

Baggergronden in Vlaanderen

# Baggergronden langs de Zeeschelde stroomopwaarts van Dendermonde en langs de Durme

IBW Bb R 2001.010

december 2001

Bart Vandecasteele  
Bruno De Vos  
Raf Lauriks  
Carine Buysse

In opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen  
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap

## **Colofon**

Bart Vandecasteele, Bruno De Vos, Raf Lauriks & Carine Buysse  
Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer  
Wetenschappelijke instelling van de Vlaamse Gemeenschap  
Gaverstraat 4, 9500 Geraardsbergen  
[www.ibw.vlaanderen.be](http://www.ibw.vlaanderen.be)  
email: [bart.vandecasteele@lin.vlaanderen.be](mailto:bart.vandecasteele@lin.vlaanderen.be)

*Wijze van citeren:* Vandecasteele, B., De Vos, B., Lauriks, R., Buysse, C., 2001.  
Baggergronden in Vlaanderen. Baggergronden langs de Zeeschelde stroomopwaarts van  
Dendermonde en langs de Durme. December 2001. IBW Bb R 2001.010. In opdracht van  
AWZ. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, Geraardsbergen.

Druk: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement L.I.N. A.A.D. afd. Logistiek –  
Digitale drukkerij

D/2001/3241/326

Trefwoorden: alluviaal, baggerslib, Schelde, Durme, zware metalen, stortterrein  
Keywords: alluvial, dredged sediment, Scheldt, landfills, Heavy metals

Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen,  
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

Wetenschappelijke Instelling van de  
Vlaamse Gemeenschap



Instituut voor Bosbouw  
en Wildbeheer



Baggergronden in Vlaanderen

# Baggergronden langs de Zeeschelde stroomopwaarts van Dendermonde en langs de Durme

December 2001  
IBW Bb R 2001.010

Bart Vandecasteele, Bruno De Vos, Raf Lauriks en Carine Buysse

Studie uitgevoerd in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeevaren  
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap

Eigendom Bibliotheek  
Instituut voor Bosbouw  
en Wildbeheer  
Gaverstraat 4 - 9500 GERAARDSBERGEN  
Tel. (054) 43 71 27  
Onder toezicht:  
Bart Goossens

## Colofon

Bart Vandecasteele, Bruno De Vos, Raf Lauriks & Carine Buysse  
Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer  
Wetenschappelijke instelling van de Vlaamse Gemeenschap  
Gaverstraat 4, 9500 Geraardsbergen  
[www.ibw.vlaanderen.be](http://www.ibw.vlaanderen.be)  
email: [bart.vandecasteele@lin.vlaanderen.be](mailto:bart.vandecasteele@lin.vlaanderen.be)

*Wijze van citeren:* Vandecasteele, B., De Vos, B., Lauriks, R., Buysse, C., 2001.  
Baggergronden in Vlaanderen. Baggergronden langs de Zeeschelde stroomopwaarts van  
Dendermonde en langs de Durme. December 2001. IBW Bb R 2001.010. In opdracht van  
AWZ. Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer, Geraardsbergen.

Druk: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement L.I.N. A.A.D. afd. Logistiek –  
Digitale drukkerij

D/2001/3241/326

Trefwoorden: alluviaal, baggerslib, Schelde, Durme, zware metalen, stortterrein  
Keywords: alluvial, dredged sediment, Scheldt, landfills, Heavy metals

Deze studie werd uitgevoerd in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen,  
Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap.

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>DANKWOORD</b> .....                                                                                                                                                      | 1  |
| <b>DE DATABANK DREDGIS</b> .....                                                                                                                                            | 2  |
| <b>INLEIDING: PROBLEMATIEK VAN DE BAGGERGRONDEN</b> .....                                                                                                                   | 5  |
| <b>HOOFDSTUK 1. IDENTIFICATIE VAN DE BAGGERGRONDEN IN DE ALLUVIALE VLAKTEN VAN DE LEIE, DE BOVEN- EN DE ZEESCHELDE, GEBASEERD OP FYSICO-CHEMISCHE BODEMPARAMETERS</b> ..... | 7  |
| 1.1. INLEIDING .....                                                                                                                                                        | 7  |
| 1.2. MATERIAAL EN METHODEN.....                                                                                                                                             | 7  |
| 1.2.1. <i>Studiegebied</i> .....                                                                                                                                            | 7  |
| 1.2.2. <i>Staalnames en analyses</i> .....                                                                                                                                  | 8  |
| 1.2.3. <i>Textuurovereenkomst tussen A- en C-horizont</i> .....                                                                                                             | 9  |
| 1.2.4. <i>Vergelijking tussen de gegevens van de baggergronden en van de alluviale vlakte</i> .....                                                                         | 9  |
| 1.2.5. <i>Statistische verwerking</i> .....                                                                                                                                 | 11 |
| 1.3. RESULTATEN EN DISCUSSIE .....                                                                                                                                          | 11 |
| 1.3.1. <i>Textuurgelijkenis</i> .....                                                                                                                                       | 11 |
| 1.3.2. <i>Fysico-chemische bodemeigenschappen</i> .....                                                                                                                     | 12 |
| 1.3.3. <i>Criteria voor de identificatie van baggergronden</i> .....                                                                                                        | 15 |
| 1.4. BESLUIT .....                                                                                                                                                          | 20 |
| <b>HOOFDSTUK 2. RESULTATEN VAN DE TERREININVENTARISATIE NAAR GEOGRAFISCHE OMVANG EN VERONTREINIGING VAN DE BAGGERGRONDEN LANGS DE ZEESCHELDE</b> .....                      | 21 |
| 2.1. INLEIDING .....                                                                                                                                                        | 21 |
| 2.2. MATERIAAL AND METHODEN .....                                                                                                                                           | 23 |
| 2.2.1. <i>Studiegebied</i> .....                                                                                                                                            | 23 |
| 2.2.2. <i>Staalname</i> .....                                                                                                                                               | 25 |
| 2.2.3. <i>Fysische en chemische analyses</i> .....                                                                                                                          | 26 |
| 2.2.4. <i>Evaluatie van de bodemverontreiniging</i> .....                                                                                                                   | 27 |
| 2.2.5. <i>Identificatie van baggergronden</i> .....                                                                                                                         | 28 |
| 2.2.6. <i>Statistische analyse</i> .....                                                                                                                                    | 28 |
| 2.3. RESULTATEN EN DISCUSSIE .....                                                                                                                                          | 29 |
| 2.4. CONCLUSIES.....                                                                                                                                                        | 35 |
| <b>HOOFDSTUK 3. HET TERREIN ‘KALVERBOS’ IN HEUSDEN</b> .....                                                                                                                | 37 |
| 3.1. INLEIDING .....                                                                                                                                                        | 37 |
| 3.2. MATERIAAL EN METHODEN.....                                                                                                                                             | 37 |
| 3.2.1. <i>Studiegebied</i> .....                                                                                                                                            | 37 |
| 3.2.2. <i>Bemonsteringen</i> .....                                                                                                                                          | 39 |
| 3.3. RESULTATEN .....                                                                                                                                                       | 40 |
| 3.3.1. <i>Bodemverontreiniging</i> .....                                                                                                                                    | 40 |
| 3.3.2. <i>Bodemeigenschappen</i> .....                                                                                                                                      | 44 |
| 3.3.3. <i>Bladstalen (Italiaans raaigras)</i> .....                                                                                                                         | 45 |
| 3.4. DISCUSSIE; NATUURONTWIKKELING OP VERONTREINIGDE BAGGERGRONDEN .....                                                                                                    | 46 |
| 3.5. BESLUIT .....                                                                                                                                                          | 48 |

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>HOOFDSTUK 4. DE VERLANDE MEANDERS IN WETTEREN/SHELLEBELLE EN APPELS (DENDERMONDE).....</b> | <b>51</b> |
| 4.1. INLEIDING .....                                                                          | 51        |
| 4.2. MATERIAAL EN METHODEN.....                                                               | 51        |
| 4.2.1. <i>Studiegebied</i> .....                                                              | 51        |
| 4.2.2. <i>Bodemstaalnames</i> .....                                                           | 53        |
| 4.3. RESULTATEN.....                                                                          | 53        |
| 4.4. BESLUIT .....                                                                            | 57        |
| <b>HOOFDSTUK 5. BAGGERGRONDEN LANGS DE DURME.....</b>                                         | <b>59</b> |
| 5.1. INLEIDING .....                                                                          | 59        |
| 5.2. MATERIAAL EN METHODEN.....                                                               | 60        |
| 5.3. RESULTATEN.....                                                                          | 61        |
| 5.3.1. <i>Bodemverontreiniging en bodemeigenschappen</i> .....                                | 61        |
| 5.3.2. <i>Terreinen</i> .....                                                                 | 63        |
| 5.3.3. <i>Slibproblematiek – verontreiniging van de onderwaterbodem</i> .....                 | 66        |
| 5.3.4. <i>Potentiële bosvegetaties: wilgenvloedbossen</i> .....                               | 68        |
| 5.3.5. <i>Opname van zware metalen door maïs, wilgen en populieren</i> .....                  | 69        |
| 5.4. BESLUIT .....                                                                            | 70        |
| <b>SAMENVATTING.....</b>                                                                      | <b>79</b> |
| <b>SUMMARY .....</b>                                                                          | <b>82</b> |
| <b>REFERENTIES .....</b>                                                                      | <b>85</b> |
| <b>GEBRUIKTE DIGITALE GEGEVENS.....</b>                                                       | <b>92</b> |
| <b>AFKORTINGEN.....</b>                                                                       | <b>92</b> |
| <b>BEGRIPPEN .....</b>                                                                        | <b>93</b> |

## Dankwoord

Dank aan AWZ, afdeling Beleid Havens, Waterwegen en Zeewezen en in het bijzonder aan de heren Jan Strubbe, Jozef Van Hoof en Louis De Bisschop voor het mogelijk maken van dit project. Verschillende diensten van AWZ en AMINAL, OVAM, de provincies Oost- en West-Vlaanderen en gemeentebesturen bezorgden ons bruikbare informatie. Hulp bij het terreinwerk en bij het malen van de blad- en bodemstalen kregen we van Rik Delameilleure en Koen Willems.

Een welgemeend dankuwel voor Els Mencke, Anya Derop, Athanaska Verhelst en Ann Capieau voor het uitvoeren van de labo-analyses. Wim Dauwe en Jan Pee van AWZ afdeling Zeeschelde, en Koen Mergaert van AWZ afdeling Beleid Havens, Waterwegen en Zeewezen willen we danken voor het nalezen van de teksten.

Bedankt ook aan de collega's van het IBW voor de interesse en de uitwisseling van gegevens en in het bijzonder aan Jurgen Samyn voor het oplossen van de GPS-problemen en aan Paul Quataert voor de hulp bij de statistische verwerking.



## De databank Dredgis

De resultaten van de inventarisatie van de baggergronden bestaat uit zowel geografische resultaten als uit een grote matrix van analyseresultaten van blad- en bodemstalen. In dit rapport worden de belangrijkste elementen meer in detail besproken. Het is echter onmogelijk om alle gegevens in dit rapport te behandelen en af te drukken. Het is daarom zeer sterk aangewezen om het rapport samen met de gegevens uit de GIS-databank Dredgis te raadplegen.

Om de informatie die uit de inventarisatie van de baggergronden voortkomt optimaal te kunnen gebruiken werd ervoor geopteerd alle gegevens samen te brengen in een GIS-databank, dit wil zeggen een databank gebaseerd op geografische informatie. Deze databank maakt het mogelijk om bijkomende analyses uit te voeren op de dataset zelf, maar opent ook mogelijkheden voor combinatie met andere GIS-data. Zo kan de laag met de opgehoogde terreinen bijv. gebruikt worden als update voor de opgehoogde terreinen (ON) op de bodemkaart van België, kan ze gebruikt worden in combinatie met gewestplannen, de boskartering ...

In de databank kunnen er twee delen onderscheiden worden: enerzijds de geografische gegevens (de GIS-lagen) en anderzijds de analyseresultaten van de bodem- en bladstalen en de terreingegevens. De gegevens worden gegroepeerd volgens de opdeling van de waterlopen die gangbaar is binnen AWZ. Elke waterloop wordt gekarakteriseerd aan de hand van 5 karakters (bv. Zeeschelde = ZESCH). In de volgende bespreking wordt de naam van de waterloop aangegeven als XXXXX. Er zullen een 4-tal geografische gegevenslagen gecreëerd worden. Aan die GIS-lagen worden er een aantal tabellen met bijkomende gegevens gekoppeld.

### De GIS-lagen

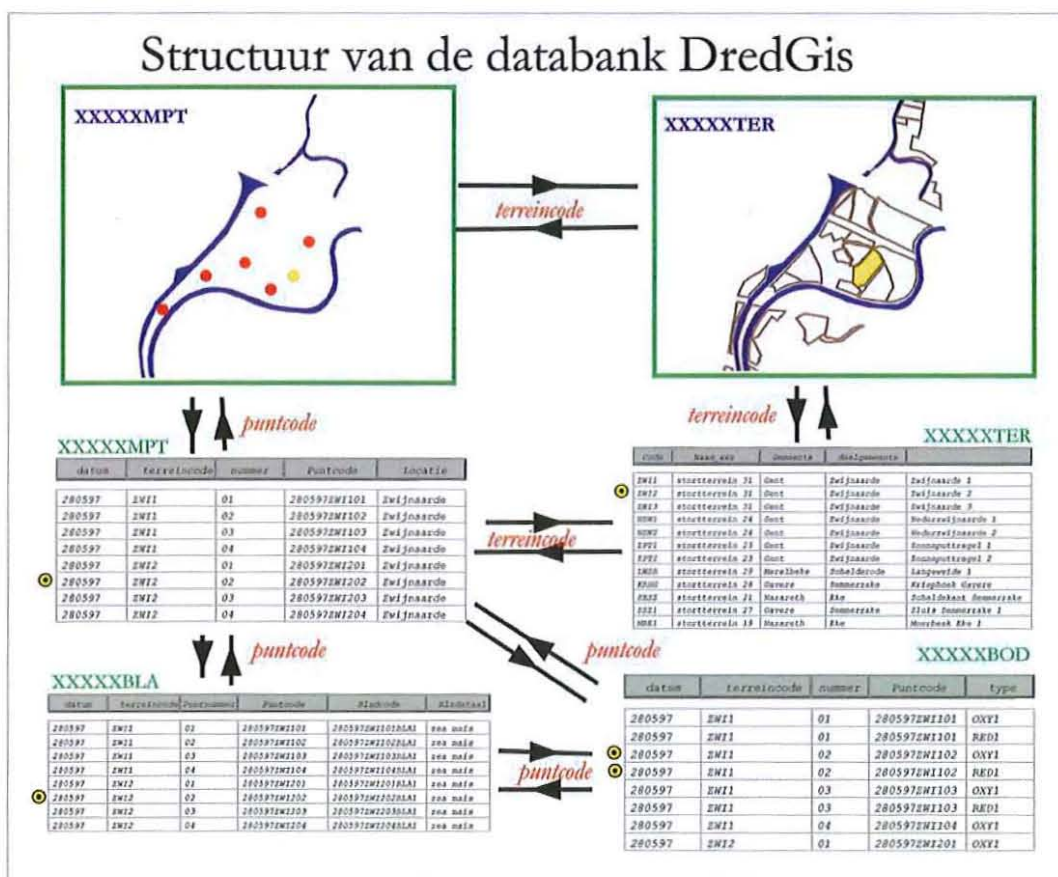
- ✦ GIS-laag met alle baggergronden (XXXXXTER): bevat de exacte ligging van alle opgespoten terreinen. Deze laag heeft een schaal van 1:10.000 en heeft de polygonentopologie. Elk terrein dat als 1 geheel opgespoten of opgehoogd werd, wordt als afzonderlijke entiteit of object weergegeven en wordt gekarakteriseerd door de terreincode van de polygoon.
- ✦ GIS-laag met landgebruik van de terreinen (XXXXXLGB): bevat voor alle baggergronden het landgebruik op het ogenblik van de inventarisatie. Zolang de inventarisatie loopt, wordt het landgebruik jaarlijks geactualiseerd. De GIS-laag heeft de polygonentopologie.
- ✦ GIS-laag met monsternamepunten (XXXXXMPT): Elk punt waar monsters genomen werden (blad- of bodemmonsters), werd opgemeten door middel van dGPS. Deze coverage heeft een puntentopologie. Elk punt krijgt als extra attribuut een code, de puntcode.
- ✦ GIS-laag met de huidige vorm van de waterloop (XXXXXWAT)

### Tabellen

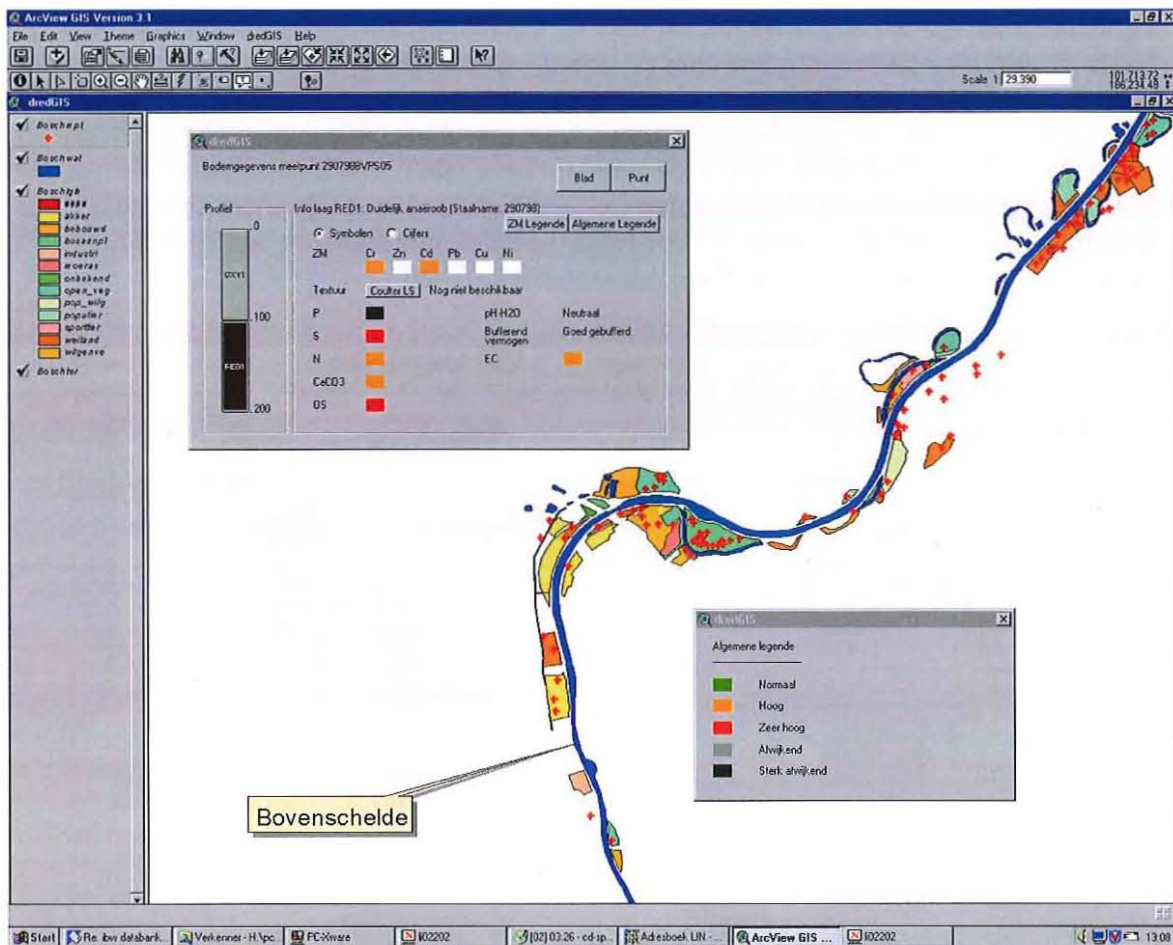
- ✦ Tabel van de terreinen met gegevens over de opspuiting (XXXXXTER): bevat een aantal gegevens die per terrein verzameld werden. De sleutel tot de tabel is de terreincode.



- ✦ Tabel met monsternamenpunten (XXXXXMPT): doet dienst als link tussen de gegevens i.v.m. de terreinen en de gegevens over de bodem- en bladstalen. De sleutel voor deze tabel is de puntcode van het monsternamenpunt.
- ✦ Tabel met gegevens over de bladstalen (XXXXXBLA): bevat alle analyseresultaten en andere gegevens van de bladstalen. De sleutel tot deze tabel is de bladmonstercode.
- ✦ Tabel met gegevens over de bodemstalen (XXXXXBOD): bevat alle chemische en fysische analyseresultaten van de bodemstalen die op de monsternamenpunten werden genomen. De sleutel tot deze tabel is de bodemmonstercode.



Er werd een module ontwikkeld om via ArcView of rechtstreeks via intranet/internet geografische en analytische gegevens te raadplegen. Via deze module is het dus mogelijk de complexe gegevens op een overzichtelijke manier te raadplegen. Deze module is online raadpleegbaar als geoloket op de website van OC GIS-Vlaanderen. Gebruikers hebben echter wel een paswoord nodig.



## Inleiding: problematiek van de baggergronden

Sinds er scheepvaart op de Vlaamse waterlopen plaatsvond, werden deze waterlopen regelmatig gebaggerd. Het gebaggerde materiaal werd gebruikt om oude rivierarmen of kleiputten op te vullen of om laaggelegen, 'waterzieke' terreinen op te hogen. Opgehoogde terreinen hadden voor de landbouw een hogere gebruikswaarde: niet alleen was het slib een vruchtbaar substraat, het hoger gelegen perceel was ook minder onderhevig aan hoge waterstanden tijdens de winter. Hoofdzaak bij baggerwerken was evenwel het bevaarbaar houden van de waterweg, waar het slib terecht kwam was van minder belang. De laatste jaren echter werd vastgesteld dat het sediment van onze waterlopen de verontreiniging uit het water vastlegt. Wanneer het baggerslib aan land gebracht wordt, betekent dit een verplaatsing van de verontreiniging. Baggerslib, vroeger een nuttig bruikbaar materiaal, werd een afvalstof, dat op steeds minder plaatsen kon en kan gestort worden. Ook het wettelijk kader voor het storten van baggerslib werd en wordt steeds strenger. Het besef groeide dat een stortplaats voor baggerslib een permanente wijziging van het landschap met zich meebracht, een wijziging die ook gevolgen kon hebben voor het milieu.

Veel oude baggergronden zijn ondertussen terug in gebruik genomen als akker- of weiland, op andere terreinen ontwikkelden zich spontaan bossen en natte ruigtes of werden bomen aangeplant. In het eerste geval kunnen er zich bepaalde toxicologische risico's voor de voedselketen voordoen, maar ook de mogelijke pollutiestromen in bosesystemen moeten bestudeerd worden.

Een groot deel van de baggerwerken in onze waterlopen wordt tegenwoordig uitgesteld of tot het hoogst noodzakelijke beperkt omdat er geen geschikte locaties beschikbaar zijn om het baggerslib te bergen. Vroeger was het vinden van een stortlocatie minder belangrijk, nu is het de beperkende factor geworden. Vanuit de huidige problematiek leek het aangewezen om onderzoek te verrichten naar de omvang, de verontreinigingstoestand en de impact op de omgeving van vroeger opgespoten terreinen. Sinds 1997 werkt het Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer (IBW) aan een inventaris van baggergronden langs de bevaarbare waterlopen. Dit onderzoek gebeurt in opdracht van de Administratie Waterwegen en Zeewezen (AWZ). In dit rapport worden de resultaten voor de Zeeschelde stroomopwaarts van Dendermonde voorgesteld. De baggergronden worden gescreend door het nemen van bodem- en bladstalen. Zo kan de verontreiniging per stortterrein bepaald worden en kan het huidige landgebruik in het kader van de bestaande normen geëvalueerd worden.

Binnen de context van dit project wordt er een eigen definitie voor het begrip 'baggergrond' gebruikt. Deze definitie laat toe een duidelijker beeld te geven van wat er binnen dit project onderzocht wordt. Een baggergrond is een terrein dat met een laag sediment afkomstig uit waterlopen werd opgehoogd. Dit sediment kan zowel hydraulisch als mechanisch aan land gebracht zijn of werd spontaan door de rivier afgezet bij overstromingen, en het materiaal bestaat hoofdzakelijk uit een minerale fractie. Na enig tijd vertoont het aan land geborgen sediment eigenschappen gelijkaardige aan een bodem en wordt het onderhevig aan een zekere profielontwikkeling. Baggergronden krijgen een nabestemming die niet wezenlijk met de aanwezigheid van de waterloop en de bijhorende wegeninfrastructuur verbonden is. Materiaal afkomstig uit rivieren dat gebruikt werd om dijken, trekwegen, bruggen of vergelijkbare infrastructuur aan te leggen en dat zodoende nog tot het geheel van de waterweg behoort, wordt niet als baggergrond gezien. Uit de definitie volgt ook dat opgevolde rivierarmen die na het opvullen een andere functie gekregen hebben, eveneens als baggergrond beschouwd worden.

Een baggergrond leidt tot een terrestrische bodem, die evenwel aan waterverzadiging onderhevig kan zijn. Slib dat binnen eenzelfde waterloop geherlocaliseerd werd, of dat naar andere wateroppervlakten getransporteerd werd (onderwaterberging in vijvers of onderwatercellen), wordt niet als baggergrond gezien.

Een baggergrond werd dus opgehoogd met onderhoudsbaggerspecie, afkomstig van werken vereist om de bevaarbaarheid van waterlopen te garanderen. Bij grote ingrepen aan de waterloop (zoals een rechttrekking of een verbreding) wordt ook heel wat puur bodemmateriaal verwijderd dat als infrastructuurspecie omschreven wordt. Deze grote ingrepen kunnen opgedeeld worden in 2 groepen, nl. nieuwe uitgravingen en werken aan bestaande waterlopen. Bij nieuwe uitgravingen, zoals bijv. het afsnijden van een rivierarm, wordt enkel puur bodemmateriaal uitgegraven en dit materiaal wordt meestal landgeborgen door opspuitingen. Bij werken aan bestaande waterlopen zoals bij de verbreding van een bestaande waterloop is de situatie anders. Hier werd puur bodemmateriaal vermengd met het sediment en eventueel ook alluviale afzettingen van de oude waterloop. In dit geval bevatte de infrastructuurbaggerspecie ook een hoeveelheid 'onderhoudsbaggerspecie'. Het onderscheid tussen onderhoudsbaggerwerken en infrastructuurwerken aan bestaande waterlopen wordt hierdoor minder duidelijk.

De belangrijkste doelstellingen van het project zijn (1) het lokaliseren van alle baggergronden, naast de stortterreinen van infrastructuurspecie en andere opgehoogde terreinen, (2) staalname en analyse van de bodem en de vegetatie, (3) verwerking van de gegevens met het oog op eventuele verontreiniging met zware metalen en de effecten hiervan voor de omgeving en (4) het samenbrengen van alle informatie in de GIS-databank DredGis, raadpleegbaar via intranet/internet.

Dit rapport is een aanvulling op het rapport IBW Bb R99.004 (Vandecasteele et al., 1999), waarin de eerste resultaten voor de Zeeschelde voorgesteld werden, en waarbij staalnames van de Gentbrugse meersen en de verlanding ter hoogte van de stuwsluis in detail besproken werden. De geografische impact van de baggergronden stroomopwaarts van Melle werd reeds besproken in Vandecasteele et al. (2000b). In het voorliggende rapport vindt u meer informatie over de volgende onderwerpen: in hoofdstuk 1 worden de bodemchemische criteria besproken waarop de identificatie van baggergronden gebaseerd is. In hoofdstuk 2 wordt een algemeen overzicht gegeven van de baggergronden langs de Zeeschelde tussen Gentbrugge en Dendermonde. In de kaartenbijlage (kaart 1 t.e.m. 7) vindt u bijkomende gegevens over de ligging en de verontreiniging van de baggergronden. Voor elk terrein wordt er aangegeven of het al dan niet om een baggergrond gaat. Bij de bemonsterde punten geeft het cirkeldiagram de verontreinigingsgraad van de meest verontreinigde laag voor de 6 gemeten zware metalen en wordt er aangeduid of het punt voldoet aan de eigenschappen van baggergronden. In hoofdstuk 3 worden enkele baggergronden ter hoogte van de aansluiting op de Ringvaart in detail besproken. Op deze terreinen is natuurontwikkeling het streefdoel. In hoofdstuk 4 worden de gegevens voor 2 verlande meanders voorgesteld, en in hoofdstuk 5 vindt u de resultaten van een verkennende studie naar de aanwezigheid van baggergronden langs de Durme. In het laatste deel vindt u een samenvatting van de belangrijkste besluiten en enkele aanzetten voor verder onderzoek.

# Hoofdstuk 1. Identificatie van de baggergronden in de alluviale vlakten van de Leie, de Boven- en de Zeeschelde, gebaseerd op fysico-chemische bodemparameters

## 1.1. Inleiding

Sinds verschillende decennia zijn baggerwerken noodzakelijk om de Vlaamse rivieren en kanalen bevaarbaar te houden. De riviersedimenten zijn in veel gevallen sterk verontreinigd. Belangrijke bronnen van zware metalen in het stroomgebied van de Schelde zijn de grensoverschrijdende fluxen uit Noord-Frankrijk, die jaarlijks aan de grenzen van het Vlaamse Gewest gemeten worden (VMM, 1997; VMM, 2000a). Er wordt geschat dat ongeveer 90 % van de hoeveelheid Cd en Cr in de Vlaamse oppervlaktewateren afkomstig is van de grensoverschrijdende input (VMM, 2000b).

Zowel de Leie als de Schelde zijn verontreinigd met zware metalen. In studies van Verlaan et al. (1998) en Verlaan (2000) kon in het Schelde-estuarium een onderscheid gemaakt worden tussen zwevende stof en sedimenten van enerzijds mariene en anderzijds fluviatiele oorsprong op basis van de gehalten aan zware metalen, die veel hoger waren in het materiaal van fluviatiele oorsprong.

Sinds de jaren '80 wordt de verontreinigde baggerspecie gestort in speciaal daarvoor ingerichte terreinen. Vroeger werd het slib gebruikt om laaggelegen percelen in de alluviale vlakte op te hogen, zonder hierbij rekening te houden met de mogelijke verontreiniging. De gegevens over baggergronden werden echter nooit systematisch bijgehouden, en daarom werd in opdracht van AWZ het inventarisatieproject i.v.m. baggergronden aan het IBW opgestart.

Een belangrijke probleem binnen het project is de identificatie van de opgehoogde terreinen waarvoor geen archiefgegevens of andere documenten voorhanden zijn om te bevestigen dat het om baggergronden gaat. In dit hoofdstuk wordt de classificatie van de opgehoogde terreinen langs de Leie, de Boven- en Zeeschelde besproken. De gebruikte criteria zijn gebaseerd op bodemchemische en -fysische eigenschappen. Er werd onderzocht of er op basis van een vergelijkende textuuranalyse met laserdiffractie tussen de A- en de C-horizont kon besloten worden of een terrein al dan niet opgehoogd is. Daarnaast werd aan de hand van een vergelijking van bodemgegevens van baggergronden en de alluviale vlakten nagegaan of baggergronden op basis van eenvoudige bodemparameters geïdentificeerd kunnen worden.

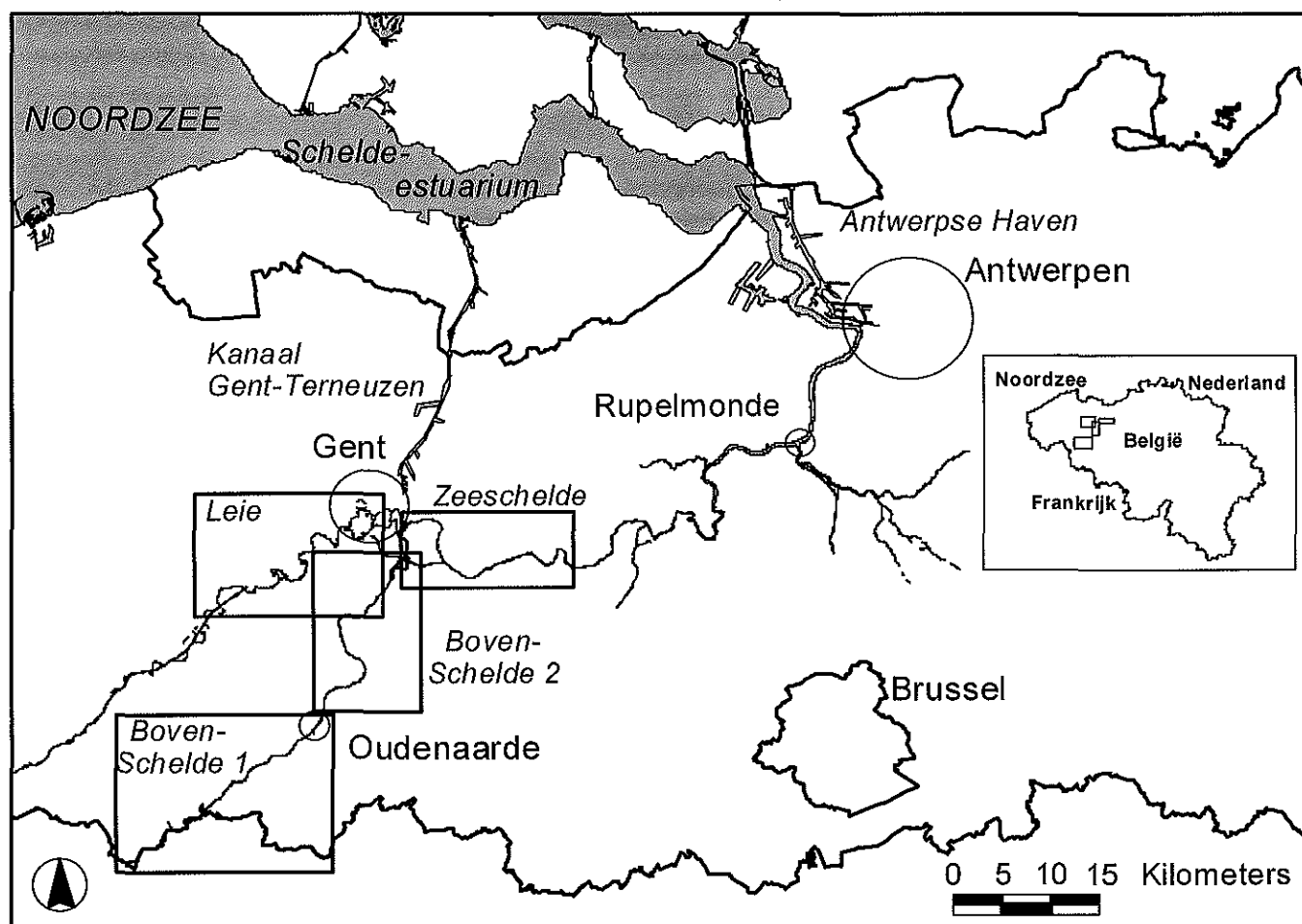
## 1.2. Materiaal en methoden

### 1.2.1. Studiegebied

Het studiegebied voor dit onderzoek was de alluviale vlakte van de Boven- en Zeeschelde en de Leie binnen de grenzen van het Vlaamse Gewest (Fig. 1.1.). Het stroomgebied van de Schelde strekt zich uit over 21.600 km<sup>2</sup> in Noord-Frankrijk, het westelijk deel van België en het zuidwestelijk deel van Nederland. Er kunnen 3 delen in de rivier onderscheiden worden: de Bovenschelde, de Zeeschelde en het Schelde-estuarium. De

Bovenschede is het meest stroomopwaartse deel dat niet aan getijdenwerking onderworpen is, en bevat het deel tussen de bron in Saint-Quentin (Frankrijk) en Gent. De Zeeschede tussen Gent en Rupelmonde is de zoetwaterzone die wel aan de getijden onderworpen is. Het estuarium wordt gekenmerkt door een toenemend zoutgehalte naar de Noordzee toe.

De bodems in het studiegebied worden omschreven als natte alluviale bodems zonder profielontwikkeling (Maréchal & Tavernier, 1970). Het alluviaal gebied werd gedeeltelijk uitgebrikt, dit is oppervlakkig afgegraven voor klei-ontginning. De uitgebrikte gronden zijn veel natter en evolueerden soms tot moerassen. Wetlands worden gekenmerkt door een accumulatie van organisch materiaal, met hoge gehalten aan stikstof (N) en fosfor (P) (Reddy & D'Angelo, 1994). De bronnen die gebruikt worden om potentiële baggergronden te lokaliseren, worden in hoofdstuk 2 besproken.



**Figuur 1.1.** Het Schelde-estuarium, de Boven- en de Zeeschede en de Leie met een aanduiding van de deelgebieden.

### 1.2.2. Staalnames en analyses

Drie datasets werden in dit hoofdstuk gebruikt: een referentiedataset van alluviale bodems, een dataset van gekende baggergronden en een dataset van potentieel opgehoogde terreinen.



Bij het bemonsteren van de alluviale vlakte werden verschillende factoren in rekening gebracht. De 3 belangrijkste landgebruiksvormen in het gebied zijn (1) weides en hooiland, (2) akkers (en meer specifiek maïsmonocultuur) en (3) ruigtes (zowel populierenaanplantingen als verbossingen). De oppervlakkige klei-ontginning in het alluviale gebied stroomafwaarts van Oudenaarde had een belangrijke geografische impact op het gebied (Vandecasteele et al., 2000b). De verdeling van de bemonsterde punten over de landgebruiksvormen en over de uitgebikte en niet-uitgebikte alluviale vlakte was evenredig met het relatieve belang van de klassen in het studiegebied. Op 104 punten in het alluviale gebied werd zowel de A- als de C-horizont bemonsterd met een Edelmanboor. Voor alle bodemstalen werd de textuur bepaald. In de stalen van de A-horizont werden daarnaast ook de bodemchemische eigenschappen bepaald. De recente, gekende baggergronden en de andere opgehoogde terreinen werden bemonsterd volgens de methodiek beschreven in hoofdstuk 2. Om de textuurgelijkenis tussen de A- en de C-horizont te kunnen bepalen, werden bij de opgehoogde terreinen waarover geen zekerheid bestaat of het nu al dan niet gaat om baggergronden, beide horizonten bemonsterd. De gebruikte analysemethoden worden eveneens uitgebreid beschreven in hoofdstuk 2.

### 1.2.3. Textuurovereenkomst tussen A- en C-horizont

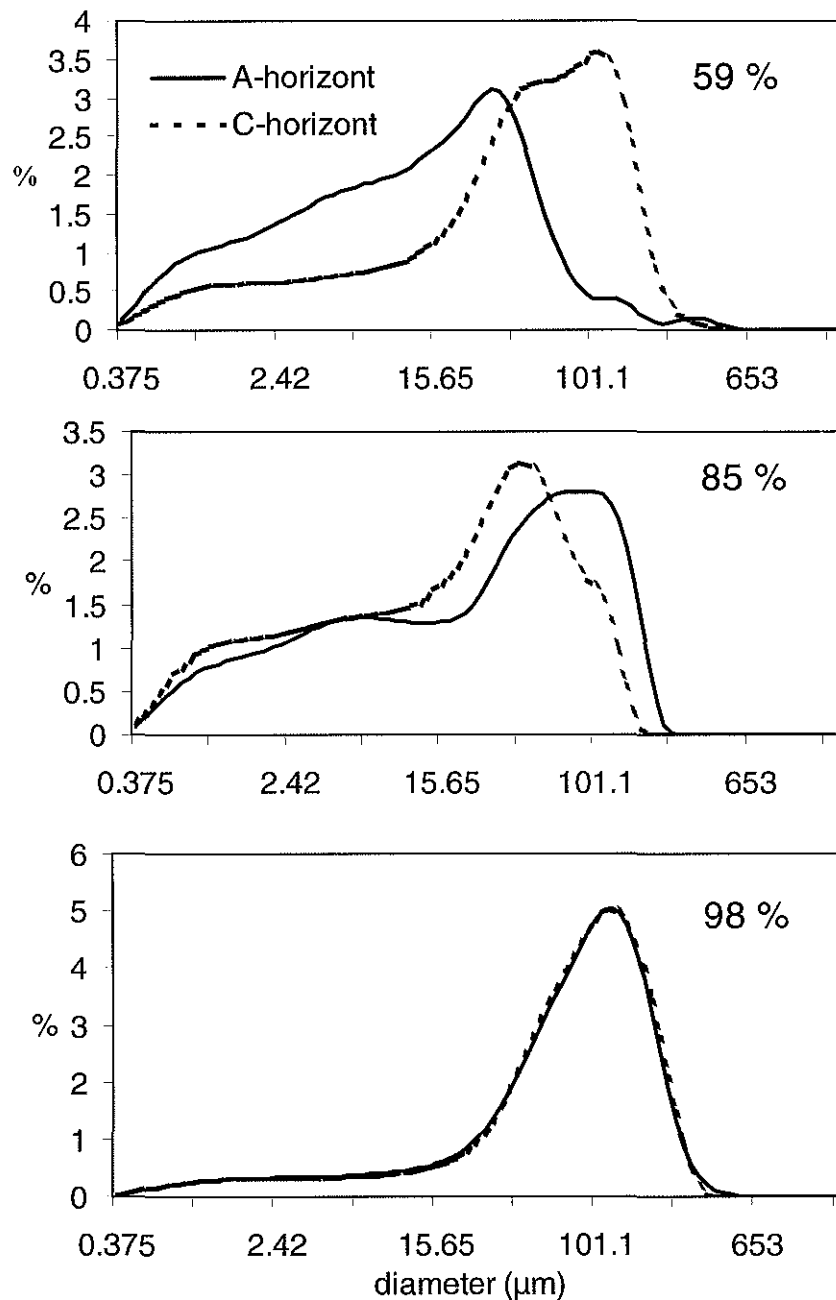
De textuurovereenkomst wordt gedefinieerd als de graad van gelijkheid van de textuur tussen de A- en de C-horizont van hetzelfde profiel. Deze index wordt berekend als de procentuele gemeenschappelijke oppervlakte onder de differentiële distributiecurve gemeten met laserdiffractie relatief t.o.v. de curve met de grootste oppervlakte. Een aantal voorbeelden worden in figuur 1.2. getoond. De berekening kan gebeuren op basis van zowel een lineaire als een log10-getransformeerde deeltjesdiameter. Een belangrijk voordeel van de laatste benadering is dat de zandfractie een minder dominante invloed heeft op de berekening. In dit hoofdstuk wordt de log-transformatie gebruikt bij de berekening van de textuurovereenkomst (L10G). Voor 3 punten met weiland als landgebruik werd de textuuranalyse van zowel de A- als de C-horizont in drievoud uitgevoerd. De gemiddelde L10G voor de 3 punten was  $89.9 \pm 0.3$ ,  $94.9 \pm 2.0$  en  $94.9 \pm 1.8$ . De berekening van de L10G wordt dus gekenmerkt door een lage variabiliteit. De variabiliteit op de textuurbepaling zelf werd bepaald door de drievoudige analyse van 12 bodemstalen van verschillende locaties. De maximale standaardafwijking voor de L10G van de 3 herhalingen van hetzelfde staal was 2.7 %, de gemiddelde gemeenschappelijke oppervlakte was 96.1 %.

### 1.2.4. Vergelijking tussen de gegevens van de baggergronden en van de alluviale vlakte

De dataset van de A-horizonten van de alluviale gebieden werd aan de hand van het verontreinigingscriterium van het bodemsaneringsdecreet (VLAREBO, 1996) getest op verontreiniging met zware metalen. Bodemstalen waar voor minstens 1 zwaar metaal het VC1&2 overschreden werd, werden uit de dataset verwijderd. De dataset van de alluviale gebieden bestaat uit de procentuele textuurovereenkomst tussen de A- en de C-horizont (L10G), de chemische bodemeigenschappen van de A-horizonten en enkele beschrijvende parameters zoals de laagdikte, deelgebied, landgebruik, en vroegere klei-ontginningen. Er werd onderscheid gemaakt tussen 4 deelgebieden in het studiegebied - de Leie tussen Dentergem en Gent, de Zeeschelde tussen Gent en Dendermonde, de Bovenschelde tussen Oudenaarde en Gent en de Bovenschelde stroomopwaarts van Oudenaarde - en 3 landgebruiksvormen: (1) weiland en hooiland, (2) akker en (3) ruigtes. Deze gegevens van 104 bemonsterde punten werden vergeleken met 102 bodemstalen van gekende



baggergronden op basis van  $\text{CaCO}_3$ , S, OC (organische koolstof), P, EC (elektrische geleidbaarheid), C/P-, C/S- en C/N-verhouding, N, pH- $\text{H}_2\text{O}$ , en pH- $\text{CaCl}_2$ .



**Figuur 1.2.** Textuurovereenkomst tussen 2 bodemlagen uitgedrukt op een log<sub>10</sub>-schaal voor 3 verschillende bodemprofielen.

De dikte van de A-horizont en de gerelateerde bodemeigenschappen worden sterk beïnvloed door het landgebruik. Akkers worden jaarlijks geploegd en bemest, weilanden worden regelmatig bemest, terwijl ruigtes minder sterk beïnvloed worden door menselijke activiteiten. Het ploegen kan leiden tot kleine textuurverschillen in de Ap-horizont, bijvoorbeeld door het mengen van lagen met een verschillende textuur. Dunnere A-horizonten bevatten hogere concentraties aan OC en OC-gerelateerde elementen. Voor S, OC, P en N wordt de invloed van de laagdikte uitgemiddeld door de gehalten uit te drukken per

oppervlakte-eenheid, nl. als  $\text{g/m}^2$ . Voor alle bodems gebeurde de omrekening op basis van een gemiddelde relatieve bodemdichtheid van  $1500 \text{ kg/m}^3$ . De maximale laagdikte was 30 cm, dikkere lagen werden bij de berekening herleid tot deze dikte.

Als er geen overlapping was tussen de dataset van de alluviale vlakten en de dataset van de gekende baggergronden voor een bepaalde bodemeigenschap, dan werd de grens tussen beide datasets bepaald als het gemiddelde van de 95e percentielswaarde van de dataset met de laagste waarden en de 5de percentielswaarde van de dataset met de hoogste waarden. Als er wel een overlapping was, en de dataset van de baggergronden had de hoogste waarden, dan werd de grens bepaald als de 95e percentielswaarde van de dataset van de alluviale vlakten. In het tegenovergestelde geval werd de 5<sup>de</sup> percentielswaarde van de dataset van de alluviale vlakten gebruikt.

### 1.2.5. Statistische verwerking

De statistische verwerking begon met het opsporen van lineaire verbanden in de dataset van zowel de alluviale bodems als de baggergronden via een verkennende Pearson correlatie-analyse. Alle variabelen werden getest op normaliteit en homoskedasticiteit vooraleer ANOVA uitgevoerd werd. De interacties tussen de factoren 'landgebruik' en 'deelgebied' waren niet significant bij een betrouwbaarheidsniveau van 99 % zodat beide factoren afzonderlijk geëvalueerd kunnen worden (Mathsoft, 1999). Voor het meervoudig vergelijken van de gemiddelden tussen de verschillende deelgebieden werd de Sidak-methode met een betrouwbaarheidsinterval van 95 % gebruikt (Mathsoft, 1999). Dit is een vrij conservatieve methode die ook toelaat om groepen met een verschillend aantal elementen te vergelijken. De invloed van voormalige klei-ontginningen op de bodemeigenschappen werden getest met de t-test (Mathsoft, 1999).

## 1.3. Resultaten en discussie

### 1.3.1. Textuurgelijkenis

Grote verschillen in textuur tussen bodemhorizonten van hetzelfde monsternamepunt kunnen wijzen op ophogingen met ander materiaal. Er werd een index voor de textuurovereenkomst (L10G) gedefinieerd om de granulometrische gelijkenis tussen de A- en de C-horizont te beschrijven (zie "Materiaal en Methoden"). De textuurcurven werden bepaald met laserdiffractie. Een groot voordeel van deze optische techniek is dat slechts één meting nodig is om het hele textuurbereik te meten, gebaseerd op hetzelfde principe en gebruik makend van dezelfde suspensie (Buurman et al., 1997). De conventionele zeef- en pipetmethode daarentegen is beperkt tot het bepalen van een beperkt aantal textuurklassen. Muggler et al. (1997) maakte gebruik van laserdiffractie bij het vergelijken van verschillende lagen in een bodemprofiel in het kader van bodemgenetische studies.

Er werden geen significante correlaties gevonden tussen L10G en de chemische bodemeigenschappen of de bodemtextuur. Via ANOVA kon aangetoond worden dat de L10G niet significant beïnvloed werd door landgebruik, deelgebied of het al dan niet uitgebrikt zijn van het bemonsterde punt. De 5de percentielswaarde van de L10G-index in de relatief intacte alluviale vlakten was consistent hoger dan 80 %. Waarden voor L10G lager dan 80 % kunnen dus wijzen op terreinen die opgehoogd zijn. Dit criterium werd getest op een dataset van 142 punten van terreinen langs de Leie en Schelde waarvoor er vermoed werd dat het opgehoogde

terreinen zijn. In 48 % van de gevallen werd vastgesteld dat de L10G lager was dan 80 %. In het gebied geven L10G-waarden lager dan 80 % een sterke indicatie dat terreinen opgehoogd werden. Om uitspraken te doen over locaties waar de L10G-index hoger is dan 80 % zijn er andere criteria nodig.

### 1.3.2. Fysico-chemische bodemeigenschappen

De samenvattende statistieken voor de fysico-chemische bodemeigenschappen van de bodems van de alluviale vlakten en de gekende baggergronden worden in tabel 1.1. en 1.2. gegeven. Baggergronden (Tabel 1.2.) worden gekarakteriseerd door hogere klei- en OC-gehalten, hogere nutriëntgehalten en duidelijk hogere  $\text{CaCO}_3$ - en EC-waarden dan de bodems van de alluviale vlakten (Tabel 1.1.). De concentraties aan zware metalen zijn veel hoger in de baggergronden, waarbij de concentraties voor Cd, Cr en Zn meer dan 10 keer hoger liggen dan in de alluviale vlakte.

Lineaire correlaties tussen bodemeigenschappen verschilden tussen baggergronden en de alluviale vlakte. In de dataset van de alluviale vlakte werd er een sterke positieve correlatie gemeten tussen S en OC ( $r = 0.861$ ,  $p < 0.001$ ), tussen N en OC ( $r = 0.922$ ,  $p < 0.001$ ) (Fig. 1.3.) en logischerwijze dus ook tussen S en N ( $r = 0.841$ ,  $p < 0.001$ ) (resultaten niet weergegeven). De correlatie tussen P en OC was veel minder uitgesproken ( $r = 0.441$ ,  $p < 0.001$ ). Er wordt besloten dat N en S in stalen van de A-horizont van de alluviale vlakten voornamelijk organisch gebonden zijn.

Voor de baggergronden werd er een sterke positieve correlatie tussen S en EC ( $r = 0.810$ ,  $p < 0.001$ ) en tussen C en N ( $r = 0.758$ ,  $p < 0.001$ ) vastgesteld. N is ook hier hoofdzakelijk organisch gebonden, maar S niet. Zwavelconcentraties in normale bodems variëren tussen 0.1 en 0.5 g  $\text{kg}^{-1}$  (Tabatabai, 1982). Verontreinigde sedimenten kunnen meer dan 5 g  $\text{kg}^{-1}$  bevatten. Anorganische zwavel is de belangrijkste vorm voor zwavel in verontreinigde sedimenten terwijl de organische vorm normaal de grootste fractie vormt in niet-verontreinigde sedimenten (Dail & Fitzgerald, 1999; Hultberg et al., 1994; Nriagu & Soon, 1985; Mitchell et al., 1984; Nihlgard et al., 1994). De oxidatie van zwavelverbindingen leidt tot verzuring, die door de carbonaten in het sediment kunnen geneutraliseerd worden (Gambrell et al., 1991; Tack et al., 1996). Aangezien het sediment waarmee de bemonsterde baggergronden opgehoogd werden afkomstig is van zoetwater, kunnen zouten in het water en het sediment de hoge EC-waarden niet verklaren. Het is zeer waarschijnlijk dat de oxidatie van anorganisch zwavel de verklaring vormt voor hoge EC-waarden. In een labo-experiment stelde Tack et al. (1997) een sterke stijging van de EC vast (van 0.45 tot 1.93 mS  $\times \text{cm}^{-1}$ ) bij de graduele droging en oxidatie van verontreinigd baggerslib (14.5 mg S/kg DM) gedurende een maand.

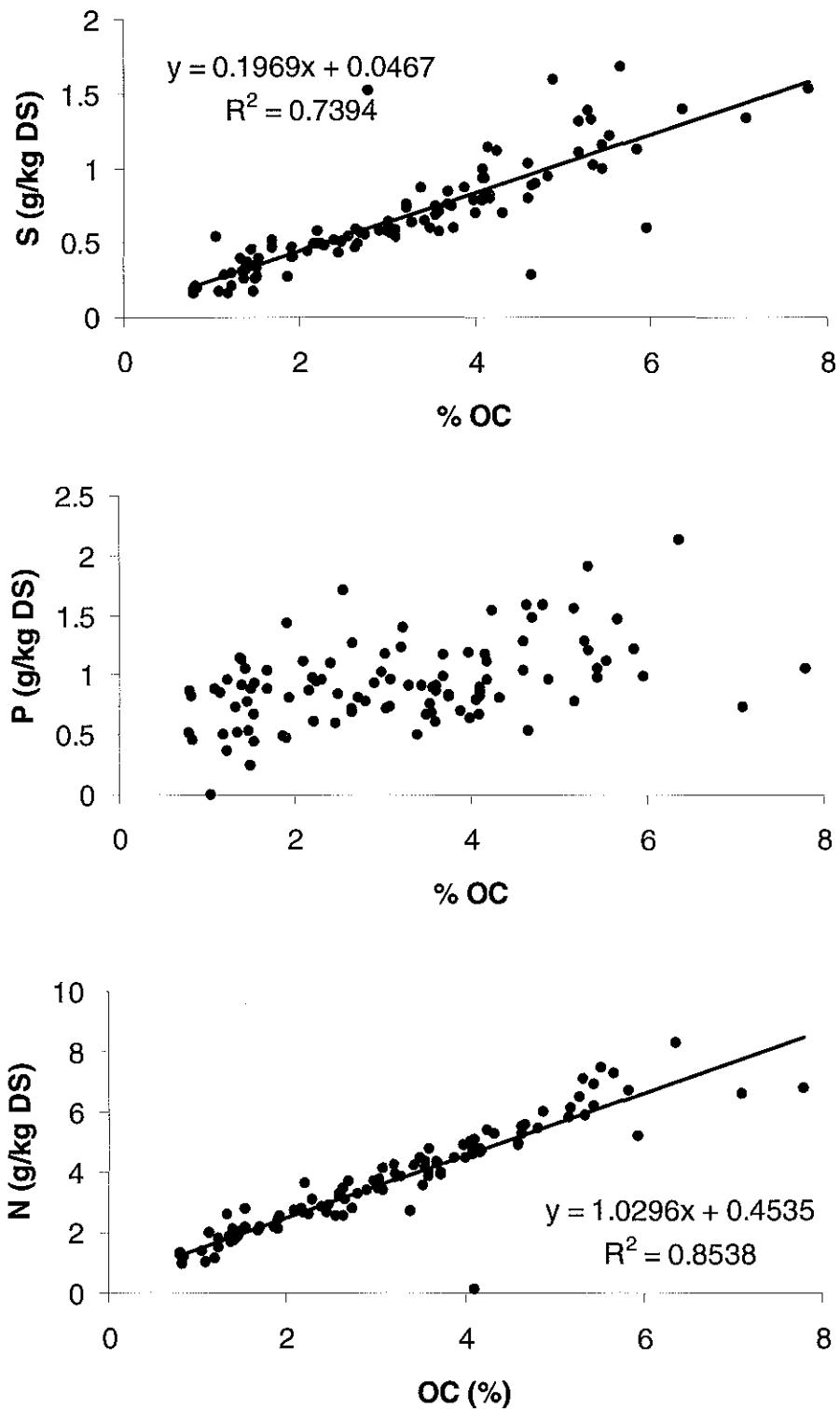
De C/N- en C/P-verhouding geven beide een idee van de samenstelling van het organisch materiaal en beïnvloeden de snelheid van de afbraak van het organisch materiaal en de regeneratie van de nutriënten. De maximale C/P- en C/N-verhouding voor zowel de alluviale vlakten als de gekende baggergronden was 100 en 19.7, wat wijst op een netto mineralisatie van organische koolstof (C/P-verhouding  $< 200$ , C/N-verhouding  $< 20$ , Van Oorschot, 1994) in het gebied door de optimale nutriëntenstatus. Van Oorschot (1994) vergeleek de OC, N en P -concentraties in de helling en in de alluviale vlakte van een bemeste en een niet-bemeste locatie. De voormalige bemesting veroorzaakte een lagere C/P-verhouding, maar voor N werden er geen verschillen gevonden. P is persistenter dan N in zowel de helling als het alluvium door de sterke P-immobilisatie in de bodem.

**Tabel 1.1.** Samenvattende statistieken voor de fysico-chemische eigenschappen van de alluviale bodems ( $n = 104$ )

|                      | Gemidd. | Stdev. | Mediaan | Min. | 5de Perc. | 95de Perc. | Max. |
|----------------------|---------|--------|---------|------|-----------|------------|------|
| Cd (mg/kg DS)        | 0.8     | 0.5    | 0.6     | 0.2  | 0.4       | 2.0        | 2.3  |
| Cr (mg/kg DS)        | 66      | 25     | 66      | 17   | 26        | 112        | 126  |
| Cu (mg/kg DS)        | 22      | 12     | 20      | 5    | 8         | 45         | 78   |
| Ni (mg/kg DS)        | 23      | 10     | 22      | 4    | 8         | 39         | 54   |
| Pb (mg/kg DS)        | 49      | 30     | 43      | 7    | 17        | 97         | 192  |
| Zn (mg/kg DS)        | 129     | 69     | 111     | 38   | 52        | 245        | 441  |
| % klei               | 22      | 8      | 22      | 7    | 8         | 37         | 42   |
| % leem               | 45      | 16     | 44      | 13   | 17        | 68         | 73   |
| % zand               | 33      | 22     | 31      | 0    | 1         | 74         | 79   |
| P (g/kg DS)          | 0.9     | 0.3    | 0.9     | 0.2  | 0.5       | 1.6        | 2.1  |
| S (g/kg DS)          | 0.7     | 0.4    | 0.6     | 0.2  | 0.2       | 1.4        | 1.7  |
| N (g/kg DS)          | 0.38    | 0.17   | 0.37    | 0.01 | 0.13      | 0.68       | 0.83 |
| % CaCO <sub>3</sub>  | 1.9     | 1.7    | 1.4     | 0.0  | 0.1       | 5.5        | 7.4  |
| % OC                 | 3.2     | 1.5    | 3.1     | 0.8  | 1.1       | 5.7        | 7.8  |
| pH-H <sub>2</sub> O  | 6.9     | 0.8    | 6.9     | 4.6  | 5.8       | 8.0        | 8.2  |
| pH-CaCl <sub>2</sub> | 6.2     | 0.8    | 6.2     | 3.9  | 5.2       | 7.3        | 7.6  |
| EC (μS/cm)           | 167     | 73     | 166     | 34   | 61        | 291        | 403  |

**Tabel 1.2.** Samenvattende statistieken voor de fysico-chemische eigenschappen van de baggergronden ( $n = 102$ )

|                      | Gemidd. | Stdev. | Mediaan | Min. | 5de Perc. | 95de Perc. | Max. |
|----------------------|---------|--------|---------|------|-----------|------------|------|
| Cd (mg/kg DS)        | 14.7    | 8.4    | 12.6    | 0.5  | 2.8       | 29.0       | 35.5 |
| Cr (mg/kg DS)        | 820     | 757    | 460     | 66   | 137       | 2298       | 2769 |
| Cu (mg/kg DS)        | 65      | 1009   | 153     | 5    | 62        | 297        | 362  |
| Ni (mg/kg DS)        | 42      | 15     | 41      | 12   | 17        | 68         | 83   |
| Pb (mg/kg DS)        | 292     | 158    | 249     | 48   | 98        | 570        | 916  |
| Zn (mg/kg DS)        | 1866    | 883    | 1758    | 255  | 571       | 3535       | 4224 |
| % klei               | 36      | 12     | 37      | 11   | 15        | 57         | 62   |
| % leem               | 48      | 9      | 50      | 22   | 30        | 58         | 67   |
| % zand               | 16      | 16     | 11      | 0    | 1         | 52         | 64   |
| P (g/kg DS)          | 3.9     | 1.6    | 3.7     | 1.2  | 1.7       | 6.6        | 7.1  |
| S (g/kg DS)          | 3.6     | 2.5    | 2.8     | 0.7  | 1.0       | 8.0        | 13.6 |
| N (g/kg DS)          | 0.39    | 0.14   | 0.38    | 0.16 | 0.19      | 0.58       | 1.24 |
| % CaCO <sub>3</sub>  | 7.5     | 1.6    | 7.6     | 4.3  | 5.2       | 10.0       | 11.9 |
| % OC                 | 4.2     | 1.4    | 4.1     | 0.9  | 1.9       | 6.6        | 7.5  |
| pH-H <sub>2</sub> O  | 7.4     | 0.2    | 7.4     | 6.9  | 7.1       | 7.7        | 7.9  |
| pH-CaCl <sub>2</sub> | 7.2     | 0.2    | 7.2     | 6.6  | 6.8       | 7.5        | 7.6  |
| EC (μS/cm)           | 1032    | 744    | 895     | 124  | 162       | 2234       | 2550 |



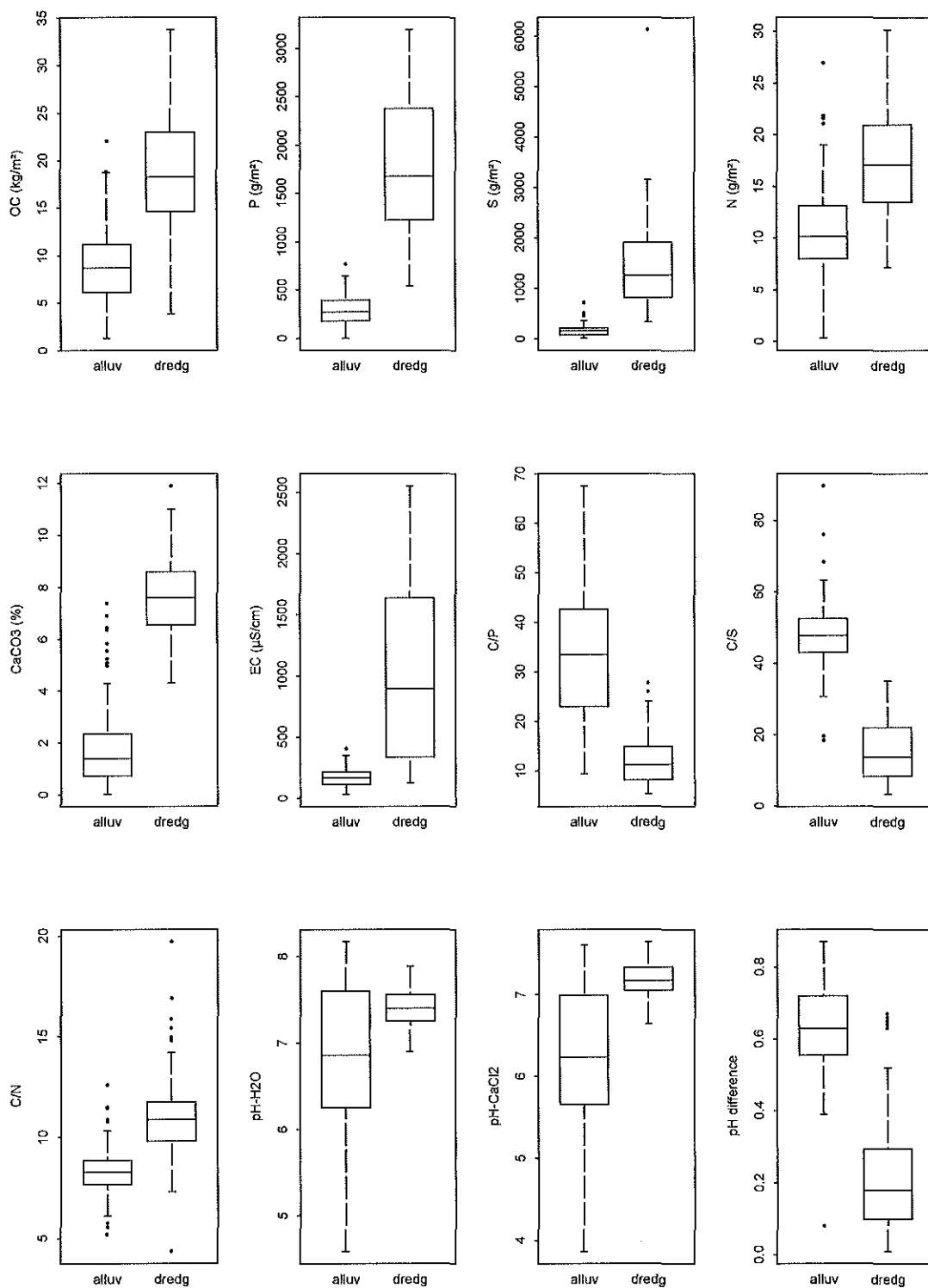
**Figuur 1.3.** C/S-, C/P- en C/N-verhouding voor de A-horizont van 104 bodemstalen van de alluviale vlaktes van de Leie en de Boven- en Zeeschelde.

### 1.3.3. Criteria voor de identificatie van baggergronden

De gemeten concentraties voor de chemische bodemeigenschappen van de alluviale bodems en de gekende baggergronden werden vergeleken aan de hand van boxplots (fig. 1.4.) waaruit duidelijke verschillen afgeleid kunnen worden. pH-Waarden voor baggergronden waren hoger en varieerden over een kleiner bereik dan de alluviale bodems. De baggergronden werden ook gekenmerkt door hogere P, S, OC ( $\text{g/m}^2$ ),  $\text{CaCO}_3$  en EC-waarden, en lagere C/P- en C/S-verhoudingen. Voor bepaalde parameters (P, S, C/S) worden beide datasets duidelijk gescheiden, er is meerbepaald geen overlapping tussen de intervallen die 90 % van de data bevatten. Deze eigenschappen kunnen dus gebruikt worden om robuuste criteria te definiëren voor beide bodemtypes. Zoals werd besproken in het deel “Materiaal en Methoden”, werden de concentraties uitgedrukt in  $\text{g/m}^2$  of  $\text{kg/m}^2$  om het effect van de dikte van de A-horizont ongedaan te maken. Deze omrekening resulteerde in minder overlappingen tussen beide datasets. Voor OC leidde het gebruik van  $\text{kg/m}^2$  tot een beter onderscheid tussen beide groepen dan het gebruik van %. Hetzelfde geldt voor P en S, maar niet voor N waarbij  $\text{g/m}^2$  als eenheid gebruikt werd in plaats van  $\text{g/kg DS}$  (resultaten worden niet getoond). Er wordt besloten dat het onderscheid tussen alluviale bodems en baggergronden gemaakt kan worden op basis van EC,  $\text{CaCO}_3$ , S in  $\text{g/m}^2$ , OC in  $\text{kg/m}^2$ , P in  $\text{g/m}^2$ , EC, C/P en C/S.

Vooraleer de criteria voor het herkennen van baggergronden opgesteld worden, wordt zowel de invloed van het landgebruik als de verschillen tussen enerzijds de uitgebikte en niet-uitgebikte gronden en anderzijds de verschillende deelgebieden onderzocht met ANOVA. Op basis van de gevonden significante verschillen zullen de criteria gedifferentieerd worden volgens landgebruik en deelgebied.  $\text{CaCO}_3$ , S, P, EC en C/P-verhouding in de alluviale vlakten zijn significant verschillend tussen de deelgebieden. De EC was hoger voor het volledige gebied van de Bovenschelde terwijl de  $\text{CaCO}_3$ -gehaltes enkel significant hoger waren in het gebied stroomopwaarts van Oudenaarde. (Tabel 1.3.). Ook voor S, P en de C/P-verhouding werden significante verschillen gevonden, maar deze verschillen waren laag in vergelijking met de gehalten gemeten in de baggergronden en zijn dus minder relevant. Sterk significante ( $p < 0.001$ ) en belangrijke verschillen tussen de landgebruiksvormen werden gevonden voor P en de C/P-verhouding. De hoogste P-concentraties werden op akkerland gevonden, terwijl de laagste gehalten bij ruigtes gemeten werden (Tabel 1.4.). Deze verschillen wijzen duidelijk op huidige en voormalige bemesting. Logischerwijze is de C/P-verhouding het laagst voor akkers aangezien daar de hoogste P-concentraties gemeten werden. De impact van de klei-ontginning op de bodemeigenschappen werd getest via de t-test, maar er werden geen significante verschillen gevonden.

Het stroomafwaartse gedeelte van de Bovenschelde wordt gekenmerkt door nattere bodemcondities in de winter dan het stroomopwaartse gedeelte. Het verschil in het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte tussen de deelgebieden kan in verband gebracht worden met de belangrijke decalcificatie van de bovenste bodemlagen die periodisch overstroomd zijn. Dit verschijnsel wordt veroorzaakt door enerzijds de oxidatie van sulfiden en anderzijds de verhoogde  $\text{CO}_2$ -druk gecombineerd met het uitspoelen van elementen opgelost in het poriënwater (van den Berg & Loch, 2000). Voor akkerland kan bekalking leiden tot hogere  $\text{CaCO}_3$ -gehalten, maar dit werd niet bevestigd door de resultaten van ANOVA.



**Figuur 1.4.** Verdeling van de gemeten bodemchemische eigenschappen voor de alluviale bodems (alluv) en de baggergronden (dredg).



**Tabel 1.3.** Gemiddelde concentratie voor de alluviale bodems in functie van de deelgebieden. Gemiddelden die niet significant verschillend zijn worden aangeduid met de zelfde letter (Sidak meervoudige vergelijking van gemiddelden met een 95 % betrouwbaarheidsniveau)

|                       | Bovenschelde 1 | Bovenschelde 2 | Leie     | Zeeschelde |
|-----------------------|----------------|----------------|----------|------------|
| CaCO <sub>3</sub> (%) | 4.65 b         | 1.43 a         | 0.94 a   | 1.02 a     |
| EC (μS/cm)            | 230.7 b        | 183.9 b        | 129.8 a  | 134.9 a    |
| S (g/m <sup>2</sup> ) | 66.8 a         | 168.0 b        | 213.7 b  | 171.8 b    |
| P (g/m <sup>2</sup> ) | 390.3 ab       | 230.4 a        | 325.3 bc | 252.1 c    |
| C/P verhouding        | 28.8 a         | 42.2 b         | 32.5 ab  | 37.4 ab    |

**Tabel 1.4.** Gemiddelde concentratie voor de alluviale bodems in functie van het landgebruik. Gemiddelden die niet significant verschillend zijn worden aangeduid met de zelfde letter (Sidak meervoudige vergelijking van gemiddelden met een 95 % betrouwbaarheidsniveau)

|                       | Akker   | Ruigte  | Weiland |
|-----------------------|---------|---------|---------|
| P (g/m <sup>2</sup> ) | 407.3 c | 169.9 a | 281.0 b |
| C/P-verhouding        | 19.5 a  | 47.5 b  | 38.8 b  |

De C/S-verhouding is een zeer goede parameter om onderscheid te maken tussen bodemstalen van baggergronden en stalen van de alluviale vlakte. Het onderscheid tussen beide groepen op basis van de C/S-verhouding wordt bevestigd door literatuurgegevens (Tabel 1.5.). De C/S-verhouding van niet-verontreinigde sedimenten in verschillende meren in Noord-Ontario varieerde tussen 70 en 130 terwijl in verontreinigde sedimenten verhoudingen tussen 1.5 en 4 gemeten werden (Nriagu & Soon, 1985).

De criteria om baggergronden te onderscheiden van normale alluviale bodems werden afgeleid uit een vergelijking van datasets voor beide groepen en worden in tabel 1.6 getoond. De waarden werden afgeleid uit percentielwaarden zoals beschreven in “materiaal en methoden”. De criteria werden opgesplitst naar landgebruik en deelgebied als er relevante significante verschillen gevonden werden via ANOVA. De criteria voor S, OC en de C/S-verhouding zijn uniform over het volledige studiegebied. Voor de bodemeigenschappen gerelateerd met P heeft het landgebruik een duidelijke invloed, terwijl de criteria voor CaCO<sub>3</sub> en EC in functie van de deelgebieden opgesteld werden. Het CaCO<sub>3</sub>-gehalte werd beschouwd als het sterkste criterium want de beide datasets werden sterker gescheiden voor deze parameter, behalve voor de Bovenschelde stroomopwaarts van Oudenaarde. Bodemstalen die niet voldoen aan de voorwaarde voor CaCO<sub>3</sub> maar die wel aan de andere criteria voldoen, kunnen er op wijzen dat het om baggergronden of overstromingssedimenten gaat waar er reeds een gedeelte van het CaCO<sub>3</sub> verdwenen is. Het gehalte organische koolstof moet hoger zijn dan 1.7% om in aanmerking te komen als baggergrond.

**Tabel 1.5.** C/S-verhoudingen uit de literatuur

| Locatie                                   | auteur                          | C/S |
|-------------------------------------------|---------------------------------|-----|
| arable land Schotland                     | Zhao <i>et al.</i> , 1996       | 54  |
| arable land Northtumberland               | Zhao <i>et al.</i> , 1996       | 63  |
| arable land Bedfordshire                  | Zhao <i>et al.</i> , 1996       | 49  |
| arable land Hertfordshire                 | Zhao <i>et al.</i> , 1996       | 62  |
| A-horizon under hardwood forest, Otto     | Dail & Fitzgerald, 1999         | 131 |
| A-horizon under hardwood forest, Otto     | Dail & Fitzgerald, 1999         | 145 |
| A-horizon under hardwood forest, Otto     | Dail & Fitzgerald, 1999         | 187 |
| non-polluted sediment, Otto               | Dail & Fitzgerald, 1999         | 60  |
| A-horizon under hardwood forest, Otto     | Dail & Fitzgerald, 1999         | 343 |
| A-horizon under hardwood forest, Otto     | Dail & Fitzgerald, 1999         | 225 |
| A-horizon under hardwood forest, Otto     | Dail & Fitzgerald, 1999         | 175 |
| floodplain forest soil, 0-10 cm, Canada   | Bartel-Ortiz & David, 1998      | 76  |
| upland forest soil, 0-10 cm, Canada       | Bartel-Ortiz & David, 1998      | 42  |
| Sifton Bog, Canada                        | Hornibrook <i>et al.</i> , 2000 | 220 |
| Point Pelee Marsh, Canada                 | Hornibrook <i>et al.</i> , 2000 | 55  |
| pasture, 0-15 cm, Northtumberland         | He <i>et al.</i> , 1997         | 74  |
| pasture, 0-15 cm, Northtumberland         | He <i>et al.</i> , 1997         | 82  |
| pasture, 0-15 cm, Northtumberland         | He <i>et al.</i> , 1997         | 94  |
| pasture, 0-15 cm, Northtumberland         | He <i>et al.</i> , 1997         | 84  |
| pasture, 0-15 cm, Northtumberland         | He <i>et al.</i> , 1997         | 116 |
| pasture, 0-15 cm, Northtumberland         | He <i>et al.</i> , 1997         | 80  |
| non-polluted sediment (1), Ravenna        | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 14  |
| non-polluted sediment (2), Ravenna        | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 59  |
| non-polluted sediment (3), Ravenna        | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 207 |
| non-polluted sediment (4), Ravenna        | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 113 |
| non-polluted sediment (5), Ravenna        | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 124 |
| poll. river alluvium sediments, Louisiana | Carbonell <i>et al.</i> , 1999  | 34  |
| polluted sediment (1), Ravenna            | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 11  |
| polluted sediment (2), Ravenna            | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 15  |
| polluted sediment (3), Ravenna            | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 6   |
| polluted sediment (4), Ravenna            | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 14  |
| polluted sediment (5), Ravenna            | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 16  |
| polluted sediment (6), Ravenna            | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 21  |
| polluted sediment (7), Ravenna            | Fabbri <i>et al.</i> , 1998     | 58  |
| polluted sediment, Belgium                | Tack <i>et al.</i> , 1997       | 3   |

Deze criteria kunnen gebruikt worden om onderscheid te maken tussen de A-horizont van alluviale bodems en van baggergronden, en om stalen van diepere bodemlagen als baggergronden te karakteriseren. Door de bodemgenese is de A-horizont in normale bodems gekenmerkt door hogere OC-gehalten dan de diepere lagen. De concentraties aan S, N en P, die gerelateerd zijn met het organisch materiaal, vertonen eveneens de hoogste concentraties in de A-horizont. De concentraties gevonden in de A-horizont zijn dus de hoogste in het profiel, en zijn daarom een goede referentie voor de vergelijking met diepere lagen van

terreinen waarvoor er vermoedens bestaan dat het om baggergronden gaat. De  $\text{CaCO}_3$ -gehalten daarentegen kunnen sterk variëren over het profiel als gevolg van verschillende processen.

**Tabel 1.6.** Criteria voor de herkenning van baggergronden op basis van bodemchemische eigenschappen

|                                                  |               |               |           |               |
|--------------------------------------------------|---------------|---------------|-----------|---------------|
| S ( $\text{g/m}^2$ )                             | > 390         |               |           |               |
| OC (%)                                           | > 1.7         |               |           |               |
| OC ( $\text{kg/m}^2$ )                           | > 15          |               |           |               |
| C/S-verhouding                                   | > 32          |               |           |               |
| P ( $\text{g/m}^2$ )<br>C/P-verhouding           | akker         | weiland       |           | ruigte        |
|                                                  | > 750<br>< 12 | > 690<br>< 16 |           | > 420<br>< 16 |
| CaCO <sub>3</sub> (%)<br>EC ( $\mu\text{S/cm}$ ) | Bovenschedel1 | Bovenschedel2 | Zeeschede | Leie          |
|                                                  | 6.9           | 3.8           | 3.8       | 3.8           |
|                                                  | 280           | 280           | 230       | 230           |

Criteria voor de herkenning van baggergronden zijn gebaseerd op de eigenschappen van aërobe bodemstalen van baggergronden, maar een gedetailleerde bemonstering toonde aan dat de criteria ook geldig zijn voor anaërobe bodemstalen van baggergronden. Op een baggergrond die aangelegd werd in 1984 werden 46 punten bemonsterd tot op 2 m diepte volgens de hierboven beschreven methode. Op 19 punten werd een gereduceerde sliblaag aangetroffen onder de aërobe sliblaag. Een vergelijking tussen beide horizonten met de gepaarde t-test toonde aan dat er een gemiddelde daling van de zwavelconcentratie van 1.3 g/kg DM ( $p < 0.001$ ) had plaatsgevonden in de aërobe laag sinds 1985 t.o.v. de gereduceerde laag. Voor de andere bodemeigenschappen en de gehalten aan zware metalen werden geen verschillen gevonden (Tabel 1.7.). Dit geldt natuurlijk enkel voor de algemene fysico-chemische bodemeigenschappen en de totaalconcentraties, want er werd in ander onderzoek duidelijk aangetoond dat de chemie, de reactiviteit en dus de mobiliteit en de biobeschikbaarheid sterk veranderen bij de oxidatie van gereduceerd sediment (Gambrell et al., 1991; Tack et al., 1996 and 1997; Cauwenbergh & Maes, 1997; Stephens & Alloway, 2001). De resultaten wijzen er echter op dat de criteria gebruikt kunnen worden voor zowel aërobe als anaërobe stalen van baggergronden, zelfs voor zwavel aangezien de waarden hoger zijn in de gereduceerde laag t.o.v. de geoxideerde laag van baggergronden.

**Tabel 1.7.** Gemiddelde waarden voor de bodemeigenschappen in de aërobe en de onderliggende anaërobe sedimentlaag voor 19 punten op een baggergrond. Significante verschillen ( $p < 0.001$ ) worden aangeduid met een \*

|                                | Geoxideerd      | Gereduceerd     |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|
| S (g/kg DS)*                   | $2.9 \pm 0.9$   | $4.3 \pm 0.7$   |
| N (g/kg DS)                    | $0.04 \pm 0.01$ | $0.04 \pm 0.01$ |
| % $\text{CaCO}_3$              | $6.6 \pm 0.5$   | $6.7 \pm 0.4$   |
| % OC                           | $3.9 \pm 0.5$   | $4.0 \pm 0.8$   |
| pH- $\text{H}_2\text{O}$       | $7.4 \pm 0.1$   | $7.6 \pm 0.1$   |
| pH- $\text{CaCl}_2$            | $7.4 \pm 0.1$   | $7.5 \pm 0.1$   |
| EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | $1148 \pm 317$  | $1121 \pm 228$  |

#### 1.4. Besluit

De vergelijkende textuuranalyse met laserdiffractie tussen de A- en de C-horizont is een bruikbare methode bij het opsporen van opgehoogde terreinen in de alluviale vlakte, maar geeft geen informatie over de oorsprong van het materiaal van de ophoging. Uitgesproken verschillen in de bodemchemische eigenschappen tussen relatief intacte alluviale bodems enerzijds en baggergronden anderzijds laten toe om robuuste criteria te definiëren om baggergronden in het studiegebied te identificeren. De meest determinerende eigenschappen voor de identificatie van baggergronden zijn: het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte, het zwavel-, organische koolstof- en fosfor-gehalte uitgedrukt als  $\text{g}/\text{m}^2$ , de elektrische geleidbaarheid, de C/P- en de C/S-verhouding. Soms zijn criteria afhankelijk van het landgebruik of het deelgebied waar de stalen verzameld werden. De criteria mogen niet veralgemeend worden aangezien ze afhankelijk zijn van de pedologische en de geologische karakteristieken van het studiegebied. De voorgestelde aanpak kan echter tot voorbeeld dienen voor gelijkaardige studies.

## Hoofdstuk 2. Resultaten van de terreininventarisatie naar geografische omvang en verontreiniging van de baggergronden langs de Zeeschelde

### 2.1. Inleiding

Sinds meer dan 100 jaar worden er baggerwerken uitgevoerd op de Schelde om de scheepvaart mogelijk te maken. Tot in de jaren '80 werd het baggerslib gestort op laaggelegen terreinen in de alluviale vlakte. Daarna werden speciale aangelegde stortterreinen gebruikt voor het bergen van baggerslib. In tegenstelling tot de Bovenschelde (de Schelde stroomopwaarts van Gent) is de Zeeschelde niet verbreed of verdiept gedurende de laatste 60 jaar, en er zijn geen sluizen gebouwd. De hele Zeeschelde is door de afwezigheid van stuwen of sluizen onderworpen aan de getijdenwerking. De belangrijkste ingreep was het afsnijden en kortsluiten van een aantal grote meanders rond 1900.

Veel onderzoek rond de Schelde heeft zich toegespitst op het Schelde-estuarium stroomafwaarts van Rupelmonde. Studies over het stroomopwaartse gedeelte zijn echter schaars, niettegenstaande de zware metalen in het estuarium aangevoerd worden vanuit het stroomopwaartse gedeelte (Regnier & Wollast, 1993). Sinds 2 decennia wordt er een kwaliteitsverbetering vastgesteld van het water, de zwevende stof en het sediment in het estuarium (Zwolsman, 1999; Zwolsman et al., 1996, Baeyens, 1998).

Swennen & Van der Sluys (1998) geven een overzicht van de belangrijkste industriële activiteiten in het stroomgebied van de Belgische rivieren. Voor wat betreft de Boven- en Zeeschelde worden enkel de activiteiten van olieraffinaderijen in Gent vermeld. Toch zijn de riviersedimenten sterk verontreinigd. Belangrijke bronnen van zware metalen in het stroomgebied van de Schelde zijn de grensoverschrijdende fluxen uit Noord-Frankrijk, die jaarlijks aan de grenzen van het Vlaamse Gewest gemeten worden (VMM, 1997 ;VMM, 2000a). Er wordt geschat dat ongeveer 90 % van de hoeveelheid Cd en Cr in de Vlaamse oppervlaktewateren afkomstig is van de grensoverschrijdende input (VMM, 2000b).

Seuntjens et al. (1996) ontwikkelden een geïntegreerde kwaliteitsbeoordeling voor de onderwaterbodems in de Vlaanderen. De resultaten van deze triade-beoordeling toonden aan dat de sedimentkwaliteit van het meest stroomopwaartse deel van de Zeeschelde zeer slecht was, zowel vanuit biologisch, ecotoxicologisch als fysicochemisch oogpunt (De Deckere et al., 2000).

Overstromingssedimenten in het noordelijk deel van België zijn duidelijk meer verontreinigd met zware metalen in vergelijking met het zuidelijke deel, en dit wijst op een hogere industriële activiteit. Hogere fosfor- en organische koolstofgehalten wijzen op verontreiniging door landbouwactiviteiten en eutrofie in het stroomgebied van de rivieren (Swennen et al., 1997). In de bovenste laag van de overstromingssedimenten zijn Cu, Cd, Zn en Pb sterk onderling gerelateerd en hun concentraties zijn veel hoger dan in de diepere lagen. In de meeste profielen blijkt dat de neerwaartse migratie van zware metalen zeer gering is. Profielen met een geringe concentratiestijging aan zware metalen in de bovenste

lagen in vergelijking met de diepere lagen wijzen op transregionale atmosferische depositie, terwijl bij profielen met een duidelijke concentratiestijging de afzetting van zware metalen via het water of de zwevende stof van de rivieren hiervan de oorzaak is (Swennen & Van der Sluys, 1998). Swennen et al. (1998) stelde vast dat voor het noordelijke deel van België het organische koolstof (OC)-gehalte in de bovenste lagen van de overstromingssedimenten hoger was dan voor de diepere lagen.

Onderzoek rond de geochemie van zware metalen in baggergronden is een belangrijk recent thema en toont aan dat het gedrag sterk afhankelijk is van de veldomstandigheden, waarvan de pH en de redoxpotentiaal de belangrijkste zijn. Tack et al. (1996) toonden aan dat de oplosbaarheid van Cd, Cu, Pb en Zn sterk toenemen in functie van de pH voor baggerslib in een geoxideerde toestand t.o.v. de initiële gereduceerde toestand. De mobiliteit en beschikbaarheid van zware metalen in een aantal baggergronden in Vlaanderen werd grondig bestudeerd (Singh et al., 1996; Singh et al., 1998; Tack et al., 1998; Tack et al., 1999). Via sequentiële extractie werd er aangetoond dat de residuele fracties beperkt zijn t.o.v. de totale fractie aan zware metalen. Dit kan wijzen op een belangrijke antropogene input van zware metalen in het baggerslib (Zhang et al., 1990; Vicente-Beckett, 1992). Uit DTPA-extracties kon er besloten worden dat Zn, Cd en Cu sterk plantbeschikbaar zijn op baggergronden (Singh et al., 1998). Verhoogde gehalten aan zware metalen in het poriënwater versterkten het vermoeden van hogere plantbeschikbaarheid van zware metalen (Tack et al., 1998). De mobiliteit van zware metalen in baggergronden neemt toe bij het drogen en oxideren. Stephens et al. (2001b) stelden initieel een verhoging en daarna een verlaging van de uitspoeling van zware metalen vast bij het drogen van licht verontreinigde kanaalsedimenten gedurende 12 weken. Op basis van uitloogtesten bleek daarentegen dat de uitspoeling van zware metalen op lange termijn minder belangrijk is (Tack et al., 1999). Veldproeven waarbij verontreinigd baggerslib als substraat voor plantengroei gebruikt werd, toonden aan dat na 16 maanden er geen migratie was van zware metalen of organische pollutanten (Ruban et al., 1998). Afhankelijk van de vorm en de helling van de baggergrond kan het transport van zware metalen via afspoeling van bodemdeeltjes belangrijk zijn (Singh et al., 2000). Kalkrijke baggergronden met hoge gehalten aan OC en klei blijken een zeer lage uitspoeling van zware metalen te vertonen (Tack et al., 1999) maar de biobeschikbaarheid daarentegen kan aanzienlijk zijn (Singh et al., 1998; Tack et al., 1999; Stephens et al., 2001a). De oxidatie van baggerslib verhoogt aanzienlijk de oplosbaarheid en de uitwisselbaarheid van Cd, en de opname van Cd door planten, waardoor habitatontwikkeling of landbouwkundig gebruik van verontreinigde baggergronden onaanvaardbaar is volgens Gambrell & Patrick (1988).

Er bestaan verschillende methoden om de sedimentkwaliteit in functie van de tijd te onderzoeken. Geochronologie werd opgebouwd door het vergelijken van sedimentanalyses van verschillende periodes (Zwolsman et al., 1996), door gebruik te maken van datering met radionucliden (Winkels et al., 1998; Zwolsman et al., 1993) of door het berekenen van de sedimentatiesnelheid op plaatsen die maandelijks bemonsterd worden (Wiese et al., 1997). Een voordeel van sedimenten is dat zij de fluctuerende input van zware metalen integreren over grotere periodes (Regnier & Wollast, 1993). Zware metalen worden in eerste instantie verspreid in de bodem en de lucht maar accumuleren uiteindelijk in het sediment. Daarom geven sedimenten data over geografische en tijdsafhankelijke emissies geïntegreerd over een langere periode (Sternbeck & Östlund, 2001). Vicente-Beckett (1992) besluit dat de kwaliteit van rivieren voor wat betreft zware metalen best door

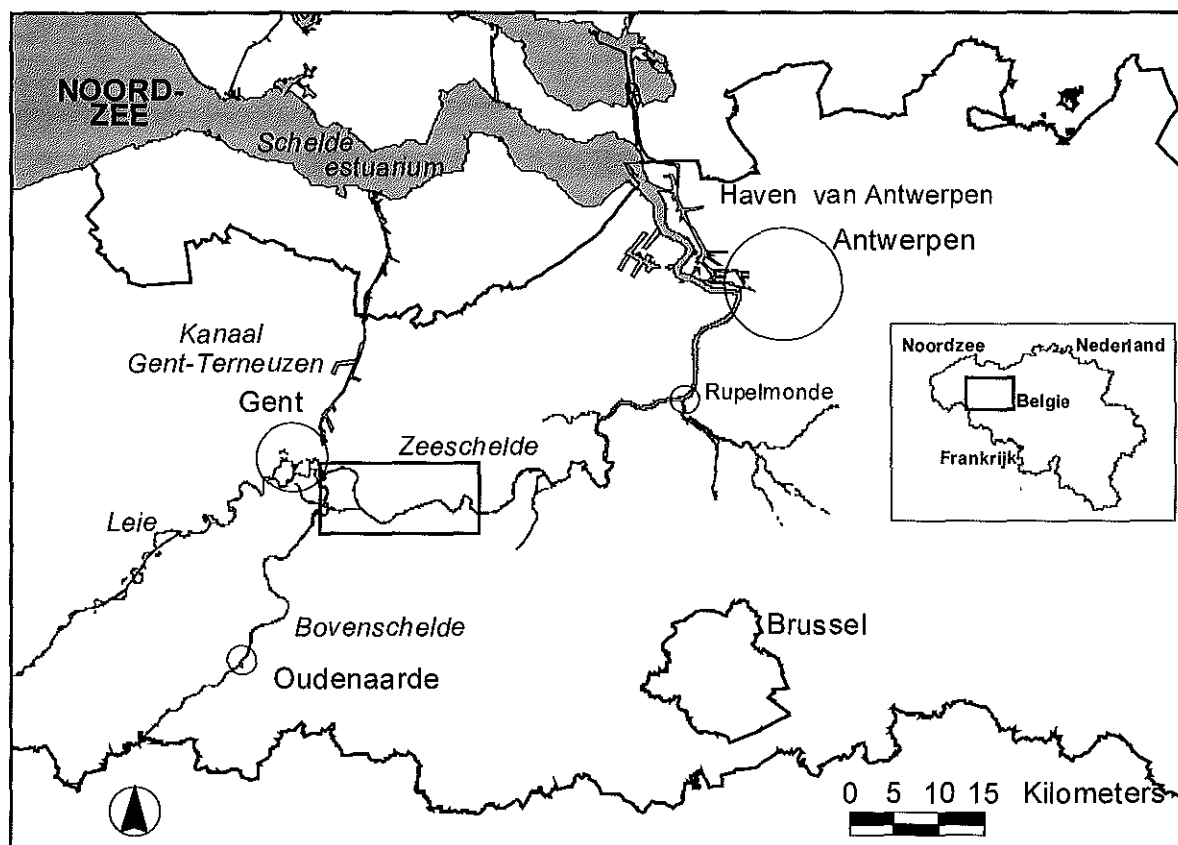
middel van sedimentanalyses bepaald wordt, aangezien de mogelijkheden voor het analyseren van opgeloste zware metalen beperkt is.

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de inventarisatie van de baggergronden in het meest stroomopwaartse deel van de Zeeschelde besproken. Daarnaast wordt er ook een beeld gevormd van de evolutie van de verontreiniging in functie van de plaats en het tijdstip waarop de baggergrond aangelegd werd.

## 2.2. Materiaal and methoden

### 2.2.1. Studiegebied

Het studiegebied voor dit onderzoek is het deel van de Zeeschelde stroomopwaarts van Appels, met een lengte van 32 km (Fig. 2.1.). Het stroomgebied van de Schelde strekt zich uit over 21.600 km<sup>2</sup> in Noord-Frankrijk, het westelijk deel van België en het zuidwestelijk deel van Nederland. Er kunnen 3 delen in de rivier onderscheiden worden: de Bovenschelde, de Zeeschelde en het Schelde-estuarium. De Bovenschelde is het meest stroomopwaartse deel dat niet aan getijdewerking onderworpen is, en bevat het deel tussen de bron in Saint-Quentin (Frankrijk) en Gent. De Zeeschelde tussen Gent en Rupelmonde is de zoetwaterzone die wel aan de getijden onderworpen is. Het estuarium wordt gekenmerkt door een toenemend zoutgehalte naar de Noordzee toe.



**Figuur 2.1.** Het Schelde-estuarium en de Zeeschelde met het studiegebied

Verskillende bronnen werden gebruikt om gegevens te verzamelen over enerzijds vroegere baggeractiviteiten en anderzijds de locatie en het tijdstip van aanleg van potentiële baggergronden: de Belgische Bodemkaart op een schaal 1:20.000 (Geologisch Instituut, Gent), de archieven van AWZ en informatie verzameld door het vergelijken van topografische en vegetatiekenmerken op de verschillende edities van de stafkaarten op een schaal 1:25.000 (Nationaal Geografisch Instituut, Brussel). Op basis van deze gegevens konden potentieel opgehoogde terreinen geïdentificeerd worden.

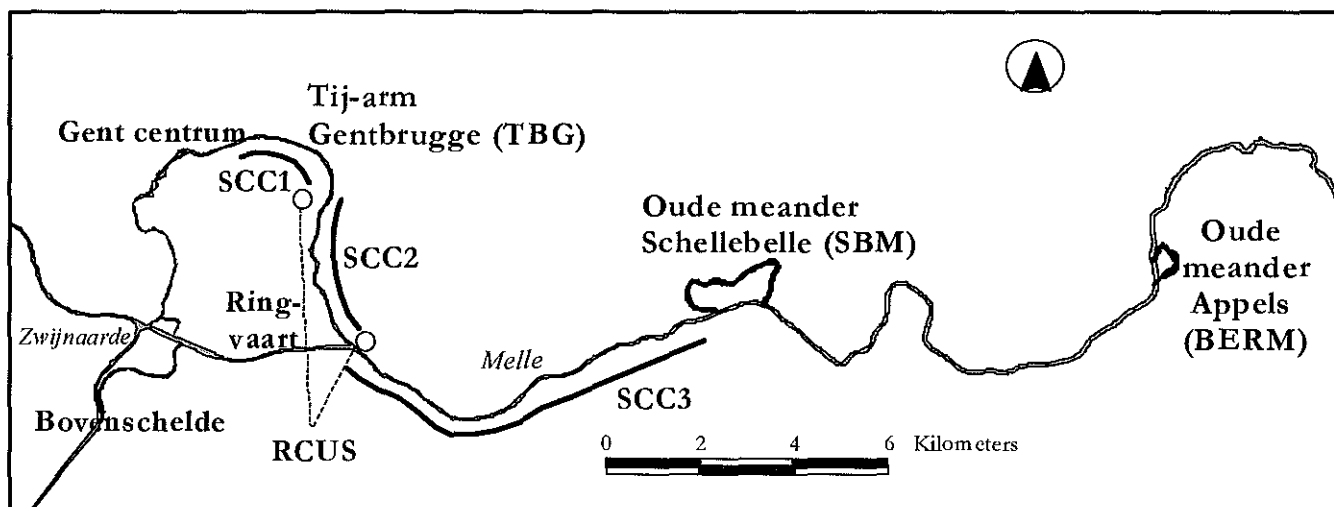
Zeven deelgebieden werden onderscheiden in het studiegebied, gebaseerd op de kennis van periodes waarin de baggergronden aangelegd werden (Fig. 2.2.). Verschillende meanders werden kortgesloten aan het einde van de 19<sup>e</sup> eeuw om de scheepvaart makkelijker te maken. Twee meanders zijn helemaal verland nadat ze toegeslibd zijn doordat de meander in contact bleef met de Schelde na de bochtafsnijding. Andere meanders werden opgevuld met bodemmateriaal of met afval. De meander in Appels-Dendermonde (BERM, 14 ha, zie Hoofdstuk 4) werd rond 1880 afgesneden en werd na de verlanding beplant met populier. De meander in Schellebelle (SBM, 32 ha, zie Hoofdstuk 4) is ook gradueel verland na de bochtafsnijding in 1890, maar dit proces verliep trager dan voor BERM. Het gebied is gedeeltelijk een moeras (natuureservaat), ligt gedeeltelijk onder weiland en werd gedeeltelijk beplant met populier. Er kan aangenomen worden dat de verlanding een feit was vóór WOII.

De baggergronden tussen de stuw van Gentbrugge en de E17-brug (SSC1), tussen de E17-brug en de R4-brug (SSC2) en tussen de R4-brug en Wetteren (SSC3) worden grotendeels als weiland gebruikt en werden hoofdzakelijk gelokaliseerd op basis van de Belgische Bodemkaart. Deze baggergronden werden allemaal aangelegd vóór 1962, de periode waarin de bodemkartering in dit gebied uitgevoerd werd. De meeste baggergronden werden opgehoogd met sedimenten gebaggerd in de Bovenschelde stroomopwaarts van de stuw van Gentbrugge.

De baggergronden die na 1962 aangelegd werden, werden opgehoogd met sedimenten afkomstig van de kruisingen van de Ringvaart met de Boven- en Zeeschelde, de Zeeschelde stroomopwaarts van de Ringvaart en de Bovenschelde net stroomopwaarts van de stuw van Gentbrugge. Aangezien deze baggergronden later aangelegd werden (meerbepaald tussen 1970 en 1988) en het baggerslib afkomstig is van andere locaties, vormen deze terreinen een aparte groep (RCUS).

Na de aanleg van de Ringvaart verloor het stroomopwaartse gedeelte van de Zeeschelde zijn scheepvaartfunctie. De stuwsluis werd buiten gebruik gesteld waardoor het stroomopwaartse deel (TBG) als een tij-arm functioneerde en gradueel dichtslibde. TBG werd de laatste keer gebaggerd in 1987 maar slibde daarna snel terug dicht. Het meest stroomopwaartse deel van TBG werd bemonsterd in mei 1999. De bemonsterde oppervlakte was ongeveer 2 ha, maar de totale oppervlakte van het deel van de Zeeschelde stroomopwaarts van de Ringvaart (TBG) bedraagt 34 ha (lengte = 8 km). Er kan aangenomen worden dat het fijnste sediment zich het meest stroomafwaarts heeft afgezet.



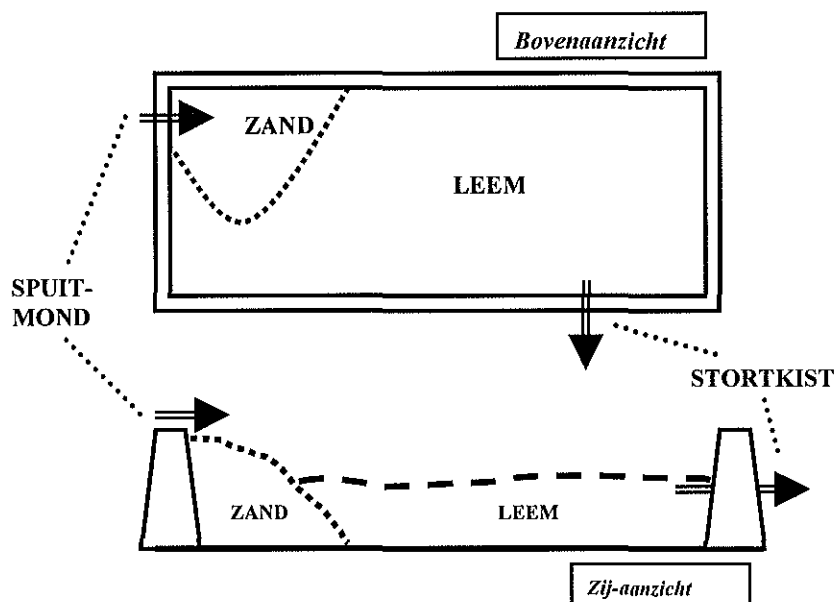


**Figuur 2.2.** De deelgebieden afgebankend in het studiegebied. De baggergronden van RCUS werden omcirkeld.

### 2.2.2. Staalname

Recent aangelegde baggergronden in het gebied werden vooraf bemonsterd om een geschikte bemonsteringsstrategie te ontwikkelen, gebaseerd op de kennis van de opbouw van baggergronden. De fysische en chemische bodemeigenschappen van de potentiële baggergronden werden onderzocht door middel van boringen tot op 2 m diepte. Het aangetroffen profiel werd onderverdeeld in een aantal relevante lagen die afzonderlijk bemonsterd en geanalyseerd worden. Het aantal monsternamenpunten werd beperkt tot ongeveer 1 punt per ha. Op baggergronden wordt er een zandplaat aangetroffen dicht bij de spuitmond, terwijl de leem-kleiplaat zich relatief homogeen uitstrekt over de rest van het terrein (van Driel & Nijssen, 1988). Daarom werden de bemonsteringen enkel uitgevoerd op de leem-kleiplaat (Fig. 2.3.).

Het aangeslibde deel van de Zeeschelde ter hoogte van de stuw in Gentbrugge werd bij hoog water bemonsterd met een steekboor vanuit een boot. In overeenstemming met de staalname op baggergronden, werd er ook hier gewerkt met puntbemonsteringen, waarbij het slibprofiel arbitrair opgesplitst werd in lagen van 50 cm. Alle stalen werden één nacht bewaard in plastic zakken en daarna gedroogd bij 40°C en mechanisch gemalen tot deeltjes kleiner dan 2 mm (Retsch, Haan, Germany). De coördinaten van de bemonsterde punten werden opgemeten d.m.v. differentiële GPS (TRIMBLE TDC2 en TSC1, Sunnyvale, CA). De bodemvariabiliteit op korte afstand (bepaald aan de hand van 4 afzonderlijke boringen en bemonsteringen in een cirkel met diameter 5 m) voor 2 punten op baggergronden was aanvaardbaar: de variatiecoëfficiënt (CV) was lager dan 10 % voor alle zware metalen behalve Cu (CV < 15 %), en voor P, S, N, CaCO<sub>3</sub>, organische koolstof (OC), pH (CV < 5 %) en de klei- en leemfractie (CV < 5 %). Enkel voor de elektrische geleidbaarheid was de CV hoger, maar wel lager dan 20 %.



**Figuur 2.3.** Boven- en zij-aanzicht van de normale opbouw van een baggergrond

### 2.2.3. Fysische en chemische analyses

Bodem pH en elektrische geleidbaarheid (EC) werden gemeten in een 1:5 bodem-water suspensie na 2 uur roeren. Organische koolstof werd bepaald aan de hand van de methode van Walkley-Black (Bremner & Jenkinson, 1960), waarbij aangenomen wordt dat deze methode ongeveer 75 % van de totale hoeveelheid organische C meet. Het  $\text{CaCO}_3$ -gehalte werd bepaald door terugtitratie met 0.5 M NaOH van een overmaat  $\text{H}_2\text{SO}_4$  toegevoegd aan 1 g lucht-droog sediment (Nelson, 1982). De textuur van de sedimentstalen werd bepaald aan de hand van laserdiffractie (Coulter LS200, Miami, FL). De kleifracatie wordt bij deze methode gedefinieerd als de 0-6  $\mu\text{m}$  fractie, want deze fractie vertoonde de hoogste correlatie met de 0-2  $\mu\text{m}$  fractie, bepaald volgens de klassieke pipetmethode, behalve voor bodemstalen met kleigehalten hoger dan 50 % (Vandecasteele & De Vos, 2001). Het maximale kleigehalte dat in de bodemstalen gemeten werd, was echter lager dan 50 % (Tabel 2.2. en 2.3.). Totale N in de bodem werd gemeten door een  $\text{NH}_4\text{-N}$  destillatie en een boorzuurtitratie.

Totale gehalten aan Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, P en S werden na koningswater- of aqua regia-destructie gemeten met ICP-AES (Varian Liberty Series II, Varian, Palo Alto, CA). De aqua regia-destructie werd uitgevoerd met een microgolfoven (Milestone 1200 MS Mega) met het volgende programma: 250 W (5 min.), 400 W (5 min.), 600 W (5 min.), 800 W (10 min.), ventilatie (10 min.). De microgolfoven-destructie is een beter methode voor de bepaling van totale fosforgehalten dan de conventionele  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  methode (Dancer et al., 1998). De kwaliteitscontrole van de analyses was gebaseerd op de analyse van multi-element standaardreeksen (Merck 11355 ICP standard IV), en van externe en interne sediment standaarden.

De nauwkeurigheid van de bepaling van de concentraties aan zware metalen werden gecontroleerd aan de hand van BCR-standaarden (CRM 320: riviersediment). De gemeten waarden zijn (in mg/kg DS) Cd: 0.53 (gecertificeerde waarde:  $0.533 \pm 0.026$ ), Cu: 42.9 (gecertificeerde waarde:  $44.1 \pm 1.0$ ), Zn: 124.8 (waarde voor aqua-regia extractie met ICP: 122), Cr: 81.7 (waarde voor aqua-regia extractie met ICP: 79), Ni: 57.8 (waarde voor

aqua-regia extractie met ICP: 57), and Pb: 27.7 (waarde voor aqua-regia extractie met ICP: 33). De nauwkeurigheid van de P en S analyse werd gecontroleerd met standaard CRM 100 (beukenbladeren) en CRM 101 (dennennaalden). De bekomen waarden (in g/kg DS) voor P: 1.650 en 1.760 (gecertificeerde waarde:  $1.550 \pm 0.040$  en  $1.690 \pm 0.040$ ), en voor S: 3.121 en 1.890 (gecertificeerde waarde:  $2.690 \pm 0.0040$  and  $1.700 \pm 0.040$ ). In de 4de ICP naald/blad ringtest was de afwijking van de gemeten waarden voor P in 4 stalen minder dan 5 % van de gemiddelde concentratie, en voor S waren de afwijkingen kleiner dan 8 % (Bartels, 2000). De maximale variatiecoëfficiënten voor de viervoudige analyse van 2 bodemstalen van baggergronden (geanalyseerd in 4 verschillende maanden) waren 12.5 % voor S, 7.5 % voor P, 6.7 % voor Cd, 8.0 % voor Cr, 3.5 % voor Cu, 4.5 % voor Ni, 5.2 % voor Pb en 11.3 % voor Zn.

#### 2.2.4. Evaluatie van de bodemverontreiniging

In 1995 werd het Decreet betreffende de bodemsanering goedgekeurd (VLAREBO, 1996). Er werden voor een groot aantal organische en anorganische stoffen achtergrondwaarden (AW) en bodemsaneringsnormen (BSN) vastgelegd (Tabel 2.1.). De AW en BSN hebben een wetenschappelijk onderbouwde achtergrond (Cornelis & Geuzens, 1995). Er werd hierbij rekening gehouden met de bodemeigenschappen (kleifractie en organische stof (OS)-gehalte) en met de bestemming van het terrein (bestemmingstype). De achtergrondwaarden voor de Vlaamse bodems worden gedefinieerd als de concentratie die normaal aangetroffen wordt in de bodem bij afwezigheid van een specifieke verontreinigingsbron, en zijn ook afhankelijk van het klei- en OS-gehalte (Tack *et al.*, 1997). Er werd een standaardbodem gedefinieerd, gebaseerd op de eigenschappen van een groot aantal landbodems. Deze standaardbodem heeft een OS-gehalte van 2% en een kleigehalte van 10%. De AW en BSN voor de standaardbodem wordt omgerekend naar de eigenschappen van de onderzochte bodem.

Het evalueren a.d.h.v. de verschillende BSN heeft als voordeel dat er een classificatie van de gemeten gehalten kan opgemaakt worden die per element rekening houdt met een beperkt aantal bodemeigenschappen, waardoor de metingen niet arbitrair in klassen ingedeeld worden. Voor elke bestemming volgens de vigerende plannen van aanleg werden normen opgesteld. Deze bestemmingen werden gegroepeerd in 5 bestemmingstypes. Bij de berekeningen en de beoordeling van de gegevens van de baggergronden werd echter rekening gehouden met de huidige bestemming van deze terreinen, en niet met de geplande bestemming. Een bodemstaal wordt als verontreinigd beschouwd wanneer het gehalte voor 1 van de 6 zware metalen het verontreinigingscriterium voor bestemmingstype 1&2 (VC1&2) overschrijdt. Deze waarde wordt berekend als  $0.8 \times$  bodemsaneringsnorm voor type 1 & 2 (BSN1&2).

In het milieu- en natuurrapport 1996 (VMM, 1996) en 1998 (VMM, 1998) werd het storten van baggerspecie als diffuse bodemverontreiniging bekeken. Er werden 3 klassen voorgesteld voor de evaluatie van deze vorm van bodemverontreiniging: < AW, tussen AW en VC en > VC. Het VC werd gedefinieerd als  $0.5 \times (VC + BSN1\&2)$ . Het gebruik van deze klassen leidt tot een strengere beoordeling dan hier het geval is. Het gebruik van een te streng criterium zou leiden tot een zeer complexe probleemstelling. Aangezien de perimeter van een baggergrond redelijk nauwkeurig te bepalen is, is het minder aangewezen te spreken van diffuse verontreiniging. Na zekere tijd wordt een baggergrond als bodem gebruikt, en het is dan aangewezen de normen van VLAREBO te hanteren (Dries, 1999).

**Tabel 2.1.** Het verontreinigingscriterium en de saneringsnormen van VLAREBO (1996) voor 2 extreme bodemtypes (kleigehalte: 2 en 50%, en gehalte organisch materiaal: 1 en 20%) in functie van het landgebruik.

|                                          | Cd         | Cr         | Zn          | Pb          | Cu         | Ni         |
|------------------------------------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Achtergronds-<br>waarde                  | 0.5 - 2.9  | 32 - 61    | 50 - 148    | 35 - 93     | 14 - 29    | 7 - 22     |
| Verontreinigings-<br>criterium voor      | 1 - 5.8    | 89 - 171   | 385 - 1145  | 140 - 370   | 134 - 273  | 61 - 198   |
| natuur en landbouw<br>saneringsnorm voor | 1.2 - 7.2  | 111 - 214  | 481 - 1432  | 175 - 463   | 168 - 341  | 77 - 247   |
| natuur en landbouw<br>saneringsnorm voor | 3.6 - 21.8 | 256 - 495  | 802 - 2386  | 614 - 1621  | 336 - 682  | 361 - 1162 |
| woongebieden<br>saneringsnorm voor       | 9 - 54.4   | 427 - 824  | 802 - 2386  | 1315 - 3473 | 420 - 853  | 423 - 1360 |
| recreatiegebieden<br>saneringsnorm voor  | 18 - 108.8 | 683 - 1319 | 2405 - 7159 | 2192 - 5788 | 673 - 1365 | 538 - 1731 |
| industriegebieden                        |            |            |             |             |            |            |

## 2.2.5. Identificatie van baggergronden

In totaal werden er 250 bodemstalen verzameld op 138 monsternamepunten. Voor het overgrote deel van de baggergronden kon op basis van archiefgegevens niet aangetoond worden dat het om baggergronden ging. De identificatie van de baggergronden gebeurde daarom op basis van veldwaarnemingen, vergelijkende textuuranalyses en chemische analyses. Er werden criteria ontwikkeld op basis van een vergelijking van gekende baggergronden met referentiegegevens voor de alluviale vlakten van de Leie, Boven- en Zeeschelde (Hoofdstuk 1). Op basis van deze criteria werden 131 bodemstalen afkomstig van 86 bemonsterde punten herkend als bodemstalen van baggergronden. Voor de oudste bemonsterde site, de verlande meander in Appels, werd het criterium voor OC en P niet toegepast, omdat voor beide parameters een temporele trend vastgesteld werd door Zwolsman et al. (1993). Sinds 1920 werd er een sterke toename voor beide elementen vastgesteld in sediment-boorkernen van 2 zoute schorren in het Schelde-estuarium, gedeeltelijk toegewezen aan een gewijzigde sedimentsamenstelling tijdens de bestudeerde periode.

## 2.2.6. Statistische analyse

Er zijn gegevens voor 131 bodemstalen van baggergronden en 23 stalen van de aanslibbingen aan de stuwsluis van Gentbrugge ( 86 resp. 10 bemonsterde punten). De stalen zijn verdeeld over de deelgebieden als volgt (Fig. 2.2.): SSC1: 22, SSC2: 24, SSC3: 17, BERM: 20, SBM: 30, RCUS: 18 en TBG: 23 stalen. De statistische verwerking begon met een verkennende correlatie-analyse waarbij lineaire verbanden tussen bodemeigenschappen opgespoord werden. Alle variabelen werden getest op symmetrie en homoskedasticiteit vooraleer ANOVA uitgevoerd werd (Mathsoft, 1999). Op alle gehalten aan zware metalen, S, EC en het zandgehalte werd een log10-transformatie uitgevoerd,

maar voor klei, leem, P, CaCO<sub>3</sub> en OC was er geen transformatie vereist. Voor het meervoudig vergelijken van de gemiddelden tussen de verschillende deelgebieden werd de Sidak-methode met een betrouwbaarheidsinterval van 95 % gebruikt (Mathsoft, 1999). Dit is een vrij conservatieve methode die ook toelaat om groepen met een verschillend aantal elementen te vergelijken.

## 2.3. Resultaten en discussie

In totaal werden 33 baggergronden met een oppervlakte van 120 ha bemonsterd. Er zijn duidelijke verschillen tussen de fysico-chemische eigenschappen van de baggergronden (Tabel 2.2.) en de referentiegegevens van de alluviale vlakten die niet beïnvloed werden door het storten van baggerspecie (Tabel 2.3.). Baggergronden worden gekarakteriseerd door hogere zwavel- en fosforgehalten en, in overeenstemming met de hogere gehalten aan vrije carbonaten, door hogere pH-waarden. Totale gehalten aan zware metalen zijn 6 tot 10 keer hoger in baggergronden dan in de alluviale vlakte. Bovendien blijkt dat 115 ha of 96 % van de baggergronden verontreinigd is met één van de gemeten zware metalen volgens de criteria die hierboven beschreven werden (zie deel “Materiaal en methoden”). De verdeling van de gemeten gehalten aan zware metalen in de bodemonsters volgens de verschillende bodemsaneringsnormen (Fig. 2.4.) toont een duidelijke verontreiniging met Cr, Cd en Zn aan. Pb is een minder belangrijke contaminant, terwijl Cu en Ni van weinig belang zijn vanuit het standpunt van milieuverontreiniging. In 72 van de 131 bodemstalen met bodemverontreiniging overschrijden zowel de concentraties aan Cr, Cd als Zn het verontreinigingscriterium voor bos, natuur en landbouw. De totale gehalten van deze metalen waren sterk onderling gecorreleerd.

**Tabel 2.2.** Samenvattende gegevens voor de baggergronden langs de Zeeschelde (131 bodemstalen)

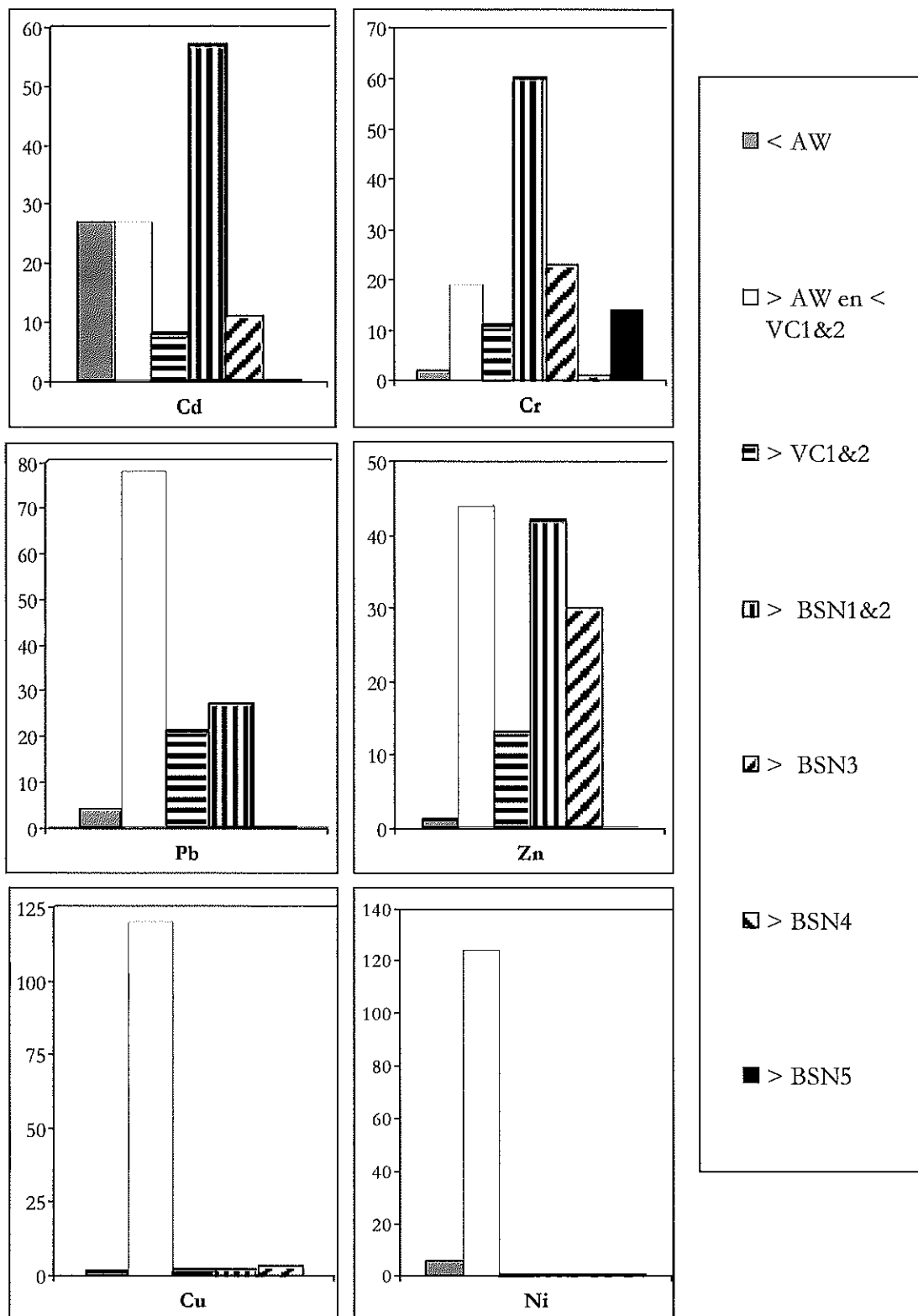
|                      | Gem. | mediaan | Stdev. | min. | 10de perc. | 90ste perc. | Max. |
|----------------------|------|---------|--------|------|------------|-------------|------|
| <b>Cd (mg/kg DM)</b> | 6.4  | 4.2     | 6.0    | 0.5  | 1.0        | 14.7        | 24.8 |
| <b>Cr (mg/kg DM)</b> | 437  | 267     | 504    | 29   | 105        | 1387        | 2405 |
| <b>Cu (mg/kg DM)</b> | 158  | 109     | 240    | 9    | 47         | 192         | 1739 |
| <b>Ni (mg/kg DM)</b> | 27   | 24      | 13     | 6    | 13         | 40          | 78   |
| <b>Pb (mg/kg DM)</b> | 210  | 173     | 136    | 11   | 78         | 404         | 681  |
| <b>Zn (mg/kg DM)</b> | 1163 | 902     | 826    | 54   | 334        | 2224        | 4380 |
| % klei               | 29   | 29      | 9      | 10   | 16         | 40          | 53   |
| % leem               | 46   | 49      | 11     | 17   | 30         | 57          | 66   |
| % zand               | 25   | 22      | 19     | 0    | 5          | 54          | 72   |
| <b>P (g/kg DM)</b>   | 1.4  | 1.1     | 1.0    | 0.2  | 0.7        | 2.3         | 4.8  |
| <b>S (g/kg DM)</b>   | 2.8  | 1.7     | 3.5    | 0.2  | 0.8        | 6.1         | 20.0 |
| <b>N (g/kg DM)</b>   | 3.2  | 3.3     | 1.4    | 0.8  | 1.6        | 5.2         | 8.0  |
| % CaCO <sub>3</sub>  | 7.0  | 7.0     | 1.7    | 1.9  | 5.1        | 9.0         | 13.0 |
| % OC                 | 3.4  | 3.4     | 1.5    | 0.6  | 1.7        | 5.4         | 7.4  |
| pH-H <sub>2</sub> O  | 7.6  | 7.6     | 0.2    | 7.0  | 7.3        | 7.9         | 8.2  |
| pH-CaCl <sub>2</sub> | 7.2  | 7.3     | 0.2    | 6.7  | 6.9        | 7.5         | 7.7  |
| EC (µS/cm)           | 569  | 328     | 524    | 124  | 187        | 1389        | 2151 |

Deze kartering toonde een sterke geografische fragmentatie van de verontreinigde baggergronden aan. De oppervlakte van de baggergronden varieerde tussen 0.3 en meer dan 30 ha en bedroeg gemiddeld 3.5 ha. Voor 80 % van de punten waar er verontreiniging aangetroffen werd, lag de verontreinigde laag aan de oppervlakte. Van de oppervlakte aan terreinen waar de verontreinigde laag aan de oppervlakte lag, was de laagdikte tussen 0 en 50 cm voor 20 %, tussen 50 en 100 cm voor 16 %, en meer dan 1 m dik voor 64 % van het gebied. Beyer & Stafford (1993) berekenden dat de bioconcentratie van Cd door regenwormen een risico vormt voor hogere trofische niveaus in de voedselketen als de concentratie aan Cd in de baggergronden hoger ligt dan 10 mg Cd/kg DM. In meer dan 30 % van de bemonsterde baggergronden langs de Zeeschelde wordt deze concentratie overschreden in de bovenste laag. Wanneer de oppervlakte aan baggergronden uitgezet wordt t.o.v. de relatieve positie

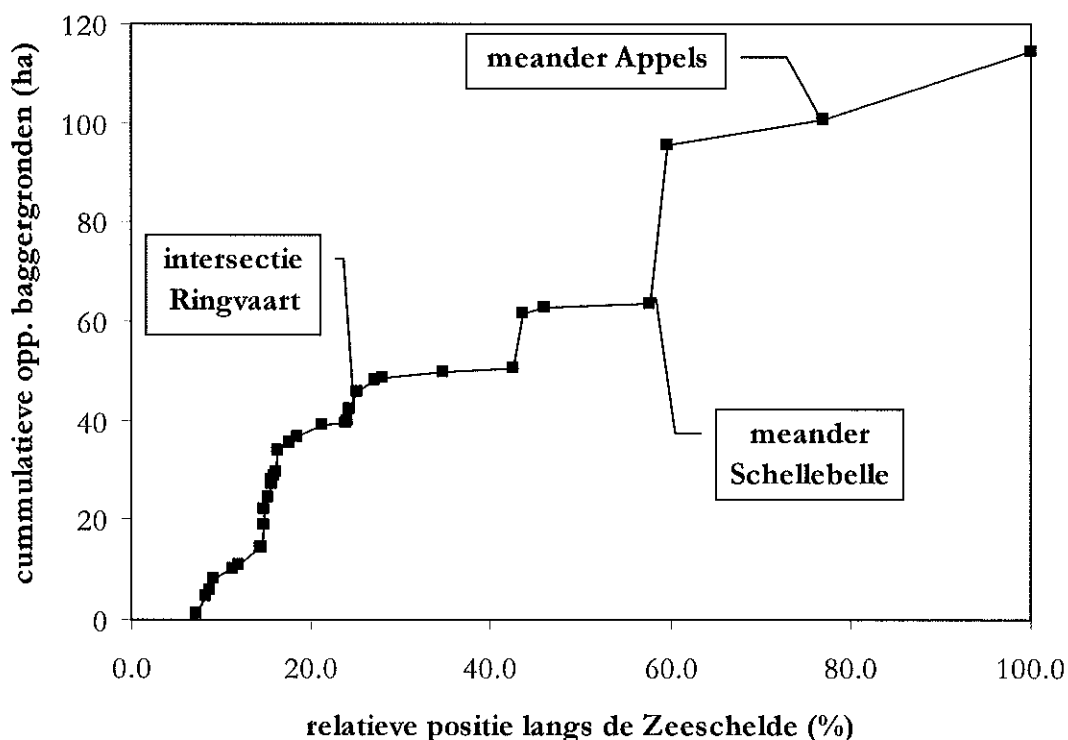
**Tabel 2.3.** Samenvattende gegevens voor de referentiebodemplaten van de A-horizont van de alluviale vlakte in het studiegebied

|                      | Gemiddelde | mediaan | Stdev. | 90ste perc. | Max. |
|----------------------|------------|---------|--------|-------------|------|
| <b>Cd (mg/kg DM)</b> | 0.7        | 0.5     | 0.3    | 1.0         | 1.5  |
| <b>Cr (mg/kg DM)</b> | 65         | 55      | 35     | 111         | 126  |
| <b>Cu (mg/kg DM)</b> | 26         | 24      | 13     | 42          | 57   |
| <b>Ni (mg/kg DM)</b> | 18         | 14      | 10     | 28          | 42   |
| <b>Pb (mg/kg DM)</b> | 62         | 57      | 27     | 89          | 121  |
| <b>Zn (mg/kg DM)</b> | 129        | 103     | 80     | 210         | 311  |
| % klei               | 18         | 16      | 9      | 28          | 42   |
| % leem               | 32         | 27      | 13     | 48          | 53   |
| % zand               | 50         | 56      | 21     | 74          | 78   |
| <b>P (g/kg DM)</b>   | 0.8        | 0.8     | 0.2    | 1.1         | 1.2  |
| <b>S (g/kg DM)</b>   | 0.5        | 0.5     | 0.3    | 0.9         | 1.3  |
| <b>N (g/kg DM)</b>   | 3.0        | 2.7     | 1.5    | 4.7         | 5.8  |
| % CaCO <sub>3</sub>  | 1.0        | 0.8     | 0.8    | 2.0         | 3.2  |
| % OC                 | 2.6        | 2.4     | 1.3    | 4.2         | 5.2  |
| pH-H <sub>2</sub> O  | 6.4        | 6.6     | 0.6    | 7.0         | 7.6  |
| pH-CaCl <sub>2</sub> | 5.7        | 5.9     | 0.6    | 6.3         | 6.9  |
| EC (µS/cm)           | 135        | 121     | 75     | 214         | 347  |

stroomafwaarts langs de Zeeschelde (Fig. 2.5.), dan blijkt dat de helft van de oppervlakte gesitueerd is binnen de meest stroomopwaartse helft van het studiegebied. In dit deel zijn de baggergronden klein in oppervlakte maar groot in aantal, zeker in vergelijking met de 2 verlande meanders in de stroomafwaartse helft van het gebied. Slechts 13 ha baggergronden (11 %) werden gevonden op basis van archiefgegevens. Zowel uit de bodemkaart als uit de archieven konden er geen concrete gegevens verzameld worden over baggergronden in het deel stroomafwaarts van Berlare. Baggerwerken waren hier minder noodzakelijk door de plaatselijke hydrologie en de aanwezigheid van slikken en schorren die sedimenten kunnen vastleggen.



**Figuur 2.4.** Classificatie van de gehalten aan zware metalen in de bodemstalen van de baggergronden volgens de bodemsaneringsnormen van VLAREBO (1996). Het aantal stalen in elke klasse wordt op de Y-as uitgezet.



**Figuur 2.5.** Cumulatieve distributie van de oppervlakte aan baggergronden in functie van de relative positie langs de Zeeschelde in het studiegebied.

De verschillen in concentraties aan zware metalen (Tabel 2.5.) en andere bodemeigenschappen (Tabel 2.6.) tussen de deelgebieden langs de rivier waren zeer significant, behalve voor het leemgehalte. De volgorde van de deelgebieden wordt in tabel 2.4. gegeven, de significante verschillen worden getoond in tabel 2.5 en 2.6. De algemene trend voor alle zware metalen behalve Pb, en voor klei, fosfor, zwavel en organische C is dat de hoogste gehalten gevonden worden in de stalen van TBG en RCUS. De laagste gehalten worden gemeten voor SBM en BERM, terwijl SSC1, SSC2 en SSC3 gekenmerkt worden door tussenliggende waarden. Zowel voor TBG als voor RCUS kunnen de hoge gehalten aan zware metalen ten minste gedeeltelijk verklaard worden door de hoge klei- en OC-gehalten, die beide indicaties zijn voor de fijnste sedimentfractie. Bij beide locaties is er praktisch geen stroming meer bij laagtij, wat sedimentatie bevordert.

Vandecasteele et al. (2000b) vond de hoogste gehalten aan zware metalen in het meest stroomafwaartse deel van de Bovenschelde. De chemische en fysische eigenschappen van de baggergronden langs dat deel van de Bovenschelde zijn vergelijkbaar met deze voor SSC1, SSC2 en SSC3, maar zwavel- en kleigehalten zijn lager dan bij RCUS.

De leemgehalten zijn gelijkaardig voor de verschillende deelgebieden, maar kleigehalten nemen toe in stroomopwaartse richting, terwijl de zandgehalten afnemen. Deze textuurgradiënt kan gerelateerd worden met de getijdenwerking, waarbij fijnere deeltjes langer door het water mee getransporteerd worden dan grovere deeltjes.



**Tabel 2.4.** Volgorde voor de deelgebieden voor verschillende factoren en variabelen

| variabele of factor | volgorde                                     |
|---------------------|----------------------------------------------|
| periode van aanleg  | TBG > RCUS > SSC1 = SSC2 = SSC3 > SBM > BERM |
| ligging t.o.v. Gent | RCUS > TBG > SSC1 > SSC2 > SSC3 > SBM > BERM |
| Cd, Zn              | RCUS > SSC1 > TBG > SSC2 > SSC3 > SBM > BERM |
| Cr                  | RCUS > TBG > SSC1 > SSC3 = SSC2 = SBM > BERM |
| Cu                  | TBG > RCUS > SSC1 = SSC3 = SSC2 = SBM > BERM |
| Ni                  | RCUS > TBG > SSC1 > SSC3 > SSC2 > SBM > BERM |
| Pb                  | SSC1 > RCUS > SSC2 > SSC3 > TBG > SBM > BERM |
| kleigehalte         | TBG > RCUS > SSC1 > SSC2 = SSC3 > SBM = BERM |
| OC                  | TBG > RCUS > SSC1 > SSC2 = SSC3 > SBM = BERM |

**Tabel 2.5.** Gemiddelde concentraties aan zware metalen (mg/kg droge bodem) voor de baggergronden in de verschillende deelgebieden (zie figuur 2.2). Gemiddelden die niet significant verschillend zijn worden aangeduid met dezelfde letter (Sidak meervoudige vergelijking van gemiddelden met een betrouwbaarheidsniveau van 95%)

|           | BERM  | SBM   | SSC3   | SSC2   | SSC1   | TBG    | RCUS   |
|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Cd</b> | 1,2 a | 1,7 a | 5,9 b  | 6,4 b  | 10,4 c | 8,8 c  | 16,1 c |
| <b>Cr</b> | 109 a | 226 b | 302 bc | 292 bc | 393 c  | 687 d  | 1510 e |
| <b>Cu</b> | 54 a  | 98 b  | 91 ab  | 123 bc | 154 c  | 394 d  | 476 d  |
| <b>Ni</b> | 15 a  | 21 b  | 27 bc  | 23 b   | 31 c   | 46 d   | 47 d   |
| <b>Pb</b> | 87 a  | 127 a | 204 bc | 238 bc | 332 c  | 189 b  | 297 bc |
| <b>Zn</b> | 465 a | 562 a | 1184 b | 1264 b | 1390 b | 1310 b | 2499 c |

**Tabel 2.6.** Gemiddelde waarden voor chemische en fysische bodemeigenschappen voor de baggergronden in de verschillende deelgebieden (zie figuur 2.2). Gemiddelden die niet significant verschillend zijn worden aangeduid met dezelfde letter (Sidak meervoudige vergelijking van gemiddelden met een betrouwbaarheidsniveau van 95%)

|                             | BERM  | SBM    | SSC3   | SSC2   | SSC1  | TBG    | RCUS   |
|-----------------------------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| <b>klei (%)</b>             | 23 a  | 25 ab  | 27 ab  | 29 abc | 31 bc | 50 d   | 37 c   |
| <b>leem (%)</b>             | 42 a  | 50 a   | 41 a   | 49 a   | 48 a  | 47 a   | 46 a   |
| <b>zand (%)</b>             | 35 c  | 25 bc  | 32 bc  | 22 bc  | 21 bc | 3 a    | 17 b   |
| <b>S (g/kg DM)</b>          | 0.7 a | 1.5 b  | 3.3 cd | 2.7 bc | 2.6 c | 9 e    | 7.4 d  |
| <b>P (g/kg DM)</b>          | 0.8 a | 1.3 a  | 2.5 b  | 2.8 b  | 3.4 b | 6.5 c  | 6.4 c  |
| <b>OC (%)</b>               | 1.9 a | 2.9 ab | 3.9 bc | 3.6 bc | 3.9 c | 6.3 d  | 4.1 c  |
| <b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b> | 7.0 a | 7.0 a  | 7.4 a  | 7.0 a  | 6.7 a | 10.3 b | 7.3 a  |
| <b>EC (μS/cm)</b>           | 423 a | 521 a  | 623 ab | 414 a  | 412 a | 1058 b | 1067 b |

Tussen de 3 deelgebieden met baggergronden aangelegd vóór 1962 (SSC1, SSC2 en SSC3) werden geen significante verschillen gevonden voor Cr en Zn. Voor Cd daarentegen waren de concentraties significant hoger voor SSC1 in vergelijking met de 2 andere deelgebieden. Ook de concentraties aan Cu, Pb en Ni zijn significant hoger voor SSC1, maar de absolute verschillen zijn relatief klein. De gemiddelde klei- en OC-gehalten zijn gelijk voor de 3 deelgebieden. De belangrijkste variabelen die RCUS onderscheiden van de oudere baggergronden (SSC1, SSC2 and SSC3) in het gebied zijn Cr en Zn.

De bemonsterde slibplaat ter hoogte van de stuw van Gentbrugge was eerder klein (2 ha) in vergelijking met de andere deelgebieden. De bemonstering werd echter bewust beperkt tot het meest stroomopwaartse deel van de Zeeschelde en weerspiegelt de kwaliteit van de fijnste sedimentfractie die zich hier gedurende de laatste 10 jaar afgezet heeft. De gegevens van TBG vertonen een lage variabiliteit voor alle bodemeigenschappen. Voor BERM en SBM, de 2 andere verlande meanders in het studiegebied, is de textuur veel grover. De invloed van de getijden op de sedimentatie wordt wellicht bepaald door de afstand tot het estuarium, maar de aanleg van de Ringvaart en de verdieping van de Westerschelde hebben de invloed en de eigenschappen van de getijden op de Zeeschelde gewijzigd.

De resultaten voor BERM en SBM wijzen op relatief ongecontamineerde omstandigheden in vergelijking met de gegevens in tabel 2.3, behalve dat in bepaalde bodemstalen van beide verlande meanders gehalten aan Cr, Zn en Cd gemeten werden die het verontreinigingscriterium voor bos, natuur en landbouw overschrijden. Dit gegeven doet ons besluiten dat de verontreiniging van het sediment met zware metalen reeds een feit was voor WOII, maar de verontreiniging steeg echter drastisch na WOII. Plannen voor natuurherstel in het gebied zijn gebaseerd op de ontwikkeling van 'wetlands' en het verhogen van de oppervlakte onder invloed van de getijdenwerking (Van den bergh et al., 1999). De meeste criteria voor sedimentkwaliteit zijn zeer streng en dus van weinig praktisch nut in het studiegebied. Zelfs als de waarden gemeten voor BERM als criterium gebruikt worden om de wenselijkheid van slikken- en schorrenontwikkeling te beoordelen, dan voldoet de huidige sedimentkwaliteit niet.

BERM, de oudste verlande meander vertoont significant lagere OC-gehalten dan de andere deelgebieden (met uitzondering van SBM). Er zijn geen historische gegevens beschikbaar over OC-gehalten in de sedimenten van de Schelde, maar in vergelijking met de diepere bodemlagen vertoonden de bovenste overstromingssedimenten in het noorden van België verhoogde concentraties aan OC, die gerelateerd werden met landbouwactiviteiten en een verhoogde eutrofie in het stroomgebied van de rivieren (Swennen et al., 1997). Wollast (1988) berekende dat in 1978 2/3 van de fluviatiele zwevende stof in de Schelde afkomstig was van menselijke activiteiten. Het zwevende stof bevatte 40 to 60 % organische stof, terwijl het huidige organische stofgehalte ongeveer 10-15 % bedraagt (Wollast, 1988). Zelfs in het Schelde-estuarium is het OC-gehalte in het fluviatiele materiaal duidelijk hoger dan in het mariene materiaal (Verlaan et al., 1998). Antropogene activiteiten leidden dus tot hogere gehalten aan OC in de zwevende stof en het sediment van de Schelde.

De gevonden trends in de gehalten aan zware metalen gemeten op de baggergronden langs de Zeeschelde worden veroorzaakt door een combinatie van tijd en plaats van de baggergronden (Tabel 2.4.) aangezien de deelgebieden dezelfde volgorde vertonen voor beide factoren. Resultaten van Zwolsman et al. (1993) tonen een sterke

toename aan van de concentraties aan zware metalen tussen 1920 en 1960 in sedimentboorkernen van zoute schorren in het Schelde-estuarium, wat wijst op een temporele trend.

De zwavelgehalten van de meest stroomopwaarts gebaggerde sedimenten zijn het hoogst, terwijl op deze locaties de getijdenwerking het kleinst is. Chambers et al. (2000) besluit echter dat zwavelgehalten (hoofdzakelijk als sulfaat) in zeewater normaal veel hoger zijn dan in zoetwater en de zoetwatersedimenten. Sedimenten zijn echter een preferentiële sink voor zwavel. De C/S-verhouding van niet-verontreinigde sedimenten bedroeg 70-130 terwijl in verontreinigde sedimenten verhoudingen van 1.5-4 gemeten werden. De lage sediment C/S verhoudingen suggereren dat de overmaat aan zwavel in sedimenten oorspronkelijk afgezet werd als anorganische zwavel i.p.v. als organisch gebonden zwavel (Nriagu & Soon, 1985).

De meeste baggergronden langs de Bovenschelde situeerden zich in het meest stroomafwaartse deel nabij Gent (Vandecasteele et al., 2000b). Een grote concentratie aan baggergronden werd ook aangetroffen langs het deel van de Zeeschelde stroomopwaarts van de Ringvaart, aan de andere kant van Gent (Fig. 2.5.). Voor beide gebieden vormen Cr, Cd en Zn de belangrijkste polluenten. De situatie langs de Zeeschelde kan als volgt vergeleken worden met de Bovenschelde (Vandecasteele et al., 2000b): ten opzichte van het totaal aantal baggergronden in elk gebied zijn er relatief meer verontreinigde baggergronden (96 versus 82 %), maar de algemene verontreinigingsgraad is lager. Bij een groter deel van de baggergronden (64 versus 35%) is de verontreinigde sedimentlaag dikker dan 1 m, en voor een vergelijkbaar aandeel ligt de verontreinigde sedimentlaag aan de oppervlakte.

Deze inventarisatie van de baggergronden geeft belangrijke informatie over de verontreiniging van het terrestrische deel van het riviersysteem van de Zeeschelde die onrechtstreeks veroorzaakt wordt door de water- en waterbodemverontreiniging. De aanleg van de baggergronden veroorzaakte een verontreiniging met een meer permanent karakter dan de eigenlijke sedimentverontreiniging (Vandecasteele et al., 2000b), vooral voor de rivieren onder getijdenwerking. Petersen et al. (1997) stelden vast dat oxidatie na resuspensie van gereduceerde sedimenten een verhoogde microbiële activiteit veroorzaakte, waardoor Cd, Zn en Cu vrijgesteld werden uit het sediment. De desorptie van Cd verliep trager dan bij Zn en Cu. Resuspensie kan veroorzaakt worden door natuurlijke verschijnselen (getijden, sterke golven) en menselijke activiteiten (scheepvaart, baggerwerken). De microbiële activiteit wordt gestimuleerd door hoge gehalten aan OC in het sediment. Bordas & Bourg (2001) vonden verhoogde gehalten aan opgeloste zware metalen bij lagere sediment/water verhoudingen, bijv. wanneer resuspensie plaatsvindt.

## 2.4. Conclusies

Gebaggerde en landgeborgten sedimenten van de Boven- en Zeeschelde waren reeds vóór 1962 verontreinigd met zware metalen. Er werd een duidelijke trend in de verontreiniging met zware metalen vastgesteld, met de laagste verontreiniging voor de deelgebieden die verlandden vóór WOII en die zich in het meest stroomafwaartse deel van het studiegebied bevinden. De concentraties aan zware metalen zijn het hoogst in de meest recente baggergronden, waar sedimenten van de Boven- en Zeeschelde en de Ringvaart gestort werden, en dit vooral voor Cr en Zn. Er kon echter geen onderscheid gemaakt worden tussen de ruimtelijke en de temporele trend. Het landbergen van sedimenten

verontreinigd met zware metalen veroorzaakte een belangrijke verontreiniging van het terrestrische deel van het alluviale systeem. Het ecologische herstel van deze baggergronden zal een proces zijn van lange adem. De aanwezigheid van de verontreinigde baggergronden in de alluviale vlakte is een direct gevolg van de verontreiniging van de rivieren en de onderwaterbodems. Er wordt echter relatief weinig belang gehecht aan dit probleem. Het blijft een prioriteit om de lozingen van zware metalen en andere polluenten in de rivieren te verminderen. Baggerwerken en natuurlijke sorptie/desorptie-, suspensie- en flocculatieprocessen kunnen leiden tot een gestage verbetering van de sedimentkwaliteit, maar de verontreiniging van de baggergronden daarentegen heeft een meer permanent karakter.

## Hoofdstuk 3. Het terrein 'Kalverbos' in Heusden

### 3.1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van de bodem- en bladanalyses voor de baggergrond 'Kalverbos', gelegen langs de Zeeschelde. De bodems rond de Zeeschelde worden op de bodemassociatiekaart (Maréchal & Tavernier, 1970) beschreven als natte, alluviale gronden zonder profielontwikkeling. Volgens de 'verklarende tekst bij het kaartblad 55<sup>E</sup> (Melle) gaat het om holocene afzettingen van rivieralluvium boven oppervlakteveen, dat grotendeels ontgonnen werd. De textuur van het alluviaal materiaal varieert van zware klei tot zandleem (IWONL, 1963). Het alluviaal materiaal rust meestal op een zandige ondergrond. De potenties voor natuurherstel in het alluviale gebied van de Zeeschelde worden beschreven door Van den Bergh et al. (1999). In dit gebied zijn de Gentbrugse meersen en de Damvallei twee delen met grote mogelijkheden voor natuurontwikkeling. Vooral wetlandontwikkeling biedt perspectieven. In de 'Inventaris Baggerstortterreinen' opgemaakt door AWZ (1992) wordt bebossing voorgesteld als eindbestemming voor dit terrein. Tot 1999 werd het terrein gebruikt voor de teelt van maïs en Italiaans raaigras. Dit landbouwkundig gebruik ging waarschijnlijk gepaard met bemesting. Het technisch beheer van het terrein werd in 2000 overgedragen aan AMINAL afdeling Natuur. Er werd een begrazingsbeheer ingesteld.

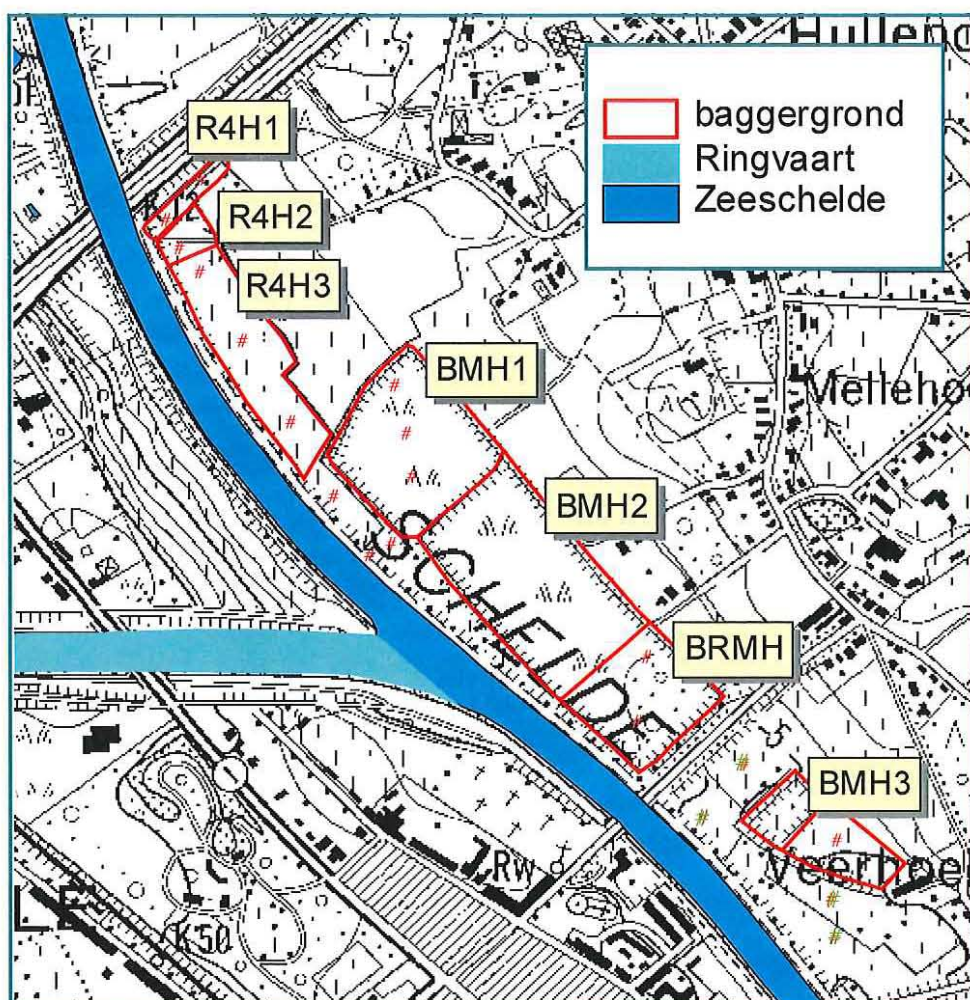
In het kader van de inventarisatie van de baggergronden langs de Zeeschelde werd ook dit terrein bemonsterd. De resultaten voor de stalen van deze baggergrond zullen vergeleken worden met resultaten van de stalen van de andere baggergronden en van de alluviale vlakte tussen de stuw van Gentbrugge en de oude Schelde-arm in Appels. Er werden op het terrein eveneens monsters van Italiaans raaigras verzameld en geanalyseerd.

### 3.2. Materiaal en methoden

#### 3.2.1. Studiegebied

Het voormalige baggerslibstort 'Het Kalverbos' bevindt zich aan de splitsing Ringvaart-Zeeschelde in Heusden, op de linkeroever net stroomopwaarts van de Mellebrug en stroomafwaarts van de R4-brug (kaart 3.1). Het terrein bestaat uit 3 delen, nl. de centrale zandwininput, en aan beide zijden een slibstort. De beide slibstorten worden aangeduid met de codes BMH1 en BRMH en hebben een resp. oppervlakte van 3.5 en 2.3 ha. De zandwininput (code: BMH2) heeft een oppervlakte van 4.8 ha. Op oude militaire stafkaart (opgemaakt in 1910) staan ter hoogte van BMH1 een aantal steenbakkerijen aangegeven (Briq<sup>ie</sup>, zie kaart 3.2). Deze plaats wordt op de bodemkaart (55<sup>E</sup> - Melle, opgemaakt in 1961-1962) aangegeven als opgehoogd terrein (ON). Dit wijst er op dat de oude kleiput vóór 1960 terug opgevuld werd. Het overgrote deel van de opgehoogde terreinen langs de Schelde stroomopwaarts van Wetteren bleken effectief baggergronden te zijn (Vandecasteele et al., 2000b). Bij de staalnames werd dit oud stortterrein, dat later bijkomend opgehoogd werd, eveneens bemonsterd. Ten NW van het terrein bevindt zich een ander opgehoogd terrein volgens de bodemkaart. Dit terrein werd eveneens bemonsterd (kaart 3.1.).



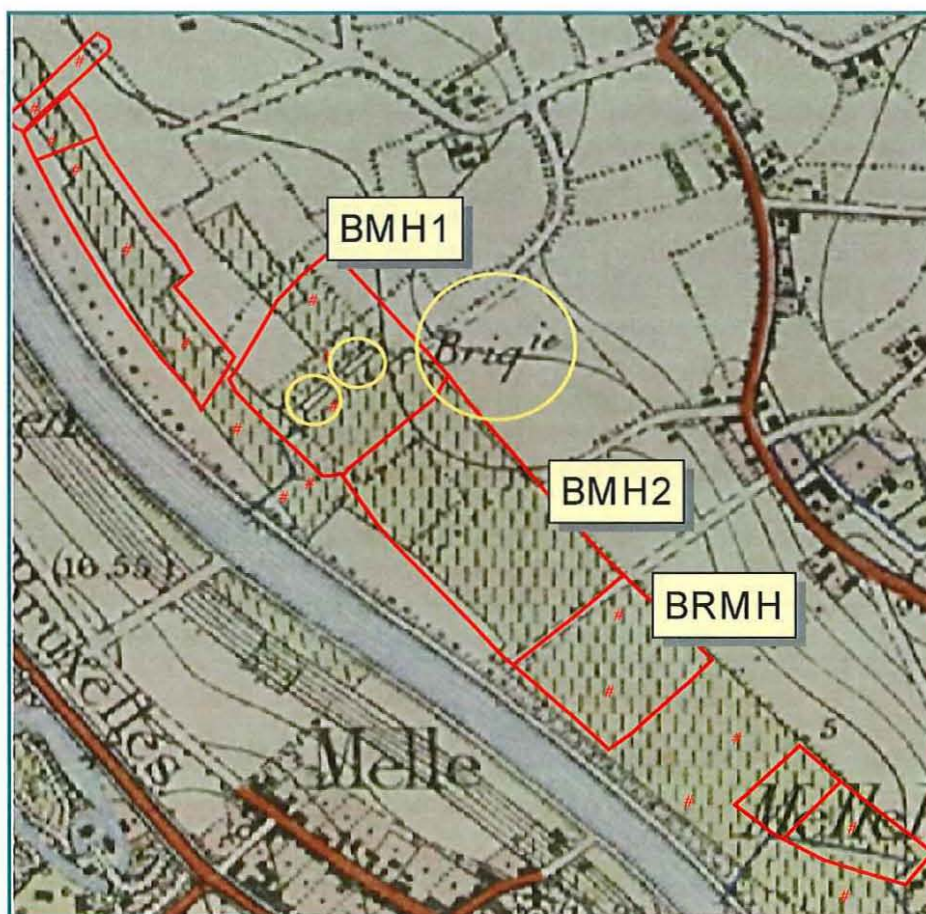


**Kaart 3.1.** Situering van de baggergronden en de bemonsterde punten ter hoogte van het Kalverbos

Op de 1<sup>e</sup> editie van de topokaart (1966-67) zijn er geen reliëfveranderingen merkbaar. Het terrein 'Kalverbos' staat wel gekarteerd als stortterrein op de 2<sup>e</sup> editie van de topografische kaart van 1978-1979, maar de zandwinning wordt nog niet aangegeven. Uit de vegetatieaanduiding op de kaart blijkt dat BMH1 en BMH2 waarschijnlijk met zandige specie opgespoten werden, terwijl er op het meest oostelijke deel verbossing optreedt, wat kan wijzen op een duidelijke kleiige textuur. De zandwinning in het centrale deel (BMH2) is nog niet te zien op de kleurenorthofoto's die tussen 1988 en 1990 opgenomen werden, maar is duidelijk af te leiden uit de zwart-wit orthofoto's van 1995.

In de archieven van de afdeling Bovenschelde werden 4 dossiers van baggerwerken in de Ringvaart (Zuidervak) teruggevonden, waarbij het Kalverbos als stortterrein vermeld wordt (Tabel 3.1.). Bij het eerste dossier werd er enkel gebaggerd aan de aansluiting van de Ringvaart op de Zeeschelde, maar bij de andere dossiers werd er ook gebaggerd aan het sluizencomplex in Merelbeke en in de Ringvaart tussen Merelbeke en Melle. Bij het derde dossier wordt een deel van de specie gestort op het terrein Melleham, aangezien het om vrij zandig materiaal gaat. Ook bij de andere baggerwerken werd er blijkbaar vooral zandig materiaal gebaggerd: dit verklaart de aanwezigheid van de zandwinput. Er kon niet achterhaald worden hoeveel materiaal terug afgegraven werd.





**Kaart 3.2.** Oude militaire stafkaart (1910) met aanduiding van steenbakkerijen en klei-ontginningen

### 3.2.2. Bemonsteringen

De methodiek van de bemonsteringen, de analysemethodes en de evaluatie van de bodemverontreiniging volgens VLAREBO werden reeds in Hoofdstuk 2 in detail besproken. De verzamelde gegevens situeren zich op het niveau van terreinen, punten, stalen en analyseresultaten. Om deze gegevens met elkaar te koppelen, wordt er een speciale codering gebruikt. Elk bemonsterd punt krijgt een unieke code van 12 karakters. De eerste 6 karakters geven de datum van de eerste monsternamen aan (DDMMJJ, D: dag, M: maand, J: jaar), de volgende 4 karakters vormen de terreincode, en de laatste 2 cijfers zijn het volgnummer van het punt per terrein. De terreincode is gebaseerd op een toponiem van de topografische kaart en bevat ook een verwijzing naar de deelgemeente. Elke bemonsterde laag krijgt een code gebaseerd op de puntcode, aangevuld met 4 karakters die het soort staal aangeven. Aërobe bodemlagen die het gevolg zijn van een ophoging werden met de code OXY\* aangeduid, gereduceerde lagen met RED\*. Als er onder de ophoging een oorspronkelijke laag aangetroffen werd, kregen deze de code MOE\*. Vermoedelijke afdeklagen kregen de code AFD\*, afwijkende lagen in het profiel werden met AFW\* aangeduid. Het symbool \* geeft het volgnummer van de laag aan.

Beide delen (BMH1 en BRMH) werden in 1999 op 3 resp. 2 punten bemonsterd tot op 2 m diepte. Er werden 20 lagen aangetroffen, en er werden 16 lagen bemonsterd. In mei 2000 werd op 3 van de 5 punten een staal genomen van het ingezaaide Italiaans raaigras. Op het deel BRMH werden zeer veel stukken geotextiel aangetroffen, zowel aan de oppervlakte als

op ongeveer 30 cm diepte. Blijkbaar werd bij de laatste opspuiting gebruikt gemaakt van dit materiaal, maar werd de laag helemaal vernield bij het ploegen van het terrein. Opvallend was ook de fysische verontreiniging van de bovenste laag: er werden o.a. scheermesjes en glasscherven gevonden. Voor het deel BMH1 is de situatie zeer variabel: de dikte van de ophoging varieert tussen 40 en 180 cm. Op het punt BMH103 werd er tot op grotere diepte opgespoten materiaal aangetroffen, terwijl dit niet het geval was op de andere punten van BMH1. De oude kleiput (aangeduid op de kaart van 1910) werd dus opgevuld met baggerslib en staat als opgehoogd terrein aangegeven op de bodemkaart.

De resultaten van 4 baggergronden in de nabijheid van het Kalverbos worden hier eveneens besproken. Bij de baggergronden R4H1, R4H2 en R4H3 had de ophoging een dikte tussen 90 en 140 cm. Bij BMH3 werd een sliblaag van ongeveer 60 cm aangetroffen.

**Tabel 3.1.** Baggerwerken waarbij het Kalverbos als stortterrein gebruikt werd (VH: vermoedelijke hoeveelheid)

| Dossier  | periode uitvoering | hoeveelheid (m <sup>3</sup> ) | stortterrein |
|----------|--------------------|-------------------------------|--------------|
| B/2929   | 1969-1970          | 13477                         | BMH2 + BRMH  |
| B/4316   | 1972               | 155845                        | BMH2 + BRMH  |
| B3/74A91 | 1974               | 175000 (VH)                   | BMH2 + BRMH  |
| B/4720   | 1978-1979          | 90000 (VH)                    | BMH1         |

### 3.3. Resultaten

#### 3.3.1. Bodemverontreiniging

De analyseresultaten en de beoordeling volgens VLAREBO voor het Kalverbos worden per staal en per bemonsterd punt gegeven in tabel 3.2. De verwijzing naar de datum in de puntcode werd weggelaten. Aangezien in geen enkel staal verontreiniging met Cu, Ni of Pb gemeten werd, worden deze elementen niet getoond in de tabel. In een aantal bodemstalen werd er bodemverontreiniging met (volgens afnemende belangrijkheid) Cd, Zn en Cr gemeten. Op de 3 punten van BMH1 wordt bovenaan een zwaar verontreinigde zwarte sliblaag aangetroffen. Deze laag is ongeveer 30 à 40 cm dik. Op de punten BMH102 en BMH103 werd er onder een vergelijkbare laag een minder verontreinigde laag aangetroffen met textuur lemig zand (Symbool S).

Bij het deel BRMH werd bovenaan een verontreinigde kleilaag aangetroffen met een dikte variërend tussen 30 en 70 cm. Hieronder bevond zich een niet-verontreinigde laag, bestaande uit infrastructuurspecie. Op een diepte vanaf 180 cm werd echter gereduceerd slib met een zandlemige textuur aangetroffen dat eveneens verontreinigd was, maar minder dan de toplaag. Samenvattend kan er gesteld worden dat de hoogste verontreiniging telkens in de bovenste laag gemeten werd bij de 5 bemonsterde punten. Nergens wordt er echter verontreiniging met Pb, Ni en Cu gemeten. De VLAREBO-normen voor Cd, Cr en Zn voor natuurgebieden worden op de 5 bemonsterde punten zeer duidelijk overschreden.

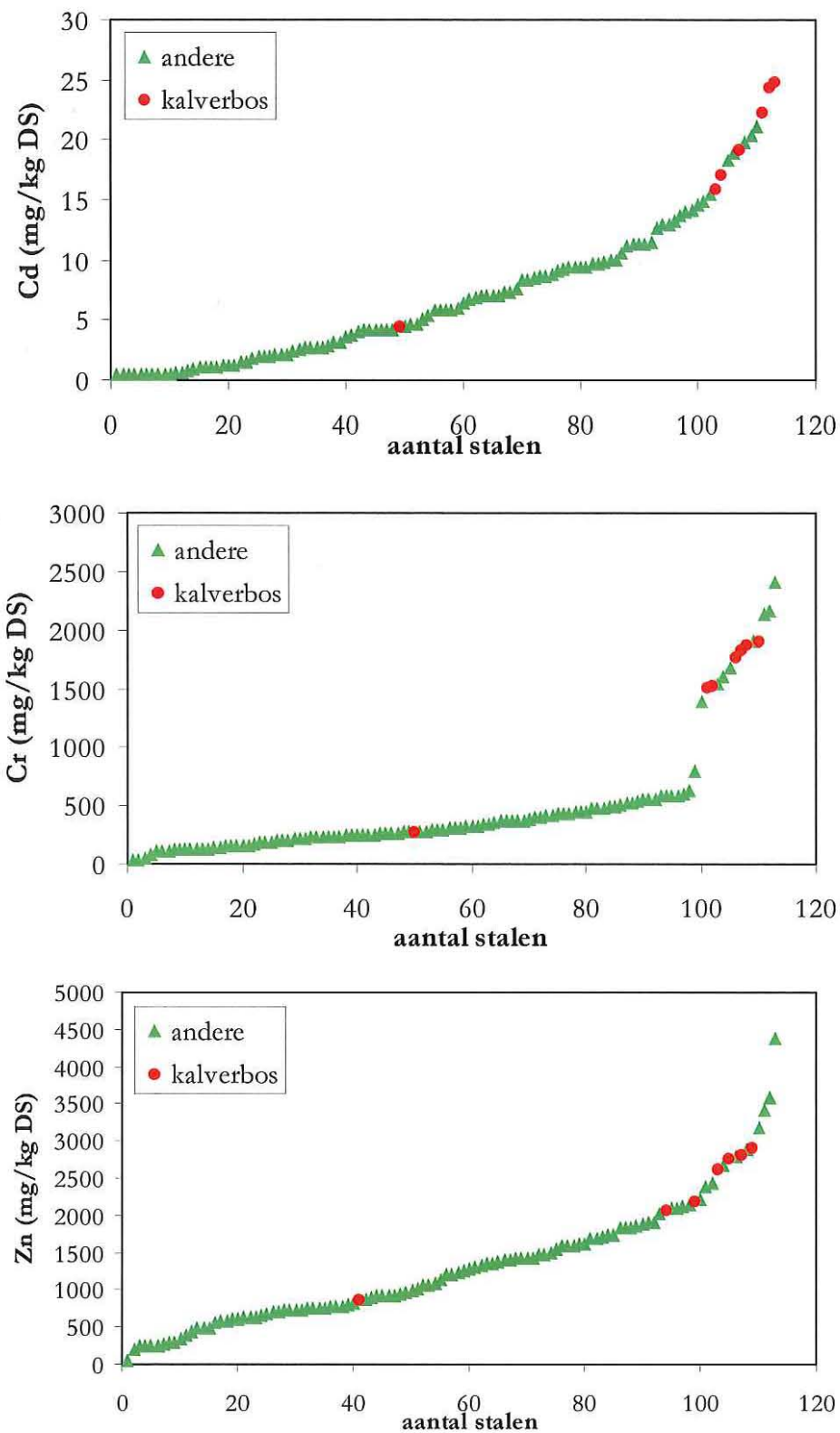


**Tabel 3.2.** Analyseresultaten voor Cd, Cr en Zn (mg/kg DS) en evaluatie volgens de VLAREBO-normen voor de stalen van het terrein ‘Kalverbos’ (U: zware klei, E: klei, A: leem, L: zandleem, P: licht zandleem, S: lemig zand, Z: zand)

| terrein | punt   | monster | dikte | Diepte | Cd    | Cr   | Zn   | textuur |
|---------|--------|---------|-------|--------|-------|------|------|---------|
| BMH1    | BMH101 | OXY1    | 40    | 0      | 24.4  | 1903 | 2820 | U       |
|         |        | MOE1    | 30    | 40     | 0.7   | 105  | 167  | L       |
| BMH1    | BMH102 | OXY1    | 30    | 0      | 22.2  | 1834 | 2625 | U       |
|         |        | OXY2    | 50    | 30     | 1.4   | 161  | 627  | S       |
|         |        | MOE1    | 10    | 80     | < 0,5 | 36   | 70   | P       |
| BMH1    | BMH103 | OXY1    | 40    | 0      | 19.2  | 1518 | 2177 | U       |
|         |        | OXY2    | 80    | 40     | 1.8   | 183  | 563  | S       |
|         |        | RED1    | 60    | 120    | 4.4   | 269  | 867  | E       |
| BRMH    | BRMH04 | OXY1    | 30    | 0      | 24.8  | 1874 | 2910 | U       |
|         |        | OXY2    | 130   | 30     | < 0,5 | 54   | 66   | S       |
|         |        | RED1    | 15    | 175    | 0.7   | 52   | 401  | Z       |
|         |        | RED2    | 10    | 190    | 2.3   | 130  | 516  | L       |
| BRMH    | BRMH05 | OXY1    | 30    | 0      | 16.0  | 1502 | 2068 | E       |
|         |        | OXY2    | 40    | 30     | 17.1  | 1771 | 2755 | U       |
|         |        | OXY3    | 110   | 70     | 0.5   | 104  | 127  | E       |
|         |        | RED1    | 20    | 180    | 2.5   | 108  | 526  | L       |

- gemeten concentratie < achtergrondswaarde
- gemeten concentratie > achtergrondswaarde
- gemeten concentratie > verontreinigingscriterium
- gemeten concentratie > norm landbouw, bos en natuur (2)
- gemeten concentratie > norm bestemming woongebied (3)
- gemeten concentratie > norm bestemming recreatiegebied (4)
- gemeten concentratie > norm bestemming industriegebied (5)

In hoofdstuk 1 werden criteria opgesteld voor de herkenning van baggergronden op basis van chemische bodemeigenschappen. Bij het toepassen van deze criteria op de dataset van de baggergronden langs de Zeeschelde werden 113 stalen weerhouden als stalen van baggergronden. Voor het Kalverbos werden de 5 stalen van de bovenste laag en het anaërobe staal van punt BMH103 (tussen 120 en 180 cm) weerhouden. De andere, niet-weerhouden lagen zijn zandig van textuur en worden gekenmerkt door een laag OC-gehalte. Het gaat in dit laatste geval dus om vrij puur materiaal, dat weinig bindingscapaciteit voor verontreiniging vertoont. In figuur 3.1 worden de gemeten gehalten van de 6 bodemstalen uitgezet t.o.v. alle stalen van de baggergronden langs de Zeeschelde die als baggergrond herkend werden. Relatief gezien t.o.v. deze gegevens van de baggergronden blijkt dat er vrij hoge concentraties aan Cd, Zn en vooral Cr gemeten worden. De andere hoge gehalten die in de grafieken zichtbaar zijn, werden gemeten in stalen afkomstig van de slibstorten ter hoogte van



**Figuur 3.1. Concentraties aan Cd, Cr en Zn in de stalen van het Kalverbos in vergelijking met de andere stalen van baggergronden langs de Zeeschelde. De bodemstalen werden op de x-as gerangschikt volgens toenemende concentraties.**



Koningsdonk in Gentbrugge (Vandecasteele et al., 1999) en van het slibstort BMH3. Voor de baggergronden ter hoogte van Koningsdonk in Gentbrugge is geweten dat een gedeelte van het slib, net als bij het Kalverbos, afkomstig is van de aansluiting van de Bovenschelde op de Ringvaart (Zwijnaarde). Dit slib wordt blijkbaar gekenmerkt door een hogere verontreiniging met Cd, Cr en Zn dan het slib uit de Zeeschelde.

**Tabel 3.3.** Analyseresultaten voor Cd, Cr, Cu, Ni, Pb en Zn (mg/kg DS) en evaluatie volgens de VLAREBO-normen voor de stalen van de baggergronden R4H1, R4H2, R4H3 en BMH3. De legende staat vermeld bij tabel 3.2

| terrein    | punt   | staal | dikte | Cd    | Cr   | Cu  | Ni  | Pb  | Zn   |
|------------|--------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|------|
| R4H1       | R4H101 | OXY1  | 70    | 1.8   | 71   | 21  | 7   | 47  | 327  |
|            |        | RED1  | 30    | 2.1   | 113  | 32  | 17  | 67  | 411  |
|            |        | RED2  | 15    | 4.0   | 122  | 40  | 14  | 97  | 760  |
|            |        | RED3  | 40    | 10.0  | 418  | 138 | 35  | 280 | 2090 |
|            |        | RED4  | 35    | < 0,5 | 33   | 7   | 6   | 31  | 76   |
| R4H1       | R4H102 | OXY1  | 100   | < 0,5 | 17   | < 5 | < 5 | < 5 | 23   |
|            |        | RED1  | 20    | < 0,5 | 45   | 8   | 14  | 38  | 93   |
| R4H2       | R4H201 | OXY1  | 40    | 1.8   | 84   | 21  | 10  | 73  | 488  |
|            |        | RED1  | 50    | 11.3  | 470  | 150 | 38  | 298 | 2429 |
| R4H3       | R4H301 | AFD1  | 70    | 3.5   | 148  | 45  | 18  | 113 | 760  |
|            |        | OXY1  | 30    | 2.6   | 111  | 28  | 10  | 83  | 595  |
|            |        | RED1  | 40    | 5.3   | 226  | 67  | 20  | 150 | 1204 |
| R4H3       | R4H302 | AFD1  | 50    | 2.4   | 101  | 31  | 13  | 86  | 586  |
|            |        | OXY1  | 20    | 8.3   | 328  | 105 | 32  | 211 | 1406 |
|            |        | RED1  | 20    | 4.5   | 220  | 73  | 26  | 145 | 827  |
| R4H3       | R4H303 | OXY1  | 80    | 2.5   | 106  | 27  | 13  | 84  | 570  |
|            |        | RED1  | 30    | 4.6   | 188  | 62  | 16  | 140 | 876  |
| BMH3       | 1      | OXY2  | 60    | 18.9  | 1593 | 212 | 40  | 386 | 2893 |
| BMH3       | 2      | OXY1  | 50    | 21.0  | 1669 | 248 | 48  | 470 | 3179 |
| REFERENTIE | MOE1   |       | 25    | < 0,5 | 54   | 20  | 14  | 51  | 91   |
| REFERENTIE | MOE1   |       | 30    | 1.0   | 89   | 33  | 22  | 73  | 199  |
| REFERENTIE | MOE1   |       | 25    | 0.6   | 95   | 28  | 28  | 52  | 154  |
| REFERENTIE | MOE1   |       | 30    | 0.8   | 109  | 44  | 35  | 84  | 206  |

De analyseresultaten van de baggergronden in de omgeving (terreinen R4H1, R4H2, R4H3 en BMH3, zie kaart 3.1) worden in tabel 3.3 gegeven. Er werden ook 4 punten als referentie voor de alluviale vlakte bemonsterd (groene punten op kaart 3.1). Bij deze punten werd geen bodemverontreiniging vastgesteld. Voor het terrein R4H3 bevindt de bodemverontreiniging zich op grotere diepte. Bij R4H2 en R4H3 werd regelmatig een matige bodemverontreiniging gemeten. Het terrein BMH3 vertoont echter een zeer zware verontreiniging, vergelijkbaar met de verontreiniging gemeten in de bovenste laag van het Kalverbos. In de stalen van BMH3 werd er echter ook verontreiniging met Cu en Pb gemeten.

### 3.3.2. Bodemeigenschappen

Er wordt een overzicht gegeven van de andere bodemeigenschappen van de bemonsterde lagen in tabel 3.4. De bovenste laag wordt gekenmerkt door hoge gehalten aan organische stof (OS > 6%), CaCO<sub>3</sub> (> 5%) en totaal stikstof (N-kjel, > 0.3%). Vooral deze laatste parameter geeft aan dat het om een zeer eutrofe bodem gaat. Er zijn geen resultaten van fosforanalyses voorhanden, maar voor gelijkaardige stalen van baggergronden werden vrij hoge fosforconcentraties in de bodem gemeten. Zowel voor N als voor P gaat het hier om totaalconcentraties, er is echter niet geweten welke fractie plantbeschikbaar is.

In het volledige studiegebied langs de Zeeschelde werden 23 stalen verzameld van de Ap-horizont van de alluviale bodem (resultaten werden vermeld in Hoofdstuk 2, tabel 2.3). Enkel de stalen waarin geen bodemverontreiniging gemeten werd, werden weerhouden. In vergelijking met de bovenste bodemlaag van het Kalverbos hebben deze stalen een lager CaCO<sub>3</sub>-gehalte (gemiddeld 1%, max. 3.2 %) en een lager zwavelgehalte (gemiddeld: 550 mg S/kg DS, max. 1300 mg S/kg DS).

**Tabel 3.4.** Bodemeigenschappen van de stalen van het terrein 'Kalverbos'. Klei, leem en zand worden uitgedrukt in %, S wordt uitgedrukt in mg/kg DS en EC wordt uitgedrukt in µS/cm.

| punt   | staal | klei | leem | zand | S    | % N  | % CaCO <sub>3</sub> | % OS | pH-H <sub>2</sub> O | pH-CaCl <sub>2</sub> | EC   |
|--------|-------|------|------|------|------|------|---------------------|------|---------------------|----------------------|------|
| BMH101 | OXY1  | 46   | 49   | 5    | 1012 | 0.41 | 6.9                 | 9.6  | 7.2                 | 6.8                  | 422  |
| BMH101 | MOE1  | 17   | 29   | 54   | 1461 | 0.17 | 0.8                 | 2.3  | 7.0                 | 6.6                  | 648  |
| BMH102 | OXY1  | 42   | 49   | 9    | 2215 | 0.43 | 6.8                 | 8.0  | 7.2                 | 6.8                  | 242  |
| BMH102 | OXY2  | 11   | 15   | 74   | 1970 | 0.08 | 9.2                 | 1.2  | 7.5                 | 7.2                  | 1121 |
| BMH102 | MOE1  | 11   | 22   | 67   | 1137 | 0.12 | 1.2                 | 2.4  | 7.2                 | 6.8                  | 415  |
| BMH103 | OXY1  | 36   | 46   | 18   | 1951 | 0.34 | 5.4                 | 6.7  | 7.3                 | 6.8                  | 204  |
| BMH103 | OXY2  | 9    | 11   | 80   | 1213 | 0.07 | 6.2                 | 0.7  | 7.5                 | 7.2                  | 720  |
| BMH103 | RED1  | 18   | 28   | 54   | 3285 | 0.22 | 7.4                 | 4.3  | 7.4                 | 7.1                  | 893  |
| BRMH04 | OXY1  | 44   | 48   | 8    | 2170 | 0.41 | 6.8                 | 8.0  | 7.0                 | 6.7                  | 340  |
| BRMH04 | OXY2  | 13   | 13   | 74   | 700  | 0.01 | 0.6                 | 0.4  | 7.4                 | 7.0                  | 741  |
| BRMH04 | RED1  | 7    | 10   | 83   | 1027 | 0.02 | 4.0                 | 0.5  | 7.5                 | 7.0                  | 461  |
| BRMH04 | RED2  | 15   | 29   | 56   | 2988 | 0.09 | 5.6                 | 1.9  | 7.4                 | 7.0                  | 694  |
| BRMH05 | OXY1  | 32   | 33   | 35   | 1588 | 0.30 | 6.8                 | 6.1  | 7.9                 | 7.3                  | 280  |
| BRMH05 | OXY2  | 40   | 46   | 14   | 1905 | 0.31 | 7.8                 | 7.4  | 7.5                 | 6.9                  | 267  |
| BRMH05 | OXY3  | 19   | 25   | 56   | 434  | 0.02 | 0.4                 | 0.5  | 7.5                 | 7.0                  | 354  |
| BRMH05 | RED1  | 14   | 34   | 52   | 2285 | 0.10 | 6.4                 | 2.3  | 7.4                 | 7.0                  | 767  |

3.3.3. Bladstalen (Italiaans raaigras)

In mei 2000 werden op 19 plaatsen langs de Boven- en Zeeschelde grasstalen genomen op baggergronden met een aanzienlijke bodemverontreiniging in de bovenste laag. De resultaten van de bladanalyses worden in tabel 3.5 en 3.6 gegeven. Op elk bemonsterd punt werd de dominante grassoort op die locatie gedetermineerd en bemonsterd. Enkel voor Pb en Cd werden er normen voor dierlijke voeding (Belgisch Staatsblad, 1987) teruggevonden. Deze normen werden in geen enkel staal overschreden (Cd –norm = 1.14 mg/kg DS, Pb-norm = 45 mg/kg DS). Voor beide metalen werd de detectielimiet slechts in 3 resp. 4 stalen overschreden. Voor de andere gemeten zware metalen kan er gesteld worden dat er eveneens geen afwijkende gehalten gemeten werden. In figuur 3.2 worden de gemeten bladgehalten aan Cd, Pb en Zn uitgezet in functie van de gemeten bodemgehalten in de bovenste laag van het profiel. Uit de figuren kan er duidelijk afgeleid worden dat er geen extra opname is van deze zware metalen in functie van de gemeten bodemgehalten. In 1982 werden 5 stalen van Italiaans raaigras verzameld op hetzelfde terrein door De Temmerman (1982). De exacte staalnamelocaties zijn niet gekend. De gemeten gehalten waren < 0.44 mg Cd/kg DS, tussen 9 en 23 mg Cu/kg DS, tussen 88 en 290 mg Zn/kg DS, en < 5 mg Pb/kg DS. Bij 1 staal van jong gezaaid Italiaans raaigras werd er echter een Cd-concentratie van 1.12 mg/kg DS gemeten. Volgens Morthier (1995) liggen normale gehalten voor grassen tussen 29-55 mg Zn/kg DS, 3.4-14 mg Cu/kg DS en 0.13-0.38 mg Cd/kg DS. Deze waarden worden in de bladstalen van de baggergronden vooral overschreden voor Zn. Voor Cd en Cu wordt het normale bereik slechts af en toe licht overschreden.

| punt   | Cd     | Cr   | Cu   | Ni   | Pb     | Zn  | soort                            |
|--------|--------|------|------|------|--------|-----|----------------------------------|
| BMH101 | < 0.35 | 14.4 | 9.3  | 10.1 | < 3.50 | 92  | Italiaans raaigras               |
| BMH102 | 0.40   | 18.6 | 12.0 | 10.4 | < 3.50 | 148 | Italiaans raaigras               |
| BRMH04 | < 0.35 | 18.5 | 6.1  | 9.2  | < 3.50 | 32  | Italiaans raaigras               |
| KDG402 | < 0.35 | 22.0 | 14.8 | 13.7 | 5.2    | 78  | gestreepte witbol                |
| KDG401 | < 0.35 | 33.6 | 13.5 | 20.2 | < 3.50 | 138 | kruipertje                       |
| GBM301 | < 0.35 | 63.0 | 11.0 | 30.5 | 5.1    | 48  | kweekdravik                      |
| GBM303 | < 0.35 | 36.6 | 16.4 | 19.1 | 3.9    | 74  | grote vossestaart                |
| KKH404 | < 0.35 | 13.9 | 16.8 | 8.8  | < 3.50 | 82  | ruw beemdgras                    |
| KKH403 | < 0.35 | 12.6 | 15.6 | 7.6  | < 3.50 | 79  | ruw beemdgras                    |
| KKH701 | < 0.35 | 29.3 | 11.6 | 13.5 | 3.8    | 57  | ruw beemdgr. + geknikte vossest. |
| KKH203 | < 0.35 | 13.3 | 14.9 | 8.6  | < 3.50 | 87  | gekn. vossest. + kropaar         |
| KLH101 | < 0.35 | 18.2 | 16.0 | 10.2 | < 3.50 | 119 | zachte haver                     |
| LWS702 | < 0.35 | 9.9  | 12.7 | 4.9  | < 3.50 | 69  | glanshaver                       |
| OSM402 | 0.51   | 14.8 | 13.5 | 9.8  | < 3.50 | 143 | ijle dravik                      |
| SEP202 | < 0.35 | 19.2 | 12.5 | 11.7 | < 3.50 | 50  | ruw of veldbeemdgras             |
| SEP203 | < 0.35 | 19.6 | 11.0 | 10.4 | < 3.50 | 65  | veldbeemdgras                    |
| SEP302 | < 0.35 | 40.6 | 15.5 | 21.3 | < 3.50 | 64  | ruw beemdgras                    |
| LWS901 | 0.58   | 17.2 | 13.2 | 9.5  | < 3.50 | 79  | ruw beemdgras                    |
| FOH201 | < 0.35 | 11.7 | 9.8  | 7.6  | < 3.50 | 53  | mannagras                        |

Tabel 3.5. Gehalten aan zware metalen (mg/kg DS blad) in bladstalen van grassen afkomstig van verontreinigde baggergronden

Morthier (1995) voerde een potexperiment onder gecontroleerde omstandigheden uit met raaigras gekweekt op bodemmateriaal van verontreinigde baggergronden. Na 32 dagen werd het plantenmateriaal het eerst geoogst. De gehalten varieerden tussen 92-165 mg Zn/kg DS, 15-22.4 mg Cu/kg DS en 0.05-0.8 mg Cd/kg DS. Jones & Johnston (1989) analyseerden grasstalen van een langlopende bemestingsproef in Rothamsted (niet-verontreinigde situatie). De gemeten gehalten voor de verschillende behandelingen varieerden tussen 0.07 en 0.50 mg Cd/kg DS.

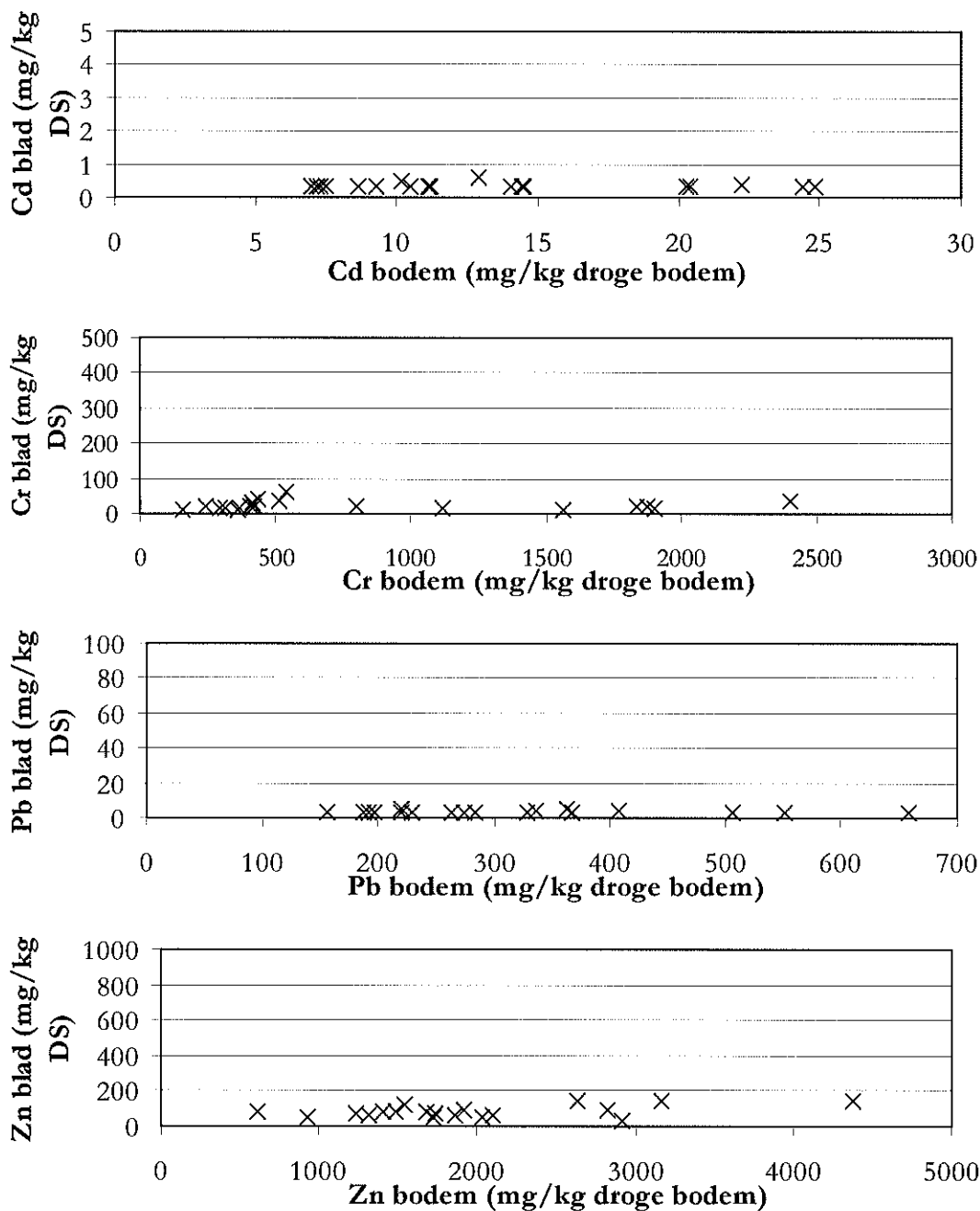
Groen et al. (2000) stelden vast dat in uiterwaarden waar er bij overstromingen verontreinigd slib afgezet werd, de bioaccumulatiefactor van Cd voor grassen slechts 0.05 bedroeg. Cd werd dus in beperkte mate opgenomen door de grassen en doorgegeven aan hogere schakels in de voedselketen. Uit de verkennende labo-resultaten en uit literatuur kan er dus besloten worden dat er geen afwijkende gehalten aan zware metalen, en meer bepaald aan Cd en Zn gemeten werden in de grasstalen van het Kalverbos.

**Tabel 3.6.** Gehalten aan zware metalen (mg/kg DS) in de bovenste bodemlaag en in de grasstalen van de bemonsterde punten

|           | bodem  |        |        | blad   |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| punt      | BRMH04 | BMH102 | BMH101 | BRMH04 | BMH102 | BMH101 |
| <b>Cd</b> | 25     | 22     | 24     | < 0.35 | 0.4    | < 0.35 |
| <b>Cr</b> | 1874   | 1834   | 1903   | 18.5   | 18.6   | 14.4   |
| <b>Cu</b> | 135    | 133    | 131    | 6.1    | 12.0   | 9.3    |
| <b>Ni</b> | 52     | 45     | 48     | 9.2    | 10.4   | 10.1   |
| <b>Pb</b> | 196    | 193    | 188    | < 3.5  | < 3.5  | < 3.5  |
| <b>Zn</b> | 2910   | 2625   | 2820   | 31.7   | 147.8  | 92.0   |

### 3.4. Discussie: natuurontwikkeling op verontreinigde baggergronden

Volgens Worm et al. (1998) moet er bij het opteren voor natuurontwikkeling op verontreinigde locaties eerst bepaald worden welk natuurbeeld nagestreefd wordt. Daarna moet er onderzocht worden of er aan de abiotische randvoorwaarden voor dit streefbeeld voldaan is. Is dit niet het geval, dan kan er ingegrepen worden door inrichtings- of beheersmaatregelen. In een volgende fase moeten de potentiële en actuele risico's van de bodemverontreiniging op de doelsoorten nagegaan worden. Blijkt er uit de voorgaande stappen dat saneringsmaatregelen getroffen moeten worden, dan dient er een inschatting gemaakt te worden welke saneringstechnieken ingezet kunnen worden, en wat de negatieve abiotische en biotische effecten kunnen zijn. Decleer (1999) stelt dat preferentieel voor spontane natuurontwikkeling geopteerd moet worden als de baggergrond niet significant verontreinigd is, en als er voldaan is aan één van de volgende voorwaarden: (1) voedselarme tot matig voedselrijke toplaag, (2) grenzend aan bestaande natuurgebieden, (3) diverse milieutypes of milieugradiënten, (4) een hoge bestaande natuurwaarde. Bij baggergronden met een significante verontreiniging kan er gekozen worden voor spontane natuurontwikkeling: (1) uitgaand van de bestaande situatie als er geen uitloging is naar grond- en oppervlaktewater, als er een geringe biobeschikbaarheid van de verontreiniging voor de meeste biota is, en als er aan één van de bovenvermelde voorwaarden voldaan is, (2) na ophoging: afdekken met een minstens 50 cm dikke, voedselarme afdeklaag, als er geen gevaar is voor uitloging naar grond- en oppervlaktewater, (3) op de vrijgekomen locatie na het afgraven van het stort en berging op een meer geschikte plaats.



**Figuur 3.2.** Gemeten gehalten aan zware metalen in bladstalen van grassen in functie van de bodemgehalten in de bovenste laag.

In de Gentbrugse meersen werden ook heel wat verontreinigde baggergronden aangetroffen die beperkt waren in dikte van de ophoging (Vandecasteele et al., 1999). Bij het voorgestelde ontwikkelingsplan (Kongs et al., 1999) werd het afgraven van een deel van de baggergronden enkel bestudeerd vanuit het oogpunt van natuurontwikkeling en van het herstel van het oorspronkelijke landschap. De beslissing om de verontreiniging al dan niet te verwijderen door het afgraven van de baggergronden wordt overgelaten aan OVAM. Nergens wordt de vraag gesteld of de bodemkwaliteit van de baggergronden de potenties voor natuurontwikkeling al dan niet vermindert.

Onderzoek rond de geochemie van zware metalen in baggergronden toont aan dat het gedrag van zware metalen sterk bepaald wordt door de veldcondities, voornamelijk de redoxpotentiaal en de pH. Tack et al. (1996) toonde aan dat de oplosbaarheid van Cd, Cu, Pb en Zn in functie van de pH sterk toenam in aërobe omstandigheden in vergelijking met de initieel anaërobe (gereduceerde) omstandigheden. De mobiliteit en beschikbaarheid van zware metalen in baggergronden in Vlaanderen werd reeds gedetailleerd bestudeerd (Singh et al., 1996; Singh et al., 1998; Tack et al., 1998; Tack et al., 1999). Sequentiële extractie toonde een lage residuele fractie in vergelijking met de totale gehalten aan zware metalen, wat wijst op een sterke antropogene input van zware metalen in het sediment en in de baggergronden. Uit DTPA-extracties bleek dat Zn, Cd en Cu sterk plantbeschikbaar zijn in baggergronden. Verhoogde gehalten aan zware metalen in het poriënwater gaven indicaties over verhoogde beschikbaarheid van zware metalen voor planten. Daarentegen werd berekend dat de uitlogging en migratie van zware metalen naar het grondwater op lange termijn geen probleem is. Beyer & Stafford (1993) berekenden dat de bioconcentratie van Cd door regenwormen op verontreinigde baggergronden met bodemconcentraties hoger dan 10 mg Cd/kg DS een risico vormt voor hogere trofische niveaus. Deze concentratie werd overschreden in de bovenste laag van alle bemonsterde punten op het terrein 'Kalverbos'. Dezelfde auteurs besloten dat de PAK-verontreiniging van de baggergronden geen probleem vormde voor bioconcentratie via regenwormen.

Uit de analyses blijkt dat het baggerslib dat voor de verontreiniging van het terrein zorgt, op een weinig efficiënte manier geborgen is. De sliblaag ligt aan de oppervlakte. Als belangrijkste ingrepen kan er voorgesteld worden om ernstig in overweging te nemen of een verder begrazingsbeheer met het oog op verschraling hier nuttig en verantwoord is, zowel naar verontreiniging als naar de eutrofe bodemeigenschappen toe. Een vrij drastische ingreep is het verwijderen van de bovenste sliblaag (dikte varieert tussen 30 en 70 cm), waardoor op het deel BMH1 de alluviale klei en op het deel BRMH een niet-verontreinigde zandlaag aan de oppervlakte komt te liggen. Deze uitgangssituatie zal veel gunstiger zijn voor natuurontwikkeling. Een andere, minder drastische ingreep is het bebossen van beide delen met Zwarte els en Gewone es, 2 soorten die zeer goed groeien op een dergelijke zware kleigrond, en die geen Cd en Zn in de bladeren opnemen op verontreinigde baggergronden. Het concept van de bebossing is gebaseerd op het gecontroleerd houden van de zware metalen in het ecosysteem. Belangrijke potentiële schakels voor het doorgeven van zware metalen zijn bodemfauna-organismen. Om de transfer van zware metalen via bodemfauna te beperken kan het aanbrengen van een niet-verontreinigde afdeklaag (minimum 40 cm dik) overwogen worden. Dit betekent echter dat een afdeklaag met een zelfde dikte als de verontreinigde sliblaag moet aangebracht worden.

### 3.5. Besluit

Er werd een verkennende studie uitgevoerd naar de opbouw en de bodemverontreiniging van het oude slibstortterrein 'Kalverbos'. De voorgeschiedenis van het terrein werd onderzocht aan de hand van kaartmateriaal en archiefgegevens. Er werden bodemstaalnames uitgevoerd om de bodemopbouw en de verontreiniging te beschrijven. Op de baggergrond 'Kalverbos' werd op verschillende tijdstippen gebaggerd materiaal van sterk verschillende oorsprong gestort. Reeds vóór 1962 werden oude kleiputten in het meest stroomopwaarts gelegen deel opgevuld met baggerslib. Tussen 1969 en 1979 werd het terrein opgespoten met materiaal uit de Ringvaart en de aansluitingen van de Ringvaart op de Boven- en Zeeschelde. Het gebaggerde materiaal bestond enerzijds uit puur zandig materiaal, en anderzijds uit verontreinigd slib met een hoog klei- en organisch materiaalgehalte. Het



centrale deel van het terrein (BMH2) werd daarna terug afgegraven voor zandwinning. De onderste lagen van BMH1 en BMHR, de 2 andere bekkens van het terrein, bestaan uit matig verontreinigd baggermateriaal met een variërende textuur. Boven deze laag werd op de meeste punten een niet-verontreinigde, meestal zandige laag aangetroffen. De aard van het materiaal kan wijzen op infrastructuurwerken. Daarboven werd op alle punten een dunne (30 - 70 cm), zwarte, sterk verontreinigde sliblaag aangetroffen die ook 'fysisch' verontreinigd is door de aanwezigheid van glasscherven, scheermesjes, ... Op alle punten werden in de bovenste bodemhorizont de wettelijke bodemnormen voor natuurgebieden overschreden. Uit de analyses van bladstalen van Italiaans raaigras werd besloten dat de beschikbaarheid van de zware metalen voor de grassen zeer laag is. Vooraleer natuurontwikkeling op dit terrein kan plaatsvinden, moeten duidelijk onderbouwde objectieven naar voor geschoven worden, en moet de haalbaarheid van deze objectieven onderzocht worden.



## Hoofdstuk 4. De verlande meanders in Weteren/Schellebelle en Appels (Dendermonde)

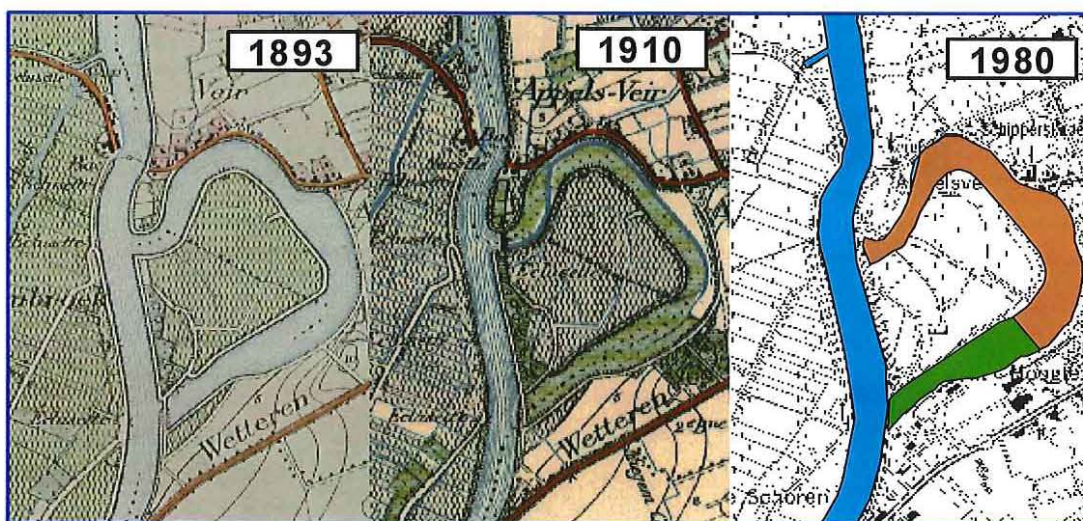
### 4.1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten toegelicht van boringen uitgevoerd op verlande meanders die ontstaan zijn na bochtafsnijdingen van de Schelde eind 19<sup>e</sup> eeuw. Beide meanders kunnen interessante informatie opleveren over de verontreiniging van het Schelde-sediment in de periode vóór WOII. In deze context werden de resultaten voor beide meanders reeds vermeld in hoofdstuk 2. Aangezien beide gebieden vrij uitgebreid bemonsterd werden, worden de resultaten hier afzonderlijk voorgesteld.

### 4.2. Materiaal en methoden

#### 4.2.1. Studieggebied

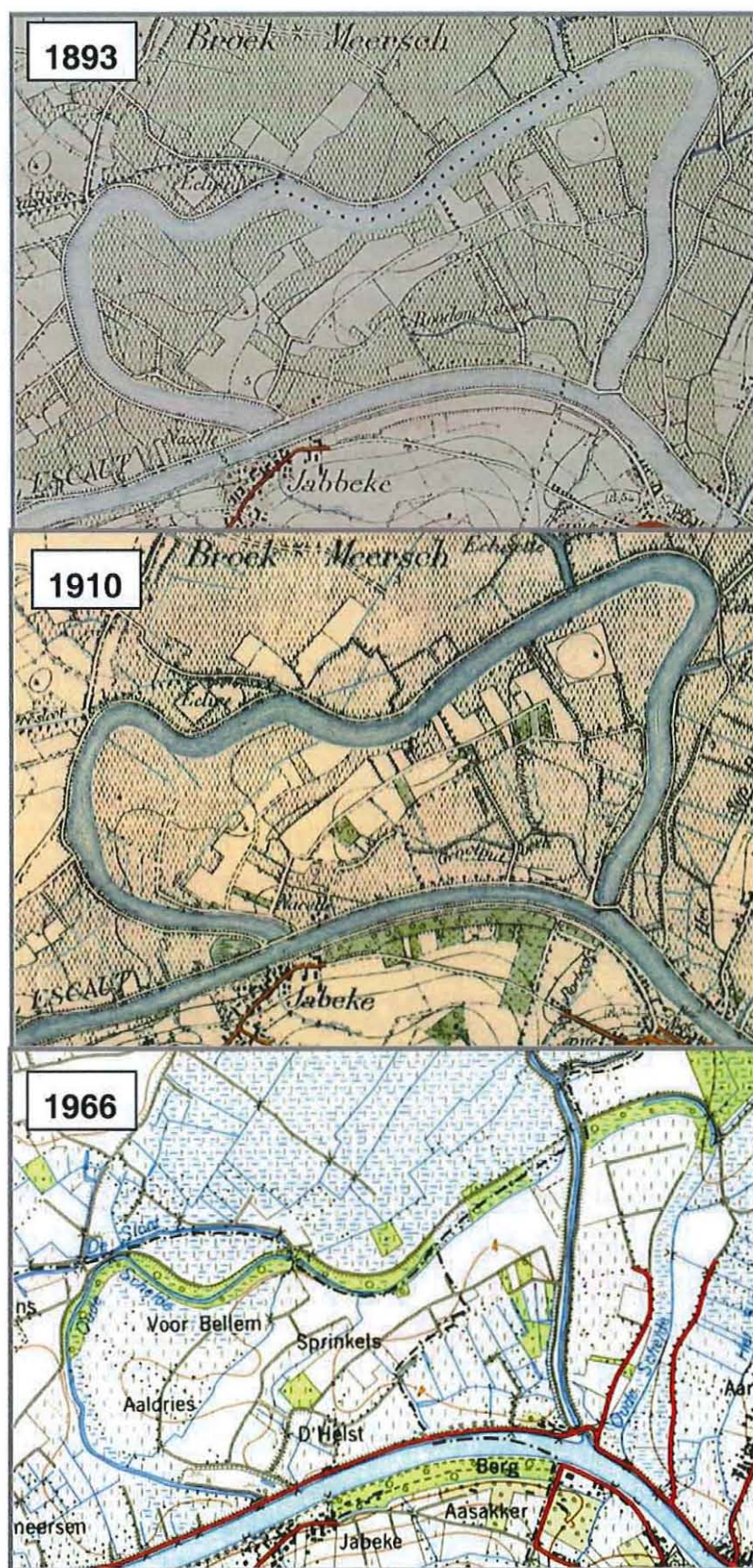
Het terrein ter hoogte van het Appelsveer in Appels wordt beheerd door AMINAL Afd. Bos & Groen en bestaat uit 2 duidelijk verschillende delen. Het meest noordelijke deel (11.7 ha) is helemaal toegeslibd en daarna beplant met populier. Er is echter nog een gracht voorzien voor de waterafvoer vanuit de omgeving. Het zuidelijke deel (4.1 ha) werd in 1950 na het toeslibben verder opgehoogd met Schelde-zand en daarna ook met populier beplant. In figuur 4.1 is duidelijk te zien dat de verlanding reeds ver gevorderd was in 1910. De populieren worden nu in verschillende fasen gekapt. Aan de binnenzijde van de oude meander bevindt zich een oud huisvuilstort dat duidelijk hoger ligt dan de omgeving.



**Figuur 4.1.** De 'Oude Schelde' in Appels op topografische kaarten van verschillende tijdstippen

Het verlandingsproces van de oude meander ter hoogte van de Kalkense meersen op de grens van Weteren en Schellebelle is volgens het beschikbare kaartmateriaal (figuur 4.2.) trager verlopen. Het gebied wordt gedeeltelijk beheerd als natuurreservaat, maar bevat ook weilanden en populierenaanplantingen.





**Figuur 4.2.** De 'Oude Schelde' ter hoogte van de Kalkense meersen op topografische kaarten van verschillende tijdstippen

#### 4.2.2. Bodemstaalnames

Het meest stroomafwaartse deel van de verlande meander in Appels (code: APVE) werd op 8 punten tot op 2 m diepte bemonsterd. Er werden stalen verzameld van 19 horizonten, waarvan een aantal stalen duidelijk gereduceerd waren. Alle bodemstalen waren duidelijk aangerijkt met organisch materiaal tot op grotere diepte, wat een belangrijk kenmerk is van landgeborgs sedimenten.

De meander in Wetteren en Schellebelle (code: KAMW en KAMS) werd op 20 punten bemonsterd, waarbij 57 bodemlagen onderscheiden en 52 bodemhorizonten bemonsterd werden. Hiervan werden 48 bodemstalen geanalyseerd. De natste delen van de verlande meander werden niet bemonsterd.

Bij de boringen konden de profielen in 2 groepen onderverdeeld worden: enerzijds de punten gelegen in de westelijke helft van de oude meander, met een profiel bestaande uit kleiig materiaal met vrij veel organisch materiaal, en de oostelijke helft bestaande uit punten met bovenaan een pure laag bodemmateriaal met vrij veel zand, en op grotere diepte een sliblaag. Enkel aan het uiteinde van de westelijke arm in de Schelde werd eveneens zand gevonden (punt KAMW10 en KAMW11). De oude Schelde-arm kan dus opgesplitst worden in 2 duidelijk verschillende delen. Het meest stroomafwaartse (= oostelijke) deel werd bij het afsnijden van de meander opgevuld met het materiaal dat vrijkwam bij het graven van de nieuwe Scheldebodding, bij het graven van de aansluiting van de Kalkense vaart op de nieuwe Schelde of met ander puur bodemmateriaal, terwijl het andere, westelijke deel geleidelijk dichtslibde na 1910.

De methodiek van de bemonsteringen, de analysemethoden en de evaluatie van de bodemverontreiniging volgens VLAREBO werden reeds in Hoofdstuk 2 in detail besproken. De codering van de terreinen, de bemonsterde punten en de bodemstalen werd in Hoofdstuk 3 behandeld.

### 4.3. Resultaten

In het noorderlijke deel van de verlande meander in Appels is er een duidelijke textuurgradiënt. De hoogste gehalten aan klei en OS werden in het meest stroomopwaartse deel gemeten. Dit blijkt duidelijk uit figuur 4.3., waarin de punten uitgezet werden in functie van de afstand tot de Schelde. Deze relatie gaat echter niet op voor de zware metalen en voor de andere gemeten bodemeigenschappen.

Voor wat de concentraties aan zware metalen betreft, blijkt uit tabel 4.1. dat de verontreiniging beperkt is tot 3 punten en tot Zn, Cd en Cr. Voor Ni en Cu werden nergens concentraties hoger dan het verontreinigingscriterium gemeten. Algemeen kan gesteld worden dat de gemeten concentraties aan zware metalen zeer laag zijn in vergelijking met de concentraties gemeten in de meer recente baggergronden.

Uit de boringen uitgevoerd op de verlande meander in de omgeving van de Kalkense meersen bleek dat de westelijke helft helemaal toegeslibd en verland is, terwijl de oostelijke helft opgevuld werd met puur bodemmateriaal. De dikte van deze pure bodemlaag varieert tussen 130 en meer dan 200 cm. Om duidelijke uitspraken mogelijk te maken i.v.m. de sedimentkwaliteit, werden enkel de stalen die voldoen aan de criteria voor baggergronden (zie hoofdstuk 1) verder besproken. Het gaat om 30 van de 43 bodemstalen die geanalyseerd



werden. De verontreiniging voor het westelijke deel is het hoogst in het meest stroomopwaartse deel. Voor het oostelijk deel is de trend niet zo duidelijk.

**Tabel 4.1.** Gehalten aan Cd, Cr, Pb en Zn (mg/kg DS) en evaluatie volgens VLAREBO voor de bodemstalen van de verlande meander in Appels. De dikte van de bemonsterde laag wordt in cm gegeven.

| punt | staal | Dikte (cm) | Cd    | Cr  | Zn  | Pb  | textuur |
|------|-------|------------|-------|-----|-----|-----|---------|
| 8    | OXY1  | 150        | 1.3   | 114 | 407 | 77  | L       |
| 8    | RED1  | 50         | 1.4   | 101 | 485 | 74  | L       |
| 7    | OXY1  | 150        | 1.3   | 105 | 405 | 76  | L       |
| 7    | RED1  | 50         | 0.8   | 67  | 230 | 37  | S       |
| 13   | OXY1  | 150        | 1.5   | 87  | 429 | 62  | L       |
| 13   | RED1  | 50         | 1.2   | 101 | 403 | 63  | L       |
| 12   | OXY1  | 150        | 2.7   | 186 | 682 | 124 | E       |
| 12   | RED1  | 50         | 2.7   | 193 | 621 | 133 | E       |
| 4    | OXY1  | 100        | 1.5   | 155 | 825 | 133 | E       |
| 4    | OXY2  | 100        | 1.2   | 154 | 716 | 115 | E       |
| 11   | OXY1  | 50         | 0.9   | 103 | 413 | 173 | E       |
| 11   | OXY2  | 80         | < 0.5 | 51  | 213 | 32  | L       |
| 11   | RED1  | 70         | < 0.5 | 49  | 251 | 36  | L       |
| 3    | OXY1  | 30         | 1.0   | 96  | 419 | 96  | E       |
| 3    | OXY2  | 50         | 0.6   | 105 | 382 | 79  | E       |
| 3    | OXY3  | 40         | 1.1   | 63  | 555 | 73  | U       |
| 10   | OXY1  | 50         | 1.2   | 121 | 481 | 110 | U       |
| 10   | OXY2  | 100        | 1.1   | 116 | 483 | 85  | E       |
| 10   | RED1  | 50         | 1.0   | 117 | 434 | 82  | E       |

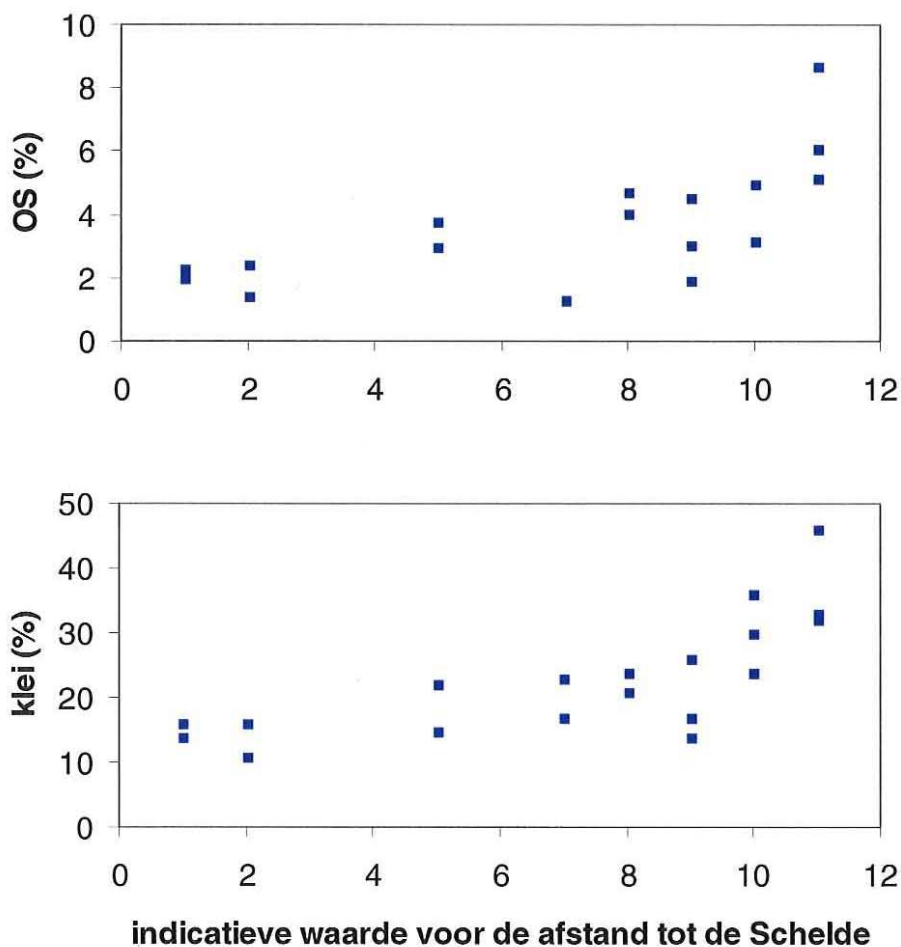
gemeten concentratie < achtergrondswaarde

gemeten concentratie > achtergrondswaarde

gemeten concentratie > verontreinigingscriterium

gemeten concentratie > norm landbouw, bos en natuur (2)

gemeten concentratie > norm bestemming woongebied (3)



**Figuur 4.3.** klei- en organische stofgehalte in functie van de afstand langs de meander tot de Schelde

In geen enkel staal werd er verontreiniging met Cu en Ni gemeten, op 2 resp. 3 stalen werd verontreinigingscriterium voor bos, natuur en landbouw (VC1&2) voor Cd en Cr overschreden. In 1 resp. 7 stalen wordt de bodemsaneringsnorm voor bos, natuur en landbouw (BSN1&2) en de VC1&2 voor Zn overschreden. Er is vooral verontreiniging met Cr, waarbij meestal de BSN1&2 overschreden wordt voor 27 stalen (Tabel 4.2). De concentraties aan Cr, Cd en Zn zijn echter vrij laag in vergelijking met de gehalten gemeten in de recente baggergronden langs de Zeeschelde en de Bovenschelde. Cr is bovendien een vrij immobiel element, dat zeer weinig beschikbaar is voor planten.

**Tabel 4.2.** Gehalten aan Cd, Cr, Pb en Zn (mg/kg DS) en evaluatie volgens VLAREBO voor de bodemstalen van de verlandende meander in Wetteren en Schellebelle. Dikte en diepte van de bemonsterde laag worden in cm gegeven. Er werd een onderscheid gemaakt tussen de oostelijke kant (KAMS) en de westelijke helft (KAMW) van de meander.

| punt   | staal | Dikte | Diepte | Cd  | Cr  | Zn  | Pb  | textuur |
|--------|-------|-------|--------|-----|-----|-----|-----|---------|
| KAMS01 | RED1  | 120   | 80     | 3.1 | 292 | 192 | 737 | E       |
| KAMS02 | RED1  | 100   | 120    | 1.2 | 156 | 78  | 416 | L       |
| KAMS03 | OXY2  | 130   | 50     | 1.5 | 175 | 96  | 504 | L       |
| KAMS03 | RED1  | 20    | 180    | 0.9 | 110 | 58  | 276 | A       |



(vervolg tabel 4.2.)

| punt   | staal | Dikte | Diepte | Cd    | Cr  | Zn  | Pb   | textuur |
|--------|-------|-------|--------|-------|-----|-----|------|---------|
| KAMS04 | OXY2  | 180   | 20     | 2.0   | 210 | 120 | 724  | E       |
| KAMS04 | OXY3  | 100   | 200    | 1.7   | 151 | 89  | 251  | E       |
| KAMS05 | OXY1  | 200   | 0      | 2.0   | 195 | 137 | 588  | E       |
| KAMS05 | RED1  | 50    | 200    | 1.4   | 173 | 93  | 495  | E       |
| KAMS07 | OXY2  | 80    | 100    | 2.2   | 310 | 153 | 334  | E       |
| KAMS07 | RED1  | 20    | 180    | 2.2   | 337 | 174 | 281  | E       |
| KAMS08 | RED1  | 70    | 130    | 1.4   | 201 | 91  | 507  | E       |
| KAMS09 | OXY1  | 70    | 0      | 2.0   | 245 | 137 | 600  | E       |
| KAMS09 | OXY2  | 80    | 70     | 1.0   | 175 | 93  | 445  | E       |
| KAMS09 | RED1  | 50    | 150    | 1.8   | 221 | 106 | 564  | E       |
| KAMS10 | RED1  | 50    | 150    | 1.5   | 191 | 95  | 488  | E       |
| KAMW01 | OXY2  | 110   | 10     | 0.8   | 120 | 57  | 308  | P       |
| KAMW01 | RED1  | 80    | 120    | 1.5   | 162 | 89  | 535  | E       |
| KAMW02 | OXY1  | 90    | 0      | 1.1   | 208 | 140 | 622  | E       |
| KAMW02 | OXY2  | 60    | 90     | 1.1   | 242 | 148 | 707  | E       |
| KAMW02 | OXY3  | 50    | 150    | 1.5   | 276 | 146 | 723  | E       |
| KAMW06 | OXY1  | 90    | 0      | 2.6   | 306 | 168 | 880  | E       |
| KAMW06 | RED1  | 110   | 90     | 2.3   | 315 | 154 | 758  | E       |
| KAMW07 | OXY1  | 50    | 0      | 2.6   | 359 | 260 | 1055 | E       |
| KAMW07 | OXY2  | 80    | 50     | 2.0   | 392 | 198 | 915  | U       |
| KAMW08 | OXY1  | 30    | 0      | 2.1   | 359 | 220 | 879  | E       |
| KAMW08 | RED1  | 50    | 150    | < 0.5 | 122 | 56  | 247  | E       |
| KAMW09 | RED1  | 130   | 70     | < 0.5 | 36  | 11  | 54   | P       |
| KAMW09 | RED2  | 120   | 200    | 1.0   | 194 | 81  | 338  | L       |
| KAMW10 | RED1  | 20    | 180    | 3.7   | 325 | 238 | 1005 | E       |
| KAMW11 | RED1  | 40    | 160    | 2.5   | 233 | 133 | 642  | E       |

#### 4.4. Besluit

De afgesneden meander in Appels was in 1910 al helemaal verland. Het meest stroomopwaartse deel werd echter bijkomend opgehoogd met zand, en dit deel werd verder niet bestudeerd. In het overige deel werden boringen tot 2 m diepte uitgevoerd. De gemeten gehalten aan zware metalen waren relatief laag en vrij homogeen over het terrein, maar de gehalten waren toch duidelijk hoger dan de achtergrondswaarden. Het verontreinigingscriterium voor Cu, Ni en Pb werd in geen enkel staal overschreden, en het criterium werd slechts overschreden in 2, 4 en 5 stalen voor Cd, Zn en Cr. Op 1 punt werden hogere gehalten aan Cd en Cr gemeten.

Aangezien het hier om een terrein gaat dat opgehoogd werd met sedimenten, wordt het in het kader van dit project beschouwd als een baggergrond. Het is echter een baggergrond met een vrij lage verontreinigingsgraad, waardoor het terrein als een referentiesituatie beschouwd kan worden. Dit is een interessant referentiegebied in het onderzoek van baggergronden, aangezien het duidelijk om een baggergrond gaat, maar waarbij er relatief lage gehalten aan zware metalen gemeten werden. In de zomer van 2001 werden hier bladstalen van schietwilg en populier verzameld. Een belangrijk kenmerk van baggergronden is het sterk afwijkend bodemprofiel, waarbij hoge gehalten aan organische stof en andere gerelateerde elementen niet beperkt zijn tot de bovenste horizont, maar zich over een grotere diepte uitstrekken.

De meander in de Kalkense meersen in Wetteren en Schellebelle is pas na 1910 volledig verland. Uit de boringen uitgevoerd op de verlande meander bleek dat de westelijke helft helemaal toegeslibd en verland is, terwijl de oostelijke helft opgevuld werd met puur bodemmateriaal. Onder deze pure laag kon de oorspronkelijke sedimentlaag bemonsterd worden. De gemeten gehalten aan zware metalen waren duidelijk verhoogd voor Cr, zeker in vergelijking met de gehalten vastgesteld op de verlande meander in Appels.



## Hoofdstuk 5. Baggergronden langs de Durme

### 5.1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van een verkennende studie naar de aanwezigheid van baggergronden langs de Durme. De potenties voor natuurherstel in het alluviale gebied van de Durme worden beschreven door Van den Bergh et al. (1999). Volgens Meyvis (2000) kan de vallei van de Durme ingeschakeld worden in het Sigmaplan. Een belangrijk probleem is de verregaande verzanding en aanslibbing van de Durme door het afsnijden van de bovenloop (de afvoer gebeurt via de Moervaart naar het kanaal Gent-Terneuzen), waardoor de waterberging in de rivier en de ontwatering van het omliggende gebied een probleem is. Volgens de situatieschets korte termijn Schelde-estuarium (Technische Schelde Commissie, 2000) zou het baggeren van de Durme een positief effect kunnen hebben op de natuurlijkheid en de veiligheid rond de Boven-Zeeschelde. Van den Bergh et al. (1999) stellen echter dat de uitdaging er in bestaat het slibprobleem op een duurzame wijze aan te pakken, zodat baggeren onnodig wordt. De aanpassingen aan de loop van de Durme bleven in hoofdzaak beperkt tot 2 grote rechte trekkingen uitgevoerd tussen beide wereldoorlogen, nl. ter hoogte van de Waasmunsterbrug (oude arm werd helemaal opgevuld) en ter hoogte van de Weijmeerbroeken (Oude arm werd afgesloten, maar niet opgevuld). Bij baggerwerken werden bepaalde schorren opgespoten (Van den Bergh et al., 1999).

De bodems rond de Durme worden op de bodemassociatiekaart (Maréchal & Tavernier, 1970) beschreven als natte, alluviale gronden zonder profielontwikkeling. Volgens de 'verklarende tekst bij het kaartblad 42W (St.-Niklaas) gaat het om holocene afzettingen van rivieralluvium boven oppervlakteveen, dat grotendeels ontgonnen werd. De textuur van het alluviaal materiaal varieert van zware klei tot kleiig zand. De alluviale klei is kalkarm, terwijl het materiaal dat tijdens de bevoeiingen afgezet werd, kalkrijk is (IWONL, 1964).

Er is geen literatuur voorhanden over de sedimentkwaliteit van de Durme en de Zeeschelde. Wel is er reeds heel wat onderzoek verricht omtrent de kwaliteit van het zwevend stof en het sediment van het Schelde-estuarium. Aangezien de Durme deel uitmaakt van het bovenstrooms gebied van het estuarium, speelt het ook een rol in het sedimenttransport van het systeem. Volgens verschillende auteurs is er een duidelijke kwaliteitsverbetering merkbaar van het slib en het zwevend stof in het estuarium (o.a. Zwolsman et al., 1993; Zwolsman et al., 1996). Baeyens (1998) vat de beschikbare gegevens over de gehalten aan zware metalen in het zwevend stof samen en leidde daaruit eveneens een belangrijke kwaliteitsverbetering af (Tabel 5.1.). Wollast (1988) stelt dat in 1978 ongeveer 2/3 van het zwevend stof gerelateerd was met antropogene activiteiten en sterk gecontamineerd was met zware metalen. Dit zwevend stof bevatte in 1978 tot 40-60% organische stof (OS) (waardoor het systeem anoxisch wordt), nu is het OS-gehalte van fluviatiel zwevend stof 10-15 %. Zwolsman (1999) gaf als gemiddelde compositie van het fluviatiel zwevend stof in 1987-1988 11 %  $\text{CaCO}_3$ , en 14 % OS.

**Tabel 5.1.** Evolutie van de gehalten aan zware metalen in het zwevend stof in het traject tussen Rupelmonde en Antwerpen (Baeyens, 1998)

|           | 1978 | 1981-1983 | 1987 | 1987-1988 | 1991-1994 | 1995 |
|-----------|------|-----------|------|-----------|-----------|------|
| <b>Cd</b> | 45   | 27,9      | 11,9 |           | 8,25      | 8,8  |
| <b>Cu</b> |      | 278       | 187  | 166       | 159       | 112  |
| <b>Pb</b> |      | 288       |      | 264       |           | 214  |
| <b>Zn</b> | 1250 | 800       | 928  | 882       | 725       | 610  |

Van Alsenoy et al.(1997) bemonsterden in 1987-1988 het sediment en het zwevend stof op verschillende tijdstippen op een aantal punten in de Noordzee, de Noordzeehavens, de Schelde delta (Nederlands deel) en het estuarium (Belgisch deel). Na het toepassen van verschillende normalisatietechnieken bleek dat er op basis van pollutie twee duidelijke groepen onderscheiden konden worden: enerzijds de Noordzee en de zeehavens waar de textuur de belangrijkste factor is die de hoeveelheid zware metalen bepaalt en anderzijds het industrieel deel van de Schelde gekenmerkt door een zeer variabele pollutie in tijd en locatie.

Verlaan et al. (1998) maakt onderscheid tussen fluviatiel en marien zwevend stof in het Schelde-estuarium op basis van concentraties aan Cr, Pb, Zn, Cu, Cd, As en Sn (kenmerkend voor fluviatiel materiaal) en Ni, Ca, Na en Sr (kenmerkend voor marien materiaal). Het OS-gehalte in het fluviatiel materiaal is veel hoger dan in het marien materiaal. De haven en de industriële complexen rond Antwerpen hebben geen detecteerbaar effect op de metaalconcentraties in het zwevende stof. Het zwevend stof bevat minder dan 10 % zand. In vergelijkbaar onderzoek (Verlaan, 2000) wordt er onderscheid gemaakt tussen fluviatiel en marien sediment in het Schelde-estuarium op basis van zware metalen, waarbij hoge gehalten aan Cr, Pb, Zn, Cu, Cd en Ag kenmerkend zijn voor fluviatiel materiaal. De zware metalen zijn hoofdzakelijk geadsorbeerd aan de slibfractie van het sediment.

Begin de jaren '90 werd door de Afdeling Water van AMINAL gestart met een methodologische studie naar de inventarisatie en de karakterisatie van de bodems van de Vlaamse waterlopen (KBW). Er werd eveneens een beoordelingssysteem opgesteld, nl. een triade bestaande uit een fysico-chemisch luik, een ecotoxicologisch luik en een biologisch luik (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 1998). Uiteindelijk leidden de 3 deelaspecten naar een globale beoordeling van de kwaliteit van de onderwaterbodem. Alle bemonsteringen gebeurden met een Van Veen-grijper. Hierdoor wordt een gedeelte van de bovenlaag van het slib bemonsterd (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 1995). In de Durme werden 4 punten op deze wijze bemonsterd. Enkel het punt BZ078 dichtst bij Lokeren is verontreinigd: er werden afwijkende tot sterk afwijkende gehalten aan Cr, Pb, Cd, Cu en Zn gemeten. Dit is ook het enige punt met een duidelijke kleitextuur en een hoog gehalte OS. De andere punten vertoonden een veel zandiger textuur en een lagere OS-gehalte, en hadden geen afwijkende gehalten aan zware metalen.

## 5.2. Materiaal en methoden

Het studiegebied beperkt zich tot de alluviale vlakte van de Durme tussen Lokeren en de Durmemonding. De baggergronden werden gelokaliseerd op basis van de bodemkaart, gegevens afgeleid uit de vergelijking van verschillende edities van de topokaarten en via

contacten met de gemeente Hamme. Op 52 punten (46 binnendijks en 6 buitendijks) werden er boringen uitgevoerd, waarbij er 127 bodemlagen bemonsterd werden. Niet alle bodemprofielen waar er boringen gebeurden, werden bemonsterd. Enkel de lagen waar er indicaties waren voor eventuele verontreiniging of waar een textuuranalyse interessant leek, werden bemonsterd. Uit deze stalen werden 86 stalen geselecteerd waar de analyse meest aangewezen was. Op basis hiervan kan er een eerste beeld gevormd worden van de impact van de baggergronden en de verlanding van de Durme, en kunnen verdere werkzaamheden bepaald worden.

Op Kaart 5.1 (zie bijlage) wordt er een overzicht gegeven van de geografische resultaten voor het studiegebied. De grote structuren in het gebied zijn: de alluviale vlakte, het groot schorregebied aan de monding, het gebied met vijvers ontstaan door veenontginning (de Bunt), de bewoning in Hamme, de opgevlude Durme ter hoogte van de Waasmunsterbrug, het industrieterrein 'Oever' in Lokeren, de zandwinputten rond de E17 en het Molsbroek.

De methodiek van de bemonsteringen, de analysemethodes en de evaluatie van de bodemverontreiniging volgens VLAREBO werden reeds in Hoofdstuk 2 in detail besproken. Het systeem van de codering van de terreinen, de bemonsterde punten en de bodemstalen werd in Hoofdstuk 3 behandeld.

## **5.3. Resultaten**

### **5.3.1. Bodemverontreiniging en bodemeigenschappen**

De analyseresultaten en de beoordeling volgens VLAREBO worden per staal en per bemonsterd punt gegeven in tabel 5.2. De verwijzing naar de datum in de puntcode werd weggelaten. In een aantal bodemstalen werd er bodemverontreiniging met (volgens afnemende belangrijkheid) Cd, Zn, Cr en Pb gemeten. Ni- en Cu-verontreiniging werd nergens vastgesteld en werden niet in de tabel opgenomen. Voor Cd werd het VC1&2 overschreden in 52 stalen, voor Zn en Cr in resp. 24 en 20 stalen. Meestal werd de BSN1&2 of het VC1&2 overschreden. Slechts bij 2 stalen van binnendijkse gebieden en bij de stalen van DURM04 en DURM06 werd de BSN3 voor Cd overschreden. De stalen die vet aangegeven staan, werden volgens de criteria opgesteld voor de identificatie van baggergronden in de alluviale vlakte van de Schelde en de Leie (Hoofdstuk 1) herkend als baggergronden. In totaal 45 van de 86 stalen voldoen aan de criteria voor baggergronden, nl. 33 stalen van binnendijkse gebieden en 12 stalen van buitendijkse gebieden. Bij 38 van die stalen werd er bodemverontreiniging met minstens 1 zwaar metaal gemeten. Dit geeft een duidelijke indicatie dat de verontreiniging afkomstig is van sedimenten en/of baggerslib. In totaal werd er bij 53 van de 86 stalen verontreiniging gemeten. Bij een aantal stalen kan de verontreiniging dus niet gelinkt worden aan karakteristieke eigenschappen van slib. Het gaat dan hoofdzakelijk om zandig materiaal dat buiten het bereik van baggergronden valt.

In de stalen van de terreinen tussen Lokeren en de E17-brug werd er enkel bodemverontreiniging met Cd en Zn gemeten, deze waarden lagen enkel boven BSN1&2. Relatief gezien t.o.v. de gekende gegevens rond baggergronden langs de Leie, de Zee- en de Bovenschelde (Vandecasteele et al., 1999; Vandecasteele et al., 2000b) zijn de gemeten gehalten eerder laag. Samenvattend kan er gesteld worden (Tabel 5.3.) dat er op 9 binnendijkse baggergronden (totale oppervlakte = 26.5 ha) duidelijke bodemverontreiniging met Cd, Cr en/of Zn werd gemeten, waarbij het telkens om materiaal met een hoog kleigehalte gaat, behalve bij de terreinen BMW1 en MBL2 gekenmerkt door vrij zandig materiaal.



Logischerwijze gaan baggergronden met een hoger klei- en organische stofgehalte gepaard met hogere verontreiniging, want beide bodemeigenschappen leiden bij sedimenten tot een grotere affiniteit voor adsorptie van zware metalen (Gambrell, 1994). Op 1 baggergrond werd er geen bodemverontreiniging gemeten (BMZ1). Eén buitendijks terrein werd ook als baggergrond beschouwd. Op BMW1 en BMZ2 werd er verontreiniging met Cd gemeten, het materiaal is hoofdzakelijk zandig. Op 2 terreinen werd onder de ophoging met puur zand een lichte Cd-verontreiniging gemeten (MOWA en BBBH).

Bij 2 punten in het alluviaal gebied waar er niet direct sprake is van ophogingen werd er in de bovenste laag een lichte verontreiniging met Cd gemeten (HTRW01 en ZSTW01). Ook bij de 6 punten op aangeslibde plaatsen of op schorren in de Durme-bedding werd bodemverontreiniging gemeten. Uit deze gegevens volgt dat het belangrijk is om zich enerzijds een globaal beeld van de bodemkwaliteit van het alluviaal gebied te kunnen vormen, en anderzijds duidelijk de kwaliteit van de toegeslibde Durme te kunnen bepalen om de verontreiniging van de baggergronden optimaal te kaderen.

In tabel 5.4 worden de andere analyseresultaten vermeld. Baggergronden worden gekenmerkt door een hoog  $\text{CaCO}_3$ -gehalte vergeleken met de alluviale vlakte, en door een goeie buffering tegen bodemverzuring. De gehalten aan OS, P en S en de elektrische geleidbaarheid (EC) zijn eveneens hoog.

**Tabel 5.3.** Overzicht van de gekarteerde terreinen

| soort                                      | terreinen                                               |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| verontreinigde<br>baggergronden            | KBE1, KBEL, KPW1, MPWA, PPLW,<br>E17W, MBL1, MBL2, OEL1 |
| niet-verontreinigde<br>baggergronden       | BMZ1                                                    |
| ophogingen<br>met puur zand                | MPW1, ZUH1, HTRW, BMZ2, NOHA, PAWA                      |
| idem, met dunne<br>verontreinigde laag     | MOWA, BBBH                                              |
| ophogingen met licht<br>verontreinigd zand | BMW1, BMZ2                                              |

5.3.2. Terreinen

Er werden 24 terreinen gecontroleerd (61 ha) aan de hand van 52 puntboringen. Bij 28 ha (11 terreinen) wordt op basis van de terreinwaarnemingen, de criteria voor baggergronden en de analyseresultaten geoordeeld dat het om baggergronden gaat. Twee terreinen (3 ha) werden opgehoogd met licht verontreinigd zand. Bij 30 ha (11 terreinen) bestond de ophoging uit puur bodemmateriaal, meestal zand, dat afkomstig is van nieuwe uitgravingen bij werken aan de Durme of van zandwinningen. Voor een aantal van deze terreinen werd uit de textuuranalyse berekend welke fractie groter is dan 250 µm (Tabel 5.5.). Deze fractie geeft een idee over de (her)bruikbaarheid van het zandig materiaal voor constructiedoeleinden. De fractie > 250 µm is echter zeer gering voor alle stalen. Van de resterende oppervlakte is 59 ha bebouwd (zal niet gecontroleerd worden) en werd 21 ha (13 terreinen) nog niet gecontroleerd.

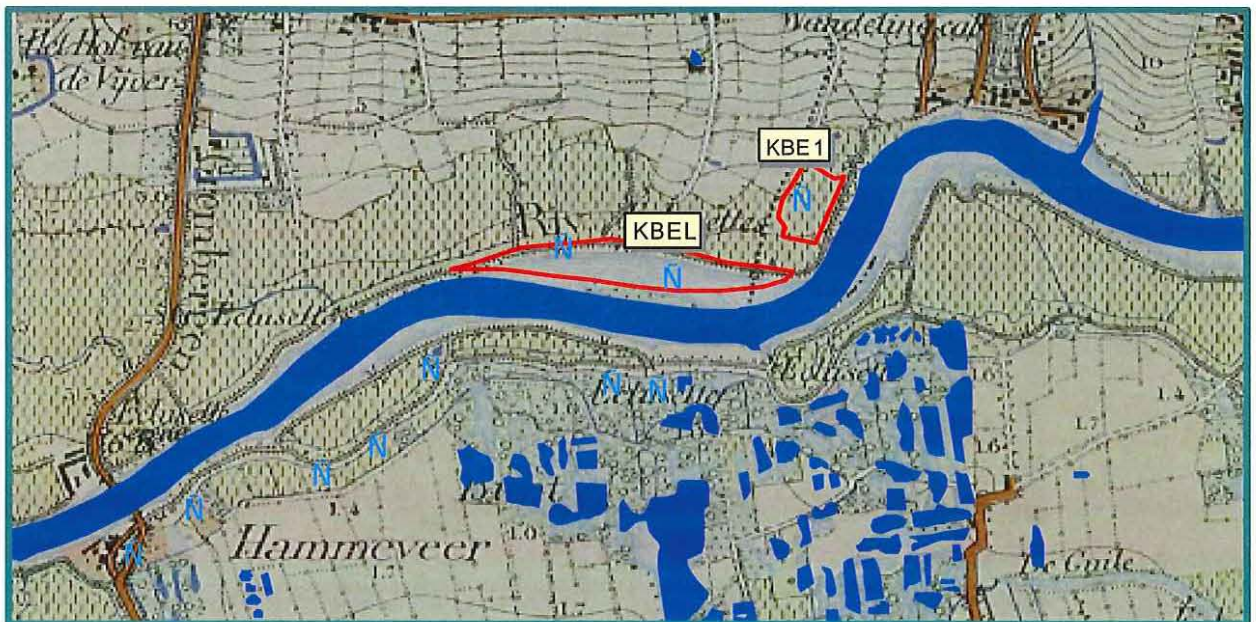
Tabel 5.5. Zandfracties bepaald met laserdiffractie

| bodemmonstercode | % > 60 µm | % > 250 µm | textuurklasse |
|------------------|-----------|------------|---------------|
| KBE101OXY1       | 72        | 9          | S             |
| ZUH101OXY3       | 77        | 7          | S             |
| ZUH101OXY4       | 72        | 5          | S             |
| BMW101OXY1       | 74        | 0          | S             |
| BMW101RED1       | 71        | 0          | S             |
| E17W01RED1       | 73        | 0          | S             |
| MBL201OXY1       | 79        | 0          | S             |
| MBL201RED1       | 75        | 0          | S             |
| MBL202RED1       | 70        | 0          | S             |
| MBL203OXY1       | 79        | 0          | S             |
| NOHA09RED1       | 86        | 1          | Z             |
| PAWA01RED1       | 91        | 16         | Z             |
| BMZ201RED1       | 83        | 3          | Z             |
| E17W01OXY1       | 83        | 0          | Z             |

- Het perceel MDPH aangeduid als opgehoogd terrein op de bodemkaart (ON) en beplant met populier: het aangetroffen bodemmateriaal werd niet bemonsterd, maar bestond uit puur zand. Er kon maar tot op 1 m diepte geboord worden omdat het profiel te nat was.
- terreinen BUHA (niet gecontroleerd), NOHA, ZUH1 en ZUH2: deze 4 terreinen vormen 1 opgehoogd terrein volgens de bodemkaart. Het perceel BUHA was zeer drassig en kon niet bemonsterd worden. Er werden 4 punten bemonsterd op NOHA. Telkens werd er een laag zandig materiaal aangetroffen boven een veenlaag. De zandlaag varieerde in dikte tussen 60 en 150 cm. Het gebied ten zuiden van deze terreinen werd gebruikt voor veenontginning en bestaat uit een aaneenschakeling van putten. Bij ZUH1 bestond het profiel uit een reeks zandlagen met verschillend gehalte aan organische stof (OS). ZUH2 werd gekarakteriseerd door de aanwezigheid van puur zandig materiaal, dat vanaf 150 cm diepte zeer nat was. Een deel van het terrein ZUH2 werd echter bijkomend opgehoogd. Bij 1 van de 9 bodemstalen werd er een lichte verontreiniging met Cd gemeten.

**Kaart 5.2.** Baggergronden ter hoogte van Den Bunt (zie bijlage)

- KBEL was in 1909 nog een deel van de Durme. Dit is te zien op de militaire topografische kaart opgemaakt in 1909. De huidige loop van de Durme wordt eveneens op deze kaart afgebeeld (kaart 5.3.). Op dit terrein werden 2 punten bemonsterd. De profielopbouw verschilde sterk tussen beide punten. Op punt KBEL01 werd onder twee kleilagen op een diepte van 90 cm een laag puur zand aangetroffen waarvan de onderkant zich dieper bevond dan 2 m. Beide kleilagen zijn verontreinigd. Op het andere punt (KBEL02) werd er op 70 cm diepte een zeer zware alluviale kleilaag aangetroffen. Erboven bevond er zich een kleilaag en een zwarte zandlaag. Deze laatste laag is verontreinigd.



**Kaart 5.3.** Huidige en oude vorm van de Durme afgeleid uit de topografische kaart van 1909.

- KBE1: Was op de oude topokaart aangeduid als natte weide, en behoorde in tegenstelling tot KBEL niet tot de oude Durmemonding. Op 70 cm diepte werd de alluviale kleilaag aangetroffen. Erboven bevond zich een zandlaag (tot 45 cm diepte) en een zwarte kleilaag waarin bodemverontreiniging met Cd, Cr en Zn gemeten werd.
- Het terrein KPWA ligt duidelijk hoger dan de omgeving. Het terrein werd niet bemonsterd, maar er kan aangenomen worden dat het hier om vrij zandig materiaal gaat (wat ook af te leiden is uit de aanplanting met fijnsparren op een deel van het terrein).
- In de maïsakker naast het terrein werd de bovenste kleilaag (40 cm) bemonsterd (punt KPW101). In deze laag werd verontreiniging met Cd en Zn gemeten. De oorzaak van de verontreiniging is moeilijk te achterhalen, maar de bodemeigenschappen voldoen aan de criteria voor baggergronden. Het textuurverschil tussen deze laag en de eronder liggende oorspronkelijke laag is niet groot genoeg om hier te kunnen spreken van een duidelijke ophoging zoals beschreven door Vandecasteele et al. (2000b).

- Het meest stroomopwaartse deel van de oude Durme-arm (PAWA) werd opgevuld met zeer zandig, niet-verontreinigd materiaal. Dit bleek uit de 2 boringen. Deze arm werd afgesneden tussen beide wereldoorlogen, samen met de volledig opgevulde arm stroomafwaarts van de brug van Waasmunster (terrein MPWA).
- In het gebied bevinden er zich 2 ingerichte gecontroleerde overstromingsgebieden. In de potpolder I (PPLW) werden 2 punten bemonsterd. Op punt PPLW01 werden er 2 verontreinigde lagen aangetroffen met een totale dikte van 50 cm. Op het andere punt werd er zandig materiaal aangetroffen dat niet verontreinigd was. Punt PPLW02 ligt al iets hoger (had op de oude militaire topokaart van 1909 akker als landgebruik), terwijl PPLW01 onder weiland ligt.
- De oude arm ter hoogte van de Waasmunsterbrug (MPWA) werd helemaal opgevuld en bijkomend opgehoogd. Het terrein ligt duidelijk hoger dan het gebied ten noorden hiervan. Op dit terrein werden er 8 punten bemonsterd die zich in de oude bedding van de Durme bevinden. Er zijn analyseresultaten voor 6 punten. Op het punt MPWA08 waren er geen aanduidingen dat er verontreiniging aanwezig was en bij MPWA01 werd er geen verontreiniging gemeten. Op 4 punten bevond de verontreiniging zich dieper dan 1 m, terwijl bij punt MPWA04 en MPWA02 de verontreiniging aan de oppervlakte ligt. Deze oude arm werd dus opgevuld met bodemmateriaal en sedimenten met sterk verschillende eigenschappen en verontreiniging.
- Op het terrein tussen de oude en de nieuwe Durmeloop (MPW1) werden 2 punten bemonsterd. Dit deel werd ongeveer 80 cm opgehoogd met zandig materiaal, maar er werd geen verontreiniging gemeten. Dit stuk vertoont een duidelijk variërend reliëf.
- Het terrein MOWA tussen (stroomopwaarts van) de Waasmunsterbrug en de volkstuintjes staat op de topokaart van 1969 aangeduid als een watervlak, en werd later grotendeels opgevuld met zeer zandig materiaal. Op punt MOWA02 werd er onder het zandig materiaal een dunne zwarte kleilaag aangetroffen, maar deze laag is niet verontreinigd met zware metalen. Op punt MOWA03 werd er enkel puur zand gevonden. Even verder werd er een dunne laag aangetroffen die verontreinigd is met Cd (punt MOW101).

**Kaart 5.4.** Baggergronden ter hoogte van de Waasmunsterbrug (zie bijlage)

- Het terrein BBBH ligt duidelijk hoger dan de omgeving en werd op 2 punten bemonsterd. Hieruit bleek dat de ophoging varieerde tussen 120 en 180 cm. Op punt BBBH02 werd er een laagje aangetroffen op 120 cm diepte (dikte 5 cm) waarin een lichte verontreiniging met Cd gemeten werd. De laag daaronder was verontreinigd met Cd, Cr en Zn.
- BBHA werd op 1 punt bemonsterd. Op dit punt bestond het bodemprofiel uit puur zand, en de ophoging was 2 m dik. Het terrein was echter zeer hobbelig. Het terrein ligt duidelijk hoger dan de omgeving.
- HTRW werd eveneens met puur zand opgehoogd. De ophoging is meer dan 2 m dik. Er werd een afdeklaag aangebracht. Het is zeer waarschijnlijk dat dit zand afkomstig is van zandwinputten in de omgeving. Het zandig materiaal is niet verontreinigd.
- Het staal genomen op het punt ZSTW01 vertoonde verontreiniging met zware metalen, en had een kleitextuur maar voldeed niet aan de bodemeigenschappen van baggergronden.

- Het terrein E17W werd op 3 punten bemonsterd. Naast een aantal zandige lagen waren er ook lagen met een kleitextuur die met Cd en Zn verontreinigd zijn. Bij punt E17W03 bevinden zich op 120 cm diepte 2 met Cd en Zn verontreinigde lagen.
- Het terrein BMW101 ligt ook duidelijk hoger dan de omgeving en werd op 1 punt bemonsterd. Het profiel bestond uit verschillende zandige lagen die een lichte Cd-verontreiniging vertonen.
- Bij BMZ2 bestaat het profiel uit puur zand tot op 160 cm, en eronder een gereduceerde zandlaag met een lichte Cd-verontreiniging. De ophoging bij BMZ1 is ongeveer 60 cm dik en bestaat uit niet-verontreinigde zandleem. Tussen BMZ2 en BMZ1 werd er een punt bemonsterd in het populierenbos. Er werd geen verontreiniging gemeten.
- Het terrein OEL1 bevindt zich midden het uitgebreide en duidelijk opgehoogde industriegebied 'Oever' en staat gekarteerd als opgehoogd op de bodemkaart. Uit de boring bleek dat het terrein ongeveer 170 cm opgehoogd is. In de bovenste laag werd er verontreiniging vastgesteld met Cd.
- Het terrein MBL1 werd op 2 punten bemonsterd. De ophoging varieerde tussen 120 en 180 cm en bestond uit vrij zandig materiaal. In de bovenste laag van het punt MBL102 werd verontreiniging met Cd en Cr gemeten.
- MBL2 werd op 3 punten bemonsterd. Op punt 1 en 2 werd er vrij zandig materiaal aangetroffen (telkens dieper dan 2 m), waarvan het onderste deel sterk gereduceerd was (zwarte kleur) en verontreinigd met Cd. Op punt 3 kon er maar tot op 90 cm diepte geboord worden door de aanwezigheid van stenen. De kleilaag tussen 25 en 60 cm is verontreinigd met Cd en Zn.

**Kaart 5.5.** Baggergronden ter hoogte van het Molsbroek (zie bijlage)

### 5.3.3. Slibproblematiek – verontreiniging van de onderwaterbodem

Er werden 6 punten aan de rand van de Durme bemonsterd waar zich sediment met een hoog kleigehalte afgezet heeft. De gehalten aan zware metalen en de beoordeling volgens de VLAREBO-normen worden in tabel 5.6 en tabel 5.2 gegeven. Het eerste punt (DURM01) situeert zich net stroomafwaarts van de Hammebrug (rechteroever), het andere staal (DURM02) werd genomen aan het bemalingsstation net stroomafwaarts van de E17-brug over de Durme (rechteroever). Punt DURM03 bevindt zich net stroomafwaarts van de opgevulde Durme-arm, punt DURM04 situeert zich net stroomopwaarts van Waasmunsterbrug, en de punten DURM05 en DURM06 werden genomen tussen de E17-brug en de Waasmunsterbrug ter hoogte van het Bulbierbroek. De punten staan ook aangegeven op de bijgevoegde kaarten. Bij punt DURM01 en DURM02 werd enkel de bovenste laag bemonsterd, bij de andere punten werden meerdere lagen bemonsterd. Op punt DURM03 werd het profiel opgesplitst in lagen van 20 cm dikte. Op 80 cm diepte werd er een bleke, niet verontreinigde laag aangetroffen. De Cd-, Cr- en Zn-concentraties stijgen naar de oppervlakte toe en dat wijst in de eerste plaats op het feit dat de meest recente slibafzetting het sterkst verontreinigd is. De diepere lagen voldoen echter niet aan de eigenschappen voor baggergronden, er werd in deze lagen ook geen verontreiniging gemeten. Voor punt DURM03, DURM04 en DURM06 worden de hoogste Cd-, Cr- en Zn-gehalten en de hoogste kleigehalten in de bovenste laag



gemeten. Bij DURM04 werd er tussen 70 en 90 cm diepte een zandlaag aangetroffen. Deze laag werd niet bemonsterd. Nochtans mogen deze gegevens niet veralgemeend worden, want na het afzetten van het slib komen er allerlei bodemprocessen op gang die de gehalten aan zware metalen kunnen wijzigen (Zwolsman et al., 1993). Het is ook niet mogelijk om op basis van de huidige gegevens een uitspraak te doen in welke periode de afzetting van de verschillende lagen plaatsvond. In vergelijking met de resultaten van de KBW kan er besloten worden dat de bodems van de schorren en de verlande stukken een hoger kleigehalte en een slechtere bodemkwaliteit vertonen.

Zowel de Durme als de Zeeschelde stroomopwaarts van de splitsing aan de ringvaart in Melle vormen een sedimentatiezone bij eb (tij-arm), en in dit opzicht is het interessant de sedimentkwaliteit van beide trajecten te vergelijken. In 1999 werden een aantal punten in de Zeeschelde ter hoogte van de sluis van Gentbrugge bemonsterd (Vandecasteele et al., 1999). Bij de slibstalen genomen t.h.v. de sluis werd er een zware Cr-verontreiniging aangetroffen (Tabel 5.7.). Ook Cd en Zn komen in sterk verhoogde concentraties voor. Opvallend is dat hier ook Cu in zeer hoge concentraties voorkomt. Het slib dat hier ligt, is dus zwaar verontreinigd. De VLAREA-normen voor het gebruik van dit slib als bodem bij landberging werden voor Cr, Cd, Zn en Cu overschreden. Uit de resultaten kan er besloten worden dat de slibmassa die zich aan de sluis van Gentbrugge opgestapeld heeft, zeer homogeen van samenstelling is. Alle stalen vertoonden een zeer hoog klei- en organische stofgehalte, en ook de stikstof-,  $\text{CaCO}_3$ - en zwavelgehalten en de pH-waarden lagen zeer hoog. De laatste baggerwerken werden uitgevoerd in 1987. In de veronderstelling dat bij de baggerwerken het oorspronkelijke profiel t.h.v. de sluis van Gentbrugge hersteld werd, dan blijkt ondertussen dat dit profiel volledig terug dichtgeslibd is met sterk verontreinigd slib. Als we de gegevens van tabel 5.6 en 5.7 vergelijken, stellen we vast dat de Cd-gehalten hoger zijn voor de bovenste lagen van de Durme, terwijl Zn-concentraties voor beide vergelijkbaar zijn en Cr, Cu en Pb in hogere concentraties gemeten werden aan de sluis van Gentbrugge.  $\text{CaCO}_3$ - en OS-gehalten voor de Zeeschelde in Gentbrugge zijn gelijkaardig aan de gegevens vermeld door Zwolsman (1999).

**Tabel 5.7.** Analyseresultaten van 10 punten die op 2 dieptes bemonsterd werden in de Zeeschelde ter hoogte van de stuw van Gentbrugge.

|                                                | <b>minimum</b> | <b>maximum</b> |
|------------------------------------------------|----------------|----------------|
| <b>klei (%)</b>                                | 54             | 63             |
| <b>O.S. (%)</b>                                | 8.1            | 15.8           |
| <b><math>\text{CaCO}_3</math> (%)</b>          | 8.0            | 12.1           |
| <b>EC (<math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>)</b> | 755            | 1463           |
| <b>S (g/kg DS)</b>                             | 5.7            | 12.9           |
| <b>Cu (mg/kg DS)</b>                           | 242            | 579            |
| <b>Cd (mg/kg DS)</b>                           | 7              | 11             |
| <b>Zn (mg/kg DS)</b>                           | 1113           | 1451           |
| <b>Pb (mg/kg DS)</b>                           | 149            | 209            |
| <b>Ni (mg/kg DS)</b>                           | 33             | 53             |
| <b>Cr (mg/kg DS)</b>                           | 423            | 1637           |



**Tabel 5.6.** Analyseresultaten voor monsters van de buitendijkse boringen

| monstercode | Cd<br>mg/kg DS | Zn<br>mg/kg DS | Cr<br>mg/kg DS | klei<br>% | leem<br>% | zand<br>% | OS<br>% |
|-------------|----------------|----------------|----------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| DURM03OXY1  | 13.8           | 922            | 263            | 50        | 43        | 7         | 8.4     |
| DURM03OXY2  | 5.8            | 585            | 144            | 32        | 38        | 30        | 3.4     |
| DURM03OXY3  | 4.9            | 511            | 138            | 32        | 39        | 29        | 3.2     |
| DURM03OXY4  | 3.0            | 404            | 82             | 29        | 38        | 33        | 1.5     |
| DURM03MOE1  | 1.0            | 182            | 48             | 24        | 40        | 36        | 3.4     |
| DURM04OXY1  | 18.2           | 1712           | 423            | 53        | 46        | 1         | 8.6     |
| DURM04RED2  | 15.4           | 1438           | 378            | 43        | 47        | 10        | 8.4     |
| DURM05OXY1  | 5.6            | 661            | 146            | 35        | 53        | 12        | 6.7     |
| DURM05RED1  | 10.9           | 839            | 181            | 29        | 42        | 29        | 5.5     |
| DURM06OXY1  | 23.7           | 1588           | 444            | 52        | 47        | 1         | 7.4     |
| DURM06OXY2  | 16.4           | 1576           | 398            | 38        | 57        | 5         | 7.9     |
| DURM06RED1  | 15.7           | 1429           | 292            | 38        | 53        | 9         | 7.0     |

#### 5.3.4. Potentiële bosvegetaties: wilgenvloedbossen

In dit deel wordt er getracht een beeld te geven van de potentiële bosvegetatieontwikkeling bij het vergroten van de invloed van de rivier op de alluviale vlakte. Het VLINA-project 'Ecosysteemvisie Bos' werd op het IBW uitgevoerd en werd in januari 2001 beëindigd. Het project had tot doel een bostypologie te ontwikkelen en die te koppelen aan bodemgroepen en bebossingshistoriek. Deze relaties worden ruimtelijk uitgewerkt voor geheel Vlaanderen. Er werden uiteindelijk 9 bostypen weerhouden die ruimtelijk weergegeven worden op een bostypenkaart voor Vlaanderen (De Keersmaecker et al., 2001). De ruimtelijke verspreiding van de bostypes werd bepaald op basis van een groot aantal vegetatie-opnames in combinatie met gegevens van de bodemkaart. De kartering van het bostype 'wilgenvloedbossen' daarentegen gebeurde op een andere manier. De kartering van de potentiële standplaatsen voor wilgenvloedbossen is gebaseerd op de ruimtelijke verspreiding van de broekbossen. Beide bostypes verkiezen immers standplaatsen met gelijkaardige bodems. Uit de standplaatsen van de broekbossen werden deze standplaatsen weerhouden die gelegen zijn in de alluviale gebieden langs de rivieren waar er vandaag nog steeds zoetwatergetijdenwerking optreedt. Deze alluviale gebieden zouden, indien de huidige dijken verwijderd zouden worden, nog kunnen overstroomd worden waardoor zich op deze standplaatsen een wilgenvloedbos zou kunnen ontwikkelen. Dit werd o.a. ook gedaan voor het gebied langs de Durme tussen Lokeren en de monding. Deze aanpak leidde er toe dat de natte zware kleigronden, die zich meestal aan de rand van de alluviale vlakte bevinden, wilgenvloedbos als potentiële natuurlijke vegetatie (PNV) kregen, terwijl de kleibodems met een drogere bodemvochttrap, die zich dicht bij de Durme bevinden, de PNV 'bosanemoon en slanke sleutelbloem' kregen (Kaart 5.6. in bijlage). Dit is slechts een eerste benadering die enkel rekening houdt met de invloed van het grondwater. Bij een grote impact van de getijden (schorreforming) zullen ook andere verschijnselen optreden, zoals geulvorming, sedimentatie, enz. Bij een meer gedetailleerde aanpak kan er beter uitgegaan worden van de topografie via een digitaal terreinmodel.

5.3.5. Opname van zware metalen door maïs, wilgen en populieren

Op 4 punten op baggergronden waar er in de bovenste laag verontreiniging gemeten werd, werden bladstalen van maïs genomen in de 2<sup>de</sup> helft van augustus 2001 (Tabel 5.8.). Voor punt MBL101 zijn er geen analyseresultaten voor de bovenste bodemlaag. Op 21 punten op niet-verontreinigde locaties werden ook stalen verzameld die als referentie gebruikt zullen worden. In deze stalen werden steeds Cd-concentraties gemeten die lager zijn dan 0.35 mg Cd/kg DS, en Zn-gehalten tussen 15 en 100 mg/kg DS. Op de verontreinigde baggergronden lagen de Cd-concentraties in 4 stalen echter duidelijk hoger, en voor Zn was dit het geval in alle stalen. De stalen VLAS01 en VLAS02 zijn afkomstig van een maïsakker binnen het gecontroleerd overstromingsgebied ‘Uiterdijk’ in de Vlassenbroekse polder, waarvoor er geen bodemanalyses beschikbaar zijn, maar waar er kan aangenomen worden dat er zich ook verontreinigd slib afgezet heeft. Op de verontreinigde locaties werden dus verhoogde gehalten aan Cd en Zn gemeten in vergelijking met referentielocaties, maar de gehalten zijn duidelijk lager dan voor de bladstalen van maïs die in Zwijnaarde op een sterk verontreinigde baggergrond verzameld werden (Vandecasteele et al., 2000a).

**Tabel 5.8.** Cd- en Zn-concentraties (mg/kg DS) in bladstalen van maïs van verschillende locaties (standaarddeviatie tussen haakjes)

| punt        | Cd          | Zn      | soort |
|-------------|-------------|---------|-------|
| KPW101      | 1.16 (0.27) | 108 (7) | maïs  |
| E17W02      | 0.4         | 184     | maïs  |
| OEL101      | 0.1         | 130     | maïs  |
| MBL101      | 1.4         | 275     | maïs  |
| MBL102      | 1.9         | 195     | maïs  |
| VLAS01      | 2.0         | 265     | maïs  |
| VLAS02      | 2.6         | 241     | maïs  |
| referenties | < 0.35      | 15-100  | maïs  |

Op punt DURM06 werden 4 naburige populieren en 1 katwilg (*Salix viminalis*) bemonsterd in de 2<sup>e</sup> helft van augustus (Tabel 5.9.). De variatie van de Cd- en Zn-gehalten in de bladeren van populier was vrij groot. Kleine verschillen in de bodem op korte afstand leiden blijkbaar tot een sterk verschillende respons van populieren. Zowel voor wilg als voor populier werden er afwijkende gehalten in vergelijking met referentiesituaties vastgesteld (Vandecasteele et al., in voorbereiding). Op de andere punten werd er een kraakwilg (*S. fragilis*) en een katwilg bemonsterd. Beide bladstalen vertoonden Cd- en Zn-gehalten binnen het normale bereik voor wilgen.

**Tabel 5.9.** Cd- en Zn-concentraties (mg/kg DS) in bladstalen van verschillende locaties (standaarddeviatie tussen haakjes)

| punt   | Cd         | Zn        | soort     | Norm. Cd | Norm. Zn |
|--------|------------|-----------|-----------|----------|----------|
| DURM06 | 12.3 (7.6) | 803 (274) | populier  | 2.0-4.4  | 60-184   |
| DURM06 | 6.9        | 334       | katwilg   | 0.5-2.9  | 130-340  |
| DURM03 | 1.9        | 235       | katwilg   | 0.5-2.9  | 130-340  |
| DURM04 | 1.6        | 267       | kraakwilg | 0.5-2.9  | 130-340  |

## 5.4. Besluit

1. Er werd vooral bodemverontreiniging met Cd, Cr en Zn gemeten. De hoogste gehalten worden gemeten in de stalen van de verlande delen en de slikken en schorren. De verontreiniging is hoger in de bovenste lagen in vergelijking met diepere lagen. Iets lagere waarden werden gemeten voor de punten KPW101 (maïsakker), PPLW01 (weiland in potpolder I) en voor de opgevulde oude Durmeloop aan de brug van Waasmunster (MPWA). Uit analyses van bladstalen voor wilg, populier en maïs bleek dat Cd en Zn op deze terreinen in verhoogde mate aangetroffen werden en er dus risico's zijn voor de verspreiding van Cd en Zn via bladeren. De concrete gevolgen hiervan zijn echter op korte termijn moeilijk in te schatten. Maïs dient als veevoeder, het strooisel van wilg en populier is de voedselbron voor heel wat bodemfauna.
2. Er werden 28 ha baggergronden in kaart gebracht. Bij de meeste baggergronden werd er bodemverontreiniging gemeten met Cd, Cr en/of Zn. Bij enkele punten ligt de verontreiniging aan de oppervlakte, en bepaalde terreinen met bodemverontreiniging worden gebruikt voor landbouw (maïsteelt). Akkerbouw (in het bijzonder maïsteelt) en bemesting op verontreinigde baggergronden is af te raden. Niettegenstaande de bodemsaneringsnorm voor bestemming bos, natuur en landbouw overschreden wordt, is de verontreiniging van de baggergronden beperkt t.o.v. de baggergronden langs de Leie en de Bovenschelde.
3. Een reeks terreinen (30 ha) werd opgehoogd met (niet-verontreinigd) zand. Deze terreinen liggen duidelijk hoger dan de omgeving. Bij 2 terreinen die duidelijk hoger liggen en opgehoogd werden met zandig materiaal, werd er onder de ophoging een dunne verontreinigde laag gevonden, wat er op kan wijzen dat er op die plaatsen vóór de ophoging al verontreinigd slib (bij overstromingen?) afgezet werd.
4. Bij het inschakelen van de Durme in het Sigmaplan zal het sedimenttransport een belangrijke factor zijn: enerzijds kan een verhoogde dynamiek de sterk verlande situatie van de Durme wijzigen waardoor het verontreinigde sediment dat hier ligt, opnieuw getransporteerd kan worden en elders opnieuw afgezet kan worden. Bij het gebruik van de polders rond de Durme als overstromingsgebied kan verhoogde sedimentatie bij overstromingen leiden tot uitbreiding van de bodemverontreiniging. De bodemverontreiniging moet relatief bekeken worden t.o.v. de slibkwaliteit in het hele estuarium. Niettegenstaande de sterke kwaliteitsverbetering, vertoont het slib nog steeds een verontreiniging met o.a. Cd en Zn. Volgens Verlaan (2000) is er bijna geen afzetting van fluviaal materiaal in de Westerschelde: de toegangskanalen van Zandvliet-Berendrecht vormen een val voor het van bovenaf aangevoerde fluviale zwevende stof,

vanwege de lage turbulentie en de hoge flocculatie: wat bij een verhoogd debiet uit de Durme verwijderd wordt, zal dus waarschijnlijk in of rond de Antwerpse haven gebaggerd moeten worden.

5. De slibafzetting in de potpolders moet geëvalueerd worden t.o.v. de huidige bodemkwaliteit van het gebied en t.o.v. de bodemkwaliteit in de schorren en slikken. Over de bodemkwaliteit zijn ons geen gegevens bekend. Binnen potpolder I bevindt zich een verontreinigde baggergrond. In het scenario 'Ruimte voor het estuarium' (Van den Bergh et al., 1999) wordt gesteld dat er een overstromingsgebied van 733 ha vrijgemaakt kan worden door dijkverplaatsing, dat als sedimentatiegebied en slibvang kan functioneren, en dat de bestaande zandwinputten kunnen dienen als extra slibvang. Als er zich in deze gebieden verontreinigd sediment zal afzetten, kan dit de natuurwaarde en de potenties voor natuurontwikkeling negatief beïnvloeden.

**Tabel 5.2.** Gehalten aan Cd, Cr, Pb en Zn (mg/kg DS) en evaluatie volgens VLAREBO. Dikte en diepte van de bemonsterde laag worden in cm gegeven.

| terrein | punt | staal | Dikte | Diepte | Cd   |  | Cr  |  | Pb  |  | Zn   |  | textuur |
|---------|------|-------|-------|--------|------|--|-----|--|-----|--|------|--|---------|
| KBE1    | 01   | OXY1  | 45    | 0      | 0.9  |  | 40  |  | 66  |  | 143  |  | S       |
|         |      | OXY2  | 25    | 45     | 8.9  |  | 256 |  | 208 |  | 939  |  | E       |
| KBEL    | 01   | OXY1  | 50    | 0      | 7.7  |  | 252 |  | 144 |  | 799  |  | E       |
|         |      | OXY2  | 40    | 50     | 5.0  |  | 87  |  | 151 |  | 539  |  | E       |
|         | 02   | OXY1  | 30    | 0      | 0.0  |  | 33  |  | 11  |  | 60   |  | L       |
|         |      | OXY2  | 20    | 30     | 0.3  |  | 80  |  | 23  |  | 120  |  | E       |
|         |      | OXY3  | 20    | 50     | 8.1  |  | 253 |  | 136 |  | 710  |  | E       |
| KPW1    | 01   | MOE1  | 40    | 0      | 13.6 |  | 312 |  | 278 |  | 1463 |  | E       |
| PPLW    | 01   | MOE1  | 30    | 0      | 12.6 |  | 304 |  | 235 |  | 1331 |  | U       |
|         |      | MOE2  | 20    | 30     | 9.2  |  | 250 |  | 212 |  | 1021 |  | E       |
|         | 02   | MOE1  | 35    | 0      | 0.7  |  | 73  |  | 55  |  | 159  |  | S       |
| MPWA    | 01   | OXY1  | 40    | 0      | 0.6  |  | 20  |  | 19  |  | 109  |  | Z       |
|         | 02   | OXY1  | 60    | 0      | 2.6  |  | 56  |  | 75  |  | 370  |  | L       |
|         |      | RED1  | 100   | 100    | 1.5  |  | 38  |  | 51  |  | 228  |  | L       |
|         | 03   | RED1  | 95    | 105    | 2.5  |  | 62  |  | 57  |  | 352  |  | S       |
|         |      | RED2  | 20    | 200    | 3.0  |  | 71  |  | 95  |  | 412  |  | E       |
|         | 04   | OXY1  | 60    | 0      | 2.0  |  | 64  |  | 49  |  | 307  |  | Z       |
|         |      | RED1  | 60    | 60     | 12.4 |  | 283 |  | 209 |  | 1059 |  | E       |
|         |      | RED2  | 80    | 120    | 2.2  |  | 62  |  | 42  |  | 238  |  | L       |
|         | 05   | OXY1  | 95    | 0      | 0.9  |  | 39  |  | 26  |  | 185  |  | Z       |
|         |      | RED1  | 10    | 95     | 10.1 |  | 436 |  | 128 |  | 971  |  | E       |
|         |      | RED2  | 95    | 105    | 1.1  |  | 52  |  | 25  |  | 151  |  | Z       |
|         | 06   | OXY3  | 60    | 110    | 4.7  |  | 119 |  | 206 |  | 1107 |  | U       |
|         | 07   | OXY1  | 100   | 0      | 1.0  |  | 31  |  | 23  |  | 128  |  | Z       |
|         |      | RED1  | 40    | 100    | 6.6  |  | 142 |  | 122 |  | 620  |  | E       |
|         |      | RED2  | 60    | 140    | 1.5  |  | 42  |  | 32  |  | 163  |  | Z       |
| MPW1    | 02   | MOE1  | 20    | 0      | 0.8  |  | 58  |  | 37  |  | 142  |  | E       |
| MOW1    | 01   | MOE2  | 10    | 15     | 5.1  |  | 117 |  | 166 |  | 644  |  | E       |



| terrein | punt | staal | Dikte | Diepte | Cd    | Cr  | Pb  | Zn   | textuur |
|---------|------|-------|-------|--------|-------|-----|-----|------|---------|
| MOWA    | 02   | RED2  | 30    | 170    | 1.7   | 61  | 75  | 356  | E       |
| NOHA    | 02   | MOE1  | 90    | 60     | < 0.5 | 25  | 23  | 49   | L       |
|         |      | MOE2  | 50    | 150    | < 0.5 | 20  | 11  | 32   | S       |
|         | 03   | MOE1  | 60    | 140    | < 0,5 | 11  | 23  | 63   | Z       |
|         | 09   | RED1  | 60    | 80     | 1.5   | 30  | 49  | 297  | Z       |
|         |      | MOE2  | 50    | 150    | 1.1   | 32  | 52  | 277  | S       |
|         | 10   | MOE1  | 40    | 60     | 1.7   | 38  | 65  | 347  | E       |
|         |      | MOE2  | 100   | 100    | 0.3   | 16  | 13  | 83   | E       |
| PAWA    | 01   | RED1  | 80    | 80     | < 0,5 | 21  | 22  | 111  | Z       |
| ZUH1    | 01   | OXY3  | 20    | 80     | < 0,5 | 19  | 21  | 18   | S       |
|         |      | OXY4  | 35    | 100    | < 0,5 | 13  | 15  | 22   | S       |
| BBBH    | 02   | RED1  | 10    | 170    | 1.9   | 52  | 72  | 327  | L       |
|         | 01   | MOE1  | 5     | 120    | 5.4   | 120 | 153 | 717  | E       |
|         |      | MOE2  | 20    | 125    | 5.1   | 150 | 224 | 1008 | U       |
| ZSTW    | 01   | MOE1  | 30    | 0      | 3.7   | 90  | 103 | 503  | E       |
| HTRW    | 01   | OXY1  | 150   | 50     | < 0.5 | 33  | 2   | 27   | S       |
| BMW1    | 01   | OXY1  | 120   | 0      | 2.7   | 81  | 64  | 439  | S       |
|         |      | RED1  | 40    | 120    | 1.8   | 54  | 38  | 293  | S       |
|         |      | RED2  | 40    | 160    | 2.3   | 71  | 46  | 369  | P       |
| BMZ1    | 01   | OXY1  | 30    | 0      | 2.2   | 75  | 82  | 433  | L       |
| BMZ2    | 01   | RED1  | 20    | 160    | 1.5   | 29  | 56  | 326  | Z       |
| E17W    | 01   | OXY1  | 60    | 0      | 1.1   | 34  | 29  | 191  | Z       |
|         |      | AFW1  | 10    | 60     | 4.1   | 88  | 83  | 1310 | E       |
|         |      | RED1  | 80    | 70     | 1.4   | 32  | 35  | 216  | S       |
|         |      | RED2  | 50    | 150    | 3.2   | 83  | 68  | 417  | E       |
|         | 02   | OXY1  | 60    | 0      | 5.1   | 135 | 123 | 1370 | E       |
|         |      | OXY2  | 20    | 60     | 3.1   | 76  | 68  | 384  | E       |
|         | 03   | OXY1  | 120   | 0      | 1.9   | 93  | 78  | 483  | L       |
|         |      | RED1  | 20    | 120    | 3.6   | 83  | 77  | 448  | E       |
|         |      | MOE1  | 20    | 140    | 3.1   | 101 | 145 | 666  | E       |



| terrein                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | punt | staal | Dikte | Diepte | Cd   | Cr  | Pb  | Zn   | textuur |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------|--------|------|-----|-----|------|---------|
| BMZ3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 01   | MOE1  | 15    | 0      | 2.3  | 101 | 146 | 663  | E       |
| MBL1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 01   | MOE2  | 25    | 150    | 1.5  | 46  | 101 | 336  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 02   | OXY1  | 50    | 0      | 7.5  | 180 | 187 | 920  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | RED1  | 30    | 150    | 1.8  | 72  | 112 | 619  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | MOE1  | 20    | 180    | 2.2  | 90  | 119 | 647  | E       |
| MBL2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 01   | OXY1  | 140   | 0      | 1.9  | 39  | 60  | 335  | S       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | RED1  | 60    | 140    | 2.5  | 48  | 71  | 389  | S       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 02   | OXY1  | 100   | 0      | 1.3  | 50  | 64  | 349  | S       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | RED1  | 100   | 100    | 3.2  | 65  | 96  | 491  | S       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 03   | OXY1  | 25    | 0      | 2.4  | 60  | 76  | 384  | S       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | OXY2  | 35    | 25     | 4.4  | 122 | 137 | 635  | E       |
| OEL1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 01   | OXY1  | 50    | 0      | 3.4  | 81  | 103 | 558  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | OXY2  | 50    | 50     | 1.0  | 62  | 93  | 513  | L       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | MOE1  | 30    | 170    | 3.0  | 91  | 96  | 587  | L       |
| DURME                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 01   | OXY1  | 40    | 0      | 7.8  | 184 | 154 | 833  | U       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 02   | OXY1  | 40    | 0      | 4.8  | 121 | 112 | 666  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 03   | OXY1  | 20    | 0      | 13.8 | 263 | 202 | 922  | U       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | OXY2  | 20    | 20     | 5.8  | 144 | 141 | 585  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | OXY3  | 20    | 40     | 4.9  | 138 | 118 | 511  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | OXY4  | 20    | 60     | 3.0  | 82  | 102 | 404  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | MOE1  | 40    | 80     | 1.0  | 48  | 34  | 182  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 04   | OXY1  | 70    | 0      | 18.2 | 423 | 298 | 1712 | U       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | RED2  | 30    | 70     | 15.4 | 378 | 261 | 1438 | U       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 05   | OXY1  | 50    | 0      | 5.6  | 146 | 118 | 661  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | RED1  | 30    | 50     | 10.9 | 181 | 143 | 839  | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 06   | OXY1  | 50    | 0      | 23.7 | 444 | 261 | 1588 | U       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | OXY2  | 50    | 50     | 16.4 | 398 | 296 | 1576 | E       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      | RED1  | 50    | 100    | 15.7 | 292 | 252 | 1429 | U       |
| <div> <div></div> gemeten concentratie &lt; achtergrondswaarde<br/> <div></div> gemeten concentratie &gt; achtergrondswaarde<br/> <div></div> gemeten concentratie &gt; verontreinigingscriterium<br/> <div></div> gemeten concentratie &gt; norm landbouw, bos en natuur (2)<br/> <div></div> gemeten concentratie &gt; norm bestemming woongebied (3) </div> |      |       |       |        |      |     |     |      |         |

**Tabel 5.4.** Bodemeigenschappen van de bemonsterde bodemhorizonten.

| terrein | punt | staal | klei<br>% | leem<br>% | zand<br>% | P<br>g/kg DS | S<br>g/kg DS | % N  | CaCO3<br>% | OS<br>% | pH-H2O | EC<br>µS/cm |
|---------|------|-------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|------|------------|---------|--------|-------------|
| NOHA    | 03   | MOE1  | 5         | 2         | 93        | 0.5          | 0.6          | 0.12 | 1.8        | 2.0     |        |             |
|         | 09   | RED1  | 8         | 6         | 86        | 0.7          | 0.7          | 0.06 | 6.3        | 1.5     |        |             |
|         |      | MOE2  | 13        | 14        | 73        | 0.7          | 1.8          | 2.24 | 6.6        | 8.2     |        |             |
|         | 10   | MOE1  | 31        | 27        | 42        | 1.4          | 3.1          | 0.72 | 4.2        | 14.6    |        |             |
|         |      | MOE2  | 25        | 28        | 47        | 0.8          | 4.9          | 0.92 | 2.9        | 19.4    |        |             |
| ZUH1    | 01   | OXY3  | 11        | 12        | 77        | 0.6          | 0.4          | 0.16 | 0.2        | 2.9     |        |             |
|         |      | OXY4  | 13        | 15        | 72        | 0.8          | 0.7          | 0.22 | 1.0        | 4.8     |        |             |
| KBE1    | 01   | OXY1  | 11        | 17        | 72        | 0.9          | 0.3          | 0.18 | 1.3        | 2.7     |        |             |
|         |      | OXY2  | 33        | 44        | 23        | 2.7          | 1.0          | 0.32 | 4.7        | 6.6     |        |             |
| KBEL    | 01   | OXY1  | 22        | 32        | 46        | 2.0          | 0.9          | 0.21 | 6.6        | 4.6     |        |             |
|         |      | OXY2  | 19        | 27        | 54        | 1.2          | 0.6          | 0.13 |            | 2.8     |        |             |
|         | 02   | OXY1  | 13        | 50        | 37        | 0.7          | 0.5          | 0.22 | 4.0        | 0.8     |        |             |
|         |      | OXY2  | 40        | 57        | 3         | 0.9          | 0.9          | 0.39 | 5.6        | 7.0     |        |             |
|         |      | OXY3  | 19        | 34        | 47        | 1.7          | 0.6          | 0.19 | 6.3        | 4.0     |        |             |
| PPLW    | 01   | MOE1  | 36        | 55        | 9         | 3.7          | 2.3          | 0.56 | 7.4        | 11.3    | 7.4    | 458         |
|         |      | MOE2  | 29        | 54        | 17        | 2.4          | 1.4          | 0.36 | 9.5        | 7.1     | 7.7    | 288         |
|         | 02   | MOE1  | 13        | 19        | 68        | 0.8          | 0.5          | 0.26 | 8.8        | 4.7     | 7.0    | 114         |
| PAWA    | 01   | RED1  | 6         | 3         | 91        | 0.2          | 0.6          | 0.03 | 3.0        | 0.5     |        |             |
| KPW1    | 01   | MOE1  | 32        | 53        | 15        | 3.0          | 1.3          | 0.35 | 6.1        | 7.5     |        |             |
| MPWA    | 01   | OXY1  | 5         | 11        | 84        | 1.1          | 0.3          | 0.12 | 0.6        | 1.8     | 7.0    | 27          |
|         | 02   | OXY1  | 14        | 24        | 62        | 0.8          | 0.8          | 0.15 | 4.8        | 3.2     | 7.9    | 320         |
|         |      | RED1  | 17        | 21        | 62        | 0.6          | 1.3          | 0.13 | 4.8        | 2.6     | 7.7    | 254         |
|         | 03   | RED1  | 10        | 10        | 80        | 0.7          | 2.9          | 0.12 | 5.9        | 2.7     | 7.8    | 528         |
|         |      | RED2  | 22        | 35        | 43        | 1.0          | 3.4          | 0.18 | 6.1        | 3.4     | 8.0    | 143         |
|         | 04   | OXY1  | 7         | 7         | 86        | 0.9          | 0.7          | 0.08 | 6.8        | 2.4     | 7.6    | 749         |
|         |      | RED1  | 34        | 31        | 35        | 2.1          | 13.9         | 0.30 | 7.8        | 7.8     | 7.7    | 583         |
|         |      | RED2  | 17        | 39        | 44        | 0.7          | 3.4          | 0.21 | 3.6        | 4.7     | 7.7    | 560         |
|         | 05   | OXY1  | 7         | 2         | 91        | 0.5          | 0.3          | 0.04 | 4.3        | 0.5     | 8.2    | 80          |
|         |      | RED1  | 22        | 21        | 57        | 2.0          | 8.0          | 0.22 | 7.5        | 5.0     | 8.0    | 205         |
|         |      | RED2  | 8         | 7         | 85        | 0.4          | 1.2          | 0.07 | 2.5        | 0.9     | 8.2    | 125         |

| terrein | punt | staal | klei<br>% | leem<br>% | zand<br>% | P<br>g/kg DS | S<br>g/kg DS | % N  | CaCO3<br>% | OS<br>% | pH-H2O | EC<br>µS/cm |
|---------|------|-------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|------|------------|---------|--------|-------------|
|         | 06   | OXY3  | 38        | 55        | 7         | 2.1          | 1.2          | 0.27 | 7.8        | 5.7     |        |             |
|         | 07   | OXY1  | 8         | 8         | 84        | 0.4          | 0.3          | 0.06 | 1.4        | 1.0     | 7.9    | 143         |
|         |      | RED1  | 19        | 31        | 50        | 1.5          | 4.8          | 0.17 | 7.7        | 4.1     | 7.6    | 337         |
|         |      | RED2  | 7         | 4         | 89        | 0.4          | 1.4          | 0.10 | 2.0        | 2.3     | 7.7    | 224         |
| MPW1    | 02   | MOE1  | 25        | 51        | 24        | 1.4          | 0.8          | 0.36 | 3.4        | 5.8     | 7.6    | 191         |
| MOWA    | 02   | RED2  | 24        | 36        | 40        | 0.9          | 1.3          | 0.25 | 7.2        | 4.6     | 7.7    | 275         |
| MOW1    | 01   | MOE2  | 32        | 41        | 27        | 1.2          | 1.5          | 0.49 | 4.8        | 8.3     | 7.6    | 383         |
| BBBH    | 01   | MOE1  | 29        | 35        | 36        | 1.4          | 6.9          |      |            | 6.3     |        |             |
|         |      | MOE2  | 37        | 50        | 13        | 1.5          | 2.7          | 0.38 | 6.1        | 7.7     |        |             |
|         | 02   | RED1  | 15        | 19        | 66        | 0.9          | 1.8          |      |            | 2.7     |        |             |
| E17W    | 01   | AFW1  | 23        | 29        | 48        | 1.6          | 4.3          |      |            | 8.8     |        |             |
|         |      | OXY1  | 7         | 10        | 83        | 1.2          | 0.3          |      |            | 0.8     |        |             |
|         |      | RED1  | 11        | 16        | 73        | 1.0          | 1.3          |      |            | 1.7     |        |             |
|         |      | RED2  | 24        | 26        | 50        | 1.8          | 2.1          |      |            | 3.4     |        |             |
|         | 02   | OXY1  | 34        | 52        | 14        | 3.0          | 1.2          |      |            | 7.7     |        |             |
|         |      | OXY2  | 21        | 29        | 50        | 1.7          | 1.6          |      |            | 3.1     |        |             |
|         | 03   | OXY1  | 13        | 22        | 65        | 1.1          | 1.1          | 0.15 | 9.6        | 4.0     |        |             |
|         |      | RED1  | 27        | 36        | 37        | 1.5          | 2.3          |      |            | 5.4     |        |             |
|         |      | MOE1  | 22        | 40        | 38        | 1.2          | 3.1          | 0.27 | 6.3        | 5.7     |        |             |
| BMW1    | 01   | OXY1  | 9         | 17        | 74        | 1.1          | 0.7          |      |            | 1.0     |        |             |
|         |      | RED1  | 10        | 19        | 71        | 1.2          | 0.9          |      |            | 2.1     |        |             |
|         |      | RED2  | 11        | 22        | 67        | 1.5          | 1.5          |      |            | 2.9     |        |             |
| BMZ1    | 01   | OXY1  | 17        | 26        | 57        | 2.1          | 0.8          |      |            | 4.2     |        |             |
| BMZ2    | 01   | RED1  | 8         | 9         | 83        | 0.7          | 1.4          |      |            | 1.3     |        |             |
| BMZ3    | 01   | MOE1  | 23        | 36        | 41        | 0.9          | 0.8          | 0.38 | 3.8        | 7.7     |        |             |
| OEL1    | 01   | OXY1  | 18        | 36        | 46        | 1.8          | 1.0          |      |            | 4.5     |        |             |
|         |      | OXY2  | 15        | 19        | 66        | 1.0          | 0.5          | 0.23 | 8.4        | 3.7     |        |             |
|         |      | MOE1  | 13        | 22        | 65        | 1.2          | 1.3          |      |            | 3.4     |        |             |

| terrein | punt | staal | klei | leem | zand | P       | S       | % N  | CaCO3 | OS   | pH-H2O | EC    |
|---------|------|-------|------|------|------|---------|---------|------|-------|------|--------|-------|
|         |      |       | %    | %    | %    | g/kg DS | g/kg DS | %    | %     | %    |        | µS/cm |
| MBL1    | 01   | MOE2  | 18   | 20   | 62   | 0.9     | 3.6     |      |       | 8.5  |        |       |
|         | 02   | MOE1  | 27   | 42   | 31   | 1.1     | 2.1     |      |       | 5.6  |        |       |
|         |      | OXY1  | 26   | 43   | 31   | 2.6     | 1.9     | 0.33 | 9.5   | 8.3  |        |       |
|         |      | RED1  | 19   | 31   | 50   | 1.2     | 2.5     |      |       | 3.7  |        |       |
| MBL2    | 01   | OXY1  | 8    | 13   | 79   | 1.0     | 0.5     |      |       | 0.7  |        |       |
|         |      | RED1  | 9    | 16   | 75   | 1.0     | 1.9     |      |       | 1.5  |        |       |
|         | 02   | OXY1  | 9    | 16   | 75   | 0.9     | 0.6     | 0.07 | 10.6  | 1.4  |        |       |
|         |      | RED1  | 12   | 18   | 70   | 1.1     | 2.6     |      |       | 2.3  |        |       |
|         | 03   | OXY1  | 9    | 12   | 79   | 1.5     | 0.6     |      |       | 3.0  |        |       |
|         |      | OXY2  | 21   | 34   | 45   | 1.6     | 0.8     |      |       | 2.9  |        |       |
| HTRW    | 01   | OXY1  | 10   | 4    | 86   | 0.3     | 0.1     | 0.76 | 1.7   | 0.1  | 7.8    | 64    |
| ZSTW    | 01   | MOE1  | 21   | 27   | 52   | 1.5     | 0.8     | 0.28 | 5.5   | 5.2  | 7.8    | 204   |
| DURME   | 01   | OXY1  | 44   | 54   | 2    | 4.9     | 3.4     | 0.55 | 8.3   | 11.9 |        |       |
| DURME   | 02   | OXY1  | 34   | 59   | 7    | 4.6     | 2.8     |      |       | 7.7  |        |       |
| DURME   | 03   | OXY1  | 50   | 43   | 7    | 4.0     | 3.4     | 0.40 | 7.0   | 8.4  | 7.9    | 171   |
|         |      | OXY2  | 32   | 38   | 30   | 1.7     | 1.3     | 0.20 | 4.8   | 3.4  | 7.8    | 228   |
|         |      | OXY3  | 32   | 39   | 29   | 1.4     | 1.0     | 0.26 | 5.5   | 3.2  | 7.9    | 228   |
|         |      | OXY4  | 29   | 38   | 33   | 1.1     | 0.7     | 0.22 | 6.3   | 3.4  | 8.1    | 167   |
|         |      | MOE1  | 24   | 40   | 36   | 0.7     | 0.3     | 0.13 | 6.4   | 1.5  | 7.5    | 97    |
| DURME   | 04   | OXY1  | 53   | 46   | 1    | 5.4     | 3.9     | 0.41 | 7.2   | 8.6  | 7.5    | 288   |
|         |      | RED2  | 43   | 47   | 10   | 3.3     | 8.2     | 1.71 | 6.8   | 8.4  | 7.4    | 716   |
| DURME   | 05   | OXY1  | 35   | 53   | 12   | 3.6     | 2.9     | 0.38 | 8.2   | 6.7  | 7.5    | 396   |
|         |      | RED1  | 29   | 42   | 29   | 3.5     | 4.5     | 0.25 | 35.7  | 5.5  | 7.5    | 543   |
| DURME   | 06   | OXY1  | 52   | 47   | 1    | 6.3     | 3.6     | 0.51 | 5.7   | 7.4  | 7.5    | 290   |
|         |      | OXY2  | 38   | 57   | 5    | 2.8     | 3.1     | 0.39 | 7.2   | 7.9  | 7.6    | 303   |
|         |      | RED1  | 38   | 53   | 9    | 3.0     | 9.1     | 0.34 | 8.0   | 7.0  | 7.4    | 606   |



## Samenvatting

In **hoofdstuk 1** werd er een methode opgesteld voor de identificatie van baggergronden in de alluviale vlakten van de Leie, de Boven- en de Zeeschelde. Baggergronden werden herkend op basis van terreinwaarnemingen, vergelijkende textuuranalyses en chemische analyses. De criteria die opgesteld werden, zijn gebaseerd op een vergelijking tussen referentiegegevens van 102 aërobe bodemstalen van gekende baggergronden en 104 bodemstalen van intacte alluviale bodems in het studiegebied. Een vergelijkende textuuranalyse met laserdiffractie tussen de A- en de C-horizont is bruikbaar om opgehoogde terreinen te herkennen. De chemische bodemkarakteristieken die meest bruikbaar zijn om baggergronden te identificeren zijn  $\text{CaCO}_3$ , zwavel (S), organische koolstof (OC) en fosfor (P), elektrische geleidbaarheid (EC), en de C/P- en C/S-verhouding. De afgeleide criteria om de aard van gronden te beoordelen zijn specifiek voor het studiegebied, maar de voorgestelde aanpak kan een bruikbaar voorbeeld zijn om criteria te bepalen voor vergelijkbaar bodemonderzoek. Baggergronden worden gekarakteriseerd door hogere klei- en OC-gehalten, hogere nutriëntgehalten en duidelijk hogere  $\text{CaCO}_3$ - en EC-waarden dan de bodems van de alluviale vlakten. De concentraties aan zware metalen zijn veel hoger in de baggergronden, waarbij de concentraties voor Cd, Cr en Zn meer dan 10 keer hoger liggen dan in de alluviale vlakke.

Om de waterafvoer te verbeteren en om scheepvaart mogelijk te maken, zijn op regelmatige tijdstippen baggerwerken in de Schelde noodzakelijk. De gebaggerde sedimenten werden vroeger gestort op laaggelegen percelen in de alluviale vlaktes. In **hoofdstuk 2** worden de resultaten voorgesteld van de inventarisatie van de baggergronden langs de Zeeschelde tussen Berlare en Gent, waarbij zowel de geografische impact als de verontreinigingsgraad van de voormalige baggerslibstorten in kaart gebracht werd. Niet minder dan 96 % van de 120 ha baggergronden zijn verontreinigd met minstens één van de zware metalen Cd, Cr, Zn of Pb. Concentraties aan Cd, Cr en Zn zijn in 10% van de gevallen hoger dan respectievelijk 14, 1400 en 2200 mg/kg DS. Cu- en Ni-concentraties daarentegen vormden op geen enkele baggergrond een probleem. De verontreiniging van de baggergronden langs de Zeeschelde is echter beperkter dan voor de Bovenschelde. Trends in de metaalconcentraties in functie van de locatie of het tijdstip van de aanleg van de baggergrond worden besproken. De aangetroffen graad van verontreiniging moet aanzetten tot voorzichtigheid aangezien baggergronden in het studiegebied gebruikt worden voor landbouw, bosbouw en natuurontwikkeling.



In **hoofdstuk 3** worden de resultaten beschreven van een verkennende studie uitgevoerd naar de opbouw en de bodemverontreiniging van het oude slibstortterrein 'Kalverbos'. De voorgeschiedenis van het terrein werd onderzocht aan de hand van kaartmateriaal en archiefgegevens. Er werden bodemstaalnames uitgevoerd om de bodemopbouw en de verontreiniging te beschrijven. Op de baggergrond 'Kalverbos' werd op verschillende tijdstippen gebaggerd materiaal van sterk verschillende oorsprong gestort. Reeds vóór 1962 werden oude kleiputten in het meest stroomopwaarts gelegen deel opgevuld met baggerslib. Tussen 1969 en 1979 werd het terrein opgespoten met materiaal uit de Ringvaart en de aansluitingen van de Ringvaart op de Boven- en Zeeschelde. Het gebaggerde materiaal bestond enerzijds uit puur zandig materiaal, en anderzijds uit verontreinigd slib met een hoog klei- en organisch materiaalgehalte. Het centrale deel van het terrein werd daarna terug afgegraven voor zandwinning. De onderste lagen van de 2 andere bekkens van het terrein, bestaan uit matig verontreinigd baggermateriaal met een variërende textuur. Boven deze laag werd op de meeste punten een niet-verontreinigde, meestal zandige laag aangetroffen. De aard van het materiaal kan wijzen op infrastructuurwerken. Daarboven werd op alle punten een dunne (30 - 70 cm), zwarte, sterk verontreinigde sliblaag aangetroffen die ook 'fysisch' verontreinigd is door de aanwezigheid van glasscherven, scheermesjes, ... Op alle punten werden in de bovenste bodemhorizont de wettelijke bodemnormen voor natuurgebieden overschreden. Uit de analyses van bladstalen van Italiaans raaigras werd besloten dat de beschikbaarheid van de zware metalen voor de grassen zeer laag is. Vooraleer natuurontwikkeling op dit terrein kan plaatsvinden, moeten duidelijk onderbouwde objectieven naar voor geschoven worden, en moet de haalbaarheid van deze objectieven onderzocht worden.

In **hoofdstuk 4** worden de resultaten toegelicht van boringen uitgevoerd op verlande meanders die ontstaan zijn na bochtafsnijdingen van de Schelde eind 19<sup>e</sup> eeuw. Beide meanders geven interessante informatie over de verontreiniging van het Schelde-sediment in de periode vóór WOII. De afgesneden meander in Appels was in 1910 al helemaal verland. Het meest stroomopwaartse deel werd echter bijkomend opgehoogd met zand, en dit deel werd verder niet bestudeerd. In het overige deel werden boringen tot 2 m diepte uitgevoerd. De gemeten gehalten aan zware metalen waren relatief laag en vrij homogeen over het terrein, maar de gehalten waren toch duidelijk hoger dan de achtergrondswaarden. Het verontreinigings-criterium voor Cu, Ni en Pb werd in geen enkel staal overschreden, en het criterium werd slechts overschreden in 2, 4 en 5 stalen voor Cd, Zn en Cr. Op 1 punt werden hogere gehalten aan Cd en Cr gemeten. De meander in de Kalkense meersen in Wetteren en Schellebelle is pas na 1910 volledig verland. Uit de boringen uitgevoerd op de verlande meander bleek dat de westelijke helft helemaal toegeslibd en verland is, terwijl de oostelijke helft opgevuld werd met puur bodemmateriaal. Onder deze pure laag kon de oorspronkelijke sedimentlaag bemonsterd worden. De gemeten gehalten aan zware metalen waren duidelijk verhoogd voor Cr, zeker in vergelijking met de gehalten vastgesteld op de verlande meander in Appels.

In **hoofdstuk 5** worden de resultaten besproken van een verkennende studie naar de aanwezigheid van baggergronden langs de Durme. De geografische omvang van de baggergronden is beperkt: er werden 28 ha baggergronden in kaart gebracht. Bij de meeste baggergronden werd er bodemverontreiniging gemeten met Cd, Cr en/of Zn. De gemeten verontreiniging in de stalen van de verlande delen en de slikken en schorren is hoger dan in de baggergronden. De sedimentverontreiniging van de verlande delen is hoger in de bovenste bodemlagen in vergelijking met diepere lagen. Uit analyses van bladstalen voor wilg, populier en maïs bleek dat Cd en Zn op deze terreinen in verhoogde mate in de bladeren aangetroffen werden en er dus risico's zijn voor de verspreiding van Cd en Zn via bladeren. De concrete gevolgen hiervan zijn echter op korte termijn moeilijk in te schatten. Een reeks terreinen (30 ha) werd opgehoogd met (niet-verontreinigd) zand. Deze terreinen liggen duidelijk hoger dan de omgeving. Bij 2 terreinen die duidelijk hoger liggen en opgehoogd werden met zandig materiaal, werd er onder de ophoging een dunne verontreinigde laag gevonden, wat er op kan wijzen dat er op die plaatsen vóór de ophoging bij overstromingen al verontreinigd slib afgezet werd. Bij het inschakelen van de Durme in het Sigmaplan zal het sedimenttransport een belangrijke factor zijn: enerzijds kan een verhoogde dynamiek de sterk verlande situatie van de Durme wijzigen waardoor het verontreinigde sediment dat hier ligt, opnieuw getransporteerd kan worden en elders opnieuw afgezet kan worden. Bij het gebruik van de polders rond de Durme als overstromingsgebied kan verhoogde sedimentatie bij overstromingen leiden tot uitbreiding van de bodemverontreiniging.

**Verder onderzoek** langs de Zeeschelde moet zich toespitsen op de alluviale vlakte en in het bijzonder op de ingerichte overstromingsgebieden langs de Zeeschelde, aangezien in hoofdstuk 2 besloten werd dat er zeer waarschijnlijk geen baggergronden tussen Dendermonde en Antwerpen voorkomen. Zowel de bodemkaart als de archieven leverden geen concrete gegevens op over de aanwezigheid van baggergronden in het deel stroomafwaarts van Berlare. Daarentegen kunnen de gecontroleerde overstromingsgebieden een belangrijke rol spelen bij de sedimentatie. De wenselijkheid van bijkomend onderzoek voor deze gebieden wordt bevestigd door resultaten in dit rapport. Verkennende bladstalen van maïs afkomstig van een akker binnen het gecontroleerd overstromingsgebied 'Uiterdijk' in de Vlassenbroekse polder vertoonden verhoogde gehalten aan Cd en Zn (Hoofdstuk 5). Twee bodemstalen uit de omgeving van Potpolder I ter hoogte van de 'Paardenweide' in Wichelen vertoonden een lichte verontreiniging met zware metalen (zie kaartenbijlage).



## Summary

In **chapter 1**, an approach was developed to identify dredged sediment-derived surface soils in the alluvial plains of the Upper Scheldt, the Sea Scheldt and the Leie river. Dredged sediment-derived soils were identified based on field observations, comparative granulometric analyses and chemical analyses. Criteria were developed, based on a comparison between reference data from 102 aerobic soil samples of areas known to be affected by dredged sediment disposal and 104 samples from undisturbed alluvial soils along the studied rivers. A comparative grain size analysis with optical laser diffractometry between the A and C horizon proved useful for the identification of levelled-up sites. The chemical soil characteristics that were most determining in identifying dredged sediment-derived soils were  $\text{CaCO}_3$ , sulphur (S), organic carbon (OC) and phosphorus (P) contents, electrical conductivity (EC), and the C/P and C/S ratio. Criteria for concluding about the origin of an investigated soil were specific for the studied area, but the approach presented may provide useful guidelines for developing criteria valid for different regions.

For several decades, periodical dredging of river sediments has been necessary to allow for shipping traffic on the river Scheldt. Sediments were disposed along the shores in the alluvial plain without concern for the potential presence of contaminants. The aim of the study presented in **chapter 2** was to survey the alluvial plains of the Sea Scheldt river in Belgium for the presence of old dredged sediment landfills, and to appraise the heavy metal contamination at these sites. Up to 96% of the areas that were affected by dredged sediment disposal (approx. 120 ha) were found to be polluted by at least one of the metals Cd, Cr, Zn or Pb. Concentrations of Cd, Cr and Zn were, in 10% of the cases, higher than 14, 1400 and 2200 mg/kg DM, respectively. Cu and Ni concentrations were of no environmental concern on any site. The pollution in the Sea Scheldt alluvial plain nevertheless is lower than for the Upper Scheldt alluvial plain. Trends in metal concentrations as a function of location and time were explored and discussed. The pollution levels encountered warrant for caution as most of the soils affected by historical dredged sediment disposal are currently in use for agriculture, nature rehabilitation or forestry.

An exploratory research on landfill history and soil pollution of a former dredged sediment landfill along the Sea Scheldt in Heusden was executed and reported in **chapter 3**. The landfill site is aimed to be used for nature rehabilitation. Both archive files and topographical maps were used for a detailed description of the steps in the construction of the landfill. Soil samples were taken for soil profile description and pollution assessment. The landfill site was used for disposal of dredged materials in different periods. Before 1962, an old clay reclamation pit in the most upstream part was filled with sediments. Between 1969 and 1979 the site was landfilled with dredged sediments from the Ring Canal, and the canal junction on the Upper and Sea Scheldt. The dredged materials were partly pure sandy and partly very clayey with a high organic matter content. The central part of the landfill was used

afterwards for sand reclamation. The deepest layers for the two outer bassins of the landfill consist of dredged sediments with varying characteristics. Above these layers a mostly sandy, uncontaminated layer was found. However the thin soil layer (30 - 70 cm) at the surface was strongly polluted with heavy metals, but even a physical pollution with glass, razor blades and more rubbish was found. On all sampled points of the surface layer the measured heavy metal concentrations were above the soil sanitation values for nature, forestry and agriculture. From plant analyses it was concluded that the bio-availability for Italian ryegrass was low. Nature rehabilitation can only be an objective after profound deliberation of the possibilities and the risks of the current situation.

In **chapter 4**, the results of two silted-up meanders along the Sea Scheldt sampled in detail were explored.

An explorative sediment-derived soil survey was initiated along the alluvial plains of the river Durme, a tributary of the Scheldt river. Results were described in **chapter 5**. The geographical impact of the dredged sediment-derived soils was relatively low: only 28 ha were mapped. However, from an environmental point of view, a problem was encountered as soil pollution with Cd, Cr and Zn was measured. Relative to the dredged sediment-derived soils, pollution at the tidal marshes and the silted-up parts was higher. For the latter, heavy metal concentrations for the soil layers close to the surface were higher than for the deeper horizons. Foliar analyses from willows, poplars and maize grown at polluted sediment-derived soils and tidal marshes or sedimentation zones revealed elevated Cd and Zn concentrations relative to unpolluted situations. Risk assessment for dispersal of heavy metals by foliar uptake on a short term however is difficult. Another 30 ha were levelled up with non-polluted sandy material. These sites are visually distinctive in the alluvial landscape. For some sites a thin polluted soil layer was found underneath the coarse-textured landfilled material. Probably it is sedimentary material from former floodings. Currently, the river Durme is silted up to a large extent. The sediment transport in the Durme river will be an important issue in the incorporation of the Durme alluvial plain in the Sigma-plan to prevent cities and villages in the Scheldt area for future floodings. When river dynamics are increasing, the silted-up situation will change and resuspension of the polluted sediments can cause problems on other locations. Using the Durme alluvial plains as a flood plain can cause higher sedimentation rates and new soil pollution.

## Referenties

- AWZ, 1992. Model 505-1. Inventaris Baggerstortterreinen 1990-2010. Borgerhout, Waterbouwkundig Laboratorium.
- Baeyens, W., 1998. Evolution of trace metal concentrations in the Scheldt estuary (1978-1995). A comparison with estuarine and ocean levels. *Hydrobiologia* 366, 157-167.
- Bartel-Ortiz, L.M., David, M.B., 1998. Sulfur constituents and transformations in upland and floodplain forest soils. *Can. J. For. Res.* 18, 1006-1112.
- Bartels, U., 2000. 4th Needle/Leaf Interlaboratory Test 1999/2000 ICP-Forests. Pre-Report (April 10th, 2000). North Rhine-Westfalia State Environment Agency, Essen.
- Belgisch Staatsblad, 1987. Koninklijk Besluit betreffende de handel en het gebruik van stoffen bestemd voor dierlijke voeding. 10 september 1987.
- Beyer, W.N., Stafford, C., 1993. Survey and evaluation of contaminants in earthworms and in soils derived from dredged material at confined disposal facilities in the great lakes region. *Environmental monitoring and assessment* 24 (2), 151-165.
- Bordas, F., A. Bourg., 2001. Effect of solid/liquid ratio on the remobilization of Cu, Pb, Cd and Zn from polluted river sediment. *Water, Air, and Soil Pollution* 128, 391-400.
- Bremner, J.M., Jenkinson, D.S., 1960. Determination of organic carbon in Soil. 1. Oxidation by dichromate of organic matter in soil and plant materials. *Journal of Soil Sciences* 11, 394-402.
- Buurman, P., Pape, T., Muggler, C., 1997. Laser grain-size determination in soil genetic studies. 1. Practical problems. *Soil Science* 162 (3), 211-218.
- Carbonell, A.A., Porthouse, J.D., Mulbah, C.K., DeLaune, R.D., Patrick, W.H. Jr., 1999. Metal Solubility in Phosphogypsum-Amended sediment under Controlled pH and Redox Conditions. *J. Environ. Qual.* 28, 232-242.
- Cauwenberg, P., Maes, A., 1997. Influence of oxidation on sequential chemical extraction of dredged river sludge. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 68, 47-57.
- Cornelis, C., Geuzens, P., 1995. Voorstel tot normering van bodemverontreiniging door zware metalen en metalloïden. Studie uitgevoerd in opdracht van de OVAM. VITO/MIE/DI/95-03. Afdeling Leefmilieu, april 1995.
- Dail, D.B., Fitzgerald, J.W., 1999. S Cycling in soil and stream sediment: influence of season and in situ concentrations of carbon, nitrogen and sulfur. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1395-1404.



- Dancer, W.S., Eliason, R., Lekhakul, S., 1998. Microwave assisted soil and waste dissolution for estimation of total phosphorus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29 (11-14), 1997-2006.
- Decler, K., 1999. Mogelijkheden en randvoorwaarden voor natuur en natuurontwikkeling op baggergronden. In: *Landbouw, bos en natuur op baggergronden. Studiedag 19 november 1999. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap en Universiteit Gent.*
- De Deckere, E., De Cooman, W., Florus, M., Devroede-Vander Linden, M.P., 2000. Karakterisatie van de bodems van de Vlaamse bevaarbare waterlopen. AMINAL Afdeling Water, Brussel.
- De Keersmaecker, L., Rogiers, N., De Vos, B., 2001. Ecosysteemvisie Bos Vlaanderen, Ruimtelijke uitwerking van de natuurlijke bostypes op basis van bodemgroeperingseenheden en historische boskaarten. Eindverslag van project VLINA C97/06, studie uitgevoerd voor rekening van de Vlaamse Gemeenschap binnen het kader van het Vlaams Impulsprogramma Natuurontwikkeling in opdracht van de Vlaamse minister bevoegd voor natuurbehoud.
- Descamps, A., Gheysen, K., 1987. Planologische benadering van de baggerproblematiek in de Gentse regio, gebruik makend van evaluatietechnieken. Verhandeling voorgelegd tot het behalen van de graad van licentiaat in de stedenbouw en de ruimtelijke ordening. Academiejear 1986-1987, Rijksuniversiteit Gent.
- De Temmerman, L., 1982. Onderzoek baggergronden Heusden. Instituut voor Scheikundig Onderzoek, Tervuren.
- Dries, V., 1999. Het bodemsaneringsdecreet: een belemmering voor een actief beheer van baggergronden? In: *Landbouw, bos en natuur op baggergronden. Studiedag, 19 november 1999. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap en Universiteit Gent.*
- Fabbri, D., Felisatti, O., Lombardo, M., Trombini, C., Vassura, I., 1998. The Lagoon of Ravenna (Italy): Characterisation of mercury-contaminated sediments. *The Science of the Total environment*, 213, 121-128.
- Gambrell, R.P., 1994. Trace and toxic metals in wetlands - a review. *Journal of Environmental Quality*, 23, 883-891.
- Gambrell, R.P., Patrick, W.H. Jr., 1988. The influence of redox potential on the environmental chemistry of contaminants in soils and sediments. P 319-333. In: D.D. Hook (Ed.) *The ecology and management of wetlands. Volume I. Ecology of wetlands.* Croom Helm, London.
- Gambrell, R.P., Wiesepape, J.B., Patrick, W.H., Duff, M.C., 1991. The effects of pH, redox, and salinity on metal release from a contaminated sediment. *Water, Air, Soil Pollut.*, 57-58, 359-367.
- Groen, N., Boudewijn, T., de Jonge, J., 2000. De effecten van overstroming van de uiterwaarden op de Steenuil. *De Levende Natuur*, 101, 143-148.

- He, Z.L., O'Donnell, A.G., Syers, J.K., 1997. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soils under pasture. *Biol. Fertil. Soils* 24, 421-428.
- Hornibrook, E.R.C., Longstaffe, F.J., Fyfe, W.S., Bloom, Y., 2000. Carbon-isotope ratios and carbon, nitrogen and sulfur abundances in flora and soil organic matter from temperate-zone bog and marsh. *Geochemical Journal*, 34, 237-245.
- Hultberg, H., Apsimon, H., Church, R.M., Grennfelt, P., Mitchell, M.J., Moldan, F., Ross, H.B., 1994. Sulphur. In Moldan B. & Cerny J. (eds): *Biogeochemistry of Small Catchments – A tool for environmental research*. Scope 51. Wiley, Chichester, p. 229-254.
- IWONL, 1963. Verklarende tekst bij het kaartblad Melle 55 E. Bodemkaart van België.
- IWONL, 1964. Verklarende tekst bij het kaartblad Sint-Niklaas 42 W. Bodemkaart van België.
- Jones, K.C., Johnston, A.E., 1989. Cadmium in cereal grain and herbage from long-term experimental plots at Rothamsted, UK. *Environ. Pollut.*, 57, 199 – 216.
- Kongs, T., Hoffmann, M., Vandevoorde, B., Kuijken, E., 1999. *Natuurstudie Gentbrugse meersen*. Rapport IN 99.15. Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- Maréchal, R., Tavernier, R., 1970. Bodemassociatiekaart van België. IWONL, Brussel.
- Mathsoft, 1999. *S PLUS 2000. Modern Statistics and Advanced Graphics. Guide to Statistics*. Data analysis products division. Mathsoft, Seattle.
- Meyvis, L., 2000. Vlaamse polders kunnen stormvloed keren. *De Water*, september 2000, blz. 6-7.
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 1995. *Methodologische studie naar de inventarisatie, de ecologische effecten en de saneringsmogelijkheden van de bodems van de Vlaamse waterlopen*. Eindrapport – deel evaluatie.
- Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, 1998b. *Handboek voor de karakterisatie van de bodems van de Vlaamse waterlopen, volgens de Triade*.
- Mitchell, M.J., Landers, D.H., Brodowski, F.B., Lawrence G.B., David, B., 1984. Organic and inorganic sulfur constituents of the sediments in three New York lakes: effect of site, sediment depth and season, *Water Air Soil Pollut.* 21, 231-245.
- Morthier, S., 1995. *Opname door planten van zware metalen in baggerstortgronden*. Scriptie voorgedragen tot het behalen van de graad van Bio-ingenieur in de milieutechnologie. Academiejaar 1994-1995. Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent.
- Muggler, C.C., Pape, Th., Buurman, P., 1997. Laser grain-size determination in soil genetic studies. 2. Clay content, clay formation, and aggregation in some Brazilian oxisols. *Soil Science*, 162 (3), 219-228.

- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and gypsum. In: A.L. Page et al. (Eds), *Methods of soil analysis, Part 2. Chemical and microbiological properties*, 2nd edn, pp. 181-197. ASA, Madison, Wisconsin.
- Nihlgard, B.J., Swank, W.T., Mitchell, M.J., 1994. Biological Processes and Catchment Studies. In Moldan B. & Cerny J. (eds): *Biogeochemistry of Small Catchments – A tool for environmental research*. Scope 51. Wiley, Chichester, p. 133-161.
- Nriagu, J.O., Soon, Y.K., 1985. Distribution and isotopic composition of sulfur in lake sediments of northern Ontario. *Geochim. Cosmochim. Acta* 49, 823-834.
- Petersen, W., Willer, E., Willamowski, C., 1997. Remobilization of trace elements from polluted anoxic sediments after resuspension in oxic water. *Water, Air and Soil Pollution* 99, 515-522.
- Reddy, K.R., D'Angelo, E.M., 1994. Soil processes regulating water quality in wetlands. In Mitsch W.J. (Ed.) *Global Wetlands: Old World and New*. Elsevier Science, Amsterdam, p. 309-324.
- Regnier, P., Wollast, R., 1993. Distribution of trace metals in suspended matter of the Scheldt. *Marine Chemistry* 43, 3-19.
- Ruban, V., Parlanti, E., Riffé, C., Amblès, A., Six, P., Jambu, P., 1998. Migration of micropollutants in a dredging amended soil in Northern France. *Agrochimica* 42 (1-2), 59-71.
- Seuntjens, P., De Cooman, W., Verheyen, R., 1996. Development of a contaminated sediment assessment strategy in Flanders. CATS III, Oostende, 18-20 maart 1996.
- Singh, S.P., Tack, F.M.G., Verloo, M., 1996. Extractability and bioavailability of heavy metals in dredged sediment derived surface soils. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 8, 105-110.
- Singh, S.P., Tack, F.M., Verloo, M.G., 1998. Heavy metal fractionation and extractability in dredged sediment derived surface soils. *Water, Air, and Soil Pollution* 102, 313-328.
- Singh, S.P., Tack, F.M.G., Gabriels, D., Verloo, M., 2000. Heavy metal transport from dredged sediment derived surface soils in a laboratory rainfall simulation experiment. *Water, Air and Soil Pollution*, 118, 73-86.
- Stephens, S.R., Alloway, B.J., Carter, J.E., Parker, A., 2001a. Towards the characterisation of heavy metals in dredged canal sediments and an appreciation of 'availability': two examples from the UK. *Environmental Pollution* 113 (3), 395-401.
- Stephens, S.R., Alloway B.J., Parker, A., Carter, J.E., Hodson, M.E., 2001b. Changes in the leachability of metals from dredged canal sediments during drying and oxidation. *Environmental Pollution* 114, 407-413.

Sternbeck, J., Östlund, P., 2001. Metals in sediments from the Stockholm region: geographical pollution patterns and time trends. *Water, Air, and Soil Pollution: Focus* 1: 151-165.

Swennen, R., Van der Sluys, J., Hindel, R., Brusselmans, A., 1997. Geochemical characterisation of overbank sediments: a way to assess background reference data and environmental pollution in highly industrialised areas (such as Belgium and Luxembourg). *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, 9-10, 925-942.

Swennen, R., Van der Sluys, J., Hindel, R., Brusselmans, A., 1998. Geochemistry of overbank and high order stream sediments in Belgium and Luxembourg: a way to assess environmental pollution. *Journal of Geochemical exploration* 62, 67-79.

Swennen, R., Van der Sluys, J., 1998. Zn, Pb, Cu and As distribution patterns in overbank and medium order stream sediment samples: their use in exploration and environmental geochemistry. *Journal of Geochemical exploration* 65, 27-45.

Tabatabai, M., 1982. In C.A. Black et al. (Ed). *Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties*, 2nd edition, ASA, Madison, Wisconsin, 1982, pp. 501.

Tack, F.M.G., Callewaert, O.W.J.J., Verloo, M.G., 1996. Metal solubility as a function of pH in a contaminated, dredged sediment affected by oxidation. *Environmental Pollution* 91 (2), 199-208.

Tack, F.M.G., Verloo, M.G., Vanmechelen, L., Van Ranst, E., 1997. Baseline concentration levels of trace elements as a function of clay and organic carbon contents in soils in Flanders (Belgium). *The Science Of The Total Environment* 201, 113-123.

Tack, F.M.G., Singh, S.P., Verloo, M.G., 1998. Heavy metal concentrations in consecutive saturation extracts of dredged sediment derived surface soils. *Environmental Pollution* 103, 109-115.

Tack, F.M.G., Singh, S.P., Verloo, M.G., 1999. Leaching behaviour of Cd, Cu, Pb and Zn in surface soils derived from dredged sediments. *Environmental Pollution* 106, 107-114.

Technische Schelde Commissie, 2000. *Situatieschets korte termijn Schelde-estuarium. Een schetsmatig beeld ter voorbereiding van de langetermijnvisie*. Vastgesteld door de Technische Schelde Commissie in haar vergadering van 14 januari 2000. Januari 2000, RA/00-377c

Van Alsenoy, V., Bernard, P., Van Grieken, R., 1993. Elemental concentrations and heavy metal pollution in sediments and suspended matter from the Belgian North Sea and the Scheldt estuary. *The Science of the Total Environment*, 133, 153-181.

Vandecasteele, B., De Vos, B., 2001. Relationship between soil textural fractions determined by the sieve-pipette method and laser diffractometry. *Vergelijkende studie tussen laserdiffractie en de zeef- en pipetmethode om bodemtextuur te meten*. Januari 2001. Instituut voor Bosbouw & Wildbeheer, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. IBW Bb R 2001.003.

- Vandecasteele, B., De Vos, B., Lauriks, R., Buysse, C., 1999. Baggergronden in Vlaanderen. Eerste resultaten langs de Zeeschelde, de Leie en de IJzer. December 1999. In opdracht van Administratie Waterwegen en Zeewezen. Instituut voor Bosbouw & Wildbeheer, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. IBW Bb R 99.004.
- Vandecasteele, B., De Vos, B., Lauriks, R., Buysse, C., 2000a. Baggergronden in Vlaanderen. Analyses van de bladstalen '97, '98 en '99. Mei 2000. In opdracht van Administratie Waterwegen en Zeewezen. Instituut voor Bosbouw & Wildbeheer, Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. IBW Bb R 2000.004.
- Vandecasteele, B., De Vos, B., Lauriks, R., Buysse, C., Mergaert, K., 2000b. Baggergronden in Vlaanderen. Resultaten van de terreininventarisatie naar geografische omvang en verontreiniging. Mededelingen van het Instituut voor Bosbouw en Wildbeheer 2000-1. IBW, Geraardsbergen.
- van den Berg, G.A., Loch, J.P.G., 2000. Decalcification of soils subject to periodic waterlogging. *European Journal of Soil Science*, 51, 27-33.
- Van den bergh, E., Meire, P., Hoffmann, M., Ysebaert, T., 1999. Natuurherstelplan Zeeschelde: drie mogelijke inrichtingsvarianten. Rapport IN 99/18. Juli 1999. Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.
- van Driel, W., Nijssen, J.P.J., 1988. Development of Dredged Material Disposal Sites: Implications for Soil, Flora and Food Quality. In: Salomons W, Förstner U (Eds.), *Chemistry and biology of solid waste. Dredged material and mine tailings*. Berlin: Springer-Verlag, 1988.
- van Oorschot, M.M.P., 1994. Plant production, nutrient uptake and mineralization in river marginal wetlands: the impact of nutrient additions due to former land-use. In Mitsch W.J. (Ed.) *Global Wetlands: Old World and New*. Elsevier Science, Amsterdam, p. 133-150.
- Van Ranst, E., Verloo, M., Demeyer, A., Pauwels, J.M., 1999. *Manual for the Soil Chemistry and Fertility Laboratory. Analytical Methods for Soils and Plants, Equipment and Management of Consumables*. RUG, GENT.
- Verlaan, P.A.J., 2000. Marine vs Fluvial Bottom Mud in the Scheldt Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50, 627-638.
- Verlaan, P.A.J., Donze, M., Kuik, P., 1998. Marine vs Fluvial Suspended Matter in the Scheldt Estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46, 873-883.
- Vicente-Beckett, V.A., 1992. Trace metal levels and speciation in sediments of some Philippine natural waters. *The Science Of The Total Environment* 125, 345-357.
- Vlaamse Gemeenschap, 1995. Decreet van de Vlaamse Gemeenschap van 22 februari 1995 betreffende de bodemsanering. *Belgisch Staatsblad*, 29 april 1995.
- VLAREBO, 1996. Besluit van de Vlaamse regering houdende vaststelling van het Vlaams reglement betreffende de bodemsanering. *Belgisch Staatsblad*, 27 maart 1996.

- VMM, 1996. Milieu- en natuurrapport Vlaanderen 1996. Leren om te keren. Wetenschappelijke rapporten.
- VMM, 1996. Milieu- en natuurrapport Vlaanderen 1996. Leren om te keren. Wetenschappelijke rapporten.
- VMM, 1997. Overzicht van de Inkomende Grensoverschrijdende Vuilvrachten in Vlaanderen 1994 en 1995. VMM, Erembodegem, Belgium. 218 p.
- VMM, 1998. MIRA-T 1998 Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: thema's. Wetenschappelijke rapporten.
- VMM, 2000a. Overzicht van de Inkomende Grensoverschrijdende Vuilvrachten in Vlaanderen 1997-1998. VMM, Erembodegem, Belgium. 164 p.
- VMM, 2000b. MIRA-S 2000 Milieu- en natuurrapport Vlaanderen: scenario's. Garant, Leuven-Apeldoorn. 637 p.
- Wiese, S.B.O., MacLeod, C.L., Lester, J.N., 1997. A Recent History of Metal Accumulation in the Sediments of the Thames Estuary, United Kingdom. *Estuaries* 20 (3), 483-493.
- Winkels, H.J., Kroonenberg, S.B., Lychagin, M.Y., Marin, G., Rusakov, G.V., Kasimov, N.S., 1998. Geochronology of priority pollutants in sedimentation zones of the Volga and Danube delta in comparison with the Rhine delta. *Applied Geochemistry* 13 (5), 581-591.
- Wollast, R., 1988. The Scheldt Estuary. In W. Salomons et al. (Eds.), *Pollution of the North Sea: an assessment*. Springer-Verlag, Berlin: 183-193.
- Worm, B., Bos, S., Bakker, L., Spek, M., 1998. Natuurontwikkeling op verontreinigde locaties, een beslissingsmodel en de eerste ervaringen. *Landschap* 15/4, 195-210.
- Zhang, J.G., Huang, W.W., Wang, Q., 1990. Concentration and partitioning of particulate trace metals in the Changjiang. *Water, Air and Soil Pollution* 52, 57-70.
- Zhao, F.J., Loke, S.Y., Crosland, A.R., McGrath, S.P., 1996. Method to determine elemental sulphur in soils applied to measure sulphur oxidation. *Soil Biol. Biochem.* 28 (8), 1083-1087.
- Zwolsman, J.J.G., 1999. Geochemistry of trace metals in the Scheldt estuary. *Geologica ultraiectina* 177. Universiteit Utrecht, Faculteit aardwetenschappen, Utrecht.
- Zwolsman, J.J.G., Berger, G.W., Van Eck, G.T.M., 1993. Historical input, mobility and retention of major elements and trace metals in salt marshes of the Scheldt estuary. *Marine Chemistry* 44, 73-94.
- Zwolsman, J.J.G., Van Eck, G.T.M., Burger, G., 1996. Spatial and temporal distribution of trace metals in sediments of the Scheldt estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf science* 43, 55-79.

## Gebruikte digitale gegevens

Bij het maken van de kaarten in dit rapport werd er gebruik gemaakt van een aantal digitale bestanden die ter beschikking werden gesteld door het ondersteunend centrum GIS-Vlaanderen.

- ✦ Digitale versie van de Bodemkaart van België – IWONL schaal 1/20.000 (OC GIS-Vlaanderen 1997)
- ✦ Rasterversie van de topografische kaarten van Vlaanderen en Brussel uitgegeven tussen 1978 en 1993 op schaal 1/10.000 door het Nationaal geografisch Instituut (OC GIS-Vlaanderen 1996)
- ✦ Digitale versie van de Administratieve grenzen (OC GIS-Vlaanderen)

## Afkortingen

**Ah-horizont:** bovenste bodemhorizont, aangerijkt met organische stof. Het mengen van het bodemmateriaal met de organische stof gebeurt door natuurlijke processen.

**ANOVA:** analysis of variance

**Ap-horizont:** bovenste bodemhorizont, aangerijkt met organische stof en beïnvloed door bodembewerkingen (ploegen)

**AW:** achtergrondswaarde

**BSN:** bodemsaneringsnorm

**BSN1&2:** bodemsaneringsnorm voor bestemmingstype 1 (natuur) en 2 (landbouw)

**BSN3:** bodemsaneringsnorm voor bestemmingstype 3 (woongebieden)

**BSN4:** bodemsaneringsnorm voor bestemmingstype 4 (recreatie)

**BSN5:** bodemsaneringsnorm voor bestemmingstype 5 (industrie)

**C:** koolstof

**Cd:** cadmium

**Cr:** chroom

**Cu:** koper

**CV:** variatiecoëfficiënt = relatieve standaarddeviatie

**C/N:** koolstof-stikstof-verhouding

**C/P:** koolstof-fosfor-verhouding

**C/S:** koolstof-zwavel-verhouding

**DS:** drogestofgehalte

**EC:** elektrische geleidbaarheid, uitgedrukt als  $\mu\text{S}/\text{cm}$

**GV:** Gloeiverlies

**IWONL:** Instituut tot aanmoediging van het Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw, o.a. opdrachtgever van de bodemkartering

**LD:** laserdiffractie

**N:** stikstof

**Ni:** nikkel

**OS:** organische stofgehalte, procentueel uitgedrukt

**P:** fosfor, uitgedrukt als mg/kg DS

**Pb:** lood

**R:** correlatiecoëfficiënt



**R<sup>2</sup>:** determinatiecoëfficiënt

**S:** zwavel, uitgedrukt als mg/kg DS

**VC1&2:** verontreinigingscriterium voor bestemmingstype 1 & 2

**VLAREBO:** Decreet van de Vlaamse Gemeenschap van 22 februari 1995 betreffende de bodemsanering

**Zn:** Zink

## Begrippen

**Aëroob:** in de aanwezigheid van zuurstof, zuurstofverbruikend, zuurstof aanwezig in de omgeving

**Alluviale vlakte:** vlakte waar overstromende waterlopen slib afzetten

**Anaëroob:** zonder zuurstof in de omgeving, niet zuurstofverbruikend

**Antropogeen:** ontstaan door menselijke activiteit

**Baggergrond:** alle landbodems waar ooit materiaal afkomstig uit waterlopen gestort of afgezet werd en waar het landgebruik niet meer verbonden is met de aanwezigheid van de waterwegen of andere wegen (zie ook de definitie in de inleiding)

**Baggerspecie:** bodemmateriaal vrijkomend bij het onderhoud van bevaarbare waterlopen

**Bodem:** vaste deel van de aarde met inbegrip van het grondwater en de organismen die zich erin bevinden, ontstaan door wisselwerking tussen levende organismen en klimaat, reliëf en moedergesteente.

**Bodemprofiel:** geheel van in een bodem te onderscheiden horizonten (lagen) met karakteristieke kenmerken veroorzaakt door bodemvormende processen

**Bodemverontreiniging:** aanwezigheid van stoffen of organismen, veroorzaakt door menselijke activiteiten, op of in gronden, die de kwaliteit van de bodem op directe of indirecte wijze nadelig (kunnen) beïnvloeden

**Bosvegetatie:** spontane ontwikkeling van een begroeiing met hoofdzakelijk bomen, heesters en struiken.

**Boxplot:** Grafische voorstelling van de spreidingseigenschappen van een dataset. De boxplot geeft de mediaan (zwarte lijn in de rechthoek), de bovenste en de onderste kwartiel (boven- en onderkant van de rechthoek) en de 2 grenswaarden (bovenste en onderste streep) aan. Outliers worden ook als streep aangegeven. Een boxplot is een voorstelling die een snel inzicht in de plaats, de schaal en de verdeling van gegevens.

**Correlatiecoëfficiënt (R):** statistische grootheid die enerzijds aangeeft of het verband tussen 2 parameters positief of negatief is, en anderzijds de sterkte van dit verband uitdrukt. Varieert tussen 1 en -1.

**Determinatiecoëfficiënt (R<sup>2</sup>):** statistische grootheid die aangeeft welk aandeel van de variatie van parameter x verklaard wordt door parameter y. Varieert tussen 0 en 1. Wordt echter soms procentueel uitgedrukt.

**Gloeiverlies:** % gewichtsverlies na verhitting bij 550° C gedurende 3 uur

**Gradiënt:** verloop van een grootheid in de ruimte, de verandering van een grootheid per eenheid van lengte, in de richting waarin die verandering het sterkst is

**Open vegetatie:** vegetatie waarvan meerjarige grassoorten het uitzicht bepalen, vaak samen met andere grasachtige en kruidachtige planten

**Landschap:** een deel van de ruimte aan het aardoppervlak dat bestaat uit een complex van relatiestelsels, ontstaan door werking van gesteente, water, lucht, planten, dieren en de mens, en dat in zijn uiterlijke verschijningsvorm een te onderscheiden geheel vormt

**Laserdiffractie:** analysemethode voor de bepaling van de textuur van de bodem, gebaseerd op de registratie van het diffractiepatroon van een laserbundel op bodemdeeltjes in suspensie

**Mineralisatie:** afbraak van organische stof tot anorganische stof door micro-organismen

**Organische stof:** materiaal van plantaardig en dierlijke oorsprong dat zich in de bodem bevindt en dat aan humificatie en mineralisatie onderhevig is

**Oxideren:** chemisch verbinden met zuurstof of andere oxidantia

**pH:** eenheid waarin de zuurtegraad wordt uitgedrukt

**Reduceren:** chemische verwijdering van de aanwezige zuurstof

**Spuitsmond:** plaats bij opgespoten terreinen waar de buis die gebruikt werd voor het transport van het gebaggerde materiaal geplaatst werd

**Stortkist:** plaats bij opgespoten terreinen waar het overtollige water via een regelbaar systeem terug afgevoerd wordt

**Uitgebrikte gronden:** terreinen waarvan de bovenste kleilaag verwijderd werd om er bakstenen van te maken. Deze bakstenen werden meestal gebakken aan de hand van veldovens. De dikte van de afgegraven laag kan sterk variëren. Deze terreinen worden gekenmerkt door hydromorfe omstandigheden en in het profiel worden meestal heel wat steenbrokken aangetroffen.

**Vegetatie:** ruimtelijke massa van plantenindividuen, in samenhang met de plaats waar zij groeien en in de rangschikking die zij spontaan en door onderlinge concurrentie hebben ingenomen

**Waterbodem:** bodem van oppervlaktewateren

**Zware metalen:** groep chemische elementen (metalen) met een soortelijk gewicht groter dan 5 (b.v. Cd, Pb, Se) die, wisselend per element, zeer schadelijke gevolgen kunnen hebben voor plant, dier en mens