REDAKTIE: Consulentschap i.a.d. voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw
Postbus 12, 6700 AA Wageningen, Telefoon: 08370-19100

I N H O U D

pag.

BELEID TEN AANZIEN VAN DE CADMIUMAANVOER IN DE AKKERBOUW
door Dr.Ir. Ch.H. Henkens

Het cadmiumgehalte in verschillende gewassen 1 - 8
afkomstig van praktijkpercelen Tarwe 2
afkomstig van praktijkpercelen Gerst 2
afkomstig van praktijkpercelen Haver 5
afkomstig van praktijkpercelen Aardappelen 6
afkomstig van praktijkpercelen Spinazie 7

Het cadmiumgehalte van verschillende gewassen geteeld op dezelfde grond 8 - 12

Het cadmiumgehalte in de grond 12 - 19

Het verband tussen grond- en gewasonderzoek 19 - 24

Cadmiumaanvoer op landbouwgronden 24
aanvoer middels de neerslag 24 - 26
aanvoer middels de kunstmeststoffen 26 - 37
aanvoer middels de dierlijke mest 37 - 42
aanvoer middels de afvalstoffen uit de samenleving 42 - 45

Samenvatting en conclusies 45 - 47

Literatuur 47 - 49

Bijlagen 49 - 51

CADMIUM AAN- EN AFVOER IN DE VOEDINGSTUINBOUW
door Dr.Ir. T. Breimer

Het cadmiumgehalte in groentegewassen 53 - 56

De cadmiumaanvoer in de tuinbouw 56 - 59

Samenvatting en conclusie 59 - 60

Literatuur 60

Niet voor publikatie
29e jaargang nr. 1
januari 1983

BELEID TEN AANZIEN VAN DE CADMIUMAANVOER IN DE AKKERBOUW

door: Dr.Ir. Ch.H. Henkens

CAD voor Bodemaangelegenheden in de Landbouw te Wageningen

De laatste jaren is de bezorgdheid over de schadelijke invloed van cadmium op de menselijke gezondheid sterk toegenomen. Als kritische parameter voor cadmium wordt het cadmiumgehalte van de nierschors genomen. Als een normaal cadmiumgehalte wordt een gehalte van 30-100 ppm in het verse materiaal beschouwd. Waarden hoger dan 200 µg per gram versgewicht worden als kritiek beschouwd. Overschrijding hiervan kan leiden tot nierbeschadiging en proteinurie. De WHO (World Health Organization) noemt een cadmiumgehalte in de nier van 50 ppm normaal en gaat ervan uit, dat deze waarde niet overschreden wordt als de dagelijkse opname aan cadmium niet hoger is dan 1 µg per kg lichaamsgewicht. Dit betekent dus bij een gemiddeld lichaamsgewicht van 60 à 70 kg een toegelaten cadmiumopname van 60 à 70 µg per dag of 400 à 500 µg per week.

Of er maatregelen genomen moeten worden ten aanzien van de cadmiumtoevoer aan de landbouwgrond, hangt van verschillende faktoren af. In de eerste plaats van het cadmiumniveau in de verschillende gewassen en de daaruit voortvloeiende cadmiumopname. Verder van de verschillende cadmiumbronnen en de vraag of deze bronnen kunnen worden beinvloed.

Het cadmiumgehalte in de gewassen

Op verzoek van de LAC-stuurgroep "Bodem en Gewas" werden monsters genomen van de gewassen tarwe, gerst, haver, aardappelen en spinazie verspreid over heel Nederland. Op dezelfde plekken werden grondmonsters genomen. De monsters werden genomen door de specialisten Bodemaangelegenheden bij de voorlichtingsdienst. Nadat de monsters op het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid waren

voorbehandeld, werden zij geanalyseerd door het Rijks Kwaliteitsinstituut voor Land- en Tuinbouwprodukten (Rikilt). Bovendien werd in 81 aardappelmonsters, genomen in het kader van een onderzoek naar het kwaliteitsverschil tussen Nederlandse en Duitse aardappelen, cadmium bepaald.

Tarwe

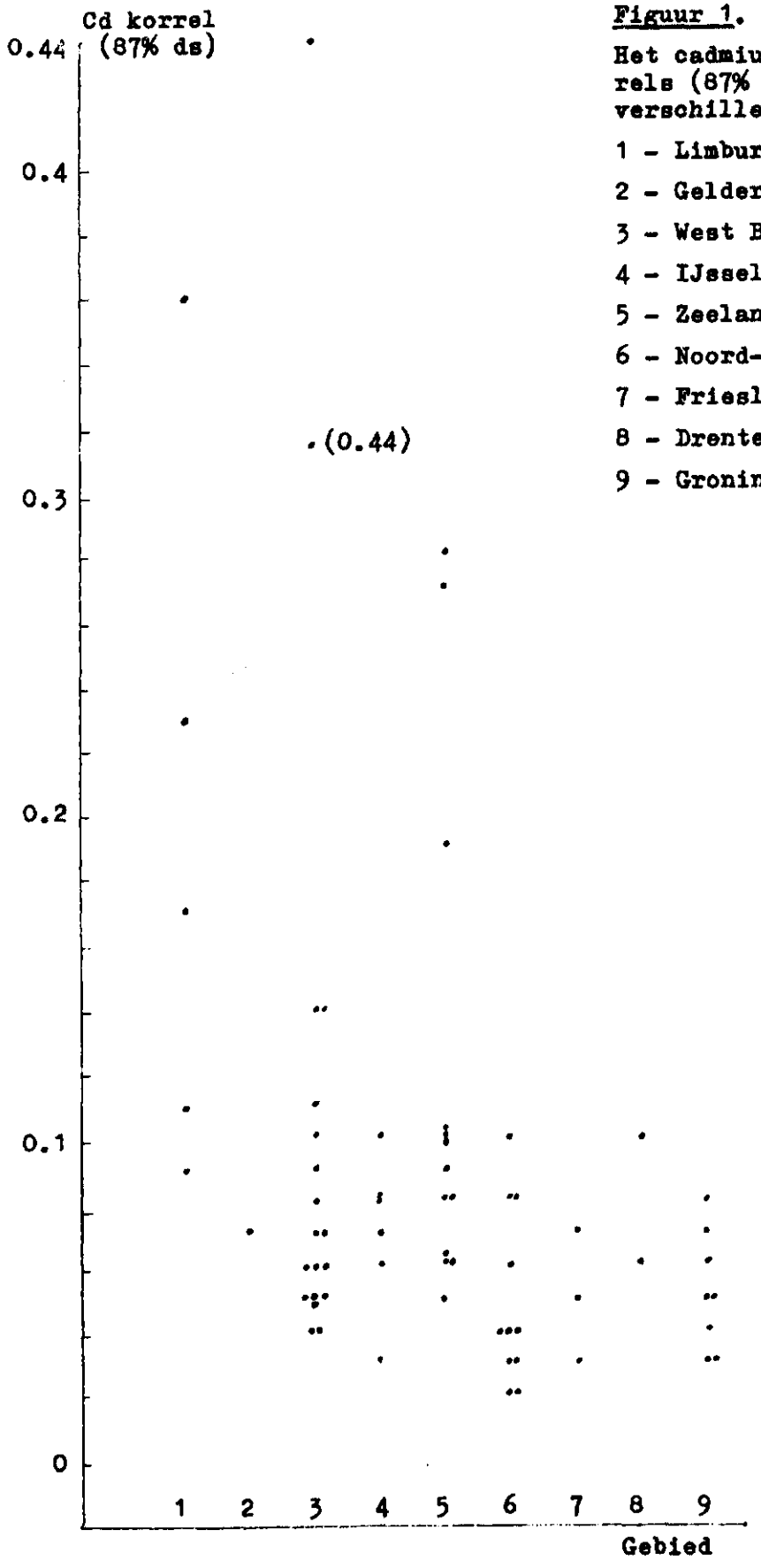
Er werden 67 tarwemonsters onderzocht. Het gemiddelde cadmiumgehalte bedroeg 0.09 mg/kg vers materiaal (87% ds). Bij 11 monsters (16%) was het gehalte hoger dan 0.1 ppm. In figuur 1 is het cadmiumgehalte van de monsters afkomstig uit de verschillende gebieden weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de monsters met een cadmiumgehalte > 0.1 ppm afkomstig zijn uit Limburg, Zeeland en het Zuid-Westelijk Kleigebied.

Voor de berekening van de onttrekking per ha door tarwe lijkt het beter de monsters met een cadmiumgehalte > 0.1 ppm buiten beschouwing te laten, omdat hogere waarden slechts in enkele gebieden worden gevonden. Het gemiddelde cadmiumgehalte van de monsters met een gehalte ≤ 0.1 (56 monsters) bedraagt 0.06 ppm. Door een opbrengst van 6000 kg korrel wordt dan 360 mg Cd onttrokken. Deze hoeveelheid zal door het stro ongeveer verdubbeld worden, zodat de onttrekking per jaar per ha 720 mg Cd bedraagt door tarwe.

Gerst

Van deze graansoort zijn 44 monsters onderzocht. De resultaten zijn weergegeven in figuur 2. Het gemiddelde gehalte bedroeg 0.15 ppm. In 12 monsters (27%) was het gehalte hoger. Ook bij de gerst blijken van de 12 monsters met een cadmiumgehalte boven het gemiddelde het grootste aantal (6) weer afkomstig te zijn uit het Zuid-Westelijk Kleigebied en Zeeland. In totaal werden in deze gebieden 16 monsters genomen.

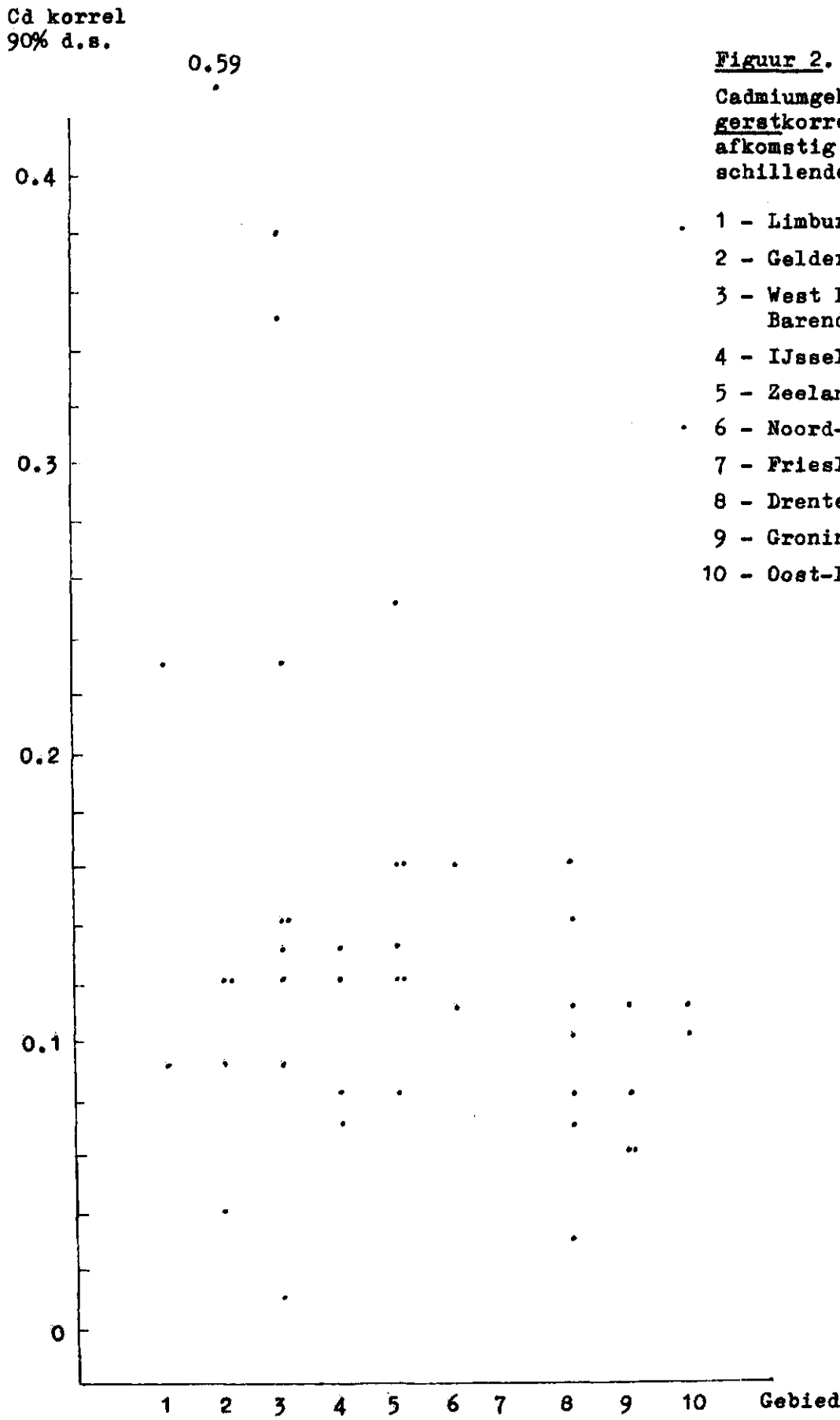
Voor de berekening van de onttrekking per ha door gerst lijkt het beter de monsters met een cadmiumgehalte > 0.15 buiten beschouwing te laten. Het gemiddelde cadmiumgehalte van de monsters met een cadmiumgehalte ≤ 0.15 ppm (32 monsters) bedraagt 0.10 ppm. Door een opbrengst van 5000 kg gerst wordt dus 500 mg cadmium aan de grond onttrokken. Deze hoeveelheid zal door stro ongeveer verdubbeld worden, zodat de totale onttrekking op basis van deze cijfers gesteld kan worden op 1000 mg per ha.



Figuur 1.

Het cadmiumgehalte in tarwekorrels (87% ds) afkomstig uit verschillende gebieden.

1 - Limburg
2 - Gelderland
3 - West Brabant + Barendrecht
4 - IJsselmeerpolders
5 - Zeeland
6 - Noord-Holland
7 - Friesland
8 - Drente
9 - Groningen



Figuur 2.

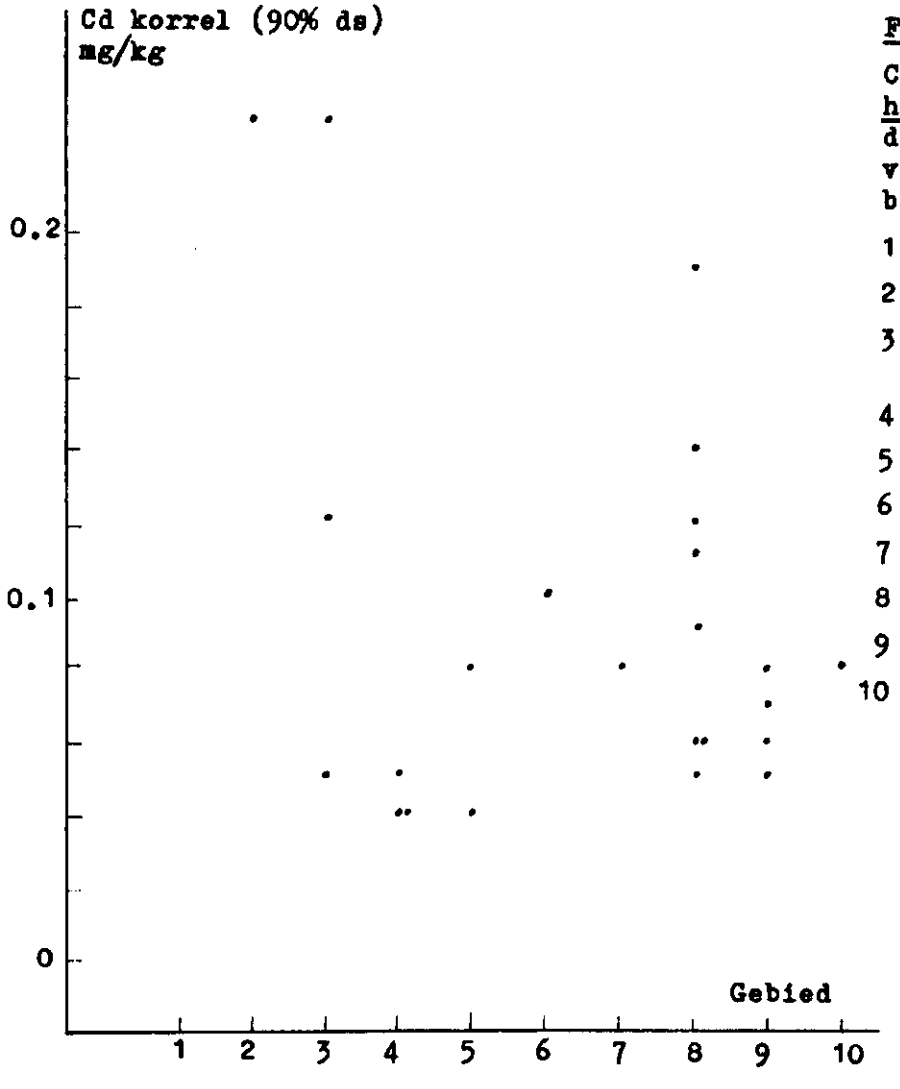
Cadmiumgehalte in gerstkorrels (90% ds) afkomstig uit verschillende gebieden.

1 - Limburg
2 - Gelderland
3 - West Brabant + Barendrecht
4 - IJsselmeerpolders
5 - Zeeland
6 - Noord-Holland
7 - Friesland
8 - Drente
9 - Groningen
10 - Oost-Brabant

De hier berekende grotere onttrekking per ha behoeft niet te betekenen, dat gerst cadmium gemakkelijker opneemt dan tarwe. De monsters zijn namelijk niet afkomstig van dezelfde percelen. Bovendien moet worden opgemerkt dat tarwe in het algemeen niet met fosfaat wordt bemest en gerst wel.

Haver

De resultaten van 24 haver monsters zijn weergegeven in figuur 3. Het gemiddelde cadmiumgehalte bedroeg 0.09 mg/kg. Van de 7 monsters met een cadmiumgehalte > 0.1 zijn er 2 afkomstig uit het Zuid-Westelijk Kleigebied, hoewel er maar 3 monsters genomen zijn. Voor de berekening van de onttrekking aan cadmium zijn de monsters met een gehalte > 0.1 mg/kg buiten beschouwing gelaten. Het gemiddelde gehalte van de overige (17) monsters bedraagt 0.06 mg/kg. Door een opbrengst van 5500 kg haver wordt dus 330 mg onttrokken. Aannemende dat ongeveer evenveel in het stro gaat zitten, komt de totale onttrekking door haver op 660 mg per ha.



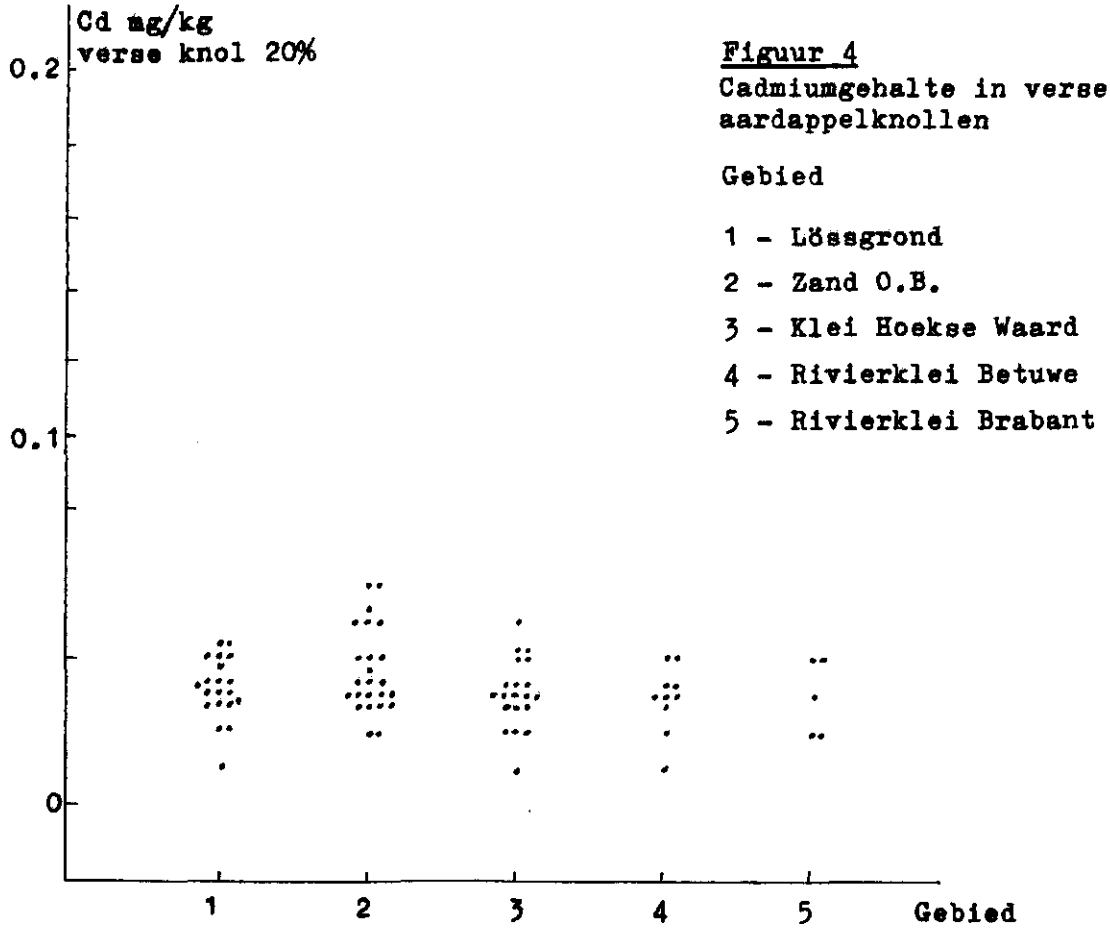
Figuur 3

Cadmiumgehalte in haverkorrels (90% ds) afkomstig uit verschillende gebieden.

1 - Limburg
2 - Gelderland
3 - West Brabant + Barendrecht
4 - IJsselmeerpolders
5 - Zeeland
6 - Noord-Holland
7 - Friesland
8 - Drente
9 - Groningen
10 - Oost-Brabant

Aardappelen

In het kader van een onderzoek naar het kwaliteitsverschil tussen Nederlandse en Duitse aardappelen werd op ons verzoek in de Nederlandse aardappelknollen tevens het gehalte aan enkele zware metalen bepaald. Het onderzoek werd verricht door Dr. Köster van de Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt in Hamelen. Het betrof 20 monsters afkomstig van lössgrond, 24 monsters afkomstig van de Oost-Brabantse zandgronden, 21 monsters uit de Hoekse Waard, 10 monsters uit de Betuwe (rivierklei, Waal en Rijn) en 6 monsters afkomstig van de Brabantse rivierklei (Maas). Het cadmiumgehalte bedroeg gemiddeld over de 81 monsters 0.03 bij 20% ds. De resultaten zijn vermeld in figuur 4.



Zoals uit figuur 4 blijkt, zijn er geen verschillen tussen de gebieden van herkomst. Gehalten hoger dan 0.06 werden niet gevonden. De resultaten stemmen overeen met die van 96 door het I.B. verzamelde monsters. Ook hier bedroeg het gemiddelde van alle monsters 0.03 mg Cd/kg vers gewicht bij 20% ds. Slechts in 5 monsters (5%) werd een Cd-gehalte > 0.06 mg/kg gevonden.

De onttrekking door aardappelen bij een opbrengst van 40 000 kg met 20% ds. kan dus gesteld worden op 1200 mg.

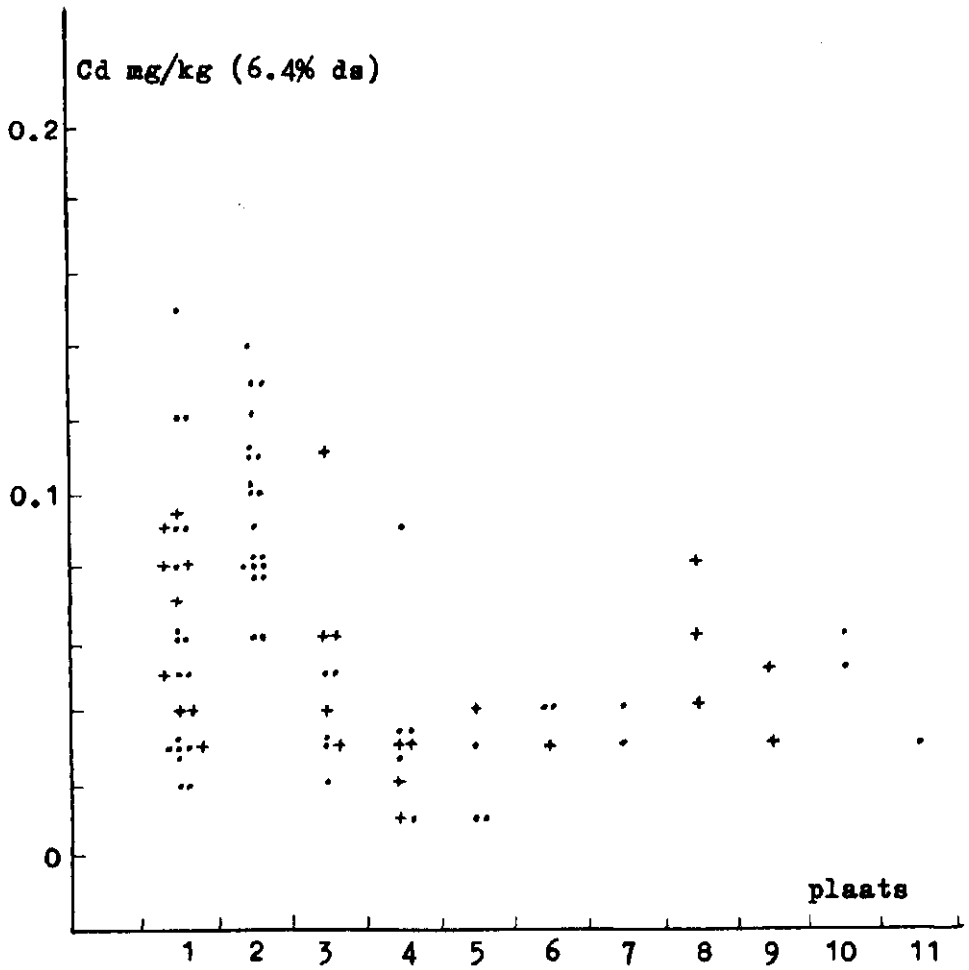
Spinazie

In figuur 5 worden de cadmiumgehalten van 83 spinaziemonsters uit de verschillende gebieden weergegeven bij een droge-stofgehalte van 6.4% (het gemiddelde van alle monsters). Het cadmiumgehalte bedraagt gemiddeld over alle monsters 0.06 mg/kg. Van de 83 monsters hebben 14 monsters (17%) een cadmiumgehalte $\geq$ 0.1 mg. Deze monsters zijn allen afkomstig uit Zuid-Westelijk Nederland, waarvan er 3 afkomstig van zandgrond. Voor de berekening van de onttrekking zijn de monsters met een cadmiumgehalte $\geq$ 0.1 mg buiten beschouwing gelaten. Het gemiddelde van de overige (69) monsters bedraagt 0.05 mg. Door een opbrengst van 30 000 kg wordt dus 1500 mg onttrokken.

De hierboven vermelde resultaten leiden tot de conclusie, dat als de monsters met een gehalte $\geq$ 0.1 mg/kg buiten beschouwing worden gelaten (bij tarwe, haver en spinazie, respectievelijk 11, 7 en 14 monsters) tarwe gemiddeld 0.06; haver 0.06; aardappelen 0.03 en spinazie 0.05 mg Cd per kg vers product bevatten. Het cadmiumgehalte van de gerstmonsters was duidelijk hoger. Zelfs wanneer de monsters met een gehalte $\geq$ 0.15 mg buiten beschouwing worden gelaten (12 stuks) bedroeg het gemiddelde van de overige 32 monsters nog 0.1 mg. Hoewel er nauwelijks verschillen tussen verschillende gewassen zijn geconstateerd, behoeft dit niet te betekenen dat deze verschillen ook niet bestaan. De monsters waren immers van verschillende percelen afkomstig.

Toch is het landbouwkundig van belang te weten of er verschillen bestaan in cadmiumopname tussen de verschillende gewassen en wel om twee redenen:

a. De agrariër moet een advies hebben welke gewassen hij op gronden met een hoog cadmiumgehalte kan telen zonder gevaar te lopen, dat de producten zouden worden afgekeurd vanwege een hoog cadmiumgehalte.
b. Indien er maatregelen (moeten) worden genomen inzake de cadmiumaanvoer op productiegronden, zouden deze maatregelen moeten worden afgestemd op het gewas, dat het gemakkelijkst cadmium opneemt. De teler wil immers op zijn grond een reeks van gewassen kunnen (blijven) verbouwen.



Figuur 5. Cadmiumgehalte in verse spinazie (6.4% ds)

• akkerbouw
+ tuinbouw

1	- Breda, Ettenleur en Wouw	(27)
2	- Zevenbergen, Lage Zwaluwe, Klundert en Ter Heijden	(20)
3	- Barendrecht, Rijsoord en Den Briel	(9)
4	- Heemskerk en Beverwijk	(9)
5	- Zevenaar	(4)
6	- Dalfsen en IJsselmuiden	(3)
7	- Noord-Oost Polder	(2)
8	- Huissen	(3)
9	- Maarssen	(2)
10	- Noord Holland	(2)
11	- Geesbrug (dalgrond)	(1)

Aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid zijn in 1977 en 1978 verschillende gewassen verbouwd in potten, gevuld met 5.2 liter grond, bestaande uit een gevarieerd volumepercentage rivierklei en havenslib. De beide uitersten waren 100% rivierklei met 0.50 mg/kg cadmium en 69% rivierklei + 31% havenslib met 5. mg/kg grond. In 1977 werden aardappelen, zomertarwe, waspeen en sla verbouwd;

in 1978 aardappelen, gerst, radijs en andijvie. In tabel 1 is het cadmiumgehalte in de droge-stof van de producten in 1977 vermeld en in tabel 2 die van 1978.

Tabel 1. Cadmiumgehalte in mg/kg droge-stof van verschillende gewassen geteeld op dezelfde grond (potproef 1977) Nota 67, 1979, I.B.

object	Cadmium grond mg/kg	Cadmium gewas mg/kg ds			
		aardappelknol	tarwekorrel	waspeen	sla
1	0.50	0.12	0.21	0.29	1.90
2	1.03	0.14	0.26	0.58	1.97
3	1.46	0.18	0.30	0.70	2.34
4	1.98	0.21	0.34	0.84	1.87
5	2.50	0.22	0.38	1.01	2.06
6	2.91	0.24	0.41	1.08	2.10
7	3.46	0.25	0.48	1.20	2.27
8	3.76	0.26	0.46	1.22	2.15
9	4.29	0.29	0.46	1.36	2.27
10	5.09	0.32	0.53	1.40	2.49

Regressie berekening geeft de volgende relaties, waarbij X het cadmiumgehalte van de aardappel weergeeft.

Tarwe korrel : $Y = 0.02 + 1.61\ X$ $r = 0.97$

waspeen : $Y = 0.28 + 5.61\ X$ $r = 0.98$

sla : $Y = 1.64 + 2.23\ X$ $r = 0.70$

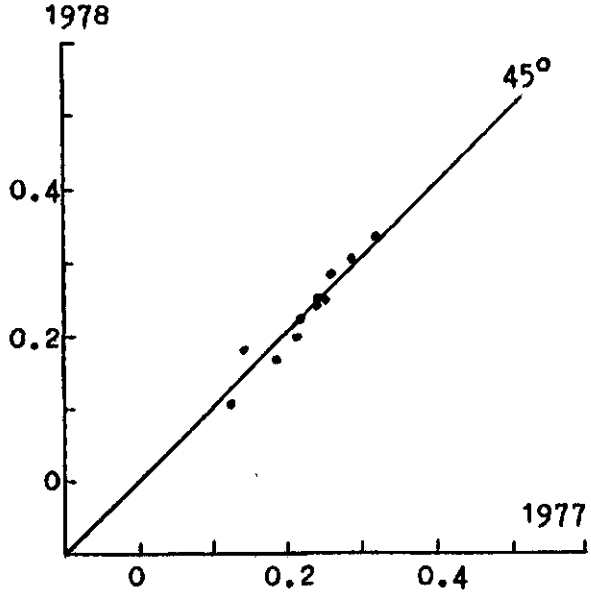
Tabel 2. Cadmiumgehalte in mg/kg droge-stof van verschillende gewassen geteeld op dezelfde grond (potproef 1978) Nota 67, 1979, I.B.

object	Cadmium grond mg/kg	Cadmium gewas mg/kg ds			
		aardappel	radijs	gerstekorrel	andijvie
1	0.50	0.11	0.27	0.07	1.02
2	1.03	0.18	0.34	0.07	1.28
3	1.46	0.18	0.42	0.08	1.45
4	1.98	0.20	0.52	0.11	1.65
5	2.50	0.22	0.61	0.09	1.82
6	2.91	0.23	0.66	0.13	1.87
7	3.46	0.24	0.74	0.14	2.00
8	3.76	0.28	0.81	0.11	2.17
9	4.29	0.30	0.81	0.15	2.19
10	5.09	0.33	0.94	0.18	2.28

In figuur 6 is het verband tussen het cadmiumgehalte van de aardappelknollen in 1977 en 1978 weergegeven. Uit deze figuur blijkt, dat de proefomstandigheden in beide jaren, wat de cadmiumopname betreft nagenoeg gelijk geweest zijn.

Regressie vergelijking geeft de volgende relaties tussen het cadmiumgehalte in de droge-stof van de aardappelknol en dat van de andere gewassen.

Gerstekorrel	: Y = 0.49 X	r = 0.87
radijs	: Y =-0.14 + 3.30 X	r = 0.97
andijvie	: Y = 0.35 + 6.25 X	r = 0.96



Figuur 6.

Verband tussen het Cd-gehalte van aardappelknollen in 1977 en 1978 verbouwd op dezelfde grond (potproef).

De kwaliteit van de gewassen ten aanzien van cadmium wordt beoordeeld op basis van het gehalte in vers materiaal. Het LAC-advies 1979 geeft voor granen een cadmiumgehalte van 0.15 mg, voor aardappelen 0.1, spinazie 0.15 en groenten 0.1 mg per kg vers materiaal. Deze adviezen mogen uit het oogpunt van volksgezondheid juist zijn, doch zijn landbouwkundig gezien niet reëel gezien bovenvermelde relaties tussen de gewassen.

Met behulp van bovenstaande relaties is berekend, welk cadmiumgehalte te verwachten is in gerst (ds % 90%), waspeen (ds % 11%), sla (ds % 8%), radijs (ds % 8%), andijvie (ds % 7%) en aardappelen (ds % 20%) verbouwd op een grond waar tarwe 0.15 mg en 0.10 mg per kg vers product (ds % 87%) bevat. De resultaten zijn vermeld in tabel 3.

Tabel 3. Te verwachten cadmiumgehalte in mg/kg vers product van verschillende gewassen op een grond waar tarwe (87% ds) 0.10 respectievelijk 0.15 mg Cd/kg bevat.

gewas	Cadmium mg/kg vers product	
	tarwe 0.10 mg Cd/kg	tarwe 0.15 mg Cd/kg
aardappelen (20% ds)	0.01	0.02
gerst (90% ds)	0.03	0.04
waspeen (11% ds)	0.01	0.03
radijs (8% ds)	0.01	0.01
sla (8% ds)	0.14	0.15
andijvie (7% ds)	0.05	0.07

In tabel 4 zijn de te verwachten cadmiumgehalten in andere gewassen vermeld indien de aardappelen 0.10 mg Cd per kg vers product (20% ds) zouden bevatten.

Tabel 4. Te verwachten cadmiumgehalte in mg/kg vers product van verschillende gewassen op een grond waar aardappelen (20% ds) 0.10 mg/kg bevatten.

gewas	Cd mg/kg product
tarwe (87% ds)	0.72
gerst (90% ds)	0.22
waspeen (11% ds)	0.34
radijs (8% ds)	0.12
sla (8% ds)	0.22
andijvie (7% ds)	0.24

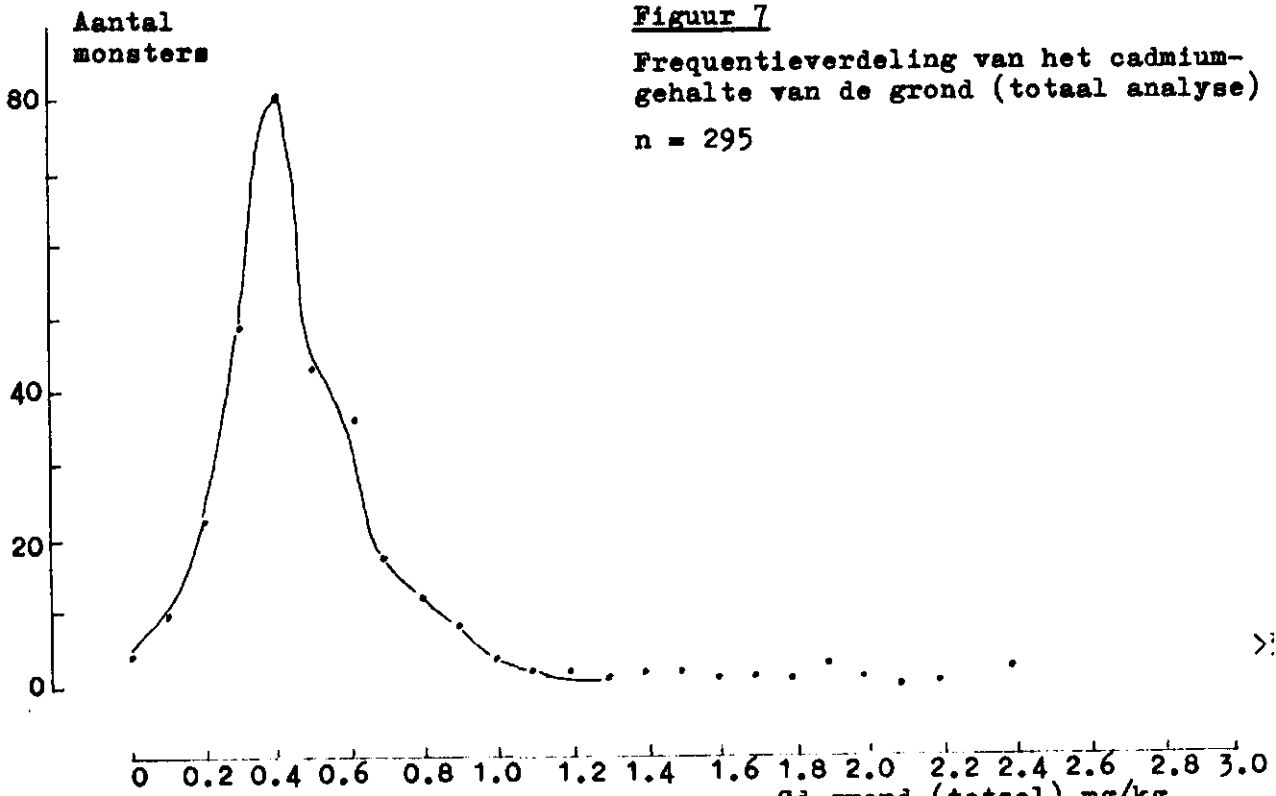
Uit tabel 3 blijkt, dat de percelen waar granen nog voldoen aan de door de LAC voorgestelde norm andere gewassen ruimschoots kunnen voldoen aan de voorgestelde normen. Tabel 4 laat echter zien dat op gronden waar aardappelen nog voldoen aan de door de LAC voorgestelde norm het cadmiumgehalte van de andere gewassen de norm overschrijdt.

De gegevens uit tabel 3 en 4 zijn in strijd met de resultaten van de gewasenquête, waaruit bleek dat het gemiddeld gehalte van de onderzochte gewassen

niet sterk uiteenloopt. Daarom verdient bovengenoemde correlatie nader onderzoek. Dat in de praktijk het gehalte in tarwe lager is dan op grond van de tabellen 3 en 4 kan worden verwacht in verband met het gehalte in aardappelen en gerst kan een gevolg zijn van het feit dat tarwe niet met fosfaat wordt bemest en aardappelen, gerst en spinazie wel. Bij een voldoende fosfaattoestand wordt aan aardappelen op kleigrond 120 kg P_2O_5, aan gerst 60 en aan spinazie 150 kg gegeven. Per 100 kg P_2O_5 wordt op zijn minst 4000 mg Cd gegeven, zodat de aardappelen dus 4800 mg (2.5 x de onttrekking), gerst 2400 mg Cd (2.5 x de onttrekking) en spinazie 6000 mg (4 x de onttrekking) cadmium word gegeven.

Het cadmiumgehalte in de grond

Tegelijkertijd met de gewasmonsters uit de praktijkvelden werden grondmonsters genomen. Hierin werd door het Rikilt het cadmiumgehalte bepaald. Hiertoe werden de monsters verast bij 425°C. De as werd opgelost in een oplossing van 3 N HCl, waarna het cadmium voltametrisch werd bepaald. Het gevonden gehalte geeft dus het totaal cadmium in de grond. In figuur 7 wordt de frequentie verdeling van 295 monsters gegeven.



Figuur 7

Frequentieverdeling van het cadmiumgehalte van de grond (totaal analyse)

n = 295

In tabel 5 is de verdeling van het aantal monsters over de verschillende cadmiumklassen gegeven. Uit de frequentieverdeling kan worden geconcludeerd dat gronden met een cadmiumgehalte >1 in Nederland als rijk kunnen worden beschouwd. In 8 gronden werd een cadmiumgehalte van 3.9 of hoger gevonden. De hoogste waarde was 11.4.

Tabel 5. Cadmiumgehalte in Nederlandse gronden (droge verassing)

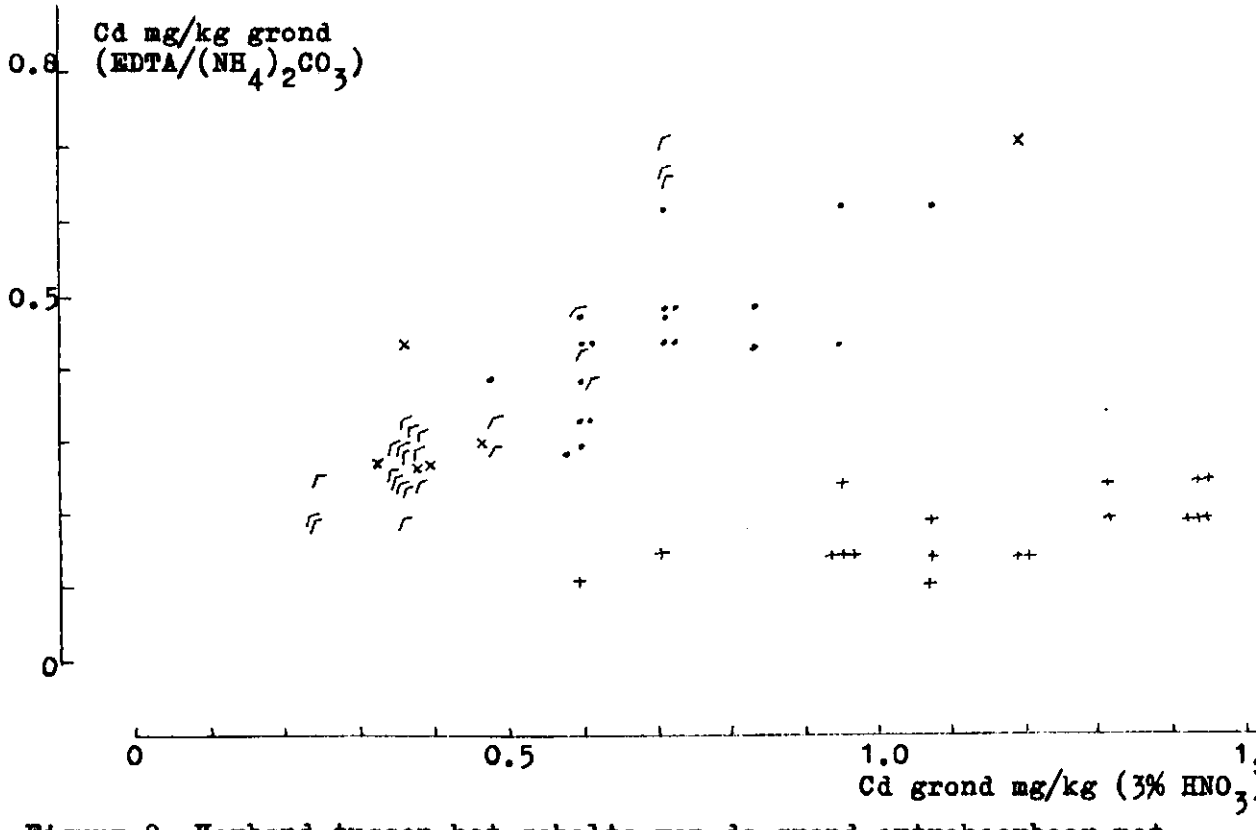
aantal monsters	Cd mg/kg 0 t/m 0.4	Cd mg/kg 0.4 t/m 0.9	Cd mg/kg 1.0 t/m 2.5	Cd mg/kg 2.5 t/m 3.9	Cd mg/kg ≥ 4.0	Cd mg/kg gemiddeld
295	163 55%	113 38%	11 4%	0 0%	8 3%	
gemiddeld Cd mg/kg	0.3	0.6	1.5		7	0.7

In de grondmonsters die betrekking hebben op de door ons verzamelde aardappelen ter vergelijking van de Nederlandse en Duitse kwaliteit werd in Duitsland het cadmiumgehalte bepaald volgens drie methoden, namelijk:

a. extractie met een oplossing van 3% HNO_3;

b. extractie met een oplossing van EDTA/$(NH_4)_2$ CO_3;

c. extractie met een oplossing van 0.1 M $Ca(NO_3)_2$.

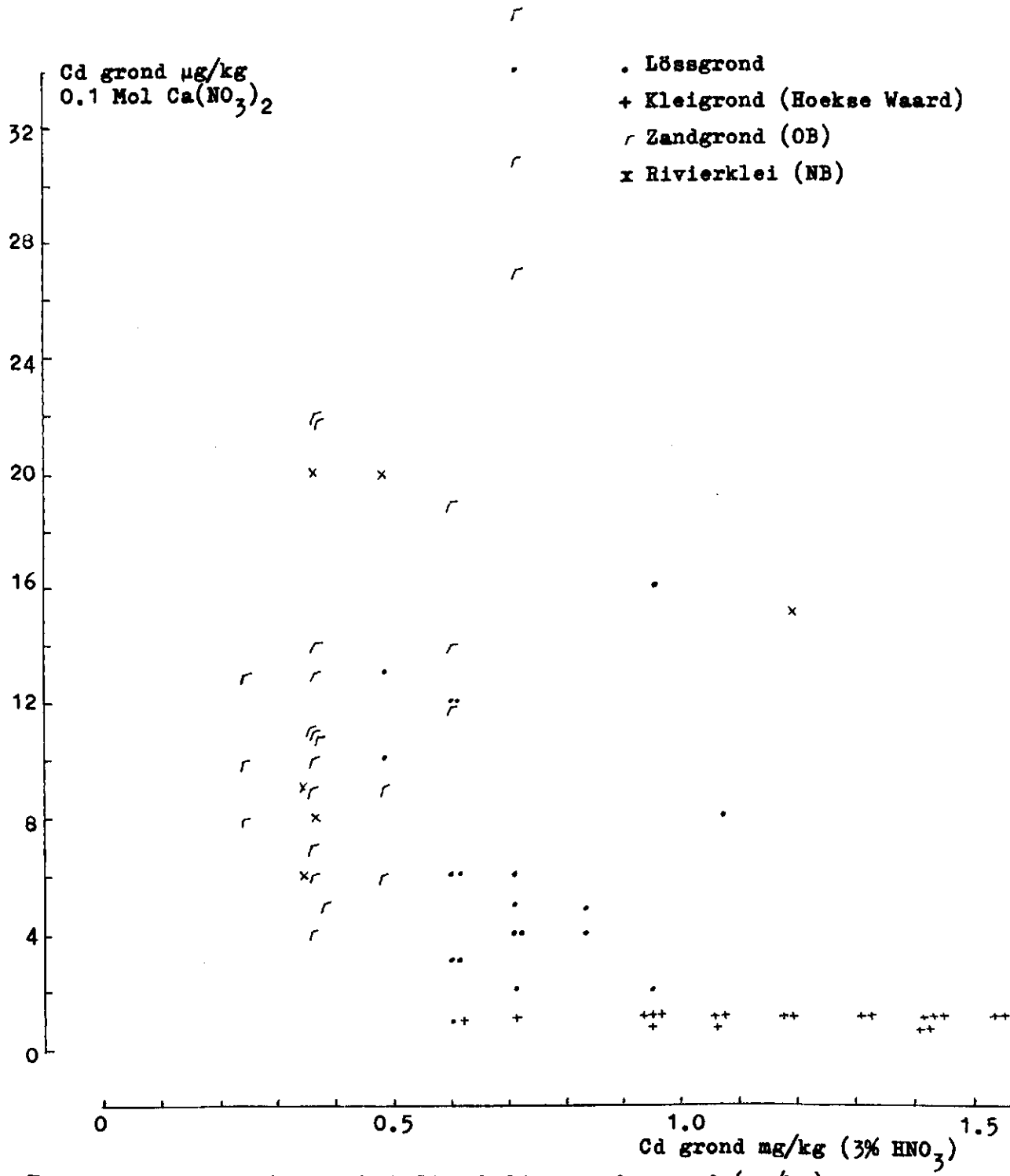


Figuur 8. Verband tussen het gehalte van de grond extraheerbaar met EDTA/$(NH_4)_2CO_3$ en dat extraheerbaar met 3% HNO_3 beiden in mg/kg droge grond.

. Lössgrond **⌐ zandgrond (OB)**

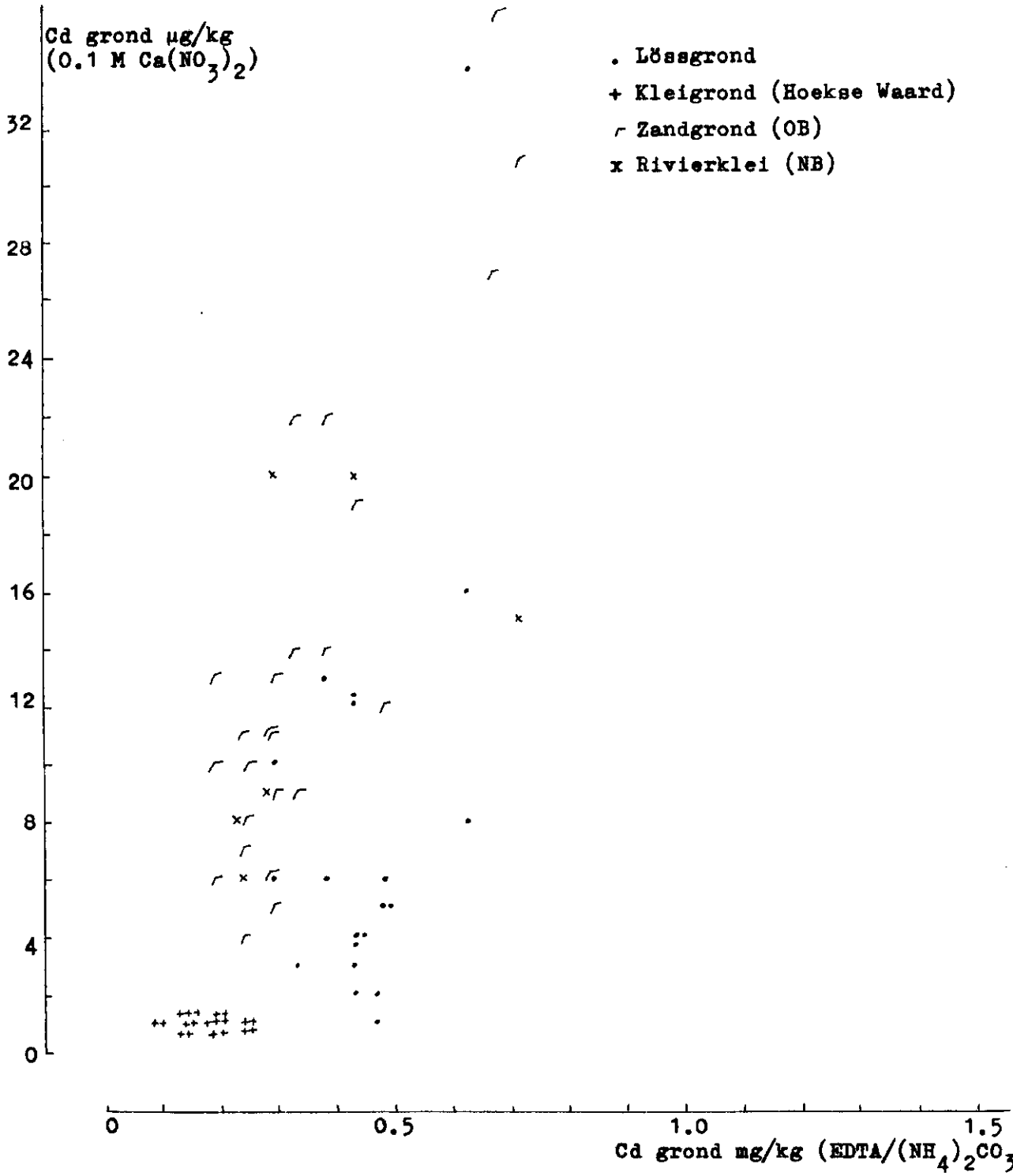
+ kleigrond (Hoekse Waard) **x Rivierklei (NB)**

Uit figuur 8 blijkt, dat er een duidelijk verband is tussen het cadmiumgehalte van de grond bepaald door extractie met een oplossing van 3% HNO_3 en door extractie met een mengsel van EDTA en $(NH_4)_2CO_3$ op zand en lössgronden. Op zeekleigronden is er slechts een geringe samenhang tussen beide methoden.



Figuur 9. Verband tussen het Cd-gehalte van de grond (µg/kg) extraheerbaar met 0.1 Mol $Ca(NO_3)_2$ en dat extraheerbaar met 3% HNO_3 (mg/kg).

In de figuren 9 en 10 wordt de samenhang tussen het "uitwisselbaar" cadmium (Calciumnitraat) en de beide andere extractiemethoden weergegeven.



Figuur 10. Verband tussen het Cd-gehalte van de grond (µg/kg) extraheerbaar met 0.1 Mol $Ca(NO_3)_2$ en dat extraheerbaar met EDTA/ $(NH_4)_2CO_3$ (mg/kg).

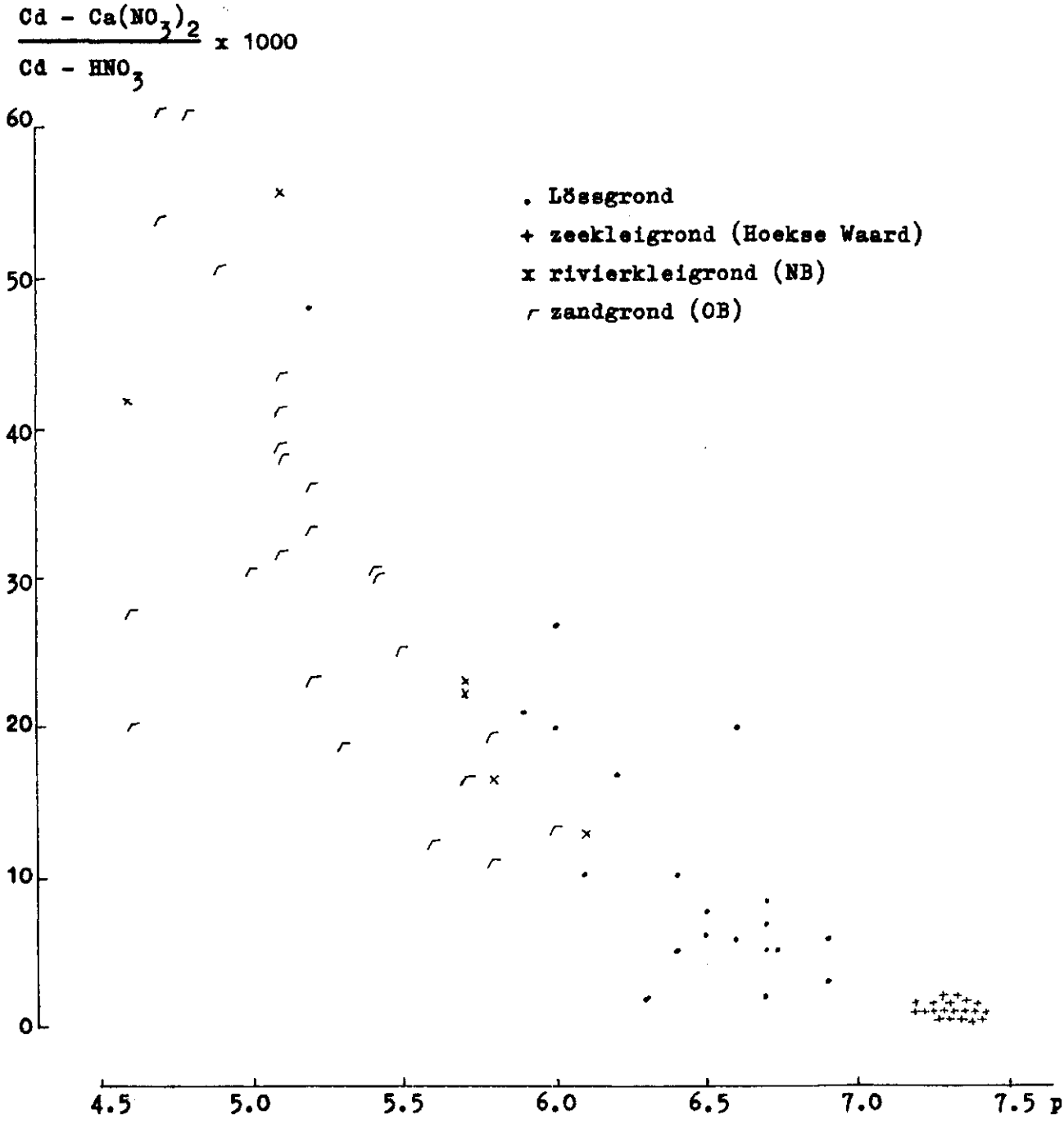
Hoewel het "uitwisselbaar" cadmium slechts een fraktie is van het cadmiumgehalte bepaald volgens beide andere methoden, is er een duidelijk verschil tussen de grondsoorten. Op de zeekleigronden is het "uitwisselbaar" cadmium zeer laag en bij alle gronden gelijk.

In tabel 6 zijn de gemiddelde gehalten bepaald volgens de verschillende vermelde methoden alsmede de verhoudingen vermeld. Hieruit blijkt dat op zand- en lössgronden het aandeel van het "uitwisselbaar" cadmium in het cadmium extraheerbaar met 3% HNO_3 40 respectievelijk 13 maal zo groot is als op de zeekleigronden.

Tabel 6. Cadmiumgehalte van een aantal gronden bepaald volgens verschillende extractiemethoden.

grondsoort	aantal monsters	Cd grond mg/kg volgens:			verhouding x 1000	
		3% HNO_3	EDTA/ $(NH_4)_2CO_3$	$Ca(NO_3)_2$	$Ca(NO_3)_2$/ 3% HNO_3	$Ca(NO_3)_2$/ EDTA
zeeklei	20	1.18	0.17	$\leq$ 0.001	0.85	5.88
rivierklei	6	0.52	0.37	0.013	25.00	35.14
löss	20	0.70	0.45	0.008	11.43	17.78
zand	24	0.43	0.34	0.014	32.56	41.18

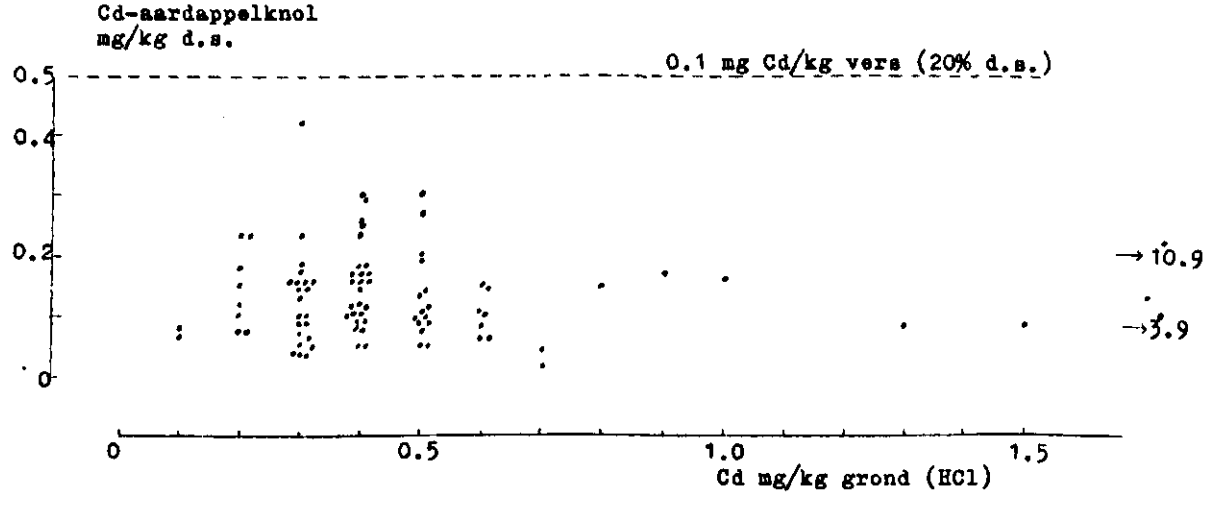
Figuur 11 laat zien dat de pH een grote invloed heeft op de mate waarin het cadmium in de grond "uitwisselbaar" gebonden is.



Figuur 11. Verband tussen de pH-KCl en de verhouding tussen het "uitwisselbaar" cadmium en het cadmium extraheerbaar met 3% HNO_3.

Het verband tussen grond- en gewasonderzoek

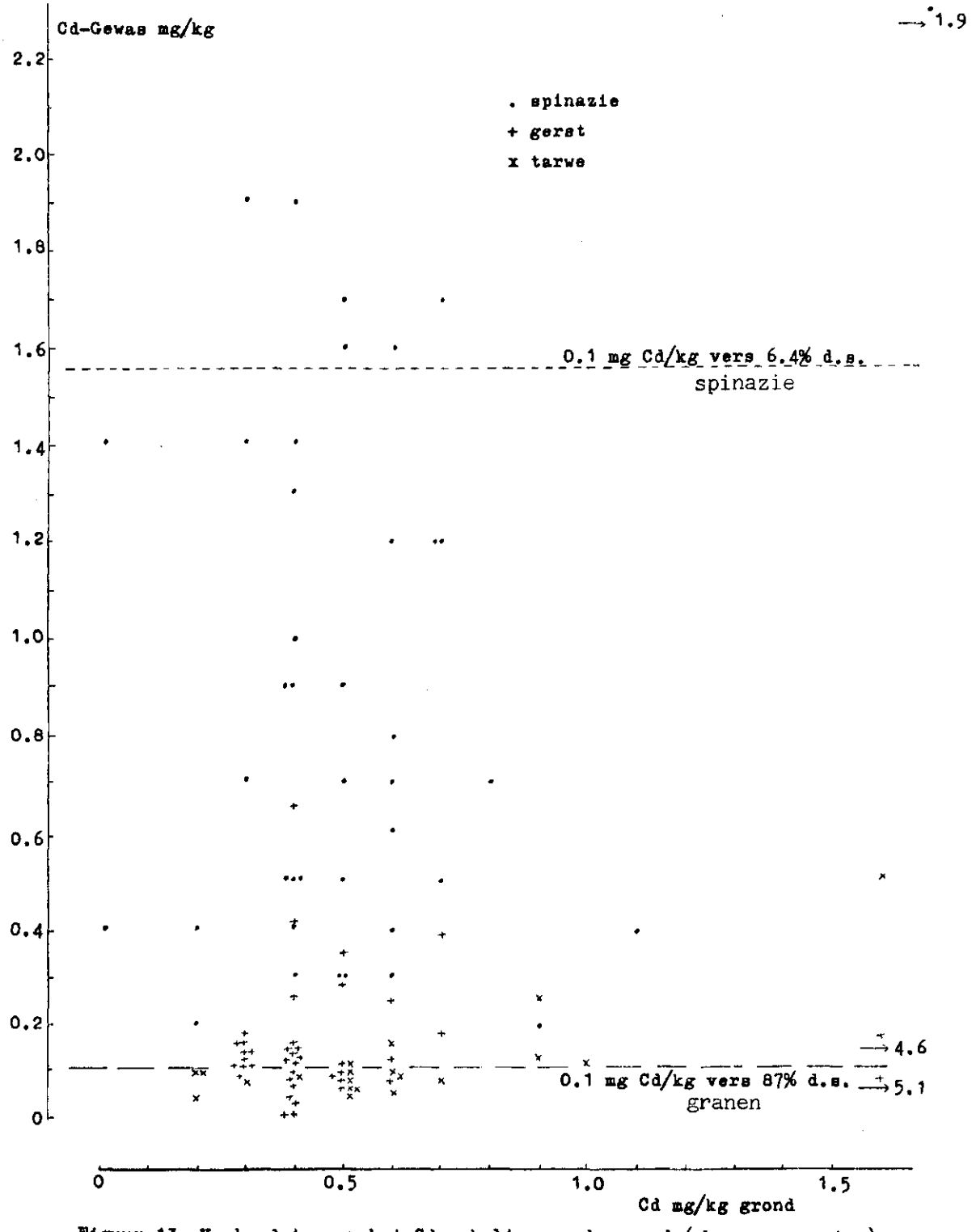
Om een betere vergelijking tussen de verschillende gewassen te kunnen maken, is het cadmiumgehalte in de droge stof en niet in het verse product uitgezet tegen het gehalte in de grond. In figuur 12 is dit gebeurd voor de aardappelen (IB) en in figuur 13 voor spinazie, gerst en tarwe.



Figuur 12. Verband tussen het cadmiumgehalte van de grond (totaal) en dat in de droge stof van aardappelen (Rikilt).

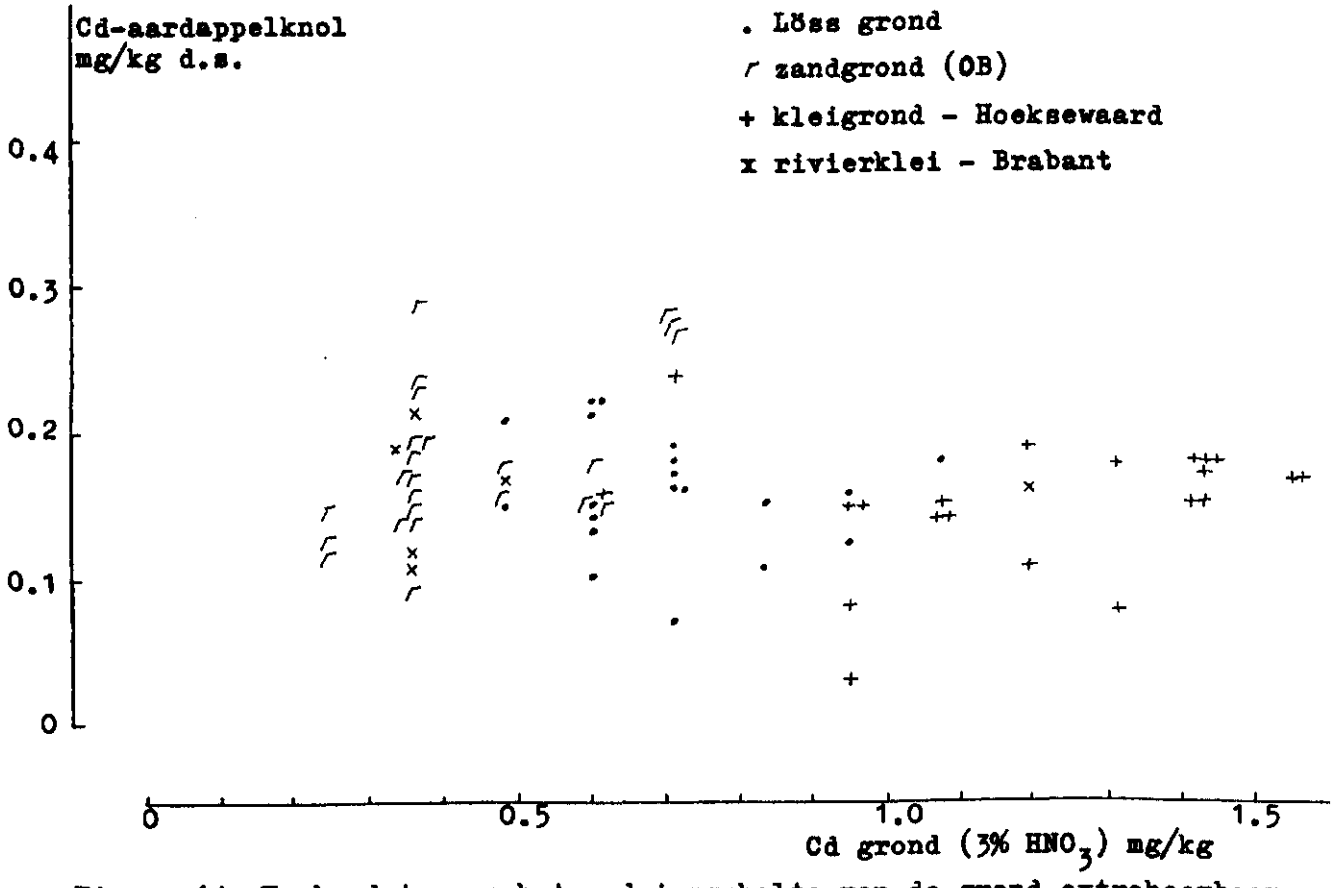
Zowel figuur 12 als figuur 13 laat zien, dat er geen verband is tussen het totaal cadmiumgehalte van de grond en dat van het erop gegroeide gewas. Vergelijking van beide figuren leert dat de cadmiumopname door spinazie aanzienlijk beter is dan die door aardappelen en granen. Gemiddeld is het gehalte in de droge stof van aardappelen hoger dan in granen. Er moet echter worden opgemerkt dat in tegenstelling tot de tabellen 1 en 2 de gewassen niet op dezelfde grond hebben gegroeid.

Uit het feit, dat er geen verband bestaat tussen het cadmiumgehalte van het gewas en het "totaal cadmiumgehalte" van de grond volgt, dat het niet mogelijk is aan te geven hoe hoog het cadmiumgehalte van de grond mag zijn met het oog op de kwaliteit van het gewas. Op grond van figuur 11 zou een toelaatbaar maximum aan "totaal cadmium" in de grond moeten afhangen van de pH.



Figuur 13. Verband tussen het Cd gehalte van de grond (droge verassing) en dat in de droge stof van spinazie, tarwe en gerst.

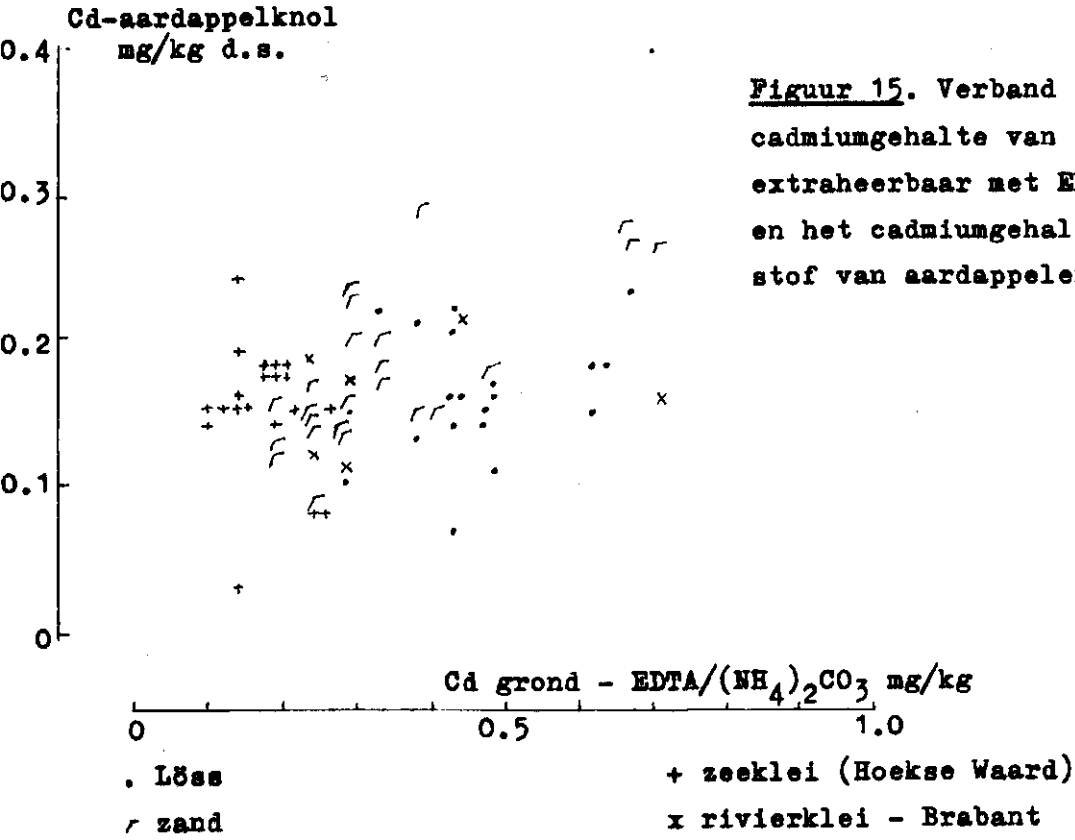
Zoals reeds eerder werd vermeld, werd in de monsters van het vergelijkend kwaliteitsonderzoek met Duitsland niet het totaal cadmiumgehalte bepaald. Zoals uit figuur 14 blijkt is er geen verband tussen het cadmiumgehalte in de knol en het cadmiumgehalte van de grond bepaald door extractie met 3% HNO_3.



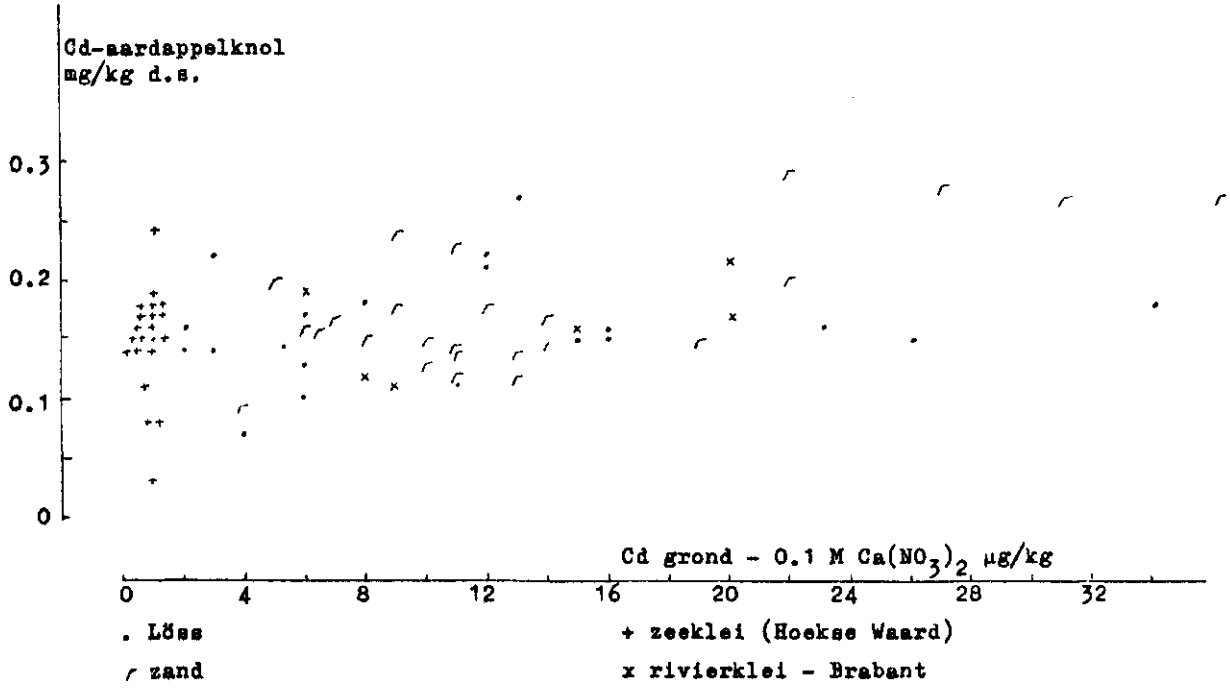
Figuur 14. Verband tussen het cadmiumgehalte van de grond extraheerbaar met 3% HNO_3 en het cadmiumgehalte van de droge stof van aardappelen.

Zoals te verwachten is (gezien de correlaties tussen beide methoden) is er ook geen verband tussen het cadmiumgehalte van de knol en het cadmiumgehalte van de grond bij extractie met een mengsel van EDTA en $(NH_4)_2CO_3$ (figuur 15).

Figuur 16 laat zien dat het gehalte aan "uitwisselbaar" cadmium een lichte invloed heeft op het cadmiumgehalte van de knol op zand- en lössgrond.



Figuur 15. Verband tussen het cadmiumgehalte van de grond extraheerbaar met EDTA/$(NH_4)_2CO_3$ en het cadmiumgehalte in de droge stof van aardappelen.



Figuur 16. Verband tussen het "uitwisselbaar" cadmiumgehalte van de grond bepaald door extractie met 0.1 M $Ca(NO_3)_2$ en het cadmiumgehalte in de droge stof van aardappelen.

Gezien het feit, dat er geen verband bestaat tussen de resultaten van het gebruikte grondonderzoek en het gehalte in de plant, terwijl zowel bij granen als bij spinazie in een aantal monsters de grenswaarde in het gewas wordt overschreden, lijkt het gewenst er voor te zorgen, dat de cadmiumaanvoer niet hoger wordt dan momenteel het geval is. Het gehalte in de grond wordt dan in elk geval niet sneller verhoogd dan tot nu toe het geval is. Nog beter ware het de hoeveelheid cadmium, die via bemesting wordt toegevoegd niet hoger te laten zijn dan de onttrekking. Hierop wordt teruggekomen nadat de cadmiumaanvoer op landbouwgronden is besproken.

CADMIUM AANVOER OP LANDBOUWGRONDEN

Cadmium kan langs verschillende wegen aan de grond worden toegevoegd, namelijk:

a. middels de neerslag,
b. middels de kunstmeststoffen,
c. middels de dierlijke mest,
d. middels de afvalstoffen van de menselijke samenleving.

Plaatselijke deposities van cadmium, zoals cadmium deposities langs de autowegen zullen buiten beschouwing worden gelaten.

Aanvoer middels de neerslag

Het Rijks Instituut voor Drinkwatervoorziening (R.I.D.) heeft in nauwe samenwerking met een vijftiental waterleidingbedrijven een regenwaterkwaliteitsmeetnet opgezet. Dit omvat 26 meetpunten. Uit de verschenen rapporten is de totale depositie aan cadmium over de periode 4e kwartaal 1978 t/m 3e kwartaal 1979 en over de periode 4e kwartaal 1979 t/m 3e kwartaal 1980 berekend (dus over twee aaneengesloten jaren). In tabel 7 zijn de resultaten van deze berekening alsmede de totale hoeveelheid neerslag en het gemiddelde cadmiumgehalte van het regenwater vermeld. Opvallend zijn de afwijkend zeer hoge deposities in het jaar 1978/1979 bij de meetpunten Bergen, Castricum, Heemskerk, Berenplaat, Dordrecht, Tull en 't Waal, Epe en Emmen. Ook bij de meetpunten Leiduin, Loenderveense Plas en Braakman werden hoge deposities in dit jaar gemeten. Deze hoge deposities zijn te meer opvallend omdat op al deze plaatsen in het jaar 1979/1980 normale deposities werden gevonden met uitzondering van het meetpunt bij Castricum. Gezien de grote verschillen tussen de deposities van beide jaren op deze plaatsen is het niet verantwoord het gemiddelde te berekenen. Op de 17 overige plaatsen zijn de verschillen tussen de jaren slechts gering. Gemiddeld over beide jaren varieert de depositie van 2 tot 5 gram per jaar. Door *Paul e.a.* wordt een totale depositie door de neerslag op de cultuurgrond (2.10^6 ha) vermeld van 13000 kg. Dit komt neer op 6.5 gram per ha. Deze hoeveelheid stemt overeen met het gemiddelde berekend uit alle gegevens vermeld in tabel 7. Zoals reeds gezegd lijkt mij deze wijze van middelen niet verantwoord. Dit klemt te meer daar de hoge deposities alleen werden gevonden in het 4e kwartaal 1978 en 1e kwartaal 1979 (zie tabel 8).

Tabel 7. Depositie aan cadmium door de neerslag gedurende de periode 4e kwartaal 1978 t/m 3e kwartaal 1979 en de periode 4e kwartaal 1979 t/m 3e kwartaal 1980 (naar gegevens R.I.D.).

meetpunt		4e kwartaal 1978 t/m 3e kwartaal 1979 (364 dagen)			4e kwartaal 1979 t/m 3e kwartaal 1980 (365 dagen)			gemiddelde per jaar		
nr.	plaats	depositie Cd gram ha^{-1}	neerslag mm	Cd µg l^{-1}	depositie Cd gram ha^{-1}	neerslag mm	Cd µg l^{-1}	depositie Cd gram ha^{-1}	neerslag mm	Cd µg l^{-1}
1	Bergen	29	807	3.6	3	837	0.4	?	822	?
2	Castricum	39	937	4.2	15	840	1.8	?	888	?
3	Heemskerk	15	853	1.8	3	815	0.4	?	834	?
4	Leiduin	9	785	1.1	2	833	0.3	?	809	?
5	Scheveningen	5	880	0.6	3	795	0.4	4	837	0.5
6	Ouddorp	4	796	0.5	2	815	0.3	3	806	0.4
7	Berenplaat	19	804	2.3	3	796	0.4	?	800	?
8	Dordrecht	22	845	2.6	2	728	0.3	?	787	?
9	Biesbosch	2	753	0.3	2	751	0.3	2	752	0.3
10	Loenderveense Plas	7	902	0.8	2	815	0.3	?	859	?
11	Tull en 't Waal	12	818	1.5	2	733	0.3	?	776	?
12	Druten	4	736	0.6	2	675	0.3	3	706	0.4
13	Epe	14	752	1.8	3	862	0.4	?	807	?
14	Olden Eibergen	3	651	0.4	2	750	0.3	3	700	0.4
15	Enschede	4	693	0.6	2	791	0.2	3	742	0.4
16	Emmen	12	639	1.9	2	807	0.2	?	723	?
17	Beilen	3	787	0.4	2	844	0.2	3	815	0.4
18	Glimmen (de Punt)	3	757	0.4	1	837	0.1	2	797	0.3
19	Oldeholtpade	3	780	0.4	2	880	0.2	3	830	0.3
20	Schiermonnikoog	5	736	0.7	2	800	0.2	4	768	0.5
21	Haamstede	4	742	0.6	2	759	0.3	3	750	0.4
22	Braakman	9	713	1.3	3	771	0.4	?	742	?
23	Huybergen	5	779	0.6	3	872	0.4	4	826	0.5
24	Eindhoven	5	764	0.7	3	823	0.4	4	794	0.5
25	Brechei	7	648	1.1	3	793	0.4	5	721	0.7
26	Susteren	4	665	0.6	4	936	0.4	4	800	0.5

De deposities in het 2e en 3e kwartaal hebben plaats op te velde staande gewassen; de deposities in het 4e en 1e kwartaal vinden behalve op grasland in hoofdzaak plaats op onbegroeide grond. Met het oog op het cadmiumgehalte van het gewas is het daarom interessant de depositie te splitsen in 2 perioden. Dit is gebeurd in tabel 8. Uit tabel 8 blijkt, dat de reeds genoemde hoge deposities op een aantal meetpunten alleen voorkwamen in de winter 1978/1979.

Het is gewenst om na te gaan wat de oorzaak hiervan is*). Op alle meetpunten, met uitzondering van Castricum, worden in de periode, dat de gewassen te velde staan deposities gevonden van 1 à 2 gram. Gemiddeld over 25 meetpunten bedraagt de depositie gedurende de zomer 1.4 gram per ha. De hoeveelheid regen, die op het gewas blijft hangen bedraagt 2.5 mm per bui. Volgens het I.C.W. (Dr. Rijtema) mag men aannemen dat van de totale hoeveelheid regen in de zomer ± 20% op het gewas blijft hangen. Dit zou betekenen, dat ook 20% of 0.28 gram cadmium op het gewas achterblijft. De zomerregens zouden dus het cadmiumgehalte van spinazie (30 000 kg vers materiaal) verhogen met ± 0.01 mg/kg en dat van wintertarwe (6200 kg korrel + 4300 kg stro) met 0.027 mg/kg. Het grootste gedeelte van het cadmium zal echter niet op de korrel maar op het kaf blijven zitten. Bovendien komt op spinazie vanwege de korte groeiperiode slechts een klein deel van de zomerneerslag terecht.

Aanvoer middels kunstmest

Gezien het algemeen voorkomen van cadmium in de natuur - zij het in kleine hoeveelheden - is het te verwachten dat het zal voorkomen in meststoffen, die bereid worden uit fossiele producten, namelijk fosfaat- en kalkmeststoffen.

Fosfaatmeststoffen

Het gebruik van natuurfosfaten of ruwe fosfaten is in Nederland slechts gering. Uit de ruwe producten worden fosfaatmeststoffen gemaakt, waarin het fosfaat beter oplosbaar is. Volgens *Kloke* (1981) gaat het cadmium uit de ruwfosfaten tegelijk met het fosfaat in de fosfaatmeststof over.

In tabel 9 is het cadmiumgehalte vermeld van verschillende ruwe fosfaten. De gehalten in de tabel vermeld onder "eigen gegevens" zijn bepaald door het Rijks Kwaliteitsinstituut voor Land. en Tuinbouwproducten (Rikilt) in Wageningen. Volgens Zweedse gegevens bevatten eruptieve fosfaten slechts weinig cadmium, namelijk <0.2 mg/kg. Dit verklaart waarom in kolafosfaat - een eruptief fosfaat - dat in Nederland wel wordt gebruikt 5 mg/kg werd gevonden, een gehalte

---

*) Hierover is contact opgenomen met het Rijks Instituut voor Drinkwatervoorziening. Zie bijlagen.

dat veel lager is dan van de andere in Nederland gebruikte ruwfosfaten. *Kloke* (1981) vermeld een gehalte in kolafosfaat dat in overeenstemming is met de Zweedse gegevens.

Tabel 8. Depositie aan cadmium door de neerslag gedurende de winterperioden 1978/1979 en 1979/1980 en de zomerperioden 1979 en 1980 in gram per ha (naar gegevens R.I.D.).

meetpunt	winterperiode (4e + 1e kwartaal)						zomerperiode (2e en 3e kwartaal)					
	1978/1979		1979/1980		gemiddeld		1979		1980		gemiddeld	
nr. plaats	mm	depositie gram ha^{-1}	mm	depositie gram ha^{-1}	mm	depositie gram ha^{-1}	mm	depositie gram ha^{-1}	mm	depositie gram ha^{-1}	mm	depositie gram ha^{-1}
1 Bergen	393	25	502	2	448	?	414	4	335	1	375	3
2 Castricum	447	29	527	14	487	?	491	10	312	1	402	?
3 Heemskerk	416	13	481	2	449	?	437	2	335	1	386	2
4 Leiduin	405	8	511	1	458	?	380	1	322	1	351	1
5 Scheveningen	435	4	483	2	459	3	445	1	312	1	379	1
6 Ouddorp	376	3	514	2	445	3	420	1	301	1	360	1
7 Berenplaat	404	17	450	1	427	?	400	2	346	2	373	2
8 Dordrecht	445	20	439	2	442	?	399	2	289	1	344	1
9 Biesbosch	395	1	393	1	394	1	358	1	357	1	358	1
10 Loenderveense Plas	436	5	460	2	448	4	467	2	355	1	411	1
11 Tull en 't Waal	422	11	419	1	421	?	396	1	314	1	355	1
12 Druten	347	3	370	1	359	2	389	1	205	1	297	1
13 Epe	370	12	447	1	409	?	382	2	415	2	399	2
14 Olden Eibergen	317	2	379	1	348	2	334	1	372	1	353	1
15 Enschede	330	3	368	1	349	2	363	1	423	1	393	1
16 Emmen	289	11	389	1	339	?	350	1	418	1	384	1
17 Beilen	355	2	432	1	394	2	433	1	412	1	423	1
18 Glimmen (de Punt)	322	2	401	1	362	2	435	1	436	1	436	1
19 Oldeholtpade	328	2	455	1	392	2	452	1	424	1	438	1
20 Schiermonnikoog	381	4	466	1	424	3	355	1	334	1	345	1
21 Haamstede	387	2	460	1	424	2	355	2	299	1	327	2
22 Braakman	375	8	440	2	408	?	338	1	332	1	335	1
23 Huybergen	436	3	472	2	454	3	343	2	400	1	372	2
24 Eindhoven	412	3	406	2	409	3	352	2	417	1	385	2
25 Breehei	351	4	397	2	374	3	298	3	396	1	497	2
26 Susteren	385	3	457	2	421	3	280	1	479	2	380	2

Tabel 9. Cadmiumgehalte van verschillende ruwfosfaten in mg/kg

Naam	Herkomst	eigen gegevens	Zweden [1]	andere auteurs
Khouribga BPL 70/72	Marokko	25	10 - 20	21 [3]
Khouribga BPL 75/77	Marokko	25	10 - 20	
Khouribga BPL 80/82	Marokko	-	50 - 60	
Youssoufia	Marokko	30		16 [3]
Youssoufia noir	Marokko	-	20 - 60	
Bucraa BPL 75	Spaanse sahara	40	25 - 30	
Bucraa BPL 80	Spaanse sahara	-	25 - 35	
Taiba	Senegal	90	70 - 90	100 [3]
Togo	Togo	100	50 - 60	
Gafsafosfaat	Tunesië	65	35 - 60	
Pebblefosfaat BPL 72/74	Tunesië	15	-	8 [3]
Pebblefosfaat BPL 76/77	Tunesië	15	-	
Louis Gentile fosfaat	Tunesië	35	-	
Christmas fosfaat	Christmas Island	15	50 - 70	31 - 56 [2]
Nauru fosfaat	Nauru Island	-	80 - 90	86 - 90 [2]
Florida fosfaat BPL 72/73	U.S.A.	-	3 - 12	
Florida fosfaat BPL 75/77	U.S.A.	-	12 - 17	
North Carolina BPL 72	U.S.A.	-	30 - 40	
Idaho BPL 70/72	U.S.A.	-	100 - 300	
Israel BPL 75	Israel		4 - 6	
Israel BPL 70/72	Israel		20 - 30	
Jordanië BPL 70/72	Jordanië		3 - 9	
Jordanië BPL 73/75	Jordanië		3 - 5	
Algerije BPL 75	Algerije		10	
Syrië BPL 64/69	Syrië		35 - 60	
Kolafosfaat	Rusland	5		2

[1]) Anonymus

[2]) Williams C.H. and D.J. David: The effect of superphosphate on the cadmium content of soils and plant.
Austr. Journ. Soil Res. 1973, 11: 43-56.

[3]) Laboratorium D.S.M.

Tabel 10. Cadmiumgehalte van verschillende fosfaatmeststoffen.

Meststof	Nederland (eigen gegevens)			België [1]		Zweden [2]	
	Fabrikant	Cd mg/kg		Cd mg/kg		Cd mg/kg	
		product	per kg P_2O_5	product	per kg P_2O_5	product	per kg P_2O_5
23 + 23 + 0	1	9	39				
23 + 23 + 0	2	17	74				
12 + 10 + 18	1	5	50	2.5	25		
12 + 10 + 18	2	10	100				
12 + 10 + 18	3	9	90				
17 + 17 + 17	2	18	106				
26 + 14 + 0	4	15	107				
0 + 15 + 30	5	12	80				
0 + 25 + 25	4	24	96				
0 + 14 + 24	6	20	143				
0 + 10 + 32	6	12	120				
15 + 15 + 15				3.0	20		
10 + 10 + 10				2.2	22		
9 + 9 + 12				2.5	28		
9 + 6 + 18 + 3				0.2	3		
6 + 8 + 15 + 3				2.5	31		
20 + 5 + 9 [3]						14	122
11 + 5 + 18						2.3	20
11 + 5 + 18						4.0	35
14 + 6 + 17						4.0	29
20 + 6 + 6						6.4	47
8 + 7 + 16						4.0	25
16 + 7 + 13						18.0	112
16 + 7 + 13						4.7	29
12 + 9 + 13						4.8	23
26 + 6 + 0						7.4	54
26 + 6 + 0 (Noorwegen)						1.7	12
0 + 6 + 21						4.7	34
0 + 8 + 10						22	120
0 + 8 + 15						22	120
0 + 10 + 15						3.0	13
Tripelsuper (44.4% P_2O_5)	1	27	61				
Tripelsuper (44.2% P_2O_5)	4	44	100				
Superfosfaten	2 (18% P_2O_5)	7	39	4 (18% P_2O_5)	22	28 (25% P_2O_5)	112
Thomasslakkenmeel 16%				0.02	0.12		

[1]) Maas, G.
[2]) Stenström, T. and M. Vahter
[3]) In Zweden wordt in meststoffen het % P en niet P_2O_5 vermeld (1% P = 2.29% P_2O_5).

In tabel 10 is het cadmiumgehalte van verschillende fosfaatmeststoffen, in Nederland uit de handelskanalen betrokken, vermeld. Daarnaast zijn ook buitenlandse gegevens vermeld. Omdat de hoeveelheid meststof, die gegeven wordt, afhangt van het fosfaatgehalte, is tevens vermeld, wat het cadmiumgehalte per kg P_2O_5 is. Dit maakt een directe vergelijking van de meststoffen mogelijk. Uit de tabel blijkt dat het niet juist is analyses van fosfaatmeststoffen uit andere landen over te nemen, indien niet bekend is welk ruwfosfaat als uitgangsproduct is gebruikt. Ook binnen Nederland zijn er grote verschillen tussen meststoffen met dezelfde samenstelling maar van verschillende industrieën afkomstig. Fabrikant 1 levert fosfaatmeststoffen met de helft van het cadmiumgehalte van meststoffen met gelijke samenstelling dan de andere fabrikanten. De meststoffen van fabrikant 6 zijn gloeifosfaten. Deze meststoffen bevatten per kg P_2O_5 zeer veel cadmium. Het gehalte in deze meststoffen zal thans echter veel lager zijn, omdat is overgegaan op kolafosfaat voor de bereiding van deze meststoffen.

De bijdrage van de fosfaatbemesting aan de cadmiumaanvoer van de grond is slechts te schatten, omdat er geen gegevens zijn over de afzet van de verschillende fabrikanten. In de Jaarstatistiek van de Kunstmeststoffen 1979/1980 worden gegevens verstrekt over het gebruik van superfosfaat, tripel superfosfaat, slakkenmeel, PK-meststoffen "op basis van gloeifosfaat" en de overige NPK, -NP en PK meststoffen. Deze gegevens zijn vermeld in tabel 11. Tevens is in deze tabel vermeld het hoogste, het laagste en het gemiddeld gevonden cadmiumgehalte van de meststof (tabel 10). Voor slakkenmeel is het uit België vermelde cadmiumgehalte gebruikt.

Tabel 11. Het gebruik van de verschillende fosfaatmeststoffen in Nederland en de mogelijke cadmium aanvoer met deze meststoffen.

soort meststof	gebruik in Nederland miljoen kg	Cadmium mg/kg P_2O_5			Cadmium aanvoer kg $jaar^{-1}$		
		laagste	hoogste	gemiddeld	laagste	hoogste	gemiddeld
superfosfaat	2.46(2.9%)	39		39	95.94	95.94	95.94
tripelsuperfosfaat	20.96(24.9%)	61	100	80.5	1278.56	2096.00	1687.28
thomasslakkenmeel	4.61(5.5%)	0.125		0.125	0.57	0.57	0.57
PK-gloeifosfaten	4.19(5.0%)	120	143	131.50	502.80	599.17	550.99
overige NPK-, NP en PK meststoffen	48.97(58.2%)	39	107	82.4	1909.83	5239.79	4035.13
totaal Nederland	84.07(100 %)				3787.70	8031.47	6369.91

Uit tabel 11 blijkt, dat er gemiddeld ruim 6300 kg cadmium aan de cultuurgrond in Nederland wordt toegevoegd door bemesting met kunstmeststoffen. Zouden van iedere soort alleen de fabrikanten met het laagste gehalte worden gebruikt, dan kan dit worden teruggebracht tot bijna 3800 kg. Op grond van het gebruik van 84 miljoen kg P_2O_5 met 6369 kg cadmium is het gemiddeld cadmiumgehalte per kg P_2O_5, die in Nederland wordt gebruikt 75 mg.

Uit recent nog niet gepubliceerd onderzoek van het LEI blijkt dat per ha bouwland 64.9 kg P_2O_5 en per ha grasland 17.5 kg P_2O_5 wordt gebruikt. Dit betekent dat er per jaar per ha bouwland 4.8 gram en per ha grasland 1.3 gram cadmium wordt aangevoerd.

Kalkmeststoffen

De kalkmeststoffen kunnen worden gesplitst in kalk- en magnesia-kalkmeststoffen, schuimaarde en de kencica-meststoffen. De laatste groep meststoffen bevat tevens een gegarandeerd gehalte aan borium, koper, fosfor of stikstof, waardoor zij niet primair kalkmeststoffen zijn.

In tabel 12 is het cadmiumgehalte van een aantal kalk- en magnesia-kalkmeststoffen vermeld. Tevens is vermeld wat het verbruik van deze meststoffen in Nederland is.

Tabel 12. Cadmiumaanvoer door een aantal kalkmeststoffen.

produkt	CaO %	MgO %	Zbb %	Cadmium mg/kg		Verbruik in Nederland 1979/1980 miljoen kg Zbb*)	Cadmium-aanvoer kg jaar^{-1}
				product	Zbb		
Emkal	54	0	54	0.37	0.68	5.201 (1.9%)	3.54
Dolokal	48	5	55	0.63	1.14	113.615 (40.9%)	129.52
Dolokal extra	41	10	55	0.79	1.43	4.271 (1.5%)	6.11
Dolokal supra	30	20	58	1.10	1.89	16.223 (5.8%)	30.66
Winterswijk	33	4	40	0.95	2.37	8.015 (2.9%)	18.99
Winterswijk	34	10	41	0.17	0.41	?	
Brandkalk			64	0.14	0.22	2.865 (1.0%)	0.63
Magkal	30	17	54	0.20	0.37	0.918 (0.3%)	0.34
totaal						151.108 (54.5%)	186.25

*) tussen haakjes het % van het totale gebruik.

Emkal is zuiver calciumcarbonaat. Dolokal supra is zuiver dolomiet. Dolokal en Dolokal extra zijn mengsels van Emkal en Dolokal supra in de verhouding van respectievelijk 75 : 25 en 50 : 50. In tegenstelling met de Dolokal-soorten is het gehalte in de Winterswijkse magnesiakalk het laagst bij het hoogste magnesiumgehalte. Ondanks het hoge magnesiumgehalte heeft de Magkal een laag gehalte aan cadmium. Het lage cadmiumgehalte in brandkalk zal wel een gevolg zijn van de hoge temperaturen, die bij het branden optreden.

De in tabel 12 genoemde kalkmeststoffen beslaan 54.5% van het kalkverbruik in Nederland.

Gemiddeld bevatten de in Nederland veel gebruikte kalk- en magnesia-kalkmeststoffen 1.23 mg Cd/kg Zbb. Om de kalktoestand op peil te houden is op kleigrond gemiddeld 400 kg Zbb per jaar nodig, wat neerkomt op een cadmiumaanvoer van 492 mg/ha/jaar.

Op zandgrond hangt de onderhoudsbemesting af van het bouwplan en van het humusgehalte. Gemiddeld kan de onderhoudsbekalking gesteld worden op 300 kg. Dit betekent op zandgrond een aanvoer van 369 mg/ha.

Op grasland is een onderhoudsbemesting nodig van 50 kg Zbb per ha, wat een cadmiumaanvoer van 61 mg geeft.

In tabel 13 zijn de resultaten vermeld van de analyses van schuimaarde van verschillende gebieden. In de tabel is tevens vermeld van welke grondsoort de bieten die in de fabriek worden verwerkt afkomstig zijn.

De resultaten wekken de indruk dat het cadmiumgehalte van de schuimaarde hoger is naarmate er meer bieten van de zuidelijke zandgronden en lössgronden worden verwerkt. Voor de suikerindustrie zijn deze resultaten aanleiding om de schuimaarde van afzonderlijke partijen bieten naar herkomst te gaan analyseren.

Tabel 13. Cadmiumgehalte van verschillende schuimaardemonsters.

suikerfabriek	herkomst van de verwerkte bieten	Zbb in d.s.	Cadmiumgehalte mg/kg	
			product d.s.	Zbb
1	kleigrond	44	0.39	0.88
	kleigrond	44	0.47	1.07
	kleigrond	39	0.45	1.15
	kleigrond	34	0.38	1.12
gemiddeld		40	0.42	1.12
2	kleigrond	42	0.47	1.12
3	klei- en zandgrond gemengd	41	0.56	1.37
4	klei- en zandgrond gemengd	41	0.55	1.34
5	klei- en zandgrond OB	38	0.62	1.63
6	kleigrond + 70% Limburg	42	0.84	2.00
7	noord. klei + veenkol.	42	0.40	0.95
gemiddeld		41	0.55	1.34

In het bemestingsseizoen 1979/80 werd 63.9 miljoen kg Zbb (23% van het totale Zbb verbruik) in de vorm van schuimaarde verbruikt. Hiermee werd dus 86 kg cadmium in de grond gebracht. Schuimaarde wordt slechts periodiek in hoeveelheden van 20 ton (met 20% Zbb) per ha toegediend. Met deze 4000 kg Zbb wordt dus 5360 mg Cd gegeven. In het algemeen gebeurt dit eens in de 8 jaar, zodat er dan gemiddeld per jaar 670 mg per ha wordt toegediend.

In tabel 14 worden de analyseresultaten vermeld van de verschillende kencica-soorten.

Uit tabel 14 blijkt dat de totale hoeveelheid cadmium die met de kencica-meststoffen wordt aangevoerd slechts gering is.

Tabel 14. Cadmiumgehalte van verschillende kencica-meststoffen.

product	CaO %	MgO %	Zbb	P_2O_5 %	N %	Cadmium mg/kg product	Zbb	P_2O_5	N	verbruik in Nederland miljoen kg product	Cadmium-aanvoer kg $jaar^{-1}$
koper-kencica	37.6	8.8	50			1.5	3			?	
borium-kencica	43.7	6.4	53			3.0	5.7			?	
fosma-kencica	41.3	6.4	50	6.0		1.3	2.6	22		15.6	20.34
fosma-kencica	33.8	6.4	43	6.0		0.81	1.9	14		?	
stima-kencica	22.8	14.8	44	3	10	0.71	1.6	24	7	8.9	6.32

Als koper- respectievelijk boriummeststof zijn de hoeveelheden per ha zo gering dat de cadmiumaanvoer per ha te verwaarlozen is. De fosma-kencica-meststoffen bevatten in vergelijking met de andere fosfaatmeststoffen weinig cadmium. De stima-kencica wordt als stikstofmeststof gebruikt.

Stikstofmeststoffen

Het aandeel van de stima-kencica in het stikstofverbruik van Nederland bedraagt slechts 0.18%. De belangrijkste meststoffen zijn kalkammonsalpeter en stikstofmagnesiameststof (magnesamon), die respectievelijk 74.7 en 10.1% van het stikstof verbruik uitmaken; 12% van de stikstof wordt in de vorm van mengmeststoffen gegeven. Het cadmiumgehalte van Kas 26 (kalkammonsalpeter 26% N) en Mas 22 (magnesamonsalpeter 22% N) is niet onderzocht. Het kan echter benaderd worden uit de samenstellende bestanddelen. Om aan een stikstofgehalte van 26% te voldoen moet Kas 26 bestaan uit 74% NH_4NO_3 (met 35% N) en 26% $CaCO_3$. Het gebruikte $CaCO_3$ is de in tabel 12 vermelde emkal. Hieruit volgt dat 100 kg Kas 26% ongeveer 9.6 mg cadmium bevat of 0.37 mg Cd/kg N. *Maas* vermeld in België een gehalte van 7 mg/100 kg Kas 26 of 0.27 mg Cd/kg N.

Magnesamon bestaat uit 64% NH_4NO_3 en 36% dolokal supra. Hieruit volgt een cadmiumgehalte van 39.6 mg per 100 kg of 1.8 mg/kg N.

In Nederland wordt 361.5 miljoen kg N in de vorm van Kas 26 en 49.6 miljoen kg N in de vorm van magnesamon gebruikt. In totaal wordt hiermee 223 kg cadmium gegeven.

Volgens het reeds eerder genoemde nog niet gepubliceerde onderzoek van het LEI is de gemiddelde stikstofbemesting op bouwland 140 kg N/ha. Dit zal in hoofdzaak worden gegeven in de vorm vam mengmeststoffen en Kas 26. Het bouwland-areaal bedraagt ruim 700 000 ha, wat een totale hoeveelheid N voor bouwland betekent van 98 miljoen kg. In de vorm van mengmeststoffen worden bijna 59 miljoen kg N gegeven, zodat er nog 39 miljoen kg N in de vorm van Kas 26 wordt gegeven of gemiddeld 57 kg N per ha wat een aanvoer van 21 mg Cd/ha betekent. De met de mengmeststoffen aangevoerde cadmium is reeds opgenomen bij de aanvoer via fosfaat.

De in Nederland gebruikte magnesamon (49.6 miljoen kg N) wordt in hoofdzaak aan grasland toegediend. Bij een oppervlakte van 1.2 miljoen ha betekent dit 41 kg N per ha grasland. Het gemiddelde gebruik per ha grasland is 257 kg N, zodat er nog 216 kg N in de vorm van Kas 26 wordt gegeven. De totale cadmiumaanvoer per ha grasland via de stikstofbemesting bedraagt dus
(41 x 1.8 + 216 x 0.37) = 154 mg Cd.

Om de verzurende werking van de stikstofbemesting te corrigeren, moet er op bouwland per kg N 1 kg Zbb en op grasland 0.8 kg Zbb worden gegeven. Hiervan moet de met de meststof aangevoerde Zbb (zoals bij Kas en Mas het geval is) worden afgetrokken. Dit betekent dat op bouwland bij een bemesting met 83 kg N in de vorm van mengmeststoffen + 57 kg N in de vorm van Kas 26 per jaar 109 kg Zbb moet worden gegeven wat een cadmiumaanvoer van 134 mg betekent.

Op grasland moet bij een bemesting van 41 kg N in de vorm van Mas + 216 kg N in de vorm van Kas 26, 65 kg Zbb worden gegeven om de verzurende werking op te heffen. Hiermee wordt 80 mg cadmium gegeven.

Kalimeststoffen

Er zijn geen Nederlandse gegevens over het cadmiumgehalte van de kalimeststoffen. De kali gegeven in de vorm van mengmeststoffen kan buiten beschouwing blijven omdat de hiermee gepaard gaande cadmiumaanvoer in hoofdzaak bij

fosfaat is opgevangen. In tabel 15 is de cadmiumaanvoer via de enkelvoudige kalimeststoffen vermeld, gebaseerd op Belgische gegevens (Maas).

Tabel 15. Cadmiumaanvoer door een aantal kalimeststoffen.

product	K_2O	Cadmium mg/kg		verbruik in Nederland 1979/1980 miljoen kg K_2O		Cadmiumaanvoer kg $jaar^{-1}$
	%	product	K_2O			
kaliumchloride 60	60	0.26	0.43	38.1	(30.8)	16.38
kaliumchloride 40	40	0.16	0.40	17.4	(14.1)	6.96
ruwkalizout 20	20	0.09	0.45	0.3	(0.2)	0.14
patentkali	30	0.04	0.13	15.3	(12.4)	1.99
				71.1	(57.7)	25.47

Gemiddeld wordt op grasland 10.5 kg K_2O gebruikt. Dit zal vooral gebeuren in de vorm van chloorkalizouten. Bij een oppervlakte van 1.2 miljoen ha grasland betekent dit dat er 12.6 miljoen kg chloorkali naar het grasland gaat. De resterende 58.5 miljoen kg kali gaan samen met de mengmeststoffen naar de 700 000 ha bouwland, waarmee ruim 20 kg cadmium wordt gegeven. Per ha grasland wordt dus 4.5 mg cadmium en per ha bouwland 28.5 mg cadmium gegeven via de enkelvoudige kalimeststoffen.

Met behulp van de in het voorgaande vermelde gegevens kan een schatting worden gemaakt van de cadmiumaanvoer per ha bouwland en grasland in Nederland via de kunstmest. Hierbij is de onderhoudsbekalking op alle gronden voor bouwland gesteld op 350 kg Zbb per ha en is aangenomen dat alles via kalk- en magnesiakalkmeststoffen gaat. De resultaten zijn vermeld in tabel 16. De aanvoer via de kencica-meststoffen is buiten beschouwing gelaten.

Uit tabel 16 blijkt dat het grootste gedeelte van het cadmium wordt aangevoerd via de fosfaatmeststoffen. Deze hoeveelheid zal op bedrijven waar de fosfaatmeststoffen met een cadmiumgehalte van 40 mg/kg worden gebruikt bijna de helft lager zijn, het omgekeerde geldt voor de bedrijven waar men de in tabel 10 vermelde meststoffen met een hoog gehalte gebruikt.

Tabel 16. Geschatte cadmiumaanvoer per ha per jaar bouwland en grasland door anorganische meststoffen.

element	Cd mg/kg	bouwland		grasland	
		kg element per ha	cadmium-aanvoer mg	kg element per ha	cadmium-aanvoer mg
P_2O_5	75	65	4875	18	1350
Zbb	1.23	350 [1])	430	50 [1])	62
		109 [2])	134	62 [2])	65
N-Kas 26	0.37	57	21	216	80
N-Mas 22	1.8	0	0	41	74
K_2O		84	29	11	5
totaal			5489		1636 mg

[1]) onderhoudsbemesting;

[2]) benodigde Zbb voor opheffing verzurende werking van stikstof.

Aanvoer middels dierlijke mest

Zowel de natuurlijke voedermiddelen als de additieven kunnen cadmium bevatten. Slechts een zeer klein gedeelte van het door het dier opgenomen cadmium wordt in het dier opgeslagen. Het grootste gedeelte (± 99%) wordt weer uitgescheiden en komt in de mest terecht. Uitgaande van een verteringscoëfficiënt van 70% bij rundvee, 80% bij varkens en 65% bij kippen en een uitscheiding van 99% van de opgenomen hoeveelheid cadmium betekent dit, dat in de droge stof van de mest een cadmiumgehalte te verwachten is van:

bij rundveemest: $\frac{100}{30}$ x 0.99 x gehalte in de droge-stof voer =

3.33 x gehalte in ds voer,

bij varkensmest: $\frac{100}{20}$ x 0.99 x gehalte in de droge-stof voer =

4.95 x gehalte in ds voer,

bij pluimveemest: $\frac{100}{35}$ x 0.99 x gehalte in de droge-stof voer =

2.83 x gehalte in ds voer.

Door het Coöperatief Laboratorium van Cehave Veghel n.v., Chem. Son en Encebe Boxtel werd een voederproef genomen met tweemaal acht groepen van tien varkens met varkensvoer, waarin het cadmiumgehalte gevarieerd was door toevoeging van verschillende voederfosfaten. De resultaten van de cadmium-analyses in de mest zijn vermeld in tabel 17.

Tabel 17. Cadmiumgehalte in mest van mestvarkens gevoerd met voer met verschillend cadmiumgehalte.

groep	mg Cd/kg voer		ds %	mg Cd/kg mest		verh. $\frac{\text{Cd mg/kg ds mest}}{\text{Cd mg/kg ds voer}}$
	product	ds(88%)	mest	product	drogestof	
A_1	0.07^5	0.08^5	30.2	0.14	0.46	5.5 } 5.9
A_2	0.07^5	0.08^5	28.2	0.15	0.53	6.3
B_1	0.06^5	0.07^4	25.8	0.10	0.39	5.2 } 5.0
B_2	0.06^5	0.07^4	28.5	0.10	0.35	4.7
C_1	0.12	0.13^6	26.9	0.13	0.48	3.5 } 4.6
C_2	0.12	0.13^6	28.8	0.22	0.76	5.6
D_1	0.11	0.12^5	26.7	0.11	0.41	3.3 } 4.3
D_2	0.11	0.12^5	27.0	0.18	0.67	5.3
E_1	0.05^5	0.06^3	25.9	0.09	0.35	5.5 } 6.2
E_2	0.05^5	0.06^3	28.2	0.12	0.43	6.8
F_1	0.07^5	0.08^5	24.3	0.08	0.33	3.9 } 3.6
F_2	0.07^5	0.08^5	23.9	0.07	0.29	3.4
G_1	0.79	0.89^8	26.9	1.08	4.01	4.5 } 6.1
G_2	0.79	0.89^8	28.7	1.95	6.79	7.6
H_1	0.53	0.60^2	23.9	0.65	2.72	4.5 } 5.4
H_2	0.53	0.60^2	28.8	1.07	3.72	6.2

Uit tabel 17 blijkt, dat de vermelde vermenigvuldigingsfactoren nogal afwijken van de berekende. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de mestmonsters afkomstig zijn van de roostervloer. Gemiddeld over alle waarnemingen bedraagt de verhouding 5.1.

De werkgroep "Mineralen in krachtvoer in relatie tot bemesting en milieu" (NRLO) heeft in een aantal mengvoeders voor rundvee, mestvarkens, leghennen en slachtkuikens het cadmiumgehalte bepaald. De resultaten zijn vermeld in

tabel 18. Tevens is in tabel 18 vermeld wat het te verwachten cadmiumgehalte is in de mest van varkens en pluimvee. Rundvee wordt niet uitsluitend met krachtvoer gevoerd. Het cadmium afkomstig uit ruwvoer kan hier buiten beschouwing blijven, omdat dit een interne circulatie is.

Uitgaande van een krachtvoerverbruik van 4740 kg per ha bij een veebezetting van 3 melkkoeien/ha bij 's nachts opstallen wordt op grond van tabel 18 per ha grasland 1900 - 3500 mg Cd via het krachtvoer aangevoerd.

Tabel 18. Cadmiumgehalte van mengvoeders in mg/kg droge-stof.

soort mengvoeder	aantal monsters	Cadmium mg/kg ds	te verwachten cadmiumgehalte in mest mg/kg ds
rundvee	15	0.58 ± 0.17	-
mestvarkens	15	0.41 ± 0.16	1.24 - 2.82
leghennen	10	1.02 ± 0.35	1.90 - 3.88
slechtkuikens	10	0.42 ± 0.18	0.68 - 1.70
		Werkgroep "Mineralen in krachtvoer in relatie tot bemesting en milieu" (NRLO)	

De in tabel 16 vermelde cadmiumaanvoer via kunstmeststoffen van 1636 mg moet hiermee worden verhoogd, zodat de totale cadmiumaanvoer per ha grasland op 3536 - 5136 mg komt.

Om georiënteerd te zijn over het cadmiumgehalte van de verschillende mestsoorten zijn van de vier bovengenoemde diersoorten 5 mestmonsters genomen. De resultaten van de cadmium en fosfaat analyses zijn vermeld in tabel 19. Zoals te verwachten was, is de spreiding groot. Behalve door verschil in verteringscoëfficiënten en verschil in cadmiumgehalte van het voer wordt een gedeelte van deze spreiding ongetwijfeld veroorzaakt door bemonsteringsfouten en bij pluimveemest door het strooisel. Ondanks de grote verschillen is toch gemiddeld. Om een vergelijking met de fosfaatmeststoffen te kunnen maken is het cadmiumgehalte in tabel 19 ook uitgedrukt per kg P_2O_5. Gemiddeld blijkt rundveedrijfmest 31.2; varkensdrijfmest 18.9; vaste kippemest 27.1 en vaste kuikenmest 38.2 mg per kg P_2O_5 te bevatten. Vergelijking met het cadmiumgehalte van de verschillende kunstmeststoffen leert, dat dierlijke mest een betrekkelijk schone fosfaatmeststof is.

Tabel 19. Cadmiumgehalte van enkele monsters runderdrijfmest, varkensdrijfmest en vaste kippe- en mestkuikenmest.

Herkomst	Runderdrijfmest				Varkensdrijfmest				Vaste Kippemest				Vaste Kuikenmest			
		In drogestof		Cd mg /		In drogestof		Cd mg /		In drogestof		Cd mg /		In drogestof		Cd mg /
	ds %	P_2O_5%	Cd mg/kg	kg P_2O_5	ds %	P_2O_5%	Cd mg/kg	kg P_2O_5	ds %	P_2O_5%	Cd mg/kg	kg P_2O_5	ds %	P_2O_5%	Cd mg/kg	kg P_2O_5
Z.O. Friesland	12.3	3.9	0.9	23.1												
Arnhem	8.0	2.2	0.4	18.2	11.2	5.4	0.4	7.4	33.4	6.1	0.4	6.6	60.9	3.5	0.1	2.9
Gouda	14.4	-	0.8	-												
Zevenbergen	8.3	1.5	1.0	66.7												
Utrecht	7.8	1.8	0.3	16.7	12.6	6.2	1.9	30.6	40.8	7.8	4.6	59.0	51.2	3.7	0.5	13.5
Tilburg					5.0	5.8	0.5	8.6	27.4	5.6	0.5	8.9	66.7	3.5	1.9	54.3
Eindhoven					4.8	-	1.9	-	70.6	5.1	0.3	5.9	39.2	6.9	3.7	53.6
Roermond					1.9	-	0.6	-	46.1	4.7	2.2	46.8	33.3	6.0	2.6	43.3
Gemiddeld	10.2	2.4	0.68	31.2	7.1	5.8	1.1	18.9	43.7	5.9	1.6	27.1	50.3	4.7	1.8	38.2
Landelijk gemiddeld	9.5	2.1	-	-	8.0	5.8	-	-	32.2	5.8	-	-	56.0	3.8	-	-

Met behulp van deze cijfers en de door het Centraal Bureau voor Statistiek vermelde gegevens over de fosfaatproductie door varkens en pluimvee kan een schatting worden gemaakt van de hoeveelheid cadmium die door de dierlijke organische mest in de grond wordt gebracht (tabel 20).

Volgens recent onderzoek aan het IB (nog niet gepubliceerd) is het fosfaat uit pluimveemest slechts voor 75% effectief in vergelijking met het fosfaat uit kunstmest. Daarom is in tabel 20 bovendien de effectieve productie aan fosfaat vermeld. Uit tabel 20 blijkt dat er door de varkens en het pluimvee 95 miljoen kg "effectief" P_2O_5 wordt geproduceerd. Bij 700 000 ha bouwland betekent dit een productie van 136 kg P_2O_5, waarmee 3183 mg Cd per ha wordt aangevoerd*). Er behoeft dan geen kunstmestfosfaat meer te worden gebruikt. Bovendien kan een gedeelte van de kunstmeststikstof vervallen. Indien de genoemde 136 kg P_2O_5 in het voorjaar wordt gegeven in de vorm van varkensmest, wordt tevens ruim 140 kg voor de plant beschikbare N gegeven, zodat de kunstmeststikstof achterwege kan blijven. In geval van toediening van kippemest of kuikenmest in het voorjaar (136 kg P_2O_5) kan 68 respectievelijk 107 kg N op de kunstmeststikstof worden bespaard. Bij toediening in het najaar van 136 kg P_2O_5 is er een besparing op de stikstofbemesting in het voorjaar mogelijk van 90 kg in geval van varkensmest en 42 respectievelijk 69 kg in geval van kippe- respectievelijk kuikenmest.

Tabel 20. De hoeveelheid P_2O_5 door varkens en pluimvee in Nederland geproduceerd en de hoeveelheid cadmium, die hiermee wordt aangevoerd, op grond van tabel 19.

diersoort	geproduceerde kg P_2O_5**)x 10^6	effectief P_2O_5 kg P_2O_5 x 10^6	Cadmium productie in kg
varkens	69.0	69.0	1200
leghennen	25.0	19.0	677
slachtkuikens	9.2	7	351
totaal	103.2	95	2228

**) gegevens CBS 1980

*) Hierbij wordt geen uitspraak gedaan over de vraag of deze hoeveelheden uit andere overwegingen toelaatbaar zijn.

Het verdelen van de door varkens en pluimvee geproduceerde mest over het bouwland betekent dus een geringere aanvoer van cadmium op het bouwland.

In tabel 21 is vermeld hoeveel cadmium per ha bouwland wordt gegeven indien een hoeveelheid mest wordt gegeven, die overeenkomt met 150 kg stikstof per ha in de vorm van kunstmest. Hieruit blijkt, dat de cadmiumaanvoer per ha dan aanzienlijk groter is vooral bij pluimveemest. Het behoeft geen betoog dat het dumpen van mest ook op grond van de cadmiumaanvoer ontoelaatbaar is.

Tabel 21. Hoeveelheid cadmium, die gegeven wordt per ha bouwland met een hoeveelheid mest om een stikstofvoorziening te bereiken, die overeenkomt met de werking van circa 150 kg N in de vorm van anorganische meststoffen.

mestsoort	voorjaarsbemesting				najaarsbemesting			
	ton ha^{-1}	totaal N kg ha^{-1}	kg P_2O_5 kg ha^{-1}	Cadmium gram ha^{-1}	ton ha^{-1}	totaal N kg ha^{-1}	kg P_2O_5 kg ha^{-1}	Cadmium gram ha^{-1}
varkensdrijfmest	30	210	141	2.7	48	330	226	4.3
kippemest vast	16	197	299	8.1	26	325	486	13.2
kuikenmest vast	9	207	189	7.2	14	322	294	11.2

Aanvoer middels afvalstoffen uit de samenleving

Alvorens in te gaan op de eventuele cadmiumaanvoer via afvalstoffen uit de samenleving lijkt het gewenst eerst een samenvattende tabel te geven van aan- en afvoer in de huidige situatie (tabel 22). Voor bouwland zijn twee situaties vermeld namelijk bij gebruik van kunstmestfosfaat (tabel 16) en wanneer de varkens- en pluimveemest als fosfaatmeststof over Nederland wordt verdeeld. Met nadruk zij er op gewezen dat de huidige situatie ongunstiger is dan hier wordt aangegeven, omdat met name in de gebieden met intensieve veehouderij grote hoeveelheden mest worden gebruikt.

De afvoer door granen is gemiddeld op 700 mg gesteld, die door aardappelen op 1200 mg. Van bieten zijn geen gegevens bekend. De afvoer is voor bieten gelijkgesteld aan die van aardappelen. Het bietenblad en koppen blijven immers in

hoofdzaak op het land. Bij een bouwplan van 50% granen en 50% rooivruchten wordt de gemiddelde afvoer per jaar dan 995 mg.

Tabel 22. Geschatte aan- en afvoer in mg van cadmium per ha bouwland en grasland in Nederland.

bron	bouwland		grasland
	uitsluitend kunstmest	bij spreiding van varkens- en pluimveemest	
P_2O_5	4875	3183	1350
Zbb	564	564	127
N Kas 26	21	0	80
N Mas 22	-	-	74
K_2O	29	-	5
krachtvoer	-	-	1900-3500 —> 2700
neerslag	3500	3500	3500
totaal aanvoer	8989	7247	7836
afvoer via oogst	995	995	100
via drainwater	1200	1200	1200
totaal afvoer	2195	2195	1300
verrijking per jaar per ha	6794	5052	6536

Het door het dier opgenomen cadmium wordt voor 99% weer in de mest uitgescheiden, zodat de afvoer op grasland slechts gering is. Zij is hier geschat op 100 mg/ha. Volgens *Paul c.s.* gaat er door uitspoeling 1200 mg per ha per jaar verloren.

Uit tabel 22 blijkt, dat in de huidige situatie, waarbij de mest niet wordt verdeeld over Nederland en de akkerbouw aangewezen is op kunstmest het bouwland ieder jaar wordt verrijkt met bijna 6800 mg cadmium per ha. De situatie is in feite ongunstiger omdat in sommige gebieden grote hoeveelheden mest worden gegeven. Zou de mest regelmatig over het bouwland worden verdeeld (naar 136 kg beschikbaar P_2O_5/ha) dan wordt de cadmium aanvoer met 1700 mg of 25% verlaagd.

Zowel op bouwland als op grasland stijgt het cadmiumgehalte van de grond dus. Bij een verrijking van de grond met 6000 mg cadmium per ha per jaar zal het cadmiumgehalte van de grond op bouwland (2.5 miljoen kg grond) in 100 jaar met 0.24 mg/kg en op grasland (0.5 miljoen kg grond) met 1.2 mg/kg stijgen.

Of dit bezwaarlijk is hangt in de eerste plaats af van het antwoord op de vraag welke waarde wordt toegekend aan de resultaten van het onderzoek waartoe de LAC-stuurgroep "Bodem en Gewas" opdracht heeft gegeven. Wordt het feit, dat 16% van de tarwemonsters, 63% van de gerstmonsters, 29% van de havermonsters en 17% van de spinaziemonsters een cadmiumgehalte > 0.1 mg per kg vers gewicht heeft meer beschouwd als toeval dan als werkelijkheid, dan lijkt een doorgaan met de huidige praktijk niet bezwaarlijk.
Worden de huidige resultaten daarentegen gezien als een teken aan de wand, dan zou gezocht moeten worden naar methoden om een cadmiumaanvoer terug te dringen.

Van het bovenstaande hangt ook af of het aanbevelenswaardig is zuiveringsslib en andere afvalstoffen voor bemesting toe te laten. Indien de huidige cadmiumaanvoer via bemesting en neerslag moet worden teruggedrongen dan is er voor zuiveringsslib en dergelijke geen plaats.

Wordt daarentegen geaccepteerd, dat het cadmiumgehalte in de grond stijgt, zonder daarvan de consequenties te kennen dan zou moeten worden ingevuld welk totaal cadmiumgehalte in de grond mag worden bereikt over bijvoorbeeld 100 jaar. Hierbij kan worden uitgegaan van een gemiddeld gehalte op het ogenblik van 0.5 mg/kg.

In tabel 23 is weergegeven welk cadmiumgehalte in de grond wordt bereikt op bouwland respectievelijk grasland als er 2000 kg respectievelijk 1000 kg droge stof in de vorm van zuiveringsslib met verschillende cadmiumgehalten wordt gegeven. Met 2000 kg droge-stof aan zuiveringsslib wordt gemiddeld 90 kg P_2O_5 gegeven waarvan 30 tot 50% tot werking komt. Er mag dus op bouwland $\pm$ 40 kg P_2O_5 als kunstmest minder worden gegeven, zodat op bouwland de cadmiumaanvoer via kunstmest met 3000 mg mag worden verminderd. Op grasland zal bij gebruik van 1000 kg droge stof aan zuiveringsslib het kunstmest fosfaat achterwege kunnen blijven, zodat hier dus 1350 mg cadmium minder wordt aangevoerd via de kunstmest. Met deze verminderde aanvoer is in tabel 23 rekening gehouden.

Tabel 23. Het te verwachten cadmiumgehalte in de grond door gebruik van 2000 kg respectievelijk 1000 kg droge-stof aan zuiveringsslib op bouwland respectievelijk grasland gedurende *100 jaar* bij een huidig cadmiumgehalte in de grond van 0.5 mg/kg.

Cd-gehalte zuiveringsslib mg/kg d.s.	bouwland ($2.5.10^6$ kg grond)		grasland ($0.5.10^6$ kg grond)
	kunstmest + 2000 kg d.s. zuiveringsslib	bij spreiding van varkens- en pluimveemest + 2000 kg d.s. zuiveringsslib	geproduceerde rundveemest + kunstmeststikstof + 1000 kg d.s. zuiveringsslib
20	0.5 + 1.75 = 2.25	0.5 + 1.8 = 2.30	0.5 + 5.31 = 5.81
15	0.5 + 1.35 = 1.85	0.5 + 1.4 = 1.90	0.5 + 4.31 = 4.81
10	0.5 + 0.95 = 1.45	0.5 + 1.0 = 1.50	0.5 + 3.31 = 3.81
5	0.5 + 0.55 = 1.05	0.5 + 0.6 = 1.10	0.5 + 2.31 = 2.81
3	0.5 + 0.39 = 0.89	0.5 + 0.4 = 0.90	0.5 + 1.91 = 2.41

De vraag of deze bemesting met zuiveringsslib naast het gebruik van de varkens- en pluimveemest nodig is, wordt hier buiten beschouwing gelaten. Uit tabel 23 blijkt, dat het totaal gehalte aan cadmium in de grond op bouwland zelfs bij een gehalte van 5 mg Cd/kg d.s. in zuiveringsslib in 100 jaar wordt verdubbeld. Op blijvend grasland is de verhoging veel groter omdat hier niet geploegd wordt.

Samenvatting en conclusie

Op grond van de verrichte gewasanalyses kan worden geconcludeerd dat door aardappelen per jaar 1200 mg cadmium per ha aan de grond wordt onttrokken. Gemiddeld is de onttrekking door tarwe, gerst en haver 790 mg en de onttrekking door spinazie 1500 mg.

Bij een bouwplan van 50% granen en 50% rooivruchten kan de gemiddelde onttrekking op ± 1000 mg per ha per jaar worden gesteld. Bovendien wordt via het drainwater ± 1200 mg cadmium aan de grond onttrokken.

Tegenover deze afvoer van ± 2200 mg staat een depositie door de neerslag van 3500 mg. Bij het huidige kunstmestgebruik wordt het bouwland ieder jaar met ± 6800 mg/ha verrijkt. Op grasland bedraagt de verrijking door kunstmest en rundveekrachtvoer ± 6500 mg/ha/jaar.

De totale aanvoer van cadmium door varkens- en pluimveemest kan worden geschat op 2228 kg of 1100 mg per ha per jaar. Door alle varkens- en puimveemest over het bouwland in Nederland te verdelen en de bemesting met kunstmestfosfaat weg te laten, wordt de cadmiumverrijking van bouwland ± 5000 mg in plaats van 6800 mg.

Doordat de cadmiumaanvoer groter is dan de afvoer zal het cadmiumgehalte van de grond geleidelijk stijgen.

Van de onderzochte gewassen had bij tarwe 16%, bij gerst 63%, bij haver 19% en bij spinazie 17% van de monsters een cadmiumgehalte >0.1 mg per kg vers gewicht. Indien men op grond van deze resultaten de stijging van het cadmiumgehalte van de grond wil afremmen dan zijn de volgende maatregelen aan te bevelen:

1. Streven naar een cadmiumgehalte in fosfaatmeststoffen tot ten hoogste 40 mg Cd per kg P_2O_5.

2. De geproduceerde varkens- en pluimveemest te verdelen over het bouwland in Nederland. Bovendien zorgen voor krachtvoeders met een laag cadmiumgehalte. Bij verdeling van de mest over heel Nederland is op bouwland geen kunstmestfosfaat meer nodig. De onder 1 genoemde maatregel blijft dan gewenst met het oog op de tuinbouw.

3. Zoveel mogelijk terugdringen van de cadmiumdepositie door de neerslag.

4. Het verbieden van het gebruik van andere cadmiumbronnen zoals het gebruik van zuiveringsslib en dergelijke.

Het is niet duidelijk hoe het cadmiumgehalte van de grond het cadmiumgehalte van het gewas beinvloedt. Indien op grond van dit gegeven een stijging van het cadmiumgehalte van de grond voorlopig wordt geaccepteerd, zou het gebruik van zuiveringsslib kunnen worden overwogen. Het maximum toegelaten cadmiumgehalte

zou echter veel lager moeten zijn dan de thans toegestane 10 mg/kg d.s. Bovendien zou het weinig zinvol zijn aan kunstmeststoffen eisen te stellen.

Literatuur:

1. Anonymus — De gehalten van mengvoeders aan enkele bestanddelen met betrekking tot de behoefte van de dieren, de uitscheiding in de mest en urine, alsmede enkele gevolgen voor bodem, plant en dier II. *Werkgroep "Mineralen in krachtvoer in relatie tot bemesting en milieu" (Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek).*

2. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid: Voorlopige inventarisatie van cadmium, lood, kwik en arseen in gewassen en gronden in Nederland.
Nota 91: 1980 tarwepercelen
Nota 101: 1982 aardappelpercelen
Nota 104: 1982 spinazie.

3. Kloke, A. — Schwermetalle in Böden und Pflanzen ländlicher und stadtnaher Gebiete. *Der Stickstoff 13 (1981), 53-61.*

4. Maas, G. — Schatting van de hoeveelheid zware metalen, die door de toegediende scheikundige meststoffen op de Belgische landbouwgronden worden afgezet. *Landbouwtijdschrift 33 (1980), 326-332.*

5. Paul, P.G. e.a. — Belasting van de bodem in Nederland met zware metalen. *De Ingenieur 93 (1981), 15-19.*

6. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening: R.I.D. - regenwatermeetnet.
Verslag over de periode juli 1978 - januari 1980 - CBH-80-13
Verslag over 1e kwartaal 1980 - CBH-80-13/1
Verslag over 2e kwartaal 1980 - CBH-80-13/2
Verslag over 3e kwartaal 1980 - CBH-80-13/3

7. Smilde, K.W. en W. van Driel — Een onderzoek naar het cadmium-, zink-, koper- en loodgehalte van het gewas in afhankelijkheid van de gehalten in de grond. *Nota 67, 1979 Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.*

8. Stenström, T. and M. Vahter — Cadmium and lead in Swedish commercial fertilizers. *Ambio 3(2): 91-92, 1974.*

9. Williams, C.H. and D.J. David — The effect of superphosphate on the cadmium-content of soils and plant. *Austr.Journ.Soil Res. 1973, 11: 43-56.*

10. Wijnands, J. e.a. — Kunstmestgebruik in land- en tuinbouw in 1979/1980. *Rapport LEI, in druk.*

Bijlage I

De Heer Dr. F.J.J. Brinkman
Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
Nieuwe Havenstraat 6
2272 AD VOORBURG

81.524 6 juli 1981

Bij de bestudering van de verslagen inzake het "Meetnet regenwater" is het mij opgevallen dat de cadmiumconcentraties bij de meetpunten Bergen, Castricum, Heemskerk, Berenplaat, Dordrecht, Tull en 't Waal, Epe en Emmen zeer hoog zijn. De hoge gehalten vallen te meer op omdat zij alleen voorkomen in het 4e kwartaal 1978 en 1e kwartaal 1979.
Graag zou ik van u vernemen of u een verklaring hebt voor deze gedurende deze periode voorkomende hoge gehalten. Bovendien zou ik graag van u vernemen of het in het regenwater voorkomende stof is mee-geanalyseerd.

Met vriendelijke groeten,
De consulent,

Dr.Ir. Ch.H. Henkens