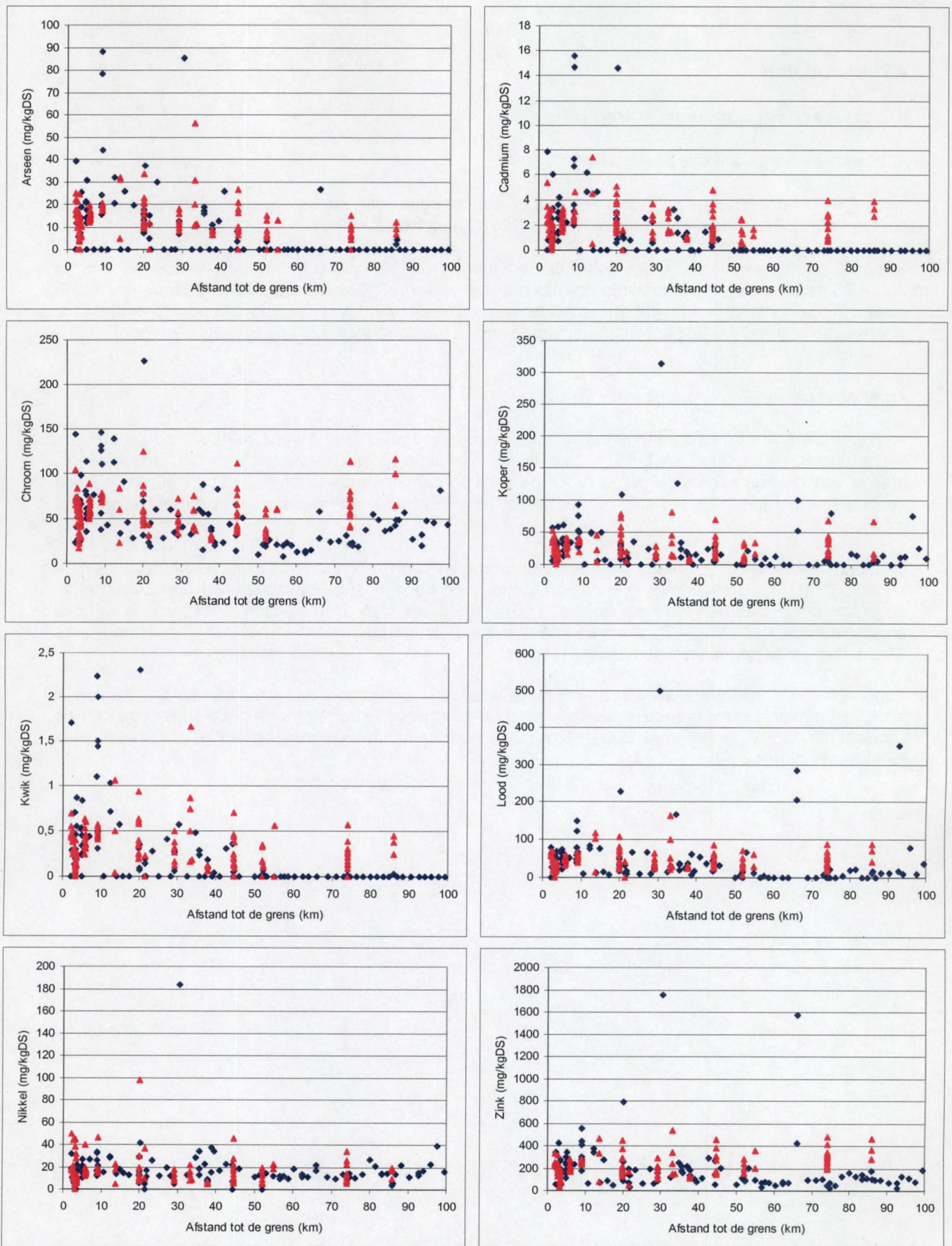
Bijlage 8 geeft een overzicht van de mediane waarden van de concentraties aan contaminanten, de 25 en 75 percentielen en de minima en maxima per rivier (1999 tot en met 2004). Voor de intertidale stalen uit de zijrivieren van de Zeeschelde werden geen mediane waarden bepaald, omdat hier slechts een beperkt aantal punten bemonsterd werden die bovendien telkens op één slik lagen.

Analyseresultaten Zeeschelde:

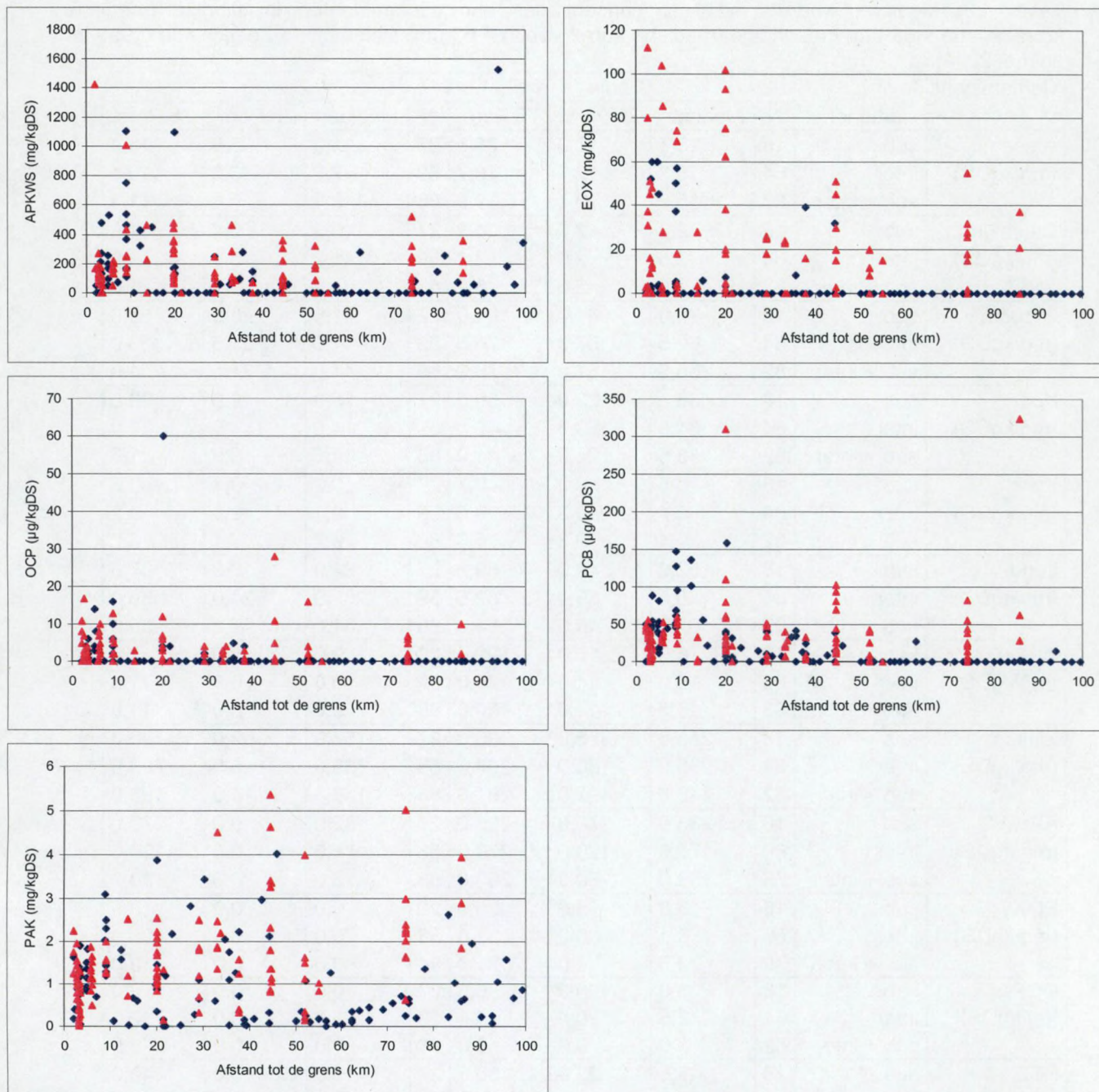
In figuren 4.1 en 4.2 worden respectievelijk de concentraties aan zware metalen en organische contaminanten weergegeven in de subtidale en intertidale staalnamepunten van de Zeeschelde in functie van de afstand tot de grens. Voor de meeste contaminanten namen de concentraties in de subtidale stalen toe in de richting van de grens, terwijl er intertidaal meestal geen duidelijke gradiënt was.

In bijlage 9 worden de mediane waarden weergegeven van de concentraties aan contaminanten, de 25 en 75 percentielen en de *non-outlier range* voor de drie saliniteitszones van de Zeeschelde, subtidaal en intertidaal (1999 tot en met 2004). Subtidaal waren de concentraties van de meeste contaminanten het hoogst in de mesohaliene zone. Intertidaal werden meestal geen significante verschillen gevonden tussen de saliniteitszones.

Tabel 4.8 geeft een overzicht van de mediane waarden van de concentraties aan contaminanten in slibrijke (mediane korrelgrootte < 63 µm) en zandige (mediane korrelgrootte > 63 µm) stalen uit de Zeeschelde (1999 tot en met 2004). Voor alle contaminanten werden de hoogste concentraties gemeten in slibrijke stalen.



Figuur 4.1: Concentraties aan zware metalen in de subtidale (◆) en intertidale (▲) stalnamepunten in en langs de Zeeschelde in functie van de afstand tot de grens.



Figuur 4.2: Concentraties aan organische contaminanten in de subtidale (◆) en intertidale (▲) staalnamepunten in en langs de Zeeschelde in functie van de afstand tot de grens.

Tabel 4.8: Mediane waarden van de concentraties aan contaminanten in slibrijke (mediane korrelgrootte < 63 µm) en zandige (mediane korrelgrootte > 63 µm) stalen uit de Zeeschelde (1999 tot en met 2004).

Contaminant	Inter-/subtidaal	Slibrijk				Zandig			
		N	Mediaan	25 Perc.	75 Perc.	N	Mediaan	25 Perc.	75 Perc.
Arseen (mg/kgDS)	sub	18	18,1	13,0	25,5	27	11,0	5,6	15,4
	inter	64	15,3	12,7	18,7	59	7,3	5,5	10,1
	sub + inter	82	15,6	12,7	19,9	86	8,3	5,6	11,3
Cadmium (mg/kgDS)	sub	18	2,8	2,0	4,2	27	0,9	0,4	1,8
	inter	64	2,5	2,0	3,1	59	1,2	0,8	1,6
	sub + inter	82	2,6	2,0	3,2	86	1,2	0,7	1,8
Chroom (mg/kgDS)	sub	18	76,0	61,0	91,0	27	41,0	28,0	55,0
	inter	64	62,5	57,0	76,5	59	41,0	31,5	53,0
	sub + inter	82	65,5	57,0	79,0	86	41,0	31,5	54,0
Koper (mg/kgDS)	sub	18	36,5	29,0	50,0	27	15,0	6,0	23,0
	inter	64	31,5	23,6	40,5	59	14,0	9,0	21,0
	sub + inter	82	33,5	24,0	41,0	86	14,5	8,0	21,6
Kwik (mg/kgDS)	sub	18	0,5	0,3	0,7	27	0,2	0,1	0,3
	inter	64	0,4	0,3	0,5	59	0,1	0,1	0,2
	sub + inter	82	0,4	0,3	0,6	86	0,2	0,1	0,2
Lood (mg/kgDS)	sub	18	52,0	49,0	69,0	27	24,0	16,0	37,0
	inter	64	50,5	39,0	62,5	59	32,0	24,0	39,0
	sub + inter	82	51,0	40,0	64,0	86	31,0	19,0	39,0
Nikkel (mg/kgDS)	sub	18	18,0	15,0	22,0	27	9,0	5,0	12,0
	inter	64	16,0	14,0	20,0	59	9,0	6,0	11,0
	sub + inter	82	16,5	14,0	20,0	86	9,0	6,0	11,0
Zink (mg/kgDS)	sub	18	258,5	225,0	299,0	27	152,0	92,0	190,0
	inter	64	235,5	180,0	296,5	59	159,0	125,0	203,0
	sub + inter	82	242,5	192,0	297,0	86	158,5	114,0	198,0
APKWS (mg/kgDS)	sub	16	235,0	170,0	465,0	25	82,0	0,0	170,0
	inter	60	175,0	120,0	270,0	58	74,0	0,0	120,0
	sub + inter	76	180,0	130,0	295,0	83	75,0	0,0	130,0
EOX (mg/kgDS)	sub	16	3,8	3,0	25,5	26	0,0	0,0	8,5
	inter	63	3,1	0,0	31,0	58	0,0	0,0	20,0
	sub + inter	79	3,5	0,0	31,0	84	0,0	0,0	18,0
OCP (µg/kgDS)	sub	18	3,0	0,0	6,0	27	0,0	0,0	3,0
	inter	64	2,5	0,0	6,0	59	0,0	0,0	2,0
	sub + inter	82	3,0	0,0	6,0	86	0,0	0,0	2,0
PCB (µg/kgDS)	sub	18	47,5	25,0	56,0	27	15,0	0,0	40,0
	inter	64	35,0	22,0	47,5	59	16,0	5,0	28,0
	sub + inter	82	37,0	23,0	53,0	86	16,0	5,0	29,0
PAK (mg/kgDS)	sub	18	1,3	0,9	1,5	27	0,9	0,4	1,3
	inter	64	1,4	1,1	2,1	59	1,1	0,6	1,8
	sub + inter	82	1,3	1,0	2,0	86	1,0	0,4	1,6

4.2.2. Correlatieanalyses

Tabellen 4.9 en 4.10 geven respectievelijk de resultaten van een Spearman Rank correlatieanalyse voor de stalen die geanalyseerd werden door het PIH en de LVV. De correlatieanalyses werden apart uitgevoerd voor beide laboratoria omdat de methoden waarmee de korrelgrootteverdeling en het percentage organische stof bepaald werden verschilden. Bovendien werd de mediane korrelgrootte enkel door het INBO bepaald.

De percentages klei (lutum), slib (fractie < 63 µm) en organische stof (OS) en de concentraties aan zware metalen vertonen onderling doorgaans sterke correlaties. De concentraties aan chroom en koper in de stalen die geanalyseerd werden door de LVV zijn wel zwakker gecorreleerd met de arseenconcentraties. Tussen nikkel en arseen werd geen significante correlatie gevonden in de stalen van de LVV. Opvallend zijn ook de zwakke correlaties tussen het percentage organische stof en de concentraties zware metalen en tussen de percentages lutum en slib in de stalen van de LVV. De concentraties aan organische contaminanten, behalve de OCP's in de stalen van de LVV en de EOX, zijn sterk gecorreleerd met de zware metalen. De correlaties tussen de EOX en zware metalen zijn zwak voor de stalen van beide laboratoria. De correlaties tussen de percentages klei (lutum), slib, organische stof en de organische contaminanten zijn meestal zwak en voor de OCP's in de stalen van de LVV en de EOX in de stalen van het PIH niet significant. Alle variabelen zijn negatief gecorreleerd met de mediane korrelgrootte.

In verschillende studies werden reeds sterke correlaties aangetoond tussen concentraties aan zware metalen en sedimentkarakteristieken (Rodrigo, 1989; Gallagher *et al.*, 1996; Zwolsman *et al.*, 1999; Wang & Chen, 2000; Duquesne *et al.*, 2006). Het is algemeen beschreven dat het transport, de verspreiding en de accumulatie van reactieve zware metalen en PCB's bepaald worden door de aanwezigheid van fijne sedimenten (Feng *et al.*, 1998). Adsorptie van zware metalen door sedimentdeeltjes wordt bepaald door de beschikbare oppervlakte aan sedimentdeeltjes en het adsorptiepotentieel van het sediment (Rodrigo, 1989). Fijne sedimenten vertonen vaak hoge concentraties aan zware metalen door hun grotere oppervlakte/volume verhouding en verrijking met organisch materiaal en ijzer- en mangaanoxiden (Zhang *et al.*, 2001). Sediment met kleine korrelgrootte heeft een grote beschikbare oppervlakte voor adsorptie (de Deckere *et al.*, 2001) en bovendien een klein volume interstitieel water.

Tabel 4.9: Resultaten van de Spearman Rank correlatieanalyse voor de stalen geanalyseerd door het PIH (de waarden in vetjes duiden op een significante correlatie; N = 181, p < 0.05).

	Med. Kor.	Klei	Slib	OS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn	APKWS	EOX	OCP	PCB	PAK
Med. Kor.	1,00																
Klei	-0,69	1,00															
Slib	-0,97	0,73	1,00														
OS	-0,78	0,76	0,80	1,00													
As	-0,61	0,62	0,65	0,76	1,00												
Cd	-0,62	0,45	0,64	0,72	0,80	1,00											
Cr	-0,76	0,71	0,77	0,84	0,73	0,73	1,00										
Cu	-0,68	0,68	0,70	0,79	0,79	0,77	0,82	1,00									
Hg	-0,70	0,64	0,72	0,81	0,85	0,86	0,82	0,85	1,00								
Pb	-0,58	0,58	0,60	0,72	0,70	0,78	0,74	0,87	0,79	1,00							
Ni	-0,72	0,71	0,74	0,88	0,79	0,77	0,85	0,89	0,83	0,83	1,00						
Zn	-0,56	0,44	0,57	0,66	0,64	0,85	0,71	0,77	0,76	0,83	0,74	1,00					
APKWS	-0,56	0,51	0,58	0,68	0,71	0,79	0,80	0,81	0,77	0,76	0,78	0,75	1,00				
EOX	-0,27	-0,04	0,26	0,31	0,26	0,48	0,34	0,28	0,37	0,26	0,30	0,37	0,27	1,00			
OCP	-0,45	0,46	0,50	0,61	0,54	0,53	0,61	0,61	0,59	0,55	0,61	0,48	0,63	0,14	1,00		
PCB	-0,56	0,45	0,57	0,71	0,64	0,73	0,74	0,76	0,73	0,67	0,74	0,63	0,77	0,41	0,74	1,00	
PAK	-0,42	0,28	0,41	0,52	0,44	0,62	0,60	0,63	0,61	0,65	0,60	0,65	0,67	0,37	0,53	0,70	1,00

Tabel 4.10: Resultaten van de Spearman Rank correlatieanalyse voor de stalen geanalyseerd door de LVV (de waarden in vetjes duiden op een significante correlatie; N = 177, p < 0.05).

	Lutum	Slib	OS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn	APKWS	EOX	OCP	PCB	PAK
Lutum	1,00															
Slib	0,85	1,00														
OS	0,20	0,32	1,00													
As	0,46	0,41	-0,02	1,00												
Cd	0,51	0,51	0,18	0,66	1,00											
Cr	0,62	0,75	0,33	0,33	0,59	1,00										
Cu	0,49	0,59	0,42	0,34	0,64	0,67	1,00									
Hg	0,55	0,58	0,22	0,62	0,88	0,66	0,69	1,00								
Pb	0,47	0,56	0,35	0,47	0,72	0,67	0,86	0,78	1,00							
Ni	0,45	0,54	0,43	0,13	0,43	0,65	0,78	0,49	0,62	1,00						
Zn	0,40	0,44	0,28	0,55	0,84	0,57	0,77	0,80	0,81	0,54	1,00					
APKWS	0,24	0,29	0,41	0,16	0,44	0,46	0,60	0,55	0,53	0,54	0,51	1,00				
EOX	0,26	0,41	0,28	0,10	0,37	0,43	0,58	0,50	0,53	0,43	0,46	0,51	1,00			
OCP	0,06	0,06	0,05	0,08	0,18	0,16	0,14	0,17	0,17	0,10	0,20	0,16	0,12	1,00		
PCB	0,54	0,62	0,41	0,30	0,67	0,64	0,79	0,72	0,71	0,66	0,68	0,58	0,63	0,17	1,00	
PAK	0,37	0,45	0,44	0,12	0,50	0,57	0,72	0,51	0,62	0,68	0,62	0,56	0,54	0,12	0,74	1,00

De zwakke of niet significante correlaties met de OCP's van de LVV zijn mogelijk te wijten aan het ontbreken van exacte cijfers voor alle concentraties onder de 10 µg/kgDS. De zwakkere correlaties tussen de meeste variabelen in de stalen van de LVV zijn mogelijk te verklaren door het relatief grote aantal stalen afkomstig uit de zijrivieren van de Zeeschelde. In sommige zijrivieren waren de concentraties van een aantal contaminanten gemiddeld aanzienlijk groter dan in de Zeeschelde (bijlage 8). Nochtans bleven de correlaties meestal zwak als enkel de stalen van de Zeeschelde in rekening werden gebracht (tabel 4.11).

Tabel 4.11: Resultaten van de Spearman Rank correlatieanalyse voor de stalen uit de Zeeschelde geanalyseerd door de LVV (de waarden in vetjes duiden op een significante correlatie; N = 88, p < 0.05).

	Lutum	Slib	OS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn	APKWS	EOX	OCP	PCB	PAK
Lutum	1,00															
Slib	0,91	1,00														
OS	0,34	0,43	1,00													
As	0,31	0,35	0,16	1,00												
Cd	0,70	0,77	0,33	0,29	1,00											
Cr	0,65	0,77	0,42	0,28	0,84	1,00										
Cu	0,61	0,71	0,43	0,47	0,73	0,76	1,00									
Hg	0,60	0,66	0,34	0,49	0,82	0,71	0,74	1,00								
Pb	0,47	0,58	0,46	0,46	0,63	0,68	0,83	0,63	1,00							
Ni	0,63	0,73	0,27	0,42	0,70	0,75	0,77	0,67	0,67	1,00						
Zn	0,50	0,60	0,35	0,43	0,74	0,80	0,82	0,67	0,78	0,70	1,00					
APKWS	0,32	0,39	0,45	0,23	0,43	0,49	0,50	0,48	0,33	0,47	0,39	1,00				
EOX	0,20	0,31	0,38	0,03	0,40	0,38	0,35	0,45	0,31	0,21	0,33	0,42	1,00			
OCP	0,13	0,09	0,09	0,18	0,32	0,28	0,28	0,36	0,25	0,22	0,27	0,33	0,32	1,00		
PCB	0,62	0,66	0,44	0,38	0,85	0,73	0,69	0,85	0,60	0,64	0,68	0,52	0,43	0,33	1,00	
PAK	0,52	0,59	0,42	0,23	0,66	0,79	0,64	0,59	0,53	0,57	0,71	0,48	0,25	0,20	0,66	1,00

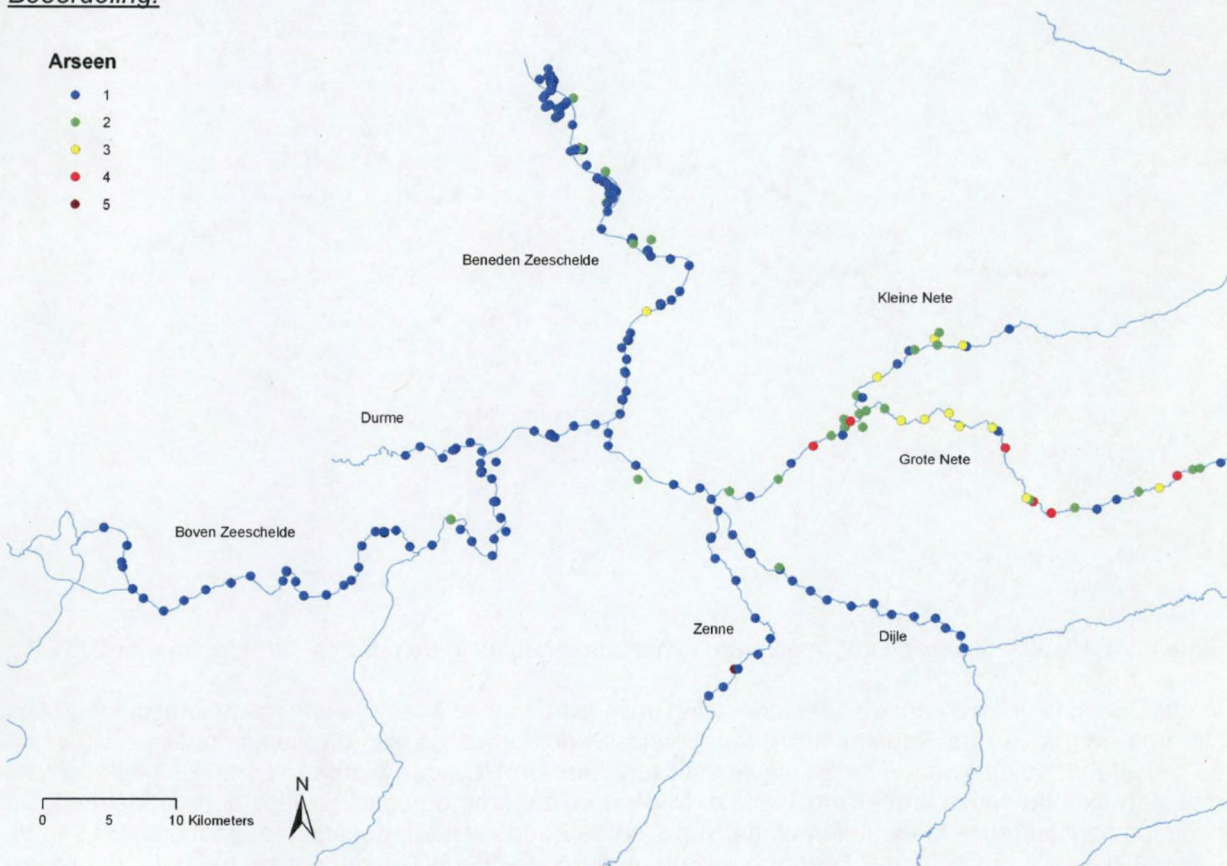
4.2.3. Beoordeling sedimentkwaliteit a.d.h.v. Triadeklassen

In wat volgt wordt voor elke contaminant telkens een korte samenvatting gegeven van de opvallendste meetresultaten in het studiegebied. Daarna komt de eigenlijke beoordeling van de sedimentkwaliteit aan de hand van kwaliteitsklassen op basis van het fysisch-chemische luik van de Triademethode. Voor een overzicht van de fysisch-chemische kwaliteitsklassen en de globale klasse (eindbeoordeling) van alle bemonsterde locaties in de periode 1999 tot 2004 wordt verwezen naar bijlage 10. Figuren 4.3 tot 4.16 schetsen een ruimtelijk beeld van de fysisch-chemische sedimentkwaliteit in het hele studiegebied. In de figuren zijn enkel staalnamepunten opgenomen waarvoor coördinaten beschikbaar waren. Van de intertidale punten die meerdere jaren opgevolgd werden, is enkel de klasse van het laatste jaar weergegeven.

Arseen

De hoogste arseenconcentraties werden gevonden in de Grote Nete. In het sediment van de Durme bleek het minste arseen aanwezig. Ook in de Zenne werden meestal lage arseenconcentraties gemeten, maar er werd wel één extreme waarde van 1090 mg/kgDS vastgesteld in een staal uit het jaar 2004. In de Zeeschelde waren de arseenconcentraties subtidaal doorgaans lager dan intertidaal (bijlagen 7 en 8). De concentraties werden hoger in stroomafwaartse richting (figuur 4.1). Zowel subtidaal als intertidaal werden de hoogste arseenconcentraties aangetroffen in de mesohaliene zone (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



Figuur 4.3: Kwaliteitsklassen voor arseen in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

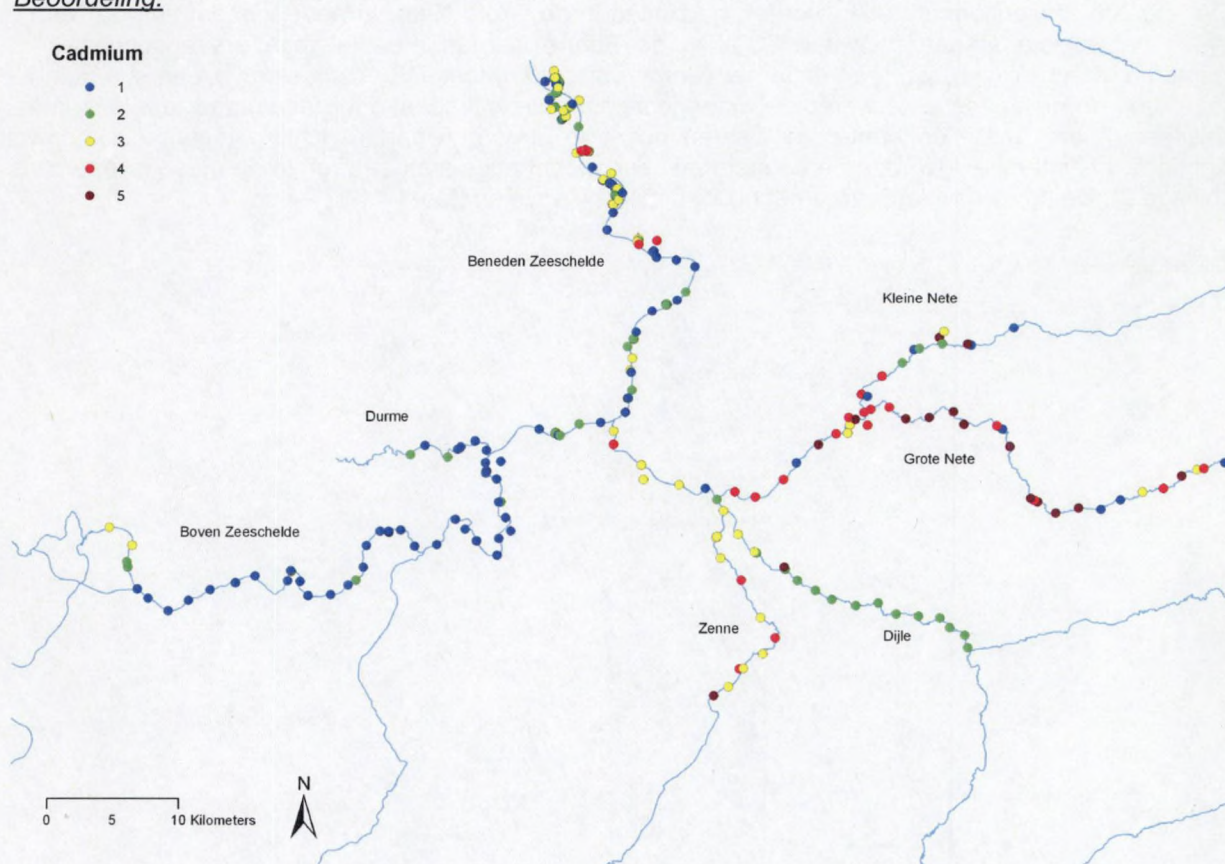
In de Zeeschelde werden de meeste stalen met licht tot matig afwijkende arseenconcentraties verzameld stroomafwaarts van Burcht, maar meestal weken de concentraties niet af. In de Boven Zeeschelde weken de concentraties vrijwel nooit af van de referentiewaarde. Het sediment van de Durme vertoonde geen afwijkende concentraties en in de Rupel kon maar op één locatie een licht

afwijkende arseenconcentratie worden vastgesteld. In de Dijle en de Zenne werd telkens één staal met extreem afwijkende concentratie verzameld, maar op de meeste andere locaties waren de concentraties niet afwijkend. De Nete, de Grote Nete, de Kleine Nete en het Netekanaal waren op de meeste locaties licht tot sterk verontreinigd met arseen (bijlage 10; figuur 4.3).

Cadmium

De hoogste cadmiumconcentraties werden gevonden in het sediment van de Grote Nete, de laagste in de Durme. Ook in de Zeeschelde waren de subtidale concentraties laag. De intertidale concentraties waren hoger (bijlagen 7 en 8). Enkel subtidaal werden de cadmiumconcentraties hoger in stroomafwaartse richting (figuur 4.1). Subtidaal werden de hoogste concentraties dan ook vastgesteld in de meso- en oligohaliene zones. Intertidaal was er geen significant verschil tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



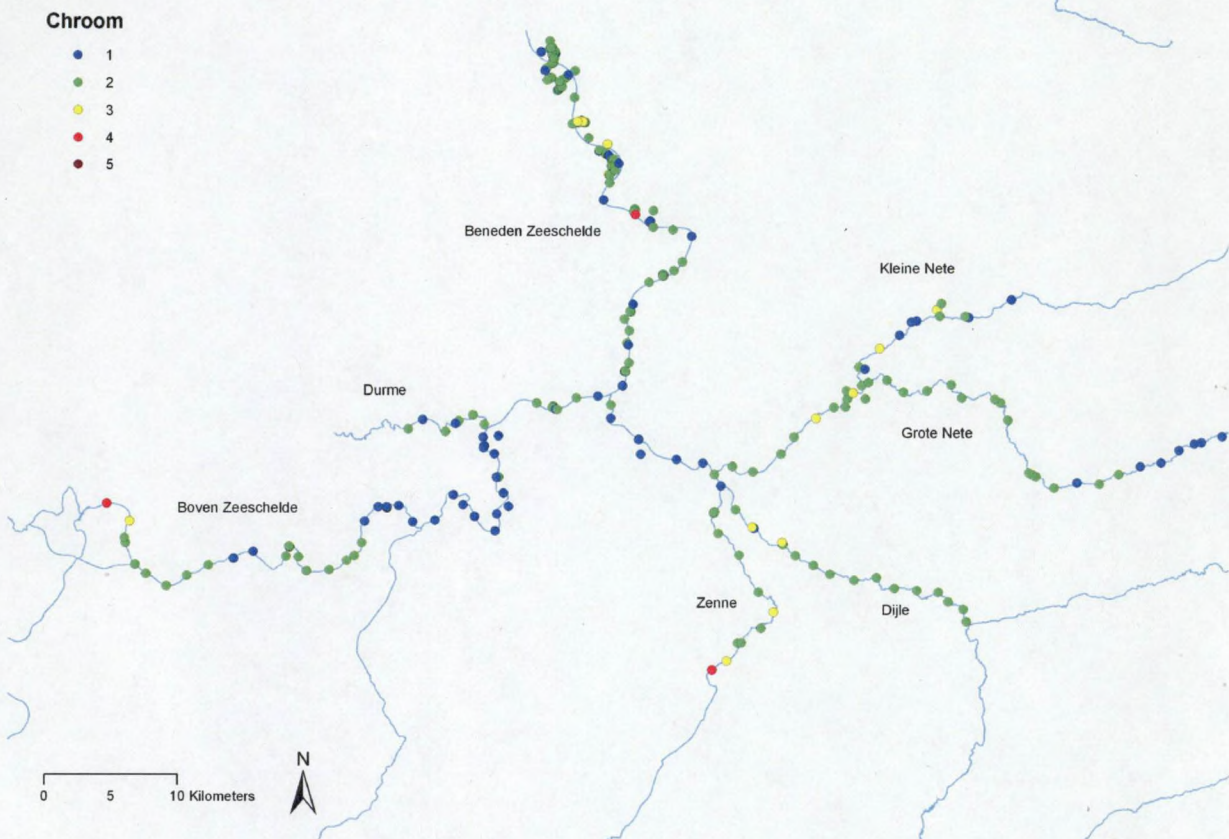
Figuur 4.4: Kwaliteitsklassen voor cadmium in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In de Zeeschelde werden de meeste stalen met licht tot sterk afwijkende cadmiumconcentraties stroomafwaarts van de Rupelmonding verzameld. Stroomopwaarts van de Rupelmonding was er op de meeste plaatsen geen verontreiniging. Tussen Gent en Heusden werden wel nog enkele licht tot matig afwijkende concentraties vastgesteld. In de Durme waren de concentraties doorgaans laag. De cadmiumconcentraties in de stalen uit de Rupel en de Zenne weken meestal matig tot sterk af van de referentiewaarde, met in de Zenne ook nog een extreem afwijkende concentratie in de meest stroomopwaartse bemonsteringslocatie. In de Dijle waren de concentraties stroomopwaarts van Mechelen alle licht afwijkend. Ter hoogte van Mechelen was er één extreem afwijkend punt en stroomafwaarts hiervan werden nog enkele matig afwijkende concentraties vastgesteld. De Nete, de Grote Nete en het Netekanaal waren het sterkst verontreinigd met cadmium. In de Kleine Nete werd in één punt een extreem afwijkende cadmiumconcentratie gemeten, maar in de meeste andere stalen waren de concentraties laag (bijlage 10; figuur 4.4).

Chroom

De hoogste chroomconcentraties werden gemeten in de Nete. Het sediment van de Kleine Nete en de Rupel bevatte de laagste concentraties. In het subtidaal sediment van de Zeeschelde waren de concentraties meestal lager dan intertidaal (bijlagen 7 en 8). Enkel subtidaal werden de chroomconcentraties hoger in stroomafwaartse richting (figuur 4.1). De hoogste concentraties werden gemeten in de mesohaliene zone. Intertidaal was er geen significant verschil tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



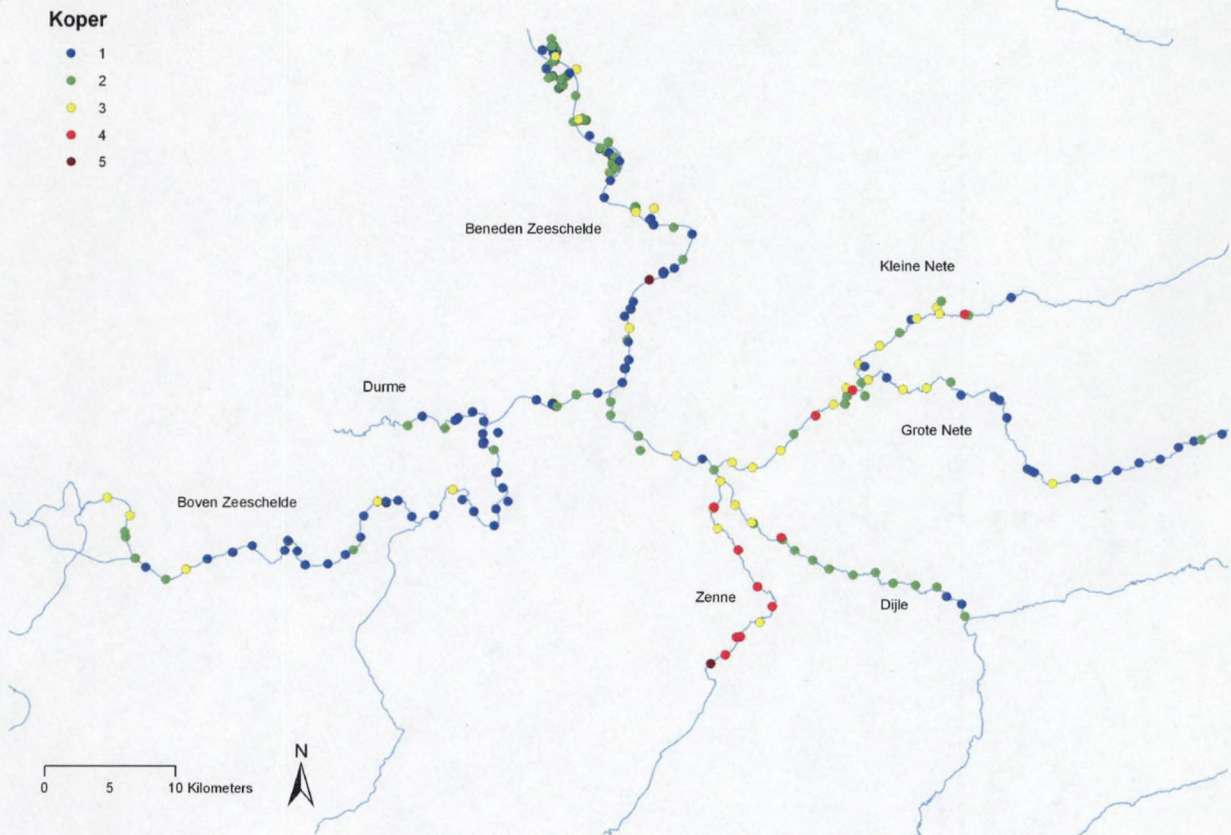
Figuur 4.5: Kwaliteitsklassen voor chroom in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

De meeste punten in de Zeeschelde hadden licht afwijkende chroomconcentraties. Tussen Paddebeek en de Durmemonding was er een zone waar weinig of geen afwijkende chroomconcentraties gemeten werden. Stroomafwaarts van Antwerpen en in de omgeving van Gent werden enkele matig tot sterk afwijkende concentraties vastgesteld. Ook in de zijrivieren weken de concentraties meestal licht af van de referentiewaarde, met verspreid ook enkele matig afwijkende punten. Het meest stroomopwaarts bemonsterde punt in de Zenne vertoonde een sterk afwijkende chroomconcentratie (bijlage 10; figuur 4.5).

Koper

De hoogste koperconcentraties werden gemeten in de Zenne en de Nete, de laagste in de Grote Nete. De subtidale concentraties in de Zeeschelde waren meestal iets lager dan de intertidale (bijlagen 7 en 8). Enkel subtidaal werden de concentraties doorgaans iets hoger in stroomafwaartse richting (figuur 4.1). Subtidaal werden de hoogste concentraties dan ook in de mesohaliene zone gemeten, terwijl er intertidaal geen significante verschillen waren tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



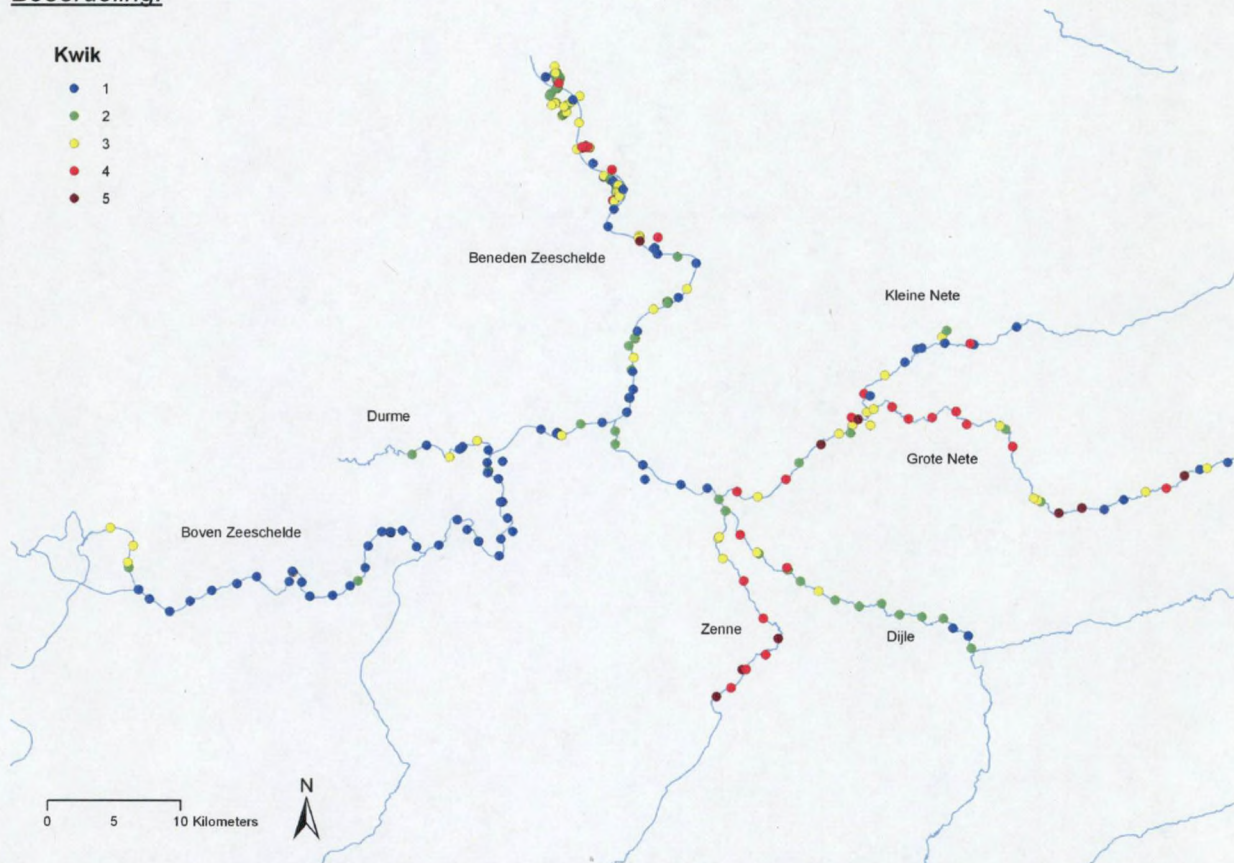
Figuur 4.6: Kwaliteitsklassen voor koper in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In de Boven Zeeschelde weken de koperconcentraties meestal niet af van de referentiewaarde. Verspreid werden wel enkele stalen met licht tot matig afwijkende concentraties verzameld, vooral in de omgeving van Gent. De concentraties in het sediment van de Beneden Zeeschelde waren op de meeste plaatsen licht tot matig afwijkend. Ter hoogte van Burcht werd een extreem afwijkende concentratie vastgesteld. In de Durme waren de koperconcentraties doorgaans laag. De stalen uit de Rupel en de Dije vertoonden meestal licht afwijkende concentraties. Ter hoogte van Mechelen werd één sterk afwijkend staal verzameld en stroomafwaarts hiervan werden enkele matig afwijkende concentraties gemeten. De Nete, de Kleine Nete en het Netekanaal waren licht tot sterk verontreinigd met koper, terwijl de meeste stalen uit de Grote Nete geen afwijkende koperconcentraties bevatten. Het sediment van de Zenne was het sterkst verontreinigd met koper, met in het meest stroomopwaarts bemonsterde punt een extreem afwijkende concentratie (bijlage 10; figuur 4.6).

Kwik

De hoogste kwikconcentraties werden gevonden in de Zenne en de Nete. In de Zenne werd in één punt een extreme waarde van 909 mg/kgDS gemeten (2004). Het sediment van de Durme, de Rupel en de Kleine Nete bevatte de laagste kwikconcentraties. Ook in de Zeeschelde waren de concentraties zeer laag, hoewel in de intertidale punten doorgaans iets hogere concentraties aanwezig waren (bijlagen 7 en 8). Subtidaal werden de concentraties in de Zeeschelde hoger in stroomafwaartse richting (figuur 4.1). De hoogste concentraties werden gevonden in de mesohaliene zone. Intertidaal waren er geen significante verschillen tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



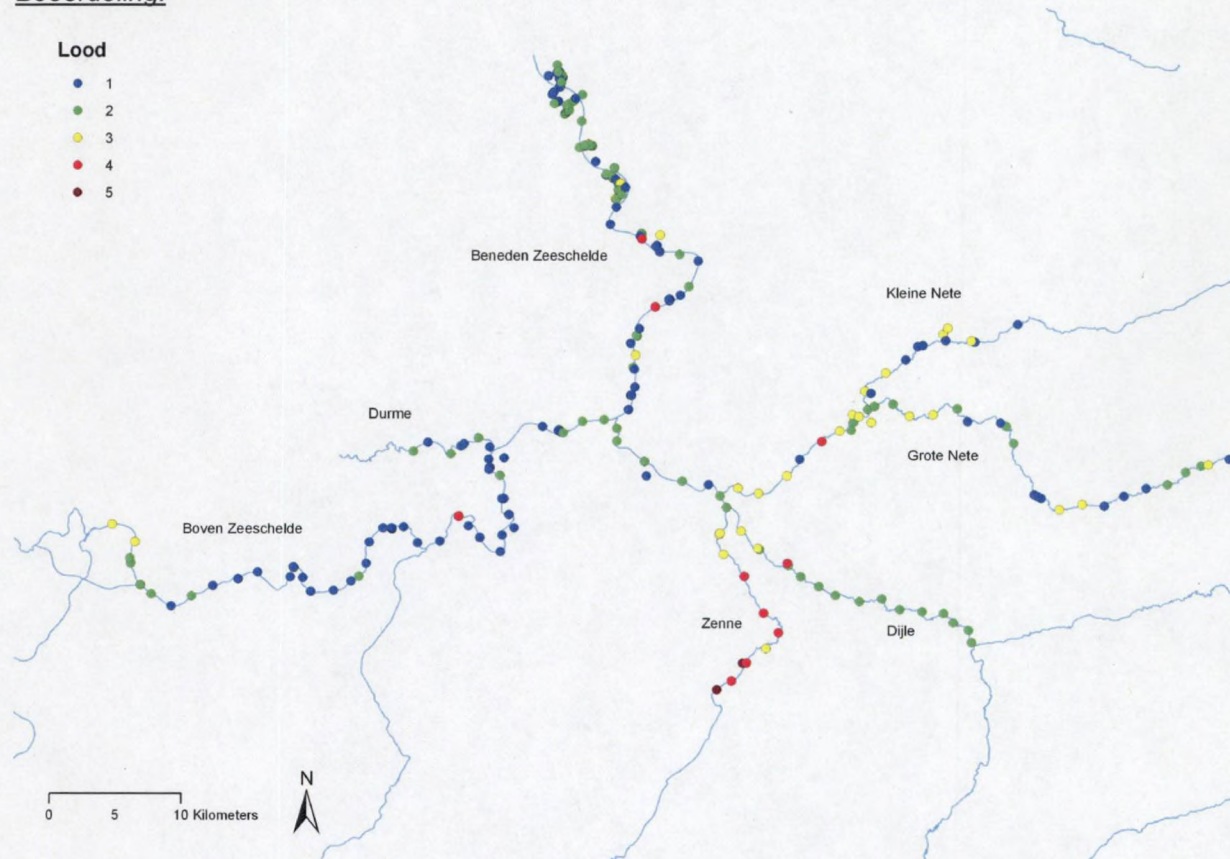
Figuur 4.7: Kwaliteitsklassen voor kwik in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In de Boven Zeeschelde weken de kwikconcentraties meestal niet af van de referentiewaarde. De meeste afwijkende concentraties in deze zone werden vastgesteld tussen Gent en Heusden. In de Beneden Zeeschelde werden op de meeste plaatsen licht tot sterk afwijkende kwikconcentraties gemeten en ter hoogte van Kallo en Plaat van Boomke werd telkens ook één extreem afwijkende concentratie vastgesteld. De stalen uit de Durme waren niet tot matig verontreinigd. In het sediment van de Rupel weken de kwikconcentraties niet of licht af van de referentiewaarde. In de Dijke vertoonden de punten stroomopwaarts van Mechelen meestal licht afwijkende concentraties. Stroomafwaarts vanaf Mechelen waren de meeste punten matig tot sterk afwijkend van de referentiewaarde. In de Kleine Nete en het Netekanaal waren de kwikconcentraties doorgaans laag, maar in de Kleine Nete werd wel één extreem afwijkende concentratie gemeten. De Zenne, de Nete en de Grote Nete waren het sterkst verontreinigd en vertoonden op de meeste plaatsen matig tot extreem afwijkende concentraties (bijlage 10; figuur 4.7).

Lood

De hoogste loodconcentraties werden aangetroffen in de Zenne en ook in de Nete lagen de concentraties hoog. De laagste concentraties werden gemeten in de Kleine Nete. Ook in de subtidale staalnamepunten in de Zeeschelde werden meestal lage concentraties vastgesteld. In de intertidale punten was de concentratie doorgaans iets hoger (bijlagen 7 en 8). Subtidaal werden de concentraties in de Zeeschelde hoger in stroomafwaartse richting (figuur 4.1). De hoogste concentraties werden gevonden in de meso- en oligohaliene zones. Intertidaal waren er geen significante verschillen tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



Figuur 4.8: Kwaliteitsklassen voor lood in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In de Boven Zeeschelde weken de loodconcentraties meestal niet af van de referentiewaarde. De meeste afwijkende concentraties in deze zone werden vastgesteld tussen Gent en Wetteren. Ter hoogte van Moerzeke werd één staal met sterk afwijkende concentratie verzameld. In de Beneden Zeeschelde werden in ongeveer de helft van de punten licht afwijkende loodconcentraties gemeten. Ter hoogte van Burcht en Plaat van Boomke werden sterk afwijkende concentraties vastgesteld. In de Durme vertoonden de helft van de punten een licht afwijkende concentratie, de andere helft was niet verontreinigd. In de Rupel en de Dijke vertoonden de meeste locaties licht afwijkende concentraties. Ter hoogte van Mechelen werd in de Dijke ook een staal met sterk afwijkende loodconcentraties verzameld. De concentraties in de Zenne weken matig tot extreem af van de referentiewaarde. In de Nete en het Netekanaal waren de concentraties meestal matig afwijkend en in de Kleine Nete weken ze meestal niet af van de referentiewaarde. Ongeveer de helft van de stalen uit de Grote Nete waren niet afwijkend, terwijl de andere helft licht tot matig verontreinigd waren (bijlage 10; figuur 4.8).

Nikkel

De hoogste nikkelconcentraties werden gevonden in de Zenne en de Nete, de laagste in de Grote Nete. Er was geen verschil tussen de concentraties in sub- en intertidale stalen uit de Zeeschelde (bijlagen 7 en 8). Bovendien was er geen gradiënt in stroomafwaartse richting (figuur 4.1). Zowel subtidaal als intertidaal waren er dan ook geen significante verschillen in concentraties tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren wel het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



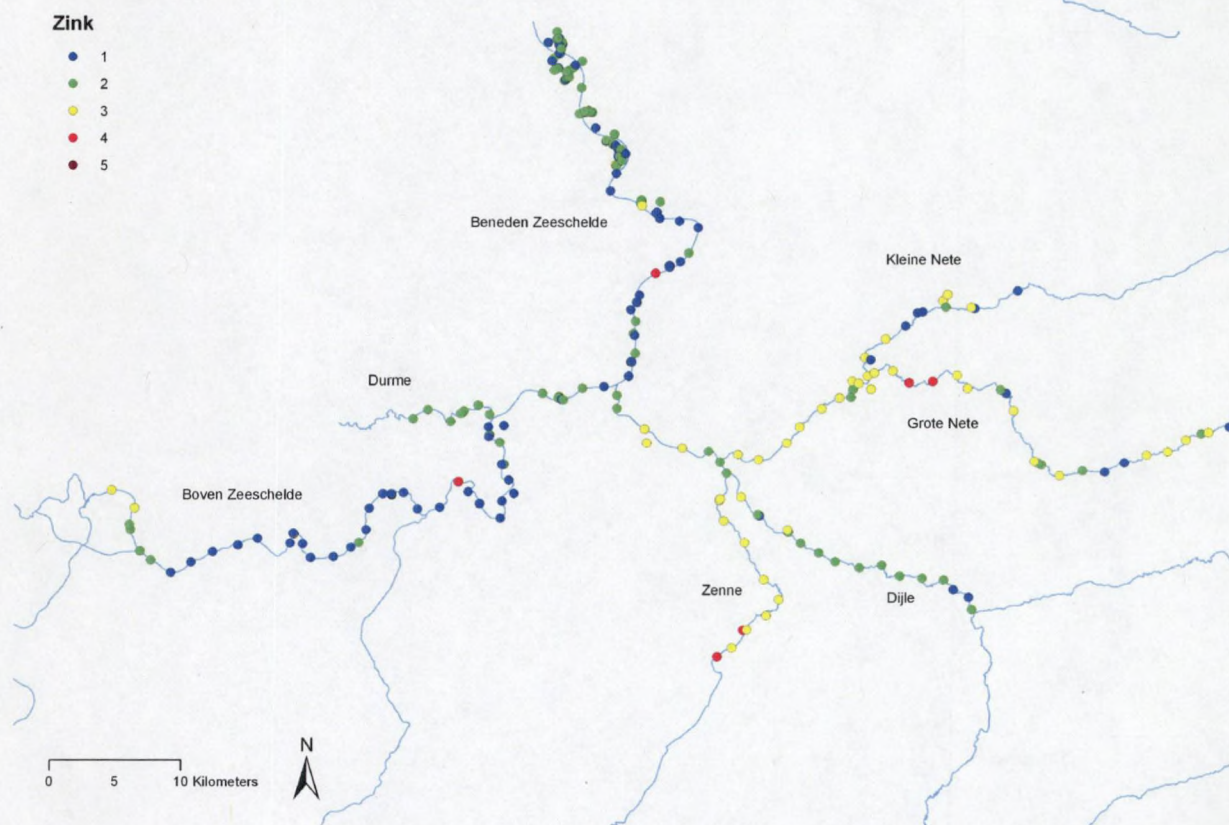
Figuur 4.9: Kwaliteitsklassen voor nikkel in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In de meeste punten in de Zeeschelde werden geen afwijkende nikkelconcentraties gevonden. Eén punt ter hoogte van Burcht vertoonde een sterk afwijkende concentratie. In de Rupel weken de concentraties in de helft van de punten licht af van de referentiewaarde. De punten in de Dijle, stroomopwaarts van Mechelen vertoonden geen afwijking. Ter hoogte van Mechelen lag wel één punt met matige afwijking. In de Zenne en de Nete weken de nikkelconcentraties van de meeste punten licht af van de referentiewaarde. In de Grote Nete, de Kleine Nete en het Netekanaal waren de concentraties doorgaans niet afwijkend (bijlage 10; figuur 4.9).

Zink

De hoogste zinkconcentraties werden gevonden in de Zenne en de Nete, de laagste in de Kleine Nete en subtidale stalen uit de Zeeschelde (bijlagen 7 en 8). Subtidaal werden de concentraties in de Zeeschelde meestal hoger in stroomafwaartse richting, maar intertidaal was de gradiënt omgekeerd (figuur 4.1). Subtidaal waren de concentraties het hoogst in de meso- en oligohaliene zones. Intertidaal waren de concentraties het hoogst in het zoete deel van de Zeeschelde (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



Figuur 4.10: Kwaliteitsklassen voor zink in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In de Zeeschelde werden in de meeste punten stroomopwaarts van de Durmemonding geen afwijkende zinkconcentraties vastgesteld. Tussen Gent en Melle vertoonden de meeste punten wel licht tot matig afwijkende concentraties. Ter hoogte van Moerzeke was er één punt met sterk afwijkende concentratie. De meeste punten stroomafwaarts van de Durmemonding weken niet tot licht af van de referentiewaarde, maar ter hoogte van Burcht was er wel één punt met een sterk afwijkende zinkconcentratie. Alle punten in de Durme vertoonden licht afwijkende zinkconcentraties en ook de locaties in de Rupel en de Dijle waren meestal licht verontreinigd met zink. De meeste stalen uit de Zenne vertoonden matig afwijkende concentraties, maar er werden ook drie sterk afwijkende stalen verzameld. In de Nete en het Netekanaal waren de concentraties meestal matig afwijkend van de referentiewaarde. De meeste stalen uit de Kleine Nete waren niet verontreinigd. In de Grote Nete werden meestal licht tot matig afwijkende zinkconcentraties gemeten en vertoonden twee stalen sterk afwijkende concentraties (bijlage 10; figuur 4.10).

Apolaire koolwaterstoffen (APKWS)

De hoogste concentraties apolaire koolwaterstoffen werden gevonden in de Zenne, de laagste in de Durme, Rupel, Dijle, Grote Nete, Kleine Nete en het Netekanaal. In de zes stalen uit de Kleine Nete werden zelfs helemaal geen apolaire koolwaterstoffen aangetoond. In de meeste rivieren werden wel een aantal extreme waarden gemeten. De concentraties in subtidale stalen uit de Zeeschelde waren meestal lager dan die in intertidale stalen (bijlagen 7 en 8). Subtidaal werden de concentraties in de Zeeschelde doorgaans hoger in stroomafwaartse richting (figuur 4.2). De hoogste concentraties werden gevonden in de mesohaliene zone. Intertidaal waren er geen significante verschillen tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



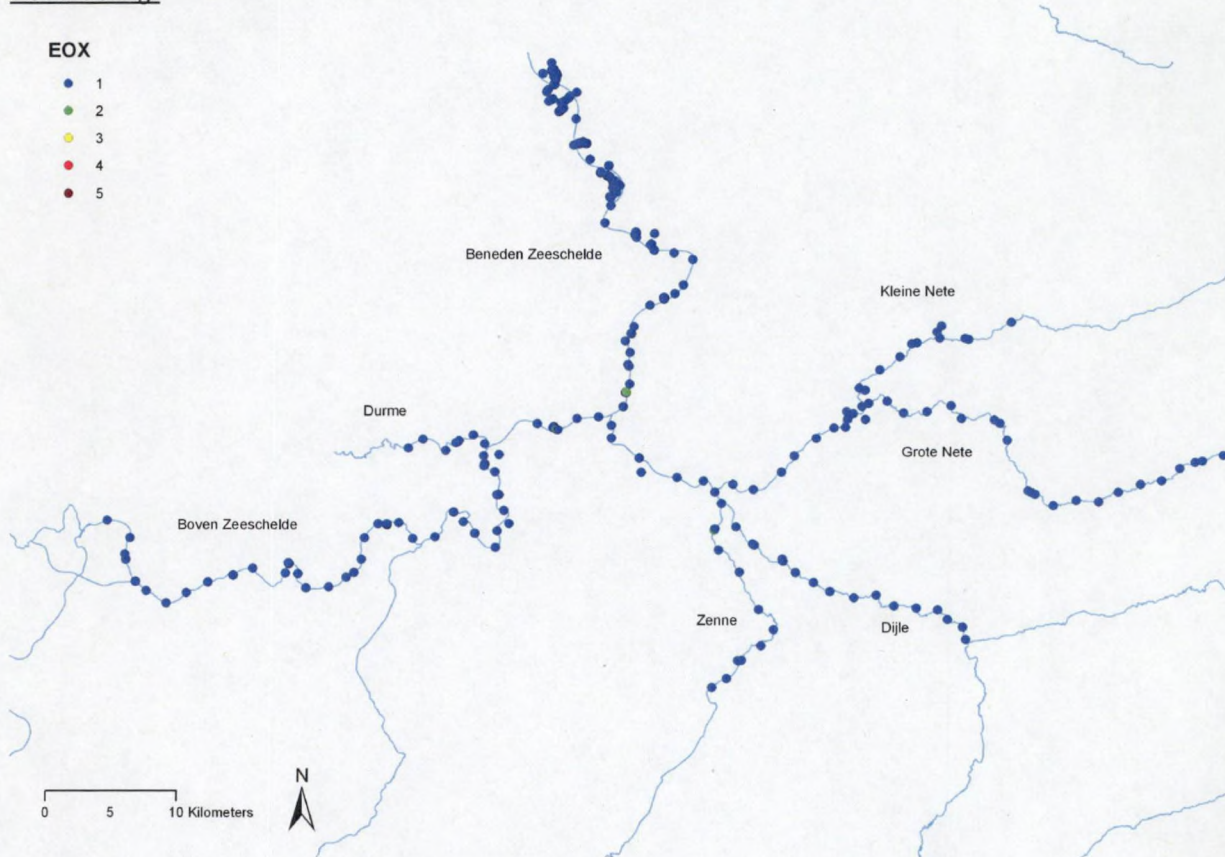
Figuur 4.11: Kwaliteitsklassen voor apolaire koolwaterstoffen (APKWS) in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

De concentraties aan apolaire koolwaterstoffen weken meestal niet af van de referentiewaarde in de Boven Zeeschelde. In het meest stroomopwaarts gelegen deel lagen verspreid wel een aantal punten met licht tot matig afwijkende concentraties. Ter hoogte van Wetteren werd een staal met sterk afwijkende concentratie verzameld. In de Beneden Zeeschelde vertoonden ongeveer de helft van de punten licht tot matig afwijkende concentraties apolaire koolwaterstoffen en werden ook een aantal sterk afwijkende concentraties gemeten. Op twee locaties werden extreem afwijkende concentraties vastgesteld. In de Durme werd één staal met sterk afwijkende concentraties verzameld, maar de concentraties in alle andere stalen waren niet afwijkend. De staalnamepunten in de Rupel weken niet tot matig af van de referentiewaarde en één punt nabij de monding vertoonde een sterk afwijkende concentratie. In de Dijle waren de meeste punten niet verontreinigd. De concentraties in de meeste stalen uit de Zenne weken licht tot extreem af van de referentiewaarde. De Kleine Nete was niet verontreinigd met apolaire koolwaterstoffen. Ongeveer de helft van de stalen uit de Nete, de Grote Nete en het Netekanaal waren niet verontreinigd, terwijl in de andere helft licht tot matig afwijkende concentraties gemeten werden (bijlage 10; figuur 4.11).

Extraheerbare organohalogenen (EOX)

De hoogste concentraties EOX werden gemeten in de Zenne, de laagste in de Zeeschelde, Durme, Rupel, Netekanaal, Grote Nete en Kleine Nete. In geen enkel staal uit de Durme, Netekanaal en Kleine Nete werden EOX aangetroffen. In de Zeeschelde werden zowel subtidaal als intertidaal slechts sporadisch EOX gemeten (bijlagen 7 en 8). Subtidaal werden de concentraties globaal genomen hoger in stroomafwaartse richting (figuur 4.2). De hoogste concentraties werden gevonden in de mesohaliene zone. Intertidaal waren er geen significante verschillen tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



Figuur 4.12: Kwaliteitsklassen voor extraheerbare organohalogenen (EOX) in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In het hele studiegebied werden slechts enkele stalen met lichte of matige verontreiniging verzameld. De stalen uit de Durme, de Nete, de Kleine Nete en het Netekanaal vertoonden nooit te hoge concentraties EOX (bijlage 10; figuur 4.12).

Organochloorpesticiden (OCP's)

De concentraties OCP's waren in alle rivieren zeer laag en in de Dijle, Durme, Rupel, Netekanaal en Kleine Nete werden nooit OCP's gemeten. De hoogste concentraties werden gevonden in de intertidale stalen van de Zeeschelde. Zowel intertidaal als subtidaal werden slechts zeer sporadisch OCP's gevonden in de Zeeschelde en subtidaal lagen de concentraties doorgaans lager (bijlagen 7 en 8). Subtidaal werden de concentraties globaal genomen hoger in stroomafwaartse richting (figuur 4.2). De hoogste concentraties werden gevonden in de mesohaliene zone. Intertidaal waren er geen significante verschillen tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



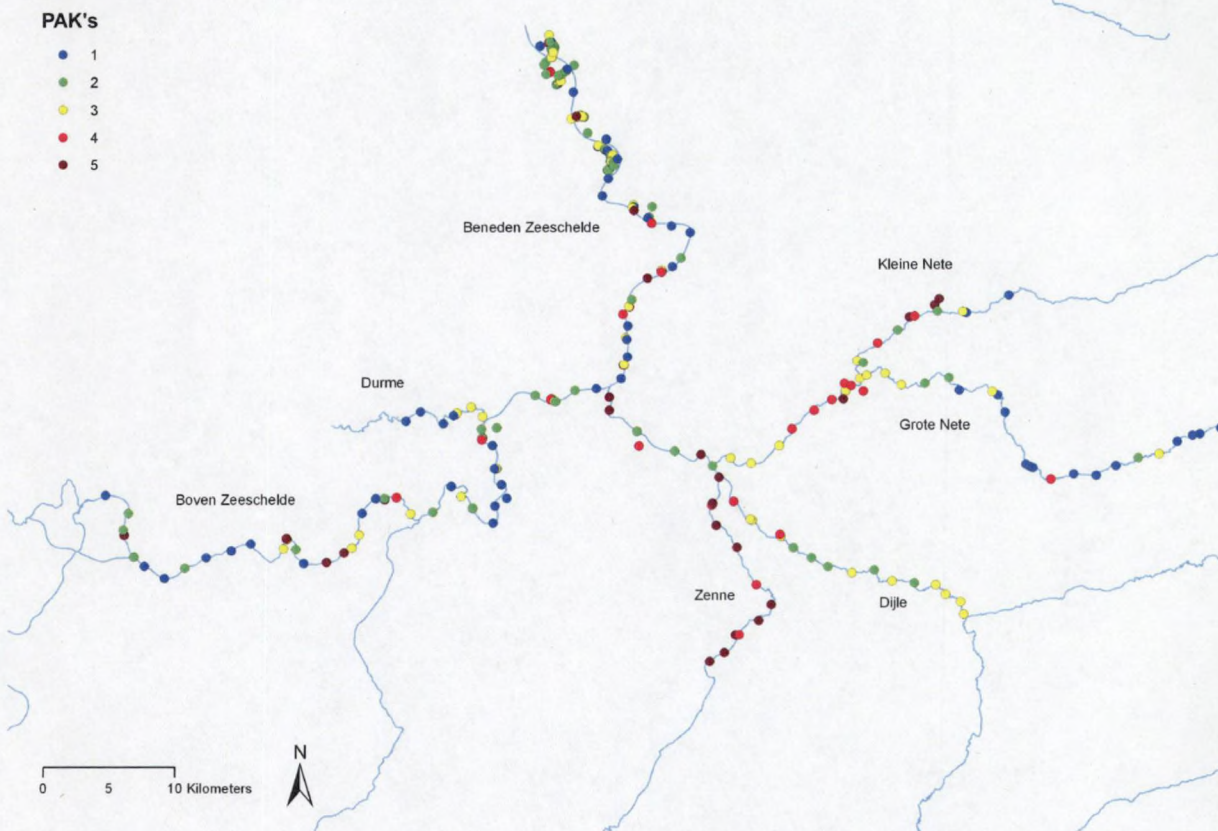
Figuur 4.13: Kwaliteitsklassen voor organochloorpesticiden (OCP's) in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In het hele studiegebied werden slechts enkele stalen verzameld met concentraties aan OCP's die licht of matig afweken van de referentiewaarde. Ter hoogte van Plaat van Boomke werd in de Zeeschelde een staal met extreem afwijkende concentraties verzameld. De stalen uit de Durme, de Rupel, de Dijle, de Kleine Nete en het Netekanaal bevatten nooit afwijkende concentraties OCP's (bijlage 10; figuur 4.13).

Polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's)

De hoogste concentraties PAK's werden gevonden in de Zenne, de laagste in de Grote Nete. In de Zeeschelde waren de concentraties in de subtidale staalnamepunten meestal lager dan in de intertidale punten (bijlagen 7 en 8). Subtidaal werden de concentraties in de Zeeschelde meestal hoger in stroomafwaartse richting, maar intertidaal was de gradiënt omgekeerd (figuur 4.2). Twee extreme waarden zijn niet opgenomen in figuur 4.2, namelijk 114.35 mg/kgDS op 81.5 km en 78.64 mg/kgDS op 79.9 km van de grens, beide gemeten in subtidale stalen uit het jaar 2003. De subtidale concentraties waren het hoogst in de mesohaliene zone (hoewel de verschillen klein waren), terwijl de intertidale concentraties het hoogst waren in de zoete en oligohaliene zones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

Beoordeling:



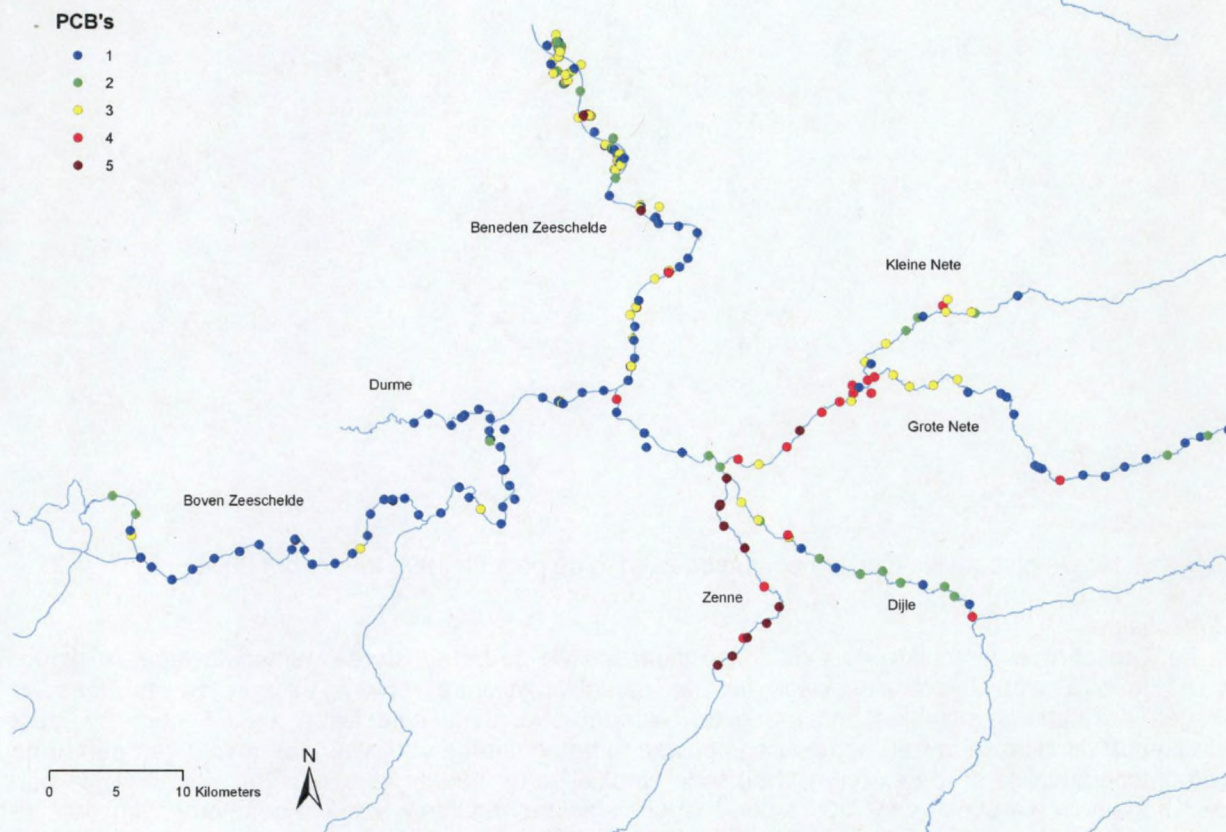
Figuur 4.14: Kwaliteitsklassen voor polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In de Zeeschelde was meer dan de helft van de staalnamepunten licht tot extreem verontreinigd met PAK's. In de Durme werden enkel in de meest stroomafwaarts gelegen locaties te hoge concentraties PAK's gemeten. De staalnamepunten in de Rupel bevatten concentraties die licht tot extreem afwijken van de referentiewaarde. Het sediment van de Dijke was licht tot sterk verontreinigd. In de Nete werden matig tot sterk verhoogde concentraties gemeten. De Kleine en Grote Nete waren niet tot matig verontreinigd met PAK's en in beide rivieren werd ook telkens één staal met sterk afwijkende concentraties verzameld. Het sediment uit het Netekanaal bevatte op de meeste plaatsen sterk tot extreem afwijkende concentraties. De Zenne was het sterkst verontreinigd met PAK's, met in alle stalen sterk tot extreem afwijkende concentraties (bijlage 10; figuur 4.14).

Polychloorbifenylen (PCB's)

De hoogste concentraties PCB's werden gemeten in de Zenne, de laagste in de Durme en de Grote Nete. In de Zeeschelde waren de concentraties in de subtidale staalnamepunten meestal lager dan in de intertidale punten (bijlagen 7 en 8). Subtidaal namen de concentraties doorgaans toe in stroomafwaartse richting. Intertidaal werd deze gradiënt niet teruggevonden (figuur 4.2). De subtidale concentraties waren dan ook het grootst in de meso- en oligohaliene zones, terwijl er intertidaal geen significante verschillen waren tussen de saliniteitszones (bijlage 9). De concentraties waren het hoogst in slibrijke stalen (tabel 4.8).

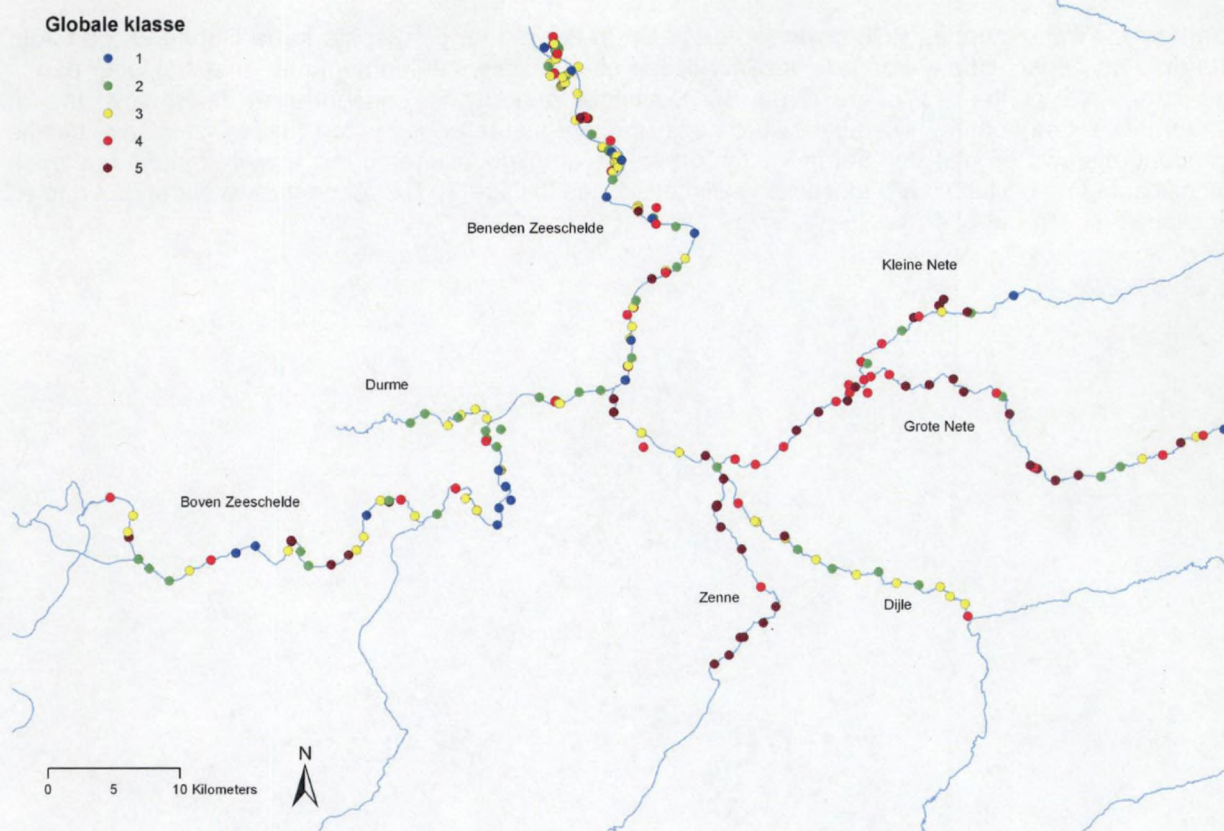
Beoordeling:



Figuur 4.15: Kwaliteitsklassen voor polychloorbifenylen (PCB's) in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

In de meeste punten van de Boven Zeeschelde weken de concentraties aan PCB's niet af van de referentiewaarde. De staalnamepunten in de Beneden Zeeschelde waren meestal licht of matig verontreinigd, maar op sommige plaatsen werden ook sterk tot extreem hoge concentraties gemeten. De concentraties in de Rupel en de Dijke weken meestal licht tot sterk af van de referentiewaarde. In de Durme waren de concentraties laag, maar in één punt werden wel sterk verhoogde concentraties gemeten. De Zenne was het sterkst verontreinigd met PCB's, met in alle staalnamepunten sterk tot extreem verhoogde concentraties. In de Nete en het Netekanaal werden meestal matig tot sterk verhoogde concentraties PCB's vastgesteld en één keer werd in de Nete een extreem afwijkende concentratie gemeten. In de Kleine Nete weken de concentraties niet tot matig af van de referentiewaarde. In de Grote Nete was ongeveer de helft van de stalen niet verontreinigd en vertoonde de andere helft licht tot sterk verhoogde concentraties (bijlage 10; figuur 4.15).

Eindbeoordeling



Figuur 4.16: De globale klassen in het studiegebied in de periode 1999 tot en met 2004.

Zeeschelde:

In de Zeeschelde verschilde de eindklasse sterk tussen de bemonsterde punten (bijlage 10; figuur 4.16). In de Boven Zeeschelde waren er een aantal opvallende zones. Tussen Gent en Heusden kregen de staalname locaties een matig tot extreem afwijkende eindklasse toegewezen. De sterk afwijkende eindklasse in het meest stroomopwaarts bemonsterde punt was het gevolg van een hoge chroomconcentratie en de extreem afwijkende eindklasse ter hoogte van Heusden was te wijten aan zeer hoge concentraties aan PAK's. Voor de meeste zware metalen werden in deze omgeving licht tot matig verhoogde concentraties vastgesteld. Tussen Uitbergen en Paddebeek lagen enkele punten met extreem afwijkende eindklasse. De extreem afwijkende eindklassen in het punt ter hoogte van Uitbergen, waar de Voorstesloot in de Schelde uitmondt, en in de punten ter hoogte van Schoonaarde waren het gevolg van hoge concentraties aan PAK's. In de zone stroomafwaarts vanaf Sint-Amands tot en met Branst werden geen afwijkende concentraties aan contaminanten gevonden.

Ook in de Beneden Zeeschelde waren er een aantal ernstig verontreinigde locaties. In het staalnamepunt met extreem afwijkende eindklasse ter hoogte van Burcht werden zeer hoge concentraties aan PAK's en koper aangetoond en daarnaast ook nog matig afwijkende concentraties arseen, kwik, apolaire koolwaterstoffen en PCB's en sterk afwijkende lood-, nikkel- en zinkconcentraties. Dit punt was het enige in het hele studiegebied met een sterk afwijkende nikkelconcentratie. In een punt ter hoogte van Plaat van Boomke werd een extreem afwijkende concentratie aan OCP's vastgesteld. Dit kwam nergens anders voor in het studiegebied. Verder werden in dit punt ook nog extreem afwijkende concentraties apolaire koolwaterstoffen, PAK's, PCB's en kwik gemeten en weken de concentraties van alle andere onderzochte zware metalen licht tot sterk af van de referentiewaarde. Ter hoogte van Kallo kregen de punten licht tot sterk afwijkende eindklassen toegewezen. Er werden vooral hoge concentraties cadmium, kwik en PCB's gemeten. De punten in de omgeving van het Galgenschoor kregen matig tot extreem afwijkende eindklassen. Hier werden voornamelijk hoge concentraties apolaire koolwaterstoffen, PCB's, PAK's, cadmium en kwik gevonden. Nabij de grens, in het gebied rond Doel en het Groot Buitenschoor, kregen de staalnamepunten licht tot sterk afwijkende eindklassen en werden er vooral hoge concentraties cadmium, kwik, apolaire koolwaterstoffen, PAK's en PCB's vastgesteld.

Durme:

In de Durme kregen vier stalen een licht afwijkende, vier stalen een matig afwijkende en één staal een sterk afwijkende eindklasse (bijlage 10; figuur 4.16). Het staal met sterk afwijkende eindklasse vertoonde hoge concentraties apolaire koolwaterstoffen, PCB's en PAK's. De drie punten die dichtst bij de Durmemonding liggen, kregen matig afwijkende eindklassen door te hoge concentraties aan PAK's. Eén van deze punten had bovendien nog een matig afwijkende kwikconcentratie. Ook het vierde punt met matig afwijkende eindklasse had een te hoge kwikconcentratie. Het is opvallend dat alle punten een licht afwijkende zinkconcentratie vertoonden. Daarnaast hadden een aantal punten nog licht afwijkende concentraties cadmium, chroom, koper en/of lood.

Rupel:

De punten in de Rupel kregen matig tot extreem afwijkende eindklassen toegewezen (bijlage 10; figuur 4.16). De twee subtidale punten nabij de monding met extreem afwijkende eindklassen hadden zeer hoge concentraties PAK's. In het punt dat dichtst bij de monding lag werden ook nog sterk afwijkende concentraties apolaire koolwaterstoffen en PCB's en matig afwijkende cadmiumconcentraties gevonden. In het andere punt werd een sterk afwijkende cadmiumconcentratie aangetoond. De concentraties van de meeste zware metalen, behalve arseen, vertoonden lichte afwijkingen in deze twee punten.

Ook het subtidale staalnamepunt met extreem afwijkende eindklasse nabij de Netemonding had zeer hoge concentraties PAK's. In dit punt werden ook nog lichte afwijkingen gevonden voor zink en PCB's. In het midden van de Rupel werd nog een punt met sterk afwijkende eindklasse gevonden, als gevolg van een hoge concentratie PAK's. Hier werden ook matig afwijkende concentraties cadmium en apolaire koolwaterstoffen aangetoond.

Intertidaal werd één staal verzameld waaraan een extreem afwijkende eindklasse werd toegekend, omwille van veel te hoge concentraties PAK's. Ook PCB's weken sterk af van de referentiewaarde. De andere intertidale stalen weken sterk af van de referentiewaarde.

De overige punten hadden licht tot matig afwijkende concentraties voor één of meerdere contaminanten. Voor EOX en OCP's werden echter geen afwijkende concentraties gevonden in de Rupel.

Dijle:

In de Dijle kregen de meeste punten licht tot matig afwijkende eindklassen toegewezen. Het meest stroomopwaarts en het meest stroomafwaarts bemonsterde punt kregen een sterk en twee punten ter hoogte van Mechelen kregen een extreem afwijkende eindbeoordeling (bijlage 10; figuur 4.16).

De extreem afwijkende eindklassen waren respectievelijk te wijten aan zeer hoge arseen- en cadmiumconcentraties. In één van deze punten hadden ook alle andere zware metalen afwijkende concentraties, waarvan koper, kwik en lood de sterkst afwijkende concentraties vertoonden. Wat organische contaminanten betreft, weken de concentraties apolaire koolwaterstoffen matig af en de concentraties PAK's en PCB's sterk.

De sterk afwijkende eindklasse in het meest stroomafwaartse punt was het gevolg van hoge concentraties kwik en PAK's. In dit punt werden ook nog matig afwijkende concentraties cadmium, koper, lood, zink en PCB's gevonden.

In het meest stroomopwaarts bemonsterde punt in de Dijle was de sterk afwijkende eindklasse te wijten aan hoge concentraties PCB's. Daarnaast werd ook nog een matig afwijkende concentraties PAK's aangetoond. De concentraties van de andere contaminanten weken niet tot licht af in dit punt.

In de andere staalnamepunten stroomopwaarts van Mechelen werden licht tot matig afwijkende concentraties gevonden voor één of meerdere contaminanten. Voor EOX en OCP's werden geen afwijkende concentraties vastgesteld in de Dijle.

Zenne:

Op één na, kregen alle staalnamepunten in de Zenne een extreem afwijkende eindklasse toegewezen. Eén punt kreeg een sterk afwijkende eindklasse (bijlage 10; figuur 4.16).

Voor alle zware metalen en organische contaminanten werd in minstens één van de staalnamepunten een licht tot extreem afwijkende concentratie vastgesteld.

De meeste staalnamepunten hadden extreem afwijkende concentraties PAK's en PCB's. In twee staalnamepunten werden ook nog een extreem afwijkende concentraties apolaire koolwaterstoffen gevonden. Daarnaast werden in drie punten extreem hoge kwikconcentraties, in twee punten extreem hoge loodconcentraties en telkens in één punt extreem hoge arseen-, cadmium- en

koperconcentraties aangetoond. Nergens anders in het hele studiegebied werd een extreem afwijkende arseenconcentratie vastgesteld.

In één van de meest stroomopwaarts gelegen staalnamepunten in de Zenne werd het grootste aantal afwijkende concentraties aan contaminanten gevonden. Hier werden zeer hoge cadmium-, koper-, kwik- en loodconcentraties aangetoond en daarnaast ook nog sterk afwijkende concentraties chroom, zink, apolaire koolwaterstoffen, PAK's en PCB's en een matig afwijkende nikkelconcentratie.

Nete:

De staalnamepunten in de Nete kregen een sterk tot extreem afwijkende eindklasse toegewezen (bijlage 10; figuur 4.16). De punten met extreem afwijkende eindklasse bevonden zich stroomopwaarts vanaf Lier.

In alle punten weken de concentraties van meerdere zware metalen af van de referentietoestand. De sterkst afwijkende concentraties werden meestal gevonden in stroomopwaarts gelegen staalnamepunten, hoewel in de meest stroomafwaarts gelegen punten ook nog sterk afwijkende concentraties cadmium, kwik en PAK's gevonden werden.

Twee punten kregen een extreem afwijkende eindklasse als gevolg van zeer hoge cadmium- en kwikconcentraties. Ook alle andere onderzochte zware metalen hadden lichte tot sterk afwijkende concentraties. Ook werden sterk afwijkende concentraties PAK's en PCB's vastgesteld in beide punten. Daarnaast kreeg nog één andere punt een extreem afwijkende eindklasse toegewezen, door te hoge concentraties PCB's. De meeste zware metalen weken niet tot matig af in deze punten.

Wat betreft apolaire koolwaterstoffen, werden in ongeveer de helft van de staalnamepunten lichte tot matige afwijkingen ten opzichte van de referentietoestand vastgesteld. Er werden geen afwijkende concentraties EOX en OCP's aangetoond in de Nete.

Grote Nete:

Tien staalnamepunten in de Grote Nete kregen een extreem afwijkende eindklasse toegewezen. In al deze punten werden zeer hoge cadmiumconcentraties vastgesteld. Drie van deze punten hadden daarnaast ook nog zeer hoge kwikconcentraties. De andere staalnamepunten kregen licht tot sterk afwijkende eindklassen. Slechts in één punt weken de concentraties aan contaminanten nooit af van de referentietoestand (bijlage 10; figuur 4.16).

Voor de meeste zware metalen werden in meerdere punten afwijkende concentraties aangetoond, hoewel de nikkelconcentratie slechts in één punt afweek van de referentietoestand.

Wat betreft apolaire koolwaterstoffen, PCB's en PAK's, werden in minder dan de helft van de staalnamepunten licht tot matig afwijkende concentraties gevonden. In één punt werden wel nog sterk afwijkende concentraties PAK's en PCB's vastgesteld. Er werden geen afwijkende concentraties EOX en OCP's aangetoond.

Kleine Nete:

Van de zes staalnamepunten in de Kleine Nete kreeg één punt een extreem afwijkende eindklasse toegewezen als gevolg van zeer hoge cadmiumconcentraties. In ditzelfde punt werden ook nog sterk afwijkende koper- en kwikconcentraties aangetroffen. Een ander punt kreeg een sterk afwijkende eindklasse door hoge concentraties PAK's. In het meest stroomopwaarts gelegen punt werd voor geen enkele contaminant een afwijkende concentratie gemeten. De andere staalnamepunten kregen een licht of matig afwijkende eindbeoordeling. Er werden geen afwijkende concentraties apolaire koolwaterstoffen, EOX en OCP's gevonden in de Kleine Nete (bijlage 10; figuur 4.16).

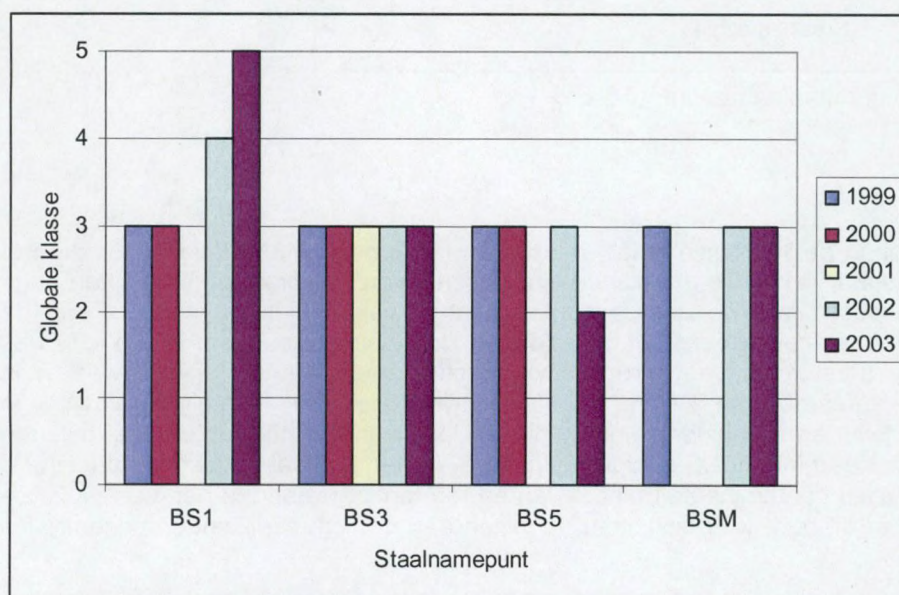
Netekanaal:

De meeste staalnamepunten in het Netekanaal kregen een sterk tot extreem afwijkende eindklasse als gevolg van hoge concentraties PAK's. In drie van deze punten werden bovendien ook nog zeer hoge concentraties cadmium en/of PCB's gemeten. Het sediment van één staalnamepunt kreeg een licht afwijkende eindklasse, door licht afwijkende concentraties PAK's. Er werden geen afwijkende concentraties EOX en OCP's gemeten (bijlage 10; figuur 4.16).

4.2.4. Sedimentkwaliteit geselecteerde gebieden

Boereschans

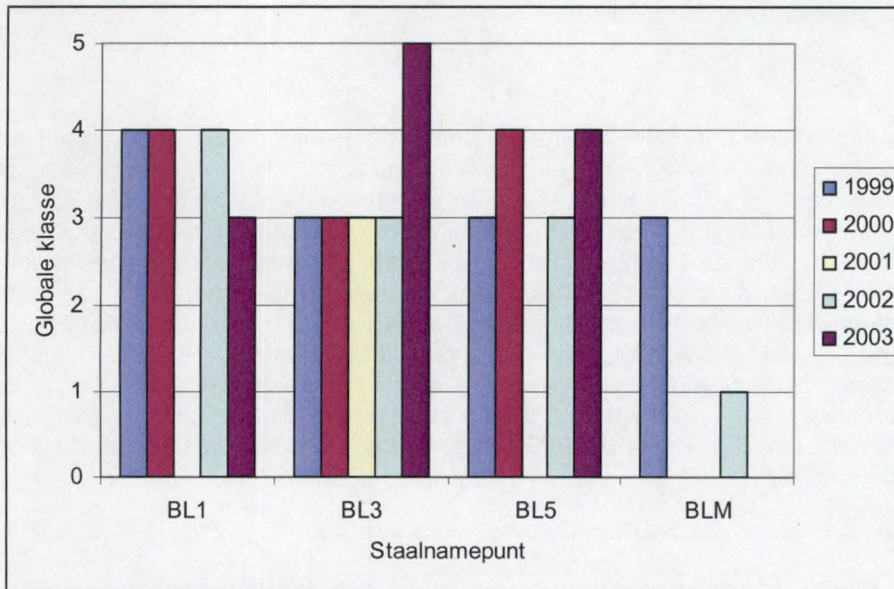
De globale sedimentkwaliteit van de intertidale staalnamepunten op Boereschans week matig tot extreem af van de referentietoestand. De afwijkende eindklassen waren vooral het gevolg van hoge concentraties PAK's en PCB's (figuur 4.17). De klassen van de andere contaminanten weken niet tot matig af van de referentietoestand en bleven meestal vrij constant over de jaren. De sedimentkwaliteit in staalnamepunt BS1 kende een duidelijke achteruitgang in de laatste twee jaren door een sterke toename van de concentratie PCB's. In het jaar 2003 nam ook de nikkelconcentratie sterk toe in dit punt. BS3 kreeg elk jaar een matig afwijkende eindklasse toegewezen. Ook BS5 kende in de meeste jaren een matig afwijkende sedimentkwaliteit. In het jaar 2003 was er wel een lichte kwaliteitsverbetering merkbaar. De sedimentkwaliteit van het subtidale staalnamepunt BSM week telkens matig af van de referentietoestand. In de jaren 1999 en 2002 was dit het gevolg van meerdere matig afwijkende contaminanten, terwijl in het jaar 2003 enkel de kwikconcentraties matig afweken van de referentietoestand (bijlage 10).



Figuur 4.17: Globale klasse per staalnamepunt.

Ballooi

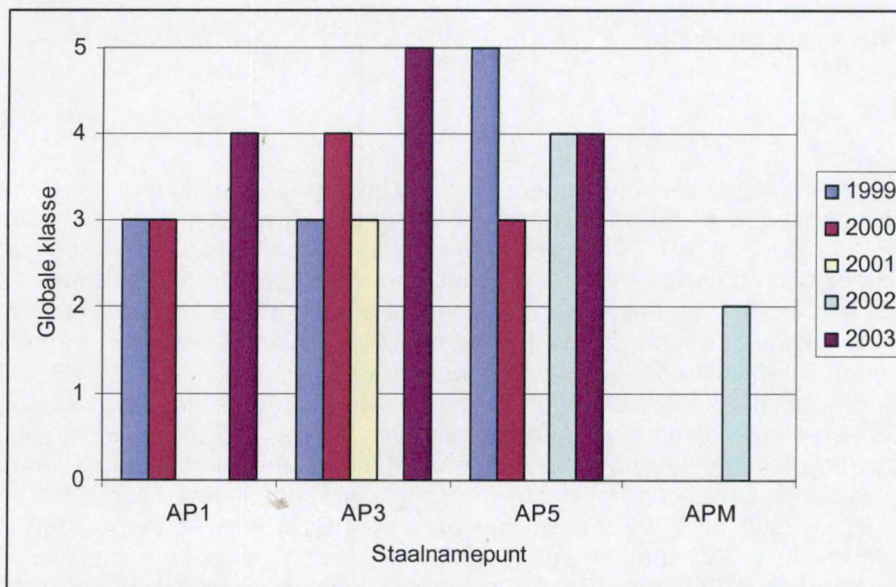
De globale sedimentkwaliteit van de intertidale staalnamepunten op Ballooi week matig tot extreem af van de referentietoestand. De afwijkende eindklassen waren vooral het gevolg van hoge concentraties PAK's en in mindere mate PCB's (figuur 4.18). De klassen van de andere contaminanten weken niet tot matig af van de referentietoestand en bleven meestal vrij constant over de jaren. In staalnamepunt BL1 was er in het jaar 2003 een duidelijke afname van de concentraties apolaire koolwaterstoffen, terwijl de concentraties cadmium, koper, kwik en zink licht toenamen. Het sediment in punt BL3 kende in 2003 een plotse achteruitgang in kwaliteit door een sterke toename van de concentraties PAK's. Dit terwijl de concentraties kwik en apolaire koolwaterstoffen geleidelijk afnamen over de jaren. In punt BL5 was er in het jaar 2003 een sterke afname van de concentraties PCB's. Ook de concentraties kwik en apolaire koolwaterstoffen namen duidelijk af, hoewel ze sterk schommelden tussen de jaren, samen met de cadmiumconcentraties. Opvallend waren ook de matig afwijkende klassen voor EOX en OCP's in respectievelijk de jaren 2000 en 2002. In het subtidale punt BLM was er een duidelijke verbetering van de sedimentkwaliteit. Dit punt kreeg in 1999 een matig afwijkende eindklasse toegewezen door te hoge concentraties PCB's en PAK's. In het jaar 2002 werd er in dit punt geen enkele afwijking ten opzichte van de referentietoestand vastgesteld.



Figuur 4.18: Globale klasse per staalnamepunt.

Appels

De globale sedimentkwaliteit in de intertidale staalnamepunten op Appels week matig tot extreem af van de referentietoestand (figuur 4.19). De afwijkende eindklassen waren vooral het gevolg van hoge concentraties PAK's. De klassen van de andere contaminanten weken niet tot matig af van de referentietoestand en bleven meestal vrij constant over de jaren. In staalnamepunten AP1 en AP3 was er in hetzelfde jaar een sterke afname van opolair koolwaterstoffen merkbaar en in AP5 was er in hetzelfde jaar een sterke afname van opolair koolwaterstoffen merkbaar en in AP5 was er in hetzelfde jaar een sterke afname van opolair koolwaterstoffen merkbaar. Opvallend was ook de ruimtelijke afname in concentraties cadmium en kwik en in mindere mate koper en lood van het hoog intertidaal gelegen staalnamepunt AP1 naar het laag intertidaal gelegen punt AP5. In het subtidale staalnamepunt APM weken de meeste concentraties contaminanten niet af van de referentietoestand in het jaar 2002. De licht afwijkende eindklasse in dit punt was uitsluitend te wijten aan de licht afwijkende concentraties PAK's (bijlage 10).



Figuur 4.19: Globale klasse per staalnamepunt.

4.2.5. VLAREBO-normen

VLAREBO bijlage IV (bodemsaneringsnormen):

Over het gehele studiegebied beschouwd, werden de bodemsaneringsnormen veruit het vaakst overschreden door cadmium (tabel 4.12).

In de Zeeschelde, de Dijle, de Kleine Nete en het Netekanaal werden de saneringsnormen het vaakst overschreden door cadmium en ook in de Nete en de Grote Nete was dit het geval. In de Nete werden de normen in de helft van de stalen echter ook overschreden door benzo(a)pyreen en in de Grote Nete meestal ook door arseen voor bestemmingstypes I en II. In de Rupel werden de saneringsnormen voor cadmium voor bestemmingstypes I en II vrijwel altijd overschreden en in bijna de helft van de stalen ook die voor benzo(a)pyreen. In de Zenne overschreden cadmium en benzo(a)pyreen de saneringsnormen voor bestemmingstypes I en II in alle stalen en benzo(a)pyreen in meer dan de helft van de gevallen ook die voor bestemmingstypes III tot en met V. Ook de saneringsnormen voor benzo(b)fluoranteen, benzo(k)fluoranteen, dibenz(a,h)antracene, indeno(1,2,3-cd)pyreen, lood en zink werden zeer vaak overschreden in de Zenne. In de Durme werden de saneringsnormen bijna nooit overschreden (bijlage 11).

Tabel 4.12: Het percentage van de sedimentstalen waarvan de concentratie van de contaminant de bodemsaneringsnorm overschreed, weergegeven per bestemmingstype.

Contaminant	VLAREBO Bijlage IV (bodemsaneringsnormen)				
	I	II	III	IV	V
arseen	8,7	8,7	2,6	1,9	1,1
cadmium	46,8	46,8	11,4	4,8	0,5
chrom	3,7	3,7	0,0	0,0	0,0
koper	1,6	1,6	0,3	0,0	0,0
kwik	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3
lood	3,4	3,4	0,0	0,0	0,0
nikkel	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0
zink	7,4	7,4	2,1	2,1	0,0
APKWS (minerale olie)	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0
PAK					
acenafteen	1,1	1,1	1,1	0,3	0,3
acenaftyleen	1,3	1,3	1,3	0,0	0,0
antracene	2,1	2,1	0,0	0,0	0,0
benzo(a)antracene	13,8	13,8	3,2	2,6	2,6
benzo(a)pyreen	2,1	2,1	2,1	0,0	0,0
benzo(b)fluoranteen	3,7	3,7	2,4	0,8	0,8
benzo(ghi)peryleen	4,0	4,0	0,8	0,0	0,0
benzo(k)fluoranteen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
chryseen	2,1	2,1	0,0	0,0	0,0
dibenz(a,h)antracene	4,2	4,2	1,9	1,9	1,9
fenantreen	0,3	0,3	0,3	0,0	0,0
fluoranteen	1,4	1,4	0,5	0,0	0,0
fluoreen	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0
indeno(1,2,3-cd)pyreen	6,3	6,3	0,5	0,0	0,0
naftaleen	0,8	0,8	0,5	0,0	0,0
pyreen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

VLAREBO bijlage VII:

De norm waaraan uitgegraven bodem moet voldoen voor het gebruik als bodem op een ontvangende grond die binnen bestemmingstype I gelegen is werd in meer dan 75 % van de onderzochte stalen overschreden door cadmium, chroom, nikkel en zink en door de PAK's benzo(a)pyreen en pyreen. Verder werd de norm ook nog in meer dan 70 % van de stalen overschreden door PCB's en door de PAK's benzo(a)antraceneen, fenantreen en indeno(1,2,3-cd)pyreen. Ook door de meeste andere contaminanten werd de norm vaak overschreden. Enkel de OCP's overschreden de norm nooit (tabel 4.13).

In de Zeeschelde werden de VLAREBO bijlage VII normen voor zink in meer dan 90 % van de stalen overschreden en die voor nikkel in bijna 85 %. De normen voor cadmium, chroom, PCB's en de PAK's benzo(a)antraceneen, benzo(a)pyreen en pyreen werden overschreden in meer dan 70 % van de stalen. Ook voor verschillende andere zware metalen en PAK's werden zeer vaak te hoge concentraties gemeten in het sediment van de Zeeschelde. De norm voor minerale olie werd in meer dan 45 % van de stalen overschreden. In de Durme werd de norm voor zink overschreden in alle stalen, maar ook de concentraties chroom, nikkel en pyreen waren in bijna alle stalen te hoog. Verder werd vaak te veel cadmium gemeten en naast pyreen vormden ook enkele andere PAK's een probleem. In de Rupel werden de normen voor cadmium, nikkel, zink en de PAK's benzo(a)pyreen, benzo(a)antraceneen, fenantreen, fluoranteen, indeno(1,2,3-cd)pyreen en pyreen in alle stalen overschreden. Ook de concentraties van enkele andere PAK's, PCB's en koper waren in vrijwel alle stalen te hoog. De normen van de PAK's acenafyleen en dibenz(a,h)antraceneen werden enkel overschreden in de subtidale stalen uit de Rupel. In de Dijle werden de VLAREBO bijlage VII normen voor cadmium, chroom, koper, nikkel, zink en de PAK's benzo(a)pyreen, fenantreen en pyreen altijd overschreden en in de meeste stalen ook die voor enkele andere PAK's, lood en PCB's. In de Zenne werden de normen voor alle contaminanten in alle stalen overschreden. In de Nete werden in alle stalen te hoge concentraties cadmium, chroom, koper, nikkel, zink, benzo(a)antraceneen, benzo(a)pyreen, benzo(b)fluoranteen, benzo(ghi)peryleen, fenantreen, fluoranteen, indeno(1,2,3-cd)pyreen en pyreen gemeten. In de meeste stalen werden daarnaast de normen voor nog enkele andere PAK's en PCB's overschreden en ook kwik vormde vaak een probleem. In het Netekanaal werd enkel de norm voor fenantreen in alle stalen overschreden, maar ook de concentraties van verschillende andere PAK's, PCB's en de meeste zware metalen waren bijna altijd te hoog. In de Grote Nete werden de normen voor arseen, cadmium en zink het vaakst overschreden, maar ook de concentraties chroom, kwik, lood, nikkel en PCB's waren in ongeveer de helft van de stalen te hoog. In alle stalen uit de Kleine Nete was te veel zink aanwezig en ook de normen voor arseen, cadmium, koper, nikkel, indeno(1,2,3-cd)pyreen en pyreen werden in meer dan de helft van de stalen overschreden (bijlage 11).

VLAREBO bijlage VIII:

De norm waaraan uitgegraven bodem moet voldoen voor het gebruik als bodem op een ontvangende grond die binnen bestemmingstype II, III, IV of V gelegen is werd in bijna 70 % van de stalen overschreden door cadmium en PCB's. Bovendien was in meer dan 25 % van de stalen te veel zink en benzo(a)antraceneen aanwezig (tabel 4.13).

In ongeveer twee derde van de stalen uit de Zeeschelde werden de normen voor cadmium en PCB's overschreden en in bijna een kwart van de stalen was te veel benzo(a)pyreen aanwezig voor gebruik binnen bestemmingstypes II, III, IV of V. In de Durme werden de normen voor de meeste contaminanten in VLAREBO bijlage VIII niet vaak overschreden. Iets minder dan de helft van de stalen bevatte wel te veel cadmium. In de Rupel vormden de concentraties cadmium, zink, PCB's en benzo(a)pyreen het grootste probleem. De meeste sedimentstalen uit de Dijle bevatten te veel cadmium en PCB's. Een groot aantal contaminaten overschreden de norm in het sediment van de Zenne. In alle stalen werden de normen voor cadmium, PCB's, benzo(a)pyreen en indeno(1,2,3-cd)pyreen overschreden en in veruit de meeste stalen ook die voor koper, lood, zink, benzo(b)fluoranteen, benzo(k)fluoranteen en dibenzo(a,h)antraceneen. In de Nete vormden arseen, cadmium, chroom, zink, PCB's, benzo(a)pyreen en indeno(1,2,3-cd)pyreen het grootste probleem en ook in het Netekanaal werden de normen voor deze stoffen vaak overschreden. De VLAREBO bijlage VIII normen werden in het sediment van de Grote Nete het vaakst overschreden door arseen en cadmium, terwijl in de Kleine Nete ook vaak te veel PCB's aanwezig waren (bijlage 11).

Tabel 4.13: Het percentage van de stalen waarvoor de concentratie van de contaminant de norm overschreed voor gebruik op ontvangende grond binnen bestemmingstype I (Bijlage VII) en binnen bestemmingstypes II, III, IV of V (Bijlage VIII).

Contaminant	Bijlage VII	Bijlage VIII
arseen	26,2	16,7
cadmium	77,5	68,8
chroom	77,5	18,8
koper	66,1	6,6
kwik	19,8	5,3
lood	48,9	7,4
nikkel	84,9	1,6
zink	92,9	25,7
APKWS (minerale olie)	43,5	4,0
OCP	0,0	0,0
PCB	74,6	69,3
PAK		
acenaftteen	4,8	1,1
acenaftyleen	7,1	2,1
antraceen	24,3	2,4
benzo(a)antraceen	72,8	28,0
benzo(a)pyreen	78,3	2,6
benzo(b)fluoranteen	60,8	6,6
benzo(ghi)peryleen	20,6	6,1
benzo(k)fluoranteen	63,5	0,0
chryseen	55,6	2,4
dibenz(a,h)antraceen	14,6	5,6
fenantreen	70,9	0,5
fluoranteen	69,3	2,2
fluoreen	16,1	0,3
indeno(1,2,3-cd)pyreen	70,6	11,4
naftaleen	16,1	1,1
pyreen	80,4	0,0

5. Bespreking

Sedimentkarakteristieken:

De mediane korrelgrootte varieerde sterk, zowel ruimtelijk als temporeel, maar was gemiddeld over alle locaties van het studiegebied groter in de subtidale staalnamepunten. Voor de Zeeschelde werd een duidelijke gradiënt teruggevonden over de verschillende saliniteitszones wat betreft de mediane korrelgrootte van de subtidale sedimentstalen. Subtidaal werden de meest slibrijke sedimenten gevonden in de mesohaliene zone en de meest zandige in de zoete zone. Dit is het gevolg van verschillende factoren. In de zoete en oligohaliene zone vormt de Zeeschelde een nauwe insnijding in substraat van Boomse klei. In deze zones zijn de stroomsnelheden hoog, waardoor depositie van slibrijke sedimenten verhinderd wordt. Bijgevolg bestaan de sedimenten hier voor het grootste deel uit gemiddeld tot grof zand en op sommige plaatsen uit grind. Op andere plaatsen wordt de Boomse klei niet door sediment bedekt en treedt er actieve erosie op. In de mesohaliene zone, voornamelijk tussen Antwerpen en Doel is er maximale turbiditeit. Hier treedt zeer intense sedimentatie op. De bodem bestaat er vooral uit fijn zand tot slib en het percentage klei is er doorgaans hoog. In deze zone wordt bovendien intensief gebaggerd om de haven van Antwerpen bereikbaar te houden voor schepen, wat ook kan bijdragen tot ruimtelijke en temporele variatie in sedimentsamenstelling (Zwolsman, 1999). Intertidaal werd geen gradiënt vastgesteld over de verschillende saliniteitszones van de Zeeschelde. Wel was de mediane korrelgrootte langs de Zeeschelde groter in staalnamepunten die elke getijdencyclus langdurig overstroomd worden. Doordat stromingen landwaarts afnemen in de intertidale zone, worden de sedimenten progressief fijner in die richting (Zhang *et al.*, 2001). Dit werd ook in verschillende andere studies vastgesteld (zie bijvoorbeeld Stauble & Cialone, 1996; Walling *et al.*, 1996; He & Walling, 1998). In de fijnste sedimenten werden meestal de hoogste percentages organische stof teruggevonden. De sedimentsamenstelling en de mediane korrelgrootte vertoonden grote schommelingen in de tijdsreeksen afkomstig van Appels, Ballooi en Boereschans. Enkel in de stalen van de fractie 0 tot 10 cm van Boereschans bleven beide vrij stabiel.

Sedimentkwaliteit:

Net als voor de mediane korrelgrootte werden sterke ruimtelijke en temporele variaties teruggevonden wat betreft de concentraties aan contaminanten. Doorgaans konden sterk positieve correlaties aangetoond worden tussen concentraties aan contaminanten en de percentages klei, slib en organische stof. De concentraties aan contaminanten waren negatief gecorreleerd met de mediane korrelgrootte. Fijne sedimenten vertonen vaak hogere concentraties contaminanten door hun grote beschikbare oppervlakte voor adsorptie en doordat ze rijk zijn aan organisch materiaal en ijzer- en mangaanoxiden (de Deckere *et al.*, 2001; Zhang *et al.*, 2001). Wat de subtidale stalen uit de Zeeschelde betreft waren de concentraties van de meeste contaminanten het hoogst in de mesohaliene zone, waar tevens de meest slibrijke sedimenten werden gevonden.

De kwaliteitsklassen die bepaald werden volgens het fysisch-chemische luik van de Triademethode schetsen een duidelijk beeld van de variatie in sedimentkwaliteit van de Zeeschelde en haar zijrivieren. De concentraties cadmium, chroom, koper, kwik, lood en zink weken het vaakst af van de referentiewaarde in de onderzochte rivieren. Wat de organische verontreiniging betreft ging het meestal om te hoge concentraties apolaire koolwaterstoffen, PCB's en PAK's. Het sediment van de Zeeschelde was het sterkst verontreinigd stroomafwaarts van Antwerpen en in de omgeving van Gent en Schoonaarde. Hoewel het niet mogelijk was om na te gaan hoe groot het aandeel van historische vervuiling is, staat vast dat er in deze regio's aanzienlijke input is van afvalwater afkomstig van industrie en huishoudens (Van Eck *et al.*, 1991; VMM, 2003a). De haven van Antwerpen is de belangrijkste industriekern van België met onder meer een aanzienlijke chemische en petrochemische nijverheid. Ook in de Zenne en de Grote Nete kwam de grote antropogene input duidelijk tot uiting. Vanuit de verstedelijkte gebieden krijgen ze grote hoeveelheden huishoudelijk en industrieel afvalwater te verwerken (Van Eck *et al.*, 1991; VMM, 2001; VMM, 2003b). Beide rivieren kregen de slechtste eindbeoordeling wat betreft de fysisch-chemische sedimentkwaliteit.

Uit de tijdsreeks afkomstig van Boereschans kon afgeleid worden dat de globale sedimentkwaliteit er op de meeste staalnamepunten vrij stabiel bleef. Een stabiele globale sedimentkwaliteit werd ook vastgesteld ter hoogte van het Paardenschor en Ketenisse schor (Van den Neucker *et al.*, 2007). Beide gebieden liggen eveneens in het mesohaliene deel van de Zeeschelde. Ter hoogte van Appels en Ballooi was de globale sedimentkwaliteit minder stabiel.

Ondanks de duidelijke resultaten, is de gebruikte methode voor de normalisatie van concentraties zware metalen wellicht niet de meest geschikte, aangezien de referentiewaarden bepaald werden als een gemiddelde van twaalf referentielocaties in onbevaarbare waterlopen (de Deckere *et al.*, 2001). In de meeste studies wordt aluminium als conservatief element gebruikt bij de normalisatie van concentraties zware metalen in sediment (Araújo *et al.*, 1988; Din, 1992; Schropp *et al.*, 1990; Trimble *et al.*, 1999; Bouezmarni & Wollast, 2005). Een bijkomend voordeel van deze methode is dat aan de hand van de aluminiumconcentraties de relatieve aanrijking ten opzichte van de gemiddelde samenstelling van de aardkorst kan berekend worden (Araújo *et al.*, 1988; Bouezmarni & Wollast, 2005). Daarom wordt aluminium vanaf 2006 opgenomen in het analysepakket.

Op basis van de VLAREBO-normen kan gesteld worden dat het sediment van de Zeeschelde en haar zijrivieren niet geschikt is voor gebruik als bodem op ontvangende grond binnen bestemmingstype I, omdat de concentraties van een groot aantal contaminanten de normen overschreden. Ook voor gebruik op ontvangende grond binnen bestemmingstypes II, III, IV en V is het sediment niet geschikt, aangezien in bijna 70 % van de stalen te hoge concentraties cadmium en PCB's gemeten werden. Enkel het sediment van de Durme was vaak wel geschikt voor gebruik op bodem binnen bestemmingstypes II tot en met V. Er dient wel opgemerkt te worden dat de VLAREBO-normen niet opgesteld werden voor waterbodems. Bijgevolg zijn de resultaten eerder indicatief. Aangezien ook de Triadebeoordeling aangaf dat het sediment op de meeste plaatsen verontreinigd is, kan men echter besluiten dat het ongeschikt is voor de meeste binnendijkse toepassingen.

Wat betreft de staalnamestrategie voor de bepaling van de sedimentkwaliteit zal onderzocht worden of de staalname best binnen een bepaalde periode doorgaat. Dit om de vergelijkbaarheid tussen opeenvolgende jaren te verbeteren. Verder zal worden nagegaan of er in de toekomst bijkomende variabelen gemeten kunnen worden, zoals pH, conductiviteit en redoxpotentiaal. Ook wordt nagegaan of een lagere staalnamefrequentie, gekoppeld aan een betere spreiding over het estuarium, een beter beeld kunnen geven van de globale veranderingen van de sedimentkwaliteit in de Zeeschelde en haar zijrivieren. Er werd besloten om de diepte van de stalen (fractie 0 tot 10 cm) te behouden, omdat deze laag het meest beïnvloed wordt door processen zoals sedimentatie/erosie en bioturbatie.

6. Conclusie

Voor de Zeeschelde werd subtidaal een duidelijke gradiënt gevonden wat betreft mediane korrelgrootte. Subtidaal was de mediane korrelgrootte het grootst in de zoete zone en het kleinst in de mesohaliene zone. Intertidaal werd deze gradiënt niet teruggevonden.

Het sediment was het sterkst verontreinigd in de Zenne en de Grote Nete. De sedimentkwaliteit van de Zeeschelde was het slechtst stroomafwaarts van Antwerpen en in de omgeving van Gent en Schoonaarde. Het sediment van de Durme was het minst verontreinigd.

7. Referenties

- Araújo M. F. D., Bernard P. C. & Van Grieken R. E. (1988). Heavy metal contamination in sediments from the Belgian coast and Scheldt estuary. *Marine Pollution Bulletin* 19(6):269-273.
- Bouezmarni M. & Wollast R. (2005). Geochemical composition of sediments in the Scheldt estuary with emphasis on trace metals. *Hydrobiologia* 540:155-168.
- De Deckere E., De Cooman W., Florus M. & Devroede-Vander Linden M. P. (2001). Handboek voor de karakterisatie van de bodems van de Vlaamse waterlopen, volgens Triade. Devroede-Vander Linden M. P., Brussel.
- De Groot A. J., Salomons W. & Allersma E. (1976). Processes affecting heavy metals in estuarine sediments. In: Burton J. D., Liss P. S. (ed.), *Estuarine chemistry*, pp. 131-157. London, Academic Press.
- Din, Z. (1992). Use of aluminum to normalize heavy-metal data from estuarine and coastal shelf sediments of Strait of Melaka. *Marine Pollution Bulletin* 24:484-491.
- Duquesne S., Newton L. C., Guisti L., Marriott S. B., Stärk H.-J. & Bird D. J. (2006). Evidence for declining levels of heavy-metals in the Severn Estuary and Bristol Channel, U.K. and their spatial distribution in sediments. *Environmental Pollution* 143(2):187-196.
- Feng H. J., Cochran K. J., Lwiza H., Brownawell B. J. & Hirschberg D. J. (1998). Distribution of heavy metal and PCB contaminants in the sediments of an urban estuary: the Hudson River. *Marine Environmental Research* 45(1):69-88.
- Gallagher K. A., Wheeler A. J. & Orford J. D. (1996). An assessment of the heavy metal pollution of two tidal marshes on the north-west coast of Ireland. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 96B(3):177-188.
- Gordon N. D., McMahon T. A. & Finlayson B. L. (1992). *Stream Hydrology: an introduction for ecologists*. Wiley, Chichester.
- He Q. & Walling D. E. (1998). An investigation of the spatial variability of the grain size composition of floodplain sediments. *Hydrological Processes* 12:1079-1094.
- Heyman J. & Smout L. (2007). Milieuwetboek: afval en water: band 3: vast afval. 17^{de} uitgave, Wolters Kluwer Belgium NV, Mechelen. XXX + 791p.
- Ladd S. C., Marcus W. A. & Cherry S. (1998). Differences in trace metal concentrations among fluvial morphologic units and implications for sampling. *Environmental Geology* 36:259-270.
- Luoma S. N. (1989). Can we determine the biological availability of sediment-bound trace elements? *Hydrobiologia* 176/177:379-396.
- Meire P., Rossaert G., De Regge N., Ysebaert T. & Kuijken E. (1992). Het Schelde-estuarium: ecologische beschrijving en een visie op de toekomst. Rapportnummer RUG-WWE nr 28; IN-A 92.57. RUG, Gent.
- Meire P., Ysebaert T., Van Damme S., Van den Bergh E., Maris T. & Struyf E. (2005). The Scheldt estuary: a description of a changing ecosystem. *Hydrobiologia* 540:1-11.
- Pieters T., Storm C., Walhout T. & Ysebaert T. (1991). Het Schelde-estuarium, méér dan een vaarweg. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Dienst getijdewateren, Directie Zeeland, Middelburg.
- Rodrigo A. G. (1989). Surficial sediment-heavy metal associations in the Avon-Heathcote Estuary, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 23:255-262.

Schropp, S., Lewis, G., Windom H. et al. (1990). Interpretation of metal concentrations in estuarine sediments of Florida using aluminum as a reference element. *Estuaries* 13:227-235.

Stauble D. K. & Cialone M. A. (1996). Sediment dynamics and profile interactions: DUCK94. Proceedings 25th International Conference on Coastal Engineering, ASCE. Orlando, USA, 3921-3934.

Trimble C. A., Hoenstine R. W., Highly A. B., Donoghue J. F. & Ragland P. C. (1999). Baseline sediment trace metals investigation: Steinhatchee River estuary, Florida, Northeast Gulf of Mexico. *Marine Georesources and Geotechnology* 17:187-197.

Van den Bergh E., Ysebaert T., Meire P. & Kuijken E. (1998). Watervogels in de internationaal beschermde gebieden van de Beneden Zeeschelde: trends van 1980 tot 1997. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, 98/18, Brussel.

Van den Neucker T., Verbessem I., Vandevoorde B., Van Braeckel A., Stevens M., Spanoghe G., Gyselings R., Soors J., De Regge N., De Belder W. & Van den Bergh E. (2007). Evaluatie van natuurontwikkelingsprojecten in het Schelde-estuarium. INBO.R.2007.54. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

Van Eck G. T. M., De Pauw N., Van Den Langenbergh M. & Verreet G. (1991). Emissies, gehalten, gedrag en effecten van (micro)verontreinigingen in het stroomgebied van de Schelde en het Schelde-estuarium. *Water* 10(60):164-181.

Verbessem I., Ysebaert T., Van den Bergh E., De Regge N., Soors J. & Kuijken E. (2002). 10 Jaar monitoring op het Groot Buitenschoor. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, 02/10, Brussel.

VMM (2001). Algemeen waterkwaliteitsplan 2 – 10. Nete. Vlaamse Milieumaatschappij. 61p.

VMM (2003a). Algemeen waterkwaliteitsplan 2 – 4. Beneden-Schelde. Vlaamse Milieumaatschappij. 70p.

VMM (2003b). Algemeen waterkwaliteitsplan 2 – 8. Dijle & Zenne. Vlaamse Milieumaatschappij. 70p.

Walling D. E., He Q. & Nicholas A. P. (1996). Floodplains as suspended sediment sinks. In: Anderson M. G., Walling D. E. & Bates P. D. (eds.), 1996. Floodplain processes. John Wiley & Sons Ltd.

Wang F. & Chen J. (2000). Relation of sediment characteristics to trace metal concentrations: a statistical study. *Water Research* 34(2):694-698.

Zhang W., Yu L., Hutchinson S. M., Xu S., Chen Z. & Gao X. (2001). China's Yangtze Estuary: I. Geomorphic influence on heavy metal accumulation in intertidal sediments. *Geomorphology* 41:195-205.

Zhou J. L. & Rowland S. J. (1997). Evaluation of the interaction between hydrophobic organic pollutants and suspended particles in estuarine waters. *Water Research* 31(7):1708-1718.

Zwolsman J. J. G., Van Eck G. T. M. & Burger G. (1999). Spatial and temporal distribution of trace metals in sediments of the Scheldt estuary. In: Zwolsman J. J. G. (1999). Geochemistry of trace metals in the Scheldt estuary. *Geologica Ultraiectina* 171:67-89.

