

Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen 2004

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

R.P.J.J. Rietra
P.F.A.M. Römkens
J. Japenga

Alterra-rapport 1167

Alterra, Wageningen, 2005

REFERAAT

R.P.J.J. Rietra, 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*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1167. 38 blz.; 8 fig.; 3 tab.; 6 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 combinatie met het in 2004 uitgevoerde werk zijn alle percelen bij dertien agrarische bedrijven onderzocht. Gewasmonsters zijn genomen bij percelen met granen en aardappelen. Bepaald zijn de cadmium- en zinkgehalten van de grond en gewasproducten. In combinatie met het werk van 2003 wordt voor percelen met maïs, gras, aardappelen en tarwe advies gegeven om te komen tot een situatie zonder overschrijdingen van de gewasnormen.

Trefwoorden: cadmium, zink, de Kempen, Budel, Cranendonck, bodem, gewas, maïs, gras, aardappel, biet.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 20,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1167. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2005 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	7
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	13
2.3 Verloop van bemonsteringen	14
2.4 Analyses	14
3 Resultaten	17
3.1 Gewaskwaliteit	17
3.1.1 Kwaliteit aardappelen	17
3.1.2 Kwaliteit granen	18
3.2 Bodem-gewas relaties	18
3.2.1 Resultaten	18
3.2.2 Omgaan met de bodem-gewasrelaties	21
4 Conclusies	23
Literatuur	25
<i>Bijlagen</i>	
1 Cadmium- en zinkgehalten in bodem en gewas (2003 en 2004)	27
2 Normen voor cadmium- en zinkgehalten in gewassen	29
3 Opzoektabelen	31
4 Bodemanalyses 2005	33
5 Droge stofgehalten gewassen	35
6 Omgaan met de bodem-gewasrelaties op basis van extractie met CaCl ₂	37

Samenvatting

In opdracht van Projectbureau Actief Bodembeheer de Kempen is in het teeltseizoen 2004 een vervolgonderzoek gedaan naar de relatie tussen cadmium en zinkgehalten in de bodem en in landbouwgewassen. Verspreid rondom Budel en Soerendonk en op een referentielocatie zijn 15 locaties onderzocht waarbij in duplo bodem- en gewasmonsters (7 locaties met granen en 8 locaties met aardappel) zijn genomen. Op 76 andere locaties zijn alleen bodemmonsters genomen. Van elk grondmonster is het voor gewassen potentieel beschikbare cadmium 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 en zink bepaald met een extractie van de grond met 0,01M CaCl_2 .

Net als in het vorige onderzoek blijken de beste voorspellingen van de cadmium- en zinkgehalten in gewassen te worden verkregen op basis van de gemeten pH en de metaalconcentraties in een 0,01 M CaCl_2 bodemextract. Het gebruik van de CaCl_2 extracties is daarom nuttig indien het gewenst is te komen tot nauwkeurige uitspraken over de actuele, lokale risico's. Het gebruik van de bodem-gewasrelaties op basis van de HNO_3 extracties is daarentegen toepasselijk om de omvang van het gebied waar de normen voor de gewassen overschreden kunnen worden vast te stellen. Bovendien zijn de resultaten van de HNO_3 extracties eenvoudiger in het gebruik zodat deze extracties gebruikt zijn in het advies.

Ondanks het gering aantal bemonsterde locaties met aardappelen (excl. referentielocatie 7 locaties) zijn de gevonden parameters in de bodem-gewasrelatie voor aardappel goed. Het aantal bemonsterde locaties met granen in de regio is zeer beperkt (excl. referentielocatie, en locatie met gerst: 4 locaties met tarwe). De gevonden parameters in de bodem-gewasrelaties zijn niet betrouwbaar. Voor goede bodem-gewasrelaties voor granen dienen meer locaties bemonsterd te worden. Van de onderzochte gewassen (aardappel, biet, gras, maïs, tarwe) lijkt tarwe het meest gevoelig voor het overschrijden van de cadmiumnorm in gewassen.

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. Gebruik van aangepaste rassen bij maïs en tarwe zijn daarom te overwegen omdat de cadmiumopname verschilt tussen rassen. 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 of aardappel	-Weinig risico bij cadmiumgehalten beneden 1 mg/kg
Graan (veevoeder)	-Weinig risico bij cadmiumgehalten beneden 2 mg/kg en een pH van 5.5 en hoger

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 opzoektabelen gegeven waarin te zien welke pH nodig is om geen overschrijdingen van de gewasnormen te krijgen. De opzoektabel voor tarwe zal naar verwachting eind 2005 gemaakt kunnen worden op basis van aanvullend onderzoek.

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. 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 gegevens over gevoelige gewassen als sla, schorseneer, prei, spinazie en tarwe (aantal gegevens is nog heel beperkt). Door aanvullende analyses te doen in bodemmonsters die in regulier landbouwkundig onderzoek worden genomen 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 sla, 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.

Begeleiding

Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van AbdK en het ministerie van LNV en is begeleid door AbdK, ZLTO, LNV en CLM. ZLTO heeft bijgedragen aan de werving van bedrijven om de bemonstering te mogen uitvoeren.

2 Materiaal en Methoden

2.1 Bemonsteringslocaties

In totaal 14 bedrijven hebben in 2003 met een beperkt aantal percelen deelgenomen aan het onderzoek. In 2004 (deze rapportage) is de rest van de percelen onderzocht. Eén locatie dient als 'referentie': het betreft een proefbedrijf (Vredepeel) op ongeveer 40 km van Budel. Op deze afstand zijn de gehalten in de bodem vergelijkbaar met niet-specifiek belaste zandgronden in Nederland.

Naast de bemonstering van alleen grond heeft het onderzoek in 2004 zich gericht op de bemonstering van de gewassen aardappel en graan. Dit omdat in 2003 maar weinig aardappelpercelen bemonsterd konden worden, en omdat er toen geen graanpercelen bemonsterd zijn.

2.2 Bemonstering

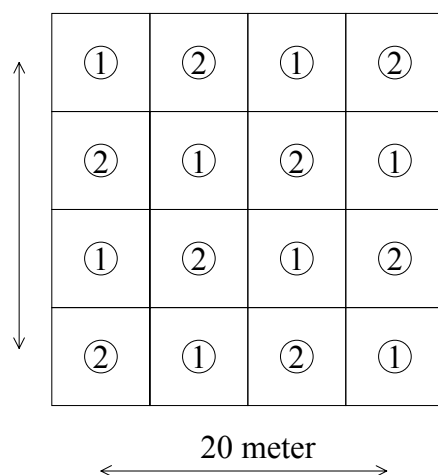
2.2.1 Bodembemonstering

De bodembemonstering is afhankelijk van het bodemgebruik uitgevoerd. Bij bouwland is de bouwvoor bemonsterd (0 - 20 cm), en bij grasland is bemonsterd van 0-10 cm. In het geval dat er gewas is bemonsterd (aardappel of graan) zijn twee monsters per perceel zijn bemonsterd (een duplo bemonstering), en 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

Aardappel

Voor aardappel is het onderzoek gericht op het cadmiumgehalte in het product: de knollen van consumptieaardappelen (geen pootaardappelen). Het aantal aardappelen per mengmonster is beperkt tot in totaal 2 kg (versgewicht). De aardappelen zijn gewassen voor het verkleinen, drogen en malen. De aardappels zijn niet geschild in 2003. In het vervolgonderzoek van 2004 (dit rapport) zijn de aardappelen geschild en daarna geanalyseerd



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

Granen

Voor granen is het onderzoek gericht op het cadmiumgehalte in de aar. Stro is ook een produkt maar wordt niet geconsumeerd door dieren.

2.3 Verloop van bemonsteringen

De bemonsteringen (grond en gewas) zijn uitgevoerd in de periode van 14 juli tot 29 oktober 2004. Alle percelen met aardappelen en granen zijn bemonsterd bij de deelnemers van het onderzoek. Echter door de vroege oogst van 1 graanperceel is daar het graan niet bemonsterd. De bemonsteringsdata van alle graan- en aardappellocaties lagen tussen 14 en 26 juli.

2.4 Analyses

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

1. een extractie met 0,43 M HNO₃ ten behoeve van het zogenaamd reactief gehalte of potentieel beschikbare cadmium en zink. Het geeft een maat voor het cadmium 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 CaCl₂ ten behoeve van de pH, en het zogenaamd actueel beschikbaar gehalte cadmium en zink. Het geeft een maat voor het cadmium en zink in het bodemvocht.

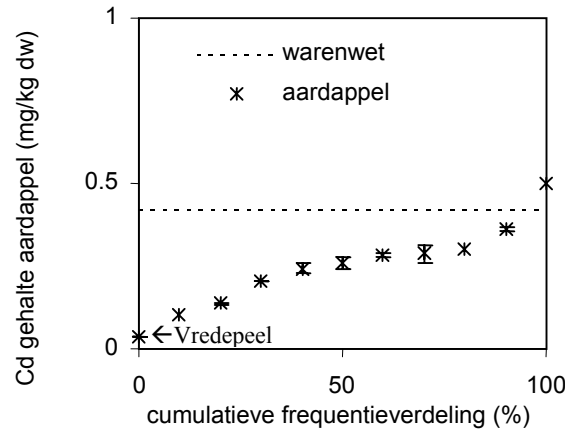
Beide extracties zijn uitgevoerd omdat uit eerder onderzoek is gebleken dat de extractie met CaCl₂ vaak beter te relateren zijn aan de gehalten in gewassen dan die

met HNO_3 . De resultaten met de HNO_3 extractie zijn echter eenvoudiger te gebruiken. In het vorige onderzoek 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 aardappelen en de granen voldoet ligt het voor de hand om deze resultaten te gebruiken in het advies.

3 Resultaten

3.1 Gewaskwaliteit

3.1.1 Kwaliteit aardappelen



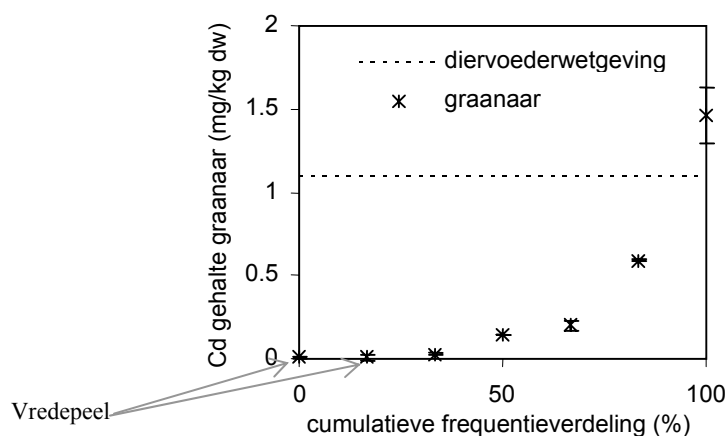
Figuur 3.1 Cumulatieve frequentieverdeling van cadmium in aardappel. Gegeven wordt het gemiddelde gehalte +/- stdev. Aangegeven is de referentielocatie te Vredepeel op 35 km afstand

In 2003 en 2004 zijn een aantal locaties bemonsterd met aardappelen (in 2003 en 2004, resp. 3 en 8 locaties). In Figuur 3.1 worden de gemeten cadmiumgehalten in aardappel gegeven ten opzichte van de daarvoor geldende normen (Bijlage 3). Aardappelen zijn wat betreft hectares wat minder belangrijk dan gras en maïs maar zijn consumptiegewassen waardoor de norm strenger is dan in geval van gras en maïs. De norm voor cadmium is op basis van versgewicht. Om de norm te relateren aan de analyses (op basis van droge stofgehalten) zijn de droge stofgehalten zoals gegeven in Bijlage 6 relevant. De norm voor aardappel bedraagt 0.1 mg kg^{-1} op basis van vers gewicht, wat ongeveer overeenkomt met 0.41 mg kg^{-1} op droge stof basis. De gemeten waarden variëren van 0.13 tot 0.47 mg kg^{-1} op droge stof basis (mediaan $0,26 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ dw}$).

Voor aardappel is één normoverschrijding ² geconstateerd (betreft 1 van de 11 onderzochte locaties in het gebied). De gehalten zijn duidelijk hoger dan het landelijk gemiddelde en de waarden die zijn aangetroffen in de referentie locatie.

In 2003 zijn de aardappelen foutief niet geschild alvorens ze te analyseren. In 2004 zijn de aardappelen wel geschild. De gehalten aan contaminanten (bijvoorbeeld lood) kunnen sterk afhangen van het wel of niet meenemen van de schillen bij de analyses. Uit de literatuur blijkt echter dat het schillen van aardappelen nauwelijks effect heeft op de cadmiumgehalten van het produkt (Samoe-Petersen et al., 2002).

² $0,5 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ dw}$, de pH van deze locatie was 4,5



Figuur 3.2 Cumulatieve frequentieverdeling van cadmium in granen. Gegeven wordt het gemiddelde gehalte +/- stdev. Aangegeven is de referentielocatie te Vredepeel op 35 km afstand (2 monsters)

3.1.2 Kwaliteit granen

In 2004 zijn een aantal locaties bemonsterd met tarwe (6 percelen) en gerst (1 perceel). Twee locaties zijn bemonsterd als referentielocaties (op 38 km afstand van Budel). In één geval gaat het om een consumptiegewas (baktarwe) waardoor de norm een strenger is dan in geval van veevoeder (voor broodtarwe 0.19 mg Cd per kg op basis van drooggewicht, voor veevoeder 1,1 mg Cd per kg op basis van drooggewicht, zie Bijlage 2). In Figuur 3.2 worden de gemeten cadmiumgehalten in de aren gegeven ten opzichte van de daarvoor geldende normen (veevoeder).

Voor graan is één normoverschrijding geconstateerd³ (betreft 1 van de 5 onderzochte locaties in het gebied). De gehalten zijn duidelijk hoger dan het landelijk gemiddelde en de waarden die zijn aangetroffen in de twee referentie locaties.

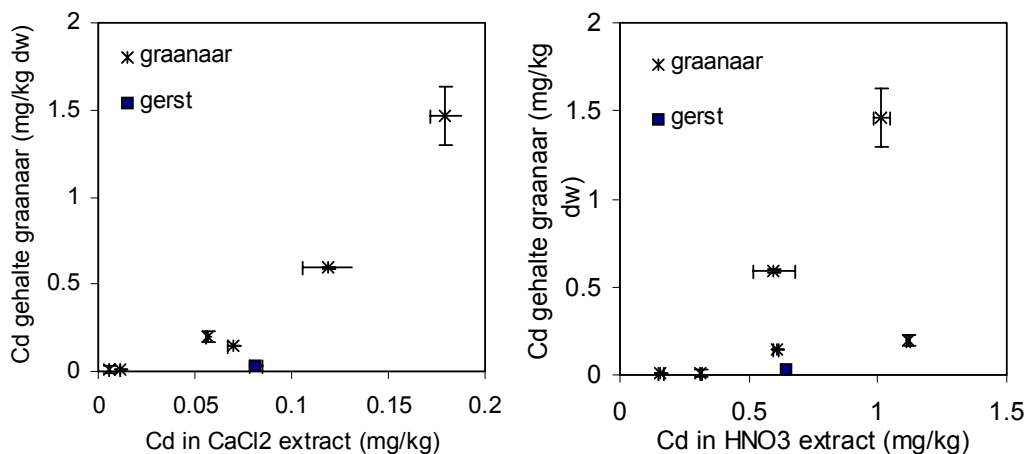
De opname van Cd (0.03 mg/kg ds) door gerst (1 perceel) is lager dan bij tarwe ondanks de relatief hoge Cd (0.65 mg/kg) in de grond. Aangezien bekend is dat granen in hun opname van cadmium onderling relatief sterk kunnen verschillen is gerst niet meegenomen in de bodem-gewas analyse (zie Bijlage 1).

3.2 Bodem-gewas relaties

3.2.1 Resultaten

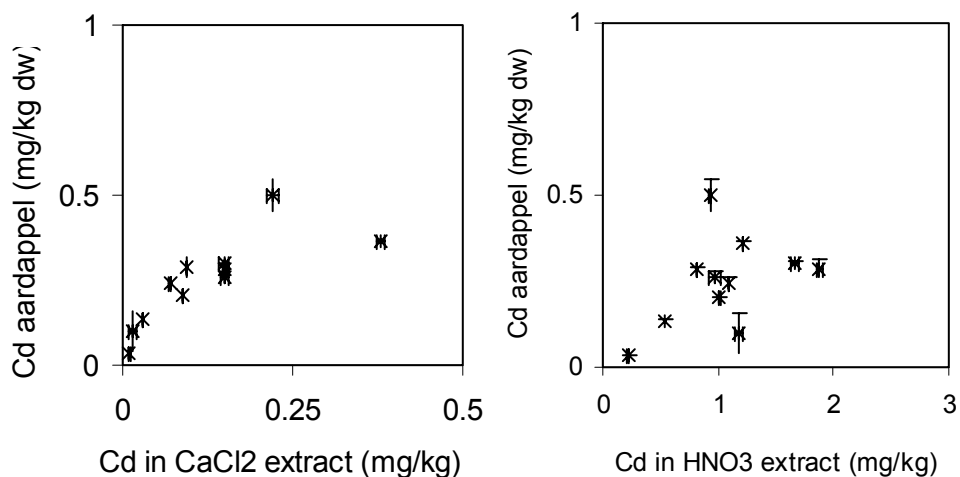
De achtergronden en modelconcepten die ten grondslag liggen aan de analyse van de bodem-gewasrelatie zijn beschreven in het vorige rapport (Rietra et al, 2004: Alterra-rapport 974). In het huidige rapport worden de resultaten gegeven voor de aardappelen en granen.

³ 1,5 mg.kg⁻¹ dw, de pH op deze locatie was 5,2.



Figuur 3.3 Relatie tussen cadmiumgehalte in graan en in de bodem: geëxtraheerd met CaCl_2 (a) en met HNO_3 (b). De horizontale en verticale lijnen bij ieder punt geven de mate van spreiding aan tussen de duplo bepalingen

In Figuur 3.3 zijn de cadmiumgehalten in de granen uitgezet tegen de twee gebruikte bodemextracties (CaCl_2 en HNO_3). Deze extracties geven een maat voor respectievelijk 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. In het geval van de HNO_3 extractie is de relatie zoals te verwachten in bij gronden met verschillende pH's niet eenduidig. Hetzelfde geldt voor de aardappel zoals te zien is in Figuur 3.4. Daarom wordt gewerkt met relaties zoals gegeven in het vorige rapport (Alterra-rapport 974) waarin naast de HNO_3 extraheerbaar cadmium ook de pH (en evt. organische stof) wordt meegenomen als verklarende variabelen. In Tabel 3.1 worden de resultaten gegeven van verschillende regressievergelijkingen om de cadmium- en zinkopname in aardappel en granen te berekenen.



Figuur 3.4 Relatie tussen cadmiumgehalte in aardappel en in de bodem: geëxtraheerd met CaCl_2 (a) en met HNO_3 (b). De horizontale en verticale lijnen bij ieder punt geven de mate van spreiding aan tussen de duplo bepalingen

Tabel 3.1 Overzicht van resultaten voor de verschillende regressiemodellen voor aardappel (n=11)*

	Regressie parameters				R ²	se(Y-est)
	Int	metaal	pH	org. stof		
Model: Bodem (HNO₃) -plant						
Cadmium	0.99	0.88	-0.32	ns	0.84	0.14
Zink	0.76	0.95	-0.08	-0.86	0.83	0.15
Model: CaCl₂						
Cadmium	-0.01	0.62			0.88	0.12
Zink	1.14	0.39			0.56	0.21
Model: CaCl₂/pH						
Cadmium	-0.85	0.79	0.20		0.92	0.10
Zink	-0.79	0.62	0.34		0.71	0.18

*geen onderscheid is gemaakt tussen geschilde en ongeschilde aardappelen. . Uit de literatuur blijkt dat het schillen van aardappelen nauwelijks effect heeft op de cadmiumgehalten van het produkt (Samoe-Petersen et al., 2002)

Tabel 3.2 Overzicht van resultaten voor de verschillende regressiemodellen voor tarwe (aar) (excl. gerst) (n=6)

	Regressie parameters				R ²	se(Y-est)
	Int	metaal	pH	org. stof		
Model: Bodem (HNO₃) -plant						
Cadmium	7.91	2.46	-1.57	ns	0.89	0.41
Zink	3.48	1.08	-0.65	ns	0.91	0.15
Model: CaCl₂						
Cadmium	1.20	1.58			0.95	0.23
Zink	1.44	0.57			0.91	0.13
Model: CaCl₂/pH						
Cadmium	-2.26	1.73	0.70		0.97	0.20
Zink	-0.32	0.63	0.33		0.94	0.12

De voorspellende waarde van cadmium of zink in het CaCl₂ extract voor de cadmium- of zinkgehalten in aardappel of granen is over het algemeen beter dan de HNO₃ extractie. Het aantal percelen met tarwe was zes. Op één perceel stond gerst. Dit is niet meegenomen bij de regressievergelijkingen voor granen (=tarwe).

De variatie van organische stof in de bodem is gering waardoor het meenemen van deze parameter in de bodem-gewasrelaties niet significant leidt tot betere relaties (min.- max.: 2.9-5.8% bij granen; 2.6 -6.8% bij aardappel).

De bodem-gewasrelatie voor cadmium in aardappel op basis van het HNO₃ extraheerbaar Cd en de pH is goed (R² en standard error) en bovendien verklaard het meenemen van de variabele pH veel van de verschillen die te zien zijn in Figuur 3.4 b. De bodem-gewasrelatie voor cadmium in granen op basis van het HNO₃ extraheerbaar Cd en pH lijkt goed maar is maar gebaseerd op zes percelen. De parameters worden sterk bepaald door 1 monster. De regressieparameter voor pH is daardoor erg hoog (-1.57). Ter vergelijking, in recent Engels onderzoek (aan 246 bodem- en tarwemonsters) vond men als pH parameter -0.16 (Adams et al., 2004). De pH parameter is voor cadmium en voor zink (bij alle onderzochte gewassen behalve tarwe in dit onderzoek) in die orde van grootte (-0.08 à -0.4)(Rietra et al., 2004).

3.2.2 Omgaan met de bodem-gewasrelaties

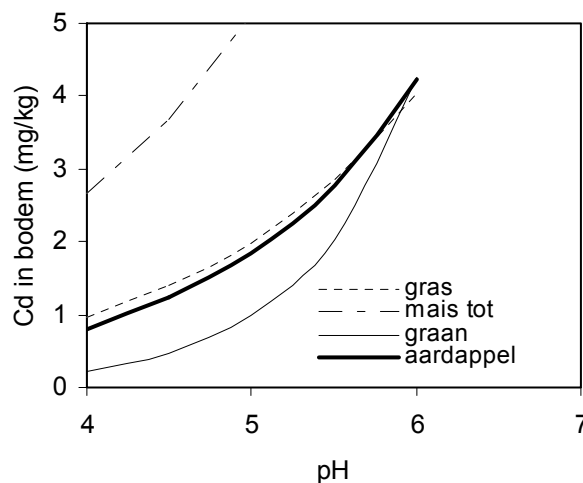
Aangezien de bodem-gewasrelaties op basis van de extractie met HNO_3 voldoen wordt in het onderstaand advies alleen gesproken over deze relaties en niet de bodem-gewasrelaties op basis van CaCl_2 . De resultaten op basis daarvan zijn daarom alleen te vinden in een bijlage (Bijlage 7).

Tabel 3.3 Overzicht van regressiemodellen op basis van cadmium in HNO_3 extract voor verschillende gewassen

	Int	metaal	pH	org. stof	R2	se(Y-est)
aardappel	0.99	0.88	-0.32	ns	0.84	0.14
tarwe (aar)	7.91	2.46	-1.57	ns	0.89	0.41
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

In Tabel 3.3 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 gewas is maïs. Gras en aardappelen zijn ongeveer even kritische. Te zien is dat graan (tarwe) het meest kritische is (hier gebruik als voedergewas). Het is tegelijkertijd het gewas waar het minste locaties van zijn onderzocht. Bij gebruik als broodtarwe zijn de kritische bodemgehalten ongeveer een factor 2 lager⁴ omdat de norm in de warenwet lager is dan de norm in de wet voor diervoeders. Het minst kritische is maïs: bij hoge cadmiumgehalten is dus eventueel te overwegen om alleen maïs te telen en geen andere gewassen.



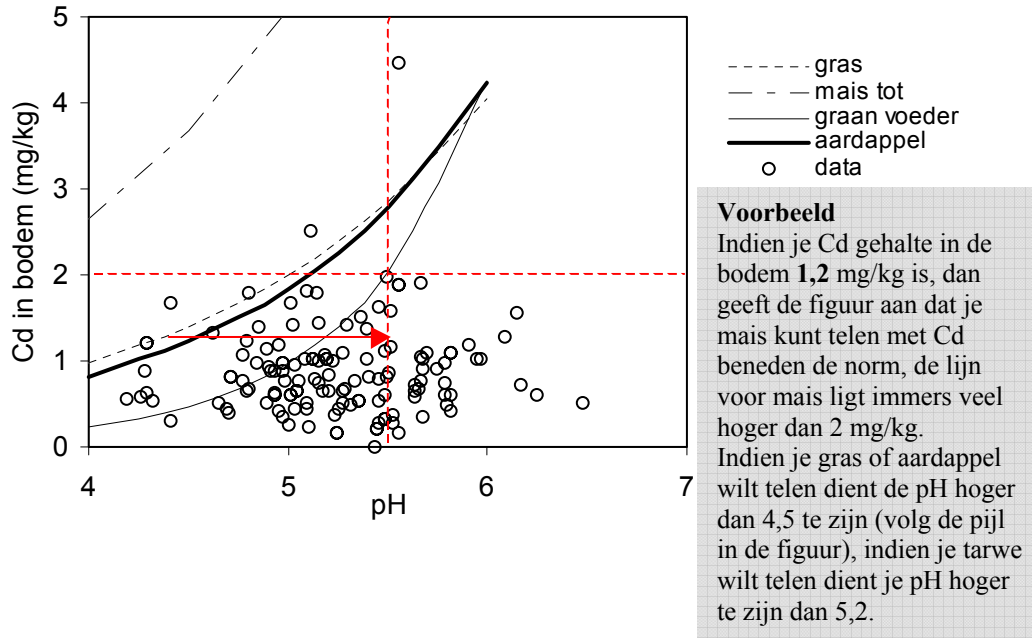
Figuur 3.5 Bodem-gewasrelaties voor de verschillende gewasgroepen. Het voorspelt normoverschrijdingen voor cadmium in de genoemde gewassen bij de gegeven pH en cadmiumgehalten in de bodem indien ze boven de lijn liggen. Het meeste kritisch is graan, en het minst kritisch is maïs (aanname: grond bevat 4% organische stof)

⁴ Berekend met de bodem-gewas relatie voor tarwe uit Tabel 3.2 maar met de gewasnorm voor broodtarwe.

In Bijlage 3 zijn de verwachte cadmium- en zinkgehalten in de gewassen gegeven afhankelijk van de pH en de cadmium- en zinkgehalten in de bodem.

Relevant om nog te noemen is dat in een andere onderzoek voor AbdK (Alterra-rapport 1129) naar bodem-gewasonderzoek in moestuinen in de Kempen ook enkele lichte normoverschrijdingen zijn gevonden bij cadmiumgehalten in de bodem lager dan 0,5 mg/kg (het betreft: andijvie, sla, prei, aardappel, wortelen, boerenkool). De zuurgraad is in alle gevallen dat er een normoverschrijding is gevonden lager dan 5,5. Bij pH's hoger dan 5,5 zijn geen overschrijdingen aangetroffen in de gewassen. Hieruit valt op te maken dat andere gewassen (relevant zijn voor tuinders) dan tarwe, gras, mais en aardappelen kritischer zijn. Op dit moment loopt er ook een experiment op een locatie nabij de zinkfabriek waarbij gekeken wordt naar de effecten van pH verhoging (via kalk of cement) op aardappel, gras, prei, schorseneren en tarwe. Deze resultaten zijn nog niet gerapporteerd.

4 Conclusies



Figuur 4.1 Zuurgraad en cadmiumgehalten (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 cadmiumgehalten 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 en 2004 is uitgevoerd samen. Het geeft een beeld van alle pH en cadmiumgehalten die aangetroffen zijn in het gebied. Tevens brengt het in beeld bij welke pH en cadmiumgehalten normoverschrijdingen verwacht worden bij de verschillende gewassen. De cadmiumgehalten (HNO_3 extractie) liggen behoudens 2 uitzonderingen beneden de 2 mg/kg. De zuurgraad varieert van 4,2 tot 6,5.

De bodem-gewasrelatie voor tarwe is niet betrouwbaar omdat het gebaseerd op metingen van maar 4 locaties in het gebied. Als we die relatie toch gebruiken dan moeten we concluderen dat een pH van 5,5 of hoger (of pH 5: bij cadmiumgehalten $< 1 \text{ mg/kg}$) leidt tot cadmiumgehalten beneden de norm voor tarwe.

Als er geen tarwe geteeld zou worden, zijn er maar heel weinig normoverschrijdingen in het gebied te verwachten: het betreft dan enkele normoverschrijdingen bij aardappelen en gras bij zure bodems met relatief hoge cadmiumgehalten (hoger dan 1 mg/kg). Een relatief geringe pH stijging leidt tot cadmiumgehalten beneden de norm in gras en aardappel. Bij maïs zijn geen normoverschrijdingen te verwachten (maïs totaal: kolf+stengel en blad) bij de aangetroffen pH en cadmiumgehalten in het gebied.

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.

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

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. Römkens 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.

Römkens, 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.

Samsoe-Petersen, L., E.H.Larsen, P.B. Larsen, P. Bruun (2002) Uptake of Trace Elements and PAHs by Fruit and Vegetables from Contaminated Soils. *Environ. Sci. Technol.* 36, 3057-3063.

Bijlage 1 Cadmium- en zinkgehalten in bodem en gewas (2003 en 2004)

Graan (bemonsterd in 2004, monster a is gerst, de rest is tarwe)					CaCL2	CaCL2	HNO3	HNO3	Gewas aar	Gewas aar	Gewas stro	Gewas stro	Gewas Aar	
horizont	Begin-diepte	Eind-diepte	Org. Stof	pH	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	
locatie	cm		[%]		[mg/kg]		[mg/kg]		[mg/kg]		[mg/kg]		mg/kg vers	
a	1	0.0	25	3.2	5.0	0.08	7.3	0.65	45.3	0.03	55	0.16	87	0.015
b	1	0.0	45	3.8	5.5	0.06	3.7	1.12	63.1	0.20	52	0.36	90	0.102
c	1	0.0	25	3.0	4.9	0.07	2.9	0.61	20.9	0.15	33	0.35	74	0.084
d	1	0.0	30	2.9	5.0	0.07	4.7	0.34	22.8	0.59	86	1.41	257	0.339
e	1	0.0	30	4.2	5.2	0.18	17.1	1.01	86.8	1.46	189	4.04	621	1.044
f	1	0.0	25	3.7	5.2	0.01	0.9	0.16	13.2	0.01	25	0.04	14	0.003
g	1	0.0	20	5.8	5.5	0.01	0.3	0.31	17.9	0.01	16	0.04	6	0.003

Locaties f en g zijn referentielocaties op 38 km van Budel.

Aardappel (a t/m c 2003, d t/m k 2004)					CaCL2	CaCL2	HNO3	HNO3	gewas	gewas	gewas	
horizon	begindiepte	Einddiepte	Org. Stof	pH	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	
locatie	cm		[%]	extract		[mg/kg]			[mg/kg]		[mg/kg vers]	
a	1	0	25	3.8	5.9	0.02	1.0	1.18	64.8	0.1	38	
b	1	0	25	4.2	4.5	0.22	15.6	0.93	47.2	0.5	43	
c	1	0	25	5.7	5.0	0.15	15.1	1.66	120.7	0.3	35	
d	1	0	25	6.8	5.5	0.10	7.8	1.88	119.8	0.29	29	0.05
e	1	0	25	3.2	5.8	0.07	3.1	1.09	52.9	0.24	27	0.04
f	1	0	25	4.9	5.1	0.09	6.8	1.01	60.2	0.20	32	0.04
g	1	0	25	4.7	5.0	0.15	13.1	0.97	66.1	0.26	40	0.04
h	1	0	30	2.6	4.7	0.15	10.8	0.82	43.2	0.28	29	0.05
i	1	0	25	3.0	4.3	0.38	28.6	1.22	63.5	0.36	39	0.07
j	1	0	25	5.1	5.4	0.01	0.3	0.22	11.0	0.04	3	0.01
k	1	0	25	4.1	5.3	0.03	2.4	0.54	32.1	0.13	23	0.03

De aardappelen in 2003 zijn ongeschild. De aardappelen in 2004 waren geschild.
Locatie j is een referentielocatie op 38 km van Budel.

Bijlage 2 Normen voor cadmium- en zinkgehalten in gewassen

- De normen voor gewassen zijn vastgelegd in de warenwetregeling Verontreinigen in levensmiddelen. De laatste wijziging was op 11 december 2001 op basis van een Europese verordening 466: verordening (EG) nr. 466/2001 van de Commissie van de Europese Gemeenschappen van 8 maart 2001 tot vaststelling van maximumgehalten aan bepaalde verontreinigingen in levensmiddelen (PbEG L 77).
- De maximumgehalten aan cadmium (1 mg.kg^{-1} vochtgehalte van 12%) in diervoeding zijn vastgelegd in Richtlijn 2002/32/EG van 7 mei 2002 (zie ook: Productschap voor Veevoeder, 1990). 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 toevoegingsmiddel, en is vastgelegd in de EU in Richtlijn 70/524/EEG (zie ook: Productschap voor Veevoeder, 1990). Deze norm geldt dus niet voor diervoeder als daar geen zink als toevoegingsmiddel is toegediend. 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 bedoeld om nadelige gevolgen voor de menselijke gezondheid en het milieu te beperken).

	maximumgehalte mg cadmium kg^{-1} per vers gewicht*	Per droog Gewicht [#]	Producten in dit onderzoek
Diervoederwet	1	1,1	Loof/knol van suikerbieten Gras Maïs tarwe
Warenwet	0,1	0,42 #	Aardappel
	0,1	0,5\$	Suikerbiet
	0,1	0,19	broodtarwe (Bijlage 5: 52.8 %ds)

* herleid tot een versgewicht van 12%.

[#]vochtgewichten op basis van Wiersma et al. (1988) en van Driel et al. (1986), (76% vocht) (in EPA Exposure Factors Handbook (1989): 83% vocht, in dit onderzoek op vier locaties bepaald in 2003 en gemiddeld: 79 %), in dit onderzoek in 2004 gemiddeld 82%.

\$in geval van suikerbiet is de norm van toepassing op de suikerbiet maar op de gefabriceerde suiker.

	Maximumgehalte mg zink kg^{-1} per vers gewicht*	per droog gewicht	Gewassen in dit onderzoek
diervoederwetgeving	250	284	suikerbieten Gras, maïs, loof van suikerbieten

* herleid tot een versgewicht van 12%.

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, maïs en gras zullen worden overschreden (op basis van relaties in Tabel 3.9 en 3.10 uit Alterra-rapport 974). Een tabel voor tarwe wordt vanwege het tekort aan gegevens nog niet gegeven.

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 (donkergrijze 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 (grijze 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

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

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
[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

Bijlage 4 Bodemanalyses 2005

nr bedrijf	veld	Eind- diepte	gewas	Gloeiverlies	CaCl ₂ ext	CaCl ₂ ext	CaCl ₂ ext	HNO ₃ extr	HNO ₃ extr
				org.stof %	pH	Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]
						0.001	0.1	0.01	0.17
1	2	30	mais	5.06	4.85	0.191	16.3	1.38	68.11
1	4	25	bieten	2.71	4.97	0.012	8.9	0.88	48.21
1	6	30	mais	4.00	5.20	0.062	4.4	0.65	42.3
2	4	25	mais	5.57	5.51	0.023	0.9	0.85	32.35
2	6	30	mais	3.22	6.48	0.008	0.0	0.51	45.7
2	7	30	mais	3.17	5.79	0.021	1.2	0.60	55.1
2	9	30	mais	3.28	5.39	0.066	5.3	1.03	69.3
3	1	25	mais	3.37	4.93	0.012	8.2	0.64	35.04
3	2	25	gras	4.09	4.80	0.010	7.4	0.68	33.68
3	3	25	gras	3.84	5.03	0.005	2.0	0.44	15.29
3	4	25	mais	2.23	5.56	0.002	1.4	0.15	14.91
3	5	35	gras	3.65	4.95	0.006	3.3	0.41	17.15
3	6	25	gras	3.44	4.97	0.005	4.1	0.35	21.55
3	7	25	gras	3.54	5.09	0.005	2.3	0.44	18.32
3	8	25	gras	2.61	4.69	0.011	6.3	0.44	22.47
3	9	25	gras	2.88	5.09	0.017	10.4	0.50	26.01
3	10	25	gras	2.59	5.80	0.005	2.6	0.49	27.26
3	11	25	mais	2.86	4.70	0.008	3.4	0.40	14.69
3	14	25	gras	3.61	4.65	0.016	7.4	0.52	21.59
3	15	25	gras	3.77	5.27	0.009	5.4	0.65	36.99
4	1	45	graan	3.81	5.48	0.057	3.7	1.12	63.14
4	2	30	mais	3.30	4.28	0.219	14.3	0.88	37.9
4	3	25	graan	3.04	4.94	0.070	2.9	0.61	20.89
4	4	35	mais	2.04	5.79	0.049	3.0	0.75	49.66
5	1	30	mais	3.11	5	0.023	3.1	0.27	26.41
6	1	25	suikerbieten	3.74	6.09	0.022	0.8	1.29	74.62
6	3	35	coniferen	2.61	4.77	0.154	12.2	1.07	50.82
6	4	30	mais	2.98	6.17	0.013	0.3	0.72	48.6
6	5	30	mais	3.41	4.19	0.211	7.0	0.55	15.7
7	3	20	gras	4.03	4.29	0.016	7.9	0.63	24.37
7	6	25	mais	3.62	5.15	0.069	6.1	0.74	53.4
8	1	25	aardappel	6.84	5.56	0.095	7.8	1.88	119.85
8	2	30	gras	4.42	5.45	0.155	15.0	1.62	128.7
8	3	30	gras	4.06	5.15	0.164	14.4	0.99	64.4
8	4	25	mais	2.74	4.79	0.182	15.0	0.65	45.8
8	6	30	granen	2.98	5.01	0.118	7.8	0.60	37.38
8	8	25	mais	2.85	5.67	0.125	8.0	1.06	80.8
8	9	30	granen	4.21	5.20	0.180	17.1	1.01	86.77
8	10	30	gras	5.84	5.67	0.076	6.9	1.92	156.6
8	11	25	aardappel	3.18	5.82	0.070	3.1	1.09	52.95
8	14	30	mais	3.72	5.67	0.034	2.1	0.77	60.9
8	15	30	gras	3.66	5.95	0.034	0.8	1.03	63.8
8	16	25	aardappel	4.87	5.12	0.088	6.8	1.01	60.20

nr bedrijf	veld	Eind- diepte	gewas	Gloeiverlies	CaCl2ext	CaCl2ext	CaCl2ext	HNO3extr	HNO3extr
				org.stof %	pH	Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]
8	18	25	aardappel	4.69	4.97	0.151	13.1	0.97	66.12
8	19	35	mais	4.37	4.77	0.159	31.4	0.76	93.9
9	1	40	mais	3.80	5.45	0.053	4.9	0.78	70.8
9	3	30	aardappel	2.57	4.72	0.150	10.8	0.82	43.17
9	4	30	mais	2.57	4.91	0.122	7.3	0.87	34.68
9	6	30	mais	4.19	5.18	0.077	7.7	1.06	82.5
10	1	30	gras	3.41	4.93	0.099	9.8	0.89	59.6
10	2	30	asperges	2.69	5.28	0.056	6.5	0.68	62.9
10	3	25	aardappel	2.97	4.30	0.379	28.6	1.22	63.51
10	4	30	mais	2.96	4.26	0.146	10.6	0.59	28.3
10	6	25	mais	4.48	5.36	0.066	7.0	1.52	104.16
10	7	30	mais	3.06	4.32	0.142	7.3	0.53	19.6
10	8	30	mais	1.70	5.68	0.025	0.8	0.35	17.68
11	1	25	mais	3.85	5.64	0.015	0.8	0.73	63.6
11	2	30	mais	3.22	5.82	0.014	0.5	0.42	29.1
11	3	25	gerst	3.18	5.04	0.082	7.3	0.65	45.27
11	4	30	mais	2.72	5.23	0.028	2.3	0.37	29.0
11	5	30	mais	2.97	6.25	0.007	0.0	0.60	33.4
11	6	30	mais	4.27	5.70	0.073	2.2	1.10	61.7
11	7	30	mais	4.98	5.97	0.021	0.1	1.03	39.51
12	1	30	gras	4.88	5.52	0.125	8.8	1.58	120.3
12	2	25	mais	3.53	5.49	0.135	13.4	1.98	165.3
12	5	25	mais	4.49	5.66	0.154	14.9	0.68	62.9
12	7	25	mais	3.49	6.15	0.038	0.8	1.55	143.8
12	8	40	mais	5.05	5.68	0.048	2.8	1.02	68.3
12	9	25	mais	3.12	4.90	0.228	20.7	0.93	63.2
13	1	25	mais	3.17	5.31	0.058	4.0	0.48	31.18
13	2	25	bieten	3.07	5.17	0.089	7.3	0.66	38.44
13	3	30	gras	3.89	5.45	0.030	1.9	0.54	28.25
13	5	30	chichorei	4.25	5.33	0.057	4.6	0.76	45.30
14	1	25	granen	3.66	5.25	0.011	0.9	0.16	13.21
14	2	20	granen	5.81	5.49	0.006	0.3	0.31	17.87
14	3	25	aardappel	5.13	5.45	0.010	0.3	0.22	10.96
20	1	30	gras	0.89	5.43	0.001	0.1	0.00	1.47
20	2	25	aardappel	4.06	5.35	0.029	2.4	0.54	32.11
20	3	30	mais	2.87	5.26	0.036	2.5	0.44	23.00
20	4	30	mais	17.81	5.46	0.002	1.7	0.27	19.02

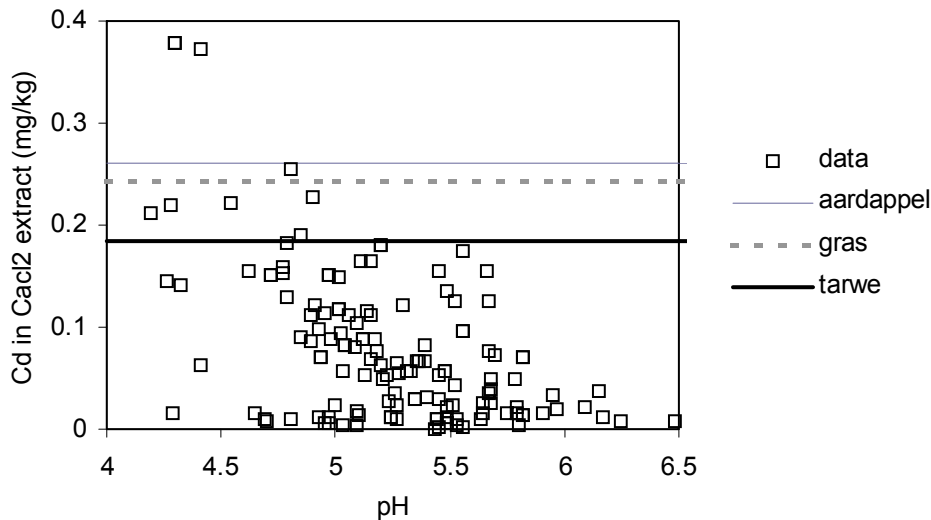
Bijlage 5 Droge stofgehalten gewassen

Tabel 1. Gemiddelde droge stofgehalte van bemonsterde granen en aardappel

	% droge stof
graan aren (n=14)	52.8
graan stro (n=14)	39.0
aardappel (n=16)	17.9

Bijlage 6 Omgaan met de bodem-gewasrelaties op basis van extractie met CaCl_2

Ook met de bodem-gewasrelaties op basis van de extractie met CaCl_2 kunnen kritische bodemgehalten berekend worden: gehalten waarbij met behulp van de regressievergelijkingen de normen overschreden worden (model CaCl_2 : in Tabel 3.1 en 3.2 uit dit rapport, en Tabel 3.9 en 3.10 uit Alterra-rapport 974). Berekend voor maïs, aardappel, gras en tarwe wordt respectievelijk 1, 0,26 , 0,24 en 0,18 mg/kg (extraheerbaar met CaCl_2).



Figuur 1. Zuurgraad en cadmiumgehalten (extractie met CaCl_2) van alle bodemmonsters in dit onderzoek. Boven de getrokken lijnen zijn overschrijdingen te verwachten van gewasnormen voor de genoemde gewassen

In Figuur 1 is te zien hoe de gemeten cadmiumgehalten (in CaCl_2 extract) in de grondmonsters uitkomen ten opzichte van de berekende kritische bodemgehalten in paragraaf 3.2.2. Te zien is dat een aantal locaties met relatief zure grond - te hoge extraheerbare cadmiumgehalten heeft. Bekalken zal naar verwachting leiden tot lagere hoeveelheden extraheerbaar cadmium, en dus tot een lagere actuele beschikbaarheid van cadmium voor gewassen. Tevens is in Figuur 1 te zien dat een aantal grondmonsters relatief hoge extraheerbare cadmiumgehalten hebben (beneden de hier gestelde grens maar toch relatief hoog: 0.1 à 0.2 mg/kg in CaCl_2 extract) en ook al relatief hoge pH's hebben ($\text{pH} > 5.5$). Bekalken is bij deze locaties niet te adviseren omdat het leidt tot opbrengstderving.