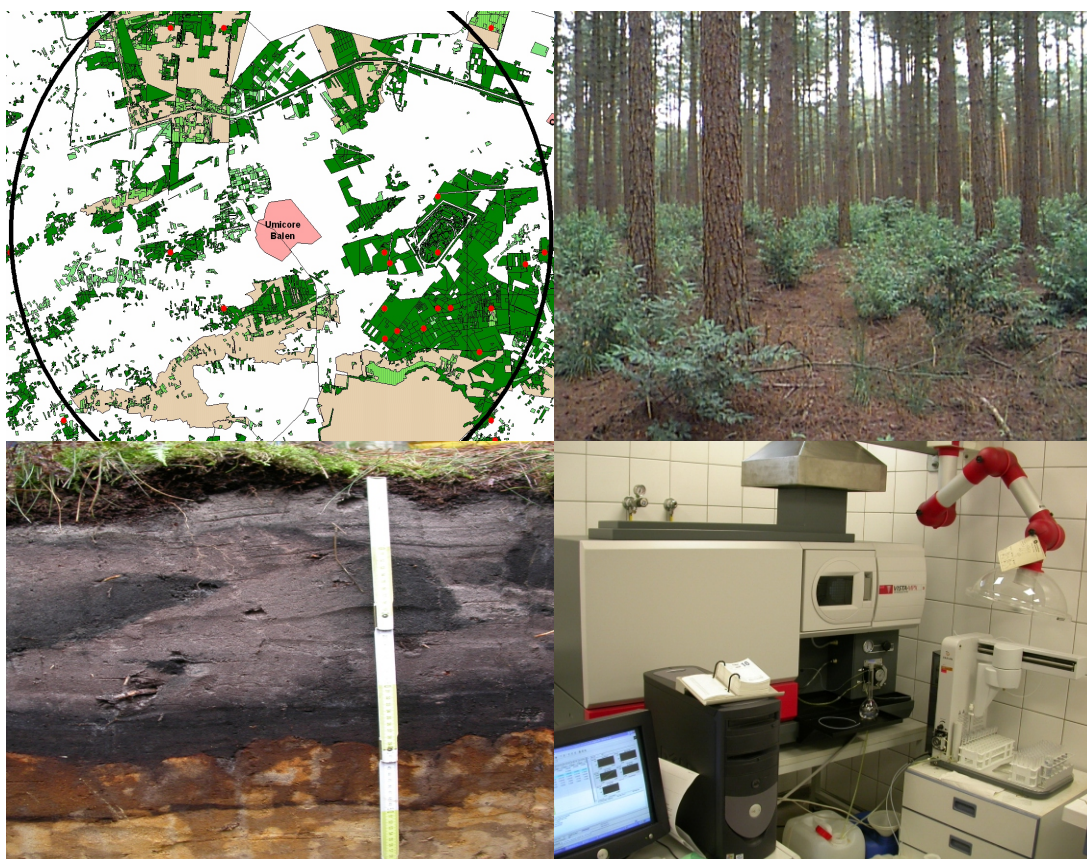


Evaluatie van de concentratie aan zware metalen in bosbodems nabij de UMICORE vestigingen te Hoboken, Olen, Balen en Overpelt



Rapport

Februari 2006

Bruno De Vos

Met medewerking van Mathieu Pieters, Koen Willems, Koen Vervaet, Carine Buysse,
Els Mencke, Ann Capieau, Athanaska Verhelst en Anya Derop

Rapport INBO.R2006.01

Colofon

Bruno De Vos
Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek
Wetenschappelijke instelling van de Vlaamse Gemeenschap
Gaverstraat 4, 9500 Geraardsbergen
www.inbo.be
e-mail: bruno.devos@inbo.be

Wijze van citeren:
De Vos, B. 2006. Evaluatie van de concentratie aan zware metalen
in bosbodems nabij de UMICORE vestigingen te Hoboken, Olen, Balen en Overpelt
Rapport INBO.R2006.01. Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Geraardsbergen.

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

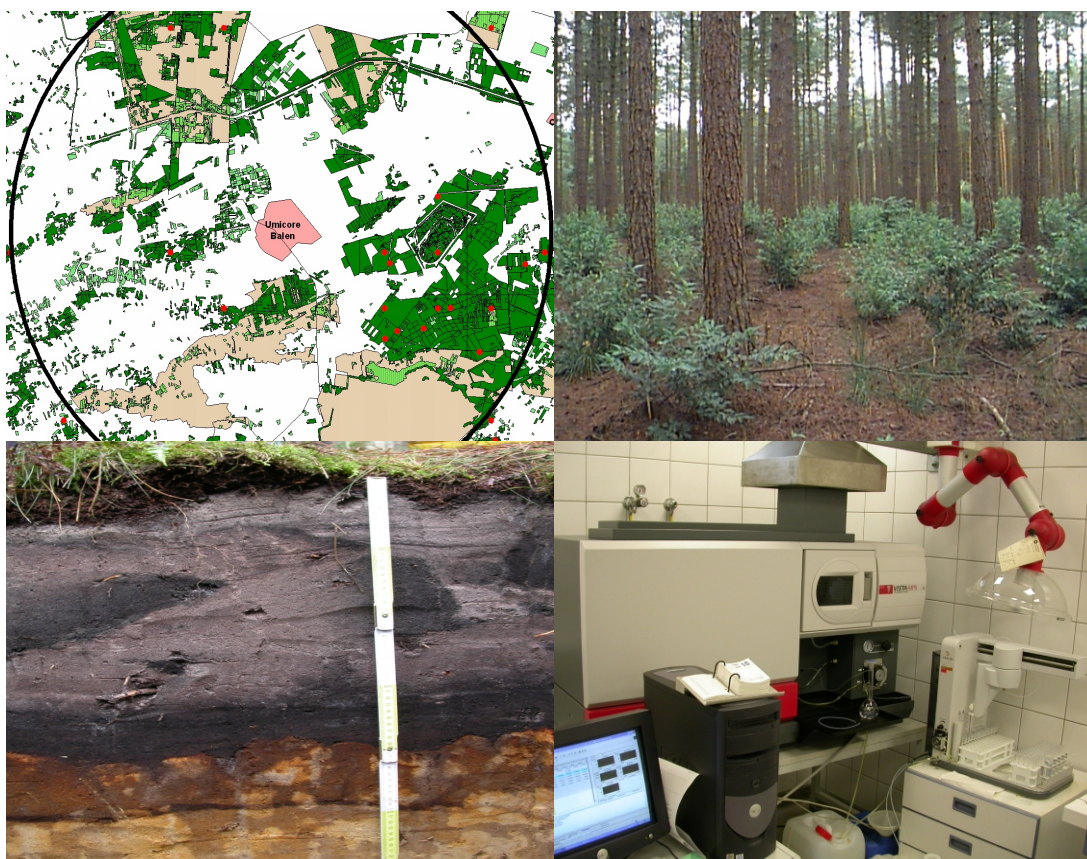
Rapportnummer:
INBO.R2006.01

Depotnummer
D/2006/3241/013

Trefwoorden:
zware metalen, bodemverontreiniging, bosbodems, bodemanalyse, strooisellaag, zinkindustrie
Keywords: heavy metals, soil pollution, forest soils, soil analysis, forest floor, metal industry.

Deze studie werd uitgevoerd op vraag van OVAM (kenmerk BOA-S/V-ADS/2005509660
in het kader van het UMICORE dossier 999995.

Evaluatie van de concentratie aan zware metalen in bosbodems nabij de UMICORE vestigingen te Hoboken, Olen, Balen en Overpelt



Rapport

Februari 2006

Bruno De Vos

Met medewerking van Mathieu Pieters, Koen Willems, Koen Vervaeke, Carine Buysse,
Els Mencke, Ann Capieau, Athanaska Verhelst en Anya Derop

Rapport INBO.R2006.01

Inhoud

<u>1. Introductie</u>	1
<u>2. Materiaal en Methoden</u>	2
2.1. Staalnamelocaties	2
2.2. Staalname en chemische analyse van de strooisellaag	4
2.3. Staalname en chemische analyse van de minerale bodem	5
2.4. Verwerking en interpretatie van de data	7
2.4.1. Statistische verwerking	7
2.4.2. Toetsing aan de strooiselkwaliteitsnormen	8
2.4.3. Toetsing aan de Vlarebo bodemsaneringsnormen	9
<u>3. Resultaten</u>	11
3.1. Zware metalen in de strooisellaag	11
3.1.1. Algemene analyse	11
3.1.2. Proefvlakken binnen de Umicore 10 km perimeters	17
3.1.3. Strooisel metaal concentratie index en metalenstocks	21
3.1.4. Case study Olen	23
3.1.5. Multidimensionele analyse van de metalen in de strooisellaag	29
3.2. Zware metalen in de minerale bosbodem	31
3.2.1. Algemene analyse	31
3.2.2. Overschrijdingen bodemsaneringsnormen	34
3.2.3. Proefvlakken binnen de Umicore 10 km perimeters	36
3.2.4. Case study Stevensvennen	38
<u>4. Bespreking</u>	40
4.1. Zware metalen in het boscossysteem	40
4.1.1. Processen van immissie, retentie en uitloging	40
4.1.2. Situatie per Umicore vestiging	41
4.2. Specifieke risico's en maatregelen	43
4.2.1. Verspreiding van zware metalen via consumeerbare bosproducten	43
4.2.2. Verspreiding van zware metalen via aanwending strooisel	45
4.2.3. Uitloging van zware metalen in strooisellaag naar bodem en grondwater	45
4.3. Aanbevelingen voor verder onderzoek	46
4.3.1. Karteren van de metaalverontreiniging in Kempische bossen	46
4.3.2. Humaan en ecotoxicologische risico-evaluaties	47
4.3.3. Inschatten uitloogrisico's strooisellaag	47
<u>5. Conclusies</u>	48
<u>6. Niet-technische samenvatting</u>	49
Literatuur	51
Lijst van de afkortingen	53
<u>Bijlagen</u>	54
I. Overzicht proefvlakken binnen de 4 Umicore perimeters	54
II. Dataset Zware metalen strooisellagen	55
III. Dataset Zware metalen in minerale bosbodem	56
IV. Situatiekaarten Hoboken en Olen 1:100.000 met aanduiding van proefvlak	61
V. Situatiekaart Balen en Overpelt 1:110.000 met aanduiding van proefvlakken	62

1. Introductie

Reeds meer dan 100 jaar is er aanrijking van zware metalen in de Kempen. Rond 1888 vestigde de 'zinkindustrie' zich in Hoboken (1887), Overpelt (1888) en Balen (1889). Later, in 1912, kwam er nabij Olen een vestiging bij. Rond de beginjaren was er weinig bekommernis rond de uitstoot van zware metalen en de kennis omtrent humane en ecotoxicologische effecten van metalen en metaloïden was vrij beperkt.

Meer waarneembaar waren de rookwolken te wijten aan de industriële verbrandingsprocessen (op basis van zware fuel, kolen) die de omgeving en ook het bos teisterden. Bossterfte in de nabijheid van de fabrieken, vooral windafwaarts, werd geregeld vastgesteld. Na massale sterfte ontstonden vaak stuifvlaktes die later weer werden bebost of een andere bestemming kregen.

Zware metalen hebben de neiging persistente organo-metaal complexen te vormen met het organisch bodemmateriaal. Dit zorgt ervoor dat de historische metaalverontreiniging anno 2006 nog steeds in de bosccosystemen traceerbaar is en mogelijks voor negatieve effecten kan zorgen.

Heden ten dage laten analytische technieken toe om snel en met grote nauwkeurigheid zware metalen te meten in de compartimenten van een ecosysteem. Het is belangrijk na te gaan welke zware metalen er (nog) voorkomen en in welke concentraties deze in de bossen aanwezig zijn. De volgende stap is proberen in te schatten in welke mate de metaalconcentraties uitloogbaar en biobeschikbaar zijn en welke bepalende factoren hierbij een rol spelen. Met deze informatie dient het beleid dan de passende maatregelen te nemen teneinde de ecotoxicologische risico's zo minimaal mogelijk te houden.

Eind september 2005 werd door de OVAM aan het IBW/INBO de vraag gesteld om de beschikbare relevante gegevens inzake metaalcontaminatie van bossen over te maken, in het bijzonder in de nabijheid van de 4 vestigingen van Umicore te Hoboken, Olen, Balen en Overpelt. Deze vraag kadert in een convenant die de Vlaamse regering, de OVAM en Umicore hebben afgesloten op 23.04.2004 voor de aanpak van de historische verontreiniging rond de voormelde vestigingen. Een prioriteitenlijst van te ondernemen acties dient opgesteld te worden tegen uiterlijk 30.06.2006.

Deze studie focust op het voorkomen van de metalen Cd, Zn, Cu, Pb, Cr en Ni en voor een deelstudie nabij Olen ook Co in de strooisellaag en de minerale bosbodem. De ForSite bosproefvlakken binnen de 10 km perimeter rond elke Umicore vestiging worden inzake metaalcontaminatie vergeleken met de bosproefvlakken in de rest van het Vlaamse Gewest. Daarenboven worden de concentraties getoetst aan de Vlaamse normen voor de minerale bodem en de strooiselkwaliteitsnormen voor holorganische horizonten.

Aanbevelingen voor het beleid en voor verder wetenschappelijk onderzoek zijn in de laatste hoofdstukken aangegeven.

2. Materiaal en Methoden

2.1 Staalamelocaties

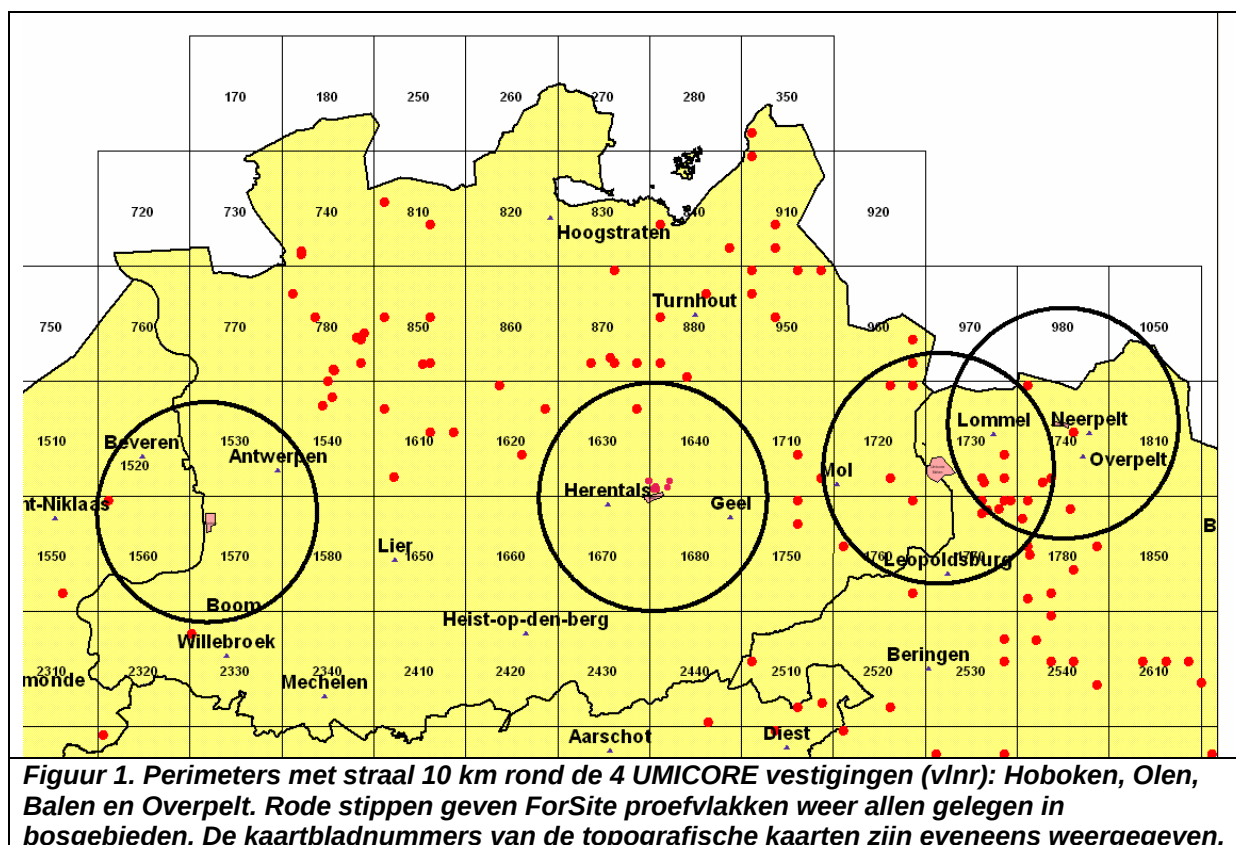
Tussen 1997 en 2003 werd de minerale bosbodem en de strooisellaag op 393 proefvlakken in Vlaamse bossen bemonsterd. In het totaal werden 952 boringen uitgevoerd gaande van 1 tot 4 boringen per proefvlak. Dit resulteerde in 3085 minerale bodemstalen. De bemonstering gebeurde in de meeste gevallen per pedogenetische horizont waarbij steeds ook de effectieve staalnamediepte werd gemeten. Naast losse bodemmonsters werden ook ongestoorde stalen genomen van elke horizont teneinde de bulkdensiteit ervan te kunnen bepalen en andere fysische bodemkarakteristieken.

Alle gegevens zijn opgenomen in diverse modules van de ForSite databank. Figuur 1 illustreert met de rode punten de locatie van de proefvlakken in de Kempische regio.

De 4 Umicore vestigingen zijn gelegen in Hoboken, Olen, Balen en Overpelt. Rond hun centrumcoördinaten (Tabel 1) werden cirkelvormige perimeters met 10 km straal afgetekend (Figuur 1). De metaalconcentraties binnen de perimeters worden vergeleken met de beschikbare data buiten de perimeters.

Tabel 1. Centrumcoördinaten en hoogteligging van de 4 Umicore vestigingen

Vestiging	Lambert X	Lambert Y	Hoogte (m)
Hoboken	147783	205990	15
Olen	186397	208176	16
Balen	210900	210089	44
Overpelt	221526	214473	43



De proefvlakken worden verder gegroepeerd in 4 categorieën (Tabel 2). Binnen de perimeters werd een onderscheid gemaakt tussen proefvlakken gelegen binnen Natura 2000 gebied (Cat 1) en erbuiten (Cat 2). Buiten de perimeter werden 'referentiewaarden' voor de provincies Antwerpen en Limburg onderscheiden van deze van de andere provincies. Dit had minstens twee redenen: enerzijds zijn de bodemtypes en bostypes globaal genomen verschillend, en anderzijds zijn de (historische) industriële activiteiten ook verschillend wat aanleiding kan geven tot een andere vergelijkingsbasis.

Tabel 2. Onderscheiden categorieën waarbinnen de proefvlakken vallen

Categorie	In perimeter	Locatie proefvlakken
1	Ja	In perimeter rond Umicore vestiging en binnen Natura 2000 gebied
2	Ja	In perimeter rond Umicore vestiging maar buiten Natura 2000 gebied
3	Nee	Buiten perimeters maar gelegen in provincies Antwerpen of Limburg
4	Nee	Buiten perimeters; gelegen in de prov VI. Brabant, Oost- en West-Vlaanderen

In het totaal zijn er 23 proefvlakken (5.8 % van alle ForSite proefvlakken) gelegen binnen de 4 Umicore perimeters en liggen er 370 proefvlakken buiten deze perimeters. Deze laatste dienen dus als een solide vergelijkingsbasis waarbij de analytische data met **eenzelfde** staalname- en analysemethodiek zijn tot stand gekomen.

Tabel 3 geeft het aantal proefvlakken en boringen aan per categorie. Hieruit blijkt dat slechts een beperkt aantal proefvlakken in Natura 2000 gebied (cat 1) vallen. Met een survey volgens een systematisch grid is de kans immers groot in een 'modaal' Kempisch dennenbos te belanden, belangrijk voor de bosbouw (zeer representatief) maar minder interessant overeenkomstig de Natura 2000 filosofie. Toch zijn binnen deze 1^e gebiedscategorie 53 minerale bodemstalen (Tabel 4) en 18 strooiselstalen (Tabel 5) geanalyseerd op 6 zware metalen. De tabellen geven het aantal stalen weer in de andere categorieën.

Tabel 3. Aantal proefvlakken en boringen per categorie. Vetgedrukte waarden slaan op waarnemingen gelegen binnen de 10 km perimeters.

Categorie	Aantal proefvlakken	Aantal boringen
1	6	16
2	17	45
3	92	283
4	278	608

Tabel 4. Aantal minerale bodemstalen per categorie. Vetgedrukte waarden slaan op waarnemingen gelegen binnen de 10 km perimeters.

Categorie	Totaal aantal Stalen	Totaal aantal stalen met ZM analyses	Stalen topsoil	Stalen subsoil
1	55	53	15	38
2	167	146	39	107
3	966	867	251	616
4	1897	1473	441	1032

Tabel 5. Aantal strooiselstalen per categorie. Vetgedrukte waarden slaan op waarnemingen gelegen binnen de 10 km perimeters.

Groep	Totaal aantal stalen	Totaal aantal stalen met ZM analyses	Extra stalen case study Olen
1	16	16	2
2	43	43	8
3	268	258	-
4	462	443	-

In bijlage I is een overzicht opgenomen van alle proefvlakken binnen de gegeven perimeters en per Umicore vestiging, met hun toponiemen, positionele gegevens en aantal boorlocaties.

2.2. Staalname en chemische analyse van de strooisellaag

Op de proefvlakken van de bosbodeminventarisatie (proefvlakcodes beginnend met BI) en de bodemfaunaplots (codes beginnend met BF) werden 3 staalnamepunten geselecteerd binnen respectievelijk (i) een proefvlakcirkel met straal 18 m en (ii) een kort transekt met 4 m tussen de punten. Voor de andere proefvlakken (codes BV) werd slechts 1 staalnamepunt bemonsterd. De centrumcoördinaten van elk proefvlak werden ingemeten met differentiële GPS (Trimble XL Rover met een accuraatheid van 2-5 m onder kronendak)

De staalnamepunten binnen elk plot werden zo representatief mogelijk gekozen. De stalen werden echter nooit genomen in depressies of grachten omdat het organisch materiaal de neiging heeft zich aldaar op te hopen. Antropogene verstoringen (exploitatiewegen, bermen, stortplaatsen, e.d.) werden ook vermeden.

Op elk staalnamepunt werd een 50 x 50 x 10 cm roestvrijstalen frame (Figuur 2) in de strooisellaag gebracht en alle strooisel binnen het frame verzameld.



Figuur 2. RVS metalen kader voor de staalname van strooisellagen (50 x 50 x 10 cm)

De strooisellaag werd in de meeste gevallen opgesplitst volgens Litter (L), Fragmentatie (F) en Humus (H) laag overeenkomstig de horizontenbeschrijving van Jabiol et al (1995). De scheiding van de horizonten werd zo zorgvuldig mogelijk uitgevoerd. Dit bleek echter vrij moeilijk vooral in gebioturbeerde strooisellagen (moder en mull types) waarde horizontengrenzen vaag zijn door continue overgangen. Levende organismen (wortels, fungi, korstmossen, mossen, invertebrate fauna, etc) werden uit het staal verwijderd voor zover mogelijk. Dood hout (takken, noten, schorsdeeltjes, etc) of hun resten die in het frame aanwezig waren werden meegenomen in het staal met uitzondering van takken met een diameter groter dan 20 mm.

In de praktijk bleek het onmogelijk om te vermijden dat een deel van het fijnwortelstelsel of een beperkte minerale bodemfractie meegenomen werd in de holorganisch staalname. Dit mag echter niet gezien worden als een probleem vermits dit nu eenmaal de natuurlijke staat van de organische laag is. Het deel minerale bodemfractie kan naderhand analytisch gemakkelijk bepaald worden door middel van gloeiverlies.

De staalname werd overwegend uitgevoerd in de periode van de winterrust (november tot einde maart).

Het versgewicht van elk staal verwijderd uit het metalen frame werd op het terrein gewogen. Het totale staal, of een substaal indien het totaalgewicht meer was dan 500 g, werd gestockeerd in plastic zakjes, afgesloten, gelabeld en getransporteerd naar het labo waar het onmiddellijk werd gestockeerd in een koelruimte bij 2°C teneinde biotische activiteit en chemische veranderingen te minimaliseren.

Droging van de stalen gebeurde bij 40°C in een geventileerde oven gedurende 1 week (tot constant gewicht). Ovendroge stalen werden gemalen met een Fritsch Pulverisette tot poeder (< 500 µm) en goed gehomogeniseerd.

De asgehalten van elk staal werden bepaald op 3 g substaal na verassing (3 h) bij 550°C.

De zware metalen werden bepaald met een axiale ICP-AES (Varian Liberty serie II) na microgolfoven (Milestone 1200 MS Mega) ontsluiting. Hiervoor werd 0.5 to 1 g staal gedestruerd in 3 ml HNO₃ en 1 ml H₂O₂ gedurende 35 min in teflon bommen. Na complete digestie werd het staal gefilterd en aangelegd tot 50 ml oplossing. De ICP-AES werd gekalibreerd met gecertificeerde standaarden (Merck). Interne referentiestandaarden werden meegenomen voor kwaliteitscontrole.

Tabel 6 geeft een overzicht van de analytische golflengtes waarbij de metalen gemeten werden en hun quantificatielimiet. Onder de quantificatielimiet kon in een 'real-life' organische matrix geen betrouwbare meetwaarde bepaald worden met de gebruikte apparatuur. Wel kon gedetecteerd worden of het element al dan niet in het staal voorkwam.

Tabel 6. Zware metalen gemeten met ICP-AES: analytische golflengte, quantificatie limiet (LoQ) en aangenomen rekenwaarde bij meetwaarden < LoQ.

Metaal	Golflengte (nm)	LoQ (µg.g ⁻¹)	Rekenwaarde < LoQ
Cd	228.802	0.35	0.18
Zn	213.856	3.5	1.8
Cu	324.754	1.75	0.88
Pb	220.353	1.75	0.88
Cr	267.716	1.75	0.88
Ni	341.476	3.5	1.8

Indien het analyseresultaat lager was dan de LoQ werd als rekenwaarde de helft van de LoQ aangenomen zoals aangegeven in tabel 6. Dit wordt algemeen aanvaard door de International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).

2.3. Staalname en chemische analyse van de minerale bodem

De staalname van de minerale bodem werd uitgevoerd op dezelfde locatie als de staalname van de strooisellaag. Na verwijdering van de strooisellaag werd op de ontblote minerale bosbodem gestart met een edelmanboor en een boorkern tot op 1.20 m diepte uitgelegd (figuur 3).

De pedogenetische horizonten werden op het terrein onderscheiden en morfologisch beschreven in een staalnamefiche. Binnen elke horizont werd een representatief staal genomen van minstens 500 g. Van elke boring werd een digitale foto genomen.

De minerale bodemstalen werden net als de strooiselstalen gestockeerd in een koelruimte bij 2°C na aankomst in het laboratorium.



Figuur 3. Uitgelegde boorkern van proefvlak BI173103 (B6) met de horizonten gescheiden door de gele markeringen. Van rechts (top boorkern) naar links (onder): Ap, Bh, Bs en C horizont.

Tal van fysische en chemische analyses werden uitgevoerd op de minerale bodemstalen. Relevant voor dit rapport zijn de textuuranalyses, organisch materiaal en gehalte aan de metalen Cd, Zn, Cu, Pb, Cr en Ni.

De textuuranalyse werd uitgevoerd met laserdiffractie (Coulter LS 200), na calibratie en validatie met de standaard pipet en zeefmethode.

Het organisch materiaal werd bepaald met gloeiverlies (LOI) bij 550°C waarbij 1/3 van de stalen tevens werd gemeten met TOC (Shimadzu 5050A total C analyzer met SSM-5000A solid sample module). De methode om % C te bepalen uit LOI waarden houdt rekening met het kleigehalte (De Vos et al. 2005).

Zware metalen werden bepaald met ICP-AES na microgolfoven ontsluiting met aqua regia en H₂O₂ in een 2/1 v/v verhouding. Het destructieprogramma in de Milestone microgolf is 5 min 250 W – 5 min 400 W – 5 min 600 W – 10 min 800 W en 10 min ventilatie. De teflon vassels worden na destructie 30 min afgekoeld in water.

De extractieverhouding bedraagt ongeveer 100: 0.5 g staal afgewogen op 50 ml oplossing. De golflengtes en quantificatielimieten zijn weergegeven in tabel 7.

Tabel 7. Zware metalen gemeten met ICP-AES: analytische golflengte, quantificatie limiet (LoQ) en aangenomen rekenwaarde bij meetwaarden < LoQ.

Metaal	Golflengte (nm)	LoQ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Rekenwaarde < LoQ
Cd	228.802	0.5	0.25
Zn	213.856	5	2.5
Cu	324.754	2.5	1.25
Pb	220.353	2.5	1.25
Cr	267.716	2.5	1.25
Ni	341.476	5	2.5

Als LoQ werd de ondergrens genomen van de laagste calibratiestandaard. Boven deze grens werd een betrouwbare meting verkregen. Onder deze grens wordt een waarde

gerapporteerd als "< LoQ". Voor de verwerking werd steeds de helft van de LoQ als rekenwaarde aangenomen.

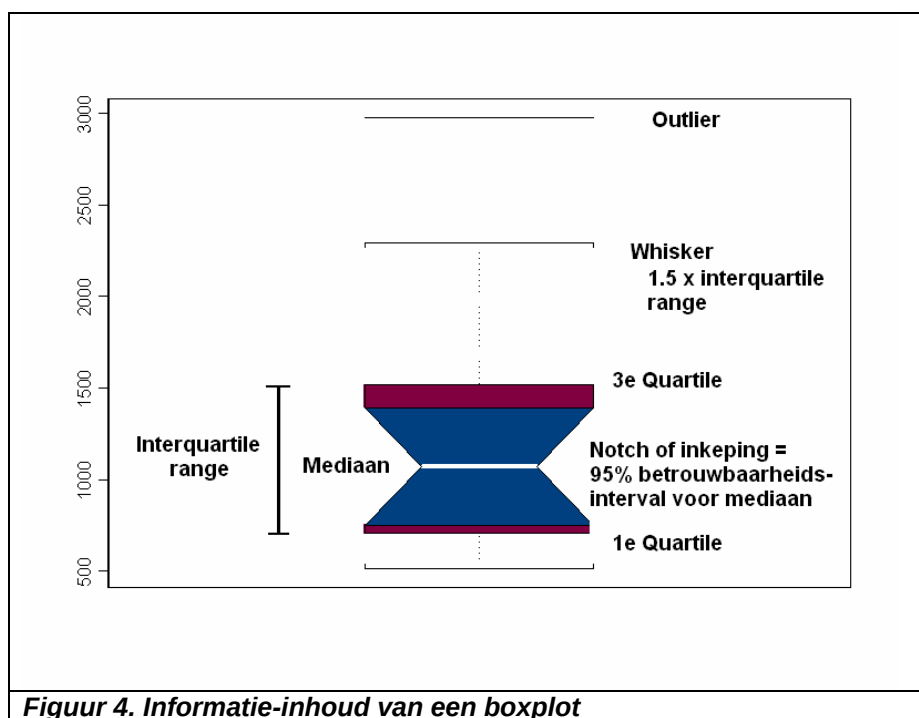
Noteer dat de instrument detectie limieten (IDL) een stuk lager liggen, maar de methode detectie limiet (MDL) in een bodemmatrix is volgens de literatuur een factor 3 tot 5 hoger. Volgens IUPAC richtlijnen is de $LoQ = 3.3 \times LOD$ (LOD bepaald bij 3σ , LOQ bij 10σ). Voor Cd is de IDL = $0.05 \mu g.g^{-1}$, de MDL (=LoD) tussen $0.15 - 0.25 \mu g.g^{-1}$ en de geschatte LOQ $0.50-0.83 \mu g.g^{-1}$. Deze waarden benaderen de in tabel 7 aangegeven LoQ's voor metingen van 'real-life' stalen.

2.4. Verwerking en interpretatie van de data

2.4.1. Statistische verwerking

Daar de distributies van zware metalen zelden normaal verdeeld zijn worden niet parametrische statistische methodes gehanteerd. Dit impliceert het gebruik van mediaan, percentielwaarden en niet parameterische testen zoals de Wilcoxon test voor het vergelijken van gepaarde waarnemingen en Mann-Witney test voor ongepaarde waarnemingen. De Kruskal-Wallis rank sum test werd aangewend voor het vergelijken van 3 of meerdere sets van ongepaarde waarnemingen. Ook deze test vereist geen normale verdeling.

Voor de grafische weergave worden boxplots gehanteerd omdat zij in één grafiek heel wat gegevens weergeven (Figuur 4).



De witte lijn in het midden van de blauwe inkeping geeft de mediaan weer. De inkeping (notch) geeft het 95% betrouwbaarheidsinterval weer voor deze mediaan. Dit interval kan buiten de grenzen van de rode 'box' vallen die het 1^e en 3^e kwartiel aanduiden. De helft van de waarnemingen liggen dus binnen deze grenzen of de interquartile range (interkwartiel bereik). De whiskers geven de waarde aan van

1,5 keer de interquartile range (span) indien er waarnemingen buiten deze span vallen. Zoniet wordt effectief de ondergrens of bovengrens van de verdeling aangegeven. In geval van figuur 4 valt de onderste whisker samen met het minimum van de dataset (waarde = 512) en de bovenste whisker met $1.5 \times$ de interquartile range. Een outlier is elke individuele waarde die erbuiten valt. In het voorbeeld heeft de outlier waarde 2979.

De boxplots tonen dus niet alleen de grootteorde en spreiding van de data, maar geven ook weer of er outliers zijn en hoe de verdeling eruit ziet (bvb skewed of niet).

Een maximaal toegelaten concentratie (MAC) situeert zich exact tussen de referentiewaarde en de kritische concentratie. Onder de MAC maar boven de referentiewaarde (score 1) spreken we van aangerijkt. Effecten van die aanrijking zijn weinig waarschijnlijk, zelfs voor gevoelige organismen. Boven de MAC daarentegen (score 2) maar onder de kritische waarde kunnen processen en levensgemeenschappen nadelige effecten ondervinden. Hier zitten we al in de gevarezone voor metaalverspreiding via accumulerende organismen en kunnen we spreken van de klasse “verontreinigd”.

Een additieve totaalscore herschaald tussen 0 en 1 leidt tot een index voor metaalaanrijking (SMCI). Hierbij worden geen aparte gewichten meer toegekend aan specifieke metalen voor de mate van (eco)toxiciteit omdat dit reeds vervat zit in de kritische concentratie.

Omdat niet alleen de concentratie maar vooral de stocks (metal-loads, pools) aangeven hoeveel metalen effectief aanwezig zijn in een strooisellaag en mogelijks beschikbaar zijn voor organismen of uitloogbaar zijn naar de onderliggende bodem of grondwater werd op basis van vele waarnemingen in Vlaamse bossen ook een evaluatietabel opgemaakt voor de stocks (tabel 8). In feite zijn hier de strooiselgewichten (bulk densiteiten) mee in rekening gebracht.

Tabel 8. Evaluatietabel voor de stock (pool) aan zware metalen in strooisellagen in het Vlaams gewest

METAL POOLS		Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Cd
EVALUATIE	Score	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²	mg/m ²
Achtergrond	0	≤92	≤145	≤438	≤109	≤447	≤3.6
Aangerijkt	1	92-≤180	145-≤440	438-≤870	109-≤330	447-≤1340	3.6-≤12
Verontreinigd	2	180-≤275	440-≤725	870-≤1300	330-≤550	1340-≤2225	12-≤20
Kritisch	3	>275	>725	>1300	>550	>2225	>20

Analoog aan de SMCI wordt op basis van de aangegeven scores een Strooisel Metaal Pool Index (SMPI) berekend.

De MAC waarden (ondergrens score 2) kunnen gehanteerd worden als maximaal toelaatbare hoeveelheden van een metaal per oppervlakte-eenheid voor aanrijking van strooisellagen. Door de eventuele inbreng van producten (bekalkingsproducten, zuiveringsslib, e.d) of door depositie zou de aanwezige metalenstock de MAC waarde niet mogen overschrijden.

2.4.3. Toetsing aan de Vlarebo bodemsaneringsnormen

De bodemsaneringsnormen (BSN) voor het vaste deel van de aarde gelden voor een standaardbodem met een gehalte aan klei van 10 % en een gehalte aan organisch materiaal (OM) van 2 % op droge stofbasis. Om bij de toetsing rekening te houden met enkele bodemkenmerken, worden de BSN standaard omgerekend op basis van klei- en organisch gehalte met volgende formule:

$$N(x,y) = N(10,2) * \frac{A + B * x + C * y}{A + B * 10 + C * 2}$$

Waarbij

N de norm voorstelt bij **x** % klei en **y** % OM

x het gewichtspersent is van de kleifracatie (0-2µm)

y het gewichtspersent is aan organisch materiaal (%)

A, B en **C** metaalspecifieke coëfficiënten zijn overeenkomstig tabel 9.

Tabel 9. Metaalspecifieke coëfficiënten voor aanpassing van de standaardnorm

Metaal	A	B	C
As	14	0.5	0
Cd	0.4	0.03	0.05
Cr	31	0.6	0
Cu	14	0.3	0
Hg	0.5	0.0046	0
Pb	33	0.3	2.3
Ni	6.5	0.2	0.3
Zn	46	1.1	2.3

Belangrijk voor bosbodems die doorgaans meer organisch materiaal bevatten in de opperbodem dan bodems met een ander landgebruik is de gelimiteerde correctie voor x en y.

Het kleigehalte dient te liggen tussen 1 en 50 %: minder dan 1 % klei wordt 1 % en meer dan 50 % wordt als 50 % in rekening gebracht. Het organisch gehalte dient te liggen tussen 1 en 10 %: minder dan 1 % wordt 1 % en meer dan 10 % wordt als 10 % in rekening gebracht.

Op deze wijze werden volgende normen berekend:

- de achtergrondswaarde (AW)
- de bodemsaneringsnorm voor bestemmingstype I (BSN I) die equivalent is aan BSNII
- de 80% BSN type I en II

Wanneer de 80 % norm wordt overschreden wordt de bodem als verontreinigd bestempeld en zijn wettelijke beperkingen inzake bodemgebruik van kracht (o.a. grondverzet).

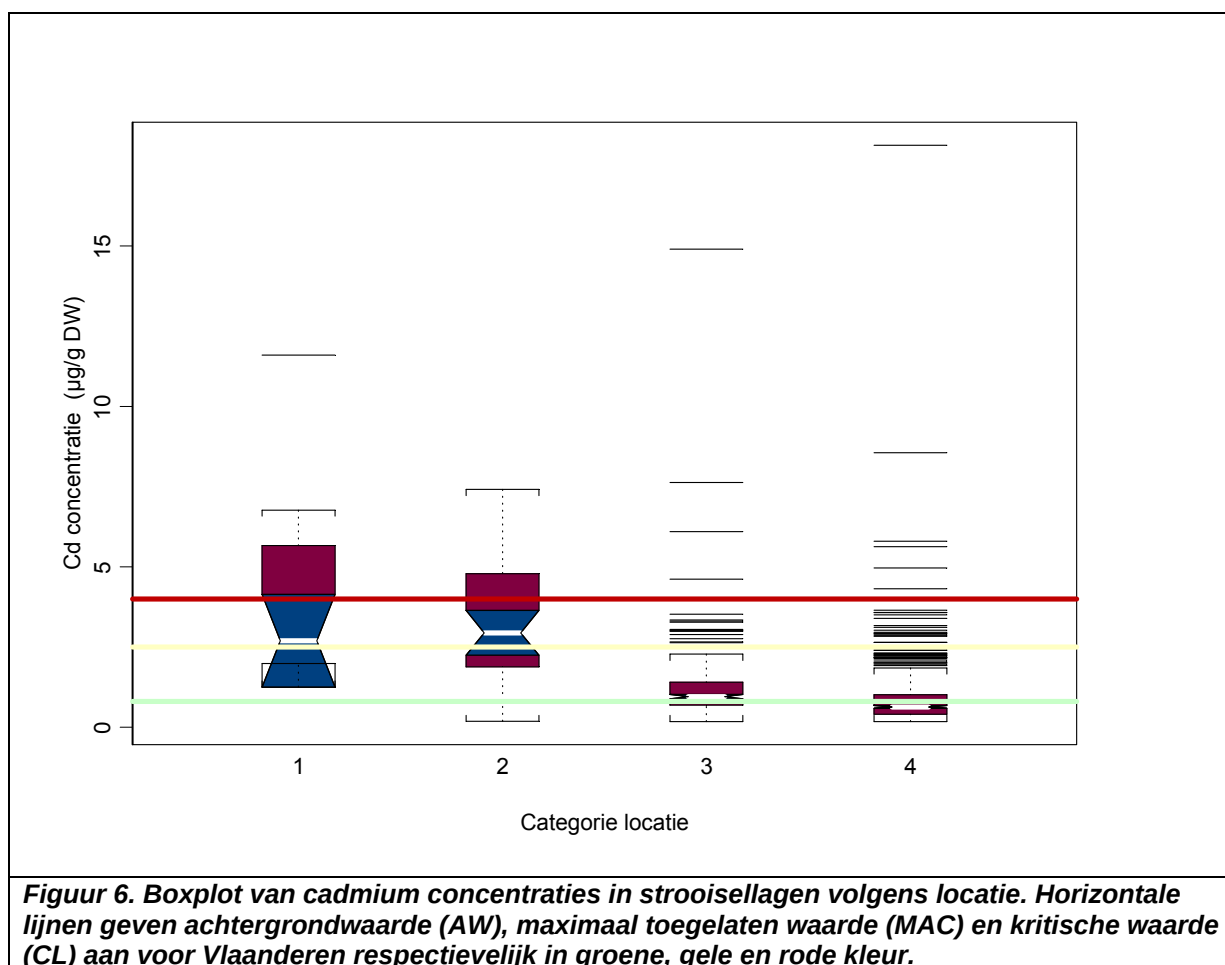
3. Resultaten

3.1. Zware metalen in de strooisellaag

3.1.1. Algemene analyse

Om een algemeen beeld te krijgen van de metaalconcentraties aan Cd, Zn, Cu, Pb, Cr en Ni in de strooisellagen wordt per metaal de concentratieverdeling bekeken volgens de 4 locatiecategorieën (Tabel 2). De waarnemingen van de strooisellaag in de directe nabijheid van de vestiging Olen (case study) zijn niet in dit overzicht opgenomen, maar worden apart besproken onder 3.1.2 omdat zij een gebiedsspecifieke metaalverontreiniging vormen.

Voor het metaal cadmium is de verdeling weergegeven in figuur 6.



De cadmium concentratie is beduidend hoger binnen de perimeters (categorie 1 & 2) dan erbuiten. De mediaan bevindt zich in het verontreinigde gebied boven de MAC en een belangrijk aandeel van de waarnemingen overschrijdt het kritische niveau. In de gebieden buiten de Umicore perimeters (categorie 3 & 4) liggen de waarnemingen dicht bij de achtergrondwaarde met slechts enkele outliers boven het kritische niveau. Dit is bijzonder opmerkelijk omdat slechts 7.7 % van het totaal aantal waarnemingen (n=760) in Vlaanderen binnen de perimeters valt.

Buiten de perimeters maar nog in de provincies Antwerpen en Limburg (categorie 3) zijn maar 4 overschrijdingen van het kritische niveau waargenomen en een beperkt aantal in de verontreinigde zone (tussen MAC en CL). Dit betekent dat binnen de perimeters overduidelijk de hoogste Cd concentraties worden vastgesteld van deze regio waardoor een verband met de activiteit van de Umicore vestigingen hoogstwaarschijnlijk is.

Een Kruskal-Wallis test geeft ook sterk significant verschillende verdelingen aan ($p < 0.001$) tussen de 4 categorieën. De mediaan van de waarnemingen binnen cat 1 en 2 ligt respectievelijk een factor 2.8 en 4.3 hoger dan cat 3 en een respectievelijke factor 3 en 4.6 hoger dan gebiedscategorie 4 (tabel 10). Significante verschillen ($p < 0.05$) zijn ook aanwezig tussen de categorieën 3 & 4. Dit geeft aan dat Cd concentraties in de bossen van de provincies Antwerpen en Limburg relatief hoger zijn dan in de rest van Vlaanderen.

Tabel 10. Bereik en mediaan van Cd gehalten in de strooisellagen van de 4 gebiedscategorieën

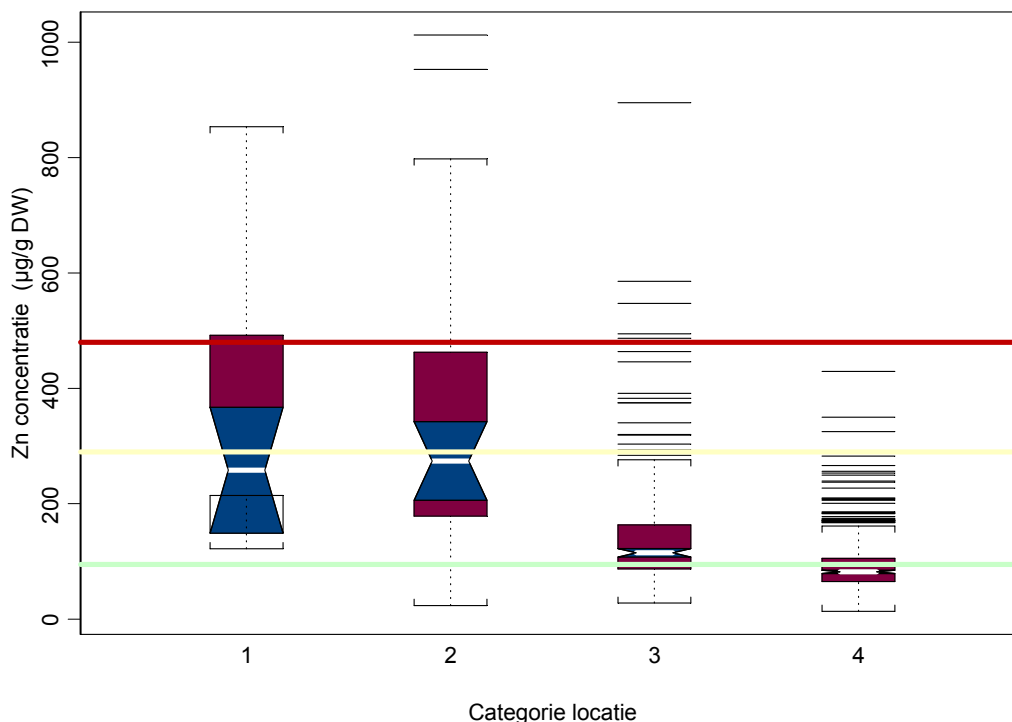
Categorie	Min-max Range ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	P10-P90* range	Mediaan Cd** ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	1.25-11.60	1.46 – 6.46	2.69 ^a
2	0.18-7.41	0.67 – 6.27	2.94 ^a
3	0.18-14.90	0.46 – 1.92	0.96 ^b
4	0.2-18.1	0.18 – 1.91	0.63 ^c

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Withney test

Extreme waarden (tot 18 ppm Cd) worden ook gevonden in gebiedscategorieën 3 en 4, maar de 90^e percentielwaarden wijzen erop dat dit uitzonderingen zijn. Ook de P90 waarden liggen meer dan een factor 3 hoger binnen de perimeters dan erbuiten.

Voor het metaal zink zijn analoge resultaten waarneembaar (figuur 7), weliswaar met minder waarnemingen boven de kritische concentratie. Ook de mediaan van de cat 1 & 2 ligt onder de MAC waarde. In de provincies Oost- en West-Vlaanderen en Vlaams Brabant komen geen waarden voor boven de kritische grens en slechts een beperkt aantal outliers boven de MAC waarde. Dit is duidelijk meer in Limburg en Antwerpen waar de mediaan voor zink 40% hoger ligt (tabel 11)



Figuur 7. Boxplot van zink concentraties in strooisellagen volgens locatie. Horizontale lijnen geven achtergrondwaarde (AW), maximaal toegelaten waarde (MAC) en kritische waarde (CL) aan voor Vlaanderen respectievelijk in groene, gele en rode kleur.

Een Kruskal-Wallis test geeft ook sterk significant verschillende verdelingen aan ($p < 0.001$) tussen de categorieën. De mediaanwaarden voor Zn liggen voor cat 1 respectievelijk een factor 2.2 en 3.2 hoger dan voor categorie 3 en 4, en voor cat 2 een factor 3.1 en 3.1 hoger. Dit is vergelijkbaar met cadmium. Dit is niet verwonderlijk vermits deze metalen meestal goed correleren. Er worden geen significante verschillen vastgesteld tussen cat 1 en 2.

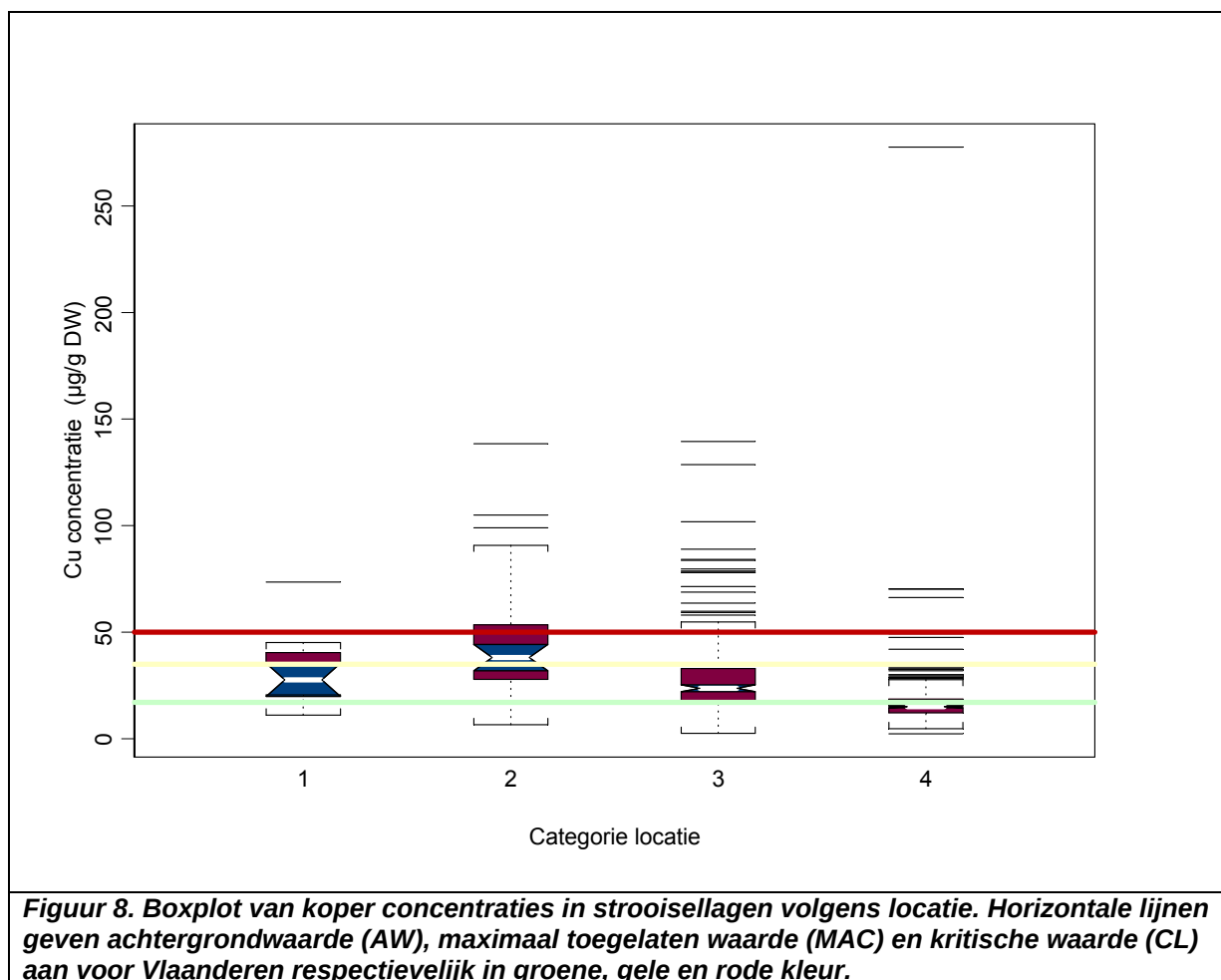
Tabel 11. Bereik en mediaan van Zn gehalten in de strooisellagen van de 4 gebiedscategorieën

Categorie	Min-max Range ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	P10-P90* range	Mediaan Zn** ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	122 - 853	132 - 505	258 ^a
2	24 - 1012	78 - 548	274 ^a
3	28 - 895	66 - 244	115 ^b
4	14 - 429	50 - 145	82 ^c

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Whitney test

Voor het metaal koper is een licht verschillend patroon op te merken (figuur 8). De hoogste waarnemingen worden weliswaar nog in gebiedscategorie 1 & 2 vastgesteld, maar categorie 1 verschilt niet significant van cat 3 (tabel 12). In categorie 3 worden ook veel outliers waargenomen boven de kritische grens.



Een Kruskal Wallis test geeft aan dat de medianen verschillend zijn tussen de groepen. Cat 1 heeft een mediaan die vergelijkbaar is met die van de provincie; in cat 2 is de mediaan een factor 1.6 tot 2.5 hoger dan in de referentiecategorieën 3 en 4. In niet Natura 2000 bossen binnen de perimeters ligt de P90 van de Cu concentratie blijkbaar dubbel zo hoog als in de andere gebieden.

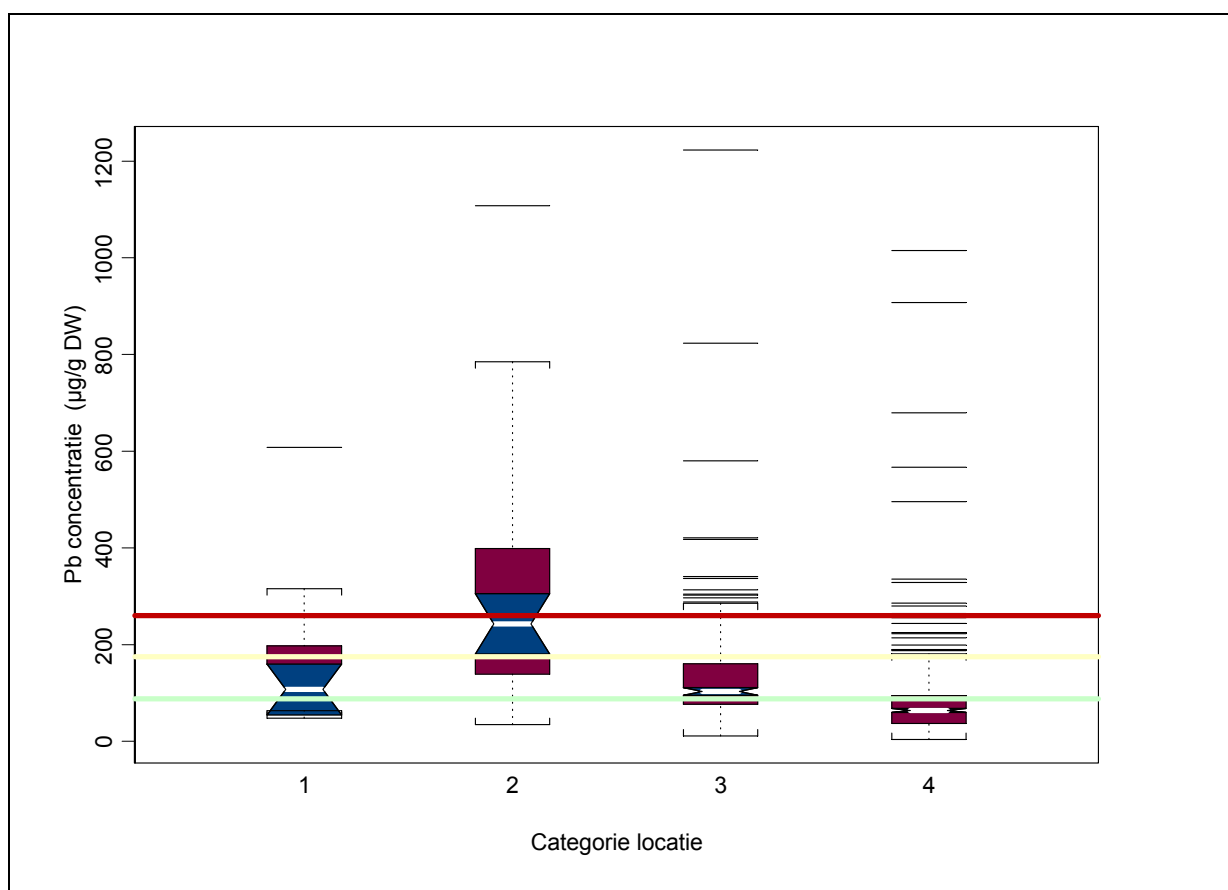
Tabel 12. Bereik en mediaan van Cu gehalten in de strooisellagen van de 4 gebiedscategorieën

Categorie	Min-max Range ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	P10-P90* range	Mediaan Cu** ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	11.1 - 73.5	18.8 – 44.2	27.6 ^{ab}
2	6.6 - 138.4	15.6 – 85.2	38.0 ^a
3	2.5 – 139.4	13.4 – 46.3	23.7 ^b
4	2.3 - 277.6	9.8 – 23.2	15.0 ^c

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Whitney test

Voor het metaal lood zien we net als bij Cu hogere waarden in categorie 2 (figuur 9). De mediaan is hier zelfs significant verschillend van categorie 1 (tabel 13) met een waarde die meer dan dubbel zo hoog is. Binnen de Natura 2000 gebieden is de loodconcentratie vergelijkbaar met die van referentiecategorie 3, maar hoger dan in cat 4. Buiten categorie 2 liggen de meeste waarnemingen in het niet verontreinigde bereik.



Figuur 9. Boxplot van lood concentraties in strooisellagen volgens locatie. Horizontale lijnen geven achtergrondwaarde (AW), maximaal toegelaten waarde (MAC) en kritische waarde (CL) aan voor Vlaanderen respectievelijk in groene, gele en rode kleur.

Tabel 13. Bereik en mediaan van Pb gehalten in de strooisellagen van de 4 gebiedscategorieën

Categorie	Min-max Range ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	P10-P90* range	Mediaan Pb** ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	47.9 – 608.1	51.3 – 288.8	107.2 ^a
2	34.4 – 1107.6	101.0 - 515.5	242.8 ^b
3	11.0 – 1222.9	50.0 – 212.7	103.0 ^a
4	3.8 – 1015.2	19.2 – 135.7	63.9 ^c

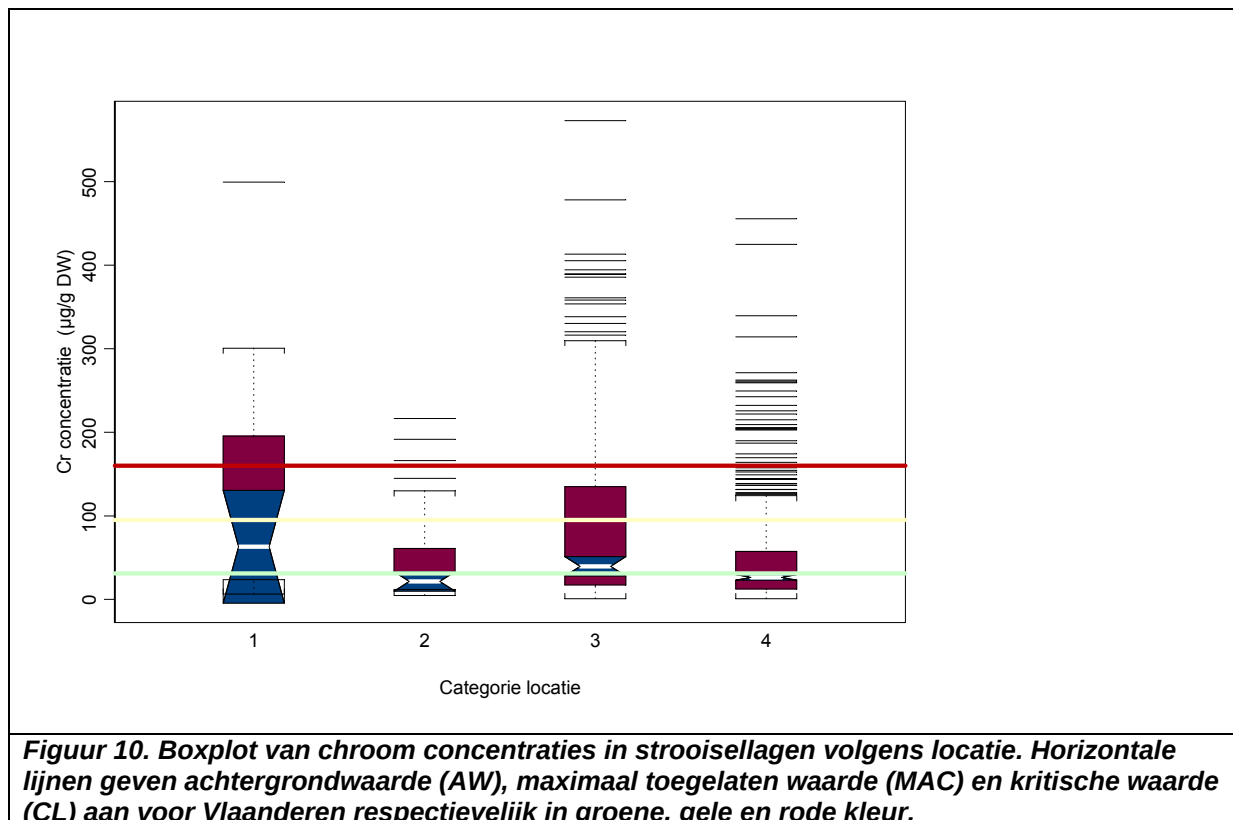
*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Whitney test

Algemeen zien we een vergelijkbaar patroon voor de metalen Pb en Cu die blijkbaar vooral in cat 2 bossen in hogere concentraties aanwezig zijn. Omdat deze metalen een hoge

retentie vertonen met organisch materiaal is nagegaan of de massa organische stof hoger is in cat 2. De mediaan van de strooiselmassa van cat 2 is echter vergelijkbaar met die van cat 3, respectievelijk 7.91 en 7.33 kg per m² DS. Dit kan het verschil dus niet verklaren. Ook inzake boomsoortensamenstelling zijn cat 1 en 2 vergelijkbaar. De verschillen moeten dan wellicht door positionele factoren te verklaren zijn.

De metalen Cr en Ni vertonen tevens een gelijkaardig patroon. Hier treffen we de hoogste medianen aan in categorie 1. De verschillen tussen de gebieden zijn echter beperkt en vaak niet significant (tabellen 14 en 15). Figuur 10 toont aan dat heel wat waarnemingen in cat 1 boven de kritische waarde uitsteken. In cat 2 betreft het slechts 3 outliers. Outliers worden echter overal in Vlaanderen waargenomen wat aangegeven wordt door vergelijkbare P90 waarden binnen en buiten de perimeters.



Voor Cr geeft de Kruskal wallis test toch significante verschillen ($p < 0.001$) aan tussen de groepen. De verschillen binnen en buiten de perimeters zijn echter niet significant. Dit betekent dat de Cr en Ni aanrijkingen hoogstwaarschijnlijk niet door Umicore activiteiten veroorzaakt werden.

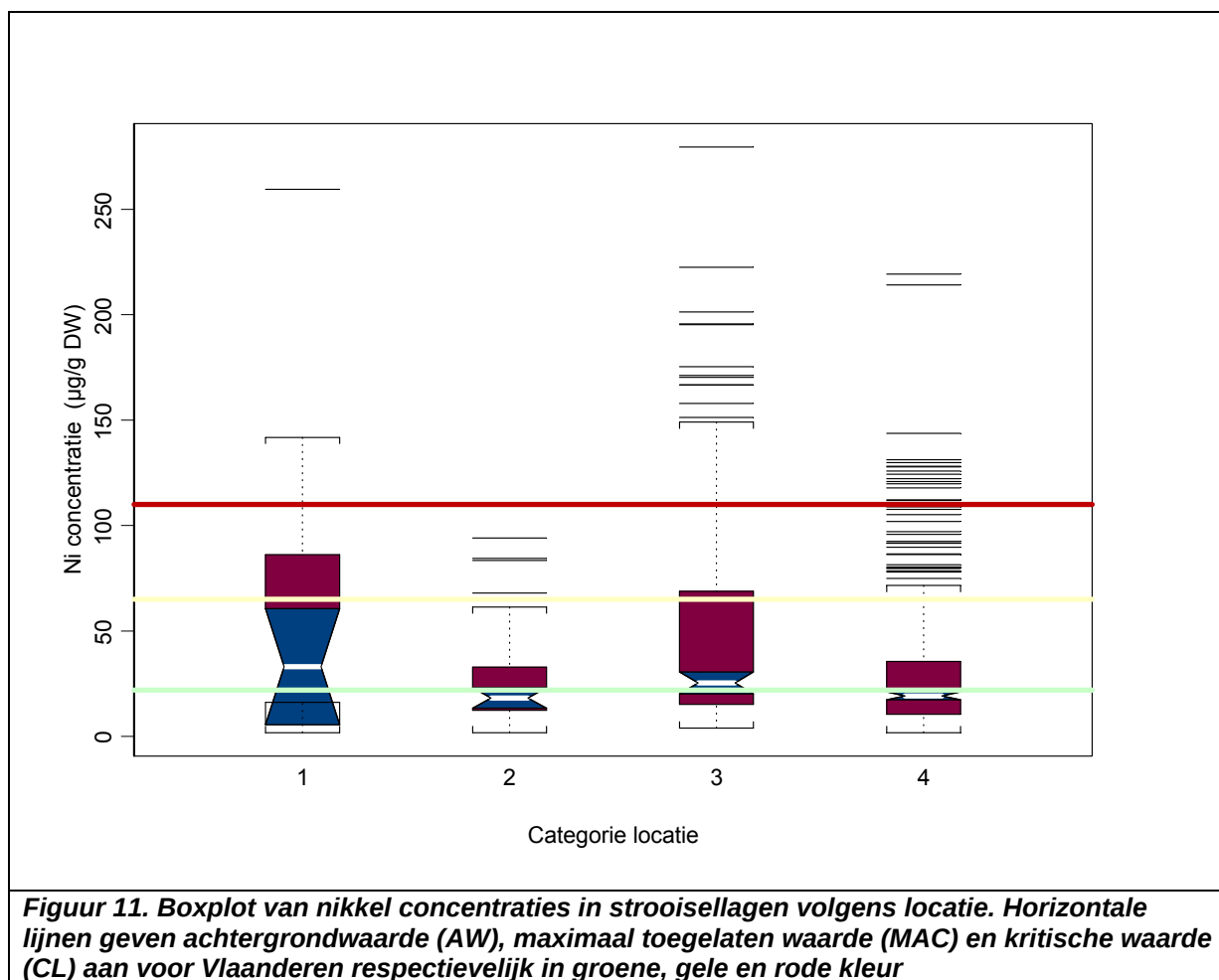
Tabel 14. Bereik en mediaan van Cr gehalten in de strooisellagen van de 4 gebiedscategorieën

Categorie	Min-max Range ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	P10-P90* Range	Mediaan Cr** ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	6.3 – 499.3	7.9 – 265.3	63.0 ^a
2	4.5 – 216.5	7.0 – 128.5	21.5 ^b
3	0.9 – 573.0	8.9 – 237.4	39.6 ^a
4	0.9 – 455.4	6.6 – 119.7	26.3 ^b

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Whitney test

De nikkel concentraties blijken niet significant te verschillen tussen de gebiedscategorieën (tabel 15). Er is enkel een hogere mediaan en spreiding in categorie 1 vast te stellen.



Door het beperkter aantal waarnemingen in categorie 1 dan in categorie 3 of 4 worden outliers gemakkelijker in de box meegenomen. De hogere waarden kunnen dus ook te wijten zijn aan een paar plaatselijk hoge Ni concentraties.

Tabel 15. Bereik en mediaan van Ni gehalten in de strooisellagen van de 4 gebiedscategorieën

Categorie	Min-max Range ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	P10-P90* range	Mediaan Ni** ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	1.8 – 259.4	3.4 – 128.5	33.1 ^a
2	1.8 – 94.4	5.2 – 61.2	18.3 ^a
3	3.9 – 279.5	9.1 – 116.7	25.4 ^a
4	1.8 – 219.3	6.8 – 65.1	19.2 ^a

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Whitney test

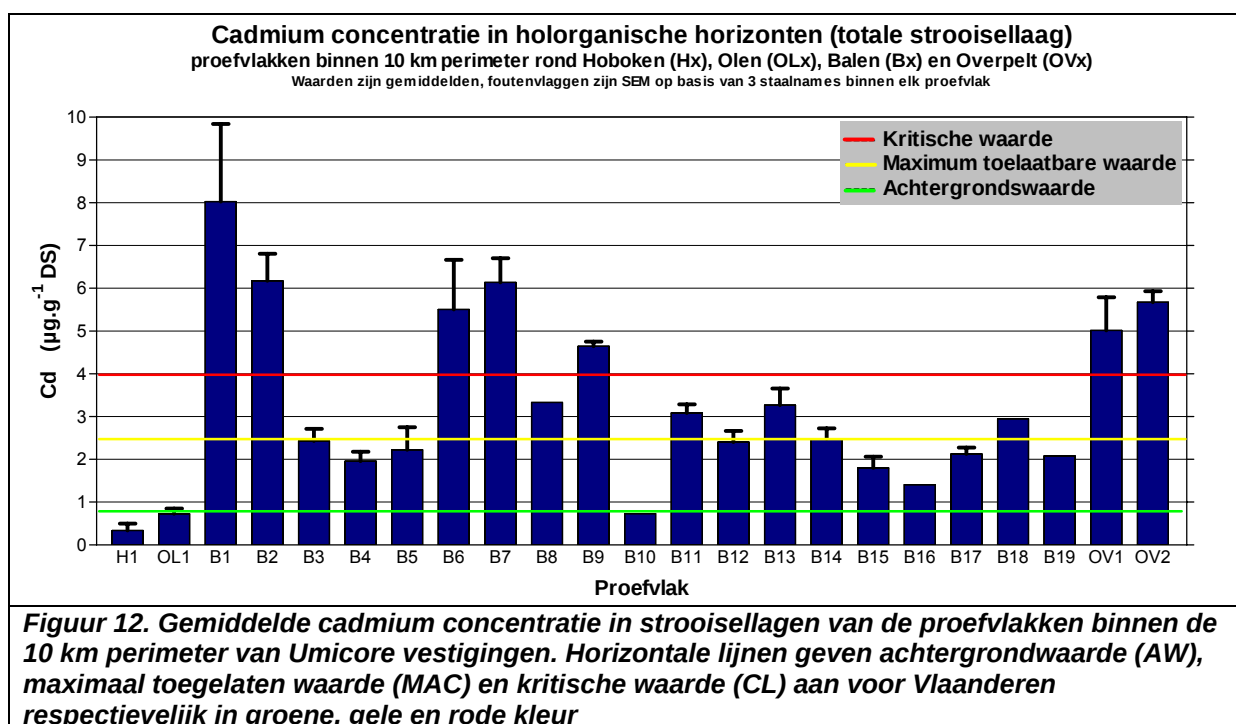
3.1.2. Proefvlakken binnen de Umicore 10 km perimeters

Na de vergelijking tussen de gebiedscategorieën is het belangrijk in te zoomen op de proefvlakken binnen de perimeters. De gehalten aan zware metalen Cd, Zn, Cu, Pb, Ni en Cr in de strooisellagen van de 23 proefvlakken binnen de 4 perimeters zijn opgenomen in bijlage II. De proefvlakcodes en hun locaties (coördinaten) zijn weergegeven in bijlage I en op de kaarten in de bijlagen IV en V.

Hierna worden de resultaten per metaal toegelicht.

Cadmium

Op de 23 proefvlakken hebben slechts 3 proefvlakken (13 %) een gemiddelde Cd concentratie onder de achtergrondswaarde; 9 proefvlakken (39 %) zijn licht aangerijkt en 11 proefvlakken (48 %) zijn verontreinigd waarvan 7 proefvlakken (30 %) boven het kritische niveau liggen (figuur 12).

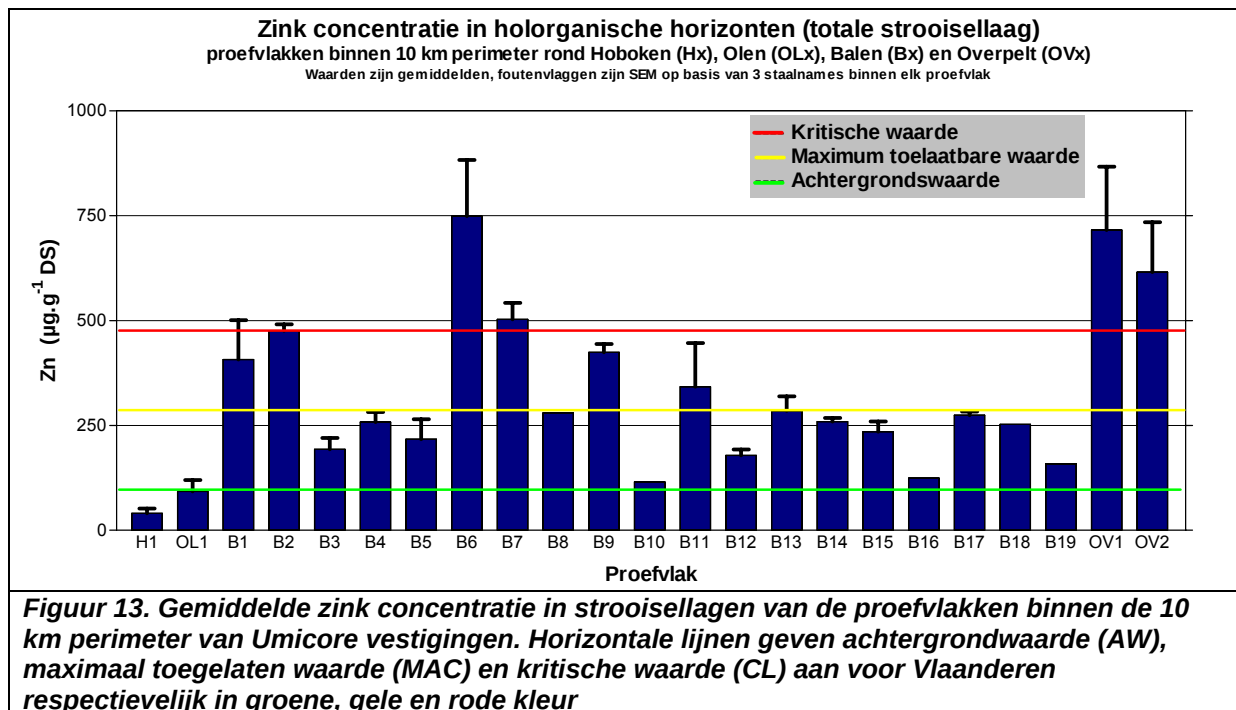


Overschrijding van het kritische niveau voor Cd wordt steeds waargenomen binnen de perimeters Balen & Overpelt. De (beperkte) waarnemingen voor Hoboken en Olen liggen onder de achtergrondswaarde voor Cd. Er is aanzienlijke variatie vast te stellen tussen de Cd gehalten in de proefvlakken binnen de Balen en Overpelt perimeters. De variatie binnen de proefvlakken is eerder gering zoals aangegeven door de standaardfout (SEM). De locatie van de proefvlakken (bijlage V) verklaart echter veel. Proefvlak B1 en B2 liggen het dichtst bij de Umicore Balen vestiging, weliswaar in het ZW (dus tegen de overheersende windrichting in) en toch worden hoge gehalten gemeten. Proefvlakken B3, B4 en B5 liggen verderaf gegroepeerd in NNW richting buiten de windafwaartse vermoedelijke verontreinigingspluim en de concentraties zijn er duidelijk lager. Proefvlakken B6 en B7 net als OV1 en OV2 verderaf liggen wellicht in de veronderstelde verontreinigingspluim.

Zink

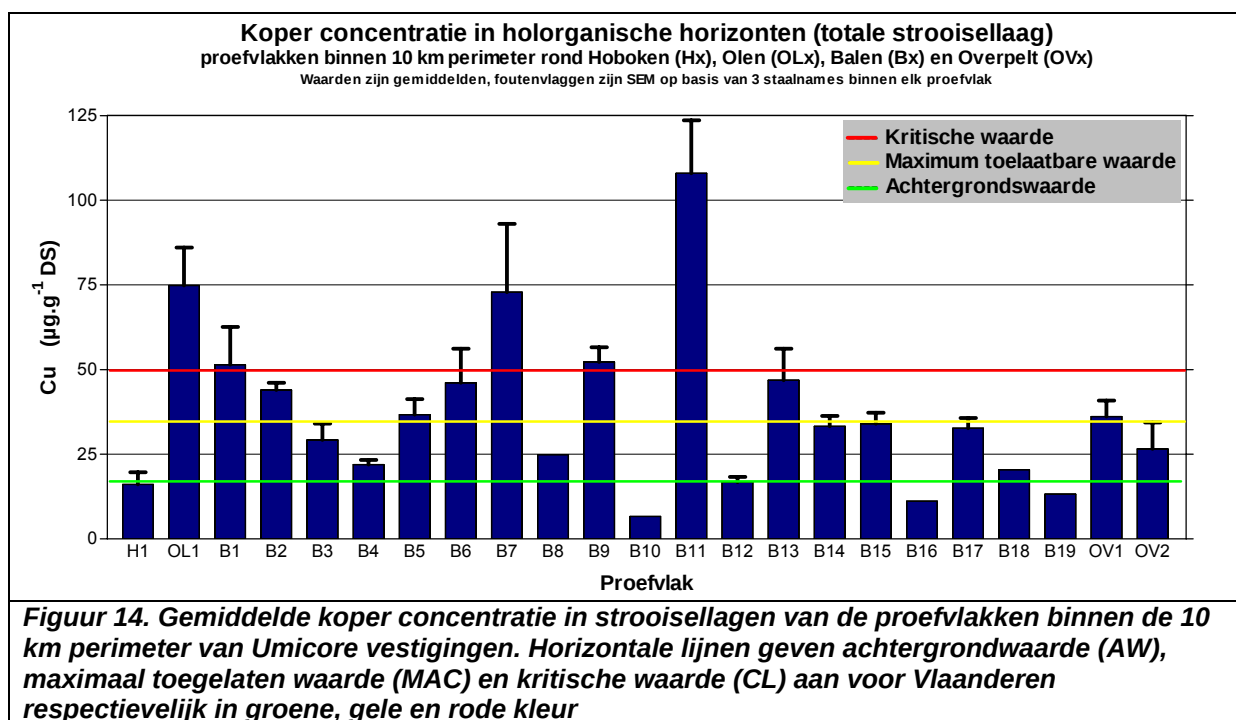
Op de 23 proefvlakken vertonen slechts 2 proefvlakken (9 %) een gemiddelde Zn concentratie onder de achtergrondswaarde; 13 proefvlakken (57 %) zijn licht aangerijkt en 8 proefvlakken (34 %) zijn verontreinigd waarvan 4 proefvlakken (17 %) boven het kritische

niveau liggen (figuur 13). Net als bij Cd zijn de proefvlakken in de Hoboken en Olen perimeters onder de achtergrondswaarde. Hogere waarden nabij de kritische grens worden vastgesteld in dezelfde proefvlakken: B1, B2, B6, OV1 en OV2. In de vermoedelijke verontreinigingspluim (B6, B7, OV1 en OV2) zijn de waarden hoger dan erbuiten (B1, B2 en resterende proefvlakken). De zink concentratie kan dus net als de cadmium concentratie gerelateerd worden met de vestigingen Balen en Overpelt.



Koper

Op de 23 proefvlakken hebben 5 proefvlakken (22 %) een gemiddelde Cu concentratie onder de achtergrondswaarde; 8 proefvlakken (35 %) zijn licht aangerijkt en 10 proefvlakken (43 %) zijn verontreinigd waarvan 5 proefvlakken (22 %) boven het kritische niveau liggen.

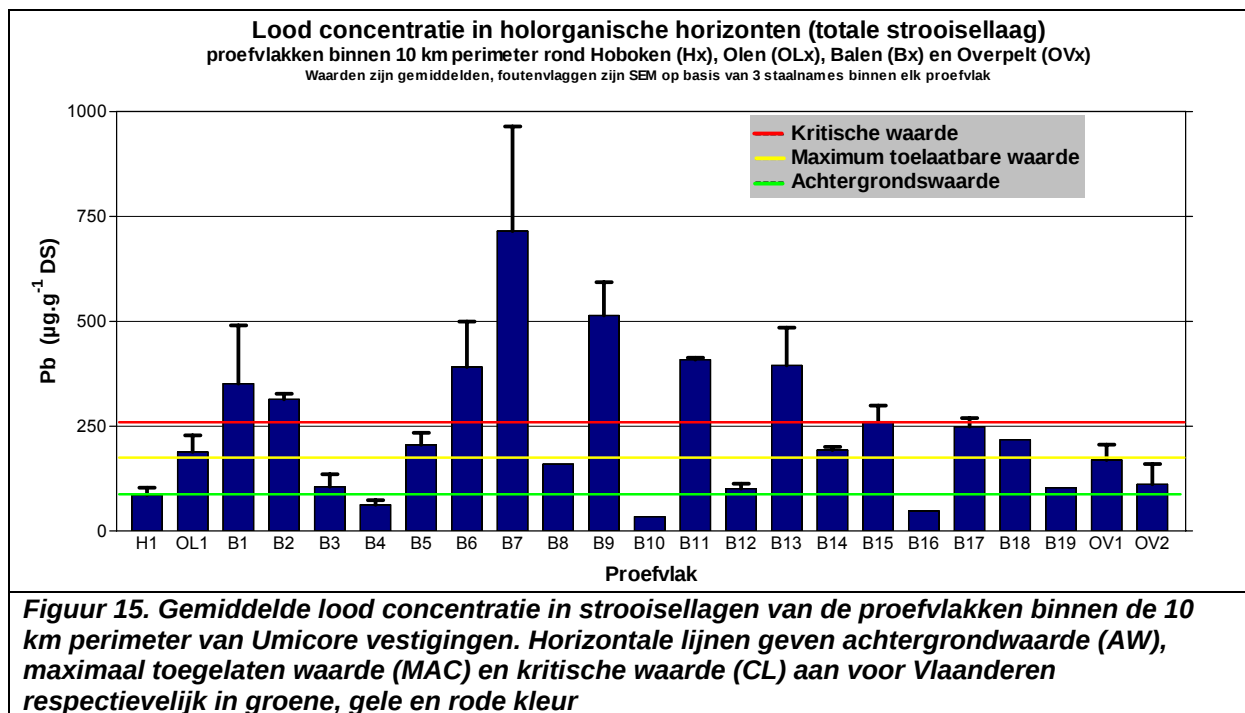


Andere proefvlakken scoren hier hogere concentraties. Ongeveer 7.6 km ten N van Olen (OL1) worden nog kritische niveaus vastgesteld net als op 22 km ten Oosten van de Olen vestiging (B1). De proefvlakken in de directe nabijheid van de Balen vestiging (B1, B2, B7, B6) vertonen ook hoge concentraties. Proefvlak B11 echter blijkt het meest verontreinigd. De concentraties in de nabijheid van de Overpelt vestiging zijn aangerijkt tot licht verontreinigd.

Koper vormt echter een specifiek probleem in de directe nabijheid van de vestiging Olen. De strooisellagen in de nabijheid van de fabriek vertonen Cu concentraties die een factor 20 hoger liggen dan de hoogste waarde uit figuur 14.

Lood

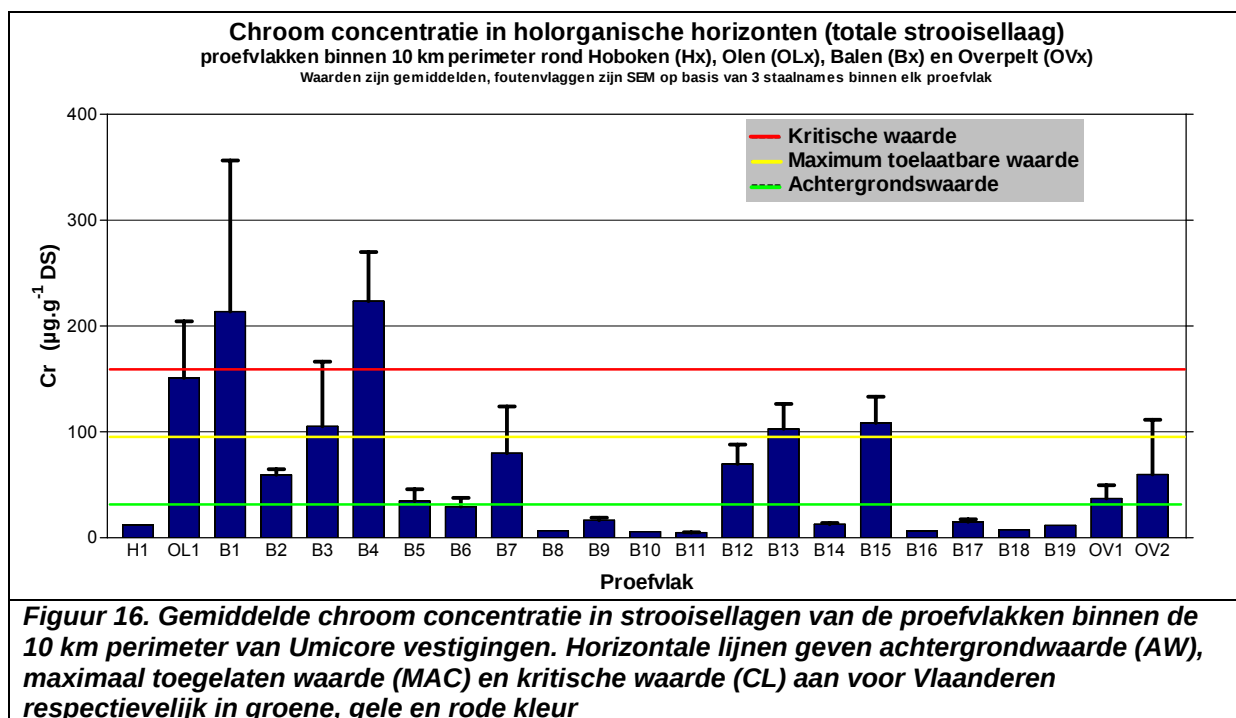
Van de 23 proefvlakken vertonen slechts 4 proefvlakken (17 %) een gemiddelde Pb concentratie onder de achtergrondswaarde; 6 proefvlakken (26 %) zijn licht aangerijkt en 13 proefvlakken (57 %) zijn verontreinigd waarvan 8 proefvlakken (35 %) boven het kritische niveau liggen (figuur 15).



Overschrijdingen van het kritische niveau zijn opnieuw vast te stellen bij de proefvlakken B1, B2, B6 en B7. De proefvlakken OV1 en OV2 liggen echter voor Pb onder de MAC waarde. Dit doet vermoeden dat het probleem zich eerder in de omgeving van Balen situeert. Het proefvlak H1 ligt ca 9 km ten westen van Hoboken. De loodconcentratie op die boslocatie is nabij de achtergrondswaarde zodat er geen aanrijkingseffect is. De bekende Hobokense loodverontreiniging reikt blijkbaar niet tot daar.

Chroom

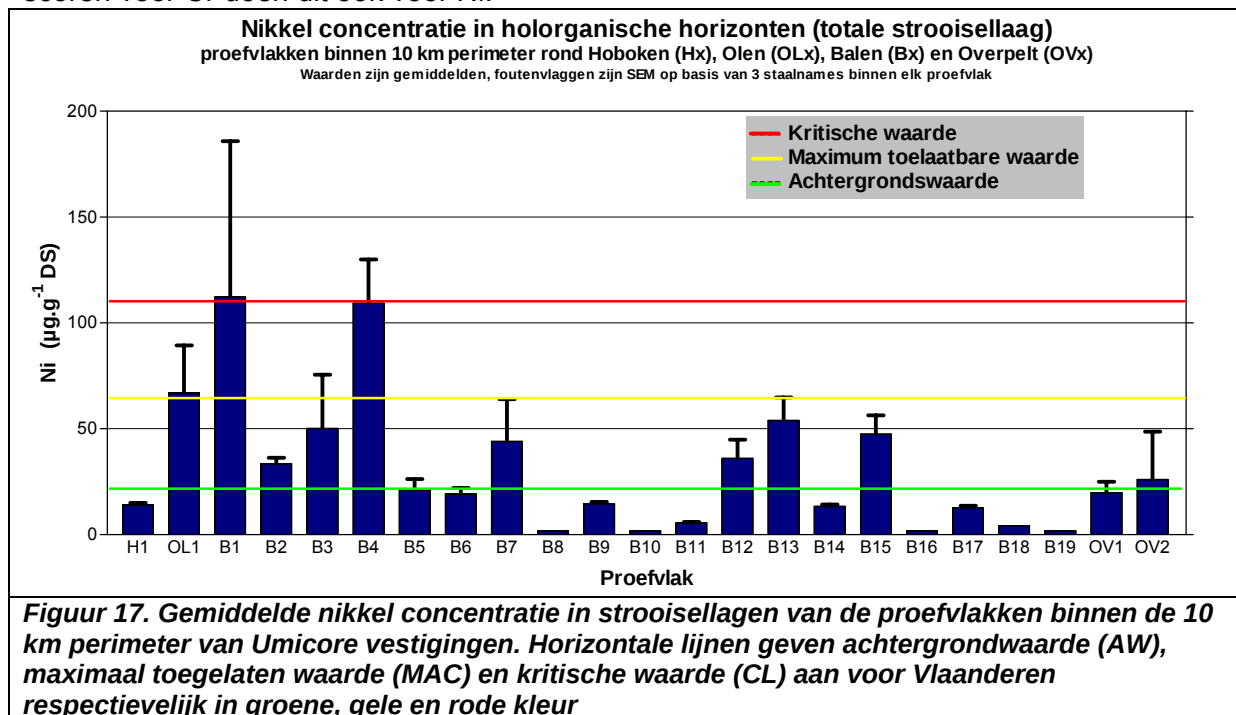
Van de 23 proefvlakken vertonen ongeveer de helft (n=11 of 48 %) een gemiddelde Cr concentratie onder de achtergrondswaarde; 6 proefvlakken (26 %) zijn licht aangerijkt en 6 proefvlakken (26 %) zijn verontreinigd waarvan slechts 2 proefvlakken (9 %) boven het kritische niveau liggen. Het concentratiepatroon komt volledig overeen met de figuur 17 voor Ni.



De chroom concentraties kunnen niet eenduidig gerelateerd worden aan bepaalde afstanden tot de fabriek. Het betreft wellicht een diffuse verontreiniging. Een mogelijke Cr aanrijking in de Kempische bossen is het gebruik van metaalslakken (tot 600 kg/ha) in de periode 1900-1960 als bodemverbeteringsmiddel.

Nikkel

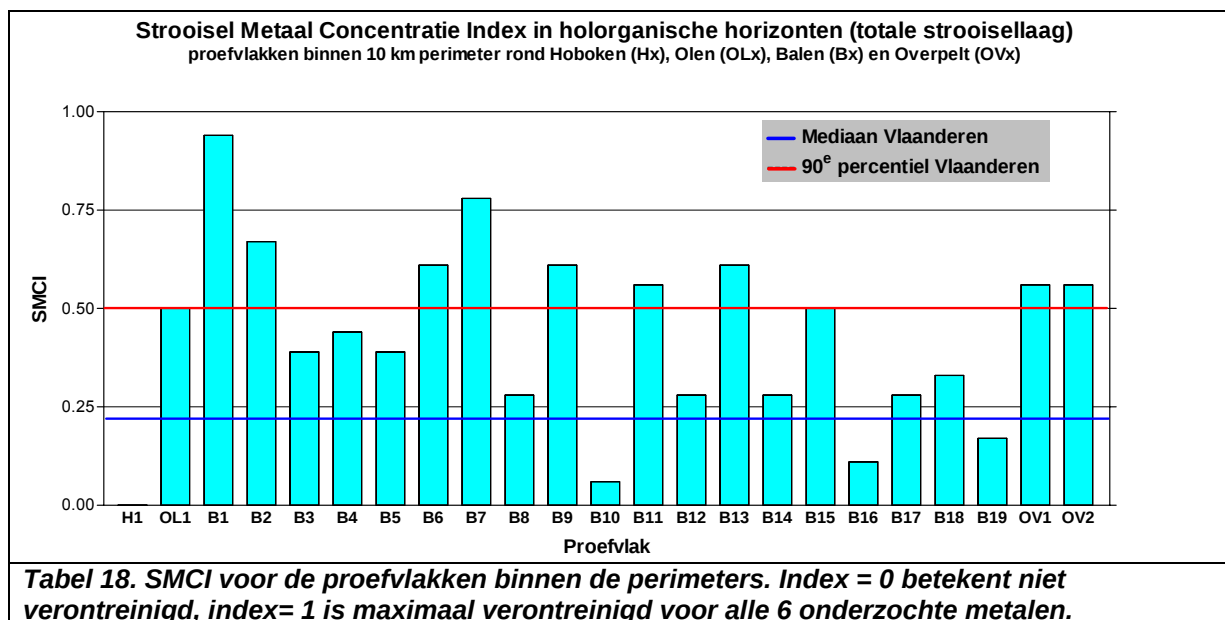
Van de 23 proefvlakken vertoont meer dan de helft (n=13 of 57 %) een gemiddelde Ni concentratie onder de achtergrondswaarde; 7 proefvlakken (30 %) zijn licht aangerijkt en 3 proefvlakken (13 %) zijn verontreinigd waarvan slechts 1 proefvlak (4 %) net boven het kritische niveau ligt en één proefvlak er net onder (figuur 17). De proefvlakken die hoog scoren voor Cr doen dit ook voor Ni.



3.1.3. Strooisel metaal concentratie index en metalenstocks

SMCI

Om een totaalbeeld van de verontreinigingsgraad van de strooisellaag te krijgen werd de SMCI berekend voor elk proefvlak (figuur 18).



De proefvlakken B1, B7 en B2 zijn qua concentratie het meest aangerijkt, terwijl de concentratie in de strooisellaag van het proefvlak H1 voor alle metalen onder de achtergrondswaarde zit en dus niet is verontreinigd. Uit bijlage V blijkt dat de hoogst scorende proefvlakken vrij dicht bij de vestiging Balen liggen: B1 op 3.6 km, B7 op 3.9 km en B2 op 4.3 km, net als OV1 (1.4 km) en OV2 (4.4 km) van de Overpelt vestiging.

Uit figuur 18 is tevens vast te stellen dat 19 van de 23 proefvlakken (83 %) een hogere SMCI hebben dan de mediaan (of het gemiddelde) voor Vlaanderen. Ongeveer de helft van de proefvlakken (n=11) liggen op of zijn hoger dan het 90^e percentiel. Dit geeft aan dat de strooisellagen binnen de perimeters aanzienlijk verontreinigd zijn in vergelijking met de strooisellagen uit de rest van het Vlaamse landsgedeelte.

POOLS

Wanneer de necromassa (droogmassa strooisel) in rekening wordt gebracht kan de totale voorraad aan metalen worden berekend (tabel 16). Wat direct in het oog springt is het grote aantal overschrijdingen van de kritische norm. Op sommige proefvlakken (B1, B7, B13 en B15) wordt voor alle metalen de kritische norm overschreden. Op deze plaatsen moet verdere aanrijking met metalen door welke activiteit ook absoluut worden vermeden.

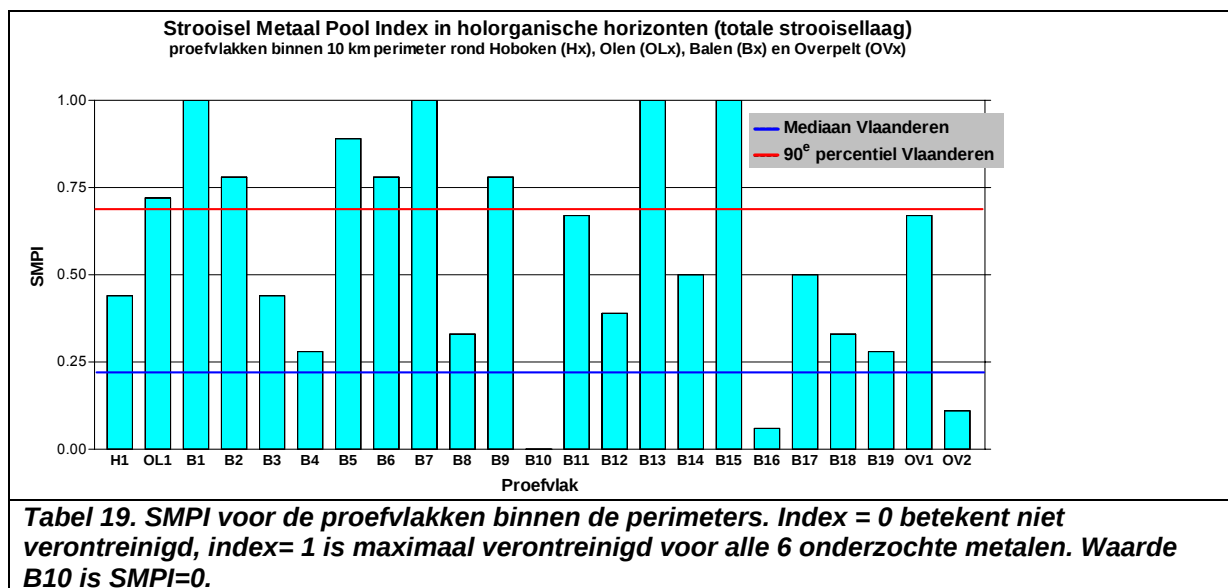
Indien deze strooisellagen grotendeels zouden mineraliseren door bijvoorbeeld ontbossing en het in cultuur brengen van deze gronden zou een aanzienlijk aandeel van de metalen vrijkomen. Een voorbeeld; de saneringsnorm voor Cd in grondwater is 5 µg per liter. Indien slechts 10% van het Cd bij mineralisatie zou vrijkomen is één vierkante meter strooisellaag op locatie B1 in staat om 1752 liter water te contamineren. Bij volledige mineralisatie, wat in het verleden ettelijke keren is gebeurd door algehele bossterfte en het ontstaan van stuifvlaktes (bvb de befaamde 'Lommelse Sahara'), is wellicht de totale zware metalenstock aanwezig in de strooisellaag uitgelooft. Vermoedelijk worden veel metalen in de diepere

bodemlagen 'gevangen' en gecomplexeerd aan klei- en humusdeeltjes, alsook aan sesquioxiden, maar dit is op basis van veldwaarnemingen nog niet sluitend aangetoond.

Tabel 16. Gemiddelde stock aan zware metalen in de strooisellagen van de proefvlakken binnen de perimeters. Vetgedrukte waarden overschrijden de kritische norm voor metalen pools voor Vlaanderen, cursief gedrukte waarden wijzen op verontreiniging (boven MAC)

Plot	Cd mg/m ²	Zn mg/m ²	Cu mg/m ²	Pb mg/m ²	Cr mg/m ²	Ni mg/m ²
H1	5.4	511	204	1094	170.3	178.8
OL1	5.5	709	572	1441	1152.3	<i>511.0</i>
B1	87.6	4442	561	3835	2333.7	1225.2
B2	43.4	3342	309	2205	417.8	235.2
B3	13.1	1042	158	572	568.9	270.6
B4	5.9	777	66	188	673.4	329.2
B5	37.4	3650	616	3454	582.4	355.9
B6	43.9	5973	368	3117	235.0	152.8
B7	93.4	7647	1109	10871	1214.9	670.0
B8	17.6	1476	131	841	36.0	12.0
B9	52.9	4836	596	5859	189.5	166.3
B10	1.8	282	16	84	13.9	0.4
B11	45.4	5029	1587	6003	71.6	82.6
B12	14.7	1095	103	620	428.1	220.7
B13	39.9	3477	573	4826	1258.1	660.3
B14	17.4	1816	233	1355	88.9	93.4
B15	26.2	3419	496	3801	1580.9	691.7
B16	4.8	421	38	163	21.5	11.0
B17	14.1	1817	216	1647	99.3	83.9
B18	14.5	1240	100	1069	36.9	20.7
B19	15.0	1139	95	744	84.4	21.9
OV1	38.1	5437	274	1288	281.8	150.2
OV2	4.4	476	21	86	46.2	20.4

Figuur 19 geeft de SMPI weer voor de 23 proefvlakken. De proefvlakken B1, B7, B13 en B15 scoren maximaal op deze index. Slechts drie proefvlakken B10, B16 en OV2 scoren lager dan de mediaan voor Vlaanderen te wijten aan een plaatselijk dun of ontbrekend strooiselpakket. Dit kan door verwijdering van de strooisellaag zijn of mineralisatie na sterke dunning/ontbossing. Negen proefvlakken (39 %) liggen boven het 90^e percentiel voor Vlaanderen.



3.1.4. Case study Olen

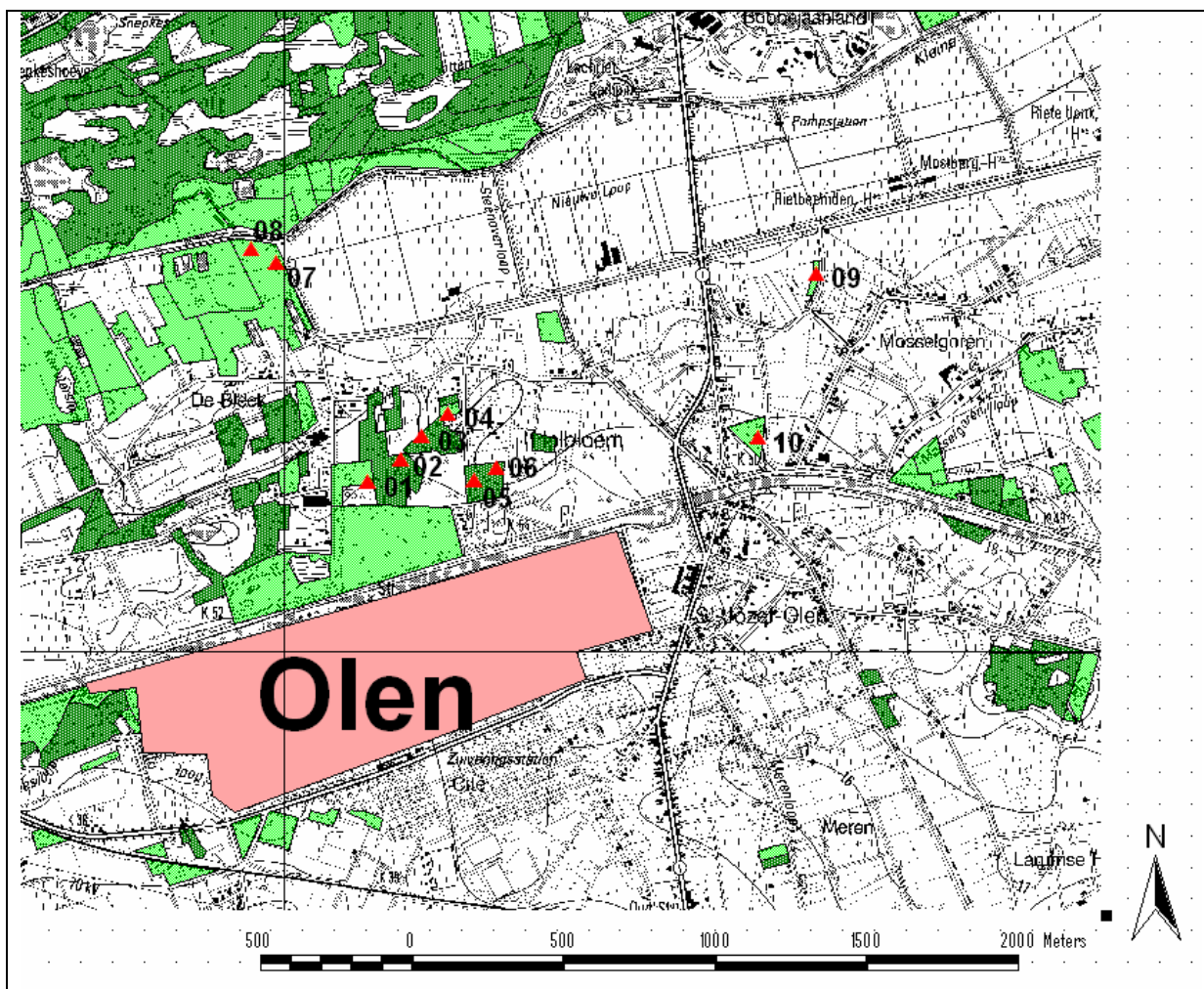
Begin 2000 werd gezamenlijk door de Afdeling Bos en Groen en de gemeente Olen advies gevraagd aan het IBW voor de bebossing van de stuifzandgronden in het gebied Heibloem (perceel Rendelaer). Dit advies werd 13.03.2000 uitgebracht (De Vos 2000 *ref IBW Bb A 2000.001*). De foto in figuur 20 geeft een beeld van de terreinsituatie.

In functie van het bebossingsadvies werden stalen genomen van het bewuste perceel en van enkele aangrenzende bosbestanden.

Na het vaststellen van uiterst hoge metaalgehalten (vooral Cu) in de strooisellagen van deze bosbestanden werd begin november 2002 door het IBW een verkennende studie uitgevoerd naar de kwaliteit van de strooisellagen in de bredere omgeving van Umicore Olen (kwadrant NO). De staalnamelocaties zijn weergegeven in figuur 21 en hun lambert-72 coördinaten staan vermeld in tabel 17. Het dichtste staalnamepunt (punt 01) ligt op ca 568 m van het bedrijf, het verste 1860 m (punt 09).



Figuur 20. Typisch bosbestand nabij perceel Rendelaer met sterk Cu-aangerijkte strooisellaag in de nabijheid van Umicore Olen. Het uitzicht van de voormalige stuifvlakte is te zien op de voorgrond (humusarme zandige bodem met *Mollinia* (pijpestrootje) en mossen).



Figuur 21. Locaties strooiselstaalname (01 tot 10) ten Noorden en NO van de Umicore vestiging te Olen. Lichtgroene percelen zijn loofbos, donkergroen naaldbout.

Van de zeven zware metalen die werden onderzocht komen er vier voor met waarnemingen boven het kritische niveau (CL): koper (3 tot 55 x CL), cobalt (1 tot 8 CL), cadmium (2 tot 3 x CL) en lood (0 tot 2 x CL). Vooral het kopergehalte betekent een immense overschrijding met waarden tot 162 x de achtergrondwaarde (figuur 22).

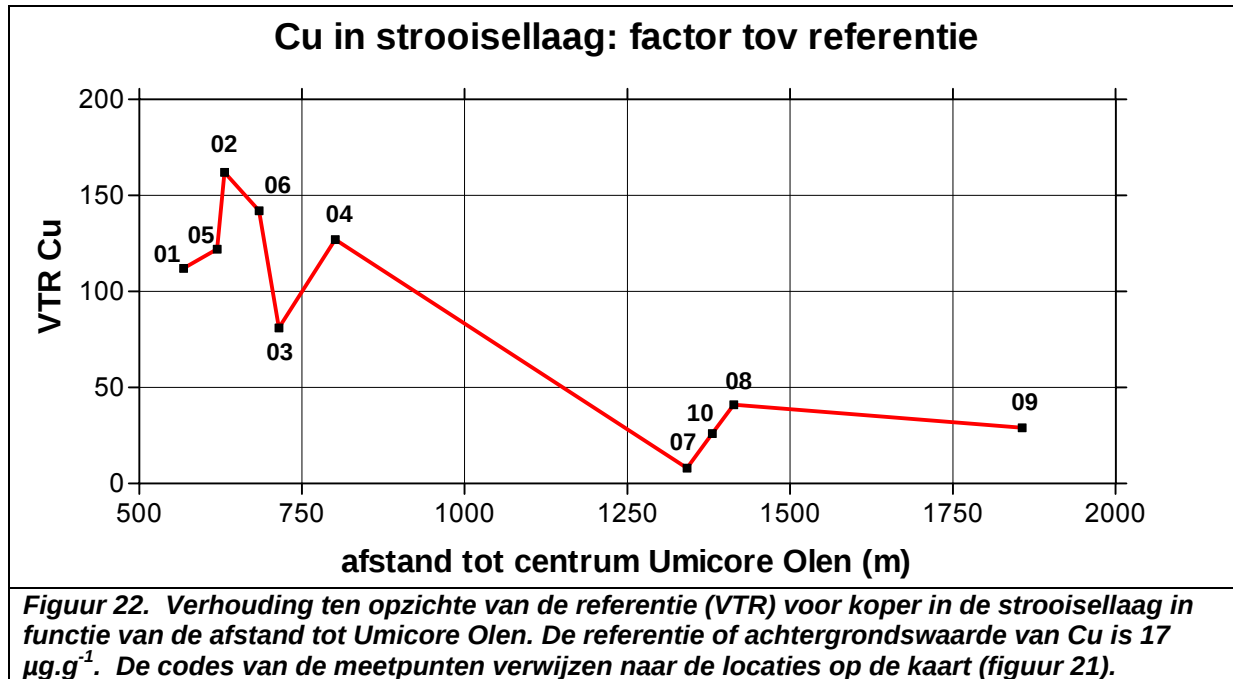
Tabel 17. Strooiselanalyses van 7 zware metalen in Loofhout (LH) en Naaldbout (NH) bestanden ten Noord-Oosten van de Umicore vestiging te Olen. Lambert72 coördinaten (X,Y) geven de staalnamelocatie aan.

Strooisel staalnr	TYPE	LB72_X (m)	LB72_Y (m)	Cu ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cr ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Zn ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	Co ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
01	LH	186297	208735	1901	10.8	241	96.1	104	1.89	106
02	NH	186405	208807	2748	15.0	417	67.7	140	2.17	230
03	NH	186476	208886	1373	9.7	220	38.3	131	1.43	107
04	LH	186561	208960	2164	< 3.5	400	59.6	224	2.25	161
05	NH	186649	208742	2066	16.0	501	56.6	95	1.28	149
06	NH	186720	208779	2420	18.7	636	75.9	111	1.60	394
07	LH	185996	209456	140	7.8	29.8	11.6	277	1.68	34
08	LH	185913	209504	690	9.5	201	20.8	133	1.72	53
09	LH	187774	209421	496	20.8	330	39.6	243	1.39	133
10	LH	187583	208882	448	10.2	136	23.0	147	1.47	178

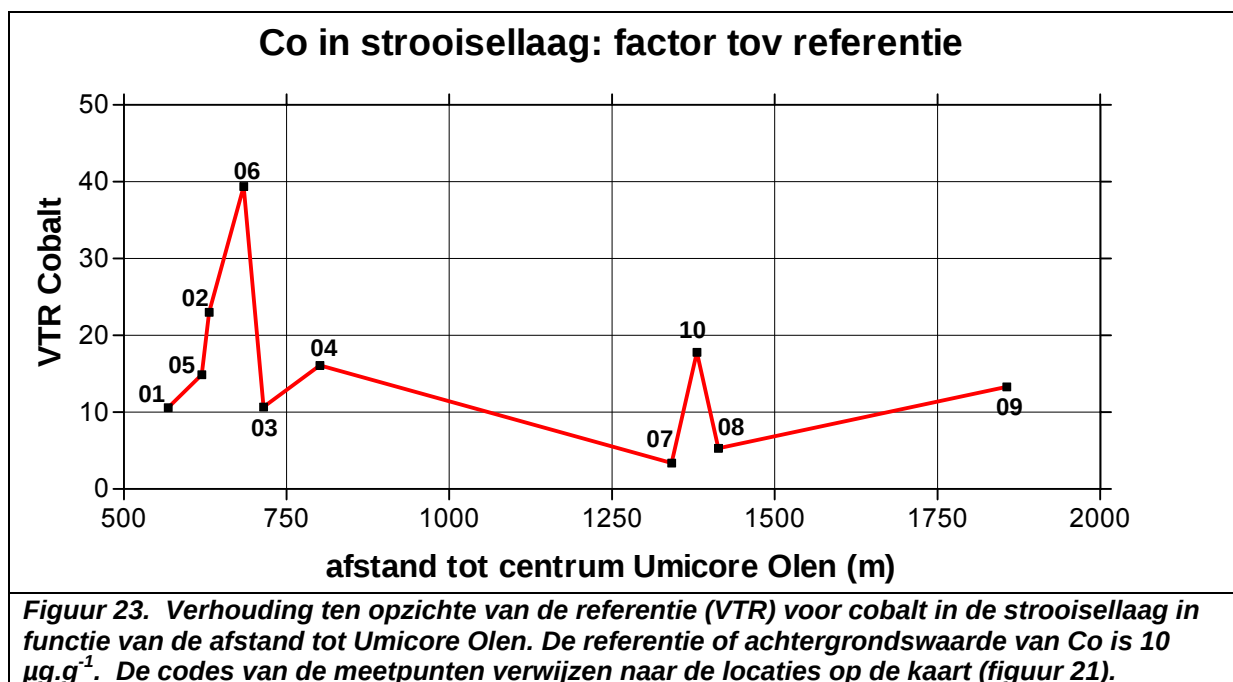
Dit metaal overschrijdt in alle meetlocaties (01-10) de kritische waarde. Dit is ook nog het geval ($75 \mu\text{g.g}^{-1}$) op 7.6 km ten N van Olen (figuur 14).

Er is bovendien een duidelijke gradiënt waarneembaar met de afstand tot de Umicore fabriek Olen. Verder dan een 1 km verwijderd van het fabriekscentrum bedraagt het Cu gehalte in het bosstrooisel minder dan $700 \mu\text{g.g}^{-1}$, terwijl binnen 1 km driemaal hogere waarden werden waargenomen.

Op de verste meetlocatie (punt 09) wordt nog steeds het kritische niveau 10 x overschreden (29 x achtergrondwaarde).



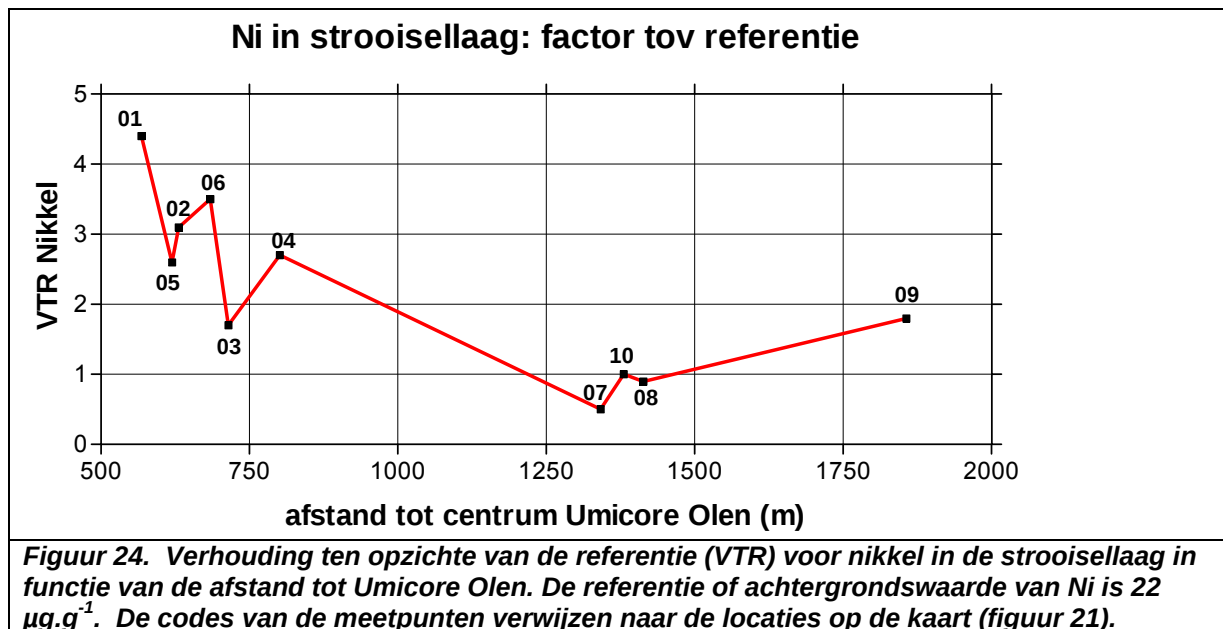
Het metaal cobalt werd enkel in de case study te Olen onderzocht. Een referentiewaarde voor strooisellagen in Vlaanderen is niet bekend. Uit de literatuur wordt voor strooisellagen in bossen ca $10 \mu\text{g.g}^{-1}$ opgegeven (Craul 1992, Kabata-Pendias 2001) en dit is als referentiewaarde aangenomen.



Uit figuur 23 blijkt dat binnen een afstand van 1 km de cobalt concentratie een factor 10 hoger ligt dan de hypothetische referentiewaarde. De cobaltconcentratie is iets lager op de

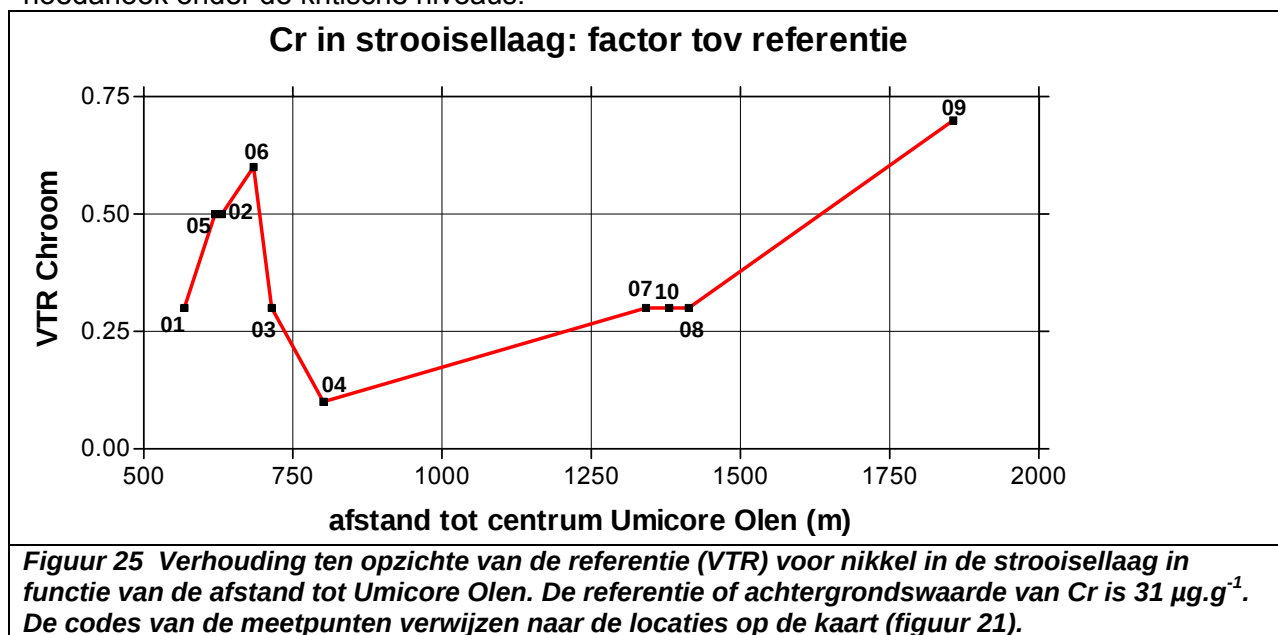
meetpunten 07 en 08 die ten noorden van Olen liggen. Op de overige locaties wordt meer dan $100 \mu\text{g.g}^{-1}$ Co aangetroffen binnen het onderzochte gebied. Het Co gehalte in de minerale bodem aldaar is niet bekend.

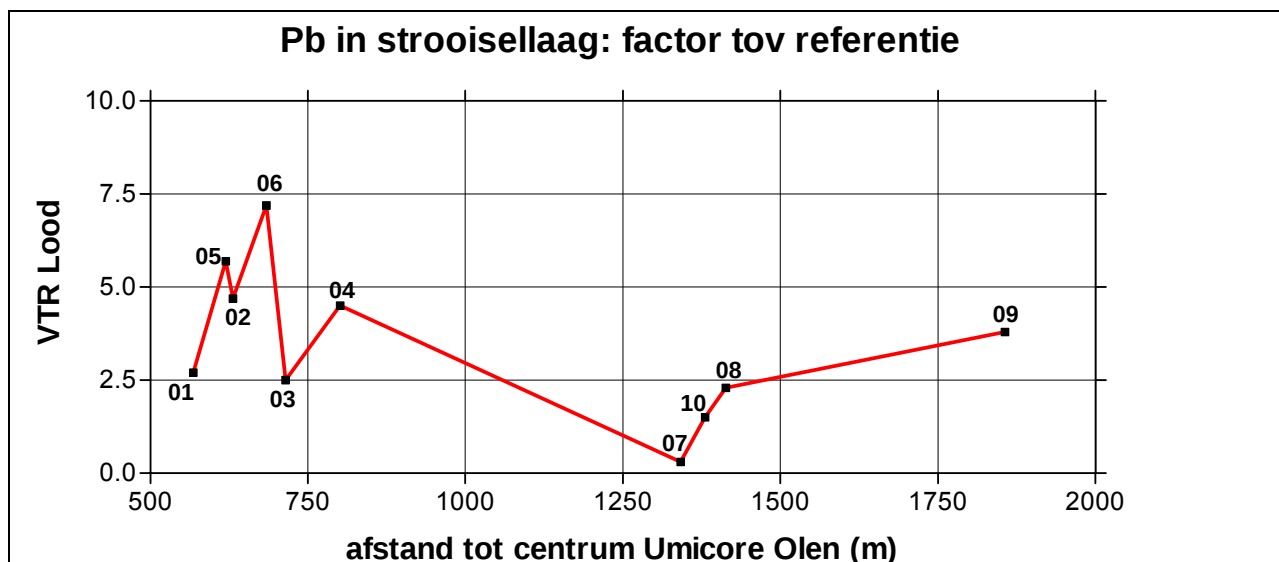
De nikkel concentratie (figuur 24) vertoont een duidelijke aanrijking in de nabijheid van de fabriek (een factor 1.5 tot 4.5 hoger dan de referentie). De proefvlakken 07,10 en 08 hebben een Ni concentratie rond de referentiewaarde. Dus op basis van deze beperkte gegevens is aan te nemen dat wellicht de Ni concentratie verder dan 1 km van de fabriek genormaliseerd is in de strooisellagen.



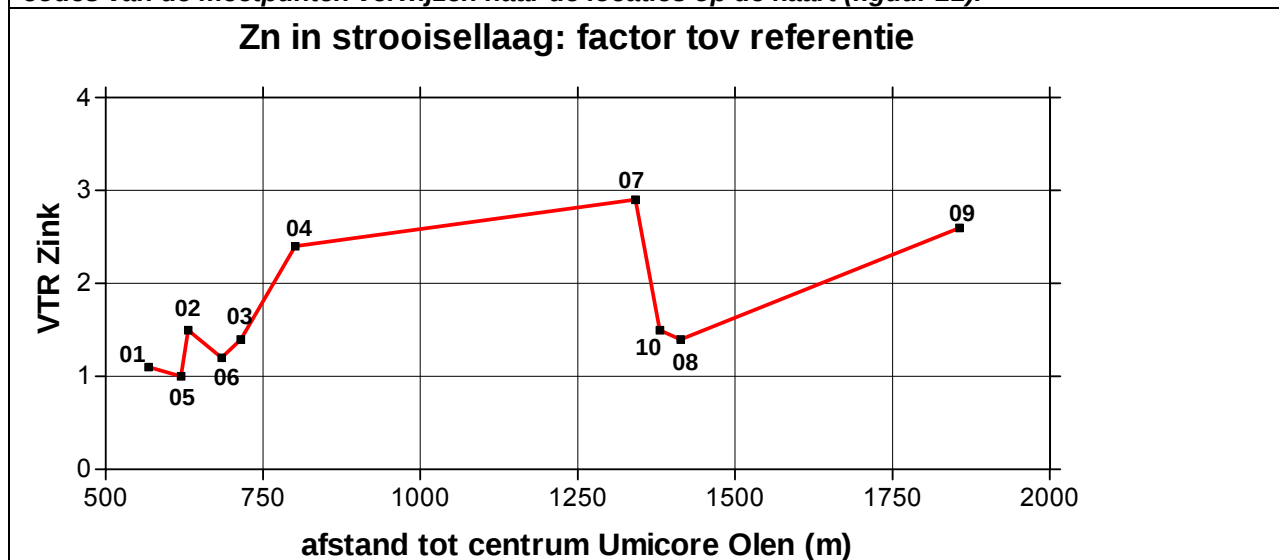
Opmerkelijk is dat het Cr gehalte, meestal goed gecorreleerd met Ni in Vlaamse strooisellagen, in deze case study niet hetzelfde patroon volgt. De waarnemingen voor Chroom zitten allen onder de referentiewaarden (figuur 25). Dit doet vermoeden dat totaal geen chroom aanrijking aan de orde is in de nabijheid van Olen.

Lood daarentegen (figuur 26) vertoont wel een duidelijke aanrijking ten opzichte van de referentie met factoren variërend van 2.5 tot 7.5 x de achtergrondswaarde. Een eenduidig verband in functie van de afstand tot de fabriek is twijfelachtig. Dit is nog minder duidelijk voor de metalen zink (figuur 27) en cadmium (figuur 28). Vooral voor Zn lijkt de concentratie toe te nemen met de afstand tot de fabriek wat aangeeft dat de oorsprong van de Zn verontreiniging buiten Olen moet gezocht worden. De concentraties van Zn en Cd blijven hoedanook onder de kritische niveaus.

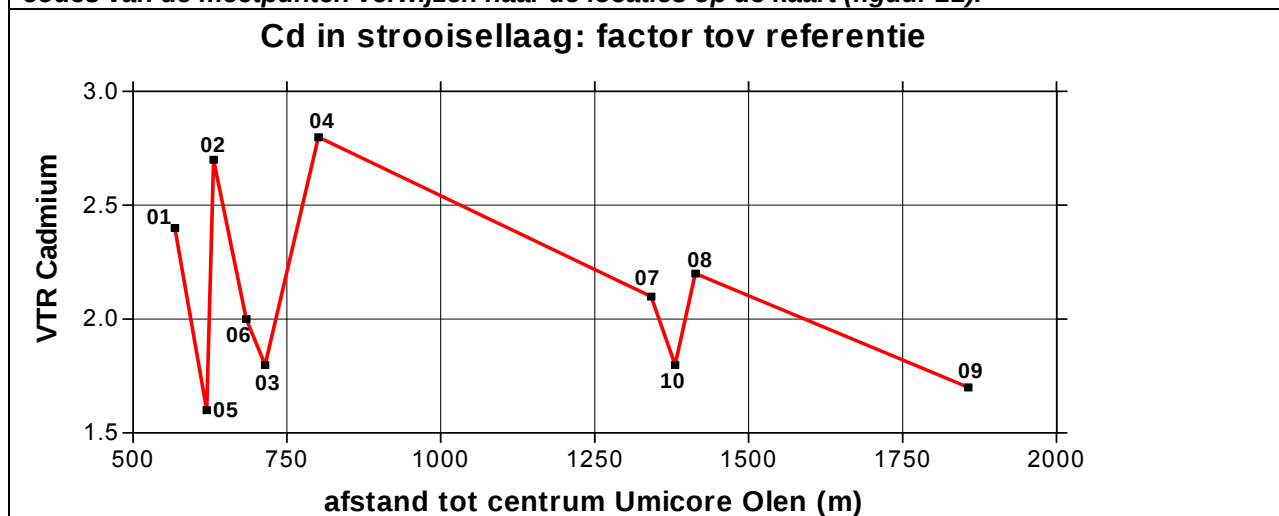




Figuur 26. Verhouding ten opzichte van de referentie (VTR) voor lood in de strooisellaag in functie van de afstand tot Umicore Olen. De referentie of achtergrondswaarde van Pb is $88 \mu\text{g.g}^{-1}$. De codes van de meetpunten verwijzen naar de locaties op de kaart (figuur 21).



Figuur 27. Verhouding ten opzichte van de referentie (VTR) voor zink in de strooisellaag in functie van de afstand tot Umicore Olen. De referentie of achtergrondswaarde van Zn is $95 \mu\text{g.g}^{-1}$. De codes van de meetpunten verwijzen naar de locaties op de kaart (figuur 21).

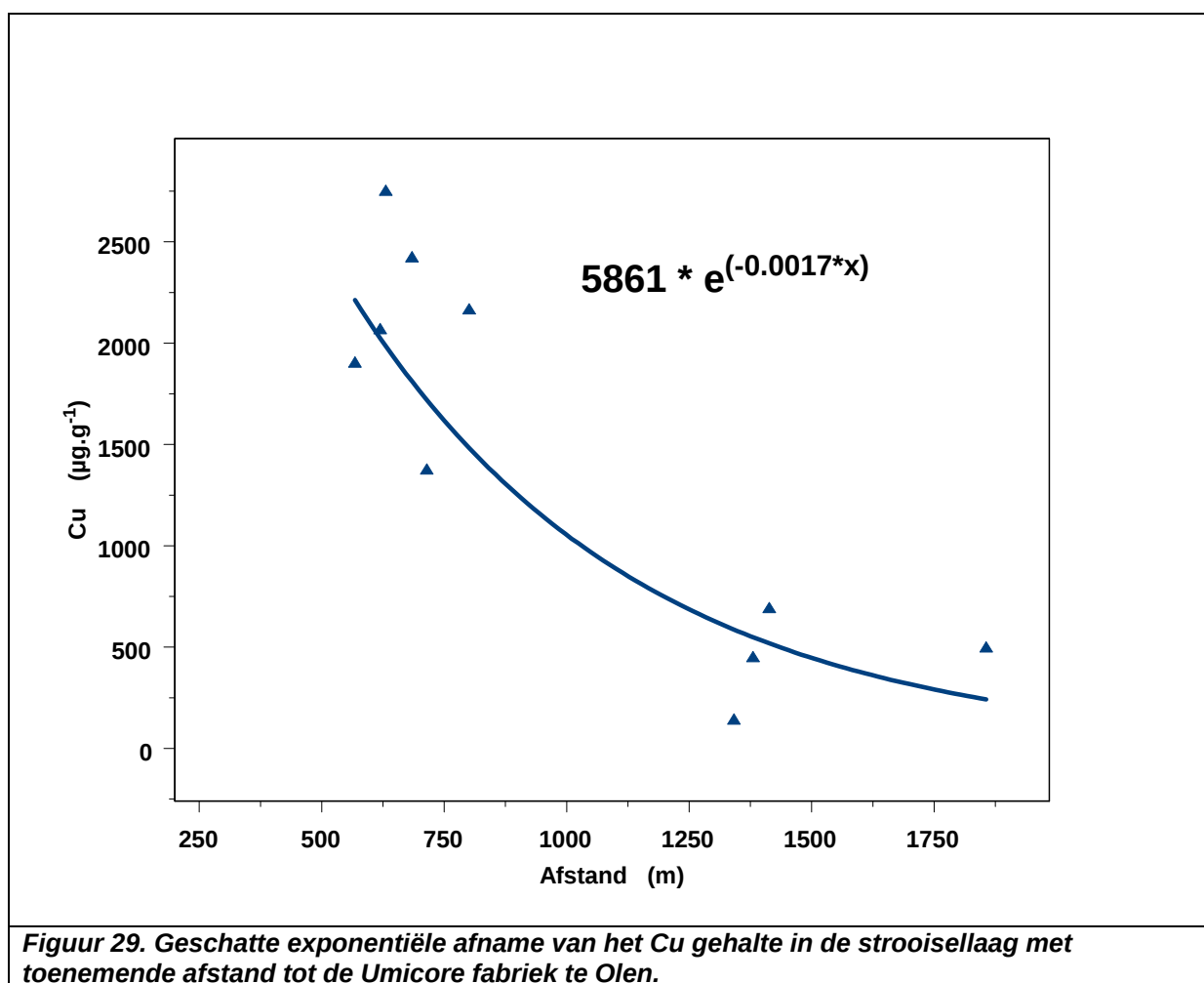


Figuur 28. Verhouding ten opzichte van de referentie (VTR) voor cadmium in de strooisellaag in functie van de afstand tot Umicore Olen. De referentie of achtergrondswaarde van Cd is $0.8 \mu\text{g.g}^{-1}$. De codes van de meetpunten verwijzen naar de locaties op de kaart (figuur 21).

Van alle onderzochte metalen in deze case study blijken dus vooral Cu, Co en Ni verontrustende waarden aan te nemen. Vooral voor koper is de verontreiniging het meest markant. Aangenomen dat op alle meetlocaties de Cu verontreiniging via luchtpollutie in de strooisellaag is terecht gekomen is de exponentiele afname tevens vrij sterk (figuur 29).

De metalen Cu en Ni nemen het meest af met de afstand en zijn dus hoogstwaarschijnlijk rechtstreeks van de vestiging Olen afkomstig. Zink en chroom zijn positief gecorreleerd (tabel 18) met toenemende afstand en zijn wellicht niet van de Olen vestiging afkomstig. Cu is naast Ni ook sterk gecorreleerd met Pb en lood op zijn beurt met cobalt.

De lage correlatie tussen Cd en Zn is tegenstrijdig met wat meestal wordt waargenomen, net als de lage correlatie tussen Ni en Cr. Dit is mogelijks te verklaren door specifieke aanrijking van Ni en in mindere mate Cd.



Tabel 18. Correlatiematrix van 7 zware metalen in het bosstrooisel nabij Umicore Olen. Correlatiewaarden boven 0.70 zijn in vet aangegeven.

	Afstand	Cu	Cr	Pb	Ni	Zn	Cd	Co
Afstand	1.00							
Cu	-0.86	1.00						
Cr	0.12	0.13	1.00					
Pb	-0.50	0.79	0.50	1.00				
Ni	-0.73	0.84	0.23	0.65	1.00			
Zn	0.62	-0.54	-0.26	-0.42	-0.51	1.00		
Cd	-0.33	0.47	-0.51	0.07	0.37	0.16	1.00	
Co	-0.39	0.63	0.47	0.80	0.53	-0.37	0.08	1.00

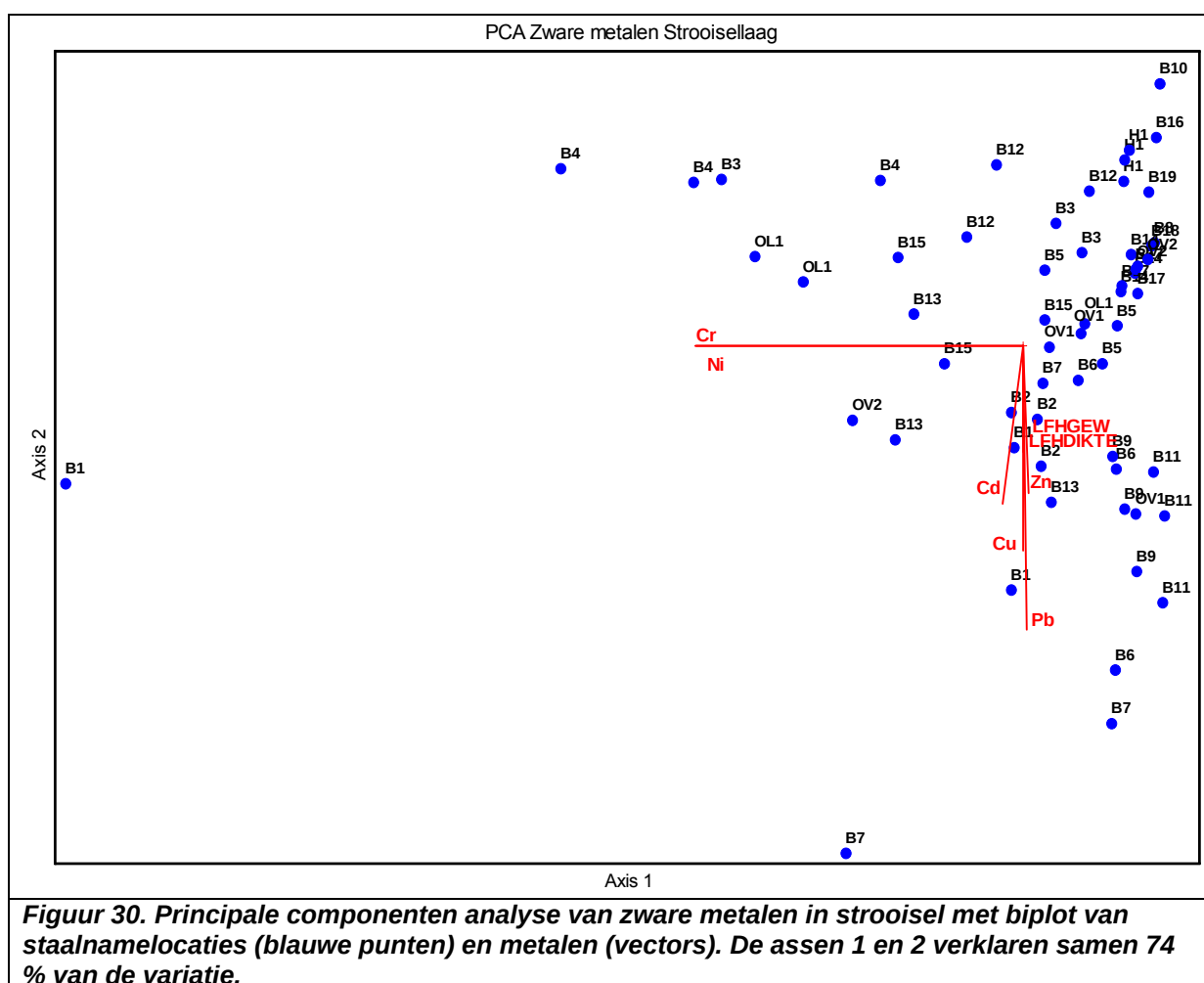
3.1.5. Multidimensionele analyse van de metalen in de strooisellaag

Naast het belichten van de zware metalen afzonderlijk is het belangrijk een totaalbeeld te krijgen van de proefvlakgebonden assortimenten aan metalen. Daartoe is een principale componenten analyse (PCA) een geëigende techniek (zie ook Hfdst 2.4.1.).

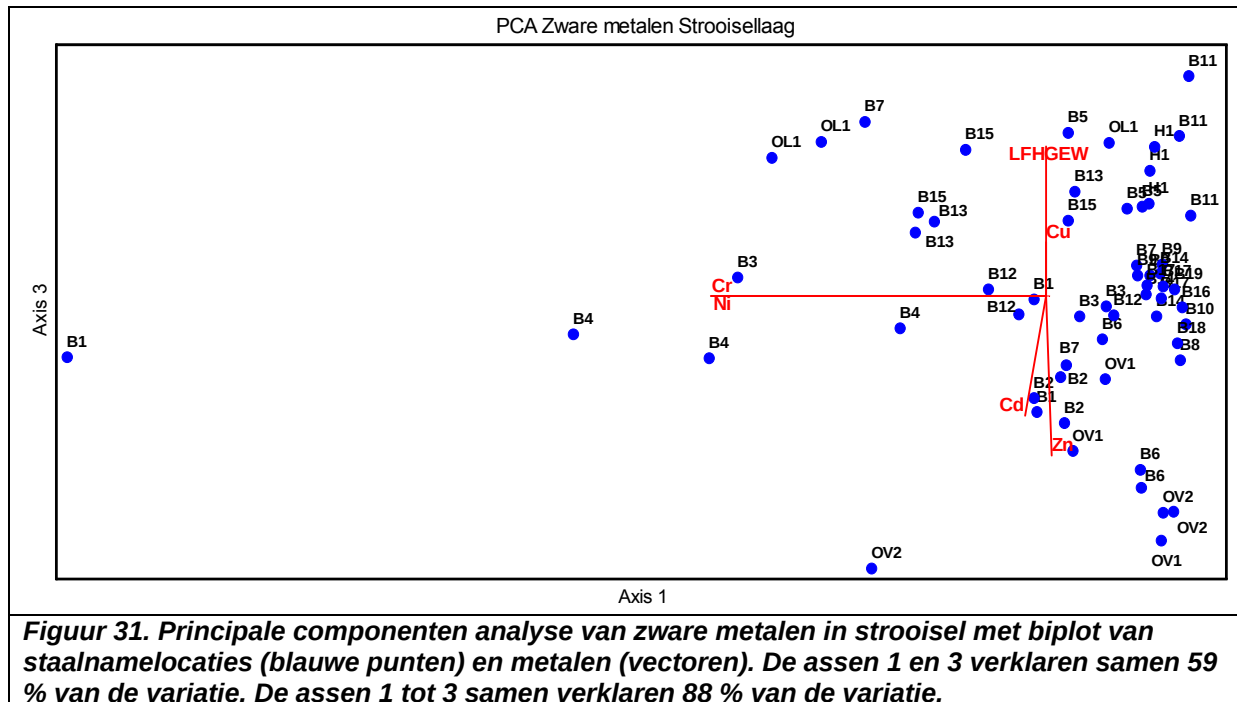
Figuur 30 geeft de PCA weer met in de multidimensionele ruimte gevormd door de concentraties van de 6 zware metalen de ordinatie van de staalnames binnen de 23 proefvlakken. Voor de meeste proefvlakken zijn dus 3 strooiselstalen gepositioneerd (bvb 3 x staal B4).

De eerste as wordt vooral gevormd door de metalen Cr en Ni (eigenvectoren -0.71 en 0.69 respectievelijk), die onderling sterk gecorreleerd zijn maar onafhankelijk staan van de andere metalen. Tot de tweede as van de PCA wordt vooral bijgedragen door Pb en Cu (eigenvectoren 0.62 en 0.45). Voor de derde as zijn dit de metalen Cd en Zn (eigenvectoren -0.50 en -0.58) en het strooiselgewicht (0.48).

Dit geeft aan dat de metalen Cu en Pb enerzijds, en Cd en Zn anderzijds gecorreleerd zijn.



Volgens de as 3 (figuur 31) is het strooiselgewicht omgekeerd evenredig met de Cd en Zn concentratie in het strooisel. Een hogere Zn en Cd **concentratie** zou dus samengaan met een relatief dunnere strooisellaag. Meer Cu en Pb zouden volgens de tweede as echter aanleiding geven tot dikkere strooisellagen. Dit suggereert dat Cu meer impact zou kunnen hebben op de dikte van de strooisellaag (afbraaksnelheid) dan Zn, Cd, Pb, Cr en Ni.



Slechts één staal van proefvlak B1 heeft een heel hoge Ni en Cr concentratie. De andere B1 stalen hebben dit niet. Wellicht gaat het hier om een zeer locatiespecifieke contaminatie (drankblikje, schroot, metaalslak ...) dit in tegen stelling tot de 3 stalen van B4 die meer systematisch een Ni & Cr aanrijking vertonen.

De PCA in figuur 31 geeft ook goed aan dat vooral de stalen nabij Overpelt (OV1,OV2) en Balen (vooral B6 en B2) zich vooral onderscheiden door het hoge Cd en Zn gehalte. De Olen stalen (OL1) liggen dan vooral aan de andere kant van component 3 vooral bepaald door het metaal Cu en een toenemend strooiselgewicht (LFHGEW).

3.2. Zware metalen in de minerale bosbodem

3.2.1. Algemene analyse

Naast de analyse van de strooisellaag is uiteraard ook de analyse van de minerale bodem een belangrijk gegeven. Deze resultaten zijn vergelijkbaar met de bodemgegevens onder ander landgebruik en zijn af te toetsen aan de wettelijke bodemnormeringen voor verontreiniging. In bijlage III zijn alle resultaten weergegeven van de analyses binnen de 23 proefvlakken.

De verdeling van de zware metalen met de diepte is per bodemhorizont weergegeven in tabel 19. Hieruit blijkt dat binnen de perimeters (cat 1 & 2) vooral de A horizont (Hor 1) is aangerijkt terwijl de onderliggende horizonten lage concentraties vertonen. Dit in tegenstelling tot het referentiegebied buiten de perimeters (cat 3 & 4) waar ook hoge waarden worden vastgesteld in subhorizonten. Meestal gaat het in deze gevallen om andere bodemverontreiniging dan deze te wijten aan depositie vanuit de lucht. Voor cadmium liggen de concentraties in de subhorizonten vaak onder de quantificatielimiet ($< 0.5 \mu\text{g.g}^{-1}$) en de facto onder de achtergrondswaarde ($< 0.8 \mu\text{g.g}^{-1}$).

Tabel 19. Minimum-maximum range van de metaalgehalten ($\mu\text{g.g}^{-1}$) in functie van de relatieve horizontsequentie (Hor 1 = bovenste horizont) van de bodems binnen de 23 proefvlakken (cat 1 en 2)

Metaal	Categorie	Hor 1	Hor 2	Hor 3	Hor 4
Cd	1	$< 0.50 - 4.34$	< 0.50	$< 0.50 - 0.65$	< 0.50
	2	$< 0.50 - 0.79$	$< 0.50 - 0.62$	< 0.50	< 0.50
	3	$< 0.50 - 9.74$	$< 0.50 - 17.20$	$< 0.50 - 3.09$	$< 0.50 - 14.06$
	4	$< 0.50 - 2.31$	$< 0.50 - 0.89$	$< 0.50 - 1.25$	$< 0.50 - 1.01$
Zn	1	$7.1 - 600.0$	$< 5.0 - 20.6$	$7.6 - 40.3$	$< 5.0 - 18.7$
	2	$< 5.0 - 95.8$	$< 5.0 - 38.1$	$< 5.0 - 25.5$	$< 5.0 - 32.2$
	3	$< 5.0 - 216.4$	$< 5.0 - 802.8$	$< 5.0 - 114.9$	$< 5.0 - 1693$
	4	$< 5.0 - 189.3$	$< 5.0 - 140.3$	$< 5.0 - 183.8$	$< 5.0 - 156.6$
Cu	1	$< 2.50 - 54.46$	$< 2.50 - 8.56$	$< 2.50 - 13.4$	$< 2.50 - 4.65$
	2	$< 2.50 - 18.21$	$< 2.50 - 14.85$	$< 2.50 - 10.27$	$< 2.50 - 3.32$
	3	$< 2.50 - 203.1$	$< 2.50 - 500.2$	$< 2.50 - 21.02$	$< 2.50 - 199.4$
	4	$< 2.50 - 58.64$	$< 2.50 - 50.34$	$< 2.50 - 85.80$	$< 2.50 - 352.9$
Pb	1	$2.97 - 326.5$	$< 2.50 - 96.2$	$< 2.50 - 22.9$	$< 2.50 - 15.1$
	2	$< 2.50 - 181.8$	$< 2.50 - 76.1$	$< 2.50 - 32.4$	$< 2.50 - 21.4$
	3	$< 2.50 - 1422$	$< 2.50 - 648$	$< 2.50 - 71.2$	$< 2.50 - 277$
	4	$< 2.50 - 1357$	$< 2.50 - 176.6$	$< 2.50 - 75.7$	$< 2.50 - 73.2$
Cr	1	$6.7 - 382.2$	$4.82 - 24.97$	$7.38 - 44.90$	$4.14 - 40.90$
	2	$< 2.5 - 20.10$	$< 2.5 - 77.61$	$< 2.5 - 17.57$	$< 2.5 - 12.64$
	3	$< 2.5 - 590.6$	$< 2.5 - 77.79$	$< 2.5 - 243.68$	$< 2.5 - 1492$
	4	$< 2.5 - 235.8$	$< 2.5 - 107.2$	$< 2.5 - 119.06$	$< 2.5 - 123.9$
Ni	1	$< 5.0 - 156.8$	$< 5.0 - 5.82$	$< 5.0 - 15.42$	$< 5.0 - 15.87$
	2	< 5.0	$< 5.0 - 35.6$	$< 5.0 - 5.48$	$< 5.0 - 5.52$
	3	$< 5.0 - 316.3$	$< 5.0 - 39.14$	$< 5.0 - 25.84$	$< 5.0 - 33.03$
	4	$< 5.0 - 115.4$	$< 5.0 - 43.88$	$< 5.0 - 185.39$	$< 5.0 - 47.93$

Waarden < 2.5 slaat op waarden onder een quantificatielimiet van $2.5 \mu\text{g.g}^{-1}$

Uit bijlage III blijkt tevens dat in de diepere horizonten nergens de bodemsaneringsnorm wordt overschreden en dat in het algemeen de metaalconcentraties van de diepere horizonten onder de achtergrondswaarde liggen (groene kleur in Bijlage III).

Dit maakt dat hierna uitsluitend de bovenste horizont wordt beschouwd.

Inzake de cadmium concentratie van de A horizont is enkel een aanrijking vast te stellen voor de proefvlakken binnen gebiedscategorie 1 (tabel 20). In de andere categorieën ligt de mediaan en (voor cat 2 en 4) zelfs de P90 waarde onder de quantificatielimiet. Het is dus

voor bosbodems in Vlaanderen een vrij uitzonderlijke zaak om hoog te scoren inzake Cd. Dit gebeurt klaarblijkelijk wel in gebiedscategorie 1.

Tabel 20. 10-90^e percentielbereik en mediaan van Cd gehalten in de A minerale horizont binnen de 4 gebiedscategoriën

Categorie	P10 - P90* range	Mediaan Cd** ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	< 0.50 - 3.32	0.61 ^a
2	< 0.50	< 0.50 ^b
3	< 0.50 - 0.83	< 0.50 ^b
4	< 0.50	< 0.50 ^b

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Withney test

Voor het metaal Zn verschillen de stalen uit categorie 1 significant met deze uit cat 2 & 3 en cat 4. De Zn concentraties van de bosbodem buiten Natura 2000 gebied maar binnen de perimeter verschillen niet significant met deze voor de provincies Antwerpen en Limburg. Voor de andere provincies is de mediaan zelfs hoger, vooral te wijten aan rijkere bodems.

Tabel 21. 10-90^e percentielbereik en mediaan van Zn gehalten in de A minerale horizont binnen de 4 gebiedscategoriën

Categorie	P10 - P90* range	Mediaan Zn** ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	9.0 – 445.4	53.0 ^a
2	7.2 – 30.5	14.0 ^b
3	< 5.0 – 63.1	12.4 ^b
4	8.9 – 80.6	39.4 ^c

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Withney test

Voor koper (tabel 22) verschillen de mediaanwaarden significant per gebiedscategorie. Cat 1 vertoont opnieuw de hoogste concentraties, gevolgd door cat 4, 3 en 2. Cat 1 scoort inzake mediaan en P90 waarde dubbel zo hoog als in de referentiegebieden, terwijl cat 2 inzake P90 en mediaan ruwweg slechts de helft is van de waarden in de referentiegebieden.

Tabel 22. 10-90^e percentielbereik en mediaan van Cu gehalten in de A minerale horizont binnen de 4 gebiedscategoriën

Categorie	P10-P90* range	Mediaan Cu** ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
1	< 2.50 – 39.07	14.83 ^a
2	< 2.50 – 7.32	1.25 ^b
3	< 2.50 – 19.51	3.18 ^c
4	< 2.50 – 14.81	6.93 ^d

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Withney test

Net als voor Cu is ook voor lood (tabel 23) de hoogste en laagste mediaanwaarde gelegen in de respectievelijke categorieën 1 en 2. De hoogste mediaan en P90 waarde in cat 1 is volgens de Mann-Withney test niet significant verschillend van cat 4. Dit is weliswaar nipt met een p-waarde van 0.056. Categorieën 2 en 3 verschillen onderling niet significant. Op basis van de onderzochte proefvlakken kan niet worden gesteld dat er een hogere Pb concentratie aanwezig is binnen de perimeters. Dit is ook de conclusie voor Cr (tabel 24) en Ni (tabel 25).

Tabel 23. 10-90^e percentielbereik en mediaan van Pb gehalten in de A minerale horizont binnen de 4 gebiedscategoriën

Categorie	P10-P90* range	Mediaan Pb** ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	6.72 – 187.6	109.3 ^a
2	< 2.50 – 42.8	15.7 ^b
3	4.75 – 111.9	21.5 ^b
4	12.5 -120.3	38.6 ^a

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Withney test

Het chroom gehalte blijkt niet significant te verschillen tussen cat 1 en cat 4, maar is in gebiedscategorie 1 wel hoger dan de mediaan die normaal in de Kempen wordt gevonden. In cat 2 is het dan weer lager dan de referentiewaarden uit cat 3 en 4. Ditzelfde geldt voor nikkel.

Voor Cr en Ni kan dus niet duidelijk worden aangetoond dat de waarnemingen van de concentraties in de minerale A horizont hoger liggen binnen de perimeters dan erbuiten.

Tabel 24. 10-90^e percentielbereik en mediaan van Cr gehalten in de A minerale horizont binnen de 4 gebiedscategoriën

Categorie	P10-P90* range	Mediaan Cr** ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	8.9 – 229.7	16.5 ^a
2	< 2.5 – 12.5	6.4 ^b
3	2.5 – 31.0	9.2 ^c
4	10.1 – 50.5	24.7 ^a

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Withney test

Tabel 25. 10-90^e percentielbereik en mediaan van Ni gehalten in de A minerale horizont binnen de 4 gebiedscategoriën

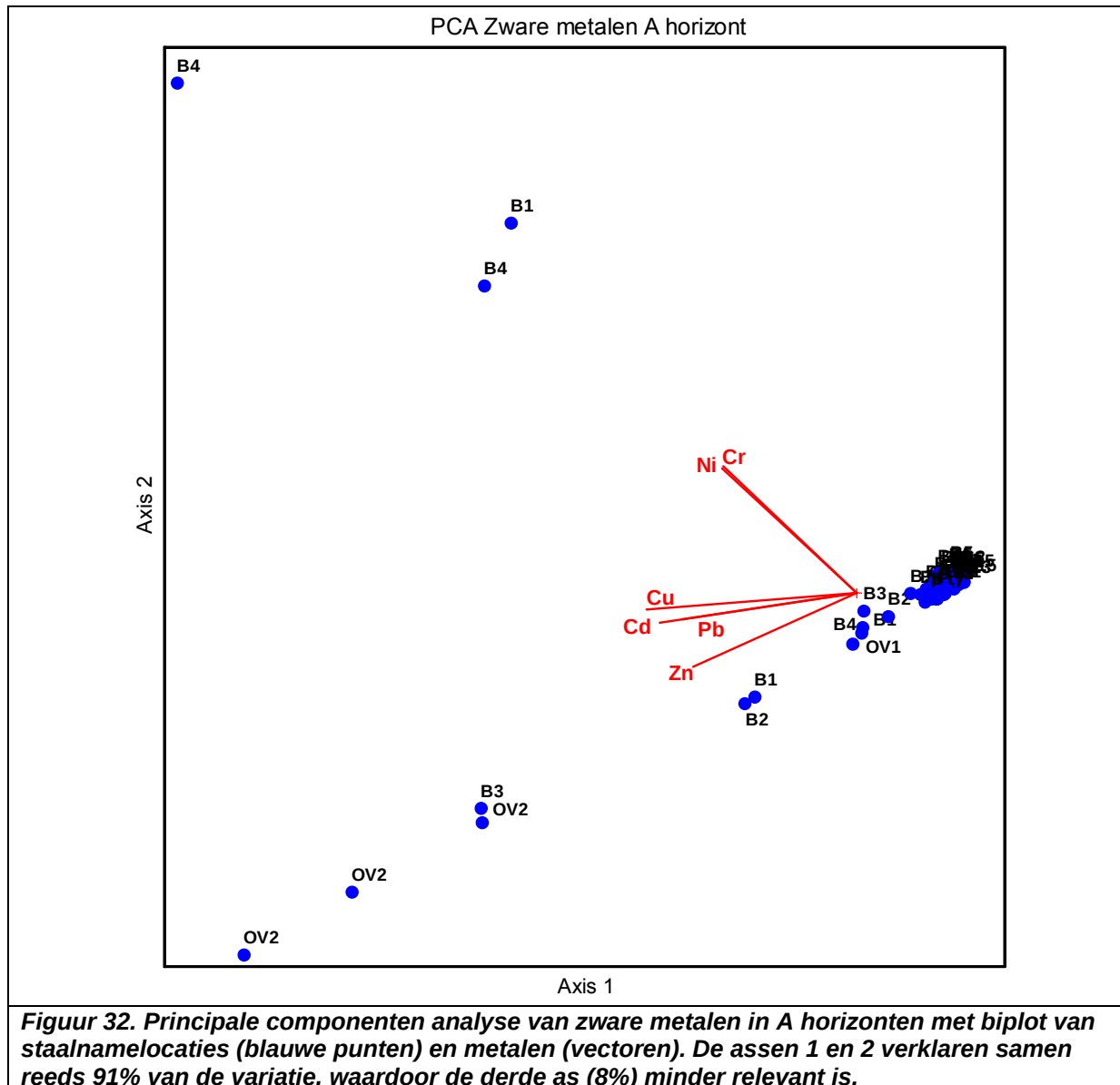
Categorie	P10-P90* range	Mediaan Ni** ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
1	< 5.0 – 104.8	7.3 ^a
2	< 5.0	< 5.0 ^b
3	< 5.0 – 13.8	< 5.0 ^c
4	< 5.0 – 17.2	8.3 ^a

*P10 en P90 staan voor respectievelijk 10^e en 90^e percentielwaarde (quantile) van de subset

**Verschillende letters naast de mediaanwaarde geven significante verschillen ($p < 0.05$) aan gebaseerd op een Mann-Withney test

Men kan concluderen op basis van de verdeling binnen elke gebiedscategorie dat voor de zware metalen Cd, Zn en Cu een duidelijke aanrijking van de minerale opperbodem werd waargenomen binnen de perimeters **maar enkel** in categorie 1 (binnen Natura 2000 gebied) en niet binnen categorie 2. Voor de metalen Pb, Cr en Ni is er voor de onderzochte proefvlakken geen duidelijk aantoonbare aanrijking binnen de perimeters versus buiten de perimeters (in de minerale opperbodem).

De principale componentenanalyse van de metaalgehalten in de A horizonten (figuur 32) leert dat slechts een beperkt aantal stalen gecontamineerd zijn en dat deze allemaal binnen de perimeter van Balen en Overpelt vallen. Proefvlak OV2 (de Wateringen in Lommel) is vooral gecontamineerd door Cd en Zn terwijl proefvlakken B1 en B4 ook aangerijkt zijn met Cr en Ni. De zware metalen Cu, Pb, Cd en Zn zijn blijkbaar positief gecorreleerd met elkaar en net als bij de strooiselanalyse staat de Ni en Cr concentratie hier enigszins los van.



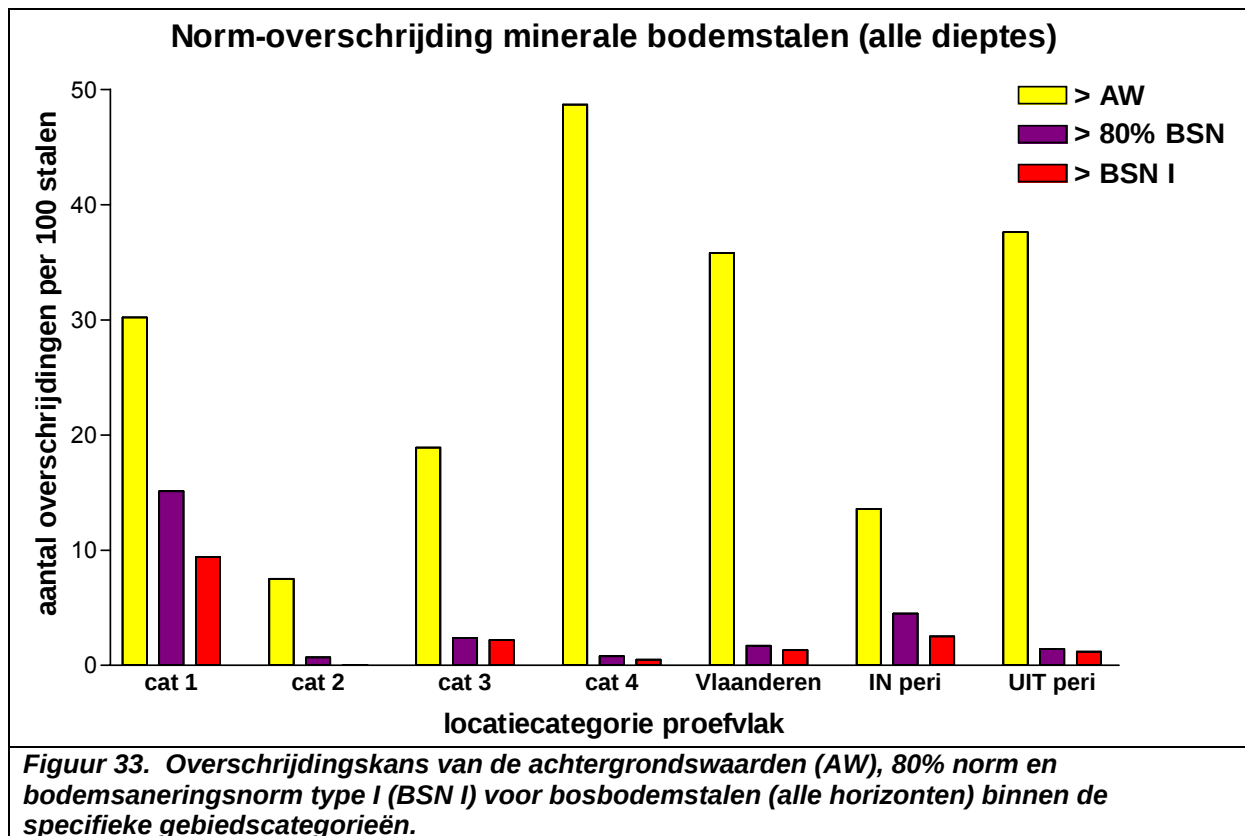
3.2.2. Overschrijdingen bodemsaneringsnormen

De analyseresultaten van de minerale stalen werden geconfronteerd met het VLAREBO normenstelsel. De normen voor de achtergrondswaarde (AW), de 80% BSN I & II en de BSN I werden berekend rekening houdend met het gehalte aan klei en organisch materiaal in het staal (cf MM 1.x). De evaluatie voor elk metaal binnen elk staal is weergegeven met een kleurcode in bijlage III.

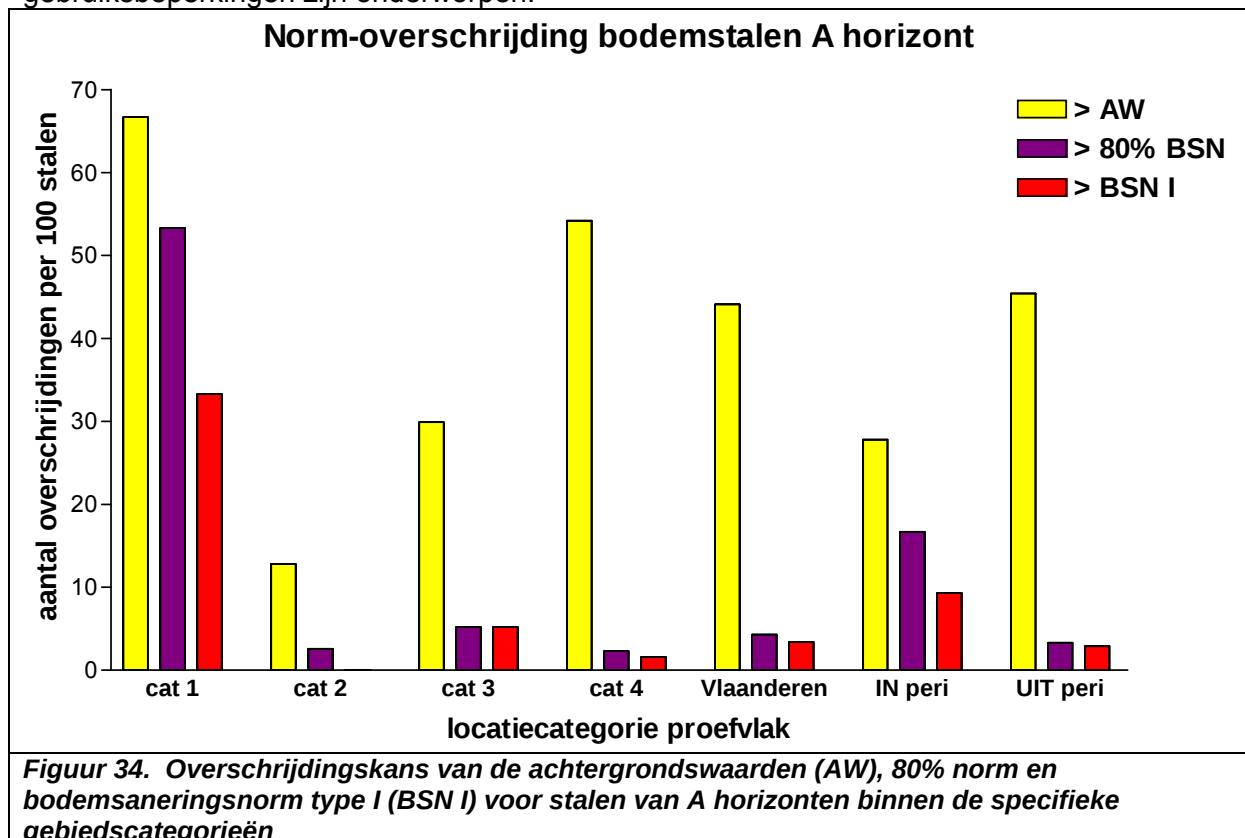
Overschrijdingen van de saneringsnormen komen niet voor in de diepere horizonten (bijlage III). In het totaal vertonen slechts 5 van de 199 effectief geanalyseerde bodemstalen (2.5 %) een overschrijding van de BSN I.

Voor alle stalen, ongeacht de diepte, is de kans op overschrijding van de norm voor één of meerdere zware metalen binnen de 10 km perimeters hoger dan buiten de perimeters (figuur 33). Dit is vooral gelegen aan de waarnemingen binnen de Natura 2000 gebieden (cat 1) die meer verontreinigd blijken te zijn dan de bossen buiten Natura 2000 gebied maar binnen de perimeters (cat 2). Ongeveer 15 % van de stalen in gebiedscategorie 1 overschrijden voor één of meer metalen de 80% norm en 9 % van de stalen de bodemsaneringsnorm. Dit is nog

meer uitgesproken wanneer enkel de bovenste horizont (A horizont) wordt bekeken (figuur 34).



De opperbodem binnen de perimeter overschrijdt vaker de 80% en BSN I dan buiten de perimeter of de Vlaamse situatie. Binnen categorie 1 overschrijdt de A horizont in 53% van de gevallen de 80% norm, waardoor in principe grondverzet van deze bodems aan gebruiksbeporingen zijn onderworpen.



Een op drie van de onderzochte topsoil stalen binnen gebiedscategorie 1 overschrijden de bodemsaneringsnorm voor één of meerdere metalen. Weliswaar is het aantal stalen in deze categorie beperkt (nl 15), maar vermits de stalennamelocaties niet gericht (dus at random) werden gekozen is dit toch indicatief.

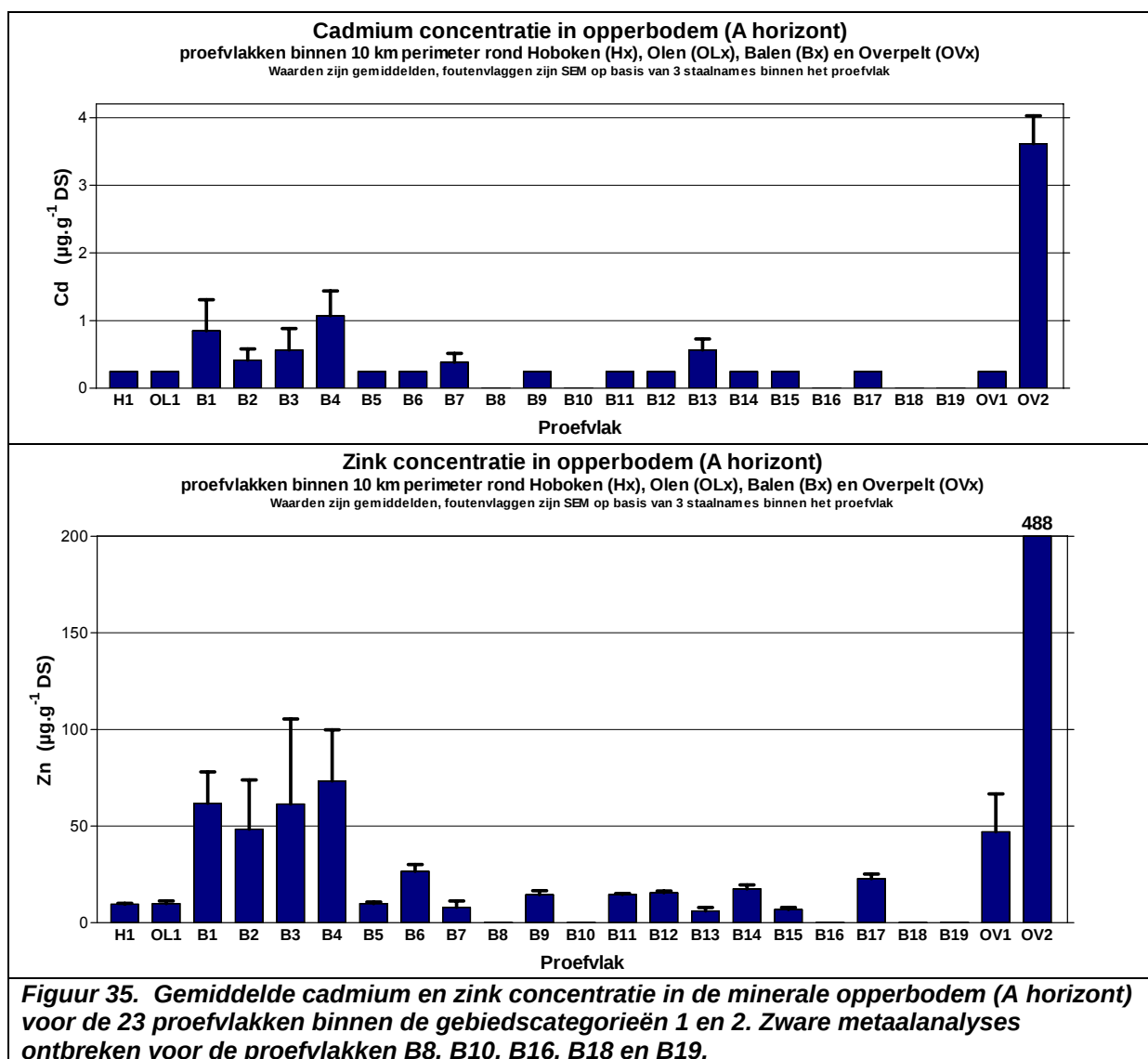
Opmerkelijk is dat de proefvlakken in gebiedscategorie 2 laag scoren inzake normoverschrijdingen, zelfs lager dan het Vlaamse gemiddelde. Overschrijding van de bodemsaneringsnorm werd zelfs niet waargenomen.

Grote verschillen tussen de proefvlakken van categorie 1 en 2 zijn er evenwel niet inzake bestandstype, boomsoort of bestandsleeftijd. Inzake bodemtype (zie bodemserie in Bijlage I) is het belangrijkste verschil dat er relatief meer natte proefvlakken in categorie 1 voorkomen (vochttrappen d en e).

3.2.3. Proefvlakken binnen de Umicore 10 km perimeters

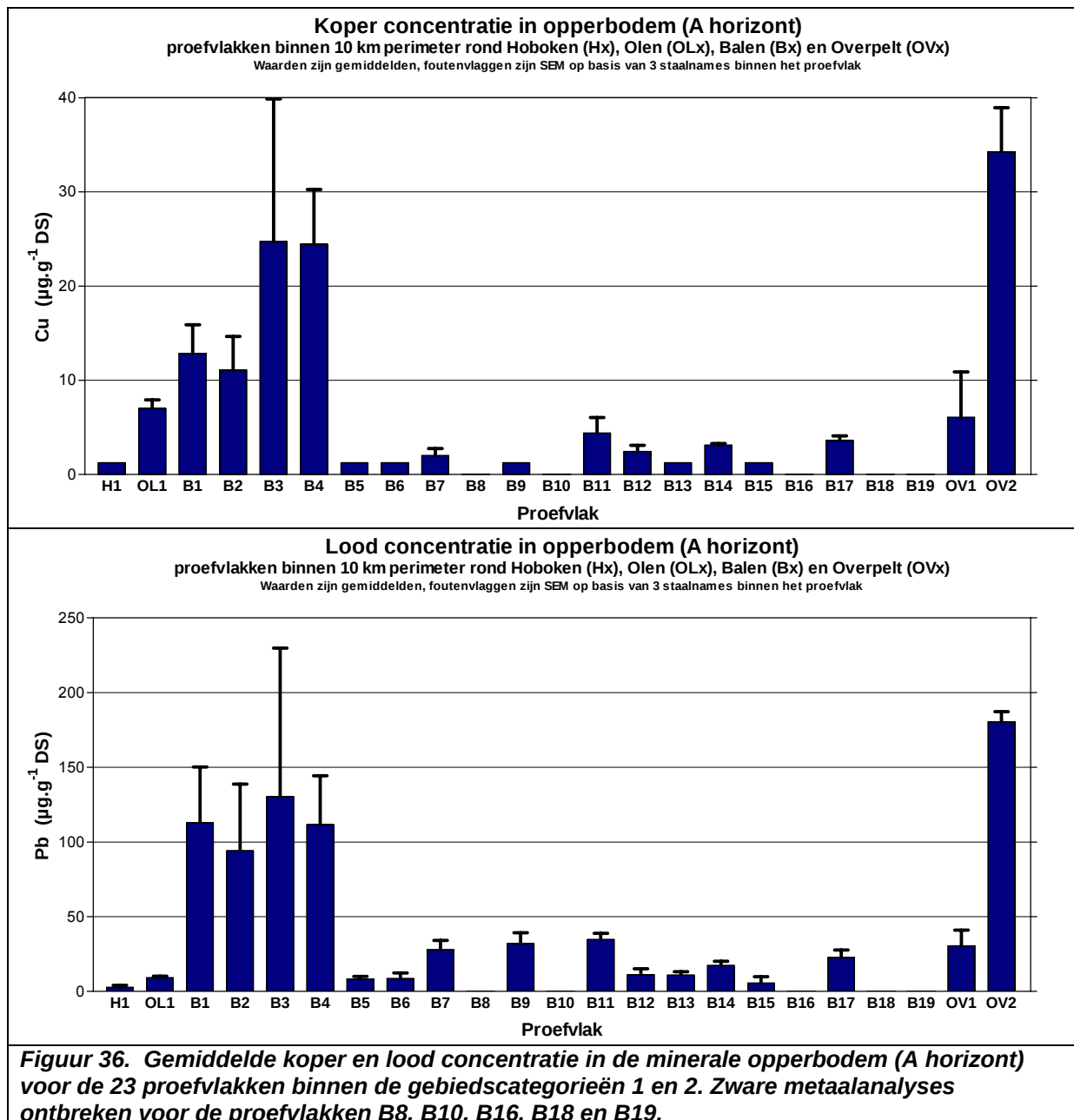
In de figuren 35 tot 37 zijn de metaalconcentraties weergegeven van de onderzochte stalen in de opperbodem van de 23 proefvlakken binnen de 10 km perimeters. De gecorrleerde metalen Cd-Zn, Cu-Pb en Cr-Ni zijn steeds in dezelfde figuur weergegeven.

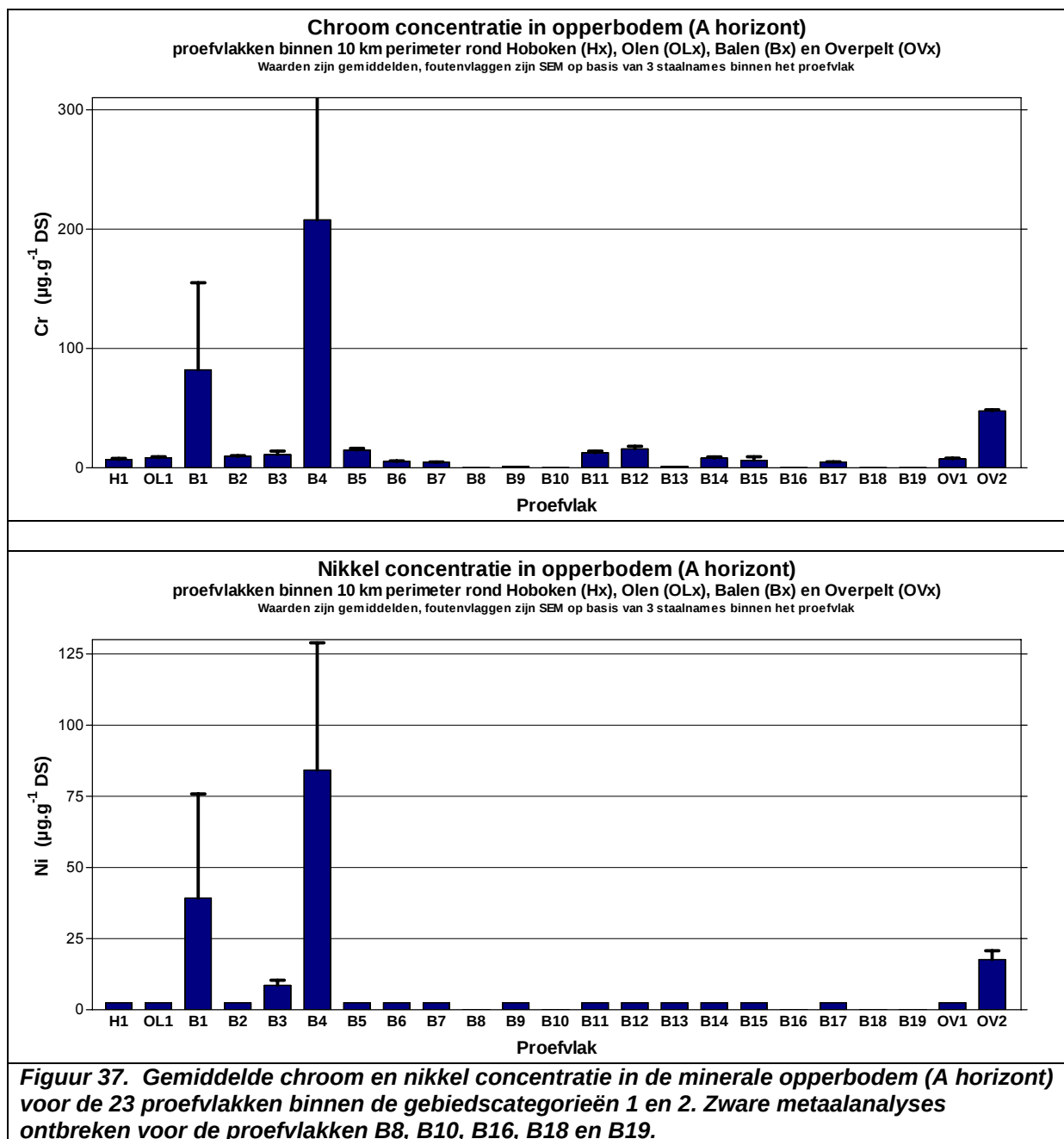
Cadmium en zink scoren hoog voor de proefvlakken OV2 en B4. Dit zijn proefvlakken op relatief natte standplaatsen waarbij het OV2 proefvlak (Wateringen in Lommel) het meest hydromorf is en ook de hoogste concentraties meet. Proefvlak B5 is echter ook een natte standplaats en vertoont lage concentraties aan Zn en Cd.



Algemeen kan gesteld worden dat er hogere meetwaarden werden gevonden in de proefvlakken B1 tot B4 en OV2. Dit is ook het geval voor Cu en Pb (figuur 36) en in mindere mate voor Cr en Ni, waar het vooral proefvlakken B1 en B4 zijn.

De metaalaanrijkingen in de minerale A horizont zijn dus beperkt tot specifieke proefvlakken en komen ook geassocieerd voor. De concentraties zijn meestal laag en weinig beduidend tenzij het Cd gehalte in proefvlak OV2.





3.2.4. Case study Stevensvennen

In juni 2002 werd een geval van sterke verzwakking en individuele sterfte van Populier vastgesteld in de Stevensvennen. Deze locatie is aangeduid op kaartbijlage V (paars perceel). Het bestand is dus gelegen in de directe nabijheid van de Umicore vestiging te Balen (ca 2 km in vogelvlucht) en is particuliere eigendom.

De symptomen van aangetaste exemplaren bestonden uit bladchloroses en een schimmelaantasting. Een fytopathologische diagnose op het IBW wees op de schimmel *Colletotrichum gloeosporioides*, de zogenaamde 'chancre noir'. Deze schimmel is een typische 'parasite d' equilibre' die vooral optreedt na voorafgaandelijke verzwakking van bomen, voornamelijk bij Wilg en Populier.

Het optreden van dit fenomeen op die locatie was niet nieuw. Volgens een plaatselijke boomkweker werd ook in de jaren tachtig ernstig vitaliteitsverlies en sterfte waargenomen bij Populier. Tussentijds werden periodes van herstel vastgesteld.

Een bodemstaalname (0-10 cm) aan de voet van een aangetast exemplaar leverde volgende resultaten: pH-H₂O = 6.47, EC = 100 µS.cm⁻¹, metaalgehalten Cd: **10.4** ; Cr 17.2 ; Cu 14.7; Ni 7.2; Pb 78.6 en Zn **586** mg.kg⁻¹ DS.

Analyses van het bladweefsel toonde volgende resultaten.

Tabel 26. Chemische bladanalyse van gezonde en aangetaste populieren (mengstalen van telkens 3 bomen) in het gebied Stevensvennen

BLAD	N	P	K	Ca	Mg	S	Mn	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Cd
POPULIER	%	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
Gezond	2.53	3143	23611	12072	4052	4204	124.9	8.6	10.6	3.7	< 3.5	240	4.4
Aangetast	2.88	3731	28212	22715	2613	6672	22.5	11.3	8.9	5.2	4.30	1836	28.7

Opmerkelijk waren de uitermate hoge Cd en Zn gehalten in het blad, maar ook N, P en vooral het Ca gehalte (+ 1% abs) waren hoger bij aangetaste bomen. Het hogere N, P en Ca gehalte kan wijzen op aanvoer van kanaalwater uit het nabijgelegen Kempisch Kanaal, en misschien wel tegelijk de verhoogde Zn en Cd bladgehalten verklaren. Met deze case studie is duidelijk dat de metalen Cd en Zn in ieder geval biobeschikbaar zijn voor deze bomen en derhalve in het ecosysteem circuleren. Reeds eind de jaren 80 werd door ons vastgesteld dat Populier en Wilg preferentieel Cd en Zn opnemen en in veel mindere mate de andere metalen. De boomsoort Eik zou bijvoorbeeld op deze locatie veel lagere bladconcentraties aan Cd en Zn vertonen.

Uit de literatuur is ook bekend dat Cd vooral zootoxisch is en niet zozeer fytoxisch. Populieren en wilgen op verontreinigde baggergronden (Vandecasteele et al. 2004a en 2004b) vertonen vaak Cd gehalten hoger dan 30 mg.kg⁻¹ zonder aanwijsbare groeischade. Die bodems zijn natuurlijk totaal verschillend van de Kempische zandbodems wegens hun zeer hoge nutriëntenrijkdom, carbonaatbuffer en uitwisselingscapaciteit. Op arme zandgronden waar ook al vaak voedingstekorten en -onevenwichten voorkomen, betekent een bijkomende zware metaalbelasting wellicht een extra stressfactor. Bovendien kunnen bij hoge metaalconcentraties mogelijks negatieve effecten optreden in de pedosfeer, waardoor microbiologische en chemische bodemprocessen verstoord worden. Grondige studie op die locaties dient verder uitsluitsel te geven.

Deze case versterkt wel het vermoeden dat vooral op natte standplaatsen, natuurlijk of antropogeen (irrigatie, bevoeiing, overstromingsgebied), er meer kans is op metaalcontaminatie van het boscysteem. Het betreft vooral relatief mobiele zware metalen als Cd, Zn en Ni.

Anderzijds komen op de nattere standplaatsen vooral populieren en wilgen voor die beduidend meer Cd en Zn opnemen. Het is niet onmogelijk dat zij de opperbodem via hun bladval met Cd en Zn aanrijken waardoor hogere bodemconcentraties worden vastgesteld.

4. Bespreking

4.1. Zware metalen in het boscossysteem

4.1.1. Processen van immissie, retentie en uitloging

Verontreiniging van terrestrische ecosystemen met zware metalen is zeker geen recent verschijnsel, maar sinds de industriële revolutie zijn de emissies van bepaalde zware metalen naar de atmosfeer door menselijke activiteiten hoger dan de natuurlijke emissies (Martin & Bullock 1994). Vooral de metalen Pb, Zn en Cd overtreffen vele malen de natuurlijke fluxen. Zo is er wellicht geen plaats op aarde meer vrij van Pb pollutie (Ross 1994). De atmosfeer is het belangrijkste medium voor de verspreiding van zware metalen. De metaalindustrie staat in voor meer dan 50 % van de Cd, Pb, Cu en Zn verontreiniging door antropogene bronnen, de uitstoot van lood door uitlaatgassen van auto's niet inbegrepen (Nriagu & Pacyna 1988). De emissies van deze pyrometalurgische processen worden vaak gefilterd door het raamwerk van takken en bladeren van bossen in de immissiezone. De immissie in bossen is vaak hoger door de ruwheid van het kronendak en de turbulentie die boven de boomkronen en vooral aan de bosrand optreedt. Zware metalen komen na droge of natte depositie via de neerslag onvermijdelijk in de strooisellaag terecht. Deze strooisellaag is een bijzonder efficiënte buffer die de percolatie van doorval- en stamafvloeiwatervat controleert en de metalen in het gepercoleerde water de tijd geeft om zich vast te leggen in organo-metaalcomplexen (Ross 1994). Sommige metaalbalans studies postuleren dat de verblijfstijd van de metalen in de top organische horizonten honderden tot duizenden jaren kan zijn, voor zover er geen bodemperturbaties optreden.

De metaalbindende processen die zich afspelen in de holorganische horizonten zijn nog maar in beperkte mate opgeklaard. Bergkvist et al. (1989) heeft aangetoond dat de productie van oplosbaar organisch materiaal leidt tot oplosbare chelaten die metalen zoals Cd, Mn, Zn en Ni mobiliseren. Ook de mobiliteit van Cu en Pb, die zich normaal zeer sterk vastleggen in de humuslaag, is sterk afhankelijk van de oplosbaarheid van het OM (Bergkvist et al, 1989). De metalen Zn, Cd en Ni worden meest beïnvloedt door de bodem pH. In zure bodems (zoals in de Kempen) is er een verhoogd risico op uitloging. Vooral plotse veranderingen van de pH (door bekalking bvb) kunnen versnelde uitloging veroorzaken. Voor Zn en Cd is de uitwisselingscapaciteit (CEC) ook bepalend voor de mate van uitloging (Brümmer & Herms 1983). De CEC van de zandige Kempische bosbodems wordt echter vooral bepaald door het organische materiaal en niet door het beperkte kleigehalte. Volgens Bergkvist et al (1989) is het metaal chroom meestal 'in balans' in de bodem.

De oplosbaarheid van zware metalen bepaalt hun mobiliteit, uitloogbaarheid, biobeschikbaarheid en in zekere mate ook hun toxiciteit. Bij toenemende totaalconcentratie van metalen in de bodem stijgt hun concentratie in de bodemoplossing bij afnemende pH volgens de orde $Cd > Zn \gg Cu > Pb$. De mobiliteit van Cd en Zn verhoogt al bij een bodempH (in H₂O) kleiner dan 6, bij Cu en Pb bij een pH < 4 à 5 (Brümmer & Herms 1983).

Anderzijds werd aangetoond dat onder zure omstandigheden de humussubstanties de metalen meer binden dan minerale bodemcomponenten (kleimineralen, sesquioxiden). Mor humus types blijken zeer efficiënt metalen te adsorberen. Ook veen (peat) heeft een hoog adsorptie- en retentievermogen en wordt gebruikt als 'cleaning agent' voor verontreinigde bodems (McClellan & Rock 1988). Cadmium wordt vrij goed vastgelegd in zure humuslagen, maar bij een pH hoger dan 6 worden meer oplosbare humusverbindingen gevormd en zal meer uitloging optreden (Brümmer & Herms 1983). Dit is duidelijk gerelateerd met de (micro)biologische activiteit (Bergkvist et al. 1989). Het al dan niet stimuleren van deze activiteit is een sleutel voor het beheersen van de metaalmobiliteit.

Volgens Petersen (1976) zullen de metalen Cu, Pb en Cr die met de humuszuren worden uitgeloozd in podsols gesatureerd worden met Fe en Al en neerslaan in B horizont. Vooral

de neerslag van Pb zou totaal zijn. Een gerichte studie van de 'spodic B' horizonten in bosbodems zou dit moet kunnen bevestigen.

Indien ze niet efficiënt worden vastgelegd in deze lagen vormt de vrijstelling en uitloging van deze zware metalen een ernstige bedreiging voor de oppervlakte- en grondwaterwaterkwaliteit en de voorziening van drinkwater (Bergkvist et al 1989).

4.1.2. Situatie per Umicore vestiging

Hoboken

Op basis van onze beschikbare gegevens is weinig vast te stellen betreffende de vestiging te Hoboken. Het enige ForSite proefvlak (H1) dat werd onderzocht ligt ca 9 km ten westen van de fabriek (Bijlage IV). Alle metaalgehalten in zowel de strooisellaag als de minerale bodem op dat proefvlak liggen op of onder de referentiewaarden. Ook het loodgehalte ligt onder de achtergrondswaarde.

Om een correct beeld te krijgen van de situatie is het nodig alle bossen binnen de 10 km perimeter rond de Hoboken vestiging systematisch te onderzoeken.

Vooraf de loodverontreiniging vormt het belangrijkste probleem rond Hoboken. Dit metaal legt zich bijzonder goed vast in bossen en moet aldus zeker traceerbaar zijn en een betrouwbare indicatie geven van de omvang van de verontreiniging.

Naast lood worden ook volgens IHE rapporten de metalen As, Sb (antimoon), Cu, Se, Cd en Zn aangegeven als voorkomend met een hogere waarden in de nabijheid van de fabriek. Een opmerkelijk feit werd vastgesteld na de voorjaarsstormen in januari/februari 1990 toen opwaaiend stof verantwoordelijk werd geacht voor verhoogde loodconcentraties o.a. in de omgeving van de wijk Moretusbrug. Meer groenvoorziening en aanleg van parken en bossen kunnen de stofhinder beperken.

Olen

Binnen de 10 km perimeter rond de site van Olen is ook slechts 1 ForSite proefvlak (OL1) gelegen (bijlage IV). Maar in een case studie werden echter complementair de strooisellaag van 10 proefvlakken onderzocht in de directe nabijheid van de fabriek (hfst 3.1.4.).

Het zwaar metaal Cu blijkt de grootste bedreiging te vormen en is nog goed waarneembaar op 7.6 km ten noorden van Olen in het OL1 proefvlak.

Dit is logisch omdat Olen bekend is voor de raffinage van koper maar ook voor de productie van kobalt en germanium. Daarbij is er recuperatie van de metalen nikkel, goud, zilver, arseen en antimoon.

In de strooisellagen werden ook verhoogde concentraties vastgesteld aan Co, Ni en Pb. De zware metalen As, Sb en Ag werden niet onderzocht.

Volgens een IHE rapport uit 1988 werd er Cu, As en Pb in de omgevingslucht vastgesteld. Het is dus zinvol om in de toekomst ook te focussen op As in de strooisellagen en bosbodems.

Vooraf het Cu gehalte bleek ontzaglijk hoog in de strooisellaag: tot 55 x het kritische niveau en tot 162 x de referentiewaarde. In een review over metaaleffecten bij bodeminvertebraten geven Bengtsson & Tranvik (1989) aan dat maximaal toelaatbare concentraties overschreden worden bij $100 \mu\text{g.g}^{-1}$ Cu, terwijl in de nabijheid van de fabriek (binnen 1 km) meer dan $2000 \mu\text{g.g}^{-1}$ Cu werd vastgesteld. Andreae (1996) vermeldt dat belangrijke soorten van mossen en korstmossen niet meer overleven bij Cu gehalten hoger dan $90 \mu\text{g.g}^{-1}$. Ook zou koper een effect hebben op mycorrhiza waarbij volgens Tyler (1989) reeds bij $34 \mu\text{g.g}^{-1}$ Cu en $45 \mu\text{g.g}^{-1}$ Zn de infectie van boomwortels zou geïnhibeerd worden. Mycorrhiza zijn levensnoodzakelijk voor een goede nutriëntopname van boomsoorten, vooral

naaldbomen. Cu en Zn zouden als essentiële elementen makkelijker opgenomen worden door mycorrhiza dan Cd, Cr en Pb die selectief zouden gemeden worden (Andreae 1996).

Het metaal cobalt werd ook in duidelijk verhoogde concentraties vastgesteld.

Referentiewaarden in strooisellagen voor Vlaanderen zijn niet beschikbaar en ook VLAREBO verstrekt geen achtergronds- of saneringswaarden. De literatuurgegevens terzake zijn ook bijzonder schaars. Kabata-Pendias 2001 vermeldt voor bosbodems in de US cobalt gehalten variërend van 5 tot 20 $\mu\text{g.g}^{-1}$ met een gemiddelde 10 $\mu\text{g.g}^{-1}$ en voor Rusland 0.6 – 45 $\mu\text{g.g}^{-1}$ met een gemiddelde waarde van 8 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Craul 1992 vermeldt voor strooisellagen in parken cobalt waarden van 6 tot 8 $\mu\text{g.g}^{-1}$.

De waargenomen Co in de strooisellagen binnen 1 km van de fabriek zijn duidelijk hoger dan 100 $\mu\text{g.g}^{-1}$.

De mobiliteit van Co in bodems is algemeen vrij hoog en ligt tussen Ni en Cd. De opneembaarheid van dit metaal door bomen is bijna niet beschreven in de literatuur, maar planten zouden wel gemakkelijk Co opnemen. Concentraties hoger dan 60 $\mu\text{g.g}^{-1}$ in planten worden schadelijk geacht voor herbivoren (Kabata-Pendias 2001).

Ook Ni en Pb worden nabij Olen in hogere concentraties waargenomen in de strooisellagen. Bengtsson & Tranvik (1989) legt de MAC grens voor Pb op 200 $\mu\text{g.g}^{-1}$, terwijl in de strooisellagen nabij Olen deze grenswaarde op 8 van de 10 locaties wordt overschreden. Volgens Tyler (1992) wordt de kritische grens (LOEC) overschreden bij 500 $\mu\text{g.g}^{-1}$ Pb. Daarboven zouden negatieve effecten op bodembioologische processen optreden.

Balen & Overpelt

Van de 19 ForSite proefvlakken binnen de perimeter Balen zijn er 13 proefvlakken gemeenschappelijk met de vestiging Overpelt. Slechts 2 proefvlakken (OV1 en OV2) liggen buiten de perimeter van Balen (zie kaartbijlage V). Door de overlap van de 10 km-perimeters worden de proefvlakken hier samen besproken.

Vóór 1935 gebruikten de fabrieken van 'Vieille Montange' (Balen & Overpelt) een thermisch proces voor het winnen van zink met Kempische steenkool als brandstof. Door dit proces kwamen gigantische hoeveelheden Zn en Cd vrij. Dit was veel minder het geval met het electrolyseproces dat nadien werd toegepast, en de implementatie van filterinstallaties in de jaren '80.

De historische verontreiniging zorgt voor een bodemverontreiniging met vooral Zn en Cd, maar ook lood (Geeraerts 1991).

Wat de bosbodems betreft blijken in de strooisellaag de overschrijdingen van de kritische waarden voor de metalen Cd en Zn steeds voor te komen binnen de perimeters van Balen en Overpelt. De proefvlakken in de directe nabijheid van de fabrieken vertonen de grootste concentraties, alsook de proefvlakken gelegen binnen de veronderstelde verontreinigingspluim windafwaarts van de fabriek te Balen.

Overschrijdingen van de kritische waarde voor de metalen Cu en Pb worden vooral vastgesteld binnen de perimeter van Balen en minder deze van Overpelt. Cr en Ni vormen niet echt een probleem.

De minerale bodem volgt globaal dezelfde vaststelling, alleen werden op het nattere proefvlak OV2 (Wateringen van Lommel) ook hoge koper en lood verontreinigingen vastgesteld, in tegenstelling tot proefvlak OV1. Vermoedelijk worden (werden) de metalen niet alleen via luchtdepositie maar ook via bevoeiingswater tot bij proefvlak OV2 gebracht.

Algemeen kan gesteld worden dat de analyse van de holorganische horizonten van de strooisellaag beter de verontreiniging indiceert dan de minerale bodem. Deze laatste heeft meestal weinig retentiemogelijkheden voor metalen, zeker als de bodem humusarm is. Vooral de hoge Cd stocks ($> 40 \text{ mg.m}^{-2}$) die aanwezig zijn in de strooisellaag op bepaalde plaatsen geven reden tot bezorgdheid. Strooisellagen zijn immers te beschouwen als 'tijdelijke' bodemlagen die bij verstoring snel kunnen afbreken met onvermijdelijke vrijstelling van de metalen.

4.2. Specifieke risico's en maatregelen

4.2.1. Verspreiding van zware metalen via consumeerbare bosproducten

Paddestoelen

In de bossen van de NoorderKempen worden eetbare paddestoelen zoals Kastanjeboleet (*Xerocomus badius*, *Boletus badius*), Berkenboleet (*Leccinum scabrum*), Eekhoorntjesbrood (*Boletus edulis*) en de zeldzaam geworden Cantharel (*Cantharellus cibarius*) geplukt. Het bosbeheer meldt zelfs buitenlandse 'toeristen' (Duitsers, Italianen) die op intensieve wijze paddestoelen komen halen uit deze bossen, niettegenstaande de pluk eigenlijk is verboden. Ook mensen van Turkse origine en Oost-Europa plukken veel paddestoelen. In privé bossen is controle moeilijk uit te voeren.



Figuur 38. Eekhoorntjesbrood (*Boletus edulis*) is bekend als accumulator voor zware metalen. Een bioindicator voor de Noorderkempen ? (Foto Ruben Walley)

Opname van zware metalen in paddestoelen is soortspecifiek. Dit is onder andere gerelateerd met de diepte waarop de zwamvlok groeit. *Leccinum* soorten en *Boletus edulis* (figuur 38) zouden vrij hoge gehalten aan metalen accumuleren. De Europese grenswaarden voor eetbare paddestoelen zijn $3 \mu\text{g.g}^{-1}$ voor Pb en $2 \mu\text{g.g}^{-1}$ voor Cd. Sterke accumulatie van Hg en As in paddestoelen werd ook gedocumenteerd. Kalac & Svoboda (2000) vermelden accumulatiefactoren van 50-300 voor Cd en 30-500 voor Hg. Pb zou in mindere mate geaccumuleerd worden, terwijl Cu dan weer sterker accumuleert in bepaalde soorten.

De studie van opnamepatronen van metalen in sporocarpes is complex. Fungi zijn er immers niet altijd en soorten komen niet overal voor en de vruchtlichamen verschijnen vaak niet op hetzelfde moment. Het vruchtlichaam heeft bovendien een kort bestaan (meestal 10-14 dagen).

Accumulatie in paddestoelen is soortspecifiek, net als bij planten. Er kan vrij veel variatie zijn in opname binnen eenzelfde locatie en klimatologische omstandigheden zouden ook een effect kunnen hebben. Sommige auteurs wijzen op de impact van de 'ouderdom' van het mycelium. Hoe ouder het mycelium, hoe hoger de vastgestelde concentraties in de vruchtlichamen. Dit alles veroorzaakt aanzienlijke variatie in de metaalconcentraties.

Niettemin staande dat worden paddestoelen algemeen als goede bioindicatoren beschouwd, vooral om metaalverontreinigde van niet verontreinigde gebieden te onderscheiden. In een Noorse studie (Collin-Hansen et al 2005) werd in de nabijheid van een zink-smelter (Odda, ZW Noorwegen) een sterke verhoging vastgesteld in de hoed van *Boletus edulis* in vergelijking met referentiegebieden. Cadmium verhoogde 319 x (308 vs $0.965 \mu\text{g.g}^{-1}$), Zn 7.9 x (741 vs $93.7 \mu\text{g.g}^{-1}$), Cu 7.8 maal (139 vs $17.8 \mu\text{g.g}^{-1}$) en Hg 185 maal (54.1 vs $0.292 \mu\text{g.g}^{-1}$). Bovendien werd in de gecontamineerde exemplaren structurele schade vastgesteld in lipiden en DNA van de vruchtlichamen.

Bosbessen

De blauwe bosbes (*Vaccinium myrtillus*- bilberry) wordt vrij veel geplukt in de Kempen. De literatuur vermeldt over het algemeen lagere accumulatie van metalen in deze plant dan in paddestoelen. Een algemene bevinding is trouwens dat in vruchten (bessen) meestal minder metalen geaccumuleerd worden dan in blad, stengel of wortels. Gezien de directe inname van de bessen door de mens en het wild is een steekproefsgewijze analyse van bosbessen binnen de perimeters rond de Umicore vestigingen wetenschappelijk interessant.

Jachtwild

De nieren van reewild (*Capreolus capreolus*) worden in buitenlands onderzoek vaak gebruikt om de opname aan metalen in wilde herbivoren na te gaan. Vaak gaat het om de zware metalen Hg, Pb, Cd en Zn. Seizoensvariatie in metaalconcentratie in de nieren wordt waargenomen en verklaard door een seizoensgebonden verschil in voedselaanbod (Pokorný 2002). Fungi zouden hierin een belangrijke rol kunnen spelen daar zij een belangrijke voedselbron voor reeën zijn en wegens de hoge bioaccumulatie van sommige soorten.

Via de wildbeheerseenheden (WBE's) verzamelt het INBO (projectleider Dr Jim Casaer) organen (nieren, baarmoeder, embryo's, lever) van geschoten reeën en verkeerslachtoffers over geheel Vlaanderen. Het betreft honderden dieren per jaar (650 dieren afgelopen 2 jaar). Een systematische analyse van de nieren met focus op het betrokken gebied (bvb WBE Netebroek/Balen) zou wetenschappelijk zeer zinvol zijn.

Nieranalyse kan een belangrijke indicator zijn. Dit impliceert natuurlijk niet dat indien de nieren hoge concentraties aan metalen zouden vertonen het vlees van ree niet geschikt zou zijn voor menselijke consumptie. In het geval van contaminatie is wel verder onderzoek noodzakelijk. Indien er geen aanrijking in de nieren wordt vastgesteld, moet dit positieve signaal doorgegeven worden aan de jagers en consumenten.

4.2.2. Verspreiding van zware metalen via aanwending strooisel

In het recente verleden was het gebruikelijk dat kwekers en particulieren de strooisellaag uit de Kempische bossen gingen halen om die aan te wenden als groeisubstraat of bodemverbeteringsmiddel.

Voor specifieke teelten zoals de Azalea-teelt werd systematisch bosstrooisel 'geoogst' omdat zogenaamd geen geschikt (betaalbaar) alternatief voorhanden was. Door een streng verbod op strooiselroof door het bosbeheer is deze praktijk verminderd maar wellicht niet helemaal beëindigd. De terechte motivatie voor het verbod door het bosbeheer is gesteund op het feit dat met de strooiselafvoer een aanslag werd gepleegd op de voornaamste nutriëntenvoorraad van deze bosccosystemen op arme zandgronden en het fijnwortelstelsel dat hoofdzakelijk in de strooisellaag aanwezig is ernstig werd beschadigd. Heden ten dage zijn goede substraat alternatieven voor de Azaleateelt beschikbaar. Een ongecontroleerde verspreiding van zware metalen via gepollueerd bosstrooisel kan dus worden vermeden.

Gebruik van bosstrooisel door particulieren ter 'verbetering' van de moestuin wordt sterk afgeraden. Deze praktijk zou de laatste jaren sterk verminderd zijn door het aanbod van groencompost op de containerparken. Desalniettemin kan bewustmaking van het publiek en controle (door het bosbeheer) zinvol zijn.

4.2.3. Uitloging van zware metalen in strooisellaag naar bodem en grondwater

De strooisellagen of holorganische horizonten van bossen accumuleren zware metalen door ze o.a. te binden in organo-metaalcomplexen. Daardoor fungeren ze als een soort verontreinigingsarchief. Metalen zoals Pb en Cu worden het best gearchiveerd door hun sterke binding, Ni en Cd het minst. Historische verontreiniging blijft lang traceerbaar in de humushorizonten, voor zover deze niet verstoord worden.

Bij ontbossing zal de strooisellaag ontbinden (mineraliseren) en komen (kwamen) de zware metalen onvermijdelijk in de diepere bodemlagen terecht. Dit is in het verleden wellicht herhaaldelijk gebeurd door bossterfte te wijten aan luchtverontreiniging wegens het stoken met zware fuel.

Sommige dikke strooisellagen bevatten momenteel nog meer dan 50 mg Cd per m². Door de hoge zuurtegraad (lage pH) van bosbodems in de Noorderkempen, de zandige textuur, hoge hydraulische conductiviteit en relatief lage gehalten aan organisch materiaal zijn de meeste metalen (en zeker cadmium maar ook nikkel) vrij mobiel en is uitspoeling naar het grondwater reëel.

Theoretisch kan 1 m² strooisellaag met 40 mg Cd per m² bij volledige mineralisatie (afbraak) 10000 liter water verontreinigen; slechts bij 10 % mineralisatie is dit nog steeds 1000 liter. Vooral in kwetsbare grondwaterwinningsgebieden moet met dit scenario rekening gehouden worden. De vastlegging van strooiseluitloogbare metalen in subhorizonten (zoals humus en sesquioxide-aanrijkingshorizonten bij Podzolen) is nog weinig bekend en dient bestudeerd te worden voor het inschatten van de uitlogingsrisico's (figuur 39). Volgens Bergkvist et al (1989) zouden vooral Cu, Pb en Cr in de top van de B-horizont neerslaan, maar zou dat in mindere mate het geval zijn voor Zn, Cd en Ni.



Figuur 39. In welke mate leggen de humus- (Bh) en ijzeraanrijkhshorizont (Bs) de uitgeloopte zware metalen van een gemineraliseerde strooisellaag vast ?

Het is derhalve elementair de afbouw van metaal-gecontamineerde strooisellagen te vermijden. Verbod op ontbossing en bosbeheersmaatregelen die erop gericht zijn om de strooisellaag intact te houden zijn concrete initiatieven.

Bepaalde ingrepen zoals bekalkingen moeten met de nodige omzichtigheid gebeuren. Enerzijds zal door bekalking de bodem pH verhogen waardoor theoretisch de mobiliteit van de meeste metalen vermindert, maar door versnelde mineralisatie van de strooisellaag kunnen finaal toch meer metalen worden vrijgesteld. Via complexen met organische zuren kan de uitloging van metalen aanzienlijk zijn. Wetenschappelijk onderzoek dient de processen in situ te bestuderen die volgen op deze beheerstechnische ingrepen.

Bij zeer hoge metaalaccumulaties moet bekeken worden in welke mate de strooisellaag niet dient verwijderd te worden en hoe dit met zo weinig mogelijk risico voor bodem en grondwater kan gebeuren. Dit betekent wel een zeer sterke ingreep in het boscossysteem omdat tegelijk het grootste deel van de nutriëntenvoorraad wordt afgevoerd waardoor de leefbaarheid van het bos gehypothekeerd wordt. Dit moet dan steeds gepaard gaan met maatregelen voor ecosysteemherstel en de inbreng van voldoende organisch materiaal en nutriënten. De bosbouwkundige kennis voor dit ecosysteemherstel is echter voorhanden.

4.3. Aanbevelingen voor verder onderzoek

4.3.1. Karteren van de metaalverontreiniging in Kempische bossen

De beschikbare gegevens uit de ForSite databank tonen aan dat systematische metaalverontreiniging van de strooisellaag in de Vlaamse bossen vooral geconcentreerd is in de nabijheid van de 4 Umicore vestigingen. Rond de vestigingen Hoboken, Olen en Overpelt zijn slechts een beperkt aantal proefvlakken van het Vlaamse meetnet gelegen. Het is nodig om op basis van een systematische survey te focussen op alle bosgebieden in de 10 km perimeter rond de 4 vestigingen.

Op die manier zullen ook de ruimtelijke patronen zichtbaar worden en kunnen verontreinigingszones afgelijnd worden. Op basis van de verontreinigingsgraad binnen elke zone kunnen dan specifieke milieu- of bosbouwkundige maatregelen voorgesteld worden.

4.3.2. *Humaan en ecotoxicologische risico-evaluaties*

Binnen de 10 km perimeter dienen steekproefsgewijs de consumeerbare bosproducten geanalyseerd te worden. Concreet is het haalbaar en zinvol om 3 componenten van het bosecosysteem onder de loupe te nemen:

	Komponent	Testsoort	Orgaan
1	Fungi (paddestoelen)	Eekhoortjesbrood	Vruchtlichaam
2	Vegetatie	Bosbes	Blad & vrucht (bes)
3	Wild (bejaagd)	Ree	Nieren

Van de drie voorgestelde testsoorten zijn in de literatuur referentiegegevens beschikbaar (Kalac & Svoboda 2000, Collin-Hansen et al. 2005).

De testsoorten zijn zeer relevant omdat ze op grote schaal worden verzameld/bejaagd en genuttigd. De vastgestelde metaalconcentraties kunnen dan ook geconfronteerd worden met de normering voor voedingsproducten.

Tegelijk zijn deze soorten ecologisch zeer relevante vertegenwoordigers van het voedselweb.

Het INBO beschikt over gespecialiseerde know-how voor staalname, analyse en verwerking van de gegevens. Het verzamelen van de stalen zou kunnen gebeuren in samenwerking met de bos- en natuurwachters van het Agentschap Natuur- en Bos. Verkeerslachtoffers van reewild worden op die manier al naar het INBO gebracht voor wetenschappelijk onderzoek.

De determinatie en dissectie van de testorganen kunnen gebeuren in de gespecialiseerde laboratoria van het INBO, alsook de chemische analyse van de metalen en de verwerking van de gegevens.

4.3.3. *Inschatten uitloogrisico's strooisellaag*

De strooisellagen vertonen hoge concentraties aan Cd, Cu, Pb, ... die veelal vastgelegd zijn in organo-metaalcomplexen. Indien de strooisellaag mineraliseert komen deze metalen vrij en indien ze niet worden vastgelegd in de minerale bodem is uitloging naar oppervlakte en grondwater mogelijk.

Een gerichte studie zowel in het labo (uitloogproeven) als op het terrein (in situ) is noodzakelijk om de uitloogrisico's bij variërende omstandigheden te bepalen. Een antwoord op volgende wetenschappelijke vragen dringt zich op:

1. Hoe sterk is de retentie van de metalen Cd, Cu, Pb, Cr, Ni, Zn, As en Co in de strooisel- en humustypes van de NoorderKempen
2. Welke metalen logen meest en snelst uit en welke parameters versnellen of vertragen dit proces ?
3. In welke mate worden strooiseluitgeloopte metalen gebonden in de minerale bodem en in welke pedogenetische horizonten (Bs, Bh) ?
4. In welke concentraties zijn de metalen reeds aanwezig in de bodemoplossing ?
5. Welk effect hebben bosbeheersingrepen (dunning, bekalking, boomsoortenomvorming) op het uitlooggedrag van metalen uit de strooisellaag ?

Het antwoord op deze vragen is essentieel voor het uitwerken van de meest verantwoorde strategie voor aanpak en remediëring van het probleem.

5. Conclusies

Op basis van de onderzochte proefvlakken kunnen de belangrijkste conclusies van deze studie samengevat worden in volgende punten:

- In de bossen gelegen binnen de 10 km perimeter rond de Umicore vestigingen Olen, Balen en Overpelt zijn de strooisellagen systematisch aangerijkt met de zware metalen Cd, Zn en Cu in vergelijking met de referentieproefvlakken buiten de perimeters.
- Er is een duidelijk verband tussen een specifieke Umicore vestiging en bepaalde zware metalen: Cu, Co en Ni vormen een probleem in Olen, terwijl Cd en Zn gerelateerd zijn met de vestigingen te Balen en Overpelt. Voor de vestiging te Hoboken kan daarover geen uitspraak worden gedaan daar slechts één proefvlak 9 km ten westen van de vestiging is gelegen dat geen normoverschrijdingen vertoont.
- De zware metalen Pb, Cr en Ni komen eveneens in de strooisellagen binnen de perimeters als diffuse verontreiniging voor, maar dit voorkomen is niet significant verschillend met de situatie in de rest van Vlaanderen.
- Zeer hoge stocks (voorraden) aan zware metalen werden vastgesteld in de strooisellagen in de directe nabijheid van de Umicore vestigingen. Aangenomen dat het om historische verontreiniging gaat betekent dit dat de strooisellagen de zware metalen wellicht zeer efficiënt en voor lange tijd vastleggen, temeer daar de concentraties in de minerale bodem overwegend laag tot zeer laag zijn.
- De strooisellaag en in het bijzonder de humushorizont (H-laag) ervan kan beschouwd worden als een verontreinigingsarchief en is een zeer interessant abiotische kompartiment van het boscosysteem om metaalverontreiniging te constateren en in kaart te brengen.
- De retentie van de metalen in de strooisellaag verschilt evenwel per metaal: in het algemeen is de retentie van Cu en Pb er het sterkst, die van Ni, Zn en Cd het minst. Mogelijke Cd uitloging verdient de meeste aandacht.
- Zwaar gecontamineerde strooisellagen zijn een potentieel gevaar voor verontreiniging van bodem en grondwater; een specifieke aanpak en beheer dringen zich op; vooral in kwetsbare grondwaterwinningsgebieden.
- De metalen Cd, Zn, Cu en Pb in de strooisellagen zijn systematisch hoger in de provincies Antwerpen en Limburg dan in de rest van Vlaanderen.
- In de minerale bosbodem wordt de BSN I zelden overschreden. Als dit zo is dan is dit steeds in de bovenste (A) horizont wat wijst op metaalaanrijking via luchtdepositie.
- Overschrijdingen van de 80% BSN en BSN I komt vooral voor in Natura 2000 gebieden en niet in de andere bosgebieden binnen de 10 km perimeters. Het enige onderscheid is het hogere aandeel nattere standplaatsen binnen Natura 2000 gebied. Het aantal proefvlakken is echter te beperkt om de impact van de hydrologische status op metaalconcentraties in de bodem aan te tonen.
- De metalen Zn en Cd zijn in ieder geval biobeschikbaar voor populieren op basis van de waarneming in het gebied Stevensvennen. Er is een vermoeden dat in gebieden waar kanaalwater wordt ingebracht via bevoeiing (irrigatie, overstrooming) de kans op metaalverontreiniging van strooisel en bodem toeneemt.
- Eventuele contaminatie van consumeerbare bosproducten (paddestoelen, jachtwild) moet wetenschappelijk nagegaan worden gezien hun relatief grote afname door een ruim publiek; voorzichtigheid is geboden.
- Door middel van een gerichte boomsoortenkeuze en een aangepast bosbeheer kunnen de hoeveelheid in omloop gebrachte zware metalen enigszins gestuurd worden; in bestaande bossen moet vooral de Cd flux geminimaliseerd worden.
- Volgende stappen worden aanbevolen aan het beleid: (i) het systematisch in kaart brengen van de meest verontreinigde bosgebieden op basis van strooiselanalyses, (ii) het opmaken van een afwegings- en beslissingskader om op basis van de vastgestelde metaalverontreiniging specifieke en concrete maatregelen te treffen en (iii) de uitwerking en uitvoering van een actieplan.

6. Niet-technische samenvatting

Deze studie synthetiseert en bespreekt de beschikbare gegevens over de zware metalen cadmium, zink, koper, lood, chroom en nikkel zoals die gestockeerd zijn in de ForSite bosbodemdatabank van het INBO. Deze metalen werden in de periode 1997 – 2003 gemeten in de strooisellaag en de bodem van 393 proefvlakken verspreid over de bossen van Vlaanderen. Binnen elk proefvlak werden meerdere locaties bemonsterd.

Rond de 4 Umicore vestigingen te Hoboken, Olen, Balen en Overpelt werd telkens een zoekcirkel met 10 km straal afgetekend. Binnen deze perimeters werden 23 proefvlakken weerhouden waarvan 6 proefvlakken binnen Natura 2000 gebied gelegen zijn en 17 er buiten. De metaalconcentraties binnen deze perimeters werden vergeleken met de metaalconcentraties van alle proefvlakken die erbuiten vallen en dus dienen als referentie. Deze referentieproefvlakken werden verder opgedeeld in de proefvlakken gelegen in de provincies Antwerpen en Limburg enerzijds, en Vlaams-Brabant en Oost- en West-Vlaanderen anderzijds. Aldus werden 4 gebiedscategorieën onderscheiden waartussen de metaalgehalten werden vergeleken: 2 gebieden binnen de 10 km perimeters en 2 referentiegebieden in de rest van Vlaanderen. Daarenboven werden de metaalconcentraties in de strooisellagen getoetst aan een voor Vlaanderen uitgewerkt normeringstelsel voor strooiselkwaliteit en de bodemgehalten aan het wettelijk normenstelsel voor bodemverontreiniging (VLAREBO).

Algemeen blijken de gehalten aan cadmium, zink en koper in de strooisellagen in de nabijheid van de Umicore vestigingen beduidend hoger te liggen dan in de referentiegebieden. Hoge waarden voor cadmium en zink worden voornamelijk aangetroffen nabij de vestigingen Balen en Overpelt. In de buurt van de vestiging Olen is bovenal een sterke koper verontreiniging vast te stellen, en in mindere mate nikkel en cobalt. De metaalconcentratie neemt af met toenemende afstand van het bedrijf. Slechts 1 bosproefvlak werd aangetroffen 9 km ten westen van de vestiging in Hoboken. Op die locatie werd geen metaalverontreiniging meer vastgesteld. De zware metalen lood, chroom en nikkel blijken als diffuse verontreiniging in de strooisellagen voor te komen. Een eenduidig verband met de Umicore vestigingen kon niet worden aangetoond.

Wat de zware metalen in de bodem betreft werden hoofdzakelijk aanrijkingen in de opperbodem vastgesteld wat wijst op metaaldepositie via luchtverontreiniging. In diepere bodemlagen (tot 1.20 m diepte) werden overwegend normale tot lage metaalgehalten genoteerd. Boscosystemen in Natura 2000 gebied vertonen op basis van de onderzochte proefvlakken hogere concentraties aan cadmium, zink, koper en lood in vergelijking met de resterende bossen binnen de 10 km perimeters. Een mogelijke verklaring is het hoger aandeel natte groeiplaatsen die blijkbaar hogere metaalconcentraties vertonen. De sterkste cadmium bodemverontreiniging werd vastgesteld in de Wateringen van Lommel, één van de soortenrijkste natuurgebieden van Limburg.

Een belangrijke conclusie is dat de metaalverontreiniging duidelijker traceerbaar is via strooiselanalyse dan analyse van de bodem. De strooisellaag is immers in staat de metalen efficiënt vast te houden door middel van sterke bindingen met organisch materiaal (humuscomplexen). De strooisellaag fungeert derhalve als een verontreinigingsarchief. Metalen die vrijkomen uit de strooisellaag hebben in deze zure en zandige bodems weinig mogelijkheden tot verankering, tenzij in ijzer- en humusrijke lagen van podsolen. Dit betekent dat metaalverontreiniging van oppervlakte- en grondwater niet ondenkbeeldig is. In kwetsbare grondwaterwinningsgebieden moet dit risico grondig bestudeerd en geëvalueerd worden.

De zones met hoge metaalvoorraden in de strooisellaag moeten afgebakend worden en passende maatregelen moeten genomen worden. Daar waar kritische niveaus worden

overschreden is het wellicht aan te bevelen de strooisellaag omzichtig te verwijderen op een passend tijdstip overeenkomstig de bosbeheerplanning. In andere zones dient de aanwezige strooisellaag zo intact mogelijk gehouden te worden. De uitwerking van een concreet afwegingskader en actieplan dringt zich op.

Over de gevolgen van hogere metaalconcentraties in bosesystemen is slechts weinig bekend. De meeste boomsoorten ondervinden geen duidelijk aantoonbare negatieve effecten rechtstreeks te wijten aan zware metalen. Microbiologie en ongewervelde organismen blijken volgens de literatuur gevoeliger te zijn.

Op basis van de waargenomen concentraties lijken ons vooral de metalen koper en cadmium risico's in te houden. Vooral de hoge koperconcentraties nabij Olen kunnen de natuurlijke afbraakprocessen in het bos afremmen.

Cadmium lijkt vooral problematisch voor de mens wanneer dit metaal accumuleert in consumeerbare bosproducten zoals paddestoelen en jachtwild. Gericht onderzoek van deze bosproducten is noodzakelijk om mogelijke risico's juist in te schatten.

De zware metalen zijn in de onderzochte bosesystemen al vele decennia aanwezig. Metaalgevoelige organismen zijn ongetwijfeld al lang verdwenen, mochten die ooit in deze relatief recente bosgebieden (max 1 eeuw oud) zijn voorgekomen. Met het afsterven van bossen door luchtpollutie zijn de toenmalig aanwezige metalen in de strooisellaag ook al lang verdwenen in de diepere bodem en het grondwater en wellicht niet meer traceerbaar.

Het blijft een verdere opdracht om de naweeën van deze historische verontreiniging zo goed mogelijk op te vangen en passende maatregelen te nemen om de negatieve gevolgen ervan voor mens en milieu te beperken.

Literatuur

Andreae, H. 1996. ecological impacts of some heavy metals related to long-range atmospheric transport. Background report. UN/ECE ICP forests. 23 p.

Bengtsson, G. & Tranvik, L. 1989. Critical metal concentrations for forest soil invertebrates. - a review of limitations. Water, Air & Soil pollution 47:381-417

Bergkvist, B., Folkesson, L. & Berggren, D. 1989. Fluxes of Cu, Zn, Pb, Cd, Cr and Ni in temperate forest ecosystems. Water, Air and Soil Pollution 47: 217-286

Brümmer, G. & Herms, U. 1983. Influence of soil reaction and organic matter on the solubility of heavy metals in soils. *In: effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems*, 233-243. B. Ulrich & J Pankrath (eds.). D. Reidel Publishing Company.

Collin-Hansen, C., Andersen, R.A., Steinnes, E. Damage to DNA and lipids in *Boletus edulis* exposed to heavy metals. Mycol. Res. 109(12): 1386-1396.

Craul, P.J. 1992. Urban soil in landscape design. John Wiley & Sons. New York.

De Vos, B. 1997. Chemical element analysis of the forest floor in the macro-invertebrate soil fauna plots. Institute for Forestry and Game management. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap. IBW Bb R:98.005. 72 p.

De Vos, B., Vandecasteele, B., Deckers, J. & Muys, B. 2005. Capability of loss-on-ignition as a predictor of total organic carbon in non-calcareous forest soils. Communications in soil science and plant analysis 36:2899-2951

Dumortier M, De Bruyn L, Peymen J, Schneiders A, Van Daele T, Weyembergh G, van Straaten D & Kuijken E . 2003. Natuurrapport 2003. Toestand van de natuur in Vlaanderen: cijfers voor het beleid. Mededelingen van het Instituut voor Natuurbehoud nr. 21, Brussel.

Geeraerts, R. 1991. Zware metalen, een zwaar Vlaams milieuprobleem. Rapport. 111 p.

Jabiol, B., Brêthes, A., Ponge, J-F., Toutain, F. et Brun, J.-J. 1995. L'Humus sous toutes ses formes. Ecole Nationale du Génie Rural, Des Eaux et des Forêts. Nancy. 63 p.

Kabata-Pendias, A. 2001. Trace elements in Soils and Plants. Third edition. CRC press. Florida.

Kalac, P., Svoboda, L. 2000. A review of trace element concentrations in edible mushrooms. Food chemistry 69:273-281.

Martin, M.H. & Bullock, R.J. 1994. The impact and fate of heavy metals in an Oak woodland ecosystem. In: Ross, S.M. (ed) Toxic Metals in soil-plant systems. John Wiley & Sons. UK.

McClellan, J.K. & Rock, C.A. 1988. Pretreating landfill leachate with peat to remove metals. Water, air and soil pollution 37: 203-215

Nriagu, J.O. & Pacyna, J.M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. Nature 333: 134-139

Petersen, L. 1976. Podzols and Podsolisation. DSR Forlag. Copenhagen.

Pokorny, B. Ribaric-Lasnik, C. 2002. Seasonal variability of mercury and heavy metals in roe deer (*Capreolus capreolus*) kidney. Environmental Pollution 117:35-46.

Ross, S. M. 1994. Toxic metals in soil-plant systems. John Wiley & Sons. Chichester. UK. 469 p.

Tyler, G. 1992. Critical concentrations of heavy metals in the mor horizon of swedish forests. Swedish Environmental Protection Agency. Report 4078. 38 p.

Vandecasteele, B., Quataert, P., De Vos, B., Tack, F.M.G. 2004a. Assessment of the pollution status of alluvial plains: a case study for the dredged sediment-derived soils along the Leie river. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 47: 14-22.

Vandecasteele, B., Quataert, P., De Vos, B., Tack, F.M.G., Muys, B. 2004b. Foliar concentrations of volunteer willows growing on polluted sediment-derived sites versus sites with baseline contamination levels J. Environ. Monit. 6: 313-321

Lijst van de afkortingen

AW	Achtergrondswaarde (soms ook richtwaarde genoemd)
BL	Baseline of referentiewaarde. In dit rapport gelijk aan achtergrondswaarde
BSN	Bodemsaneringsnorm volgens VLAREBO. De norm voor Type I (Natuur en bosgebieden) wordt aangeduid als BSN I
CL	Critical level – Kritische niveau. In de literatuur vaak gelijkgesteld met LOEC (lowest observable effect concentration)
LOI	Loss-on-ignition – het gewichtsverlies op droge stof basis na gloeien van een bodemonmonster bij 550°C (3 h)
LoQ	Limit of quantitation/ Limit of quantification, bepaalbaarheidslimiet. Grens waarbij met voldoende accuraatheid de concentratie van een product kan bepaald worden
MAC	Maximum allowable concentration – maximum toelaatbare concentratie van een metaal in een ecosysteemcompartiment (hier strooisellaag)
OM	Organisch materiaal – bodembestandelen met een gloeiverlies (LOI) gelijk aan of hoger dan 30%
OVAM	Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest
SEM	Standard error of the mean, standaard fout op het gemiddelde
SMCI	Strooisel metaal concentratie index. Relatieve index gebaseerd op Vlaams normenstelsel voor strooisellagen. Waarden van 0 (= niet verontreinigd) tot 1 (= zwaar verontreinigd) voor de metalen Cd, Zn, Cu, Pb, Cr en Ni.
SMPI	Strooisel metaal pool index. Analoge index als SMCI maar berekend op basis van totale stock (pool) aan metalen aanwezig in de strooisellaag
VTR	Verhouding ten opzichte van de referentie uitgedrukt als factor. De referentie is hier de achtergrondswaarde.

Bijlagen

I. Overzicht proefvlakken binnen de 4 Umicore perimeters

Vestiging Hoboken

Code	Proefvlak	Bosgebied	Ligging tov vestiging	LBX	LBY	TopoHgt	Bodemserie / aantal Boorlocaties	Cat
H1	BI156001	Wadden	WNW	138942	207680	20	ZbP / 3	2

Vestiging Olen

Code	Proefvlak	Bosgebied	Ligging tov vestiging	LBX	LBY	TopoHgt	Bodemserie en aantal Boorlocaties	Cat
OL1	BI163039	Lammerheide	NNW	184942	215680	16	Zbg / 3	2

Vestiging Balen

Code	Proefvlak	Bosgebied	Ligging tov vestiging	LBX	LBY	Topo Hgt	Bodemserie en aantal Boorlocaties	Cat
B1	BI176007	Gerheide	ZW	208942	207680	37	X / 3	1
B2	BI172133	Rijsbergdijk	WZW	206942	209680	32	X / 3	2
B3	BI172007	Zeven Heerlijkheden	NNW	208942	217680	38	X / 3	1
B4	BI172005	Nieuwland	NNW	206942	217680	37	Zdg / 3	1
B5	BI96135	Spreeuwenbos	NNW	208942	219680	44	Zdg / 3	1
B6	BI173103	Kattenbos	ONO	216942	211680	51	ZAg / 3	2
B7	BI173133	Kattenbosserheide	OZO	214942	209680	52	Zbg / 3	2
B8	BV0321008	Kattenbosserbergen	OZO	215151	209289	52	ZAg / 1	2
B9	BI173135	Hoeverheide	OZO	216942	209680	54	ZAg / 3	2
B10	BV0322015	De Gorten	OZO	220220	209263	53	Sdg / 1	2
B11	BI174131	De Gorten	OZO	220942	209680	52	Scf / 3	2
B12	BI177005	Pijnven	ZO	214942	207680	54	Zbg / 3	2
B13	BI177007	Pijnven	ZO	216942	207680	54	Zbg / 3	2
B14	BF28	Pijnven	ZO	217420	207707	55	Zbg / 4	2
B15	BI178001	Pijnven	OZO	218942	207680	55	Zcg / 3	2
B16	BV0472012	Pijnven	ZO	218494	206125	57	ZAg / 1	1
B17	BF23	Pijnven	ZO	216417	206964	56	Zbg / 4	2
B18	BV0471002	Pijnven	ZO	215429	206882	46	Zbg / 1	2
B19	BV0471001	Pijnven	ZO	214971	206590	54	Zbg / 1	2

Vestiging Overpelt

Code	Proefvlak	Bosgebied	Ligging tov vestiging	LBX	LBY	Topo Hgt	Bodemserie en aantal Boorlocaties	Cat
OV1	BI174069	Leukens	OZO	222942	213680	40	X / 3	2
OV2	BI174001	Watering	NW	218942	217680	35	Zeg / 3	1
OV3/B6	BI173103	Kattenbos	ZW	216942	211680	51	ZAg / 3	2
OV4/B7	BI173133	Kattenbosserheide	ZW	214942	209680	52	Zbg / 3	2
OV5/B8	BV0321008	Kattenbosserbergen	ZW	215151	209289	52	ZAg / 1	2
OV6/B9	BI173135	Hoeverheide	ZW	216942	209680	54	ZAg / 3	2
OV7/B10	BV0322015	De Gorten	ZZW	220220	209263	53	Sdg / 1	2
OV8/B11	BI174131	De Gorten	ZZW	220942	209680	52	Scf / 3	2
OV9/B12	BI177005	Pijnven	ZO	214942	207680	54	Zbg / 3	2
OV10/B13	BI177007	Pijnven	ZO	216942	207680	54	Zbg / 3	2
OV11/B14	BF28	Pijnven	ZO	217420	207707	55	Zbg / 4	2
OV12/B15	BI178001	Pijnven	OZO	218942	207680	55	Zcg / 3	2
OV13/B16	BV0472012	Pijnven	ZO	218494	206125	57	ZAg / 1	1
OV14/B17	BF23	Pijnven	ZO	216417	206964	56	Zbg / 4	2
OV15/B18	BV0471002	Pijnven	ZO	215429	206882	46	Zbg / 1	2

Vet gedrukt betekent overlap met vestiging Balen

II. Dataset Zware metalen strooisellagen

ForSite PROEFVLAK	UMICORE PLOT	NATURA 2000	SAMPLE	LFHDIKTE (cm)	LFHGEW (kg/m²)	Cd (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Cr (µg/g)	Ni (µg/g)
BI156001	H1	0	1	11.50	8.73	0.66	62.6	22.6	106.2	12.2	15.9
BI156001	H1	0	2	8.50	12.66	< 0.35	34.4	15.5	100.4	18.9	12.6
BI156001	H1	0	3	8.00	16.72	< 0.35	23.7	10.3	51.7	9.1	13.7
BI163039	OL1	0	1	10.00	10.79	0.62	146.2	53.5	117.8	216.5	94.1
BI163039	OL1	0	2	8.00	6.02	0.57	63.7	80.3	194.5	191.6	84.5
BI163039	OL1	0	3	8.00	6.11	0.98	68.6	90.8	253.7	44.5	22.2
BI176007	B1	1	1	9.00	7.41	6.77	491.0	43.2	315.7	69.2	35.0
BI176007	B1	1	2	9.00	10.09	5.71	509.7	73.5	608.1	72.9	42.2
BI176007	B1	1	3	15.00	15.25	11.60	220.0	37.6	130.3	499.3	259.4
BI172133	B2	0	1	6.00	6.74	5.77	459.2	40.0	333.7	69.3	38.6
BI172133	B2	0	2	11.00	7.47	7.41	505.7	47.5	288.8	51.3	29.0
BI172133	B2	0	3	9.00	6.87	5.34	462.3	44.3	319.2	57.8	32.8
BI172007	B3	1	1	6.00	5.79	1.89	139.2	23.0	76.8	227.4	101.0
BI172007	B3	1	2	10.00	5.85	2.87	213.8	26.0	76.4	50.0	26.7
BI172007	B3	1	3	7.00	4.55	2.52	225.9	38.7	164.4	38.7	22.6
BI172005	B4	1	1	4.00	3.50	1.52	259.5	24.7	84.2	139.9	70.9
BI172005	B4	1	2	4.00	3.06	2.27	215.4	20.5	47.9	300.7	141.8
BI172005	B4	1	3	5.00	2.48	2.07	298.6	20.6	55.1	229.9	115.1
BI96135	B5	1	1	9.00	15.62	3.06	256.9	45.1	261.9	26.5	18.0
BI96135	B5	1	2	10.00	18.78	1.25	122.1	29.3	167.5	56.9	31.1
BI96135	B5	1	3	12.00	16.03	2.36	272.3	35.6	187.0	20.6	14.3
BI173103	B6	0	1	9.00	7.84	3.20	495.7	39.8	308.4	45.2	24.5
BI173103	B6	0	2	11.00	8.92	6.40	797.4	32.8	257.2	18.0	14.5
BI173103	B6	0	3	12.00	7.18	6.91	952.7	65.7	606.3	25.2	18.4
BI173133	B7	0	1	4.00	11.75	5.62	424.5	35.5	250.7	51.7	30.4
BI173133	B7	0	2	12.00	18.05	5.53	531.3	104.9	1107.5	166.3	83.5
BI173133	B7	0	3	12.00	15.85	7.26	551.7	78.1	785.0	21.5	18.3
BV0321008	B8	0	1	4.00	5.28	3.33	279.8	24.9	159.4	6.8	< 3.5
BI173135	B9	0	1	13.50	12.08	4.46	391.3	45.2	398.7	21.4	16.2
BI173135	B9	0	2	15.50	11.46	4.85	421.4	51.5	477.1	15.3	14.0
BI173135	B9	0	3	12.00	10.67	4.61	459.7	60.0	665.8	13.2	13.5
BV0322015	B10	0	1	3.00	2.45	0.73	115.1	6.6	34.4	5.7	< 3.5
BI174131	B11	0	1	9.00	12.53	3.46	149.8	98.9	403.8	4.5	6.0
BI174131	B11	0	2	9.50	14.56	3.03	506.6	86.5	404.2	5.0	5.0
BI174131	B11	0	3	14.00	17.01	2.76	369.9	138.4	417.2	5.1	5.8
BI177005	B12	0	1	6.50	6.78	2.61	178.6	16.2	85.6	33.7	18.7
BI177005	B12	0	2	11.00	7.81	2.71	203.1	19.7	123.3	93.3	48.3
BI177005	B12	0	3	7.00	3.81	1.88	153.8	14.3	94.4	82.4	40.9
BI177007	B13	0	1	13.00	13.44	3.36	343.8	61.5	525.1	56.0	32.6
BI177007	B13	0	2	11.50	10.92	3.89	285.5	49.4	436.6	130.0	68.0
BI177007	B13	0	3	13.00	12.32	2.54	223.7	29.6	222.1	122.7	61.4
BF28	B14	0	1	9.00	7.95	2.94	259.9	32.7	207.9	15.4	15.0
BF28	B14	0	2	9.00	7.15	2.11	243.1	38.9	184.3	11.0	12.0
BF28	B14	0	3	7.00	5.93	2.39	274.0	28.1	187.6	11.7	13.0
BI178001	B15	0	1	9.00	14.16	2.27	266.1	32.7	242.8	60.9	30.4
BI178001	B15	0	2	8.00	10.96	1.36	186.0	29.2	205.5	144.8	60.3
BI178001	B15	0	3	7.00	18.62	1.77	251.5	40.1	333.8	119.6	51.6
BV0472012	B16	1	1	10.00	3.39	1.41	124.0	11.1	48.1	6.3	< 3.5
BF23	B17	0	1	7.00	7.31	2.30	261.2	32.2	256.0	19.7	14.4
BF23	B17	0	2	9.00	6.79	2.25	273.1	27.8	210.1	12.1	11.2
BF23	B17	0	3	7.00	5.77	1.83	289.3	38.0	280.4	13.2	12.4
BV0471002	B18	0	1	5.00	4.92	2.95	252.3	20.4	217.5	7.5	4.2

BV0471001	B19	0	1	10.00	7.19	2.08	158.4	13.2	103.4	11.7	< 3.5
BI174069	OV1	0	1	7.50	6.50	4.78	618.3	30.5	138.8	56.2	28.2
BI174069	OV1	0	2	12.00	7.97	3.81	516.7	32.4	127.7	41.8	20.7
BI174069	OV1	0	3	9.50	8.31	6.45	1012.3	45.5	242.2	13.3	10.4
BI174001	OV2	1	1	5.00	0.58	6.15	853.2	42.1	207.6	163.4	71.3
BI174001	OV2	1	2	4.00	1.46	5.61	493.1	20.3	71.8	9.2	5.0
BI174001	OV2	1	3	8.00	0.29	5.25	499.7	17.4	54.4	6.7	< 3.5

II. Dataset zware metalen in minerale bosbodem

De metaalgehalten zijn met een kleurcode aangegeven: **groen** betekent onder de achtergrondswaarde, **zwart** tussen achtergrondswaarde en BSN type I en **rood** een overschrijding van de saneringsnorm. De normen zijn telkens gecorrigeerd op basis van klei en OM gehalte (zie ook hoofdstuk 2.4.3). Ontbrekende waarden zijn aangegeven met NA. De bodemstalen zijn wel in ons bodemarchief aanwezig.

ForSite proefvlak	UMICORE PLOT	NATURA 2000	BORING	HSEQ	DIEPTE (cm)	Cd (µg/g)	Cr (µg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Ni (µg/g)	Zn (µg/g)
BI156001	H1	0	1	1	0-19	< 0.50	8.3	< 2.5	5.5	< 5.0	8.6
BI156001	H1	0	1	2	19-98	< 0.50	3.8	< 2.5	8.8	< 5.0	9.9
BI156001	H1	0	1	3	98-120	< 0.50	6.5	< 2.5	7.4	< 5.0	7.2
BI156001	H1	0	1	4	120-140	< 0.50	6.3	< 2.5	12.9	< 5.0	10.3
BI156001	H1	0	2	1	0-16	< 0.50	5.2	< 2.5	< 2.5	< 5.0	10.2
BI156001	H1	0	2	2	16-89	< 0.50	77.6	14.8	75.6	35.6	7.9
BI156001	H1	0	2	3	89-120	< 0.50	5.0	< 2.5	7.2	< 5.0	8.9
BI156001	H1	0	3	1	0-14	< 0.50	7.6	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.9
BI156001	H1	0	3	2	14-50	< 0.50	17.2	8.3	50.3	7.9	10.6
BI156001	H1	0	3	3	50-99	< 0.50	6.7	< 2.5	8.7	< 5.0	9.9
BI156001	H1	0	3	4	99-120	< 0.50	3.3	< 2.5	< 2.5	< 5.0	7.6
BI163039	OL1	0	1	1	0-30	< 0.50	8.7	7.1	7.9	< 5.0	12.6
BI163039	OL1	0	1	2	30-80	< 0.50	8.7	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.9
BI163039	OL1	0	1	3	80-120	< 0.50	15.0	< 2.5	< 2.5	< 5.0	14.0
BI163039	OL1	0	2	1	0-20	< 0.50	7.3	8.5	11.5	< 5.0	8.0
BI163039	OL1	0	2	2	20-36	< 0.50	10.6	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.5
BI163039	OL1	0	2	3	36-91	< 0.50	9.4	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.5
BI163039	OL1	0	2	4	91-120	< 0.50	8.4	< 2.5	< 2.5	< 5.0	7.5
BI163039	OL1	0	3	1	0-10	< 0.50	9.6	5.4	7.8	< 5.0	9.0
BI163039	OL1	0	3	2	10-80	< 0.50	11.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	11.6
BI163039	OL1	0	3	3	80-120	< 0.50	11.7	< 2.5	< 2.5	< 5.0	10.0
BI176007	B1	1	1	1	0-13	< 0.50	8.5	9.3	109.3	< 5.0	39.2
BI176007	B1	1	1	2	13-46	< 0.50	8.9	< 2.5	19.3	< 5.0	10.5
BI176007	B1	1	1	3	46-66	< 0.50	10.3	< 2.5	< 2.5	< 5.0	14.3
BI176007	B1	1	1	4	66-120	< 0.50	10.0	< 2.5	< 2.5	< 5.0	< 5.0
BI176007	B1	1	2	1	0-9	1.75	228.0	10.4	50.0	112.5	53.0
BI176007	B1	1	2	2	9-66	< 0.50	7.5	< 2.5	14.8	< 5.0	10.2
BI176007	B1	1	2	3	66-93	< 0.50	11.9	< 2.5	< 2.5	< 5.0	14.4
BI176007	B1	1	2	4	93-120	< 0.50	9.7	< 2.5	< 2.5	< 5.0	11.8

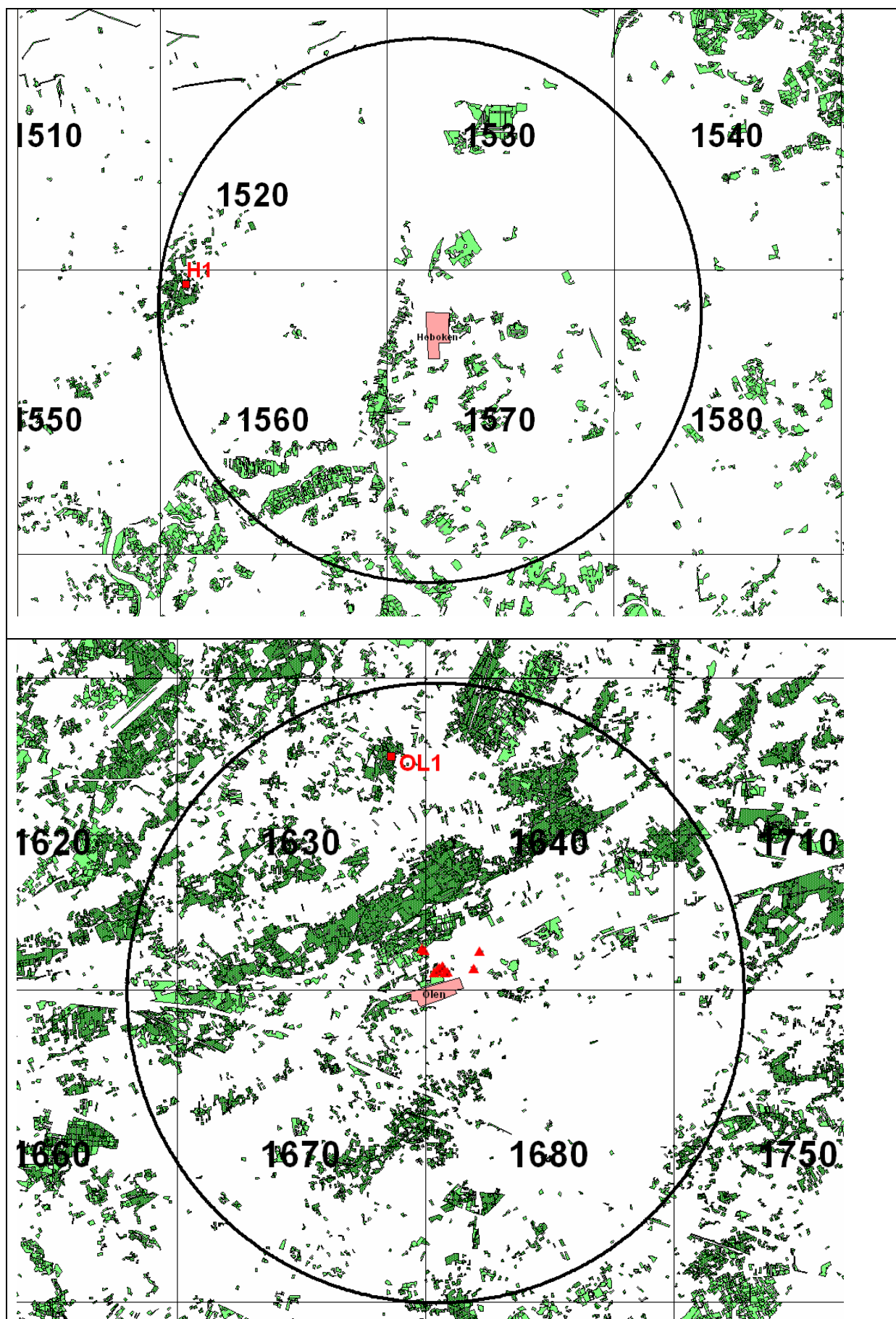
BI176007	B1	1	3	1	0-7	0.55	9.9	18.9	179.3	< 5.0	93.1
BI176007	B1	1	3	2	7-14	< 0.50	12.6	8.1	96.2	< 5.0	16.3
BI176007	B1	1	3	3	14-58	< 0.50	10.6	< 2.5	16.0	< 5.0	12.8
BI176007	B1	1	3	4	58-120	< 0.50	10.2	< 2.5	< 2.5	< 5.0	11.4
BI172133	B2	0	1	1	0-5	0.75	10.3	18.2	181.8	< 5.0	95.8
BI172133	B2	0	1	2	5-46	< 0.50	6.5	< 2.5	12.6	< 5.0	8.3
BI172133	B2	0	1	3	46-83	< 0.50	9.0	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.1
BI172133	B2	0	1	4	83-108	< 0.50	9.0	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.1
BI172133	B2	0	1	5	108-120	< 0.50	9.3	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.8
BI172133	B2	0	2	1	0-6	< 0.50	9.9	8.0	65.3	< 5.0	40.7
BI172133	B2	0	2	2	6-31	< 0.50	8.7	7.5	51.2	< 5.0	10.8
BI172133	B2	0	2	3	31-59	< 0.50	8.8	< 2.5	< 2.5	< 5.0	7.4
BI172133	B2	0	2	4	59-104	< 0.50	9.8	< 2.5	< 2.5	< 5.0	10.5
BI172133	B2	0	2	5	104-120	< 0.50	8.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	10.3
BI172133	B2	0	3	1	0-23	< 0.50	8.7	7.0	34.8	< 5.0	8.8
BI172133	B2	0	3	2	23-57	< 0.50	5.9	< 2.5	< 2.5	< 5.0	7.9
BI172133	B2	0	3	3	57-120	< 0.50	10.3	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.9
BI172007	B3	1	1	1	0-18	< 0.50	9.4	14.8	61.4	7.3	28.5
BI172007	B3	1	1	2	18-41	< 0.50	4.8	5.3	8.1	5.1	7.8
BI172007	B3	1	1	3	41-120	< 0.50	11.2	4.7	< 2.5	9.0	14.0
BI172007	B3	1	2	1	0-49	< 0.50	6.7	4.9	3.0	6.2	7.1
BI172007	B3	1	2	2	48-74	< 0.50	6.8	5.9	13.5	5.2	10.3
BI172007	B3	1	2	3	84-120	< 0.50	14.1	4.6	4.8	7.2	13.6
BI172007	B3	1	3	1	0-9	1.20	17.0	54.5	326.5	12.2	148.5
BI172007	B3	1	3	2	9-35	< 0.50	10.3	8.6	21.2	< 5.0	10.9
BI172007	B3	1	3	3	35-63	0.65	10.0	6.0	4.8	7.7	14.8
BI172007	B3	1	3	4	63-120	< 0.50	12.6	4.3	< 2.5	7.7	10.6
BI172005	B4	1	1	1	0-5	0.82	230.9	27.2	111.4	93.2	67.5
BI172005	B4	1	1	2	5-33	< 0.50	11.2	< 2.5	25.0	< 5.0	12.9
BI172005	B4	1	1	3	41-64	< 0.50	12.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.2
BI172005	B4	1	1	4	64-120	< 0.50	5.9	< 2.5	< 2.5	< 5.0	6.0
BI172005	B4	1	2	1	0-2	0.61	9.9	13.3	54.9	< 5.0	30.7
BI172005	B4	1	2	2	2-35	< 0.50	12.1	< 2.5	21.5	< 5.0	13.2
BI172005	B4	1	2	3	35-59	< 0.50	7.4	< 2.5	< 2.5	< 5.0	7.6
BI172005	B4	1	2	4	59-120	< 0.50	5.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.0
BI172005	B4	1	3	1	0-1	1.79	382.2	32.8	168.5	156.8	121.8
BI172005	B4	1	3	2	1-28	< 0.50	9.9	5.4	28.0	< 5.0	15.3
BI172005	B4	1	3	3	28-52	< 0.50	11.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.8
BI172005	B4	1	3	4	52-120	< 0.50	4.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	5.7
BI96135	B5	1	1	1	0-11	< 0.50	16.3	< 2.5	8.1	< 5.0	10.2
BI96135	B5	1	1	2	11-42	< 0.50	16.3	< 2.5	5.9	< 5.0	10.2
BI96135	B5	1	1	3	42-55	< 0.50	17.6	< 2.5	< 2.5	5.2	24.1
BI96135	B5	1	1	4	55-120	< 0.50	16.1	< 2.5	< 2.5	7.2	11.1
BI96135	B5	1	2	1	0-10	< 0.50	11.8	< 2.5	11.1	< 5.0	8.3
BI96135	B5	1	2	2	10-47	< 0.50	10.9	< 2.5	< 2.5	< 5.0	15.1
BI96135	B5	1	2	3	47-70	< 0.50	13.6	< 2.5	< 2.5	7.0	22.0
BI96135	B5	1	2	4	70-120	< 0.50	10.4	< 2.5	< 2.5	6.1	13.0
BI96135	B5	1	3	1	0-24	< 0.50	16.5	< 2.5	5.8	< 5.0	11.2
BI96135	B5	1	3	2	24-42	< 0.50	12.6	< 2.5	< 2.5	5.8	20.6

BI96135	B5	1	3	3	42-120	< 0.50	11.0	< 2.5	< 2.5	6.0	16.9
BI173103	B6	0	1	1	0-15	< 0.50	5.0	< 2.5	9.3	< 5.0	25.0
BI173103	B6	0	1	2	15-22	< 0.50	9.0	7.4	51.7	< 5.0	38.1
BI173103	B6	0	1	3	22-64	< 0.50	5.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	22.1
BI173103	B6	0	1	4	64-120	< 0.50	5.9	< 2.5	< 2.5	< 5.0	13.7
BI173103	B6	0	2	1	0-17	< 0.50	4.7	< 2.5	14.7	< 5.0	33.3
BI173103	B6	0	2	2	17-23	< 0.50	7.2	< 2.5	6.6	< 5.0	21.6
BI173103	B6	0	2	3	23-73	< 0.50	2.7	< 2.5	< 2.5	< 5.0	25.5
BI173103	B6	0	2	4	73-120	< 0.50	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	11.5
BI173103	B6	0	3	1	0-23	< 0.50	6.2	< 2.5	< 2.5	< 5.0	21.6
BI173103	B6	0	3	2	23-35	< 0.50	4.7	< 2.5	6.6	< 5.0	29.2
BI173103	B6	0	3	3	35-39	< 0.50	8.6	< 2.5	6.1	< 5.0	23.2
BI173103	B6	0	3	4	39-95	< 0.50	5.9	< 2.5	< 2.5	< 5.0	32.2
BI173103	B6	0	3	5	95-120	< 0.50	6.6	< 2.5	< 2.5	< 5.0	18.1
BI173133	B7	0	1	1	0-27	< 0.50	4.7	3.5	37.2	< 5.0	7.4
BI173133	B7	0	1	2	27-52	< 0.50	7.8	< 2.5	3.7	< 5.0	5.3
BI173133	B7	0	1	3	52-120	< 0.50	16.4	< 2.5	3.5	< 5.0	6.6
BI173133	B7	0	2	1	0-35	0.65	4.1	< 2.5	30.4	< 5.0	13.9
BI173133	B7	0	2	2	35-50	< 0.50	7.1	< 2.5	2.8	< 5.0	< 5.0
BI173133	B7	0	2	3	50-120	< 0.50	10.9	< 2.5	< 2.5	< 5.0	5.6
BI173133	B7	0	3	1	0-30	< 0.50	4.9	< 2.5	15.7	< 5.0	< 5.0
BI173133	B7	0	3	2	30-46	< 0.50	12.7	< 2.5	6.9	< 5.0	5.7
BI173133	B7	0	3	3	46-69	< 0.50	10.8	< 2.5	3.6	< 5.0	7.1
BI173133	B7	0	3	4	69-120	< 0.50	8.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	< 5.0
BV0321008	B8	0	1	1	0-11	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0321008	B8	0	1	2	11-22	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BI173135	B9	0	1	1	0-25	< 0.50	< 2.5	< 2.5	18.1	< 5.0	11.2
BI173135	B9	0	1	2	25-43	< 0.50	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	10.2
BI173135	B9	0	1	3	43-88	< 0.50	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	11.2
BI173135	B9	0	1	4	88-120	< 0.50	8.4	< 2.5	< 2.5	5.5	11.3
BI173135	B9	0	2	1	0-19	< 0.50	< 2.5	< 2.5	43.0	< 5.0	18.3
BI173135	B9	0	2	2	19-28	0.62	5.1	< 2.5	10.5	< 5.0	15.2
BI173135	B9	0	2	3	28-46	< 0.50	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.3
BI173135	B9	0	2	4	46-112	< 0.50	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.7
BI173135	B9	0	2	5	112-120	< 0.50	8.8	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.3
BI173135	B9	0	3	1	0-28	< 0.50	< 2.5	< 2.5	34.6	< 5.0	14.0
BI173135	B9	0	3	2	28-74	< 0.50	6.8	< 2.5	< 2.5	< 5.0	13.2
BI173135	B9	0	3	3	74-120	< 0.50	9.4	< 2.5	< 2.5	< 5.0	10.9
BV0322015	B10	0	1	1	0-22	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0322015	B10	0	1	2	22-40	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BI174131	B11	0	1	1	0-15	< 0.50	15.3	6.8	42.8	< 5.0	15.4
BI174131	B11	0	1	2	15-87	< 0.50	8.9	< 2.5	5.7	< 5.0	11.1
BI174131	B11	0	1	3	87-120	< 0.50	8.6	< 2.5	< 2.5	5.5	11.7
BI174131	B11	0	2	1	0-17	< 0.50	12.4	5.2	28.8	< 5.0	13.7
BI174131	B11	0	2	2	17-28	< 0.50	9.8	< 2.5	9.7	< 5.0	9.8
BI174131	B11	0	2	3	28-107	< 0.50	7.8	< 2.5	< 2.5	< 5.0	12.9
BI174131	B11	0	2	4	107-120	< 0.50	9.1	< 2.5	< 2.5	5.4	11.4
BI174131	B11	0	3	1	0-12	< 0.50	10.2	< 2.5	32.5	< 5.0	14.7
BI174131	B11	0	3	2	14-49	< 0.50	9.1	< 2.5	7.7	< 5.0	13.7

BI174131	B11	0	3	3	49-120	< 0.50	9.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.3
BI177005	B12	0	1	1	0-15	< 0.50	14.7	3.5	18.3	< 5.0	16.0
BI177005	B12	0	1	2	15-30	< 0.50	7.5	< 2.5	9.5	< 5.0	13.0
BI177005	B12	0	1	3	30-39	< 0.50	9.1	< 2.5	4.8	< 5.0	11.6
BI177005	B12	0	1	4	39-73	< 0.50	4.8	3.3	21.4	< 5.0	21.8
BI177005	B12	0	1	5	73-90	< 0.50	8.4	< 2.5	6.9	< 5.0	14.5
BI177005	B12	0	1	6	90-100	< 0.50	4.0	< 2.5	< 2.5	< 5.0	6.1
BI177005	B12	0	2	1	0-18	< 0.50	20.1	2.6	10.8	< 5.0	16.7
BI177005	B12	0	2	2	18-32	< 0.50	11.2	8.2	76.1	< 5.0	30.6
BI177005	B12	0	2	3	32-49	< 0.50	11.9	< 2.5	4.6	< 5.0	13.4
BI177005	B12	0	2	4	49-69	< 0.50	6.4	< 2.5	6.7	< 5.0	10.6
BI177005	B12	0	2	5	69-114	< 0.50	21.6	3.0	4.7	7.1	14.0
BI177005	B12	0	3	1	0-28	< 0.50	12.9	< 2.5	4.1	< 5.0	13.6
BI177005	B12	0	3	2	28-93	< 0.50	14.7	< 2.5	5.7	< 5.0	16.7
BI177005	B12	0	3	3	93-120	< 0.50	12.4	5.0	32.4	< 5.0	23.0
BI177007	B13	0	1	1	0-33	0.68	< 2.5	< 2.5	11.3	< 5.0	8.0
BI177007	B13	0	1	2	33-58	< 0.50	20.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.7
BI177007	B13	0	1	3	58-120	< 0.50	10.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.2
BI177007	B13	0	2	1	0-37	0.79	< 2.5	< 2.5	6.5	< 5.0	7.8
BI177007	B13	0	2	2	37-54	< 0.50	7.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.5
BI177007	B13	0	2	3	54-72	< 0.50	5.2	< 2.5	< 2.5	< 5.0	5.7
BI177007	B13	0	2	4	72-90	< 0.50	5.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	6.6
BI177007	B13	0	2	5	90-103	< 0.50	9.8	< 2.5	< 2.5	< 5.0	7.6
BI177007	B13	0	3	1	0-21	< 0.50	< 2.5	< 2.5	14.7	< 5.0	< 5.0
BI177007	B13	0	3	2	21-49	< 0.50	11.2	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.7
BI177007	B13	0	3	3	49-69	< 0.50	17.6	< 2.5	< 2.5	< 5.0	12.0
BI177007	B13	0	3	4	69-85	< 0.50	3.9	< 2.5	< 2.5	< 5.0	5.6
BI177007	B13	0	3	5	85-120	< 0.50	2.9	< 2.5	< 2.5	< 5.0	< 5.0
BF28	B14	0	1	1	0-19	< 0.50	6.4	3.0	19.4	< 5.0	21.5
BF28	B14	0	1	2	19-40	< 0.50	7.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	25.2
BF28	B14	0	2	1	0-26	< 0.50	7.7	3.4	20.7	< 5.0	14.9
BF28	B14	0	2	2	26-55	< 0.50	13.0	< 2.5	< 2.5	< 5.0	25.3
BF28	B14	0	3	1	0-26	< 0.50	10.1	2.9	11.6	< 5.0	15.8
BF28	B14	0	3	2	26-47	< 0.50	7.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	25.6
BI178001	B15	0	1	1	0-50	< 0.50	5.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	6.2
BI178001	B15	0	1	2	50-73	< 0.50	11.3	< 2.5	43.2	< 5.0	< 5.0
BI178001	B15	0	1	3	73-103	< 0.50	9.8	< 2.5	< 2.5	< 5.0	< 5.0
BI178001	B15	0	1	4	103-120	< 0.50	8.4	< 2.5	< 2.5	< 5.0	7.9
BI178001	B15	0	2	1	0-20	< 0.50	< 2.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	8.8
BI178001	B15	0	2	2	20-45	< 0.50	9.9	< 2.5	10.1	< 5.0	5.1
BI178001	B15	0	2	3	45-68	< 0.50	13.2	< 2.5	< 2.5	< 5.0	< 5.0
BI178001	B15	0	2	4	68-96	< 0.50	12.6	< 2.5	< 2.5	< 5.0	< 5.0
BI178001	B15	0	2	5	69-120	< 0.50	6.7	< 2.5	24.9	< 5.0	7.8
BI178001	B15	0	3	1	0-33	< 0.50	11.8	< 2.5	14.1	< 5.0	5.4
BI178001	B15	0	3	2	33-49	< 0.50	7.6	< 2.5	< 2.5	< 5.0	6.6
BI178001	B15	0	3	3	49-73	< 0.50	5.6	< 2.5	< 2.5	< 5.0	10.5
BI178001	B15	0	3	4	73-108	< 0.50	8.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	12.4
BI178001	B15	0	3	5	108-120	< 0.50	9.2	< 2.5	< 2.5	< 5.0	7.1
BV0472012	B16	1	1	1	0-8	NA	NA	NA	NA	NA	NA

BV0472012	B16	1	1	2	8-15	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BF23	B17	0	1	1	0-35	< 0.50	4.5	3.7	27.4	< 5.0	27.5
BF23	B17	0	1	2	35-55	< 0.50	5.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	12.5
BF23	B17	0	2	1	0-15	< 0.50	5.0	4.4	27.9	< 5.0	20.2
BF23	B17	0	2	2	15-32	< 0.50	2.8	< 2.5	< 2.5	< 5.0	9.2
BF23	B17	0	3	1	0-40	< 0.50	5.1	2.7	12.4	< 5.0	20.8
BF23	B17	0	3	2	>40	< 0.50	7.4	< 2.5	< 2.5	< 5.0	14.4
BV0471002	B18	0	1	1	0-8	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0471002	B18	0	1	2	8-18	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0471002	B18	0	1	3	18-26	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0471002	B18	0	1	4	26-39	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0471002	B18	0	1	5	39-98	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0471002	B18	0	1	6	>98	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0471001	B19	0	1	1	0-11	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0471001	B19	0	1	2	11-18	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BV0471001	B19	0	1	3	36-111	NA	NA	NA	NA	NA	NA
BI174069	OV1	0	1	1	0-11	< 0.50	7.4	15.7	51.1	< 5.0	86.1
BI174069	OV1	0	1	2	11-56	< 0.50	5.9	< 2.5	5.1	< 5.0	25.5
BI174069	OV1	0	1	3	56-72	< 0.50	9.7	< 2.5	< 2.5	< 5.0	25.1
BI174069	OV1	0	1	4	72-120	< 0.50	12.2	< 2.5	< 2.5	< 5.0	19.4
BI174069	OV1	0	2	1	0-25	< 0.50	8.6	< 2.5	23.6	< 5.0	29.8
BI174069	OV1	0	2	2	25-45	< 0.50	9.5	< 2.5	31.3	< 5.0	32.6
BI174069	OV1	0	2	3	45-60	< 0.50	13.5	< 2.5	< 2.5	< 5.0	25.5
BI174069	OV1	0	2	4	60-102	< 0.50	8.1	< 2.5	< 2.5	< 5.0	19.7
BI174069	OV1	0	2	5	102-120	< 0.50	6.8	< 2.5	< 2.5	< 5.0	21.2
BI174069	OV1	0	3	1	0-33	< 0.50	6.2	< 2.5	16.8	< 5.0	25.2
BI174069	OV1	0	3	2	33-48	< 0.50	9.0	< 2.5	< 2.5	< 5.0	30.2
BI174069	OV1	0	3	3	48-59	< 0.50	4.2	10.3	< 2.5	< 5.0	20.0
BI174069	OV1	0	3	4	59-88	< 0.50	8.6	< 2.5	< 2.5	< 5.0	24.2
BI174069	OV1	0	3	5	88-100	< 0.50	9.0	< 2.5	< 2.5	< 5.0	23.0
BI174001	OV2	1	1	1	0-36	3.59	47.1	33.8	189.5	19.1	497.0
BI174001	OV2	1	1	2	36-120	< 0.50	21.2	< 2.5	10.9	5.2	8.6
BI174001	OV2	1	2	1	0-39	4.34	49.5	42.6	184.7	22.1	600.0
BI174001	OV2	1	2	2	39-80	< 0.50	24.4	< 2.5	16.6	< 5.0	20.4
BI174001	OV2	1	3	1	0-45	2.91	46.1	26.3	167.1	11.6	367.9
BI174001	OV2	1	3	2	45-97	< 0.50	25.0	< 2.5	9.5	< 5.0	< 5.0
BI174001	OV2	1	3	3	97-110	< 0.50	44.9	13.4	22.9	15.4	40.3
BI174001	OV2	1	3	4	110-120	< 0.50	40.9	4.6	15.1	15.9	18.7

IV. Situatiekaarten Hoboken en Olen 1:100.000 met aanduiding van proefvlak



V. Situatiekaart Balen en Overpelt 1:110.000 met aanduiding van proefvlakken

De paarse locatie ten NNO van Umicore Balen zijn de Stevensvennen. De bosgebieden zijn aangeduid in een groene kleur: donkergroen voor naaldhout en lichtgroen voor loofhout.

