

Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2005

Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2005

Vervolgonderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in schorseneer, wortels en granen

**R.P.J.J. Rietra
P.F.A.M. Römken
J. Japenga**

Alterra-rapport 1298

Alterra, Wageningen, 2006

REFERAAT

R.P.J.J. Rietra, P.F.A.M. Römken, J. Japenga, 2006. *Cadmium en zink in bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2005; Vervolgonderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in schorseneer, wortels en granen*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1298. 39 blz.; 11 fig.; 6 tab.; 9 ref.

In opdracht van Projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen is een vervolgonderzoek gedaan naar de relatie tussen cadmium en zink in de bodem en in gewassen. In 2003 en 2004 zijn bij dertien bedrijven in de gemeente Cranendonck bodem en gewasmonsters onderzocht bij aardappel, granen, gras, mais en suikerbiet. Het aantal locaties met graan bleek te gering om een goede relatie af te leiden tussen cadmium in de bodem en het gewas zodat in 2005 ook in de provincie Limburg locaties gezocht zijn met granen. Tevens zijn in 2005 locaties met schorseneren en wortels gezocht omdat deze gewassen mogelijk gevoeliger zijn dan de eerdere onderzochte gewassen. Bepaald zijn de cadmium-, lood en zinkgehalten van de grond en gewasproducten. In combinatie met het werk van 2003 en 2004 wordt voor percelen met maïs, gras, aardappelen en tarwe advies gegeven om te komen tot een situatie zonder overschrijdingen van de gewasnormen.

Trefwoorden: cadmium, lood, zink, de Kempen, Cranendonck, Nederweert, Weert, bodem, gewas, maïs, gras, aardappel, biet, schorseneer, winterwortel, wortel.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 25,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1298. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2006 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Samenvatting van dit onderzoek	7
Synthese onderzoek bodem-landbouwgewassen Cranendonck	9
1 Inleiding	11
2 Materiaal en Methoden	13
2.1 Bemonsteringslocaties	13
2.2 Bemonstering	13
2.2.1 Bodembemonstering	13
2.2.2 Gewasbemonstering	14
2.3 Verloop van bemonsteringen	14
2.4 Analyses	15
3 Resultaten	17
3.1 Gewaskwaliteit	17
3.1.1 Kwaliteit granen	17
3.1.2 Kwaliteit schorseneren	18
3.1.3 Kwaliteit wortelen	19
3.2 Bodem-gewas relaties	20
3.2.1 Granen	20
3.2.2 Schorseneren	23
3.2.3 Wortelen	24
3.2.4 Omgaan met de bodem-gewasrelaties	25
4 Conclusies	27
Literatuur	29
 <i>Bijlagen</i>	
1 Cadmium- en zinkgehalten in bodem en gewas (2005)	31
2 Normen voor cadmium- en zinkgehalten in gewassen	33
3 Opzoektabellen	35
4 Overzicht verrichtingen/analysemethoden	39

Samenvatting van dit onderzoek

In opdracht van Projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen is in het teeltseizoen 2005 een vervolgonderzoek gedaan naar de relatie tussen cadmium en zinkgehalten in de bodem en in landbouwgewassen. Verspreid rondom gemeente Cranendonck, Weert en Bergeijk zijn 34 locaties onderzocht waarbij in duplo bodem- en gewasmonsters (resp. 23, 5, 5, 1 locaties met granen, waspeen, schorseneer en winterwortel) zijn genomen.

Van elk grondmonster is het voor gewassen potentieel beschikbare cadmium, lood en zink bepaald via een extractie met HNO_3 . Bepaald is tevens het organische stofgehalte en de pH van elk grondmonster. Ten slotte is van elk grondmonster de actuele beschikbaarheid van cadmium, lood, en zink bepaald met een extractie van de grond met 0,01M CaCl_2 .

Bij drie van de vijf locaties wordt de norm voor cadmium in schorseneer overschreden. Op de locatie met winterwortel wordt ook de norm voor cadmium overschreden. Bij geen van de 23 locaties met graan is de norm voor cadmium in veevoeder overschreden. Bij geen van de 5 locaties met waspeen is de norm voor cadmium in overschreden.

De overschrijdingen van de norm voor cadmium in schorseneer en winterwortel heeft plaatsgevonden op locaties in de gemeente Bergeijk en Weert.

Bodem-gewasrelaties zijn opgesteld voor tarwe, zomergerst en waspeen. Op basis hiervan zijn opzoektabellen gemaakt waarin te zien is bij welke pH en cadmiumgehalten in de bodem de normen in de verschillende gewassen overschreden kan worden.

Synthese onderzoek bodem-landbouwgewassen Cranendonck

Oorzaak

De twee belangrijkste redenen waardoor de cadmiumopname in gewassen hoog is in de Kempen zijn het verhoogde cadmiumgehalte in de bodem en de relatief lage pH (hoge zuurgraad). De verhoogde cadmiumgehalten zijn een gegeven waar op dit moment technisch weinig aan te doen is; het is geen optie om grootschalig te gaan saneren. Aanpassing van de zuurgraad en eventueel de gewaskeuze maakt het mogelijk om te komen tot lagere cadmiumgehalten in de gewassen.

Voorkomen

Er moet naar worden gestreefd om zo weinig mogelijk cadmium in de voedselketen terecht te laten komen. Door de cadmiumgehalten per perceel kennen en door de zuurgraad goed te controleren en waar nodig aan te passen, kunnen de cadmiumgehalten in de gewassen laag gehouden worden.

Risico's

Afhankelijk van de gewassen zijn grenzen aan te geven beneden welke weinig risico bestaat voor overschrijdingen van de cadmiumnormen in gewassen.

Maïs	-Weinig risico bij cadmiumgehalten beneden 2 mg/kg
Gras, tarwe en	-Weinig risico bij cadmiumgehalten beneden 1 mg/kg
aardappel	-Weinig risico bij cadmiumgehalten beneden 2 mg/kg en een pH van 5.5 en hoger
Zomergerst *	-Weinig risico bij cadmiumgehalten beneden 2 mg/kg

* als veevoeder

Op basis van het onderzoek wordt een benedengrens voor de pH van 5.5 voorgesteld bij tarwe, en bij gras en aardappel indien de cadmiumgehalten hoger zijn dan 1 mg/kg. Deze pH is gelijk aan of iets hoger dan de advies-pH op basis van gewasopbrengst voor gras (pH 5), tarwe en aardappelen (pH 5,1-5,7).

Advies

Op basis van het cadmiumgehalte in de bodem, en de zuurgraad (pH), kan de cadmiumopname in gewassen geschat worden. In Bijlage 3 zijn de gewasspecifieke opzoektabellen gegeven waarin te zien welke pH nodig is om geen overschrijdingen van de gewasnormen te krijgen.

Maatregelen

De zuurgraad is in de onderzochte percelen de sturende factor die bepaalt of de opname van cadmium leidt tot onaanvaardbare gehalten in het gewas. Het bekalken van de percelen van de deelnemende landbouwers is daarom de beste manier om deze risico's te beperken. Uit het onderzoek blijkt dat de cadmiumopname verschilt per gewas. De gewaskeuze is dus een tweede mogelijke manier om risico's te

beperken¹ (zie het verschil tussen zomergerst en tarwe). Bij locaties met hoge cadmiumgehalten ($\text{Cd} > 2 \text{ mg/kg}$ grond), en bij locaties waar normoverschrijdingen zijn aangetroffen, is het nuttig om gewasanalyses te doen voor en na de bekalking om te toetsen of de maatregelen effectief zijn.

Het behoud of verhogen van het organische stof gehalte in de bodem is van belang om de beperkte opname van zware metalen door gewassen te continueren.

Onderzoek

Het ontbreekt nog aan voldoende gegevens over gevoelige gewassen als sla, schorseneer, prei, spinazie. Op dit moment is het mogelijk om aanvullende analyses te doen in bodemmonsters die in regulier landbouwkundig onderzoek worden genomen en is een nauwkeurige karakterisering op perceelsniveau mogelijk (gehalten aan cadmium en organische stof, zuurgraad). De geringe extra kosten bestaan dan alleen uit het laten uitvoeren van aanvullende metingen (nl. het Cd gehalte in het bodemmonster). Projectbureau ABdK doet op dit moment onderzoek aan schorseneer, prei, gras en tarwe op een locatie nabij de zinkfabriek.

¹ Gebruik maken van rassen met een lage cadmiumopname is een mogelijkheid (Kurz et al, 1999; McLaughlin et al. 1999) maar er is geen informatie over de verschillen in cadmiumopname tussen de rassen die op dit moment geteeld worden in Nederland.

1 **Inleiding**

In Alterra-rapport 974 (Rietra et al., 2004) is de problematiek, de doelstelling van het onderzoek, en zijn de onderzoeksmethoden beschreven. Daar waar nodig zijn ze hier opnieuw beschreven of aangevuld. In Alterra-rapport 974 is het onderzoek dat in 2003 is uitgevoerd bij aardappel, maïs, suikerbiet en gras beschreven. In Alterra-rapport 1167 is vervolgonderzoek beschreven dat is gedaan aan graan en aardappel. Het aantal locaties met granen bleek te gering om goede bodem-gewasrelaties af te leiden waardoor in 2005 nieuwe locaties gezocht zijn met granen. Tevens zijn in 2005 locaties gezocht met wortelen en schorseneren.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Bemonsteringslocaties

Bij in totaal 13 bedrijven zijn in 2005 bodem- en gewasmonsters genomen. Tevens zijn bij 3 bedrijven 4 locaties bezocht om alleen grondmonsters te nemen. Dit om de hoge cadmiumgehalten uit voorgaand onderzoek (Alterra-rapport 974) te verifiëren. De bedrijven waarbij bemonsterd is zijn gevonden op basis van suggesties van de plaatselijke landbouwbonden.

Tabel 2.1 Aantal in 2005 bemonsterde locaties per gewas en per gemeente.

	Gemeente Bergeijk	Gemeente Cranendonck	Gemeente Nederweert	Gemeente Weert	
granen	4	6	1	12	23*
schorseneer	2		1	2	5
waspeen	2			3	5
Winterwortel				1	1
	8	6	2	18	34

** waarvan 1 rogge, 1 triticale, 5 tarwe, 16 zomergerst*

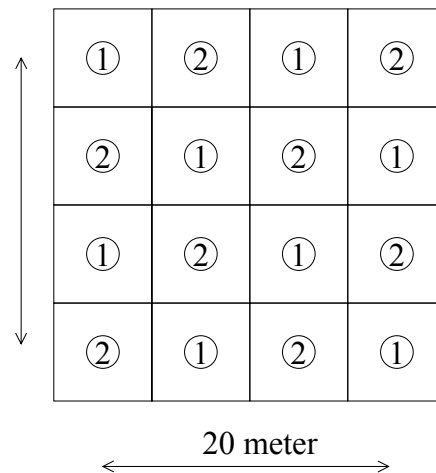
In totaal zijn in 2005 23 locaties bemonsterd met granen. In 2004 zijn in de gemeente Cranendonck 5 locaties bemonsterd met granen (4 tarwe, 1 zomergerst). Tevens zijn in 2004 twee locaties met zomergerst bemonsterd buiten het gebied als referentie (Vredepeel). In 2005 zijn verder 5 locaties met waspeen, 1 met winterwortel en 5 locaties met schorseneren bemonsterd.

2.2 Bemonstering

2.2.1 Bodembemonstering

De bouwvoor is bemonsterd (0 - 30 cm). In het geval dat er gewas is bemonsterd (schorseneer, wortel, of graan) zijn twee grond- en gewasmonsters per locatie bemonsterd (een duplo bemonstering). De grond is een mengmonster gemaakt bestaande uit 8 steken (zie Figuur 2.1). Indien er geen gewasmonster genomen is, is maar 1 grondmonster per perceel genomen (een mengmonster van 16 steken).

2.2.2 Gewasbemonstering



Figuur 2.1 Raster dat aangeeft op welke plaatsen is bemonsterd om te komen tot een duplo bemonstering van een locatie van 20 bij 20 meter: een mengmonster is dus samengesteld uit 8 grepen. De locaties zijn willekeurig per perceel gekozen. Uit de voor onderzoek beschikbare percelen zijn de meest uiteenlopende percelen te bemonsteren in de regio.

Schorseneren en wortels

Voor schorseneren en wortels is het onderzoek gericht op het cadmium- en loodgehalte in het product: de verdikte wortels van de schorseneer, en van de waspeen/winterwortel. Het aantal wortels per mengmonster is beperkt tot in totaal 2 kg (versgewicht). De schorseneren en wortels zijn intensief geschrapt en gewassen alvorens ze te verkleinen, drogen en malen.

Granen

Voor granen is het onderzoek gericht op het cadmium-, lood- en zinkgehalte in de graanaar. Bemonsterd zijn de graanaren door onder de aar af te snijden van de stengel. Stro is ook een product maar wordt niet geconsumeerd door dieren. De korrels zijn handmatig zo veel mogelijk gescheiden van de andere gewasresten (de naalden).

2.3 Verloop van bemonsteringen

De bemonsteringen (grond en gewas) zijn uitgevoerd op 7 t/m 9 juli (granen), 16 en 25 oktober (waspeen), 31 oktober en 2 november (schorseneren), en op 26 oktober (winterwortel). De bemonsteringen aan de granen zijn relatief vroeg in het jaar doordat de granen door droogte snel afrijpten.



Figuur 2.2 Voorbeelden van de bemonsterde gewassen.

2.4 Analyses

De gewasanalyses en de extracties van de bodem zijn uitgevoerd zoals beschreven in het vorige rapport (Alterra-rapport 974), zie ook Bijlage 4. De gebruikte extracties voor de grond zijn:

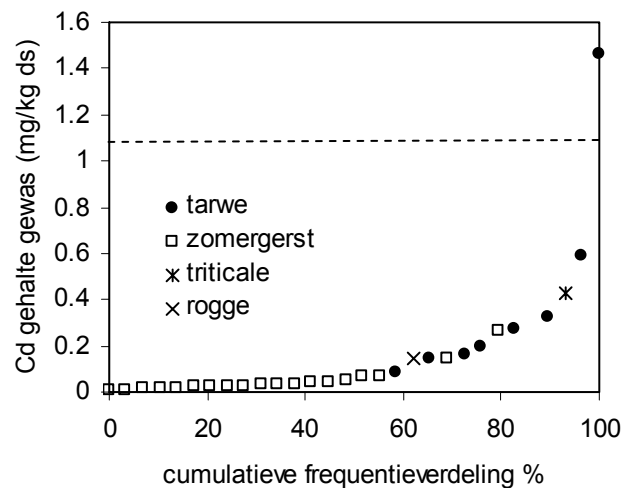
1. een extractie met 0,43 M HNO_3 ten behoeve van het zogenaamd reactief gehalte of potentieel beschikbare cadmium, lood en zink. Het geeft een maat voor het cadmium, lood en zink dat in de bodem zit en dat eventueel ooit in het bodemvocht of in de planten kan komen;
2. een extractie met 0,01 M CaCl_2 ten behoeve van de pH, en het zogenaamd actueel beschikbaar gehalte cadmium, lood en zink. Het geeft een maat voor het cadmium, lood en zink in het bodemvocht.

Beide extracties zijn uitgevoerd omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat de extractie met CaCl_2 vaak beter te relateren zijn aan de gehalten in gewassen dan die met HNO_3 . De resultaten met de HNO_3 extractie zijn echter eenvoudiger te gebruiken. In het vorige onderzoek (Alterra rapport 974) bleek de extractie met HNO_3 goed te voldoen om de gehalten in gewas en bodem te relateren. Indien de extractie met HNO_3 ook bij de granen, en groentegewassen voldoet ligt het voor de hand om deze resultaten te gebruiken in het advies.

3 Resultaten

3.1 Gewaskwaliteit

3.1.1 Kwaliteit granen



Figuur 3.1 Cumulatieve frequentieverdeling van cadmium in granen (betreft bemonsteringen in 2004 en 2005). De twee laagste gehalten zijn bepaald aan de monsters van twee referentielocaties te Vredepeel op 35 km afstand van Budel. De stippellijn geeft de voor diervoeders geldende norm ².

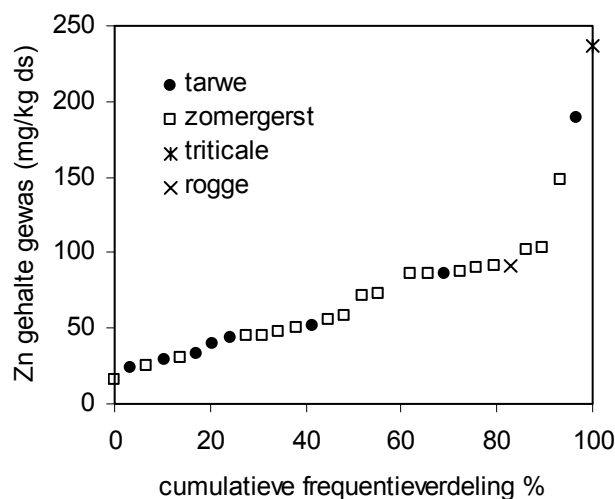
De norm voor cadmium in granen ten behoeve van veevoeder is op basis van een versgewicht van 12%. De norm voor granen als veevoeder bedraagt 1 mg kg^{-1} op basis van een versgewicht van 12% vocht, wat ongeveer overeenkomt met 1.1 mg kg^{-1} op droge stof basis (zie Bijlage 2). De norm voor levensmiddelen (brood) is voor tarwe 0.2 mg.kg^{-1} en voor de andere granen 0.1 mg.kg^{-1} op basis van versgewicht. In Bijlage 1 zijn de gemeten gehalten per locatie gegeven op basis van vers gewicht en op basis van droge stofgehalte.

In figuur 3.1 is te zien dat maar op één locatie (in de gemeente Cranendonck) de norm voor veevoer is overschreden. De gehalten zijn duidelijk hoger dan het landelijke gemiddelde en hoger dan de waarden die zijn aangetroffen in de referentie locatie. Grote verschillen zijn aangetroffen: lage cadmiumgehalten zijn voornamelijk aangetroffen in de zomergerst, en verhoogde gehalten in tarwe. Adam et al (2004) geven aan dat in Engeland de cadmiumgehalten in gerst ook beduidend lager zijn dan in tarwe, ook op locaties met vergelijkbare pH's en cadmiumgehalten. Landelijke data van cadmium in gerst en tarwe laten echter geen verschil zien in cadmiumgehalten (Wiersma et al., 1986). Vanwege de mogelijke verschillen wordt bij het afleiden van

² Steeds betreft het het gemiddelde van een duplo. Vanwege de leesbaarheid zijn de standaarddeviaties hier niet zichtbaar: op 1 monster (stddev: 13%) na is de standaarddeviatie steeds lager dan 6%.

de bodem-gewasrelaties rekening gehouden met het onderscheid tussen de bemonsterde zomergerst, tarwe, wintertarwe, rogge, en triticale.

Voor diervoeders is zink ook relevant. Het maximumgehalte na toevoeging van zink in diervoeders is $150 \text{ mg Zn.kg}^{-1}$ op basis van een versgewicht van 12%. De gehalten in de granen varieert van 7 tot 240 mg.kg^{-1} droge stof.

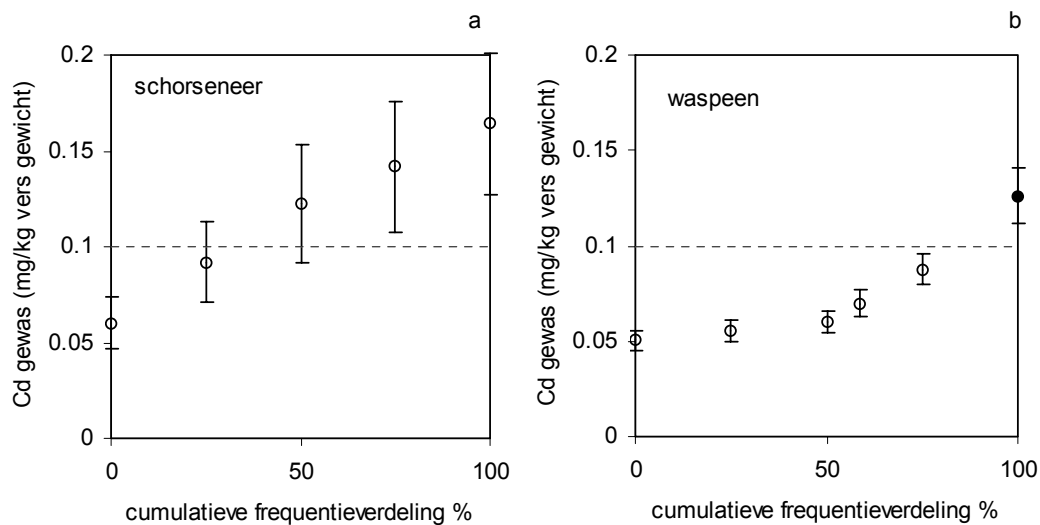


Figuur 3.2 Cumulatieve frequentieverdeling van zink in granen (betreft de bemonsteringen in 2004 en 2005). De laagste gehalten in zomergerst zijn aangetroffen op de referentielocatie te Vredepeel, op 35 km afstand van Budel.

3.1.2 Kwaliteit schorseneren

In Figuur 3.3 zijn de in wortelen en schorseneren aangetroffen cadmiumgehalten te zien. De cadmiumgehalten worden gegeven ten opzichte van de hoeveelheid vers materiaal omdat de norm voor consumptiegewassen ook zo gegeven is. Analyses hebben betrekking op de droge stofgehalten. Om de gehalten ten opzichte van versgewicht te berekenen zijn de drogestofgehalten per gewasmonster gebruikt (zie Bijlage 1).

De schorseneren zijn bemonsterd in de gemeente Weert, Nederweert en Bergeijk. In de proeftuin aan de Kempenseweg is al eerder gebleken dat de cadmiumgehalten in schorseneren hoog ($0.2\text{-}0.8 \text{ mg Cd/kg}$ vers gewicht) kunnen zijn (Alterra-rapport 1297). In het onderzoek in de moestuinen is maar op 1 locatie schorseneer bemonsterd (Alterra rapport 1129). Dit monster (gemeente Valkenswaard) had een cadmiumgehalte van 0.67 mg Cd/kg op basis van vers gewicht (t.o.v. de norm van 0.1 mg Cd/kg).



Figuur 3.3 Cumulatieve frequentieverdeling van cadmium in schorseneer en wortelen. Gegeven wordt het gemiddelde gehalte +/- stdev. Aangegeven in fig. a. zijn de resultaten voor 5 locaties met schorseneren, en in fig. b 5 locaties met waspeen (○) en 1 locatie met winterwortel (●).

Bij consumptiegewassen is lood ook relevant. De loodgehalten in de bemonsterde schorseneren varieert van 0.03 tot en met 0.09 mg.kg^{-1} vers gewicht (de norm is 0.1 mg.kg^{-1}). Overschrijdingen van de normen zijn mogelijk gebleken in de proeftuin (0.2-0.6 mg Pb.kg^{-1} vers gewicht) en bij het ene monster uit het moestuinonderzoek (0.27 mg.kg^{-1} vers gewicht).

3.1.3 Kwaliteit wortelen

In Figuur 3.3 is te zien dat de cadmiumgehalten in de bemonsterde waspenen beneden de norm voor cadmium in consumptiegewassen liggen. Op één locatie in de gemeente Weert is winterwortel bemonsterd. In dit monster is het cadmiumgehalte net boven de norm. Zoals bij schorseneren is ook bij wortelen lood relevant. De loodgehalten in de wortels varieert van 0.03 tot en met 0.09 mg.kg^{-1} vers gewicht (waarbij het hoogste gehalte aangetroffen is bij de winterwortel).

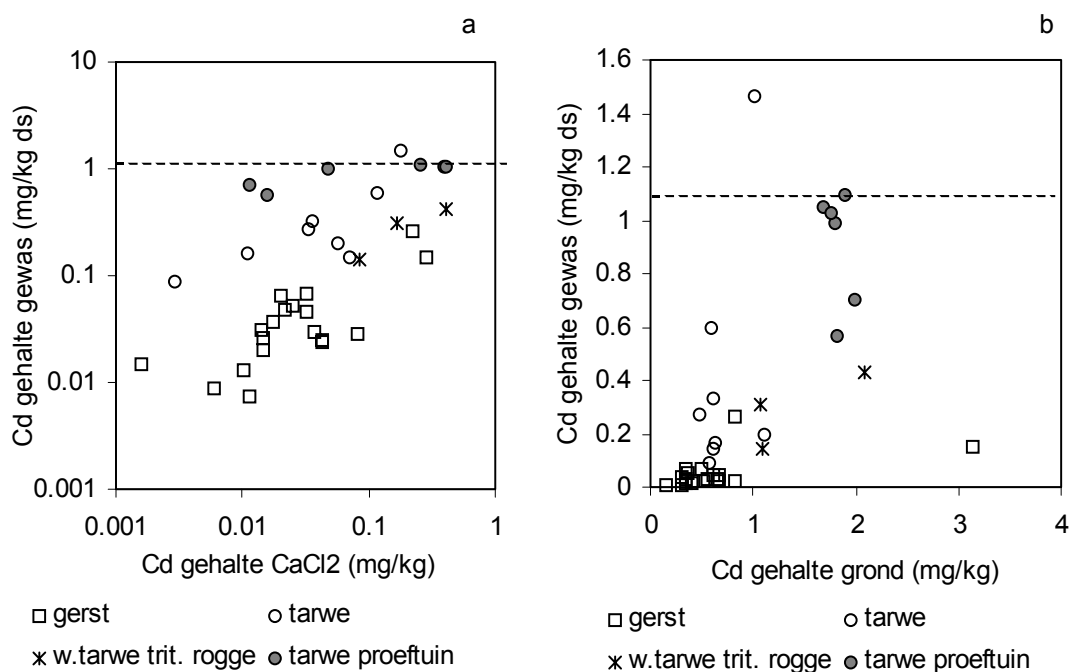
In de regio kunnen de normen van Cd en Pb overschreden worden zoals bleek in het moestuinonderzoek: 3 van de 24 monsters hadden een gehalte boven de norm van Cd en 3 voor Pb. De omstandigheden in moestuinen zijn echter niet direct vergelijkbaar met landbouw, o.a. omdat de rassen, bekalking- en bemestingniveaus kunnen afwijken.

3.2 Bodem-gewas relaties

3.2.1 Granen

De achtergronden en modelconcepten die ten grondslag liggen aan de analyse van de bodem-gewasrelaties zijn beschreven in het Alterra-rapport 974³. In het huidige rapport worden de resultaten gegeven voor de granen, en in zoverre mogelijk voor de schorseneren en wortelen. Voor tarwe en schorseneer zijn ook de metingen in de proeftuin betrokken bij het onderzoek omdat er maar weinig tarwepercelen bemonsterd zijn bij bedrijven in 2004 en 2005.

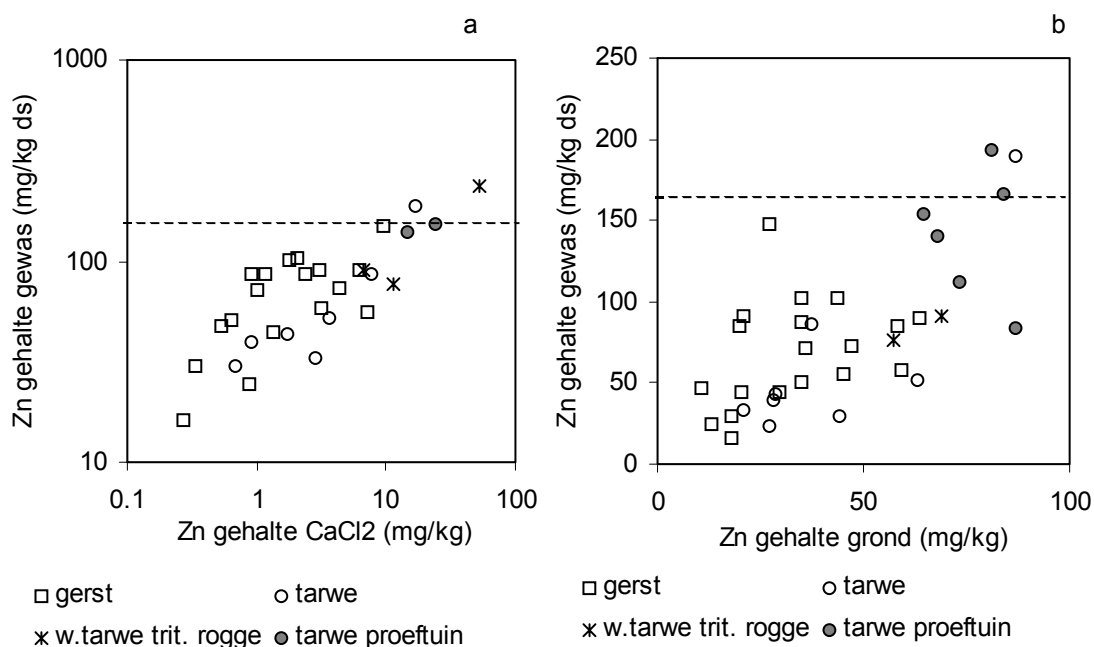
In Figuur 3.4 zijn de cadmiumgehalten in de granen uitgezet tegen de twee gebruikte bodemextracties (CaCl_2 en HNO_3). Deze extracties geven een maat voor het beschikbare cadmium en het potentieel beschikbare cadmium in de bodem. Te zien is dat de extractie met CaCl_2 redelijk gerelateerd is aan de cadmiumopname in de granen. De cadmiumopname door tarwe is duidelijk hoger dan bij gerst. Dit beeld wordt echter wel beïnvloed doordat ook de resultaten van de proeftuin erbij betrokken zijn. Het resultaat bij 1 perceel met wintertarwe, rogge, en tritcale lijkt te passen in de verzameling gegevens van gerst.



Figuur 3.4 Relatie tussen cadmiumgehalte in granen en extraheerbaar cadmium in de bodem: in figuur a, cadmiumgehalte bodem na extractie met 0.01 M CaCl_2 , en in figuur b, cadmiumgehalte bodem na extractie 0.43 M HNO_3 .

³ Itt vermeld in Alterra rapport 1164 groeide er op de referentielocaties voor graan geen tarwe maar zomergerst.

In het geval van de HNO_3 extractie is de relatie zoals te verwachten in bij gronden met verschillende pH's niet eenduidig. Daarom wordt gewerkt met relaties zoals gegeven in Alterra-rapport 974 waarin naast het met HNO_3 extraheerbaar cadmium ook de pH (en evt. organische stof) wordt meegenomen als verklarende variabelen. In Tabel 3.2 en 3.3 worden de resultaten gegeven van verschillende regressievergelijkingen om de cadmiumopname in tarwe en gerst te berekenen.



Figuur 3.5 Relatie tussen zinkgehalte in granen en extraheerbaar zink in de bodem: in figuur a, zinkgehalte bodem na extractie met 0.01 M CaCl_2 , en in figuur b, zinkgehalte bodem na extractie 0.43 M HNO_3 . In figuur b is 1 punt met een hoog Zn gehalte in de grond (292 mg Zn.kg⁻¹) niet zichtbaar.

In Figuur 3.5 zijn de zinkgehalten in de granen uitgezet tegen de twee gebruikte bodemextracties (CaCl_2 en HNO_3). In tegenstelling tot bij cadmium lijken hier geen verschillen tussen de graansoorten. Net als bij cadmium is de relatie tussen het zinkgehalte in de bodem en het gewas niet eenduidig zonder de pH mee te nemen als verklarende factor. In Tabel 3.4 worden de resultaten gegeven van de regressievergelijkingen, waarbij geen verschil wordt gemaakt tussen de verschillende soorten.

Tabel 3.1 Overzicht van resultaten voor de verschillende bodem-gewasmodellen voor cadmium in zomergerst ($n=19$).

cadmium model	Regressie parameters				R^2	se(Y-est)
	Int	metaal	pH	org. stof		
bodem (HNO_3)-plant	0.004	0.82	-0.22		0.50	0.29
Bodem (CaCl_2)-plant	-0.57	0.57			0.57	0.26
Bodem (CaCl_2 /pH)-plant	-1.76	0.79	0.28		0.63	0.25

De regressiemodellen in Tabel 3.1, 3.2 en 3.3 met als verklarende factoren: cadmium- of zinkgehalte van de grond (bodem HNO_3) in combinatie met de zuurgraad (pH), geeft redelijke goede beschrijvingen van de cadmium- of zinkopname door

zomergerst en tarwe. Het meenemen van het organische stofgehalte als verklarende factor geeft nauwelijks een betere beschrijving en is daarom niet meegenomen.

Tabel 3.2 Overzicht van resultaten voor de verschillende bodem-gewasmodellen voor cadmium in tarwe (aar) (incl. onderzoek in proeftuin, excl. wintertarwe, rogge en triticale).

cadmium model	Regressie parameters				R ²	se(Y-est)
	Int	metaal	pH	org. stof		
<i>bodem (HNO₃)-plant</i> (n=14)	0.46	1.13	-0.15		0.60	0.27
<i>Bodem(CaCl₂)-plant</i> (n=9)*	0.19	0.42			0.47	0.30
<i>Bodem(CaCl₂/pH)-plant</i> (n=9)*	-1.92	1.03	0.53		0.76	0.21

* in 2005 zijn bij proeftuin geen CaCl₂ extracties uitgevoerd.

Tabel 3.3 Overzicht van resultaten voor de verschillende bodem-gewasmodellen voor zink in alle granen.

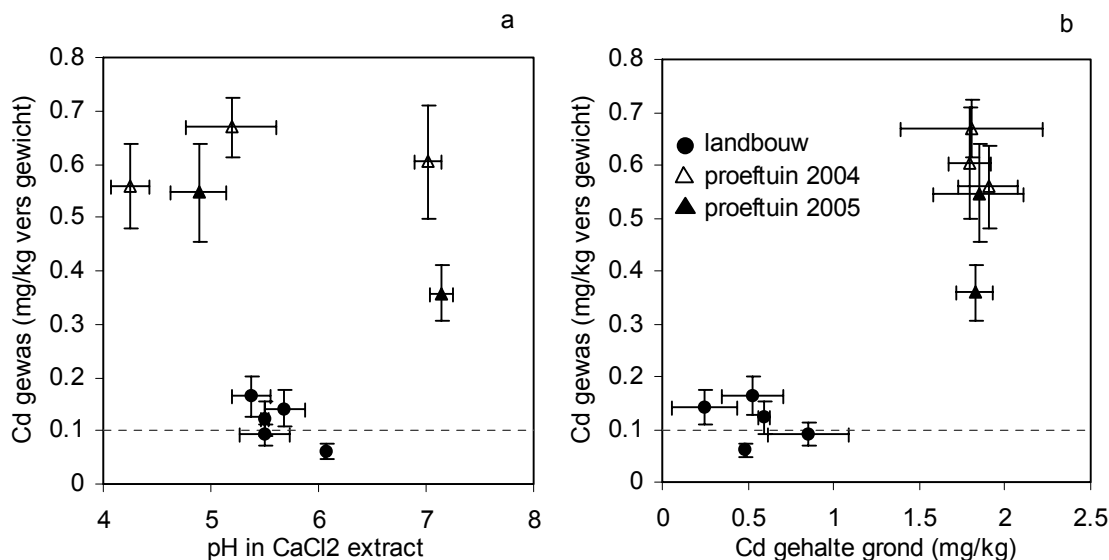
zink model	Regressie parameters				R ²	se(Y-est)
	Int	metaal	pH	org. stof		
<i>bodem (HNO₃)-plant</i> (n=36)	1.47	0.67	-0.13		0.57	0.19
<i>Bodem(CaCl₂)-plant</i> (n=30)*	1.67	0.37			0.63	0.17
<i>Bodem(CaCl₂/pH)-plant</i> (n=30)*	0.80	0.46	0.16		0.66	0.16

* data beneden detectiegrens (0.04 mg Zn.kg⁻¹) zijn niet meegenomen.

De regressiemodellen met cadmium of zink in het CaCl₂ extract als verklarende parameter geven aan dat het tevens meenemen van de pH als verklarende parameter leidt tot een betere beschrijving van de cadmium- en zinkopnamen door de granen.

De regressieparameter die de pH-afhankelijkheid geeft in het “bodem(HNO₃)-plant” model varieert van -0.13, -0.15 tot -0.22 en is goed vergelijkbaar met de gevonden pH afhankelijkheid in de proeftuin (-0.05 à -0.15) en in andere studies: -0.16 (Adams et al., 2004).

3.2.2 Schorseneren

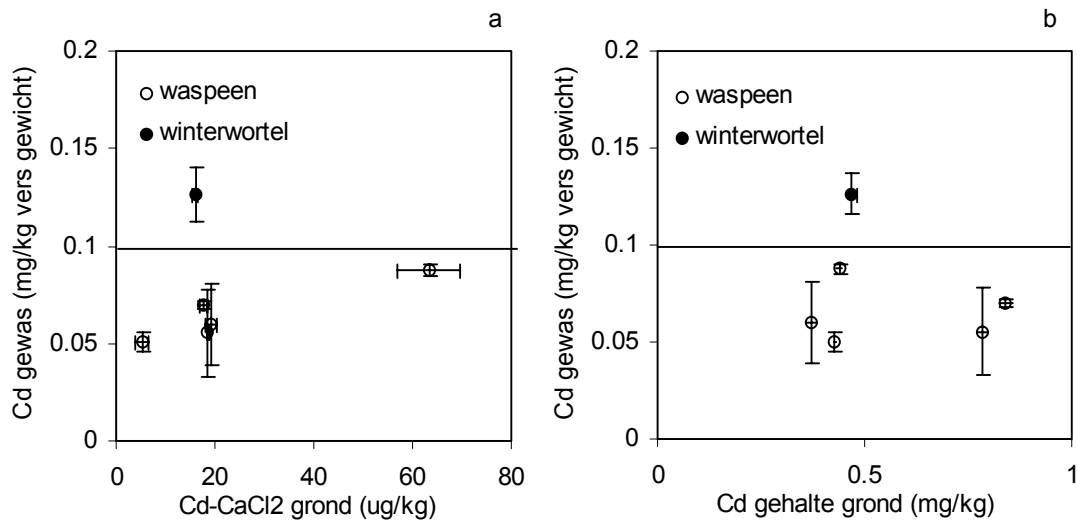


Figuur 3.6 Relatie tussen cadmiumgehalte in schorseneren en bodemeigenschappen: pH in 0.01 M CaCl_2 extract (a), en cadmiumgehalte van bodem, zoals bepaald met extractie in 0.43 M HNO_3 (b). De horizontale en verticale lijnen bij ieder punt geven de mate van spreiding aan tussen de duplo bepalingen.

In Figuur 3.6 zijn de cadmiumgehalten in de schorseneren uitgezet tegen de twee gebruikte bodemextracties⁴: in dit geval de pH in CaCl_2 en cadmium gehalte via de HNO_3 extractie. Vanwege het beperkte aantal bemonsterde locaties met schorseneren zijn ook de gegevens van de proeftuin erbij betrokken. Hierbij moet opgemerkt worden dat de opbrengst van de schorseneren in de proeftuin slecht was, en niet representatief is voor een normale landbouwpraktijk. Op basis van het beperkte aantal gegevens is onduidelijk of de pH een effect heeft op cadmiumopname door schorseneren. Het cadmiumgehalte in het gewas lijkt duidelijk afhankelijk van het gehalte in de bodem. Al bij heel laag cadmiumgehalte in de bodem –ongeveer $0.5 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$ – wordt de gewasnorm overschreden. De hogere cadmiumopname in schorseneren van de proeftuin t.o.v. de landbouwbedrijven is consistent met de hogere cadmiumgehalten in bodem van de proeftuin. Het is niet verantwoord om op basis van het beperkte aantal gegevens bodem-gewasrelaties op te stellen.

⁴ In 2005 zijn in de proeftuin geen cadmium-extracties uitgevoerd met CaCl_2 .

3.2.3 Wortelen



Figuur 3.7 Relatie tussen cadmiumgehalte in wortel en in de bodem met: in fig a, gehalte geëxtraheerd in HNO_3 , in fig b, met pH. De horizontale en verticale lijnen bij ieder punt geven de mate van spreiding aan tussen de duplo bepalingen.

In Figuur 3.7 zijn de cadmiumgehalten in de wortelen uitgezet tegen de twee gebruikte bodemextracties (CaCl_2 en HNO_3). Er lijkt een verband tussen het cadmiumgehalte in het gewas en het CaCl_2 -extraheerbare cadmium uit de bodem. De winterwortel neemt bij dezelfde bodemeigenschappen meer cadmium op dan waspeen. Dit suggereert dat winterwortel een kritisch gewas is en een specifieke bodem-gewas relatie heeft. Opgemerkt kan worden dat de cadmiumgehalten in de bemonsterde percelen relatief laag zijn zodat cadmiumgehalten –beneden de gewasnorm- toch als relatief hoog genoemd kunnen worden.

Tabel 3.4 Overzicht van resultaten voor de verschillende bodem-gewasmodellen voor zink in waspeen ($n=28$: 5 locaties uit dit onderzoek, incl. 23 locaties in moestuinonderzoek).

cadmium model	Regressie parameters			R^2	se(Y-est)
	Int	metaal	pH		
bodem (HNO_3)-plant ($n=28$)	0.19	0.19	-0.25	0.26	0.24
Bodem(CaCl_2)-plant($n=28$)	-0.71	0.30		0.25	0.24
Bodem(CaCl_2 /pH)-plant($n=28$)	-0.29	0.19	-0.25	0.27	0.24

Een bodem-gewasrelatie is bepaald op basis van de data uit dit onderzoek en de data uit het moestuinonderzoek. Enkel op basis van de 5 locaties uit dit onderzoek kan namelijk geen relatie vastgesteld worden. De waspeenresultaten uit het moestuinonderzoek zijn mogelijk niet representatief voor landbouwbedrijven vanwege de gebruikte rassen. De gevonden relaties verklaren de gevonden cadmiumgehalten in de waspeen relatief slecht (R^2 en se in Tabel 3.4). Opvallend daarbij is dat het effect van de pH heel significant is en effect van cadmium in de bodem gering. Bij een onderzoek naar cadmiumgehalten in Zweedse wortels is ook een sterke pH afhankelijkheid gevonden, en ook hier is via enkelvoudige regressie geen significante relatie

tussen cadmium in de bodem en gewas gevonden worden (Jansson en Öborn, 2000). Dit betekent dat mogelijk het pH effect zo sterk is dat ook in bodems met relatief veel cadmium de cadmiumopname door bekalking sterk verlaagd kan worden.

3.2.4 Omgaan met de bodem-gewasrelaties

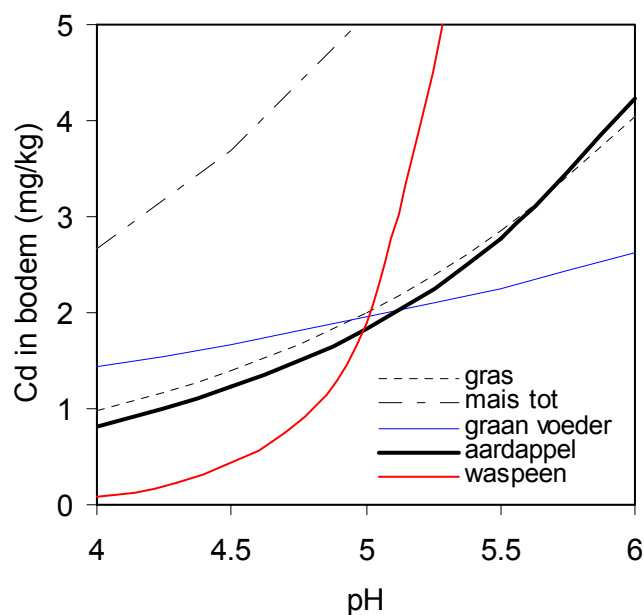
Aangezien de bodem-gewasrelaties op basis van de extractie met HNO_3 voldoen wordt in het onderstaande advies alleen gesproken over deze relaties en niet de bodem-gewasrelaties op basis van CaCl_2 .

Tabel 3.5 Overzicht van bodem-gewasmodellen voor verschillende gewassen op basis van cadmium in HNO_3 extract.

	Int	metaal	pH	org. stof	R2	se(Y-est)
aardappel	0.99	0.88	-0.32	ns	0.84	0.14
tarwe	0.46	1.13	-0.15	ns	0.60	0.27
zomergerst	0.004	0.82	-0.22	ns	0.50	0.29
gras	1.58	1.22	-0.38	ns	0.63	0.23
maïs (stengel+blad+kolf)	0.74	0.83	-0.23	-0.22	0.58	0.24
waspeen	0.19	0.19	-0.25	ns	0.26	0.24
schorseneren						

In Tabel 3.5 zijn de bodem-gewasrelaties gegeven met daarin de zuurgraad en het cadmiumgehalte (HNO_3 extraheerbaar gehalte) als verklarende variabelen (en organisch stof in geval van maïs). Hiermee kan berekend worden bij welke combinatie van pH en cadmiumgehalte de gewasnorm overschreden zal worden. Dat is voor de verschillende gewassen in Figuur 3.5 berekend.

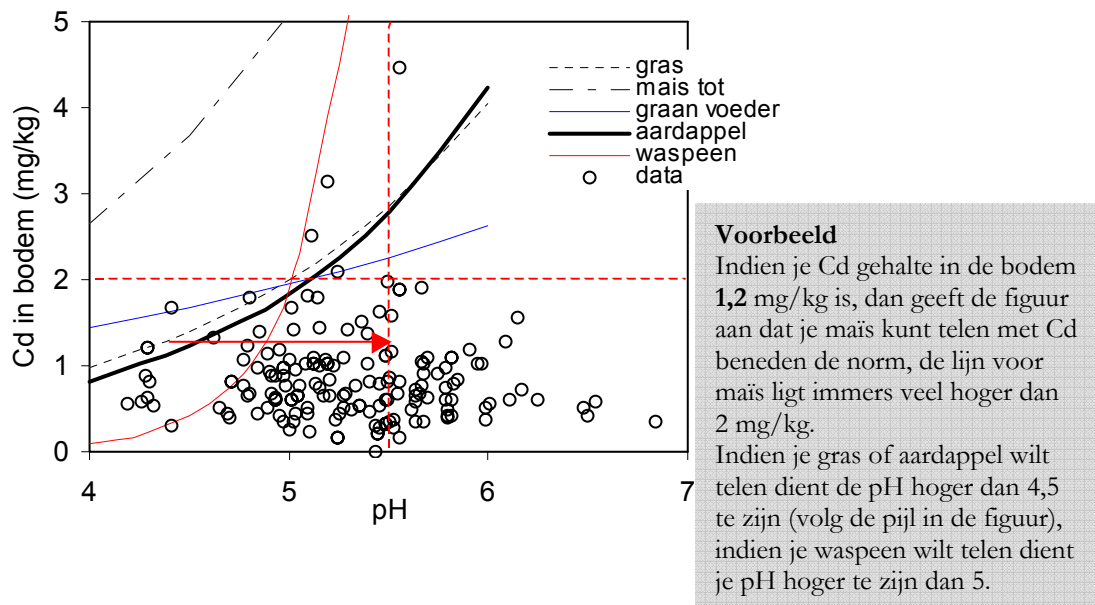
Het minst kritische gewassen zijn zomergerst en maïs. Gras en aardappelen zijn ongeveer even kritische. Te zien is dat tarwe het meest kritische is bij een normale pH van de bodem van 5 à 5.5 (hier gebruik als voedergras). Het minst kritische is zomergerst en maïs: bij hoge cadmiumgehalten is dus te overwegen om alleen zomergerst en maïs te telen en geen andere gewassen. Schorseneren en waspeen (en winterwortel) zijn veel kritischer dan de eerder genoemde landbouwgewassen. Bij schorseneren zijn overschrijdingen van de gewasnorm aangetroffen bij zeer lage cadmiumgehalten in de bodem. Uit onderzoek in de proeftuin blijkt dat prei ook kritisch is.



Figuur 3.8 De tot nu toe afgeleide bodem-gewasrelaties voor de verschillende gewassen. Het voorspelt normoverschrijdingen voor cadmium in de genoemde gewassen bij de gegeven pH en cadmiumgehalten in de bodem indien pH en het cadmiumgehalte in de bodem boven de lijn liggen. Bij relatieve hoge pH's is tarwe het meest kritisch. Bij lage pH's is waspeen kritisch. Het minst kritisch is zomergerst (valt buiten bereik van figuur) en maïs (aanname: grond bevat 4% organische stof).

In Bijlage 3 zijn de verwachte cadmiumgehalten, en in geval van veevoedergewassen ook de zinkgehalten, in de gewassen gegeven afhankelijk van de pH en de cadmium- en zinkgehalten in de bodem.

4 Conclusies



Figuur 4.1 Zuurgraad en cadmiumgehaltes (extractie met HNO_3) van alle bodemonsters in dit onderzoek. De lijnen zijn als in figuur 3.5; boven deze lijn zijn normoverschrijdingen bij de genoemde gewassen te verwachten. De pijl geeft de route aan (verhoging pH door bekalking) welke kan leiden tot de gewenste toestand. Boven een pH van 5,5 zijn bij de cadmiumgehaltes in dit gebied ($\text{Cd} < 2 \text{ mg/kg}$) geen normoverschrijdingen te verwachten voor de genoemde gewassen.

Figuur 4.1 vat het bodem- en gewasonderzoek dat in 2003, 2004 en 2005 is uitgevoerd samen. Het geeft een beeld van alle pH en cadmiumgehaltes die aangetroffen zijn in het gebied⁵. Tevens brengt het in beeld bij welke pH en cadmiumgehaltes normoverschrijdingen verwacht worden bij de verschillende gewassen. De cadmiumgehaltes (HNO_3 extractie) liggen behoudens 2 uitzonderingen beneden de 2 mg/kg. De zuurgraad varieert van 4,2 tot 6,8. Samenvattend kan gesteld worden dat:

- Er zijn geen normoverschrijdingen in het gebied te verwachten bij een pH ruim boven de 5 en cadmiumgehaltes beneden de 2 mg.kg^{-1} ;
- Geen normoverschrijdingen zijn te verwachten bij zomergerst en maïs;
- Normoverschrijdingen zijn te verwachten bij gras, aardappel en tarwe bij pH's van 5 of lager en cadmiumgehaltes boven de 1 mg.kg^{-1} . Dergelijke combinaties van pH's en cadmiumgehaltes komen relatief weinig voor;
- Op basis van dit onderzoek en het onderzoek in de proeftuin kan gesteld worden dat er nog onderzoek nodig is naar schorseneer, waspeen, winterwortel en prei⁶. (en evt. spinazie, knolselderij)

⁵ Bij landbouwbedrijven die hebben deelgenomen aan het onderzoek.

⁶ Nog te denken valt aan asperges en witlof.

Literatuur

Adams, M.L., F. J. Zhao, S. P. McGrath, and B. J. Chambers 2004. Predicting cadmium concentrations in wheat and barley grain using soil properties. *J. Environ. Quality* 33, 532-541.

Jansson, G. en Öborn, I. Cadmium content of Swedish carrots and the influence of soil factors. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 2000: 50, 49-56.

Kurz, H., R. Schulz, and V. Römheld. 1999. Selection of cultivars to reduce the concentration of cadmium and thallium in food and fodder plants *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 162, 323-328.

Luit, B. van, en K.W. Smilde. 1983 Onderzoek naar de verontreiniging met cadmium en zink van grond en gewas in de omgeving van zinkfabrieken *Bedrijfsontwikkeling*, 489-493.

McLaughlin, M.J., D.R. Parker, J.M. Clarke. 1999 Metals and micronutrients - food safety issues. *Field Crops Research* 60, 143-163.

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römken J. Japenga 2004 Onderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in het gewas in de gemeente Cranendonck. *Alterra rapport 974*, Wageningen.

Rietra, R.P.J.J., P.F.A.M. Römken J. Japenga 2005 Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2004. Vervolgonderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in het gewas in de gemeente Cranendonck. *Alterra rapport 1167*, Wageningen.

Rietra, R.P.J.J., J. Japenga, L. Bouwman, P.F.A.M. Römken, 2006. Effect van bekalken op cadmiumopname door gewassen; resultaten van veldproef in het eerste en tweede jaar. Wageningen, *Alterra rapport 1297*, Wageningen.

Römken, P.F.A.M., G.W. Schuur, J.P.A. Lijzen, R.P.J.J. Rietra en L. Dirven-van Bremen 2005 Risico's van cadmium en lood in moestuinen in de Kempen. *Alterra-rapport 1129*, Wageningen.

Bijlage 1 Cadmium- en zinkgehalten in bodem en gewas (2005)

Grijs: meest relevant, **vet**: normoverschrijdingen, ¹ gehalten op basis van droge stof zijn relevant voor diervoeder ² gehalten op basis van vers voor warenwet. #

bedrijf	veld	gewas	ras			CaCl ₂ extractie			HNO ₃ extractie			gehalte gewas			gewas drogestof gehalte	gehalte gewas		
				pH	org.stof %	Cd µg/kg	Pb µg/kg	Zn (mg/kg)	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn droge stof ¹		Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn vers ²
25	3	gerst	Matador Tulsa	5.5	4.4	22	0	2	0.61	16	44	0.05	0.10	102	75	0.04	0.08	76
19	1	rogge		5.6	3.4	32	1	3	0.67	14	59	0.14	0.34	91	55	0.08	0.19	50
23	1	tarwe		6.5	4.4	3	0	0	0.58	16	27	0.33	0.08	40	56	0.19	0.04	22
24	1	tarwe		4.8	3.2	63	3	5	0.44	9	23	0.16	0.06	30	53	0.09	0.03	16
24	2	tarwe	Skater	6.5	3.0	5	0	0	0.43	11	30	0.27	0.08	43	63	0.17	0.05	27
24	3	tarwe		6.0	2.5	19	0	1	0.37	7	18	0.09	0.21	24	59	0.05	0.13	14
21	1	triticale		5.7	5.6	11	0	1	0.64	18	44	0.43	0.41	236	80	0.34	0.33	189
4	1	wintertarwe		5.0	2.6	166	3	11	1.08	32	57	0.31	0.05	76	58	0.18	0.03	44
15	2	zomergerst		5.4	3.2	17	1	1	0.31	12	11	0.04	0.04	47	61	0.02	0.02	29
15	3	zomergerst		5.8	3.7	10	0	0	0.39	12	18	0.01	0.03	30	49	0.01	0.02	15
16	1	zomergerst		5.2	3.4	282	0	6	3.13	19	63	0.15	0.05	90	74	0.11	0.03	66
16	2	zomergerst		5.6	2.8	44	0	1	0.82	13	30	0.02	0.05	44	67	0.02	0.03	30
16	3	zomergerst		6.0	2.7	14	0	1	0.56	13	58	0.03	0.11	86	64	0.02	0.07	55
16	4	zomergerst		5.8	3.1	15	0	1	0.42	11	36	0.02	0.08	72	74	0.02	0.06	53
16	5	zomergerst		6.8	3.1	2	0	0	0.35	9	20	0.02	0.11	45	80	0.01	0.09	36
16	7	zomergerst		4.9	5.5	43	4	4	0.67	18	47	0.03	0.08	73	83	0.02	0.07	61
16	9	zomergerst		5.5	2.5	20	0	2	0.34	9	35	0.07	0.08	103	58	0.04	0.05	60
17	1	zomergerst	Saloon	6.0	3.0	15	0	1	0.51	10	35	0.03	0.08	50	62	0.02	0.05	31
17	2	zomergerst	Saloon	5.6	3.0	32	1	2	0.50	9	35	0.07	0.10	87	67	0.05	0.07	58
17	3	zomergerst	Saloon	5.6	2.2	25	0	1	0.36	13	20	0.05	0.06	85	65	0.03	0.04	55
18	3	zomergerst	Prestige	5.2	2.7	409	10	53	2.09	35	292	0.03	0.07	91	73	0.02	0.05	66
20	1	zomergerst	Prestige	6.1	1.7	36	0	1	0.61	15	28	0.27	0.13	148	67	0.18	0.09	99
22	1	zomergerst		5.4	3.0	33	0	2	0.47	17	29	0.05	0.10	58	33	0.02	0.03	19

bedrijf	veld	gewas	ras			CaCl ₂ extractie			HNO ₃ extractie			gehalte gewas			gewas drogestof gehalte	gehalte gewas		
				pH	org.stof %	Cd µg/kg	Pb µg/kg	Zn (mg/kg)	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn droge stof		Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn vers ²
15	1	schorseneren		6.07	3.62	6	0.3	0.16	0.48	14	0.03	0.26	0.30	0.02	23	0.06	0.07	0.00
16	8	schorseneren		5.38	4.06	34	1.3	2.66	0.53	18	0.04	0.73	0.22	0.05	22	0.16	0.05	0.01
17	6	schorseneren	Flandria	5.69	3.25	12	1.4	0.52	0.25	13	0.01	0.59	0.40	0.03	24	0.14	0.09	0.01
25	1	schorseneren		5.51	4.61	20	0.1	1.80	0.59	19	0.05	0.48	0.14	0.03	25	0.12	0.03	0.01
28	1	schorseneren		5.50	6.03	38	2.8	2.40	0.85	22	0.05	0.40	0.25	0.03	23	0.09	0.06	0.01
16	10	Winterwortel		5.61	3.88	16	0.2	0.64	0.47	16	0.03	1.10	0.80	0.05	11	0.13	0.09	0.01
17	4	waspeen		5.0	2.8	37	1	3	0.35	10	21	0.96	0.31	83	9	0.09	0.03	8
18	1	waspeen		5.1	3.8	84	2	7	1.09	23	69	0.50	0.31	34	10	0.05	0.03	3
18	2	waspeen		4.3	2.9	222	20	10	0.82	34	27	0.60	0.48	30	10	0.06	0.05	3
25	2	waspeen	Amsterdamse bak	5.8	5.3	19	0	1	0.78	94	53	0.58	0.29	28	10	0.06	0.03	3
26	1	waspeen	Amsterdamse bak	5.8	4.6	18	0	1	0.84	21	46	0.68	0.73	30	10	0.07	0.08	3

Uit Alterra rapport 1167, Granen bemonsterd in 2004

bedrijf	veld	gewas	ras			CaCl ₂ extractie			HNO ₃ extractie			gehalte gewas			gewas drogestof gehalte	gehalte gewas		
				pH	org.stof %	Cd µg/kg	Pb µg/kg	Zn (mg/kg)	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn droge stof		Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn vers ²
11	3	zomergerst		5.0	3.18	82	7.8	7	0.65	15	45	0.03	0	55	51	0.02	0	28
4	1	tarwe		5.5	3.81	57	1.8	4	1.12	33	63	0.20	0.79	52	51	0.10	0.79	27
4	3	tarwe		4.9	3.04	70	5.7	3	0.61	24	21	0.15	0.08	33	57	0.08	0.08	19
8	6	tarwe		5.0	2.98	119	7.7	8	0.60	15	37	0.59	0.08	86	57	0.34	0.08	49
8	9	tarwe		5.2	4.21	180	8.0	17	1.01	32	87	1.46	0.47	189	71	1.04	0.47	135
14	1	zomergerst		5.2	3.66	11	1.8	1	0.16	5	13	0.01	0	25	45	0.003	0	11
14	2	zomergerst		5.5	5.81	6	1.8	0.3	0.31	9	18	0.01	0.06	16	36	0.003	0.06	6

overschrijdingen t.o.v. de warenwet voor granen worden niet gegeven aangezien het steeds granen betreft die gebruikt worden als veevoeder. Indien granen gebruikt zouden worden voor brood dan is relevant om op te merken dat de norm hiervoor strenger is.

Bijlage 2 Normen voor cadmium- en zinkgehalten in gewassen

Richtlijn 2002/32/EG van 7 mei 2002 inzake ongewenste stoffen in diervoeding, bevat de lijst van normen voor cadmium en lood in gewassen te gebruiken als diervoeders.

Verordening (EG) nr. 466 / 2001 van de commissie van 8 maart 2001 tot vaststelling van maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen, bevat de huidige normen voor cadmium en lood in gewassen.

Richtlijn 90/642/EG tot vaststelling van maximumgehalten aan residuen van bestrijdingsmiddelen op bepaalde producten van plantaardige oorsprong, met inbegrip van groenten en fruit, bevat de lijst van gewasgroepen welke genoemd zijn in de verordening nr 466.

Richtlijn 70/524/EEG van 23 november 1970 betreffende toevoegingmiddelen in de diervoeding, en Verordening (EG) nr 1334/2003 van 25 juli 2003 tot wijziging van de toelatingsvoorwaarden voor een aantal toevoegingmiddelen van de groep sporenelementen in diervoeders: bevat wettelijke norm voor zink in diervoeding na toediening van zink.

Relevante onderdelen uit: **Richtlijn 2002/32/EG**

Cadmium (maximumgehalte in mg/kg, herleid tot een vochtgehalte van 12%)

- 1 voedermiddelen van plantaardige oorsprong

Lood (maximumgehalte in mg/kg, herleid tot een vochtgehalte van 12%)

- 10 voedermiddelen, met uitzondering van:
- 40 groenvoeder

Uit: **Verordening (EG) nr. 466 / 2001¹**

Cadmium (maximumgehalte in mg/kg vers gewicht)

- 0,1 granen met uitzondering van tarwe en rijst
- 0,2 tarwe en rijst
- 0,05 groenten en fruit zoals bedoeld in Richtlijn 90 962/EEG met uitzondering van bladgroenten¹, verse kruiden, alle fungi, stengelgroenten², wortelgroenten³ en aardappelen
- 0,2 bladgroenten¹, verse kruiden, knolselderij en alle gekweekte fungi
- 0,1 stengelgroenten, wortelgroenten en aardappelen (geschild), met uitzondering van knolselderij.

Lood (maximumgehalte in mg/kg vers gewicht)

- 0,2 granen
- 0,1 groenten met uitzondering van brassica, bladgroenten, verse kruiden en alle fungi.
- 0,3 brassica⁴, bladgroenten, verse kruiden en alle gekweekte fungi
- 0,1 fruit met uitzondering van bessen en klein fruit
- 0,2 bessen en klein fruit

uit: **Richtlijn 1990 642.**

¹ Bladgroenten: tuinkers, veldsla, kropsla, ijsbergsla, spinazie, snijbiet, waterkers, witlof.

² Stengelgroenten: stengelgroenten: asperges, kardoer, bleekselderij, knolvenkel, artisjokken, prei, rabarber.

³ Wortelgroenten: krotten, wortelen, knolselderij, mierikswortel, aardperen, pastinaken, wortelpeterselie, radijs, schorseneren, zoete aardappel, koolraap, rapen, yam.

⁴ Brassica: broccoli, bloemkool, spruitjes, chinese kool, sluitkool, koolrabi.

Uit: **Richtlijn 70/524/EEG en EU verordening nr 1334/2003**.

Er is geen wettelijke norm voor zink in diervoeding zolang het zink niet aan de diervoeding is toegevoegd.

- Het maximumgehalte aan zink (250 mg.kg^{-1} vochtgehalte van 12%) voor diervoeders geldt voor zink als het gebruikt wordt als toevoegingmiddel, en is vastgelegd in de EU in Richtlijn 70/524/EEG. Deze norm geldt dus niet voor diervoeder als daar geen zink als toevoegingmiddel is toegevoegd. Kortgeleden is de norm voor zink verlaagd tot 150 mg.kg^{-1} (EU verordening nr 1334/2003).

De norm in de Richtlijn 70/524/EEG (250 mg.kg^{-1}) kan gehanteerd worden als adviesnorm voor een verantwoorde diervoeding en wordt daarom in dit rapport gebruikt als norm (de nieuwe norm is niet bepaald door wat toxicologisch gezien de grens is, maar is bedoeld om nadelige gevolgen voor de menselijke gezondheid en het milieu te beperken).

Bijlage 3 Opzoektabellen

Tabellen om op te zoeken bij welke pH en cadmium- of zinkgehalten in de bodem de warenwetnormen voor aardappelen, en de veevoedernormen voor in tarwe, zomergerst, maïs en gras zullen worden overschreden (op basis van relaties in Tabel 3.9 en 3.10).

aardappel		pH:	pH:	pH:	pH:	pH:	pH:
bodemgehalten		4	4.5	5	5.5	6	6.5
[Cd]:	0.4 mg/kg	0.23	0.16	0.11	0.08	0.05	0.04
[Cd]:	0.8 mg/kg	0.42	0.29	0.20	0.14	0.10	0.07
[Cd]:	1.2 mg/kg	0.60	0.42	0.29	0.20	0.14	0.10
[Cd]:	1.6 mg/kg	0.78	0.54	0.37	0.26	0.18	0.12
[Cd]:	2 mg/kg	0.94	0.65	0.45	0.31	0.22	0.15
[Cd]:	2.4 mg/kg	1.11	0.77	0.53	0.37	0.25	0.18
[Cd]:	2.8 mg/kg	1.27	0.88	0.61	0.42	0.29	0.20
[Cd]:	3.2 mg/kg	1.43	0.99	0.68	0.47	0.33	0.23
[Cd]:	3.6 mg/kg	1.6	1.1	0.76	0.52	0.36	0.25
[Cd]:	4 mg/kg	1.7	1.2	0.83	0.58	0.40	0.28
[Cd]:	4.4 mg/kg	1.9	1.3	0.90	0.63	0.43	0.30
[Cd]:	4.8 mg/kg	2.0	1.4	0.98	0.68	0.47	0.32

Voorbeeld

Indien je cadmiumgehalte in de bodem 1,6 mg Cd per kg grond is, dan zegt deze tabel dat bij een pH van 4,5 de te verwachten cadmiumgehalten in aardappel 0,54 mg Cd per kg (droge stof) is. Dat is een cadmiumgehalte welke boven de gewasnorm ligt (rode vakjes). Het te verwachten cadmiumgehalte in de aardappel is 0,26 mg Cd per kg (droge stof) indien de pH verhoogd wordt via bekalking tot pH 5,5 (groene vakjes).

MAIS		pH:	pH:	pH:	pH:	pH:	pH:
bodemgehalten:		4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
[Cd]:	0.40 mg/kg	0.30	0.21	0.15	0.11	0.08	0.06
[Cd]:	0.80 mg/kg	0.52	0.37	0.26	0.19	0.14	0.10
[Cd]:	1.20 mg/kg	0.71	0.51	0.36	0.26	0.19	0.13
[Cd]:	1.60 mg/kg	0.89	0.63	0.45	0.32	0.23	0.17
[Cd]:	2.00 mg/kg	1.05	0.75	0.54	0.39	0.28	0.20
[Cd]:	2.40 mg/kg	1.22	0.87	0.62	0.45	0.32	0.23
[Cd]:	2.80 mg/kg	1.37	0.98	0.70	0.50	0.36	0.26
[Cd]:	3.20 mg/kg	1.52	1.09	0.78	0.56	0.40	0.29
[Cd]:	3.60 mg/kg	1.67	1.19	0.85	0.61	0.44	0.31
[Cd]:	4.00 mg/kg	1.81	1.30	0.93	0.66	0.47	0.34
[Cd]:	4.40 mg/kg	1.95	1.40	1.00	0.71	0.51	0.37
[Cd]:	4.80 mg/kg	2.09	1.49	1.07	0.76	0.55	0.39

MAIS		pH:	pH:	pH:	pH:	pH:	pH:
bodemgehalten:		4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
[Zn]:	50 mg/kg	357	219	134	82	50	31
[Zn]:	100 mg/kg	584	358	220	135	83	51
[Zn]:	150 mg/kg	779	477	293	180	110	68
[Zn]:	200 mg/kg	955	586	359	220	135	83
[Zn]:	250 mg/kg	1119	686	421	258	158	97
[Zn]:	300 mg/kg	1273	781	479	294	180	110
[Zn]:	350 mg/kg	1421	871	534	328	201	123
[Zn]:	400 mg/kg	1562	958	587	360	221	135
[Zn]:	450 mg/kg	1698	1041	639	392	240	147
[Zn]:	500 mg/kg	1830	1122	688	422	259	159
[Zn]:	550 mg/kg	1958	1201	736	452	277	170
[Zn]:	600 mg/kg	2082	1277	783	480	295	181

GRAS		pH:	pH:	pH:	pH:	pH:	pH:
bodemgehalten:		4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
[Cd]:	0.40 mg/kg	0.36	0.23	0.15	0.10	0.06	0.04
[Cd]:	0.80 mg/kg	0.85	0.54	0.35	0.23	0.15	0.09
[Cd]:	1.20 mg/kg	1.39	0.89	0.57	0.37	0.24	0.15
[Cd]:	1.60 mg/kg	1.97	1.27	0.82	0.52	0.34	0.22
[Cd]:	2.00 mg/kg	2.58	1.66	1.07	0.69	0.44	0.29
[Cd]:	2.40 mg/kg	3.23	2.08	1.34	0.86	0.55	0.36
[Cd]:	2.80 mg/kg	3.90	2.51	1.61	1.04	0.67	0.43
[Cd]:	3.20 mg/kg	4.59	2.95	1.90	1.22	0.79	0.51
[Cd]:	3.60 mg/kg	5.30	3.41	2.19	1.41	0.91	0.58
[Cd]:	4.00 mg/kg	6.02	3.88	2.49	1.61	1.03	0.67
[Cd]:	4.40 mg/kg	6.76	4.35	2.80	1.80	1.16	0.75
[Cd]:	4.80 mg/kg	7.52	4.84	3.12	2.01	1.29	0.83

GRAS		pH:	pH:	pH:	pH:	pH:	pH:
bodemgehalten:		4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
[Zn]:	50 mg/kg	269	174	112	72	47	30
[Zn]:	100 mg/kg	438	283	182	117	76	49
[Zn]:	150 mg/kg	583	376	242	156	101	65
[Zn]:	200 mg/kg	714	460	297	191	123	80
[Zn]:	250 mg/kg	835	539	347	224	144	93
[Zn]:	300 mg/kg	950	612	395	255	164	106
[Zn]:	350 mg/kg	1058	682	440	284	183	118
[Zn]:	400 mg/kg	1163	750	483	312	201	130
[Zn]:	450 mg/kg	1263	814	525	339	218	141
[Zn]:	500 mg/kg	1360	877	566	365	235	152
[Zn]:	550 mg/kg	1455	938	605	390	251	162
[Zn]:	600 mg/kg	1547	997	643	415	267	172

zomergerst bodemgehalten		pH: 4	pH: 4.5	pH: 5	pH: 5.5	pH: 6	pH: 6.5	tarwe bodemgehalten		pH: 4	pH: 4.5	pH: 5	pH: 5.5	pH: 6	pH: 6.5
[Cd]:	0.4 mg/kg	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	[Cd]:	0.4 mg/kg	0.26	0.22	0.19	0.16	0.13	0.11
[Cd]:	0.8 mg/kg	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	[Cd]:	0.8 mg/kg	0.57	0.48	0.40	0.34	0.29	0.24
[Cd]:	1.2 mg/kg	0.16	0.12	0.09	0.07	0.06	0.04	[Cd]:	1.2 mg/kg	0.90	0.76	0.64	0.54	0.45	0.38
[Cd]:	1.6 mg/kg	0.21	0.16	0.12	0.10	0.07	0.06	[Cd]:	1.6 mg/kg	1.24	1.05	0.88	0.75	0.63	0.53
[Cd]:	2 mg/kg	0.25	0.20	0.15	0.12	0.09	0.07	[Cd]:	2 mg/kg	1.60	1.35	1.14	0.96	0.81	0.68
[Cd]:	2.4 mg/kg	0.30	0.23	0.18	0.14	0.11	0.08	[Cd]:	2.4 mg/kg	1.96	1.66	1.40	1.18	0.99	0.84
[Cd]:	2.8 mg/kg	0.35	0.27	0.21	0.16	0.12	0.10	[Cd]:	2.8 mg/kg	2.34	1.97	1.66	1.40	1.18	1.00
[Cd]:	3.2 mg/kg	0.40	0.31	0.24	0.18	0.14	0.11	[Cd]:	3.2 mg/kg	2.72	2.29	1.93	1.63	1.38	1.16
[Cd]:	3.6 mg/kg	0.44	0.34	0.26	0.20	0.16	0.12	[Cd]:	3.6 mg/kg	3.10	2.62	2.21	1.86	1.57	1.33
[Cd]:	4 mg/kg	0.49	0.38	0.29	0.22	0.17	0.13	[Cd]:	4 mg/kg	3.50	2.95	2.49	2.10	1.77	1.49
[Cd]:	4.4 mg/kg	0.53	0.41	0.32	0.25	0.19	0.15	[Cd]:	4.4 mg/kg	3.89	3.28	2.77	2.34	1.97	1.66
[Cd]:	4.8 mg/kg	0.58	0.45	0.35	0.27	0.21	0.16	[Cd]:	4.8 mg/kg	4.30	3.62	3.06	2.58	2.17	1.83
								tarwe en zomergerst bodemgehalten		pH: 4	pH: 4.5	pH: 5	pH: 5.5	pH: 6	pH: 6.5
								[Zn]:	50 mg/kg	123	106	91	78	67	58
								[Zn]:	100 mg/kg	195	168	145	124	107	92
								[Zn]:	150 mg/kg	256	220	190	163	141	121
								[Zn]:	200 mg/kg	310	267	230	198	170	147
								[Zn]:	250 mg/kg	360	310	267	230	198	170
								[Zn]:	300 mg/kg	407	350	302	260	224	193
								[Zn]:	350 mg/kg	451	389	335	288	248	214
								[Zn]:	400 mg/kg	494	425	366	315	271	234
								[Zn]:	450 mg/kg	534	460	396	341	294	253
								[Zn]:	500 mg/kg	573	494	425	366	315	271
								[Zn]:	550 mg/kg	611	526	453	390	336	289
								[Zn]:	600 mg/kg	648	558	480	413	356	306

Bijlage 4 Overzicht verrichtingen/analysemethoden

Materiaal	Verrichting/onderzoeksmethode	Intern referentie Nummer laboratorium	Referentie naar RvA Q= geaccre- diteerd
grond	drogen en zeven (2 mm)	X	
grond	Bepaling van gloeiverlies stof (gravimetrische)	E0100	1 Q
grond	Extractie 0.01 M CaCl ₂		
	Bepaling pH	E1206	
	bepaling ICP-AES Zn	E1307	
	bepaling ICP-MS Cd, Pb	E1314	
grond	Extractie 0.43 M HNO ₃		
	ICP-AES Zn	E1350	
	ICP-MS Cd, Pb	E1352	
gewas	borstelen, schillen (wortelen+schorseneren)	X	
	drogen 70°C, malen	X	
gewas	drogestofbepaling (vers → 105°C)	E0005	
	vochtbepaling (70°C → 105°C)	E0005	
gewas	destructie HNO ₃ /HF/H ₂ O ₂ (magnetron)		
	bepaling ICP-AES Zn	E1310	1Q
	bepaling ICP-MS Cd, Pb	E1320	

1 Bijlage bij NEN-EN-ISO/IEC 17025 accreditatie-certificaat van Wageningen Universiteit en Researchcentrum ESG, Centrum Bodem, Chem.Bio. Lab. Bodem, Wageningen.