GeoConnect
Steijnstraat 20
3531 AV Utrecht
M 06 25102980

info@geoconnect.nl
www.geoconnect.nl

Chemische karakterisatie van bodems verontreinigd met zinkassen

Deel 2: Fingerprinting met behulp van een veld XRF uitgerust met een 50KeV röntgenbuis

Datum	Oktober 2008
Auteur(s)	N. Walraven
Rapportnummer	GC 06-2008
Oplage	7
Aantal pagina's	62
Aantal bijlagen	10
Opdrachtgever	Actief Bodembeheer de Kempen

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie of welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van GeoConnect.

Indien dit rapport in opdracht wordt uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan GeoConnect, dan wel de betreffende overeenkomst gesloten tussen de partijen.
Het ter inzage geven van het GeoConnect-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2004 GeoConnect

Samenvatting

In en rond de Kempen (provincie Noord-Brabant en Limburg) liggen nog op veel plaatsen zinkassen. Deze zinkassen bevatten veel zink en in mindere mate lood, koper, arseen en cadmium. Te grote hoeveelheden van die metalen zijn schadelijk voor mens en milieu. Daarom worden zinkassen op een aantal locaties, waaronder Sterksel, Hulsel, Someren, Valkenswaard en Cranendonck, momenteel verwijderd.

Eigenaren van door zinkassen verontreinigde grond kunnen in aanmerking komen voor financiële steun bij het verwijderen van zinkassen of met zinkassen verontreinigde grond. Voorwaarde voor financiële steun is echter dat de bodem daadwerkelijk verontreinigd is met zinkassen en niet met zware metalen (waaronder Zn, As, Cd, Pb en Cu) afkomstig van een andere bron.

Maar hoe bepaal je of grond verontreinigd met Zn, As, Cd, Pb en Cu het gevolg is van de aanwezigheid van zinkassen? In de meeste gevallen is dat vrij evident. Zinkassen zijn dan visueel waarneembaar. Maar op een aantal locaties zijn sterk verhoogde zinkgehaltes gemeten, maar zijn visueel geen zinkassen waargenomen. ABdK heeft nog geen snelle en goedkope methode om vast te stellen of verhoogd zink-, lood-, koper-, arseen- en cadmiumgehaltes in bodems daadwerkelijk het gevolg zijn van de aanwezigheid van zinkassen. Een methode die hiervoor gebruikt zou kunnen worden is fingerprinting op basis van veld XRF metingen.

Het hoofddoel van dit project is antwoord te krijgen op de volgende vraag:

- Is het mogelijk om met behulp van een veld XRF - uitgerust met een 50KeV buis - een (chemische) fingerprint te maken van bodems verontreinigd met zinkassen in De Kempen, zodat op basis van de fingerprint in de toekomst kan worden vastgesteld of bodems zijn verontreinigd met zinkassen of met een andere zware metalen bron?

Uit onderhavig onderzoek blijkt dat:

- De Ca, V, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Ba en Pb gehaltes in zowel de Nederlandse als Belgische bodems, verontreinigd met zinkassen, nagenoeg over de hele range hoger zijn dan in de natuurlijke (onverstoorde) bodems. De gehaltes van Cr, Se, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Co, Pd en Hg in bodems verontreinigd met zinkassen kunnen ook verhoogd zijn, maar het merendeel van de XRF metingen is lager dan de aantoonbaarheidsgrens. Daarom kunnen de Cr, Se, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Co, Pd en Hg gehaltes niet gebruikt worden voor de beoogde toepassing.
- De element combinaties Zn-Pb, Zn-Cu, Zn-As, Fe-Zn, Zn-Mn, Pb-Cu, Pb-As, Mn-Pb, Fe-Pb, Fe-As, Mn-As, Fe-Cu, Mn-Cu, Fe-Mn, Ba-V en Sr-V hebben een ‘hoge’ correlatie coëfficiënt. Deze elementgehaltes zijn gebruikt voor het berekenen van de elementratio’s. Uit een vergelijking van de elementratio’s van de zinkassen met de elementratio’s van 84 Zn-houdende stedelijke ophooglaagmonsters en 15 Zn-houdende steenkoolmonsters, blijkt dat de elementratio’s Zn/Pb, Zn/As, Fe/Zn, Pb/Cu en Fe/Pb onderscheidend zijn. De fingerprint van de zinkassen is daarom gebaseerd op deze elementratio’s.
- Meer dan 90% van de onderzochte bodemmonsters verontreinigd met zinkassen een wezenlijk andere fingerprint heeft dan de bodemmonsters verontreinigd met Zn-houdend puin in stedelijke ophooglagen. Alle onderzochte bodemmonsters verontreinigd met zinkassen kunnen met behulp van de fingerprint onderscheiden worden van Zn-houdend steenkool.
- FCM clustering een geschikte statistische methode is om de 3 onderzochte zinkbronnen (zinkassen, stedelijke ophooglagen en steenkool) te onderscheiden. De clustering is niet feilloos, maar met de huidige dataset is het mogelijk om 94% van de zinkasmonsters te onderscheiden van

de overige zinkbronnen. Het FCM cluster programma kan in de praktijk worden gebruikt om de Zn bronnen van elkaar te onderscheiden.

Indien ABdK de ontwikkelde fingerprint in de toekomst wil gaan gebruiken, worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Hoewel de fingerprint op basis van veld XRF metingen solide blijkt te zijn, dient deze nog wel gevalideerd te worden op basis van onafhankelijke monsters (lees: monsters die niet zijn gebruikt voor het opstellen van de fingerprint, dus nieuwe praktijkmonsters). Omdat maandelijks vele tientallen XRF metingen worden verricht tijdens saneringen in De Kempen (en in de toekomst waarschijnlijk ook bij nader onderzoek) is het vrij eenvoudig om onderhavige fingerprint te valideren en, indien gewenst, uit te breiden.
- Het is met name wenselijk om de fingerprint uit te breiden met meer monsters uit een groter aantal gemeenten in De Kempen. Onderhavige fingerprint is namelijk gebaseerd op monsters uit een beperkt aantal gemeenten (met name Cranendonck, Reusel – De Mierden, Overpelt en Lommel).
- Bij forensisch onderzoek wordt gebruik gemaakt van divers bewijsmateriaal om bijvoorbeeld aan te tonen wie de schuldige is. Ook bij de vraag of bodems verontreinigd zijn met zinkassen kunnen meerdere technieken worden gebruikt. De eenvoudigste methode voor ABdK is de fingerprint op basis van veld XRF meetgegevens (onderhavig onderzoek). Diverse adviesbureaus beschikken inmiddels over deze apparatuur en kunnen ter plekke snel een meting verrichten. Een uitgebreide analyse van hoofd- en sporenelementen en Pb isotopen kan als aanvulling ook eenvoudig worden verricht (fingerprint rapport deel 1). Het is echter mogelijk om nog meer informatie over de bron/herkomst van de zinkassen boven tafel te krijgen. De mineralogische samenstelling van de zinkassen is hoogstwaarschijnlijk ook karakteristiek. Het zinkerts waarvan de zinkassen een restproduct zijn bestaan namelijk uit onder andere sphaleriet, pyriet, chalcopyriet en loodsulfaat. Met behulp van scanning elektron microscopie (SEM) kan de mineralogische samenstelling van een met zink verontreinigd bodemmonsters worden vastgesteld.
- GeoConnect raadt ABdK aan om na te gaan of de leveranciers van de veld XRF spectrometers bereid zijn om de fingerprint in de software van de veld XRF in te bouwen zodat direct kan worden bepaald of een bodem verontreinigd is met zinkassen of niet. Het is ook mogelijk om de fingerprint zelf te berekenen met een programma als Excel.

Inhoudsopgave

1	**Inleiding**	**7**
1.1	Probleemstelling	7
1.2	Huidige kennis	7
1.3	Doelstelling	8
2	**Onderzoeksopzet**	**9**
2.1	Verzamelen geschikte bodemmonsters	9
2.2	Externe kalibratie veld XRF	9
2.3	Analyse bodem- en zinkasmonsters	11
2.4	Opstellen fingerprint	11
3	**Resultaten en discussie**	**13**
3.1	Natuurlijke achtergrond versus verontreinigde monsters	13
3.2	Correlaties	14
3.2.1	Fingerprint: elementratio's	15
3.2.2	Clusteranalyse: fuzzy c-means clustering	18
3.2.3	Betrouwbaarheid fingerprint	20
4	**Conclusies en aanbevelingen**	**21**
4.1	Conclusies	21
4.2	Aanbevelingen	21
5	**Referenties**	**23**
A	**Meetresultaten (in mg/kg) van de veld XRF: tuinen particulieren**	**25**
B	**Meetresultaten (mg/kg) van de veld XRF: zinkassenwegen**	**29**
C	**Meetresultaten (mg/kg) van de veld XRF: depositiegebied omgeving Cranendonck**	**43**
D	**Samenstelling bodems verontreinigd met zinkassen in Nederlandse en Belgische Kempen versus samenstelling onverstoorde ondergrond.**	**45**
E	**Samenstelling bodems verontreinigd met zinkassen in de Nederlandse Kempen versus samenstelling onverstoorde ondergrond.**	**47**
F	**Samenstelling bodems verontreinigd met zinkassen in de Belgische Kempen versus samenstelling onverstoorde ondergrond.**	**49**
G	**Correlatiematrix van de Sr, Pb, As, Zn, Cu, Fe, Mn, V, Ca en Ba gehaltes in Nederlandse en Belgische met zinkassen verontreinigde bodems**	**51**
H	**Correlaties tussen elementgehaltes onderling**	**53**
I	**Box-whisker plots van de karakteristieke elementratio's van Nederlandse en Belgische bodemmonsters verontreinigd met zinkassen, aangevuld met stedelijke ophooglagen en steenkoolmonsters.**	**57**

J Percentielwaarden van de karakteristieke elementratio's van de verschillende zinkbronnen 61

1 Inleiding

In en rond de Kempen liggen nog op veel plaatsen zinkassen. Zinkassen, ook wel sintels genoemd, zijn het afval van verhit zinkerts. Ze ontstonden in de 20-ste eeuw bij de zinkfabrieken in de Nederlandse en Belgische Kempen. Een groot deel van de zinkassen werd op het terrein van de zinkfabrieken opgeslagen. Een ander deel werd gebruikt door gemeenten en particulieren voor de verharding van wegen en erven. Omdat de zinkassen gratis konden worden opgehaald bij de fabriek is hier gretig gebruik van gemaakt. Bijkomend voordeel van de zinkassen was het feit dat er geen onkruid op groeit.

Zinkassen bevatten echter grote hoeveelheden zware metalen, waaronder zink, koper, lood, arseen en cadmium. Als zinkassen vochtig worden, lossen deze zware metalen op en kunnen zo in het grondwater en in gewassen terechtkomen. Te grote hoeveelheden van die metalen zijn schadelijk voor mens en milieu. De overheid heeft geld beschikbaar gesteld om de zinkassen te verwijderen. Het projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen (ABdK) coördineert de zinkassensaneringen.

1.1 Probleemstelling

Eigenaren van door zinkassen verontreinigde grond kunnen in aanmerking komen voor financiële steun bij het verwijderen van zinkassen of met zinkassen verontreinigde grond. Voorwaarde voor financiële steun is echter dat de bodem daadwerkelijk verontreinigd is met zinkassen en niet met zware metalen (waaronder Zn, Pb, Cu, As en Cd) afkomstig van een andere bron.

Maar hoe bepaal je of grond verontreinigd met Zn, As, Cd, Pb en Cu het gevolg is van de aanwezigheid van zinkassen? In de meeste gevallen is dat vrij evident. Zinkassen zijn dan visueel waarneembaar. Maar op een aantal locaties zijn sterk verhoogde zinkgehaltes gemeten, maar zijn visueel geen zinkassen waargenomen. ABdK heeft nog geen goedkope en snelle methode om vast te stellen of verhoogd zink-, lood-, koper-, arseen- en cadmiumgehaltes in bodems daadwerkelijk het gevolg zijn van de aanwezigheid van zinkassen. Een methode die hiervoor gebruikt zou kunnen worden is fingerprinting op basis van veld XRF metingen.

1.2 Huidige kennis

Net als het lijnenpatroon van je vingers, is de chemische samenstelling van veel bodemverontreinigingen ook uniek. In 2006 heeft GeoConnect een chemische fingerprint gemaakt van 15 bodemmonsters verontreinigd met zinkassen (Walraven, 2008). Deze fingerprint is vergeleken met de chemische fingerprint van 44 bodemmonsters die verontreinigd waren met Zn houdende puinresten/steenkoolresten (geen zinkassen). Alle 44 getoetste monsters zonder zinkassen maar met hoge Zn gehaltes (puin, steenkool) kunnen onderscheiden worden van de bodems verontreinigd met zinkassen uit de Kempen op basis van de opgestelde chemische fingerprint. Door het geringe aantal monsters was het nog niet mogelijk om de betrouwbaarheid van de fingerprint te kwantificeren. Aanvulling van de fingerprint met analyses is noodzakelijk.

ABdK heeft echter te kennen gegeven dat ze een snellere en goedkopere fingerprint methode prefereren. De huidige chemische fingerprint kan alleen worden opgesteld op basis van laboratoriummetingen (TNO). De analyseresultaten zijn pas na een paar werkdagen bekend en de kosten zijn circa 100 tot 300 Euro per monster. De lange oplevertermijn is onpraktisch en de relatief hoge analysekosten zijn een drempel om de analyse(s) uit te laten voeren.

Sinds een jaar is er echter een veld XRF op de markt, uitgerust met een 50KeV buis, waarmee binnen enkele minuten circa 30 elementen simultaan geanalyseerd kunnen worden in enkele minuten. Het betreft de volgende elementen: Mo, Zr, Sr, Rb, Pb, Se, As, Hg, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Sc, Ca, K, S, P, Ba, Cs, Te, Sb, Sn, Cd, Ag en Pd.
De veld XRF wordt al ingezet om de voortgang van saneringen van bodems verontreinigd met zinkassen te monitoren en gaat in de toekomst gebruikt worden om zinkassenverontreinigingen in te kaderen bij nader bodemonderzoek. Met andere woorden, diverse milieuadviesbureaus in De Kempen beschikken al over een veld XRF uitgerust met een 50KeV buis.

1.3 Doelstelling

Het hoofddoel van dit project is antwoord te krijgen op de volgende vraag:

- Is het mogelijk om met behulp van een veld XRF - uitgerust met een 50KeV buis - een (chemische) fingerprint te maken van bodems verontreinigd met zinkassen in De Kempen, zodat op basis van de fingerprint in de toekomst kan worden vastgesteld of bodems verontreinigd zijn met zinkassen of met een andere zware metalen bron?

2 Onderzoeksopzet

De onderzoeksopzet bestaat uit:

1. Het verzamelen van bodemmonsters uit De Kempen, welke verontreinigd zijn met zinkassen.
2. Analyse van de verzamelde monsters met een veld XRF (NITON Xl3t 700 series) uitgerust met een 50KeV buis.
3. Fingerprinting van de met zinkassen verontreinigde bodems op basis van de veld XRF data.

Hieronder worden bovengenoemde onderdelen nader beschreven.

2.1 Verzamelen geschikte bodemmonsters

Er zijn 3 typen bodemmonsters verzameld:

1. Bodemmonsters (n=50) afkomstig uit de tuinen van particulieren. Deze monsters zijn verontreinigd met zinkassen. Deze monsters zijn aangeleverd door BKK Bodemadvies en zijn allen afkomstig uit Nederland.
2. Bodemmonsters van zinkassenwegen uit België en Nederland (n=260). Deze monsters zijn door Medusa ter beschikking gesteld. Deze monsters zijn genomen in het kader van het Tauw-Medusa project 'Geofysische identificatie van zinkassenwegen'. De bodemmonsters van de Nederlandse en Belgische zinkassenwegen zijn respectievelijk afkomstig uit Gemeente Cranendonck (inclusief Budel Dorplein) en Gemeente Reusel - De Mierden, en Gemeente Lommel en Gemeente Overpelt.
3. Bodemmonsters verontreinigd met zink en gerelateerde metalen ten gevolge van atmosferische depositie in Cranendock en omgeving (n=11). Deze monsters zijn door ABdK aangeleverd.

2.2 Externe kalibratie veld XRF

Voorafgaand aan de bodemanalyses zijn de internationale bodem- en sedimentstandaarden GSD-1, GSD-3, GSD-11, GSS-1, GSS-4, GSS-5, GSS-6, ISE921, ISE989, NIST2709, NIST2710 en NIST2711 ieder ten minster 5 keer geanalyseerd volgens hetzelfde meetprotocol als de bodemmonsters (zie paragraaf 2.3). De gemiddelde resultaten van deze metingen zijn gebruikt om de veld XRF extern te kalibreren. De meetresultaten van individuele veld XRF spectrometers kunnen namelijk onderling verschillen. Dit resulteert in fingerprints die onderling niet goed te vergelijken zijn. Door ieder meetinstrument extern te kalibreren met dezelfde internationale bodem- en sedimentstandaarden wordt dit probleem verholpen.

De kalibratielijnen zijn vastgesteld op basis van lineaire regressie (formule 1) waarbij de y-as afsnede gelijk is gesteld aan nul. De y-as afsnede is gelijk gesteld aan nul om negatieve meetwaarden uit te sluiten.

$$Y = a \times X + b \qquad \text{Formule 1}$$

Waarbij,

Y =elementgehalte volgens het analysecertificaat van de internationale bodem- en/of sedimentstandaard.
a = richtingscoëfficiënt.
X =gemiddelde elementgehalte bepaald met de veld XRF.
b = y-as afsnede (gelijkgesteld aan 0, m.u.v. Zn).

De kalibratieparameters zijn voor elk element weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Kalibratieparameters van de externe kalibratie van de veld XRF (LOD=limit of detection).

Element	**Richting-coëfficiënt (a)**	**R^2**	**Gebruikte standaarden**	**Opmerking**
Mo	0,99	1,00	GSD-11; GSS-5; GSS-6; NIST2709; NIST2710	Geen externe kalibratie nodig
Zr	0,94	1,00	Alle standaarden, m.u.v. NIST2709; NIST2710 en NIST2711	-
Sr	0,96	1,00	Alle standaarden, m.u.v. NIST2709; NIST2710 en NIST2711	Geen externe kalibratie nodig
Rb	0,85	1,00	Alle standaarden, m.u.v. NIST2709; NIST2710 en NIST2711	-
Pb	1,00	1,00	Alle standaarden, m.u.v. NIST2709; NIST2710; NIST2711 en GSD-1	Geen externe kalibratie nodig
Se	-	-	Geen geschikte standaarden	Semi-kwantitatief
As	0,97	1,00	Alle standaarden, m.u.v. NIST2709; GSD-1; GSD-3 en ISE989	Geen externe kalibratie nodig
Hg	-	-	Slechts 1 geschikte standaard (NIST2710)	Semi-kwantitatief
Zn	0,84 (b=4)	1,00	Alle standaarden, m.u.v. NIST2710; GSD-3 en ISE989	-
Cu	0,94	1,00	Alle standaarden, m.u.v. NIST2710; GSD-1; GSS-1 en GSS-6	-
Ni	-	-	Alle standaarden	Zeer onbetrouwbare data; Ni data worden niet gebruikt
Co	-	-	Geen geschikte standaarden	Semi-kwantitatief
Fe	0,92	0,99	Alle standaarden	-
Mn	0,98	0,98	Alle standaarden, m.u.v. NIST2710	Geen externe kalibratie nodig
Cr	1,09	0,97	GSD-1; GSD-3; GSS-4; ISE921; ISE989 en NIST2709	-
V	1,22	0,98	Alle standaarden, m.u.v. GSS-4; GSS-5 en GSS-6	-
Ti	0,87	0,99	Alle standaarden, m.u.v. GSS-4	-
Sc	-	-	GSD-1; GSS-1; GSS-4, ISE921; NIST2710 en NIST2711	Zeer onbetrouwbare data; Sc data worden niet gebruikt
Ca	1,23	0,99	Alle standaarden	-
K	1,29	0,99	Alle standaarden	-
S	-	-	Geen geschikte standaarden	LOD te hoog

Element	Richting-coëfficiënt (a)	R^2	Gebruikte standaarden	Opmerking
P	-	-	Geen geschikte standaarden	LOD te hoog
Ba	1,04	0,98	Alle standaarden, m.u.v. GSS-5 en NIST2709	Geen externe kalibratie nodig
Cs	-	-	GSD-11; GSS-1; ISE921; NIST2710	Zeer onbetrouwbare data; Cs data worden niet gebruikt
Te	-	-	Geen geschikte standaarden	Semi-kwantitatief
Sb	-	-	GSS-5; GSS-6 en NIST2710	Semi-kwantitatief (te weinig standaarden)
Sn	-	-	GSD-11; GSS-5; GSS-6 en ISE989	Semi-kwantitatief (te weinig standaarden)
Cd	-	-	NIST2710; NISt2711	Semi-kwantitatief (te weinig standaarden)
Ag	-	-	NIST2710; NIST2711	Semi-kwantitatief (te weinig standaarden)
Pd	-	-	Geen geschikte standaarden	Semi-kwantitatief

Voor alle elementen waarbij a>0,95 en a<1,05 is geen correctie uitgevoerd. Voor deze elementen (Mo, Sr, Pb, As, Mn en Ba) geldt namelijk dat de gemeten waarden zeer goed overeenkomen met de 'gecertificeerde' waarde.
Voor alle elementen waar te weinig geschikte internationale standaarden voor aanwezig waren (Hg, Co, Te, Sb, Sn, Cd, Ag en Pd) is ook geen kalibratie uitgevoerd. De gemeten gehaltes van deze elementen zijn gekenmerkt als semi-kwantitatief.

2.3 Analyse bodem- en zinkasmonsters

De geselecteerde bodemmonsters zijn geanalyseerd met een veld XRF (NITON Xl3t 700 series) uitgerust met een 50KeV buis. Het geselecteerde meetprogramma voor de bodemmonsters is STANDARD BULK MODE. Bij elementgehaltes boven de 1% kan ook het meetprogramma MINING MODE Cu/Zn worden gebruikt. Uit een vergelijkend onderzoek van de bodemmonsters is echter gebleken dat de STANDARD BULK MODE mode geschikter is voor de beoogde toepassing (fingerprinting). De analysetijd is ingesteld op 270 seconden (90 seconden per filter). De metingen zijn extern gekalibreerd met gecertificeerde bodem- en sedimentstandaarden (zie paragraaf 2.2).

2.4 Opstellen fingerprint

De analyseresultaten zijn statistisch bewerkt (o.a. correlatie matrix, box-whisker plots, percentielwaarden en fuzzy c-means clustering) om te bepalen of de bodems verontreinigd met zinkassen een unieke fingerprint hebben.

Een correlatiematrix is gemaakt van de elementen die zijn verhoogd ten opzichte van de natuurlijke achtergrondwaarden. De correlatiematrix geeft informatie over de correlatie tussen de elementen onderling. Indien de gehaltes van twee elementen goed met elkaar correleren, is de ratio van deze elementen constant en kan worden gebruikt voor identificatie (fingerprinting).

Alleen monsters met een Zn gehalte ≥ 303 mg/kg (dit is de interventiewaarde van zink op basis van 2% lutum en 2% humus) en ≤ 30000 mg/kg zijn meegenomen in de berekening van de correlatiematrix.
De interventiewaarde van zink is aangehouden als ondergrens, omdat bodems met zinkgehaltes lager dan de interventiewaarde niet gesaneerd (hoeven te) worden. Voor deze monsters hoeft geen fingerprint opgesteld te worden.
Dertigduizend mg/kg Zn oftewel 3% Zn is aangenomen als bovengrens, omdat 1) dit resulteert in een groot aantal geschikte monsters om de fingerprint op te kunnen stellen en 2) in bodemmonsters met 3% Zn of meer, de zinkassen duidelijk visueel waarneembaar zijn. Als zinkassen duidelijk visueel waarneembaar zijn, dan is het niet meer nodig om een fingerprint op te stellen.

Van alle elementratio's die een correlatie coëfficiënt (r) ≥ 0,75 hebben, zoals weergegeven in de correlatie matrix, is een box-whisker plot gemaakt. De keuze voor r≥0,75 is arbitrair, maar is gekozen om voldoende bruikbare elementratio's te selecteren voor het opstellen van de uiteindelijke fingerprint. In de box-whisker plots zijn tevens de elementratio's van de overige meest voorkomende Zn bronnen in de Kempen weergegeven: dit is Zn houdend puin (ophooglagen) en steenkoolresten.
De chemische samenstelling van Zn houdend puin (in stedelijke ophooglagen) is gemeten in het kader van het RIVM project 'Bioavailability of lead from Dutch city soils, the Stedelijke Ophooglagen'. Alleen de monsters met een lutumgehalte < 20% (zandmonsters) uit dit project zijn geselecteerd, omdat de bodem in De Kempen ook hoofdzakelijk uit zand bestaat. Dit om natuurlijke verschillen tussen zand-, veen- en kleimonsters (met name grote verschillen in Fe en Mn gehaltes) bij het opstellen van de fingerprint uit te sluiten. De chemische samenstelling van de ophooglaagmonsters is ook bepaald met een veld XRF uitgerust met een 50KeV buis (extern gekalibreerd op basis van internationale standaarden).
De chemische samenstelling van steenkoolmonsters is afkomstig uit Walraven en Van Os (2004). De chemische samenstelling van de steenkoolmonsters is bepaald met een laboratorium XRF en met een ICP-MS op basis van totaal ontsluitingen (met HF).

De elementratio's die het grootste onderscheid laten zien tussen de diverse Zn bronnen zijn geselecteerd voor het opstellen van de uiteindelijke chemische fingerprint.

Fuzzy c-means (FCM) clustering is uitgevoerd om te bepalen of met deze cluster techniek de verschillende Zn bronnen onderscheiden kunnen worden. Alvorens de FCM clusteranalyse uit te voeren, is het gegevensbestand gecontroleerd op ontbrekende waarden, detectielimieten en verdelingspatronen (normaal of lognormaal). De clusteranalyse is uitgevoerd op een geselecteerd aantal 'karakteristieke' elementratio's. Door elementratio's te gebruiken wordt mede voorkomen dat het clusterprogramma groepeert op de hoogte van de elementgehaltes. Alleen de monsters met een Zn gehalte ≥ 303 mg/kg (I-waarde op basis van 2% lutum en 2% humus) en ≤ 30000 mg/kg zijn meegenomen in de FCM clusteranalyse.

3 Resultaten en discussie

De XRF meetresultaten (na externe kalibratie) van de bodemmonsters uit de tuinen van particulieren, uit zinkassenwegen en uit het depositiegebied in de omgeving van Cranendonck zijn respectievelijk weergegeven in Bijlage A, B en C.

3.1 Natuurlijke achtergrond versus verontreinigde monsters

Als de elementgehaltes van de bodems verontreinigd met zinkassen hoger zijn dan de natuurlijke achtergrondgehaltes, kunnen ze gebruikt worden voor het opstellen van de fingerprint.

In Bijlage D, E en F is zowel de chemische samenstelling van bodems verontreinigd met zinkassen als de chemische samenstelling van natuurlijke (lees: niet verontreinigde) bodems in de Nederlandse en Belgische Kempen weergegeven. In Bijlage D staan de resultaten van de bodemmonsters uit zowel Nederland als België, in Bijlage E zijn alleen de resultaten voor Nederland weergeven en in Bijlage F alleen de resultaten voor België. De bodemmonsters met een Zn gehalte ≤ 59 mg/kg, gemeten met de veld XRF, zijn bestempeld als natuurlijk (niet verontreinigd). Dit is gebaseerd op de streefwaarde van zink voor bodems met een lutum- en humusgehalte van 2%. De bodemmonsters met een Zn gehalte ≥ 303 mg/kg, gemeten met de veld XRF, zijn bestempeld als verontreinigd. Dit is gebaseerd op de interventiewaarde van zink voor bodems met een lutum- en humusgehalte van 2%.
Tevens is de samenstelling van natuurlijke bodems in Noord-Brabant, zoals bepaald door Van der Veer (2006), weergegeven in Bijlage D en E.

In Bijlage D, E en F is te zien dat de Ca, V, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Ba en Pb gehaltes in zowel de Nederlandse als Belgische bodems, verontreinigd met zinkassen, nagenoeg over de hele range hoger zijn dan in de natuurlijke (onverstoorde) bodems. Tevens zijn de gehaltes van deze elementen in de met zinkassen verontreinigde bodems bijna allen hoger dan de aantoonbaarheidsgrens (Cag) van de veld XRF. De gehaltes van Cr, Se, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Co, Pd en Hg kunnen ook verhoogd zijn in bodems verontreinigd met zinkassen (Bijlage D, E en F), maar het aantal waarnemingen > Cag is te klein om een gedegen fingerprint op stellen.

In de Belgische bodemmonsters, verontreinigd met zinkassen, zijn de K en Rb gehaltes iets verhoogd ten opzichte van de Nederlandse achtergrond (Bijlage F). De verhoging wordt met name veroorzaakt door een vijftal monsters (m142 brok, m143 brok, m149 brok, m182 brok en m222 brok). Dit zijn allen monsters bestaande uit vaalgele, korrelige brokjes, die sterk lijken op gele chamotte klei. Hoogstwaarschijnlijk zijn dit zogenaamde moffelscherven. Dit zijn resten (scherven) van de moffelovens waarin het zinkerts werd gesmolten. In België zijn deze moffelscherven ook in de zinkassenwegen terechtgekomen. In Nederland worden ze nauwelijks aangetroffen in zinkassenwegen (pers. com. Tom Kamsma). Klei bevat van nature hogere K en Rb gehaltes dan zand. Dit is hoogstwaarschijnlijk de reden van de verhoogde K en Rb gehaltes in deze 5 monsters. Naar verwachting zijn de Al gehaltes van deze monsters ook hoger dan in de andere monsters.
Omdat K en Rb gehaltes alleen in deze 5 monsters verhoogd zijn, zijn ze niet gebruikt voor het opstellen van de fingerprint.

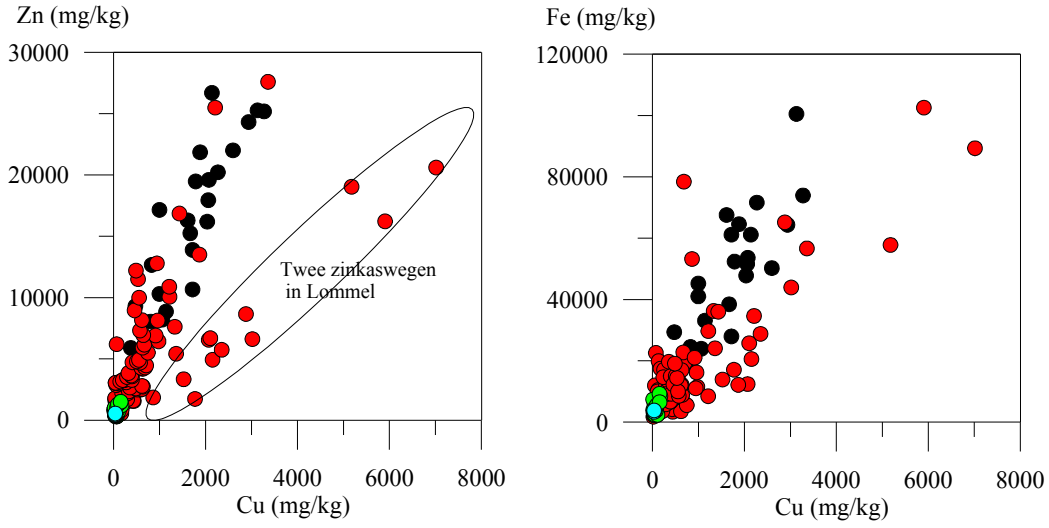
3.2 Correlaties

De Ca, V, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Ba en Pb gehaltes in zowel de verontreinigde Nederlandse als Belgische bodems zijn gebruikt voor het berekenen van de correlaties tussen de elementgehaltes onderling. De correlatiematrix is weergegeven in Bijlage G. Alle correlaties met r≥0,75 zijn vetgedrukt.

In de verontreinigde bodemmonsters uit Nederland correleren (r≥0,75) de volgende elementen met elkaar: Pb-As, Zn-Pb, Pb-Cu, Fe-Pb, Mn-Pb, Zn-As, Fe-As, Mn-As, Zn-Cu, Fe-Zn, Zn-Mn, Fe-Cu, Mn-Cu, Fe-Mn en Ba-V. In Bijlage H zijn bovengenoemde correlaties gevisualiseerd. Ter illustratie is de correlatie tussen Zn en Cu en tussen Fe en Cu ook weergegeven in figuur 1.

In de verontreinigde bodemmonsters uit België correleren (r≥0,75) de volgende elementen met elkaar: Sr-V, Fe-Cu, Mn-Cu en Fe-Mn. 0,75. De correlatie tussen Zn en Cu is 0,74. Deze is, als uitzondering, ook meegenomen omdat uit de resultaten van het eerste fingerprint onderzoek is gebleken dat Zn/Cu ratio's zeer onderscheidend zijn in de fingerprint (Walraven, 2008). In Bijlage H zijn bovengenoemde correlaties gevisualiseerd. Ter illustratie is de correlatie tussen Zn en Cu en tussen Fe en Cu ook weergegeven in figuur 1.

In de verontreinigde bodemmonsters uit Nederland en België samen correleren (r≥0,75) de volgende elementen met elkaar: Mn-Pb, Zn-Cu, Fe-Zn, Zn-Mn, Fe-Cu, Mn-Cu, Fe-Mn en Ba-V. De correlatie tussen Zn en Pb is 0,72. Deze is, als uitzondering, ook meegenomen omdat uit de resultaten van het eerste fingerprint onderzoek is gebleken dat Zn-Pb ratio's zeer onderscheidend zijn in de fingerprint (Walraven, 2008). In Bijlage H zijn bovengenoemde correlaties gevisualiseerd. Ter illustratie is de correlatie tussen Zn en Cu en tussen Fe en Cu ook weergegeven in figuur 1.



Figuur 1. Kopergehaltes versus zink- en ijzergehaltes, gemeten met de veld XRF, in bodems verontreinigd met zinkassen in de Nederlandse en Belgische Kempen (● zinkasweg (NL), ● tuinen (NL), ● atmosferisch (NL), ● zinkasweg (BE).

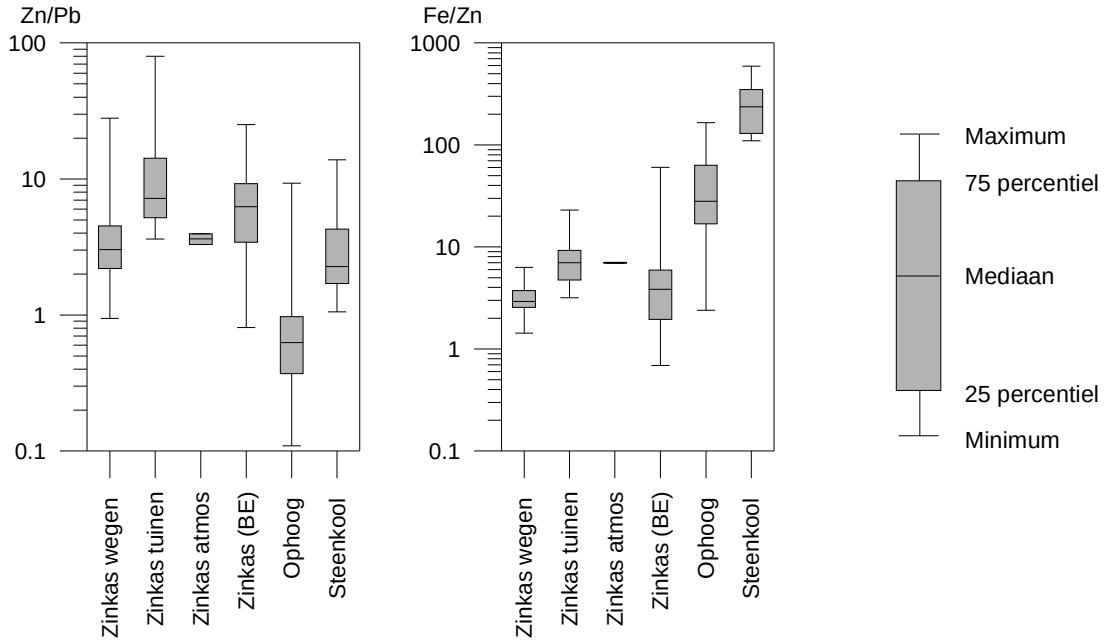
In figuur 1 en Bijlage H is te zien dat de elementgehaltes met elkaar correleren (liggen op 1 lijn). In de verontreinigde bodems uit de Nederlandse Kempen correleren de elementgehaltes beter dan in

deBelgische monsters[1]. Een mogelijke oorzaak is het gebruik van meer chemisch diverse ertsen in de Belgische zinkfabrieken in vergelijking met de Nederlandse zinkfabrieken.

De elementratio's met r≥0,75 (uitzondering Zn-Pb en Zn-Cu) worden gebruikt om een chemische fingerprint te maken van bodems verontreinigd met zinkassen in De Kempen. De keuze voor r≥0,75 is arbitrair, maar is gekozen om voldoende bruikbare elementratio's te selecteren voor het opstellen van de fingerprint.

3.2.1 Fingerprint: elementratio's

In Bijlage I zijn de geselecteerde elementratio's weergegeven in box-whisker plots. In de box-whisker plots zijn de minimum, maximum en mediaan waardes en de 25 en 75 percentielwaardes per element weergegeven. Tevens zijn in de box-whisker plots de elementratio's van 84 bodemmonsters, verontreinigd met Zn-houdend puin, afkomstig uit stedelijke ophooglagen (Hagens *et al.*, in prep)[2], en de elementratio's van 15 steenkoolmonsters uit Limburg, weergegeven (Walraven en Van Os, 2004). Ter illustratie zijn de box-whisker plots van Zn/Pb en Fe/Zn weergegeven in figuur 2



Figuur 2. Box-whisker plots van Zn/Pb en Fe/Zn van bodemmonsters verontreinigd met zinkassen 1) in zinkassenwegen, 2) in tuinen en 3) in het atmosferische depositiegebied om en nabij Cranendonck (BE=België). Tevens zijn de elementratio's van bodems verontreinigd met Zn-houdend puin uit stedelijke ophooglagen (Hagens *et al.*, in prep.) en van steenkoolmonsters (Walraven en Van Os, 2004) weergegeven.

[1] In figuur 1 (Zn vs. Cu) is te zien dat de Belgische monsters uit twee groepen bestaan. De monsters (m106, m111, m221, m225, m242 t/m m247) met de lage Zn gehaltes, in relatie tot de kopergehaltes (elips), komen allen uit Lommel en zijn afkomstig uit 2 zinkassenwegen. Mogelijkerwijs zijn dit zinkassen van een ander zinkerts dan de overige zinkasmonsters uit België.

[2] Alleen stedelijke ophooglaagmonsters met lutumgehaltes <20% waarin geen zinkassen visueel zijn waargenomen, zijn meegenomen in dit onderzoek. Monsters met hoge lutumgehaltes (kleimonsters) kunnen namelijk van nature hogere gehaltes aan elementen bevatten (waaronder Fe en Mn) dan monsters met lage lutumgehaltes (zand). Dit zou een oneigenlijke invloed kunnen hebben op de chemische fingerprint. Alle geselecteerde ophooglaagmonsters zijn verontreingd met Pb en het merendeel (circa 80%) is ook verontreinigd met Zn.

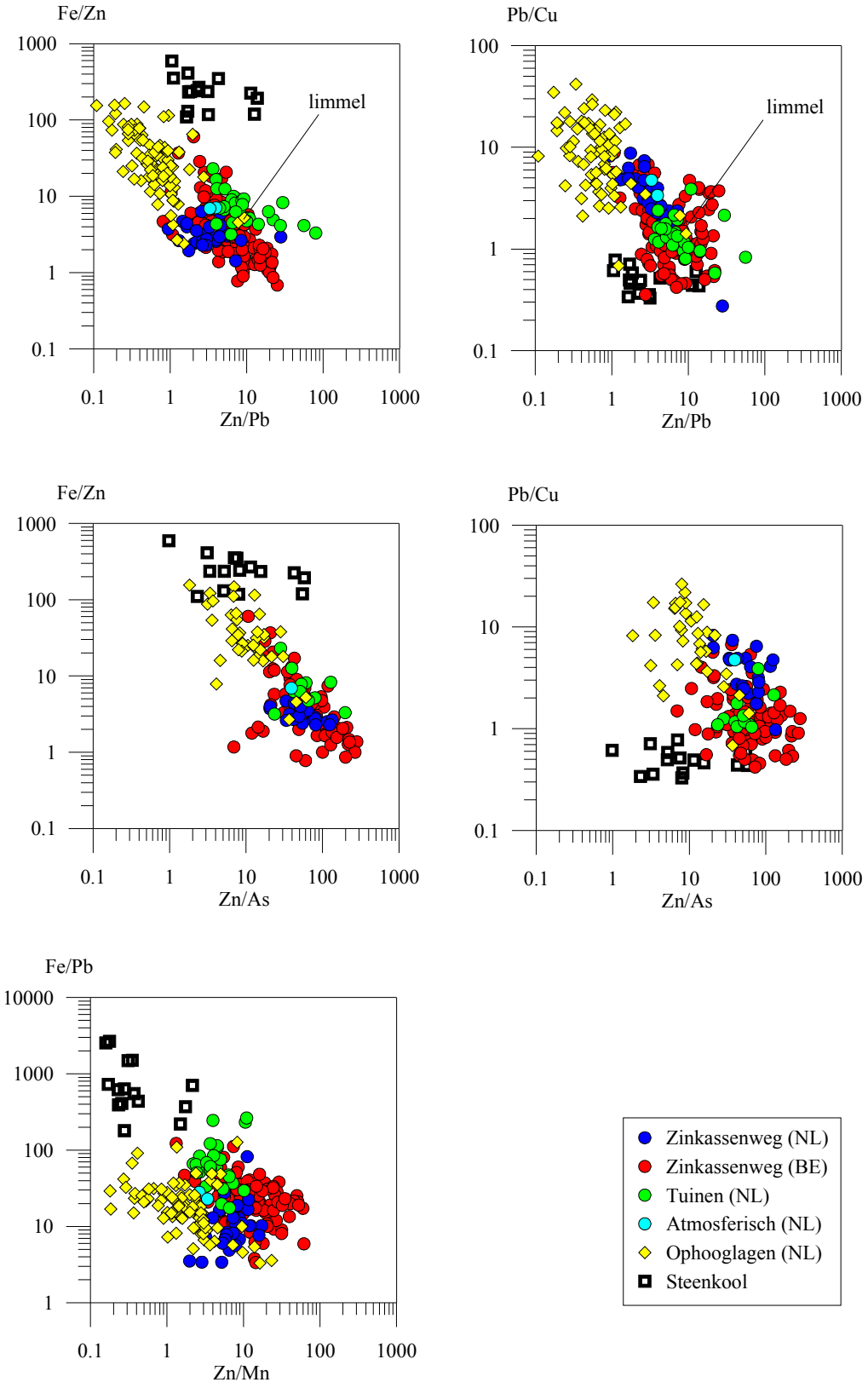
In figuur 2 is te zien dat de 25 tot 75 percentielwaardes (box) van de Zn/Pb en Fe/Zn ratio's van de bodems verontreinigd met zinkassen duidelijk verschillen van de bodems verontreinigd met Zn-houdend puin (ophoog). Dit betekent dat meer dan 50% van de zinkasmonsters een wezenlijk andere Zn/Pb en Fe/Zn verhouding h4eeft dan de ophooglagen.
De Fe/Zn ratio's van de steenkoolassen verschillen significant van de Fe/Zn ratio's van de overige bronnen. Dit betekent dat alle steenkoolmonsters een wezenlijk andere Zn/Pb en Fe/Zn verhouding hebben dan de zinkasmonsters en de ophooglagen.

In Bijlage I is te zien dat alleen de Fe/Pb en Fe/Zn ratio's van de steenkoolassen volledig (minimum en maximum waardes) verschillen van de Fe/Pb en Fe/Zn ratio's van de overige Zn bronnen. Bij alle overige elementratio's is er een zekere overlap tussen de verschillende Zn bronnen. Dit betekent dat de chemische vingerafdruk (op basis van de veld XRF metingen) van de zinkassen niet volledig uniek is. Desalniettemin kunnen de elementratio's in de meeste gevallen worden gebruikt om te bepalen of een bodem wel of niet verontreinigd is met zinkassen.
Door de meest karakteristieke elementratio's tegen elkaar uit te zetten, wordt de fingerprint van de verschillende zinkbronnen gevisualiseerd. De meest karakteristieke elementratio's, zijn de ratio's van de zinkbronnen welke elkaar het minst overlappen. De volgende 25 tot 75 percentielwaardes (box) zijn wezenlijk verschillend:

- Zn/Pb en Zn/As in zinkassen hoger dan in ophooglagen
- Fe/Zn en Pb/Cu in zinkassen lager dan in ophooglagen
- Zn/Cu, Zn/Mn, Pb/Cu, Pb/As, Ba/V en Sr/V in zinkassen hoger dan in steenkool
- Fe/Zn, Fe/Pb, Mn/Pb, Fe/As en Fe/Cu in zinkassen lager dan in steenkool
- Verschillen tussen zinkasbronnen onderling zijn gering: Pb/Cu en Pb/As in Nederlandse zinkassenwegen zijn hoger dan in Belgische zinkassenwegen. Zn/Pb, Fe/Zn, Zn/Pb, Mn/Pb, Fe/As en Fe/Cu in Nederlandse zinkassenwegen zijn lager dan in Nederlandse tuinen. Pb/Cu en Pb/As in Nederlandse zinkassenwegen zijn hoger dan in Nederlandse tuinen.
- Te weinig atmosferisch belaste monsters met Zn gehaltes > I-waarde (n=2) om een uitspraak te kunnen doen over mogelijke verschillen met overige zinkasbronnen.

Het hoofddoel van dit onderzoek is vast te stellen of het mogelijk is om met behulp van een veld XRF - uitgerust met een 50KeV buis - een (chemische) fingerprint te maken van bodems verontreinigd met zinkassen in De Kempen, zodat op basis van de fingerprint in de toekomst kan worden vastgesteld of bodems met zinkassen zijn verontreinigd of met een andere zinkbron.
De meest geschikte elementratio's voor het beoogde doel zijn Zn/Pb, Zn/As, Fe/Zn, Pb/Cu en Fe/Pb. Deze ratio's zijn gebruikt om de chemische fingerprint te maken. In figuur 3 is deze fingerprint weergegeven.

In figuur 3 is te zien dat de chemische fingerprint van bodems verontreinigd met zinkassen in de Kempen grotendeels verschilt van de chemische fingerprint van steenkool en bodems verontreinigd met Zn-houdend puin (stedelijke ophooglagen). Met name de plots waarin Zn/Pb is uitgezet tegen Fe/Zn en Pb/Cu zijn karakteristiek. In deze plots is te zien dat 78 van de 84 stedelijke ophooglagen een wezenlijk andere fingerprint hebben dan de Nederlandse zinkassen. De Zn/Pb ratio van stedelijke ophooglagen is over het algemeen <1, terwijl de Zn/Pb ratio van Nederlandse zinkassen > 1 is. Twee stedelijke ophooglaagmonsters hebben relatief hoge Zn/Pb waarden (circa 10). Deze monsters zijn afkomstig uit Limmel en de bodem is hier verontreinigd met zinkwit. De chemische samenstelling van deze verontreiniging komt sterk overeen met die van zinkassen in De Kempen.



Figuur 3. Chemische fingerprint van zink in 1) zinkassenwegen, tuinen en atmosferisch belaste bodems in De Kempen, 2) stedelijke ophooglagen in heel Nederland en 3) steenkool.

In figuur 3 is te zien dat steenkoolmonsters op basis van de opgestelde chemische fingerprint, volledig onderscheiden kunnen worden van de overige Zn bronnen (zinkassen en Zn houdend puin in stedelijke ophooglagen). Met name de Zn/Mn vs. Fe/Pb en Zn/Pb vs. Fe/Zn plots zijn karakteristiek.
Omdat de chemische fingerprint van de ophooglagen gedeeltelijk overlapt met die van de zinkassen dient het onderscheidend vermogen van de chemische fingerprint (figuur 3) te worden berekend. Dit kan het beste worden gedaan met onafhankelijke monsters (lees: monsters die niet zijn gebruikt voor het opstellen van de fingerprint, dus nieuwe praktijkmonsters). Deze waren in dit project echter niet voorhanden. Om toch een uitspraak te kunnen doen over het onderscheidend vermogen van de chemische fingerprint van de diverse Zn bronnen, zijn de percentielwaarden van de karakteristieke elementratio's (Zn/Pb, Zn/As, Fe/Zn, Pb/Cu en Fe/Pb) uitgerekend en weergegeven in Bijlage J.

In Bijlage J is te zien dat meer dan 90% (maar minder dan 100%) van de Nederlandse zinkasmonsters zich, op basis van de Zn/Pb en Zn/As ratio's, onderscheiden van de stedelijke ophooglaagmonsters.
Tevens is te zien dat meer dan 90% van de Nederlandse zinkasmonsters (Fe/Zn zelfs 100%) zich, op basis van de Fe/Zn, Zn/Mn, Pb/Cu en Fe/Pb ratio's, onderscheiden van de steenkoolmonsters.
Kortom, de opgestelde chemische fingerprint van de Nederlandse zinkassen is voor meer dan 90% onderscheidend ten opzichte van de overige onderzochte zinkbronnen. Hierbij wordt opgemerkt dat de opgestelde chemische fingerprint nog niet gevalideerd is met onafhankelijke monsters.

In Bijlage J is te zien dat meer dan 90% (maar minder dan 100%) van de Belgische zinkasmonsters zich, op basis van de Zn/Pb, onderscheiden van de stedelijke ophooglaagmonsters. Voor Zn/As ligt het onderscheidend vermogen tussen de 80 en 90%.
Tevens is te zien dat meer dan 90% van de Belgische zinkasmonsters (Fe/Zn zelfs 100%) zich, op basis van de Fe/Zn, Zn/Mn en Fe/Pb ratio's, onderscheiden van de steenkoolmonsters. Voor Pb/Cu ligt het onderscheidend vermogen tussen de 80 en 90%. Hierbij wordt opgemerkt dat de opgestelde chemische fingerprint nog niet gevalideerd is met onafhankelijke monsters.

Er is enig onderscheidend vermogen tussen de Nederlandse en Belgische zinkasmonsters (Bijlage J). Dit is echter niet groter dan 50 tot 60% (voor Zn/Mn, Pb/Cu en Fe/Pb). Hierbij worden de Belgische zinkasmonsters met name gekenmerkt door een beperkte range in Fe/Pb waarden in vergelijking met de Nederlandse zinkasmonsters.
De Belgische zinkaswegmonsters bevatten in tegenstelling tot de Nederlandse zinkaswegmonsters ook vaker moffelscherven (paragraaf 3.1). Zinkasmonsters met moffelscherven worden gekenmerkt door verhoogde K en Rb gehaltes.

In fingerprint rapport deel 1 (Walraven, 2008), waarin de chemische fingerprint is gebaseerd op nieuwe laboratoriumanalyses (uitgevoerd door TNO), wordt geconcludeerd dat de chemische fingerprint van de zinkassen uniek is. Met name de plots waarin Zn/Pb is uitgezet tegen Fe/Zn en Pb/Cu, en Zn/Se tegen Pb/U zijn karakteristiek. Uit dat eerste fingerprint onderzoek bleek ook dat de zinkassen aangerijkt zijn met Mo, Ag en Sb. Ook deze elementen kunnen goed worden gebruikt voor fingerprinting. Helaas is het met de veld XRF niet altijd mogelijk om de Se, Mo, Ag en Sb te kwantificeren. De aantoonbaarheidsgrens van deze elementen is te hoog. Pas bij hoge gehaltes aan zinkassen in de bodemmonsters (procenten Zn), zijn de Se, Ag, Mo en Sb gehaltes soms hoog genoeg om te kunnen kwantificeren met de veld XRF.

3.2.2 Clusteranalyse: fuzzy c-means clustering

Fuzzy c-means clustering (FCM) is uitgevoerd om te bepalen of de verschillende zinkbronnen middels clustering op elementratio's onderscheiden kunnen worden.

De volgende elementratio's zijn meegenomen in de clustering: Zn/Pb, Fe/Zn, Pb/Cu, Zn/As, Fe/Pb en Zn/Mn. Alle elementratio's hebben een lognormale verdeling en zijn daarom loggetransformeerd. Ontbrekende waarden zijn niet meegnomen in de clustering.

Het gegevensbestand blijkt in 3 clusters (homogene groepen) ingedeeld te kunnen worden. De gemiddelde clustersamenstelling is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2. Gemiddelde clustersamenstelling van de 3 FCM clusters.

Ratio's	**Cluster 1**	**Cluster 2**	**Cluster 3**
	N=82	**n=17**	**n=167**
Zn/Pb	0,6	2,6	6,3
Zn/As	10,3	8,4	61,4
Fe/Zn	26,6	185,1	3,8
Zn/Mn	1,7	0,4	9,2
Pb/Cu	8,8	0,6	1,5
Fe/Pb	16,4	477,1	23,8

Hieronder worden de clusters nader toegelicht:

Cluster 1: Dit cluster wordt gekarakteriseerd door de laagste Zn/Pb en Fe/Pb ratio's en de hoogste Pb/Cu ratio's. Cluster 1 bestaat uit 82 monsters, waaronder 78 ophooglaagmonsters (93% van alle ophooglaagmonsters) en 4 zinkaswegmonsters (m025, m115, m142 en m237).

Cluster 2: Dit cluster wordt gekarakteriseerd door de laagste Zn/As, Zn/Mn en Pb/Cu ratio's en door de hoogste Fe/Zn en Fe/Pb ratio's. Cluster 2 bestaat uit 17 monsters, waaronder 15 steenkoolmonsters (alle steenkoolmonsters), 1 ophooglaagmonster (77) en 1 zinkaswegmonster (brok m142).

Cluster 3: Dit cluster wordt gekarakteriseerd door de laagste Fe/Zn en de hoogste Zn/Pb, Zn/As en Zn/Mn ratio's. Cluster 3 bestaat uit 167 monsters, waaronder 163 zinkasmonsters (94% van alle zinkasmonsters) en 4 ophooglaagmonsters (58, 69, 70 en 87).

Een aantal monsters (n=6) kan niet aan 1 van de 3 FCM cluster worden toegekend. Dit zijn 5 zinkaswegmonsters (m027, m029, m030, m119 en m151) en 1 ophoogmonster (57). Dit zijn vermoedelijk mengmonsters (bevatten meerdere zinkbronnen). Deze monsters, met als label 'cluster 20', zijn niet meegenomen in de verdere interpretatie.

FCM clustering blijkt een geschikte statistische methode om de 3 zinkbronnen te onderscheiden. De clustering is niet feilloos, maar de huidige dataset is het mogelijk om 94% van de zinkasmonsters (cluster 3) te onderscheiden van de overige zinkbronnen. In een aantal gevallen worden stedelijke ophooglagen ook aangezien voor zinkasmonsters. Voor een aantal monsters is dit te verklaren. De stedelijke ophoogmonsters 69 en 70 zijn verontreinigd door activiteiten van de zinkwitfabriek te Limmel (Maastricht). Vermoedelijk wordt dit zinkwit gemaakt uit dezelfde bronnen als waaruit de zinkfabrieken in De Kempen hun zink maken. Dit zou de overeenkomst tussen de chemische fingerprint van zinkasmonsters en de stedelijke ophooglagen uit Limmel verklaren. Voor de ophooglaagmonsters 58 (Groningen) en 87 (Leiden) is geen directe relatie met zinkassen te vinden.

Vier zinkaswegmonsters (m025, m115, m142 en m237) worden, wellicht ten onrechte, in de FCM clustering aangeduid als stedelijke ophooglaag. Indien ABdK de opgestelde fingerprint in de toekomst

gaat inzetten, dan is het raadzaam om de bodemmonsters die volgens de fingerprint geen zinkassen bevatten - maar waarvan een sterk vermoeden bestaat dat er toch zinkassen in aanwezig zijn - nader te onderzoeken. Technieken die hiervoor kunnen worden ingezet zijn multi-element analyse en Pb isotoop analyse (fingerprint rapport deel 1). Met behulp van deze technieken is in fingerprint rapport deel 1 reeds (met succes) een fingerprint opgesteld (Walraven, 2008). Een andere techniek om vast te stellen of zinkassen aanwezig zijn is scanning elektron microscopie. Deze techniek is nog niet ingezet, maar is naar verwachting zeer bruikbaar (zie paragraaf 4.2).

3.2.3 Betrouwbaarheid fingerprint

De chemische fingerprint wordt betrouwbaarder naarmate er meer analyseresultaten, van bodemmonsters verontreinigd met zink (uit diverse zinkbronnen), worden toegevoegd aan de database. Deze additionele gegevens kunnen dan ook gebruikt worden om de database te valideren. In De Kempen worden al veel veld XRF metingen verricht. Het is dus relatief eenvoudig om de database uit te breiden en om te valideren.

De chemische fingerprint, zoals opgesteld in onderhavig onderzoek, is gebaseerd op voorhanden zijnde bodemmonsters. De consequentie van deze aanpak is dat de bodemmonsters van een beperkt aantal locaties afkomstig zijn. Zo zijn de meeste monsters afkomstig uit de omgeving Cranendonck, Reusel - De Mierden, Lommel en Overpelt. De chemische fingerprint wordt robuuster als ook analysegegevens van bodemmonsters uit andere gemeenten aan de database worden toegevoegd.

Mogelijkerwijs zijn zinkassen met verschillende samenstellingen (gerelateerd aan de herkomst van de zinkertsen of het procédé van de zinkproductie) in verschillende gemeenten terechtgekomen. Zo is in fingerprint rapport deel 1 (Walraven, 2008) te zien dat de bodemmonsters uit Budel Dorplein een enigszins afwijkende Zn/Pb ratio hebben ten opzichte van de bodemmonsters uit de overige locaties. De Zn/Pb ratio's van bodemmonsters uit Budel Dorplein, hebben waardes van om en nabij de 1 (Zn en Pb gehaltes ongeveer even hoog). Deze waarden komen grotendeels overeen met die van stedelijke ophooglagen. Mogelijkerwijs waren de monsters van Budel Dorplein niet alleen verontreinigd met zinkassen, maar ook met ophoogmateriaal van een andere herkomst. Als de bodemmonsters van Budel Dorplein echt alleen met zinkassen verontreinigd waren, dan geeft dit voorbeeld aan dat uitbreiding en validatie van de chemische fingerprint belangrijk is.

Indien ABdK besluit om de fingerprint 'juridisch' te gaan gebruiken om vast te stellen of bodems in De Kempen verontreinigd zijn met zinkassen, dan raadt GeoConnect ABdK aan om ook onafhankelijke technieken in te zetten als uit de XRF veldanalyse blijkt dat de bodem niet verontreinigd is met zinkassen. Door onafhankelijke technieken zoals ICP-MS multi-elementanalyse en/of Pb isotopen in zetten, kan extra zekerheid worden verkregen over de bron van de zinkverontreiniging. Dit is met name van belang indien onomstotelijk bewijs nodig is, bijvoorbeeld bij een rechtzaak. De chemische fingerprint op basis van ICP-MS multi-elementanalyse en Pb isotopen is beschreven in fingerprint rapport deel 1 (Walraven, 2008).

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

- De Ca, V, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Ba en Pb gehaltes in zowel de Nederlandse als Belgische bodems, verontreinigd met zinkassen, zijn nagenoeg over de hele range hoger zijn dan in de natuurlijke (onverstoorde) bodems. De gehaltes van Cr, Se, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Co, Pd en Hg in bodems verontreinigd met zinkassen kunnen ook verhoogd zijn, maar het merendeel van de XRF metingen is lager dan de aantoonbaarheidsgrens. Daarom kunnen de Cr, Se, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Co, Pd en Hg gehaltes niet gebruikt worden voor de beoogde toepassing.
- De element combinaties Zn-Pb, Zn-Cu, Zn-As, Fe-Zn, Zn-Mn, Pb-Cu, Pb-As, Mn-Pb, Fe-Pb, Fe-As, Mn-As, Fe-Cu, Mn-Cu, Fe-Mn, Ba-V en Sr-V hebben een 'hoge' correlatie coëfficiënt. Deze elementgehaltes zijn gebruikt voor het berekenen van de elementratio's. Uit een vergelijking van de elementratio's van de zinkassen met de elementratio's van 84 Zn-houdende stedelijke ophooglaagmonsters en 15 Zn-houdende steenkoolmonsters, blijkt dat de elementratio's Zn/Pb, Zn/As, Fe/Zn, Pb/Cu en Fe/Pb onderscheidend zijn. De fingerprint van de zinkassen is daarom gebaseerd op deze elementratio's.
- Op basis van de opgestelde fingerprint kan worden geconcludeerd dat meer dan 90% van de onderzochte bodemmonsters verontreinigd met zinkassen een wezenlijk andere fingerprint heeft dan de bodemmonsters verontreinigd met Zn-houdend puin in stedelijke ophooglagen. Alle onderzochte bodemmonsters verontreinigd met zinkassen kunnen met behulp van de fingerprint onderscheiden worden van Zn-houdend steenkool.
- FCM clustering is een geschikte statistische methode om de 3 onderzochte zinkbronnen (zinkassen, stedelijke ophooglagen en steenkool) te onderscheiden. De clustering is niet feilloos, maar met de huidige dataset is het mogelijk om 94% van de zinkasmonsters te onderscheiden van de overige zinkbronnen. Het FCM cluster programma kan in de praktijk worden gebruikt om de Zn bronnen van elkaar te onderscheiden.

4.2 Aanbevelingen

De hoofddoelstelling van dit proefproject was te onderzoeken of het mogelijk is om met behulp van een veld XRF een (chemische) fingerprint te maken van bodems verontreinigd met zinkassen in de Kempen. Uit bovenstaande conclusies blijkt dat meer dan 90% van de onderzochte zinkassen een unieke fingerprint heeft en op basis hiervan onderscheiden kan worden van andere zinkbronnen (stedelijke ophooglagen en steenkool). Indien ABdK de ontwikkelde fingerprint in de toekomst wil gaan gebruiken, worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- Hoewel de fingerprint op basis van veld XRF metingen solide blijkt te zijn, dient deze nog wel gevalideerd te worden op basis van onafhankelijke monsters (lees: monsters die niet zijn gebruikt voor het opstellen van de fingerprint, dus nieuwe praktijkmonsters). Omdat maandelijks vele tientallen XRF metingen worden verricht tijdens saneringen in De Kempen (en in de toekomst waarschijnlijk ook bij nader onderzoek) is het vrij eenvoudig om onderhavige fingerprint te valideren en, indien gewenst, uit te breiden.
- Het is met name wenselijk om de fingerprint uit te breiden met meer monsters uit een groter aantal gemeenten in De Kempen. Onderhavige fingerprint is namelijk gebaseerd op monsters uit een beperkt aantal gemeenten (met name Cranendonck, Reusel – De Mierden, Overpelt en Lommel).

- Bij forensisch onderzoek wordt gebruik gemaakt van divers bewijsmateriaal om bijvoorbeeld aan te tonen wie de schuldige is. Ook bij de vraag of bodems verontreinigd zijn met zinkassen kunnen meerdere technieken worden gebruikt. De eenvoudigste methode voor ABdK is de fingerprint op basis van veld XRF meetgegevens (onderhavig onderzoek). Diverse adviesbureaus beschikken inmiddels over deze apparatuur en kunnen ter plekke en snel een meting verrichten. Een uitgebreide analyse van hoofd- en sporenelementen en Pb isotopen kan als aanvulling ook eenvoudig worden verricht (fingerprint rapport deel 1). Het is echter mogelijk om nog meer informatie over de bron/herkomst van de zinkassen boven tafel te krijgen. De mineralogische samenstelling van de zinkassen is hoogstwaarschijnlijk ook karakteristiek. Het zinkerts waarvan de zinkassen een restproduct zijn bestaan namelijk uit onder andere sphaleriet, pyriet, chalcopyriet en loodsulfaat. Met behulp van scanning elektron microscopie (SEM) kan de mineralogische samenstelling van een met zink verontreinigd bodemmonsters worden vastgesteld.
- GeoConnect raadt ABdK aan om na te gaan of de leveranciers van de veld XRF spectrometers bereid zijn om de fingerprint in de software van de veld XRF in te bouwen zodat direct kan worden bepaald of een bodem verontreinigd is met zinkassen of niet. Het is ook mogelijk om de fingerprint zelf te berekenen met een programma als Excel.

5 Referenties

Hagens, W.I., Walraven, N., Minekus, M., Lijzen, J.P.A. and Oomen, A.G. (in prep). Bioavailability of lead from Dutch city soils, the “stedelijke ophooglagen”. RIVM rapport.

Van der Veer, G. (2006). Geochemical soil survey of The Netherlands. PhD thesis. NGS 347.

Walraven, N. (2008). Chemische karakterisatie van bodems verontreinigd met zinkassen. Deel 1: Fingerprinting op basis van ICP element en loodisotoop analyses. GeoConnect GC 03-2006.

Walraven, N. en Van Os, B.J.H. (2004). Onderzoek naar de oorzaak van verhoogde bariumgehaltes in de bodem van (moes)tuinen in Stadskanaal. TNO-rapport NITG 04-023-B.

A Meetresultaten (in mg/kg) van de veld XRF: tuinen particulieren

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
A1	tuinen	NL	<5	416	21	20	67	<2	8	<4	338	38	<45	2248	104
A2	tuinen	NL	<5	481	31	26	74	<3	<8	<4	473	53	<62	4253	106
A3	tuinen	NL	<5	396	30	24	72	<3	<8	<4	371	55	<64	4636	155
A4	tuinen	NL	<5	440	33	23	27	<3	6	<4	188	13	<61	4437	46
A5	tuinen	NL	<6	578	37	32	56	<3	<7	<4	254	20	<62	4202	158
A6	tuinen	NL	<5	307	26	22	20	<2	<5	<4	68	<15	<51	3118	63
A7	tuinen	NL	<6	584	41	28	25	<3	<6	<4	685	<16	<51	2833	151
A8	tuinen	NL	<5	416	42	37	12	<3	<5	<4	179	<17	<67	5050	139
A9	tuinen	NL	<5	436	26	23	67	<3	9	<4	723	17	<57	3742	198
A10	tuinen	NL	<5	331	29	27	29	<2	<6	<4	129	<16	<53	2996	139
A11	tuinen	NL	<6	494	34	29	<6	<3	<4	<4	60	<16	<60	3823	79
A12	tuinen	NL	<5	462	33	23	30	<3	<6	<4	112	19	<62	4549	128
A13	tuinen	NL	<5	432	30	26	<6	<2	<4	<4	222	<16	<63	4765	<45
A14	tuinen	NL	<5	242	23	19	41	<2	<6	<4	308	<16	<49	2855	71
A15	tuinen	NL	<5	442	34	23	59	<3	8	<4	253	<16	<57	3917	143
A16	tuinen	NL	<6	511	37	26	77	<3	<8	<5	662	81	<71	5798	132
A17	tuinen	NL	<5	374	42	26	81	<3	14	<4	716	70	<70	5586	217
A18	tuinen	NL	<5	422	39	25	63	<3	<8	<4	266	34	<60	4014	128
A19	tuinen	NL	<5	210	25	20	77	<2	<8	<4	308	47	<65	5107	140
A20	tuinen	NL	<5	268	17	15	12	<2	<4	<4	104	<16	<40	1503	58
A21	tuinen	NL	<5	380	29	24	114	<3	<9	<4	574	72	<59	4195	79
A22	tuinen	NL	<5	401	44	30	273	<3	<14	<5	1211	172	<87	8474	225
A23	tuinen	NL	<5	312	24	21	55	<2	<7	<4	400	29	<52	3003	109
A24	tuinen	NL	<5	234	23	22	35	<3	<6	<4	159	<16	<51	3043	71
A25	tuinen	NL	<5	395	37	25	206	<3	29	<4	1478	153	<91	9245	227
A26	tuinen	NL	<5	70	17	18	<5	<3	<4	<4	26	<15	<43	1814	51
A27	tuinen	NL	<5	426	30	25	16	<2	<5	<4	205	<16	<58	3663	84

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
A28	tuinen	NL	<5	438	37	24	76	<3	<8	<4	698	95	<74	6451	172
A29	tuinen	NL	<5	411	29	23	18	<3	<5	<4	995	21	<61	4122	94
A30	tuinen	NL	<5	465	40	28	80	<3	12	<4	795	77	<58	3771	125
A31	tuinen	NL	<5	475	31	27	38	<3	10	<4	255	22	<63	4790	169
A32	tuinen	NL	<5	166	19	17	50	<2	10	<4	404	48	<47	2518	165
A33	tuinen	NL	<5	218	23	17	120	<3	32	<4	747	110	<47	2366	144
A34	tuinen	NL	<5	391	44	32	91	<3	<9	<4	1289	95	<70	5547	349
A35	tuinen	NL	<6	580	51	35	14	3	6	<4	1087	<17	<57	3588	99
A36	tuinen	NL	<5	515	29	28	163	<3	<11	<4	1061	75	<64	4782	105
A37	tuinen	NL	<5	399	37	30	57	<3	<7	<4	386	39	<57	3869	110
A38	tuinen	NL	<5	388	34	29	373	<3	<16	<5	1501	156	<77	6518	229
A39	tuinen	NL	<5	436	41	35	57	<3	<7	<4	1097	<17	<74	6911	299
A40	tuinen	NL	<5	372	34	29	14	<3	<5	<4	176	<16	<52	3083	91
A41	tuinen	NL	<6	516	30	29	14	<3	<5	<4	33	13	<45	2116	137
A42	tuinen	NL	<5	270	30	21	45	<3	7	<4	193	13	<66	5263	197
A43	tuinen	NL	<5	478	35	29	13	<2	<5	<4	93	<16	<52	2898	98
A44	tuinen	NL	<5	352	39	36	30	<3	7	<4	892	14	<77	7387	224
A45	tuinen	NL	<5	187	19	15	84	<3	11	<4	303	67	<75	6980	114
A46	tuinen	NL	<5	480	29	20	68	<2	8	<4	482	62	<57	3926	130
A47	tuinen	NL	<5	177	28	18	80	<3	8	<4	328	69	<60	4141	122
A48	tuinen	NL	<5	407	27	17	41	<3	<6	<4	265	47	<52	3079	175
A49	tuinen	NL	<5	407	17	12	49	<3	<7	<4	268	43	<51	2756	105
A50	tuinen	NL	<5	105	22	14	31	<2	<6	<4	685	53	<53	3369	150

Monster	Type locatie	Land	Cr	V	T	Ca	K	Ba	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd	Cr
A1	tuinen	NL	<44	17	2661	1758	6984	127	<34	<20	<19	<6	<4	<6	<44
A2	tuinen	NL	<46	21	2327	2840	8477	205	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<46
A3	tuinen	NL	<44	21	1313	3393	6715	251	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<44
A4	tuinen	NL	<45	26	2229	3453	8365	119	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<45
A5	tuinen	NL	<46	21	2689	2192	8928	220	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<46
A6	tuinen	NL	<44	16	1949	2649	7321	357	57	<21	<20	<6	<5	<6	<44
A7	tuinen	NL	<45	20	2613	2494	8754	214	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<45
A8	tuinen	NL	71	24	2683	2986	11586	313	<35	<21	<19	<6	<5	<6	71
A9	tuinen	NL	<43	13	2022	3550	6996	274	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<43
A10	tuinen	NL	<46	16	1572	4066	6465	309	<35	<21	<20	<6	<5	<6	<46
A11	tuinen	NL	<44	11	1542	2494	8802	334	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<44
A12	tuinen	NL	<46	23	2444	3138	7590	204	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<46
A13	tuinen	NL	<46	21	2106	1808	8510	309	<35	<21	<20	<6	<5	<6	<46
A14	tuinen	NL	<43	18	1172	3724	5500	269	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<43
A15	tuinen	NL	<46	26	1939	6361	7639	288	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<46
A16	tuinen	NL	<45	18	2115	3349	7868	263	<35	<21	<20	<6	<5	<6	<45
A17	tuinen	NL	<47	29	2037	7794	7959	229	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<47
A18	tuinen	NL	<44	18	2436	5946	7877	237	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<44
A19	tuinen	NL	<43	<13	1202	4864	6008	231	<34	<21	<19	<6	<5	<6	<43
A20	tuinen	NL	<42	<12	1219	2371	6425	221	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<42
A21	tuinen	NL	<44	16	1788	3768	7385	247	<35	<20	<19	<6	<5	<6	<44
A22	tuinen	NL	<46	46	2261	2191	9310	693	<36	<21	<20	<6	<5	<6	<46
A23	tuinen	NL	<44	<12	1314	2939	5405	227	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<44
A24	tuinen	NL	<44	<12	996	1379	6893	313	<35	<21	<20	<6	<5	<6	<44
A25	tuinen	NL	<47	32	2624	5520	8128	760	<36	<21	64	<6	<5	<6	<47
A26	tuinen	NL	<41	<10	446	1082	5091	320	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<41
A27	tuinen	NL	<45	14	2165	2708	7910	271	<35	<21	<20	<6	<5	<6	<45
A28	tuinen	NL	<46	25	2095	4538	7656	235	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<46
A29	tuinen	NL	<45	20	2544	2261	8343	304	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<45
A30	tuinen	NL	<46	28	2726	4407	8920	174	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<46

A31	tuinen	NL	<45	19	2601	3636	8564	219	<34	<20	<19	<6	<4	<6	<45
A32	tuinen	NL	<46	20	1599	3673	7230	197	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<46
A33	tuinen	NL	<43	<12	1401	3350	5359	269	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<43
A34	tuinen	NL	<45	23	2027	4279	9066	323	<35	<21	<20	<6	<5	<6	<45
A35	tuinen	NL	<45	27	3321	2020	9565	258	<35	<21	<20	<6	<5	<6	<45
A36	tuinen	NL	<44	16	3009	2216	8610	244	<34	<21	<19	<6	<5	<6	<44
A37	tuinen	NL	<46	25	2340	3742	9716	386	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<46
A38	tuinen	NL	<45	29	2176	2280	9062	449	<36	<21	<20	<6	<5	<6	<45
A39	tuinen	NL	<49	42	2678	3219	11317	374	<35	<21	<20	<6	<5	<6	<49
A40	tuinen	NL	<46	20	2717	3467	8621	203	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<46
A41	tuinen	NL	60	24	2425	2789	8521	181	<34	<20	<19	<6	<4	<6	60
A42	tuinen	NL	<45	24	1700	4870	6240	297	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<45
A43	tuinen	NL	<43	13	1944	2889	9405	301	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<43
A44	tuinen	NL	57	29	2940	2151	11162	309	<35	<21	<20	<6	<5	<6	57
A45	tuinen	NL	<43	10	987	3111	4546	178	<35	<21	<19	<6	<5	<6	<43
A46	tuinen	NL	<45	15	1839	6332	6730	159	<34	<20	<19	<6	<5	<6	<45
A47	tuinen	NL	141	16	1206	3099	5494	194	<34	<20	<19	<6	<5	<6	141
A48	tuinen	NL	85	17	2182	6801	6432	232	<34	<20	<19	<6	<5	<6	85
A49	tuinen	NL	<44	<14	2096	2254	5494	248	<35	<20	<19	<6	<5	<6	<44
A50	tuinen	NL	<44	<13	1392	5411	5844	212	<34	<20	<19	<6	<4	<6	<44

B Meetresultaten (mg/kg) van de veld XRF: zinkassenwegen

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
m001	zinkassenwegen	NL	<5	245	29	18	216	<3	<12	<4	1232	117	<58	3913	154
m002	zinkassenwegen	NL	<5	251	31	21	9	<2	<4	<4	80	<16	<36	1342	115
m003	zinkassenwegen	NL	12	71	650	37	14020	<14	1380	23	42079	7621	<599	180589	11996
m004	zinkassenwegen	NL	<7	278	130	34	6575	<8	245	11	19604	2073	<265	53612	2671
m005	zinkassenwegen	NL	7	186	73	35	7454	<9	271	<10	22003	2597	<258	50239	3843
m006	zinkassenwegen	NL	<8	80	135	58	10438	<12	716	<14	44018	2148	<574	174834	6348
m007	zinkassenwegen	NL	10	42	44	11	3502	<5	253	<6	9305	474	<153	29353	1525
m008	zinkassenwegen	NL	<5	260	60	23	1486	<4	<33	<5	5896	374	<120	15125	491
m009	zinkassenwegen	NL	<6	207	204	37	6832	<8	133	<8	15245	1668	<216	38436	1940
m010	zinkassenwegen	NL	<5	336	25	23	10	<2	<4	<4	30	<15	<42	1837	<34
m011	zinkassenwegen	NL	<5	204	105	28	1872	<4	108	8	8207	1062	<152	23932	931
m012	zinkassenwegen	NL	7	149	173	39	10139	<10	215	13	26692	2138	<299	61150	5015
m013	zinkassenwegen	NL	10	146	170	51	4952	<7	443	15	21848	1882	<288	64583	2988
m014	zinkassenwegen	NL	<6	173	212	38	6430	<8	227	<9	17153	997	<240	45213	2945
m015	zinkassenwegen	NL	<7	298	480	32	3581	<6	215	11	16188	2037	<243	47813	2202
m016	zinkassenwegen	NL	<7	48	220	27	6899	<10	645	20	51104	3722	<462	125599	5683
m017	zinkassenwegen	NL	<7	171	561	36	8432	<9	326	<9	13888	1717	<279	61140	4332
m018	zinkassenwegen	NL	<8	90	2914	43	11492	<13	1111	<14	36137	2320	<486	130969	13107
m019	zinkassenwegen	NL	11	79	522	30	11643	<13	1120	<13	36570	4516	<594	192406	7544
m020	zinkassenwegen	NL	<7	55	228	45	8487	<10	643	<12	43572	2330	<435	115789	4122
m021	zinkassenwegen	NL	13	53	208	29	6786	<11	583	22	94823	7448	<605	168084	8019
m022	zinkassenwegen	NL	<7	73	376	67	6103	<9	619	13	32227	3923	<428	125637	7803
m023	zinkassenwegen	NL	10	85	1231	45	11703	<13	890	<13	31926	3726	<505	145132	9816
m024	zinkassenwegen	NL	<5	185	35	24	750	<3	<22	<4	2305	195	<73	5748	145
m025	zinkassenwegen	NL	<6	275	139	42	9393	<9	433	<9	8858	1141	<198	33103	4494
m026	zinkassenwegen	NL	<5	352	29	24	173	<2	<11	<4	956	73	<50	2878	84
m027	zinkassenwegen	NL	<6	157	457	34	7219	<8	<82	<8	12662	826	<174	24532	2439
m028	zinkassenwegen	NL	8	116	85	35	4701	<7	223	8	17945	2060	<246	51579	1890

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
m029	zinkassenwegen	NL	8	220	144	51	6229	<8	500	<8	10300	996	<229	41018	1569
m030	zinkassenwegen	NL	<6	223	67	36	8219	<8	318	<8	10667	1717	<178	27962	3730
m031	zinkassenwegen	NL	<5	295	30	25	199	<2	<11	<4	511	63	<52	3228	106
m032	zinkassenwegen	NL	<6	206	77	31	3947	<6	147	10	8046	806	<138	19289	1235
m033	zinkassenwegen	NL	10	200	43	18	1280	<5	79	<10	34381	4832	<457	139258	4336
m034	zinkassenwegen	NL	8	154	91	38	9180	<9	320	<10	20218	2269	<301	71608	3388
m035	zinkassenwegen	NL	<8	138	102	27	3645	<8	375	25	70562	4117	<489	129171	4005
m036	zinkassenwegen	NL	8	177	78	36	2874	<6	182	11	24317	2937	<284	64364	2090
m037	zinkassenwegen	NL	9	275	42	19	902	<5	<31	<8	25179	3274	<307	73931	2253
m038	zinkassenwegen	NL	<5	184	23	17	20	<2	6	<4	206	21	<46	2398	83
m039	zinkassenwegen	NL	<5	160	61	23	17	<2	<5	<4	93	18	<62	4534	112
m040	zinkassenwegen	NL	<5	204	21	20	20	<2	<5	<4	227	<16	<53	3573	80
m041	zinkassenwegen	NL	11	<7	43	13	2740	14	277	<16	120065	7567	<661	189226	4852
m042	zinkassenwegen	NL	8	78	85	19	3572	<6	276	<7	16295	1612	<268	67563	1961
m043	zinkassenwegen	NL	<5	236	19	19	10	<2	<4	<4	87	<16	<43	2061	55
m044	zinkassenwegen	NL	40	110	115	29	6776	<10	852	14	31836	3965	<483	145179	6358
m045	zinkassenwegen	NL	7	95	731	33	7745	<10	491	15	25269	3131	<387	100531	6370
m046	zinkassenwegen	NL	<5	201	18	18	9	<2	<4	<4	75	<15	<41	1898	<39
m047	zinkassenwegen	NL	<7	122	99	36	2884	7	<62	<11	62008	3571	<403	98330	2950
m048	zinkassenwegen	NL	10	196	231	34	4878	<7	469	13	19475	1785	<259	52376	2467
m054	zinkassenwegen	NL	<5	187	11	9	11	<2	<4	<4	25	<15	<34	1195	<35
m055	zinkassenwegen	NL	<5	236	38	15	9	<2	<4	<4	26	20	<49	2773	61
m066	zinkassenwegen	NL	<5	250	61	26	1253	<4	54	<4	1813	255	<86	8508	205
m070	zinkassenwegen	NL	<5	221	16	16	12	<2	<5	<4	11	<15	<39	1649	<38
m071	zinkassenwegen	NL	<5	203	16	14	11	<2	<4	<4	18	<15	<40	1823	<39
m072	zinkassenwegen	NL	<5	205	13	14	7	<2	5	<4	24	<15	<39	1757	<39
m076	zinkassenwegen	NL	<5	253	27	23	9	<2	<4	<4	79	<16	<45	2283	<39
m077	zinkassenwegen	NL	<5	270	20	19	98	<2	<8	<4	450	48	<48	2689	80
m080	zinkassenwegen	NL	<5	264	17	12	234	<3	<13	<4	1681	99	<47	2398	97
m081	zinkassenwegen	NL	<5	296	17	15	15	<2	14	<4	21	<15	<44	2285	59
m083	zinkassenwegen	NL	<5	207	18	17	9	<2	<4	<4	43	<16	<45	2236	41

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
m097	zinkassenwegen	NL	<5	181	13	11	5	<2	<4	<4	11	<15	<33	1071	39
m099	zinkassenwegen	NL	<5	178	15	17	8	<2	<4	<3	22	<15	<38	1732	<37
m100	zinkassenwegen	NL	<5	263	14	13	9	<2	<4	<4	24	<15	<31	834	<35
m101	zinkassenwegen	NL	<5	255	18	19	6	<2	<4	<3	19	<15	<41	2106	<38
m103	zinkassenwegen	NL	<5	251	21	25	9	<2	<4	<4	25	22	<50	2927	<39
m105	zinkassenwegen	NL	<5	182	13	11	5	<2	<4	<3	28	<14	<35	1188	<38
zink slak (obsidiaan)	zinkassenwegen	NL	15	260	129	71	636	<5	55	<11	37535	4149	<468	129914	7863
m106	zinkassenwegen	BE	16	173	36	26	2945	<7	285	20	20604	7015	<361	89346	7150
m107	zinkassenwegen	BE	<6	175	33	28	1185	<4	113	13	25489	2210	<203	34637	1444
m108	zinkassenwegen	BE	14	190	51	40	506	61	23	13	2661	356	<152	19711	1145
m108	zinkassenwegen	BE	<5	176	31	19	419	<3	25	<4	2196	306	<90	10188	301
m109	zinkassenwegen	BE	<5	288	34	26	117	<3	11	<4	557	168	<62	4642	118
m110	zinkassenwegen	BE	<5	292	43	27	285	<3	36	<4	1600	428	<60	4205	161
m111	zinkassenwegen	BE	14	320	40	25	2358	<6	229	13	19038	5178	<277	57791	3386
m112	zinkassenwegen	BE	<5	192	17	13	156	<2	<10	<4	170	70	<40	1991	39
m113	zinkassenwegen	BE	13	170	45	31	4911	<8	278	21	33547	8901	<356	87205	7694
m114	zinkassenwegen	BE	<6	157	74	31	5750	11	1172	14	16853	1432	<212	36012	1192
m115	zinkassenwegen	BE	<5	117	48	39	2395	54	<41	23	1936	210	<92	9047	139
m116	zinkassenwegen	BE	<5	250	30	18	273	<3	17	<4	953	105	<63	4504	192
m117	zinkassenwegen	BE	<5	172	55	35	1269	<4	52	8	3266	236	<116	14648	456
m118	zinkassenwegen	BE	<5	217	27	15	222	<2	20	<4	761	114	<76	7156	<44
m119	zinkassenwegen	BE	<6	157	68	38	4465	49	<59	17	4796	505	<124	15033	331
m120	zinkassenwegen	BE	<5	231	19	16	114	<2	<9	<4	109	<16	<46	2640	62
m121	zinkassenwegen	BE	<5	236	27	15	335	<3	21	<4	758	50	<54	3426	87
m122	zinkassenwegen	BE	<5	351	17	17	118	<2	<9	<4	194	39	<52	3466	53
m123	zinkassenwegen	BE	<5	282	80	28	105	<3	12	<4	497	101	<80	8492	90
m124	zinkassenwegen	BE	<5	152	36	31	182	<2	12	<4	453	76	<65	5900	82
m125	zinkassenwegen	BE	6	231	43	27	1147	<4	392	6	6559	2070	<109	12411	324
m126	zinkassenwegen	BE	<5	157	19	20	83	<2	17	<4	383	90	<61	4745	92
m222	zinkassenwegen	BE	8	211	77	43	1247	<4	78	7	7620	1331	<195	36275	692

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
m222 brok	zinkassenwegen	BE	<5	149	120	99	471	4	95	<5	6159	669	<143	22749	380
m225	zinkassenwegen	BE	13	199	92	29	1100	4	92	<5	3341	1524	<109	13895	388
m225 brok	zinkassenwegen	BE	258	65	330	40	6266	32	736	82	71093	4257	<871	266268	11030
m142	zinkassenwegen	BE	<5	118	110	64	424	<3	26	<4	541	134	<131	19901	319
m142 brok	zinkassenwegen	BE	10	221	205	113	184	<3	35	<5	374	74	<147	22583	284
m149	zinkassenwegen	BE	6	287	152	63	497	<3	61	<5	1439	252	<125	17083	228
m149 brok	zinkassenwegen	BE	<6	257	402	163	763	<4	105	<6	1856	860	<238	53214	632
m181	zinkassenwegen	BE	6	181	82	44	302	<3	26	<4	922	124	<95	10472	157
m181 brok	zinkassenwegen	BE	10	322	525	165	1261	<5	251	<7	4298	683	<321	78435	1143
m127	zinkassenwegen	BE	<5	313	41	25	141	<3	19	<4	2992	105	<65	5240	158
m128	zinkassenwegen	BE	<5	168	29	26	106	<3	<9	<4	407	48	<56	3727	82
m129	zinkassenwegen	BE	<5	134	28	34	161	<3	24	<4	1110	111	<90	10021	250
m131	zinkassenwegen	BE	<5	174	24	19	80	<2	15	<4	662	83	<53	3246	55
m132	zinkassenwegen	BE	<5	189	15	13	591	<3	<19	<4	2544	619	<57	3539	141
m133	zinkassenwegen	BE	<5	222	35	23	250	<2	<12	<4	907	45	<59	4255	76
m134	zinkassenwegen	BE	<5	165	24	17	83	<2	<8	<4	628	30	<48	2867	60
m135	zinkassenwegen	BE	15	158	34	25	1504	<4	298	12	13504	1866	<113	12152	428
m136	zinkassenwegen	BE	7	212	36	22	547	<3	32	5	6942	646	<93	8864	281
m138	zinkassenwegen	BE	<5	261	34	33	578	<3	64	8	12790	942	<106	11037	243
m139	zinkassenwegen	BE	<5	200	36	23	855	7	1056	20	7313	572	<94	8567	355
m140	zinkassenwegen	BE	7	252	43	27	827	<4	79	8	12203	487	200	19099	351
m140 brok	zinkassenwegen	BE	<5	364	64	39	152	<3	66	<4	1385	46	<72	5797	48
m141	zinkassenwegen	BE	<6	296	38	25	763	7	90	6	11505	533	<119	14401	358
m143	zinkassenwegen	BE	<5	280	33	26	107	<2	<9	<4	578	53	<94	11967	78
m143 brok	zinkassenwegen	BE	<5	145	86	132	16	<3	6	<4	194	60	<149	25477	346
m144	zinkassenwegen	BE	12	196	62	23	1405	<4	49	155	3283	397	<122	14973	366
m147	zinkassenwegen	BE	<5	218	23	11	249	<2	<12	<4	743	37	<47	2549	60
m148	zinkassenwegen	BE	<5	358	16	9	364	<3	<15	<4	296	50	<42	1926	<39
m150	zinkassenwegen	BE	<5	272	16	10	143	<2	<10	<4	334	<16	<42	1985	42
m151	zinkassenwegen	BE	<5	272	27	15	376	4	<16	8	702	67	<60	4230	121
m152	zinkassenwegen	BE	<5	385	25	25	89	<2	20	<4	248	98	<62	4552	143

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
m153	zinkassenwegen	BE	<5	217	42	28	303	<3	38	<4	846	174	<117	17437	240
m154	zinkassenwegen	BE	<5	182	46	29	906	<4	52	<5	2793	618	<131	18878	816
m157	zinkassenwegen	BE	<5	216	61	30	590	<3	29	<5	1698	293	<102	11793	614
m159	zinkassenwegen	BE	<5	277	38	25	206	<3	22	<4	821	97	<76	7696	215
m160	zinkassenwegen	BE	<5	206	38	21	572	<3	32	<5	8955	455	<105	12277	196
m161	zinkassenwegen	BE	<5	259	46	27	478	<3	47	<5	4266	604	<94	10094	263
m162	zinkassenwegen	BE	<5	230	35	26	253	<3	23	<4	3088	274	<73	6529	120
m163	zinkassenwegen	BE	<5	290	45	30	208	<3	27	<4	3649	385	<73	6691	150
m164	zinkassenwegen	BE	<5	312	41	30	994	<3	<27	<5	4694	575	<122	16165	255
m165	zinkassenwegen	BE	<5	323	27	25	417	<3	42	<4	1589	389	<100	12155	319
m166	zinkassenwegen	BE	<5	287	32	31	482	<3	66	<5	2502	515	<85	8483	252
m167	zinkassenwegen	BE	<5	160	86	35	672	<3	35	<5	4923	550	<116	14290	316
m168	zinkassenwegen	BE	<5	204	53	22	503	<3	38	7	9993	556	<95	10009	245
m169	zinkassenwegen	BE	<5	243	39	21	577	<3	37	<5	8161	615	<103	12022	292
m170	zinkassenwegen	BE	<5	226	32	30	224	<3	28	<4	3278	200	<78	7497	134
m170 brok	zinkassenwegen	BE	<9	135	118	54	791	<6	67	16	85719	1125	<515	116033	2020
m171	zinkassenwegen	BE	<5	313	19	16	132	<3	<10	<4	1796	33	<52	2919	60
m172	zinkassenwegen	BE	<5	170	21	21	247	<3	<13	<5	6201	66	<63	4263	103
m173	zinkassenwegen	BE	<5	255	19	15	276	<3	<14	<4	2862	58	<59	3720	72
m174	zinkassenwegen	BE	<5	298	17	16	77	<2	<8	<4	844	38	<45	2278	<40
m175	zinkassenwegen	BE	<5	182	25	15	46	<2	9	<4	844	19	<40	1762	<40
m176	zinkassenwegen	BE	<5	274	17	14	104	<2	9	<4	1433	46	<51	2984	52
m177	zinkassenwegen	BE	<5	279	17	14	163	<3	<11	<4	3037	46	<56	3299	82
m178	zinkassenwegen	BE	<5	365	34	17	154	<3	<11	<4	3050	42	<55	3255	59
m179	zinkassenwegen	BE	<5	320	15	12	121	<2	<9	<4	1695	31	<47	2327	76
m180	zinkassenwegen	BE	<5	209	19	15	148	<3	<10	<4	3028	54	<60	3732	61
m182	zinkassenwegen	BE	<5	295	46	32	873	8	66	36	2251	185	<79	7081	312
m183	zinkassenwegen	BE	<5	257	51	21	1432	5	182	15	10889	1211	<92	8465	177
m184	zinkassenwegen	BE	<5	223	27	18	523	5	46	9	3841	322	<88	9203	282
m185	zinkassenwegen	BE	12	123	39	23	1036	<4	99	<6	6687	2104	<159	25725	1443
m186	zinkassenwegen	BE	12	122	30	25	1682	<5	150	28	27592	3359	<267	56664	1871

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
m187	zinkassenwegen	BE	<5	217	35	14	274	<3	25	<4	2160	214	<56	3578	94
m188	zinkassenwegen	BE	<5	251	49	23	726	<3	<22	7	3572	400	<77	6683	143
m189	zinkassenwegen	BE	<5	131	28	22	612	<3	55	<5	5510	745	<68	5523	175
m190	zinkassenwegen	BE	11	203	68	40	4275	19	568	41	37815	1501	<170	19799	337
m192	zinkassenwegen	BE	<5	201	30	16	381	<3	33	<5	3519	291	<71	5795	182
m193	zinkassenwegen	BE	<6	284	68	34	931	<4	166	8	8125	959	<122	16216	566
m194	zinkassenwegen	BE	<5	264	58	46	896	<4	125	<5	6907	915	<139	21017	1091
m197	zinkassenwegen	BE	<5	315	22	23	30	<2	<5	<4	26	<15	<44	2403	58
m198	zinkassenwegen	BE	8	377	35	46	61	53	<8	15	18	<19	225	9934	667
m199	zinkassenwegen	BE	<5	307	19	20	22	<2	<5	<4	18	<15	<42	2101	<39
m200	zinkassenwegen	BE	<5	280	13	12	29	<2	<5	<3	23	<15	<37	1529	<40
m202	zinkassenwegen	BE	<5	335	16	15	27	<2	<6	<4	23	<16	<42	2007	<40
m207	zinkassenwegen	BE	<5	359	23	20	33	<2	<6	<4	44	<16	<40	1741	48
m210	zinkassenwegen	BE	<5	253	59	54	956	12	540	29	6431	977	<104	11452	239
m212	zinkassenwegen	BE	<5	141	41	34	216	<3	15	<4	3157	145	<73	6690	153
m213	zinkassenwegen	BE	<5	149	32	24	100	<2	18	<4	1050	89	<68	6036	123
m214	zinkassenwegen	BE	<5	177	30	23	133	<2	17	<4	1080	78	<66	5344	137
m215	zinkassenwegen	BE	<5	237	31	18	899	<3	<25	<5	2737	638	<89	8194	336
m216	zinkassenwegen	BE	<5	250	25	14	270	<3	31	<4	2498	587	<93	10632	222
m217	zinkassenwegen	BE	<5	180	22	15	188	<3	18	<4	1425	98	<74	6614	162
m218	zinkassenwegen	BE	<5	190	19	14	40	<2	<6	<4	247	18	<44	2166	<40
m219	zinkassenwegen	BE	<5	312	17	14	157	<2	<10	<4	548	85	<47	2466	111
m220	zinkassenwegen	BE	<5	150	27	21	160	<2	23	<4	539	153	<51	3100	<40
m221	zinkassenwegen	BE	<5	182	27	19	631	<3	<21	<5	1738	1771	<121	17089	311
m237	zinkassenwegen	BE	<5	240	34	35	467	<3	24	<4	479	83	<66	5437	87
m239	zinkassenwegen	BE	<5	328	24	22	279	<3	<14	<4	1569	441	<56	3380	<42
m240	zinkassenwegen	BE	18	43	37	23	7274	<11	519	<15	75700	8418	<579	164453	4299
m241	zinkassenwegen	BE	11	265	29	22	1116	<4	84	6	5419	1360	<152	24087	605
m242	zinkassenwegen	BE	24	162	33	22	3382	<7	343	12	16213	5904	<371	102567	1972
m243	zinkassenwegen	BE	69	203	45	25	2068	6	131	10	6613	3018	<233	43917	768
m245	zinkassenwegen	BE	7	191	76	36	1439	<4	163	<7	8660	2879	<271	65171	1578

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
m246	zinkassenwegen	BE	28	273	28	20	1701	<4	109	<6	4931	2153	<138	20574	670
m247	zinkassenwegen	BE	20	188	43	26	1293	<4	127	6	5743	2351	<174	28791	673
m248	zinkassenwegen	BE	<5	292	58	65	438	3	72	<5	2350	333	<107	13599	290
m250	zinkassenwegen	BE	<5	426	21	22	29	<2	<5	<4	23	<15	<49	2935	<40
m249	zinkassenwegen	BE	<5	274	49	63	529	<3	83	<5	2588	483	<86	8590	177
m254	zinkassenwegen	BE	<5	300	28	23	156	<3	14	<4	999	124	<56	3832	68
m256	zinkassenwegen	BE	<5	370	26	22	105	<2	14	<4	538	117	<51	3067	83
m257	zinkassenwegen	BE	<5	231	61	52	632	<3	72	<5	4188	633	<106	12229	276
m258	zinkassenwegen	BE	<5	221	29	27	113	<2	14	<4	1468	99	<70	5735	182
m270	zinkassenwegen	BE	6	276	46	23	1101	<3	<27	<5	4730	409	<94	9238	388
m271	zinkassenwegen	BE	15	55	44	24	7639	<12	511	<17	86879	9702	<710	216886	5730
m273	zinkassenwegen	BE	<5	231	80	23	82	<3	15	<4	595	60	<64	4904	118
m274	zinkassenwegen	BE	<5	215	79	24	115	<3	11	<4	1056	98	<69	5641	134
m277	zinkassenwegen	BE	<5	216	64	40	668	<3	72	<5	5922	632	<124	16981	383
m278	zinkassenwegen	BE	<6	288	44	43	1089	<4	139	<6	10064	1216	<172	29693	858
m279	zinkassenwegen	BE	<6	330	51	54	646	<3	99	<5	4467	709	<132	19464	386

Monster	Type locatie	Land	Cr	V	Ti	Ca	K	Ba	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd
m001	zinkassenwegen	NL	<46	14	809	1188	3536	789	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m002	zinkassenwegen	NL	<47	<12	1168	7717	4148	227	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m003	zinkassenwegen	NL	<50	110	1430	3598	2664	2430	<51	162	40	<9	44	<8
m004	zinkassenwegen	NL	<52	72	1393	2097	4213	1126	<40	51	<24	<7	23	<7
m005	zinkassenwegen	NL	49	49	1501	2337	4570	698	<40	70	<23	<7	19	<7
m006	zinkassenwegen	NL	<51	139	1711	3775	3642	4227	<47	32	36	<9	11	<7
m007	zinkassenwegen	NL	<54	71	1342	4237	3516	<52	<26	<16	<15	<5	<4	<4
m008	zinkassenwegen	NL	<48	33	1273	1549	4689	337	<35	<21	21	<6	<5	<6
m009	zinkassenwegen	NL	<53	71	1640	2087	5038	1172	<38	<23	<22	<7	11	<6
m010	zinkassenwegen	NL	<45	12	847	<275	4766	<55	<29	<17	<16	<5	<4	<5
m011	zinkassenwegen	NL	<51	103	1757	2200	4811	1525	<35	<21	<20	<6	8	<6
m012	zinkassenwegen	NL	70	113	1769	5205	5019	1754	<41	55	<24	<7	27	<7
m013	zinkassenwegen	NL	94	195	2641	3113	5443	2136	<41	51	58	<8	10	<7
m014	zinkassenwegen	NL	59	255	3035	2285	4697	4095	<40	<25	<23	<7	9	<7
m015	zinkassenwegen	NL	<55	145	1945	2107	4004	2232	<38	<24	<22	<7	18	<6
m016	zinkassenwegen	NL	<50	174	1801	2672	2353	3632	<44	56	<26	26	29	<7
m017	zinkassenwegen	NL	<54	78	1515	1694	4384	1340	<38	73	<22	<7	40	<6
m018	zinkassenwegen	NL	<51	83	1301	4883	2847	1191	<43	<27	<24	<8	23	<7
m019	zinkassenwegen	NL	<46	89	937	2457	1500	1424	<45	<28	<26	<8	16	<7
m020	zinkassenwegen	NL	58	232	2353	4019	3362	3058	<45	<27	154	<8	<6	<7
m021	zinkassenwegen	NL	<51	209	2021	2527	2324	3847	<50	56	150	<9	22	<8
m022	zinkassenwegen	NL	<47	57	1461	2777	4454	658	<43	72	<24	<8	15	<7
m023	zinkassenwegen	NL	<48	68	1201	3324	3046	936	<44	87	<25	<8	32	<7
m024	zinkassenwegen	NL	<46	11	976	429	4275	116	<33	<19	<18	<6	<4	<5
m025	zinkassenwegen	NL	<51	61	1752	4482	5162	1063	<39	50	<22	<7	23	<6
m026	zinkassenwegen	NL	59	15	897	274	3990	107	<32	<19	<18	<6	<4	<6
m027	zinkassenwegen	NL	56	47	1480	3847	4894	970	<39	95	<22	<7	27	<6
m028	zinkassenwegen	NL	53	83	1679	2802	5193	974	<38	45	40	<7	14	<6
m029	zinkassenwegen	NL	<50	51	1202	2267	4462	653	<39	80	<22	<7	18	<7
m030	zinkassenwegen	NL	<50	36	1511	3979	4781	279	<35	<22	<20	<6	7	<6
m031	zinkassenwegen	NL	<47	<12	1169	<278	4751	169	<32	<19	<18	<6	<4	<5

Monster	Type locatie	Land	Cr	V	Ti	Ca	K	Ba	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd
m032	zinkassenwegen	NL	<50	40	1360	3799	5325	660	<35	<21	<20	<6	9	<6
m033	zinkassenwegen	NL	<51	62	871	3134	2531	1449	<42	36	232	<7	10	<7
m034	zinkassenwegen	NL	<52	76	1151	2754	3736	1092	<38	<23	<22	<7	11	<6
m035	zinkassenwegen	NL	71	103	1311	1314	3323	4347	<45	<29	102	<9	<7	<7
m036	zinkassenwegen	NL	130	80	1587	1678	5365	1614	<39	111	140	<7	6	<6
m037	zinkassenwegen	NL	<53	52	973	9041	3341	1273	<41	30	172	<7	9	<7
m038	zinkassenwegen	NL	<45	<11	695	982	4386	99	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m039	zinkassenwegen	NL	<48	16	1099	22253	3915	301	<33	<19	<18	<6	<4	<6
m040	zinkassenwegen	NL	<46	17	661	674	5780	128	<31	<19	<18	<6	<4	<5
m041	zinkassenwegen	NL	50	48	668	2681	1878	220	<48	<29	143	<9	13	<8
m042	zinkassenwegen	NL	79	84	1373	2163	3726	223	<33	<20	83	<6	<5	<6
m043	zinkassenwegen	NL	<45	<12	757	369	3869	110	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m044	zinkassenwegen	NL	<48	85	1162	2981	2955	2548	<44	29	105	<8	26	<7
m045	zinkassenwegen	NL	<50	62	1036	2630	3661	1467	<45	168	69	<8	42	<8
m046	zinkassenwegen	NL	48	10	685	<269	4089	133	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m047	zinkassenwegen	NL	75	95	1496	1925	3072	2815	<43	<27	58	23	<6	<7
m048	zinkassenwegen	NL	<53	71	2057	4613	3875	445	<37	<23	<21	<7	14	<6
m054	zinkassenwegen	NL	<46	<11	631	<262	2037	<58	<31	<18	<17	<5	<4	<5
m055	zinkassenwegen	NL	<45	18	820	946	3701	137	<32	<19	<18	<6	<4	<6
m066	zinkassenwegen	NL	65	32	1193	778	4774	324	<31	<18	<17	<5	<4	<5
m070	zinkassenwegen	NL	<45	<11	636	<263	3483	61	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m071	zinkassenwegen	NL	<47	14	775	<264	3817	71	<31	<18	<17	<6	<4	<5
m072	zinkassenwegen	NL	<46	<12	1103	<270	3699	154	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m076	zinkassenwegen	NL	<45	12	815	<271	4589	64	<31	<19	<18	<6	<4	<5
m077	zinkassenwegen	NL	<47	10	864	241	4143	<60	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m080	zinkassenwegen	NL	<46	11	1005	403	2956	124	<33	<19	<18	<6	<4	<6
m081	zinkassenwegen	NL	<45	<12	1319	<247	3321	<57	<30	<18	<17	<5	<4	<5
m083	zinkassenwegen	NL	<44	<12	1049	<264	4106	96	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m097	zinkassenwegen	NL	<44	<12	955	<252	2632	<58	<30	<18	<17	<5	<4	<5
m099	zinkassenwegen	NL	62	<12	991	<262	3400	<57	<30	<18	<17	<5	<4	<5
m100	zinkassenwegen	NL	<45	<12	943	<251	3022	<55	<29	<17	<16	<5	<4	<5

Monster	Type locatie	Land	Cr	V	Ti	Ca	K	Ba	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd
m101	zinkassenwegen	NL	<45	<12	1019	<266	4231	<59	<31	<18	<17	<5	<4	<5
m103	zinkassenwegen	NL	<46	17	1472	<271	4247	105	<31	<18	<17	<5	<4	<5
m105	zinkassenwegen	NL	<44	<12	849	<252	2272	<58	<31	<18	<17	<5	<4	<5
zink slak (obsidiaan)	zinkassenwegen	NL	111	131	4663	13680	7126	4406	190	213	170	<10	20	<10
m106	zinkassenwegen	BE	52	35	1447	1451	3542	862	<42	168	<25	<8	76	<7
m107	zinkassenwegen	BE	164	42	1640	1376	3682	943	<38	<23	<22	75	15	<7
m108	zinkassenwegen	BE	<32	<9	478	<205	<367	<171	<89	<52	<50	40	52	210
m108	zinkassenwegen	BE	<47	29	1014	866	2698	190	<33	<19	<19	<6	<4	<5
m109	zinkassenwegen	BE	<48	28	1527	6767	5580	205	<33	<19	<18	<6	<4	<5
m110	zinkassenwegen	BE	241	19	2116	2326	5308	128	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m111	zinkassenwegen	BE	<51	36	1403	735	2991	369	<40	38	25	<7	17	<7
m112	zinkassenwegen	BE	<46	11	493	<266	3321	<59	<31	<18	<17	<5	<4	<5
m113	zinkassenwegen	BE	117	54	1426	1114	3090	312	<40	50	<23	<7	27	<7
m114	zinkassenwegen	BE	<52	61	1017	13860	3892	1154	<39	<25	251	26	<5	<7
m115	zinkassenwegen	BE	<47	31	1070	1065	5134	429	<35	<21	<20	<6	<5	<6
m116	zinkassenwegen	BE	<45	15	1070	1101	2953	116	<32	<19	<18	<6	<4	<6
m117	zinkassenwegen	BE	49	40	1363	2305	4132	553	<35	<21	<20	7	<5	<6
m118	zinkassenwegen	BE	96	19	1105	823	2221	<61	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m119	zinkassenwegen	BE	<49	40	1006	1858	5660	650	<36	<22	37	43	<5	<6
m120	zinkassenwegen	BE	<45	<12	639	1284	3156	<60	<31	<18	<17	<5	<4	<5
m121	zinkassenwegen	BE	<48	30	1207	4048	2805	<60	<31	<19	<17	<6	<4	<5
m122	zinkassenwegen	BE	<47	23	1034	1807	3869	<59	<31	<18	<17	<6	<4	<5
m123	zinkassenwegen	BE	<49	29	1865	1803	5304	118	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m124	zinkassenwegen	BE	<50	35	1574	2043	4906	<58	<30	<18	<17	<5	<4	<5
m125	zinkassenwegen	BE	<50	44	1410	3627	4641	<59	<30	<19	96	40	<4	<5
m126	zinkassenwegen	BE	<45	14	836	933	5282	328	<33	<19	<18	<6	<4	<6
m222	zinkassenwegen	BE	66	58	1944	2626	5237	162	<34	<21	<19	<6	<5	<6
m222 brok	zinkassenwegen	BE	78	66	2182	2908	7067	750	<36	<21	<20	9	<5	<6
m225	zinkassenwegen	BE	<51	37	1426	4867	4922	<92	<46	<27	<27	<8	<6	<8
m225 brok	zinkassenwegen	BE	109	109	1383	42820	3495	5952	<69	<42	1142	<12	<9	<12
m142	zinkassenwegen	BE	49	72	1858	3099	6971	227	<33	<19	<18	<6	<4	<5

Monster	Type locatie	Land	Cr	V	Ti	Ca	K	Ba	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd
m142 brok	zinkassenwegen	BE	114	103	2818	2967	5780	886	<34	<20	<19	<6	<5	<6
m149	zinkassenwegen	BE	106	54	2426	5664	7800	266	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m149 brok	zinkassenwegen	BE	227	168	5088	10119	23955	1148	<39	<23	29	<7	<5	<7
m181	zinkassenwegen	BE	48	38	1424	10212	5647	210	<33	<19	<18	<6	<4	<5
m181 brok	zinkassenwegen	BE	129	163	4514	25032	20219	3381	208	117	183	<9	<7	<8
m127	zinkassenwegen	BE	<47	28	1594	1963	5238	315	<33	<19	<18	<6	<4	<6
m128	zinkassenwegen	BE	<47	19	1014	5330	4938	274	<33	<20	<18	8	<4	<6
m129	zinkassenwegen	BE	<51	23	907	20814	5713	195	<34	<20	<19	<6	<5	<6
m131	zinkassenwegen	BE	<47	<12	722	9277	3957	158	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m132	zinkassenwegen	BE	<45	<12	888	<260	2538	75	<33	<20	<19	<6	<4	<6
m133	zinkassenwegen	BE	<46	27	810	3789	4482	173	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m134	zinkassenwegen	BE	<45	12	803	748	3362	<60	<31	<19	<17	<6	<4	<5
m135	zinkassenwegen	BE	<49	32	1238	5597	4208	<65	<33	<21	<19	182	<5	<6
m136	zinkassenwegen	BE	<48	28	1288	4615	3213	172	<34	<20	<19	32	<5	<6
m138	zinkassenwegen	BE	<49	38	1972	1717	4316	156	<35	<21	<20	72	8	<6
m139	zinkassenwegen	BE	<48	34	1175	4683	3804	168	<35	<21	<19	34	6	<6
m140	zinkassenwegen	BE	68	29	1685	694	3175	160	<36	<22	<20	33	<5	<6
m140 brok	zinkassenwegen	BE	137	81	10131	1935	3771	175	<34	<20	<19	99	<5	<6
m141	zinkassenwegen	BE	<47	39	1464	1848	4399	183	<35	<21	<20	59	<5	<6
m143	zinkassenwegen	BE	<49	21	1701	1860	5157	<58	<30	<18	<17	<5	<4	<5
m143 brok	zinkassenwegen	BE	74	110	3830	5764	22357	672	64	24	29	<7	<5	<6
m144	zinkassenwegen	BE	<47	36	1102	3694	2975	769	<35	<21	65	<6	<5	<6
m147	zinkassenwegen	BE	<45	15	1097	975	2702	118	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m148	zinkassenwegen	BE	<46	13	1322	566	2329	<60	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m150	zinkassenwegen	BE	<44	12	795	<262	1690	<58	<30	<18	<17	<6	<4	<5
m151	zinkassenwegen	BE	<46	21	900	2854	2964	<61	<32	<19	<18	<6	<4	<6
m152	zinkassenwegen	BE	<47	20	1733	759	4769	117	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m153	zinkassenwegen	BE	<52	38	1283	12793	5528	67	<31	<19	<18	<6	<4	<5
m154	zinkassenwegen	BE	<50	45	1399	4609	5835	924	<36	<21	34	<6	<5	<6
m157	zinkassenwegen	BE	115	36	1688	18732	5089	515	<34	<20	<19	<6	<5	<6
m159	zinkassenwegen	BE	52	29	1196	9446	5309	66	<31	<19	<18	<6	<4	<5

Monster	Type locatie	Land	Cr	V	Ti	Ca	K	Ba	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd
m160	zinkassenwegen	BE	50	40	1986	4507	3855	348	<33	<20	<19	15	<4	<6
m161	zinkassenwegen	BE	52	32	1812	6483	4867	176	<33	<19	<19	<6	<4	<6
m162	zinkassenwegen	BE	97	27	1704	7342	5006	316	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m163	zinkassenwegen	BE	<49	31	1797	10697	5512	183	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m164	zinkassenwegen	BE	65	37	1528	2812	4762	274	<34	<20	35	<6	<5	<6
m165	zinkassenwegen	BE	<48	25	1632	1352	4824	201	<33	<20	<18	<6	<4	<6
m166	zinkassenwegen	BE	136	25	1422	1913	5625	362	<34	<20	21	<6	<4	<6
m167	zinkassenwegen	BE	71	40	1708	27312	5192	417	<36	<22	38	<6	13	<6
m168	zinkassenwegen	BE	51	44	1976	1244	3966	353	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m169	zinkassenwegen	BE	70	43	1721	307	3926	576	<33	<20	<19	<6	<5	<6
m170	zinkassenwegen	BE	58	38	1566	1698	4716	1068	<31	<18	<17	<6	<4	<5
m170 brok	zinkassenwegen	BE	87	591	3112	5727	6259	5310	221	141	255	29	<9	<12
m171	zinkassenwegen	BE	<45	10	1006	1046	3387	<61	<32	<19	<18	19	<4	<5
m172	zinkassenwegen	BE	176	25	1100	1583	3193	113	<33	<20	<19	61	<4	<6
m173	zinkassenwegen	BE	<47	13	801	915	2758	<62	<32	<19	<18	19	<4	<6
m174	zinkassenwegen	BE	<44	10	874	421	3008	94	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m175	zinkassenwegen	BE	<46	<12	698	9313	2413	174	<32	<19	<18	6	<4	<5
m176	zinkassenwegen	BE	<44	<12	670	968	3020	106	<32	<19	<18	6	<4	<5
m177	zinkassenwegen	BE	<47	18	1028	1307	2801	157	<33	<20	<18	15	<4	<6
m178	zinkassenwegen	BE	<45	17	1523	1552	2761	145	<33	<20	<18	50	<4	<6
m179	zinkassenwegen	BE	<47	11	894	732	2212	<61	<32	<19	<18	20	<4	<6
m180	zinkassenwegen	BE	<45	15	812	618	2837	134	<34	<20	<19	32	<5	<6
m182	zinkassenwegen	BE	<46	14	1247	<267	2759	230	<34	<20	<19	<6	<5	<6
m183	zinkassenwegen	BE	46	34	1480	2445	3442	86	<34	<21	<20	94	<5	<6
m184	zinkassenwegen	BE	107	32	847	347	3563	404	<34	<20	<19	<6	<5	<6
m185	zinkassenwegen	BE	<50	34	1223	905	3111	3076	<36	<22	<21	<7	20	<6
m186	zinkassenwegen	BE	<52	38	1033	1073	2877	<100	619	540	712	868	958	1767
m187	zinkassenwegen	BE	<46	14	1013	3949	3077	205	<33	<19	<18	21	<4	<6
m188	zinkassenwegen	BE	53	26	1165	9264	4061	189	<33	<19	<18	8	<4	<6
m189	zinkassenwegen	BE	<48	15	1029	4506	3345	<61	<32	<19	<18	11	<4	<5
m190	zinkassenwegen	BE	79	41	1478	2790	3898	<75	<38	<23	<22	119	<5	<7

Monster	Type locatie	Land	Cr	V	Ti	Ca	K	Ba	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd
m192	zinkassenwegen	BE	<48	16	910	6236	3524	<62	<33	<19	<18	<6	<4	<6
m193	zinkassenwegen	BE	53	41	1492	4987	5780	132	<34	<21	<19	40	6	<6
m194	zinkassenwegen	BE	<53	52	1784	3664	7447	372	<34	<20	<19	9	<5	<6
m197	zinkassenwegen	BE	<47	13	1813	<277	4938	<56	<30	<18	<16	<5	<4	<5
m198	zinkassenwegen	BE	<30	<9	752	<180	1449	<72	<38	<22	<21	37	51	195
m199	zinkassenwegen	BE	<46	15	1518	<259	4279	<58	<30	<18	<17	<5	<4	<5
m200	zinkassenwegen	BE	93	<12	1019	<250	3098	<57	<30	<18	<17	<5	<4	<5
m202	zinkassenwegen	BE	<43	10	996	<244	2798	<62	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m207	zinkassenwegen	BE	<46	12	1423	751	4828	<59	<31	<18	<17	<5	<4	<5
m210	zinkassenwegen	BE	<49	38	2168	3892	6556	<64	<33	<20	<19	25	<4	<6
m212	zinkassenwegen	BE	<49	23	1387	10892	5492	196	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m213	zinkassenwegen	BE	73	28	1232	8998	6346	328	<33	<20	<19	<6	<4	<6
m214	zinkassenwegen	BE	<50	30	1574	13291	5785	181	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m215	zinkassenwegen	BE	<45	15	494	1002	2825	<65	<33	<20	54	<6	<5	<6
m216	zinkassenwegen	BE	<46	16	931	3822	2986	<62	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m217	zinkassenwegen	BE	<45	11	550	2363	2500	<60	<31	<19	<17	<6	<4	<5
m218	zinkassenwegen	BE	<45	<11	671	1382	2111	<61	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m219	zinkassenwegen	BE	<44	11	1324	<267	3005	<60	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m220	zinkassenwegen	BE	<44	11	1103	3538	3221	<61	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m221	zinkassenwegen	BE	<47	16	928	7885	3499	250	<34	<20	<19	<6	<5	<6
m237	zinkassenwegen	BE	<46	27	1203	3281	4792	<61	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m239	zinkassenwegen	BE	<45	23	1522	2185	3658	<61	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m240	zinkassenwegen	BE	<46	66	791	2380	2113	772	<46	<28	<27	<8	42	<7
m241	zinkassenwegen	BE	<48	24	857	3103	3380	<65	<33	<20	<19	<6	<5	<6
m242	zinkassenwegen	BE	<51	40	854	2607	2593	209	<40	<25	85	<7	32	<7
m243	zinkassenwegen	BE	<47	30	800	1466	3451	<66	<33	<20	463	<6	<5	<5
m245	zinkassenwegen	BE	<52	48	1029	4030	4554	329	<38	<23	<22	<7	20	<6
m246	zinkassenwegen	BE	<49	16	1092	2492	3221	<66	<34	<20	122	<6	<5	<6
m247	zinkassenwegen	BE	<50	38	1430	2266	3572	246	<36	<21	36	<6	10	<6
m248	zinkassenwegen	BE	62	33	1925	2949	7280	145	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m250	zinkassenwegen	BE	<46	11	1357	<269	4731	<59	<31	<18	<17	<5	<4	<5

Monster	Type locatie	Land	Cr	V	Ti	Ca	K	Ba	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd
m249	zinkassenwegen	BE	75	41	2026	910	8162	279	<34	<20	<19	<6	<4	<6
m254	zinkassenwegen	BE	<47	21	1626	1447	4977	<59	<31	<18	<17	<6	<4	<5
m256	zinkassenwegen	BE	53	25	2159	4809	4586	<59	<31	<18	<17	<5	<4	<5
m257	zinkassenwegen	BE	<50	40	1990	7216	6758	<64	<33	<19	<19	<6	<4	<5
m258	zinkassenwegen	BE	179	27	1109	1428	4600	268	<34	<20	<19	<6	<5	<6
m270	zinkassenwegen	BE	<48	34	1499	4845	4108	419	<34	<20	<19	45	<5	<6
m271	zinkassenwegen	BE	<46	59	725	2062	1691	1853	<52	41	<31	<9	69	<9
m273	zinkassenwegen	BE	<50	23	1561	30186	4540	129	<32	<19	<18	<6	<4	<5
m274	zinkassenwegen	BE	<50	19	1260	28022	5408	169	<33	<19	<18	<6	<4	<6
m277	zinkassenwegen	BE	<50	33	1858	2465	7120	93	<33	<20	<19	<6	<4	<6
m278	zinkassenwegen	BE	<51	44	1623	2757	5858	154	<35	<21	<20	7	<5	<6
m279	zinkassenwegen	BE	<49	33	1366	3401	6996	367	<34	<20	<19	<6	<5	<6

C Meetresultaten (mg/kg) van de veld XRF: depositiegebied omgeving Cranendonck

Monster	Type locatie	Land	Mo	Zr	Sr	Rb	Pb	Se	As	Hg	Zn	Cu	Co	Fe	Mn
303-1	depositiegebied	NL	<5	324	37	24	119	<3	<9	<4	472	36	<53	3343	178
303-5	depositiegebied	NL	<5	477	47	48	10	<2	<3	<4	58	<17	<93	11113	92
304-2	depositiegebied	NL	<5	294	37	25	167	<2	14	<4	550	35	<57	3815	163
306	depositiegebied	NL	<5	162	24	27	<5	<2	<4	<4	11	<15	<46	2489	53
306-4	depositiegebied	NL	<5	348	40	34	<5	<3	<4	<4	35	<16	<60	4056	69
302a-2	depositiegebied	NL	<5	287	31	25	49	<2	<6	<4	262	<15	<47	2596	81
301a 0.3	depositiegebied	NL	<5	298	28	25	93	<2	<8	<4	173	20	<49	2867	88
303-6	depositiegebied	NL	<5	533	44	45	7	<2	4	<4	35	<16	<64	5232	70
St. Eloy 18, 0-0.3	depositiegebied	NL	<5	298	28	25	29	<2	<5	<4	116	<15	<46	2623	64
St. Eloy 18, 0.3-0.6	depositiegebied	NL	<5	301	31	26	61	<2	<7	<4	203	24	<49	3092	131
Parallelweg 47	depositiegebied	NL	<5	342	27	24	51	<2	<7	<4	159	22	<50	3067	56
Pr. Cristinaplantsoen	depositiegebied	NL	<5	279	29	24	34	<2	<6	<4	84	<16	<50	3161	73

Monster	Type locatie	Land	Cr	V	Ti	Ca	K	Ba	Te	Sb	Sn	Cd	Ag	Pd
303-1	depositiegebied	NL	<49	25	1574	2570	5710	<60	<31	<18	<17	<6	<4	<5
303-5	depositiegebied	NL	53	51	3136	1194	11702	344	<32	<19	<18	<6	<4	<5
304-2	depositiegebied	NL	<35	<13	1408	2832	5782	<59	<31	<18	<17	<6	<4	<5
306	depositiegebied	NL	<46	21	809	<273	5948	324	<32	<19	<18	<6	<4	<6
306-4	depositiegebied	NL	<45	25	1274	363	7104	448	<33	<20	<18	<6	<4	<6
302a-2	depositiegebied	NL	<46	16	1536	1660	5670	<58	<30	<18	<17	<5	<4	<5
301a 0.3	depositiegebied	NL	55	24	1272	669	4879	<59	<31	<18	<17	<5	<4	<5
303-6	depositiegebied	NL	<32	50	2857	636	9164	316	<32	<19	<18	<6	<4	<5
St. Eloy 18, 0-0.3	depositiegebied	NL	<51	18	1130	2313	6927	95	<30	<18	<17	<5	<4	<5
St. Eloy 18, 0.3-0.6	depositiegebied	NL	<48	30	1832	1337	6955	145	<32	<19	<17	<6	<4	<5
Parallelweg 47	depositiegebied	NL	<47	22	1525	613	6341	<60	<31	<18	<17	<6	<4	<5
Pr. Cristinaplantsoen	depositiegebied	NL	<46	15	1293	4209	5258	<58	<30	<18	<17	<5	<4	<5

D Samenstelling bodems verontreinigd met zinkassen in Nederlandse en Belgische Kempen versus samenstelling onverstoorde ondergrond.

Met zinkassen verontreinigde bodems (Zn: >300 mg/kg)						
Parameter	**n**	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**
K (mg/kg)	194	193	<367	23955	(4941)	Dit onderzoek
Ca (mg/kg)	**194**	**188**	**<180**	**42820**	**(4362)**	**Dit onderzoek**
Ti (mg/kg)	194	194	478	10131	1575	Dit onderzoek
V (mg/kg)	**194**	**183**	**<10**	**591**	**(48)**	**Dit onderzoek**
Cr (mg/kg)	194	57	<32	241	(87)	Dit onderzoek
Mn (mg/kg)	**194**	**189**	**<34**	**13107**	**(1332)**	**Dit onderzoek**
Fe (mg/kg)	**194**	**194**	**1762**	**266268**	**30887**	**Dit onderzoek**
Cu (mg/kg)	**194**	**189**	**<14**	**9702**	**(1165)**	**Dit onderzoek**
Zn (mg/kg)	**194**	**194**	**303**	**120065**	**10614**	**Dit onderzoek**
As (mg/kg)	**194**	**141**	**<3**	**1380**	**(190)**	**Dit onderzoek**
Se (mg/kg)	194	20	<2	61	(16)	Dit onderzoek
Rb (mg/kg)	194	194	10	165	31	Dit onderzoek

Onverstoorde bodems (Zn<59 mg/kg; dit onderzoek)					
n	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**
26	26	2037	11702	4651	Dit onderzoek
29	29	3042	14600	6644	Van der Veer (2006)
26	**7**	**<244**	**2789**	**(1109)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**11**	**2119**	**538**	**Van der Veer (2006)**
26	26	446	3136	1249	Dit onderzoek
29	29	471	4664	1344	Van der Veer (2006)
26	**14**	**<10**	**51**	**(21)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**5,41**	**64**	**15**	**Van der Veer (2006)**
26	4	<32	93	(67)	Dit onderzoek
29	29	13	82	29	Van der Veer (2006)
26	**12**	**<34**	**137**	**(65)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**8,44**	**3743**	**207**	**Van der Veer (2006)**
26	**26**	**834**	**11113**	**2498**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**344**	**44365**	**4247**	**Van der Veer (2006)**
26	**3**	**<13**	**22**	**(18)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**1,15**	**15**	**3,40**	**Van der Veer (2006)**
26	**26**	**11**	**58**	**26**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**5,64**	**117**	**19**	**Van der Veer (2006)**
26	**3**	**<4**	**14**	**(8)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**0,67**	**32**	**2,82**	**Van der Veer (2006)**
26	0	<2 - <3	<2 - <3	<2 - <3	Dit onderzoek
29	29	0	0,98	0,24	Van der Veer (2006)
26	26	9	48	20	Dit onderzoek
29	29	14	77	29	Van der Veer (2006)

Met zinkassen verontreinigde bodems (Zn: >300 mg/kg)							Onverstoorde bodems (Zn<59 mg/kg; dit onderzoek)					
Parameter	**n**	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**	**n**	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**
Sr (mg/kg)	**194**	**194**	**15**	**2914**	**98**	**Dit onderzoek**	**26**	**26**	**11**	**47**	**22**	**Dit onderzoek**
							29	**29**	**14**	**70**	**31**	**Van der Veer (2006)**
Zr (mg/kg)	194	193	<7	584	(236)	Dit onderzoek	26	26	70	533	282	Dit onderzoek
							29	29	89	758	361	Van der Veer (2006)
Mo (mg/kg)	194	48	<5	258	(18)	Dit onderzoek	26	0	<5 - <6	<5 - <6	<5 - <6	Dit onderzoek
							29	29	0,06	0,85	0,15	Van der Veer (2006)
Ag (mg/kg)	194	48	<4	958	(41)	Dit onderzoek	26	0	<4 - <5	<4 - <5	<4 - <5	Dit onderzoek
							8	8	0,3	0,6	-	Walraven et al. (2001-b)
Cd (mg/kg)	194	39	<5	868	(60)	Dit onderzoek	26	0	<5 - <6	<5 - <6	<5 - <6	Dit onderzoek
							29	29	0,02	0,40	0,06	Van der Veer (2006)
Sn (mg/kg)	194	37	<15	1142	(149)	Dit onderzoek	26	0	<15-<32	<15-<32	<15-<32	Dit onderzoek
							29	29	0,20	1,71	0,53	Van der Veer (2006)
Sb (mg/kg)	194	28	<16	540	(97)	Dit onderzoek	26	0	<17-<21	<17-<21	<17-<21	Dit onderzoek
							29	29	0,20	0,98	0,33	Van der Veer (2006)
Te (mg/kg)	194	4	<29	619	(309)	Dit onderzoek	26	0	<29-<35	<29-<35	<29-<35	Dit onderzoek
							-	-	-	-	0,006	Reimann and Caritat (1998)
Ba (mg/kg)	**194**	**158**	**<55**	**5952**	**(758)**	**Dit onderzoek**	**26**	**12**	**<55**	**448**	**(213)**	**Dit onderzoek**
							29	**29**	**106**	**398**	**198**	**Van der Veer (2006)**
Pb (mg/kg)	**194**	**194**	**14**	**14020**	**1810**	**Dit onderzoek**	**26**	**23**	**<5**	**33**	**(14)**	**Dit onderzoek**
							29	**29**	**3,28**	**50**	**8,22**	**Van der Veer (2006)**
Co (mg/kg)	194	1	<31	200	(200)	Dit onderzoek	26	0	<31-<93	<31-<93	<31-<93	Dit onderzoek
Pd (mg/kg)	194	2	<5	1767	(988)	Dit onderzoek	26	0	<5 - <6	<5 - <6	<5 - <6	Dit onderzoek
Hg (mg/kg)	194	50	<3	155	(18)	Dit onderzoek	26	0	<3 - <4	<3 - <4	<3 - <4	Dit onderzoek

Cag=aantoonbaarheidsgrens

Het gemiddelde van een elementgehalte is tussen haakjes weergegeven als een aantal waarnemingen van dat element kleiner is dan de aantoonbaarheidsgrens. Het werkelijke gemiddelde ligt lager dan het (tussen haakjes) geraporteerde gemiddelde.

E Samenstelling bodems verontreinigd met zinkassen in de Nederlandse Kempen versus samenstelling onverstoorde ondergrond.

Met zinkassen verontreinigde bodems (Zn: >300 mg/kg)						
Parameter	**n**	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**
K (mg/kg)	76	76	1500	11317	5461	Dit onderzoek
Ca (mg/kg)	**76**	**75**	**<278**	**13680**	**(3223)**	**Dit onderzoek**
Ti (mg/kg)	76	76	668	4663	1723	Dit onderzoek
V (mg/kg)	**76**	**70**	**<12**	**255**	**(62)**	**Dit onderzoek**
Cr (mg/kg)	76	17	<35	141	(75)	Dit onderzoek
Mn (mg/kg)	**76**	**76**	**71**	**13107**	**2281**	**Dit onderzoek**
Fe (mg/kg)	**76**	**76**	**2248**	**192406**	**45833**	**Dit onderzoek**
Cu (mg/kg)	**76**	**72**	**<16**	**7621**	**(1503)**	**Dit onderzoek**
Zn (mg/kg)	**76**	**76**	**303**	**120065**	**15461**	**Dit onderzoek**
As (mg/kg)	**76**	**48**	**<6**	**1380**	**(320)**	**Dit onderzoek**
Se (mg/kg)	76	3	<2	14	(8)	Dit onderzoek
Rb (mg/kg)	76	76	11	71	30	Dit onderzoek

Onverstoorde bodems (Zn<59 mg/kg; dit onderzoek)					
N	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**
20	20	2037	11702	4813	Dit onderzoek
29	29	3042	14600	6644	Van der Veer (2006)
20	**6**	**<247**	**2789**	**(1168)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**11**	**2119**	**538**	**Van der Veer (2006)**
20	20	446	3136	1218	Dit onderzoek
29	29	471	4664	1344	Van der Veer (2006)
20	**9**	**<10**	**51**	**(26)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**5,41**	**64**	**15**	**Van der Veer (2006)**
20	3	<32	62	(58)	Dit onderzoek
29	29	13	82	29	Van der Veer (2006)
20	**10**	**<34**	**137**	**(67)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**8,44**	**3743**	**207**	**Van der Veer (2006)**
20	**20**	**834**	**11113**	**2612**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**344**	**44365**	**4247**	**Van der Veer (2006)**
20	**3**	**<14**	**22**	**(18)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**1,15**	**15**	**3,40**	**Van der Veer (2006)**
20	**20**	**11**	**58**	**26**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**5,64**	**117**	**19**	**Van der Veer (2006)**
20	**3**	**<3**	**14**	**(8)**	**Dit onderzoek**
29	**29**	**0,67**	**32**	**2,82**	**Van der Veer (2006)**
20	0	<2-<3	<2-<3	<2-<3	Dit onderzoek
29	29	0	0,98	0,24	Van der Veer (2006)
20	20	9	48	21	Dit onderzoek
29	29	14	77	29	Van der Veer (2006)

Met zinkassen verontreinigde bodems (Zn: >300 mg/kg)							Onverstoorde bodems (Zn<59 mg/kg; dit onderzoek)					
Parameter	**n**	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**	**N**	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**
Sr (mg/kg)	**76**	**76**	**17**	**2914**	**167**	**Dit onderzoek**	**20**	**20**	**11**	**47**	**22**	**Dit onderzoek**
							29	**29**	**14**	**70**	**31**	**Van der Veer (2006)**
Zr (mg/kg)	76	75	<7	584	(254)	Dit onderzoek	20	20	70	533	265	Dit onderzoek
							29	29	89	758	361	Van der Veer (2006)
Mo (mg/kg)	76	20	<5	40	(11)	Dit onderzoek	20	0	<5-<6	<5-<6	<5-<6	Dit onderzoek
							29	29	0,06	0,85	0,15	Van der Veer (2006)
Ag (mg/kg)	76	32	<4	44	(19)	Dit onderzoek	20	0	<4-<5	<4-<5	<4-<5	Dit onderzoek
							8	8	0,3	0,6	-	Walraven et al. (2001-b)
Cd (mg/kg)	76	2	<5	26	(25)	Dit onderzoek	20	0	<5-<6	<5-<6	<5-<6	Dit onderzoek
							29	29	0,02	0,40	0,06	Van der Veer (2006)
Sn (mg/kg)	76	18	<15	232	(102)	Dit onderzoek	20	0	<16-<19	<16-<19	<16-<19	Dit onderzoek
							29	29	0,20	1,71	0,53	Van der Veer (2006)
Sb (mg/kg)	76	21	<18	213	(77)	Dit onderzoek	20	0	<17-<21	<17-<21	<17-<21	Dit onderzoek
							29	29	0,20	0,98	0,33	Van der Veer (2006)
Te (mg/kg)	76	1	<26	190	(190)	Dit onderzoek	20	0	<29-<35	<29-<35	<29-<35	Dit onderzoek
							-	-	-	-	0,006	Reimann and Caritat (1998)
Ba (mg/kg)	**76**	**72**	**<52**	**4406**	**(1031)**	**Dit onderzoek**	**20**	**12**	**<55**	**448**	**(213)**	**Dit onderzoek**
							29	**29**	**106**	**398**	**198**	**Van der Veer (2006)**
Pb (mg/kg)	**76**	**76**	**14**	**14020**	**3177**	**Dit onderzoek**	**20**	**17**	**<5**	**15**	**(9)**	**Dit onderzoek**
							29	**29**	**3,28**	**50**	**8,22**	**Van der Veer (2006)**
Co (mg/kg)	76	0	<45-<661	<45-<661	<45-<661	Dit onderzoek	20	0	<31-<93	<31-<93	<31-<93	Dit onderzoek
Pd (mg/kg)	76	0	<4-<10	<4-<10	<4-<10	Dit onderzoek	20	0	<5-<6	<5-<6	<5-<6	Dit onderzoek
Hg (mg/kg)	76	16	<4	25	(14)	Dit onderzoek	20	0	<3-<4	<3-<4	<3-<4	Dit onderzoek

Cag=aantoonbaarheidsgrens

Het gemiddelde van een elementgehalte is tussen haakjes weergegeven als een aantal waarnemingen van dat element kleiner is dan de aantoonbaarheidsgrens. Het werkelijke gemiddelde ligt lager dan het (tussen haakjes) geraporteerde gemiddelde.

F Samenstelling bodems verontreinigd met zinkassen in de Belgische Kempen versus samenstelling onverstoorde ondergrond.

Met zinkassen verontreinigde bodems (Zn: >300 mg/kg)						
Parameter	**n**	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**
K (mg/kg)	118	117	<367	23955	(4604)	Dit onderzoek
Ca (mg/kg)	**118**	**113**	**<205**	**42820**	**(5119)**	**Dit onderzoek**
Ti (mg/kg)	118	118	478	10131	1479	Dit onderzoek
V (mg/kg)	118	113	<12	591	(40)	Dit onderzoek
Cr (mg/kg)	118	40	<32	241	(93)	Dit onderzoek
Mn (mg/kg)	**118**	**113**	**<40**	**11030**	**(694)**	**Dit onderzoek**
Fe (mg/kg)	**118**	**118**	**1762**	**266268**	**21260**	**Dit onderzoek**
Cu (mg/kg)	**118**	**117**	**<16**	**9702**	**(958)**	**Dit onderzoek**
Zn (mg/kg)	**118**	**118**	**334**	**86879**	**7492**	**Dit onderzoek**
As (mg/kg)	**118**	**93**	**<9**	**1172**	**(123)**	**Dit onderzoek**
Se (mg/kg)	118	17	<2	61	(17)	Dit onderzoek
Rb (mg/kg)	118	118	10	165	31	Dit onderzoek

Onverstoorde bodems (Zn<59 mg/kg; dit onderzoek)					
N	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**
6	6	2798	4938	4112	Dit onderzoek
6	**1**	**<244**	**751**	**(751)**	**Dit onderzoek**
6	6	996	1813	1354	Dit onderzoek
6	5	<12	15	(12)	Dit onderzoek
6	1	<43	93	(93)	Dit onderzoek
6	**2**	**<39**	**58**	**(53)**	**Dit onderzoek**
6	**6**	**1529**	**2935**	**2119**	**Dit onderzoek**
6	**0**	**<15-<16**	**<15-<16**	**<15-<16**	**Dit onderzoek**
6	**6**	**18**	**44**	**26**	**Dit onderzoek**
6	**0**	**<5-<6**	**<5-<6**	**<5-<6**	**Dit onderzoek**
6	0	<2	<2	<2	Dit onderzoek
6	6	12	23	19	Dit onderzoek

Met zinkassen verontreinigde bodems (Zn: >300 mg/kg)							Onverstoorde bodems (Zn<59 mg/kg; dit onderzoek)					
Parameter	**n**	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**	**N**	**n>Cag**	**Min.**	**Max.**	**Gemiddeld**	**Bron**
Sr (mg/kg)	**118**	**118**	**15**	**525**	**54**	**Dit onderzoek**	**6**	**6**	**13**	**23**	**19**	**Dit onderzoek**
Zr (mg/kg)	118	118	43	370	225	Dit onderzoek	6	6	280	426	337	Dit onderzoek
Mo (mg/kg)	118	28	<5	258	(23)	Dit onderzoek	6	0	<5	<5	<5	Dit onderzoek
Ag (mg/kg)	118	16	<4	958	(86)	Dit onderzoek	6	0	<4	<4	<4	Dit onderzoek
Cd (mg/kg)	118	37	<5	868	(62)	Dit onderzoek	6	0	<5-<6	<5-<6	<5-<6	Dit onderzoek
Sn (mg/kg)	118	19	<17	1142	(194)	Dit onderzoek	6	0	<16-<18	<16-<18	<16-<18	Dit onderzoek
Sb (mg/kg)	118	7	<18	540	(156)	Dit onderzoek	6	0	<18-<19	<18-<19	<18-<19	Dit onderzoek
Te (mg/kg)	118	3	<30	619	(349)	Dit onderzoek	6	0	<30-<32	<30-<32	<30-<32	Dit onderzoek
Ba (mg/kg)	**118**	**86**	**<58**	**5952**	**(530)**	**Dit onderzoek**	**6**	**0**	**<56-<62**	**<56-<62**	**<56-<62**	**Dit onderzoek**
Pb (mg/kg)	**118**	**118**	**46**	**7639**	**930**	**Dit onderzoek**	**6**	**6**	**22**	**33**	**28**	**Dit onderzoek**
Co (mg/kg)	118	1	<40	200	(200)	Dit onderzoek	6	0	<37-<49	<37-<49	<37-<49	Dit onderzoek
Pd (mg/kg)	118	2	<5	1767	(988)	Dit onderzoek	6	0	<5	<5	<5	Dit onderzoek
Hg (mg/kg)	118	34	<4	155	(20)	Dit onderzoek	6	0	<3-<4	<3-<4	<3-<4	Dit onderzoek

Cag=aantoonbaarheidsgrens

Het gemiddelde van een elementgehalte is tussen haakjes weergegeven als een aantal waarnemingen van dat element kleiner is dan de aantoonbaarheidsgrens. Het werkelijke gemiddelde ligt lager dan het (tussen haakjes) geraporteerde gemiddelde.

G Correlatiematrix van de Sr, Pb, As, Zn, Cu, Fe, Mn, V, Ca en Ba gehaltes in Nederlandse en Belgische met zinkassen verontreinigde bodems

r	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Fe	Mn	V	Ca	Ba
Sr	1,00									
Pb	0,63	1,00								
As	0,58	**0,81**	1,00							
Zn	0,58	**0,81**	**0,76**	1,00						
Cu	0,56	**0,75**	**0,73**	**0,97**	1,00					
Fe	0,65	**0,79**	**0,82**	**0,96**	**0,95**	1,00				
Mn	0,72	**0,93**	**0,82**	**0,87**	**0,85**	**0,88**	1,00			
V	0,45	0,57	0,47	0,68	0,55	0,65	0,59	1,00		
Ca	-0,08	-0,01	-0,13	0,08	0,09	0,07	0,08	0,00	1,00	
Ba	0,54	0,59	0,41	0,69	0,59	0,65	0,63	**0,93**	-0,04	1,00

Op basis van alle Nederlandse bodemmonsters met een Zn-gehalte tussen 303 en 30000 mg/kg.

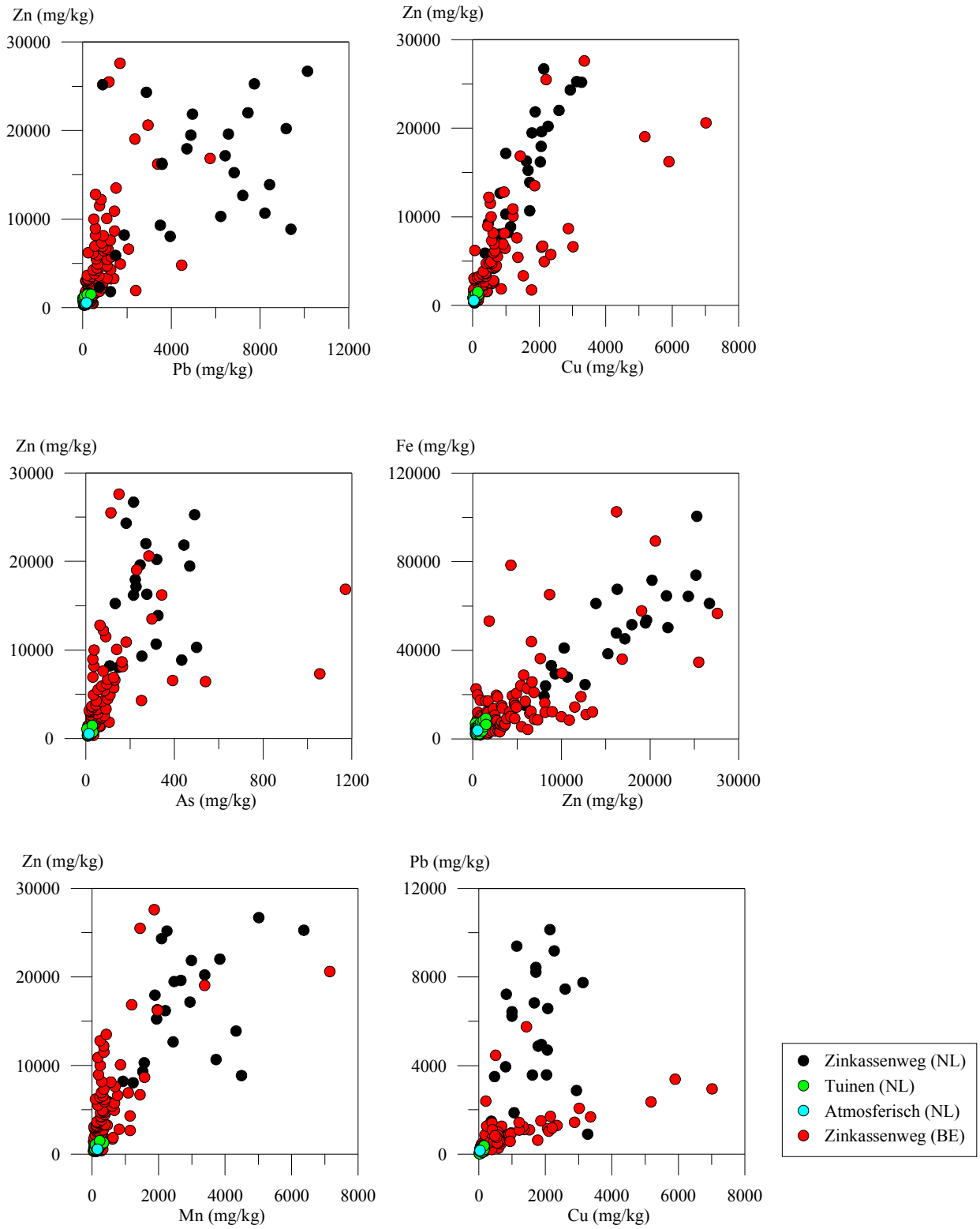
r	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Fe	Mn	V	Ca	Ba
Sr	1,00									
Pb	0,12	1,00								
As	0,09	0,70	1,00							
Zn	-0,02	0,61	0,44	1,00						
Cu	0,01	0,63	0,35	**0,74**	1,00					
Fe	0,45	0,62	0,33	0,63	**0,83**	1,00				
Mn	0,09	0,53	0,27	0,64	**0,85**	**0,77**	1,00			
V	**0,90**	0,23	0,18	0,15	0,12	0,52	0,17	1,00		
Ca	0,39	-0,03	0,03	-0,15	-0,13	0,05	-0,06	0,24	1,00	
Ba	0,61	0,28	0,19	0,18	0,19	0,45	0,29	0,58	0,16	1,00

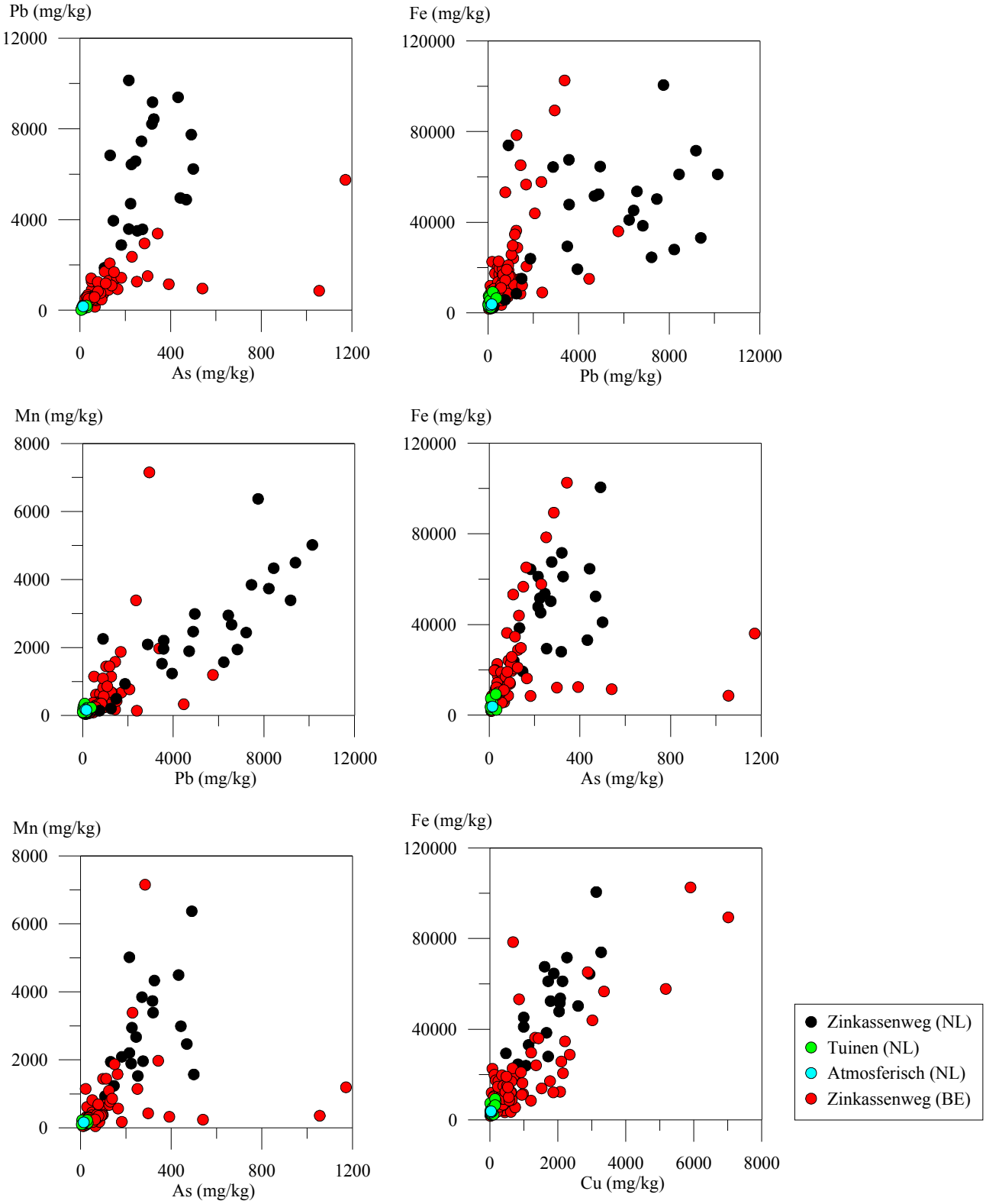
Op basis van alle Belgische bodemmonsters met een Zn-gehalte tussen 303 en 30000 mg/kg.

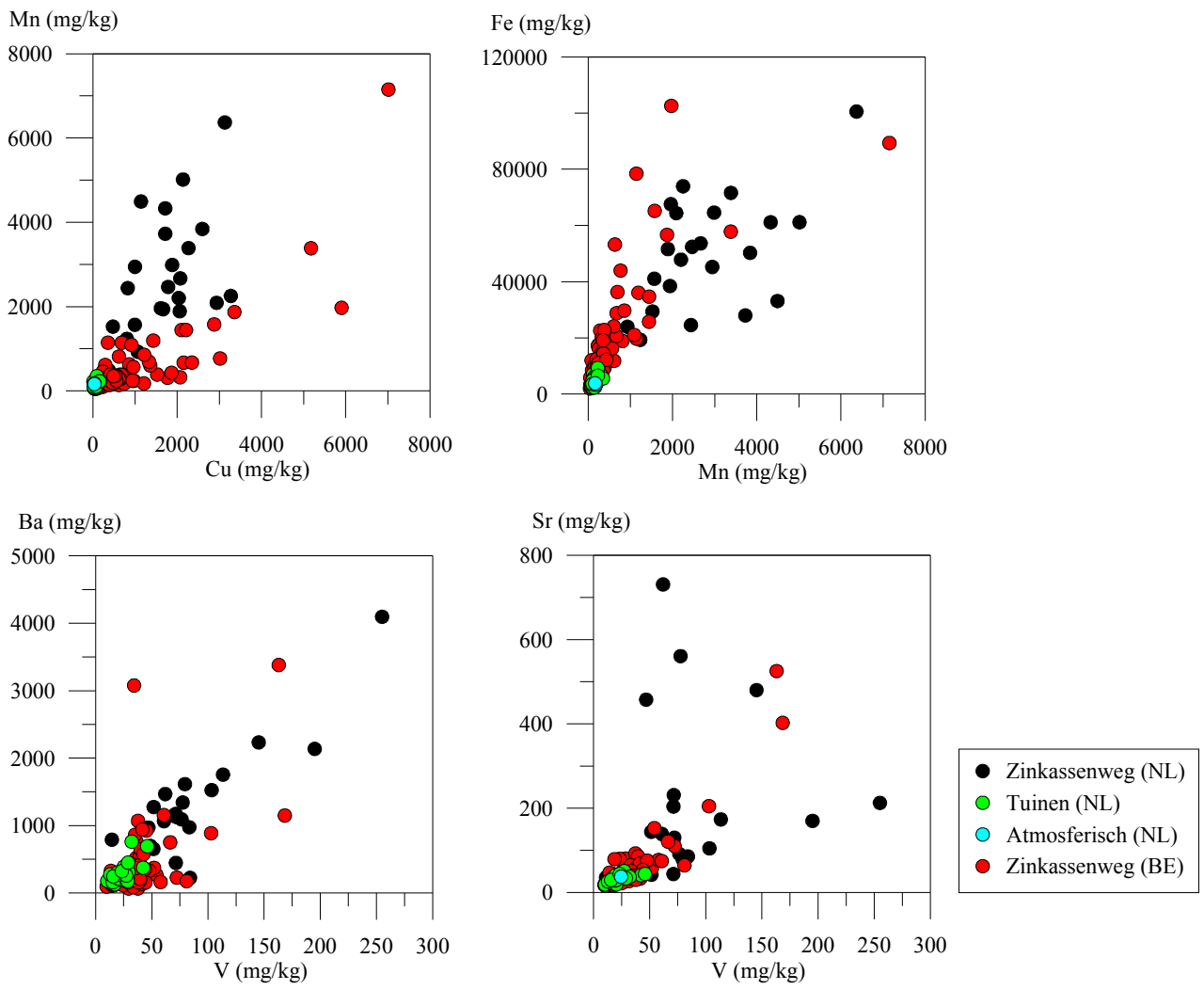
r	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Fe	Mn	V	Ca	Ba
Sr	1,00									
Pb	0,55	1,00								
As	0,32	0,59	1,00							
Zn	0,39	**0,72**	0,56	1,00						
Cu	0,25	0,52	0,44	**0,78**	1,00					
Fe	0,57	0,69	0,51	**0,82**	**0,84**	1,00				
Mn	0,55	**0,83**	0,49	**0,79**	**0,75**	**0,83**	1,00			
V	0,61	0,51	0,32	0,50	0,29	0,61	0,47	1,00		
Ca	0,14	-0,07	-0,02	-0,11	-0,10	0,02	-0,07	0,10	1,00	
Ba	0,57	0,51	0,31	0,51	0,35	0,57	0,52	**0,79**	0,05	1,00

Op basis van alle Belgische en Nederlandse bodemmonsters met een Zn-gehalte tussen 303 en 30000 mg/kg.

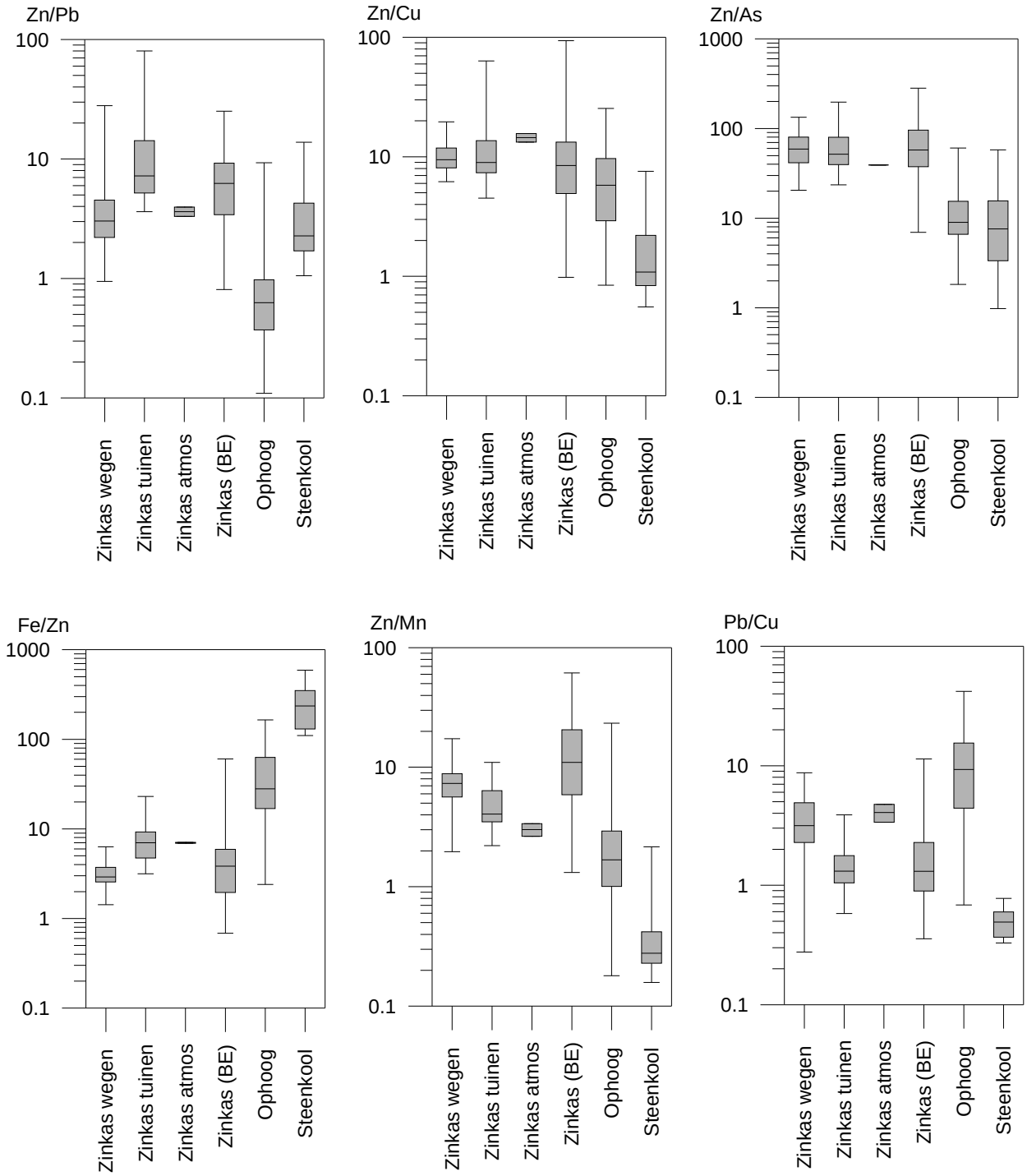
H Correlaties tussen elementgehaltes onderling

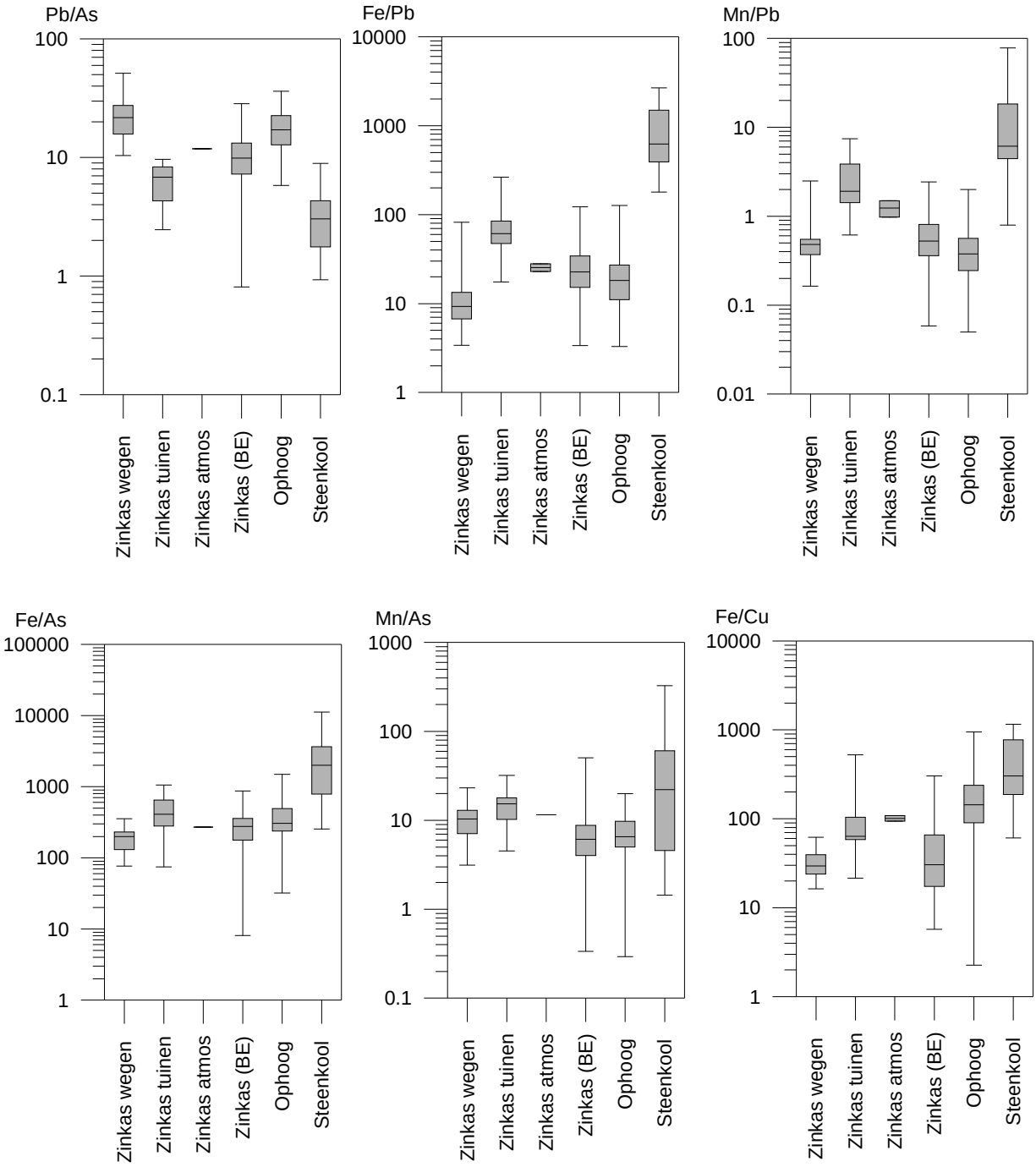


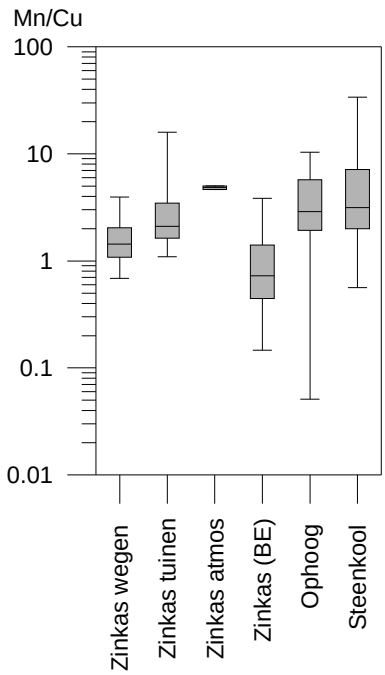

Pb (mg/kg)
12000
8000
4000
0
0
400
800
1200
As (mg/kg)
Fe (mg/kg)
120000
80000
40000
0
0
4000
8000
12000
Pb (mg/kg)
Mn (mg/kg)
8000
6000
4000
2000
0
0
4000
8000
12000
Pb (mg/kg)
Fe (mg/kg)
120000
80000
40000
0
0
400
800
1200
As (mg/kg)
Mn (mg/kg)
8000
6000
4000
2000
0
0
400
800
1200
As (mg/kg)
Fe (mg/kg)
120000
80000
40000
0
0
2000
4000
6000
8000
Cu (mg/kg)
Zinkassenweg (NL)
Tuinen (NL)
Atmosferisch (NL)
Zinkassenweg (BE)

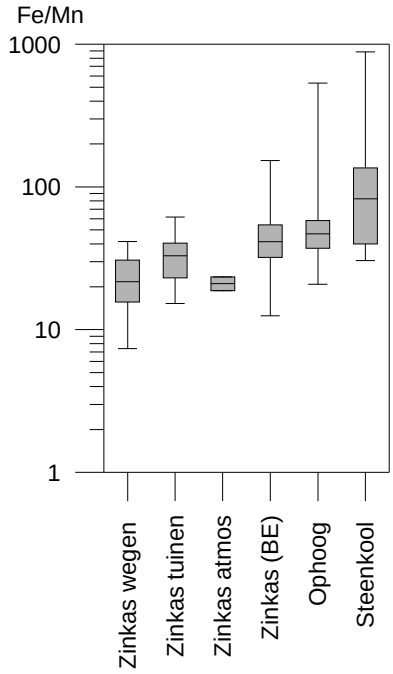

Mn (mg/kg)
8000
6000
4000
2000
0
0
2000
4000
6000
8000
Cu (mg/kg)
Fe (mg/kg)
120000
80000
40000
0
0
2000
4000
6000
8000
Mn (mg/kg)
Ba (mg/kg)
5000
4000
3000
2000
1000
0
0
50
100
150
200
250
300
V (mg/kg)
Sr (mg/kg)
800
600
400
200
0
0
50
100
150
200
250
300
V (mg/kg)
Zinkassenweg (NL)
Tuinen (NL)
Atmosferisch (NL)
Zinkassenweg (BE)

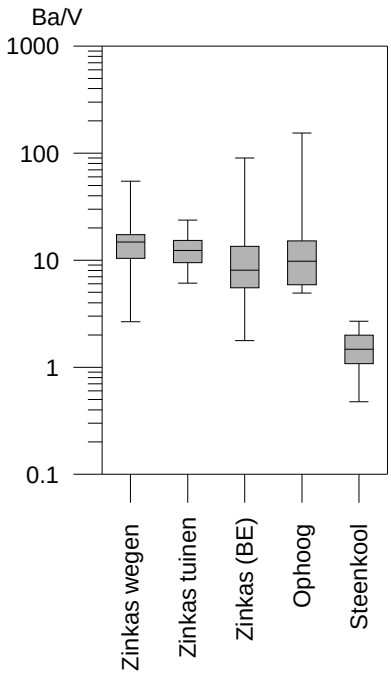
I Box-whisker plots van de karakteristieke elementratio's van Nederlandse en Belgische bodemmonsters verontreinigd met zinkassen, aangevuld met stedelijke ophooglagen en steenkoolmonsters.

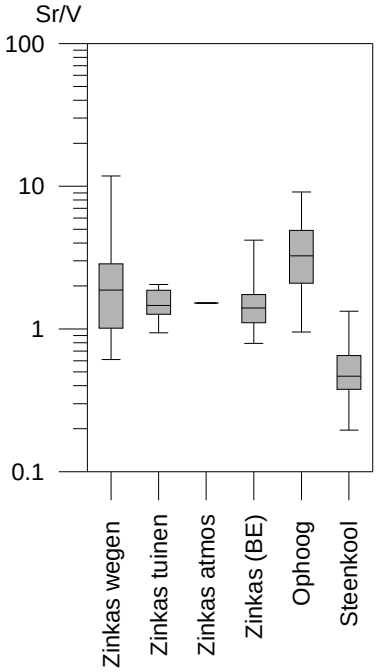



Pb/As
100
10
1
0.1
Fe/Pb
10000
1000
100
10
1
Mn/Pb
100
10
1
0.1
0.01
Fe/As
100000
10000
1000
100
10
1
Mn/As
1000
100
10
1
0.1
Fe/Cu
10000
1000
100
10
1
Zinkas wegen
Zinkas tuinen
Zinkas atmos
Zinkas (BE)
Ophoog
Steenkool


Mn/Cu
100
10
1
0.1
0.01
Zinkas wegen
Zinkas tuinen
Zinkas atmos
Zinkas (BE)
Ophoog
Steenkool


Fe/Mn
1000
100
10
1
Zinkas wegen
Zinkas tuinen
Zinkas atmos
Zinkas (BE)
Ophoog
Steenkool


Ba/V
1000
100
10
1
0.1
Zinkas wegen
Zinkas tuinen
Zinkas (BE)
Ophoog
Steenkool


Sr/V
100
10
1
0.1
Zinkas wegen
Zinkas tuinen
Zinkas atmos
Zinkas (BE)
Ophoog
Steenkool

J Percentielwaarden van de karakteristieke elementratio's van de verschillende zinkbronnen

Zn/Pb	Zinkas (NL)	Zinkas (BE)	Ophoog (NL)	Steenkool
10	2,0	2,6	0,2	1,3
20	2,7	3,1	0,3	1,7
30	3,6	4,1	0,4	1,7
40	4,0	5,0	0,5	1,8
50	4,6	6,3	0,6	2,3
60	5,7	7,6	0,7	2,7
70	7,2	9,0	0,9	3,1
80	8,6	12,6	1,0	5,7
90	19,3	15,6	1,2	12,1

Zn/As	Zinkas (NL)	Zinkas (BE)	Ophoog (NL)	Steenkool
10	29,8	21,0	3,7	2,6
20	38,2	35,0	6,5	3,3
30	42,0	39,7	7,2	5,2
40	49,6	46,5	8,0	6,3
50	53,7	57,6	9,0	7,5
60	62,7	67,2	12,7	8,1
70	75,6	84,2	14,5	10,8
80	80,1	107,2	16,8	20,9
90	121,1	157,2	28,7	49,7

Fe/Zn	Zinkas (NL)	Zinkas (BE)	Ophoog (NL)	Steenkool
10	2,5	1,3	8,7	118,3
20	2,7	1,8	15,9	128,0
30	3,0	2,1	18,4	199,5
40	3,7	3,0	22,2	230,5
50	4,3	3,8	28,1	235,4
60	4,9	4,5	37,5	238,7
70	6,3	5,0	46,6	263,4
80	7,5	6,9	69,2	350,5
90	9,2	11,2	87,8	389,2

Zn/Mn	Zinkas (NL)	Zinkas (BE)	Ophoog (NL)	Steenkool
10	2,7	4,3	0,4	0,2
20	3,5	5,5	0,8	0,2
30	4,0	7,3	1,2	0,2
40	4,6	8,5	1,4	0,3
50	5,4	11,0	1,7	0,3
60	6,4	14,3	2,3	0,3
70	7,3	17,7	2,7	0,4
80	8,3	24,5	3,0	0,6
90	11,0	31,8	4,6	1,6

Pb/Cu	Zinkas (NL)	Zinkas (BE)	Ophoog (NL)	Steenkool
10	1,0	0,6	3,2	0,3
20	1,2	0,8	4,3	0,4
30	1,4	0,9	5,7	0,4
40	1,8	1,1	8,1	0,5
50	2,2	1,3	9,3	0,5
60	2,4	1,5	11,3	0,5
70	3,2	2,0	13,7	0,6
80	4,1	2,6	17,0	0,6
90	4,9	4,0	21,6	0,7

Fe/Pb	Zinkas (NL)	Zinkas (BE)	Ophoog (NL)	Steenkool
10	6,6	10,0	6,8	281,1
20	7,8	12,7	9,9	388,0
30	11,0	17,1	13,1	414,2
40	16,7	20,1	15,0	506,1
50	22,9	22,7	18,2	622,7
60	36,9	28,1	21,9	663,6
70	56,0	31,8	25,3	723,5
80	67,4	37,3	30,9	1495,6
90	84,7	49,2	39,2	2124,4