

23N 218790

CODEN: IBBRAH (13-85) 1-45 (1985)

ISSN 434-6793

I N S T I T U U T V O O R B O D E M V R U C H T B A A R H E I D

RAPPORT 13-85

HET BEPALEN VAN DE RELATIE TUSSEN HET Cd-GEHALTE IN GROND EN IN
CONSUMEERBARE PLANTEDELEN

**With a summary: Relation between the Cd content of soil and that of
edible parts of crops**

door

P. VAN LUNE

1985

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Oosterweg 92, Postbus 30003, 9750 RA
Haren (Gr.)

Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 13-85 (1985) 45 pp.

INHOUD

1. Inleiding	3
2. Methode van onderzoek	4
2.1. Potproeven	4
2.1.1. Bijzonderheden bij de teelt	8
2.1.2. Behandeling gewasmonsters bij de oogst	9
2.2. Vakproef	10
2.2.1. Bijzonderheden bij de teelt	11
2.2.2. Behandeling gewasmonsters bij de oogst	13
2.3. Analyse grond en gewas	13
3. Resultaten	15
3.1. Opbrengst	15
3.2. Cadmiumgehalte van eetbare plantedelen	15
3.3. Vergelijking resultaten potproeven - vakproef	19
3.4. Invloed van de toediening van huishoudelijk zuiveringsslib	20
3.5. Invloed van de toediening van industrieel zuiveringsslib	20
4. Discussie	32
5. Samenvatting	39
6. Summary	41
7. Literatuur	43

1. INLEIDING

Cadmium kan in zodanig hoge concentraties in voedingsmiddelen voorkomen dat het toxisch voor mens en dier is. De WHO (Wereld Gezondheidsorganisatie) heeft als maximaal aanvaardbare wekelijkse belasting per persoon 400-500 µg Cd gesteld (WHO, 1973). Om de consument te beschermen tegen een overmatige cadmiumbelasting werden in West-Duitsland in 1977 "Richtwerte" voor Cd in levensmiddelen vastgesteld. In Nederland gebeurde dat in 1983 (Klitsie, 1983). Deze ontwerpnormen hebben betrekking op plantaardige en dierlijke levensmiddelen.

De grond waarop gewassen geteeld worden, heeft van nature een bepaald Cd-gehalte. Een verhoging hiervan kan optreden bij het gebruik van bijvoorbeeld zuiveringsslib en meststoffen en ook door luchtverontreiniging (depositie).

De doelstelling van het onderzoek is een bijdrage te leveren aan de vaststelling van de maximale Cd-gehalten in grond, waarbij de grenswaarde voor Cd in het te consumeren plantedeel niet overschreden wordt. Hiertoe werd een aantal belangrijke voedingsgewassen op enige karakteristieke gronden, in potproeven en in een vakproef, geteeld. Aan de gronden werd $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, huishoudelijk zuiveringsslib en $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ of met Cd verontreinigd industrieel zuiveringsslib toegediend. De Cd-gehalten in grond en gewas werden bepaald.

2. METHODE VAN ONDERZOEK

2.1. Potproeven

De gewassen aardappel, zomertarwe, spinazie en waspeen werden in potten gekweekt op zes grondsoorten, nl. klei en zavel bij lage en hoge pH, en zandgrond met laag en hoog humusgehalte. Enkele gegevens (gehalten) van de gronden staan vermeld in tabel 1.

Aan de gronden werd toegediend:

- 0, 0,5, 1, 2, 5 en 10 mg Cd per kg grond als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$,
- twee doseringen huishoudelijk zuiveringsslib (weinig met zware metalen gecontamineerd) in combinatie met 0, 1 en 5 mg Cd per kg grond als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$,
- twee doseringen industrieel zuiveringsslib (sterk met Cd verontreinigd).

De doseringen zuiveringsslib (zowel huishoudelijk als industrieel) kwamen overeen met 4 en 12 ton drogestof per ha. Het drogestofgehalte van de toegediende luchtdroge zuiveringsslibsoorten varieerde van 52 tot 63%. De Cd-gehalten in de gebruikte zuiveringsslibsoorten, gronden en gronden + zuiveringsslibsoorten staan vermeld in tabel 2. Per object werden drie herhalingen aangelegd. De teeltgegevens en de bemestingen van de gewassen staan vermeld in de tabellen 3-6.

TABEL 1. Enkele karakteristieken van de gebruikte gronden. Gehalten zijn uitgedrukt op droge grond.
n.b. = niet bepaald.

TABLE 1. Some characteristics of the soils in the experiments. Contents on a dry matter basis
n.b. = not determined.

Grondsoort	Grond- no.	Afslib- baar, <16 µm (%)	pH-KCl	Humus (%)	CaCO ₃ (%)	K-ox (mg/100 g)	MgO-NaCl (mg/kg)	Pw-getal (mg/l)	N-min. (mg/kg)	Gloeis- rest (%)
Potproeven										
zand, laag humusgeh.	870	5,0	5,80	2,20	0,3	10	53	12	30	0,03
zand, hoog humusgeh.	894	5,5	5,42	5,11	n.b.	18	133	26	20	0,03
zavel, lage pH	893	16,4	5,76	1,72	n.b.	16	165	51	23	0,04
zavel, hoge pH	818	16,8	6,88	2,10	0,5	15	125	42	12	n.b.
zavel, hoge pH	842	12,8	7,25	2,00	0,9	34	103	73	29	0,06
klei, lage pH	904	30,0	5,80	2,98	n.b.	20	411	150	25	0,04
klei, hoge pH	874	27,0	7,20	2,80	7,4	37	108	32	40	0,03
Vakproef										
zand, laag humusgeh.	1014	5,3	4,82	2,36	n.b.	4	35	9	5	0,02
zavel, hoge pH	1019	12,4	7,37	1,85	1,1	23	88	69	7	0,05

TABEL 2. Het Cd-gehalte in de gebruikte zuiveringslibsoorten, gronden en gronden + zuiveringslib.
 TABLE 2. Cadmium content of the sewage sludges, soils and soils + sewage sludges.

Proef- no. IB	Gewas	Grond- soort	Grond- no.	Huish. zuiveringslib		Ind. zuiveringslib		Mg Cd/ kg droge grond	Mg Cd/ kg droge grond + 4 ton huish. slib/ha	Mg Cd/ kg droge grond + 12 ton huish. slib/ha	Mg Cd/ kg droge grond + 4 ton * ind. slib/ha	Mg Cd/ kg droge grond + 12 ton ** ind. slib ha
				no.	mg Cd/ kg d.s.	no.	mg Cd/ kg d.s.					
Potproeven												
6205	z.tarwe	zand	870	4564	9,2	4253	405	0,15	0,17	0,21	1,10	3,01
6240	z.tarwe	zand	894	4564	6,9	4253	475	0,39	0,41	0,44	1,51	3,77
6240	z.tarwe	zavel	893	4564	6,9	4253	475	0,40	0,41	0,44	1,44	3,55
1157	z.tarwe	zavel	818	4227	5,4	4221	388	0,36	0,37	0,39	1,19	2,87
6240	z.tarwe	klei	904	4564	6,9	4253	475	0,47	0,49	0,52	1,63	3,97
6205	z.tarwe	klei	874	4564	9,2	4253	405	0,41	0,43	0,47	1,34	3,21
6206	spinazie	zand	870	4564	9,2	4253	405	0,20	0,22	0,26	1,15	3,06
6239	spinazie	zand	894	4564	6,9	4253	475	0,30	0,32	0,35	1,42	3,68
6239	spinazie	zavel	893	4564	6,9	4253	475	0,29	0,30	0,33	1,33	3,44
6175	spinazie	zavel	842	4564	6,0	4253	344	0,35	0,36	0,39	1,10	2,61
6239	spinazie	klei	904	4564	6,9	4253	475	0,38	0,40	0,43	1,54	3,88
6206	spinazie	klei	874	4564	9,2	4253	405	0,41	0,43	0,47	1,34	3,21
6207	aardappel	zand	870	4564	9,2	4253	405	0,15	0,17	0,21	1,10	3,01
6238	aardappel	zand	894	4564	6,9	4253	475	0,23	0,25	0,28	1,34	3,58
6238	aardappel	zavel	893	4564	6,9	4253	475	0,18	0,19	0,22	1,22	3,31
6174	aardappel	zavel	842	4564	6,0	4253	344	0,41	0,42	0,44	1,07	2,40
6238	aardappel	klei	904	4564	6,9	4253	475	0,30	0,32	0,35	1,46	3,79
6207	aardappel	klei	874	4564	9,2	4253	405	0,44	0,46	0,50	1,39	3,31
6284	waspeen	zand	870	4564	4,6	4253	359	0,17	0,18	0,20	0,92	2,45
6284	waspeen	zand	894	4564	4,6	4253	359	0,40	0,41	0,43	1,20	2,81
6284	waspeen	zavel	893	4564	4,6	4253	359	0,27	0,28	0,30	1,09	2,75
6284	waspeen	zavel	842	4564	4,6	4253	359	0,46	0,47	0,49	1,26	2,87
6284	waspeen	klei	904	4564	4,6	4253	359	0,59	0,60	0,62	1,41	3,07
6284	waspeen	klei	874	4564	4,6	4253	359	0,53	0,54	0,56	1,38	3,11
Vakproef												
6305	(1980)	zand	1014	5736	7,3	5745	108	0,13	0,13	0,16	0,30	0,58
6305	(1981)	zand	1014					0,14	0,16	0,26	0,36	0,74
6305	(1982)	zand	1014					0,22	0,20	0,31	0,54	0,96
6305	(1983)	zand	1014					0,24	0,19	0,27	0,47	1,04
6305	(1980)	zavel	1019	5736	7,3	5745	108	0,45	0,43	0,44	0,73	0,88
6305	(1981)	zavel	1019					0,40	0,38	0,45	0,84	1,24
6305	(1982)	zavel	1019					0,53	0,45	0,49	0,73	1,28
6305	(1983)	zavel	1019					0,50	0,39	0,42	0,63	1,21

* Bij vakproef 12 ton industrieel slib per ha

** Bij vakproef 36 ton industrieel slib per ha

TABEL 3. Gegevens over de teelt van aardappels. Ras: Irene. Teeltplaats: rolkas. Potten: 25-1 plastic potten; op de bodem van de potten een drain + grindlaag, afgedekt met een nylondoekje.

TABLE 3. Data on greenhouse experiment with potatoes. Cultivar: Irene. Pots: 25-1 plastic pots, at the bottom a drain + a layer of gravel. Experiment carried out in a mobile greenhouse.

Proef- no. IB	Grond- soort	Grond- no.	Grond- per pot (g droog gewicht)	Vuldatum potten	Pootdatum	Oogstdatum	Basisbesteding per pot					
							g N als NH_4NO_3	g K_2O als K_2HPO_4	g P_2O_5 als K_2HPO_4	g MgO als $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		
6207	zand	870	23423	26-3-'76	14-4-'76	31-8-'76	4,5	6,5	4,9	0,4		
6238	zand	894	24228	5-7/4-'77	13-4-'77	23-8-'77	4,5	6,5	4,9	0,4		
6238	zavel	893	25998	5-7/4-'77	13-4-'77	23-8-'77	4,5	6,5	4,9	0,4		
6174	zavel	842	26376	13-5-'75	20-5-'75	17-9-'75	4,5	6,5	4,9	2,5		
6238	klei	904	23320	5-7/4-'77	13-4-'77	23-8-'77	4,5	6,5	4,9	0,4		
6207	klei	874	23288	26-3-'76	14-4-'76	3-9-'76	4,5	6,5	4,9	0,4		

TABEL 4. Gegevens over de teelt van spinazie. Ras: Subito. Potten: Mitscherlich potten, inhoud 5,2 l binnenkant met plastic bekleed. Teeltplaats: landbouwkas, IB 6175 rolkas.

TABLE 4. Data on greenhouse experiment with spinach. Cultivar: Subito. Pots: 5.2-1 Mitscherlich pots, inside lined with plastic. Experiment carried out in a mobile greenhouse.

Proef- no. IB	Grond- soort	Grond- no	Grond per pot (g droog- gewicht)	Vuldatum potten	Zaai- datum	Oogst- datum	Datum dun- ning	Aantal planten	Basisbesteding per pot					
									per pot na dun- ning	g N	g K ₂ O	g P ₂ O ₅	g MgO	
										NH ₄ NO ₃	K ₂ HPO ₄	K ₂ HPO ₄	als	MgSO ₄ ·7H ₂ O
6206	zand	870	5169	23-3-'76	23-3-'76	21-4-'76	5-4-'76	25	1,2	1,2	0,9	0,25		
6239	zand	894	5365	12-13/4-'77	14-4-'77	16-5-'77	26-4-'77	25	1,2	1,2	0,9	0,25		
6239	zavel	893	5757	12-13/4-'77	14-4-'77	12-5-'77	26-4-'77	25	1,2	1,2	0,9	0,25		
6175	zavel	842	5821	22-5-'75	23-5-'75	23-6-'75	9-6-'75	20	1,2	1,2	0,9	0,25		
6239	klei	904	5182	12-13/4-'77	14-4-'77	12-5-'77	26-4-'77	25	1,2	1,2	0,9	0,25		
6206	klei	874	5520	20-5-'76	21-5-'76	15-6-'76	9-6-'76	25	1,0					

TABEL 5. Gegevens over de teelt van zomertarwe. Potten: Mitscherlich potten, inhoud 5,2 l, binnenkant met plastic bekleed.

TABLE 5. Data on experiment with spring wheat. Pots: 5.2-l Mitscherlich pots, inside lined with plastic.

Proef- no. IB	Grond- soort	Grond- no.	Grond per pot (g drooggew.)	Vuldatum potten	Zaai- datum	Oogst- datum	Datum dun- ning	Aantal pl. per pot na duuning	Ras	Teelt- plaats
6205	zand	870	5412	24-3-'76	20-4-'76	17-8-'76	25-5-'76	26	Melchior	kooi
6240	zand	894	5365	13-4-'77	14-4-'77	30-8-'77	4-5-'77	25	Melchior	kooi
6240	zavel	893	5757	13-4-'77	14-4-'77	30-8-'77	4-5-'77	25	Melchior	kooi
1157	zavel	818	5918	9-4-'74	10-4-'74	29-8-'74	24-5-'74	30	Selpek	kooi
6240	klei	904	5182	13-4-'77	14-4-'77	30-8-'77	4-5-'77	25	Melchior	kooi
6205	klei	874	5520	20-5-'76	21-5-'76	24-9-'76	15-6-'76	26	Melchior	rolkas

Grond- no.	Basisbemesting per pot				Bijbemesting per pot	
	g N als NH_4NO_3	g K_2O als K_2HPO_4	g P_2O_5 als K_2HPO_4	g MgO als $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	g N als NH_4NO_3	Datum
870	1	1,2	0,9	0,49	0,5	29-6-'76
894	1	1,2	0,9	0,49	0,5	16-6-'77
893	1	1,2	0,9	0,49	0,5	16-6-'77
818	1	1,2	0,9	0,49	0,5	10-6-'74
					0,5	4-7-'74
904	1	1,2	0,9	0,49	0,5	16-6-'77
874	1				0,5	15-7-'76

TABEL 6. Gegevens over de teelt van waspeen. Ras: Amrola. Teeltplaats: rolkas. Potten: 10-l plastic potten.

TABLE 6. Data on greenhouse experiment with carrots. Cultivar: Amrola. Experiment carried out in a mobile greenhouse. Pots: 10-l plastic pots.

Proef- no. IB	Grond- soort	Grond- no.	Grond per pot (g droog- gew.)	Vuldatum potten	Zaaidatum	Oogstdatum	Basisbemesting per pot			
							g N als NH_4NO_3	g K_2O als K_2HPO_4	g P_2O_5 als K_2HPO_4	g MgO als $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
6284	zand	870	12032	3-11/4-'78	25-26/4-'78	2-8-'78	0,5	2,0	1,5	1,6
6284	zand	894	11371	3-11/4-'78	25-26/4-'78	2-8-'78	0,5	2,0	1,5	0,4
6284	zavel	893	11041	3-11/4-'78	25-26/4-'78	1-8-'78	0,5	2,0	1,5	0,4
6284	zavel	842	11367	3-11/4-'78	25-26/4-'78	9-8-'78	0,5	1,0	0,8	0,8
6284	klei	904	11045	3-11/4-'78	25-26/4-'78	7-8-'78	0,5	2,0	1,5	0,4
6284	klei	874	10621	3-11/4-'78	25-26/4-'78	3-8-'78	0,5	1,0	0,8	0,8

Grond- no.	Bijbemesting per pot				
	g N als NH_4NO_3	g K_2O als K_2HPO_4	g P_2O_5 als K_2HPO_4	g MgO als $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Datum
870	1,5	2,0	1,5	1,6	20-6-'78
894	1,5	2,0	1,5	0,4	20-6-'78
893	1,5	2,0	1,5	0,4	20-6-'78
842	1,5	1,0	0,8	0,8	20-6-'78
904	1,5	2,0	1,5	0,4	20-6-'78
874	1,5	1,0	0,8	0,8	20-6-'78

2.1.1. Bijzonderheden bij de teelt

Aardappel

IB 6174. Tijdens de groei traden in het object met grond + 10 mg Cd per kg de volgende symptomen op: de bladeren boven en midden in de planten vertoonden een geel-bruine rand, soms met bruine stippen. Vooral midden in de planten kwamen bladeren met necrose tussen de nerven aan de rand voor. Deze symptomen kwamen in mindere mate voor bij de objecten met grond + 5 mg Cd per kg grond en grond + beide doseringen huishoudelijk zuiveringsslib + 5 mg Cd per kg grond. Aan het eind van de groeiperiode kwamen de symptomen in mindere mate voor.

IB 6207. De planten groeiden goed op zandgrond. De groei van de planten op kleigrond (grondno. 874) was in het begin wat onregelmatig en tevens kwamen iets lichtgekleurde planten voor. Vanaf begin juli was de stand echter egaal en de groei goed.

IB 6238. De planten groeiden goed. Tijdens de groeiperiode vertoonden enige planten (niet objectgebonden) wat lichtgekleurde bladeren in vooral het bovenste gedeelte van het bovengrondse gewas.

Zomertarwe

In alle proeven was de groei van de planten redelijk tot goed. Bij toediening van een normale basisbemesting aan kleigrond, grondno. 874 in IB 6205, trad een slechte groei van de tarweplanten op. Daarom werd met goed gevolg de proef met deze kleigrond op 21-5-1976 opnieuw gestart met alleen N als basisbemesting omdat P, K en Mg reeds in voldoende mate voor een goede groei van zomertarwe in de grond aanwezig waren.

Spinazie

De groei van de planten was goed. Bij het object met grond + 10 mg Cd per kg was de groei van de planten slechter dan bij de andere objecten. Dit trad op bij alle grondsoorten. De slechtere groei ging vaak samen met een kleurafwijking van de planten, nl. iets lichtgekleurde bladeren (op grondno. 870 en 874), bruine bladpunten (op grondno. 893 en 894), iets lichtgekleurde bladeren + bruine bladpunten (op grondno. 842).

Waspeen

De groei van de planten was goed. Op grondno. 874 en 894 was de groei van de planten iets minder sterk dan op de andere gronden.

2.1.2. Behandeling gewasmonsters bij de oogst

Aardappel

Het gewicht van de knollen met een diameter >25 mm werd bepaald na spoelen met gedeïoniseerd water en drogen aan de lucht. De knollen met een diameter van 25-35 mm werden daarna verwijderd. In een knol van gemiddelde grootte (ongeveer 40 à 50 g) werd het gehalte aan drogestof bepaald door drogen bij 105°C . De resterende aardappels werden geschild, twee keer ondergedompeld in een emmer met gedeïoniseerd water, gedroogd met een handdoek, in stukjes gesneden, gedroogd bij 70°C in een stoof en vervolgens gemalen in een mixer. In deze monsters werd het gehalte aan Cd bepaald. Bij IB 6238 werden de knollen niet geschild, maar machinaal geschraapt.

Zomertarwe

De korrels werden uit de aren gewreven met een rubberborstel op een houten plank. Na drogen bij 105°C en malen werd het gehalte aan Cd in de monsters bepaald.

Spinazie

De bladeren + stelen werden zo dicht mogelijk bij de grond afgesneden. Per pot werd het gehalte aan drogestof bepaald bij 105°C in een submonster. De rest van het monster werd gewassen met gedeïoniseerd water (spinazie van IB 6175 werd abusievelijk niet gewassen), gedroogd bij 105°C en gemalen. In de gemalen monsters werd het gehalte aan Cd bepaald.

Waspeen

De wortels werden ontdaan van gronddeeltjes door wassen met water, gecentrifugeerd en daarna gewogen. Vervolgens werd het gehalte aan drogestof bepaald bij 105°C in monsters van 4 à 6 wortels. Daarna werden monsters van ongeveer 600 g machinaal geschraapt gedurende ongeveer 30 seconden, nagewassen met gedeïoniseerd water, gepunt, gesneden, gedroogd bij 105°C en gemalen. In deze monsters werd het gehalte aan Cd bepaald.

2.2. Vakproef

In 1980 werd een vakproef aangelegd om na te gaan wat het effect is van toediening van cadmium en zuiveringsslib (twee overeenkomstige grondsoorten en overeenkomstige toedieningen als in de potproeven) aan de grond onder semi-praktijkomstandigheden op het Cd-gehalte in de consumeerbare delen van aardappel, zomertarwe, spinazie en waspeen en om na te gaan of de resultaten vergelijkbaar zijn met die verkregen in de potproeven. De gewassen worden in meerdere proefjaren geteeld, zodat ook nagegaan kan worden of de beschikbaarheid van Cd in de grond in de loop van de tijd eventueel verandert. Het is de bedoeling de proef tot 1991 voort te zetten.

Bij de aanleg van de proef werden de vakken van 1x1x1 m, gemaakt van betonnen platen (wanden), tot 88 cm onder de rand opgevuld met geel zand. De vakken werden tot 3 cm onder de rand gevuld met een zandgrond van de IB-boerderij of een zavelgrond van Kloosterburen.

De aanwezige profielen werden in drie lagen (0-25 cm, 25-55 cm en 55-85 cm) overgebracht naar de vakken. Als bouwvoorlaag bij de zandgrond werd echter een mengsel van de laag van 0-25 cm en 25-60 cm (gewichtsverhouding 2:1) genomen om een gewenst laag humusgehalte hierin te verkrijgen.

Door de bouwvoorlaag werd gemengd:

- a) 0, 0,5, 1 en 5 mg Cd per kg grond als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$
- b) 0, 400 en 1200 g droog huishoudelijk zuiveringsslib per vak (toediening in luchtdroge toestand met een drogestofgehalte van 47%) in combinatie met 0, 1 en 5 mg Cd per kg grond als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$
- c) 0, 1200 en 3600 g droog industrieel zuiveringsslib per vak (toediening in luchtdroge toestand met een drogestofgehalte van 51%).

Deze giften waren drie keer zo hoog als in de potproeven, omdat het Cd-gehalte van het industrieel zuiveringsslib drie keer zo laag was als het Cd-gehalte van het in de potproeven gebruikte industrieel zuiveringsslib.

Bij de vakproef werd zowel huishoudelijk als industrieel zuiveringsslib door de bouwvoorlaag van 0-25 cm gemengd. Bij de potproeven werd het zuiveringsslib door de gehele pot gemengd. De toe te dienen gift per ha werd voor de potten omgerekend aan de hand van de oppervlakte (Mitscherlich-potten). Bij toediening van zuiveringsslib aan de grond in de potten was het gewichtsperscentage zuiveringsslib in alle soorten potten per object gelijk voor de verschillende gewassen. Omdat de grondkolom in de Mitscherlich-potten ongeveer 17 cm hoog was, werd in de potten per kg

grond meer zuiveringsslib toegediend dan in de bouwvoor van de vakproef bij de overeenkomstige objecten.

In de vakproef werden per object drie herhalingen aangelegd. Enkele analysegegevens van de twee gebruikte partijen grond en zuiveringsslib staan vermeld in tabel 1 en 2. Elk jaar wordt de grond (laag 0-20 cm) van de Cd-0 objecten onderzocht op pH-KCl, N-mineraal, K-ox, MgO-NaCl en P-water. De optimale bemesting van de gewassen wordt vastgesteld met behulp van de Adviesbasis voor bemesting van landbouwgronden. In tabel 7 zijn de gegevens over de bemesting en de teelt van de gewassen gegeven. Iedere drie jaar worden achtereenvolgens zomertarwe, spinazie + waspeen en aardappel geteeld.

2.2.1. Bijzonderheden bij de teelt

Zomertarwe, teeltjaar 1980

Tot begin juni was de groei van de planten op zavelgrond beter dan op zandgrond. Na regenval in begin juni verdween het verschil. Tussen de objecten per grondsoort traden geen verschillen op. De groei van de planten op beide grondsoorten was goed.

Spinazie, teeltjaar 1981

De planten groeiden beter op de zavelgrond dan op de zandgrond. In de objecten waarbij 5 mg Cd per kg zandgrond werd toegediend (zowel met als zonder zuiveringsslib) traden lichtgele bladpunten op. Deze symptomen verdwenen aan het eind van de groeiperiode. De planten van het object zandgrond + 5 mg Cd per kg en het object zandgrond + 400 g huishoudelijk zuiveringsslib per vak + 5 mg Cd per kg grond groeiden minder sterk dan de planten van de andere objecten.

Waspeen, teeltjaar 1981

De groei van de planten op zandgrond was in het begin geringer dan op zavelgrond, maar aan het eind van de groeiperiode was geen verschil meer in grootte van de planten tussen de twee grondsoorten te zien.

TABEL 7. Gegevens over de teelt van zomertarwe (ras: Melchior), spinazie (ras: Dynamo), waspeen (ras: Amrola) en aardappel (ras: Irene) in de vakproef. Gewicht bouwvoorlaag, 0-25 cm, in kg droge grond: zandgrond 373, zavelgrond 366.

TABLE 7. Data on box-plot trial with spring wheat (cultivar: Melchior), spinach (cultivar: Dynamo), carrots (cultivar: Amrola) and potatoes (cultivar: Irene). Weight (in kg d.m.) of the top layer of 0-25 cm: sandy soil 373, sandy clay soil 366.

Proef- jaar	Gewas	Grond- soort	Zaai- of pootdatum	Wijze van zaaien of poten + af- stand rijen in cm	Hoeveelheid zaad of knollen/ vak	Oogstdatum	Basisbesteding per vak in g				
							zuurbindende waarde als CaCO ₃	N als kalkam- monsal- peter	K ₂ O als patent- kali	MgO als kiese- riet	patent kali
1980	zomertarwe	zand	10-4-'80	rijen, 20 cm	16 g	8-9-'80	186,5	7	20	4,1	5,9
1980	zomertarwe	zavel	10-4-'80	rijen, 20 cm	16 g	11-9-'80		7	3	9,1	0,9
1981	spinazie	zand	1-4-'81	rijen, 10 cm	30 g	20-5-'81	55,5	10	20	8,4	5,9
1981	spinazie	zavel	1-4-'81	rijen, 10 cm	30 g	18-5-'81		10	12,5	3,4	3,7
1981	waspeen	zand	25-6-'81	breedwerpig	1,4 g	14-10-'81		5	10	3,0	3,0
1981	waspeen	zavel	25-6-'81	breedwerpig	1,4 g	30-9-'81		5	10	3,0	3,0
1982	aardappel	zand	15-4-'82	rijen	6	13-9-'82		12,5	20		5,9
1982	aardappel	zavel	15-4-'82	rijen	6	13-9-'82		12,5	23		6,8
1983	zomertarwe	zand	5-4-'83	rijen, 20 cm	16	23-8-'83		7	12 (0-15-30)		
1983	zomertarwe	zavel	5-4-'83	rijen, 20 cm	16	23-8-'83		7			

Proef- jaar	Gewas	Grond- soort	Basisbesteding per vak in g			Bijbesteding per vak in g	
			P ₂ O ₅ als super- fosfaat	Cu als koper- sulfaat	B als borax	N als kalk- salpeter	Datum
1980	zomertarwe	zand	18	0,4		3	27-5-'80
1980	zomertarwe	zavel	3	0,2		3	27-5-'80
1981	spinazie	zand	18			10	29-4-'81
1981	spinazie	zavel	5			10	29-4-'81
1981	waspeen	zand	5		0,05		
1981	waspeen	zavel	5				
1982	aardappel	zand	14			6,5	17-6-'82
1982	aardappel	zavel	3			6,5	17-6-'82
1983	zomertarwe	zand	6(0-15-30)			5	7-6-'83
1983	zomertarwe	zavel				5	7-6-'83

Aardappel, teeltjaar 1982

De aardappels groeiden goed op beide grondsoorten. Omstreeks half juni waren de planten van de objecten waarbij 5 mg Cd per kg zandgrond werd toegediend (zowel met als zonder zuiveringsslib) in de top (bovenste helft) geel tussen de nerven. Na ongeveer drie weken waren de symptomen verdwenen.

Zomertarwe, teeltjaar 1983

Door slechte weersomstandigheden groeiden de planten in het begin niet optimaal. Vanaf begin juni werd het weer beter en de plantengroei ook. De halmen waren op zavelgrond dikker dan op zandgrond.

2.2.2. Behandeling gewasmonsters bij de oogst

De verwerking van de gewasmonsters is reeds beschreven bij de potproeven. Afwijkend hiervan was:

Aardappel. Er werden monsters genomen van 1 kg bij een knolgewicht van 90-120 g. Deze monsters werden geschrapt in de Hobartschrapmachine, nagespoeld met leidingwater (uit plastic leidingenstelsel, contaminatievrij), gepit en gemalen in de Blase-hamermolen. Uit het gemalen materiaal werd een monster genomen voor de drogestofbepaling bij 105 °C en een monster voor de analyse op Cd. Dit monster werd gedroogd bij 105 °C en gemalen.

Zomertarwe. De aren werden gedorst met een vlegel.

Spinazie. De monsters werden gespoeld met leidingwater (uit plastic leidingenstelsel, contaminatievrij).

Waspeen. Er werden monsters genomen met een gewicht van ongeveer 1500 g. Een vierde gedeelte hiervan werd gebruikt voor de bepaling van het drogestofgehalte bij 105 °C en de rest voor de bepaling van het Cd-gehalte.

2.3. Analyse grond en gewas

Het gehalte aan Cd in grond werd bepaald na afroken in glazen schalen met geconcentreerd salpeterzuur, extractie met verdund zoutzuur, zuivering met pentaandion en chloroform, complexering met natriumdiethyldithiocarbamaat, uitschudden met methyylisobutylketon en meting met een atoomabsorptiespectrometer. Het Cd-gehalte in gewas werd op dezelfde manier bepaald als in grond; de ontsluiting werd echter uitgevoerd in lange glazen

buizen met geconcentreerd salpeterzuur. De verdere analysis in grond werden uitgevoerd zoals beschreven in het rapport van Vierveyzer **et al.** (1979).

3. RESULTATEN

De invloed van de toediening van Cd (als zout en/of zuiveringsslib) aan de gronden op de opbrengst en het Cd-gehalte van hierop geteelde planten werd onderzocht d.m.v. een regressie-analyse (lineair en kwadratisch). Via een variantie-analyse werd de invloed van de toediening van huishoudelijk zuiveringsslib aan de gronden op de opbrengst en het Cd-gehalte van hierop geteelde planten onderzocht. Bij $P < 0,05$ werden de verschillen tussen deze behandelingen op hun significantie getoetst via een multiple range toets (Duncan-toets). Het effect van het organische-stofgehalte bij de 2 zandgronden en de pH bij de 2 zavel- en 2 kleigronden, bij toediening van $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ aan deze gronden, werd statistisch getoetst door de rangtekentoets van Wilcoxon (onderzoek naar significante verschillen tussen 2 gelijkvormige verdelingen bij $P < 0,05$).

3.1. Opbrengst

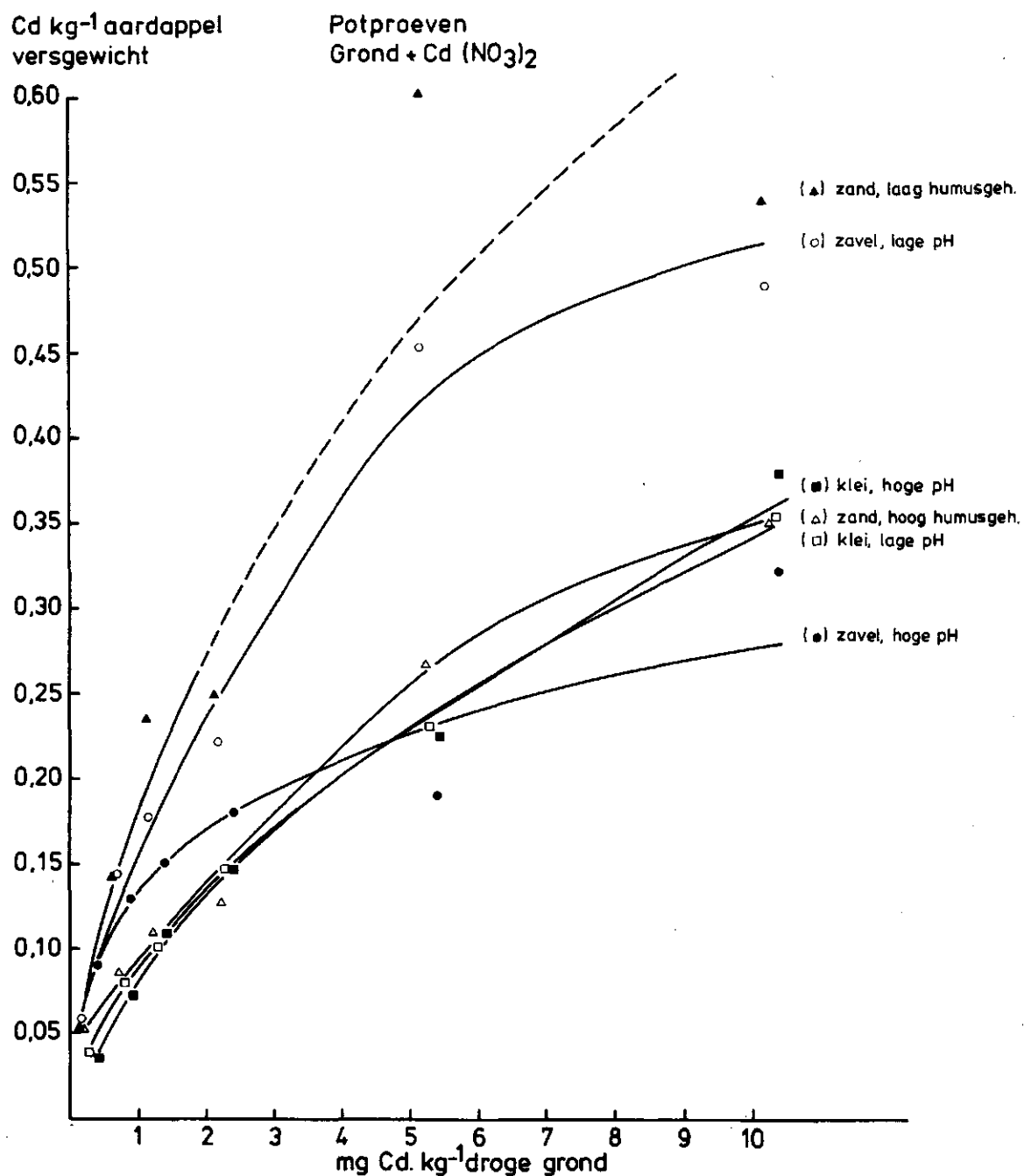
Potproef. Toediening van 0,5, 1, 2, 5 en 10 mg Cd per kg als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ aan de grond ging bij alle grondsoorten samen met een verlaging van de spinazieopbrengst. Bij de andere onderzochte gewassen werd maar in enkele gevallen een effect op de opbrengst gevonden (aardappel op zavel bij lage pH een verlaging; zomertarwe op zand bij laag humusgehalte eerst een stijging, bij hogere giften $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ gevolgd door daling). De gevonden regressievergelijkingen tussen de opbrengst en het Cd-gehalte in de grond staan in tabel 8.

Vakproef. Toediening van 0,5, 1 en 5 mg Cd per kg als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ aan de grond gaf alleen bij spinazie op zandgrond een verlaging van de opbrengst (tabel 8).

3.2. Cadmiumgehalte van eetbare plantedelen

Potproeven. Door toediening van $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ aan de grond trad in alle onderzochte gewassen een verhoging van het Cd-gehalte in de eetbare plantedelen op (tabel 8, figuur 1-4). De gewassen verschilden in accumulatie van Cd (spinazie >> zomertarwe > waspeen > aardappel). De relatief sterke Cd-accumulatie in zomertarwe is vooral te wijten aan het veel hogere

drogestofgehalte hierin dan in de andere gewassen.



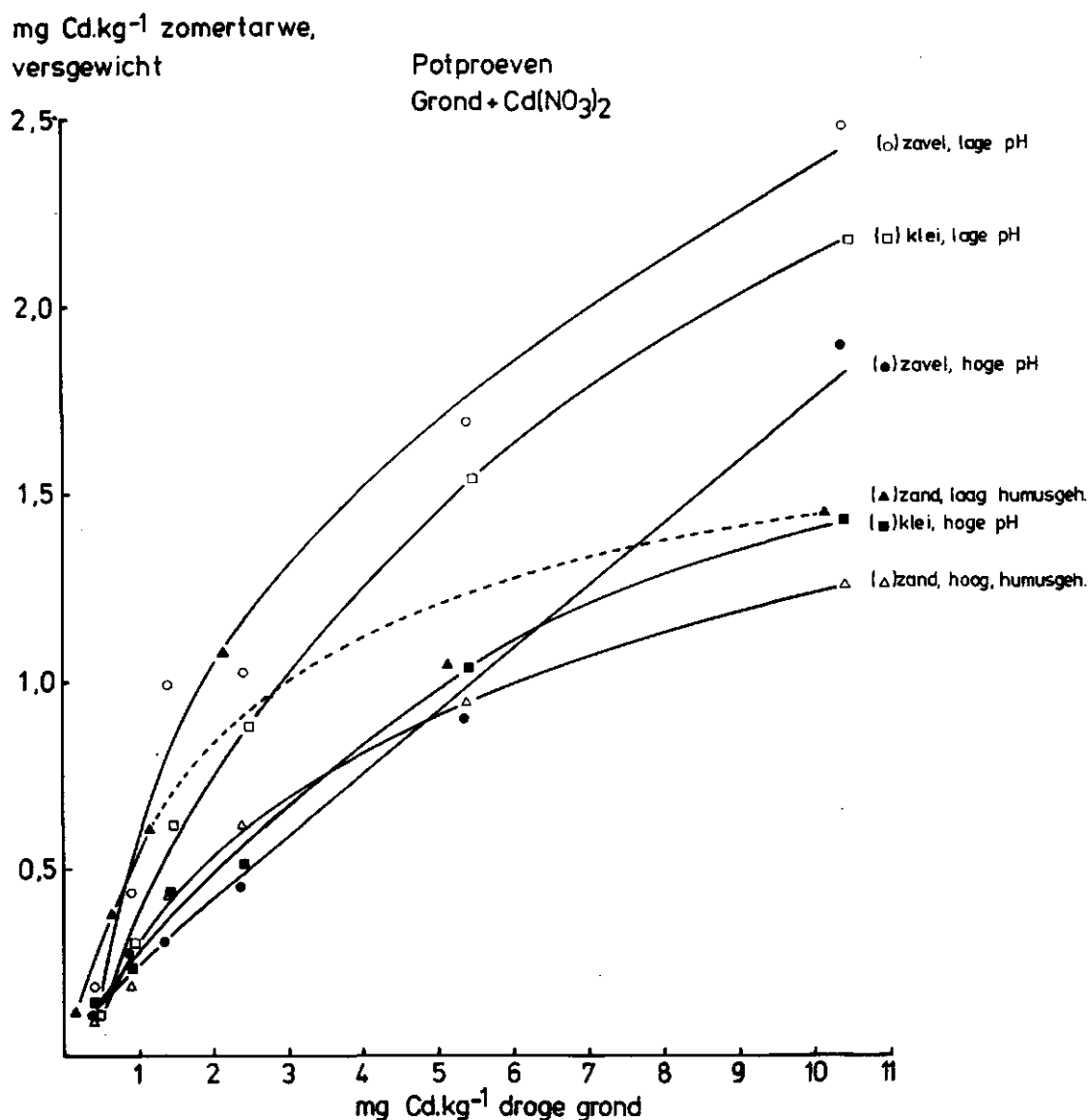
Figuur 1. De relatie tussen het Cd-gehalte in grond en in aardappelknol.
Figure 1. Relation between Cd contents of soil and of potato tubers.

TABEL 8. Regressievergelijkingen tussen het Cd-gehalte in de grond ($x = \text{mg Cd/kg in grond} + \text{Cd als Cd(NO}_3)_2$) en de opbrengst in g per pot of vak en mg Cd/kg versgewicht plant. Er werd alleen een regressievergelijking gegeven indien x of x^2 een significante bijdrage tot de voorspelling van y leveren ($P < 0,05$).

TABLE 8. Regression equations between content of Cd in the soil ($x = \text{mg Cd/kg in soil} + \text{Cd as Cd(NO}_3)_2$) and yield in g per pot or box-plot and mg Cd/kg fresh weight of the crops. A regression equation was given only when x or x^2 contributed significantly ($P < 0.05$) to the prediction of y .

	Zandgrond, laag humusge- halte	Zandgrond, hoog humusge- halte	Zavelgrond, lage pH	Zavelgrond, hoge pH
Potproeven				
Opbrengst:				
spinazie, drooggew.	$y=6,638-0,766x+0,042x^2$	$y=8,250-0,543x$	$y=7,705-0,972x+0,043x^2$	$y=8,821-0,507x$
zomertarwe, korrel dr.gew.	$y=34,495+0,753x-0,139x^2$			
aardappelknol, versgew.			$y=996,7-43,1x$	
Mg Cd/kg versgew.:				
spinazie	$y=0,316+1,229x-0,031x^2$	$y=0,422+0,970x$	$y=1,001+0,816x$	$y=0,011+0,404x$
zomertarwe, korrel	$y=0,230+0,266x-0,015x^2$	$y=0,071+0,230x-0,011x^2$	$y=0,116+0,392x-0,016x^2$	$y=0,072+0,203x$
aardappelknol	$y=0,030+0,160x-0,011x^2$	$y=0,067+0,030x$	$y=0,043+0,112x-0,007x^2$	$y=0,109+0,020x$
waspeen, peen	$y=0,241+0,148x$	$y=0,139+0,105x$	$y=0,123+0,111x$	$y=0,012+0,064x$
Vakproef				
Opbrengst:				
Spinazie, drooggew.	$y=226,76-15,642x$			
Mg Cd/kg. versgew.:				
spinazie	$y=0,240+1,034x$			$y=-0,004+0,204x$
zomertarwe, korrel(1980)	$y=0,024+0,624x-0,045x^2$			$y=-0,070+0,410x-0,040x^2$
aardappelknol	$y=0,084+0,061x$			$y=0,023+0,024x$
waspeen, peen	$y=0,031+0,196x-0,023x^2$			$y=0,012+0,026x$
zomertarwe, korrel(1983)	$y=0,116+0,185x$			$y=0,033+0,133x$
	Kleigrond, lage pH	Kleigrond, hoge pH		
Potproeven				
Opbrengst:				
spinazie, drooggew.	$y=7,663-0,321x$	$y=5,871-0,167x$		
Mg Cd/kg versgew.:				
spinazie	$y=0,082+0,557x-0,014x^2$	$y=0,104+0,489x$		
zomertarwe, korrel	$y=-0,018+0,390x-0,017x^2$	$y=0,224+0,148x$		
aardappelknol	$y=0,058+0,030x$	$y=0,048+0,032x$		
waspeen, peen	$y=0,053+0,054x$	$y=-0,012+0,066x-0,002x^2$		

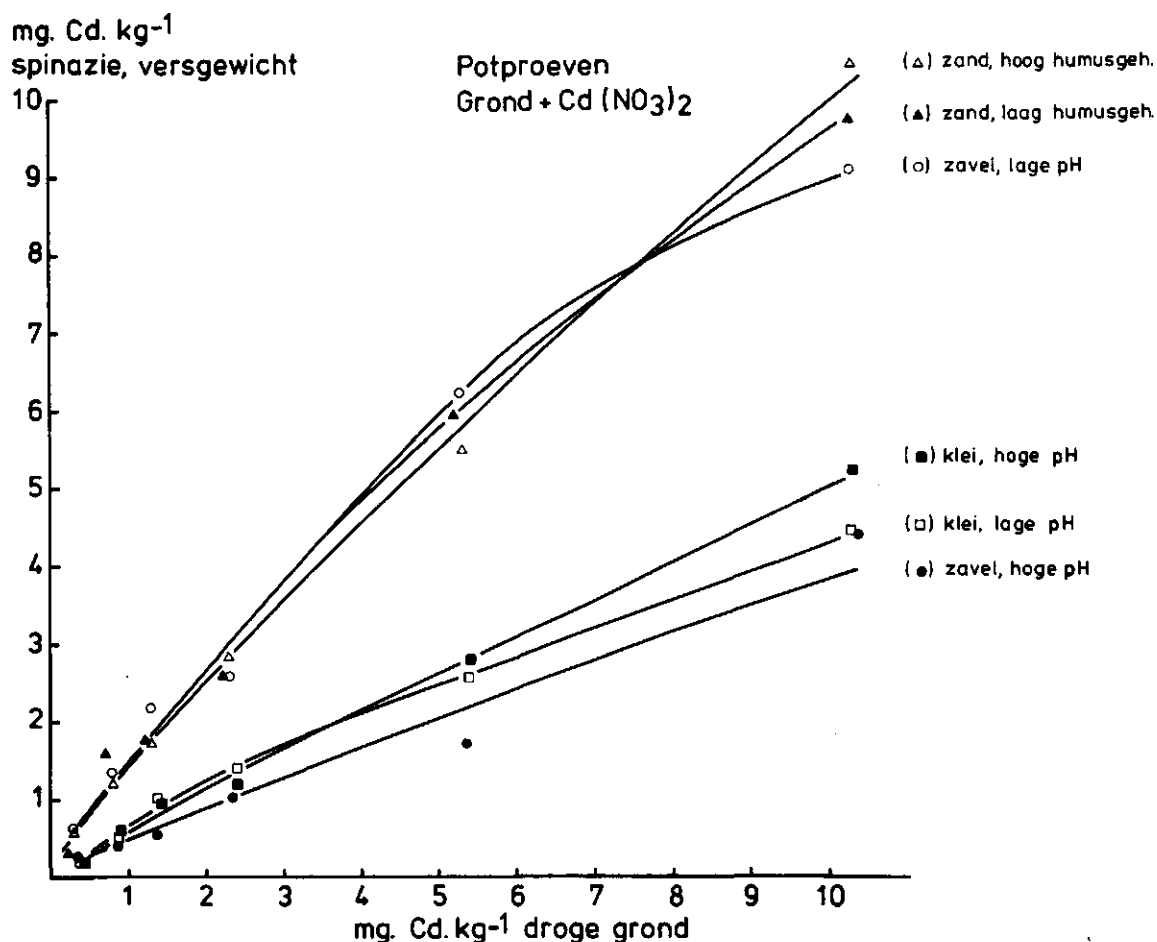
Het Cd-gehalte in de gewassen geteeld op zandgrond met een hoog humusgehalte was lager dan in die op zandgrond met een laag humusgehalte. Op deze twee gronden geteelde spinazie vertoonde echter geen significant verschil in Cd-gehalte. Een hoge pH in zavelgrond gaf een significant lagere Cd-opname dan een lage pH. Een hoge pH in kleigrond gaf een lagere Cd-opname door zomertarwe en waspeen dan een lage pH, terwijl bij spinazie en aardappel geen significant verschil optrad.



Figuur 2. De relatie tussen het Cd-gehalte in grond en in zomertarwe-korrel.

Figure 2. Relation between Cd contents of soil and of spring wheat.

Vakproef. Door toediening van $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ aan de grond trad in alle onderzochte gewassen een verhoging van het Cd-gehalte in de eetbare plantedelen op (tabel 8, figuur 5-8). De Cd-gehalten in de gewassen op zandgrond waren hoger dan in die op zavelgrond.



Figuur 3. De relatie tussen het Cd-gehalte in grond en in spinazie.
Figure 3. Relation between Cd contents of soil and of spinach.

3.3. Vergelijking resultaten potproeven - vakproef

De gewassen in de vakproef namen bij overeenkomstige Cd-gehalten in de grond minder Cd in de eetbare delen op dan de gewassen in de overeenkomstige potproeven (figuur 5 - 8). Alleen in het eerste jaar van de vakproef, waarin zomertarwe werd geteeld, trad het tegenovergestelde effect op bij de beide grondsoorten. Het komt echter vaak voor dat de resultaten

in een vakproef in het eerste proefjaar afwijken van die in de daarop volgende jaren.

3.4. Invloed van de toediening van huishoudelijk zuiveringsslib

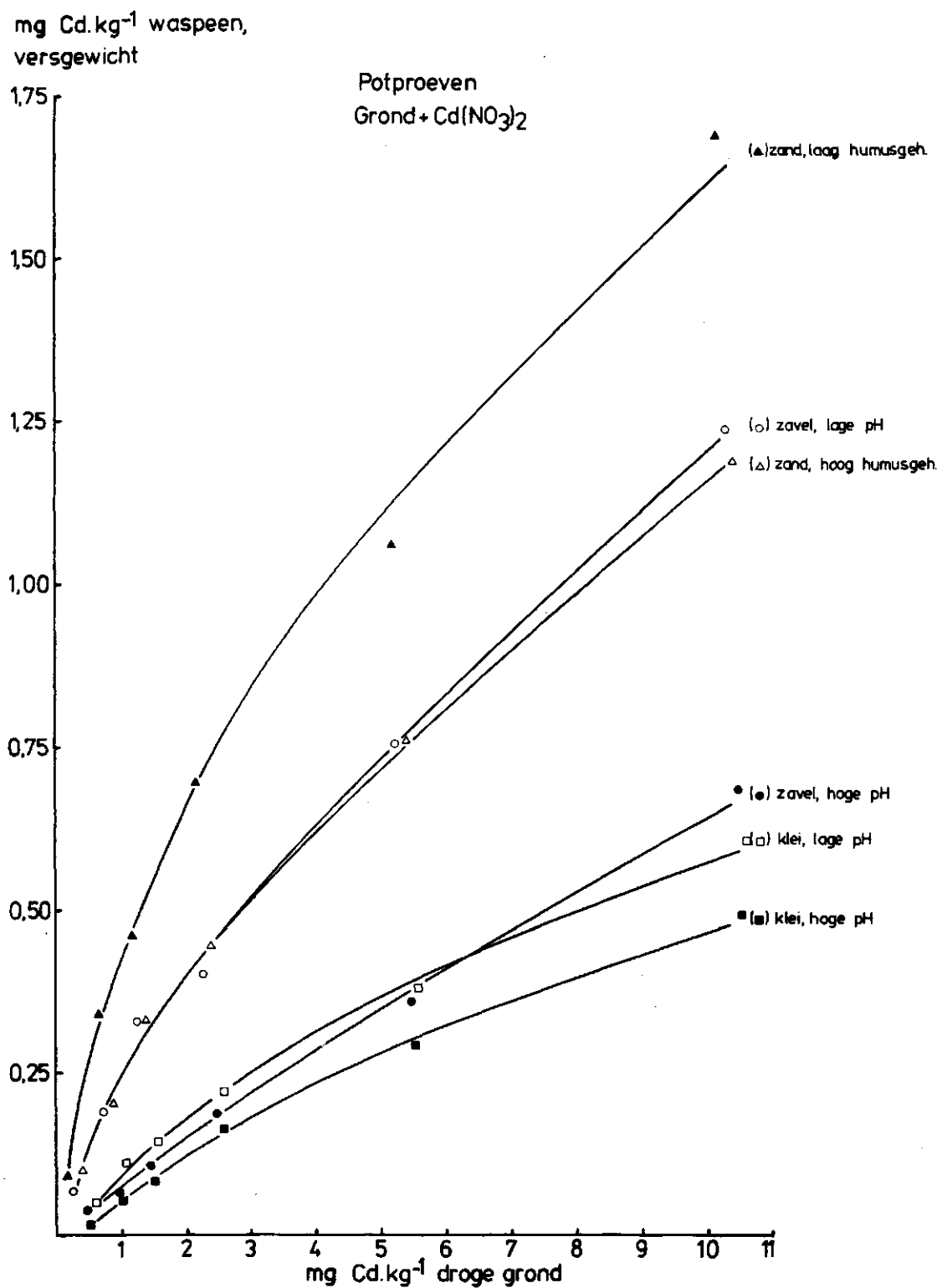
Potproeven. De hoogste zuiveringsslibgift verhoogde de opbrengst van zomertarwe op 5 grondsoorten en de aardappelopbrengst op de beide zandgronden. Bij spinazie en waspeen was de opbrengst echter lager bij de hoogste zuiveringsslibgift op zandgrond met een laag en hoog humusgehalte (tabel 9).

De Cd-gehalten in de planten werden maar in enkele gevallen door de zuiveringsslibgift beïnvloed (tabel 9). De hoogste gift zuiveringsslib gaf een verlaging van het Cd-gehalte in aardappel op zandgrond met een laag humusgehalte, in waspeen op kleigrond met een hoge pH en in zomertarwe op zavelgrond met een lage pH. Een verhoging door de hoogste gift zuiveringsslib trad op in spinazie op zandgrond met een hoog humusgehalte, in waspeen op zavelgrond met hoge pH, in aardappel op kleigrond met hoge pH en in zomertarwe op zandgrond met een hoog humusgehalte en op zavelgrond met een hoge pH.

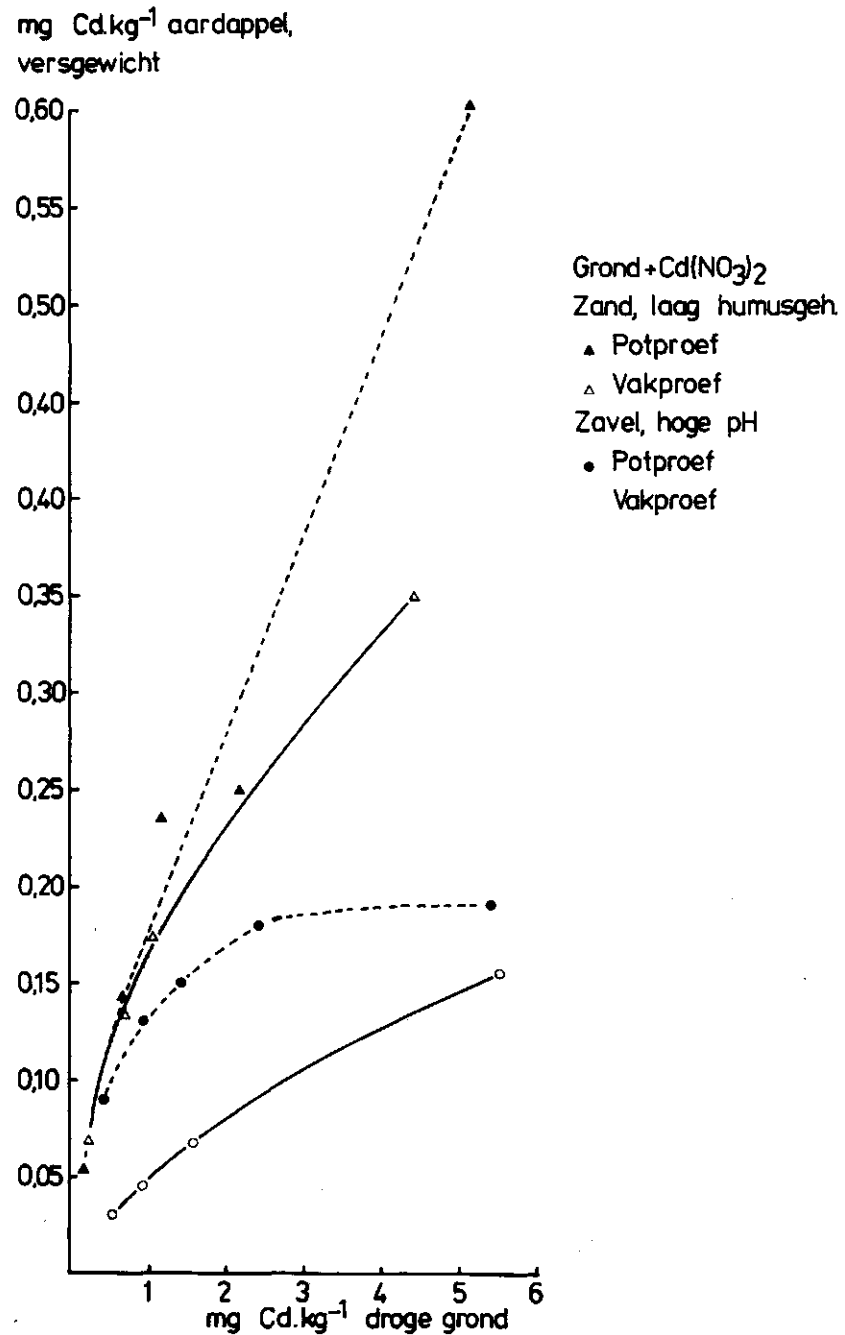
Vakproef. De hoogste gift zuiveringsslib gaf op zandgrond een verhoging van de opbrengst aan zomertarwe en spinazie, een verhoging van het Cd-gehalte in zomertarwe en een verlaging van het Cd-gehalte in spinazie (tabel 10). Bij de laagste zuiveringsslibgift op zandgrond trad een verlaging van het Cd-gehalte in aardappel op.

3.5. Invloed van de toediening van industrieel zuiveringsslib

Cd aan de grond toegeënd als industrieel zuiveringsslib was significant (tekentoets, $P < 0,05$) minder goed beschikbaar voor de planten dan indien toegediend als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$. Dit werd voor alle onderzochte gronden en gewassen in de potproeven en vakproef gevonden, echter bij zomertarwe in de vakproef werd weinig verschil in beschikbaarheid van toegediend Cd gevonden (figuur 9-12). Hierbij kon tussen de grondsoorten geen verschil in effect hierop vastgesteld worden. Het gevonden verschil in beschikbaarheid voor de planten tussen aan de grond toegediend Cd als industrieel zuiveringsslib en $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ werd niet gewijzigd indien naast $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ tevens huishoudelijk zuiveringsslib werd toegediend.

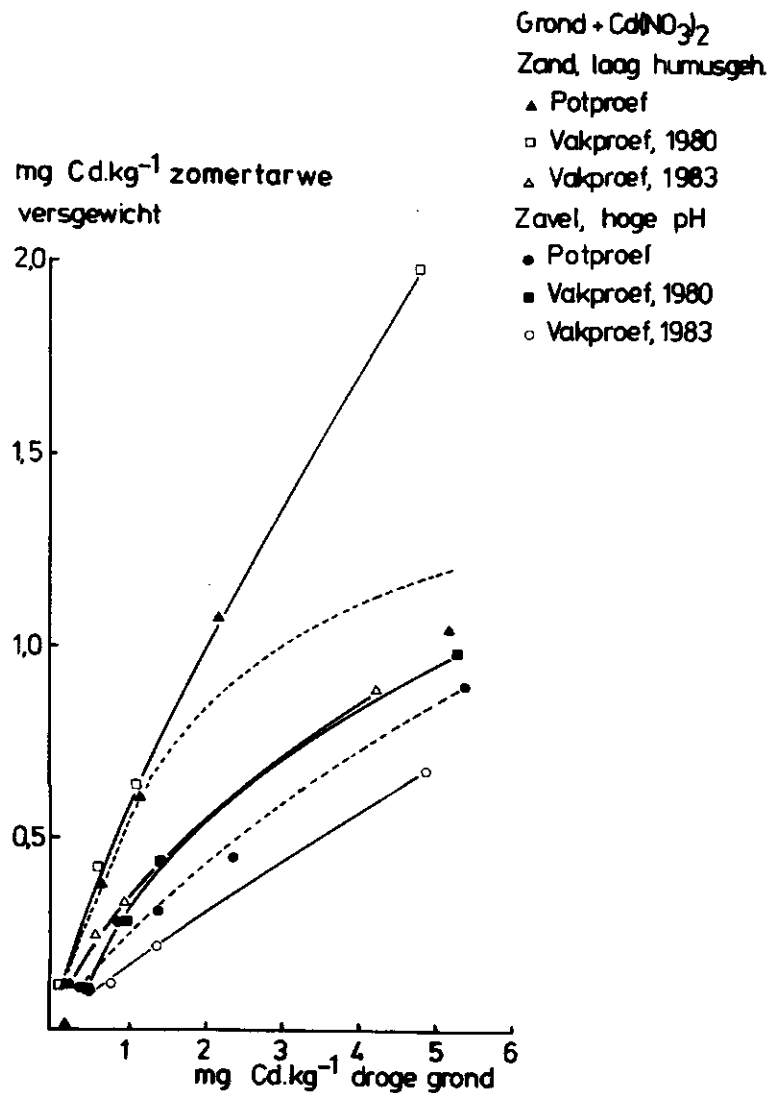


Figuur 4. De relatie tussen het Cd-gehalte in grond en in waspeen.
Figure 4. Relation between Cd contents of soil and carrots.



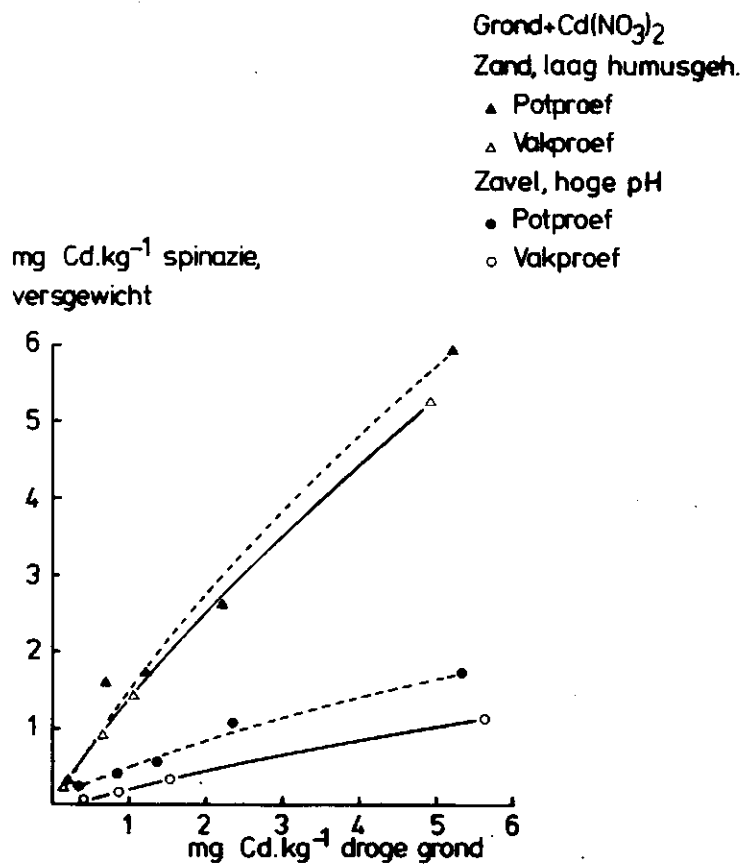
Figuur 5. De relatie tussen het Cd-gehalte in grond en in aardappelknol in potproeven en een vakproef.

Figure 5. Relation between Cd contents of soil and of potato tubers in pot experiments and a box-plot trial.



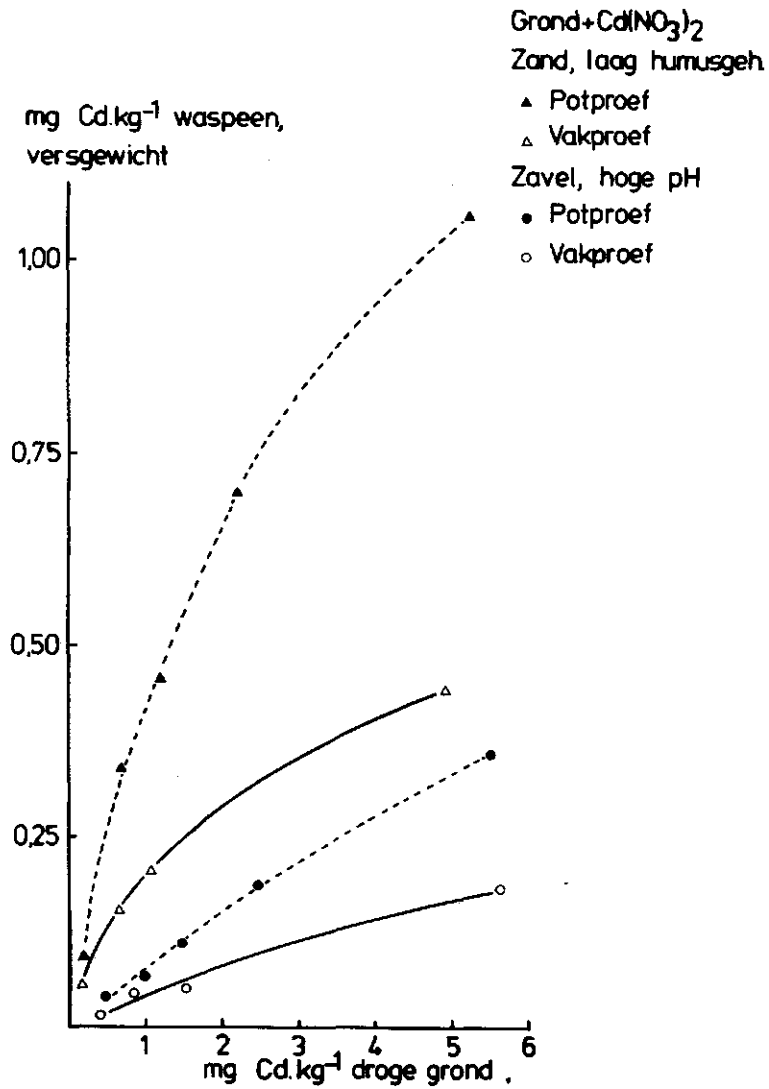
Figuur 6. De relatie tussen het Cd-gehalte in grond en in zomertarwe-korrel in potproeven en een vakproef.

Figure 6. Relation between Cd contents of soil and of spring wheat in pot experiments and a box-plot trial.



Figuur 7. De relatie tussen het Cd-gehalte in grond en in spinazie in potproeven en een vakproef.

Figure 7. Relation between Cd contents of soil and of spinach in pot experiments and a box-plot trial.



Figuur 8. De relatie tussen het Cd-gehalte in grond en in waspeen in potproeven en een vakproef.

Figure 8. Relation between Cd contents of soil and of carrots in pot experiments and a box-plot trial.

TABEL 9. Invloed van de toediening van huishoudelijk zuiveringsslib aan de gronden op de opbrengst en het Cd-gehalte van hierop geteelde planten (gemiddeld per object) bij een betrouwbaarheidsdrempel van $P < 0,05$. Object I: grond + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, object II: idem + tevens laagste dosering huishoudelijk zuiveringsslib, object III: idem, echter hoogste dosering huishoudelijk zuiveringsslib.

TABLE 9. Effect of adding municipal sewage sludge to the soils on yield and content of Cd in crops (means of each treatment) at $P < 0,05$ (pot experiments). Treatment I: soil + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, treatment II: the same + lowest quantity of municipal sewage sludge, treatment III: the same, but with highest quantity of municipal sewage sludge.

	Zandgrond, laag humusgehalte			Zandgrond, hoog humusgehalte			Zavelgrond, lage pH			Zavelgrond, hoge pH		
Potproeven												
Opbrengst (g/pot): spinazie, drooggew.	III 4,800	II 5,149	I 5,343									
waspeen, drooggew.				III 45,86	I 53,87	II 55,88						
aardappelknol, versgew.	I 439,4	II 484,8	III 638,5	I 851,8	II 905,8	III 1066,8						
zomertarwekorrel, drooggew.	I 34,50	II 37,42	III 39,17	I 37,32	II 37,41	III 41,73	II 35,93	I 36,41	III 42,70	I 64,22	II 72,67	III 75,78
Mg Cd/kg versgew.: spinazie				II 2,607	I 2,652	III 3,149						
waspeen, peen										I 0,172	II 0,177	III 0,197
aardappelknol	III 0,640	II 0,873	I 1,076									
zomertarwe, korrel				II 0,501	I 0,518	III 0,596	III 0,730	II 0,890	I 0,921	I 0,438	II 0,562	III 0,758
zomertarwe, stro, versgew.				I 38,52	II 39,99	III 42,71	II 40,74	I 41,00	III 45,48			

	Kleigrond, lage pH			Kleigrond, hoge pH		
Potproeven						
Opbrengst (g/pot):						
zomertarwekorrel drooggew.	I 43,95	II 46,78	III 50,01			

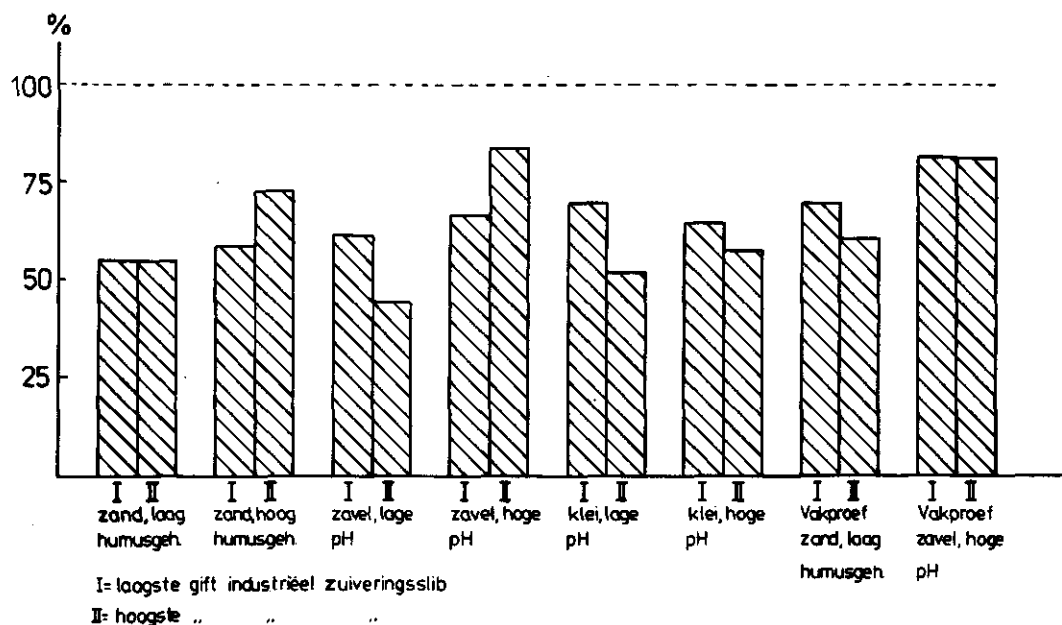
Mg Cd/kg versgew.:						
waspeen, peen				III 0,109	II 0,117	I 0,138

aardappelknol				II 0,126	I 0,129	III 0,152

TABEL 10. Invloed van de toediening van huishoudelijk zuiveringsslib aan de gronden op de opbrengst en het Cd-gehalte van hierop geteelde planten (gemiddeld per object) bij een betrouwbaarheidsdrempel van $P < 0,05$. Object I: grond + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, object II: idem + tevens laagste dosering huishoudelijk zuiveringsslib, object III: idem, echter hoogste dosering huishoudelijk zuiveringsslib.

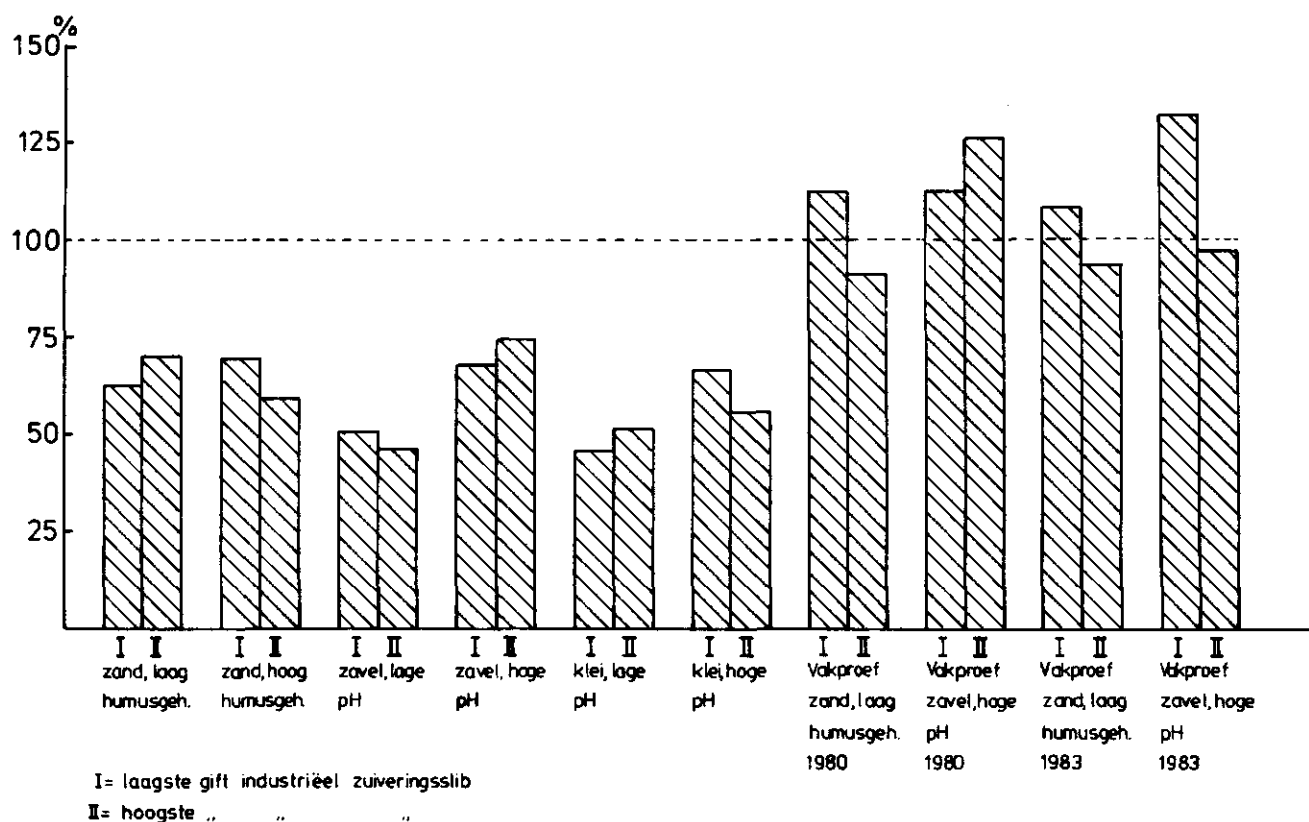
TABLE 10. Effect of adding municipal sewage sludge to the soils on yield and content of Cd in crops (means of each treatment) at $P < 0.05$ (box-plot trial). Treatment I: soil + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, treatment II: the same + lowest quantity of municipal sewage sludge, treatment III: the same, but with highest quantity of municipal sewage sludge.

Gewas	Zandgrond, laag humusgehalte		
Vakproef			
Opbrengst in g/vak:			
spinazie, drooggew.	I 195,6	II 201,3	III 227,6
zomertarwe, stro, versgewicht (1980)	I 709,3	II 742,9	III 803,8
zomertarwe, stro, versgewicht (1983)	I 590,8	II 627,3	III 638,4
Mg Cd/kg versgewicht:			
spinazie	III 1,828	II 2,128	I 2,301
aardappelknol	II 0,175	III 0,185	I 0,198
zomertarwe, korrel (1983)	I 0,444	II 0,505	III 0,505



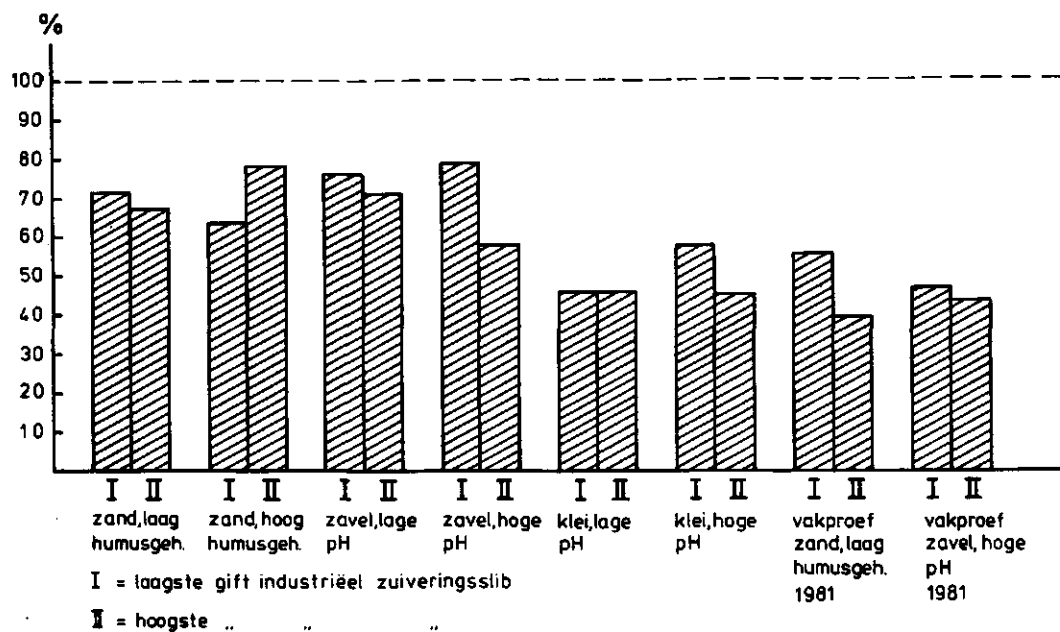
Figuur 9. Relatief Cd-gehalte in aardappel van de objecten met grond + industrieel zuiveringsslib in % van de Cd-gehalten gevonden in aardappel van de objecten met grond + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (= 100%). Vergeleken werd bij overeenkomstig totaal Cd-gehalte in de grond.

Figure 9. Cd content of potato tubers from the treatments with soil + industrial sewage sludge as a percentage of the Cd contents of potato tubers from the treatments with soil + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (= 100%). Comparison was made at equal total soil Cd^{2+} content



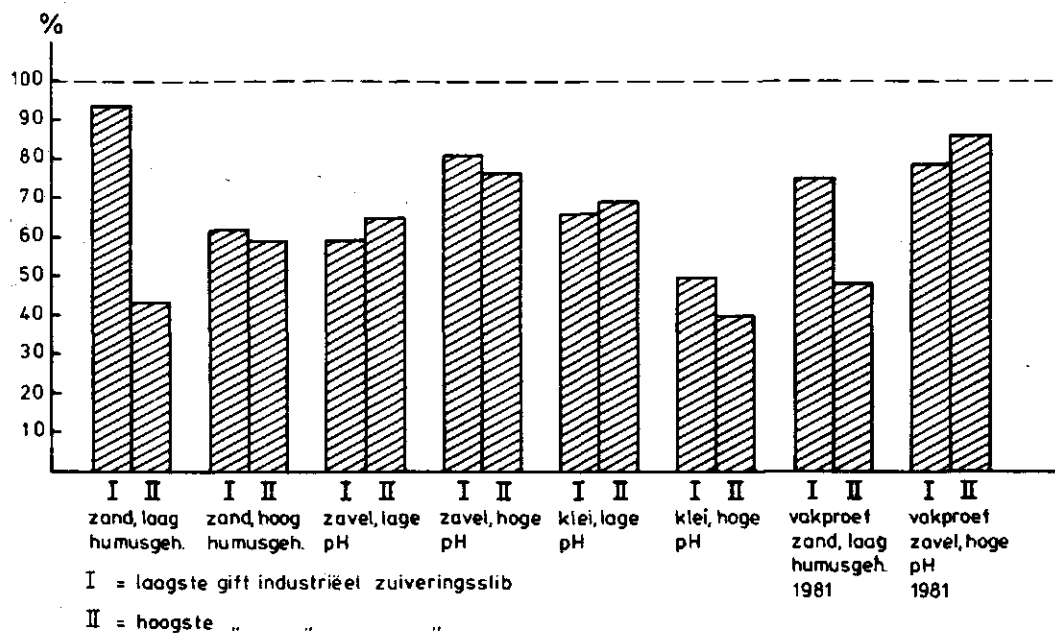
Figuur 10. Relatief Cd-gehalte in zomertarwekorrel van de objecten met grond + industrieel zuiveringsslib in % van de Cd-gehalten gevonden in zomertarwekorrel van de objecten met grond + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (= 100%). Vergeleken werd bij overeenkomstig totaal Cd-gehalte in de grond.

Figure 10. Cd content of spring wheat from the treatments with soil + industrial sewage sludge as a percentage of the Cd contents of spring wheat from the treatments with soil + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (= 100%). Comparison was made at equal total soil Cd content.



Figuur 11. Relatief Cd-gehalte in spinazie van de objecten met grond + industrieel zuiveringsslib in % van de Cd-gehalten gevonden in spinazie van de objecten met grond + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (= 100%). Vergeleken werd bij overeenkomstig totaal Cd-gehalte in de grond.

Figure 11. Cd content of spinach from the treatments with soil + industrial sewage sludge as a percentage of the Cd contents of spinach from the treatments with soil + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (= 100%). Comparison was made at equal total soil Cd content.



Figuur 12. Relatief Cd-gehalte in waspeen van de objecten met grond + industrieel zuiveringsslib in % van de Cd-gehalten gevonden in waspeen van de objecten met grond + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (= 100%). Vergeleken werd bij overeenkomstig totaal Cd-gehalte in de grond.

Figure 12. Cd content of carrots from the treatments with soil + industrial sewage sludge as a percentage of the Cd contents of carrots from the treatments with soil + $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ (= 100%). Comparison was made at equal total soil Cd content.

4. DISCUSSIE

Relatie Cd-gehalte grond - plant

Toediening van $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ aan de grond gaf een verhoging van het Cd-gehalte in de daarop geteelde planten, zowel in de potproeven als in de vakproef. In potproeven met praktijkgronden, die een variatie in Cd-gehalte vertoonden, vonden Lund et al. (1981, 5 leemgronden en 2 kleigronden, 0,02-22 mg Cd/kg) en Kiekens and Cottenie (1983, 57 diverse gronden, 0,09-147,8 mg Cd/kg) een significant positief verband tussen het totaal Cd-gehalte in de grond en in hierop verbouwde planten, evenals Lag and Elsokkary (1978, 10 zavelgronden, 0,36-6,27 mg Cd/kg) tussen het Cd-gehalte in door industrie verontreinigde grond en het Cd-gehalte in de ter plaatse in het industriegebied geteelde planten. In potproeven met mengsels van rivierklei + gecontamineerde rivierklei (0,50-5,09 mg Cd/kg) vonden Smilde et al. (1982) in de meeste gewassen een stijging van het Cd-gehalte bij toename van het Cd-gehalte in de grond. Symeonides and McRae (1977) vonden in potproeven met 25 verschillende gronden, waaraan 50 en 100 mg Cd/kg als CdCl_2 werd toegediend geen verband tussen het totaal Cd-gehalte in de grond en het Cd-gehalte in de plant. Miller et al. (1976) vonden in een potproef met 9 "silt loam" gronden, waaraan 0, 1, 10 en 100 mg Cd/kg als CdCl_2 werd toegediend, wel een positief verband tussen het totaal Cd-gehalte in de grond en het Cd-gehalte in de plant. In een potproef met 10 verschillende gronden, waaraan vroeger zuiveringsslib was toegediend, vonden Ellis en Alloway (1983) geen verband tussen het totaal Cd-gehalte in de grond (0,54-370 mg/kg) en het Cd-gehalte in de plant. Rosopulo und Diez (1981) vonden correlatiecoëfficiënten van 0,51-0,98 tussen het Cd-gehalte in humeuze, zandige tot iets slibbevattende, leemgronden, waaraan reeds jarenlang zuiveringsslib werd toegediend (in de gronden 0,2-73 mg Cd/kg), en het Cd-gehalte van in de praktijk bemonsterde gewassen. Uit de literatuurgegevens blijkt dat een verhoogd Cd-gehalte in de grond vaak samenging met een verhoogd Cd-gehalte in de plant. Tussen het totaal Cd-gehalte in de grond en het Cd-gehalte in de plant kon echter niet altijd een significant verband vastgesteld worden.

Effect huishoudelijk en industrieel zuiveringsslib op het Cd-gehalte in de plant

Toediening van huishoudelijk zuiveringsslib aan de grond van de gerapporteerde proeven had weinig invloed op de Cd-gehalten in de planten. Cd toegediend aan de grond als industrieel zuiveringsslib had wel een effect hierop, maar was minder goed beschikbaar voor de planten dan indien toegediend als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$. In de literatuur wordt ook gerapporteerd dat Cd in zuiveringsslib minder goed beschikbaar is voor de plant dan in cadmiumzout bij toediening aan de grond (Street et al., 1977; Dijkshoorn et al., 1981; Page et al., 1981). Hieruit volgt dat het totaal Cd-gehalte in de grond geen goed beeld van het beschikbaar Cd voor de plant geeft indien er sprake is van een aantal gronden waaraan bij sommige industrieel zuiveringsslib is toegediend.

Effect humusgehalte van de grond op het Cd-gehalte in de plant

Het Cd-gehalte in de gewassen geteeld op een zandgrond met een hoog humusgehalte was meestal lager dan op een zandgrond met een laag humusgehalte. Een overeenkomstig resultaat werd verkregen door MacLean (1976) met sla in een potproef met 2 zandgronden, verschillend in organischestofgehalte (2,17 en 15,95% organisch C). Kiekens and Cottenie (1983) vonden in een potproef met 57 diverse gronden dat de variantie in het Cd-gehalte van radijsblad en radijsknol behalve door het Cd-gehalte van de grond werd beïnvloed door het C-gehalte in de grond. Het Cd-gehalte in raaigras werd echter niet door het C-gehalte in de grond beïnvloed. In een potproef met tarwe op 10 verschillende gronden, waaraan vroeger zuiveringsslib was toegediend, werd geen invloed van het organischestofgehalte in de grond (1,1-45,2% organische stof) op het Cd-gehalte in de plant gevonden (Ellis and Alloway, 1983). Het effect van het organischestofgehalte in de grond op de opname van Cd door de plant is niet geheel duidelijk. Misschien speelt de grondsoort hierbij ook een rol.

Effect pH van de grond op het Cd-gehalte in de plant

In de potproeven werd op zavelgrond een duidelijk effect van de pH op het Cd-gehalte in de plant gevonden, op kleigrond trad bij 2 van de 4 onderzochte gewassen een pH-effect op. In het algemeen wordt aangenomen dat het Cd-gehalte in de plant afneemt bij stijging van de pH in de grond, hetgeen ondersteund wordt door de resultaten van een aantal onderzoeken op diverse grondsoorten (Lagerwerff, 1971; Street et al., 1978;

Anonymous, 1980; Page *et al.*, 1981; Dijkshoorn *et al.*, 1983; Ellis and Alloway, 1983; Van Luit en Smilde, 1983). In een potproef met 57 gronden konden Kiekens and Cottenie (1983) maar 4% van de variantie in het Cd-gehalte van de plant door de pH van de grond verklaren. Dat de pH van de grond een belangrijke rol bij de opname van Cd door de plant speelt blijkt ook uit het feit dat in de USA aan de hand van de pH en de kationenuitwisselingscapaciteit van de grond limieten aan de hoeveelheid toe te dienen zuiveringsslib worden gesteld (Environmental Protection Agency, 1979).

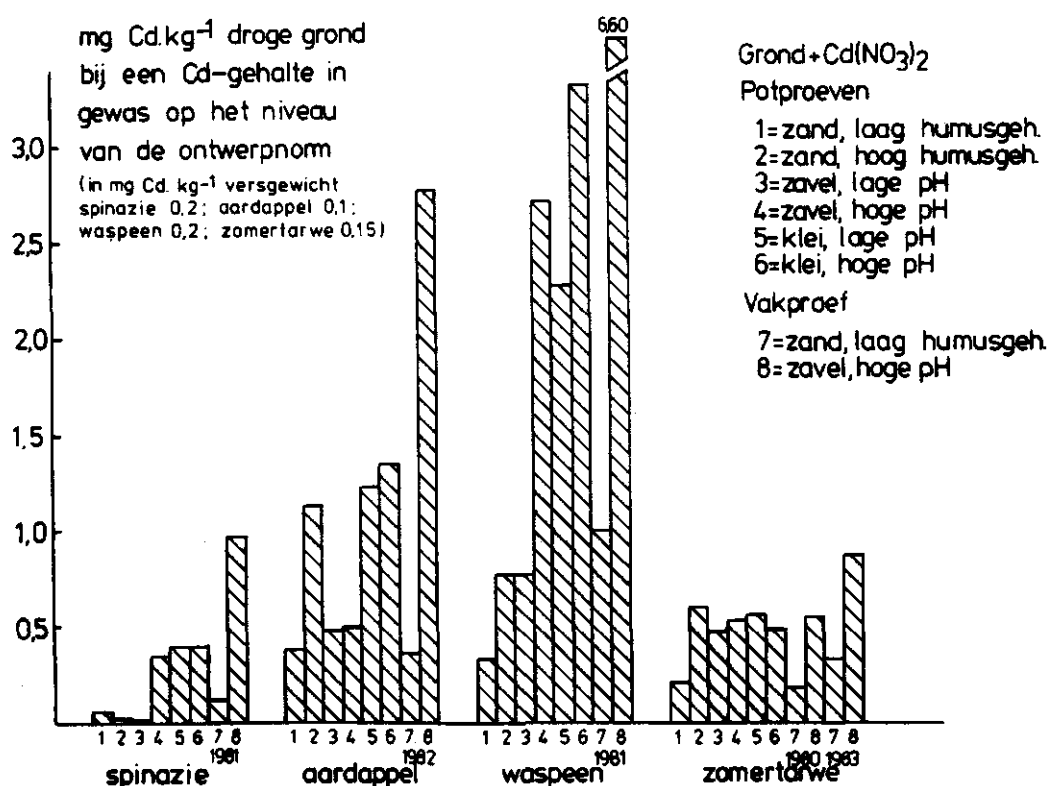
Vergelijking resultaten potproeven versus vakproef

De gewassen geteeld in de vakproef namen minder Cd in de eetbare delen op dan de gewassen in de overeenkomstige potproeven. Hierbij dient wel in aanmerking te worden genomen dat de wortels van de planten in de vakproef ook in de diepere grondlagen met een relatief laag Cd-gehalte kwamen. Ook was de watervoorziening in de potproeven beter dan in de vakproef (potproef: regelmatige toediening; vakproef: natuurlijke neerslag + kunstmatige beregening indien noodzakelijk). Page and Chang (1978) en De Vries and Tiller (1978) vonden ook een sterkere Cd-opname door planten in potproeven dan in vergelijkbare veldproeven.

Cadmiumgehalte grond bij een Cd-gehalte in de plant op ontwerpnormniveau

In figuur 13 is aangegeven welk Cd-gehalte in de grond samenging met een Cd-gehalte in het gewas op ontwerpnormniveau. Hierbij werden in de potproeven bij het gewas spinazie erg lage Cd-gehalten gevonden voor zandgrond met laag en hoog humusgehalte en voor zavelgrond met lage pH. Deze waarden zijn veel lager dan de gemiddelde Cd-gehalten van de Nederlandse cultuurgronden (Van Driel *et al.*, 1983). Ook bij de andere gewassen in de potproeven komt een relatief laag Cd-gehalte voor de zandgrond met een laag humusgehalte naar voren. In de vakproef werd bij het gewas spinazie ook een laag Cd-gehalte voor deze grond verkregen. In de vakproef ging een Cd-gehalte op ontwerpnormniveau in spinazie, aardappel, waspeen en zomertarwe samen met een Cd-gehalte in de zandgrond met een laag humusgehalte van respectievelijk 0,12, 0,36, 1,00 en 0,33 mg Cd/kg en in de zavelgrond met een hoge pH van respectievelijk 0,97, 2,77, 6,60 en 0,87

mg Cd/kg (figuur 13). Op zandgrond werd bij spinazie een Cd-gehalte voor de grond verkregen dat nauwelijks te realiseren is op cultuurgrond, terwijl die verkregen bij aardappel en zomertarwe ook laag zijn in vergelijking met Cd-gehalten verkregen door Van Driel *et al.* (1983). In zandgrond van praktijkpercelen spinazie, aardappel, waspeen en tarwe werden deze Cd-gehalten echter overschreden zonder dat de ontwerpnormen voor Cd in deze gewassen werden overschreden (tabel 11). In door zinksmelters verontreinigde zandgrond van de Brabantse Kempen en het aangrenzende Belgische gebied werd bij een Cd-gehalte tot 2 mg/kg grond en een pH van 5,0 slechts in 1 van de 36 aardappelmonsters een overschrijding van de ontwerpnorm van 0,1 mg Cd/kg aardappel gevonden (Van Luit, 1984).



Figuur 13. Het Cd-gehalte in grond bij een Cd-gehalte in de gewassen op ontwerpnormniveau.

Figure 13. Cd content of soil associated with the proposed maximum Cd level in crops.

In de vakproef waren de Cd-gehalten van zavelgrond hoger dan van zandgrond bij een Cd-gehalte in het gewas op ontwerpnormniveau. In praktijkpercelen spinazie, aardappel en tarwe op zavelgrond werden deze Cd-gehal-

ten in de grond echter overschreden. Alleen in 4 wintertarwemonsters van het inventarisatieonderzoek op zavelgrond (totaal 54 monsters) trad een overschrijding van de ontwerpnorm voor Cd op. Hierbij was 1 monster afkomstig van een zavelgrond met een Cd-gehalte $> 0,87$ mg/kg (tabel 11).

TABEL 11. Het Cd-gehalte in grond en gewas van een inventarisatieonderzoek (praktijkpercelen) in 1977 en 1978 in Nederland (Van Goor, pers.meded).

TABLE 11. Survey of Cd contents of soils and crops in the Netherlands in 1977 and 1978 (Van Goor, pers.comm.).

Gewas	Grond-soort	Aantal monsters	Mg Cd/kg versgewicht				% van aantal monsters boven Ned. ontwerpnorm	Mg Cd/kg droge grond			
			min.	max.	gem.	me-diaan		min.	max.	gem.	me-diaan
spinazie	zand	37	0,01	0,15	0,05	0,04	0	0,10	1,90	0,37	0,34
spinazie	zavel	36	0,03	0,14	0,07	0,08	0	0,22	1,10	0,51	0,50
spinazie	klei	9	0,02	0,08	0,05	0,06	0	0,38	0,80	0,61	0,60
waspeen	zand	95	0,01	0,16	0,04	0,03	0	0,04	1,50	0,31	0,28
waspeen	zavel	5	0,01	0,03	0,02	0,03	0	0,20	0,50	0,34	0,34
waspeen	klei	0									
aardappel	zand	8	0,01	0,04	0,02	0,02	0	0,22	0,78	0,43	0,41
aardappel	zavel	66	0,01	0,09	0,03	0,03	0	0,10	3,90	0,49	0,40
aardappel	klei	19	0,01	0,05	0,03	0,03	0	0,30	10,90	1,00	0,40
winter+zomertarwe	zand	7	0,02	0,11	0,07	0,08	0	0,20	0,80	0,40	0,30
winter+zomertarwe	zavel	54	0,02	0,43	0,08	0,07	7,4	0,10	7,80	0,72	0,40
winter+zomertarwe	klei	23	0,03	0,35	0,07	0,06	4,3	0,20	3,90	0,59	0,44

Bij een Cd-gehalte in de planten op ontwerpnormniveau was het Cd-gehalte voor zowel de zandgrond met een laag humusgehalte als voor de zavelgrond met hoge pH in de vakproef in de meeste gevallen hoger dan in de vergelijkbare potproeven. Het eerste proefjaar van de vakproef (1980) wordt hierbij buiten beschouwing gelaten (figuur 13). Bij het stellen van maximale grenswaarden voor Cd in de grond moet men naar aanleiding van de gerapporteerde resultaten (figuur 13) er dus rekening mee houden dat zowel de grond- als plantesoort invloed op de opname van Cd door de plant heeft. In verband hiermee kunnen bepaalde grondsoorten minder geschikt zijn voor de teelt van bepaalde gewassen. Ook moet in aanmerking worden genomen dat bij het ontwerpen van Cd-normen voor gewassen er vanuit werd gegaan dat bepaalde gewassen op bepaalde grondsoorten worden verbouwd. In moestuinen worden groenten echter op alle grondsoorten verbouwd. Tevens moet er rekening mee gehouden worden dat in de grond van moestuinen ver-

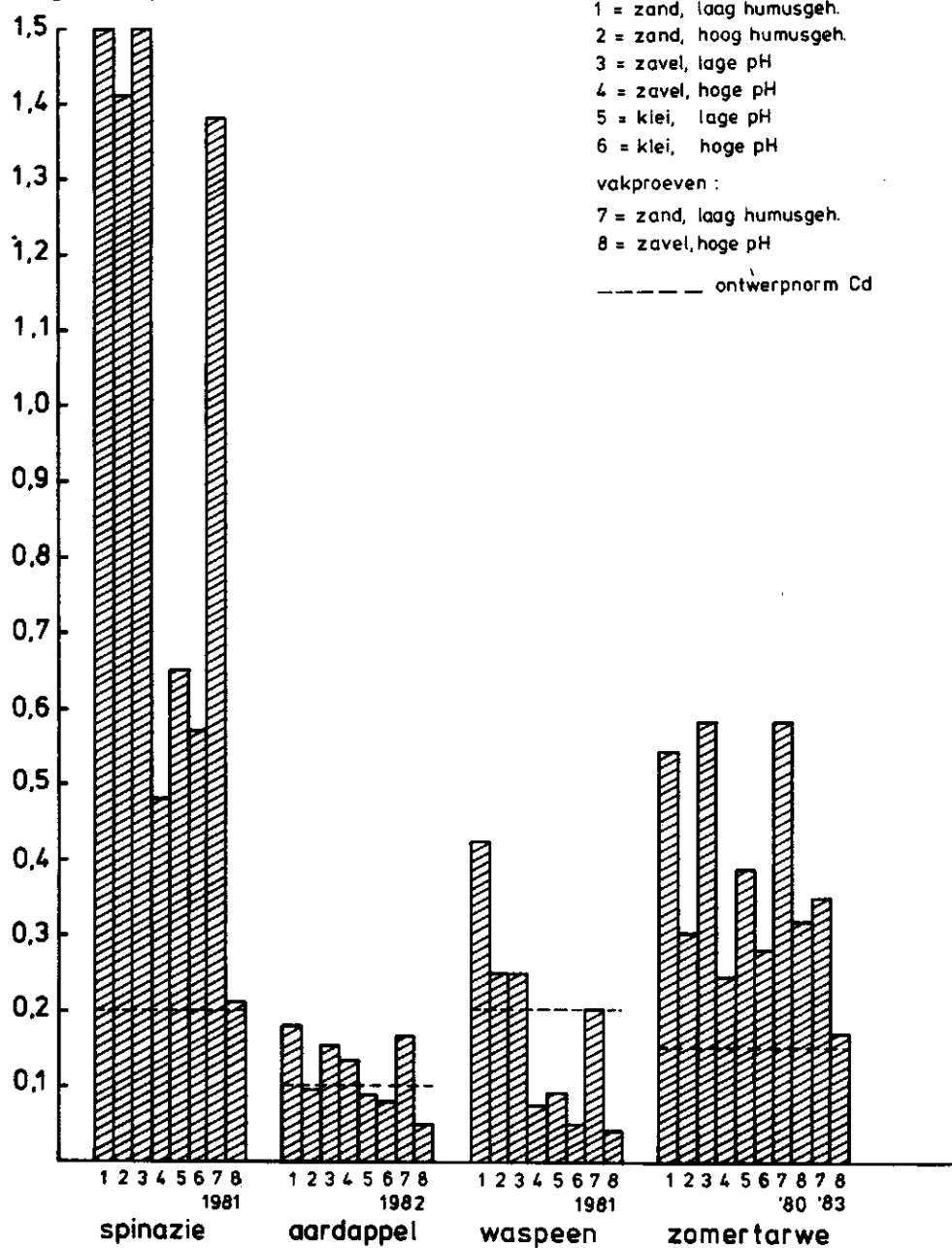
hoogde Cd-gehalten kunnen voorkomen (Van Lune, 1984).

Een Cd-gehalte in grond hoger dan 1,0 mg/kg duidt in Nederland in het algemeen op een verontreiniging. Een overschrijding van deze grens wordt in Nederland in het algemeen dan ook niet wenselijk geacht. In de potproeven werd bij 1,0 mg Cd/kg grond de ontwerpnorm voor spinazie en zomertarwe op alle grondsoorten overschreden, verder trad een overschrijding op bij aardappel op zandgrond met een laag humusgehalte en op zavelgrond met lage en hoge pH en bij waspeen op zandgrond met laag en hoog humusgehalte en op zavelgrond met een lage pH (figuur 14). In de vakproef trad bij 1,0 mg Cd/kg grond een overschrijding van de ontwerpnorm voor Cd in spinazie, aardappel en zomertarwe op de zandgrond met een laag humusgehalte op, terwijl hierbij op de zavelgrond met een hoge pH slechts een geringe overschrijding hiervan optrad in spinazie en zomertarwe (figuur 14). In Nederland wordt voor zandgronden aan een grenswaarde van 0,5 mg Cd/kg grond gedacht. In de vakproef geteelde aardappel, zomertarwe en vooral spinazie overschreden echter de Cd-ontwerpnormen voor deze gewassen bij een Cd-gehalte van 0,5 mg Cd/kg grond in de zandgrond met een laag humusgehalte (figuur 5 - 8 en 13). In de potproeven bleek een grenswaarde van 0,5 mg Cd/kg grond te hoog te zijn voor de zandgrond met een laag humusgehalte bij de teelt van de vier onderzochte gewassen en tevens te hoog voor de zandgrond met een hoog humusgehalte bij de teelt van spinazie en aardappel (figuur 13).

In de gerapporteerde proeven kwam een invloed van de grondsoort, pH, humusgehalte, vorm van toegediend Cd en gewassoort op de opname van Cd door de plant naar voren. De relatie tussen het Cd-gehalte van de grond en dat in de plant was per gewas en grondsoort verschillend en was bovendien afhankelijk van de vorm waarin cadmium werd toegediend (als zout of als zuiveringsslib). Het bleek dat Cd-totaal in grond geen goede maat is voor het Cd-gehalte in de plant indien er sprake is van een aantal gronden waaraan bij sommige industrieel zuiveringsslib is toegediend. Men is er echter nog niet in geslaagd een extractiemethode te ontwikkelen die onder alle omstandigheden het voor de plant beschikbaar Cd geeft (Wiersma en Van Goor, 1984).

Het is van belang voor de praktische land-en tuinbouw de bodem- en gewasfactoren te kennen die de opname van Cd door de plant beheersen. Daarom is meer systematisch onderzoek nodig, gericht op de groeiomstandigheden in de praktijk.

mg Cd. kg⁻¹ versgewicht plant bij
1 mg Cd. kg⁻¹ droge grond



Figuur 14. Het Cd-gehalte in de plant bij 1,0 mg Cd/kg droge grond.
Figure 14. Cd content of crops at 1.0 mg Cd/kg dry soil.

Veel dank is verschuldigd aan de heer J. Wolf, sectie Wiskunde, en de heer P. Rakké, Rekencentrum, voor de hulp bij het wiskundig bewerken van de proefresultaten.

5. SAMENVATTING

In potproeven werden aardappel, zomertarwe, spinazie en waspeen geteeld op klei- en zavelgrond bij lage en hoge pH, en zandgrond met laag en hoog humusgehalte om de relatie tussen het Cd-gehalte in de grond en in de plant te bepalen. Aan de gronden werd 0-10 mg Cd/kg als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, huishoudelijk zuiveringsslib + 0-5 mg Cd/kg als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, of industrieel zuiveringsslib toegediend. Ter vergelijking hiermee werd een vakproef uitgevoerd met overeenkomstige objecten, echter met alleen zavelgrond bij hoge pH en zandgrond met laag humusgehalte.

Toediening van $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ aan de grond gaf een verlaging van de opbrengst aan spinazie en een verhoging van het Cd-gehalte in alle onderzochte gewassen. Toediening van huishoudelijk zuiveringsslib hierbij had maar in enkele incidentele gevallen een invloed op het Cd-gehalte in de planten, de invloed was afhankelijk van het gewas zowel verhogend als verlagend.

Cadmium aan de grond toegediend als industrieel zuiveringsslib was minder goed beschikbaar voor de planten dan toegediend als $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, zowel in de potproeven als in de vakproef.

De accumulatie van Cd door de planten werd beïnvloed door gewassoort (accumulatie spinazie >> zomertarwe > waspeen > aardappel) en grondsoort.

In de potproeven had het humusgehalte in zandgrond (verhoging van het humusgehalte gaf een verlaging van de Cd-opname) en de pH van zavelgrond (verhoging van de pH gaf een lagere Cd-opname) een invloed op de Cd-opname door de gewassen. Op kleigrond trad bij een lage pH in 2 van de 4 onderzochte gewassen een hogere Cd-opname op dan bij een hoge pH.

In de vakproef ging een Cd-gehalte op ontwerpnormniveau in spinazie, aardappel, waspeen en zomertarwe samen met een Cd-gehalte in de zandgrond met een laag humusgehalte van respectievelijk 0,12, 0,36, 1,00 en 0,33 mg Cd/kg en in zavelgrond met een hoge pH van respectievelijk 0,97, 2,77, 6,60 en 0,87 mg Cd/kg. In praktijkpercelen op zand- en zavelgrond werden deze Cd-gehalten echter overschreden zonder dat de ontwerpnormen voor Cd in deze gewassen werden overschreden.

Bij de vier onderzochte gewassen in de vakproef (semi-praktijkomstandigheden), waarbij $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ aan de grond werd toegediend, was een grenswaarde van 1,0 mg Cd/kg grond voor de zavelgrond met een hoge pH aanvaardbaar, een grenswaarde van 0,5 mg Cd/kg grond voor de zandgrond met

een laag humusgehalte was echter te hoog.

De gewassen geteeld in de vakproef namen minder Cd in de eetbare delen op dan de gewassen geteeld in de overeenkomstige potproeven.

6. SUMMARY

The relationship between the Cd content of six characteristic soils (sandy soil with low and high organic matter content, sandy clay and clay in combination with low and high pH), to which 0-10 mg Cd/kg as $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, municipal sewage sludge + 0-5 mg Cd/kg soil as $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, or industrial sewage sludge was added and the Cd content of four important food plants (spinach, potato, carrot and spring wheat) was studied in pot experiments. The same was done in a box-plot trial, but with only two soils (sandy soil with low organic matter content, sandy clay with high pH).

Adding $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ to the soils lowered the yield of spinach and raised the Cd content of the crops. Simultaneous addition of municipal sewage sludge affected the Cd content of the crops in only a few cases. The effect was positive or negative, depending on the crop.

Cadmium in industrial sewage sludge was less available to the plants than in $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ when added to the soils in the pot experiments and the box-plot trial.

Accumulation of Cd by plants depended on species (accumulation spinach >> spring wheat > carrot > potato) and type of soil.

In the pot experiments Cd uptake by the plants decreased with increasing organic matter content on the case of the sandy soil. In the sandy clay, Cd uptake decreased with increasing pH values. In clay soil, uptake of Cd by two of the four crops investigated was lower at a high pH than at a low pH.

In the box-plot trial, Cd contents of spinach, potato, carrot and spring wheat at the proposed Dutch maximum level were associated with a Cd content in the sandy soil (low organic matter content) of 0.12, 0.36, 1.00 and 0.33 mg/kg respectively, and in the sandy clay soil (high pH) of 0.97, 2.77, 6.60 and 0.87 mg/kg respectively. In farmers' fields the Cd contents in sandy and sandy clay soils were sometimes higher, but the proposed maximum Cd content in the crops mentioned was not exceeded.

For the four crops investigated in the box-plot experiment in which $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ was added to the soils, an upper limit of 1.0 mg Cd/kg soil was acceptable in the case of the sandy clay soil with a high pH; an upper limit of 0.5 mg Cd/kg soil was already too high for the sandy soil with a low organic matter content.

The crops grown in the box-plot trial took up less Cd in the edible parts than in the corresponding pot experiments.

7. LITERATUUR

- Anonymus, 1977. Richtwerte '76 über Arsen-, Cadmium- und Quecksilbergehalte in Lebensmitteln. Bundesgesundheitsblatt 20: 76.
- Anonymous, 1980. Effect of sewage sludge on the cadmium and zinc content of crops. Council for Agricultural Science and Technology, Report no. 83, 77 pp.
- Driel, W. van, Goor, B.J. van en Wiersma, D., 1983. Cadmium in Nederlandse cultuurgronden. Bedrijfsontwikkeling 14: 476-480.
- Dijkshoorn, W., Lampe, J.E.M. and Broekhoven, L.W. van, 1981. Influence of soil pH on heavy metals in ryegrass from sludge-amended soil. Plant Soil 61: 277-284.
- Dijkshoorn, W., Lampe, J.E.M. and Broekhoven, L.W. van, 1983. The effect of soil pH and chemical form of nitrogen fertilizer on heavy-metal contents in ryegrass. Fertilizer Research 4: 63-74.
- Ellis, R.H. and Alloway, B.J., 1983. Factors affecting the availability of cadmium, lead and nickel in soils amended with sewage sludge. International Conference "Heavy metals in the environment", Heidelberg, 1: 358-361.
- Environmental Protection Agency, 1979. Criteria for classification of solid waste disposal facilities and practices. Federal Register 44: 53438-53468.
- Kiekens, L. and Cottenie, A., 1983. Estimation of trace element status by chemical soil and plant analysis. Report of the 1983 consultation on the European cooperative network on trace elements, held in Aarhus, Denmark, 31 May - 3 June 1983. Appendix III, F.A.O. Rome, 16 pp.
- Klitsie, C.G.M., 1983. Ontwerpnormen voor cadmium, lood en kwik. Bedrijfsontwikkeling 14: 502-504.
- Lag, J. and Elsokkary, I.H., 1978. A comparison of chemical methods for estimating Cd, Pb and Zn availability to six food crops grown in industrially polluted soils at Odda, Norway. Acta Agric. Scand. 28: 76-79.
- X Lagerwerff, J.V., 1971. Uptake of cadmium, lead and zinc by radish from soil and air. Soil Sci. 111: 129-133.
- Luit, B. van en Smilde, K.W., 1983. Onderzoek naar de verontreiniging met cadmium en zink van grond en gewas in de omgeving van zinkfabrieken. Bedrijfsontwikkeling 14: 489-493.

- Luit, B. van, 1984. Cadmiumopname door gewassen. Landbouwkundig Tijdschrift 96: 19-20.
- Lund, L.J., Betty, E.E., Page, A.L. and Elliott, R.A., 1981. Occurrence of naturally high cadmium levels in soils and its accumulation by vegetation. J. Environ. Qual. 10: 551-556.
- Lune, P. van, 1984. Cadmium- en loodgehalten van grond en gewas van volkstuinen in mogelijk verontreinigde gebieden. De Amateurtuinder 4: 53-54.
- MacLean, A.J., 1976. Cadmium in different plant species and its availability in soils as influenced by organic matter and additions of lime, P, Cd and Zn. Can. J. Soil Sci. 56: 129-138.
- Miller, J.E., Hassett, J.J. and Koeppe, D.E., 1976. Uptake of cadmium by soybeans as influenced by soil cation exchange capacity, pH, and available phosphorus. J. Environ. Qual. 5: 157-160.
- Page, A.L. and Chang, A.C., 1978. Trace elements impact on plants during cropland disposal of sewage sludges. In: Proc. Fifth national conference on acceptable sludge disposal techniques. Information Transfer Inc., Rockville, Maryland, 91-96.
- Page, A.L., Bingham, F.T. and Chang, A.C., 1981. Cadmium. In: Effect of heavy metal pollution on plants 1: 77-109 (Ed. N.W. Lepp).
- Rosopulo, A. und Diez, Th., 1981. Die Anreicherung von Schwermetallen verschiedener auf kontaminierten Boden angebaute Pflanzen. Landwirtsch. Forsch., Kongressband Trier, Sonderheft 38: 751-767.
- Smilde, K.W., Driel, W. van and Luit, B. van, 1982. Constraints in cropping heavy-metal contaminated fluvial sediments. Sci. Total Environ. 25: 225-244.
- Street, J.J., Lindsay, W.L. and Sabey, B.R., 1977. Solubility and plant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sewage sludge. J. Environ. Qual. 6: 72-77.
- Street, J.J., Sabey, B.R. and Lindsay, W.L., 1978. Influence of pH, phosphorus, cadmium, sewage sludge, and incubation time on the solubility and plant uptake of cadmium. J. Environ. Qual. 7: 286-290.
- Symeonides, C. and McRae, S.G., 1977. The assessment of plant-available cadmium in soils. J. Environ. Qual. 6: 120-123.
- Vierveijzer, H.C., Lepelaar, A. en Dijkstra, J., 1979. Analysemethoden voor grond, rioolslib, gewas en vloeistof. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapport, 261 pp.

- Vries, M.P.C. de and Tiller, K.G., 1978. Sewage sludge as a soil amendment with special reference to Cd, Cu, Mn, Ni, Pb and Zn - comparisons of results from experiments conducted inside and outside a glasshouse. Environ. Pollut. 16: 231-240.
- Wiersma, D. en Goor, B.J. van, 1984. De beschikbaarheid van Cd in de bodem voor de plant. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 125, 22 pp.
- World Health Organization, 1973. Trace elements in human nutrition. Cadmium. Techn. Rep. Series no. 532, pp. 41-43.