

Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen

Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen

Onderzoek 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. Römken
J. Japenga**

Alterra-rapport 974

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

R.P.J.J. Rietra, P.F.A.M. Römken, J. Japenga, 2004. *Cadmium en zink in de bodem en landbouwgewassen in de Kempen; Onderzoek naar relatie tussen cadmium en zinkgehalte in de bodem en in het gewas in de gemeente Cranendonck*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 974. 72 blz.; 10 fig.; 12 tab.; 14.. ref.

In opdracht van stichting Actief Bodembeheer de Kempen is onderzoek gedaan naar de relatie tussen cadmium en zink in de bodem en in gewassen. Verspreid rondom Budel en Soerendonk zijn 44 locaties bezocht waarbij bodem en gewasmonsters zijn genomen van maïs, gras, biet of aardappel. Bepaald zijn de cadmium- en zinkgehalten van verschillende bodemhorizonten en gewasproducten.

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

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 18,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 974. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 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	9
2 Materiaal en Methoden	11
2.1 Bemonsteringslocaties en Bodemtype	11
2.2 Bemonstering	11
2.2.1 Bodembemonstering	11
2.2.2 Gewasbemonstering	12
2.3 Verloop van bemonsteringen	13
2.4 Chemische analyses	14
2.5 Analyse van de bodem-gewasrelatie voor cadmium en zink	15
3 Resultaten	19
3.1 Gewaskwaliteit	19
3.1.1 Kwaliteit maïs	19
3.1.2 Kwaliteit gras	20
3.1.3 Kwaliteit bieten	21
3.1.4 Kwaliteit aardappelen	21
3.2 Relatie tussen cadmium en zinkgehalten in de bodem en de afstand tot de fabriek	22
3.2.1 Representativiteit	25
3.2.2 Relevantie van bodemtype	26
3.2.3 Verloop cadmium en zinkgehalten in bodemprofiel	26
3.2.4 Vergelijking van de resultaten met die uit eerdere onderzoeken	27
3.3 Bodem-gewas relatie	28
3.3.1 Resultaten	28
3.3.2 Omgaan met de bodem-gewasrelaties	34
3.3.3 Vergelijking van bodem-gewasrelaties uit andere onderzoeken	35
4 Conclusies	45
Literatuur	47
<i>Bijlagen</i>	
1 Cadmium- en zinkgehalten in bodem en gewas	49
2 Beschrijving boorpunten	55
3 Normen voor cadmium- en zinkgehalten in gewassen	57
4 Relatie tussen cadmium en zink in de bodemmonsters	59
5 Verloop van cadmium in bodemprofielen	61
6 Opzoektabelen	65
7 Schatting gebied en kosteninschatting maatregelen	67

Samenvatting

In opdracht van Actief Bodembeheer de Kempen is onderzoek gedaan naar de relatie tussen cadmium en zink in de bodem enerzijds en die in een aantal landbouwgewassen anderzijds. Verspreid rondom Budel en Soerendonk zijn 44 locaties onderzocht waarbij bodem- en gewasmonsters (maïs, gras, suikerbiet en aardappel) zijn genomen. Op elke locatie zijn naast de cadmium- en zinkgehalten van verschillende bodemhorizonten en gewasproducten ook de bodemparameters organische stof en pH bepaald alsmede. Tenslotte is voor elk bodemmonster een schatting gemaakt van de actuele beschikbaarheid van cadmium en zink middels een extractie van de bodem met 0,01M CaCl₂.

De gehalten aan cadmium en zink in de bemonsterde gewassen zijn in de meeste gevallen beneden de daarvoor geldende normen (in geval van Cd een wettelijke norm, en in geval van zink een adviesnorm) en zijn in overeenstemming met eerdere onderzoeken. Bij alle onderzochte gewassen (maïs, gras, bieten en aardappelen) zijn echter ook normoverschrijdingen gevonden: 1 van de 22 locaties bij maïs (oorzaak: zink), 1 van de 15 locaties bij gras (cadmium en zink), en 1 van de 3 locaties bij aardappelen (cadmium). De normoverschrijdingen zijn gering behalve als suikerbietenloof en stengel+blad van maïs gebruikt zou worden als veevoeder (oorzaak: cadmium en zink). Een dergelijk gebruik van loof is echter geen normale landbouwpraktijk. Regressievergelijkingen zijn afgeleid voor de relatie tussen de metaalgehalten in gewas (maïs en gras) en bodemparameters. De beste voorspellingen van de cadmium- en zinkgehalten in gewassen worden verkregen op basis van de gemeten pH en de metaalconcentraties in een 0,01 M CaCl₂ bodemextract. Het gebruik van de CaCl₂ extracties is daarom van toepassing 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 HNO₃ extracties is daarentegen toepasselijk om de omvang van het gebied waar de normen voor de gewassen overschreden kunnen worden vast te stellen. Op basis van de resultaten is een schatting gemaakt van de grootte van het gebied waarin normoverschrijdingen plaats kunnen vinden. Daarbij zijn ook de kosten van maatregelen om de normoverschrijdingen te voorkomen ingeschat.

1 Inleiding

Probleemstelling

Als gevolg van het vóórkomen van verhoogde gehalten aan Cd en Zn in de bodem in de Kempen voldoet de gewaskwaliteit van landbouwproducten mogelijk niet aan de vereiste norm (warenwet dan wel veevoeder norm) (van Luit en Smilde, 1983; van Luit, 1984; Brus et al., 2002). Echter op basis van alleen de gegevens over de cadmium- en zinkgehalten in de bodem kan niet afdoende ingeschat worden of deze kans groot is. Het belangrijkste doel van Actief Bodembeheer de Kempen is daarom:

1. vaststellen of er sprake is van normoverschrijding voor Cd en Zn in landbouwgewassen;
2. nagaan of de relatie tussen bodem- en gewaskwaliteit voorspeld kan worden op basis van eenvoudige metingen;
3. vaststellen hoe groot het gebied is waar normoverschrijdingen voorkomen;
4. nagaan welke de maatregelen zijn die genomen kunnen worden om de opname van cadmium en zink in geval van normoverschrijding te verlagen.

Middels deze aanpak moet het mogelijk zijn de bestaande onzekerheid over de kwaliteit van landbouwproducten in de Kempen weg te nemen en te komen tot een gebiedsgerichte aanpak.

Dit onderzoek richt zich op het in beeld brengen van de gewaskwaliteit van landbouwproducten in de Kempen bij een beperkt aantal bedrijven. Doel is bepalen van de relaties tussen metaalgehalten in de bodem enerzijds en de gewassen anderzijds. De relaties maken het mogelijk om na te gaan of een grond geschikt is voor landbouwactiviteiten of dat er beperkingen zijn. Dat kan zowel liggen aan de metaalgehalten in de bodem als aan de bodemeigenschappen (zuurgraad, organisch stofgehalte, textuur). Er wordt daarom op een aantal locaties metingen verricht aan de samenstelling van de bodem en de gehalten aan metalen in het gewas.

Relatie met landelijke beleidsontwikkelingen

In 2003 zijn BodemGebruiksWaarden afgeleid voor de landbouw en natuur (De Vries et al., 2003; Van Wezel et al., 2003). In dat kader wordt getracht de kennis op het gebied van bodemchemie en gewaskwaliteit te koppelen en te komen tot een systeem van integrale risicoschatting. De daarbij gevolgde werkwijze is ook toepasbaar in de Kempen waarbij echter gebiedsspecifieke gegevens op het gebied van bodemkwaliteit en de relatie tussen bodemsamenstelling en gewaskwaliteit nodig zijn. De bodem- en gewasrelaties die op dit moment beschikbaar zijn, zijn namelijk opgesteld op basis van landelijke data die naar alle waarschijnlijkheid slechts beperkt toepasbaar zijn voor de bodems in de Kempen (De Vries et al., 2003).

Het doel van het huidige onderzoek is dan ook na te gaan in hoeverre landbouw in de Kempen zonder restricties mogelijk is en of er aanvullende maatregelen nodig zijn. In het uiterste geval kan het noodzakelijk zijn restricties op te leggen aan de landbouw in bepaalde gebieden.

Doelstellingen en afbakening van het huidige onderzoek

De doelstellingen van dit onderzoek zijn:

1. Vaststellen van de huidige kwaliteit van de landbouwgewassen in de Kempen;
2. Verrichten van metingen aan bodem- en gewaskwaliteit om de relatie tussen beide modelmatig te kunnen beschrijven (bodem - plant relaties)

In dit project is enkel gekeken naar de omgeving rondom de zinkfabriek te Budel in de gemeente Cranendonck. Bovendien worden alleen de zware metalen cadmium en zink behandeld omdat die metalen direct relevant zijn voor de problematiek in de Kempen. In geval van cadmium geldt een wettelijke norm voor alle diervoeding. In geval van zink geldt een norm voor diervoeding indien zink ook wordt toegevoegd als nutriënt (zie Bijlage 3). De norm voor zink is derhalve te gebruiken als adviesnorm voor een verantwoord gebruik van diervoeding.

Aan doelstelling 1 kan dit onderzoek niet geheel voldoen omdat er maar bij een beperkt aantal bedrijven (14) onderzoek gedaan is. Dit wordt verantwoord in paragraaf 2.1. De resultaten zijn op dit moment dus nog niet representatief voor de Kempen als geheel. Aan doelstelling 2 kan dit onderzoek alleen voldoen voor maïs en gras omdat voor de overige gewassen niet genoeg te bemonsteren percelen beschikbaar waren.

Indeling rapportage

Hoofdstuk 2 beschrijft de gekozen aanpak (materiaal en methoden), o.a. selectie van locaties, bemonstering, voorbehandeling etc. In hoofdstuk 3 komt vervolgens de kwaliteit van de gewasproducten aan de orde met betrekking tot cadmium en zink. Hierbij komen ook relevante aspecten voor een risicoanalyse aan de orde zoals de regionale verspreiding van cadmium en zink in de bodem in gebied en gehalten (en veranderingen daarin) in de onderscheiden bodemhorizonten. Tenslotte wordt de relatie afgeleid tussen cadmium en zink in de bodem en in de gewasproducten. Het is namelijk deze relatie die het mogelijk maakt om op basis van bodemonderzoek, of op basis van kaarten van cadmium in de bodem, het risico van normoverschrijdingen in gewasproducten in te schatten.

Hoofdstuk 4 bevat de conclusie. Informatie die niet direct essentieel is voor de interpretatie en de conclusies zijn in aparte bijlagen opgenomen.

Dit betreft onder andere een inschatting van het gebied waarin normoverschrijdingen kunnen plaatsvinden en een kosteninschatting van maatregelen om de overschrijdingen te voorkomen (Bijlage 7).

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 en Bodemtype

In totaal 14 bedrijven hadden aangegeven dat ze mee wilden doen aan het onderzoek. Op het moment dat de toestemming gegeven was bleek dat bij één van de bedrijven al geoogst werd waardoor er 13 bedrijven over bleven voor het onderzoek. Er is één extra locatie geselecteerd om als 'referentie' te dienen. Het betreft een proefbedrijf (Vreedepeel) dat op ongeveer 40 km van Budel ligt. Op deze afstand zijn de gehalten in de bodem vergelijkbaar met niet specifiek belaste zandgronden in Nederland.

Om voldoende combinaties van bodem-gewas te krijgen, zijn bij de meeste bedrijven meerdere percelen bemonsterd. In totaal zijn 44 percelen bemonsterd: 23 locaties met maïs, 15 locaties gras, 3 locaties aardappel en 3 locaties met bieten. De locaties liggen verspreid over de gemeenten Budel en Cranendonck: rondom Budel-Dorplein tot aan Maarheeze. De locaties worden in dit onderzoek niet verder aangeduid zodat de analyses niet gekoppeld kunnen worden aan bepaalde bedrijven of locaties.

In de bemonsterde percelen zijn verschillende bodemtypen aanwezig: 17 locaties met een gooreerdgrond, 9 met een veldpodzolgrond, 7 met een laarpodzolgrond, 6 met een beekerdgrond, en 3 locaties met een enkeerdgrond. Bodems met een agrarische functie ten oosten van Budel zijn volgens de bodemkaart iets lemiger dan ten westen van Budel. Het is niet duidelijk of deze verschillen in bodemtype relevant zijn voor de cadmiumgehalten in de bodem en cadmiumopname door gewassen. In geval van een potentiële maatregel zoals diepploegen geeft inzicht in het bodemtype wel relevant informatie over het verloop van de organische stofgehalten als functie van de diepte.

2.2 Bemonstering

2.2.1 Bodembemonstering

De bodembemonstering is afhankelijk van de bodem en de gewastypen uitgevoerd. Dat betekent dat de monsters uit de bodem genomen zijn van de verschillende bodem*horizonten* en niet, zoals vaak gebeurt, op vaste diepten. In de meeste gevallen zijn 3 à 4 belangrijke bodemlagen (Ap, BC, C) aanwezig (en bemonsterd) tot een diepte van 100 cm. Voor bouwland is dat in ieder geval de bouwvoor (0 - 20 cm), de AB of B horizont daaronder (in veel gevallen lopend van 20 tot 40 à 50 cm), de BC-horizont (tot een diepte van 60 à 70 cm) en de C-horizont (moedermateriaal). Van elke laag is een mengmonster gemaakt bestaande uit 10 individuele steken (maïs) dan wel 8 steken (gras, bieten, aardappelen). Omdat voor grasland vaak de 0 - 5 cm laag bemonsterd wordt (voor standaard bemestingsadviezen of onderzoek) is van de 0 - 5

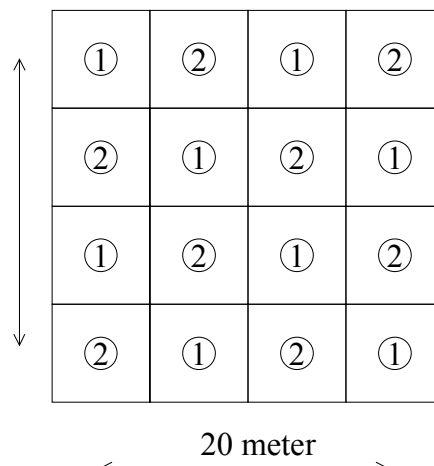
cm laag een apart monster genomen. Tevens is de rest van de bovenste horizont (van 5 tot 20 à 30 cm) bemonsterd.

2.2.2 Gewasbemonstering

Mais

Voor maïs is het onderzoek gericht op het cadmium- en zinkgehalte in de verschillende onderdelen van maïs, namelijk de stengel, de bladeren en kolf. Dit is gedaan omdat voor snijmaïs het hele gewas gebruikt wordt als veevoeder terwijl in geval van korrelmaïs alleen de kwaliteit van de kolf van belang is.

Van elk onderdeel is 1 à 2 kilo materiaal bemonsterd verspreid over een locatie van 10 bij 10 meter, samengevoegd tot een mengmonster. Per monsterlocatie zijn ongeveer 5 planten geoogst waarbij de kolven en stengel+bladeren apart zijn bemonsterd. Uit de separate analyses van kolf en stengels+bladeren is uiteindelijk het gehalte van de hele plant afgeleid (kolf+stengel+blad). Hiervoor is gebruik gemaakt van bestaande gegevens van de gemiddeld opbrengst (in kilo per hectare) van kolf versus stengels en bladeren.



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

Gras

Gras wordt gebruikt als veevoeder, hetzij door koeien die in de wei grazen dan wel als gekuild materiaal dat in de stal wordt gevoerd. Het gras wordt na de bemonstering dus niet gewassen. Locaties van 20x20 m zijn bemonsterd in een raster van 16 plekken zoals te zien is in bovenstaande figuur. Hierbij zijn steeds duplo monster genomen bestaande uit 8 steken binnen het 20 x 20 m grid. Hierbij maakt men een (denkbeeldig) raster van 4 bij 4 punten (steeds ongeveer 7 m van elkaar) en neemt om en om een monster voor duplo monster 1 en duplo monster 2. Per locatie is per monster ongeveer 1 kg gras (versgewicht) als mengmonster bemonsterd. Het gras is voor het drogen en malen niet gewassen.

De monsterlocaties liggen willekeurig gekozen binnen een perceel. In percelen met veel grazend vee zijn geen monsters genomen van urineplekken, koeienvlaaien en ruw gras dat koeien niet willen eten. Indien binnen de monsterlocaties (de 20 x 20 m grids) dergelijke situaties aangetroffen zijn op een rasterpunt dan is dat punt overgeslagen voor bodem- en gewasanalyse.

Biet

Voor suikerbiet is het onderzoek gericht op het cadmium- en zinkgehalte in de grondstof voor suiker (de biet) en het eventuele gebruik van het loof als veevoer. De grond en het gewas is bemonsterd zoals bij gras. De gehele knol is bemonsterd. Het aantal knollen per mengmonster is beperkt tot in totaal 2 kg (versgewicht). De bieten zijn voor het verkleinen, drogen en malen gewassen maar niet geschild of gekopt.

Aardappel

Voor aardappel is het onderzoek gericht op het cadmiumgehalte in het product: de knollen (geen pootaardappelen). Voor aardappelen is het onderzoek gericht op het zware metaalgehalte in de consumptieaardappelen (geen pootaardappelen). De grond en het gewas is bemonsterd zoals bij gras. Het aantal aardappelen per mengmonster is beperkt tot in totaal 2 kg (versgewicht). De aardappelen zijn voor het verkleinen, drogen en malen gewassen. De aardappels zijn niet geschild. In het vervolgonderzoek (2004) zullen de aardappelmonsters zowel geschild als ongeschild geanalyseerd worden omdat onzekerheid bestaat over de invloed die schillen heeft op de uiteindelijk gemeten gehalten in het gewas.

2.3 Verloop van bemonsteringen

De bemonsteringen zijn uitgevoerd in de periode van 1 september tot 7 oktober 2003. Doordat het een droog groeiseizoen was, vond de oogst van de graangewassen en maïs relatief vroeg in het jaar plaats. De oogstdata van alle maïslocaties lagen tussen 2 september en 1 oktober, en van de granen vóór 1 september. De bemonstering van de maïs vond in vrijwel alle gevallen plaats op één of enkele dagen voor de oogst. De aardappelen zijn bemonsterd in de periode van 22 september tot 2 oktober, de bieten in de periode van 18 tot 22 september. De bemonsteringen van gras vonden plaats in de periode van 8 september tot 7 oktober.

Tussen het tijdstip van melding en toestemming voor het onderzoek en de maïsoogst zat weinig tijd zodat de bemonsteringsstrategie voor maïs niet hetzelfde is geweest als later bij het bemonsteren van gras, aardappelen en bieten (zie §2.3 bemonstering). De belangrijkste verschillen zijn dat de bemonstering van de bodem bij maïs niet in duplo is uitgevoerd en dat bij maïs de bodem- en gewasmonsters verspreid in het veld zijn genomen. Bij de andere gewassen zijn de monsters op vaste rasterpunten genomen. Ook is de bemonsteringslocatie anders gekozen: in geval van maïs is gekozen voor plots van 10 bij 10 meter en in geval van de andere gewassen 20 bij 20 m (het lopen door de hoge maïs planten kost onevenredig veel tijd).

Op het moment dat bedrijven hebben gemeld dat ze mee wilden doen aan het onderzoek bleken er geen locaties meer te zijn met graan op het land zodat ter plaatse geen graan meer bemonsterd kon worden. Het geoogste en gekulde graan is niet bemonsterd omdat het dan niet mogelijk is om de bijbehorende bodems te bemonsteren. Het doel van de bemonstering was niet om de gemiddelde gehalten in de bodem en gewas per perceel vast te stellen (in dat geval was het hele perceel bemonsterd) maar om voor een specifiek aantal plekken (gridcellen van 10 x 10 of 20 x 20 m) de relatie tussen bodem en gewas vast te stellen.

Op 1 locatie is de grond niet bemonsterd (locatie m gras).

2.4 Chemische analyses

In tabel 2.1 staat een overzicht van de uitgevoerde analyses aan bodem en gewas en de analysemethoden die van toepassing zijn. Van elk bodemmonster is bepaald:

1. organische stofgehalte (=gloeiverlies)
2. pH in 0.01 M CaCl₂ extract
3. reactieve metaalgehalten (maat voor de totale hoeveelheid beschikbaar metaal, zie verderop) in een 0.43 N HNO₃ extract
4. actueel beschikbare hoeveelheid metalen (maat voor de hoeveelheid in het bodemvocht) middels een CaCl₂ extractie.

In de verschillende gewassen is het totale metaalgehalte bepaald middels een koningswater destructie..

Tabel 2.1 Overzicht laboratorium handelingen

matrix	verrichting	referentie nr. Alterra	verwijzing
<i>grond</i>	gloeiverlies	E-0100	Conform NEN 5747
	"potentieel beschikbare hoeveelheid Cd en Zn"	E-1306	
	0,43M HNO ₃ extractie		
	ICP metingen extracten (16 elementen)	E-1304	
	"actueel beschikbare hoeveelheid Cd en Zn"	E-1301	
	0,01M CaCl ₂ extractie		
	ICP metingen extracten (16 elementen)	E-1304	
<i>gewas</i>	pH in CaCl ₂	E-0103	conform NEN 5750 en NEN 6411
	Koningswater destructie	E-1004	
	ICP metingen destruat (16 elementen)	E-1307	

De bodem- en gewasanalyses zijn uitgevoerd in het laboratorium van Alterra. Alle handelingen en analyses zijn Sterlab geaccrediteerd behalve de extractie in CaCl₂ en HNO₃. Deze twee extractiemethoden zijn specifiek voor het doel om de zogenaamde voor planten beschikbare fractie (CaCl₂) en potentieel beschikbare fractie zware metalen (HNO₃) in de bodem te analyseren. Door extractie van grondmonsters met

een verdunde calciumchloride oplossing kan een indruk worden verkregen van de actuele beschikbare fractie zware metalen en macro-ionen in de bodem. De actuele fractie is een benadering van de concentratie van de metalen en macro-ionen in het bodemvocht en wordt ook wel pseudo-bodemvocht genoemd. Er wordt een calciumchloride oplossing gebruikt om de verschillen in zoutsterkte tussen gronden te compenseren en zodoende de resultaten van de extractie van verschillende gronden met elkaar te kunnen vergelijken.

Beide extracties worden hieronder kort beschreven. De extractie in CaCl_2 gebeurt aan gedroogde (40°C) en gezeefde ($< 2\text{mm}$) grond. De grondmonsters zijn in een verhouding van 1 : 4 (massa grond : massa vocht) gedurende 48 uur geschud (op een snelheid van 30 rpm) met een calciumchloride oplossing ($0,01 \text{ mol l}^{-1} \text{ CaCl}_2$). De pH is vóór het centrifugeren gemeten (na schudden waarbij de monsters 10 minuten staan)). Na centrifugatie (3000 rpm) en filtratie ($0,45 \mu\text{m}$) van de monsters is in het filtraat het gehalte aan zware metalen gemeten met ICP-AES.

De extractie met $0,43 \text{ mol l}^{-1} \text{ HNO}_3$ is gebeurd aan gedroogde (40°C) en gezeefde grond. De grond is 4 uur geschud op een end-over-end schudmachine met een $0,43 \text{ mol l}^{-1} \text{ HNO}_3$ oplossing volgens een 1:10 (massa grond/massa vocht) verhouding. Na kort centrifugeren bij 3000 toeren per minuut is het extract gefiltreerd over een vouwfilter. In deze extracten is het zware metalen gehalte met behulp van ICP-AES bepaald.

2.5 Analyse van de bodem-gewasrelatie voor cadmium en zink

Achtergrond en model concepten

De opname van cadmium en zink door maïs en gras (en andere gewassen) is afhankelijk van een aantal belangrijke bodemeigenschappen. Uit voorgaand onderzoek blijkt dat met name de *zuurgraad* (pH), het *organische stofgehalte* en uiteraard het *cadmiumgehalte van de bodem* in hoge mate bepalend zijn voor het uiteindelijk gehalte aan beide metalen in de plant.

Verschillen in de opname (lees: het uiteindelijke gehalte in de plant) kunnen in veel gevallen gerelateerd worden aan de verschillen in de genoemde bodemeigenschappen. Wanneer er dus een verband bestaat tussen bodemeigenschappen enerzijds en het cadmium gehalte in de plant anderzijds is het dus mogelijk om van tevoren al na te gaan of de kwaliteit van de gewassen voldoende zal zijn. In dat geval volstaat de meting van de benodigde bodemeigenschappen.

Wanneer het verband tussen bodemeigenschappen en gehalte in de plant bekend is, is het mogelijk na te gaan welke maatregelen genomen zouden kunnen worden om de opname te verlagen. Een voorbeeld hiervan is de sturing van de zuurgraad. Bij lage pH waarden (pH lager dan 5) neemt de opname van cadmium en zink sterk toe. Verhoging (indien landbouwkundig verantwoord) naar waarden rond de 6 resulteert al in een duidelijke afname van de opname van zowel cadmium als zink (zink is meestal vanuit gewaskwaliteit gezien geen probleem).

Tenslotte kan met de relatie tussen bodemeigenschappen en gehalte in het gewas ook vastgesteld worden wat een maximaal aanvaardbaar gehalte in de bodem is waarbij

een bepaald gewas zonder problemen geteeld kan worden. Er bestaan namelijk kwaliteitseisen voor zowel consumptiegewassen (bijvoorbeeld de warenwetnorm) en veevoer (veevoedernorm) (zie Bijlage 3). Met behulp van het verband tussen bodemeigenschappen en gewasgehalte kan, wanneer voor het gewasgehalte de maximaal aanvaardbare waarde (= de norm) gebruikt wordt, het maximaal aanvaardbare gehalte in de bodem berekend worden.

Methoden

In dit hoofdstuk wordt de methode uiteengezet hoe de verzamelde data uit dit onderzoek gebruikt worden om voor maïs en voor gras de relatie te bepalen tussen de bodemeigenschappen en het cadmium- en zinkgehalte in het gewas. Hierbij wordt nog onderscheid gemaakt tussen twee 'methoden':

1. de opname van cadmium en zink wordt bepaald aan de hand van organische stof, pH en cadmium gehalte van de bodem, en
2. de opname van cadmium en zink wordt bepaald aan de hand van de metingen in een extract met CaCl_2

Bij beide benaderingen staat het idee centraal dat de opname van cadmium en zink bepaald wordt door de beschikbaarheid van de metalen en niet zozeer door het gehalte in de bodem alleen. Het is een feit dat gewassen stoffen opnemen uit het poriewater dat zich in de bodem bevindt, wortels kunnen nu eenmaal geen vaste bodemdelen opnemen. Dat betekent dat alleen stoffen die zich in het poriewater bevinden beschikbaar zijn voor de plant. Om de opname te kunnen voorspellen is het dus nodig te weten welk deel van de metalen in de bodem zich in het poriewater bevinden en welk deel aan de bodem zelf (in de vast bestanddelen als organische stof en klei) gebonden zit. Nu blijkt dat de beschikbaarheid (lees: de mate waarin de metalen in het poriewater zitten) afhangt van met name de zuurgraad en het organische stofgehalte. Bij een lage pH (zure bodem) en een laag organisch stofgehalte (bijvoorbeeld in een zure zandgrond) zit een relatief groot deel van de metalen in het poriewater terwijl in een zandgrond met een hoge pH een groot deel van de metalen aan de vaste bodemdelen gebonden zit.

Daarom wordt bij methode 1 de opname (het gehalte aan cadmium en zink in de plant) voorspeld aan de hand van zowel pH, organische stof en cadmium. Omdat het verband tussen bodem en gewas *niet* lineair is, (lineair betekent dat wanneer het bodemgehalte 2 keer zo hoog wordt, het gewasgehalte ook 2 keer zo hoog wordt), worden de data op logaritmische basis gebruikt volgens de hieronder gegeven formule:

$$\text{Log}(\text{metaal-gewas}) = \text{Intercept} + a \cdot \log(\text{organische stof}) + b \cdot \text{pH} + c \cdot \log(\text{metaal-bodem}) \quad [1]$$

Zowel het metaal (cadmium dan wel zink) gehalte in de plant als in de bodem wordt daarbij in mg kg^{-1} op droge stof basis gebruikt. In deze studie is voor pH de pH in CaCl_2 gebruikt, maar pH KCl kan hiervoor ook gebruik worden. Organische stof wordt hierbij bepaald op basis van gloeiverlies.

Het cadmiumgehalte in de bodem wordt bepaald in een destructie. In dit geval is hiervoor een extractie met verdund salpeterzuur gebruikt (0,43 N HNO₃). Dit is niet een totaaldestructie zoals met HF of (iets zwakker) met Koningswater. Het voordeel van het gebruik van verdund zuur is dat het alleen dat deel van het cadmium of zink uit de bodem extraheert dat deelneemt aan de chemische processen in de bodem. Een deel van de zware metalen zit namelijk in de minerale roosters van kleidelen en zal zelfs bij zeer lage pH niet beschikbaar komen, dwz in het poriewater terecht komen. In de meeste gevallen is voor cadmium en zink het verschil tussen een totaal destructie en een extractie met verdund salpeterzuur klein. Een uitzondering hierop die voor de Kempen van belang is zijn wellicht gronden waarin zinkassen voorkomen. In die gronden is het mogelijk (maar dat is op dit moment nog niet duidelijk) dat een substantieel deel van het cadmium en zink in de bodem niet beschikbaar is.

Methode 2 is een alternatief waarbij de beschikbaarheid van het cadmium en zink in de bodem direct gemeten wordt. Om een idee te krijgen van de beschikbaarheid van beide metalen wordt een grondmonster (10 of 20 gram) geschud met 40 ml van een verdunde zoutoplossing (in dit geval 0,01 M CaCl₂). De hoeveelheid cadmium en zink die na een bepaalde tijd schudden in het extract aanwezig is, is een goede maat voor de beschikbaarheid in de bodem. Deze kan dus ook vergeleken worden met de gemeten gehalten aan cadmium en zink in de bodem.

Ook voor deze relatie geldt dat het verband tussen de beschikbaarheid van cadmium (de concentratie aan cadmium in het CaCl₂ extract) en de gehalten in het gewas niet lineair zijn en er dus logaritmische waarden gebruikt worden:

$$\text{Log}(\text{metaal-gewas}) = \text{Intercept} + a \cdot \log(\text{metal in extract}) + b \cdot \text{pH} \quad [2]$$

Zoals uit vergelijking 2 blijkt wordt ook hier de pH gebruikt om de verschillen tussen de gewassen te verklaren. De pH heeft echter een 'dubbelrol' in deze. Aan de ene kant is aangetoond dat bij een lagere pH (zure bodem) de beschikbaarheid van cadmium (en zink) stijgt, wat zou betekenen dat de gehalten in de plant ook zouden stijgen (immers de concentratie in het poriewater stijgt). Aan de andere kant is ook aangetoond dat bij een hogere pH (en gelijk aanbod van cadmium en zink in het poriewater) de opname door planten *stijgt*. Het voert te ver om op de plantfysiologische en bodemchemische achtergronden in te gaan maar het komt er kort gezegd op neer dat bij hogere pH waarden de binding van cadmium en zink (maar ook andere metalen als koper en lood) aan wortels toeneemt. Om dat effect mee te nemen is het dus nodig om de pH als verklarende variabele ook mee te nemen bij de voorspelling van het gehalte aan metalen in de plant.

Gebruik van de resultaten

De resultaten worden in de eerste plaats natuurlijk gebruikt om te zien hoe het met de gewaskwaliteit in de Kempen is gesteld voor de hier onderzochte gewassen. De resultaten (met name de gehalten in de gewassen) zullen in ieder geval duidelijk maken of en zo ja in welke mate er sprake is van onvoldoende gewaskwaliteit.

Een doel van deze studie is ook om te zien welke de meest betrouwbare, en beste methode is om de gehalten aan cadmium en zink in planten te voorspellen (niet alleen in de Kempen). De gegevens die hier verkregen zijn kunnen dan ook gebruikt worden om na te gaan of methode 1 dan wel methode 2 geschikter is om op veldschaal gebruikt te worden om risico's voor de gewaskwaliteit in beeld te brengen.

3 Resultaten

3.1 Gewaskwaliteit

¹Soorten maïs

In de Kempen worden verschillende maïsrassen geteeld. Volgens de metingen zijn in de Kempen (regio: Reusel, Hilvarenbeek, Helmond, Budel) de percentages snijmaïs, en CornCobMix (CCM), en korrelmaïs respectievelijk 6%, 0,3% en 2% van het landbouwareaal. De maïsoorten zijn relevant om twee redenen: ten eerste omdat het verschillende producten levert (elk product moet apart beoordeeld kunnen worden), en ten tweede omdat de verschillende rassen verschillen kunnen vertonen in hun cadmiumopname (door ras of zaai- en oogstdata). In de ene geval is het product de kolf (CCM, korrelmaïs) en in een ander geval de totale bovengrondse plant (snijmaïs). Bij CCM en korrelmaïs is het ook mogelijk dat de stengel+blad apart verkocht worden (dit is echter geen normale landbouwpraktijk). Geanalyseerd zijn de cadmium- en zinkgehalten van de maïs en van de stengel+blad. In geval van snijmaïs dient het totale product beoordeeld te worden: kolf+blad+stengel. Het cadmium- en zinkgehalte van de snijmaïs kan herleidt worden uit de gehalten voor kolf en stengel+blad met behulp van de massa kolf of stengel+blad ten opzichte van de totale massa. In Tabel 3.1 staan de droge stofgehalten en de hoeveelheden kolf of stengel+blad in de bemonsterde maïs producten.

Tabel 3.1 Gemiddelde massa's bemonsterd maïsstengels en kolven

	Stengel +blad			kolf			% kolf van product (ds.) Kolf/(stengel+kolf)
	Vers gram	Droog gram	% ds.	Vers gram	Droog gram	% ds.	
CCM	903	186	21	528	260	49	58%
snijmaïs	758	176	24	500	234	47	56%
korrelmaïs	985	203	21	416	220	53	52

De bezochte bedrijven in het onderzoek hadden snijmaïs (Accent, Columbus, Goldissa, Oldham, Tripoli) en CCM (Cerruti, Symphony, Rivaldo) en korrelmaïs (Meribel). Het is niet bekend in hoeverre deze rassen verschillen in hun cadmiumopname. Uit de literatuur is echter bekend dat maïsrassen sterk verschillen in hun cadmiumopname. Kurz et al. (1999) vonden tussen 50 rassen maximaal een factor 20 verschil in de cadmiumopname in de kolf.

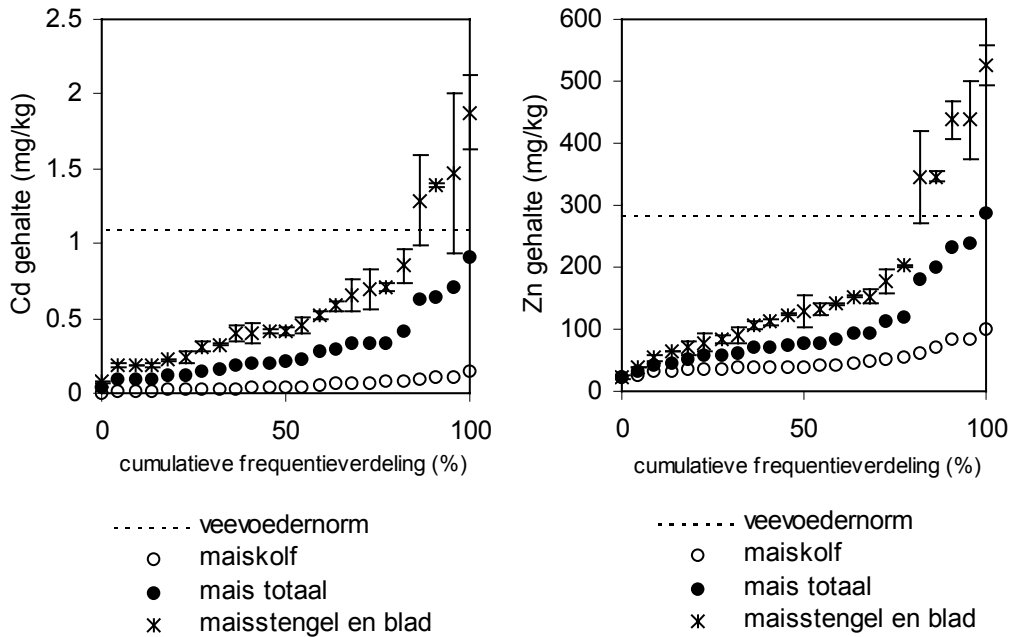
3.1.1 Kwaliteit maïs

In Figuur 3.1 worden de gemeten cadmium- en zinkgehalten in maïs en gras gegeven ten opzichte van de normen voor cadmium en zink in veevoeder (Bijlage 3). De cadmium- en zinkgehalten in de het blad+stengel van de maïs zijn beduidend hoger dan in de maïskolf. De gehalten in de kolf zijn dan ook beduidend lager dan de

¹ in de onderstaande tekst wordt met gebalte steeds het gemiddelde gebalte van de duplo bemonstering van bodem en gewas bedoeld (zie materiaal en methoden).

veevoedernorm voor cadmium of zink. Op één locatie is het gehalte zoals herleid voor snijmaïs (blad+stengel+kolf) boven de norm voor zink. Alhoewel stengel+blad niet vaak een apart product vormen, dient vermeld te worden dat op meerdere locaties de cadmium- en zinkgehalten in blad+stengel boven de norm voor cadmium en zink liggen.

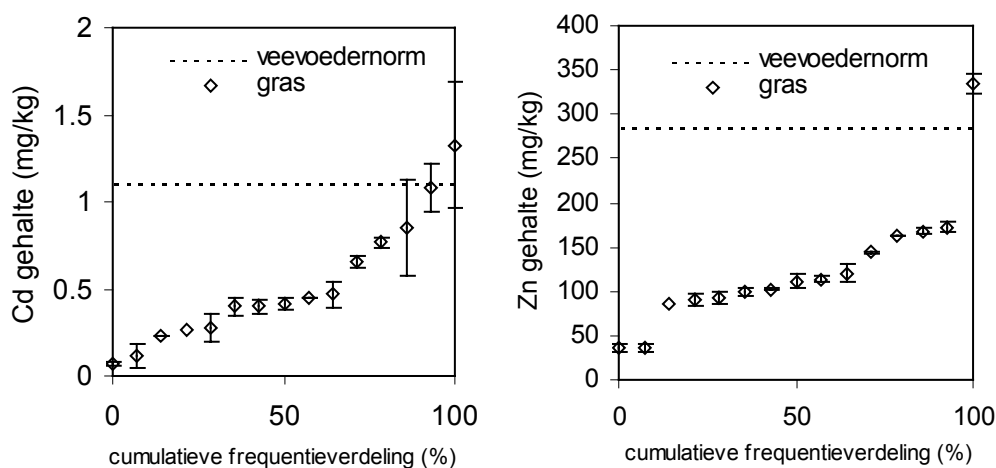
De laagste cadmium- en zinkgehalten worden gevonden op de referentielocatie op 40 km afstand van de Budel-Dorplein. Ofschoon in vrijwel alle gevallen dus de normen niet overschreden worden is het wel zo dat de cadmium- en zinkgehalten in maïs (kolven en in stengel+blad) duidelijk hoger zijn dan op de referentielocatie.



Figuur 3.1 Cumulatieve frequentieverdeling van cadmium en zinkgehalten in maïsproducten (22 locaties + 1 referentielocatie). Het laagste gehalte in de maïs producten wordt steeds gevonden in de referentielocatie. Gegeven wordt het gemiddeld gehalte +/- stdev

3.1.2 Kwaliteit gras

In Figuur 3.1 worden de gemeten cadmium- en zinkgehalten in gras gegeven ten opzichte van de normen voor cadmium- en zink in veevoeder. Op één locatie is het cadmium- en zinkgehalte boven de norm (zie Bijlage 3).



Figuur 3.2 Cumulatieve frequentieverdeling van cadmium en zinkgehalten in gras (15 locaties). Gegeven wordt het gemiddeld gehalte +/- stdev

3.1.3 Kwaliteit bieten

Op drie locaties konden suikerbieten bemonsterd worden. De locaties bevinden zich op een afstand van ongeveer 3 tot 5 km van de zinkfabriek in Budel-Dorplein. De gemeten gehalten zijn gegeven in Tabel 3.2 voor de biet en het loof. Het is duidelijk dat de cadmium- en zinkgehalten in het loof hoger zijn dan in de biet. De cadmium- en zinkgehalten in het loof worden vermeld omdat het loof van de suikerbiet soms wordt gebruikt als veevoer. De cadmiumgehalten in de biet zijn bij twee van de drie locaties hoger dan de norm. Het cadmiumgehalte in de biet is mogelijk niet relevant aangezien het product dat beoordeeld wordt waarschijnlijk de gefabriceerde suiker is. Voor zink bestaat geen norm in de Warenwet. De cadmium- en zinkgehalten in het loof zijn bij twee locaties ver boven de norm voor veevoer. Deze overschrijding van de norm is slechts relevant in die gevallen dat het loof gebruikt wordt als veevoer, en dat is zoals eerder gezegd geen normale landbouwpraktijk.

Tabel 3.2 Cadmium- en zinkgehalten in suikerbiet: in biet en loof. Vetgedrukt zijn de hoge cadmium en zinkgehalten (*zie tekst)

Afstand tot zinkfabriek in Budel-Dorplein (km)	knol	loof	knol	loof
	mg Cd.kg ⁻¹ ds.		mg Zn.kg ⁻¹ ds.	
3	0.8	3.1	113	600
5	0.8	3.7	85	534
6	0.4	1.0	49	185
norm	0.5 (suiker)* 1,1 (veevoer)	1,1	n.v.t.	284

3.1.4 Kwaliteit aardappelen

Op drie locaties konden aardappelen bemonsterd worden. De locaties bevinden zich alledrie op een afstand van ongeveer 3 km van de zinkfabriek in Budel-Dorplein. De cadmiumgehalten zijn relatief hoog ten opzichte van landelijke niveaus (Wiersma et

al., 1986). Hierbij moet echter bedacht worden dat deze gehalten gemeten zijn in niet-geschilde producten. Dit is gebeurd om een 'worst-case' situatie te benaderen. Wanneer mensen namelijk ongeschilde aardappelen eten dan zou het meten van het geschilde product een te rooskleuring beeld schetsen. In de vervolg fase wordt echter zowel het geschilde als het ongeschilde product geanalyseerd om een uitspraak te kunnen doen over het effect van schillen op de kwaliteit van het product. Het is namelijk mogelijk dat de hier aangetroffen hoge gehalten het gevolg zijn van het niet schillen van de aardappelen. Wanneer de gehalten in het geschilde product wel ruimschoots onder de norm blijven, dan kan het advies gegeven worden om aardappelen te schillen.

Tabel 3.3 Cadmium- en zinkgehalten in aardappelen. Vetgedrukt is het hoge cadmiumgehalte

Afstand tot zinkfabriek in Budel-Dorplein (km)	mg Cd.kg-1 ds.	mg Zn.kg-1 ds
3	0.13	38
3	0.47	43
3	0.26	34.
norm	0.42	n.v.t.

Tabel 3.4 Ligging van de bemonsteringslocaties ten opzichte van de zinkfabriek in Budel-Dorplein

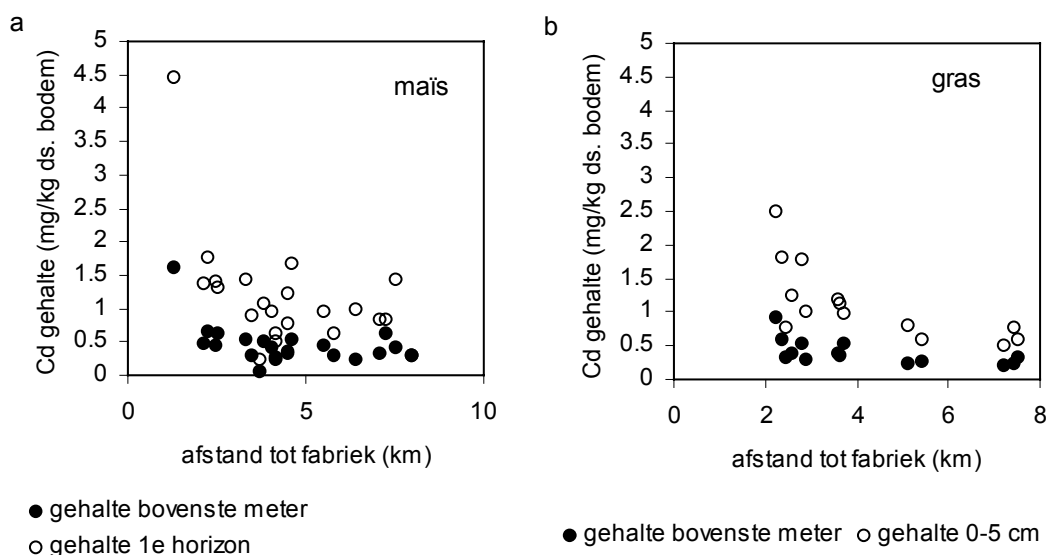
Afstand tot zinkfabriek in Budel-Dorplein (km)	maïs	Aantal locatie met:		
		gras	suikerbiet	aardappel
0-2	1	0	0	0
2-4	6	7	1	3
4-6	9	5	2	0
6-8	4	2	0	0
8-10	2	1	0	0
Totaal aantal:	22	15	3	3

3.2 Relatie tussen cadmium en zinkgehalten in de bodem en de afstand tot de fabriek

De gegevens laten -zoals verwacht- zien dat de cadmium- en zinkgehalten in de bodem lager zijn naarmate de locaties verder van de fabriek in Budel-Dorplein liggen. Ook de gemeten cadmium- en zinkgehalten in het gras en de maïs (kolven en stengel+blad) zijn, in het algemeen lager naarmate de afstand tot de fabriek groter is (zie Tabel 3.5 en 3.6). Dit laatste is echter niet voor alle individuele gevallen zo. De cadmiumgehalten in de bovengrond liggen nabij de fabriek boven de LAC waarde voor akkerbouw en veevoeder (LAC zand = 0,5 mg/kg voor akkerbouw, veevoeder en tuinbouw; 2 mg/kg voor gras).

Tabel 3.5 Gemiddelde gehalten cadmium en zink in gras en bodem onder gras (in mg Cd of Zn per kg d.s.) als functie van de afstand tot de zinkfabriek in Budel-Dorplein

km	Aantal locaties	gras		Bodem			
		Cd	Zn	Cd		Zn	
				HNO ₃	CaCl ₂	HNO ₃	CaCl ₂
0-2	0	-	-	-	-	-	-
2-4	7	0.76	162	1.52	0.11	109	11
4-8	5	0.32	165	0.95	0.07	58	7
6-8	2	0.35	157	0.64	0.09	44	7
8-10	1	0.12	124	0.59	0.01	25	0.5
38 (Referentie)	1			0.30	<0.01	15	0.3



Figuur 3.3 Cadmiumgehalte van de bodem (HNO₃ extractie) in de eerste bodemhorizont en de bovenste meter bodem onder maïs (a) en grasland (b). Het cadmiumgehalte op 38 km is 0,07 mg/kg

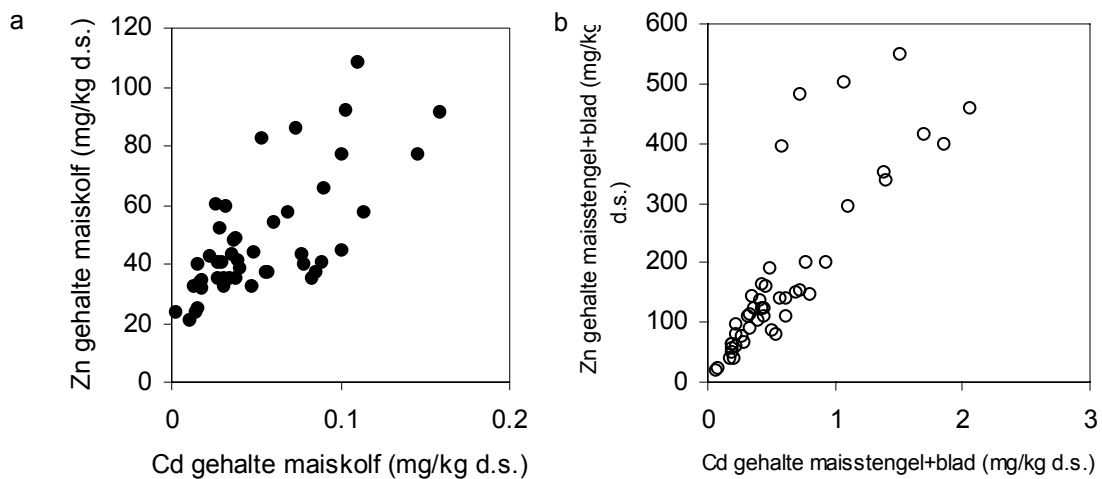
De verschillen in de cadmium- en zinkgehalten in de plantendelen zijn veroorzaakt door de verschillende cadmium- en zinkgehalten in de bodem en verschillen in bodemeigenschappen. Uiteraard zal daarom in de meeste gevallen het gehalte in het gewas afnemen met de afstand tot de fabriek. Omdat echter de opname van Cd en Zn ook afhangt van de zuurgraad, is het echter niet zo dat per definitie de gehalten in de gewassen dichtbij de fabriek hoger zijn dan in verder weg gelegen percelen. Uit de analyse van de individuele percelen (hier om reden van privacy niet weergegeven) blijkt namelijk dat de hoogste gehalten in individuele monsters aangetroffen zijn in percelen op 5 km van de fabriek. Dit was sterk gekoppeld aan de lage pH van het betreffende perceel.

Tabel 3.6 Gemiddelde gehalten aan cadmium en zink in maïs en in de bodem onder maïs (in mg Cd of Zn per kg d.s.) als functie van de afstand tot de zinkfabriek in Budel-Dorplein

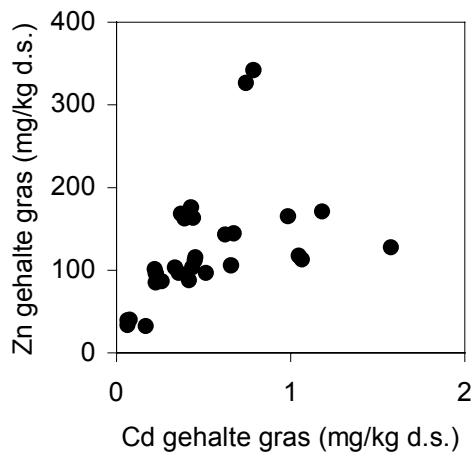
km	Aantal locaties	maïskolf		stengel+blad		bodem			
		Cd	Zn	Cd	Zn	Cd		Zn	
						HNO ₃	CaCl ₂	HNO ₃	CaCl ₂
0-2	1	0.10	72	0.65	438	4.46	0.18	595	23
2-4	6	0.07	56	0.98	242	1.37	0.12	92	11
4-8	9	0.05	48	0.59	170	0.90	0.08	60	9
6-8	4	0.04	35	0.30	81	0.68	0.04	42	2
8-10	2	0.04	50	0.38	128	1.14	0.08	87	9
38 ¹	1	0.01	23	0.07	22	0.30	<0.01	15	0.3

In Figuur 3.3 zijn de gehalten aan cadmium in de bovenste bemonsterde horizont, en het gewogen gemiddelde van de bovenste meter van de bodem weergegeven. Het gehalte van de bovenste meter is herleid uit de gehalten in de verschillende horizonten omdat door ploegen het cadmium in de bodems verschillend verspreid is in het bodemprofiel. De grote spreiding wordt mogelijk veroorzaakt door het verschil in ligging ten opzichte van de percelen van de fabriek in Budel-Dorplein (dwz de windrichting t.o.v. de fabriek). Ondanks het feit dat de keuze van percelen niet op wetenschappelijke selectiecriteria berust (deelname aan het onderzoek is gebaseerd op vrijwillige aanmelding), kan toch worden gesteld dat de cadmiumgehalten in de bovenlaag van de bodem duidelijk afnemen indien de afstand tussen perceel en fabriek toeneemt.

Naast de samenhang tussen de cadmium- en zinkgehalten met de afstand tot de fabriek is de samenhang tussen cadmium en zink relevant. De samenhang tussen cadmium en zink in de bodem is in alle monsters groot (Bijlage 4). Een sterke samenhang in de bodemmonsters kan wijzen op een sterke samenhang in de gewasmonsters. De gehalten aan zink in kuilvoer worden namelijk in de praktijk al vaak bepaald. Hoge zinkgehalten in het kuilvoer (maïs of gras) -voordat hieraan zink is toegevoegd- wijzen dus ook op hoge cadmiumgehalten. In Figuur 3.4 is de relatie te zien tussen cadmium en zink in de gewasmonsters. De samenhang is groot zodat een hoog (of laag) zinkgehalte tevens een indicatie is voor een hoog (of laag) cadmiumgehalte. Wel valt op dat de spreiding in de relatie tussen cadmium en zink in beide gewassen groter wordt naarmate de gehalten in het gewas hoger worden.



Figuur. 3.4 Samenhang tussen cadmium en zink in alle maïsmonsters (afzonderlijke monster, niet het gemiddelde per locatie): in de kolf (a) en in de stengel+bladmonsters (b)



Figuur. 4.5 Samenhang tussen cadmium en zink in grasmonsters (afzonderlijke monsters, niet het gemiddelde per locatie)

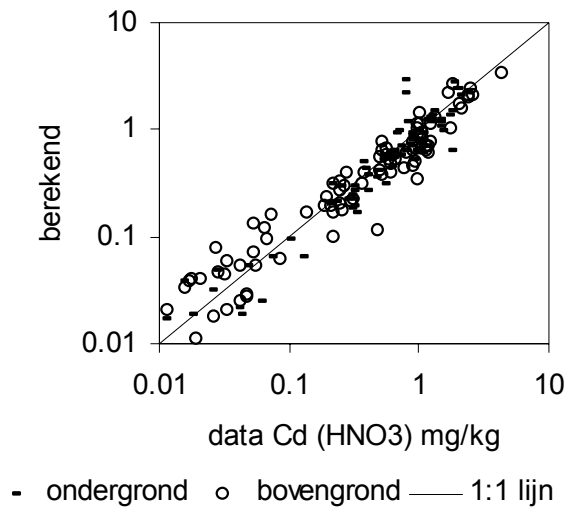
3.2.1 Representativiteit

De bemonstering van de bodem en de gewassen is in duplo uitgevoerd. Het blijkt dat de variatie in de gemeten cadmium- en zinkgehalten onder invloed van de bemonsteringswijze en de analysemethoden gering zijn. Gemiddeld is de relatieve standaarddeviatie voor cadmium en zink in de gewassen respectievelijk 13% en 9%. Gemiddeld is de relatieve standaarddeviatie voor cadmium en zink in de bodem respectievelijk 27% en 22% (CaCl₂ extract) en 20% en 12% (HNO₃ extract).

Zoals eerder gezegd zijn voor de suikerbieten en de aardappelen elk maar drie locaties bemonsterd. De bemonsteringslocaties voor gras en maïs liggen verspreid in gemeente Cranendonck. De bemonsteringslocaties met gras liggen voor een belangrijk deel dicht bij Budel-Dorplein.

3.2.2 Relevantie van bodemtype

In Figuur 3.6 is gekeken of het gedrag van cadmium in alle bemonsterde bodems en bodemhorizonten redelijk voorspeld kan worden. Voorspeld wordt hier het extraheerbaar cadmiumgehalte in het HNO₃ extract op basis van de pH, organische stofgehalte en het cadmium in het CaCl₂ extract. Andere potentieel relevante parameters zoals kleigehalte, leemgehalte, fosfaat of bodemtype zijn niet meegenomen. De goede relatie suggereert dat het gedrag van cadmium (lees: de beschikbaarheid in het bodemvocht) weinig beïnvloed wordt door andere parameters dan pH en organische stof. Dit is relevant omdat in het onderzochte gebied meerdere bodemtypen voorkomen.



Figuur 3.6 Voorspelling (op basis van een Freundlich model) van "potentieel beschikbaar" Cd (Cd in HNO₃ extract) op basis van pH, organische stofgehalte en cadmium in het CaCl₂ extract: voor bovengrond (alle 1^e horizont, en 2^e horizont bij gras) en ondergrond

3.2.3 Verloop cadmium en zinkgehalten in bodemprofiel

Het verloop van het cadmium- en zinkgehalte in de bodem is van belang voor het inschatten van zowel de gewaskwaliteit maar ook de risico's voor uitspoeling. In de meeste gevallen wordt voor het schatten van de opname door gewassen het gehalte in de bovengrond gebruikt. Voor dieper wortelende gewassen zoals maïs is het echter nog maar de vraag of de gehalten in de ondergrond niet even zo zeer van belang zijn.

Daarnaast rijst ook de vraag of de eerder gepubliceerde overzichten van cadmium gehalten in de bodem van de Kempen (gebaseerd op resultaten van standaard bodem bemonsteringen) een goede basis vormen voor het bepalen van gewasgehalten. Deze standaard milieuhygiënische bodembemonsteringen zijn namelijk gebaseerd op de gehalten aan cadmium (en zink) in mengmonsters uit de 0 tot 50 cm laag.

De profielen in dit onderzoek laten zien dat de cadmium- en zinkgehalten in de eerste 30 cm vaak veel hoger zijn dan een gemiddeld gehalte in de eerste 50 cm. De gehalten op de kaarten (gebaseerd op 0-50 cm bodemmonsters) onderschatten dus de cadmium- en zinkgehalten in de bovenste bodemhorizont. Een direct gebruik van dergelijke data voor de voorspelling van cadmium en zinkgehalten in gewassen leidt daarom tot een *onderschatting* van de actuele kwaliteit van landbouwgewassen.

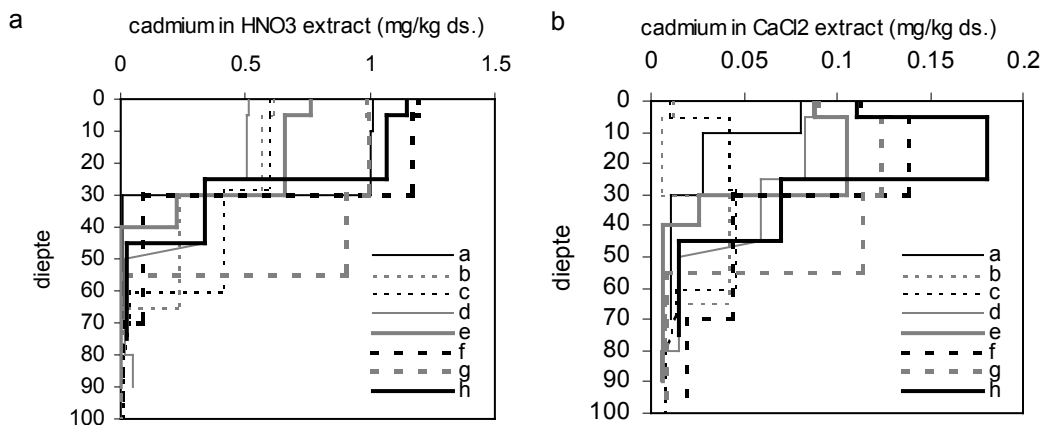


Fig. 3.7 Potentieel beschikbaar cadmiumgehalten (fig a) en actueel beschikbaar cadmium in bodemprofiel van 8 graslandlocaties in (a = HNO₃ extract; b= CaCl₂ extract)

In Figuur 3.7 is te zien dat het cadmiumgehalte (potentieel of actueel, resp. HNO₃ of CaCl₂ extract) daalt met toenemende diepte in het bodemprofiel (alle profielen voor gras en maïs locaties zijn weergegeven in Bijlage 5). Beide typen van metingen geven aan dat cadmium voornamelijk in de bovenste 30 cm zit. Opvallend is dat steeds de hoogste HNO₃ extraheerbare cadmiumgehalten te vinden zijn in de bovenste horizonten terwijl dat niet steeds de hoogste CaCl₂ extraheerbare gehalten geeft. De consequentie hiervan bij het opstellen van bodem-gewas relaties kan zijn dat gras ook significante hoeveelheden cadmium op zou kunnen nemen uit de laag dieper dan 5 cm.

Uit Bijlage 5 blijkt ook bij de locaties met maïs het cadmiumgehalte (potentieel of actueel, resp. HNO₃ of CaCl₂ extract) sterk daalt beneden een bepaalde diepte: op 30 à 40 cm diepte in het geval van maïs. Er zijn echter ook enige profielen waarbij het cadmium ook dieper gemengd is met de grond (e, g en h). In profiel h neemt het cadmiumgehalten in extracten van CaCl₂ toe met de diepte! In deze bodem is verlies van cadmium via uitspoeling mogelijk relevant.

3.2.4 Vergelijking van de resultaten met die uit eerdere onderzoeken

De gevonden cadmium en zinkgehalten in de maïs (zie Figuur 3.2) zijn vergelijkbaar met de cadmiumgehalten die van Luit en Smilde (1983) hebben gemeten. In de omgeving van Budel-Gastel-Soerendonk zijn toen 11 locatie bemonsterd en werd in snijmais (stengel+blad+kolf) een gemiddeld cadmiumgehalte van 0,4 mg/kg d.s. (bereik 0.2-0.7) en gemiddelde 139 mg Zn/kg d.s. (bereik 66-203). In de omgeving van Luyksgestel werden hogere cadmiumgehalten gevonden.

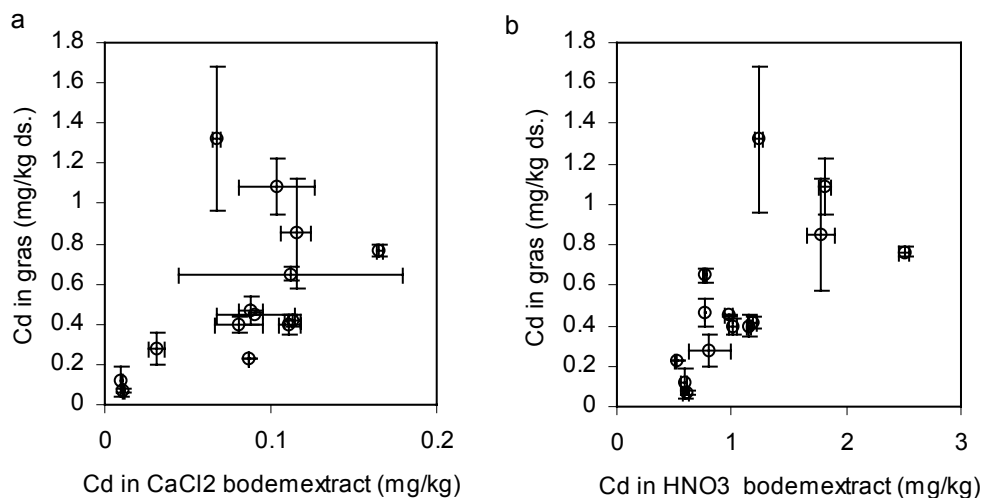
3.3 Bodem-gewas relatie

3.3.1 Resultaten

In tabellen 3.7 en 3.8 zijn de resultaten van zowel gras (Tabel 3.7) als maïs (Tabel 3.8) te zien. Hierbij zijn de velden genummerd van a t/m x en is elke verwijzing naar eigenaar of locatie verwijderd. Het gaat er hierbij niet om na te gaan waar gewassen met onvoldoende kwaliteit voorkomen, maar alleen om een verband tussen bodem en gewas.

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 zijn voor gras alle bemonsteringen in duplo uitgevoerd, d.w.z. er zijn duplomonsters genomen van bodem- en gewasmonsters. Voor maïs is dit voor de bodemmonsters slechts in beperkte mate gedaan. Voor de gewasmonsters zijn wel steeds twee gewasmonsters geanalyseerd.

In Tabel 3.7 en 3.8 zijn de hoeveelheden cadmium en zink die geëxtraheerd kunnen worden met CaCl_2 omgerekend naar een hoeveelheid in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. In de afleiding van de modellen (Tabel 3.7 en 3.8) zijn deze eenheden gebruikt. In principe zouden ook de eenheden in $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ gebruikt kunnen worden, in dat geval wordt alleen de waarde van het intercept anders.



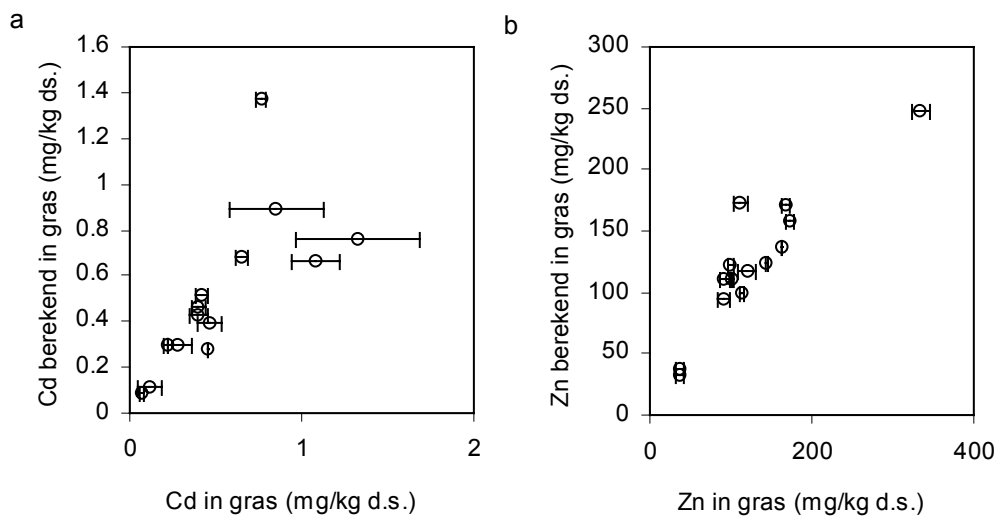
Figuur 3.8 Relatie tussen cadmiumgehalte in gras en cadmium in de bodem: geëxtraheerd met CaCl_2 (a) en met HNO_3 (b). De horizontale en verticale lijnen bij ieder punt geven de mate van spreiding aan tussen de duplo bepalingen

In Tabel 3.9 en 3.10 zijn de resultaten te zien van de regressiemodellen. Uit de data in tabel 3.8 blijkt dat de relatie tussen de cadmiumopname door gras en de extractie van cadmium uit de bodem met CaCl_2 (in tabel 3.8: model CaCl_2 , cadmium) net zo goed is ($R^2 = 0.64$) als de voorspelling van gebaseerd op HNO_3 , waarbij ook pH en organische stof wordt meegenomen ($R^2 = 0.63$). In Figuur 3.8 is de relatie te zien tussen cadmium in gras en de gemeten hoeveelheden in de CaCl_2 bodemextracten (a) en HNO_3 bodemextracten (b).

De tabellen 3.9 en 3.10 geven aan dat de beste regressiemodellen voor de opname van cadmium of zink door gewassen gevonden worden met de CaCl_2 geextraheerbare hoeveelheden cadmium of zink uit de bodem in combinatie met de in hetzelfde extract gemeten pH. In Figuur 3.9 is de voorspelling met het regressiemodel uit tabel 3.9 te zien voor cadmium in gras op basis van de gemeten hoeveelheid cadmium (a) en zink (b) en de pH in het CaCl_2 extract.

Voor praktijktoepassingen betekent dit dat regionale voorspellingen (bijvoorbeeld voor de Kempen) op basis van gegevens van bodemkaarten en metaalgehalten een goed beeld zullen geven van de verwachte gewaskwaliteit en de verschillen als gevolg van verschillen tussen bodemtypen.

Op perceelsniveau kan de CaCl_2 extractie gebruikt worden om de actuele beschikbaarheid en de gewaskwaliteit te voorspellen.



Figuur 3.9 Berekend cadmium- (a) en zinkgehalte (b) in gras op basis van pH en cadmium of zink in CaCl_2 bodemextract

3.3.2 Effect van de verandering van de cadmium en zink gehalten met de diepte op de gewaskwaliteit

Onderzocht is of het meenemen van de cadmium- of zinkgehalten in de 2e bodemhorizont nuttig is, dwz of de voorspelling van het gemeten gehalte in het gewas verbeterde. Het leverde in geen van de gevallen een beter regressiemodel op. Dit is vooral opvallend in geval van gras. Het bepalen van gehalten in de bodem beneden de 5 cm levert dus geen extra voorspellende informatie voor de opname van cadmium of zink door gras. Dit wil niet zeggen dat gras of maïs geen cadmium en zink opnemen uit de diepere horizonten. Van Lune en Zwart (1997) hebben laten zien dat maïs ook cadmium opneemt uit gecontamineerde lagen dieper als 30 cm. In deze proef waren de verschillen in bodemeigenschappen tussen de verschillende lagen echter beduidend groter dan in de hier bemonsterde profielen.

De conclusie van deze studie voor wat betreft het effect van de verschillen in de bodemlagen op de gewasopname is dan ook dat onderzoek aan de 0 - 30 cm laag (voor akkerbouw) en de 0 - 5 cm laag (voor grasland) voldoende is om een betrouwbare schatting te krijgen van de gewaskwaliteit in de Kempen (in ieder geval voor gras en voor maïs)

Tabel 3.7 Resultaten van onderzoek aan gehalte aan cadmium en zink in bodem en gras in de Kempen

	Org. stof		pH		Metaalgehalte bodem (0,43 M HNO ₃)			
	[%]	stdev	extract	stdev	mg Cd kg ⁻¹	stdev	mg Zn kg ⁻¹	stdev
A	5.2	0.1	5.1	0.0	1.01	0.04	105.3	1.6
B	5.1	0.3	5.5	0.0	0.61	0.03	20.7	0.3
C	5.2	0.3	5.6	0.0	0.59	0.03	24.5	0.1
D	4.2	0.0	4.9	0.1	0.52	0.01	34.4	2.0
E	10.1	1.0	5.0	0.0	0.76	0.00	53.2	6.0
F	6.1	0.1	5.0	0.0	1.19	0.04	73.9	1.0
G	6.0	0.0	4.8	0.1	0.98	0.03	52.7	0.7
H	6.3	0.1	4.9	0.1	1.14	0.02	58.8	1.2
I	4.6	0.7	5.1	0.5	0.77	0.01	37.0	3.3
J	9.1	0.1	5.1	0.2	1.82	0.06	131.2	5.9
K	5.7	0.5	5.4	0.0	1.24	0.03	57.8	0.9
L	8.1	0.3	5.1	0.1	1.79	0.12	124.2	12.6
N	6.9	0.4	5.1	0.0	2.50	0.04	196.4	2.7
O	2.9	2.7	5.4	0.0	0.81	0.18	83.5	35.4
Mediaan	5.8		5.1		1.0		58.3	
Min	2.9		4.8		0.5		20.7	
Max	10.1		5.6		2.5		196.4	

Locatie	Beschikbaar metaalgehalte bodem (in 0,01M CaCl ₂)				Metaalgehalte in gras (d.s.)			
	mg Cd kg ⁻¹	stdev	mg Zn kg ⁻¹	stdev	mg Cd kg ⁻¹	stdev	mg Zn kg ⁻¹	stdev
A	0.08	0.01	10.7	0.4	0.40	0.04	172.5	5.5
B	0.01	0.00	0.5	0.1	0.07	0.01	36.6	4.5
C	0.01	0.00	0.5	0.1	0.12	0.07	35.9	5.0
D	0.09	0.00	6.9	0.3	0.23	0.00	90.5	7.5
E	0.09	0.01	7.6	0.4	0.47	0.07	92.4	6.4
F	0.11	0.00	10.8	0.1	0.42	0.03	162.7	0.3
G	0.09	0.02	8.1	2.1	0.45	0.00	113.7	2.7
H	0.11	0.01	10.1	0.3	0.40	0.05	99.9	4.3
I	0.11	0.07	7.8	5.3	0.65	0.03	143.7	0.9
J	0.10	0.02	11.9	3.0	1.08	0.14	168.1	4.0
K	0.07	0.00	4.2	0.2	1.32	0.36	120.3	10.4
L	0.12	0.01	11.0	0.9	0.85	0.27	111.5	8.4
N	0.17	0.00	20.2	1.1	0.77	0.03	334.3	10.8
O	0.03	0.01	3.6	0.8	0.28	0.08	102.4	1.1
Mediaan	0.1		7.9		0.4		112.6	
Min	0.0		0.5		0.1		35.9	
Max	0.2		20.2		1.3		334.3	

Tabel 3.8 Resultaten van onderzoek aan gehalte aan cadmium en zink in bodem en maïs (korrel) in de Kempen

Locatie	org. stof		pH		Metaalgehalte bodem (0,43 M HNO ₃)			
	[%]	stdev	extract	stdev	mg Cd kg ⁻¹	stdev	mg Zn kg ⁻¹	stdev
A	2.1	-	5.1	-	0.23	-	46.7	-
B	3.4	-	5.1	-	0.78	-	50.3	-
C	5.9	-	5.2	-	0.99	-	52.7	-
D	3.4	-	5.8	-	0.62	-	51.5	-
E	4.8	0.0	5.2	0.1	0.83	0.03	51.3	1.8
F	3.2	0.0	4.4	0.0	0.30	0.01	14.2	0.8
G	4.3	-	5.3	-	1.08	-	65.3	-
H	3.4	-	5.8	-	0.97	-	50.6	-
I	1.3	-	4.6	-	1.33	-	46.7	-
J	1.8	-	5.0	-	1.43	-	97.1	-
K	3.6	-	5.3	-	0.52	-	45.7	-
L	4.8	-	5.0	-	0.96	-	59.0	-
M	5.0	-	5.4	-	1.37	-	90.8	-
N	4.2	-	5.3	-	1.41	-	139.0	-
O	4.4	-	5.2	-	1.44	-	122.9	-
P	3.3	-	5.8	-	0.90	-	61.6	-
Q	3.9	-	4.4	-	1.68	-	86.7	-
R	4.7	-	4.8	-	1.24	-	71.4	-
S	4.3	-	5.5	-	0.82	-	50.9	-
T	3.5	-	5.6	-	0.64	-	65.9	-
U	6.3	-	5.6	-	4.46	-	594.9	-
V	4.5	-	4.8	-	1.78	-	114.5	-
W	4.1	0.1	5.5	0.1	0.28	0.01	14.5	1.5
Mediaan	4.1		5.2		1.0		59.0	
Min.	1.3		4.4		0.2		14.2	
Max.	6.3		5.8		4.5		594.9	

Tabel Vervolg

locatie	Beschikbaar metaalgehalte bodem (in 0,01M CaCl ₂)				Metaalgehalte in maïskolf (d.s.)			
	mg Cd kg ⁻¹	stdev	mg Zn kg ⁻¹	stdev	mg Cd kg ⁻¹	stdev	mg Zn kg ⁻¹	stdev
A	0.01	-	4.6	-	0.03	0.00	37.7	3.92
B	0.05	-	5.8	-	0.05	0.01	35.0	3.08
C	0.05	-	3.1	-	0.08	0.01	40.3	0.65
D	0.01	-	0.7	-	0.01	0.00	24.4	0.69
E	0.05	0.00	3.9	0.3	0.04	0.01	39.7	5.92
F	0.06	0.01	3.5	0.1	0.03	0.01	33.4	2.42
G	0.07	-	6.7	-	0.03	0.01	37.1	2.38
H	0.02	-	1.0	-	0.08	0.00	36.4	1.31
I	0.16	-	9.6	-	0.06	0.01	84.5	2.39
J	0.09	-	11.2	-	0.02	0.00	37.1	4.33
K	0.02	-	3.8	-	0.02	0.01	32.7	0.05
L	0.06	-	5.8	-	0.03	0.00	46.3	8.40
M	0.08	-	6.9	-	0.07	0.02	40.1	4.36
N	0.12	-	11.8	-	0.11	0.01	51.3	9.32
O	0.11	-	14.2	-	0.03	0.00	60.2	0.65
P	0.02	-	2.1	-	0.02	0.00	38.6	5.71
Q	0.37	-	33.5	-	0.11	0.01	100.1	11.57
R	0.13	-	13.4	-	0.04	0.00	48.6	0.21
S	0.02	-	1.8	-	0.04	0.00	42.3	1.63
T	0.03	-	3.5	-	0.06	0.01	55.6	2.35
U	0.18	-	22.7	-	0.10	0.01	71.5	8.44
V	0.25	-	22.8	-	0.15	0.01	84.4	9.65
W	0.00	0.00	0.3	0.2	0.01	0.01	22.5	1.83
Mediaan	0.06		5.8		0.04		40.1	
Min	0.00		0.3		0.01		22.5	
Max	0.37		33.5		0.15		100.1	

Tabel 3.9 Overzicht van resultaten voor de verschillende regressiemodellen voor gras

	Regressie parameters				R ²	se(Y-est)
	Int	metaal	pH	org. stof		
Model: Bodem (HNO₃) -plant						
Cadmium	1.58	1.22	-0.38	ns	0.63	0.23
Zink	2.98	0.70	-0.38	-0.31	0.83	0.12
Model: CaCl₂						
Cadmium	0.51	0.76	-	-	0.64	0.22
Zink	1.69	0.47	-	-	0.81	0.11
Model: CaCl₂/pH						
Cadmium	-4.90	1.41	1.20	-	0.85	0.15
Zink	-1.04	0.67	0.50	-	0.90	0.09

Tabel 3.10 Overzicht van resultaten voor de verschillende regressiemodellen voor maïs

	Regressie parameters				R ²	se(Y-est)
	Int	metaal	pH	org. stof		
Model: Bodem (HNO₃) -plant						
Cadmium (kolf)	-0.53	0.64	-0.19	0.30	0.42	0.27
Cadmium(stengel+blad)	1.04	0.85	-0.23	-0.26	0.58	0.24
Cadmium(totaal)	0.74	0.83	-0.23	-0.22	0.58	0.24
Zink (kolf)	2.23	0.35	-0.23	-0.07	0.67	0.10
Zink (stengel+blad)	2.77	0.88	-0.42	-0.11	0.77	0.18
Zink (totaal)	2.55	0.71	-0.36	-0.09	0.76	0.15
Model: CaCl₂						
Cadmium (kolf)	-0.80	0.46	-	-	0.45	0.25
Cadmium(stengel+blad)	0.36	0.54	-	-	0.62	0.22
Cadmium(totaal)	0.04	0.54	-	-	0.45	0.21
Zink (kolf)	1.46	0.27	-	-	0.65	0.10
Zink (stengel+blad)	1.69	0.61	-	-	0.75	0.18
Zink (totaal)	1.58	0.50	-	-	0.73	0.15
Model: CaCl₂/pH						
Cadmium (kolf)	-2.11	0.61	0.29	-	0.53	0.24
Cadmium(stengel+blad)	-0.72	0.67	0.24	-	0.66	0.21
Cadmium(totaal)	-1.06	0.67	0.24	-	0.67	0.20
Zink (kolf)	1.43	0.27	0.01	-	0.65	0.10
Zink (stengel+blad)	0.67	0.70	0.18	-	0.77	0.17
Zink (totaal)	0.88	0.56	0.13	-	0.75	0.15

3.3.3 Omgaan met de bodem-gewasrelaties

De bodem-gewasrelaties leveren voor gras en maïs een duidelijk mogelijkheid om met behulp van bodemanalyses een uitspraak te doen over de cadmium- en zinkgehalten in de gewassen. Een meting van de pH, cadmium en zink in een CaCl₂ extract geeft daarvoor de beste voorspelling. Op basis van de huidige kennis over de cadmium- en zinkgehalten in de bodem in de Kempen kan met behulp van de berekende regressiemodellen (op basis van de HNO₃ extractie) voorspeld worden wanneer de cadmium en zinkgehalten de normen zullen overschrijden (zie Bijlage 6).

De beste regressiemodellen hiervoor zijn die modellen waarbij ook gegevens van organische stof en pH worden gebruikt. Deze algemene bodemgegevens zijn per bedrijf in de meeste gevallen al beschikbaar (pH in extract van 1 M KCl; deze bepaling lijkt sterk op de hier gebruikte bepaling van de pH in 0,01 M CaCl₂). Op regionaal niveau echter zijn die gegevens veelal niet voorhanden waardoor gebruik gemaakt moet worden van schattingen van de pH en de organische stofgehalten (op basis van landelijke kaarten) of op basis van de gemiddelden uit dit onderzoek (zie Tabel 3.11). Dit is gedaan in Bijlage 7 om te komen tot een inschatting van het gebied met normoverschrijdingen (gewas).

Tabel 3.11 Gemiddelde pH en organische stofgehalte in dit onderzoek

	<i>maïs</i>		<i>gras</i>	
	gemiddelde	Standaarddeviatie	gemiddelde	Standaarddeviatie
pH	5.2	0.4	5.1	0.2
Organische stof (%)	3.9	1.2	6.1	0.7
	<i>aardappelen</i>		<i>suikerbiet</i>	
pH	5.2	0.7	5.6	0.1
Organische stof (%)	4.6	1.0	3.6	0.1

3.3.4 Vergelijking van bodem-gewasrelaties uit andere onderzoeken

Een vergelijking met andere onderzoeken behoort niet tot dit onderzoek maar het is toch relevant om te vermelden of de hier gevonden relaties lijken op de relaties die voor dezelfde gewassen zijn gevonden in andere gebieden (Römkens et al., 2004). In geval van de cadmiumopname door maïs wijkt de bodem-plant relatie uit dit onderzoek (Tabel 3.10) nauwelijks af van andere onderzoeken (coëfficiënten in Tabel 3.12, uit: Römkens et al., 2004). In geval van cadmiumopname door gras blijkt dat de opname in dit onderzoek hoger is dan verwacht zou worden op basis van de eerder gevonden relaties.

In paragraaf 3.3.5 zal voor cadmium en zink per gewas (gras en maïs) nader ingegaan worden op de overeenkomsten en verschillen tussen de resultaten uit de Kempen en andere onderzoeken.

Nadere onderzoek moet uitwijzen of de gevonden gehalten in aardappelen en bieten binnen de voorspellingen van de landelijke bodem-gewasrelaties vallen.

Tabel 3.12 Het cadmiumgehalte in de plant ($[Cd]_{plant}$ in $mg\ kg^{-1}$ drooggewicht) als functie van de bodem pH, organisch stofgehalte (OS in in %), kleigehalte (in %) en van het totale bodemgehalte ($[Cd_T]$ in $mg\ kg^{-1}$ drooggewicht): $\log[Cd]_{plant} = \alpha + \beta \cdot pH + \gamma \cdot \log[OS] + \delta \cdot \log[Klei] + \epsilon \cdot \log[Cd_T]$

	INT	SOM	Klei	pH	Q	R ²	se(Y)
	α	γ	δ	β	ϵ		
Gras ¹	0.17	-0.28	ns	-0.12	0.49	0.53	0.22
Gras ¹	Ns	-0.35	ns	-0.06	0.70	0.60	0.34
Gras (Tabel 3.9)	1.58	ns	-	-0.38	1.22	0.63	0.23
Maïs A ¹	-0.39	0.33	-0.20	-0.03	0.48	0.49	0.22
Maïs L ¹	0.17	-0.21	-0.05	-0.07	0.44	0.58	0.12
Maïs H ¹	0.90	ns	-0.32	-0.21	1.08	0.62	0.26
Maïs (Tabel 3.10)	0.74	-0.22	-	-0.23	0.83	0.58	0.24
totaal							

¹Römkens et al (2004).

Tabel 3.13 Het zinkgehalte in de plant ($[Zn]_{plant}$ in $mg\ kg^{-1}$ drooggewicht) als functie van de bodem pH, organisch stofgehalte (OS in in %), kleigehalte (in %) en van het totale bodemgehalte ($[Zn_T]$ in $mg\ kg^{-1}$ drooggewicht): $\log[Zn]_{plant} = \alpha + \beta \cdot pH + \gamma \cdot \log[OS] + \delta \cdot \log[Klei] + \varepsilon \cdot \log[Zn_T]$

	INT	SOM	Klei	pH	Q	R ²	se(Y)
	α	γ	δ	β	ε		
Gras ¹	2.06	1.09	-1.05	-0.09	0.41	0.49	0.11
Gras (Tabel 3.9)	2.98	-0.31	-	-0.38	0.70	0.83	0.12
Maïs A ¹	1.35	-0.14	-0.25	-0.17	0.81	0.68	0.13
Maïs (Tabel 3.10)	2.55	-0.09	-	-0.36	0.71	0.76	0.15
totaal							

¹Römkens et al (2004).

3.3.5 Verschillen en overeenkomsten tussen bodem plant relaties bij gebruik van verschillende datasets en methoden om het metaalgehalte in de bodem te bepalen

Wanneer bodem plant relaties met elkaar vergeleken worden, is het cruciaal om na te gaan welke data gebruikt zijn bij de afleiding voor de regressie vergelijking. Zo is tot op heden in voorgaande studies steeds het *totaal*gehalte (van de bodem) gebruikt om de opname door gewassen te schatten. Het gebruik van de *reactieve* fractie (dwz de hoeveelheden metaal geëxtraheerd met verdund zuur in plaats van Aqua Regia), zoals in de studie in 2003 in de Kempen is gebeurd leidt daarom al tot andere coëfficiënten in de vergelijking.

In tabel 3.14 is daarom voor het Maasoever bestand (waar zowel Aqua Regia (AR) als 0,43 N HNO₃ is gemeten) het effect van het gebruik van de totaal extractie vs. de reactieve fractie weergegeven. Tevens is gekeken naar de invloed van de verschillende bodemparameters. Daarbij zijn eerst alle parameters gebruikt (dwz Zn-bodem, pH, klei en organische stof) en vervolgens de vergelijking zonder organische stof of zonder klei, en tenslotte alleen het bodemgehalte en pH.

Tabel 3.14 Invloed van bodemparameters op de Bodem - plant relaties voor zink in Maïs. Data: Maasoever bestand. Bodemdata: ontsluiting met Aqua Regia (AR) of 0,43 N HNO₃ (HNO₃).

		Parameters Regressie vergelijking						
		Bodem - Plant						
		Zn- Bodem	pH	klei	OS	INT	R2	se(Y- est)
Alles	AR	0.81	-0.17	-0.25	-0.14	1.35	0.68	0.13
	HNO ₃	0.40	-0.13	-0.03	0.17	1.70	0.68	0.13
Zonder klei	AR	0.63	-0.16	-	-0.03	1.32	0.65	0.14
	HNO ₃	0.40	-0.13	-	0.16	1.69	0.68	0.13
Zonder OS	AR	0.70	-0.15	-0.23	-	1.37	0.68	0.13
	HNO ₃	0.48	-0.15	0.00	-	1.73	0.67	0.13
Zonder OS en klei	AR	0.61	-0.15	-	-	1.33	0.65	0.14
	HNO ₃	0.48	-0.15	-	-	1.73	0.67	0.13

Uit tabel kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. De invloed van organische stof en, in mindere mate, klei op de kwaliteit van de voorspelling is klein in vergelijking met pH en zink in de bodem. Wanneer de reactieve fractie als maat voor zink in de bodem gebruikt wordt is de bijdrage van zowel klei als organische stof niet significant en kan het zink gehalte in de plant geschat worden op basis van pH en (reactief) zink gehalte in de bodem.
2. Het gebruik van 0,43 N HNO₃ als maat voor zink in de bodem levert een consistentere vergelijking op voor de schatting van zink in het gewas. Wanneer een of meer bodemparameters weggelaten worden heeft dat een effect op de coëfficiënt voor Zn-bodem: bij gebruik van Aqua Regia als maat voor zink in de bodem varieert deze tussen 0,61 en 0,81 terwijl voor 0,43 N HNO₃ dit slechts tussen 0,40 en 0,48 varieert. Een verklaring voor de grotere spreiding in de coëfficiënt voor Aqua Regia is dat de bodemfactoren organische stof en klei een invloed hebben op de beschikbare fractie. Wanneer alleen de beschikbare fractie gemeten wordt (in geval van 0,43 N HNO₃) is dit effect er dus niet meer.

Uiteindelijk is de beste schatter van zink in het gewas dus die met pH en het reactief zink gehalte (0,43 N HNO₃) in de bodem.

Vergelijking data uit het Maasoever bestand met gegevens uit de Kempen

Het idee achter een bodem plant relatie is dat de gevonden relatie min of meer geldig is in bodems die qua samenstelling lijken op die aanwezig in de database. Ofschoon de zink gehalten in de bodem in het Maasoever bestand beduidend hoger liggen wordt getest of de relaties die van beide datasets afgeleid kunnen worden vergelijkbaar zijn.

Zink in maïs

In tabel 3.15 staan voor zink in maïs de resultaten van zowel de Kempen als het Maasoever bestand. Daarbij is alleen gekeken naar de bodem plant relatie op basis van pH en het reactief metaalgehalten omdat eerder is aangetoond dat de invloed van organische stof en klei niet significant was.

Tabel 3.15 Bodem plant relaties voor Zink in maïs voor de Kempen, het Maasoever bestand en het gecombineerde bestand

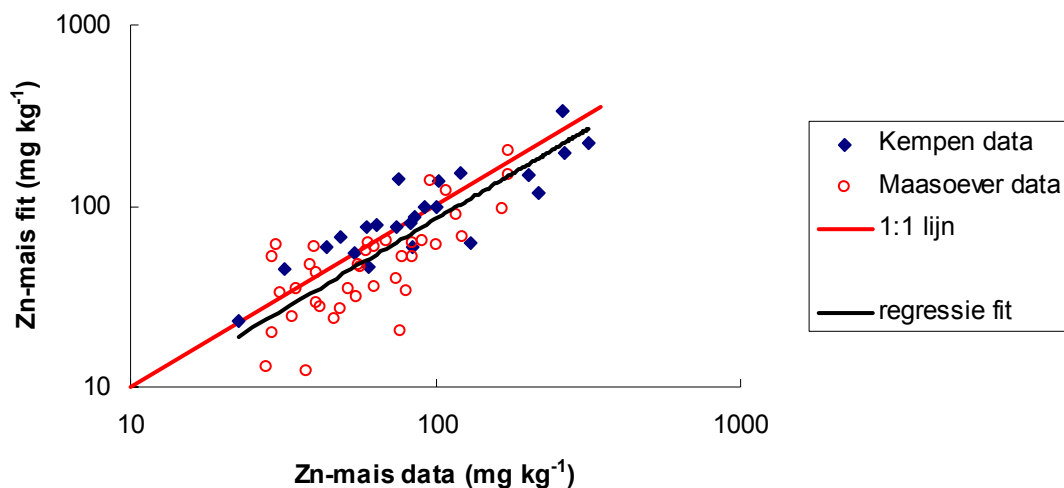
Data Bron	Parameters Regressie vergelijking Bodem - Plant				
	Zn- Bodem	pH	INT	R ²	Se (Y-est)
Kempen A	0.72	-0.37	2.59	0.76	0.15
Maasoever B	0.49	-0.15	1.74	0.67	0.13
Combi ¹ C	0.59	-0.22	2.02	0.70	0.15

¹ regressie vergelijking wanneer alle data gecombineerd worden

Wanneer vervolgens gekeken wordt naar de fit van de drie onderscheiden databestanden op de hele database (Kempen plus Maasoever) dan blijkt dat de relatie afgeleid van het Maasoever bestand (verg. B) de slechtste fit heeft (Zn-mais voorspeld = $0,66 \cdot \text{Zn-mais gemeten}$ en een R^2 van $-0,03$). De fit van het model gebaseerd op de gecombineerde dataset is al beter (Zn-mais voorspeld = $0,81 \cdot \text{Zn-mais gemeten}$ en een R^2 van $+0,48$) terwijl de fit van het model gebaseerd op de data uit de Kempen het beste is (Zn-mais voorspeld = $0,85 \cdot \text{Zn-mais gemeten}$ en een R^2 van $+0,71$). De hier genoemde coëfficiënten en R^2 gelden voor een lineaire schaal (dus niet op basis van log-getransformeerde waarden!)

Daaruit mag geconcludeerd worden dat de toepasbaarheid van de bodem plant relatie op basis van data uit de Kempen goed bruikbaar is voor andere bodems (in dit geval het Maasoever bestand), ook wanneer in dat bestand hogere zink gehalten in de bodem voorkomen dan die in de Kempen gemeten zijn.

Deze fit is te zien in figuur 3.10



Figuur 3.10 Fit van regressie lijn afgeleid uit de Kempen dataset (Zn in maïs) toegepast op alle data (Kempen en Maasoever).

Cadmium in maïs

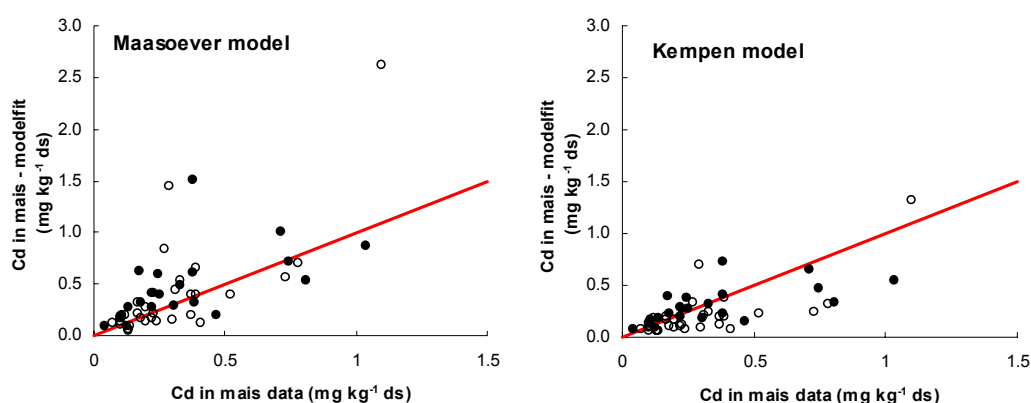
Voor cadmium blijkt dat de relaties tussen bodem en gewas voor de Kempen dataset en die uit het Maasoever bestand vergelijkbaar zijn, zie tabel 3.16.

Tabel 3.16. Bodem plant relaties voor Cadmium in maïs voor de Kempen, het Maasoever bestand en het gecombineerde bestand

Data Bron		Parameters Regressie vergelijking Bodem - Plant				
		Cd- Bodem	pH	INT	R ²	Se (Y-est)
Kempen	A	0.80	-0.25	0.74	0.57	0.23
Maasoever	B	1.01	-0.22	0.76	0.65	0.24
Combi ¹	C	0.80	-0.11	0.03	0.59	0.26

¹ regressie vergelijking wanneer alle data gecombineerd worden

Wel is het opvallend dat bij combinatie van de data de coëfficiënt van de pH sterk minder wordt (van -0.22 of -0.25 naar -0.11). De voorspelling van zowel de Kempen bodem plant relatie als de Maasoever bodem plant relatie voor de hele dataset zijn redelijk tot goed. Echter het gebruik van de Maasoever dataset resulteert in een betere fit in het 'hoge' traject (de maïs monsters met hoge cadmium gehalten), zie ook figuur 3.11). Omdat dit bereik vanuit normstellingsoogpunt wel het meest relevant is, pleit dit voor het gebruik van de relatie uit het Maasoever bestand voor toepassingen buiten de Kempen (of ook in de Kempen wanneer de gemeten bodem gehalten hoger zijn dan in de op dit moment gemeten dataset).



Figuur 3.11. Fit van regressielijn afgeleid uit de Kempen en Maasoever dataset (Cd in maïs) toegepast op alle data (Kempen - gesloten cirkels, en Maasoever, open cirkels).

Voor Cadmium bestaat er naast het Maasoever bestand ook het Landelijk IB bestand. Bij analyse blijkt echter dat zowel de bodem plant relatie uit het Maasoever bestand als die uit de Kempen te leiden tot een sterke *onderschatting* van de gemeten

gehalten in maïs in het landelijk bestand. De aangetroffen gewasgehalten in het landelijk bestand voor maïs (gemeten eind 70-er begin 80-er jaren) zijn relatief hoog ten opzichte van die in het Maasoever en zelfs die in de Kempen. Een overzicht van bodem- en gewas data uit de drie bestanden is te zien in tabel 3.17

Tabel 3.17. Overzicht van mediane waarden (tussen haakje 5% en 95% waarde) aan cadmium in grond, bodemeigenschappen en cadmium in maïs in drie databestanden

		Bestand		
		Kempen	Maasoever	Landelijk bestand
Cd-bodem	mg kg ⁻¹	0.97 (0.23-4.46)	1.17 (0.30 - 6.49)	0.26 (0.08 - 0.84)
pH CaCl ₂	-	5.2 (4.4 - 5.8)	6.8 (4.6 - 7.3)	5.5 (4.7 - 7.3)
Org. stof	%	4.1 (1.9 - 5.8)	3.8 (1.9 - 8.6)	4.0 (2.1 - 8.4)
Cd in maïs	mg kg ⁻¹	0.25 (0.10 - 0.80)	0.27 (0.10 - 2.30)	0.24 (0.16 - 0.71)

Het is dus een feit dat bij veel lagere gehalten in de bodem in het landelijk bestand de gewasgehalten vergelijkbaar zijn met die in de Kempen waar het bodemgehalte ruwweg 4 keer zo hoog zijn (met voor de rest vergelijkbare bodemeigenschappen). Factoren die mogelijk een verklaring kunnen bieden zijn:

1. Het cadmium in de maïs in het landelijk bestand deels afkomstig is uit andere bronnen dan opname uit de bodem. Daarbij is de bijdrage van atmosferische depositie die in de jaren 70 en begin 80 hoger was dan nu niet verwaarloosbaar.
2. Volgens de rapportage van de bemonstering uit het landelijk bestand blijkt dat er per monster tussen de 5 en 15 'stengels' bemonsterd zijn. Daarbij wordt niet expliciet genoemd of de korrels mee bemonsterd zijn. Omdat het echter snijmaïs betreft is het waarschijnlijk dat de korrels meegeanalyseerd zijn. Omdat de gehalten in de korrel ongeveer 12 maal zo laag zijn als in de stengel, is het gehalte in het product bij ongeveer 50:50 bijdrage (stengels:korrels) sterk afhankelijk van de gehalten in de beide deelproducten. Het al dan niet meenemen van de korrel heeft dus een zeer grote invloed op het gehalte in het product.

De veel hogere gehalten in het gewas in het landelijk bestand bij verder dezelfde bodemeigenschappen verklaart dus waarom de bodem - plant relaties uit zowel de Kempen als die uit het Maasoever bestand de gehalten uit het landelijk bestand sterk onderschat.

Zink in gras

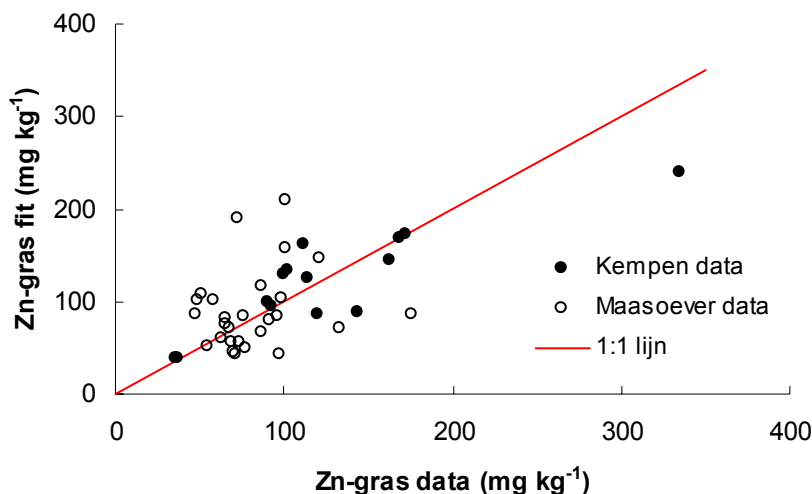
Voor zink in gras geldt dat op basis van het Maasoever bestand een slechte fit werd gevonden (zie ook tabel 3.18).

Tabel 3.18 Overzicht van bodem plant relaties voor zink in gras

Bestand	extractie	Parameters regressie					R ²	se
		pH	Zn-bodem	klei	OS	INT		
Maas	AR	-0.08	0.20	-	-	1.84	0.13	0.14
Maas	HNO ₃	-0.09	0.15	-	-	2.08	0.13	0.14
Maas	AR	-0.29	0.27	-0.13	-	2.35	0.20	0.13
Maas	HNO ₃	-0.23	0.18	-0.13	-	2.55	0.18	0.14
Kempen	HNO ₃	-0.38	0.70	-	-0.31	2.98	0.83	0.12
Combi	HNO ₃	-0.22	0.42	-	-0.28	2.56	0.37	0.16

De modelfit voor de data uit de Kempen is goed (R² van 0,83 in combinatie met de kleinste standaard fout voor de geschatte waarde). De combinatie van beide levert in vergelijking met de bodem plant relatie uit het Maasoever bestand wel een betere voorspelling op maar ook minder duidelijke coëfficiënten. IN het algemeen geldt dat bij slechte bodem plant relaties (bijv. Maasoever voor zink) de coëfficiënten niet sterk zijn (-0,08 voor pH, 0,20 voor Zn in de bodem in geval van Aqua Regia). In feite betekent dit dat de bodem plant relatie de gemiddelde waarde uit de dataset goed voorspelt en de afhankelijkheid van pH en gehalte in de bodem slecht.

Toepassing van de bodem plant relatie uit de Kempen op de data uit het Maasoever bestand levert weliswaar geen perfecte fit op (redelijk veel ruis) maar de orde van grootte is goed, zie figuur 3.12



Figuur 3.12. Zink in gras in Kempen en Maasoever data voorspeld op basis van Kempen model

Cadmium in Gras

Voor cadmium zijn er drie databestanden die gebruikt kunnen worden voor het vergelijken van de bodem plant relaties: het landelijk bestand, het Maasoever bestand en de data uit de Kempen (zie tabel 3.19).

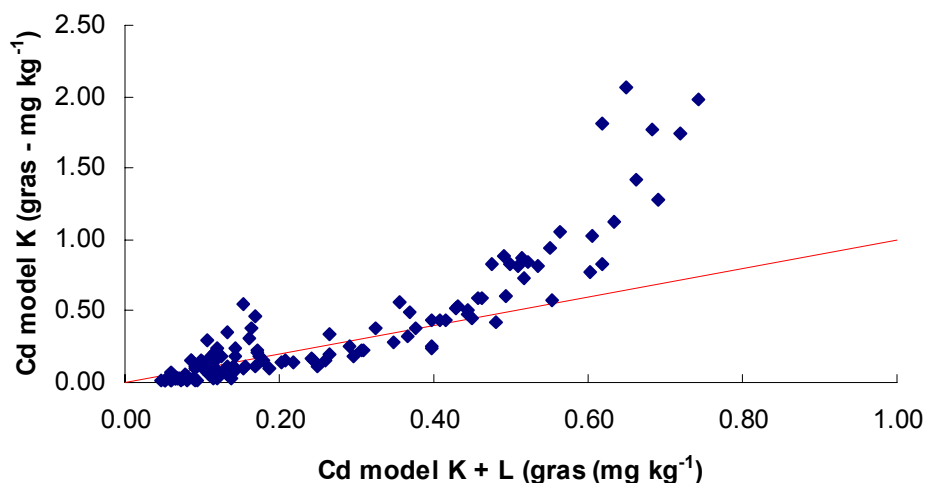
Tabel 3.19 Overzicht van bodem plant relaties voor Cadmium in gras op basis van 0.43 HNO₃ extraherbaar Cadmium gehalte in de bodem.

Bestand	Parameters regressie					R ²	se
	pH (CaCl ₂)	Cd-bodem (mg kg ⁻¹)	Klei (%)	O.S. (%)	INT.		
Maas	-0.11	0.15 ¹	n.s.	0.53	-0.31	0.15	0.32
Landelijk	-0.17	0.65	n.s.	-0.41	0.72	0.67	0.16
Kempen	-0.38	1.22	n.s.	0.01	1.57	0.63	0.25
Land/Kempen	-0.20	0.71	n.s.	-0.45	0.95	0.74	0.18
Maas/Land/ Kempen	-0.21	0.61	n.s.	-0.37	0.87	0.59	0.22

¹ getallen in rood betekenen niet-significante parameters.

Evenals voor zink blijkt dat de data uit het Maasoever bestand geen goed verband opleveren tussen het gehalte in het gewas en de bodemeigenschappen. Daarentegen resulteren de data uit het landelijk bestand wel in een goed bruikbaar verband. Het belangrijkste verschil met de gevonden relatie uit de Kempen (die eveneens goed is) is dat voor de Kempen sterkere coëfficiënten gevonden worden (1,22 voor het gehalte in de bodem). Dat lijkt wellicht triviaal maar heeft onder meer als consequentie dat in het hoge traject (dwz in monsters met veel cadmium) de voorspelling met de Kempen bodem plant relatie hogere plantgehalten oplevert in vergelijking met bijvoorbeeld de bodem plant relatie op basis van de gecombineerde datasets (zie figuur 3.13). Vanaf voorspelde plantgehalten van 0,5 mg kg⁻¹ berekent de Kempen bodem plant relatie hogere gehalten in gras dan die op basis van het gecombineerde databestand.

Wanneer de data uit de Kempen toegevoegd worden aan die van het landelijk bestand dan blijkt (zie ook tabel 3.19) de daaruit afgeleide bodem plant relatie de beste. Ook de voorspelling van de data uit het landelijk bestand wordt daarmee beter. Voor de metingen uit de Kempen geldt dat de voorspelling op basis van deze vergelijking niet slecht is maar dat de hoogst gemeten waarden systematisch iets onderschat worden. Omdat dat juist de monsters zijn waarin de voorspelling betrouwbaar moet zijn geldt dat voor de Kempen de bodemplant relatie uit de Kempen zelf nog steeds het beste is. Voor toepassing buiten de Kempen geldt dat het gecombineerde bestand bestaande uit de data van het landelijk bestand en die uit de Kempen het beste is.



Figuur 3.13 Cd in gras voorspeld op basis van gecombineerd bestand (Landelijk plus Kempen, X-as) versus voorspeld op basis van de Kempen dataset (Y-as).

Uit de analyse voor gras en maïs kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

1. De relaties uit de Kempen blijken voor maïs en in minder mate voor gras goed overeen te komen met data uit andere bestanden.
2. Voor gras geldt dat met name de data uit het Maasoeverbestand afwijken van de overige (Kempen en Landelijk bestand), toepassing van de bodem plant relatie uit de Kempen op de data van het landelijk bestand resulteert (voor cadmium, voor zink zijn er geen data in het landelijk bestand) in een redelijke fit alhoewel de ruis groter is dan wanneer het gecombineerde (Kempen + Landelijk) model toegepast wordt
3. Gebruik van de 0,43 N HNO₃ extractie voor metalen geeft voor de meeste combinaties een betere fit dan wanneer Aqua Regia wordt gebruikt. Om echter de gevonden waarden in de bodem in het kader van het huidige beleid te evalueren moeten Aqua Regia gehalten wel bepaald worden (of in ieder geval geschat).
4. In het algemeen geldt dat de bestanden met de hoogst gemeten gewasgehalten (grootste range) het meest betrouwbaar zijn. Met name in de 'hoge' range (hogere gehalten in het gewas) leidt toepassing van de bodem - plant relaties afgeleid van het landelijk bestand in de Kempen tot *onderschatting* van het gewasgehalte.
5. Een belangrijk gegeven dat uit deze analyse naar voren komt is dat het combineren van datasets met de nodige voorzichtigheid moet gebeuren. Ofschoon hier door wellicht de range in bodem eigenschappen en gemeten gewasgehalten groter wordt, betekent het niet per definitie dat de fit van een model afgeleid van gecombineerde datasets beter is. Vaak valt te zien dat de uiteindelijke bodem plant relatie "platter" wordt, wat betekent dat de gemiddelde waarden in een databestand wel goed voorspeld worden maar de range en afhankelijkheid van bodemparameters minder wordt. Dat blijkt vaak al uit het feit dat de regressie coëfficiënten minder uitgesproken zijn. Daarnaast geldt in dit geval dat het niet meer met 100% zekerheid te achterhalen valt of de gewassen op dezelfde manier bemonsterd en geanalyseerd zijn (welk deel van het gewas,

methoden etc.). Systematische verschillen die daaruit voortkomen kunnen van grote invloed zijn op de uiteindelijke bodem plant relatie

6. Een aanvullende specifiek opmerking ten aanzien van combineren van databestanden is dat gedurende de laatste 20 a 30 jaar (de periode waarin de meeste gegevens verzameld zijn) de atmosferische depositie voor met name Cd en Pb sterk is afgenomen Zeker in monsters uit laag gecontamineerde bodems (landelijk bestand!) geldt dat de bijdrage van atmosferische depositie (aanhechting) aan het totaal gehalte groot kan zijn waardoor de variatie in plantgehalten die optreedt als gevolg van verschillen in bodem eigenschappen afvlakt.

4 Conclusies

Gewaskwaliteit

De gehalten aan cadmium en zink in de bemonsterde gewassen zijn in de meeste gevallen beneden de daarvoor geldende wettelijke- en adviesnormen en zijn in overeenstemming met eerdere metingen. Bij alle onderzochte gewassen (maïs, gras, bieten en aardappelen) zijn echter ook normoverschrijdingen vastgesteld (wettelijke norm in geval van cadmium, adviesnorm in geval van zink). De normoverschrijdingen zijn gering behalve wanneer suikerbietenloof en stengel plus blad van maïs gebruikt zou worden als veevoeder (oorzaak: cadmium en zink). Afgezien van dergelijke niet vaak gebruikte gewasproducten is het aantal normoverschrijdingen: 1 bij maïs als snijmaïs (oorzaak: zink), 1 voor gras (cadmium en zink), en 1 bij aardappelen. Aardappelen zijn maar op drie locaties onderzocht. Daarbij zijn weliswaar normoverschrijdingen geconstateerd, maar deze betreffen de ongeschilde producten. Of de kwaliteit van de geschildte producten ook niet aan de norm voldoet wordt in het vervolgonderzoek bepaald. Voor aardappelen geldt in ieder geval wel (meer dan voor maïs en gras) dat het verhogen van de pH als maatregel niet (of slechts in zeer beperkte mate) van toepassing is omdat dan de gewasgroei negatief beïnvloed wordt. De locaties met de normoverschrijdingen liggen in dit onderzoek steeds binnen 5 km afstand van de zinkfabriek in Budel-Dorplein.

Bodemkwaliteit

Binnen een straal van 3 tot 5 km komen cadmiumgehalten voor die de LAC advies waarde ($0.5 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$) voor de bodem ruim overschrijden. Ook in de zone tot 10 km zijn de gehalten in bodem en gewas duidelijk verhoogd t.o.v. een referentiepunt (proefstation Vreedepeel) op 38 km.

De cadmiumgehalten in de bodemprofielen nemen op de meeste locaties sterk af beneden de 30 à 40 cm. Op een aantal locaties dalen de cadmiumgehalten echter pas sterk bij 60 à 70 cm diepte. Opties om de gehalten in de bodem te verlagen zijn er binnen de huidige wetgeving slechts in beperkte mate. Zo is diepploegen (mengen van 'schone' ondergrond met de bouwvoor) weliswaar effectief om de gehalten te verlagen, maar is dit wettelijk niet toegestaan. Bovendien vergt dit vervolgmaatregelen zoals het ophogen van het organische stofgehalte in de 'nieuwe' bouwvoor.

De bodem-gewas relaties

Regressievergelijkingen zijn afgeleid voor de cadmium- en zinkgehalten in maïs (kolf, stengel plus blad, totaal) en gras. De beste voorspellingen van cadmium- en zinkgehalten in gewassen worden verkregen met behulp van de gemeten pH en concentraties in de extracten van bodem in CaCl_2 . Dit maakt het mogelijk om per perceel met behulp van een relatief eenvoudige chemische analyse te komen tot een inschatting van de risico's.

Voorspellingen op basis van de "totaal"gehalten (HNO_3 extracties) maken het mogelijk om te komen tot kritische bodemgehalten waarbij voorpelt wordt dat de

normen voor de gewassen overschreden worden. Een vergelijking van dergelijke kritische bodemgehalten met de cadmium- en zinkgehalten zoals gegeven op kaarten maakt een eenvoudige schatting mogelijk van het gebied met risico's.

Maatregelen

Op basis van de huidige gegevens is een inschatting gemaakt van de grootte van het gebied waarin normoverschrijdingen voorkomen (zie Bijlage 7). Op basis hiervan is ook een inschatting gemaakt van de kosten van mogelijke maatregelen om de normoverschrijdingen te voorkomen.

Literatuur

- Brus, D.J., J.J. de Gruijter, D.J.J. Walvoort, F. de Vries, J.J.B. Bronswijk, P.F.A.M. Römken, en W. de Vries. 2002. Landelijke kaarten met overschrijdingsrisico's van landbouwkundige bodemnormen voor zware metalen. *Bodem* 12(1) 25-27.
- Brus, D.J., J.J. de Gruijter, D.J. Walvoort, F. de Vries, P.F.A.M. Römken, en W. de Vries. 2002. Landelijke kaarten van de kans op overschrijding van kritieke metaalgehalten in de bodem van Nederland. *Alterra rapport 124*, Alterra, Wageningen.
- Driel, W., van, B. Van Luit, W. Schuurmans, W. de Vries, M.J.J. Stienen, en G. Vos. 1988. Zware metalen in uiterwaard gronden en gewassen langs Maas, Geul en Roer. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren. *Maasoever Rapport deel 1*, 2 en 3.
- Environmental Protection Agency. (EPA). 1989. *Exposure factors handbook. General factors I*. Environmental Protection Agency, Washington, USA.
- 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* 14(6), 489-493.
- Luit, B. van. 1984. Cadmiumopname door gewassen. *Landbouwkundig Tijdschrift* 96 (12) 19-20.
- Lune, P. van, and K.B. Zwart. 1997. Cadmium uptake by crops from the subsoil. *Plant and Soil* 189: 231-237.
- Productschap voor Veevoeder. 1990. *Diervoederwetgeving in Nederland*. 's Gravenhage.
- Römken, P.F.A.M., en W. de Vries. 2001. Herziening LAC-siginaalwaarden: op weg naar bodem-specifieke normen? *Bodem*, 11(3):104-106.
- Römken, P.F.A.M., L.W.A. van Hove, en W. de Vries. 2004. Opname van metalen door landbouwgewassen. Een overzicht van beschikbare modellen en hun toepasbaarheid.. *Alterra rapport in voorbereiding*.
- Vries, W., de, P.F.A.M. Römken, R.P.J.J. Rietra, J. Faber, W.C. Ma, J. Bloem en L. Bonten. 2004. Afleiding van bodemgebruikswaarden voor landbouw en natuur: De Alterra bijdrage. *Alterra Rapport (in druk)*.
- Wezel, A., van., W. de Vries, M. Beek, P. Otte, J. Lijzen, M. Mesman, P. van Vlaardingen, J. Tuinstra, M. van Elswijk, P.F.A.M. Römken, L.T.C. Bonten. 2003. Bodemgebruikswaarden voor landbouw, natuur en waterbodem. Technisch wetenschappelijke afleiding van getalswaarden. *RIVM rapport 711701 031*.
- Wiersma, D., B. J. van Goor, and N.G. van der Veen. 1986. Cadmium, Lead, Mercury, and Arsenic Concentrations in Crops and Corresponding Soils in The Netherlands. *J. Agric. Food Chem.* 34, 1067-1074.

Bijlage 1 Cadmium- en zinkgehalten in bodem en gewas

aardappel

locatie	horizon	begindiepte cm	Einddiepte	Org. Stof [%]	pH	CaCL2		HNO3		gewas	
						Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]
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
a	2	25	45	3.5	4.8	0.04	3.8	0.21	13.8		
b	2	25	40	2.2	4.7	0.15	9.5	0.43	26.9		
	2	25	35	4.2	5.3	0.10	7.9	1.18	80.1		
a	3	45	75	1.6	4.8	0.02	1.4	0.04	9.1		
b	3	40	100	0.6	4.8	0.03	0.6	0.01	4.1		
c	3	35	100	1.7	5.2	0.02	0.3	0.03	5.4		
a	4	75	100	1.3	4.6	0.02	4.1	0.02	10.1		
b	4	100	160	0.8	4.5	0.01	0.4	0.01	1.4		

biet

locatie	horizon	begindiepte	einddiepte	Org. Stof [%]	pH	CaCL2		HNO3		gewas	
						Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Zn [mg/kg]
a	1	0	35	3.6	5.5	0.04	2.13	1.17	44.15	bieten	0.76 113
b	1	0	40	3.8	5.5	0.01	0.65	0.37	17.61	bieten	0.43 49
c	1	0	25	3.3	5.7	0.04	1.56	0.91	48.29	bieten	0.84 85
a	2	35	50	2.6	5.0	0.04	2.00	0.31	10.71	bieteloof	3.12 600
b	2	40	60	3.1	4.8	0.03	1.03	0.21	5.01	bieteloof	1.02 185
c	2	25	45	2.8	6.0	0.01	0.17	0.46	23.86	bieteloof	3.72 534
a	3	50	100	1.2	4.9	0.02	1.56	0.03	7.15		
b	3	60	90	1.9	5.0	0.01	0.44	0.01	4.02		
c	3	45	60	1.4	6.1	0.00	0.02	0.09	6.43		
c	4	60	160	5.6	6.1	0.00	0.01	0.00	1.44		

maïs

locatie	begindiepte	einddiepte	Org. Stof	pH	CaCL2		HNO3		korrel		stengel		
					Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	
	cm		[%]	extract	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	
a	1	0	25	2.1	5.1	0.01	4.6	0.23	46.7	0.03	38	0.22	89
b	1	0	30	3.4	5.1	0.05	5.8	0.78	50.3	0.05	35	0.70	128
c	1	0	20	5.9	5.2	0.05	3.1	0.99	52.7	0.08	40	0.41	107
d	1	0	25	3.4	5.8	0.01	0.7	0.62	51.5	0.01	24	0.19	39
e	1	0	40	4.8	5.2	0.05	3.9	0.83	51.3	0.04	40	0.31	79
f	1	0	120	3.2	4.4	0.06	3.5	0.30	14.2	0.03	33	0.19	54
g	1	0	35	4.3	5.3	0.07	6.7	1.08	65.3	0.03	37	0.41	131
h	1	0	35	3.4	5.8	0.02	1.0	0.97	50.6	0.08	36	0.52	84
i	1	0	35	1.3	4.6	0.16	9.6	1.33	46.7	0.06	84	1.39	346
j	1	0	30	1.8	5.0	0.09	11.2	1.43	97.1	0.02	37	0.33	112
k	1	0	25	3.6	5.3	0.02	3.8	0.52	45.7	0.02	33	0.19	65
l	1	0	45	4.8	5.0	0.06	5.8	0.96	59.0	0.03	46	0.40	153
m	1	0	30	5.0	5.4	0.08	6.9	1.37	90.8	0.07	40	0.58	141
n	1	0	30	4.2	5.3	0.12	11.8	1.41	139.0	0.11	51	1.47	345
o	1	0	25	4.4	5.2	0.11	14.2	1.44	122.9	0.03	60	0.46	177
p	1	0	25	3.3	5.8	0.02	2.1	0.90	61.6	0.02	39	0.24	69
q	1	0	25	3.9	4.4	0.37	33.5	1.68	86.7	0.11	100	1.29	527
r	1	0	20	4.7	4.8	0.13	13.4	1.24	71.4	0.04	49	0.71	152
s	1	0	38	4.3	5.5	0.02	1.8	0.82	50.9	0.04	42	0.40	124
t	1	0	40	3.5	5.6	0.03	3.5	0.64	65.9	0.06	56	0.85	202
u	1	0	35	6.3	5.6	0.18	22.7	4.46	594.9	0.10	72	0.65	438
v	1	0	35	4.5	4.8	0.25	22.8	1.78	114.5	0.15	84	1.88	437
w	1	0	25	4.1	5.5	0.00	0.3	0.28	14.5	0.01	23	0.07	22
a	2	40	60	0.5	5.9	0.00	0.1	0.02	5.0				
b	2	30	50	2.5	5.5	0.01	1.2	0.26	18.1				
c	2	20	30	4.7	5.1	0.04	2.1	0.56	29.3				
d	2	70	110	0.6	5.8	0.01	0.0	0.03	3.1				
e	2	40	65	4.3	5.3	0.02	2.4	0.60	42.6				
f	2	130	150	1.4	4.5	0.00	0.6	0.05	3.8				
g	2	35	55	3.6	5.0	0.05	6.0	0.51	32.7				
h	2	35	80	1.7	5.6	0.02	0.5	0.14	9.8				
i	2	35	60	3.8	4.5	0.05	7.5	0.27	21.9				
j	2	30	45	5.5	4.8	0.07	11.3	0.53	43.2				
k	2	25	55	2.9	5.2	0.02	3.4	0.30	25.6				
l	2	45	75	1.4	5.2	0.00	0.1	0.01	0.7				
m	2	30	50	3.5	5.3	0.03	0.1	0.28	6.7				
n	2	30	70	0.8	5.4	0.01	0.0	0.04	3.7				
o	2	25	100	2.4	5.2	0.00	0.1	0.07	4.7				
p	2	25	45	2.4	5.3	0.02	3.3	0.22	21.7				
q	2	25	35	2.9	4.6	0.21	23.6	0.99	61.4				
r	2	20	40	1.5	5.0	0.06	6.2	0.48	27.3				
s	2	38	50	1.9	5.9	0.00	0.0	0.17	7.8				
t	2	40	80	3.5	5.4	0.00	0.0	0.00	1.6				
u	2	35	60	2.9	5.4	0.00	0.0	0.18	8.0				
v	2	35	80	1.2	4.9	0.04	4.0	0.09	15.6				

w	2	25	45	1.3	5.3	0.00	0.0	0.01	0.8
a	3	60	90	1.0	5.6	0.00	0.0	0.01	0.7
b	3	60	130	1.1	5.4	0.00	2.4	0.01	11.0
c	3	30	50	1.4	5.2	0.01	0.6	0.06	7.7
e	3	65	100	18.2	5.4	0.00	0.1	0.44	17.0
g	3	55	70	3.9	4.9	0.04	4.1	0.25	6.9
h	3	80	140	0.8	4.8	0.03	4.6	0.05	11.0
l	3	70	110	3.8	4.5	0.02	6.9	0.07	16.5
j	3	45	100	1.0	4.9	0.02	4.7	0.05	14.2
k	3	55	70	1.6	4.6	0.00	0.1	0.02	1.4
l	3	75	130	1.4	5.5	0.00	0.0	0.01	0.6
m	3	50	100	1.1	4.6	0.00	0.0	0.00	0.6
n	3	70	90	1.0	5.5	0.00	0.0	0.03	1.8
o	3	80	100	3.1	5.0	0.00	0.5	0.04	4.5
p	3	45	70	1.6	5.1	0.01	1.2	0.03	7.4
q	3	35	75	0.7	4.9	0.00	5.0	0.01	10.9
r	3	40	100	0.7	5.6	0.00	0.1	0.01	3.4
s	3	50	100	0.8	5.8	0.00	0.0	0.00	0.3
t	3	80	110	1.7	4.2	0.00	0.8	0.00	2.0
u	3	60	100	1.6	4.3	0.00	0.4	0.01	1.8
v	3	80	150	1.6	4.3	0.01	1.4	0.01	3.2
w	3	45	75	0.3	5.4	0.00	0.0	0.00	0.2
c	4	50	80	0.6	5.5	0.00	0.1	0.03	2.2
g	4	70	130	1.1	5.1	0.00	0.2	0.00	20.5
l	4	110	135	1.8	4.5	0.01	4.9	0.02	12.8
j	4	100	120	1.5	4.2	0.00	2.7	0.02	5.2
k	4	70	110	0.8	4.6	0.00	0.1	0.01	0.8
m	4	100	140	1.7	4.3	0.00	0.4	0.01	1.5
n	4	90	150	1.2	4.7	0.00	0.9	0.03	3.0
o	4	100	140	1.9	4.6	0.00	0.2	0.00	2.5
p	4	70	140	1.7	5.0	0.02	1.2	0.03	6.5
q	4	75	110	1.5	4.7	0.00	5.1	0.02	12.6
r	4	100	150	1.4	5.4	0.00	0.0	0.02	1.3
w	4	75	155	0.6	4.6	0.00	0.0	0.00	0.4

locatie	Begin	einddiepte cm	Org. Stof [%]	pH extract	CaCL2		HNO3		gewas		
					Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	
					[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	
a	1	0	10	5.2	5.1	0.08	10.7	1.01	105.3	0.40	173
b	1	0	5	5.1	5.5	0.01	0.5	0.61	20.7	0.07	37
c	1	0	5	5.2	5.6	0.01	0.5	0.59	24.5	0.12	36
d	1	0	5	4.2	4.9	0.09	6.9	0.52	34.4	0.23	91
e	1	0	5	10.1	5.0	0.09	7.6	0.76	53.2	0.47	92
f	1	0	5	6.1	5.0	0.11	10.8	1.19	73.9	0.42	163
g	1	0	5	6.0	4.8	0.09	8.1	0.98	52.7	0.45	114
h	1	0	5	6.3	4.9	0.11	10.1	1.14	58.8	0.40	100
i	1	0	5	4.6	5.1	0.11	7.8	0.77	37.0	0.65	144
j	1	0	5	9.1	5.1	0.10	11.9	1.82	131.2	1.08	168
k	1	0	5	5.7	5.4	0.07	4.2	1.24	57.8	1.32	120
l	1	0	5	8.1	5.1	0.12	11.0	1.79	124.2	0.85	111
m										0.26	86
n	1	0	5	6.9	5.1	0.17	20.2	2.50	196.4	0.77	334
o	1	0	5	2.9	5.4	0.03	3.6	0.81	83.5	0.28	102
a	2	10	30	4.9	5.8	0.03	2.7	1.00	104.3		
b	2	5	30	5.3	5.6	0.01	0.3	0.56	18.9		
c	2	5	28	4.3	5.2	0.04	2.2	0.59	23.6		
d	2	5	25	4.0	4.9	0.08	6.9	0.51	34.0		
e	2	5	30	5.9	4.8	0.10	6.4	0.66	30.9		
f	2	5	30	6.6	4.7	0.14	13.6	1.17	72.4		
g	2	5	30	5.2	4.7	0.12	11.4	0.99	53.8		
h	2	5	25	4.4	4.6	0.18	15.9	1.07	52.2		
i	2	5	25	4.2	5.6	0.06	4.0	0.84	42.6		
j	2	5	25	7.5	5.3	0.08	9.1	1.97	136.7		
k	2	5	25	4.2	5.5	0.08	4.2	1.40	60.1		
l	2	5	20	5.4	5.1	0.22	17.3	2.13	121.5		
n	2	5	35	6.3	5.1	0.21	27.8	2.55	210.6		
o	2	5	25	4.1	5.5	0.03	3.0	0.82	55.5		
a	3	30	70	1.2	5.4	0.01	0.2	0.01	3.3		
b	3	30	65	2.8	4.8	0.04	1.0	0.23	5.5		
c	3	28	60	4.5	4.9	0.05	2.1	0.41	13.1		
d	3	25	45	2.8	5.1	0.06	3.3	0.34	19.6		
e	3	30	40	4.5	4.8	0.03	2.3	0.22	14.5		
f	3	30	70	1.5	4.8	0.04	4.5	0.08	13.3		
g	3	30	55	3.8	4.9	0.11	10.0	0.91	48.6		
h	3	25	45	3.0	4.7	0.07	9.5	0.34	28.5		
i	3	25	55	3.0	4.7	0.12	10.4	0.35	22.8		
j	3	25	55	2.7	5.0	0.02	1.1	0.13	9.7		
k	3	25	115	0.8	4.6	0.04	1.0	0.05	2.1		
l	3	20	40	3.0	5.1	0.10	6.4	0.64	40.4		
n	3	35	50	4.6	5.3	0.01	1.4	0.26	24.2		
o	3	25	55	0.6	5.8	0.02	1.5	0.08	7.8		

b	4	65	110	0.4	4.8	0.01	0.4	0.01	1.5
c	4	60	70	1.6	4.8	0.01	3.2	0.03	10.4
d	4	50	80	0.6	5.4	0.02	0.7	0.01	3.0
e	4	40	90	0.9	5.1	0.01	0.3	0.00	1.6
f	4	70	160	1.2	4.7	0.02	1.0	0.00	4.0
g	4	55	115	2.1	4.6	0.01	0.6	0.00	3.7
h	4	45	75	1.1	5.1	0.02	2.5	0.03	11.0
l	4	55	115	0.8	4.6	0.01	0.4	0.00	2.0
j	4	55	70	1.4	4.3	0.00	0.4	0.01	1.2
l	4	40	105	0.8	4.9	0.01	0.0	0.02	1.4
n	4	50	70	1.2	5.4	0.00	0.0	0.00	1.2
o	4	55	100	1.1	5.8	0.01	0.6	0.03	8.1
b	5	110	125	0.7	4.8	0.01	1.6	0.01	4.8
c	5	80	110	0.6	5.0	0.01	2.0	0.01	5.3
d	5	80	90	1.9	5.6	0.01	0.2	0.05	5.3
j	5	80	100	1.2	4.1	0.00	0.5	0.01	1.3
l	5	70	80	1.4	4.3	0.00	0.1	0.01	0.6

Bijlage 2 Beschrijving boorpunten

	Bodem type	gewas	ras	horiz	aantal aantal gewas	aantal aantal grond	duplo	group	Sub	deed	Cijfer	Toev.	GHG	GLG	Gt
1	veldpodzol	aardappelen	bintje	4	2	2	2r			423			75	200	VId
2	gooreerd	aardappelen	bintje	4	2	2	4i			422			70	175	
3	veldpodzol	aardappelen	mirjam	3	2	2	2r			423			65	175	VIo
4	gooreerd	biet	magnolia	3	4	2	c4i			423			100	210	VIId
5	laarpodzol	biet		3	4	2	2q			423			120	220	VIId
6	beekeerd	biet	magnolia	4		2	4h			423			60	150	VIo
7	beekeerd	gras		3	2	2	4h			423			65	290	VId
8	laarpodzol	gras		4	2	2	2q			423			100	200	VIId
9	Laarpodzol	gras		5	2	2	2q			422			70	175	VIo
10	beekeerd	gras		5	4	2	4h			423			40	150	sVIo
11	beekeerd	gras		4	2	2	c4h			423			35	130	sVbo
12	veldpodzol	gras		4	2	2	2r			432			65	185	
13	veldpodzol	gras		4	2	2	2r			432	F		65	185	VId
14	veldpodzol	gras		4	4	2	2r			423			90	210	VIId
15	veldpodzol	gras		4	2	2	2r			423	F		60	185	VId
16	veldpodzol	gras		5	4	2	2r			423			50	175	VIo
17	gooreerd	gras		3	2	2	4i			422			60	140	VIo
18	veldpodzol	gras		4	2	2	2r			423			75	190	VId
19		gras		x	2	2	x			x			x	x	
20	laarpodzol	gras		- 5	2	2	2q			423			75	190	VId
21	gooreerd	gras		4	2	2	4i			423			60	170	VIo
22	gooreerd	maïs	cerruti	3	6	6	4i			422			70	175	VIo
23	gooreerd	maïs	meribel	3	6	6	c4i			423			75	185	VId
24	beekeerd	maïs	x	4	6	6	4k			423			30	150	Vbo
25	gooreerd	maïs	x	2	6	6	4i			423			110	200	VIo
26	gooreerd	maïs	x	3	6	6	4s			433	w7		35	130	Vbo
27	enkeerd	maïs	x	2	6	6	d4s			432			120	201	
28	enkeerd	maïs	tripoli	4	6	6	4s			423			90	200	VIId
29	beekeerd	maïs	accent	3	6	6	c4k			423	t13		70	170	VIo
30	laarpodzol	maïs	symphonie	4	6	6	2q			423			75	200	VId
31	moerpodzol met zaveldek	maïs	columbus	4	6	6	4k			423			75	210	VId
32	gooreerd	maïs	columbus	4	6	6	4i			422	F		110	210	VIId
33	gooreerd	maïs	columbus	3	6	6	4i			423			75	175	VIo
34	enkeerd	maïs	oldham	4	6	6	4s			423			600	170	VIo
35	gooreerd	maïs	rivaldo	4	6	6	4i			422			35	170	Vbo
36	gooreerd	maïs	meribel	4	6	6	4i			423	F		70	190	VId
37	Gooreerd	maïs	meribel	4	6	6	4i			423	F		70	200	VId
38	Gooreerd	maïs	columbus	4	6	6	4i			423			90	210	VIId
39	Gooreerd	maïs	symphonie	4	6	6	4i			423			35	145	Vbo
40	Laarpodzol	maïs	rivaldo	3	6	6	2q			423			70	190	VId
41	Gooreerd	maïs	x	3	6	6	c4i			423			50	180	VIo
42	Laarpodzol	maïs	goldissa	3	6	6	2q			423	F		60	180	VIo
43	Gooreerd	maïs	goldissa	3	6	6	4i			423			70	170	VIo
44	Veldpodzol	maïs	compare	4	6	6	2r/4i			422			75	170	VIo

Bijlage 3 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}		Producten in dit onderzoek
	per vers gewicht*	Per droog Gewicht#	
Diervoederwet	1	1,1	Loof/knol van suikerbieten Gras Maïs
Warenwet	0,1	0,42 #	Aardappel
	0,1	0,5\$	Suikerbiet

* herleid tot een versgewicht van 12%.

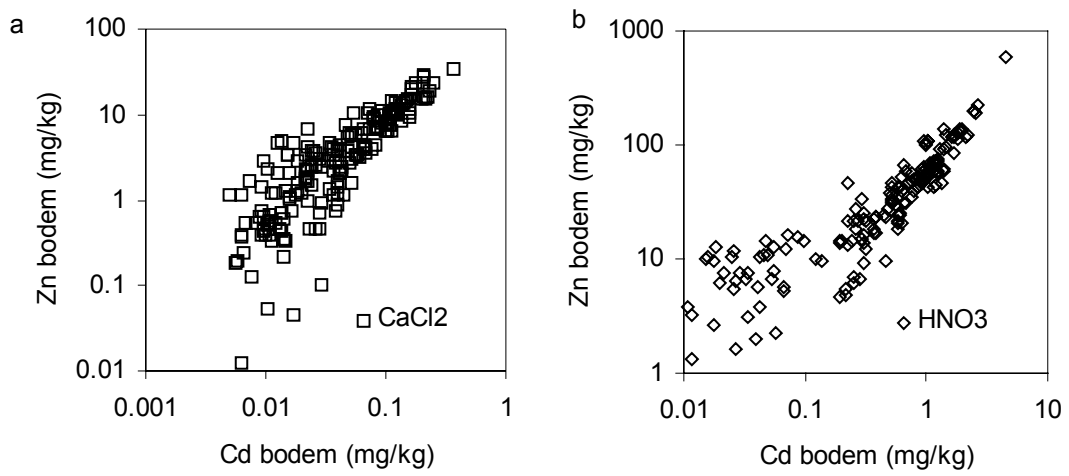
#vochtgewichten op basis van Wiersma et al. (1988) en van Driel et al. (1986), (76% vocht) (in EPA Exposure Factors Handbook (1989): 83% vocht, in dit onderzoek op vier locaties bepaald en gemiddeld: 79 %).

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

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

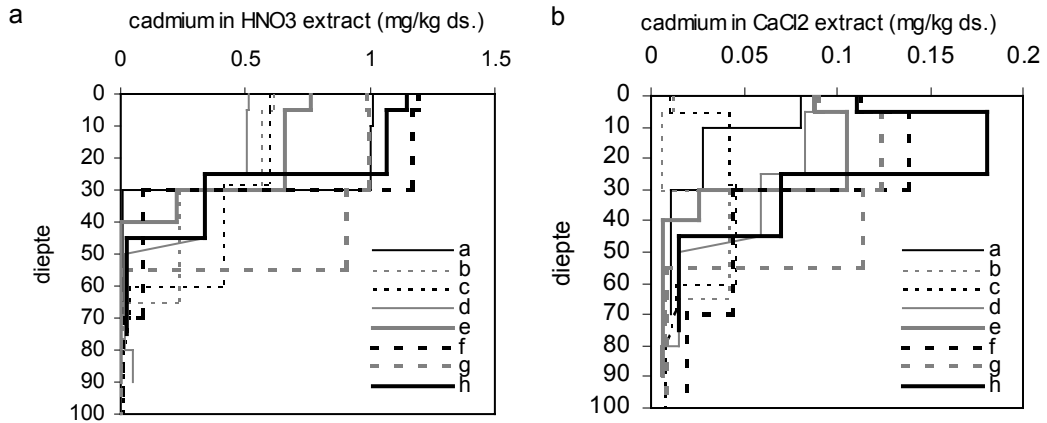
* herleid tot een versgewicht van 12%.

Bijlage 4 Relatie tussen cadmium en zink in de bodemmonsters

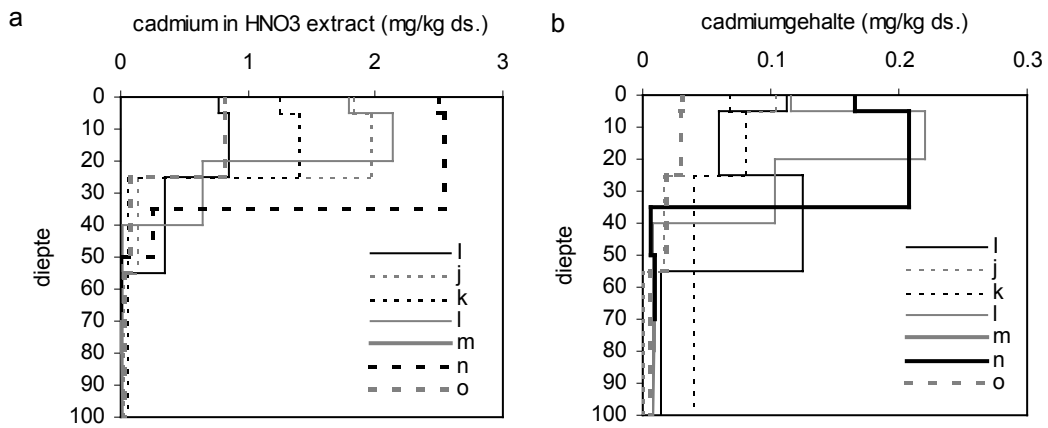


Figuur B. 4.1 Samenhang tussen cadmium en zink in alle bodemmonsters: in CaCl₂ extract (a) en in HNO₃ extract (b).

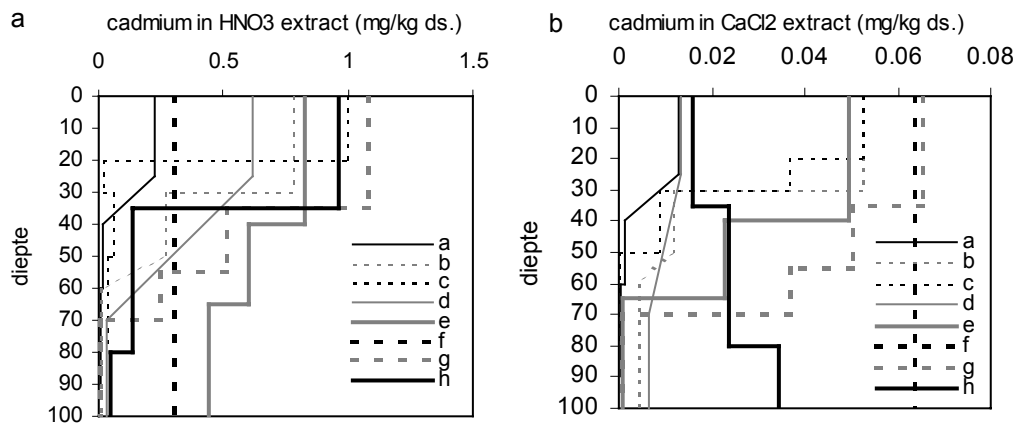
Bijlage 5 Verloop van cadmium in bodemprofielen



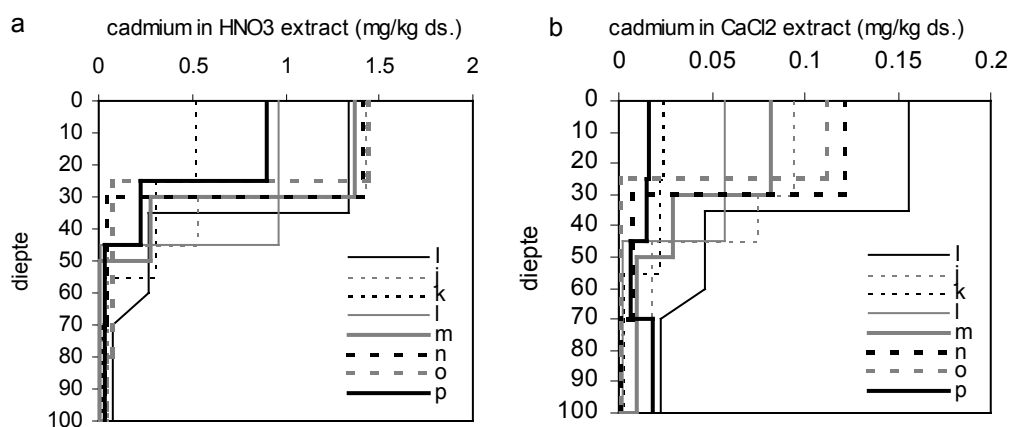
Figuur B5.1a Cadmium als functie van de diepte in de bodem bij graslandlocaties t/m h.



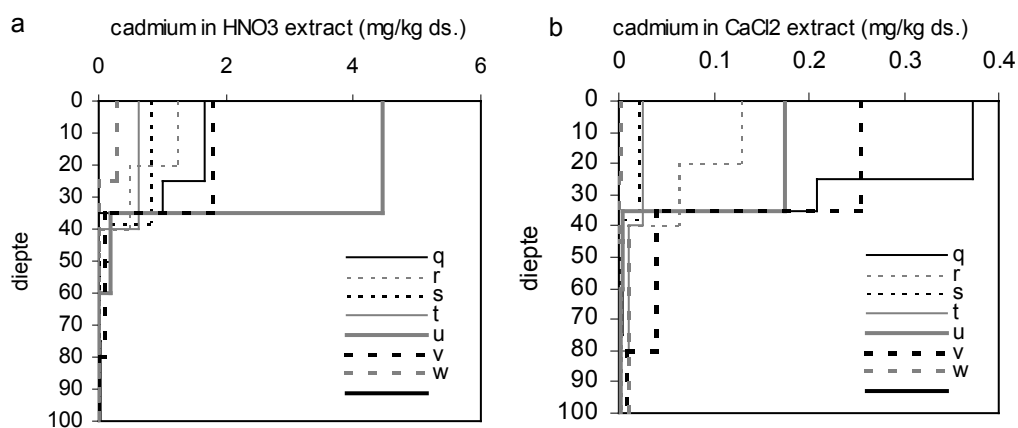
Figuur B5.1b Cadmium als functie van de diepte in de bodem bij graslandlocaties i/m o.



Figuur B5.2a Cadmium als functie van de diepte in de bodem bij maislocaties a/m h.



Figuur B5.2b Cadmium als functie van de diepte in de bodem bij maislocaties i t/m p.



Figuur B5.2c Cadmium als functie van de diepte in de bodem bij maislocaties q t/m w.

Bijlage 6 Opzoektabellen

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

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 7 Schatting gebied en kosteninschatting maatregelen

Samenvatting

Op naar schatting 400 hectaren in de gemeente Cranendonck groeien gewassen waarvan berekend wordt dat die de normen overschrijden. Berekeningen van het aantal bedrijven lopen zeer uiteen. Het aantal percelen is ongeveer 8 percelen, 9 percelen maïs, en 40 percelen met gras. Indien je overal instaat wilt zijn om grasland of aardappels te telen dan kan in een gebied van respectievelijk 500 of 1200 ha potentieel de norm worden overschreden. Indicatief worden de totale kosten berekend op: k€ 784.

De kosten van de maatregelen zijn sterk afhankelijk van de mate van zekerheid die gewenst is over het voorkomen van normoverschrijdingen. Dit beïnvloedt direct de kosten van nader onderzoek (sterk afhankelijk van de gewenste nauwkeurigheid/fijnmazigheid). De teelt van aardappelen lijkt het meest gevoelig (het grootste gebied). Over de bodem-gewasrelatie voor aardappelen is nog niet veel bekend. Een verbetering kan daarom mogelijk veel kosten voorkomen.

B7.1. Inschatting van het aantal bedrijven en hectares.

Berekend zijn de cadmiumgehalten in landbouwgewassen in de Kempen. Dit gebeurt op basis van een landelijke kaart (Brus et al, 2002) voor cadmium, pH en organische stof, en bodem-plant relaties die zijn afgeleid uit landelijke datasets². In geval van gras is gebruik gemaakt van het recente onderzoek in de gemeente Cranendonck omdat gebleken is dat de "algemene" bodem-gewasrelatie voor cadmiumopname door gras de cadmiumgehalten te laag voorspelt voor de bodems in de Kempen. In Tabel B7.1 zijn de resultaten weergegeven als het aantal hectaren in de gemeente Cranendonck waar een overschrijding is berekend en als een percentage van het areaal in de gemeente waar een overschrijding voor is berekend. De overschrijding in het geval van suikerbieten is mogelijk niet relevant omdat waarschijnlijk de norm hierbij niet van toepassing is op de geoogste bieten maar op het product van de suikerfabriek.

Conclusie: bij het huidige landgebruik wordt het totaal aantal hectaren in de gemeente Cranendonck met normoverschrijding in de gewassen berekend op 404 hectares. Dit is een gebied rondom Budel-Dorplein (exclusief de suikerbieten komt dat neer op 339 hectaren): zo'n 10% van het landbouwareaal in de gemeente Cranendonck.

² De landelijke kaart geeft de gemiddelen voor de genoemde parameters per gridcel van 100m x 100 m. Dit houdt in dat de berekende cadmiumgehalten in de gewassen ook per gridcel van 100 x 100 m zijn en bijvoorbeeld niet per perceel of bedrijf.

Tabel B7.1 Berekening van het oppervlak waar een overschrijding van de norm voor cadmium is voorspelt bij het huidige landgebruik.

Landgebruik	Oppervlakten agrarisch gebruik		ha	Cadmium norm
	Totaal (ha)	verdeling %	Overschrijding gehalte	%norm overschrijding
Gras	1499	42%	187	12%
Maïs	1451	40%	76	5%
Aardappelen	158	4%	76	48%
Bieten	65	2%	65	100%
Granen (veevoeder)	39	1%	0	0%
overige landbouwgewassen	371	10%		
totaal landbouw	3583		404	11%
totaal gemeente Cranendonck	7819			

In Tabel B7.2 worden de aantal bedrijven gegeven waarbij zich normoverschrijdingen kunnen voordoen. De methode om het aantal bedrijven te berekenen is niet eenduidig en wordt gedaan op basis van verschillende methoden. De verschillende methoden geven heel verschillende schattingen van de aantallen betrokken bedrijven.

Ook is gekeken voor hoeveel percelen een normoverschrijding is berekend (via topografische kaart): in geval van aardappelen betreft het ongeveer 8 percelen, 9 percelen maïs, en 40 percelen met gras. De gemiddelde perceelsgrootte in de gemeente Cranendonck is 1,75 hectare maar de overschrijdingen worden berekend in de zuidkant van de gemeente waar zich grotere percelen bevinden.

Tabel B7.2 Schatting van het aantal betrokken bedrijven. Een probleem is dat op basis van het type bedrijf niet te zeggen is of een bedrijf alleen aardappelen heeft of ook maïs of grasland heeft. Uitgegaan is van 50 akkerbouwbedrijven³ in de gemeente Cranendonck en 100 bedrijven⁴ met maïs en grasland.

Gewas	Schatting op basis van:				
	¹ in gebied met overschrijding	² in maximaal 100 m buiten het gebied	aantal ha en totaal aantal bedrijven	aantal ha en totaal aantal bedrijven per landgebruik	min-max
Gras ⁴	17	66	12	12	12-66
Maïs ⁴	5	27	5	5	5-27
Aardappel ³	1	28	5	24	1-28
Biet ³	2	15	4	50	2-50
Granen ³	0				

¹Tel aantal giab punten van 2002 in de gridcellen (100x100 meter) waar overschrijding van de norm voor betreffend gewas is voorspelt

²Daarnaast een buffer van 100 meter rond deze cellen gelegd, en opnieuw aantal bedrijven bepaald (binnen cel + omgeving)

³som van: akkerbouw/veeteeltcombinaties, maaidorsbare gewassenbedrijven, gespecialiseerde hakvruchtbedrijven, graan/hakvruchtbedrijven, akkerbouwgroentebedrijven, overige akkerbouwbedrijven

⁴ som van: sterk gespecialiseerde melkveebedrijven, gespecialiseerde melkveebedrijven, overige melkveebedrijven, overige rundveebedrijven, overige graasdierbedrijven.

Het berekend aantal hectaren met een overschrijding van de norm is op basis van het huidige landgebruik. Dit onderschat het probleem. In de toekomst wil men bijvoorbeeld aardappelen kunnen telen op een locatie die nu gras heeft. Daarom is tevens berekend bij hoeveel hectaren een normoverschrijding zou plaatsvinden als op het gehele landbouwareaal aardappelen, maïs of gras wordt geteeld. Het meest gevoelige gewas bepaald dan het gebied met de risico's. In Tabel B7.3 is te zien dat (uitgezonderd bieten) aardappelen het meest kritische gewas is van de vier (gras, maïs, aardappelen, graan). Het risicogebied is daarmee potentieel 1237 hectare groot. Dat betreft ook percelen buiten de omgeving van Budel en Budel-Dorplein. Dat is aanzienlijk meer dan het actuele risicogebied berekend in Tabel 1 van 404 hectare. Aangezien in de toekomst niet overal ooit aardappelen geteeld gaan worden zal het risicogebied kleiner zijn dan 1237 hectare maar het is dus waarschijnlijk groter dan 404 hectare. Let wel: er zijn ook overschrijdingen mogelijk buiten het gebied waarin de berekende gewasgehalten te hoog zijn. Dit komt door de gegevens gebaseerd zijn op een beperkt aantal metingen en ruimtelijke interpolaties daarvan.

Tabel B7..3 Berekening van het oppervlak waar een overschrijding van de norm voor cadmium wordt voorspelt indien het gehele landbouwareaal bestaat uit 1 gewasstype.

Landgebruik	Oppervlakten	ha	Cadmium norm
	(ha)	Overschrijding gehalte	%norm overschrijding
Gras	7266	499	7%
Maïs	7266	202	3%
Aardappelen	7266	1237	17%
Bieten	7266	3455	48%

Voor het schatten van maatregelen zijn eenvoudige aannames nodig: maatregelen zijn nodig bij 400 ha. Afhankelijk van de wens om aardappelen te telen is het gebied waar maatregelen nodig zijn 1200 ha (als je aanneemt dat overal aardappelteelt mogelijk moet zijn). Als handvat voor het schatten wordt daarom een gebied van 600 ha gebruikt. Aangenomen wordt dat je in een deel van dit gebied met kalk de problemen kunt verhelpen maar dat in een klein deel meer nodig is: stel 200 ha. Verder wordt aangenomen dat in een deel van de 1200 ha er de wens is om aardappelen te kunnen telen en dat hiervan 600 ha buiten het eerder genoemde gebied ligt: stel 50 ha.

B7.2. Inschatting van maatregelen, kosten en tijdspad.

De maatregelen die eerder al gesuggereerd zijn:

Ter voorbereiding van de mogelijke maatregelen is maatwerk nodig per perceel. Dit voorkomt dat maatregelen worden genomen waar ze niet nodig zijn en omgekeerd. Op een aantal plaatsen zijn de cadmiumgehalten relatief hoog tot een diepte van 60 à 70 cm waardoor maatregel 3 niet relevant is.

Verhogen van de pH via bekalken

Verhogen van de pH via bekalken , verschralen van bovenste 10 cm, herstellen van organische stofgehalten in de bovenste 10 cm via GFT compost.

Maatregel 2 en 3 en/of het verlagen van de cadmiumgehalten in de bouwvoor via diepploegen.

Alternatieve hulpstoffen die nog in onderzoek zijn (bijv. cement), en de kosten van het stoppen van bepaalde teelten worden hier niet behandeld.

Het uit productie nemen van landbouwgronden is ook een optie. De kosten hiervan zijn zeer afhankelijk van het nieuwe gebruik. In een deel van het gebied is industrieterrein een mogelijkheid of natuur. De kosten van het aankopen per hectare zijn ongeveer: k€ 40 per ha. Ter vergelijking: sterk bekalken na onderzoek levert ongeveer een kostprijs per hectare op van ongeveer k€ 1 per hectare.

Er zijn éénmalige kosten en duurzame kostenposten. Eénmalige kosten zijn de bekalking die nodig is om te komen tot een sterke pH verhoging. De onderhoudsbekalking en reparatiebekalkingen horen tot de standaard bedrijfsvoering en zijn minder groot.

Indien je door een hogere pH een minder goede opbrengst hebt leidt dit tot een jaarlijks verlies aan inkomsten. Opbrengstdalingen als functie van de pH (tot pH =6) zijn algemeen bekend (NMI, 2000) (zie Tabel B7.4).

In het gebied met eventueel normoverschrijdingen is de maatregel om extra te bekalken of organische stofgehalte te verhogen afhankelijk van de mate van de berekende overschrijding, oftewel afhankelijk van het cadmiumgehalte, de pH en het organische stofgehalte. Een adviestabel is hiervoor is gemaakt (zie onderzoeksrapport). Maatwerk leidt tot vermindering van de kosten omdat de maatregelen niet overal maximaal gehanteerd hoeven te worden. Daarom wordt hier de volgende aannames gehanteerd:

Ingeschat wordt dat maatwerk leidt tot een kostenvermindering van 25% ten opzichte van onderstaande maximale mogelijke maatregelen en dat de hoeveelheid te gebruiken GFT compost niet de marktprijs beïnvloed.

bekalken tot pH 6,0 is voldoende om de problemen met normoverschrijdingen bij 80% van het gebied met normoverschrijdingen tav van maïs en gras te verhelpen (=maatregel 2). Het betreft naar schatting in totaal 400 ha (600-200; 200 ha zie volgende punt).

Bekalken, het toedienen van organische stof en eventueel diepploegen is voldoende om de meer ernstige problemen met normoverschrijdingen in 200 ha van het gebied met normoverschrijdingen tav maïs en gras (=maatregel 3).

Diepploegen/bovenste bodemhorizont begraven, en toedienen van organische stof is voldoende om de problemen met normoverschrijdingen bij aardappelen te voorkomen. Geschat wordt dat het aandeel akkerbouw met soms aardappelen (buiten de eerder genoemde 600 ha) 50 ha beslaat (maatregel 4)

Tabel B7.4 Gemiddelde pH en organische stofgehalte in het onderzoek voor AbdK

	<i>maïs</i>		<i>Gras</i>	
	gemiddelde	Gewenst	gemiddelde	
pH	5.2	>6.0	5.1	>6.0
Opbrengstderving (%)	7%		0%	
	<i>Aardappelen</i>		<i>suikerbiet</i>	
pH	5.2	>6.0	5.6	>6.0
Opbrengstderving (%)	6%	kwaliteit vermindert	0%	

Tabel B7.5 Schattingen van kosten uitgaande van 700 hectaren met normoverschrijdingen (de kosten van de opbrengstderving zijn niet berekend).

Maatregel	Enmalige kosten:	Jaarlijkse meerkosten
	a. per locatie (of per ha) en b. in totaal voor het gegeven oppervlak	
1 Onderzoek	a. € 250,- per locatie (bemonstering en analyse)	-
650 ha / 3,3 ha = pm 200 locaties	b. k€ 50	-
2 Bekalken : 6500 kg ZBW/ ha	a. € 775 per ha (grondstof+strooien en mengen). info: Ankerpoort NV (telefonische) en Houbraken-vZon (schriftelijk) NB dit is op basis van werkzaamheden bij 6000 kg kalk (moet pm 13000 worden)	Blijvende opbrengstderving
400 ha	c. k€ 310 incl bewerking, via maatwerk k€ 232	
3 Bekalken, verschralen en herstellen van organische stofgehalte (met 1% in 1° 10 cm).	a. € 2000 per ha voor strooien en inwerken van 100 ton compost, plus € 775 voor bekalking; Totaal € 2775 per ha	Herhalen na 10 a 20 jaar
200 ha	b. k€ 555 (compost plus kalk), via maatwerk k€ 416	blijvende opbrengstderving
4 Diepploegen ⁷ /bouwvoor begraven, licht bekalken en organische stof	a. € 1500 per ha voor compost plus diepploegen plus € 775 per ha voor bekalking is € 2275 per ha	Opbrengstderving gedurende 1e jaar
50 ha	b. k€ 114(dieppl./compost/kalk), via maatwerk k€ 85	
Totaal	k€ 50+232+416+85 = k€ 784	

Toelichting

- 1: beschrijving bodemprofiel, bemonstering van 1 bodemhorizont, analyse en advies: afhankelijk van hoeveelheid analyses (totaal en/of extractie met CaCl₂).
2. Een pH verhoging leidt tot een hoger cadmiumgehalte in de bodem bij welke de gewasnormen niet worden overschreden (kritische cadmium gehalte in de bodem).
3. Per 1% verhoging in de eerste 10 cm van de bouwvoor is 100.000 kg GFT compost per hectare nodig. Dit geeft een duurzame verhoging van het organische stofgehalte (minstens 10 jaar). Liefst compost met weinig P, N en Cd. Het verhogen van het organische stof heeft ook gunstige effecten

op waterhuishoudend vermogen. Een verhoging met 1% organische stof (bij gemiddeld 4% organische stof) leidt tot een hoger cadmiumgehalte in de bodem bij welke de gewasnormen niet worden overschreden.

4. Er bestaan heel verschillende manieren van bewerken: 1) verschralen van de bouwvoor met grond van beneden de 30 cm, 2) bouwvoor begraven, dieper dan 40 cm.

5. Van diepploegen met de bedoeling om zware metalen te verdunnen -in de ondergrond te verhogen- is op dit moment niet duidelijk of dat binnen de huidige wettelijke kaders mag.

Een schatting - met de genoemde aannames en uitgangspunten - levert dus een bedrag op van k€ 784 (zonder verandering van landgebruiks/aankoop van gronden).

Het tijdspad waarbinnen de activiteiten kunnen plaatsvinden, wordt bepaald door de manier waarop de bekalking en landverbetering (organische stof+diepploegen) past binnen de normale agrarische activiteiten en de mate waarin kalk en organische stof voorhanden zijn. Het sterk bekalken van grasland (met inwerken) is alleen mogelijk in combinatie met hernieuwd inzaaien. Het vernieuwen van gras past weliswaar in een normale bedrijfsvoering maar het is mogelijk dat dit kortgeleden al is uitgevoerd. De levering van voldoende compost en, in mindere mate kalk voor een gunstige prijs beperkt de mogelijkheden. De productie en afzet van compost zijn redelijk constant en niet eenvoudig te vergroten. Het is voor de prijs zeer gunstig indien de compost geleidelijk wordt gekocht. Hierdoor moeten de maatregelen over meerdere jaren worden verspreid. De grote hoeveelheid kalk moet in verschillende seizoenen toegepast worden. Ook hiervoor geldt dat de prijs afhankelijk is van de mate waarin de markt beïnvloedbaar is.

Referenties

Brus, D.J., J.J. de Gruijter, D.J.J. Walvoort, F. de Vries, J.J.B. Bronswijk, P.F.A.M. Römken, en W. de Vries. 2002. Landelijke kaarten met overschrijdingsrisico's van landbouwkundige bodemnormen voor zware metalen. Bodem 12(1) 25-27.

Brus, D.J., J.J. de Gruijter, D.J. Walvoort, F. de Vries, P.F.A.M. Römken, en W. de Vries. 2002. Landelijke kaarten van de kans op overschrijding van kritieke metaalgehalten in de bodem van Nederland. Alterra rapport 124, Alterra, Wageningen.

NMI. Praktijkids Bemesting, Wageningen, Nutrienten Management Instituut, NMI, 2000, ISBN 90-804058-2-5.

P.F.A.M. Römken, R.P.J.J. Rietra, J.P.A. Lijzen, P.F. Otte, en R.N.J. Comans 2004. Opname van cadmium door gewassen in moestuinen in de Kempen: risico-inventarisatie en maatregelen isico-inventarisatie verontreinigde gewassen. Alterra rapport 918, Wageningen, Alterra.