

**Studie naar de
aanwezigheid van zware
metalen in de bodem rond
Ieper als gevolg van de
Eerste Wereldoorlog**

**SAMEN MAKEN WE
MORGEN MODIËR**



**Studie naar de
aanwezigheid van zware
metalen in de bodem rond
leper als gevolg van de
Eerste Wereldoorlog**

Documentbeschrijving



1. *Titel publicatie*

Studie naar de aanwezigheid van zware metalen in de bodem rond Ieper als gevolg van de Eerste Wereldoorlog

2. *Verantwoordelijke uitgever*

Danny Wille, OVAM, Stationsstraat 110, 2800 Mechelen

3. *Aantal blz.*

33

4. *Wettelijk depot nummer*

D/2009/5024/104

5. *Aantal tabellen en figuren*

6. *Publicatiereeks*

7. *Datum publicatie*

september 2009

8. *Trefwoorden*

9. *Samenvatting*

Aan de hand van bestaande data, een gefaseerde staalnamecampagne en een geostatistische analyse is de impact nagegaan van de Eerste Wereldoorlog op de concentraties aan zware metalen in de bodems in de streek rond Ieper. De studie toont verhoogde concentraties aan koper, zink en lood aan in de regio die gelinkt kunnen worden aan de oorlog. De verhoging is echter beperkt en heeft geen milieuhygiënisch impact.

10. *Begeleidingsgroep en/of auteur*

Marc Van Meirvenne, Eef Meerschman (Universiteit Gent), Alain Coopman, Kurt Bouckenoghe (Soresma), Bert Van Goidsenhoven (OVAM)

11. *Contactperso(o)n(en)*

Bert Van Goidsenhoven

12. *Andere titels over dit onderwerp*

Gegevens uit dit document mag u overnemen mits duidelijke bronvermelding.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website: <http://www.ovam.be>

Inhoudstafel

Inleiding.....	3
Doelstellingen.....	4
Studiegebied.....	5
Ligging.....	5
Geologie en textuur.....	5
Werkwijze.....	8
Stap 1: Initieel beschikbare data.....	9
Selectie.....	9
Datapreparatie.....	10
Identificatie outliers.....	10
5.2.2 Uitmiddeling.....	11
Stap 2: Eerste staalnamefase.....	12
Selectie.....	12
Richtlijnen bemonstering.....	12
Analysemethoden.....	13
Stap 3: Tweede staalnamefase.....	14
Selectie.....	14
Richtlijnen bemonstering.....	16
Analysemethoden.....	16
Stap 4: Bijkomende OVAM-data 2005-2008.....	17
Selectie.....	17
Datapreparatie.....	17
Validatie.....	18
Resultaten en kartering.....	19
Beschrijvende data-analyse.....	19
Predictiekaarten.....	23
Arseen, cadmium en kwik.....	23
Chroom en nikkel.....	25
Koper, zink en lood.....	26
Besluiten.....	31
Literatuurlijst.....	32

Bijlagen

1. Data staalname oktober 2008
2. Data staalname februari 2009
3. Histogrammen van de volledige datasets

Samenvatting

In februari 2008 werd voor het eerst gerapporteerd over een regionale verhoging van de concentraties koper in de bovenste 30 cm van de bodem rond Ieper als gevolg van de Eerste Wereldoorlog. De toenmalige analyse was opgesteld op basis van data uit de OVAM-databank van bodemonderzoeken, die echter vrij dun verspreid zijn in deze regio. Vandaar dat een resolutieverfijning en een uitbreiding naar andere zware metalen zich opdrong.

Op basis van de data uit 2008 werd een gefaseerde staalnamecampagne uitgewerkt waarbij 300 bijkomende bodemstalen verzameld werden tijdens de periode herfst 2008 – lente 2009. Het studiegebied bevatte deels of volledig de fusiegemeenten Diksmuide, Heuvelland, Houthulst, Ieper, Langemark-Poelkapelle, Lo-Reninge, Mesen, Moorslede, Poperinge, Staden, Vleteren, Wervik en Zonnebeke. Bovendien was sinds februari 2008 de OVAM-databank uitgebreid met 189 bodemanalyses gelegen in het studiegebied. Hierdoor waren 720-730 data over de concentratie aan acht zware metalen in de bodem rond Ieper ter beschikking. Deze beschouwde zware metalen zijn arseen, cadmium, chroom, koper, kwik, lood, nikkel en zink. Koper, lood en zink zijn te beschouwen als "oorlogsmetalen" aangezien zij voorkwamen in munitie. Arseen kwam voor in sommige gifgassen.

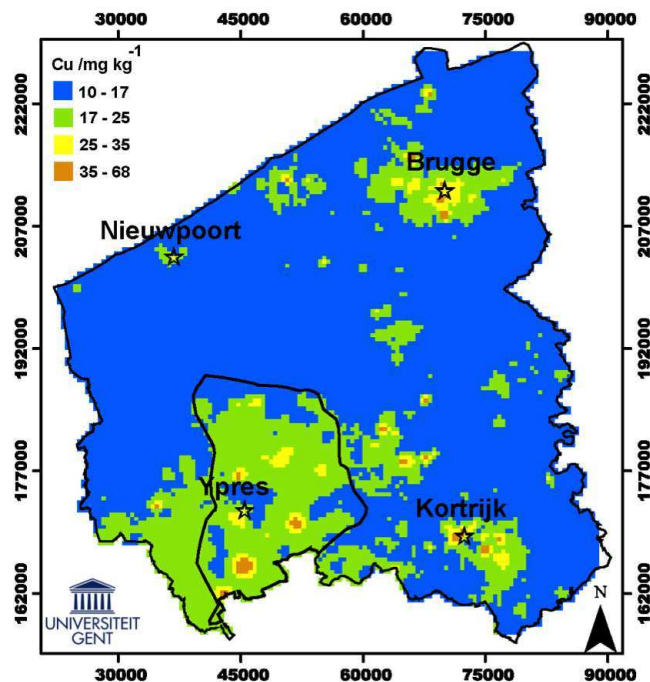
De dataset met concentraties aan zware metalen werd statistisch verwerkt. Gemiddeld was de concentratie aan koper, kwik, lood en zink hoger dan de streefwaarde uit Vlarebo (2008). Bij kwik is dit omdat de Vlarebo-norm zeer laag ligt en de overschrijding was zeer beperkt. Maar voor dergelijke niet-gaussiaans verdeelde distributies is het gemiddelde minder geschikt dan de mediaan als maat voor een centrale waarde. De mediaan van geen enkel van de acht zware metalen overschreed de streefwaarde. Dus men kan stellen dat de bodem van deze regio "gemiddeld" niet aangerijkt is met zware metalen, Maar toch bleken soms aanzienlijke percentages van de data groter te zijn dan de streefwaarde: 42.2 % voor koper en 46.5 % voor lood. Enkele locaties bleken zelfs concentraties aan een metaal te bevatten boven de bodemsaneringsnorm, maar dit bleken puntverhogingen te zijn die enkel zeer lokaal zijn aangetoond.

Om een ruimtelijk beeld te bekomen werden geostatistische procedures gebruikt waarbij voorspellingskaarten met een pixelresolutie van 200 bij 200 m werden geïnterpoleerd (punctuele voorspellingen werden als niet haalbaar beschouwd). Deze kaarten toonden voor arseen, cadmium, chroom, kwik en nikkel geen regionale patronen die geassocieerd konden worden met de Eerste Wereldoorlog. Chroom en nikkel zijn duidelijk gelinkt aan bodemkundige patronen. Zink, maar vooral koper en lood, bleken een duidelijk patroon te vertonen dat de voormalige frontzone (de "Ieperboog") weergeeft. Vooral ten oosten van Ieper, waar in 1917 de Derde slag om Ieper werd uitgevochten, vertoont een duidelijke aanrijking aan lood. Voor lood benaderen de grootste oppervlakten de Vlarebo-richtwaarden.

Concluderend, blijkt vooral koper een breed regionaal patroon te vertonen omdat dit element met veel militaire activiteiten kan geassocieerd worden. Hierdoor is er wel geen sterke verhoging op een regionale schaal. Lood daarentegen lijkt zich te concentreren in een nauwere band rond de frontzone, wellicht door de inzet van loodhoudende anti-infanterie granaten (shrapnel). Hierdoor is de lokale concentratie ook hoger.

Inleiding

In de regio rond Ieper werd over enkele honderden vierkante kilometers een aanrijking aan Cu in de bovengrond (0 tot 30 cm) vastgesteld (Figuur 1). Deze regionale aanrijking is een erfenis van de Eerste Wereldoorlog (WO I). In de voormalige frontzone werd jarenlang intens slag geleverd en de oorlogvoerende partijen vuurden er miljoenen granaten af. Meer dan 90 jaar na het einde van WO I bevat de bodem rond Ieper nog steeds grote hoeveelheden niet-ontploffte granaten, metaalfragmenten en ander militair afval. Corrosie van de metaalfragmenten is de bron voor de vastgestelde aanrijking. Er is echter geen sprake van bodemverontreiniging, want de tot dusver vastgestelde Cu-aanrijking vormt geen gevaar voor de volksgezondheid (Van Meirvenne et al., 2008; Van Meirvenne, 2008).



Figuur 1: Voorspelling van de Cu-concentratie in de bovengrond (0 tot 30cm) in West-Vlaanderen (Van Meirvenne et al., 2008)

In het zuiden van West-Vlaanderen bevindt zich geen zware metaalverwerkende nijverheid. Anders dan bij industriële verontreinigingen is hier ook geen sprake van een puntbron met een geleidelijke afname van de metaalconcentratie in functie van de afstand tot de bron. Verder is de geologie van de streek niet anders dan in het grootste deel van West-Vlaanderen.

Hoewel landbouw de voornaamste vorm van bodemgebruik in de Westhoek is, kan de aanrijking van naar schatting 2800 ton Cu onmogelijk afkomstig zijn van varkensmest. Berekeningen toonden aan dat drijfmest nooit een Cu-massa van deze grootte-orde kan aanbrengen. Vervolgens werd geen Cu-aanrijking aangetoond ten zuiden van Brugge, waar het aantal varkenskwekerijen groter is dan in de regio rond Ieper. Terwijl tevens een duidelijk verband is aangetoond tussen een verhoogde hoeveelheid fosfaat en organisch materiaal in regio's met intensievere varkensteelt, vertonen de kaarten van deze twee eigenschappen geen overeenkomsten met de patronen van voorkomen van Cu (Van Meirvenne et al., 2008). Ten slotte kan het gebruik van drijfmest niet gerelateerd worden aan het voorkomen van Pb en Zn.

De aanrijking werd vastgesteld door een geostatistische analyse voor de hele provincie West-Vlaanderen (3144 km²) waarbij slechts 199 van de 2786 Cu-data gelegen waren in de voormalige frontzone. De data waren voor het grootste deel afkomstig uit de OVAM-databank. Door hun ongelijke ruimtelijke spreiding kwamen nog ondervetegenwoordigde gebieden voor. De voorspelling van de Cu-concentraties gebeurde voor een pixelgrootte van 500 op 500 m. Granaten bevatten ook niet enkel Cu. Ze bestonden voor een groot deel uit messing, een legering van Cu en Zn (Figuur 2 – links). Shrapnels en kogels werden dan weer uit Pb-legeringen vervaardigd (Figuur 2 – rechts). Naast conventionele wapens werd ook toxische munitie ingezet tijdens WO I. Niet-ontplofte, corroderende gifgasgranaten kunnen een bron voor arseen of andere gifgassen zijn.



Figuur 2: WO I-granaten met geelkoperen of messing ontstekingskop en geleidering (links) (Foto: Marc Van Meirvenne) en shrapnelgranaten met kogels uit lood (rechts) (Foto: Wikipedia)

Een verdere, grondige inventarisatie van zware metalen en gifgassen in de bodem rond Ieper drong zich op. Daarom startten Vlaams minister van Leefmilieu Hilde Crevits en de Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij OVAM in het najaar van 2008 een project op om de impact van WO I op de bodemkwaliteit in de Westhoek na te gaan. De Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek VITO evalueert de risico's van niet-ontplofte of achtergelaten chemische munitie en Universiteit Gent inventariseert de concentraties aan zware metalen in de bodem rond Ieper (Persbericht OVAM, 2008). Dit rapport kadert binnen het tweede onderzoek.

Doelstellingen

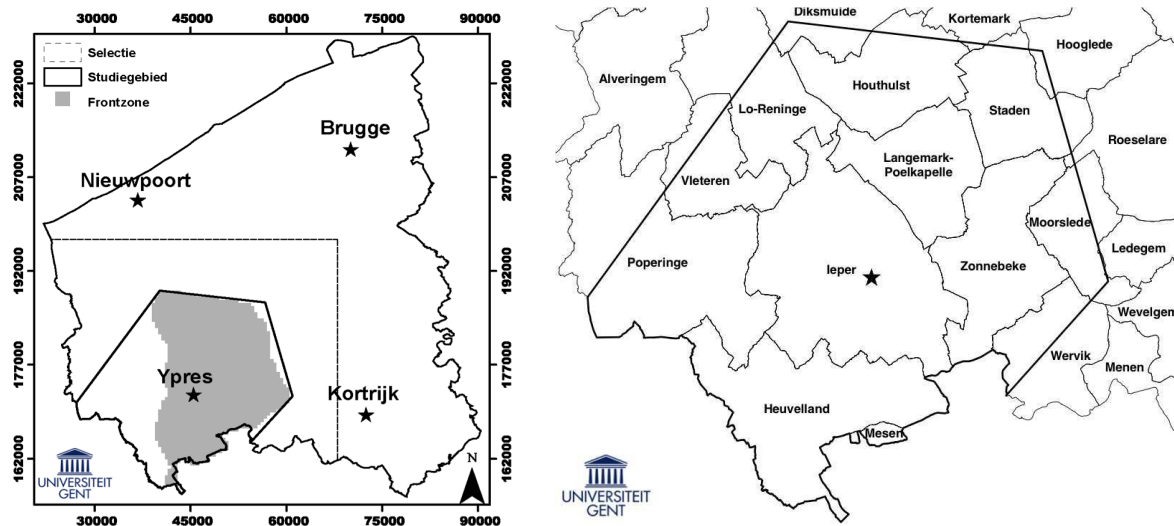
De volgende onderzoeksdoelstellingen werden vooropgesteld bij het begin van deze opdracht:

1. Een beter inzicht krijgen in de regionale, diffuse Cu-aanrijking.
2. Een verfijning van de inventarisatie om in de eerste plaats de resolutie te verhogen naar een pixelgrootte van 200 op 200 m, maar tevens ook om eventuele sterk gecontamineerde *hotspots* te lokaliseren.
3. Een uitbreiding naar het volledige OVAM-standaardanalysepakket aan zware metalen (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb en Zn) waarbij voor elke metaal wordt onderzocht (1) of er –net zoals voor Cu– sprake is van een regionale aanrijking m.a.w. of de *baseline* concentratie hoger is in het studiegebied dan in de rest van Vlaanderen, (2) hoe de concentraties zich verhouden tot het Vlarebo-normenkader en (3) of de patronen van voorkomen gerelateerd zijn aan WO I.

Studiegebied

Ligging

Op basis van de finale kaart van de studie van Van Meirvenne et al. (2008) (Figuur 1) werd het studiegebied voor dit onderzoek vastgelegd (Figuur 3 – links). Het studiegebied met een oppervlakte van 640 km² ligt in het zuiden van West-Vlaanderen en omvat een deel van de historische frontzone, voorgesteld door het grijs gearceerde gebied in Figuur 3, met een zuidwestelijke uitloper naar Poperinge en het gebied rond de Kemmelberg. De historische frontzone werd na de oorlog door de Belgische overheid afgebakend en kan opgesplitst worden in de Ieperboog en het IJzerfront (www.wo1.be). In het IJzerfront werd geen significante aanrijking aan Cu vastgesteld, vermoedelijk omdat de noordelijke uitloper van 1914 tot 1918 onder water werd gezet en hier geen grote slagen plaats gevonden hebben (Van Meirvenne et al., 2008). Het studiegebied bevat deels of volledig de fusiegemeenten Diksmuide, Heuvelland, Houthulst, Ieper, Langemark-Poelkapelle, Lo-Reninge, Mesen, Moorslede, Poperinge, Staden, Vleteren, Wervik en Zonnebeke (Figuur 3 – rechts).

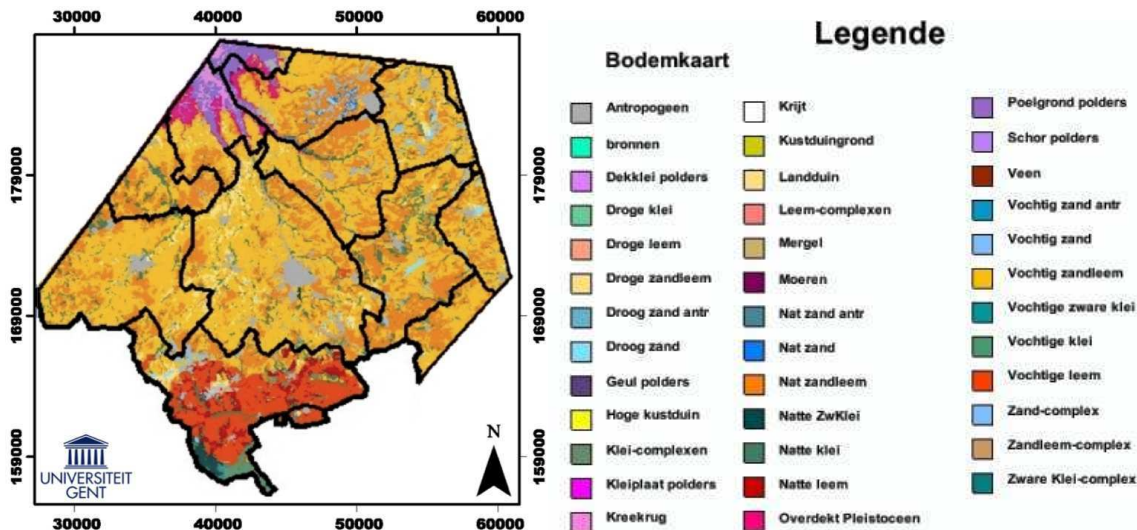


Figuur 3: Kaart van West-Vlaanderen met afbakening van het studiegebied (links) en de kaart met de grenzen van de fusiegemeenten gelegen in en rond het studiegebied (rechts)

Geologie en textuur

De bodem in de Ieperboog bestaat uit een Pleistocene deklaag, doorgaans uit zandig leem (0-2 m) afgezet op Tertiair Ieperiaan, bestaande uit de Formatie van Tielt (Ydm, zand, 2-12 m) en de Formatie van Kortrijk (Yc, klei, 12-45 m) (De Boever, 2007). Voor deze studie is vooral de textuur van de bovengrond van belang. Het normenkader voor zware metalen en metalloïden vastgelegd in Vlarebo 2008 wordt namelijk bepaald voor een standaardbodem waarvan de percentages aan klei en organisch materiaal (OM) respectievelijk 10 % en 2 % bedragen. Situatiespecifiek kan dan rekening gehouden worden met plaatselijke bodemkenmerken door de drempelwaarden om te rekenen op basis van de gemeten pH-KCl en de gemeten gehalten aan klei en OM.

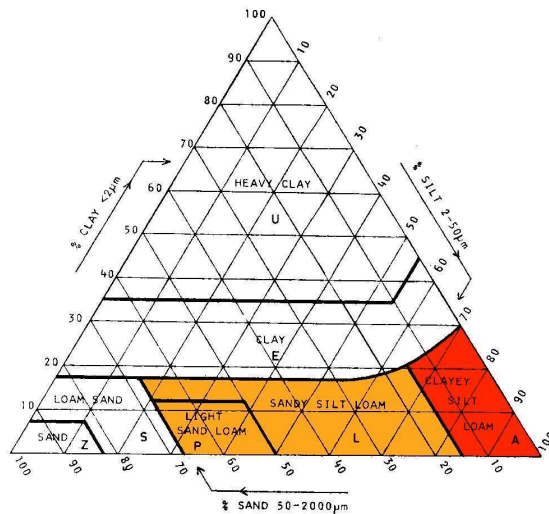
Figuur 4 toont de grenzen van het studiegebied en de fusiegemeenten geprojecteerd op de digitale bodemkaart van Vlaanderen, die via het 'Geoloket-Bodemkaart' publiek ter beschikking wordt gesteld op de website van het Agentschap voor Geografische Informatie Vlaanderen (AGIV).



Figuur 4: Bodemkaart binnen het studiegebied

Uit de bodemkaart kan afgeleid worden dat in het grootste deel van het studiegebied zandleembodem (L) en lichte zandleembodem (P) voorkomt, afgewisseld met kleine gebiedjes kleibodem (E). Meer zuidelijk in de gemeenten Heuvelland en Mesen wordt vooral leem (A) aangetroffen. De textuur in het uiterst zuidelijke deel van het studiegebied rond Nieuwkerke (Heuvelland) is klei (E). In de gemeenten Diksmuide, Lo-Reninge en Houthulst of het noordelijk deel van het studiegebied zijn tenslotte overdekt Pleistocene gronden, kreekruggronden en poelgronden aanwezig (Middelland- en Oudlandpolders).

Om na te gaan of de textuur van het studiegebied sterk afwijkt van die van een standaardbodem met 10 % klei en 2 % OM wordt enerzijds beroep gedaan op de textuurdriehoek en anderzijds op een aantal beschikbare metingen. België beschikt over een eigen nationale textuurdriehoek (Figuur 5). De meest voorkomende klassen in het studiegebied zijn zandleem (L), lichte zandleem (P) en leem (A). Op de linkeras kan afgelezen worden dat het kleipercantage van klasse A maximaal 30 % bedraagt, maar het gemiddelde van deze drie klassen wijkt niet ver af van de referentiewaarde van 10 %. De bodems in het uiterste zuiden en uiterste noorden van het studiegebied bevatten een groter kleipercantage. In deze gebieden –met een beperkte oppervlakte– moet bij de interpretatie van de resultaten dan ook rekening gehouden worden met een verhoging van het door OVAM vastgelegde normenkader.



Figuur 5: De Belgische texturdriehoek met aanduiding van de meest voorkomende textuurklassen in het studiegebied

Op 38 locaties binnen het studiegebied zijn de pH-H₂O en de percentages aan klei en organische koolstof (OC) gekend door gegevens uit een dataset van UGent (Tack et al., 2005). Voor meer informatie over de herkomst van beide datasets wordt verwezen naar hoofdstuk 5. Van de 38 punten bevinden zich er 32 in de zandleemstreek. Het gemiddelde kleipercentage van deze meetpunten bedraagt 14.2 % en het gemiddelde OC-gehalte is 1.83 % (OM = 1.724 x OC = 3.16 %). De mediaan bedraagt respectievelijk 13.2 % en 1.49 % (OM = 2.56 %). Als de 32 metingen als representatief voor alle zandleembodem kunnen worden beschouwd, kan besloten worden dat de toestand vrij nauw aansluit bij de referentie van een standaardbodem. Hoe zinvol het berekenen van een regionaal gemiddelde voor het percentage aan OM is, kan in vraag gesteld worden. Hiervoor kunnen namelijk sterk variërende waarden op korte afstand voorkomen, ondermeer afhankelijk van het landgebruik. Het humusgehalte is over het algemeen hoger in weiland dan in akkerland.

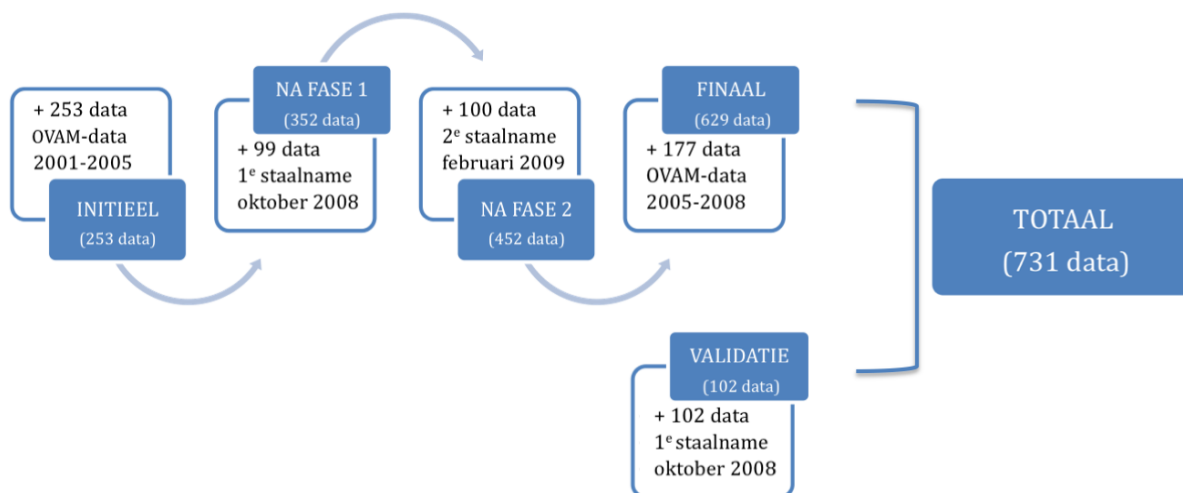
Er kan besloten worden dat de textuur van het studiegebied voor het grootste deel zandleem is waarvan het gemiddelde kleipercentage en het gemiddelde percentage aan OM ietwat hoger liggen dan die van de Vlarebo-standaardbodem. In het noordelijk en zuidelijk deel van het studiegebied komen verhoogde kleipercentages voor. Hier moet rekening mee gehouden worden bij de interpretatie van de resultaten. In dit onderzoek worden verder de streefwaarde, richtwaarde en BSN (type I/II) voor een standaardbodem vermeld. Argumenten hiervoor zijn ten eerste dat het Vlarebo-normenkader geen cruciale rol speelt in dit onderzoek, daar het niet gaat om een verontreiniging waarbij tot sanering dient te worden overgegaan. Ten tweede is Vlarebo hoofdzakelijk opgesteld voor bodemvervuiling op het niveau van kadastereenheden. Op perceelsniveau is het inderdaad mogelijk en relevant om de pH-KCl, het percentage aan klei en aan OM op te meten en zo de situatiespecifieke BSN te berekenen. In dit onderzoek wordt echter een regionale studie uitgevoerd, dus wordt zoals gebruikelijk het normenkader voor een standaardbodem vermeld.

Werkwijze

Voor het meer gedetailleerd in kaart brengen van de concentraties aan zware metalen in de leperboog was een gefaseerde staalnamestrategie aangevuld met een grondige geostatistische verwerking, de aangewezen procedure. Deze deelopdrachten werden toegekend aan ORBit (Vakgroep Bodembeheer, Universiteit Gent). De staalnamecampagne op het veld werd uitgevoerd door Soresma nv en de laboratoriumanalyses door Eurofins Analytico B.V.

Om een aanvaardbare interpolatienauwkeurigheid te verkrijgen, werd geopteerd voor een bijkomende staalnamecampagne bestaande uit twee fasen waarin telkens ca. 100 locaties bemonsterd werden. De selectie van de locaties van de bijkomende meetpunten gebeurde op basis van een geostatistische strategie die erop gericht was om enerzijds een betere ruimtelijke spreiding van de meetpunten te verkrijgen en anderzijds de meest onzekere locaties voor wat betreft de oorlogsmetalen (Cu, Pb en Zn) te bemonsteren. Hierop volgde een screening van de OVAM-databank naar relevante data uit de periode 2005-2008. Tot slot werden 102 locaties als een grid over het gebied geprojecteerd die als validatiedata gebruikt werden teneinde de kwaliteit van de staalnamestrategie en de inventarisatie te onderzoeken op een onafhankelijke wijze.

Het opstellen van de predictiekaarten voor de acht zware metalen was gebaseerd op alle beschikbare data, zowel de finale data als de validatiedata. Figuur 6 toont een flowchart van de datacollectie. Hoofdstukken 5 tot en met 9 bespreken de verschillende stappen in de datacollectie.



Figuur 6: Flowchart van de datacollectie

Stap 1: Initieel beschikbare data

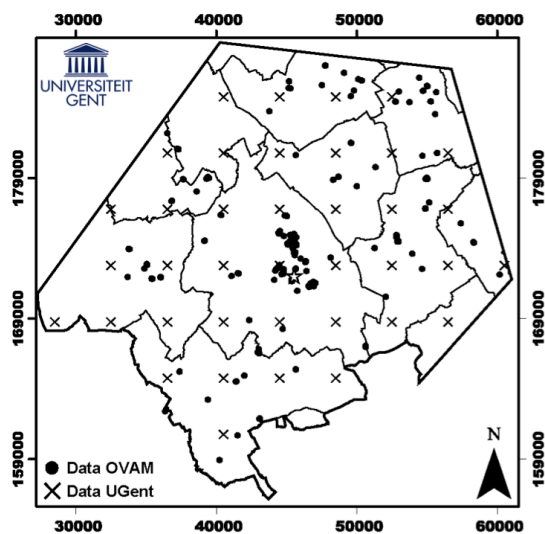
Selectie

De studie vertrok vanuit een samengestelde dataset van acht zware metalen, meerbepaald As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb en Zn, afkomstig van twee bronnen. Het grootste deel van de data werd verzameld door OVAM. Data van bodemonderzoeken worden systematisch bijgehouden en sinds 2000 werd een Geografisch Informatiesysteem (GIS) ingevoerd met als doel de gemeten concentraties aan zware metalen of organische polluenten te koppelen aan hun geografische coördinaten. Het gevolg hiervan is dat OVAM beschikt over een uitgebreide collectie aan geodata van de concentraties aan acht zware metalen in de bodem van Vlaanderen. Elk van de metingen wordt gegeoreferend met behulp van X- en Y-coördinaten, volgens de Lambertprojectie '72. Daarnaast wordt per meetpunt ook de bemonsteringsdatum, de boven- en ondergrens van de staalname en de hoogte van het maaiveld in meter t.o.v. TAW weergegeven. Van Meirvenne et al. (2008) selecteerden reeds de data gelegen in West-Vlaanderen, met een gemiddelde bemonsteringsdiepte die niet groter was dan 50 cm en de bovengrens van de staalname niet dieper dan 20 cm. Die keuze was gebaseerd op de aanname dat bij een verontreiniging met zware metalen het grootste deel van de vervuiling boven in de bodem geconcentreerd zit (Meklit et al., 2006a; Meklit et al., 2006b). De selectie gebeurde in 2006 en bevat dus alle meetpunten van voor deze periode. Van de geselecteerde data liggen er 229 in het studiegebied (Figuur 7).

Het gebruik van de OVAM-dataset liet enerzijds toe om de interpolatie te baseren op een bijzonder groot aantal meetwaarden. Anderzijds waren beperkingen verbonden aan het gebruik van de dataset. De bemonsterings- en analysemethoden zijn namelijk niet identiek voor elk meetpunt, maar zijn afhankelijk van de procedures die werden toegepast in desbetreffend bodemonderzoek. In principe worden alle staalnames en analyses in het kader van een bodemonderzoek echter wel uitgevoerd volgens standaardprocedures. Belangrijker is dat de OVAM-data werden verzameld in het kader van een bodemonderzoek dat werd uitgevoerd om administratieve, historische en (hydro)geologische informatie te verzamelen om de aard en de plaats van een mogelijke verontreiniging vast te stellen. Dit betekent namelijk dat er bij het nemen van een monster op zijn minst een vermoeden was voor een aanrijking aan één of meerdere metalen of organische polluenten. Hiermee werd rekening gehouden bij de verdere verwerking en het gebruik van de dataset.

De tweede dataset bestond uit 38 analyses van dezelfde zware metalen in de bovenste 20 cm van diverse bodemtypes, waaronder landbouwbodems, bosbodems, weilanden en braaklanden (Figuur 7). De monsters werden genomen volgens een grid van 4 km op 4 km (Gellinck, 1998). De staalnamecampagne kaderde in een onderzoek met als doel de achtergrondconcentraties aan verschillende zware metalen in de bodems van Vlaanderen te bepalen (Tack et al., 2005).

Samengevat waren dus op 267 locaties binnen het studiegebied de concentraties aan acht zware metalen gekend.



Figuur 7: Initieel beschikbare dataset met 229 data van OVAM en 38 data van Ugent

Datapreparatie

Identificatie outliers

De concentratie aan zware metalen in de bodem is zeer variabel en kan beïnvloed worden door biogeochemische processen, door antropogene activiteiten en door atmosferische depositie van partikels. Zo kan een onderscheid gemaakt worden tussen natuurlijke, diffuse antropogene en lokale antropogene invloeden. Voor bodemonderzoek is er nood aan een referentiewaarde en hiervoor wordt de geochemische baseline concentratie gebruikt. Deze bevat niet enkel de natuurlijke achtergrondwaarde maar includeert eveneens diffuse contaminatie. Ze wordt op lokale schaal als homogeen beschouwd, maar kan regionaal wijzigen (Meklit et al., 2008). Deze studie onderzoekt een diffuse, regionale verontreiniging en gaat dus met andere woorden op zoek naar de invloed van WO I op de geochemische baseline concentratie in de regio rond Ieper.

Een aantal extreem hoge concentraties kunnen bepaalde statistieken zeer sterk beïnvloeden. Vooral het gemiddelde, de variantie, de correlatiecoëfficiënt en het variogram zijn hier gevoelig voor. Goovaerts (1997) stelt vier methoden voor om extreme waarden te behandelen: de data verwijderen, ze als een afzonderlijke populatie classificeren, robuuste statistieken gebruiken of de dataset transformeren. De keuze moet met zorg worden genomen en is vooral afhankelijk van de doelstelling van de studie.

Men gaat ervan uit dat alle monsters die genomen zijn gedurende deze studie en de data afkomstig van UGent, op een betrouwbare en conforme manier geanalyseerd zijn. De data zijn ook onafhankelijk genomen en zijn niet –of althans niet bewust– gelinkt aan een verontreinigde site. Daarom werden van deze datasets alle metingen behouden, ook al waren bepaalde concentraties zeer hoog.

Een uitdaging is zoals eerder vermeld het werken met de OVAM-dataset. De beschikbare data zijn niet alleen op verschillende manieren geanalyseerd, de concentraties zijn ook bepaald op sites waar op zijn minst een vermoeden was voor één of andere verontreiniging. Om deze reden werd de OVAM-dataset op een andere manier behandeld en werden hier wel outliers gedetecteerd en zelfs verwijderd. Het volledig verwijderen van outliers wordt als de meest drastische van de vier methoden beschouwd. Het leek ons echter niet gepast om extreem hoge concentraties die met een grote waarschijnlijkheid gelinkt zijn aan een lokale bodemverontreiniging, op te nemen in een analyse die de impact van WO I op de baseline concentraties aan zware metalen wenst te onderzoeken.

Van een aantal verwijderde outliers werd het bijhorend bodemdossier ingekeken of werd de locatie bestudeerd op een topografische kaart en luchtfoto's.

Meklit et al. (2008) stellen een geïntegreerde outlier identificatie voor die zowel marginale als spatiale outliers verwijderd met als doel het bepalen van de geochemische baseline concentratie. Marginale outliers wijken af van de rest van de dataset zonder rekening te houden met hun ruimtelijke coördinaten. Spatiale outliers daarentegen hebben een waarde die afwijkt van deze in hun omgeving en zijn dus niet noodzakelijk afwijkend van de volledige dataset. Tabel 1 toont welke marginale en spatiale outliers van de initieel beschikbare data geïdentificeerd en verwijderd werden.

Tabel 1: Verwijderde marginale en spatiale outliers van de initieel beschikbare data (mg kg⁻¹)

	Marginale outliers	Spatiale outliers
As	-	52 – 37
Cd	76	8.7
Cr	-	-
Cu	830 – 390	220
Hg	10	-
Ni	-	-
Pb	690 – 550 – 439 – 420 – 330	-
Zn	2230 – 1700 – 1700 – 1270 – 981	700

5.2.2 Uitmiddeling

OVAM-data met een onderlinge afstand kleiner dan 10 m werden uitgemiddeld. Deze operatie is niet gebruikelijk in de geostatistiek omdat uitmiddelen als een verlies aan informatie kan geïnterpreteerd worden, maar bij dit onderzoek op regionale schaal zijn er sterke argumenten voor. Ten eerste werden de deelstalen bij de nieuwe bemonstering (hoofdstukken 6, 7 en 9) genomen binnen een diameter van 10 m. Stalen die zo dicht bij elkaar worden genomen, worden dus als deelmonsters aanzien. Om consequent te zijn moet deze interpretatie ook worden doorgetrokken naar de reeds beschikbare data. Als de omschreven data als individuele data zouden geïnterpreteerd worden, zou hun gewicht bij de beschrijvende data-analyse een ongerechtvaardigd groot gewicht krijgen ten opzicht van data die representatief zijn voor een veel groter gebied.

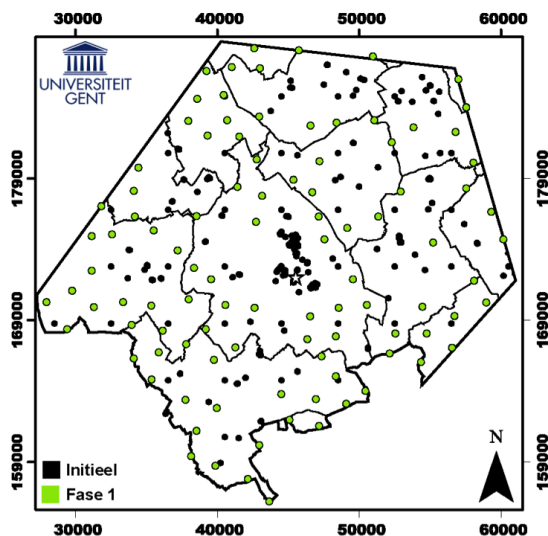
Stap 2: Eerste staalnamefase

Selectie

Zoals reeds eerder vermeld, werden voor de eerste staalname 100 locaties geselecteerd. Door de sterke clustering van de initieel beschikbare data werd in de eerste plaats gestreefd naar een meer gelijke spreiding van de datapunten door een staalname in ondervertegenwoordigde gebieden (Figuur 8). De geostatistische staalnamestrategie was gebaseerd op de dataconfiguratie van de Cu-dataset. De selectie steunde ondermeer op de ordinary kriging variantie (Goovaerts, 1997 p.132). Als bijkomende voorwaarde werd opgelegd dat de afstand tussen de geselecteerde locaties min. 2000 m moest bedragen.

Richtlijnen bemonstering

Het nemen van de bijkomende bodemonsters gebeurde door Soresma nv, een onafhankelijk ingenieurs- en adviesbureau. In oktober 2008 werden de coördinaten van de locaties van de eerste staalnamefase en die van de validatiedataset aan hen bezorgd. Tevens werden enkele praktische afspraken gemaakt vooraleer men naar het veld trok.



Figuur 8: Locaties geanalyseerd tijdens de eerste staalnamefase

Op basis van de verschafte coördinaten werd met behulp van een topografische kaart en een draagbare GPS de locatie opgezocht. Op iedere plaats werden vervolgens 5 steken genomen tot 30 cm diepte binnen een straal van 5 m (4 steken rond een centraal punt) met een reglementaire steekboor. De 5 bodemstalen werden goed gemengd in een emmer en een voldoende groot deel van dit mengmonster werd als eigenlijk staal naar het labo gebracht. Om praktische redenen werd in bepaalde gevallen afgeweken van de vooropgestelde coördinaten doordat bepaalde locaties niet toegankelijk waren. Er werd aan Soresma nv gevraagd niet verder af te wijken van de vooropgestelde coördinaten dan 250 m. De exacte locatie van het centrale punt werd opgemeten met een GPS met min. 3 m nauwkeurigheid op de laterale positiebepaling. Vanzelfsprekend was de verdere data-analyse gebaseerd op de coördinaten van de exacte locaties waar de bodem bemonsterd werd. Eén locatie kon niet bemonsterd worden daar de eigenaar weigerde om toegang te verlenen.

Analysemethoden

De analyses werden uitgevoerd door Eurofins Analytico B.V., een door OVAM erkend laboratorium. Eurofins Analytico is door de Raad voor Accreditatie (RvA) geaccrediteerd tegen ISO/IEC 17025. RvA is de Nederlandse variant van het Belgische BELAC. De voorbehandeling verliep volgens de microgolfoven destructiemethode met salpeterzuur (HNO₃), zoutzuur (HCl) en waterstoffluoride (HF) volgens CMA/2/II/A.3. Bij de destructie worden de metalen vrijgesteld en omgezet in oplosbare zouten, zodat ze aansluitend kunnen gemeten worden met inductief gekoppeld plasma atoomemissiespectrometrie (ICP- AES) volgens NEN 6966 en CMA 2/I/B.1. Enkel voor kwik gebruikte het labo een eigen methode die gelijkwaardig is met EN1483:1997, het bepalen van Hg door atoomabsorptiespectrometrie (AAS).

De dienst kwaliteit van Eurofins Analytico B.V. stelde Tabel 2 op met de rapporteringsgrenzen en meetonzekerheden uitgedrukt in mg kg⁻¹. Resultaten lager dan de rapporteringsgrens worden gerapporteerd als '< reporting limit'. De rapporteringsgrens is steeds gelijk aan of hoger dan de detectielimiet, de laagste concentratie van een analyt in een monster waarvan men de aanwezigheid nog met een bepaalde zekerheid kan detecteren. De meetonzekerheid is een betrouwbaarheidsinterval uitgedrukt t.o.v. het meetresultaat. Men verwacht met een zekerheid van 95 % dat de werkelijke concentratie, verkregen na het toepassen van de destructiemethode, binnen dit interval zal liggen.

Tabel 2: Rapporteringsgrens en meetonzekerheid voor de acht zware metalen uitgedrukt in mg kg⁻¹; info verkregen van de dienst kwaliteit van Eurofins Analytico B.V.

	Rapporteringsgrens	95% betrouwbaarheidsinterval
As	10	12.7
Cd	0.4	8
Cr	5	5.1
Cu	5	7.3
Hg, niet vluchtig	0.1	6.8
Ni	5	4.4
Pb	10	4.8
Zn	5	4.

Alle analyseresultaten van de eerste staalnamefase zijn terug te vinden in bijlage 1.

Stap 3: Tweede staalnamefase

Selectie

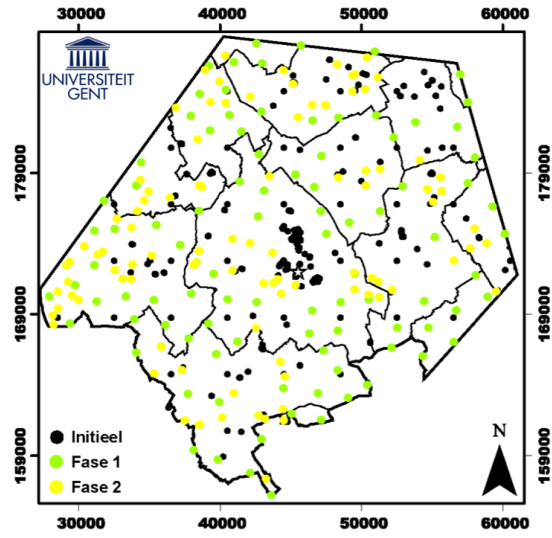
Uit de resultaten van de eerste staalnamefase bleek dat op 4 van de 99 locaties de BSN voor een standaardbodem werd overschreden. Om eventuele laboratoriumfouten uit te sluiten, werd beslist deze 4 locaties opnieuw te bemonsteren.

De interpolaties van de metalen Cd, Cr, Hg en Ni werden niet gebruikt in deze fase omdat in de leperboog geen aanrijking aan deze metalen werd verwacht. De metalen waren niet aanwezig in de granaten en konden anders ook niet rechtstreeks gerelateerd worden aan de impact van WO I. Zoals reeds eerder vermeld kwam As voor in gifgasgranaten. Omdat 76 % van de 352 As-data een concentratie lager of gelijk aan de rapporteringsgrens van 10 mg kg^{-1} hadden, zou de interpolatie van As weinig tot geen meerwaarde leveren bij de bemonsteringsstrategie. Een geostatistische interpolatiemethode kan namelijk geen hotspots voorspellen op locaties waar geen data die dit fenomeen indiceren, aanwezig zijn. Om deze redenen werd besloten de selectie van de nieuwe staalnamelocaties te baseren op de interpolaties van de oorlogsmetalen, Cu, Pb en Zn.

Met het oog op eventuele verdere maatregelen, is het bij een puntpollutie cruciaal om gebieden af te bakenen waar de verwachte concentratie de BSN zal overschrijden. Een veelgebruikte tactiek hiervoor is bijkomende bodemstalen nemen in gebieden waar de probabilmiteit om de BSN te overschrijden zich in een interval rond 0.5 bevindt. Bij de selectie zal de gekozen drempelwaarde een significante impact hebben. In deze studie hebben we echter te maken met het eerder zeldzame geval van een regionale aanrijking of zelfs eerder een verhoging van de baseline concentratie. Geen enkele vooraf bepaalde concentratie is relevant genoeg om als drempelwaarde op te treden en aldus een sleutelrol te vervullen bij de selectie. Hierom werd de probabilmiteit tot het overschrijden van een drempelconcentratie niet als criterium gebruikt.

Daar de staalname in fase 1 het aantal ondervertegenwoordigde gebieden sterk had gereduceerd, restte enkel nog te bemonsteren op punten waar de lokale onzekerheid het grootst was. Een geschikt algoritme hiervoor is sequentiële Gaussiaanse simulatie (sGs) dat op elke onbemonsterde locatie de conditionele cumulatieve distributiefunctie (ccdf) genereert. Voor zowel Cu, Pb als Zn werden de 16 locaties geselecteerd waar de variantie en de variatiecoëfficiënt van de ccdf het grootst waren (Figuur 9). Een flowchart van het algoritme is terug te vinden in Figuur 10. Voor gedetailleerde informatie wordt verwezen naar Goovaerts (1997, p.380).

Twee bijkomende voorwaarden werden opgelegd. Ten eerste mocht de onderlinge afstand tussen de 16 locaties niet kleiner zijn dan 1000 m. Deze voorwaarde werd aangepast omdat de opgestelde variogrammen deden vermoeden dat de range van spatiale autocorrelatie lager lag dan 2000 m zoals eerder vermoed werd. Ten tweede werden geen data geselecteerd aan de uiterste grens van het studiegebied. Argumenten hiervoor zijn de beschikbaarheid van data buiten het studiegebied en de finale doelstelling om binnen het studiegebied de graad van detail te verhogen in plaats van de grenzen van een gecontamineerd gebied af te bakenen.



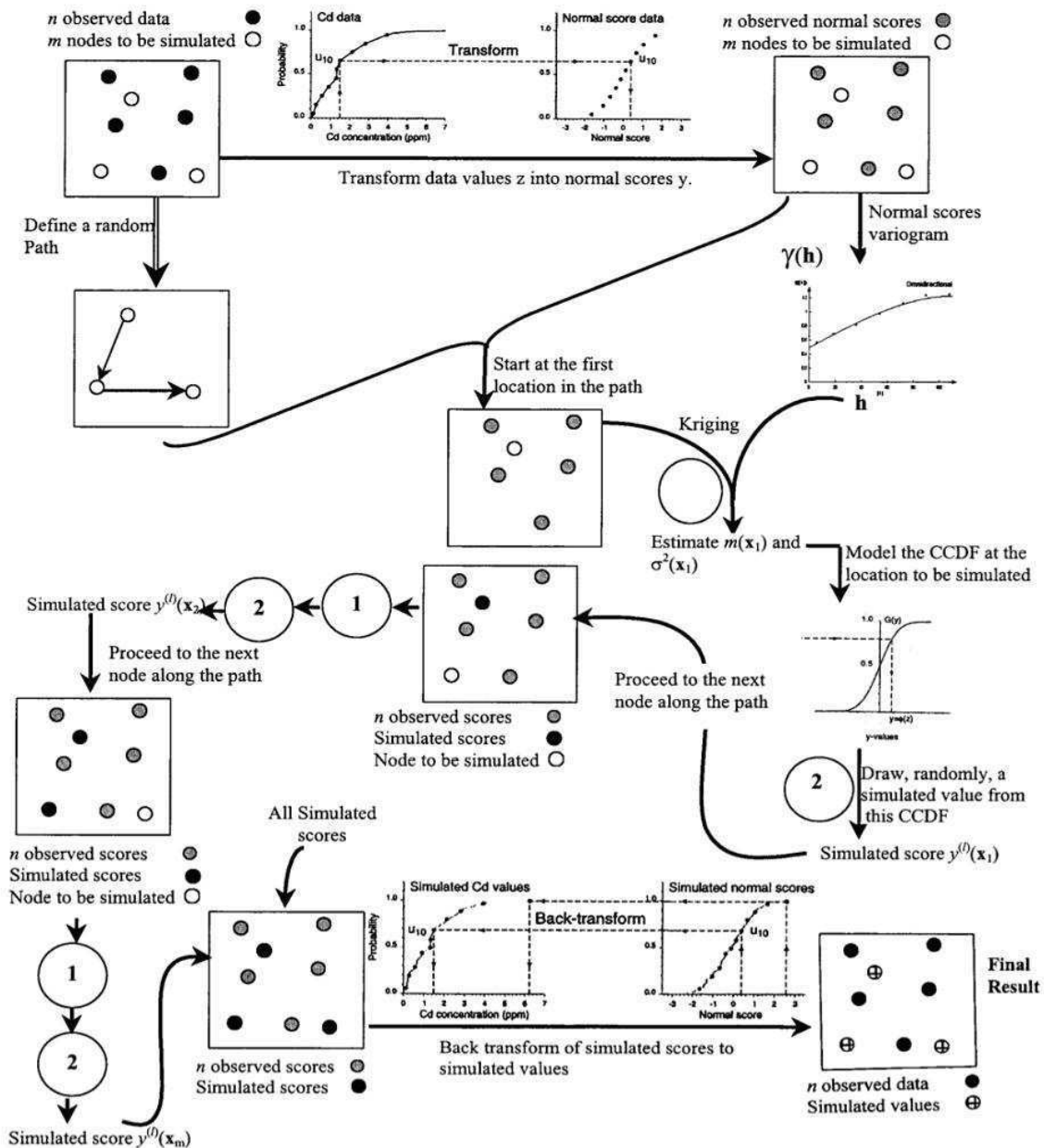
Figuur 9: Locaties geanalyseerd tijdens de eerste en tweede staalnamefase

Richtlijnen bemonstering

In februari 2009 werden de geselecteerde coördinaten doorgestuurd naar Soresma nv. De richtlijnen voor de tweede bemonsteringsfase waren analoog aan deze van de eerste (sectie 6.2). Omdat bepaalde locaties nu dichter bij elkaar kwamen te liggen, was een correcte staalname cruciaal. Daarom werd aan Soresma nv gevraagd de staalnamelocaties maximaal 100 m te laten afwijken van de vooropgestelde coördinaten.

Analysemethoden

De analysemethoden zijn volledig analoog aan deze beschreven in sectie 6.3. De analyseresultaten van de tweede staalnamefase zijn terug te vinden in bijlage 2.

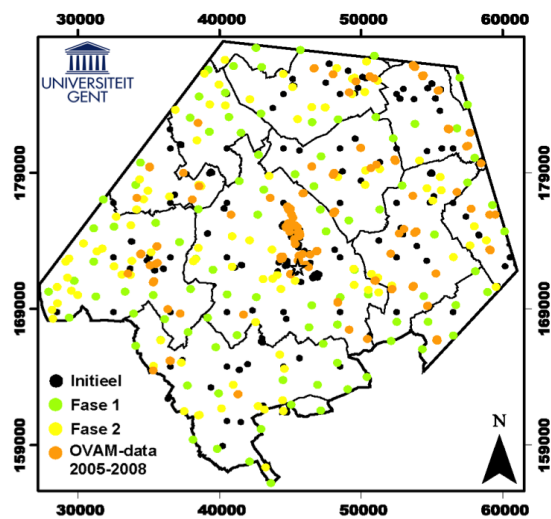


Figuur 10: Flowchart die het verloop van sGS voorstelt (Fagroud & Van Meirvenne, 2002)

Stap 4: Bijkomende OVAM-data 2005-2008

Selectie

Tenslotte werd de OVAM-databank gescreend op recente meetpunten van de concentraties aan de acht zware metalen, afkomstig van bodemonderzoeken uitgevoerd in de periode van 2005 tot en met 2008. Deze update van de dataset resulteerde in 189 bijkomende locaties binnen het studiegebied. Bij de selectie werden, analoog aan de voorgaande screening, enkel de locaties behouden waar de gemiddelde bemonsteringsdiepte niet groter was dan 50 cm en waar de bovengrens van de geanalyseerde bodem niet dieper was dan 20 cm, zodat de concentraties representatief bleven voor de bovengrond. De bijkomende OVAM-data zijn eveneens sterk geclusterd en een groot deel ervan ligt in agglomeratie Ieper (Figuur 11).



Figuur 11: Locaties geanalyseerd tijdens de eerste en tweede staalnamefase en bijkomende OVAM-data uit periode 2005-2008

Datapreparatie

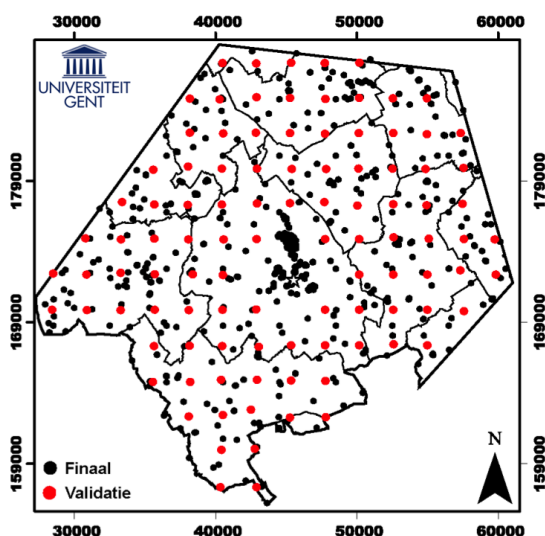
Op dezelfde manier als in sectie 5.2 werden de marginale en spatiale outliers verwijderd (Tabel 3) en werden de dataparen met een onderlinge afstand kleiner dan 10 m uitgemiddeld. Na uitmiddeling bleven 177 datapunten over.

Tabel 3: Verwijderde marginale en spatiale outliers van de bijkomende OVAM-data (mg kg^{-1})

	Marginale outliers	Spatiale outliers
As	120 - 70	-
Cd	21.1 – 6.9 – 3.7 – 3.4	-
Cr	-	276.8
Cu	1517.5 – 530 – 400 – 340	210
Hg	18 – 2.4 – 1.63 – 1.4	-
Ni	-	100
Pb	5456.5 – 1000 – 710 – 630 – 530	-
Zn	1400 – 882 – 870 – 840 – 800	-

Validatie

Om een onafhankelijke validatiedataset te verkrijgen, werd bemonsterd volgens een regelmatige grid met 102 nodes binnen het studiegebied (Figuur 12). De staalname gebeurde volledig analoog als voor de training dataset. Er werden geen validatiemonsters in en rond het stadscentrum van Ieper genomen omwille van de beperkte toegankelijkheid en omdat de bodem daar gedurende de laatste decennia zodanig verstoord is door ondermeer de heropbouw na WO I, dat deze als antropogeen kan worden beschouwd. De analysesresultaten worden weergegeven in bijlage 1.



Figuur 12: Kaart van de onafhankelijke validatiedataset

Bij elke stap doorheen de datacollectie werd voor Cu, Pb en Zn een sGs uitgevoerd op basis van de tot dan beschikbare data. Telkens werden 6 validatieparameters berekend.

Het sequentieel toevoegen van data aan de initieel beschikbare dataset betekende telkens een meerwaarde voor het voorspellen van de concentraties aan zware metalen op een regionale schaal. Een jackknife-validatie voor Cu, Pb en Zn toonde aan dat de lokale predictiecapaciteit vooral toenam door het toevoegen van de data van de eerste staalname, waarbij bemonsterd werd in ondervetegenwoordigde gebieden. De doelstelling van de tweede staalname werd eveneens bereikt, daar het toevoegen van deze data resulteerde

in de sterkste daling van de lokale variantie. Het finaal toevoegen van de bijkomende OVAM-data bracht nog een lichte stijging teweeg in de lokale voorspellingscapaciteit voor Cu, maar een daling voor Pb en Zn. De meerwaarde van het toevoegen van de bijkomende OVAM-data was dat de kwaliteit van de fit van het variogram beduidend verbeterde. Verder steeg de performantie van het sGs-algoritme bij elke stap van de datacollectieprocedure, weerspiegeld door een steeds betere overeenkomst tussen de E-typedistributie en de distributie van de beschikbare data. Een toename in de kaartzuiverheid voor Cu en Pb gaf aan dat de predictiekaarten waarheidsgetrouwer werden.

De lokale predictiecapaciteit was aanvaardbaar voor As, Cd, Cr, Hg en Ni, maar ontgoochelde eerder voor Cu, Pb en Zn. Tijdens de geostatistische analyse botsten we namelijk tegen een muur van variabiliteit die enerzijds intrinsiek aanwezig is in de bodem van het regionale studiegebied en anderzijds geïntroduceerd werd doorheen het volledige analyseproces en vooral aanwezig is in de OVAM-dataset. Een variabele met een positief scheve distributie stelt een bijkomende uitdaging aan het gekozen geostatistische algoritme, wat de lagere performantie voor het voorspellen van de oorlogsmetalen (Cu, Pb en Zn) verklaart. Om deze reden werden de predictiekaarten voor de oorlogsmetalen opgesteld door de mediaan van de ccdf als schatter te gebruiken i.p.v. het gemiddelde (de E-type).

Het accuraat voorspellen van concentraties op een puntschaal, was echter geen doelstelling van dit onderzoek. Het totaal aantal beschikbare data, zowel de finale data als de validatiedata, volstaat om in te schatten voor welke metalen een aanrijking voorkomt in het studiegebied, een beeld te schetsen van wat de milieuhygiënische impact is voor elk metaal en regionale patronen in kaart te brengen.

Resultaten en kartering

Beschrijvende data-analyse

De samenvattende statistieken van alle beschikbare data worden weergegeven in Tabel 4. Het gemiddelde voor Cu, Hg, Pb en Zn ligt boven de streefwaarde. Geen enkele mediaan overschrijdt de streefwaarde. De mediaan voor Cu, die door Van Meirvenne et al. (2008) reeds op 18 mg kg^{-1} werd geschat op basis van 199 data, blijft 18 mg kg^{-1} . Het aantal data boven de BSN en de richtwaarde is het hoogst voor de oorlogsmetalen.

Tabel 4: Beschrijvende statistieken van de finale data plus de validatiedata (tussen 721 en 730 data)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
BSN	58	2	130	120	2.9	93	200	333
richtwaarde	35	1.2	91	72	1.7	56	120	200
streefwaarde	16	0.7	62	20	0.1	16	31	77
Aantal data	727	726	730	724	728	730	722	721
Aantal > BSN	1	3	1	5	0	0	17	18
Aantal > richtwaarde	2	17	9	22	0	2	52	38
Aantal > streefwaarde	46	127	59	306	234	189	352	229
Gemiddelde	10.5	0.52	40.7	23.3	0.14	14.2	58.1	81.9
Variantie	21.41	0.087	271.8	422.5	0.011	59.49	82821	5795
Variatiecoëfficiënt	0.44	0.57	0.40	0.88	0.76	0.54	4.95	0.93
Minimum	3.7	0.01	5.9	0.85	0.04	1	1	6.7
Eerste kwartiel	9.8	0.4	32	13	0.1	9.4	22	46
Mediaan	10	0.4	38	18	0.1	12.8	31	60
Derde kwartiel	10	0.6	46	26	0.13	17	48	88
Maximum	70	2.5	210	250	1	70.2	7600	620

Tabel 5 toont de beschrijvende statistieken van een subset van de 721-730 data die beschikbaar waren, nl. deze waarvan we kunnen stellen dat ze niet op basis van een vermoeden van bodemverontreiniging bemonsterd werden. Deze bevatten zowel de 38 data van UGent als alle data die gedurende dit onderzoek bemonsterd werden door Soresma nv. zodat in totaal 339 data beschikbaar waren. Door tabel 4 met tabel 5 te vergelijken blijken relatief kleine verschillen voor te komen, zelfs de meeste maximale waarden komen in de onafhankelijke dataset voor. Toch zijn de verschillen groter voor het gemiddelde dan voor de mediaan. We zullen dan ook de mediaan als een meer robuuste parameter voor de centrale waarde nemen.

Bijlage 3 toont de histogrammen voor de acht zware metalen. Ze worden telkens weergegeven voor 30 klassen. Voor elk histogram is de maximumconcentratie op de x-as gelijk aan de richtwaarde. Indien er waarden groter zijn dan de richtwaarde worden deze consequent gebundeld in de laatste piek. Het grote verschil tussen de mediaan en het gemiddelde voor Cu, Pb en Zn is te verklaren door de positief scheve distributie van deze variabelen. Voor Cr en Ni liggen het gemiddelde en de mediaan dicht bij elkaar en zijn ze beiden lager dan de streefwaarde. Het histogram voor Cr benadert reeds beter een normale distributie. As, Cd en Hg tenslotte zijn censored data, wat betekent dat een groot percentage van de data gelijk is aan de rapporteringsgrens, respectievelijk 10, 0.4 en 0.1 mg kg⁻¹.

Tabel 5: Beschrijvende statistieken van de data die niet afkomstig zijn uit de OVAM-databank

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Aantal data	339	339	339	339	339	339	339	339
Aantal > BSN	1	0	1	3	0	0	4	1
Aantal > richtwaarde	2	2	2	7	0	0	12	3
Aantal > streefwaarde	19	51	20	155	95	52	155	68
Gemiddelde	11.1	0.52	41.1	23.1	0.14	12.4	65.5	66.7
Variantie	24.84	0.037	248.1	386.7	0.009	30.26	173075	1744
Variatiecoëfficiënt	0.45	0.37	0.38	0.85	0.69	0.44	6.35	0.63
Minimum	5	0.04	11.98	5	0.05	2.87	11.7	6.7
Eerste kwartiel	10	0.4	34	16	0.1	9.1	24	50
Mediaan	10	0.49	39	19.7	0.1	11	30	58
Derde kwartiel	10	0.62	45	25	0.11	14	43	70
Maximum	70	1.8	210	250	1	36	7600	620

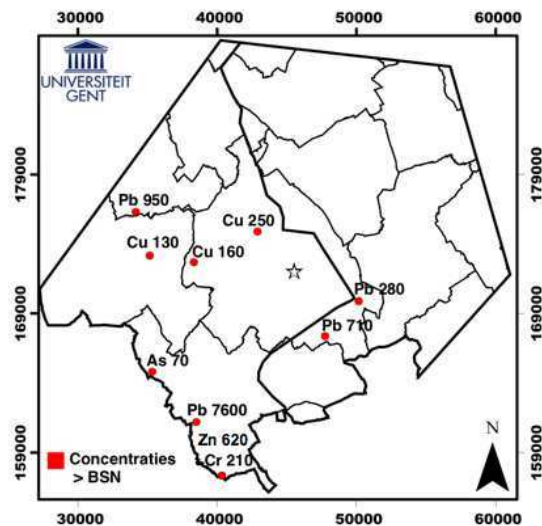
Om een conclusie te trekken uit deze statistieken voor wat betreft de impact van WO I, kunnen die het best vergeleken worden met statistieken van de concentraties aan zware metalen voor heel Vlaanderen. Meklit et al. (2006a) en Meklit et al. (2006b) analyseerden de volledige OVAM-dataset tot 2005 in het kader van een opdracht voor OVAM waarbij kaarten werden geproduceerd met enerzijds alle concentraties en anderzijds achtergrondconcentraties voor de acht zware metalen in Vlaanderen. De resulterende beschrijvende statistieken zijn samengevat in Tabel 6. Voor het bepalen van de achtergrondwaarden werd een selectietechniek doorgevoerd waarbij men ervan uit ging dat achtergrondconcentraties normaal verdeeld zijn. Aangezien de selectie in dit onderzoek zich beperkte tot het verwijderen van enkele marginale en spatiale outliers, is het vergelijken van de achtergronddataset met de leperdataset minder betrouwbaar. Anderzijds wordt het gemiddelde van alle concentraties in Vlaanderen te sterk beïnvloed door extreme waarden van gecontamineerde sites, die wel verwijderd werden gedurende dit onderzoek. Aangezien de mediaan een robuuste statistiek is en dus minder gevoelig voor extremen, wordt de mediaan van de data in de leperboog vergeleken met de mediaan van alle data beschikbaar in Vlaanderen tot 2005.

Tabel 6: Gemiddelde en mediaan van de achtergrondconcentraties in Vlaanderen en voor alle data uit de OVAM-dataset in Vlaanderen (Meklit et al., 2006a; Meklit et al., 2006b)

	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Achtergrondconcentraties in Vlaanderen								
Gemiddelde	9.57	0.45	23.35	9.77	0.11	9.15	19.18	33.66
Mediaan	10	0.40	23	9.5	0.1	8.40	17	33
Alle concentraties in Vlaanderen								
Gemiddelde	11.33	0.99	36.38	40.81	7.24	16.33	86.16	170.71
Mediaan	10	0.5	29.26	12	0.1	11	27	50

De situatie voor Cu is exact dezelfde als deze beschreven door Van Meirvenne et al. (2008). Binnen het studiegebied wordt een mediaan van 18 mg kg^{-1} verkregen en in de rest van Vlaanderen een mediaan van 12 mg kg^{-1} . Dat er sprake is van een Cu-aanrijking van 6 mg kg^{-1} , wordt aldus bevestigd door de resultaten van dit onderzoek. De mediaan van Pb in het studiegebied is gelijk aan de streefwaarde, nl. 31 mg kg^{-1} , en is hiermee 4 mg kg^{-1} hoger dan de mediaan voor volledig Vlaanderen. Ook de mediaan van Zn is 10 mg kg^{-1} groter dan de mediaan voor alle concentraties in Vlaanderen. Naast Cu, Pb en Zn, kennen tenslotte ook Cr en Ni een verhoging van respectievelijk 8.7 en 1.8 mg kg^{-1} . De mediaan voor As, Cd en Hg is lager of gelijk aan de mediaan van alle concentraties in Vlaanderen.

Er kan besloten worden dat zich in absolute zin geen enkel probleem stelt voor de acht zware metalen op regionale schaal. Geen enkele mediaan is hoger dan de Vlarebo-streefwaarde. Wordt de mediaan van het studiegebied vergeleken met de mediaan van alle concentraties in Vlaanderen, dan blijkt dat Cr, Cu, Ni, Pb en Zn een aanrijking vertonen in het studiegebied. Tien meetwaarden die geanalyseerd werden tijdens dit onderzoek, meerbepaald data uit de eerste en tweede staalnamefase of uit de validatiedataset, overschreden echter de BSN (Figuur 13, in rood weergegeven in appendices 1 en 2 waar hun coördinaten staan weergegeven). Bij de herbemonstering van 4 locaties in de tweede staalnamefase (hoofdstuk 7) werd echter, met uitzondering van arseen, geen van de verhoogde spots opnieuw gedetecteerd, wat wijst op verhoogde puntconcentraties van beperkte omvang.



Figuur 13: Locaties van de 10 meetwaarden geanalyseerd tijdens dit onderzoek die de BSN overschrijden (mg kg^{-1})

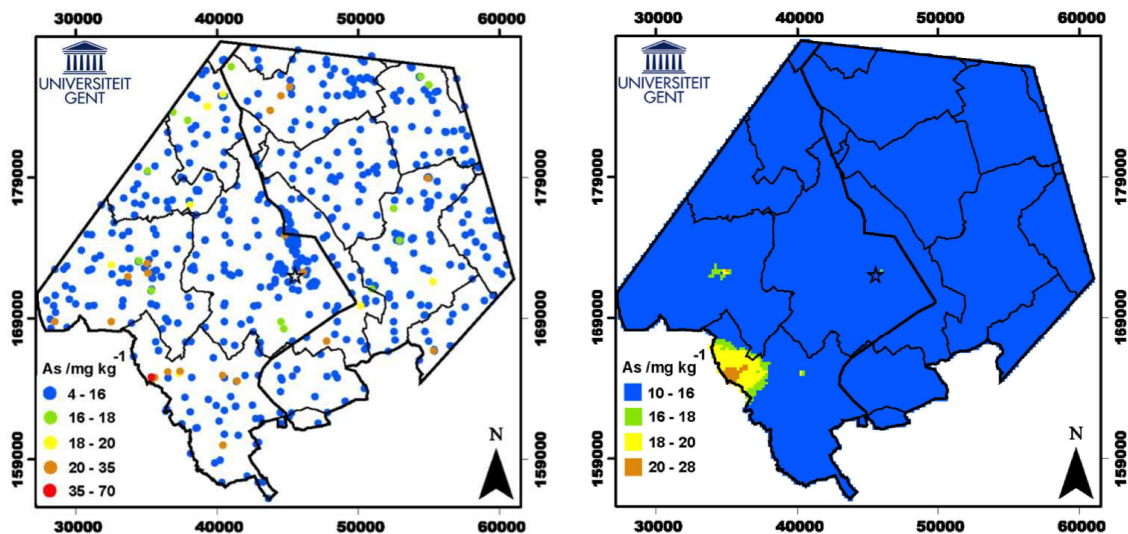
Predictiekaarten

Op elke kaart worden de grenzen van de fusiegemeenten en het centrum van Ieper aangeduid. De belangrijkste frontlijn die min of meer statisch bleef tussen 1915 en 1917 werd ook afgebeeld (Chielens et al., 2006). Pixels met een voorspelde concentratie lager dan of gelijk aan de streefwaarde worden in het blauw voorgesteld, concentraties hoger dan de richtwaarde in het rood. De grenzen van de twee tussenliggende klassen werden arbitrair gekozen met als doel de kaart visueel zo duidelijk mogelijk te maken. Bovenstaande conventies werden consequent toegepast voor alle kaarten, zodat ze onderling gemakkelijk kunnen vergeleken worden.

Arseen, cadmium en kwik

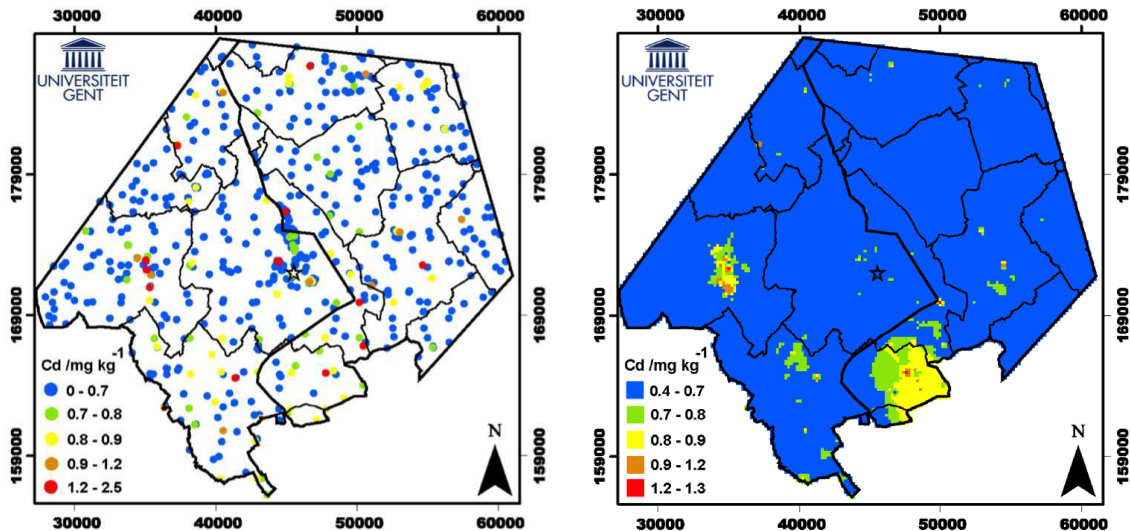
Voor As zijn maar liefst 77 % van de data kleiner of gelijk aan de rapporteringsgrens van 10 mg kg^{-1} , 48 % van de Cd-data zijn kleiner of gelijk aan 0.4 mg kg^{-1} en 68 % van de Hg-data zijn kleiner of gelijk aan 0.1 mg kg^{-1} . Censored data vragen een aangepaste interpolatietechniek. Goovaerts (2009) raadt indicator kriging (IK) aan als beste interpolatiemethode voor desbetreffende datasets, waarbij de fractie van de data die kleiner zijn dan de rapporteringsgrens eraan gelijk gesteld worden en de rapporteringsgrens als eerste drempelwaarde z1 geselecteerd wordt. Meer details over IK zijn terug te vinden in Goovaerts (1997, p.284).

Voor As zijn de voorspelde concentraties bijna voor het volledige studiegebied lager dan de streefwaarde van 16 mg kg^{-1} (Figuur 14). De grootste hotspot werd gedetecteerd in het westen van Heuvelland. De hoge waarden die geanalyseerd werden voor As tijdens de eerste en twee fase situeren zich in dit gebied. In het centrum van Poperinge, vlakbij de Kemmelberg en rond het centrum van Ieper, liggen drie kleinere gebieden waar de predictie van de As-concentratie de streefwaarde overschrijdt. Het maximum van de voorspelde waarden bedraagt slechts 28 mg kg^{-1} . Voor wat de maximumwaarden betreft zijn de geïnterpoleerde kaarten minder betrouwbaar en wordt beter gesteund op de kaart met de beschikbare data. De maximumwaarde voor de linkerkaart bedraagt 70 mg kg^{-1} , een waarde die werd gedetecteerd tijdens de eerste staalnamefase.



Figuur 14: De 727 beschikbare data voor As (links) en de geïnterpoleerde kaart voor As door IK (rechts) met aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn)

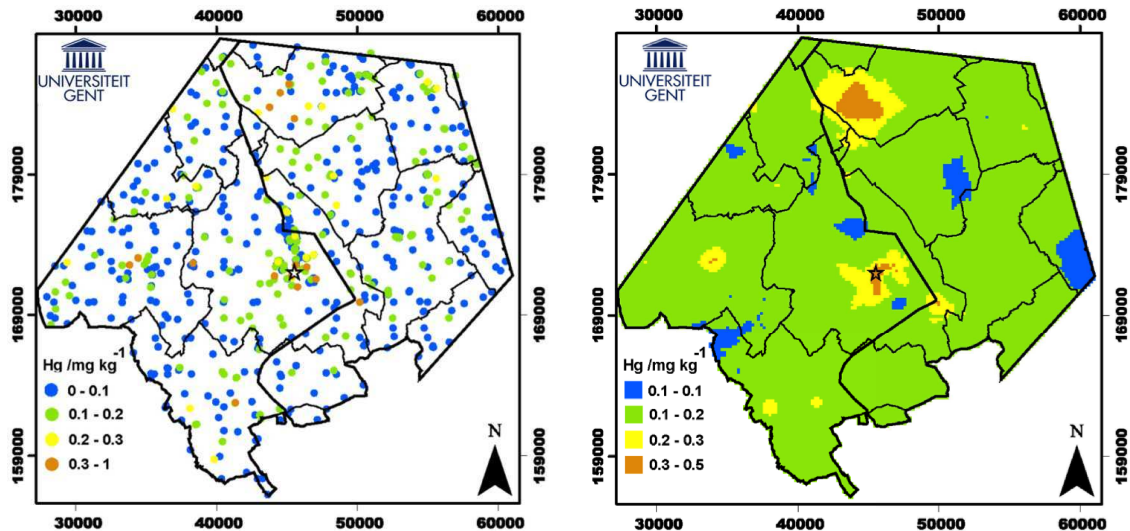
Op basis van de Cd-kaart kan een gelijkaardige conclusie getrokken worden (Figuur 15). Het verschil met As is echter dat bij het nemen van de 300 bodemstalen geen hoge Cd-waarden werden gedetecteerd. De gebieden waar de Cd-predictie hoger is dan de streefwaarde, zijn bijgevolg veroorzaakt door data van de OVAM-dataset en dus met een grote waarschijnlijkheid gelinkt aan industriële verontreinigingen. Meest opvallend zijn de verhoogde predicties in het oosten van Heuvelland en rond het centrum van Poperinge.



Figuur 15: De 726 beschikbare data voor Cd (links) en de geïnterpoleerde kaart voor Cd door IK (rechts) met aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn)

Op het eerste zicht lijkt het alsof voor Hg een aanrijking binnen het studiegebied aanwezig is (Figuur 16). Men moet bij de interpretatie echter rekening houden met het feit dat de rapporteringsgrens voor Hg gelijk is aan de streefwaarde, meer bepaald 0.1 mg kg^{-1} . Hierdoor krijgt een groot deel van de pixels een groene kleur. Zowel de data voor Hg als de geïnterpoleerde kaart bevatten geen waarden hoger dan de richtwaarde. Ten westen van Houthulst, rond het centrum van Poperinge en rond het centrum van Ieper zijn verhogingen in de voorspelde Hg-concentratie merkbaar.

Er kan geconcludeerd worden dat, zowel op basis van onze kennis over WO I activiteiten als op basis van bovenstaande kaarten, er geen link kan gelegd worden tussen Cd en Hg en WO I. De waarden voor Hg liggen overal onder de BSN. Voor Cd zijn drie locaties bekend waar de concentratie hoger is dan de BSN, maar aangezien deze data uit de OVAM-databank komen, veronderstellen we dat ze gelinkt zijn met industriële verontreinigingen. Voor wat As betreft is de situatie anders. Het staat immers vast dat er een link bestaat tussen As en oorlogsactiviteiten, met name het gebruik van zenuwgassen (Bausinger en Preuß, 2005; Bausinger et al., 2007). Gedurende de datacollectie van het voorbije jaar werd bij toeval –de staalnamestrategie was niet gebaseerd op As– één significante hotspot ontdekt met waarden van 55 en 70 mg kg^{-1} . Wat de oorzaak is van deze verhoging, dient verder onderzocht te worden. Uit de predictiekaart voor As kan dus enkel besloten worden dat regionaal geen aanrijking aan As bestaat. Dat er slechts één hotspot aanwezig is, kan niet geconcludeerd worden daar de staalnamestrategie er niet op gericht was om deze op te sporen. Indien dit wel de bedoeling zou zijn, zou men de staalname moeten conditioneren aan beschikbare historische informatie met betrekking tot munitieverbrandingssites of slagvelden waarvan men weet dat er arseenhoudende granaten werden gebruikt.

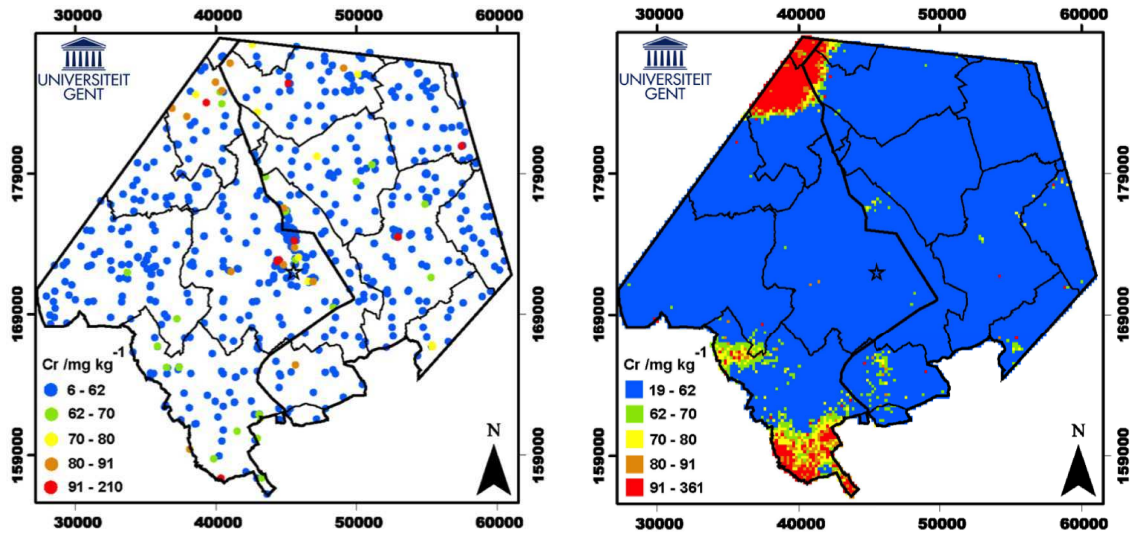


Figuur 16: De 728 beschikbare data voor Hg (links) en de geïnterpoleerde kaart voor Hg door IK (rechts) met aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn)

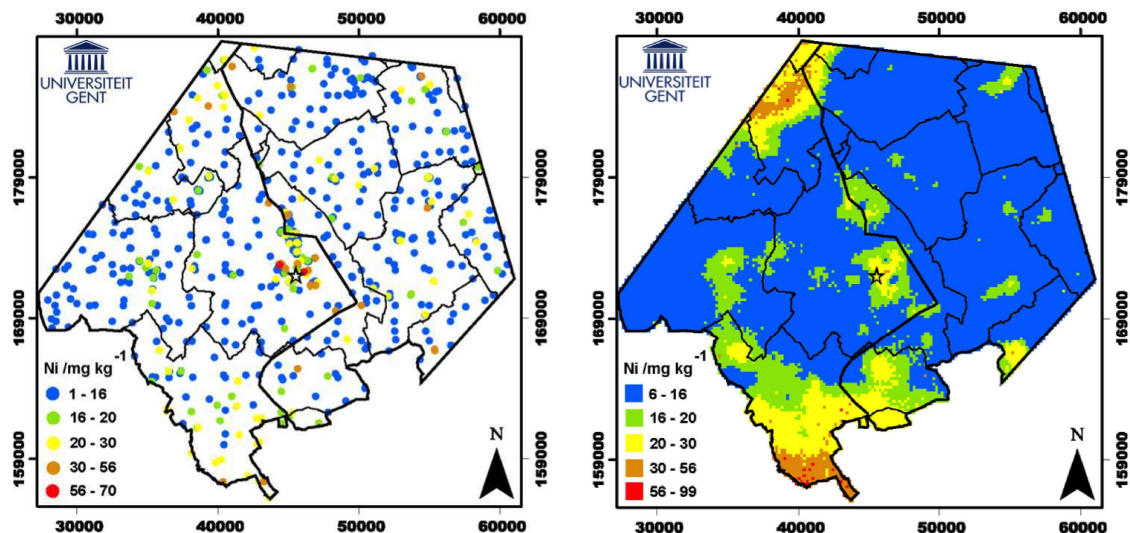
Chroom en nikkel

Uit de validatie werd geconcludeerd dat een sGs met de E-typeschatter dient gebruikt te worden voor het creëren van de voorspellingskaart voor Cr en Ni. De Cr-kaart is één van extremen (Figuur 17). Niet minder dan 91.8 % van de geïnterpoleerde locaties is lager dan de streefwaarde van 62 mg kg^{-1} . In het noorden en zuiden van het studiegebied is telkens een zone met verhoogde concentraties aanwezig. In die zone domineert de rode kleur, wat betekent dat voor veel pixels een waarde hoger dan de richtwaarde van 91 mg kg^{-1} voorspeld werd. Voor 1.1 % van de nodes werd de Cr-concentratie hoger geschat dan de BSN van 130 mg kg^{-1} . In het noordwesten van de gemeente Heuvelland komt een kleiner gebied voor met matig verhoogde Cr-concentraties. De ligging van deze zone komt overeen met het gebied waar de As-concentraties sterk verhoogd waren (Figuur 14). In sectie 10.1 werd aangetoond dat binnen het studiegebied een Cr-aanrijking van 8.7 mg kg^{-1} voorkwam. Uit Figuur 17 blijkt duidelijk dat deze aanrijking niet regionaal is. Aangezien de twee zones waar hoge Cr-concentraties voorspeld werden, samenvallen met de gebieden met meer klei (Figuur 4), zullen er ook verhoogde Vlarebo-normen gelden. Men moet dus voorzichtig omspringen met de interpretatie van de rood gekleurde zones.

De drie besproken gebieden voor Cr worden eveneens aangetroffen op de Ni-kaart, zij het iets uitgestrekter (Figuur 18). Daarnaast zijn voor Ni nog meer grotere en kleinere zones aanwezig met verhoogde concentraties, zoals bijvoorbeeld de twee regio's in de fusiegemeente Ieper. De Ni-concentraties worden echter bijna nergens hoger voorspeld dan de richtwaarde van 56 mg kg^{-1} .



Figuur 17: De 730 beschikbare data voor Cr (links) en de geïnterpoleerde kaart voor Cr door sGs met de E-typeschatter (rechts) met aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn)



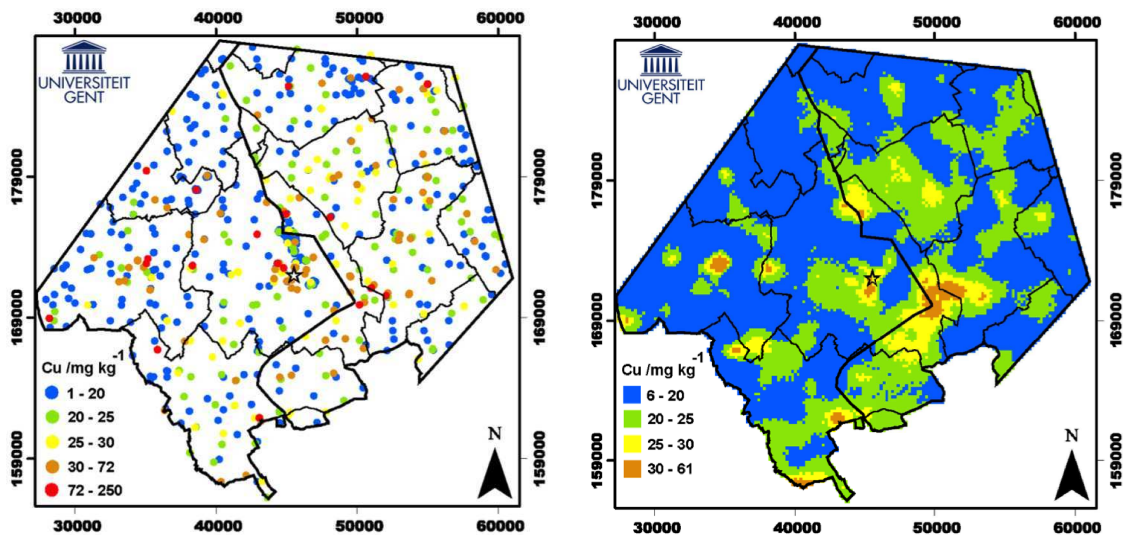
Figuur 18: De 730 beschikbare data voor Ni (links) en de geïnterpoleerde kaart voor Ni door sGs met de E-typeschatter (rechts) met aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn)

Een bivariate data-analyse toonde aan dat Cr en Ni ruimtelijk gecorreleerd zijn met elkaar. Daarnaast zijn ze ook sterk gecorreleerd met de textuur van het studiegebied (Figuur 4). Verhoogde Ni-predicties zijn tevens gelinkt met industriële verontreinigingen, maar voor Cr lijkt het kleipercantage de enige bepalende factor te zijn voor het voorkomen van concentraties boven de streefwaarde. Beide kaarten tonen geen relatie aan tussen de patronen van verhoogde voorspellingen en de ligging van de WO I-frontlijn.

Koper, zink en lood

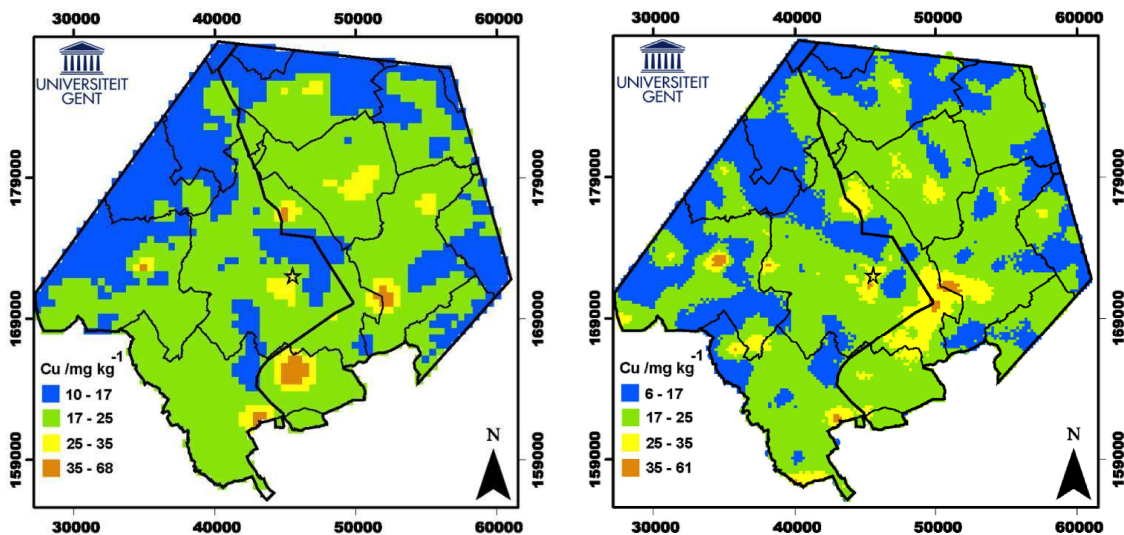
Tot slot volgt de interpolatie van de oorlogsmetalen, Cu, Pb en Zn. Figuur 19, gegenereerd door het sGs-algoritme met de mediaan als schatter, toont dat de Cu-aanrijking van 6 mg kg^{-1} regionaal is (sectie 10.1). Volgens de geïnterpoleerde kaart is echter geen sprake van een Cu-pollutie. Nergens wordt een concentratie groter dan de richtwaarde voorspeld. De data daarentegen bevatten enkele punten met een Cu-concentratie

die zelfs groter is dan de BSN, terwijl 42.2 % boven de streefwaarde ligt. Dit is het gevolg van het kiezen voor de mediaanschatter. Voor wat de interpretatie van de absolute concentraties betreft, is dan ook enige omzichtigheid geboden. De patronen op de kaart worden echter zowel door de mediaan- als door de E-typeschatter op een identieke manier voorspeld en deze zijn, in tegenstelling tot die van Cr en Ni, niet gerelateerd met de bodemtextuur. Naast enkele gebiedjes met verhoogde Cu-concentraties is vooral een continu patroon zichtbaar dat sterk overeenkomt met de frontlijn van WO I. Het grootste gebied met verhoogde Cu-predicties ligt aan het meest oostelijke en meest vooruitstekende punt van de frontlijn op de grens van leper en Zonnebeke. In dit gebied werd vooral tijdens de Derde Slag om leper intens strijd geleverd en welbekende WO I-gerelateerde plaatsnamen zoals Hill 60, Hill 62 en Geluveld zijn in deze zone gelegen.



Figuur 19: De 724 beschikbare data voor Cu (links) en de geïnterpoleerde kaart voor Cu door sGs met de mediaanschatter (rechts) met aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn)

Eén van de doelstellingen was de Cu-kaart van Van Meirvenne et al. (2008) te verfijnen voor het studiegebied (Figuur 1). Om de oude en de nieuwe kaart te vergelijken werd een detail van de gepubliceerde Cu-kaart afgebeeld naast de Cu-kaart van deze studie met dezelfde legende (Figuur 20). De nieuwe kaart heeft duidelijk een hogere resolutie, pixels vertegenwoordigen namelijk een gebied van 200 op 200 m in plaats van 500 op 500 m. Doordat het aantal beschikbare data voor Cu gedurende deze datacollectie steeg van 253 naar 724, kwamen nieuwe patronen naar voor. De hotspot ten zuiden van leper op de oorspronkelijke kaart is niet langer zichtbaar op de vernieuwde versie. Deze hotspot werd immers veroorzaakt door een marginale outlier, die tijdens onze datapreparatie van de initiële dataset werd weggelaten. De minder duidelijk hotspot ten oosten van leper is aangegroeid tot de meest dominante zone van hoog voorspelde Cu-concentraties.

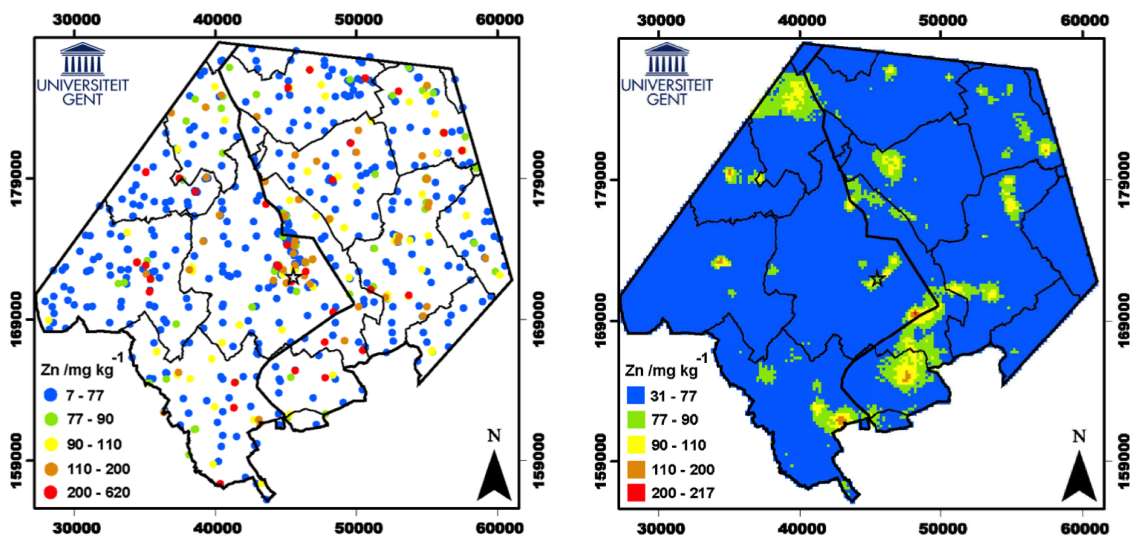


Figuur 20: Detail van de geïnterpoleerde Cu-kaart door Van Meirvenne et al. (2008) (links) en de Cu-kaart van dit

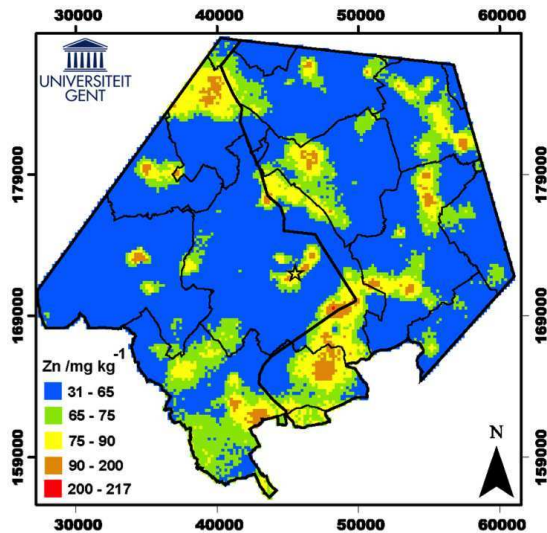
onderzoek met aangepaste legende (rechts) met aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn)

De predictiekaart voor de Zn-concentraties (Figuur 21) werd op een analoge manier opgesteld als die voor Cu (Figuur 19). Op het eerste zicht kan reeds gesteld worden dat de milieuhygiënische impact van Zn binnen het studiegebied te verwaarlozen is. De predictie is voor 89.8 % van de pixels lager of gelijk aan de streefwaarde van 77 mg kg^{-1} . Of de Zn-aanrijking van 10 mg kg^{-1} regionaal is en of de Zn patronen gerelateerd zijn aan WO I, wordt verhuld door de hoge Vlarebo-streefwaarde. Figuur 22 toont dezelfde voorspellingen als Figuur 21, maar met aangepaste klassengrenzen zodat een beter contrast verkregen wordt. De aanrijking is niet geconcentreerd binnen één zone en kan dus als regionaal beschouwd worden. Het patroon van hogere concentraties volgt enigszins de boog om Ieper, maar is minder duidelijk dan voor Cu (Figuur 19).

Bovenstaande conclusies voor Zn kunnen verklaard worden doordat enerzijds de mobiliteit van Zn in de bodem relatief groter is dan die van Cu en Pb en anderzijds doordat granaten minder Zn dan Cu bevatten.

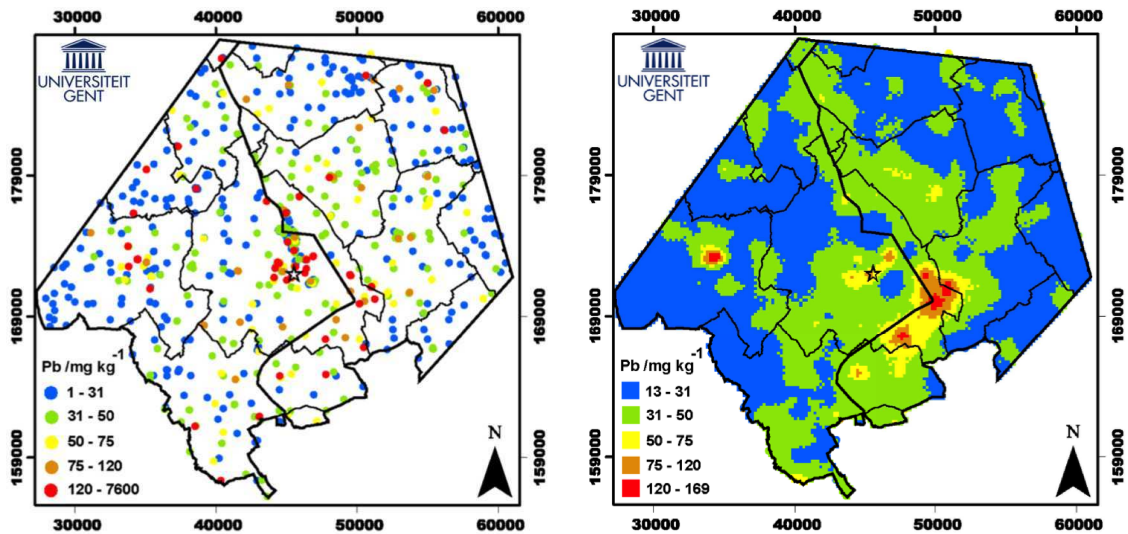


Figuur 21: De 721 beschikbare data voor Zn (links) en de geïnterpoleerde kaart voor Zn door sGs met de mediaanschatting (rechts) met aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn)



Figuur 22: De geïnterpoleerde kaart voor Zn door sGs met de mediaanschatter met aangepaste klassengrenzen en aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn).

Figuur 23 beeldt de Pb-predictiekaart af. Deze werd eveneens opgesteld door sGs met de mediaan als schatter. De meest extreme waarde van 7600 mg kg^{-1} werd uit noodzaak gemaskeerd voor de simulatie. Zoniet, werden onrealistische voorspellingen gegenereerd.



Figuur 23: De 722 beschikbare data voor Pb (links) en de geïnterpoleerde kaart voor Pb door sGs met de mediaanschatter (rechts) met aanduiding van de grenzen van de fusiegemeenten (fijne lijn) en de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917 (dikke lijn)

Er was wel een vermoeden voor een Pb-aanrijking in het studiegebied, maar de aanrijking werd nooit eerder in kaart gebracht. In absolute zin is de Pb-aanrijking van 4 mg kg^{-1} kleiner dan die van Cu en Zn (sectie 10.1), maar met het Vlarebo-normenkader als referentie blijkt dat de Pb-aanrijking het meest uitgesproken is van de drie oorlogsmetalen. Voor 46.5 % van de pixels wordt een Pb-concentratie boven de streefwaarde van 31 mg kg^{-1} voorspeld. Het patroon valt eveneens duidelijk samen met de frontlijn en vertoont nog meer continuïteit dan dat van Cu. Dezelfde hotspot als voor Cu en Zn wordt aangetroffen ten oosten van Ieper, waarbij een aantal waarden de richtwaarde overschrijden. De verhoging kent een uitloper naar het zuidwesten, die perfect de frontlijn volgt. Een tweede zone met hoge predicties ligt –zoals voor veel andere zware metalen– rond het centrum van Poperinge. Uit de beschrijvende data-analyse werd reeds duidelijk dat

voor Pb extreem hoge waarden werden aangetroffen binnen het studiegebied. De simulatie voorspelt echter geen concentraties boven de BSN.

De predictiekaarten bewijzen dat de oorlogsmetalen ruimtelijk sterk gecorreleerd zijn met elkaar. Hun patroon van voorkomen is gerelateerd met de ligging van de belangrijkste frontlijn van WO I. Het is niet in overeenstemming met dat van Cr en Ni en ook niet met de bodemkaart van het studiegebied.

Besluiten

Een vergelijking tussen de mediaan van de dataset in de leperboog en de mediaan van alle OVAM-data in Vlaanderen, toonde aan dat Cr, Cu, Ni, Pb en Zn een aanrijking kennen in de top 30 cm bodem van het studiegebied met respectievelijk 8.7, 6.0, 1.8, 4.0 en 10.0 mg kg⁻¹. Uit de predictiekaarten blijkt dat de aanrijking voor de oorlogsmetalen (Cu, Pb en Zn) regionaal is, terwijl de Cr- en Ni-aanrijking vooral gerelateerd blijkt te zijn met bodemkundige patronen door verschillen in moedermateriaal (gereflecteerd door de bodemtextuur). Voor As, Cd en Hg werd geen aanrijking vastgesteld.

Voor het inschatten van de milieuhygiënische impact werd het normenkader van Vlarebo 2008 als referentie genomen. Het gemiddelde voor Cu, Hg, Zn en vooral Pb is hoger dan de streefwaarde, maar de mediaan is voor alle zware metalen lager dan of gelijk aan de streefwaarde. Bijgevolg is er voor geen enkel zwaar metaal gemiddeld sprake van bodemverontreiniging op een regionale schaal. Tijdens de staalnamecampagne werden echter wel 10 concentraties boven de bodemsaneringsnormen teruggevonden. Het gaat over overschrijdingen op 4 locaties voor Pb, 3 voor Cu en telkens 1 voor As, Cr en Zn. De overschrijdingen bleken puntverhogingen te zijn die enkel zeer lokaal zijn aangetoond.

Het samenbrengen van de historische informatie, de bodemkaart van het studiegebied en de predictiekaarten, gaf meer duidelijkheid over de bron van de zware metalen. Historische informatie toonde aan dat het voorkomen van As gelinkt kan zijn aan WO I. Tijdens deze studie kwam een zone met verhoogde concentratie aan het licht in het westen van Heuvelland. Er kan echter noch geconcludeerd worden dat deze veroorzaakt werd door WO I, noch dat het de enige hotspot is in het studiegebied. Het voorkomen van Cd en Hg is duidelijk niet gerelateerd met WO I. De ruimtelijk patronen van voorkomen van Cr en Ni zijn sterk gerelateerd met elkaar en met de bodemtextuur, maar niet met de frontlijn van WO I. De twee zones die aangerijkt zijn met Cr bevatten hogere kleigehalten, waardoor het Vlarebo-normenkader voor Cr dient te worden aangepast aan deze lokale bodemkundige condities.

Voor Cu, Zn en vooral Pb valt een continu patroon van verhoogde bodemconcentratie samen met de belangrijkste frontlijn tussen 1915 en 1917. De patronen zijn eveneens onderling gecorreleerd, maar zijn niet gecorreleerd aan de patronen van Cr en Ni. Rond Geluveld, waar zwaar gevochten werd tijdens de Derde Slag om Ieper, is voor Cu en Pb een regionale verhoging duidelijk waarneembaar.

Hoewel het reeds duidelijk was dat Pb en Zn tot de oorlogsmetalen behoorden, werd door Van Meirvenne et al. (2008) vooral gefocust op Cu als belangrijkste oorlogsmetaal. Deze vervolgstudie bevestigt integraal hun resultaten voor Cu, maar ook de regionale Zn- en Pb-aanrijking werd onderzocht. Zn kent in absolute zin wel de grootste aanrijking ten opzichte van alle OVAM-data in Vlaanderen, maar uit de predictiekaarten met het OVAM-normenkader als referentie, komt de regionale aanrijking niet sterk naar voor. Enerzijds is de OVAM-streefwaarde voor Zn relatief hoog en anderzijds is Zn mobieler dan Cu en Pb en was het ook in kleinere hoeveelheden aanwezig in de granaten. In tegenstelling tot Cu en Zn, kon de hoeveelheid Pb die in de bodem terecht gekomen is door ondermeer kogels en shrapnelgranaten moeilijk ingeschat worden op basis van historische gegevens. Nu blijkt echter uit de predictiekaarten dat de milieu-impact van WO I zich voornamelijk vertaalt in een duidelijk met de voormalige frontzone geassocieerde regionale Pb-aanrijking.

Literatuurlijst

BAUSINGER, T., BONNAIRE, E. & PREUß, J. (2007). Exposure assessment of a burning ground for chemical ammunition on the Great War battlefields of Verdun. *Science of the Total Environment* 382 (2-3), 259-271.

BAUSINGER, T. & PREUß, J. (2005). Environmental remnants of the first World War: soil contamination of a burning ground for arsenical ammunition. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 74 (6), 1045-1052.

CHIELENS, P., DENDOOVEN, D. & DECOODT, H. (2006). *De laatste getuige: het oorlogslandschap van de Westhoek*. Uitgeverij Lannoo nv, Tielt, 256p.

DE BOEVER, M. (2007). Geostatistische analyse van de koperaanrijking in de leperboog als gevolg van WO I. Masterscriptie, Universiteit Gent, Faculteit bio-ingenieurswetenschappen, Gent, 86p.

FAGROUD, M. & VAN MEIRVENNE, M. (2002). Accounting for soil spatial autocorrelation in the design of experimental trials. *Soil Science Society of America Journal* 66 (4), 1134-1142.

GELLINCK, B. (1998). Het verband tussen achtergrondwaarden van zware metalen en bodemkenmerken in de bodems van de provincie West-Vlaanderen. Masterscriptie, Universiteit Gent, Faculteit bio-ingenieurswetenschappen, Gent, 142p.

GOOVAERTS, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press, New York, 483p.

GOOVAERTS, P. (2009). AUTO-IK: a 2D indicator program for the automated non-parametric modeling of local uncertainty in earth sciences. *Computers and Geosciences* 35 (6), 1255-1270.

MEKLIT, T., VAN MEIRVENNE, M. & TACK, F. (2006a). Geostatistische analyse en kartering van cadmium, zink, lood en arseen in de bodems van Vlaanderen. Rapport in opdracht van OVAM, 59p.

MEKLIT, T., VAN MEIRVENNE, M. & TACK, F. (2006b). Geostatistische analyse en kartering van chroom, koper, kwik en nikkel in de bodems van Vlaanderen. Rapport in opdracht van OVAM, 67p.

MEKLIT, T., VAN MEIRVENNE, M., VERSTRAETE, S., BONROY, J. & TACK, F. (2008). Combining marginal and spatial outliers identification to optimize the mapping of the regional geochemical baseline concentration of soil heavy metals. *Geoderma* 148 (3-4), 413-420.

TACK, F. M. G., VANHAESEBROECK, T., VERLOO, M. G., VAN ROMPAEY, K. & VAN RANST, E. (2005). Mercury baseline levels in Flemish soils (Belgium). *Environmental Pollution* 134 (1), 173-179.

VAN MEIRVENNE, M. (2008). Verhoogde koperconcentraties in de bodem rond Ieper. Een erfenis van de Eerste Wereldoorlog. *Bodem* 3 (1), 34-36.

VAN MEIRVENNE, M., MEKLIT, T., VERSTRAETE, S., DE BOEVER, M. & TACK, F. (2008). Could shelling in the First World War have increased copper concentrations in the soil around Ypres? *European Journal of Soil Science* 59 (2), 372-379.

Geconsulteerde websites

<http://www.wo1.be> - geraadpleegd 8 maart 2009.

<http://www.emis.vito.be/index.cfm?PageID=580> - geraadpleegd 20 februari 2009.

<http://geo-vlaanderen.gisvlaanderen.be/geo-vlaanderen/bodemkaart/#> - geraadpleegd 25 februari 2009

Toetsingswaarden										Toetsingswaarden en analyseresultaten (mg/kg d.s.)										
Legende : Ver lettertype overschrijdt de Bodemsaneringsnorm 58 80% bodemsaneringsnorm 46,4										58	2	130	120	2,9	93	200	333			
Onderlijnd lettertype overschrijdt de Richtwaarde : 35										35	1,2	104	96	2,32	74,4	160	266,4			
Onderlijnd lettertype overschrijdt de streefwaarde : 16										16	0,7	62	20	0,1	16	31	77			
Controlemonsters																				
monsteridentificatie										locatie monster		organoleptische kenmerken								
monster nummer	monster code	OPGEMETEN		AANGELEVERD		Afstand in meter	datum monstername	Referentievlak	diepte (cm -mv)	Maaiveldtype	Arseen	Cadmium	Chroom	Koper	Kwik	Nikkel	Lood	Zink		
		X-Coördinaten	Y-Coördinaten	X-Coördinaten	Y-Coördinaten															
112	5061	40514,5	#####	40499,0	172610,9	31	4/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,53	34	17	<0,1	13	32	52		
49	5062	50146,5	#####	50146,5	172610,9	0	29/10/2012	Maaiveld	30	weiland	<10	0,45	39	24	<0,1	11	43	54		
50	5063	52558,4	#####	52558,4	172610,9	0	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,68	35	21	<0,1	9,2	44	58		
22	5064	54970,3	#####	54970,3	172610,9	0	25/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	<0,4	48	24	<0,1	11	41	60		
5	5065	57326,9	#####	57382,2	172610,9	294	7/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,67	32	13	<0,1	9,4	24	49		
6	5066	59826,5	#####	59794,1	172610,9	35	7/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,64	53	39	<0,1	20	34	85		
97	5067	28417,1	#####	28439,6	170112,0	23	4/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	<0,4	36	19	<0,1	13	22	55		
98	5068	30870,8	#####	30851,5	170112,0	21	4/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,53	45	30	<0,1	13	27	70		
99	5069	33260,4	#####	33263,4	170112,0	24	4/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,64	37	19	<0,1	12	21	46		
100	5070	35674,3	#####	35675,3	170112,0	1	4/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	<0,4	36	15	<0,1	11	23	46		
101	5071	38102,2	#####	38087,1	170112,0	20	4/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,62	35	17	<0,1	12	28	58		
102	5072	40485,3	#####	40499,0	170112,0	18	4/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	<0,4	38	17	<0,1	9,9	26	52		
103	5073	42868,6	#####	42910,9	170112,0	54	4/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	<0,4	34	22	<0,1	9,5	31	60		
51	5074	47734,7	#####	47734,7	170112,0	0	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,68	38	23	<0,1	10	43	58		
52	5075	50146,5	#####	50146,5	170112,0	0	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	20	1,3	59	88	1	31	280	200		
53	5076	52558,4	#####	52558,4	170112,0	0	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,93	32	26	<0,1	8,7	65	50		
19	5077	54970,3	#####	54970,3	170112,0	0	23/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,66	36	18	<0,1	11	28	120		
4	5078	57572,4	#####	57382,2	170112,0	217	7/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	<0,4	32	26	<0,1	9,1	22	69		
77	5079	35625,7	#####	35675,3	167613,0	68	1/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,72	37	14	<0,1	14	22	42		
54	5080	38142,3	#####	38087,1	167613,0	68	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,78	39	27	<0,1	11	23	56		
55	5081	40450,1	#####	40499,0	167613,0	73	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,96	38	28	<0,1	13	42	92		
56	5082	43039,7	#####	42910,9	167613,0	173	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,71	40	17	<0,1	12	34	64		
57	5083	45322,8	#####	45322,8	167613,0	0	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,55	34	14	<0,1	9,9	38	40		
58	5084	47734,7	#####	47734,7	167613,0	0	29/10/2012	Maaiveld	30	bosgrond	25	0,88	33	40	0,27	14	710	280		
59	5085	50146,5	#####	50146,5	167613,0	0	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,76	41	21	<0,1	9,8	55	50		
21	5086	52587,8	#####	52558,4	167613,0	69	25/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	<0,4	44	15	<0,1	11	31	53		
20	5087	54970,3	#####	54970,3	167613,0	0	23/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	<0,4	35	14	<0,1	9,3	28	69		
78	5088	35559,7	#####	35675,3	165114,1	154	1/11/2012	Maaiveld	30	bosgrond	24	0,53	42	8,7	<0,1	13	20	41		
79	5089	38193,3	#####	38087,1	165114,1	136	1/11/2012	Maaiveld	30	akker	13	0,89	40	22	<0,1	16	30	91		
60	5090	40368,1	#####	40499,0	165114,1	140	29/10/2012	Maaiveld	30	weiland	34	0,85	60	24	0,18	14	63	58		
61	5091	42920,8	#####	42910,9	165114,1	45	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,88	41	17	<0,1	13	32	62		
62	5092	45322,8	#####	45322,8	165114,1	0	29/10/2012	Maaiveld	30	weiland	<10	0,85	43	35	0,15	16	61	78		
63	5093	47761,4	#####	47734,7	165114,1	39	29/10/2012	Maaiveld	30	vosgrond	12	1,8	46	22	<0,1	19	140	300		
80	5094	38087,7	#####	38087,1	162615,2	36	1/11/2012	Maaiveld	30	weiland	11	0,73	48	17	0,49	19	42	66		
64	5095	40498,3	#####	40499,0	162615,2	63	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,56	35	13	<0,1	14	18	47		
81	5096	42487,0	#####	42910,9	162615,2	606	1/11/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,55	41	18	<0,1	16	21	56		
65	5097	45256,5	#####	45322,8	162615,2	135	29/10/2012	Maaiveld	30	bosgrond	<10	0,87	51	29	<0,1	22	46	96		
66	5098	47789,1	#####	47734,7	162615,2	99	29/10/2012	Maaiveld	30	akker	<10	0,88	41	26	<0,1	14	42	84		
82	5099	40396,1	#####	40499,0	160116,2	151	1/11/2012	Maaiveld	30	akker	21	0,64	59	22	0,12	15	46	66		
83	5100	42764,6	#####	42910,9	160116,2	222	1/11/2012	Maaiveld	30	weiland	<10	0,96	59	21	<0,1	21	31	76		
84	5101	40340,5	#####	40499,0	157617,3	164	1/11/2012	Maaiveld	30	akker	12	0,96	210	70	<0,1	36	170	620		
85	5102	42885,9	#####	42910,9	157617,3	38	1/11/2012	Maaiveld	30	weiland	<10	0,9	56	18	0,1	27	30	65		

Het "*" teken is vervangen door het "-" teken (om redenen van automatisering)

Monstercode vet gedrukt, gevolgd door "X": de terugsanerwaarde kan hier niet worden gerealiseerd

BIJLAGE 2 - resultaten staalname februari 2009

Analyseresultaten en toetsing vaste deel bodem

Projectnummer: 128091

Omschrijving: Zware metalen - WO I



Toetsingswaarden										Toetsingswaarden en analyseresultaten (mg/kg d.s.)									
Legende :										58	2	130	120	2,9	93	200	333		
<u>Vet</u> lettertype overschrijdt de Bodemsaneringsnorm 80% bodemsaneringsnorm <u>Onderlijnd</u> lettertype overschrijdt de Richtwaarde : <u>Onderlijnd</u> lettertype overschrijdt de streefwaarde :										46,4	1,6	104	96	2,32	74,4	160	266,4		
										35	1,2	91	72	1,7	56	120	200		
										16	0,7	62	20	0,1	16	31	77		
Controlemonsters																			
monsteridentificatie							locatie monstername			organoleptische kenmerken									
OPGEMETEN					AANGELEVERD														
monster nummer	monstercode	X-Coördinaten	Y-Coördinaten	X-Coördinaten	Y-Coördinaten	Afstand in meter	datum monstername	Referentievlaak	diepte (cm -mv)	Maaiveldtype	Arseen	Cadmium	Chroom	Koper	Kwik	Nikkel	Lood	Zink	
86	2086	50247,4	185160	50316,80	185177,00	71	28/02/2013	Maaiveld	30	Weiland	<10	<0,4	50	17	0,21	6,4	24	41	
87	2087	49383,6	186128	49316,80	186183,00	87	5/03/2013	Maaiveld	30	Weiland	<10	<0,4	26	17	<0,1	5,5	29	48	
88	2088	34341,7	178743	34316,80	178743,00	25	27/02/2013	Maaiveld	30	Weiland	<10	<0,4	45	18	0,1	11	23	65	
89	2089	47435,4	184021	47516,80	183971,00	95	28/02/2013	Maaiveld	30	Weiland	<10	<0,4	42	21	<0,1	5,5	30	57	
90	2090	48272,2	186911	48316,80	186987,00	88	5/03/2013	Maaiveld	30	Weiland	<10	<0,4	37	9,3	<0,1	6,5	22	30	
91	2091	51169,9	185988	51116,80	185982,00	53	5/03/2013	Maaiveld	30	Weiland	<10	<0,4	53	18	0,11	15	97	77	
92	2092	29983,8	170240	29916,80	170299,00	90	27/02/2013	Maaiveld	30	Akker	<10	<0,4	40	13	<0,1	7,1	19	46	
93	2093	50380,2	187377	50316,80	187389,00	64	5/03/2013	Maaiveld	30	Akker	<10	0,48	48	15	<0,1	9,6	24	53	
94	2094	29123,4	172698	29116,80	172711,00	14	27/02/2013	Maaiveld	30	Akker	<10	<0,4	42	11	<0,1	10	19	52	
95	2095	31335,1	173463	31316,80	173516,00	56	26/02/2013	Maaiveld	30	Akker	<10	0,68	41	72	0,11	13	40	77	
96	2096	34631,7	177293	34716,80	177336,00	95	27/02/2013	Maaiveld	30	Akker	<10	<0,4	41	11	0,1	9,5	20	50	
97	2097	34145,8	176519	34145,10	176532,50	14	27/02/2013	Maaiveld	30	Akker	<10	<0,4	40	24	0,13	7,1	28	64	
98	2098	38490,5	161437	38494,80	161437,00	4	25/02/2013	Maaiveld	30	Akker	<10	0,77	55	26	0,21	19	43	82	
99	2099	35339,6	165047	35340,20	165046,20	1	25/02/2013	Maaiveld	30	Weiland	55	<0,4	48	<5	<0,1	9	14	44	
100	2100	38298,2	172881	38311,00	172901,20	24	26/02/2013	Maaiveld	30	Akker	<10	<0,4	39	36	0,51	9,7	47	65	

Het "<" teken is vervangen door het "*" teken (om redenen van automatisering)

Monstercode vet gedrukt, gevolgd door "X": de teruganeerwaarde kan hier niet worden gerealiseerd

Bijlage 3. Histogrammen van de volledige datasets

