

Extract van het rapport, Opstellen gebiedsdekkende kaarten voor zware metalen in het grondwater, betreffende gehanteerde werkwijze en resultaten voor de achtergrondwaardenkaarten

**SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER**



**OVAM-publicatie gebaseerd op:
Opstellen gebiedsdekkende kaarten voor zware
metalen in het grondwater**

april 2007

Geert T' Kindt, Contractmanager

Projectmedewerkers:

Pieter Schrooten

Annelies Van Alphen

Mieke Muller



Documentbeschrijving

1. *Titel publicatie*

OVAM-publicatie gebaseerd op: Opstellen gebiedsdekkende kaarten voor zware metalen in het grondwater april 2007 Geert T' Kindt, Contractmanager Projectmedewerkers: Pieter Schrooten Annelies Van Alphen Mieke Muller

2. *Verantwoordelijke Uitgever*

Danny Wille, OVAM, Stationsstraat 110, 2800 Mechelen

3. *Wettelijk Depot nummer*

4. *Aantal bladzijden*

53

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	Operationeel maken van de dataset	9
2.1	Grove filter	9
2.2	Fijne filter	9
3	Evaluatie van de dataset	13
3.1	Algemene benadering	13
3.2	Evaluatie	13
3.2.1	Arseen	13
3.2.2	Cadmium	17
3.2.3	Chroom	20
3.2.4	Koper	24
3.2.5	Kwik	27
3.2.6	Nikkel	29
3.2.7	Lood	33
3.2.8	Zink	36
4	Kartering van de achtergrondwaarden	41
4.1	Werkwijze	41
4.2	Kaarten	41
4.2.1	Arseen	42
4.2.2	Cadmium	43
4.2.3	Chroom	43
4.2.4	Koper	44
4.2.5	Kwik	45
4.2.6	Nikkel	45
4.2.7	Lood	46
4.2.8	Zink	47
Bijlage 1:	Lijst van tabellen	49
Bijlage 2:	Lijst van figuren	51
Bijlage 3:	Bibliografie	53

1 Inleiding

Sinds 1995, de invoering van het bodemsaneringsdecreet, worden er in Vlaanderen bodemonderzoeken uitgevoerd waarvan de meetgegevens in een centrale databank bij OVAM worden verzameld. Deze gegevens omvatten grond en grondwateranalyses voor allerhande parameters, waaronder zware metalen. De meetgegevens zijn ingemeten in het Belgische Lambert coördinatenstelsel en kunnen dus ruimtelijk worden weergegeven. In 2005 heeft de OVAM besloten om deze gegevens niet louter via puntweergave te gebruiken, maar om op een wetenschappelijk onderbouwde wijze een globaal beeld te krijgen van de impact van bodemverontreiniging voor gans Vlaanderen. In eerste instantie wenste men de kartering uit te voeren voor de zware metalen in grond en grondwater. Het deel grond werd uitgevoerd door de Universiteit Gent, Faculteit Bio-ingenieurswetenschappen. Het deel grondwater is door Soresma uitgevoerd. Voorliggend rapport beschrijft de werkwijze en resultaten van de kartering van de zware metalen in het grondwater uitgevoerd door Soresma in 2006. De kartering omvat de parameters arseen, cadmium, chroom, koper, kwik, lood, nikkel en zink. Per parameter is een kaart uitgewerkt die de achtergrondwaarden weergeeft. Voorliggende studie is uitgewerkt volgens de criteria van de algemene offertevraag van OVAM met referentie CR2005/2 en de Soresma offerte met referentie 12458001 en aanvullend schrijven van 20 december 2005.

De uitvoering van de kartering is in volgende stappen uitgevoerd:

- Operationeel maken van de overgemaakte dataset;
- Evaluatie van de dataset (statistisch en geostatistisch);
- Kartering van de achtergrondwaarden.

2 Operationeel maken van de dataset

De door OVAM aangeleverde dataset met meetgegevens bevat de ruwe gegevens zoals ze in de database bij OVAM zijn ingevoerd. Deze omvatten per meetpunt volgende parameters:

- Metaal;
- Concentratie ($\mu\text{g/l}$);
- Lambert coördinaten (projectie 1972);
- Diepte filter (m-mv);
- Onderzoek;
- Datum.

Om de uiteindelijke kartering van de zware metalen in het grondwater te kunnen uitvoeren diende in de dataset overbodige, foutieve en dubbele metingen verwijderd te worden. Deze “opkuis” werd in volgende stappen uitgevoerd.

2.1 Grove filter

In een eerste stap werden dubbele metingen waarvoor alle parameters gelijk waren uit de dataset verwijderd. Hierdoor werd het initiële aantal metingen van 290.957 terug gebracht tot 279.959 metingen. De dubbele gegevens zijn vermoedelijk afkomstig van onderzoeken die twee keer zijn ingediend of metingen van bijvoorbeeld een OBO, die eveneens voor een BBO gebruikt zijn. In een tweede stap werden de meetgegevens overgebracht naar een GIS omgeving en werd nagegaan of alle metingen binnen de grenzen van Vlaanderen gelegen waren. Alle gegevens buiten Vlaanderen werden uit de dataset verwijderd. Hierdoor werd de dataset teruggebracht tot 279.771 metingen. In een derde stap werden dubbele metingen uit de dataset gehaald voor een aparte evaluatie. Deze keer werden enkel dubbele metingen geselecteerd op basis van de parameters “metaal”, “concentratie”, “coördinaten” en “diepte”. De parameters “onderzoek” en “datum” werden niet gehanteerd als criteria. Deze subset omvatte nog 24.151 metingen. In deze subset werden vervolgens alle dubbele metingen verwijderd voor:

- Zelfde “coördinaten” en zelfde “datum” (verwijderen van dubbele onderzoeken met zelfde metingen);
- Zelfde “coördinaten”, maar verschillende “datum” (enkel behoud van meest recente meting)

Na verwijdering van de duplicaten werden de resterende meetgegevens terug bij de dataset gevoegd, wat het totaal op 267.328 bracht.

In een volgende stap werden alle dubbele metingen met dezelfde coördinaten maar met verschillende parameters voor “onderzoek” en “datum” verwijderd. Hierdoor werd het aantal metingen teruggebracht naar 266.872 metingen.

2.2 Fijne filter

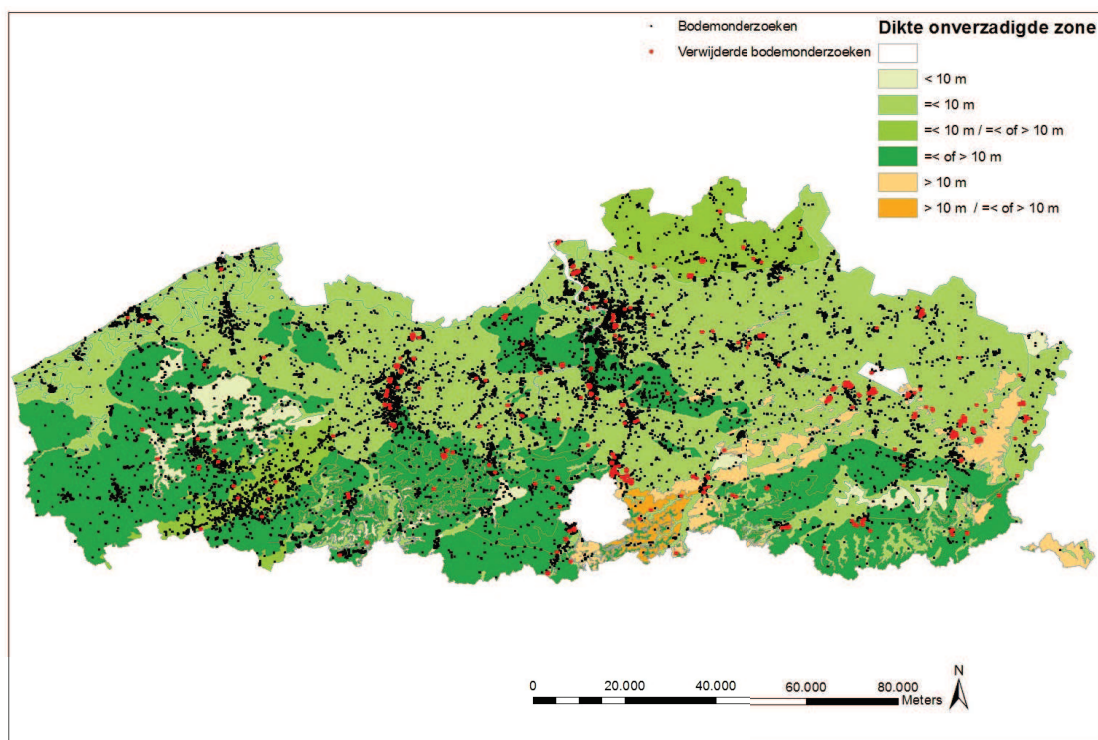
Na de zuivere parameterevaluatie diende ook nagegaan te worden welke metingen ondiepe en welke diepe grondwateranalyses betroffen. Hiervoor werden voor alle metingen met dezelfde coördinaten de diepste metingen uit de dataset verwijderd. Het totaal aantal metingen bedroeg vervolgens nog 266.589.

Naast de diepe dubbele metingen diende ook de diepe grondwater metingen uit de dataset verwijderd te worden. De op te maken kaarten omvatten enkel het ondiepe grondwater.

Verticaal afperkende grondwater metingen of diepe grondwater metingen maken dus geen deel uit van de te verwerken gegevens. Deze zijn wel mee opgenomen in de aangeleverde dataset. De diepte van de filter kan niet enkel gebruikt worden als criterium voor de diepte van het grondwater. De diepte van de grondwatertafel kan hiervoor wel gebruikt worden.

Om de diepe grondwater metingen op een efficiënte manier uit de dataset te verwijderen zijn alle metingen via een GIS-toepassing vergeleken met de Vlaamse grondwaterkwetsbaarheidskaarten. Deze kaarten geven aan of de eerste aquifer al dan niet kwetsbaar is voor oppervlakte verontreiniging. Één van de criteria hiervoor is de diepte van de grondwatertafel of de dikte van de onverzadigde zone. Aan de hand van deze parameter en de diepte van de filters van de meetgegevens uit de dataset kan bepaald worden welke metingen diep of ondiep grondwater weergeven.

Onderstaande figuur geeft de meetpunten weer op een overzichtskaart met de diktes van de onverzadigde zones. De met rood aangeduide metingen zijn metingen van diep grondwater, die uit de dataset zijn verwijderd.



Figuur 1: Dikte onverzadigde zone, meetpunten en verwijderde diepe meetpunten

Na uitvoering van beide filters telde de volledige dataset nog 256.779 metingen (88% van de initiële dataset), die als volgt over de 8 zware metalen verdeeld zijn:

- Arseen: 33.107 metingen;
- Cadmium: 31.658 metingen;
- Chroom: 31.934 metingen;
- Koper: 31.729 metingen;
- Kwik: 31.279 metingen;
- Nikkel: 32.732 metingen;
- Lood: 31.845 metingen;
- Zink: 32.495 metingen.

Deze meetgegevens vormen de basis voor de evaluatie en opmaak van de achtergrond- en verontreinigingskaarten.

3 Evaluatie van de dataset

3.1 Algemene benadering

De evaluatie van de dataset per metaal omvat zowel een statistische, ruimtelijke als geostatistische evaluatie.

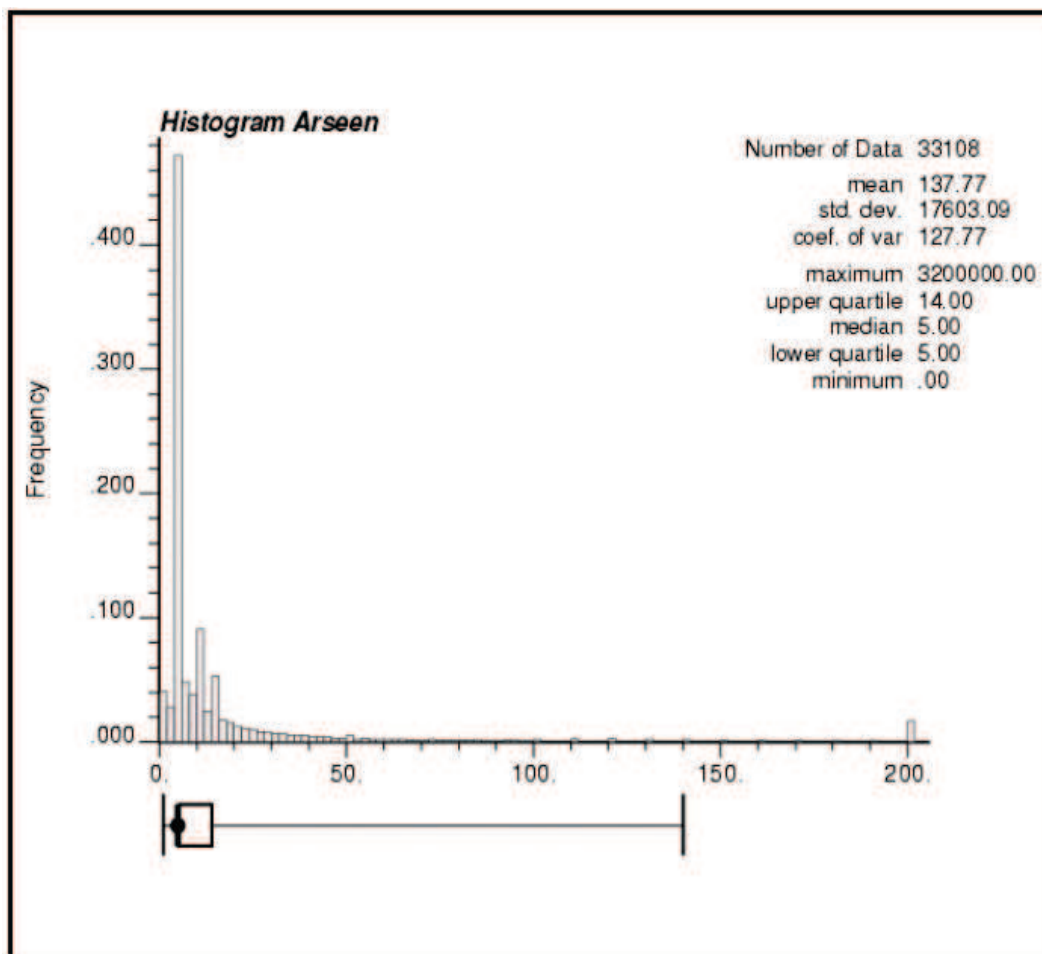
- Statistische evaluatie: hierbij wordt de verdeling van de beschikbare meetwaarden geëvalueerd. Er wordt geen rekening gehouden met de ruimtelijke spreiding van de gegevens. De gemiddelde, mediaan, percentielen enz. ... worden bepaald. Deze evaluatie omvat een klassieke populatie karakterisatie. De bevindingen van deze evaluatie worden later gebruikt bij het opstellen van de criteria voor de geostatistische analyse;
- Ruimtelijke evaluatie: hierbij wordt nagegaan hoe de meetgegevens over het Vlaamse grondgebied verspreid zijn. Eventuele clusters of lokale uitschieters kunnen bepaald worden.
- Geostatistische evaluatie: deze omvat verschillende stappen:
 - Evaluatie van de ruimtelijke variatie voor verschillende klassen (Variogram). De karakteristieken van de variogrammen zijn bepaald met het programma Vesper;
 - Bepaling van de kritieke waarde voor overgang van achtergrond concentratie naar verontreiniging. Deze zijn bepaald aan de hand van de statistische formules in het rekenprogramma Excell.

3.2 Evaluatie

3.2.1 Arseen

Statische evaluatie

De gemiddelde As concentratie voor Vlaanderen in het ondiepe grondwater bedraagt 137,77 µg/l. Dit is een overschrijding van de Vlaarobodemsaneringsnorm van 20 µg/l. Echter ligt 83% van de As metingen beneden de 20 µg/l en 9% van de metingen ligt beneden de 5 µg/l (achtergrondwaarde uit de Vlarebo). De meest voorkomende meting is ook 5 µg/l, wat overeenkomt met de detectielimiet van de meeste labo's.

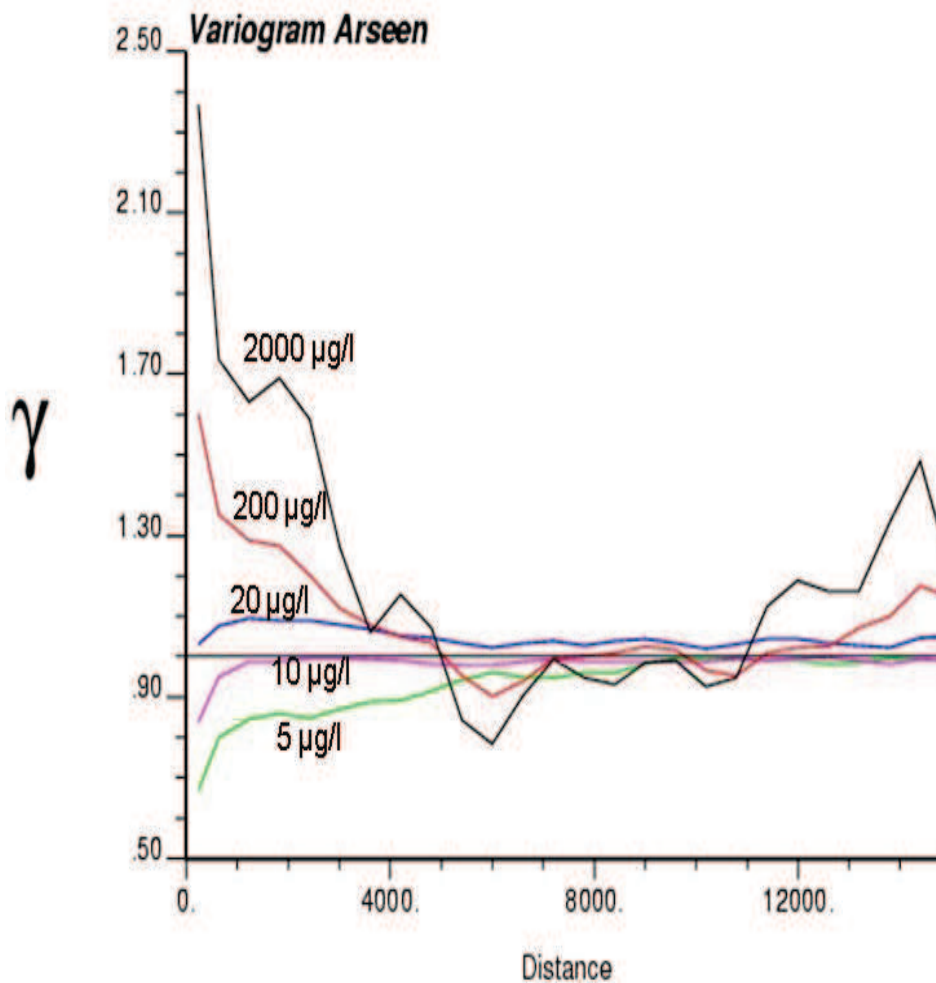


Figuur 2: Histogram arseen

De beschikbare waarden liggen tussen 0 en 3200.000 $\mu\text{g/l}$. Deze extreem hoge uitschieters zijn vermoedelijk afkomstig van foutief ingevoerde waarden. Echter is het natuurlijk altijd mogelijk dat zeer extreem hoge waarden voorkomen. Op basis van de door OVAM beschikbare gegevens, was het niet mogelijk om na te gaan of het hier om foutief ingevoerde waarden ging of om effectiever verontreinigingen. Deze extreem hoge waarden omvatten maar een zeer beperkt aandeel van de totale metingen. 99% van de metingen liggen beneden 250 $\mu\text{g/l}$ en 95% beneden 14 $\mu\text{g/l}$.

Geostatistische evaluatie

Voor de geostatistische evaluatie werden de metingen opgedeeld in discrete intervallen op basis van de continuïteit van de ruimtelijke distributie van deze metingen. Voor de intervallen werden volgende drempelwaarden gedefinieerd: 5, 10, 20, 200, 2000 $\mu\text{g/l}$. Nevenstaandefiguur geeft de variogrammen voor de verschillende intervallen weer.



Figuur 3: Variogram arseen

Hieruit blijkt dat voor de hogere concentraties een grotere variabiliteit in ruimtelijk spreiding aanwezig is. Dit geeft aan dat uitschieters zeer lokaal voorkomen en niet gebonden zijn aan regionale trends.

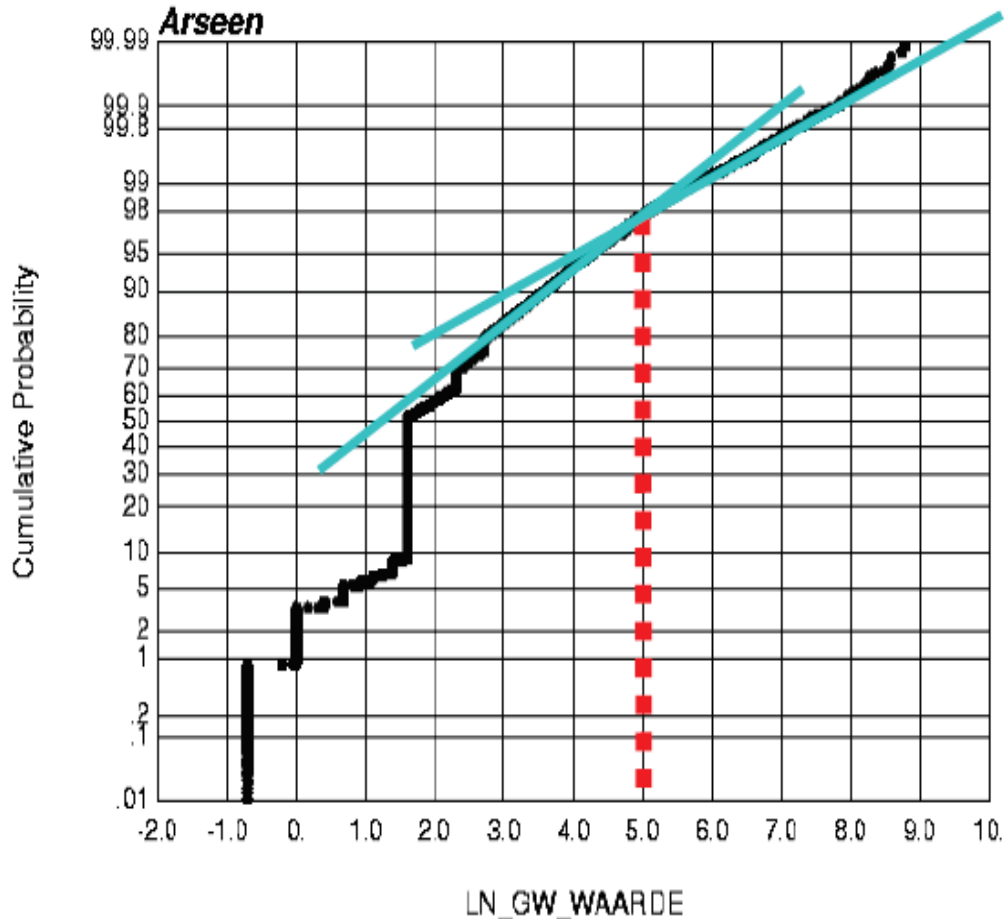
Aan de hand van de eigenschappen van de variogrammen werd de ruimtelijke distributie van de meetgegevens bepaald. Deze gegevens werden vervolgens gebruikt bij de berekening van de simulatie voor de opmaak van de achtergrond- en verontreinigingskaarten.

Voor de opmaak van de achtergrondwaardekaart dient nagegaan te worden voor welke waarde in de populatie er een overgang is van achtergrond naar verontreinigingsconcentratie. De Vlaamse achtergrondwaarden uit de Vlarebo kunnen hiervoor niet gehanteerd worden. Men kan de waarden die de achtergrond vertegenwoordigen, en de waarden die de verontreinigingen vertegenwoordigen, beschouwen als 2 aparte populaties. Om nu na te gaan waar de ene populatie overgaat in de andere kan men de overgangen in de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot bepalen.

Onderstaande figuur geeft de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot weer voor de logaritmische waarden van de arseen concentraties.

In het interval van -1 tot 2,5 worden verschillende overgangen vastgesteld. Deze komen overeen met detectielimieten voor arseenmetingen. Niet elk laboratorium hanteert dezelfde detectielimiet. In het verleden lag deze vaak hoger dan de huidige gehanteerde waarden waardoor mogelijk de

oude metingen een groep vormen met een andere detectielimiet. Daarnaast zijn bij het invoeren van de gegevens bij de aanlevering aan OVAM niet altijd de detectielimiet als ondergrens ingegeven, maar vaak ook de waarde 0. Hierdoor vormen deze ook een aparte groep.



Figuur 4: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot arseen

De eigenlijke overgang van de achtergrondwaarde naar de verontreiniging gebeurt geleidelijk, waardoor men een afgevlakte knik in de grafiek krijgt. Deze bevindt zich rond de waarde $\ln(\text{As}) = 5$. Dit komt overeen met een As concentratie van 148 $\mu\text{g/l}$. Om deze waarde verder exacte te bepalen werd de minimale scheefheid van de verdeling bepaald. Deze werd bepaald voor de concentratie van 150 $\mu\text{g/l}$. Onderstaande tabel geeft de berekende scheefheden weer.

In (As)	As concentratie $\mu\text{g/l}$	Scheefheid
4	55	2,610088
4,4	81	2,15304
4,8	122	1,96930
5,0	150	1,95269
5,2	181	1,96715
5,6	270	2,07063

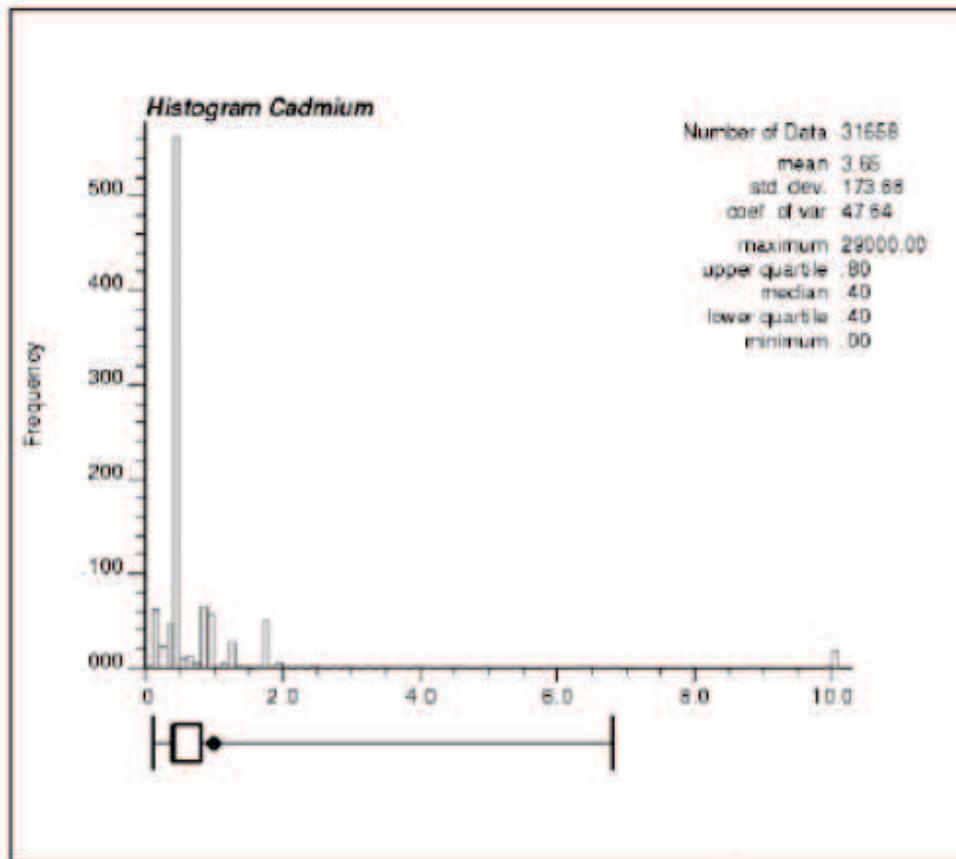
Tabel 1: Bepaling minerale scheefheid arseen

Voor de verdere bepaling van de achtergrondwaardekaart worden de meetgegevens tussen 0 en 150 $\mu\text{g/l}$ aangewend.

3.2.2 Cadmium

Statistische evaluatie

De gemiddelde Cd concentratie voor Vlaanderen in het ondiepe grondwater bedraagt 3,65 µg/l. Dit is een overschrijding van de Vlarebo bodemsaneringsnorm van 5 µg/l. Echter ligt 97% van de Cd metingen beneden de 5 µg/l en 79% van de metingen ligt beneden de 1 µg/l (achtergrondwaarde uit de Vlarebo). De meest voorkomende meting is 0,40 µg/l, wat overeenkomt met de detectielimiet.

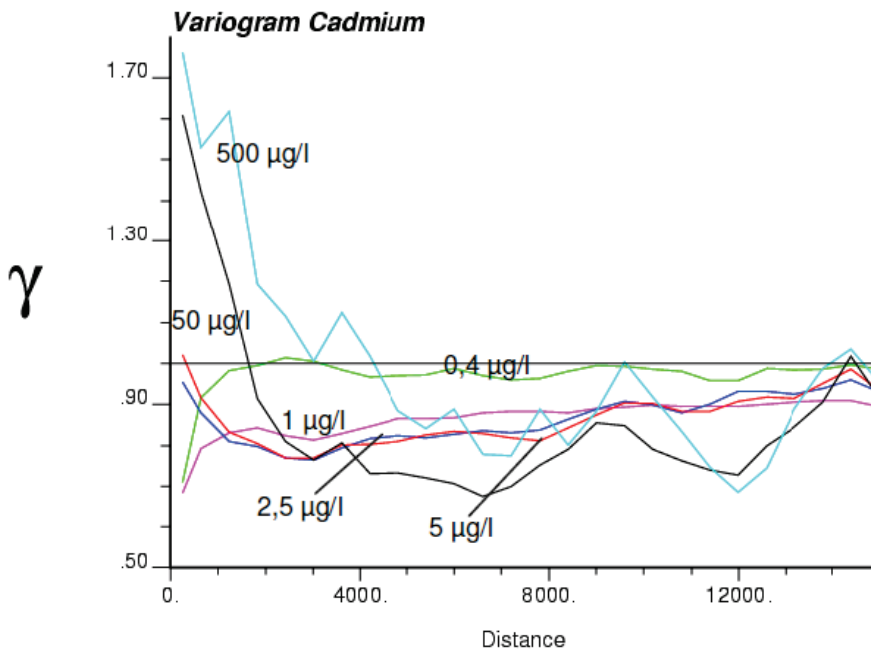


Figuur 5: Histogram cadmium

De beschikbare waarden liggen tussen 0 en 29.000 µg/l. Deze extreem hoge uitschieters zijn vermoedelijk afkomstig van foutief ingevoerde waarden. Echter is het natuurlijk altijd mogelijk dat extreem hoge waarden voorkomen. Op basis van de door OVAM beschikbare gegevens, was het niet mogelijk om na te gaan of het hier om foutief ingevoerde waarden ging of om effectieve verontreinigingen. Deze extreem hoge waarden omvatten maareen zeer beperkt aandeel van de totale metingen. 99% van de metingen liggen beneden 30 µg/l

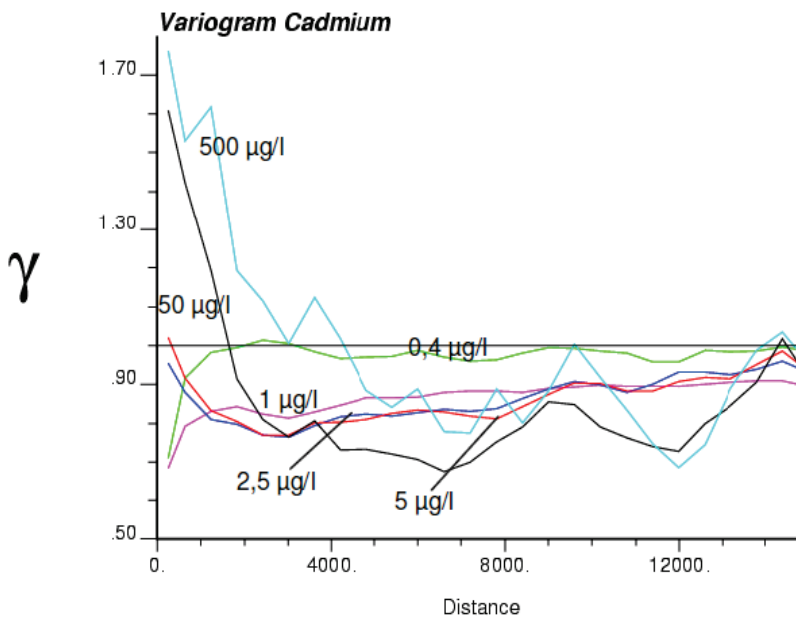
Geostatistische evaluatie

Voor de geostatistische evaluatie werden de metingen opgedeeld in discrete intervallen op basis van continuïteit van de ruimtelijke distributie van deze metingen. Voor de intervallen werden volgende drempelwaarden gedefinieerd: 0,4; 1; 2,5; 5; 50; 500 µg/l. Onderstaande figuur geeft de variogrammen voor de verschillende intervallen weer.



Figuur 6: Variogram cadmium

De minste variatie in de ruimtelijke spreiding van de meetgegevens wordt teruggevonden in de eerste 2 klassen (0,4 en 1). Bij de klassen 2,5 en 5 is er al een grotere variatie maar niet extreem uitgesproken. Deze beide grafieken lopen licht op bij een toenemende afstand. Dit doet vermoeden dat er binnen deze klassen regionale trends aanwezig zijn. De klassen 50 en 500 hebben een uitgesproken variatie. De sterk verhoogde cadmium concentraties zijn dus eerder van lokale aard.

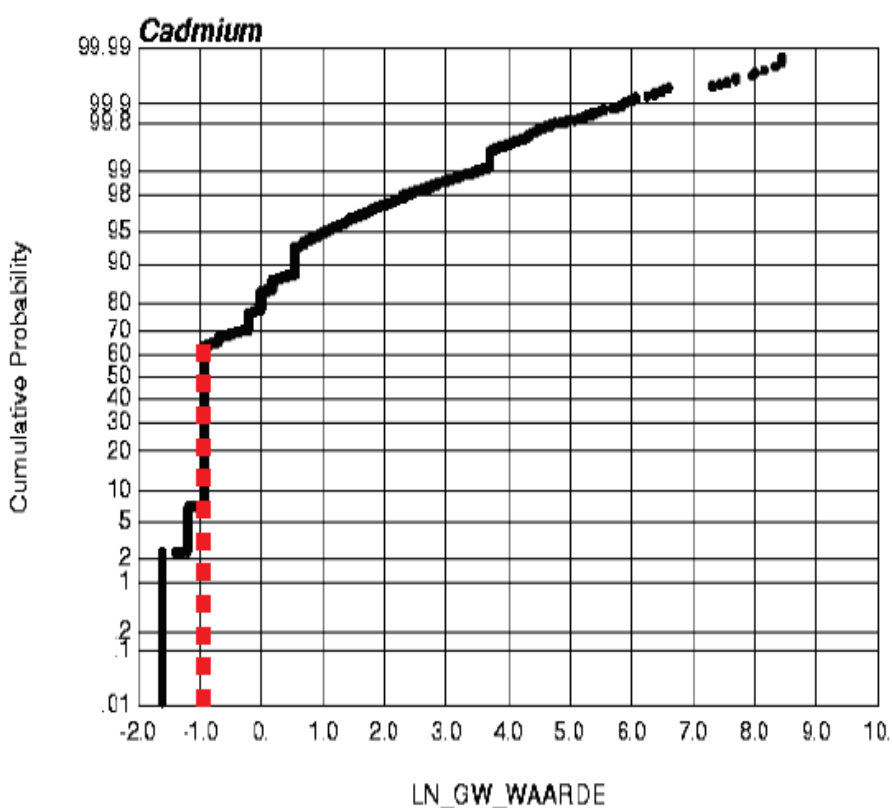


Figuur 7: Variogram cadmium

Aan de hand van de eigenschappen van de variogrammen werd de ruimtelijke distributie van de meetgegevens bepaald. Deze gegevens werden vervolgens gebruikt bij de berekening van de simulatie voor de opmaak van de achtergrond en verontreinigingskaarten.

Voor de opmaak van de achtergrondwaardekaart dient nagegaan te worden voor welke waarde in de populatie er een overgang is van achtergrond naar verontreinigingsconcentratie. De Vlaamse achtergrondwaarden uit de Vlarebo kunnen hiervoor niet gehanteerd worden. Men kan de waarden die de achtergrond vertegenwoordigen, en de waarden die de verontreinigingen vertegenwoordigen, beschouwen als 2 aparte populaties. Om nu na te gaan waar de ene populatie overgaat in de andere kan men de overgangen in de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot bepalen.

Onderstaande figuur geeft de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot weer voor de logaritmische waarden van de cadmium concentraties.



Figuur 8: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot cadmium

In het interval van -2 tot 2 worden verschillende overgangen vastgesteld. Deze komen overeen met detectielimieten voor de cadmium metingen. Buiten dit interval zijn geen andere overgangen vastgesteld. Dit kan twee dingen betekenen:

- Namelijk dat er geen verschil is tussen de cadmium achtergrond en verontreinigingspopulatie. Dit betekent dat alle cadmium ofwel verontreiniging is of achtergrond;
- Namelijk dat er geen verschil is tussen de cadmium achtergrond en verontreinigingspopulatie. Dit betekent dat alle cadmium ofwel verontreiniging is of achtergrond;
- Ofwel dat de overgang van achtergrondwaarden naar verontreiniging zich binnen het interval van de detectielimieten bevindt.

Cadmium komt van nature voor in de bodem. Echter in zeer lage concentraties. Het is dus zeer waarschijnlijk dat de overgang van de achtergrondwaarde naar verontreinigingsconcentraties binnen het detectielimietinterval valt. Binnen dit interval is de laagste scheefheid van de grafiek bepaald. Deze bevindt zich rond de waarde $\ln(\text{Cd}) = -0,9$. Dit komt overeen met een Cd concentratie van $0,40 \mu\text{g/l}$. Om deze waarde verder exact te bepalen werd de minimale scheefheid van de verdeling bepaald. Vanaf een concentratie van $0,39$ verandert de oriëntatie van de grafiek sterk. De minimale scheefheid ligt dus tussen $0,39$ en $0,40 \mu\text{g/l}$.

Onderstaande tabel geeft de berekende scheefheden weer.

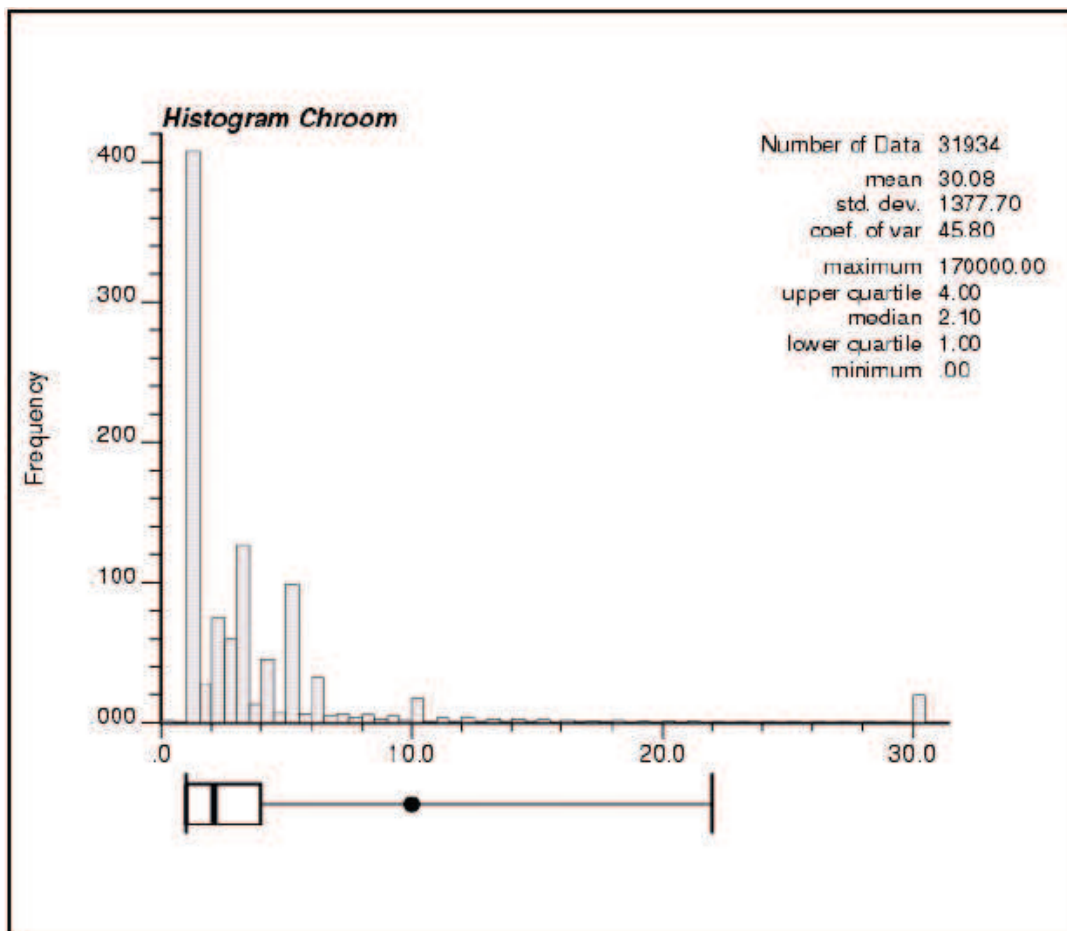
In (Cd)	Cd Concentratie	Scheefheid
-0,94	0,39	-0,434
-0,94	0,40	-5,389
-0,90	0,41	5,390
-0,80	0,45	5,468

Tabel 2: Bepaling minimale scheefheid cadmium

3.2.3 Chroom

Statistische evaluatie

De gemiddelde Cr concentratie voor Vlaanderen in het ondiepe grondwater bedraagt $30,08 \mu\text{g/l}$. Deze waarde ligt beneden de Vlarebo bodemsaneringsnorm van $50 \mu\text{g/l}$. 99% van de Cr metingen ligt beneden $50 \mu\text{g/l}$ en 93% van de metingen ligt beneden $10 \mu\text{g/l}$ (achtergrondwaarde uit de Vlarebo). De meest voorkomende metingen liggen rond $2,10 \mu\text{g/l}$.

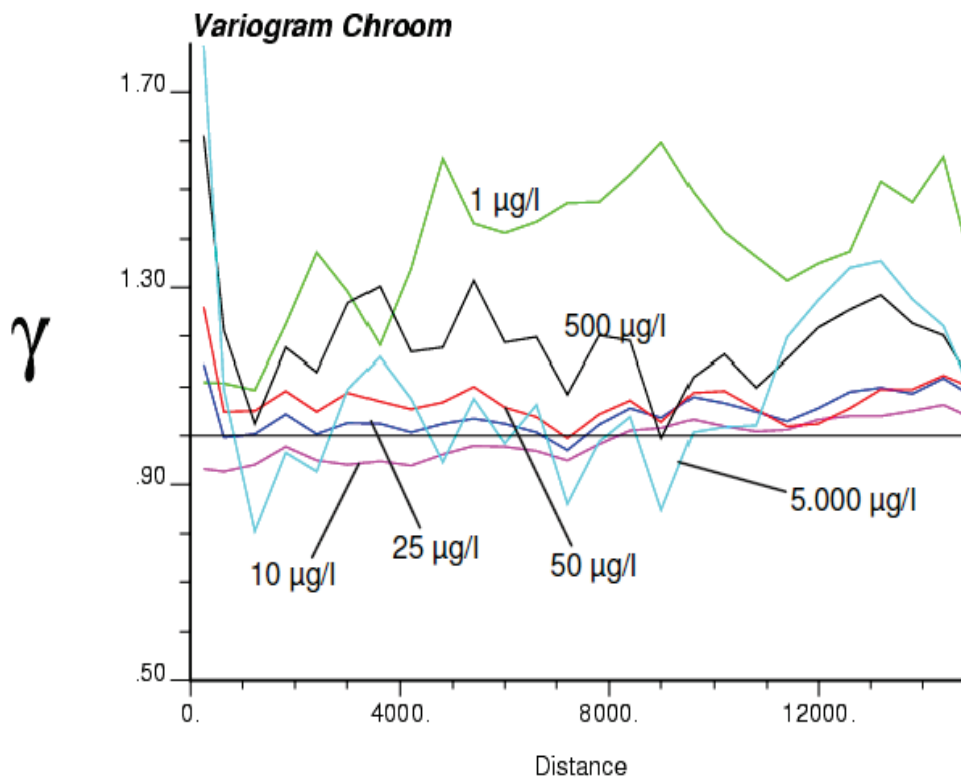


Figuur 9: Histogram Chrom

De beschikbare waarden liggen tussen 0 en 170.000 $\mu\text{g/l}$. Deze extreem hoge uitschieters zijn vermoedelijk afkomstig van foutief ingevoerde waarden. Echter is het natuurlijk altijd mogelijk dat extreem hogewaarden voorkomen. Op basis van de door OVAM beschikbare gegevens, was het nietmogelijk om na te gaan of het hier om foutief ingevoerde waarden ging of om effectieveverontreinigingen. Deze extreem hoge waarden omvatten maar een zeer beperkt aandeel van de totale metingen.

Geostatistische evaluatie

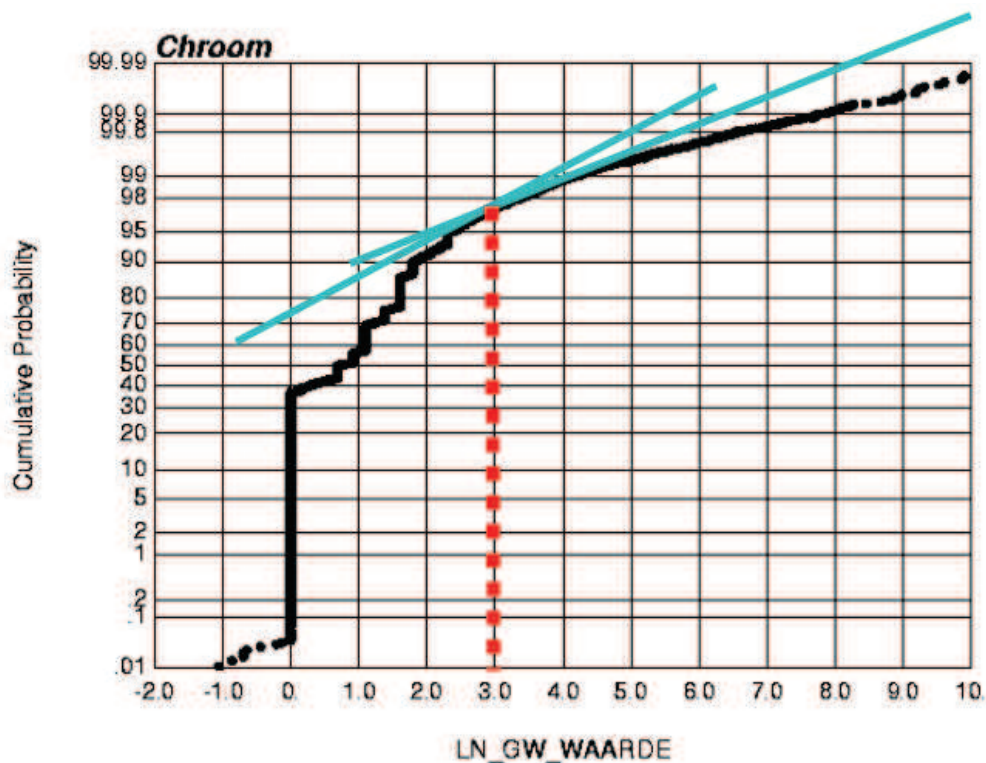
Voor de geostatistische evaluatie werden de metingen opgedeeld in discrete intervallen op basis van continuïteit van de ruimtelijke distributie. Voor de intervallen werden volgende drempelwaarden gedefinieerd: 0,4; 1; 2,5; 5; 50; 500 $\mu\text{g/l}$. Onderstaande figuur geeft de variogrammen voor de verschillende intervallen weer. De meeste variatie in de ruimtelijke spreiding van de meetgegevens wordt teruggevonden in de eerste klasse (1 $\mu\text{g/l}$). Dit is waarschijnlijk te wijten aan sterke verschillen in deze klasse. Vermoedelijk niet noodzakelijk een gevolg van lokale verschillen in de ruimtelijke distributie, maar eerder van de variatie in de in de database ingevoerde detectielimieten. De klasse 10 vertoont een lichte stijging bij toenemende afstand. Dit wijst op een mogelijke regionale variatie. De klassen 25 en 50 hebben een quasi gelijk verloop. Ze blijven ook horizontaal wat aangeeft dat er voor deze klassen weinig variatie in de ruimtelijke spreiding aanwezig is. De klassen 500 en 5.000 worden gekenmerkt door een sterkere variatie. De sterk verhoogde cadmium concentraties zijn dus eerder van lokale aard.



Figuur 10: Variogram chroom

Aan de hand van de eigenschappen van de variogrammen werd de ruimtelijke distributie van de meetgegevens bepaald. Deze gegevens werden vervolgens gebruikt bij de berekening van de simulatie voor de opmaak van de achtergrond- en verontreinigingskaarten. Voor de opmaak van de achtergrondwaardekaart dient nagegaan te worden voor welke waarde in de populatie er een overgang is van achtergrond naarverontreinigingsconcentratie. De Vlaamse achtergrondwaarden uit de Vlarebo kunnen hiervoor niet gehanteerd worden. Men kan de waarden die de achtergrond vertegenwoordigen en de waarden die de verontreinigingen vertegenwoordigen beschouwen als 2 aparte populaties. Om nu na te gaan waar de ene populatie overgaat in de andere kan men de overgangen in de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot bepalen.

Onderstaande figuur geeft de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot weer voor de logaritmische waarden van de cadmium concentraties.



Figuur 11: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot chroom

In het interval van -1 tot 2,5 worden verschillende overgangen vastgesteld. Deze komen overeen met detectielimieten voor de chroom metingen. Niet elk laboratorium hanteert dezelfde detectielimiet. In het verleden lag deze vaak hoger dan de huidige gehanteerde waarden waardoor mogelijk de oude metingen een groep vormen met andere detectielimieten. Daarnaast zijn bij het invoeren van de gegevens bij de aanlevering aan OVAM niet altijd de detectielimiet als ondergrens ingegeven, maar vaak ook de waarde 0. Hierdoor vormen deze ook een aparte groep. Uit de grafiek blijkt dat 1 µg/l ($\ln(\text{Cr}) = 0$) de meest ingevoerde detectielimiet is.

De eigenlijke overgang van de achtergrondwaarde naar de verontreiniging gebeurt geleidelijk, waardoor men een afgevlakte knik in de grafiek krijgt. Deze bevindt zich rond de waarde $\ln(\text{Cr}) = 3$. Dit komt overeen met een Cr concentratie van 20 µg/l. Om deze waarde verder exacte te bepalen werd de minimale scheefheid van de verdeling bepaald. Deze werd bepaald voor de concentratie van 13 µg/l. Onderstaande tabel geeft de berekende scheefheden weer.

In (Cr)	Cr concentratie µg/l	Scheefheid
2,30	10	0,0769
2,50	12	0,0033
2,56	13	0,0008
2,70	15	0,0121
2,9	18	0,0764

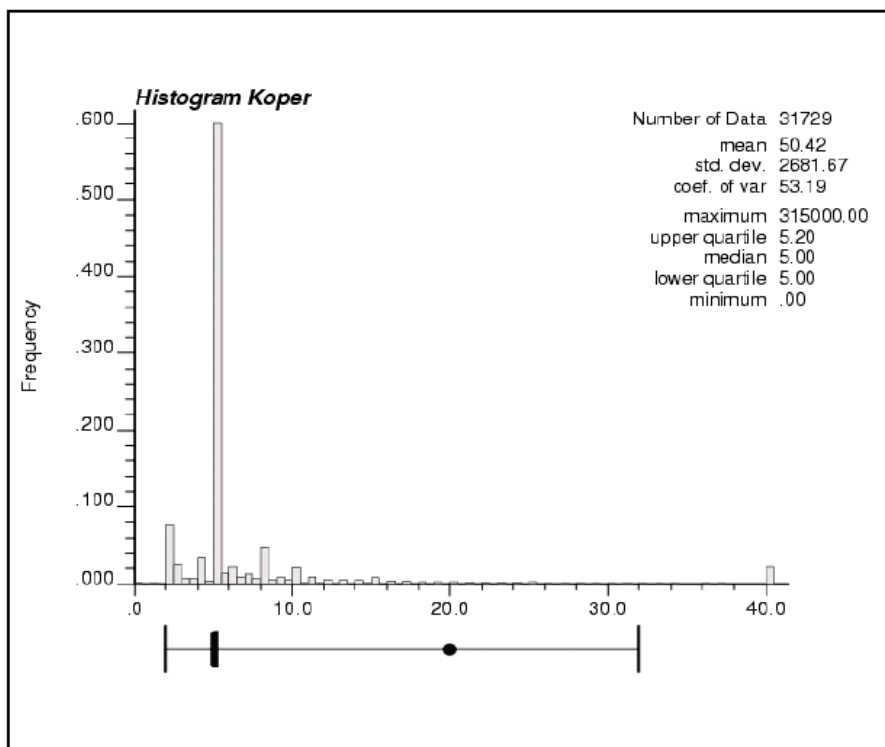
Tabel 3: Bepaling minimale scheefheid chroom

Voor de verdere bepaling van de achtergrondwaardekaart werden de meetgegevens tussen 0 en 13 µg/l aangewend.

3.2.4 Koper

Statistische evaluatie

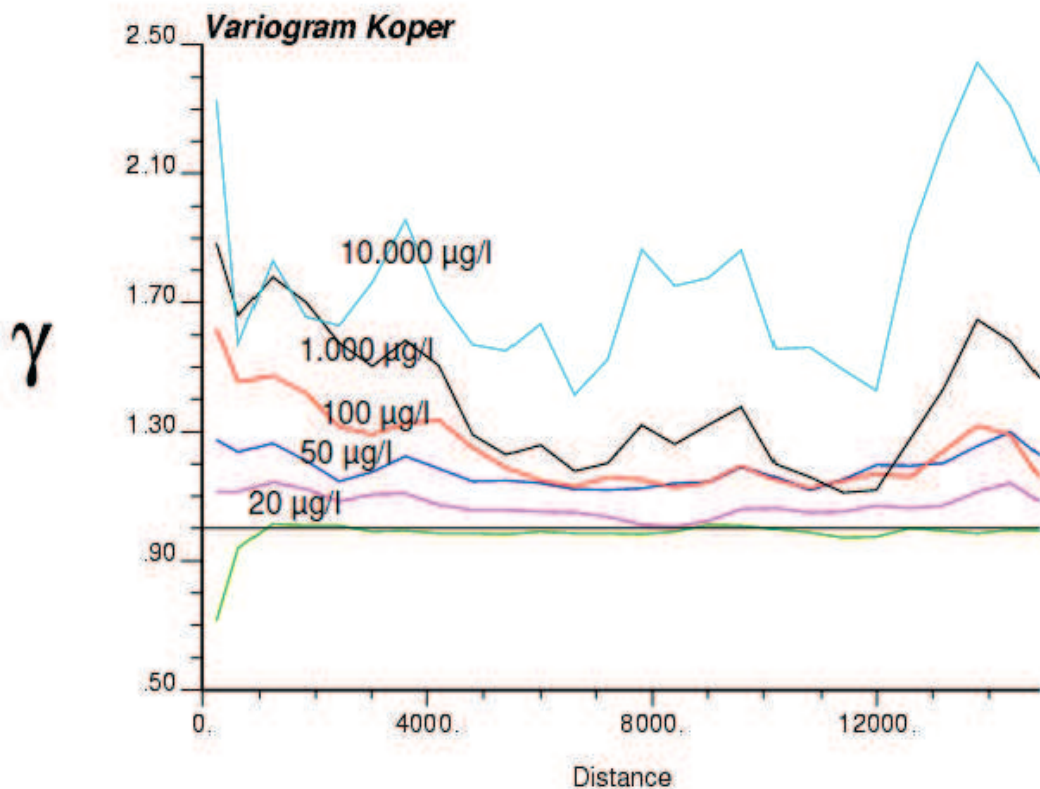
De gemiddelde Cu concentratie voor Vlaanderen in het ondiepe grondwater bedraagt 50,42 µg/l. Deze waarde ligt beneden de Vlarebo bodemsaneringsnorm van 100 µg/l. 99% van de Cu metingen ligt beneden de bodemsaneringsnorm van 100 µg/l en 96% van de metingen ligt beneden de 20 µg/l (achtergrondwaarde uit de Vlarebo). De meest voorkomende metingen liggen rond 5 µg/l. De beschikbare waarden liggen tussen 0 en 315.000 µg/l. Deze extreem hoge uitschieters zijn vermoedelijk afkomstig van foutiefingevoerde waarden. Echter is het natuurlijk altijd mogelijk dat extreem hoge waarden voorkomen. Op basis van de door OVAM beschikbare gegevens, was het niet mogelijk om na te gaan of het hier om foutief ingevoerde waarden ging of om effectieve verontreinigingen. Deze extreem hoge waarden omvatten maar een zeer beperkt aandeel van de totale metingen.



Figuur 12: Histogram koper

Geostatistische evaluatie

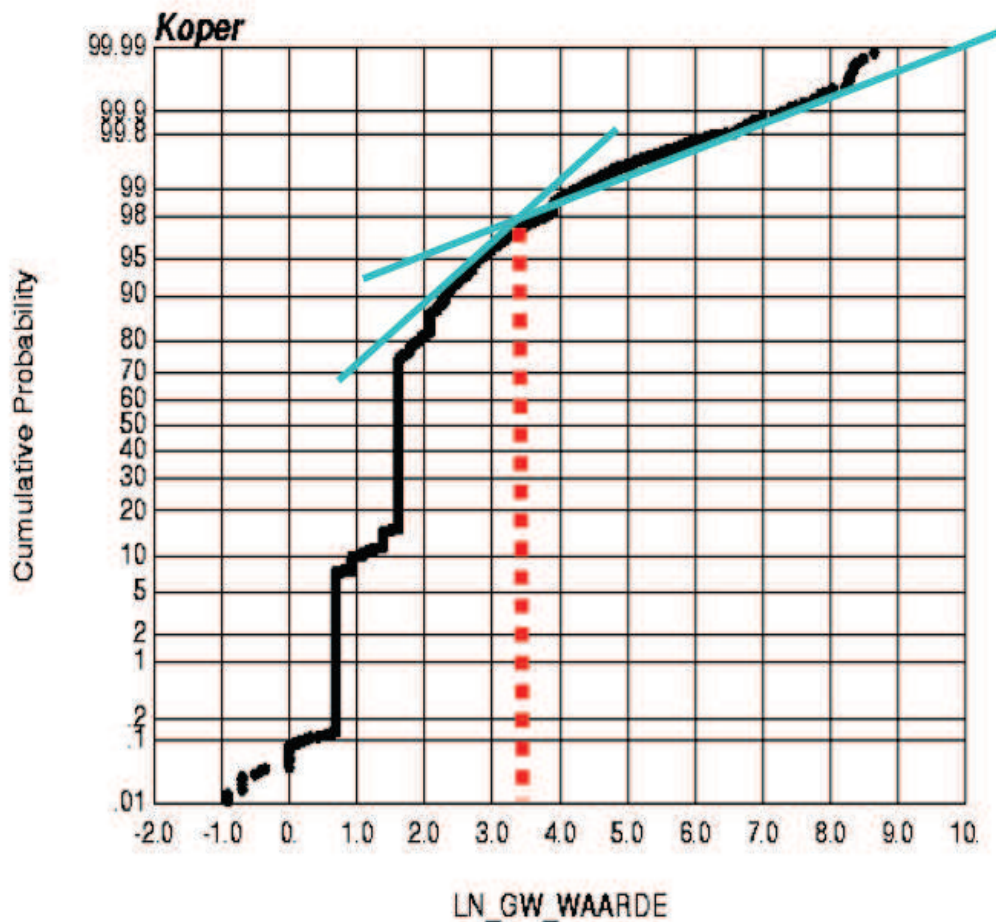
Voor de geostatistische evaluatie werden de metingen opgedeeld in discrete intervallen op basis van continuïteit van de ruimtelijke distributie van deze metingen. Voor de intervallen werden volgende drempelwaarden gedefinieerd: 5, 20, 50, 100; 1.000; 10.000 $\mu\text{g/l}$. Onderstaande figuur geeft de variogrammen voor de verschillende intervallen weer. De meeste variatie in de ruimtelijke spreiding van de meetgegevens wordt teruggevonden in de laatste klasse (10.000). Naarmate de bovengrens van de klasse kleiner wordt neemt de variatie af. Het variogram van de klasse 5 $\mu\text{g/l}$ is zo goed als vlak. Dit geeft aan dat over het ganse onderzoeksgebied de waarden binnen deze klasse gelijkmatig verdeeld zijn. Er is zo goed als geen ruimtelijke variatie. De sterk verhoogde koper concentraties daarentegen worden dus enkel zeer lokaal aangetroffen.



Figuur 13: Variogram koper

Aan de hand van de eigenschappen van de variogrammen werd de ruimtelijke distributie van de meetgegevens bepaald. Deze gegevens werden vervolgens gebruikt bij de berekening van de simulatie voor de opmaak van de achtergrond en verontreinigingskaarten. 5 $\mu\text{g/l}$ Voor de opmaak van de achtergrondwaarde kaart dient nagegaan te worden voor welke waarde in de populatie een overgang is van achtergrond- naar De Vlaamse achtergrondwaarden uit de Vlarebo kunnen hiervoor niet gehanteerd worden. Men kan de waarden die de achtergrond vertegenwoordigen en de waarden die de verontreinigingen vertegenwoordigen beschouwen als 2 aparte populaties. Om nu na te gaan waar de ene populatie overgaat in de andere kan men de overgangen in de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot bepalen.

Onderstaande figuur geeft de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot weer voor de logaritmische waarden van de cadmium concentraties.



Figuur 14: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot koper

In het interval van -1 tot 2,5 worden verschillende overgangen vastgesteld. Deze komen overeen met detectielimieten voor de koper metingen. Niet elk laboratorium hanteert dezelfde detectielimiet. In het verleden lag deze vaak hoger dan de huidige gehanteerde waarden waardoor mogelijk de oude metingen een groep vormen met andere detectielimieten. Daarnaast zijn bij het invoeren van de gegevens bij de aanlevering aan OVAM niet altijd de detectielimiet als ondergrens ingegeven, maar vaak ook de waarde 0. Hierdoor vormen deze ook een aparte groep. Uit de grafiek blijkt dat 2 en 5 µg/l (respectievelijk $\ln(\text{Cu}) = 0,7$ en $1,6$) de meest ingevoerde detectielimieten zijn

De eigenlijke overgang van de achtergrondwaarde naar de verontreiniging gebeurt geleidelijk, waardoor men een afgevlakte knik in de grafiek krijgt. Deze bevindt zich rond de waarde $\ln(\text{Cu}) = 3,5$. Dit komt overeen met een Cu concentratie van 33 µg/l. Om deze waarde verder exacte te bepalen werd de minimale scheefheid van de verdeling bepaald. Deze werd bepaald voor de concentratie van 29 µg/l. Onderstaande tabel geeft de berekende scheefheden weer.

In (Cu)	Cu concentratie µg/l	Scheefheid
3,30	27	-0,066
3,33	28	-0,026
3,37	29	0,024
3,40	30	0,064
3,50	33	0,207

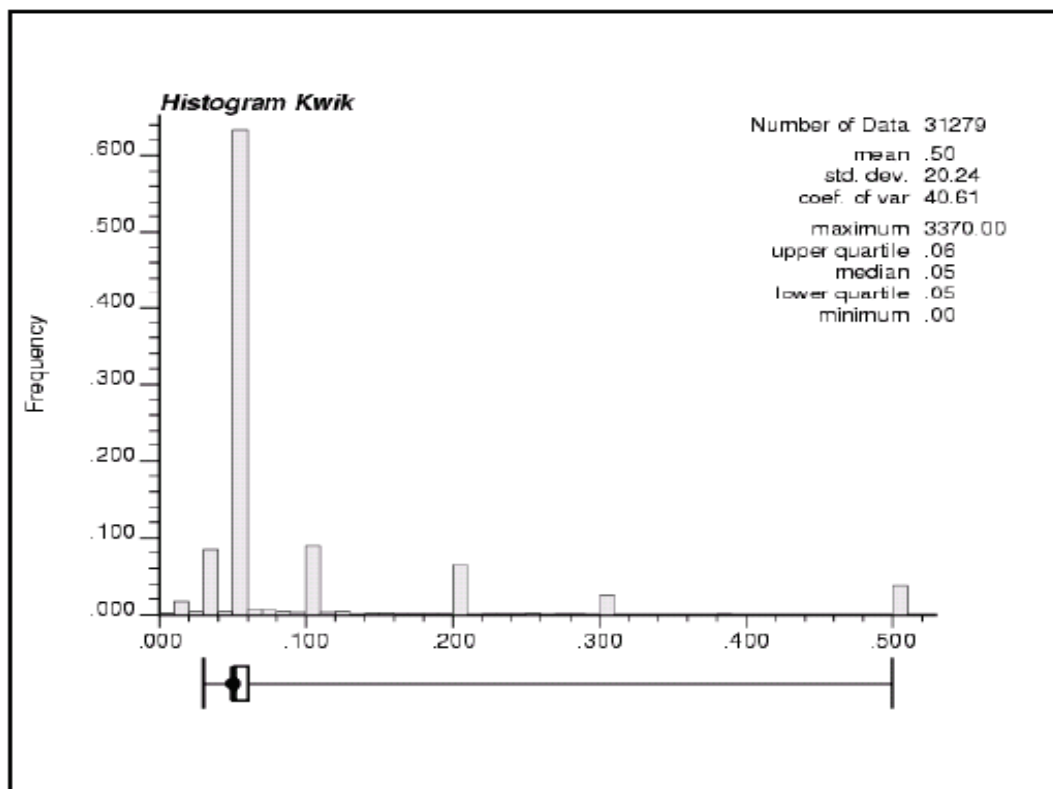
Tabel 4: Bepaling minimale scheefheid koper

Voor de verdere bepaling van de achtergrondwaardekaart werden de meetgegevens tussen 0 en 29 µg/l aangewend.

3.2.5 Kwik

Statistische evaluatie

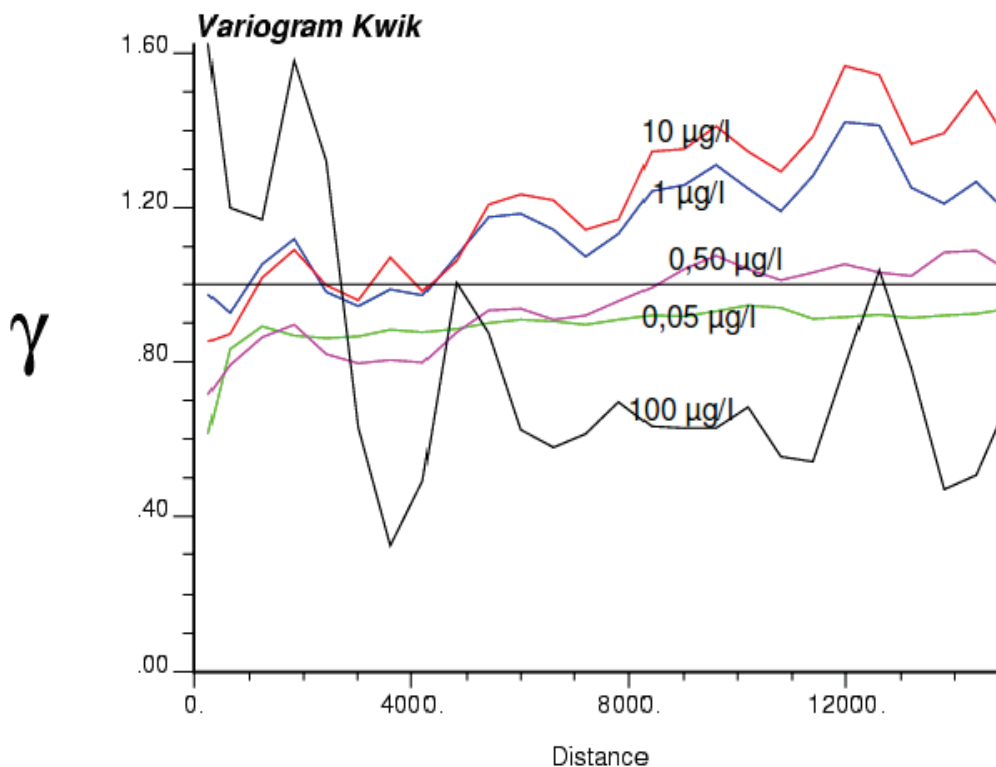
De gemiddelde Hg concentratie voor Vlaanderen in het ondiepe grondwater bedraagt 0,50 µg/l. Deze waarde ligt beneden de Vlarebo bodemsaneringsnorm van 1 µg/l en 99% van de Hg metingen ligt beneden de bodemsaneringsnorm van 1 µg/l en 11% van de metingen ligt beneden de 0,05 µg/l (achtergrondwaarde uit de Vlarebo). De meest voorkomende metingen liggen rond 0,05 µg/l. Dit komt omdat 0,05 µg/l de meest voorkomende detectielimiet is. Er liggen maar zeer weinig metingen beneden deze waarde. 95% van de metingen ligt beneden de concentratie van 0,3 µg/l. De beschikbare waarden liggen tussen 0 en 3.370 µg/l. Deze hoge uitschieter ligt een stuk lager dan bij de andere metalen.



Figuur 15: Histogram Kwik

Geostatistische evaluatie

Voor de geostatistische evaluatie werden de metingen opgedeeld in discrete intervallen op basis van de continuïteit van de ruimtelijke distributie van deze metingen. Voor de intervallen werden volgende drempelwaarden gedefinieerd: 0,05; 0,50; 1; 10 en 100 µg/l. Onderstaande figuur geeft de variogrammen voor de verschillende intervallen weer.

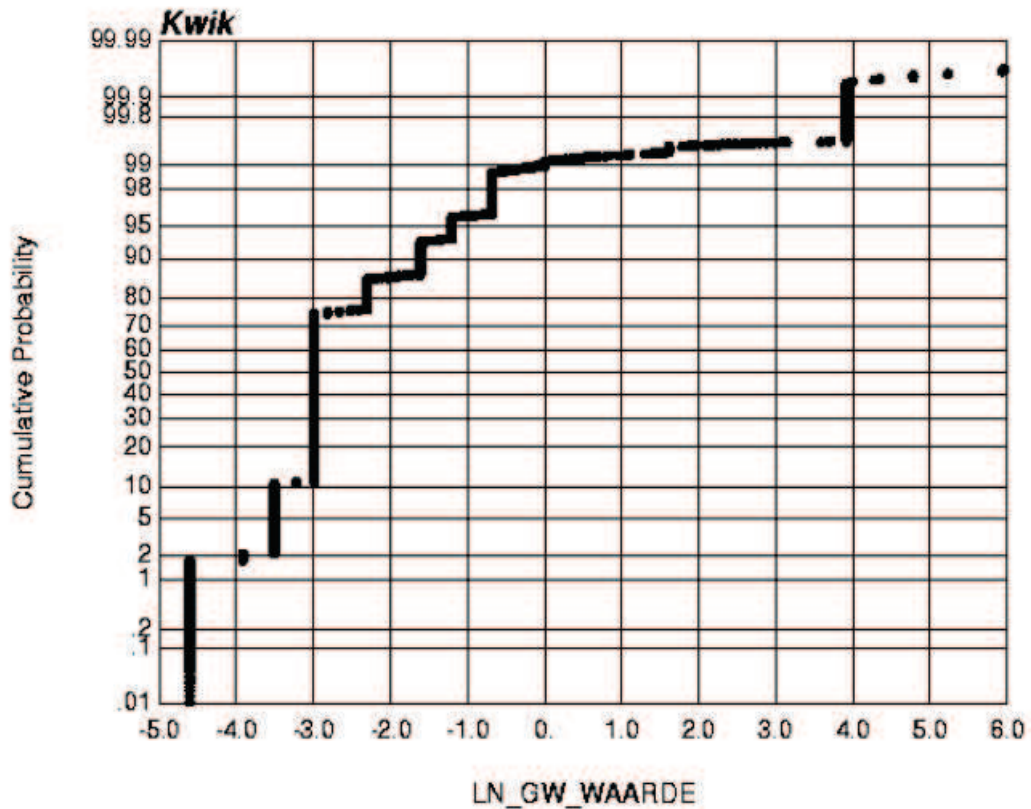


Figuur 16: Variogram kwik

De meeste variatie in de ruimtelijke spreiding van de meetgegevens wordt teruggevonden in de laatste klasse (100). Naarmate de bovengrens van de klasse kleiner wordt neemt de variatie af. Het variogram van de klasse 0,05 µg/l is zo goed als vlak. Dit geeft aan dat over het ganse onderzoeksgebied de waarden binnen deze klasse gelijkmatig verdeeld zijn. Er is quasi geen ruimtelijke variatie. De sterk verhoogde kwik concentraties daarentegen worden dus enkel zeer lokaal aangetroffen. Tevens geeft het vlakke variogram voor de klasse 0,05 µg/l aan dat kwik van nature bijna niet voorkomt in het grondwater met concentraties boven de detectielimiet.

Aan de hand van de eigenschappen van de variogrammen werd de ruimtelijke distributie van de meetgegevens bepaald. Deze gegevens werden vervolgens gebruikt bij de berekening van de simulatie voor de opmaak van de achtergrond- en verontreinigingskaarten. Voor de opmaak van de achtergrondwaarde kaart dient nagegaan te worden voor welke waarde in de populatie meetgegevens er een overgang is van achtergrond- naar verontreinigingsconcentratie. De Vlaamse achtergrondwaarden uit de Vlarebo kunnen hiervoor niet gehanteerd worden. Men kan de waarden die de achtergrond vertegenwoordigen en de waarden die de verontreinigingen vertegenwoordigen beschouwen als 2 aparte populaties. Om nu na te gaan waar de ene populatie overgaat in de andere kan men de overgangen bepalen van de geplote waarden in de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot.

Onderstaande figuur geeft de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot weer voor delogaritmische waarden van de kwik concentraties.



Figuur 17: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot kwik

Hieruit blijkt er geen eenduidige overgang te kunnen worden bepaald. Zoals reeds aangehaald liggen de meeste gemeten waarden rond de detectielimiet van 0,05 $\mu\text{g/l}$. Dit geeft aan dat de natuurlijke achtergrond voor kwik in grondwater in Vlaanderen beneden deze detectielimiet ligt, en bij gevolg niet uit bovenstaande waarschijnlijkheidsplot te bepalen is. Daarom werd arbitrair de kritische waarde voor de overgang van achtergrond naar verontreiniging vastgelegd op 0,055 $\mu\text{g/l}$.

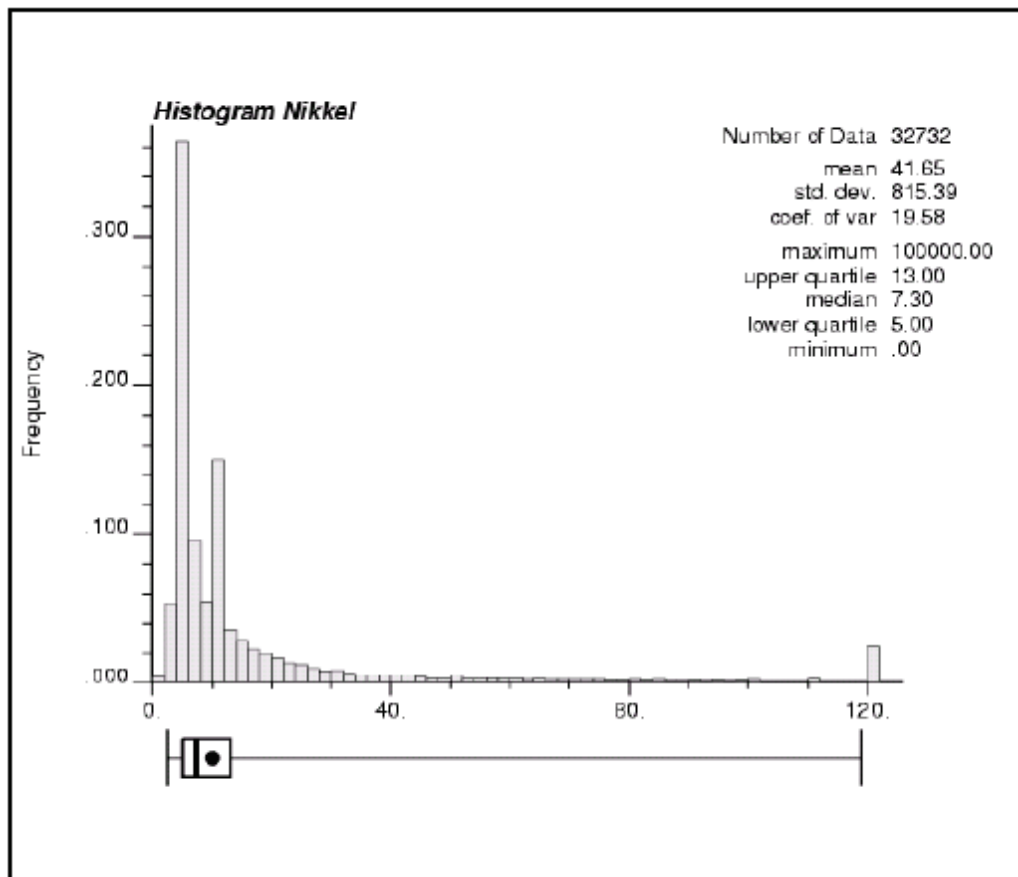
Voor de verdere bepaling van de achtergrondwaardenkaart werden de meetgegevens tussen 0 en 0,055 $\mu\text{g/l}$ aangewend. Dit wil dus zeggen dat alle waarden boven de detectielimiet van 0,055 beschouwd worden als verontreinigingen.

3.2.6 Nikkel

Statistische evaluatie

De gemiddelde Ni concentratie voor Vlaanderen in het ondiepe grondwater bedraagt 41,65 $\mu\text{g/l}$. Deze waarde ligt net boven de Vlarebo bodemsaneringsnorm van 40 $\mu\text{g/l}$. 92% van de Ni metingen ligt beneden de bodemsaneringsnorm van 40 $\mu\text{g/l}$ en 57% van de metingen ligt beneden de 10 $\mu\text{g/l}$ (achtergrondwaarde uit de Vlarebo). De meest voorkomende

metingen liggen rond 7,30 µg/l. 95% van de metingen ligt beneden de concentratie van 65 µg/l.

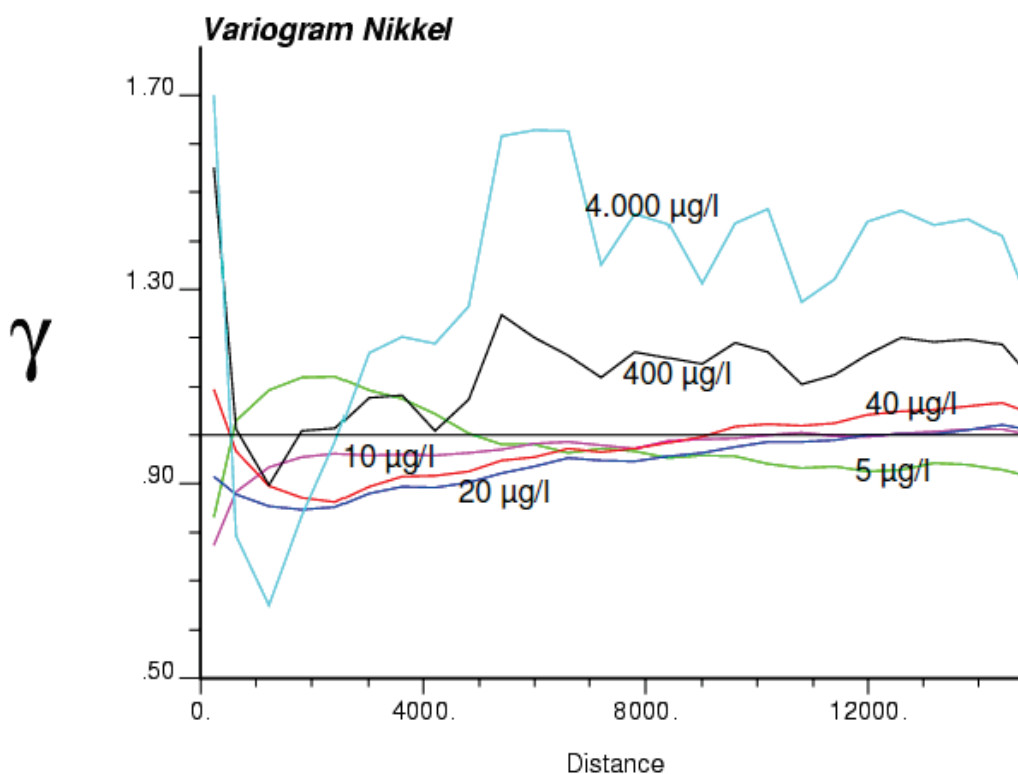


Figuur 18: Histogram nikkel

De beschikbare waarden liggen tussen 0 en 100.000 µg/l. Deze extreem hoge uitschieters zijn vermoedelijk afkomstig van foutief ingevoerde waarden. Echter is het natuurlijk altijd mogelijk dat extreem hoge waarden voorkomen. Op basis van de door OVAM beschikbare gegevens, was het niet mogelijk om na te gaan of het hier om foutief ingevoerde waarden ging of om effectieve verontreinigingen. Deze extreem hoge waarden omvatten maar een zeer beperkt aandeel van de totale metingen.

Geostatistische evaluaties

Voor de geostatistische evaluatie werden de metingen opgedeeld in discrete intervallen op basis van de continuïteit van de ruimtelijke distributie van deze metingen. Voor de intervallen werdenvolgende drempelwaarden gedefinieerd: 5, 10, 20, 40, 400 en 4.000 µg/l. Onderstaande figuur geeft de variogrammen voor de verschillende intervallen weer.

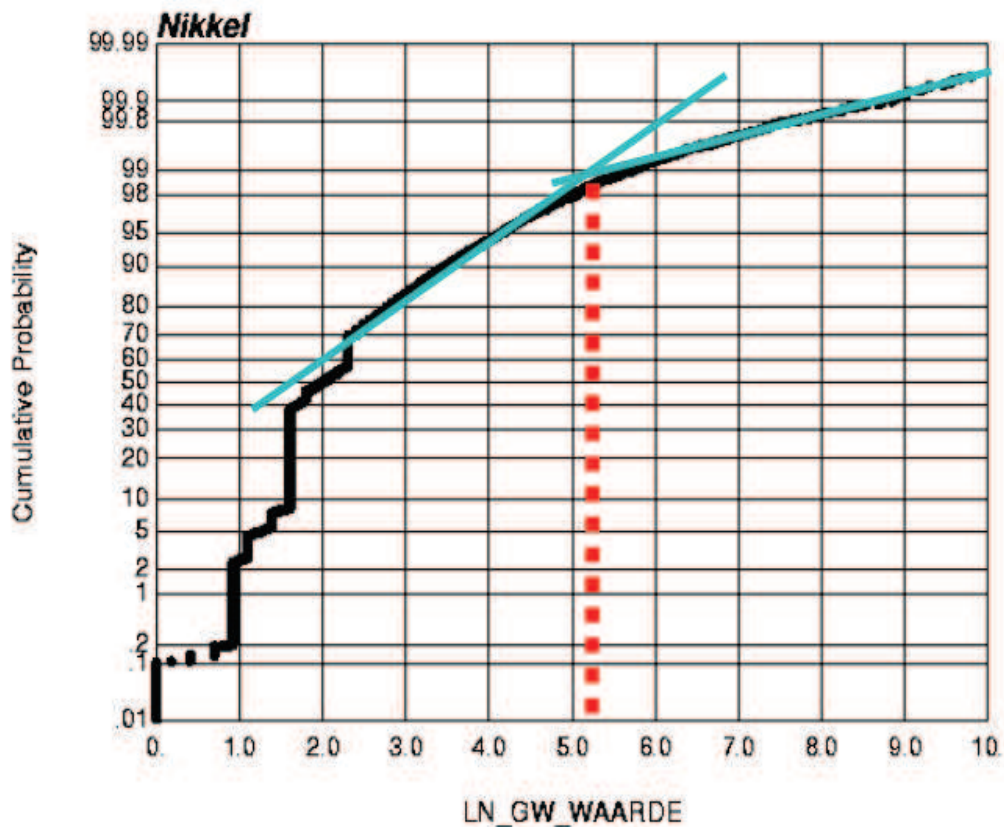


Figuur 19: Variogram nikkel

De meeste variatie in de ruimtelijke spreiding van de meetgegevens wordt teruggevonden in de laatste twee klassen (400 en 4.000). Naarmate de bovengrens van de klasse kleiner wordt neemt de variatie af. De variogrammen van de klassen 20 en 40 µg/l zijn quasi gelijk. Dit geeft aan dat er in dit meetwaarde interval de verspreiding van de metingen gelijkaardig is en gelijkmatig verdeeld over Vlaanderen. De klasse 10 µg/l is de meest vlakke van alle klassen. Hiervoor is er dus zo goed als geen ruimtelijke variatie. De laagste klasse van 5 µg/l vertoont een grotere variatie. Dit wijst er op dat de natuurlijke achtergrond vermoedelijk boven de waarde van 5 µg/l en rond deze van 10 µg/l zal liggen.

Aan de hand van de eigenschappen van de variogrammen werd de ruimtelijke distributie van de meetgegevens bepaald. Deze gegevens werden vervolgens gebruikt bij de berekening van de simulatie voor de opmaak van de achtergrond- en verontreinigingskaarten.

Voor de opmaak van de achtergrondwaarde kaart dient nagegaan te worden voor welkewaarde in de populatie meetgegevens er een overgang is van achtergrond- naar verontreinigingsconcentratie. De Vlaamse achtergrondwaarden uit de Vlarebo kunnen hiervoor niet gehanteerd worden. Men kan de waarden die de achtergrond vertegenwoordigen en de waarden die de verontreinigingen vertegenwoordigen beschouwen als 2 aparte populaties. Om nu na te gaan waar de ene populatie overgaat in de andere kan men de overgangen bepalen van de geplote waarden in decumulative waarschijnlijkheidsplot. Onderstaande figuur geeft de cumulatieve waarschijnlijkheidsplotweer voor delogaritmische waarden van de nikkelconcentraties.



Figuur 20: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot nikkel

In het interval van 0 tot 2,5 worden verschillende overgangen vastgesteld. Deze komen overeen met detectielimieten voor de nikkel metingen. Niet elk laboratorium hanteert dezelfde detectielimiet. In het verleden lag deze vaak hoger dan de huidige gehanteerde waarden, waardoor de oude metingen mogelijk een groep vormen met andere detectielimieten. Daarnaast zijn bij het invoeren van de gegevens bij de aanlevering aan OVAM niet altijd de detectielimiet als ondergrens ingegeven, maar vaak ook de waarde 0. Hierdoor vormen deze ook een aparte groep. Uit de grafiek blijkt dat 2,5 en 6 $\mu\text{g/l}$ (respectievelijk $\ln(\text{Ni}) = 0,9$ en $1,8$) de meest invoerde detectielimieten zijn.

De eigenlijke overgang van de achtergrondwaarde naar de verontreiniging gebeurt geleidelijk, waardoor men een afgevlakte knik in de grafiek krijgt. Deze bevindt zich rond de waarde $\ln(\text{Ni}) = 5,2$. Dit komt overeen met een Ni concentratie van $181 \mu\text{g/l}$. Om deze waarde verder exacte te bepalen werd de minimale scheefheid van de verdeling bepaald. Deze werd bepaald voor de concentratie van $205 \mu\text{g/l}$. Onderstaande tabel geeft de berekende scheefheden weer.

In (Ni)	Ni concentratie µg/l	Scheefheid
4,80	121	-0,452
5,20	181	-0,094
5,25	190	-0,052
5,30	200	-0,004
5,32	205	-0,0002
5,35	210	-0,043
5,60	270	-0,452

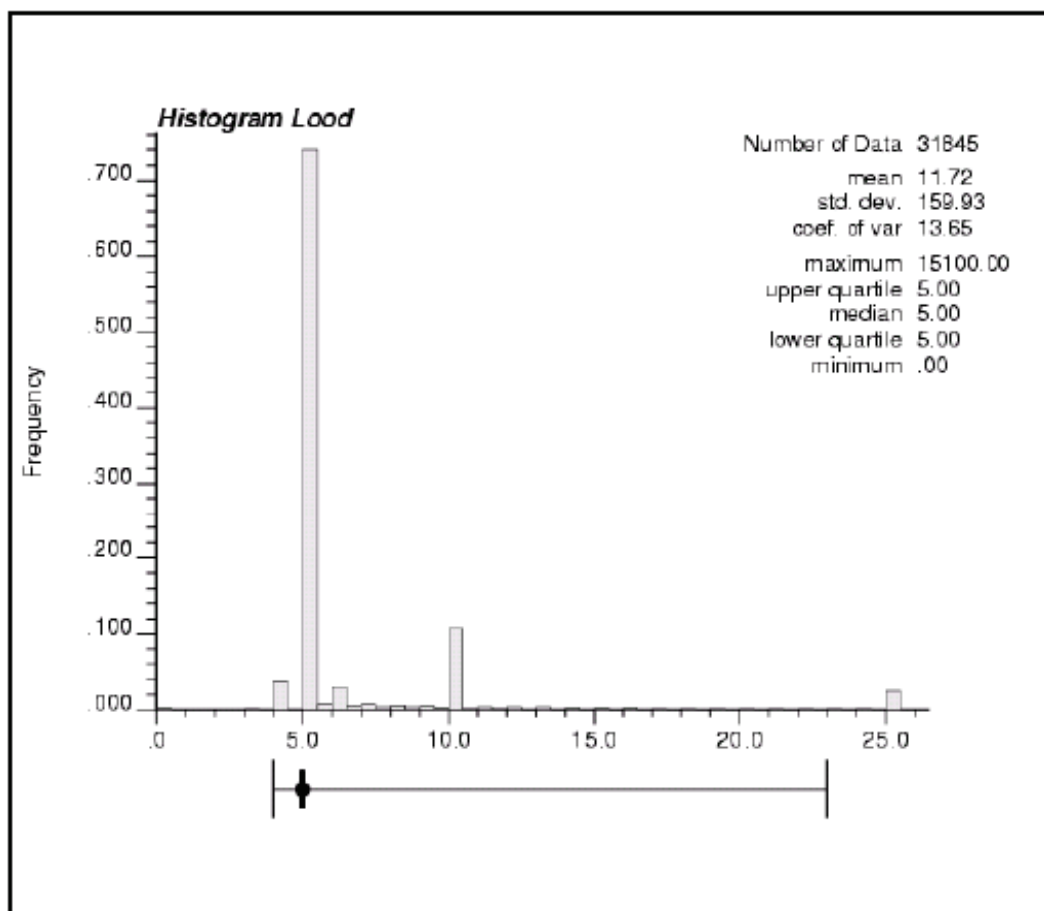
Tabel 5: Bepaling minimale scheefheid nikkel

Voor de verdere bepaling van de achtergrondwaardekaart werden de meetgegevens tussen 0 en 205 µg/l aangewend.

3.2.7 Lood

Statistische evaluatie

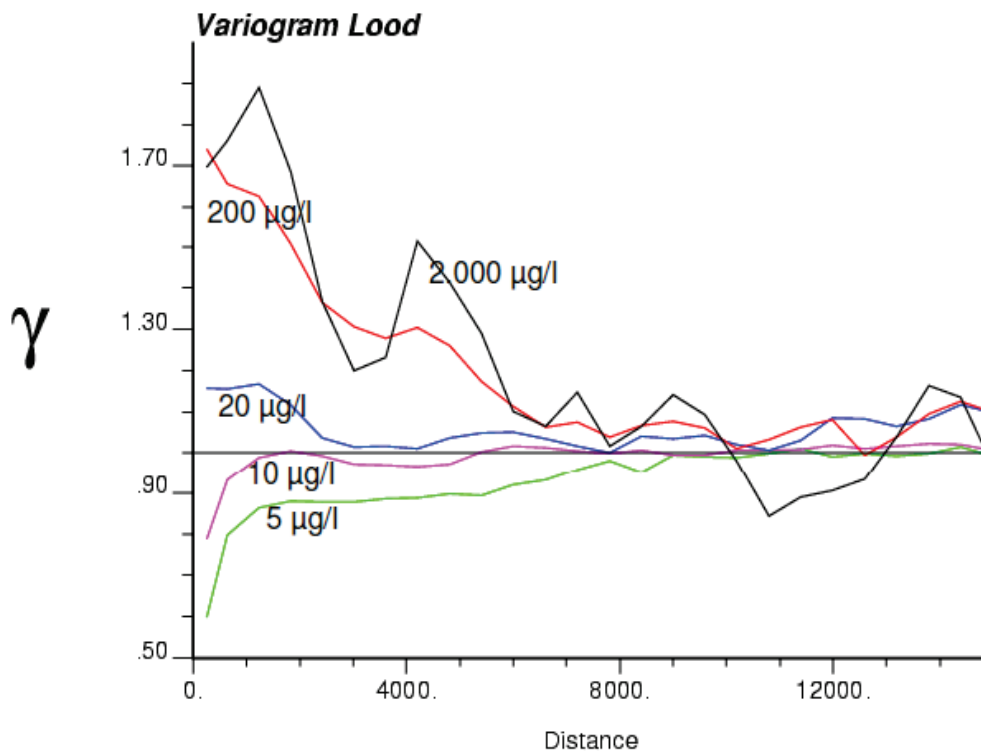
De gemiddelde Pb concentratie voor Vlaanderen in het ondiepe grondwater bedraagt 11,72 µg/l. Deze waarde ligt beneden de Vlarebo bodemsaneringsnorm van 20 µg/l. 97% van de Pb metingen ligt beneden de bodemsaneringsnorm van 20 µg/l en 4% van de metingen ligt beneden de 5 µg/l (achtergrondwaarde uit de Vlarebo). De meest voorkomende metingen liggen rond 5 µg/l. 99% van de metingen ligt beneden de concentratie van 55 µg/l. De beschikbare waarden liggen tussen 0 en 15.100 µg/l. Deze hoge uitschieters zijn vermoedelijk afkomstig van foutief ingevoerde waarden. Lood wordt namelijk gekenmerkt door een slechte oplosbaarheid. Echter is het altijd mogelijk dat extreem hoge waarden voorkomen. Op basis van de door OVAM beschikbare gegevens, was het niet mogelijk om na te gaan of het hier om foutief ingevoerde waarden ging of om effectieve verontreinigingen. Deze extreem hoge waarden omvatten maar een zeer beperkt aandeel van de totale metingen.



Figuur 21: Histogram lood

Geostatistische evaluatie!

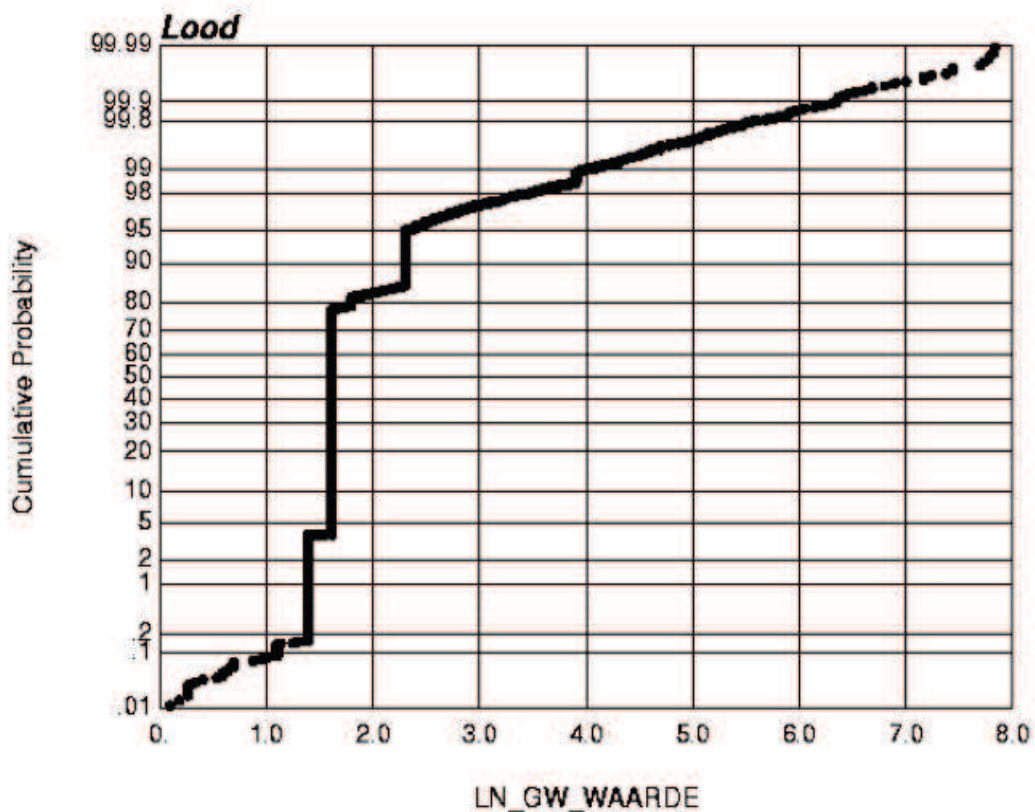
Voor de geostatistische evaluatie werden de metingen opgedeeld in discrete intervallen op basis van de continuïteit van de ruimtelijke distributie van deze metingen. Voor de intervallen volgende drempelwaarden gedefinieerd: 5, 10, 20, 200 en 2.000 µg/l. Nevenstaande figuur geeft de variogrammen voor de verschillende intervallen weer.



Figuur 22: Variogram lood

De meeste variatie in de ruimtelijke spreiding van de meetgegevens wordt teruggevonden in de laatste klasse (2.000 $\mu\text{g/l}$). De tweede hoogste klasse (200 $\mu\text{g/l}$) vertoont naarmate de afstand groter wordt een kleinere variatie. Naarmate de bovengrens van de klasse kleiner wordt neemt de variatie af. De kleinste variatie wordt teruggevonden in de klasse 10 $\mu\text{g/l}$. Zowel naar lagere waarden als naar hogere waarden neemt de variatie toe. Dit is vermoedelijk een gevolg van de detectielimiet van lood die afhankelijk van de laboratoria 5 of 10 $\mu\text{g/l}$ bedraagt. Lood is relatief slecht oplosbaar waardoor de detectielimiet vaak als laagste waarde is ingevoerd.

Aan de hand van de eigenschappen van de variogrammen werd de ruimtelijke distributie van de meetgegevens bepaald. Deze gegevens werden vervolgens gebruikt bij de berekening van de simulatie voor de opmaak van de achtergrond- en verontreinigingskaarten. Voor de opmaak van de achtergrondwaarde kaart dient nagegaan te worden voor welke waarde in de populatie meetgegevens er een overgang is van achtergrond- naar verontreinigings-concentratie. De Vlaamse achtergrondwaarden uit de Vlarebo kunnen hiervoor niet gehanteerd worden. Men kan de waarden die de achtergrond vertegenwoordigen en de waarden die de verontreinigingen vertegenwoordigen beschouwen als 2 aparte populaties. Om nu na te gaan waar de ene populatie overgaat in de andere kan men de overgangen bepalen van de geplotte waarden in de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot. Nevenstaande figuur geeft de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot weer voor de logaritmische waarden van de lood concentraties.



Figuur 23: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot lood

De overgang van één populatie naar een andere wordt bepaald door een 'knik' in de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot. Uit bovenstaande figuur is geen eenduidige overgang merkbaar. Wel is de invloed van het voorkomen van veel dezelfde waarden goed zichtbaar (verschillende detectielimieten) als verticale intervallen. Deze zijn echter geen overgang van achtergrond naar verontreiniging. Door de beperkte oplosbaarheid van lood en de in verhouding relatief hoge detectielimiet kunnen alle verhoogde loodconcentraties in het ondiepe grondwater als verontreiniging beschouwd worden. Net zoals bij kwik is voor lood de overgang voor achtergrond naar verontreiniging arbitrair vastgelegd op de 5 µg/l, zijnde de detectielimiet.

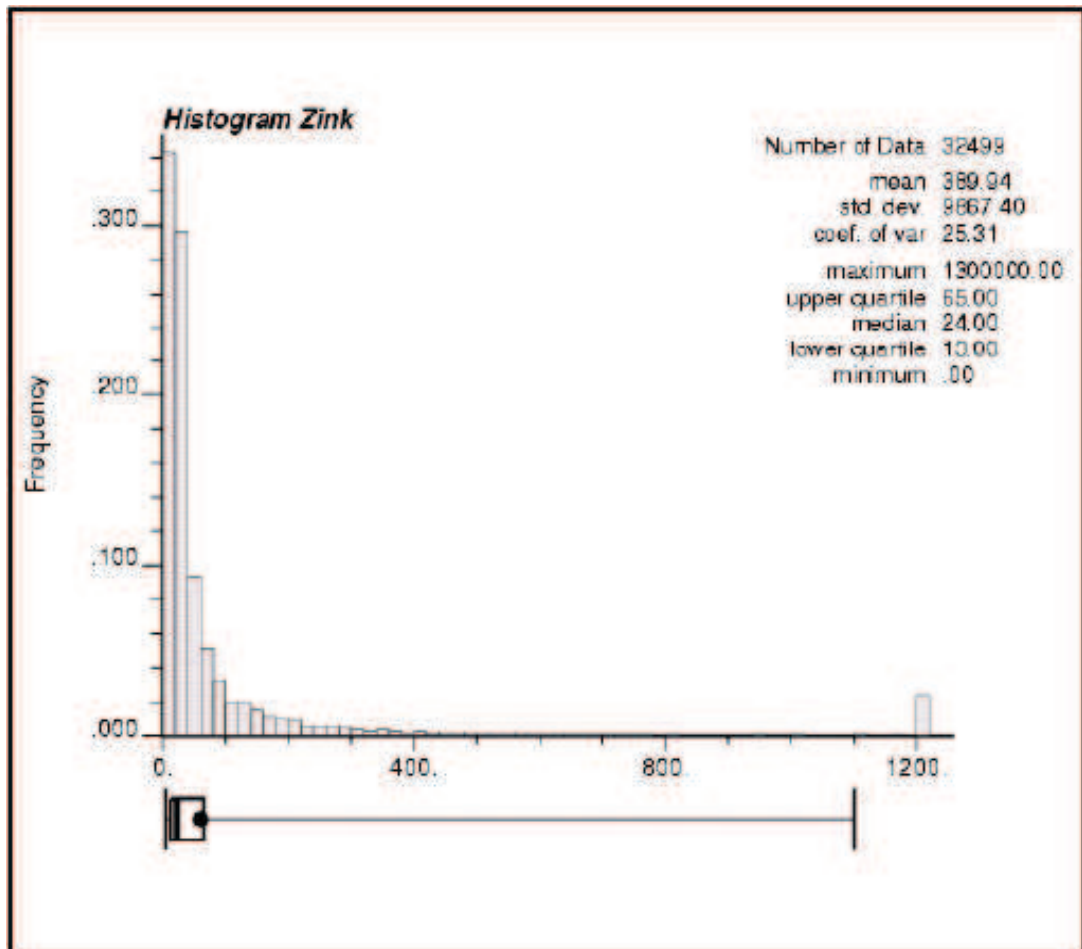
Voor de verdere bepaling van de achtergrondwaardekaart werden de meetgegevens tussen 0 en 5 µg/l aangewend.

3.2.8 Zink

Statistische evaluatie

De gemiddelde Zn concentratie voor Vlaanderen in het ondiepe grondwater bedraagt 390 µg/l. Deze waarde ligt beneden de Vlarebo bodemsaneringsnorm van 500 µg/l. 95% van de Zn metingen ligt beneden de bodemsaneringsnorm van 500 µg/l en 73% van de metingen ligt beneden de 60 µg/l (achtergrondwaarde uit de Vlarebo). De meest voorkomende metingen liggen rond 24 µg/l. 99% van de metingen ligt beneden de concentratie van 3.000 µg/l. De beschikbare waarden liggen tussen 0 en 1.300.000 µg/l. Deze hoge uitschieters zijn vermoedelijk afkomstig van foutief ingevoerde waarden. Zn heeft een oplosbaarheid van 98 mg/l en deze ligt dus ver beneden de maximale waarde uit het databestand. Echter is het altijd mogelijk dat extreem hoge waarden voorkomen. Op basis van de door OVAM beschikbare gegevens, was het niet mogelijk om na te gaan of het hier om foutief ingevoerde waarden ging

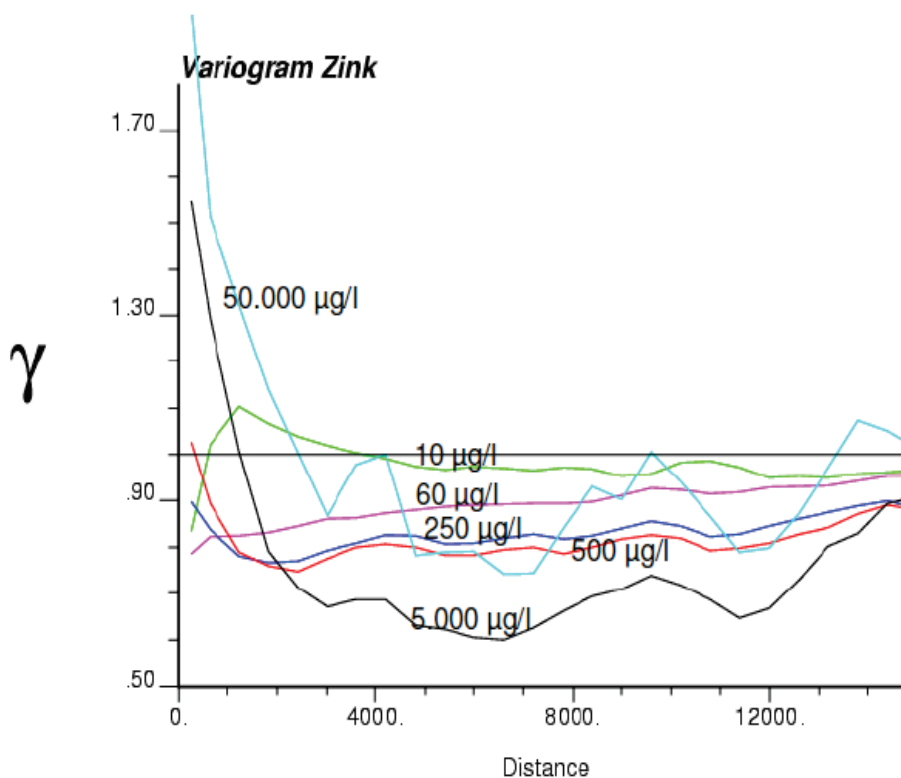
of om effectieve verontreinigingen. Deze extreem hoge waarden omvatten maar een zeer beperkt aandeel van de totale metingen.



Figuur 24: Histogram zink

Geostatistische evaluatie

Voor de geostatistische evaluatie werden de metingen opgedeeld in discrete intervallen op basis van continuïteit van de ruimtelijke distributie van deze metingen. Voor de intervallen werden volgende drempelwaarden gedefinieerd: 10, 60, 250, 500, 5.000 en 50.000 µg/l. Nevenstaande figuur geeft de variogrammen voor de verschillende intervallen weer.

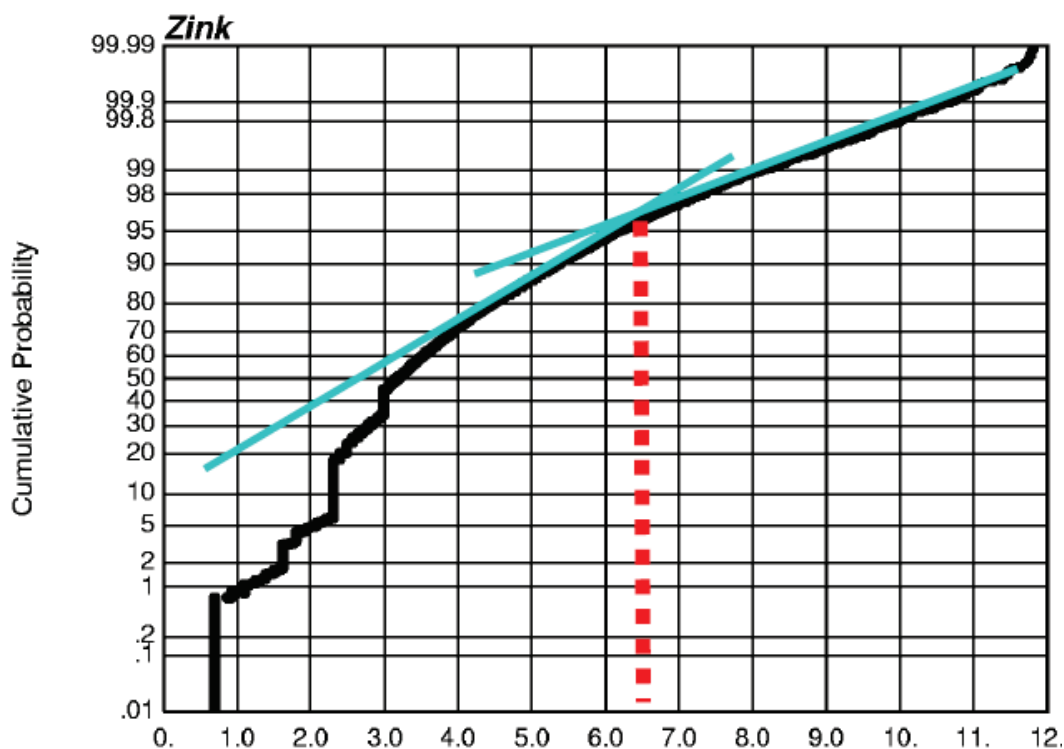


Figuur 25: Variogram zink

De meeste variatie in de ruimtelijke spreiding van de meetgegevens wordt teruggevonden in de laatste klasse (50.000 $\mu\text{g/l}$). Naarmate de bovengrens van de klasse kleiner wordt neemt de variatie af. De kleinste variatie wordt teruggevonden in de klasse 60 $\mu\text{g/l}$. Zowel naar lagere waarden als naar hogere waarden neemt de variatie toe. Dit is vermoedelijk een gevolg van de goede oplosbaarheid van zink die er voor zorgt dat de natuurlijke achtergrondwaarde voor Vlaanderen quasi dezelfde is. Het variogram voor de klasse 60 stijgt licht naarmate de afstand groter wordt. Dit duidt mogelijk op een toename in de achtergrondwaarde voor een bepaald gebied in Vlaanderen.

Aan de hand van de eigenschappen van de variogrammen werd de ruimtelijke distributie van de meetgegevens bepaald. Deze gegevens werden vervolgens gebruikt bij de berekening van de simulatie voor de opmaak van de achtergrond- en verontreinigingskaarten. Voor de opmaak van de achtergrondwaarde kaart dient nagegaan te worden voor welke waarde in de populatie meetgegevens er een overgang is van achtergrond- naar verontreinigingsconcentratie. De Vlaamse achtergrondwaarden uit de Vlarebo kunnen hiervoor niet gehanteerd worden. Men kan de waarden die de achtergrond vertegenwoordigen en de waarden die de verontreinigingen vertegenwoordigen beschouwen als 2 aparte populaties. Om nu na te gaan waar de ene populatie overgaat in de andere kan men de overgangen bepalen van de geplotte waarden in de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot.

Onderstaande figuur (Figuur 26) geeft de cumulatieve waarschijnlijkheidsplot weer voor de logaritmische waarden van de zink concentraties.



Figuur 26: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot zink

In het interval van 0 tot 3,5 worden verschillende overgangen vastgesteld. Deze komen overeen met detectielimieten voor de zink metingen. Niet elk laboratorium hanteert dezelfde detectielimiet. In het verleden lag deze vaak hoger dan de huidige gehanteerde waarden, waardoor de oude metingen mogelijk een groep vormen met andere detectielimiet waarden. Daarnaast zijn bij het invoeren van de gegevens bij de aanlevering aan OVAM niet altijd de detectielimiet als ondergrens ingegeven, maar vaak ook de waarde 0. Hierdoor vormen deze ook een aparte groep.

De eigenlijke overgang van de achtergrondwaarde naar de verontreiniging gebeurt geleidelijk, waardoor men een afgevlakte knik in de grafiek krijgt. Deze bevindt zich rond de waarde $\ln(\text{Zn}) = 6,5$. Dit komt overeen met een Zn concentratie van 665 $\mu\text{g/l}$. Om deze waarde verder exact te bepalen werd de minimale scheefheid van de verdeling bepaald. Deze werd bepaald voor de concentratie van 820 $\mu\text{g/l}$. Onderstaande tabel geeft de berekende scheefheden weer.

$\ln(\text{Ni})$	Ni concentratie $\mu\text{g/l}$	Scheefheid
6,20	493	1,244
5,40	602	1,192
6,60	735	1,170
6,65	770	1,168
6,71	820	1,167
6,75	850	1,168
6,80	898	1,490

Tabel 6: Bepalingen minimale scheefheid zink

4 Kartering van de achtergrondwaarden

4.1 Werkwijze

De kartering van de achtergrondwaarden voor zware metalen in het ondiepe grondwater is uitgevoerd aan de hand van een geostatistische verwerking. Zoals voorzien in het bestek is deze evaluatie uitgevoerd door het toepassen van "Indicator Kriging". Deze werkwijze laat toe om concentraties in niet gemeten zones van het onderzoeksgebied bepaald worden op basis van de ruimtelijke verspreiding en verdeling van de gemeten waarden binnen de beschikbare dataset. Deze verdelingen worden bepaald door de variogrammen, die kunnen weergegeven worden aan de hand van een functie. Dit laat toe om op basis van deze functies de dataset te simuleren en zo de waarden voor niet gemeten locaties te bepalen. De drempelwaarden die de intervallen voor de verschillende variogrammen bepalen, worden "indicators" genoemd. Op basis van deze intervallen en parameters kenmerkend voor de variogrammen is een Indicator Kriging simulatie uitgevoerd. De simulatie berekent op basis van de gemeten waarden uit de dataset de concentraties voor de punten vastgelegd in een raster met volgende dimensies:

- X-richting: 250 cellen (1000 m lang);
- Y-richting: 100 cellen (1000 m lang);
- Lambert coördinaten startpunt: X = 23000 m, Y = 152000 m.

De simulatie is enkel uitgevoerd voor de concentraties die beneden de in voorgaande hoofdstuk bepaalde achtergrondwaarde grens liggen. Deze zijn:

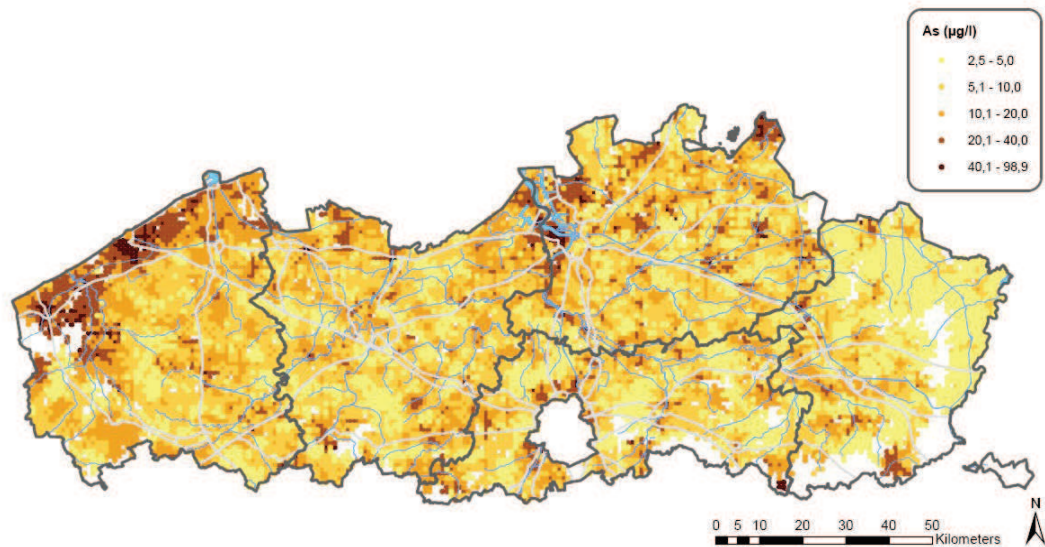
- Arseen: 150 µg/l;
- Cadmium: 0,39 µg/l;
- Chroom: 13 µg/l;
- Koper: 29 µg/l;
- Kwik: 0,055 µg/l*;
- Lood: 205 µg/l;
- Nikkel: 5 µg/l*;
- Zink: 820 µg/l.

- *arbitrair vastgestelde waarden*

4.2 Kaarten

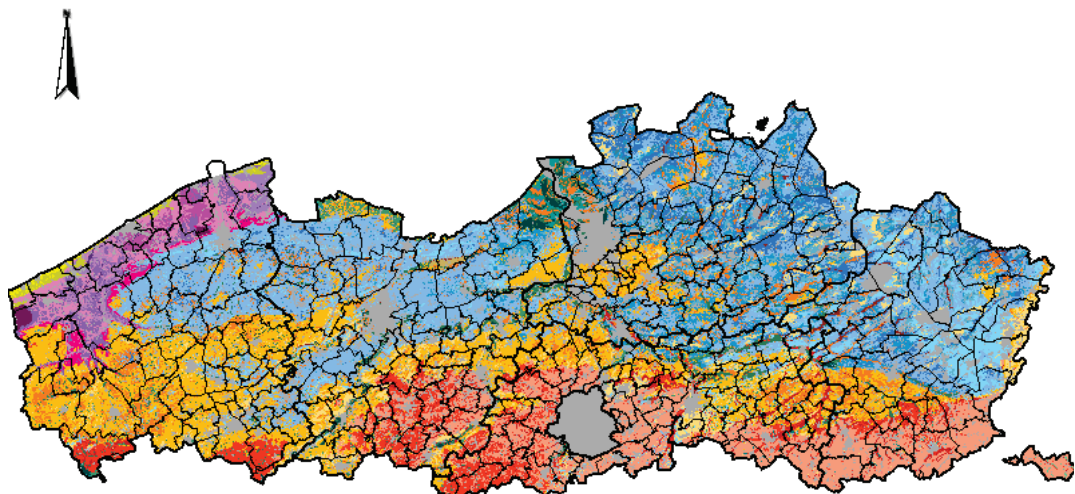
Hieronder worden de bekomen achtergrondkaarten per metaal besproken.

4.2.1 Arseen



Figuur 27: Achtergrondwaarden arseen

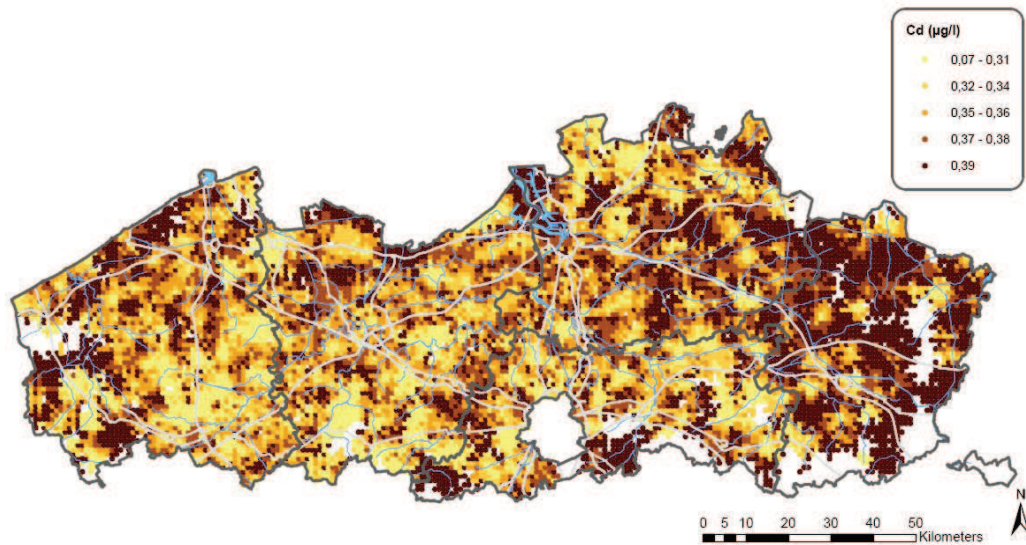
De achtergrondwaardekaart voor arseen toont duidelijk 2 gebieden waar de verhoging van de achtergrondconcentraties een regionaal karakter heeft. Dit zijn de Vlaamse kust met de polders en de regio Antwerpen. De verhoogde achtergrondwaarden voor arseen in de Vlaamse kust en achterliggende polders kunnen duidelijk gerelateerd worden aan het voorkomen van de polderbodems. Het voorkomen van deze polderbodems (paars) op de bodemkaart van Vlaanderen komt quasi volledig overeen met de verhoogde achtergrondwaarden.



Figuur 28: Bodemkaart Vlaanderen

Ter hoogte van Antwerpen haven en stad en de zuidelijk uitloper via de Rupel en Zenne kunnen verhoogde achtergrondwaarden gerelateerd worden aan de loop van de Zenne, Rupel en Schelde (donkerblauwe puntlijn). Het is dus zeer waarschijnlijk dat zowel de Zenne als de Rupel en ter hoogte van Antwerpen ook de Schelde of hun alluviale afzettingen een invloed hebben op de arseenconcentraties in het grondwater. Voor het de overige delen van Vlaanderen zijn er geen uitgesproken gebieden met een verhoogde achtergrondwaarde vastgesteld.

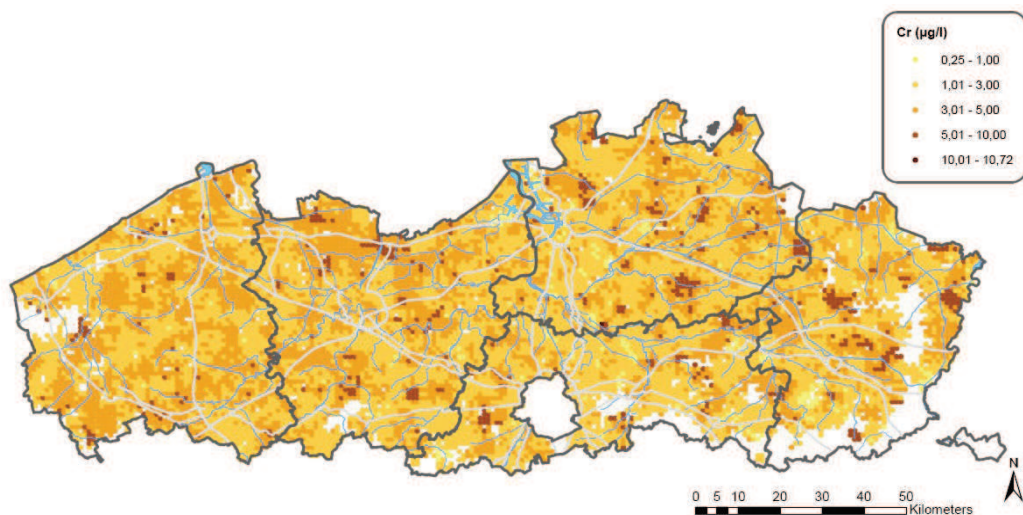
4.2.2 Cadmium



Figuur 29: Achtergrondwaarden cadmium

Voor cadmium is er weinig variatie in de achtergrondwaarde concentraties te merken. Wat hier opvalt zijn de zeer licht verhoogde achtergrondwaarden in de Kempen en de Polders ten opzichte van de rest van Vlaanderen. Het betreft hier maar een beperkte verhoging van enkele honderdsten van een µg/l. In de Kempen kan de lichte verhoging mogelijk gerelateerd worden aan de zandbodems (lichtblauw gekleurd op de bodemkaart).

4.2.3 Chroom

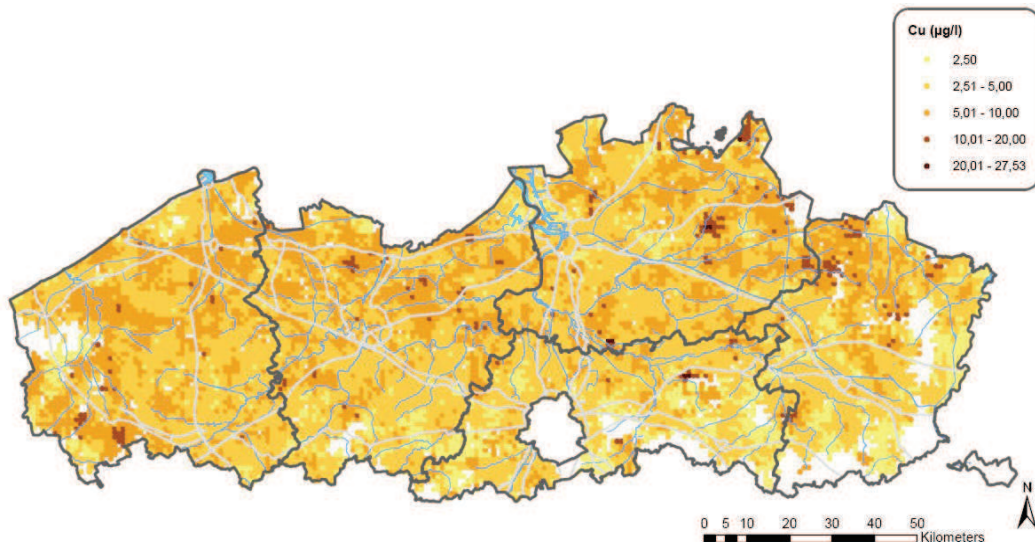


Figuur 30: Achtergrondwaarden chroom

Buiten enkele spots zijn er voor chroom geen verhoogde achtergrondwaarden vastgesteld. Dit is ook te verwachten, omdat chroom van nature zo goed als niet in verhoogde concentraties in het grondwater voorkomt. De meeste achtergrondwaarden liggen rond de detectielimiet. Een deel

van de “spots” met verhoogde achtergrondwaarden kunnen aan gemeente- of stadskernen worden gerelateerd: Zelzate, Kasterlee, Balen, Dilsem, Genk, Zutendaal, Tongeren, Averbode en Lennik. Ten noorden van Oudenaarde is de invloed van de daar rechtgetrokken Schelde duidelijk merkbaar. Ten zuiden van Leuven is dit ook voor de Dijle zichtbaar (beide in donkerblauwe puntlijn).

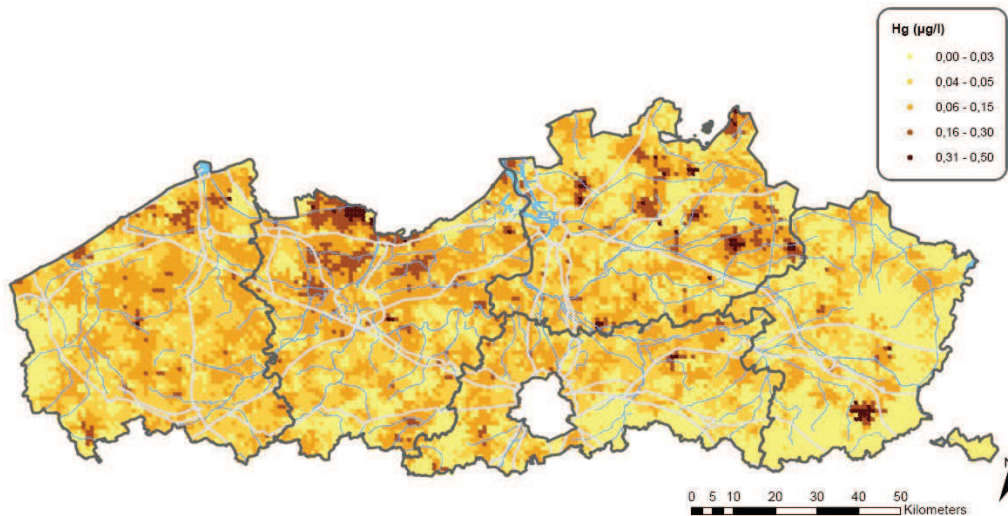
4.2.4 Koper



Figuur 31: Achtergrondwaarden koper

Voor koper kunnen twee gebieden onderscheiden worden. Het zuidelijke deel van Vlaanderen, waar hoofdzakelijk leembodems (oranje-geel op de bodemkaart) voorkomen en het noordelijke deel, waar meer zandige bodems (blauw op de bodemkaart) aanwezig zijn. Koper wordt minder goed vastgehouden (gebonden) in de zandige bodems waardoor er meer uitloging kan plaatsvinden. Daardoor wordt er overwegend een hogere achtergrondwaarde in het noordelijke deel van Vlaanderen vastgesteld. Een uitzondering hierop zijn de bodems rond de streek van leper waar er wel een hogere achtergrondwaarde wordt vastgesteld terwijl het hier om lemige bodems gaat. Ter hoogte van volgende gemeente- en stadskernen zijn verhoogde achtergrondwaarden vastgesteld: Kasterlee, Geel, Balen, Hechtel, Averbode, Kruishoutem, Zulte en Poperinge. Ook hier is de invloed van de rechtgetrokken Schelde met afgesloten meanders ten noorden van oudenaarde en de Dijle ten zuiden van Leuven merkbaar (lichtblauwe lijn).

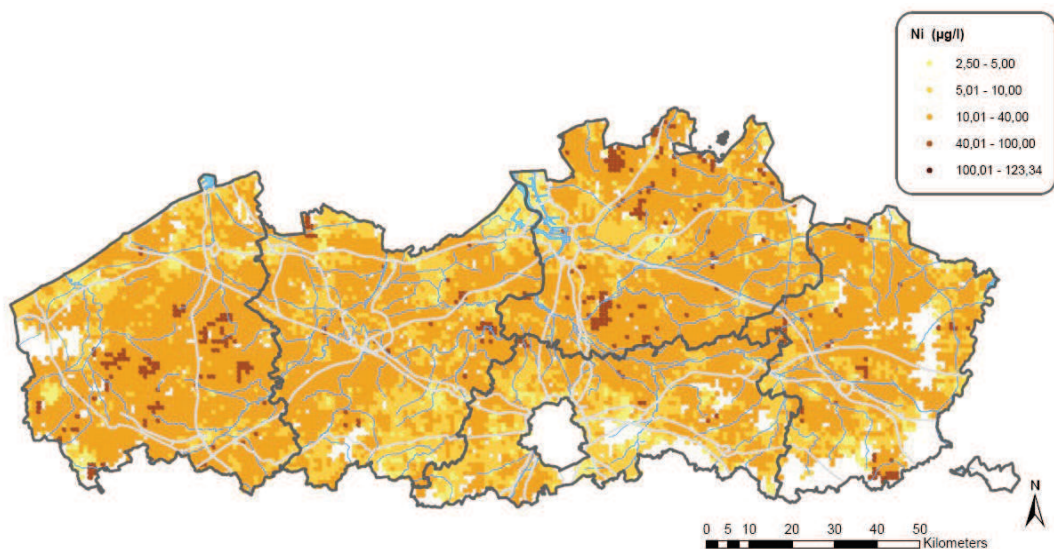
4.2.5 Kwik



Figuur 32: Achtergrondwaarden kwik

De achtergrondwaarden voor kwik blijken voor gans Vlaanderen vrij gelijkmatig verdeeld te zijn. Op enkele “spots” na en een relatief grote vlek in het noorden van Oost-Vlaanderen, ter hoogte van Assenede. De meeste overige “spots” kunnen gerelateerd worden aan gemeente- en stadskernen: Eeklo, Laarne, Beveren, Schild en Sint-Job-in't-Goor, Zoersel, Herentals, Kasterlee, Geel, Balen, Keerbergen, Zomergem en Diksmuide. Voor de verhoogde achtergrondwaarde aan de Vlaams-nederlandse grens te Assenede is geen verklaring gevonden.

4.2.6 Nikkel

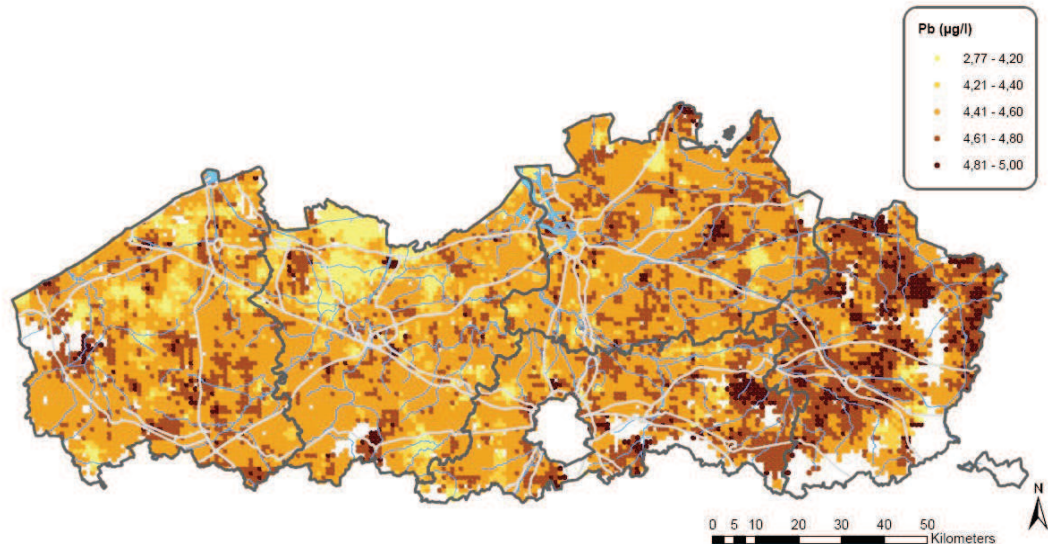


Figuur 33: Achtergrondwaarden nikkel

De achtergrondwaarde kaart voor nikkel in het grondwater is vergelijkbaar met deze voor chroom. De achtergrondconcentraties voor nikkel zijn gelijkmatig verdeeld. Er zijn maar zeer

beperkte “spots” vastgesteld. Een deel van deze “spots” kunnen gerelateerd worden aan gemeente- of stadskernen: Moerzeke, Duffel, Wuustwezel, Brecht, Tessenderlo, Tongeren en Tielt (W-VI).

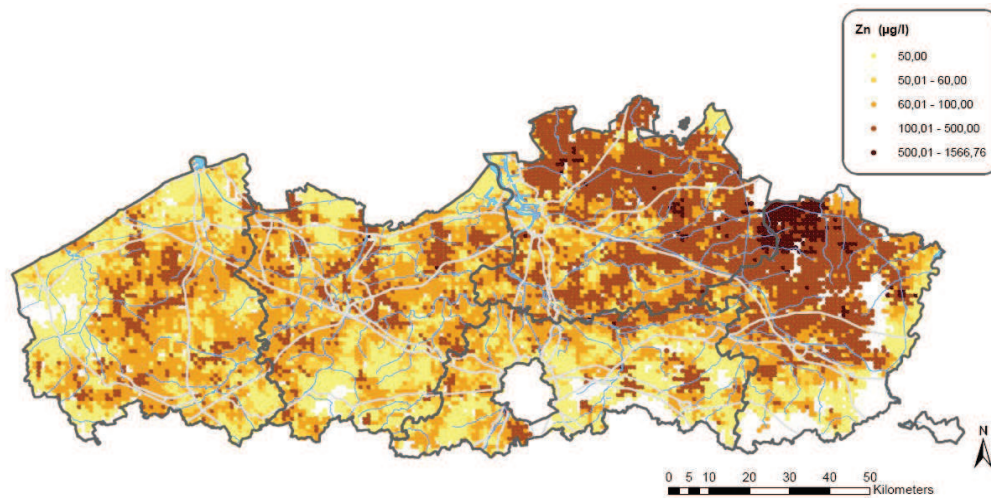
4.2.7 Lood



Figuur 34: Achtergrondwaarden lood

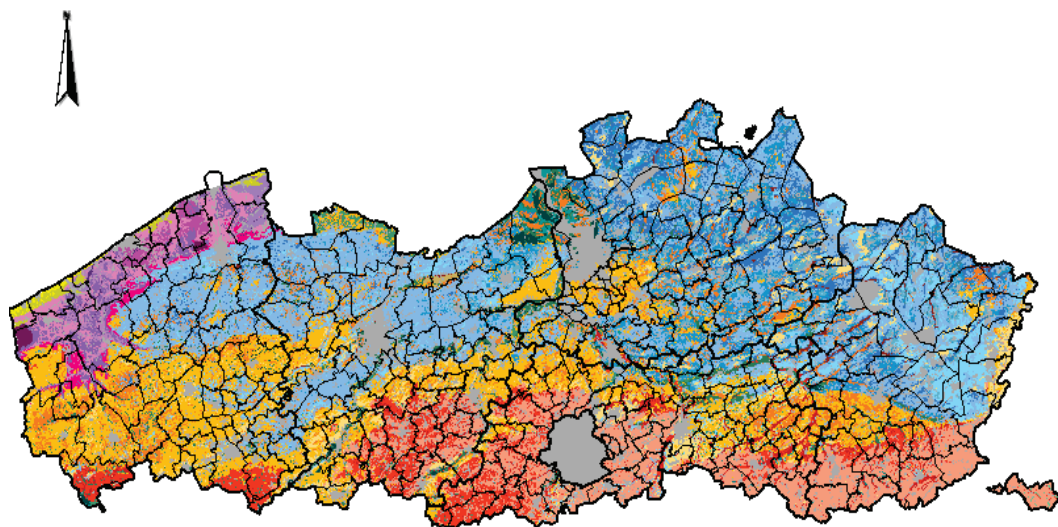
De achtergrondwaarde kaart voor lood toont duidelijk dat er op het oostelijke deel van Vlaanderen hogere achtergrondwaarden aanwezig zijn. Deze bevinden zich vooral rond de gemeenten Neerpelt, Bocholt, Bree, Dilsen, Hechtel, Beringen, Herk-de-Stad en Bekkevoort. In de overige delen van Vlaanderen zijn verhoogde achtergrondconcentraties voor lood vastgesteld ter hoogte van de gemeente- en stadskernen van Nieuwpoort, Oostende, Brugge, Eeklo, Zelzate, Nijlen, Kasterlee, Brakel, Nazareth, Roeselare en Alveringen. De beperkte verhoogde achtergrondwaarden in Limburg (enkele µg/l) kunnen niet gecorreleerd worden met de Vlaamse bodemkaart. De oorzaak dient mogelijk bij een antropogene bron te worden gezocht. De jarenlange loodindustrie in het oosten van België heeft mogelijk een impact gehad op de grondwaterkwaliteit en in combinatie met de zandige bodems, een verhoogde achtergrondwaarde veroorzaakt.

4.2.8 Zink



Figuur 35: Achtergrondwaarden zink

Uit de spreiding van de achtergrondconcentraties blijkt dat er een goede relatie is tussen de meer zandige bodems in de kempen en de verhoogde achtergrondconcentraties voor zink in het grondwater. Vanaf midden Limburg tot het noordoosten van Antwerpen is een duidelijke verhoogde achtergrondconcentratie met waarden tussen 100 en 500 $\mu\text{g/l}$ aangetoond. Ter hoogte van Lommel en Neerpelt is een duidelijke verhoging merkbaar, waarbij de achtergrondconcentraties boven de bodemsaneringsnorm van 500 $\mu\text{g/l}$ liggen.



Figuur 36: Bodemkaart Vlaanderen

De verhoogde waarden van zink in het grondwater wordt veroorzaakt door dezandbodems die licht zuur zijn en weinig binden met zink, zodanig dat het zink relatief makkelijk kan uitloggen naar het grondwater. Daarbij wordt deze regio nog gekenmerkt door een intensieve zinkindustrie (Lommeel en Neerpelt) waarvan de afvalproducten (zinkassen) over het gebied verspreid

werden. Op deze wijze ontstonden vele bronnen die door uitloging het zinkgehalte in het grondwater deden en doen toenemen.

Bijlage 1: Lijst van tabellen

Tabel 1: Bepaling minerale scheefheid arseen	16
Tabel 2: Bepaling minimale scheefheid cadmium	20
Tabel 3: Bepaling minimale scheefheid chroom	23
Tabel 4: Bepaling minimale scheefheid koper	27
Tabel 5: Bepaling minimale scheefheid nikkel	33
Tabel 6: Bepalingen minimale scheefheid zink	39

Bijlage 2: Lijst van figuren

Figuur 1: Dikte onverzadigde zone, meetpunten en verwijderde diepe meetpunten	10
Figuur 2: Histogram arseen	14
Figuur 3: Variogram arseen	15
Figuur 4: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot arseen	16
Figuur 5: Histogram cadmium	17
Figuur 6: Variogram cadmium	18
Figuur 7: Variogram cadmium	18
Figuur 8: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot cadmium	19
Figuur 9: Histogram Chroom	21
Figuur 10: Variogram chroom	22
Figuur 11: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot chroom	23
Figuur 12: Histogram koper	24
Figuur 13: Variogram koper	25
Figuur 14: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot koper	26
Figuur 15: Histogram Kwik	27
Figuur 16: Variogram kwik	28
Figuur 17: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot kwik	29
Figuur 18: Histogram nikkel	30
Figuur 19: Variogram nikkel	31
Figuur 20: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot nikkel	32
Figuur 21: Histogram lood	34
Figuur 22: Variogram lood	35
Figuur 23: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot lood	36
Figuur 24: Histogram zink	37
Figuur 25: Variogram zink	38
Figuur 26: Cumulatieve waarschijnlijkheidsplot zink	39
Figuur 27: Achtergrondwaarden arseen	42
Figuur 28: Bodemkaart Vlaanderen	42
Figuur 29: Achtergrondwaarden cadmium	43
Figuur 30: Achtergrondwaarden chroom	43
Figuur 31: Achtergrondwaarden koper	44
Figuur 32: Achtergrondwaarden kwik	45
Figuur 33: Achtergrondwaarden nikkel	45
Figuur 34: Achtergrondwaarden lood	46
Figuur 35: Achtergrondwaarden zink	47
Figuur 36: Bodemkaart Vlaanderen	47

Bijlage 3: Bibliografie