

Extract van het rapport, Geostatistische analyse en kartering van cadmium, zink, lood en arseen in de bodems van Vlaanderen, betreffende gehanteerde werkwijze en resultaten voor de achtergrondwaardenkaarten

**SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOEDER**



**OVAM-publicatie
gebaseerd op:
Geostatistische analse en
katering van cadmium,
zink, lood en arseen in de
bodems van Vlaanderen
januari 2005
Msc. Meklit Tariku &
Prof. Dr. Ir. Marc Van
Meirvenne
Prof. Dr. Ir. Filip Tack**



Documentbeschrijving

1. *Titel publicatie*

OVAM-publicatie gebaseerd op: Geostatistische analyse en katering van cadmium, zink, lood en arseen in de bodems van Vlaanderen januari 2005 Msc. Meclit Tariku & Prof. Dr. Ir. Marc Van Meirvenne Prof. Dr. Ir. Filip Tack

2. *Verantwoordelijke Uitgever*

Danny Wille, OVAM, Stationsstraat 110, 2800 Mechelen

3. *Wettelijk Depot nummer*

4. *Aantal bladzijden*

73

5. *Aantal tabellen en figuren*

6. *Prijs**

7. *Datum Publicatie*

8. *Trefwoorden*

9. *Samenvatting*

10. *Begeleidingsgroep en/of auteur*

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

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

1	Inleiding	7
2	Materialen en methoden	9
2.1	Vorbereidende stappen	9
2.2	Analytische procedure	9
2.2.1	Verkennde analyse	9
2.2.2	Geostatistische kartering	9
2.2.3	Identificatie van de achtergrondconcentratie	15
3	Resultaten	19
3.1	Cadmium	19
3.1.1	Alle gegevens	19
3.1.2	Achtergrondconcentraties voor Cd	21
3.2	Arseen	23
3.2.1	Alle gegevens	23
3.2.2	Achtergrondconcentraties voor As	26
3.3	Lood	28
3.3.1	Alle gegevens	28
3.3.2	Achtergrondconcentraties voor Pb	30
3.4	Zink	36
3.4.1	Alle gegevens	36
3.4.2	Achtergrondconcentraties voor Zn	38
4	Algemeen besluit	43
Bijlage 1:	Lijst van tabellen	45
Bijlage 2:	Lijst van figuren	47
Bijlage 3:	Bibliografie	49
Bijlage 4:		51

1 Inleiding

OVAM, de Openbare Vlaamse Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest, ontwikkelt sinds verscheidene jaren een databank met gegevens over de concentraties aan zware metalen in de Vlaamse bodems.

Om op basis van deze puntgegevens uitspraken te kunnen doen omtrent concentratieniveaus in gebieden, dienen de gegevens op passende wijze verwerkt te worden. Geostatistiek is hiertoe geëigend waarbij de structuur van de ruimtelijke autocorrelatie wordt onderzocht en berekend aan de hand van ruimtelijk geoptimaliseerde gewichten voor nabij gelegen metingen (Goovaerts, 1999).

Deze procedure werd voor de bovenste 50 cm van de Vlaamse bodems uitgevoerd via een samenwerkingsverband tussen OVAM en twee vakgroepen aan de faculteit Bio-ingenieurswetenschappen van de Universiteit Gent getiteld "Geostatistische analyse en kartering van cadmium, zink, lood en arseen in de bodems van Vlaanderen".

De volgende onderzoeken en resultaten worden hierbij voorgesteld:

- Een overzichtskaart van de ruimtelijke spreiding van de concentratie van cadmium (Cd), arseen (As), lood (Pb) en zink (Zn) in de bovenste 50 cm van de bodems van Vlaanderen;
- Een probabiliteitskaart die de waarschijnlijkheid weergeeft om een kritische drempelwaarde voor de concentratie van elk van de onderzochte zware metalen te overschrijden;
- Een onderzoek naar de achtergrondconcentraties ("baseline") voor de vier onderzochte zware metalen in Vlaanderen;
- Overzichtskarten met deze achtergrondconcentraties in Vlaanderen.

2 Materialen en methoden

2.1 Voorbereidende stappen

Een uitgebreide databank met gegevens over de concentraties aan Cd, As, Pb, en Zn in de bodems van Vlaanderen werd door OVAM ter beschikking gesteld voor het onderzoek. Elk van de metingen werd georeferereerd met behulp van de X, Y, en Z coördinaten. (Het betrof ruimtelijke coördinaten volgens de Lambert projectie '72 van een boring, waarbij X en Y uitgedrukt zijn in km en Z de hoogte is van het maaiveld in meter t.o.v. TAW). Daarnaast werden de bemonsteringsdatum, de boven- en ondergrens van de staalname ter beschikking gesteld.

De selectie van de te weerhouden metingen voor de analyse van de concentraties van de vier onderzochte zware metalen in de bovenste 50 cm van de bodem in Vlaanderen werd uitgevoerd op basis van de beschrijvende gegevens in de databank. Het gebruikte criterium was de bemonsteringsdiepte. Enkel de metingen waarvan de gemiddelde diepte binnen de bovenste 50 cm van de bodem viel en de bovengrens van de staalname niet dieper lag dan 20 cm, werden weerhouden. Dit laatste criterium werd opgelegd omdat bij een verontreiniging met zware metalen het overgrote deel van de vervuiling doorgaans bovenaan in de bodem geconcentreerd blijft. In het geval dat eenzelfde locatie op verschillende dagen bemonsterd werd, werden de meest recente metingen weerhouden.

2.2 Analytische procedure

2.2.1 Verkennende analyse

De weerhouden gegevens werden voor elk van de onderzochte elementen onderworpen aan een verkennende data-analyse. Naast het regionale gemiddelde en de spreiding van de gegevens ten opzichte van het gemiddelde werden eveneens de meest voorkomende waarden berekend. Vervolgens werden overzichtskaarten aangemaakt voor Vlaanderen om de meetpunten, de ruimtelijke spreiding en een regionale trend te visualiseren. Bovendien werden lokale extremen, ongewoon hoge of lage waarden in vergelijking met de waarden in de omgeving (Laslett en McBratney, 1990) gelokaliseerd met behulp van deze kaarten. In welbepaalde gevallen kan het aanvaardbaar zijn om deze metingen te verwijderen uit de dataset om instabiliteit bij de berekeningen te vermijden.

De beschrijvende informatie, verzameld gedurende het verkennende onderzoek, werd gebruikt om te beslissen welk geostatistisch model consistent is met de berekende parameters en tevens wetenschappelijk aanvaardbaar is als beschrijving van de ruimtelijke verdeling van de concentraties voor de verschillende onderzochte zware metalen.

2.2.2 Geostatistische kartering

De geostatistiek kent twee mogelijke benaderingen om een waarde van een niet-bemonsterde locatie te bepalen. Enerzijds is er de schatting en anderzijds de simulatie (Goovaerts, 2000). Beide technieken zijn gebaseerd op de kriging interpolatieprocedure die wat betreft de minimale schattingsvariantie de beste, lineaire zuivere voorspelling van de waarden bereikt (Chiles & Delfiner, 1999). Het verschil tussen beide technieken bestaat eruit dat de schatting tracht één "beste" voorspelling te bekomen voor elke locatie waarbij elke schatting onafhankelijk is van de naburige schattingen terwijl bij de simulatie de nadruk ligt op het reproduceren van de ruimtelijke variabiliteit door het berekenen van vele, even waarschijnlijke, realisaties van de onderliggende random functie.

De gesimuleerde waarden voor elke locatie worden niet alleen bepaald op basis van de naburige, gemeten gegevens maar zijn ook afhankelijk van de gesimuleerde waarden van naburige, onbemonsterde punten. Voor de op die wijze bekomen kaarten werden daardoor hogere overeenkomsten bekomen tussen het histogram en het variogram van de verschillende realisaties en de waargenomen werkelijkheid. Als conclusie mag gesteld worden dat de kaarten bekomen met behulp van simulatietechnieken meer realistisch zijn dan de resultaten van de schattingstechnieken hoewel daarbij wel ingeboet wordt op het principe van “de beste voorspelling” voor individuele punten. Om deze beperking te compenseren worden simulaties herhaald net zoals Monte Carlo technieken die gebruikt worden bij proces simulaties en foutenpropagatie studies. De volledige set van simulaties maakt het mogelijk om een voorspelling te maken van de gemiddelde waarde in elk onbemonsterd punt samen met de verwachte verdeling. Dit laatste betekent eveneens dat bijkomende informatie afgeleid kan worden die niet beschikbaar is als enkel een geostatistische schatting wordt gemaakt.

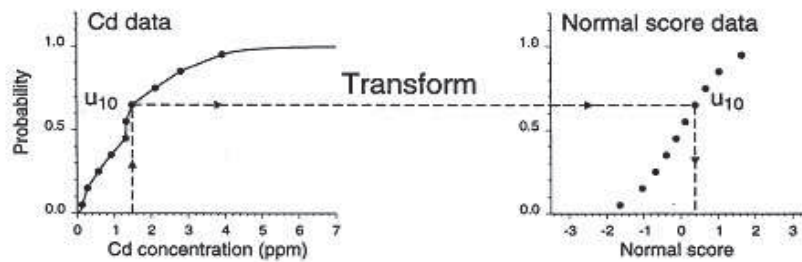
Eén van de belangrijkste nadelen van het kriging algoritme is de niet-uniforme vervlakking van de lokale variatie tijdens het minimaliseren van de lokale variantie (Goovaerts, 1999). Dit betekent dat kriging de lagere concentraties te hoog inschat en de hogere concentraties onderschat afhankelijk van de dichtheid van de waarnemingspunten in de omgeving. Deze vervlakking belemmert het doorgronden van de variabiliteit en de detectie van de patronen van extreme waarden, zoals voorkomt in sterk verontreinigde zones. Dit kan ook leiden tot artificiële patronen indien de gegevens ongelijkmatig verdeeld zijn. Bij de geostatistische schatting wordt de onzekerheid op de berekening bepaald aan de hand van de kriging variantie. Deze variantie, een parametrische maat voor de precisie van de interpolatie in vergelijking met de globale variantie, is echter niet geschikt om te gebruiken als een maat voor de lokale voorspellende precisie. Enkel de configuratie van de staalnamen rond de geschatte locatie wordt erdoor gecorreleerd met het algemene variogram.

De geostatistische simulatie maakt de bepaling van de onzekerheid niet alleen mogelijk voor iedere puntvoorspelling maar ook binnen gebieden door de onzekerheden in punten te combineren. De bepaling van een lokale variantie van de voorspelling is een belangrijk bijkomend beslissingsinstrument (Van Meirvenne en Goovaerts, 2001; Goovaerts, 1997b).

Op basis van deze argumentatie werd de simulatie techniek verkozen boven de schatting om de gegevens voor de concentraties aan zware metalen in de bodems van Vlaanderen te analyseren en beschrijven. Afhankelijk van de verdeling van de concentraties van het desbetreffende zware metaal werd één van de volgende varianten van deze techniek gebruikt: de Sequentiële Gaussiaanse Simulatie (SGS) of de Sequentiële Indicator Simulatie (SIS).

Het SGS algoritme doorloopt een reeks opeenvolgende stappen (Fagroud & Van Meirvenne, 2002). De procedure is hierna beschreven en werd eveneens voorgesteld in de flow chart van Figuur 3:

- 1 De oorspronkelijke gegevens (Figuur 1) worden getransformeerd naar een normale score zodat het globale histogram een standaard normale (Gaussiaanse) verdeling met gemiddelde nul en standaard deviatie 1 vertoont;



Figuur 1: Voorbeeld van de transformatie van de oorspronkelijke z-waarden in normale scores (hier Cd concentraties)

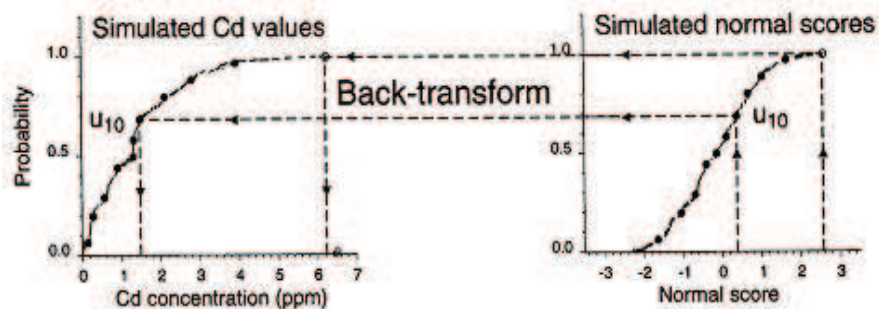
- 2 Het variogram van de bekomen normale scores wordt vervolgens gemodelleerd volgens:

$$\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2N(\mathbf{h})} \sum_{\alpha=1}^{N(\mathbf{h})} \{z(\mathbf{x}_{\alpha}) - z(\mathbf{x}_{\alpha} + \mathbf{h})\}^2$$

met $\gamma(\mathbf{h})$ het variogram voor een afstandvector \mathbf{h} tussen de metingen $z(\mathbf{x}_{\alpha})$ en $z(\mathbf{x}_{\alpha} + \mathbf{h})$
 $N(\mathbf{h})$ het aantal koppels door \mathbf{h} gescheiden.

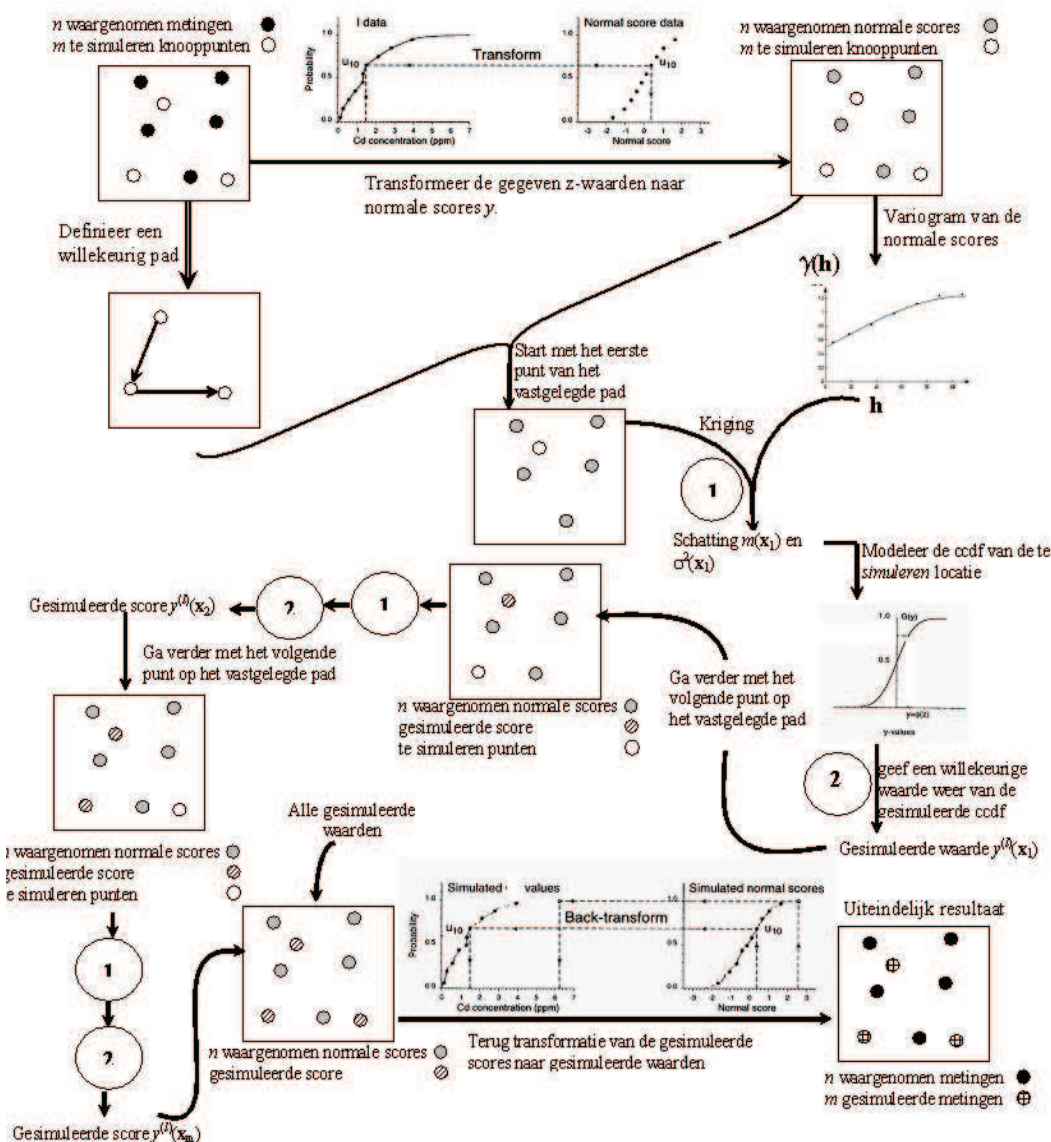
- 3 Doorloop L simulaties voor de genormaliseerde scores met de volgende procedure:
- Bepaal een willekeurig pad waarbij elk van de m onbemonsterde punten telkens éénmalig berekend zal worden;
 - Schat voor elk van de onbemonsterde punten \mathbf{x}_0 de parameters (gemiddelde en variantie) van de conditionele cumulatieve distributiefunctie (ccdf) of 'posterior cdf' met behulp van "simple" kriging, die gebruik maakt van het gemiddelde (0) en het gemodelleerde variogram van de genormaliseerde scores (stap 1 in Figuur 3);
 - De gebruikte informatie voor elke berekening bestaat uit n naburige gegevens van zowel genormaliseerde effectieve metingen $y(\mathbf{x}_i)$ en $y^{(l)}(\mathbf{x}_0)$ waarden die gesimuleerd werden voor de eerder berekende locaties. Waarbij " l " het nummer van de realisatie is ($l = 1, \dots, L$);
 - Voeg uit deze ccdf een willekeurige waarde $y^{(l)}(\mathbf{x}_0)$ met behulp van een klassieke Monte Carlo techniek toe aan de gegevensset (stap 2 in Figuur 3);
 - Ga verder met de volgende locatie langs het willekeurige pad en herhaal de vorige twee stappen tot voor alle m onbemonsterde punten een waarde berekend werd;
 - Ga verder met de volgende simulatie door alle vorige stappen te herhalen totdat alle L realisaties doorlopen zijn.

De resultaten dienen teruggetransformeerd te worden naar de oorspronkelijke gegevensruimte door de inverse te gebruiken van de eerder toegepaste procedure $f(\mathbf{x})$ waarmee de genormaliseerde scores berekend werden.



Figuur 2: Terug transformatie van de gesimuleerde, normale scores naar de overeenkomende z-waarden

Elk van deze L simulaties is een realisatie van de onbekende ruimtelijke verdeling van de variabele Z . Voor elke pixel zorgen de L realisaties van de simulatie voor een set van waarden die gebruikt kan worden om de cdf voor de pixel te berekenen. Van deze cdf kunnen zowel het lokaal gemiddelde (E-type schatting) en de lokale variantie afgeleid worden als de waarschijnlijkheid om een kritische drempelwaarde z_c te overschrijden. De hieruit volgende probabiileitskaarten werden vervolgens opgebouwd met behulp van de volgende legende en interpretatie:



Figuur 3: Verloop van de Sequentiële Gaussiaanse Simulatie (Fagroud & Van Meirvenne, 2002)

- $\text{Prob}\{z(\mathbf{x}_0) > z_c\} \leq 0,2$: groen : waarschijnlijk $< z_c$
- $0,2 < \text{Prob}\{z(\mathbf{x}_0) > z_c\} \leq 0,6$: geen uitspraak mogelijk omwille van te grote onzekerheid
- $0,6 < \text{Prob}\{z(\mathbf{x}_0) > z_c\} < 0,8$: oranje : indicatie van toenadering tot z_c , maar grote onz
- $\text{Prob}\{z(\mathbf{x}_0) > z_c\} \geq 0,8$: rood : waarschijnlijk $> z_c$

De sequentiële indicator simulatie (SIS) is een alternatief voor de SGS in omstandigheden waar een groot gedeelte van de gegevens onder de detectielimiet valt of waar de gegevens voor een groot gedeelte bestaan uit de waarde nul. Deze afwijkingen van de frequentiedistributies laten de normalisatie van de waarden die nodig is voor de sequentiële gaussiaanse simulatie niet toe.

De SIS is een niet-parametrisch type van simulatie gebaseerd op een indicator codering van de waarden (Goovaerts, 1997). Er moet daarom gestart worden met de selectie van K drempelwaarden z_k . Voor elk van de drempelwaarden wordt de indicator van een meetwaarde op 1 ingesteld als het niveau van de veranderlijke gelijk of groter is dan de drempelwaarde. In het andere geval wordt de indicator voor de waarneming ingesteld op 0:

$$i(\mathbf{x}_\alpha; z_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } z(\mathbf{x}_\alpha) \leq z_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k = 1, 2, \dots, K.$$

Met $i(\mathbf{x}_\alpha; z_k)$ de indicator van de waarneming $z(\mathbf{x}_\alpha)$ op basis van de drempelwaarde z_k . Aangezien er K drempelwaarden gedefinieerd zijn, wordt voor elk punt een vector van K indicator waarden opgebouwd.

Na het hercoderen van de gegevens in indicatoren wordt een indicator variogram berekend voor elke drempelwaarde met behulp van de volgende formule:

$$\gamma_I(\mathbf{h}; z_k) = \frac{1}{2N(\mathbf{h})} \sum_{\alpha=1}^{N(\mathbf{h})} \{i(\mathbf{x}_\alpha; z_k) - i(\mathbf{x}_\alpha + \mathbf{h}; z_k)\}^2$$

Met: $\gamma_I(\mathbf{h}; z_k)$ het indicator variogram voor de drempelwaarde z_k .

De simulatie verloopt daarna volgens dezelfde sequentiële procedure als de SGS voor de berekening bij elke drempelwaarde. De resultaten worden vervolgens gebruikt om de ccdf te bepalen en vervolgens de plaatselijke onzekerheid voor de berekende voorspelling van elke locatie (\mathbf{x}_0) (Van Meirvenne and Goovaerts, 2001):

$$[\mathbf{F}(\mathbf{x}_0; z_k | (n))]^* = [\mathbf{i}(\mathbf{x}_0, z_k)] = \sum_{\alpha=1}^{n(\mathbf{x}_0)} \lambda_\alpha(z_k) \mathbf{i}(\mathbf{x}_\alpha; z_k)$$

$[\mathbf{F}(\mathbf{x}_0; z_k | (n))]^*$, de geschatte a posteriori waarschijnlijkheid, is belangrijk bij de bepaling van de waarschijnlijkheid om een kritische drempelwaarde te overschrijden. Deze waarde is daarom ook van kritisch belang bij de ontwikkeling van de probabliteitskaart. De gewichten $\lambda_\alpha(z_k)$ die gebruikt dienen te worden bij de berekening van de geschatte a posteriori waarschijnlijkheid, worden bekomen door het oplossen van de volgende stelsel lineaire vergelijkingen met behulp van een Lagrange vermenigvuldiger $\psi(z_k)$ die specifiek is voor elke drempelwaarde.

$$\begin{cases} \sum_{\beta=1}^{n(\mathbf{x}_0)} \lambda_\beta(z_k) \gamma_I(\mathbf{x}_\alpha - \mathbf{x}_\beta; z_k) - \psi(z_k) = \gamma_I(\mathbf{x}_\alpha - \mathbf{x}_0; z_k) & \forall \alpha = 1 \text{ to } n(\mathbf{x}_0) \\ \sum_{\beta=1}^{n(\mathbf{x}_0)} \lambda_\beta(z_k) = 1 \end{cases}$$

Veronderstel dat een kritische drempelwaarde z_c beschikbaar is voor de evaluatie van de veranderlijke Z , dan wordt de waarschijnlijkheid dat op elke locatie deze waarde overschreden wordt, uitgedrukt met de volgende formule:

$$\text{Prob}\{Z(\mathbf{X}_0) > z_c | (n)\} = 1 - \mathbf{F}(\mathbf{X}_0; z_c | (n)).$$

De meest waarschijnlijke Z-waarde ($z_E^*(\mathbf{x}_0)$) voor elke locatie \mathbf{x}_0 , de E-type, wordt dan berekend door de lokale ccdf te integreren:

$$z_E^*(\mathbf{x}_0) = \int_{-\infty}^{+\infty} z \, dF(\mathbf{x}_0; z | (n)).$$

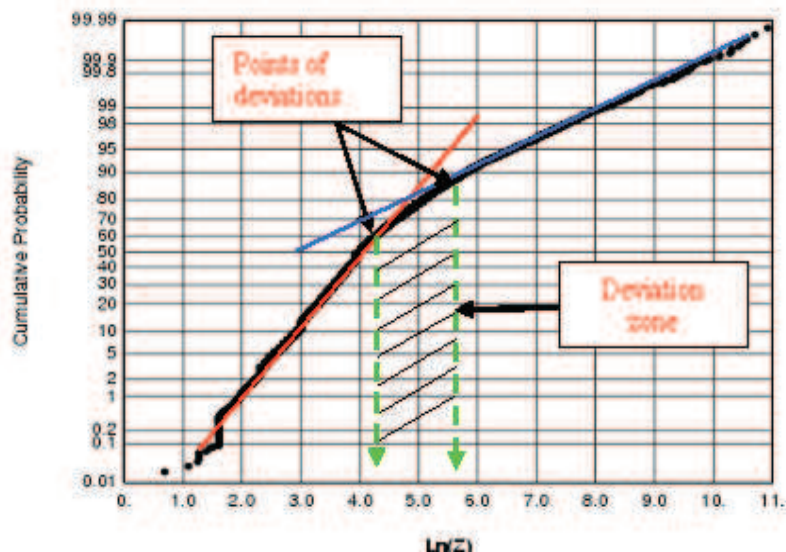
Schattingen werden slechts weerhouden indien een minimum van 4 observatiepunten in de directe omgeving beschikbaar waren. Vandaar dat wegens een té beperkt aantal beschikbare meetpunten de Voerstreek niet in kaart kon gebracht worden.

2.2.3 Identificatie van de achtergrondconcentratie

De concentratie aan metalen in een bodem is het samengestelde resultaat van de geochemische achtergrondconcentratie en de antropogene input. Lark (2002) definieerde de achtergrondconcentratie als het continue achtergrondniveau van een element dat bestaat uit de oorspronkelijke metaal concentratie in het moedermateriaal en de diffuse vervuilingsbron. Omwille van de dynamiek in de bodem en antropogene invloeden is het moeilijk om de echte, natuurlijke achtergrondconcentraties terug te vinden. In de loop der tijd waren er addities en verliezen. Natuurlijke en antropogene deposities gebeurden via lucht en water en zorgden voor diffuse vervuiling terwijl verliezen optraden door percolatie en/of biologische of chemische decompositie of door de formatie van complexen. Het is echter mogelijk een schatting te maken van het concentratiebereik van het achtergrondniveau zodat als referentiewaarde, een gemiddeld niveau van de contaminant in het gebied kan gebruikt worden. Deze achtergrondconcentratie ("baseline") verwijst derhalve naar het concentratiebereik dat over het algemeen teruggevonden wordt in het merendeel van het studiegebied (Tack, 1997). Dit betekent dat het niet noodzakelijk het "natuurlijke" (geochemische) achtergrondniveau is (Kabata-Pendias and Pendias, 1984).

Een probabiliteitsplot is een grafiek die gebruikt kan worden om de vorm van de verdelingsfunctie visueel te controleren. De gegevens worden weergegeven volgens een schaal die de cumulatieve verdeling als een rechte lijn zou weergeven indien deze zich volgens de normale verdeling ontwikkelt. Een afwijking van deze rechte lijn duidt op een afwijking in de normale verdeling en kan een aanduiding zijn van de aanwezigheid van een andere verdeling binnen de gegevensset (Chambers et al, 1983).

In de veronderstelling dat de achtergrondconcentraties normaal verdeeld zijn, is het mogelijk om de achtergrondgegevens af te splitsen van de verontreinigde zones met een hogere concentratie door het bepalen van de concentratie waarbij de laagst mogelijke scheefheid van de verdeling met de waarnemingen van de lagere concentraties wordt berekend voor de zone waar de afwijking in de lineariteit wordt vastgesteld (Fleischhauer en Korte, 1990) (Figuur 4).



Figuur 4: Normaal probabiliteitsplot met weergave van de overgang tussen lineaire verbanden als scheiding van verschillende verdelingen

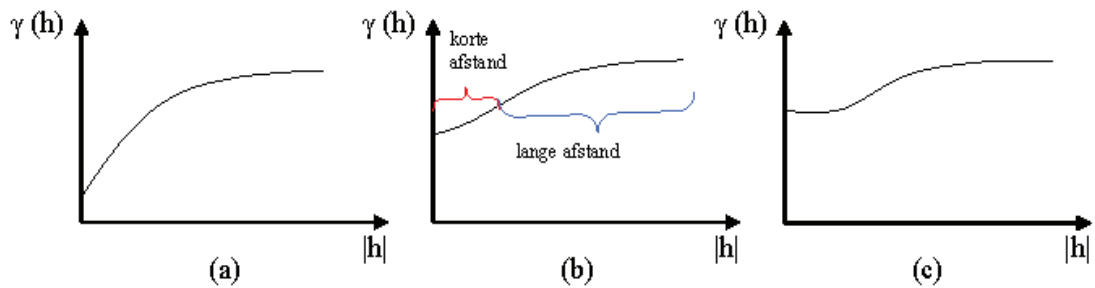
In sommige omstandigheden zal de hiervoor beschreven procedure niet voldoende zijn om de verschillende verdelingen te kunnen onderscheiden voornamelijk omwille van een sterke overlap van het concentratiebereik van de achtergrondconcentraties en de gegevens van vervuilde sites. Door de geleidelijke overgang van de ene naar de andere verdeling wordt de normale verdeling van de achtergrondconcentratie scheef getrokken. In de veronderstelling dat het bereik van de achtergrondconcentratie overeenkomt met het bereik van de meest teruggevonden concentraties in het merendeel van het studiegebied, mag verondersteld worden dat er een sterke ruimtelijke autocorrelatie bestaat tussen metingen op korte afstand van elkaar. Daarom kan als alternatief de evolutie van de ruimtelijke autocorrelatie op de korte afstand gebruikt worden om het bereik van de achtergrondconcentraties te bepalen.

Het is mogelijk dat de ruimtelijke structuur die bestaat binnen de achtergrondconcentraties, gedeeltelijk of zelfs volledige gemaskeerd is door de gegevens van de vervuiling (Lark, 2002). Om het effect van deze maskering te vermijden, dienen de hogere waarden veroorzaakt door de vervuiling structureel uit de analyse verwijderd te worden. We dienen daarom een gedeeltelijke gegevensset te gebruiken die enkel de gegevens van de lagere concentraties en deze van de overlapzone tussen de verdelingen bevat. Zo zullen op basis van het probabiliteitsplot van Figuur 4 alle gegevens tot aan het beginpunt van de afwijkende, verdeling geselecteerd worden tussen de waarden van $\ln(Z) = 0$ tot $\ln(Z) = 6$.

De ontwikkeling van de ruimtelijke correlatie op de korte afstand voor de gedeeltelijke gegevensset wordt gedaan door met een drempelwaarde voor een indicator de overgangszone gradueel te doorlopen. Gedurende deze studie werd vastgesteld dat er op de korte afstand een sterke correlatie optreedt die verklaard wordt door de aanwezigheid van de achtergrondconcentratie (Figuur 5a).

Deze correlatie begint te dalen vanaf het Figuur 5b). Wanneer een belangrijker aandeel van de gegevens uit vervuilde zones gemixt wordt met de gegevens van de achtergrondconcentratie vlak de correlatie verder uit tot deze uiteindelijk niet meer is dan een nugget effect (Figuur 5c) wat zou duiden op de afwezigheid van een ruimtelijke correlatie tussen metingen op korte afstand. Deze schijnbare afwezigheid is het resultaat van een onderbreking van de bestaande

ruimtelijke correlatie van de achtergrondconcentratie door de bijkomende, hogere concentraties die niet gecorreleerd zijn met hun omgeving.



Figuur 5: Evolutie van de ruimtelijke structuur op de korte afstand (zie tekst)

Daardoor is het mogelijk om de informatie van de indicator variogrammen te gebruiken bij de bepaling van het concentratiebereik van de achtergrondwaarden door de bovengrens van het bereik in te stellen op de drempelwaarde waarna er een daling optreedt van de ruimtelijke correlatie op de korte afstand.

3 Resultaten

3.1 Cadmium

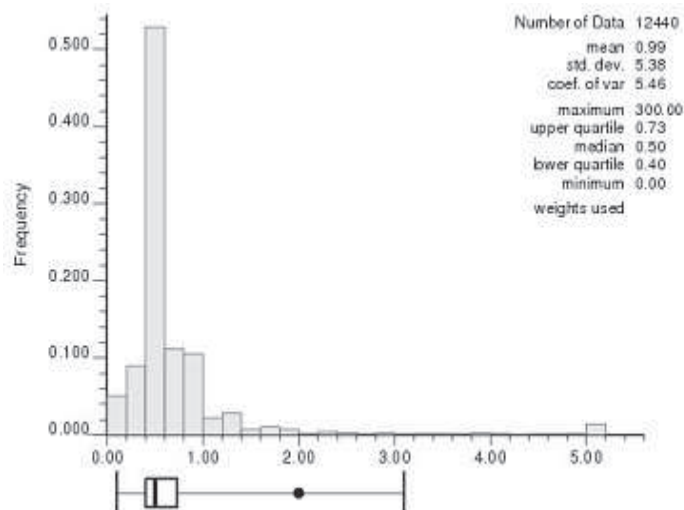
3.1.1 Alle gegevens

De databank van Ovam met de Cd concentraties in de bodem omvat 47.674 metingen. Voor de bepaling van de ruimtelijke distributie voor dit zware metaal, werden uiteindelijk 12.441 waarnemingen geselecteerd waarvoor de gemiddelde diepte binnen de bovenste 50 cm van de bodem valt en de bovengrens van de staalname niet dieper ligt dan 20 cm.

3.1.1.1 Verkennende data analyse

De ruimtelijke verdeling van de 12.441 waarnemingen, opgetekend in de locatiekaart van **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden**, vertoont een goede regionale spreiding met een verhoogde bemonsteringsdichtheid in de buurt van grote steden zoals Gent of Antwerpen en in gebieden met historische of actieve industriële activiteit. Omdat de analyse van de vier onderzochte metalen (Cd, As, Pb, Zn) over het algemeen bij dezelfde staalname gebeurt, worden deze verhoogde bemonsteringsdichtheden ook voor de overige drie zware metalen terug gevonden.

De gemiddelde Cd concentratie binnen het grondgebied van het Vlaamse Gewest werd berekend op 0,99 mg/kg (Figuur 6). Hoewel het Cd concentratiebereik van de gegevens loopt van 0 tot 300 mg/kg, heeft meer dan 75 % van de observaties een concentratie lager dan 0,73 mg/kg. Verder is de meest voorkomende concentratie in de toplaag van de bodem 0,4 mg/kg zoals af te leiden valt uit het histogram in Figuur 6. Daardoor wordt de regionale, gemiddelde Cd concentratie in de toplaag van de bodems in Vlaanderen sterk omlaag getrokken.



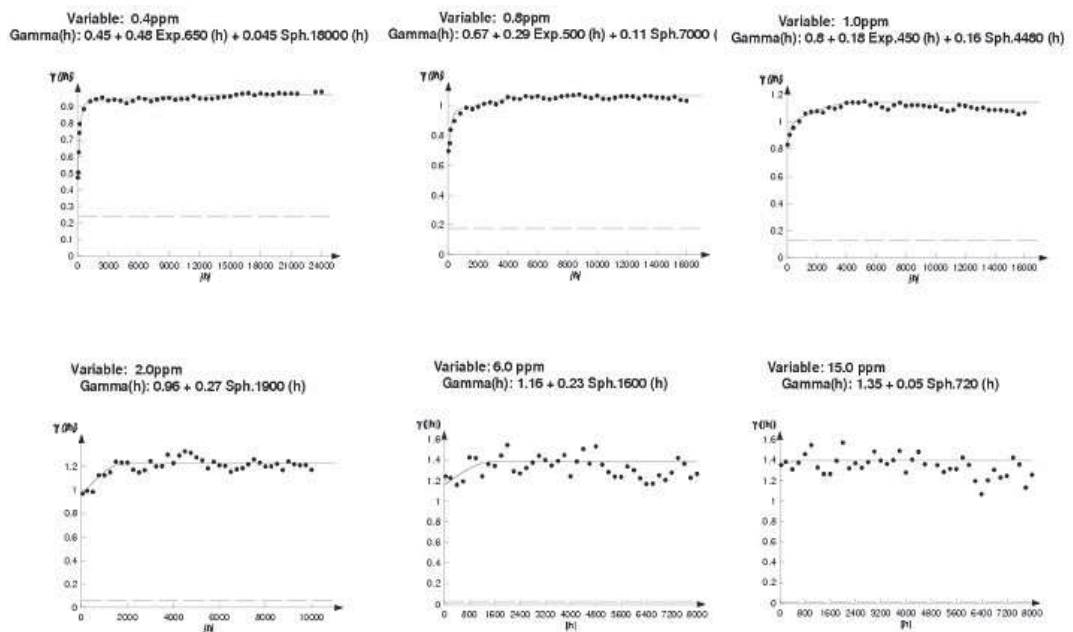
Figuur 6: Histogram van de 12.440 weerhouden Cd metingen

3.1.1.2 Simulatie

De aanwezigheid van een groot aantal waarnemingen met waarden onder de detectielimiet van 0,4 mg/kg maakt het gebruik van het sequentiële Gaussiaanse simulatie algoritme (SGS) onmogelijk. De Cd concentratie gegevens werden daarom geanalyseerd met behulp van de SIS procedure. Zeven drempelwaarden (0,4; 0,8; 1; 2; 6; 15 en 30 mg/kg) werden vastgelegd zodat de gegevens in discrete intervallen opgedeeld konden worden.

De variogrammen van de verschillende indicatoren (Figuur 7) vertonen op de korte afstand een sterke, gestructureerde variabiliteit die afneemt naarmate de Cd concentratie toeneemt. De simulatie werd uitgevoerd met behulp van de parameters van de indicator variogrammen waarbij in totaal 500 realisaties werden gegenereerd.

Twee verschillende kaarten werden hieruit afgeleid: de overzichtskaart met de ruimtelijke spreiding van de Cd concentratie in de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen en de bijhorende probabiliteitskaart die de waarschijnlijkheid weergeeft dat een kritische drempelwaarde, overeenkomstig de saneringsnorm voor landbouwgebieden (2 mg/kg, Cd), wordt overschreden.



Figuur 7: Indicator variogrammen voor de zeven drempelwaarden van de Cd concentraties

3.1.1.3 Validatie

Tenslotte werd een validatie uitgevoerd met de saneringsnorm als referentie (Tabel 1).

De resultaten tonen aan dat er een hoge precisie is voor de simulatie van de Cd concentraties onder de 2 mg/kg terwijl er een onderschatting optreedt bij de hogere Cd concentraties (Tabel 1). Dit komt doordat de gegevens een zwakke ruimtelijke correlatie vertonen voor de hogere Cd concentraties zoals blijkt uit de indicator variogrammen (Figuur 7). Omwille van deze onderschatting van de hogere Cd concentraties, lijkt het raadzaam om meer stalen te nemen binnen de grijze en oranje zones van de probabiliteitskaart

Gemeten gegevens	Voorspelde gegevens	
	Correct (%)	Fout (%)
Cd < 2 mg/kg	96	4
Cd ≥ 2 mg/kg	60	40

Tabel 1: Validatie van de Cd schattingen

3.1.1.4 Discussie

De overzichtskaart en de bijhorende probabiliteitskaart voor Cd tonen aan dat het overgrote deel van de toplaag van de Vlaamse bodems niet verontreinigd is met Cd. De Cd concentraties blijven onder de 0,8 mg/kg in de meeste gebieden.

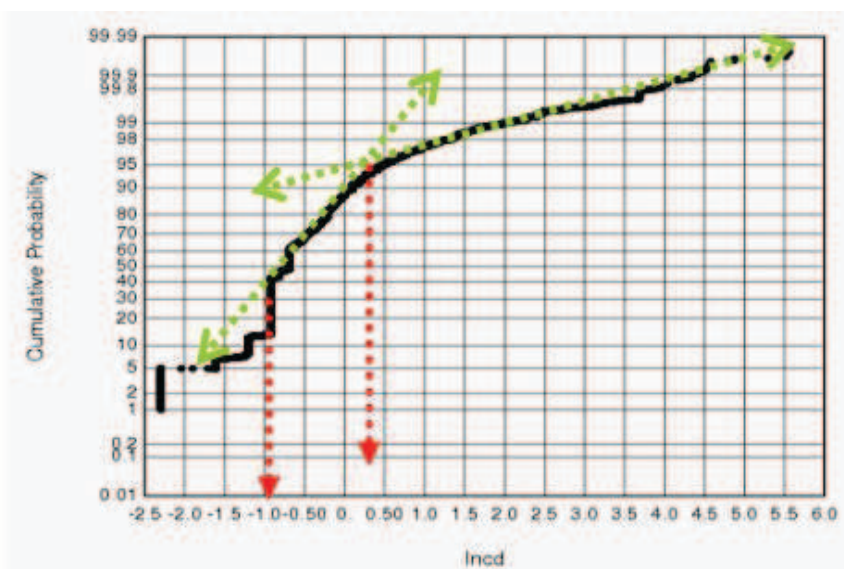
Hogere Cd concentraties in de bovenste bodemlaag worden in de provincie Antwerpen teruggevonden in Hoboken, Wilrijk, Bonheiden, Vosselaar, Lille, Mol en Herentals. In de provincie Limburg worden verhoogde Cd concentraties voornamelijk teruggevonden in de buurt van Ham en Lommel. Hogere Cd concentraties worden gemeten in de bovenste 50 cm van de bodem in de omgeving van Hoegaarden en Tienen in Vlaams Brabant en in Oost-Vlaanderen in de buurt van Kruibeke, Ronse en de haven van Gent. De hotspot van de provincie West-Vlaanderen in de omgeving van Vleteren kan echter het gevolg zijn van de lokale lage bemonsteringsdichtheid gecombineerd met enkele hoge Cd concentraties. Verder wordt er in het Zuiden van West-Vlaanderen een verhoogde concentratie van Cd vastgesteld in de omgeving van Menen.

De kritische drempelwaarde, z_c , van 2 mg/kg, zoals gebruikt in de probabiliteitskaart, is gebaseerd op de saneringsnorm voor de landbouw- en natuurgebieden van Vlaanderen (Besluit Vlaamse Regering, 5 maart 1996, Vlarebo in Heyman en Smout 2001). De rode punten in de provincie Antwerpen en Limburg afgebeeld op de probabiliteitskaart zijn locaties waar met meer dan 80 % zekerheid kan gezegd worden dat in de toplaag van de bodem Cd concentraties zullen aangetroffen worden van meer dan 2 mg/kg. In de groen aangeduide gebieden is er maximaal 20 % kans dat de Cd concentraties hoger liggen dan 2 mg/kg.

3.1.2 Achtergrondconcentraties voor Cd

3.1.2.1 Gegevensselectie

Er zijn twee afwijking vast te stellen in de probabiliteitsplot van de Cd waarden (Figuur 8). De eerste wordt aangetroffen bij de waarde van $\ln(\text{Cd}) = -1$ (Cd concentratie van 0,4 mg/kg) en wordt verklaard door de aanwezigheid van metingen beneden deze detectielimiet (Tack et al., 2005). De tweede afwijking treedt op tussen de waarden voor $\ln(\text{Cd})$ van -0,3 en 0,5 waar de verdelingen van de achtergrondconcentratie en de vervuilde zones van elkaar scheiden.



Figuur 8: Drempelwaarden voor Cd bepaald op basis van de overgang tussen verschillende verdelingen. ($\ln Cd = \ln(Cd)$)

De minimale scheefheid van de distributie van de achtergrondconcentratie werd bekomen als de gegevensset gelimiteerd werd door een bovengrens van 0,8 mg/kg (Tabel 2). Het bereik van 0 tot 0,8 mg/kg wordt daarom genomen als het bereik van de achtergrondconcentratie voor Cd voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen.

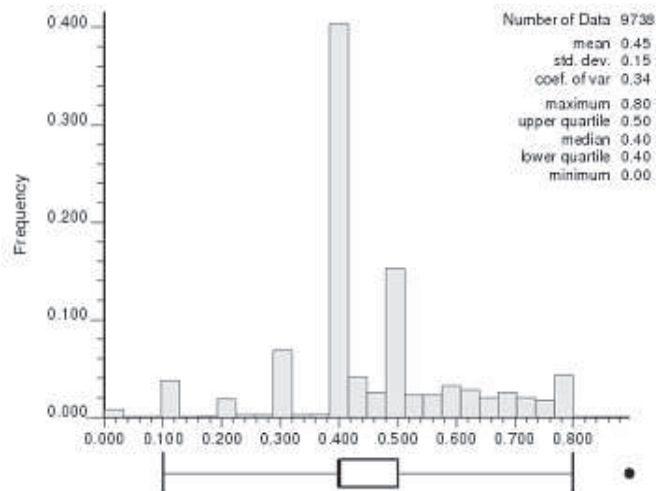
Ln (Cd)	Cd (mg/kg)	Scheefheid
0.0	1.00	0.60
-0.20	0.82	0.13
-0.22	0.80	0.08
-0.24	0.79	-0.10
-0.25	0.78	-0.14
-0.70	0.50	-1.7

Tabel 2: Ontwikkeling van de scheefheid voor de bepaling van de Cd achtergrondconcentraties voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen

3.1.2.2 Simulatie

Een totaal van 9738 waarnemingen werden weerhouden om de ruimtelijke spreiding van de achtergrondconcentraties van Cd te berekenen.

De gegevens werden in discrete intervallen opgesplitst volgens 6 drempelwaarden (0,2; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 en 0,79 mg/kg) waarmee de indicator variogrammen voor elke drempelwaarde werden gemodelleerd. De Sequentiële Indicator Simulatie werd uitgevoerd met behulp van de parameters van de indicator variogrammen waarna de resultaten van de 500 realisaties werden gebruikt om de spreiding van de achtergrondconcentratie van Cd op kaart weer te geven.



Figuur 9: Histogram voor de achtergrondconcentraties van Cd in Vlaanderen

3.1.2.3 Bespreking van de achtergrondconcentraties voor Cd

Het overgrote gedeelte van de gebieden die als vervuild aangeduid werden op de overzichtskaart, zoals Hoboken, Lommel en de haven van Gent hebben toch een betrekkelijk lage achtergrondconcentratie voor Cd. Dit is geen verrassing aangezien de achtergrondconcentraties van Cd in deze gebieden verhoogd werden door het antropogeen toegevoegde Cd. Deze artificeel hoge Cd concentraties werden effectief uitgefilterd bij de berekening van de achtergrondconcentraties.

Hogere waarden werden teruggevonden in de polders van West- en Oost-Vlaanderen, mogelijk door de hogere kleigehalten die een groter kationen bindend vermogen bezitten. Ook in Antwerpen en noord Limburg komen hogere achtergrondwaarden voor, maar algemeen is het patroon vrij mozaïekachtig wat op de afwezigheid van een algemene trend wijst.

3.2 Arseen

3.2.1 Alle gegevens

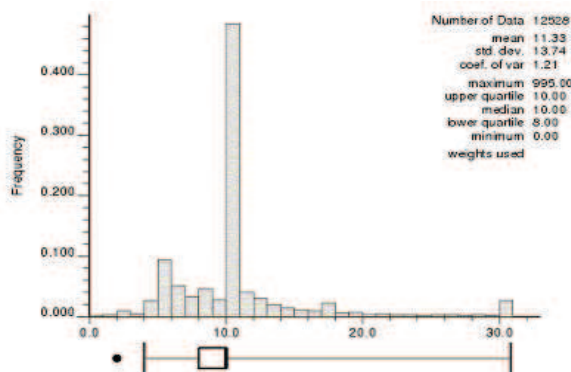
De gegevensbank die door OVAM ter beschikking gesteld werd, bevatte 49.514 As metingen waarvan er 12.528 weerhouden werden voor de berekening van de verdeling van dit element in de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen.

3.2.1.1 Verkennende data analyse

De As concentratie blijkt voor het overgrote deel van het Vlaamse grondgebied onder de 20 mg/kg te blijven terwijl de metingen met concentraties hoger dan 45 mg/kg even sporadisch als verspreid voorkomen. Deze hogere concentraties kunnen dan ook beschouwd worden als lokaal afwijkende puntwaarden.

De As concentraties gevonden in de bovengrond van Vlaanderen variëren van 0 tot 995 mg/kg. De mediaan concentratie van 10 mg/kg is tevens dicht bij het regionale gemiddelde van 11,3

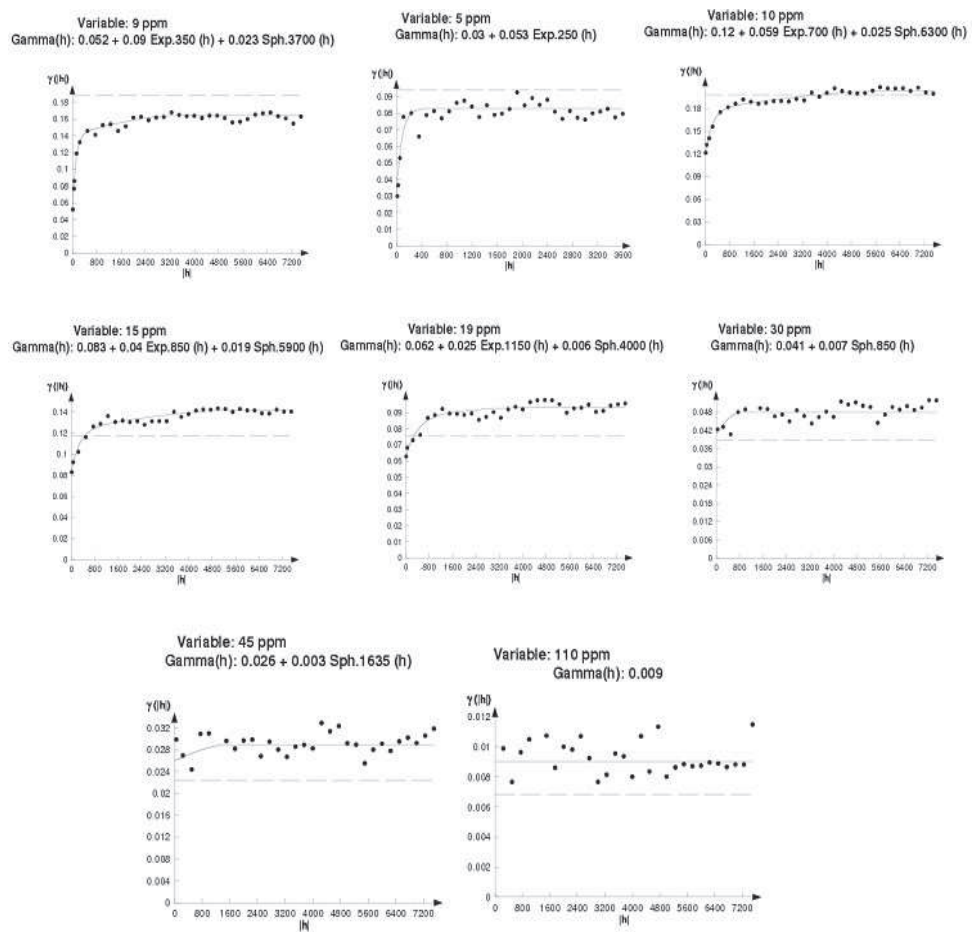
mg/kg (Figuur 10). De spreiding van de gegevens rond het gemiddelde is vrij groot zoals al duidelijk blijkt uit de standaard deviatie van 13,7 mg/kg. Deze hoge spreiding wordt voornamelijk veroorzaakt door een beperkt aantal extreem hoge metingen. Het interkwartielbereik, dit is het verschil tussen het eerste en het derde kwartiel, bedraagt 2,0 wat een belangrijke aanduiding is dat 50 % van de metingen zich dicht rond de gemiddelde waarde bevinden.



Figuur 10: Histogram van de 12.528 weerhouden As metingen

3.2.1.2 Simulatie

De gegevens voor As werden geanalyseerd met behulp van de SIS omwille van het grote aandeel van lage As concentraties tussen de waarnemingen. Bij de indicator codering werden 8 drempelwaarden gedefinieerd: 5, 9, 10, 15, 19, 30, 45 en 110 mg/kg. Zes van deze drempelwaarden vallen onder de laagste kritische waarde van 45 mg/kg voorgesteld door (Besluit Vlaamse Regering, 5 maart 1996, Vlarebo in Heyman en Smout 2001). Aangezien meer dan 75 % van de waarnemingen een concentratie had lager dan 10 mg/kg, was het aangewezen om deze lagere drempelwaarden te gebruiken om de gegevens te discretizeren. Figuur 11 toont de indicatorvariogrammen.



Figuur 11: Indicator variogrammen voor de acht drempelwaarden van de As concentraties

De hogere concentraties werden ver verspreid van elkaar teruggevonden zodat er geen autocorrelatie tussen deze metingen bestaat. Dit is duidelijk te zien in het variogram van 110 mg/kg (Figuur 11) dat te herleiden valt tot een zuiver nugget effect.

Voor elk rasterpunt werden 500 realisaties berekend waaruit de overzichtskaart en de probaliteitskaart voor de concentratie van As in de bovenste 50 cm van de Vlaamse Bodems werden afgeleid.

3.2.1.3 Validatie

De validatie werd berekend op basis van de referentieconcentratie voor As van 45 mg/kg en de resultaten zijn weergegeven in Tabel 3.

Gemeten gegevens	Voorspelde gegevens	
	Correct (%)	Fout (%)
As < 45 mg/kg	98	2
As ≥ 45 mg/kg	39	61

Tabel 3: Validatie van de As schattingen

Het voorspellend vermogen van de simulatie van de As concentraties onder de kritische drempelwaarde is van hoge kwaliteit (Tabel 3). Aangezien de hogere As concentraties (> 45 mg/kg) slechts sporadisch en verspreid voorkomen, zijn deze uiteraard ruimtelijk nauwelijks gecorreleerd wat leidt tot een belangrijke onderschatting t.o.v. de gemeten waarden. Opnieuw is het belangrijk op te merken dat meer stalen genomen dienen te worden in de grijze zones van de probabiliteitskaart om duidelijke uitspraken te kunnen doen over de aflijning van de hogere As concentraties.

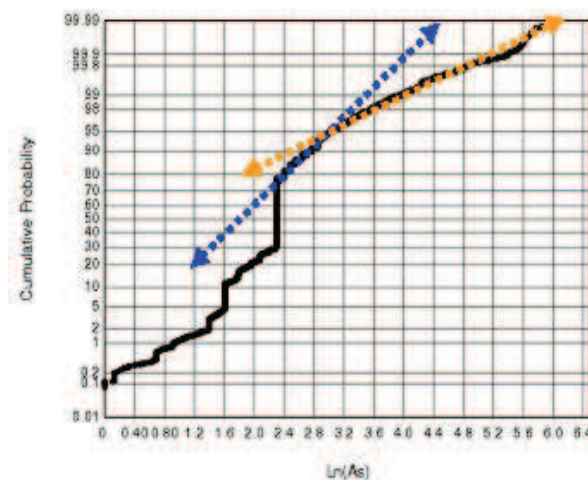
3.2.1.4 Discussie

De resultaten tonen aan dat het overgrote deel van de bodems van Vlaanderen geen As contaminatie toont in de bovenste 50 cm. De kritische drempelwaarde z_c , gebruikt in de probabiliteitskaart voor As werd vastgelegd op 45 mg/kg, de saneringsnorm voor landbouwgronden en natuurgebieden (Besluit Vlaamse Regering, 5 maart 1996, Vlarebo in Heyman en Smout 2001). Er zijn een aantal zones waar een As concentratie aangetroffen werd boven deze drempelwaarde: in Limburg in de buurt van Lommel, Ham, Bree-Bocholt, in Antwerpen en Oost-Vlaanderen in de buurt van Geel en Kruikeke met extensies richting Mechelen. Ook in de buurt van Gent en Sint-Truiden worden lokaal hogere waarden gevonden. Omdat de probabiliteit om > 45 mg/kg te bereiken in deze gebieden echter meestal lager ligt dan 60 % zijn bijkomende bemonsteringen nodig om met voldoende zekerheid vast te stellen of deze gebieden ook effectief met As vervuild zijn.

3.2.2 Achtergrondconcentraties voor As

3.2.2.1 Gegevensselectie

De afwijking van de lineariteit in de probabiliteitsplot (Figuur 12) bij de waarde van $\ln(\text{As}) = 2,8$ bepaalt de splitsing tussen de achtergrondconcentratie van As en de supergeposeerde concentraties veroorzaakt door de vervuiling.



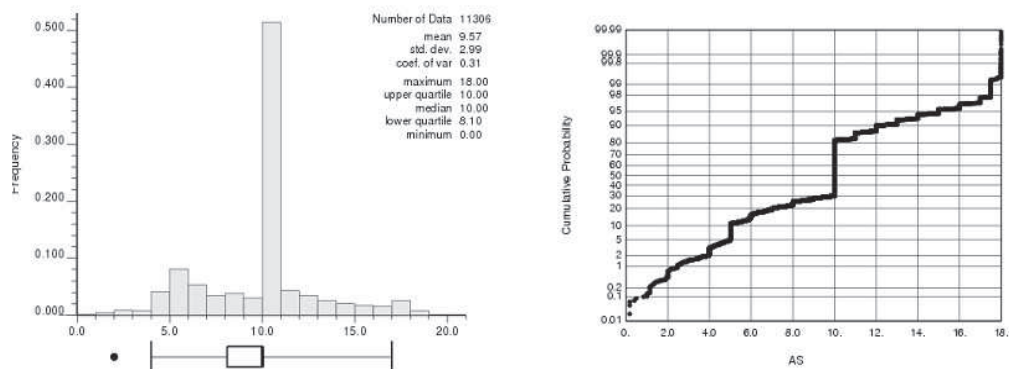
Figuur 12: Probabiliteitsplot van As met weergave van de overgang tussen lineaire verbanden als scheiding van verschillende verdelingen

De minimale scheefheid van de distributie werd bekomen als de gegevensset gelimiteerd werd door een bovengrens van As concentratie van 18 mg/kg (Tabel 4). Het bereik van 0 tot 18 mg/kg wordt daarom genomen als het bereik van de achtergrondconcentratie voor As voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen.

In(As)	As(mg/Kg)	Scheefheid
2.99	20	0.41
2.94	19	0.28
2.89	18	0.16
2.83	17	-0.19

Tabel 4: Ontwikkeling van de scheefheid voor de bepaling van de As achtergrondconcentraties voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen

Er zijn 11.306 waarnemingen binnen het bereik van 0 tot 18 mg/kg. De hoge en lage waarden van de achtergrondconcentratie worden verspreid teruggevonden over het grondgebied van Vlaanderen. De algemene verdeling van de achtergrondconcentraties wordt samengevat in de twee grafieken van Figuur 13.



Figuur 13: Histogram (links) en probabibiliteitsplot (rechts) voor de achtergrondconcentraties van As in Vlaanderen

3.2.2.2 Simulatie

De gegevens werden in discrete intervallen opgesplitst volgens 8 drempelwaarden (4, 5, 9, 10, 13, 16, 17 en 17,5 mg/kg) waarmee de indicator variogrammen voor elke drempelwaarde werd gemodelleerd. Een Sequentiële Indicator Simulatie werd uitgevoerd met behulp van de parameters van deze indicator variogrammen waarna de resultaten van de 500 realisaties werden gebruikt om de spreiding van de achtergrondconcentratie van As op kaart weer te geven.

3.2.2.3 Bespreking van de achtergrondconcentraties voor As

De kaart met de spreiding van de achtergrondconcentraties van As in de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen toont aan dat een bereik van 0 tot 10 mg/kg algemeen voorkomend is in het overgrote gedeelte van Vlaanderen. Gebieden in de buurt van Kruibeke, Beveren, Lembeke, De Haan en Heusden-Zolder vertonen een hogere achtergrondconcentratie met concentraties voor As van 12 mg/kg en meer.

Opnieuw is er algemeen sprake van een mozaïekachtige ruimtelijke distributie zonder duidelijke trends of verbanden met bodemkundige of geologische afzettingen.

3.3 Lood

3.3.1 Alle gegevens

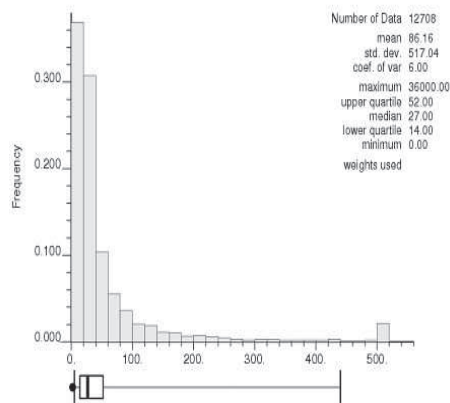
3.3.1.1 Verkennende data analyse

Er werden 49.992 Pb staalnamen van OVAM bekomen waarvan 12.708 weerhouden werden voor de analyse en bepaling van de spreiding van Pb in de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen.

De waarnemingen met concentraties binnen het bereik van 0 tot 200 mg/kg zijn algemeen terug te vinden. Hoewel de waarden van 200 tot 700 mg/kg ook een regionale spreiding vertonen, worden deze eerder teruggevonden in gebieden in de buurt van Gent, Antwerpen en in het noorden van Limburg. Waarden hoger dan 2500 mg/kg worden hoofdzakelijk teruggevonden in de buurt van Gent en in de buurt van de haven van Antwerpen.

De gemiddelde Pb concentratie in de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen bedraagt 86 mg/kg (zie Figuur 14). Het bereik van de concentratie aan Pb in de bodem is zeer breed en loopt van 0 tot 36000 mg/kg.

3.3.1.2

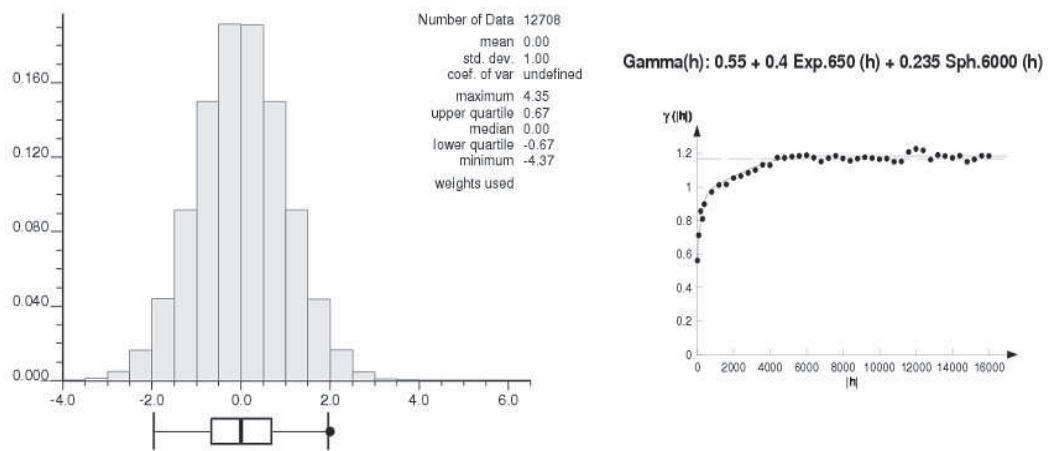


Figuur 14: Histogram van de 12.708 weerhouden Pb metingen

Simulatie

De aanwezigheid van een klein aantal metingen met een hoge concentratie resulteert in een zeer scheve verdeling. Een log-transformatie converteert de gegevens echter nagenoeg naar een normale verdeling. De Pb metingen vertonen slechts in zeer beperkte mate waarnemingen onder de detectielimiet omdat het element zelfs in natuurlijke omstandigheden in de bodem voorkomt in concentraties die boven de detectielimiet liggen. De combinatie van deze beide factoren, de nagenoeg normale verdeling na de log-transformatie en het beperkte aantal zeer lage metingen, maakt het mogelijk om deze gegevens te analyseren met behulp van de Sequentiële Gaussiaanse Simulatie techniek.

De oorspronkelijke gegevens werden dus eerst log-getransformeerd waarna een normale score transformatie werd doorgevoerd. Het resultaat is een standaard normale verdeling (met gemiddelde nul en een variantie van 1). Een variogram werd gemodelleerd met behulp van de getransformeerde normale scores (Figuur 15) waarna 500 realisaties werden gerealiseerd met behulp van de SGS procedures.



Figuur 15: Histogram (links) en variogram (rechts) voor de genormaliseerde Pb scores

Om terug te keren van de gesimuleerde scores naar de originele concentratiewaarden moeten deze terug getransformeerd worden volgens de omgekeerde procedure. Hierbij moet de terugtransformatie gevolgd worden door de inverse log of exponentiële transformatie om de overeenkomende Pb concentraties te berekenen.

Een overzichtsk kaart en de probabiliteitskaart die de gesimuleerde concentratie en de geassocieerde onzekerheid voor de concentratie van Pb in de bovenste 50 cm van de bodems van Vlaanderen weergegeven worden bekomen door een post simulatie procedure.

3.3.1.3 Validatie

De validatie werd berekend op basis van een referentie concentratie voor Pb van 200 mg/kg (Tabel 5).

Over het algemeen mag besloten worden dat het voorspellende vermogen voor Pb, zowel voor de lage als de hogere concentratiebereiken betrekkelijk goed en evenwichtig zijn zoals aangetoond in Tabel 5.

Gemeten gegevens	Voorspelde gegevens	
	Correct (%)	Fout (%)
Cr < 200 mg/kg	79	21
Cr ≥ 200 mg/kg	78	22

Tabel 5: Validatie van de Pb schattingen

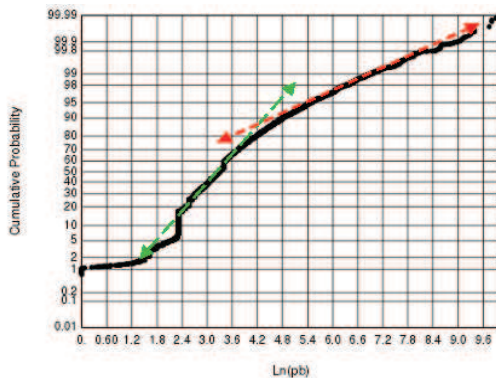
3.3.1.4 Discussie

De lood concentraties van meer dan 500 mg/kg worden voornamelijk geschat tussen Antwerpen en Dendermonde, rond Gent, in de buurt van Mol en Lommel, en ten westen van Brugge. De kritische saneringsnorm voor landbouw- en natuurgebieden van 200 mg/kg (Besluit Vlaamse Regering, 5 maart 1996, Vlarebo in Heyman en Smout 2001) werd gebruikt als kritische drempelwaarde z_c , om de probabiliteitskaart op te bouwen. Nergens blijkt de kans dat er > 200 mg/kg Pb gevonden wordt groter dan 80 %. In slechts een beperkt aantal pixels is deze kans gelegen tussen 60 en 80 %. Niettemin zijn er belangrijke oppervlakken grijze zones, wat op de noodzaak aan bijkomende stalen wijst teneinde tot een definitieve uitspraak te komen.

3.3.2 Achtergrondconcentraties voor Pb

3.3.2.1 Gegevensselectie

Er zijn twee punten in het probabiliteitsplot (Figuur 16) waar de lineariteit in de grafiek wijzigt. De eerste afwijking definieert alle waarden lager dan $\ln(\text{Pb}) = 2,3$, equivalent met een Pb concentratie van 10 mg/kg, en wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van een aantal metingen met een waarde onder de detectielimiet van Pb. De tweede is de afwijking in de lineariteit bij de $\ln(\text{Pb})$ waarden tussen 3,6 en 4,8 waarbinnen de achtergrondconcentraties en de verontreinigingen zich van elkaar scheiden.



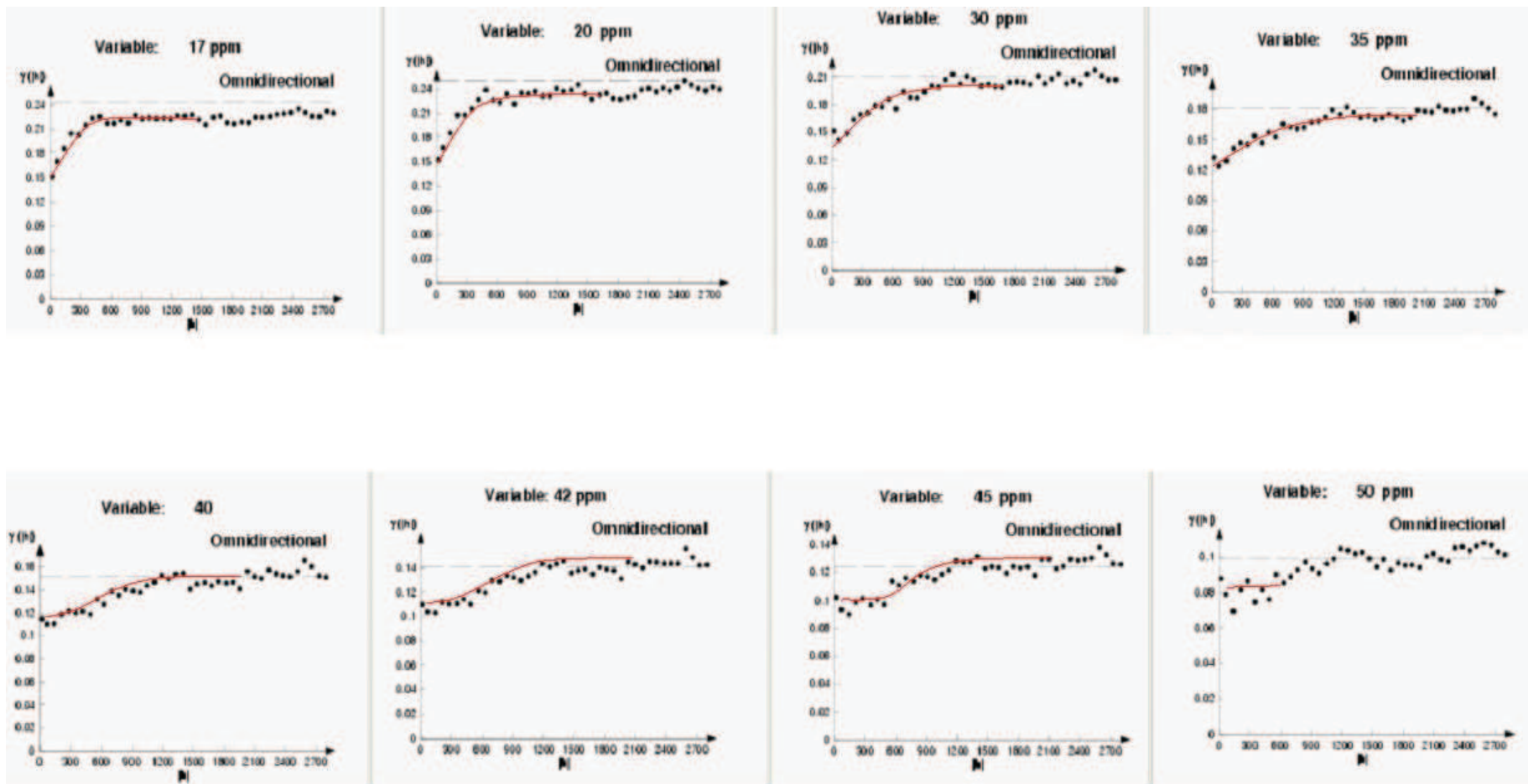
Figuur 16: Probabiliteitsplot van de log getransformeerde Pb gegevens

Hoewel op basis van Figuur 16 de afwijking tussen de verdeling lijkt op te treden tussen de waarden voor $\ln(\text{Pb})$ van 3,6 en 4,8 (overeenkomend met Pb concentraties van 36,6 tot 121,5 mg/kg), werd een minimale scheefheid van de distributie vastgesteld als de gegevensset gelimiteerd wordt door een bovengrens van $\ln(\text{Pb}) = 3,1$. Hetgeen overeen komt met een Pb concentratie van 22 mg/kg (Tabel 6). De overgangszone in de probabiliteitsplot en de bovengrens bepaald met behulp van de minimale scheefheid wijken dus sterk van elkaar af wat duidt op een niet-normale verdeling van de achtergrondconcentraties.

Ln(Pb)	Pb (mg/kg) (upper limit)	Scheefheid
4.80	121.5	1.42
4.20	67	0.87
3.91	50	0.57
3.69	40**	0.37
3.40	30	0.29
3.14	23	0.06
3.10	22	-0,007
3.04	21	-0.09

Tabel 6: Ontwikkeling van de scheefheid voor de bepaling van de Pb achtergrondconcentraties voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen

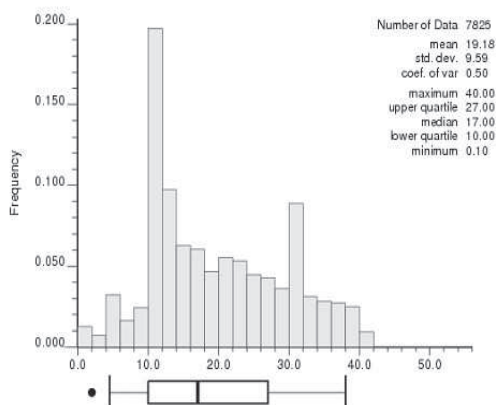
In (Figuur 17 voor 8 verschillende drempelwaarden zoals in 2.2.3 en Figuur 5 besproken werd. Hierbij is een sterke korte-afstand ruimtelijke structuur vast te stellen voor de metingen in het concentratiebereik van 0 tot 35 mg/kg; Deze ruimtelijke correlatie begint te dalen vanaf een Pb concentratie van 40 mg/kg en verdwijnt voor de hogere concentraties zelfs helemaal. Daarom werd het bereik van de achtergrondconcentratie vastgelegd tussen 0 en 40 mg/kg.



Figuur 17: Indicator variogrammen gebruikt voor de bepaling van de bovengrens van de achtergrondconcentratie voor Pb

Er werden 7825 metingen binnen het concentratiebereik van 0-40 mg/kg teruggevonden in de databank voor de analyse van de ruimtelijke verdeling van de achtergrondconcentratie van Pb in de bovenste 50 cm van de bodems van Vlaanderen.

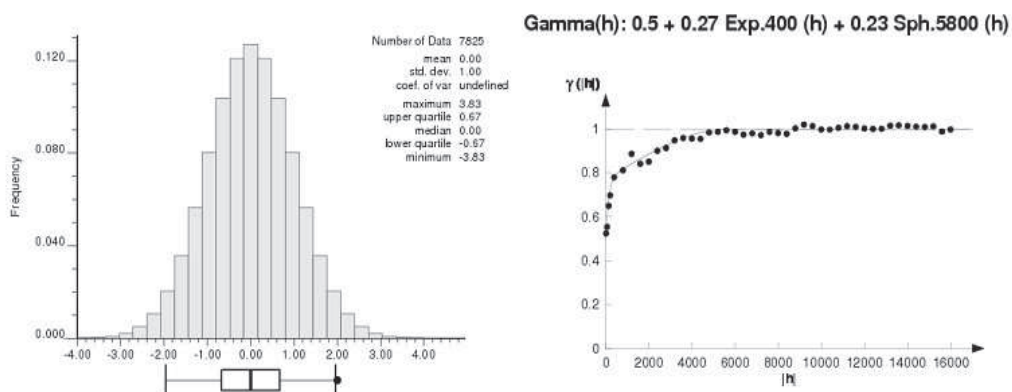
De achtergrondconcentratie van Pb in de bovenste 50 cm van de bodems van Vlaanderen heeft een gemiddelde van 19.2 mg/kg (Figuur 18).



Figuur 18: Histogram van de 7825 weerhouden van Pb metingen

3.3.2.2 Simulatie

De gegevens werden geanalyseerd met SGS volgens dezelfde procedure die ook gebruikt werd voor de analyse van de volledige gegevens set van de concentratiegegevens van Pb. Het histogram van de genormaliseerde scores is weergegeven in Figuur 19 samen met hun variogram.



Figuur 19: Histogram (links) en variogram (rechts) voor de genormaliseerde scores van Pbl

De parameters van dit variogram werden gebruikt voor de generatie van 500 realisaties voor elke niet-bemonsterde locatie wat resulteerde in een kaart van d achtergrondconcentratie van Pb.

3.3.2.3 Bespreking van de achtergrondconcentraties voor Pb

De achtergrondconcentratie van Pb vertoont een duidelijk mozaïekpatroon met lokale schommelingen rond de gemiddelde waarde. Opnieuw zijn er geen duidelijke regionale patronen waar te nemen. Dit betekent dat het moeilijk is de gebieden die slechts met een lage concentratie verontreinigd werden, te onderscheiden van de zones met Pb concentraties binnen het bereik van de achtergrondconcentratie van Pb.

3.4 Zink

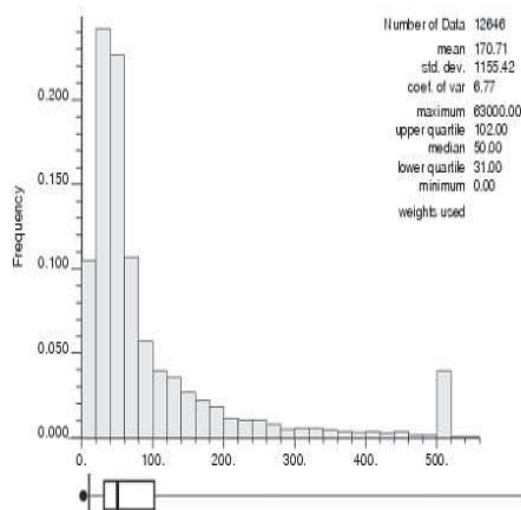
3.4.1 Alle gegevens

3.4.1.1 Verkennende data analyse

49.607 Zn waarnemingen werden door OVAM aangeboden waarvan 12.646 staalnamen werden gebruikt voor de analyse van de Zn concentratie in de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen.

Op de locatiekaart is duidelijk te zien dat de Zn concentraties van 0 tot 600 mg/kg een algemene, regionale trend vertonen met toenemende waarden naar het zuiden van Vlaanderen toe. De concentraties van Zn hoger dan 600 mg/kg daarentegen blijken eerder plaatsgebonden te zijn.

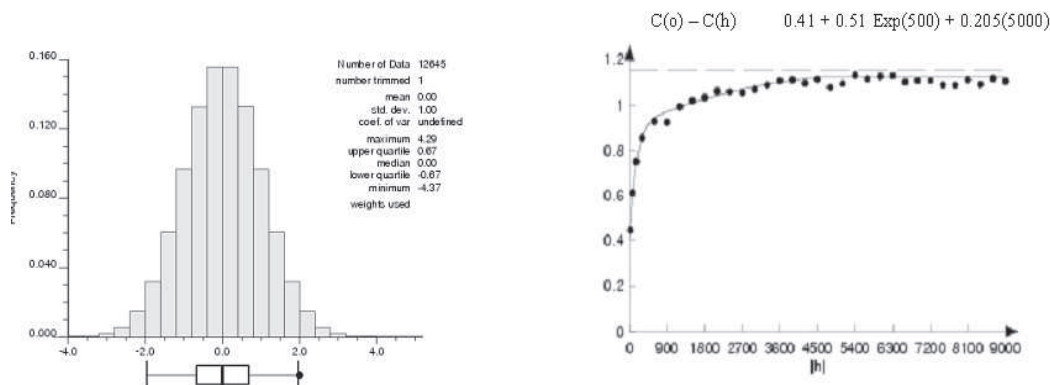
Het regionale gemiddelde van de Zn concentratie bedraagt 170.7 mg/kg (Figuur 20) met als meest frequente waarde een concentratie 50 mg/kg. Het bereik, dat loopt van 0 tot 63.000 mg/kg, trekt de standaard deviatie op tot 1155 mg/kg. Het interkwartielbereik, dit is het verschil tussen het eerste en het derde kwartiel, bedraagt 71 mg/kg wat een belangrijke indicatie is dat 50 % van de metingen zich rond de mode van 50 mg/kg bevinden. De extreem scheve verdeling is eveneens het resultaat van de aanwezigheid van een aantal extreem hoge concentraties in de gegevensset. Na een logaritmische transformatie werd evenwel een nagenoeg normaal verdeelde distributie bekomen.



Figuur 20: Histogram voor de 12.646 oorspronkelijke Zn gegevens

3.4.1.2 Simulatie

De gegevens werden geanalyseerd met behulp van het SGS algoritme. Het algemene, regionale histogram en variogram werden berekend na de normalisatie van de getransformeerd log-normale gegevens (Figuur 21).



Figuur 21: Histogram (links) en variogram (rechts) voor de genormaliseerde Zn scores

3.4.1.3 Validatie

Naast de probabiliteitskaart die de onzekerheid op de voorspelling weergeeft, werden de validatie berekend gebaseerd op het aantal correct voorspelde concentraties die gesimuleerd werden op basis van een drempelwaarde voor de concentratie van Zn van 600 mg/kg (Tabel 7).

Gemeten gegevens	Voorspelde gegevens	
	Correct (%)	Fout (%)
Zn < 600 mg/kg	91	9
Zn ≥ 600 mg/kg	65	35

Tabel 7: Validatie van de Zn schattingen

Zn vertoont een kwalitatieve goede voorspelling van de metingen onder de eerste kritische drempelwaarde (Tabel 7). Hoewel voor de berekeningen van de Zn concentraties dezelfde methode gebruikt werd als voor de analyse van de Pb gegevens, is er klaarblijkelijk een sterkere ruimtelijke autocorrelatie tussen de concentraties van Pb dan voor de concentraties van Zn. Dit resulteert in een naar vergelijking zwakker voorspellend vermogen voor de hogere kritische drempelwaarden van Zn.

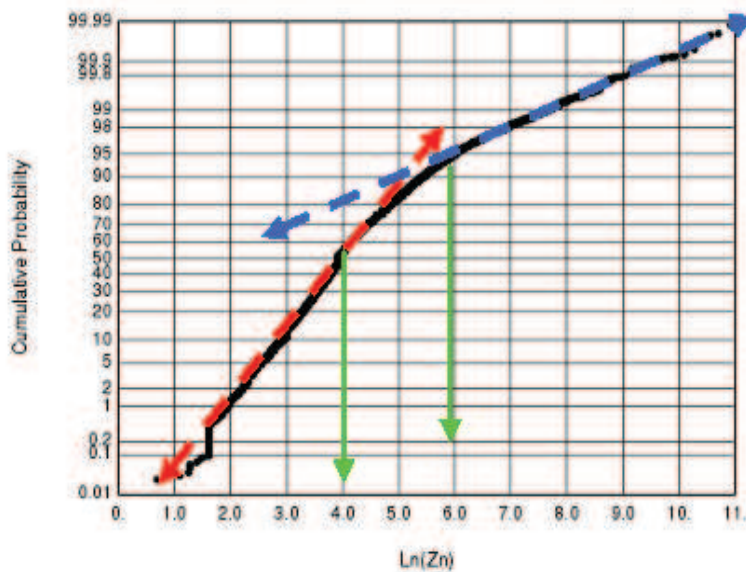
3.4.1.4 Discussie

Uitgebreide gebieden van Vlaanderen vertonen een Zn concentratie die lager ligt dan 300 mg/kg. Hogere concentraties van Zn (> 600 mg/kg) worden geschat tussen Jabbeke en Den Haan, en rond Gent, Sint-Niklaas, Kruibeke, Lommel en Overpelt. De kritische drempelwaarde z_c , die gebruikt werd om de probabiliteitskaart aan te maken was 600 mg/kg, wat overeenkomt met de saneringsnorm voor de landbouwbodems in Vlaanderen (Besluit Vlaamse Regering, 5 maart 1996, Vlarebo in Heyman en Smout 2001). Er zijn op de probabiliteitskaart een beperkt aantal kleine gebieden waar een geschatte concentratie van 600 mg/kg met een waarschijnlijkheid van minstens 60 % bereikt of overschreden zal worden. Een meer gedetailleerde staalname is aangewezen in deze gebieden.

3.4.2 Achtergrondconcentraties voor Zn

3.4.2.1 Gegevensselectie

De genormaliseerde probabiliteitsplot van de 12.646 weerhouden Zn metingen is weergegeven in Figuur 22. De eerste, kleine afwijking van de lineariteit werd opgemerkt bij een waarde voor $\ln(\text{Zn})$ van 1,6 wat overeenkomt met een Zn concentratie van 5 mg/kg en minder dan 1 % van de gegevens omvat. Het bereik van de achtergrondconcentratie omvat echter alle concentraties van Zn lager dan de bovengrens die vastgelegd werd tussen de waarden voor $\ln(\text{Zn})$ van 4 tot 6.



Figuur 22: Probabiliteitsplot van de 12.646 log getransformeerde Zn gegevens

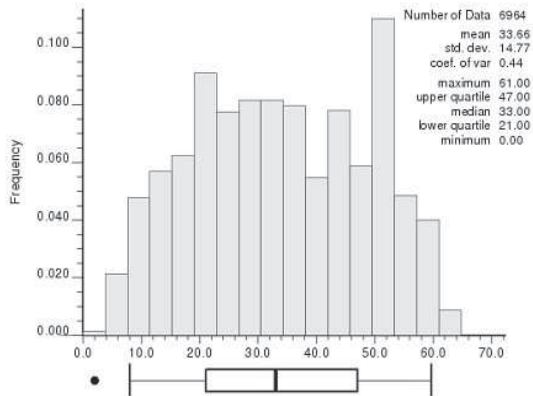
De maximale concentratie die overeenkomt met het punt van minimale scheefheid werd berekend om de bovengrens van de achtergrondconcentratie te bepalen (Tabel 8).

$\ln(\text{Zn})$	Zn (mg/kg)	Scheefheid
6.00	405	1.92
5.00	149	0.96
4.25	70	0.120
4.17	65	0.046
4.14	63	0.021
4.13	62	0.007
4.11	61	-0,002
4.09	60	-0.013

Tabel 8: Ontwikkeling van de scheefheid voor de bepaling van de Zn achtergrondconcentraties voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen

De minimale scheefheid van de distributie werd bekomen als de gegevensset gelimiteerd werd door een bovengrens van Zn van 61 mg/kg Zn. Het bereik van 0 tot 61mg/kg werd daarom genomen als het bereik van de achtergrondconcentratie voor Zn voor de bovenste 50 cm van de

bodems in Vlaanderen. Er werden 6964 metingen weerhouden binnen dit bereik. Figuur 23 toont het histogram van deze metingen. Het gemiddelde was 33,7 mg/kg Zn.

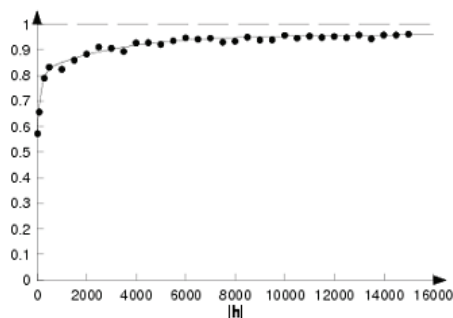


Figuur 23: Histogram voor de oorspronkelijke Zn achtergrondconcentraties

3.4.2.2 Simulatie

De achtergrondconcentratie werd geanalyseerd volgens het principe van de SGS. Hoewel de achtergrondconcentraties een verdeling hebben die dicht aanleunt bij de normale verdeling, werd slechts na een normale score transformatie een standaard normale verdeling bekomen met gemiddelde nul en een standaard deviatie van 1. Een algemeen, regionaal variogram (Figuur 24) werd gemodelleerd met behulp van de genormaliseerde scores van de concentraties. De parameters van dit variogram werden gebruikt voor de simulatie van de onbemonsterde locaties.

$$C(o)-C(h): \quad 0.57 + 0.24 \text{Exp}(450)(h) + 0.15\text{Exp}(9500)(h)$$



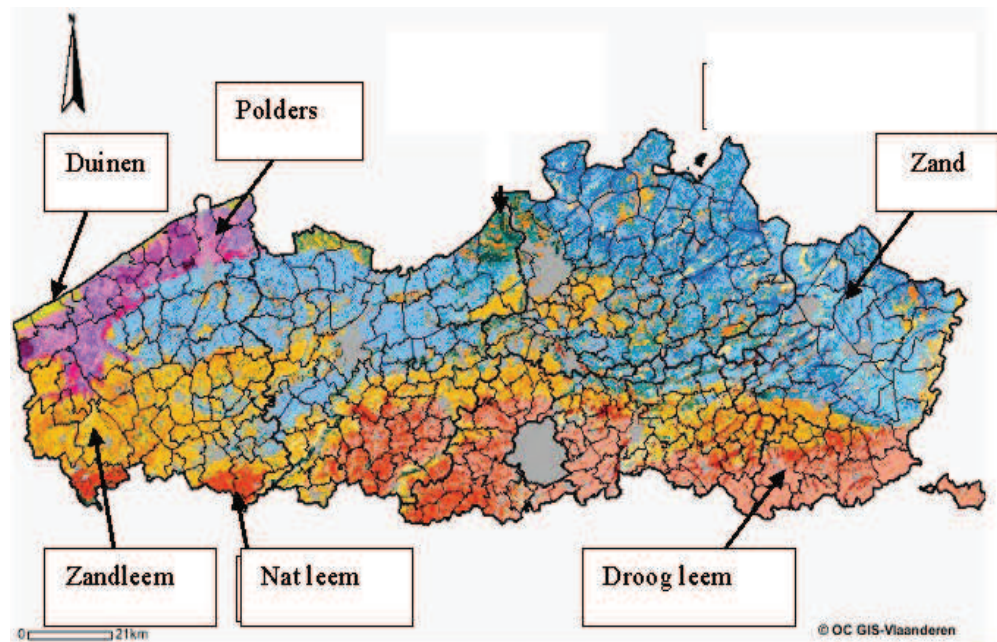
Figuur 24: Variogram voor de genormaliseerde scores voor de achtergrondconcentraties van Zn

3.4.2.3 Bespreking van de achtergrondconcentraties voor Zn

De achtergrondconcentraties van Zn vertoont een opmerkelijk ruimtelijk patroon. De hogere Zn concentraties in de bodem werden teruggevonden in het zuidelijke gedeelte van Vlaanderen waar de lemige bodems zich bevinden. Vandaar de analogie met een overzichtskaart van de bodemtextuur (Figuur 25).

Verder werden ook hogere achtergrondconcentraties gevonden in de polders en in gebieden met een klei-complex bodem. Zo werden bijvoorbeeld in de kleiige gebieden in het noorden van Oost-Vlaanderen rond Kieldrecht en Sint-Gillis-Waas hogere Zn concentraties gesimuleerd. In tegenstelling met de lemige en kleiige bodems geven de zanderige streken eerder lage concentraties aan voor de achtergrondconcentraties voor Zn.

Er kunnen verschillende oorzaken zijn voor de gevonden correlatie tussen de achtergrondconcentraties van Zn en de bodemtextuur. Mogelijk is de verklaring een geologische als het moedermateriaal in de lemige of kleiige zones een hogere concentratie aan Zn bevatte. De waargenomen, hoge correlatie tussen de achtergrondconcentraties van Zn en de bodemtextuur verdient verder fundamenteel onderzoek.



Figuur 25: Bodemtextuurkaart van Vlaanderen (bron : <http://geo-vlaanderen.gisvlaanderen.be/geo-vlaanderen/bodemkaart>)

4 Algemeen besluit

De geostatistische analyse van de vier zware metalen toont aan dat de hogere concentraties voornamelijk teruggevonden worden rond de voornaamste industriële centra zoals rond Gent, Antwerpen en in delen van de provincie Limburg. Omwille van de link met actieve en historische industriële sites, is het duidelijk dat industriële activiteit de meest belangrijke factor is die de spreiding van de vier onderzochte zware metalen in de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen beheerst.

Als samenvatting geeft Tabel 9 een overzicht van de belangrijkste statistieken van de distributies van de metalen, opgesplitst in “alle gegevens” en “achtergrondconcentraties”.

De achtergrondconcentraties voor Cd, As en Pb vertonen een mozaïekpatroon zonder een duidelijk regionaal verband dat met geologische of pedologische invloeden gecorreleerd kan worden. Voor Zn vertonen de achtergrondconcentraties echter wel een sterke correlatie met de bodemtextuur. Dit is voornamelijk duidelijk in de lemige en kleiige bodems zoals in de leemstreek en de polders. Omdat dit, voor zover ons bekend, een nieuwe vaststelling is, is bijkomend onderzoek aangewezen om deze bevinding te verklaren.

Metalen (mg/kg)		Alle gegevens	Achtergrondconcentraties
Cd	Aantal gegevens	12.440	9738
	Gemiddelde	0,99	0,45
	Bereik	0,0 – 300	0,0-0,8
	Interkwartielbereik	0,33	0,1
As	Aantal gegevens	12.528	11.306
	Gemiddelde	11,33	9,57
	Bereik	0,0-995	0,0-18,0
	Interkwartielbereik	2	1,9
Pb	Aantal gegevens	12.708	7825
	Gemiddelde	86,16	19,18
	Bereik	0,0-36.000	0,0-40,0
	Interkwartielbereik	38	17
Zn	Aantal gegevens	12.646	6964
	Gemiddelde	170,71	33,66
	Bereik	0,0-63.000	0,0-61,0
	Interkwartielbereik	71	26

Tabel 9: Overzichtstabel met distributiestatistieken

Bijlage 1: Lijst van tabellen

Tabel 1: Validatie van de Cd schattingen	21
Tabel 2: Ontwikkeling van de scheefheid voor de bepaling van de Cd achtergrondconcentraties voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen	22
Tabel 3: Validatie van de As schattingen	25
Tabel 4: Ontwikkeling van de scheefheid voor de bepaling van de As achtergrondconcentraties voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen	27
Tabel 5: Validatie van de Pb schattingen	29
Tabel 6: Ontwikkeling van de scheefheid voor de bepaling van de Pb achtergrondconcentraties voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen	31
Tabel 7: Validatie van de Zn schattingen	37
Tabel 8: Ontwikkeling van de scheefheid voor de bepaling van de Zn achtergrondconcentraties voor de bovenste 50 cm van de bodems in Vlaanderen	39
Tabel 9: Overzichtstabel met distributiestatistieken	43

Bijlage 2: Lijst van figuren

Figuur 1: Voorbeeld van de transformatie van de oorspronkelijke z-waarden in normale scores (hier Cd concentraties)	11
Figuur 2: Terug transformatie van de gesimuleerde, normale scores naar de overeenkomende z-waarden	12
Figuur 3: Verloop van de Sequentiële Gaussiaanse Simulatie (Fagroud & Van Meirvenne, 2002)	13
Figuur 4: Normaal probabiliteitsplot met weergave van de overgang tussen lineaire verbanden als scheiding van verschillende verdelingen	16
Figuur 5: Evolutie van de ruimtelijke structuur op de korte afstand (zie tekst)	17
Figuur 6: Histogram van de 12.440 weerhouden Cd metingen	19
Figuur 7: Indicator variogrammen voor de zeven drempelwaarden van de Cd concentraties	20
Figuur 8: Drempelwaarden voor Cd bepaald op basis van de overgang tussen verschillende verdelingen. ($\ln_{cd} = \ln(Cd)$)	22
Figuur 9: Histogram voor de achtergrondconcentraties van Cd in Vlaanderen	23
Figuur 10: Histogram van de 12.528 weerhouden As metingen	24
Figuur 11: Indicator variogrammen voor de acht drempelwaarden van de As concentraties	25
Figuur 12: Probabiliteitsplot van As met weergave van de overgang tussen lineaire verbanden als scheiding van verschillende verdelingen	26
Figuur 13: Histogram (links) en probabiliteitsplot (rechts) voor de achtergrondconcentraties van As in Vlaanderen	27
Figuur 14: Histogram van de 12.708 weerhouden Pb metingen	28
Figuur 15: Histogram (links) en variogram (rechts) voor de genormaliseerde Pb scores	29
Figuur 16: Probabiliteitsplot van de log getransformeerde Pb gegevens	30
Figuur 17: Indicator variogrammen gebruikt voor de bepaling van de bovengrens van de achtergrondconcentratie voor Pb	32
Figuur 18: Histogram van de 7825 weerhouden van Pb metingen	34
Figuur 19: Histogram (links) en variogram (rechts) voor de genormaliseerde scores van Pbl	34
Figuur 20: Histogram voor de 12.646 oorspronkelijke Zn gegevens	36
Figuur 21: Histogram (links) en variogram (rechts) voor de genormaliseerde Zn scores	37
Figuur 22: Probabiliteitsplot van de 12.646 log getransformeerde Zn gegevens	38
Figuur 23: Histogram voor de oorspronkelijke Zn achtergrondconcentraties	39
Figuur 24: Variogram voor de genormaliseerde scores voor de achtergrondconcentraties van Zn	40
Figuur 25: Bodemtextuurkaart van Vlaanderen (bron : http://geo-vlaanderen.gisvlaanderen.be/geo-vlaanderen/bodemkaart)	41

Bijlage 3: Bibliografie

- 1 CHAMBERS, JOHN, WILLIAM CLEVELAND, BEAT KLEINER, & PAUL TURKEY. (1983). Graphical Methods for Data Analysis, Wadsworth.
- 2 CHILÈS J.P. & DELFINDER P., 1999. Geostatistics. John Wiley & Sons.
- 3 FAGROUD, M., & VAN MEIRVENNE, M. (2002). Accounting for soil spatial autocorrelation in the design of experimental trials on water-use efficiency. Soil Sci. Soc. Am. J., **66**, 1134-1142.
- 4 FLEISCHHAUER, H.L., KORTE, N. (1990). Formulation of cleanup standards for trace elements with probability plots. Environmental Management, 14(1), 95-105.
- 5 GOOVAERTS, P. (1999). Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. Geoderma 89,1-45.
- 6 GOOVAERTS, P. (2000). Estimation or simulation of soil properties? An optimization problem with conflicting criteria. Geoderma 97, 165-186.
- 7 HEYMANN, J. & SMOUT, L. (2001). Milieuwetboek, Afval & Water. Kluwer Academic Publishers, 476-477.
- 8 KABATA-PENDIAS A, PENDIAS H. (1984). Trace elements in soils and plants. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- 9 LARK R.M. (2002). Modeling complex soil properties as contaminated regionalized variables. Geoderma 106, 173-190
- 10 LASLETT, G.M., McBratney, A.B. (1990). Further comparison of spatial methods for predicting soil-pH. Soil Science Society of America Journal 54, 1553-1558.
- 11 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.
- 12 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, 173-179
- 13 OVAM. Soil Remediation Policy. <http://www.ovam.be>
- 14 VAN MEIRVENNE, M. & GOOVAERTS, P. (2001). Evaluating the probability of exceeding a site-specific soil cadmium contamination threshold. Geoderma, 102, 75-100.

Bijlage 4:

KAARTEN nog toevoegen!