

ZINKVERONTREINIGING VAN DE BODEM NABIJ  
HOOGSPANNINGSMASTEN IN DE 380 kV-LEIDING  
TUSSEN GEERTRUIDENBERG EN EINDHOVEN

Th.M. Lexmond

November 1983

Sectie Bodemhygiëne en Bodemverontreiniging  
Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding  
Landbouwhogeschool

De Dreijen 3  
6703 BC Wageningen

## Woord vooraf

Dit verslag is in hoofdzaak gewijd aan een onderzoek naar het voorkomen van zink, cadmium en lood in de bodem nabij enkele hoogspanningsmasten, dat in opdracht van de N.V. Samenwerkende Electriciteits-Productiebedrijven te Arnhem is uitgevoerd tussen maart en oktober 1983.

Voorafgaand aan de bespreking daarvan wordt bij wijze van inleiding in hoofdstuk 1 een overzicht gegeven van de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek, die de aanleiding vormden tot dit onderzoek. In hoofdstuk 2 wordt de gevolgde werkwijze beschreven en worden de resultaten besproken. Het in paragraaf 2.5.3.2 beschreven model voor de invloed van de wind op de verspreiding van zink moet worden beschouwd als een eerste benadering, welke nog een nadere uitwerking behoeft. Een dergelijke uitwerking valt echter buiten het bestek van de opdracht.

Samenvatting	1
1 <u>Ter inleiding: overzicht van de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek.</u>	2
1.1 Aanleiding tot het onderzoek en bespreking van de resultaten.	2
1.2 Conclusies.	10
1.3 Verwijzingen.	10
2 <u>Zinkverontreiniging van de bodem rondom hoogspanningsmasten.</u>	12
2.1 Inleiding.	12
2.2 Doelstelling.	12
2.3 Wijze van uitvoering.	12
2.3.1 Bemonstering.	13
2.3.2 Voorbehandeling en analyse van de monsters.	14
2.3.3 Berekening van de metaalvoorraad in de bodem.	15
2.4 Resultaten van de analyses.	17
2.5 Bespreking van de resultaten.	17
2.5.1 Verticale verspreiding van zink.	17
2.5.2 Belasting van de bodem met zink, cadmium en lood.	19
2.5.3 Verspreiding van zink in horizontale richting.	21
2.5.3.1 Verband tussen de zinkvoorraad en de afstand tot de mast.	21
2.5.3.2 Invloed van de wind.	24
2.5.4 Gevolgen van de zinkverontreiniging voor de landbouwkundige gebruikswaarde van de grond.	28
2.6 Conclusies.	29
2.7 Verwijzingen.	30
Bijlage 1: Gehalten aan zink en organische stof (humus) en de daaruit berekende zinkvoorraden in de afzonderlijk bemonsterde lagen en in de laag van 0-60 cm. Mast 49.	
Bijlage 2: Idem. Mast 51.	
Bijlage 3: Idem. Mast 55.	
Bijlage 4: Overzicht van de resultaten van de cadmium- en loodbepalingen, de berekende voorraden aan deze metalen in de afzonderlijk bemonsterde lagen en de door optelling daarvan verkregen voorraden tot op 60 cm diepte.	
Bijlage 5: Resultaten van de niet-lineaire parameterfitting met behulp van SIMPLEX-optimalisering van het verband tussen de zinkvoorraad en de afstand tot de voet van de mast.	

## Samenvatting

Grondmonsters genomen onder en rondom drie hoogspanningsmasten in de 380 kV-leiding tussen Geertruidenberg en Eindhoven werden onderzocht op hun gehalte aan zink, cadmium en lood. Onder de masten werd in de bovenste 60 cm van de bodem gemiddeld  $127 \text{ g Zn m}^{-2}$  aangetroffen tegen  $11,7 \text{ g Zn m}^{-2}$  op 100 m afstand tot de voet van de masten.

Rondom de masten heeft een diffuse verspreiding van de verontreiniging plaatsgevonden, waarin de invloed van de overheersende windrichting duidelijk was te herkennen. Zo werd op 10 m afstand gemiddeld  $33,7 \text{ g Zn m}^{-2}$  gevonden, maar in richtingen tussen noord en oost was dat 44,1 en in richtingen tussen zuid en west  $23,7 \text{ g Zn m}^{-2}$ . Op 20 m afstand werd gemiddeld 19,5 en op 40 m  $13,9 \text{ g Zn m}^{-2}$  gevonden.

Het zink is vermoedelijk grotendeels vrijgekomen door corrosie van het verzinkte oppervlak van de masten voordat deze voor het eerst zijn geschilderd. Omdat zink dat wordt gebruikt voor het thermisch verzinken van ijzer en staal, cadmium en lood kan bevatten, is nagegaan of de zinkverontreiniging gepaard gaat aan verhoogde gehalten aan deze metalen in de grond. Dat bleek niet het geval te zijn.

Het zinkgehalte van de grond onder en in de directe omgeving van de masten is dermate verhoogd, dat vergiftiging kan optreden van gevoelige gewassen. De intensiteit daarvan en de afmetingen van het gebied waarin zich schade kan voordoen, zullen echter in belangrijke mate worden bepaald door eigenschappen van de grond.

Er is een aanzet gegeven tot de formulering van een model voor de verspreiding van de verontreiniging onder invloed van de wind. Combinatie van dit model met een relevante dosis-effect-relatie zal het mogelijk maken om door chemisch onderzoek van een beperkt aantal grondmonsters een verantwoorde schatting te maken van het effect van de aanwezigheid van een hoogspanningsmast op de landbouwkundige gebruikswaarde van de grond er omheen.

1. Ter inleiding: overzicht van de resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek.

1.1 Aanleiding tot het onderzoek en bespreking van de resultaten.

Naar aanleiding van een klacht over schade aan stamslabonen, die zou zijn opgetreden als gevolg van het verven van een hoogspanningsmast, is door de Afdeling Geotechniek van de Grontmij in opdracht van de Provinciale Noordbrabantse Elektriciteits-Maatschappij (PNEM) nagegaan, of de slechte groei van de planten in verband was te brengen met een door de schilderwerkzaamheden veroorzaakte verontreiniging van de bodem.

De mast waarop de klacht betrekking had, is nummer 46 in de 380 kV-leiding tussen Geertruidenberg en Eindhoven. Deze mast staat op ca. 1 km ten westnoordwesten van De Moer (gemeente Loon op Zand). De bodem ter plaatse bestaat uit leemarm, matig fijn zand. De humushoudende bovengrond is ca. 40 cm dik en matig humeus, de ondergrond is humusarm.

In het kader van dat onderzoek zijn analyses verricht aan grondmonsters uit de lagen 0-20 en 20-40 cm beneden maaiveld, die waren genomen bij de mast en op een plaats onder de draden waar geen beïnvloeding door het verven kon hebben plaatsgevonden. Er bleek geen sprake te zijn van verontreiniging met vluchtige, organische verbindingen (waaronder oplosmiddelen); de gevonden gehalten verschilden niet duidelijk tussen de monsters en werden in het algemeen als zeer laag aangemerkt. Wel duidelijk verschillend waren de zinkgehalten. In de bij de mast genomen monsters werd vijf maal zoveel zink aangetroffen als in de referentiemonsters (tabel 1). De vermelde waarden zijn hoog tot zeer hoog in vergelijking met de normaal in zandgronden gevonden waarden van 10 tot 60 mg kg<sup>-1</sup> (Van Driel en Smilde, 1982). Ten aanzien van het loodgehalte bestond er nagenoeg geen verschil tussen de monsters (tabel 1). De opgegeven waarden zijn echter aan te merken als sterk verhoogd ten opzichte van de normale waarden voor zandgronden, welke niet hoger zijn dan 40 mg kg<sup>-1</sup> (Van Driel en Smilde, 1982).

Ter aanvulling van dit onderzoek werd door de Grontmij het loodgehalte bepaald van grondmonsters genomen van een perceelsgedeelte dat geheel buiten de invloed van de mast en de draden is gelegen. De in de lagen 0-20 en 20-40 cm aangetroffen gehalten bedroegen respectievelijk 25 en 23,5 mg kg<sup>-1</sup>, vrijwel een factor 10 lager dan voor de eerder onderzochte plaatsen was opgegeven.

Tabel 1. Zink- en loodgehalte van grond bemonsterd nabij en op grotere afstand tot mast 46 (Grontmij, 1982a).

Herkomst van het monster		Gehalte (mg kg <sup>-1</sup> )	
Plaats	Diepte (cm)	Zink	Lood
Nabij de mast	0-20	425	221
Nabij de mast	20-40	520	188
Op grotere afstand	0-20	105	280
Op grotere afstand	20-40	82	184

Ter verklaring van het verhoogde zinkgehalte nabij de mast werd gewezen op de mogelijkheid, dat het zink afkomstig is van het verzinkte staal waaruit de mast is opgebouwd. Door corrosie van niet met verf bedekt, verzinkt materiaal worden zinkionen vrijgemaakt, die vervolgens door de neerslag worden afgespoeld en aldus op de begroeiing en de bodem terecht komen. Dit kan leiden tot zinkvergiftiging van planten, zoals bijvoorbeeld is aangetoond door Meyer en Goedewaagen (1940).

Voor het verschil in loodgehalte tussen de bij de mast en onder de draden genomen monsters enerzijds en anderzijds de monsters van het perceelsgedeelte buiten de invloed van mast en draden, kon geen verklaring worden gegeven. Beïnvloeding door de elektriciteitsdraden werd niet waarschijnlijk geacht, aangezien deze bestaan uit aluminium en staal. Wel werd de mogelijkheid geopperd, dat variaties in het lutumgehalte van de grond voor het verschil verantwoordelijk zouden zijn. De bodemopbouw van het in het aanvullend onderzoek bemonsterde perceelsgedeelte verschilde echter niet opvallend van die van de eerder bemonsterde plaatsen (Grontmij, 1982b). Bovendien bedraagt het loodgehalte van lutumrijke gronden in Nederland gewoonlijk niet meer dan 50 mg kg<sup>-1</sup> (Van Driel en Smilde, 1982), zodat waarden van 180-280 mg kg<sup>-1</sup> ook voor dat soort gronden als abnormaal hoog moeten worden beschouwd.

De resultaten van het door de Grontmij uitgevoerde onderzoek vormden voor de PNEM aanleiding het Bedrijfslaboratorium van Grond- en Gewasonderzoek op te dragen een vergelijkend onderzoek te verrichten bij mast 46 en elders onder de 380 kV-leiding. Besloten werd op vier percelen na te gaan of er sprake was van een beïnvloeding door mast of draden van de gehalten van de grond aan zink, lood, cadmium en koper. De andere in het onderzoek betrokken masten (de nummers 39, 42 en 48) staan evenals mast 46 in de omgeving van De Moer op leemarme of zwak lemige, matig fijne zandgronden.

De resultaten van de door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewas- onderzoek uitgevoerde analyses zijn vermeld in tabel 2. Het zinkgehalte van de bij de masten genomen monsters is duidelijk verhoogd ten opzichte van dat in de andere monsters en ten opzichte van wat normaal in zandgronden wordt aangetroffen. De gehalten aan lood, cadmium en koper zijn niet beïnvloed door de hoogspanningsleiding. Afgezien van het kopergehalte van de monsters die op perceel 3 waren genomen, liggen alle waarden in het traject dat als normaal geldt. De verhoogde kopergehalten van perceel 3 kunnen het gevolg zijn van het gebruik van koperhoudende meststoffen en bestrijdingsmiddelen. Overigens zijn ze niet zo hoog, dat daarvan problemen, van welke aard dan ook, te verwachten zijn.

Vergelijking van deze resultaten met die van de Grontmij laat overeenstemming zien in de verhoging van het zinkgehalte van de grond onder invloed van de masten. Ze tonen aan, dat het zink afkomstig is van de masten, dan wel van werkzaamheden die samenhangen met de plaatsing of de aanwezigheid ervan.

Uit informatie van de PNEM is gebleken, dat de masten zijn opgebouwd uit staal, waarop langs thermische weg een zinklaag van 100 tot 120  $\mu\text{m}$  dikte is opgebracht. De totale oppervlakte van de masten bedraagt ca. 1300  $\text{m}^2$ , zodat per mast 0,13 tot 0,16  $\text{m}^3$  zink met een massa van 900-1100 kg is gebruikt. De masten zijn gebouwd in de jaren 1967-68. In de jaren 1973-74 zijn ze wegens beginnende roest voor het eerst geschilderd (mond. med. P. Timmermans). Het lijkt waarschijnlijk, dat de zinkverontreiniging voornamelijk tot stand is gekomen in de periode van zes jaar waarin het gehele verzinkte oppervlak heeft blootgestaan aan de corroderende werking van de atmosfeer. Het is echter niet uit te sluiten, dat ook na die tijd nog zink is vrijgekomen.

Tabel 2. Gehalten aan een aantal zware metalen van monsters uit de bouwvoor van vier percelen, genomen op drie, ten opzichte van de hoogspanningsleiding verschillend gesitueerde plaatsen (Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek, 1983).

Herkomst van het monster			Gehalte (mg kg <sup>-1</sup> )				
Perceel	Plaats	Diepte (cm)	Zink	Lood	Cadmium	Koper	
1	Mast 39	0-20	151,5	20,5	0,18	7,7	
	Lijn 39-40	0-20	18,0	13,7	0,21	6,9	
	Buiten de lijn	0-20	18,9	10,3	0,17	6,9	
2	Mast 42	0-20	220,7	13,2	0,31	9,6	
	Lijn 42-41	0-20	39,3	8,8	0,21	7,3	
	Buiten de lijn	0-20	23,3	9,1	0,21	7,4	
3	Mast 46	0-25	116,0	15,0	0,20	13,9	
	Lijn 46-47	0-25	37,6	13,6	0,20	13,0	
	Buiten de lijn	0-25	37,0	18,7	0,27	20,0	
4	Mast 48	0-20	187,7	14,1	0,21	6,9	
	Lijn 48-49	0-20	35,	14,4	0,24	5,6	
	Buiten de lijn	0-20	27,3	13,0	0,19	6,5	
Normale gehalten in Nederlandse zandgronden (Van Driel en Smilde, 1982)			:	10-60	<40	0,1-0,5	<12

Wat lood betreft zijn de resultaten van het Bedrijfslaboratorium en de Grontmij duidelijk met elkaar in strijd. Gelet op de opzet van beide onderzoeken moet echter meer waarde worden toegekend aan de bevindingen van het Bedrijfslaboratorium. Mede gezien de resultaten van het aanvullende onderzoek van de Grontmij dringt zich de vraag op, of de in het eerste rapport vermelde waarden wellicht een factor tien te hoog zijn opgegeven.



Naast het hierboven beschreven onderzoek is door de vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer (sinds 1 mei 1983 Bodemkunde en Plantevoeding) van de Landbouwhogeschool nagegaan, of de bij mast 46 geconstateerde groeiremming bij stamslabonen het gevolg was van zinkvergiftiging. Het verzoek hiertoe was afkomstig van het Consulentenschap in algemene dienst voor Bodemaangelegenheden in de Tuinbouw, onderdeel van de Landbouwvoorlichtingsdienst. Het onderzoek werd uitgevoerd in het najaar van 1982, op een tijdstip waarop het onderzoek door het Bedrijfslaboratorium nog moest plaatsvinden. Omdat de door de Grontmij geconstateerde verhoging van het zinkgehalte op dat moment nog niet was bevestigd, werd allereerst nagegaan of er werkelijk sprake was van zinkverontreiniging. Hiertoe werd een aantal grondmonsters van verschillende herkomst onderzocht op het gehalte aan zink. Hierbij werd gebruik gemaakt van een extractie met verdund salpeterzuur, waardoor een groot deel van het in de grond aanwezige zink in oplossing wordt gebracht (Bosmans en Paenhuys, 1980). De resultaten zijn samengevat in tabel 3. Ze bevestigen het bestaan van de zinkverontreiniging.

Uiterlijke kenmerken van planten bieden geen mogelijkheden om te beoordelen of het achterblijven van de groei te wijten is aan zinkvergiftiging. In het algemeen zijn de symptomen die zich in het gewas voordoen niet specifiek, wat inhoudt dat ze verschillende andere oorzaken kunnen hebben, zoals bijvoorbeeld aantasting van het wortelstelsel door in de bodem levende, ziekteverwekkende organismen en gebrek aan bepaalde voedingselementen. Daarom wordt de diagnose gewoonlijk gebaseerd op de resultaten van chemisch grondonderzoek en gewasanalyse.

Tabel 3. Gehalte aan zink, extraheerbaar met 0,43 M HNO<sub>3</sub>, van grondmonsters genomen uit de laag 0-20 cm op ten opzichte van masten verschillend gesitueerde plaatsen.

Herkomst van het monster		Zinkgehalte (mg kg <sup>-1</sup> )
Mast 46	Onder de mast	260
	5 tot 10 m van de mast, onder de draden	102
	50 m van de mast, onder de draden	22
	50 m van de mast, buiten de draden	26
Mast 48	Onder de mast	268
	30 m van de mast, buiten de draden	15

Het zinkgehalte van grond waarboven schade aan gevoelige gewassen kan worden verwacht, is afhankelijk van de mate waarin de grond bestanddelen bevat waaraan het zink in een voor planten onschadelijke vorm kan worden gebonden. Ook de zuurgraad van de grond speelt in dit verband een belangrijke rol. Naarmate de grond zuurder is (de pH lager is), neemt de effectiviteit waarmee het zink door de grond wordt gebonden af en daalt het zinkgehalte dat aanleiding geeft tot toxische effecten op planten.

Volgens Smilde (1983) kan schade optreden bij zinkgehalten hoger dan 100 tot 350 mg kg<sup>-1</sup>. De laagste waarden van dit traject hebben betrekking op humusarme en matig humeuze zandgronden, de hoogste op gronden met een hoog gehalte aan humus of lutum. De onder de masten aangetroffen gehalten blijken dus hoog genoeg om zinkvergiftiging te veroorzaken, zeker wanneer in aanmerking wordt genomen dat met het verdunde salpeterzuur niet al het zink uit de grond is vrijgemaakt.

Voor de beoordeling van de mogelijke giftigheid van de onder en bij de mast aangetroffen zinkgehalten kan ook een vergelijking worden gemaakt met de resultaten van een studie naar het optreden van zinkvergiftiging in grond uit de omgeving van een zinksmelterij (Smilde et al., 1974; Van Luit et al., 1976). In dat onderzoek werd de zinktoestand van de grond gekarakteriseerd door de bepaling van de hoeveelheid zink die uit de grond was vrij te maken met een waterige oplossing van ammoniumacetaat (1 M; pH 7,0). De groei van stamslabonen bleek sterk achter te blijven bij een extraheerbaar zinkgehalte van 30 mg kg<sup>-1</sup> in een tot pH-KCl 5,3 bekalkte, humeuze zandgrond. Tabel 4 geeft de overeenkomstige analyseresultaten voor de bij mast 46 genomen monsters.

Uit de onderlinge vergelijking volgt dat het onder de mast genomen monster als giftig voor stamslabonen moet worden beschouwd. De aard van het door Smilde et al. (1974) uitgevoerde onderzoek laat niet toe een grenswaarde aan te geven waaronder geen toxische effecten te verwachten zijn. Het is daardoor niet duidelijk of het op 5 tot 10 m van de mast genomen monster nu wel of geen toxische hoeveelheid zink bevat. De op 50 m van de mast genomen monsters bevatten echter zoveel minder zink, dat daarvan geen schade behoeft te worden verwacht.

Tabel 4. Gehalte aan zink, extraheerbaar met ammoniumacetaat, organische stofgehalte en pH-KCl van de bij mast 46 genomen monsters (laag 0-20 cm).

Herkomst van het monster	Gehalte		pH-KCl
	Zink mg kg <sup>-1</sup>	Org. stof g kg <sup>-1</sup>	
Onder de mast	70	35	5,6
5 tot 10 m van de mast, onder de draden	22	32	5,3
50 m van de mast, onder de draden	2,6	37	4,7
50 m van de mast, buiten de draden	2,4	37	5,4
Omgeving zinksmelterij; toxisch voor stamslabonen (Smilde et al., 1974)	30	59	5,3

Gewasanalyse vormt een ander, veelvuldig toegepast hulpmiddel bij het diagnostiseren van vergiftiging door zware metalen. Om gewasmateriaal te verkrijgen werden enkele proefvlakjes ingezaaid met spinazie. De keus viel op dat gewas, omdat het te laat in het seizoen was om nog stamslabonen in te zaaien en omdat verwacht werd, dat het evenals de stamslaboon gevoelig is voor zinkovermaat. Vanwege een verwachte nachtvorst moesten de kiemplanten al na enige weken worden geoogst. De droge stofopbrengst en het zinkgehalte van de bovengrondse plantedelen zijn vermeld in tabel 5.

De opbrengst neemt af naarmate de afstand tot de mast kleiner wordt. In die richting neemt het zinkgehalte van de planten toe.

Tabel 5. Droge stofopbrengst en zinkgehalte van spinaziezaailingen op verschillende afstand tot mast 46.

Ligging van het proefvlak	Droge stofopbrengst g m <sup>-2</sup>	Zinkgehalte mg kg <sup>-1</sup>
Onder de mast	1,78	840
5 m van de mast	5,50	553
50 m van de mast	7,13	285

Gewassen groeien nog ongestoord wanneer het zinkgehalte van de bovengrondse delen niet hoger is dan 100 tot 300 mg kg<sup>-1</sup> (Smilde, 1983). Bij gehalten hoger dan 400 mg kg<sup>-1</sup> valt schade door zinkvergiftiging te verwachten. Zo vond Henkens (1961) in zaailingen van de aan spinazie verwante biet 236 mg kg<sup>-1</sup> bij gezonde, zich goed ontwikkelende planten en 479 mg kg<sup>-1</sup> bij planten die door zinkvergiftiging in hun groei werden geremd. De lagere droge stofproductie van de spinazieplanten onder en op 5 m van de mast valt derhalve toe te schrijven aan zinkvergiftiging.

Hoewel dit type beoordelingsonderzoek daarvoor geen sluitend bewijs kan leveren, kan op basis van de resultaten van het chemische grondonderzoek en de gewasanalyse toch met een grote mate van waarschijnlijkheid worden gesteld, dat de slechte groei van de stamslabonen in de omgeving van mast 46 het gevolg is geweest van de daar aangetroffen zinkverontreiniging.

Het is opmerkelijk, dat de schade zich pas heeft voorgedaan na de uitvoering van schilderwerkzaamheden, omdat mag worden verwacht, dat de zinkverontreiniging voornamelijk tot stand is gekomen in de periode tussen 1967-68 en 1973-74, waarin de mast nog niet geschilderd was. De mogelijkheid bestaat, dat de na het verven verbouwde stamslabonen gevoeliger zijn voor zinkovermaat dan de gewassen die daarvoor werden verbouwd. Een andere mogelijkheid is, dat de pH van de grond, die in ieder bouwplan fluctuaties vertoont doordat niet ieder jaar wordt bekalkt, tijdens de groei van de bonen relatief laag was, in ieder geval lager dan bij voorgaande bonenteelten, waardoor nu wel schade optrad waar dat voorheen niet gebeurde. In beide gevallen is er sprake van een toevallige samenloop van omstandigheden, waardoor schade en schilderwerkzaamheden met elkaar in verband zijn gebracht. Het is echter niet uit te sluiten, dat een aanzienlijk deel van de zinkbelasting van de bodem tijdens de schilderwerkzaamheden heeft plaatsgevonden. Hierbij moet dan worden gedacht aan het schuren of afschrappen van het mastoppervlak voorafgaand aan het opbrengen van een nieuwe verflaag.

## 1.2 Conclusies.

Het besproken onderzoek overziend, kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- De bodem onder en in de omgeving van masten in de 380 kV-leiding tussen Geertruidenberg en Eindhoven is verontreinigd met zink.
- Het zinkgehalte van de grond onder en in de onmiddellijke omgeving van de masten is zo hoog, dat schade door zinkvergiftiging kan optreden in daarvoor gevoelige gewassen zoals stamslabonen en spinazie.
- Er zijn geen aanwijzingen verkregen waaruit zou blijken, dat de aanwezigheid van de hoogspanningsleiding heeft geleid tot verontreiniging van de bodem met lood, cadmium en koper.
- Er is geen oorzakelijk verband vastgesteld tussen het optreden van schade aan stamslabonen en de uitvoering van schilderwerkzaamheden aan de hoogspanningsmast. Het is waarschijnlijk dat de verontreiniging voornamelijk het gevolg is van corrosie van het verzinkte oppervlak van de masten, die is opgetreden vóórdat de masten voor het eerst werden geschilderd. Een invloed van de schilderwerkzaamheden kan echter niet geheel worden uitgesloten.

## 1.3 Verwijzingen.

Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (1983).

Analyseverslagen met betrekking tot de onderzoeknummers X 776966/68 en X 784066/74.

Bosmans, H. en J. Paenhuys (1980). The distribution of heavy metals in the soils of the Kempen. *Pedologie* 30, 191-223.

Grontmij (1982a). Resultaten onderzoek bodemverontreiniging perceel P. Hamers, Middelstraat 68, De Moer (gemeente Loon op Zand). Rapport Afdeling Geotechniek 82/2543 juli 1982.

Grontmij (1982b). Resultaten aanvullend onderzoek bodemverontreiniging perceel P. Hamers, Middelstraat 68, De Moer (gemeente Loon op Zand). Rapport Afdeling Geotechniek 82/2543 oktober 1982.

Henkens, Ch.H. (1961). Zinkovermaat op bouwland. *Landbouwk. Tijdschrift* 73, 917-926.

- Meyer, C. en M.A.J. Goedewaagen (1940). Een geval van zinkvergiftiging door het gebruik van verzinkt ijzergaas. Landbouwk. Tijdschr. 52, 17-19.
- Smilde, K.W. (1983). Zware metalen in grond en gewas. Voordracht bijeenkomst bodemkundige specialisten verbonden aan het Consultantschap voor Bodem-aangelegenheden in de Tuinbouw, Wageningen, 12 oktober 1983.
- Smilde, K.W., P. Koukoulakis en B. van Luit (1974). Crop response to phosphate and lime on acid sandy soils high in zinc. Plant Soil 41, 445-457.
- Van Driel, W. en K.W. Smilde (1982). Heavy-metal contents of Dutch arable soils. Landwirtsch. Forsch. Sonderheft 38, 305-313.
- Van Luit, B., H.E. van Caem en J.G. Dapper (1976). Het effect van fosfaat en kalk bij verschillende gewassen op met zink verontreinigde zandgrond. Bedrijfsontwikkeling 7, 467-471.

## 2. Zinkverontreiniging van de bodem rondom hoogspanningsmasten.

### 2.1 Inleiding.

Naar aanleiding van de constatering dat de bodem onder en rondom hoogspanningsmasten in de 380 kV-leiding tussen Geertruidenberg en Eindhoven is verontreinigd met zink (hoofdstuk 1), is een gedetailleerd onderzoek ingesteld naar de verspreiding van deze verontreiniging. Het onderzoek vond plaats met financiële steun van de N.V. Samenwerkende Electriciteits-Productiebedrijven (SEP) te Arnhem, eigenaresse van de hoogspanningsleiding. Op verzoek van de SEP is tevens nagegaan of de zinkverontreiniging gepaard gaat aan verontreiniging van de bodem met cadmium en lood, zulks ter verificatie van de bevindingen van het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek die in hoofdstuk 1 zijn besproken.

### 2.2 Doelstelling.

Het onderzoek was erop gericht,

- vast te stellen in welke mate de bodem rondom hoogspanningsmasten is verontreinigd met de zware metalen zink, cadmium en lood;
- vast te stellen hoe de verontreiniging ruimtelijk is gedistribueerd;
- na te gaan of, en zo ja in welke mate, de verspreiding van de verontreiniging samenhangt met de windrichting en de vorm van de masten.

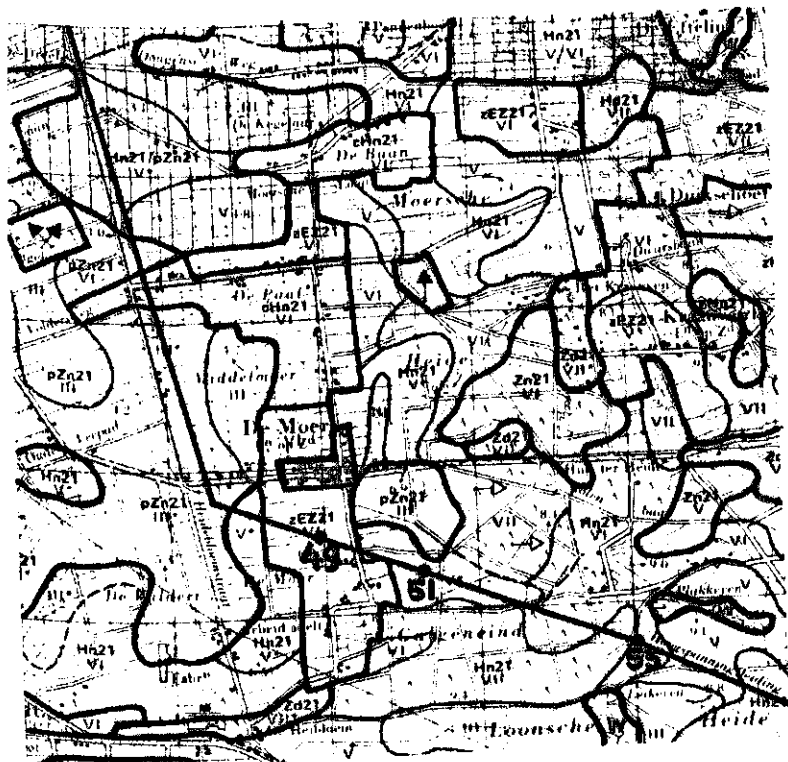
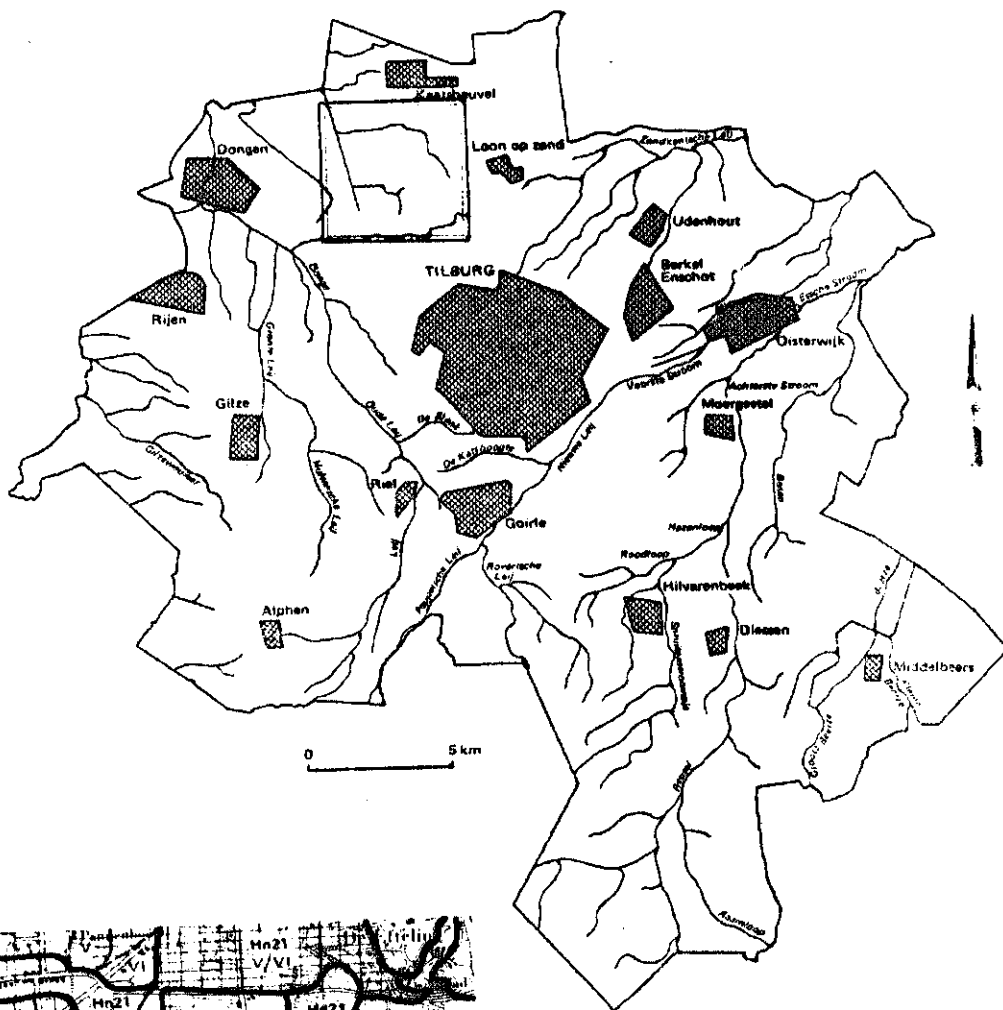
Het uiteindelijke doel is de beoordeling van de verontreiniging naar haar consequenties voor de landbouwkundige gebruiksmogelijkheden van de bodem.

### 2.3 Wijze van uitvoering.

Het onderzoek werd verricht aan de masten 49, 51 en 55 in de 380 kV-leiding tussen Geertruidenberg en Eindhoven. Deze masten bevinden zich ten zuiden en zuidoosten van De Moer (gemeente Loon op Zand). Hun positie en een deel van het tracé van de hoogspanningsleiding in de omgeving van De Moer zijn aangegeven in figuur 1.

De masten 49 en 51 zijn draagmasten van het type afgebeeld in figuur 2. Ze zijn vrijwel 60 m hoog en hebben een verzinkt oppervlak dat ca.  $1300 \text{ m}^2$  groot is. Mast 55 is een hoekmast van hetzelfde type, maar met iets andere afmetingen. Zijn hoogte is ca. 57 m, zijn poten staan wat verder uit elkaar dan bij de draagmasten en de omvang van het verzinkte oppervlak bedraagt ca.  $1570 \text{ m}^2$ .

Het terrein rond de masten 49 en 51 is vlak. Mast 55 staat op de oostelijke rand van een dekzandrug, waardoor het maaiveld vanaf de mast enigszins helt in oostelijke richting.

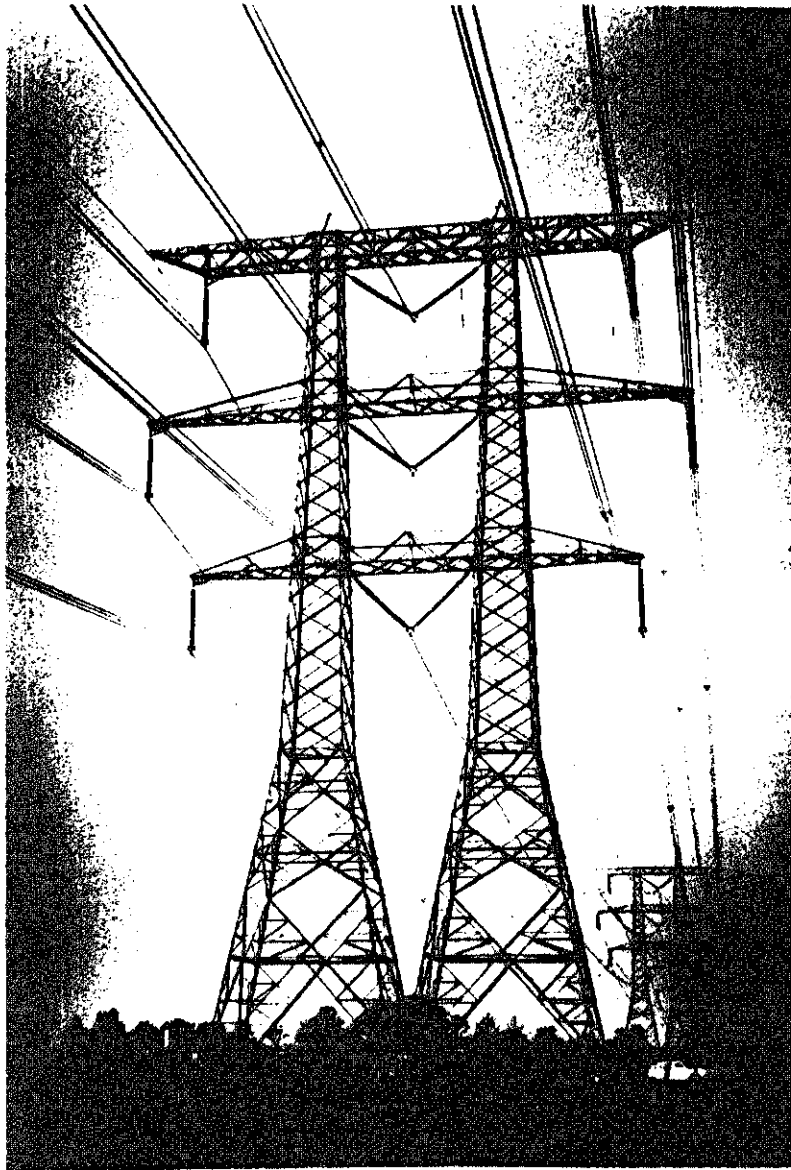


Figuur 1. Onder. Tracé van de 380 kV-leiding nabij De Moer en positie van de onderzochte masten.

Boven. Ligging van het kaartvlak in het stadsgewest Tilburg.

Kaarten ontleend aan Dekkers en Kanters (1980).

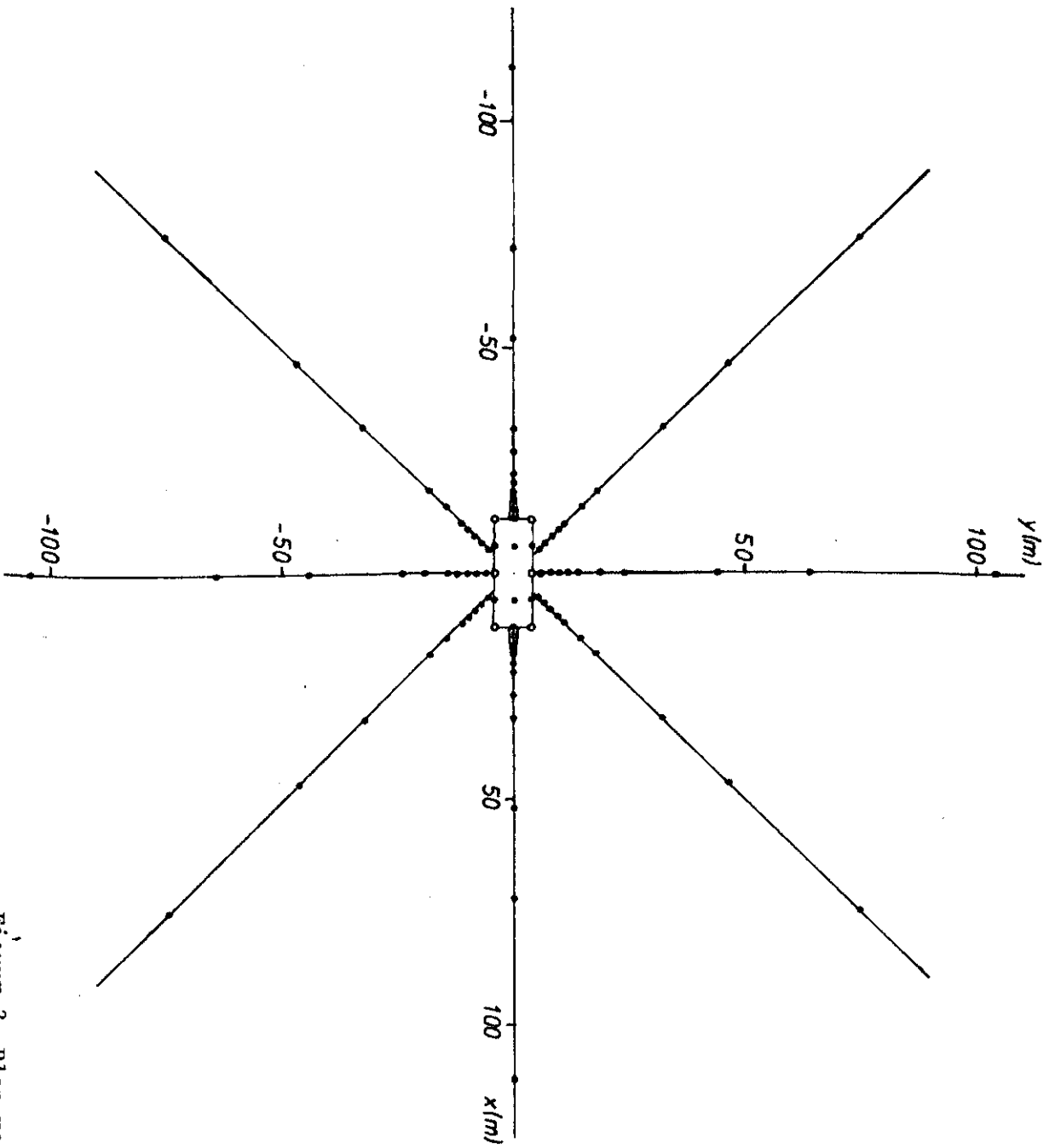




Figuur 2. Draagmast in de 380 kV-leiding tussen Geertruidenberg en Eindhoven.

### 2.3.1 Bemonstering.

Met het middelpunt van het grondvlak van de mast als uitgangspunt werden acht raaien uitgezet; de eerste twee in het verlengde van de lange as van de normale projectie, de volgende twee loodrecht daarop. De laatste vier raaien werden uitgezet onder hoeken van  $45^{\circ}$  met de eerste vier. Langs iedere raai werden in beginsel tien punten gemarkeerd op respectievelijk 2,4,6,8,10,15,20, 40,60 en 100 m van het snijpunt van de betreffende raai met de lijn die aan de buitenzijde van de stalen constructie over de betonnen voeten werd getrokken (figuur 3). Incidenteel moest hiervan worden afgeweken, omdat het geplande punt in of vlak naast een sloot lag. Het punt werd dan zodanig verschoven, dat de



Figuur 3. Plan van de monstername.

afstand tot de sloot minimaal 3 m bedroeg. Bij het bereiken van met bomen begroeid terrein werden de raaien afgebroken. Deze situatie deed zich voor aan de westzijde van mast 49, waar zich een jonge aanplant van fijnsparren bevond, en aan de noord- en de zuidwestzijde van mast 55, waar zich bos bevond. In beide gevallen moesten drie raaien in meer of minder mate worden ingekort.

De bemonstering werd uitgevoerd met een set van drie gutsvormige boren met een vaste werkzame lengte van 20 cm en een afnemende diameter. Elk monster werd samengesteld uit drie steken, die op onderlinge afstanden van ca. 15 cm rondom het gemarkeerde punt werden genomen. Per punt werden de overeenkomstige lagen van de drie steken samengevoegd, zodat drie mengmonsters werden verkregen van respectievelijk de lagen 0-20, 20-40 en 40-60 cm beneden maaiveld.

Om ook een indruk te krijgen van de mate van verontreiniging onder de mast, werden op dezelfde wijze monsters genomen midden onder de twee staanders en aan de randen van het grondvlak tussen de betonnen voeten.

Bij de masten 49 en 51 werden alle monsters genomen van grasland. Bij mast 55 lagen vier raaien (aangeduid als D, E, F en G) op een perceel bouwland dat was ingezaaid met winterrogge, twee raaien (B en C) op een braakliggend perceel waarop snijmais was verbouwd en twee raaien (A en H) op grasland. De bodem onder mast 55 was niet in landbouwkundig gebruik.

### 2.3.2 Voorbehandeling en analyse van de monsters.

De monsters werden bij kamertemperatuur aan de lucht gedroogd in geventileerde kasten en daarna door een roestvrijstalen zeef met een maaswijdte van 2 mm gevoerd om zodoende planteresten te verwijderen. Van de fractie < 2 mm werden met de hand deelmonsters genomen voor verdere bewerking.

Voor de bepaling van het zinkgehalte werd de luchtdroge grond gedestruëerd met Fleischmanns zuur (een mengsel van geconcentreerd salpeterzuur en geconcentreerd zwavelzuur in een volumeverhouding van 1:1). De na deze behandeling nog aanwezige organische stof werd geoxydeerd met waterstofperoxyde. Het destruaat werd opgekookt met water en na afkoelen aangevuld en gefiltreerd. De zinkconcentratie in het filtraat werd gemeten met atomaire absorptiespectrofotometrie (AAS).

Voor de bepaling van de gehalten aan cadmium en lood werd de luchtdroge grond geëxtraheerd met 3 M zoutzuur onder verwarming in een kokend waterbad. Het extract werd aangevuld en gefiltreerd. In een deel van het filtraat werd na toevoeging van een ontstoringsoplossing de loodconcentratie gemeten met AAS.

De cadmiumconcentratie bleek echter te laag om deze werkwijze met succes te kunnen volgen. Een ander deel van het filtraat werd daarom opgekookt met een oplossing van kaliumpermanganaat om de geëxtraheerde organische stof te oxyderen. De overmaat aan permanganaat en het gevormde mangaandioxyde werden vervolgens gereduceerd door aan de kokende vloeistof oxaalzuur toe te voegen. De standaardoplossingen werden eveneens aan deze behandeling met permanganaat en oxaalzuur onderworpen. Na afkoelen en aanvullen werd het cadmium geëxtraheerd met een oplossing van diethylammonium-N,N-diethyldithiocarbamaat in p-xyleen. Na filtratie door waterafstotend filtreerpapier werd de cadmiumconcentratie in de xyleenfase gemeten met vlamloze AAS (grafietoven) volgens de door Van Schouwenburg et al. (1980) beschreven procedure.

Het vochtgehalte van de luchtdroge grond werd bepaald door gedurende 18 uur te drogen bij 105°C. Met behulp van het vochtgehalte werden de metaalgehalten van de luchtdroge grond omgerekend naar gehalten van de stoofdroge grond.

Het organische stofgehalte werd bepaald met de gloeiverliesmethode. Stoofdroge grond werd gedurende 4-5 uur gegloeid bij 850°C, waardoor de organische stof verbrandt. Het organische stofgehalte werd gelijk gesteld aan het massaverlies van het monster. De aard van de monsters gaf geen aanleiding tot het toepassen van correcties voor de verdamping van aan en in minerale bestanddelen gebonden water, voor de ontleding van calciumcarbonaat, dan wel voor verdamping van natriumchloride (vgl. Hieltjes en Breeuwsma, 1983).

### 2.3.3 Berekening van de metaalvoorraad in de bodem.

Om het metaalgehalte van grond te kunnen omrekenen naar de voorraad in de bemonsterde laag, moet naast de dikte van de laag ook de dichtheid van de grond berekend zijn. Experimenteel kan deze worden vastgesteld aan ongestoorde grondmonsters die worden verkregen door ringen met bekende afmetingen in de grond te drukken. Nadat het monster is gedroogd bij 105°C kan de dichtheid worden berekend als het quotiënt van de massa stoofdroge grond en het volume van de monsterring.

Uit overwegingen van doelmatigheid is echter afgezien van de directe bepaling van de dichtheid. In plaats daarvan is de dichtheid afgeleid uit het organische stofgehalte van de grond. Naarmate het organische stofgehalte van de grond hoger is, is de dichtheid lager. De oorzaak daarvan wordt toegeschreven aan de lagere dichtheid van de organische stof in vergelijking met die van de minerale bestanddelen van de vaste fase en aan de lossere pakking van de grond die door de organische stof mogelijk wordt gemaakt (Hoekstra en Poelman, 1982).

Door de Landbouwvoorlichtingsdienst wordt een getabelleerd verband gehanteerd tussen het organische stofgehalte en de dichtheid van zandgronden (Anonymus, 1967), dat echter uitsluitend betrekking heeft op bovengronden. Uit onderzoek van Hoekstra en Poelman (1982) is onlangs gebleken, dat er bij gelijk organische stofgehalte slechts geringe verschillen bestaan tussen de dichtheid van boven- en ondergrond. De tabel is daarom ook gebruikt voor de berekening van de dichtheid van de grond in de lagen 20-40 en 40-60 cm beneden maaiveld.

Om de interpolatie van de getabelleerde waarden te vergemakkelijken werd een lineaire regressievergelijking berekend voor de relatie:

$$\frac{1}{\rho_b} = a + bH \quad (1)$$

waarin  $\rho_b$  de dichtheid van de grond ( $\text{Mg m}^{-3}$ )  
en  $H$  het organische stofgehalte (gew.%)

Een zeer goed resultaat werd bereikt door twee trajecten te onderscheiden in het organische stofgehalte:

$$1 \leq H \leq 5, \text{ waarvoor } \frac{1}{\rho_b} = 0,595 + 0,031 H \quad (2)$$

$$4,5 \leq H \leq 9, \text{ waarvoor } \frac{1}{\rho_b} = 0,629 + 0,024 H \quad (3)$$

Vergelijking (2) werd toegepast op monsters met een organische stofgehalte hoger dan 0,8, maar lager dan 4,6 gew.%; vergelijking (3) op monsters met een organische stofgehalte hoger dan of gelijk aan 4,6, maar lager dan 9,0 gew.%. De dichtheid van twee monsters met een hoger organische stofgehalte werd direct afgelezen bij de dichtstbij gelegen getabelleerde waarde. Voor de dichtheid van monsters met een organische stofgehalte van 0,8 gew.% of lager werd een waarde van  $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$  aangenomen.

Met behulp van de aldus geschatte dichtheid en het gegeven dat de dikte van de bemonsterde lagen steeds 20 cm bedroeg, werd het metaalgehalte van de grond omgerekend naar de metaalvoorraad in de betreffende laag. Door de voorraden in de drie afzonderlijk bemonsterde lagen bij elkaar op te tellen werd de totale voorraad in de laag van 0-60 cm verkregen.

## 2.4 Resultaten van de analyses.

De aangetroffen gehalten aan zink en organische stof, de daaruit berekende zinkvoorraad in de afzonderlijke lagen en tot op 60 cm diepte worden vermeld in de bijlagen 1-3. De resultaten van de cadmium- en loodbepalingen en de daaruit berekende voorraden worden vermeld in bijlage 4.

## 2.5 Bespreking van de resultaten.

### 2.5.1 Verticale verspreiding van zink.

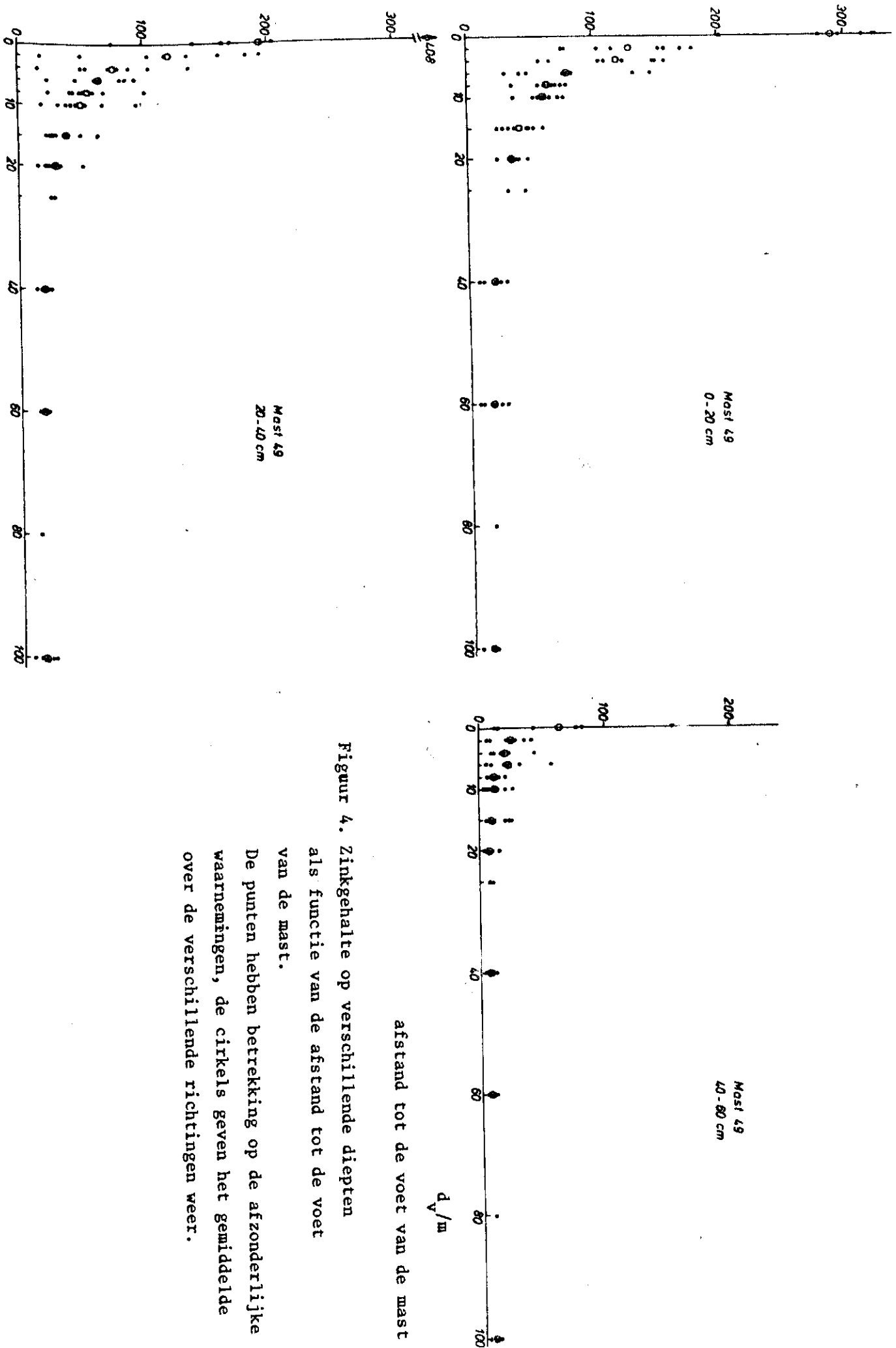
De verticale verspreiding van op de bodem gedeponeerde zware metalen is afhankelijk van de mate waarin ze zich met het bodemvocht naar de ondergrond verplaatsen, van de wijze waarop de bodem door de mens wordt bewerkt en van de activiteit van gravende bodemdieren.

De hoeveelheid die uitspoelt naar diepere lagen, wordt bepaald door de omvang van het neerslagoverschot en de concentratie van de betreffende stof in het bodemvocht. Deze concentratie wordt gereguleerd door fysisch-chemische en chemische processen, zoals adsorptie aan de vaste bodembestanddelen en de vorming van neerslagen.

Bij grondbewerking is in het bijzonder de aard van de bewerking van belang, (losmakend, mappend of kerend) en de diepte tot waar zij wordt uitgevoerd. Vooral ploegen kan een grillige verdeling veroorzaken, wanneer de zode met een daarin geaccumuleerde verontreiniging wordt gekeerd en bedekt met relatief schone ondergrond.

Wanneer informatie wordt gezocht over de mate waarin de bodem is belast met zware metalen, dan moet rekening worden gehouden met een mogelijke herverdeling in verticale richting als gevolg van deze processen en ingrepen. In de regel kan daarom niet worden volstaan met een bemonstering van de bovenste centimeters en moet een profielbemonstering worden uitgevoerd.

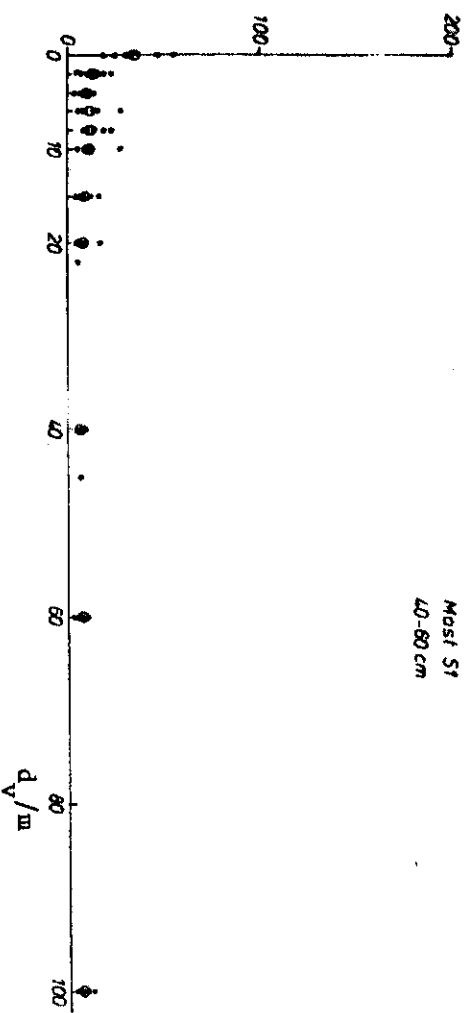
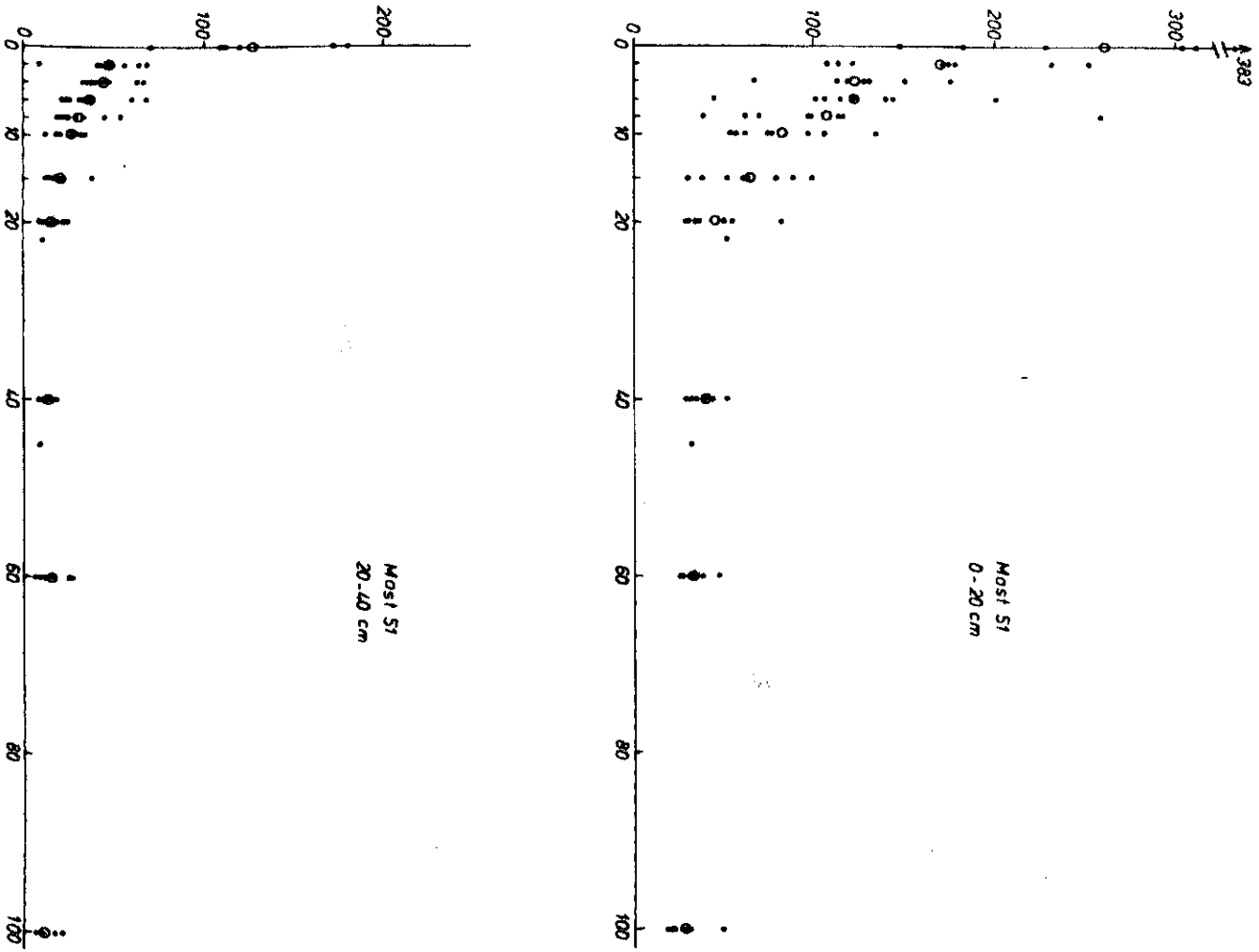
In figuur 4 wordt een overzicht gegeven van de zinkgehalten die op verschillende afstanden tot mast 49 in de afzonderlijke bodemlagen werden aangetroffen. Figuur 5 bevat de overeenkomstige resultaten voor mast 51. Op gelijke afstand blijkt het zinkgehalte in de laag 0-20 cm bij mast 51 gemiddeld hoger te zijn dan bij mast 49. Toch mag daaruit niet worden geconcludeerd dat de bodem rondom mast 51 zwaarder is belast met zink, want in de laag 20-40 cm wordt juist bij mast 49 aanmerkelijk meer zink aangetroffen dan bij mast 51.



Figuur 4. Zinkgehalte op verschillende diepten als functie van de afstand tot de voet van de mast.

De punten hebben betrekking op de afzonderlijke waarnemingen, de cirkels geven het gemiddelde over de verschillende richtingen weer.

zinkgehalte/mg kg<sup>-1</sup>



Figuur 5. Zinkgehalte op verschillende diepten als functie van de afstand tot de voet van de mast. De punten hebben betrekking op de afzonderlijke waarnemingen, de cirkels geven het gemiddelde over de verschillende richtingen aan.



Er is dus sprake van verschillen in de verticale verspreiding van het op de bodem gedeponeerde zink. Deze kunnen worden toegeschreven aan verschillen in grondbewerking, omdat bij de bemonstering was gebleken dat bij mast 49 een tamelijk diepe, kerende grondbewerking was uitgevoerd (op ca. 30 cm diepte werd namelijk een gedeeltelijk verteerde zodelaag aangetroffen), terwijl dat bij mast 51 niet het geval was geweest.

Dicht bij de masten valt ook in de laag 40-60 cm een verhoging van het zinkgehalte te constateren, welke het gevolg is van uitspoeling uit de bovengrond, omdat op die diepte geen sporen van grondbewerking waren aangetroffen. Dit doet de vraag rijzen of een hoeveelheid zink van enige betekenis wellicht op nog grotere diepte terecht is gekomen.

In tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de zinkvoorraden die op verschillende afstanden tot mast 49 zijn aangetroffen in de lagen 40-60 en 0-60 cm. Ervan uitgaande dat op 60-100 m van de mast geen aanvoer heeft plaatsgevonden van materiaal afkomstig van de mast (vgl. figuur 4), kan worden berekend, hoe groot het aandeel is van de stijging in de laag 40-60 cm in de totale toename van de voorraad over de bemonsterde diepte. Het resultaat van deze berekening (tabel 6) toont aan, dat van de totale toename van de zinkvoorraad ca. 90% wordt aangetroffen in de bovenste 40 cm van het bodemprofiel en slechts ca. 10% in de laag 40-60 cm. Het is daarom niet waarschijnlijk dat er op grotere diepte nog belangrijke hoeveelheden zink zijn aan te treffen, zodat de gekozen bemonsteringsdiepte als adequaat kan worden beschouwd.

Tabel 6. Zinkvoorraad (z) in de lagen 40-60 en 0-60 cm op verschillende afstanden tot mast 49, toename ( $\Delta z$ ) daarvan met afnemende afstand en aandeel van de toename in de laag 40-60 cm in de totale toename over 60 cm.

Afstand (m)	z (g Zn m <sup>-2</sup> )		$\Delta z$ (g Zn m <sup>-2</sup> )		$\frac{\Delta z_{40-60}}{\Delta z_{0-60}}$
	40-60	0-60	40-60	0-60	
60-100	2,3	11,6	--	--	--
20-40	2,3	17,5	0,0	5,9	0,00
15	3,4	25,2	1,1	13,6	0,08
10	3,9	33,8	1,6	22,2	0,07
8	3,7	36,5	1,4	24,9	0,06
6	6,5	46,6	4,2	35,0	0,12
4	6,1	58,6	3,8	47,0	0,08
2	7,6	76,2	5,3	64,6	0,08
0	19,3	151,8	17,0	140,2	0,12

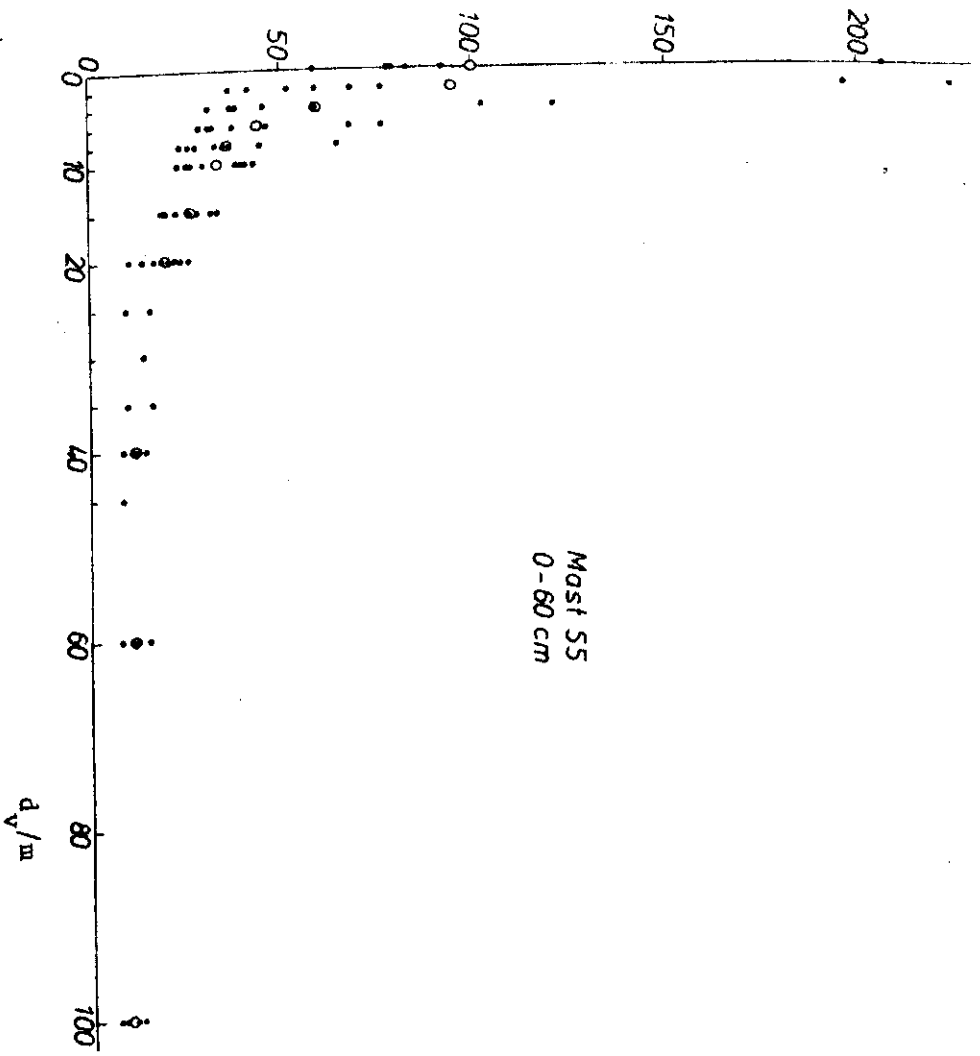
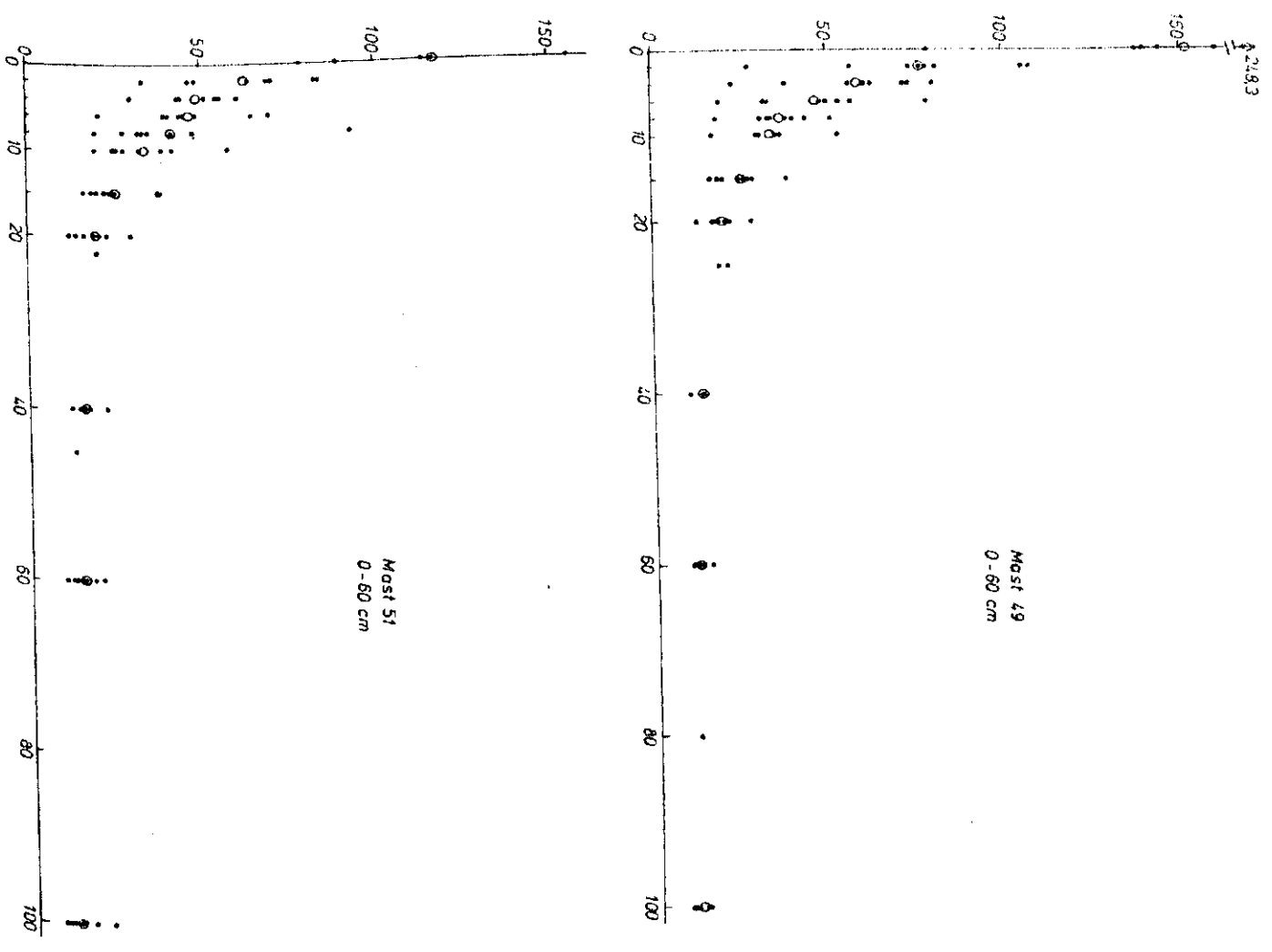
### 2.5.2 Belasting van de bodem met zink, cadmium en lood.

Het verband tussen de zinkvoorraad in de laag van 0-60 cm en de afstand tot de masten wordt getoond in figuur 6. Op zeer korte afstand worden waarden hoger dan  $100 \text{ g Zn m}^{-2}$  aangetroffen; met toenemende afstand daalt de zinkvoorraad aanvankelijk snel en later langzamer, zodat op 20 m afstand gemiddelde waarden van ca.  $20 \text{ g Zn m}^{-2}$  worden bereikt.

De belasting van de bodem met zink is het verschil tussen de op een bepaald punt aangetroffen voorraad en de oorspronkelijk aanwezige voorraad, welke slechts kan worden geschat uit de voorraad op een zodanig grote afstand tot de mast, dat daar geen beïnvloeding door de mast heeft kunnen plaatsvinden. De gemiddelde waarden op 100 m afstand bedragen voor de masten 49, 51 en 55 respectievelijk 11,0, 13,1 en 10,1  $\text{g Zn m}^{-2}$ . Gezien het feit dat ze maar weinig lager zijn dan de waarden op 60 m afstand, lijkt het gerechtvaardigd ze te beschouwen als een eerste benadering van de achtergrondwaarde, die oorspronkelijk ook in de omgeving van de mast gevonden zou zijn.

Zink dat wordt gebruikt voor het thermisch verzinken van ijzer en staal, kan - afhankelijk van de herkomst en de kwaliteit - wisselende hoeveelheden cadmium en lood bevatten. De handelskwaliteit "Prime Western", die via thermische weg wordt geproduceerd, mag volgens de normen van de ASTM (American Society for Testing and Materials) maximaal 0,20% cadmium en 1,4% lood bevatten bij een minimaal zinkgehalte van 98,0%. Deze kwaliteit en de kwaliteiten "Continuous Galvanizing Grade" (maximaal 0,35% lood, cadmiumgehalte niet gespecificeerd) en "Controlled Lead Grade" (maximaal 0,18% lood, cadmiumgehalte niet gespecificeerd) zijn vroeger veel toegepast bij het thermisch verzinken. Tegenwoordig wordt het grootste deel van het zink geproduceerd langs elektrolytische weg, waarbij de kwaliteiten "High Grade" met maximaal 0,02% cadmium en 0,03% lood en "Special High Grade" met maximaal 0,003% cadmium en 0,003% lood worden verkregen (Cammarota, 1980).

Aangezien de zinkvoorraad in de laag 0-60 cm een goede indicatie vormt voor de mate waarin de bodem is belast met van de mast afkomstig materiaal, is op basis van dat criterium een keuze gemaakt uit de bemonsterde locaties om deze te onderzoeken op de aanwezigheid van cadmium en lood. Hierbij is gestreefd naar een maximale variatie in de zinkvoorraad en een regelmatige verdeling van de waarden over het beschikbare traject. Om het achtergrondniveau vast te stellen zijn 8 locaties op een afstand van 80-100 m tot de masten onderzocht, met een variatie in de zinkvoorraad van 8,8-13,9  $\text{g Zn m}^{-2}$ .



Figuur 6. Zinkvoorraad in de bovenste 60 cm van de bodem als functie van de afstand tot de voet van de mast.

De punten hebben betrekking op de afzonderlijke waarnemingen, de cirkels geven het gemiddelde over

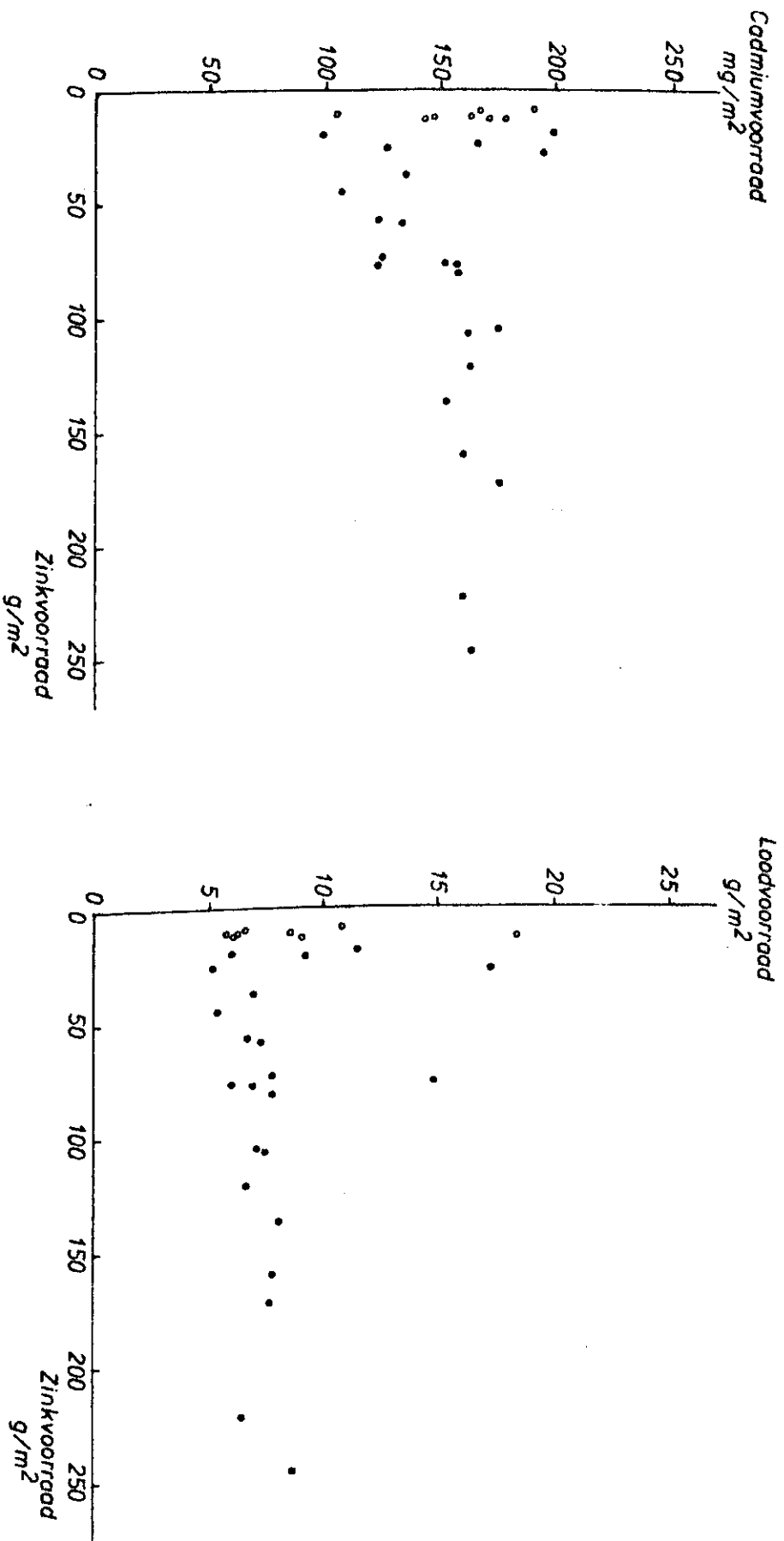
Daarnaast zijn 22 locaties op maximaal 25 m afstand tot dezelfde masten onderzocht, waar de zinkvoorraad varieerde van 19,1-248,3 g Zn m<sup>-2</sup>.

De aangetroffen cadmium- en loodvoorraden zijn in figuur 7 uitgezet tegen de zinkvoorraad. Er blijkt geen verband te zijn tussen de cadmium- en loodvoorraden enerzijds en de zinkvoorraad anderzijds. Voor de 22 dicht bij de masten genomen monsters bedraagt de rangcorrelatiecoëfficiënt volgens Spearman 0,27 voor cadmium en zink en 0,08 voor lood en zink.

Het gemiddelde en de standaardafwijking van de cadmiumvoorraad bedragen voor de op 80-100 m en de op maximaal 25 m afstand bemonsterde locaties respectievelijk  $151 \pm 27$  en  $151 \pm 26$  mg Cd m<sup>-2</sup>, ondanks de gemiddeld veel hogere zinkvoorraad in de dicht bij de masten genomen monsters. Wanneer voor het verzinken zink van de kwaliteit "Prime Western" met 0,20% cadmium zou zijn gebruikt, dan zou een verdubbeling ten opzichte van de achtergrondwaarde kunnen worden verwacht van de gemiddelde cadmiumvoorraad op de dicht bij de mast bemonsterde locaties en een verviervoudiging op de zwaarst belaste plaatsen.

In beginsel kunnen verschillende verklaringen worden gegeven voor het ontbreken van een aantoonbare invloed van de zinkbelasting op de cadmiumvoorraad in de bodem. De meest voor de hand liggende is evenwel, dat zink met een veel lager cadmiumgehalte is gebruikt. Het is weliswaar denkbaar dat het cadmium na depositie geheel is uitgespoeld uit de laag van 0-60 cm, maar deze mogelijkheid moet als uitermate onwaarschijnlijk worden aangemerkt. Zo vonden Bosmans en Paenhuys (1980) in de Belgische Kempen in de bovenste 6 cm van grasland en bouwland op zandgronden een sterke samenhang tussen de gehalten aan cadmium en zink, welke in dat gebied beide zijn verhoogd door emissies van de non-ferrometaalindustrie. De uitspoeling van cadmium uit zandgronden is blijkbaar net als die van zink beperkt als gevolg van vastlegging aan de vaste bestanddelen van de bodem (vgl. Harmsen, 1977).

Wat lood betreft is evenmin een samenhang met de zinkvoorraad aanwijsbaar. Het gemiddelde (zowel rekenkundig als geometrisch) van de voorraden dicht bij de masten is zelfs wat lager dan verder bij de masten vandaan, maar door de grote spreiding in de waarnemingen mag aan dat verschil geen betekenis worden gehecht. De grote spreiding en de in vergelijking met cadmium veel hogere achtergrondwaarde van de voorraad maken het moeilijk om een verhoging als gevolg van corrosie van de zinklaag aan te tonen, zelfs als voor het verzinken relatief sterk loodhoudend zink zou zijn gebruikt. Uitgaande van een



Figuur 7. Cadmium- en loodvoorraden in de bovenste 60 cm van de bodem uitgezet tegen de zinkvoorraad in dezelfde laag.

De open cirkels hebben betrekking op monsters die op 80 tot 100 m afstand tot de voet van de masten 49 en 55 zijn genomen, de gesloten cirkels op monsters die op maximaal 25 m afstand zijn genomen.

maximale zinkbelasting van ca.  $240 \text{ g Zn m}^{-2}$  en een maximaal loodgehalte van het gebruikte zink van 1,4%, zou de maximale loodbelasting  $3,4 \text{ g Pb m}^{-2}$  kunnen bedragen. Dat komt overeen met een toename van de oorspronkelijke aanwezige voorraad met ca. 40%, terwijl de standaardafwijking van de achtergrondwaarde in dezelfde orde van grootte ligt.

De resultaten tonen aan, dat de geconstateerde zinkverontreiniging van de bodem niet gepaard gaat aan een verontreiniging met cadmium en lood. Ze zijn aldus volledig in overeenstemming met de eerdere bevindingen van het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek, die in hoofdstuk 1 zijn besproken.

### 2.5.3 Verspreiding van zink in horizontale richting.

Verspreiding van door corrosie vrijgemaakte zinkionen komt tot stand door transport van waterdruppels die in contact met de mast zinkionen hebben opgenomen. Dit transport kan op verschillende manieren plaatsvinden.

Druppels kunnen samenvloeien, langs de constructie afstromen en dicht boven de grond afdruipten. Als de doorlatendheid van de bodem voldoende groot is, dringt het water snel de bodem in en blijft de verspreiding van zink in horizontale richting beperkt. Wanneer de bodem echter slecht doorlatend is, kan het zinkhoudende druipwater wegstromen over het bodemoppervlak. De richting waarin en de afstand waarover zink op deze wijze kan worden verspreid hangen sterk af van het reliëf.

Een ander deel van de waterdruppels verliest na kortere of langere tijd het contact met de mast en kan daarna door de wind worden verplaatst. De afstand waarover de druppels worden getransporteerd, hangt samen met de windsnelheid, de valsnelheid van de druppels (afhankelijk van hun grootte) en de hoogte waarop ze het contact met de mast verliezen. De richting van het transport wordt uiteraard bepaald door de windrichting.

Het uiteindelijke verspreidingspatroon wordt aldus door een groot aantal factoren bepaald.

#### 2.5.3.1 Verband tussen de zinkvoorraad en de afstand tot de mast.

Zoals blijkt uit figuur 6 neemt de gemiddelde zinkvoorraad toe naarmate de afstand tot de masten kleiner wordt; de spreiding in de afzonderlijke waarnemingen op een bepaalde afstand is echter aanzienlijk, wat erop wijst dat ook andere factoren dan de afstand van invloed zijn op het voorkomen van zink.

Alvorens die andere factoren te bespreken, zal worden ingegaan op het verband tussen de zinkvoorraad en de afstand voor de verschillende richtingen waarin monsters zijn genomen.

Een wiskundige formulering van dat verband moet aan een aantal voorwaarden voldoen:

- het maximum in de zinkvoorraad wordt bereikt aan de voet van de mast;
- de zinkvoorraad neemt continu af met toenemende afstand tot de mast;
- op grote afstand tot de mast nadert de zinkvoorraad tot een minimum, het achtergrondniveau.

De exponentiële functie voldoet aan deze voorwaarden. Zij kan worden geschreven als:

$$z = z_0 + z_v e^{-k \cdot d_v} \quad (4)$$

waarin  $z$  de zinkvoorraad (0-60 cm) op afstand  $d_v$  (m) tot de voet van de mast ( $\text{g Zn m}^{-2}$ )

$z_0$  de zinkvoorraad (0-60 cm) op oneindig grote afstand tot de mast ( $\text{g Zn m}^{-2}$ )

$z_v$  de zinkbelasting (0-60 cm) aan de voet van de mast ( $\text{g Zn m}^{-2}$ )

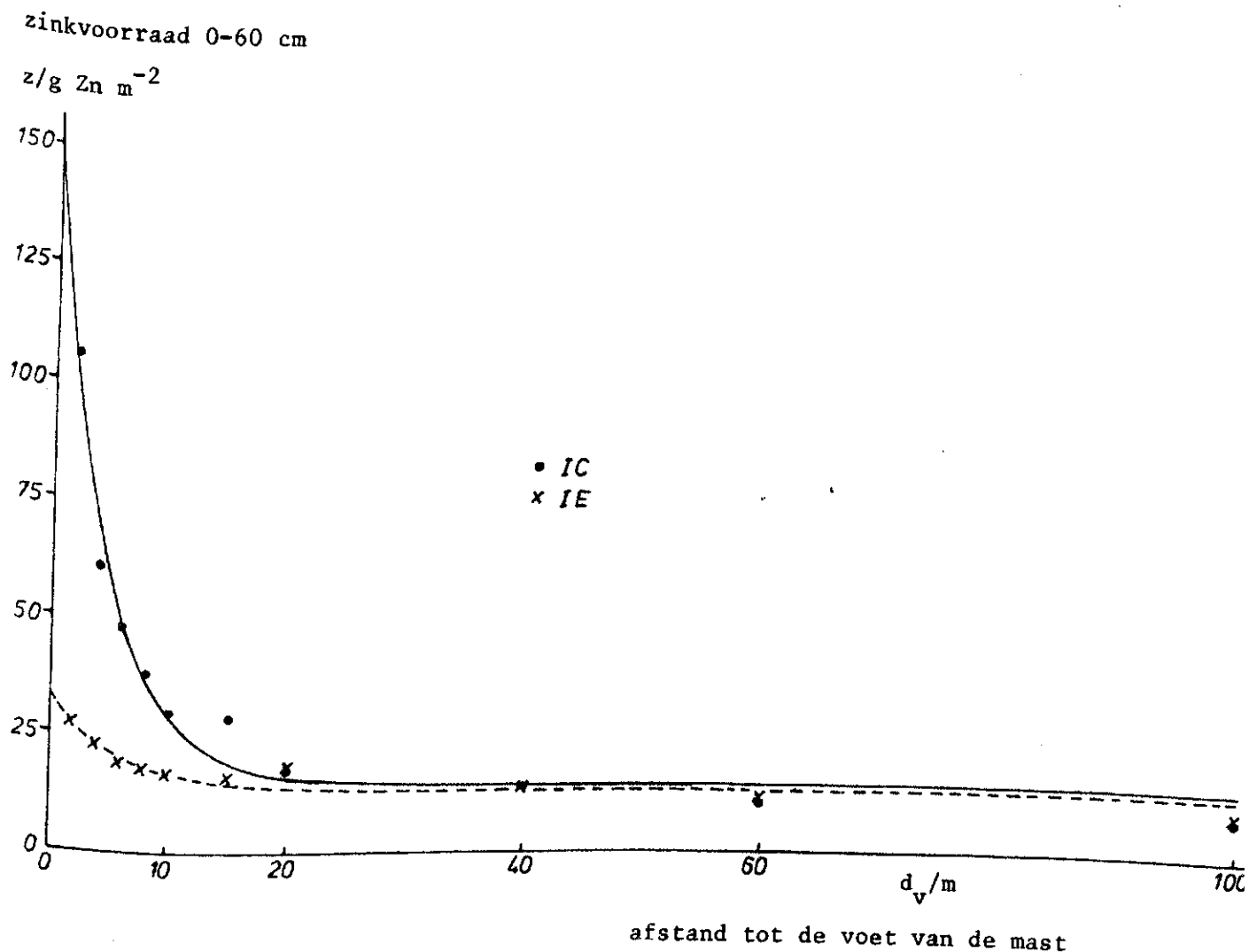
$k$  een constante die weergeeft in welke mate de zinkbelasting verandert met de afstand tot de mast ( $\text{m}^{-1}$ ); het negatieve teken van  $k$  geeft aan dat  $z$  kleiner wordt als  $d_v$  toeneemt.

In vergelijking (4) zijn  $z$  en  $d_v$  bekend en kunnen de waarden van  $z_0$ ,  $z_v$  en  $k$  zodanig worden gekozen dat een zo goed mogelijke beschrijving van het waargenomen verloop wordt gegeven. Deze berekening is per raai uitgevoerd, waarbij de monsters genomen aan de rand van het grondvlak van de mast buiten beschouwing zijn gelaten.

De resultaten van de berekeningen tonen aan, dat het verband tussen de zinkvoorraad en de afstand tot de mast inderdaad goed beschreven kan worden met vergelijking (4). Figuur 8 geeft hiervan een illustratie en tevens een indruk van de verschillen in het verband voor verschillende raaien. Een overzicht van de resultaten voor alle raaien wordt gegeven in bijlage 5.

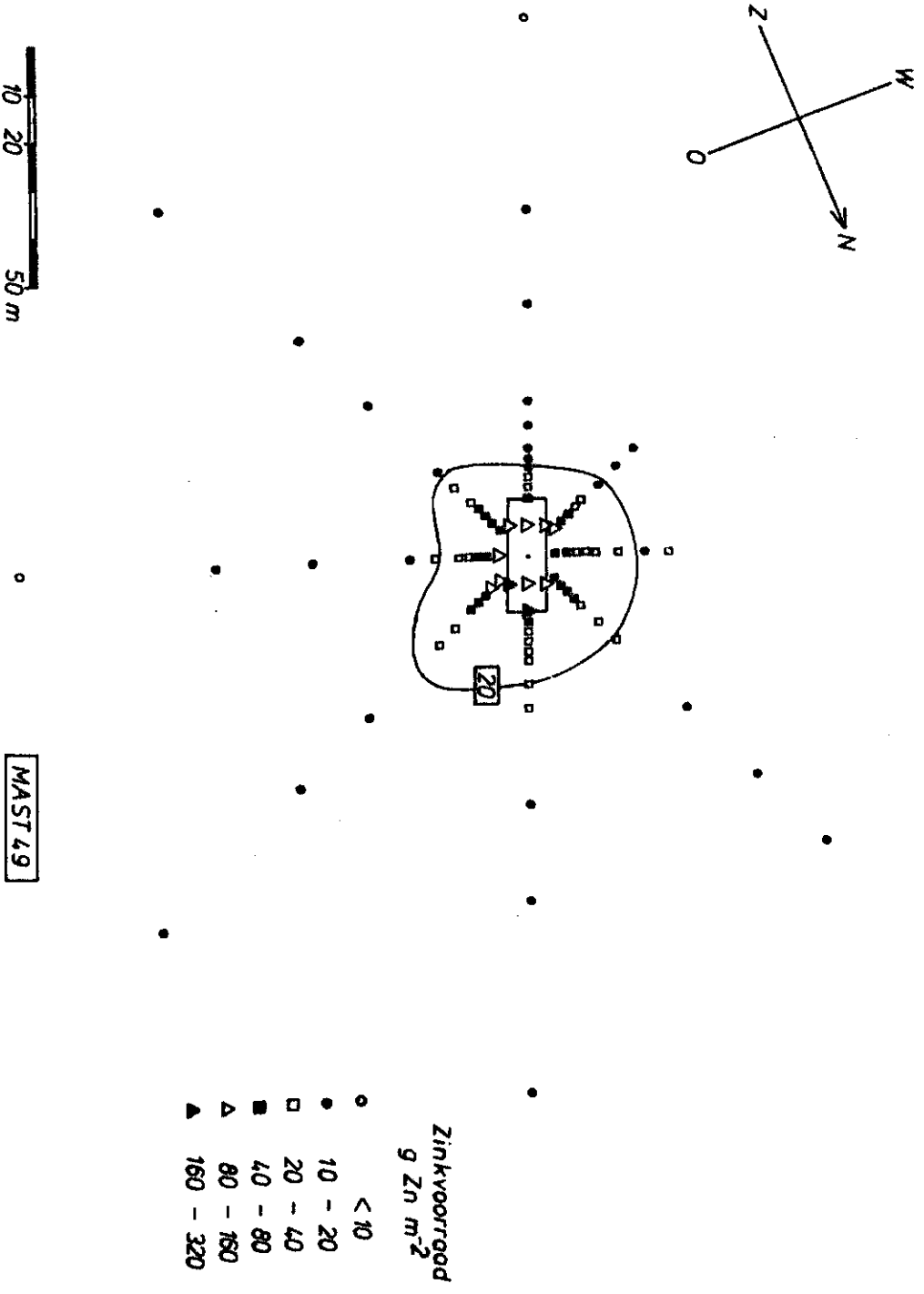
Met behulp van de aldus berekende relaties kan worden geschat op welke afstand tot de mast een bepaalde zinkvoorraad of zinkbelasting is aan te treffen. Door overeenkomstige punten op de verschillende raaien te verbinden kunnen isopleten worden geconstrueerd die gebieden met een bepaalde zinkvoorraad of zinkbelasting begrenzen. De figuren 9-11 geven hiervan een voorbeeld.

Hoewel deze benadering zeker bruikbaar is, is zij toch onbevredigend, omdat geen inzicht wordt verkregen in de factoren die verantwoordelijk zijn voor de verschillen in het verloop van de zinkvoorraad met de afstand in de verschillende richtingen.

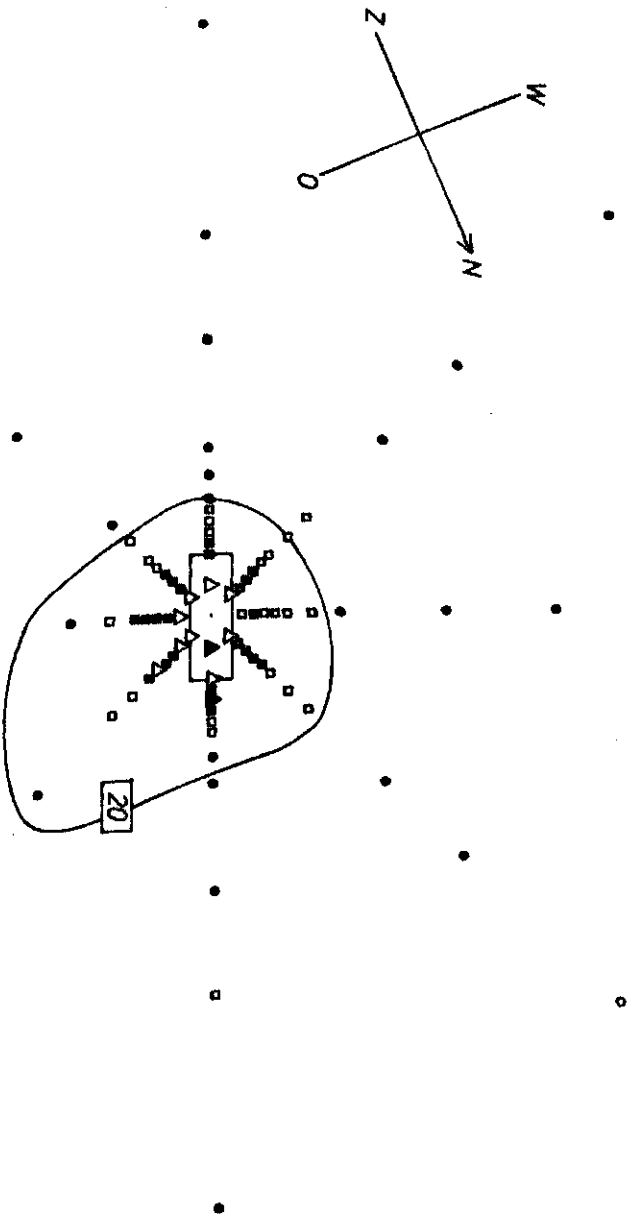


Figuur 8. Verband tussen de zinkvoorraad (z) en de afstand tot de mast voor twee raaien bij mast 49.

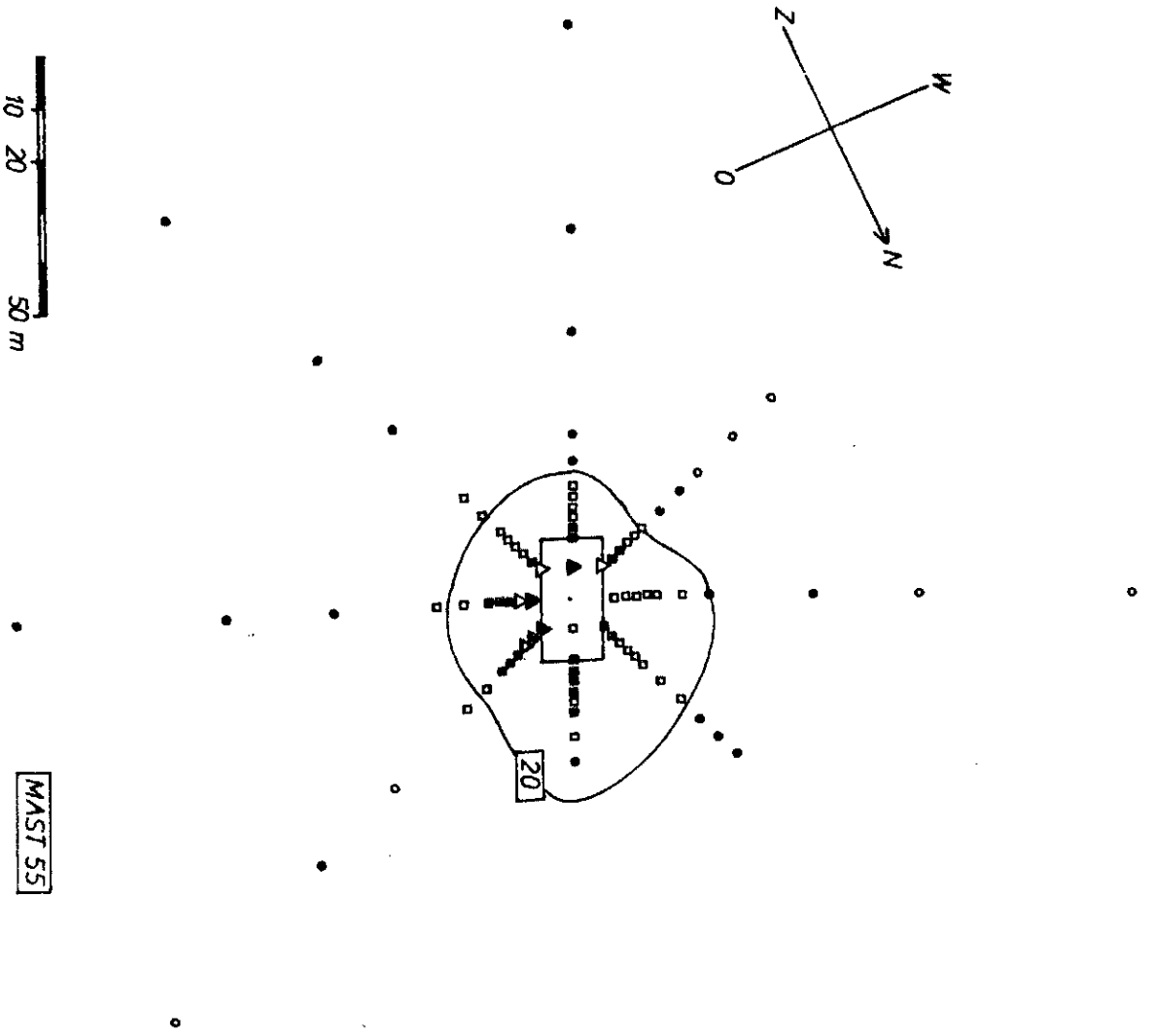




Figuur 9. Ruimtelijke distributie van zink in de omgeving van mast 49. De om de mast getrokken isopleet begrenst het gebied waarin de zinkvoorraad groter is dan 20 g Zn m<sup>-2</sup>.



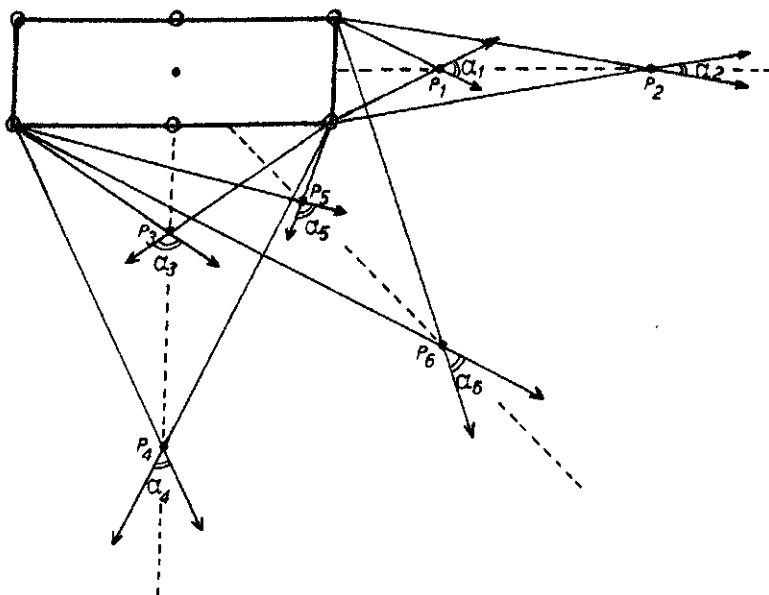
Figuur 10. Ruimtelijke distributie van zink in de omgeving van mast 51. De om de mast getrokken isopleet begrenst het gebied waarin de zinkvoorraad groter is dan  $20 \text{ g Zn m}^{-2}$ . Zie figuur 9 voor de legenda.



Figuur 11. Ruimtelijke distributie van zink in de omgeving van mast 55. De om de mast getrokken isopleet begrenst het gebied waarin de zinkvoorraad groter is dan 20 g Zn m<sup>-2</sup>. Zie figuur 9 voor de legenda.

### 2.5.3.2 Invloed van de wind

Het ligt voor de hand te veronderstellen, dat de zinkbelasting op een gegeven punt samenhangt met de kans dat de wind waterdruppels die in contact zijn geweest met de mast, naar dat punt voert. Deze kans is afhankelijk van de richting waarin en de afstand tot de mast waarop het punt is gelegen, van de frequentieverdeling van de windrichting en van de afmetingen van de mast, zoals aan de hand van figuur 12 kan worden toegelicht.



Figuur 12. Schematische voorstelling van de windrichtingen die kunnen bijdragen aan het transport van zink vanaf de mast naar een gegeven punt P.

De windrichtingen die kunnen bijdragen aan de zinkbelasting op de punten P1-P6 in figuur 12, vormen samen een sector van de windroos, die is aangeduid als  $\alpha_1$ - $\alpha_6$ . De grootte van deze hoeken neemt af naarmate de afstand tot de mast groter wordt, zoals bijvoorbeeld blijkt uit de vergelijking van  $\alpha_2$  met  $\alpha_1$ ,  $\alpha_4$  met  $\alpha_3$  en  $\alpha_6$  met  $\alpha_5$ .

Het aanzicht van de mast is afhankelijk van de richting en als gevolg daarvan is ook de grootte van  $\alpha$  op een gegeven afstand richtingsafhankelijk, zoals blijkt uit de onderlinge vergelijking van  $\alpha_1$ ,  $\alpha_3$  en  $\alpha_5$  en van  $\alpha_2$ ,  $\alpha_4$  en  $\alpha_6$ .

Voor elk punt  $i$  kan de grootte van  $\alpha_i$  worden berekend. Met behulp van de frequentieverdeling van de windrichting (figuur 13) kan vervolgens worden berekend gedurende welk deel van de tijd de wind waait uit de sector  $\alpha_i$ . Deze fractie van de tijd (een getal dat kleiner is dan 1 voor elk punt buiten het grondvlak van de mast) zal hier worden aangeduid als de windfactor ( $F$ ). De afleiding van de windfactor is ontleend aan McClenahan (1983), die er de naam Relative Pollution Exposure Index aan geeft.

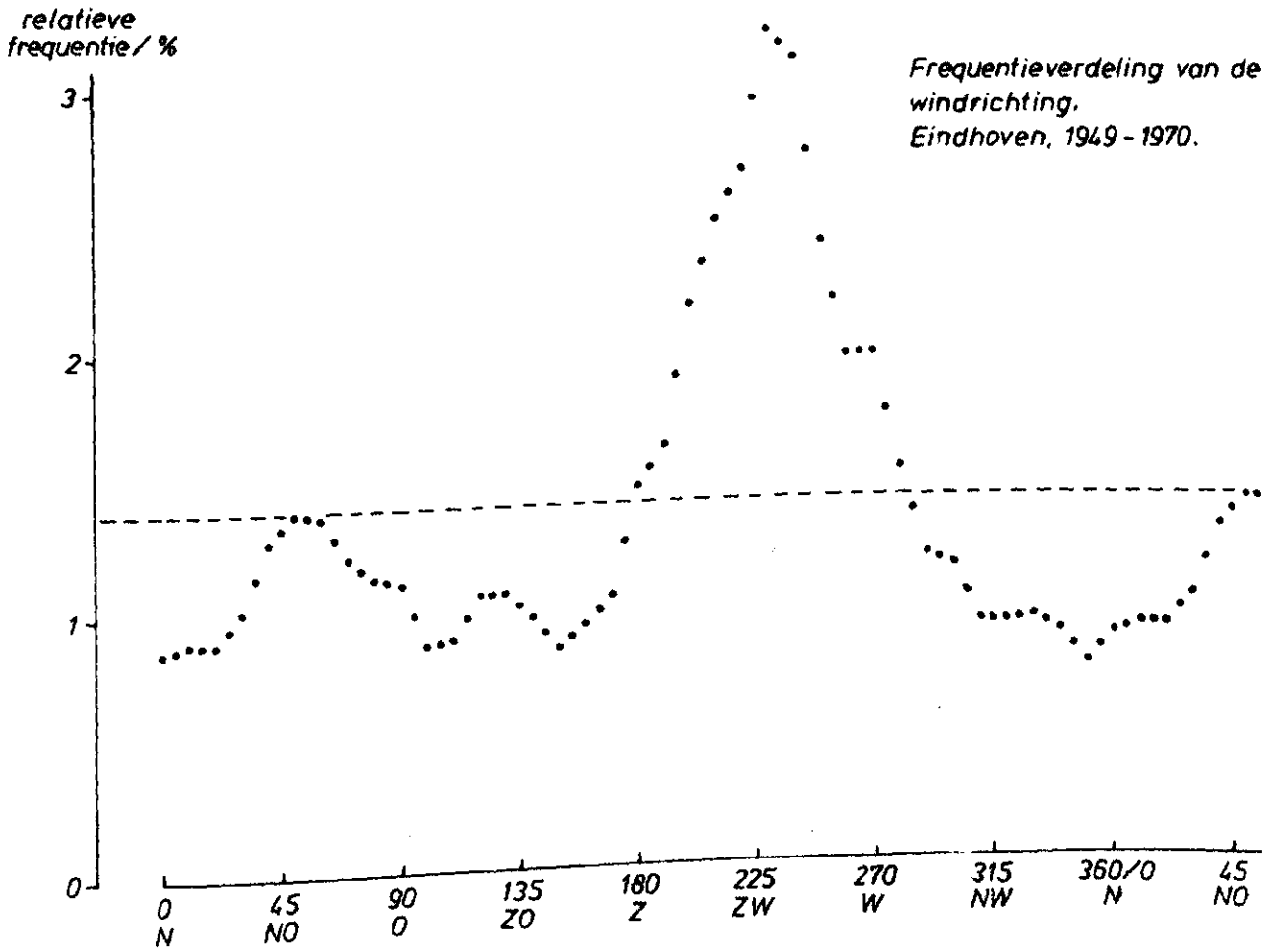
Het verband tussen de zinkvoorraad  $Z$  en de windfactor  $F$  kan worden voorgesteld door de vergelijking:

$$z = z_0 + Z.F \quad (5)$$

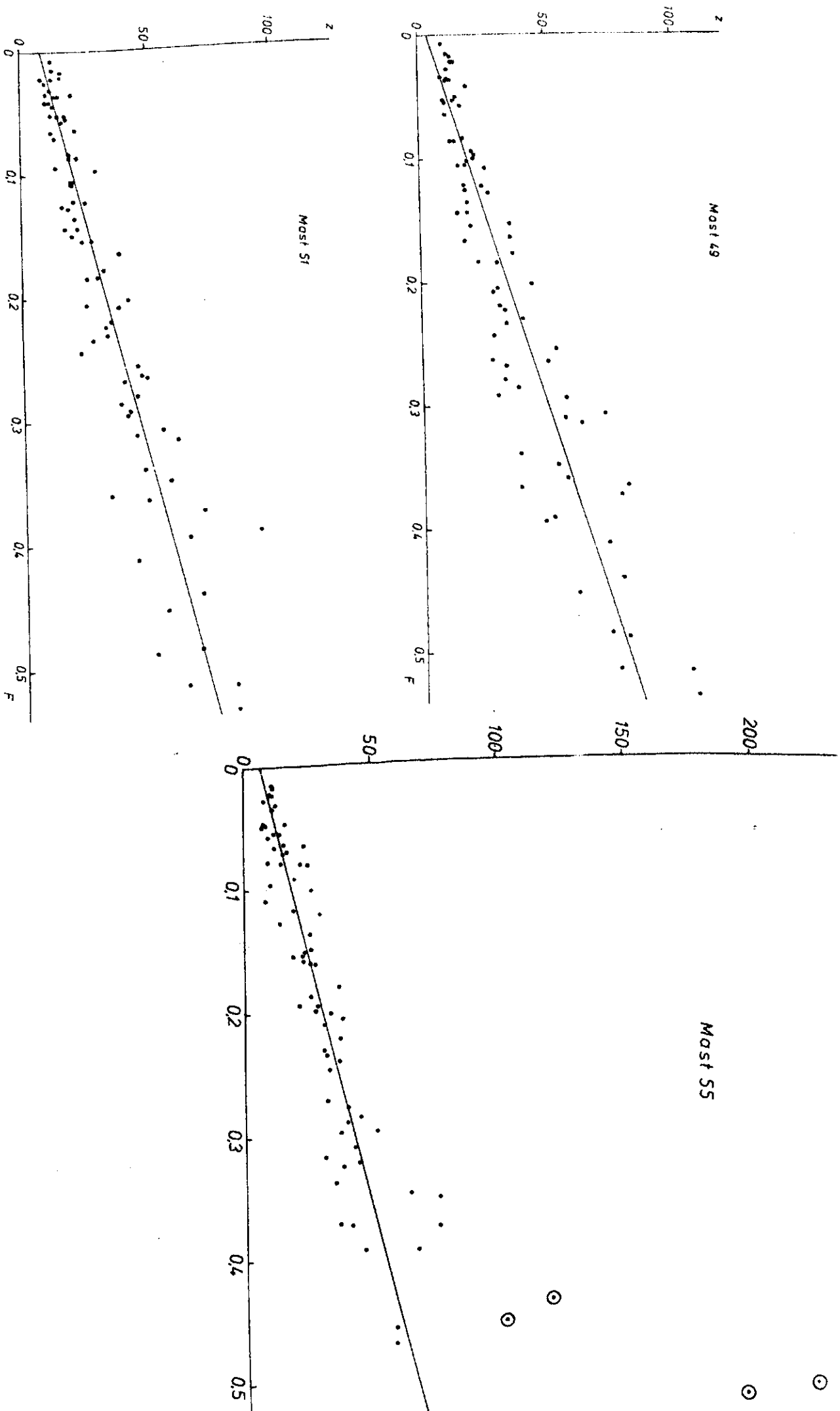
waarin  $z_0$  dezelfde betekenis heeft als in vergelijking (4);  
 $Z$  een constante is ( $\text{g Zn m}^{-2}$ ) die het theoretische maximum van de zinkbelasting aangeeft (namelijk als  $F = 1$  zou zijn).

Uit figuur 14 blijkt dat de waarnemingen redelijk goed worden beschreven door dit model. Alleen bij mast 55 zijn op vier punten (in bijlage 3 aangegeven als A1, A2, H1 en H2) veel grotere zinkvoorraden aangetroffen dan verwacht zou worden. In de figuur zijn deze punten omcirkeld. Ze liggen op 2 en 4 m afstand ten oosten en zuidoosten van de mast. Omdat het maaiveld vanaf de mast in de richting van deze punten helt, zou er sprake kunnen zijn van aanvoer van zink via afstromend druiwater, waarmee in het windverspreidingsmodel geen rekening is gehouden. De opvallend lage zinkvoorraad die onder de noordoostelijke staander werd aangetroffen ( $30,6 \text{ g Zn m}^{-2}$ , punt 07 in bijlage 3; vergelijk  $174,0 \text{ g Zn m}^{-2}$  onder de zuidwestelijke staander, punt 08 in bijlage 3) wijst erop dat daar weinig druiwater in de bodem is ingedrongen en vormt daarmee eveneens een aanwijzing voor het afstromen van druiwater.

In vergelijking (5) is  $Z$  als een constante beschouwd. Deze veronderstelling is alleen juist, als de stroomdichtheid van zink in de atmosfeer constant is over de afstand tot de mast. Aan deze voorwaarde wordt echter niet voldaan en daarom moet  $Z$  een functie van de afstand zijn. Dit kan worden toegelicht aan de hand van figuur 15.



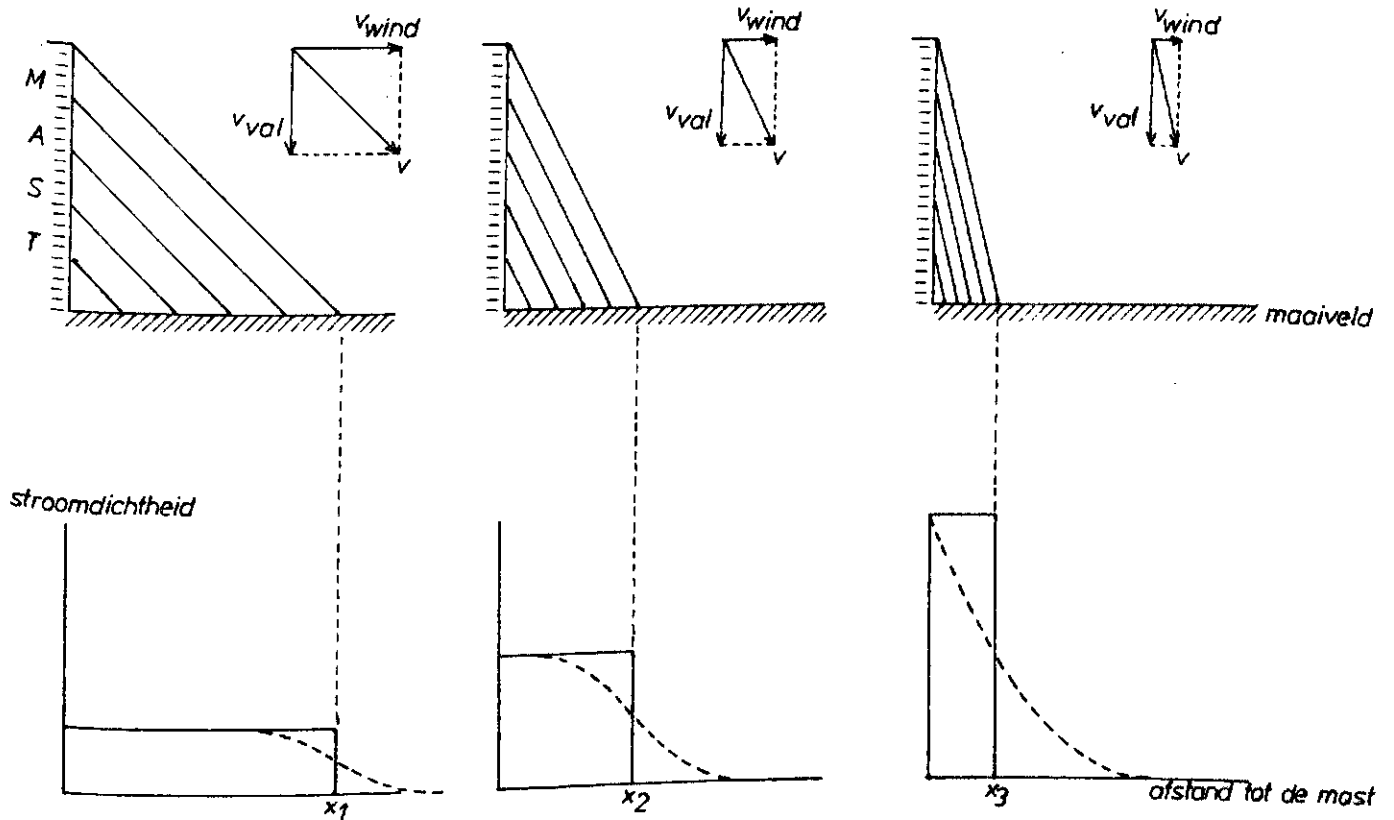
Figuur 13. Frequentieverdeling van de windrichting per sector van  $5^\circ$ , afgeleid uit de waarnemingen die in de jaren 1949-1970 zijn verricht op het vliegveld Eindhoven (Werkgroep verspreiding luchtverontreiniging, 1981).



Figuur 14. Verband tussen de in de laag 0-60 cm aangetroffen zinkvoorraad  $z$  ( $g\ Zn\ m^{-2}$ ) en de windfactor  $F$ .  
 De getrokken lijnen geven het verband  $z = z_0 + Z.F$  weer.

Bij een gegeven windsnelheid en een gegeven valsnelheid van de waterdruppels is de stroomdichtheid slechts constant over een zekere afstand  $x$ , waarvan de grootte wordt bepaald door de hoogte van de mast en de richting van de snelheid van de waterdruppels, de resultante van de windsnelheid en de valsnelheid. Bij gelijkblijvende valsnelheid (druppelgrootte) en afnemende windsnelheid wordt  $x$  kleiner (vgl.  $x_1$ ,  $x_2$  en  $x_3$ ). Op afstanden groter dan  $x$  is de stroomdichtheid gelijk aan nul (getrokken lijnen in figuur 15).

In werkelijkheid zal als gevolg van de turbulentie van de luchtstroming en als gevolg van heterogeniteit in druppelgrootte en de daardoor veroorzaakte variatie in de valsnelheid dispersie optreden, waardoor de scherpe overgang van de stroomdichtheid rond punt  $x$  vervaagt (gebroken lijn in figuur 15).



Figuur 15. Schematische voorstelling van de stroomdichtheid van zink in de atmosfeer als functie van de afstand tot de mast bij variërende windsnelheid.



De uiteindelijke verspreiding, zoals die in het veld is waar te nemen, is de resultante van transport bij wisselende windsterkte en turbulentie van druppels met variabele grootte. Men kan derhalve verwachten, dat de waarde van  $Z$  maximaal is aan de voet van de mast, afneemt met toenemende afstand en op grote afstand nul wordt. Het lijkt met andere woorden niet onredelijk te veronderstellen, dat  $Z$  exponentiëel afneemt met de afstand. Aanpassing van vergelijking (5) in deze zin leidt tot:

$$z = z_0 + Z' \cdot e^{-kd_v} \cdot F \quad (6)$$

Vergelijking (6) beschrijft de waarnemingen bij mast 49 inderdaad beter dan vergelijking (5). Hoewel dat nog niet is nagegaan, valt aan te nemen dat dat ook voor de twee andere masten geldt.

De afwijkingen tussen de volgens vergelijking (6) geschatte waarden van  $z$  en de waarnemingen vertoonden een duidelijke samenhang met de richting. Langs de raaien in het verlengde van de lange as van de normale projectie van de mast en langs de raaien loodrecht daarop werd minder zink gevonden dan voorspeld, terwijl langs de raaien die een hoek van  $45^\circ$  met de lange as maken meer zink werd gevonden. De oorzaak daarvan is nog niet duidelijk. Mogelijk speelt de wijze waarop  $d_v$  is gedefiniëerd hierbij een rol. Voor de punten gelegen langs de raaien in het verlengde van de lange as en loodrecht daarop is  $d_v$  de kortste afstand tot de voet van de mast, terwijl voor de punten langs de andere raaien de kortste afstand tot de voet van de mast kleiner is dan  $d_v$  (vgl. paragraaf 2.3.1). Het is evenwel ook mogelijk dat er sprake is van een invloed van aërodynamische factoren die samenhangen met de vorm van de mast.

Ter correctie van deze afwijkingen werd vergelijking (6) uitgebreid met een factor die een functie is van de hoek  $\beta$  die de betreffende raai maakt met de lange as van de normale projectie. Deze "mastfactor" neemt voor  $\beta = 0, 90, 180$  en  $270^\circ$  de minimale waarde  $(1 - f)$  aan en voor  $\beta = 45, 135, 225$  en  $315^\circ$  de maximale waarde  $(1 + f)$ . De aangepaste vergelijking is:

$$z = z_0 + Z'' \cdot e^{-kd_v} \cdot \{1 + f \cdot \sin(4\beta - 90)\} \cdot F \quad (7)$$

Bij de berekening van de te schatten parameters  $z_0$ ,  $Z''$ ,  $-k$  en  $f$  in deze vergelijking is de relatieve afwijking tussen de gemeten en de geschatte waarde van  $z$  geminimaliseerd. Deze berekening, die overigens alleen nog maar is uitgevoerd voor mast 49, leverde de volgende vergelijking op:

$$\hat{z} = 12,2 + 161,5 \cdot e^{-0,044d_v} \cdot \{1 + 0,163 \cdot \sin(4\beta - 90)\} \cdot F \quad (8)$$

De resterende standaardafwijking van  $\frac{z - \hat{z}}{\hat{z}}$  bedraagt 17,2% en is daarmee significant kleiner dan wanneer de "mastfactor" buiten beschouwing wordt gelaten.

Hiermee is aangetoond, dat de waarnemingen alleszins bevredigend kunnen worden beschreven met een model dat slechts vier te schatten parameters bevat. Als de bruikbaarheid van het model zou worden bevestigd door de waarnemingen bij de masten 51 en 55, zou het mogelijk worden om op basis van analyse van een beperkt aantal grondmonsters een schatting te maken van de intensiteit en de verspreiding van de zinkverontreiniging. De enige beperking ervan zou dan zijn, dat in de directe omgeving van de mast afwijkingen kunnen voorkomen als gevolg van een bijdrage aan de zinkbelasting van afstromend druiwater. De kans daarop is het grootst op slecht doorlatende gronden met een hellend maai-veld.

#### 2.5.4 Gevolgen van de zinkverontreiniging voor de landbouwkundige gebruikswaarde van de grond.

Of en in welke mate een zekere belasting van de bodem met zink zal leiden tot schade aan gewassen is afhankelijk van een groot aantal factoren, waarvan de belangrijkste zijn:

- de hoeveelheid grond waarover het aangevoerde zink is verdeeld (afhankelijk van de bewerkingdiepte);
- het vermogen van de grond om zink in een voor planten niet schadelijke vorm vast te leggen (afhankelijk van de zuurgraad en van de gehalten aan organische stof, lutum, oxyden en hydroxyden van ijzer, mangaan en aluminium);
- de gevoeligheid van het verbouwde gewas;
- de voedingstoestand van de grond, waarbij vooral de beschikbaarheid van fosfaat van belang is gebleken.

Al deze factoren kunnen van plaats tot plaats verschillen.

Ten aanzien van de in dit onderzoek betrokken masten kan worden opgemerkt, dat de gewassen die er werden verbouwd (gras, winterrogge en snijmais), alle behoren tot de familie der grassen, die als relatief ongevoelig voor zinkvergiftiging wordt beschouwd (Smilde et al., 1974). De gebruikers van de grond hadden geen klachten over de groei van de gewassen bij deze masten.

Wanneer  $100 \text{ mg Zn kg}^{-1}$  als grenswaarde wordt beschouwd, waarboven zinkvergiftiging kan optreden in gevoelige gewassen (vgl. hoofdstuk 1), dan kan een schatting worden gemaakt van de oppervlakte per mast waar schade te verwachten is. Een zinkgehalte van  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  in de laag van 0-20 cm komt bij

een organische stofgehalte van 5% overeen met een zinkvoorraad in die laag van ca.  $27 \text{ g Zn m}^{-2}$ . Aangenomen dat al het aangevoerde zink in de laag van 0-20 cm is achtergebleven, kan de overeenkomstige zinkvoorraad over 60 cm worden geschat op  $32 \text{ g Zn m}^{-2}$ . Uit de in bijlage 5 gegeven verbanden tussen de zinkvoorraad in de laag 0-60 cm en de afstand tot de voet van de mast kan per raai worden berekend op welke afstand een dergelijke zinkvoorraad te verwachten is. Deze afstand tot de voet van de mast kan worden omgerekend naar de afstand tot het centrum van de mast door er de afstand van de voet tot het centrum bij op te tellen. Elke raai is nu te beschouwen als de bissectrice van een sector van  $45^\circ$  van een cirkel met als middelpunt het centrum van de mast en als straal de afstand tot het centrum waarop de zinkvoorraad  $32 \text{ g Zn m}^{-2}$  bedraagt. Door de oppervlakten van de acht sectoren te berekenen en bij elkaar op te tellen wordt een schatting verkregen van de totale oppervlakte waar zich schade zou kunnen voordoen. Het resultaat van een dergelijke berekening is, dat per mast een oppervlakte van  $1000 - 1300 \text{ m}^2$  wordt gevonden waar de verontreiniging van de bodem met zink aanleiding zou kunnen geven tot schade aan gevoelige gewassen. Gezien de veronderstellingen die aan deze schatting ten grondslag liggen, dient deze uitkomst te worden beschouwd als het ongunstigste geval.

Voor een betere benadering van de te verwachten schade zou het in de voorgaande paragraaf besproken verspreidingsmodel kunnen worden gekoppeld aan een experimenteel vastgesteld verband tussen de opbrengstderving en het zinkgehalte van grond zoals die in de omgeving van de masten is aangetroffen (een dosis-effect-relatie).

## 2.6 Conclusies.

De resultaten bevestigen de conclusies die in hoofdstuk 1 zijn getrokken uit het eerder uitgevoerde onderzoek. De bodem onder en in de omgeving van masten in de 380 kV-leiding tussen Geertruidenberg en Eindhoven is verontreinigd met zink. Het zinkgehalte van de grond onder en in de onmiddellijke omgeving van de masten is zo hoog, dat schade door zinkvergiftiging kan optreden in daarvoor gevoelige gewassen. De zinkverontreiniging gaat niet gepaard aan een verontreiniging van de bodem met cadmium en lood.

In elke richting neemt de mate waarin de bodem met zink is belast, exponentieel af met de afstand tot de voet van de mast. De zinkbelasting op een gegeven punt blijkt echter niet alleen afhankelijk te zijn van de afstand, maar ook van de frequentie waarmee de wind materiaal vanaf de mast naar dat punt kan vervoeren ("windfactor") en van de hoek tussen de richting waarin dat punt is gelegen en de lange as van de normale projectie van de mast ("mastfactor").

De oppervlakte waar zich meer of minder ernstige schade aan gevoelige gewassen zou kunnen voordoen is geschat op ten hoogste 1000 - 1300 m<sup>2</sup> per mast.

## 2.7 Verwijzingen.

- Anonymus (1967). Verband tussen humusgehalte en volumegewicht voor zand- en veengrond. In: Handboekje voor de landbouwvoorlichting, 3e druk. Proefstation voor de Akker- en Weidebouw, Wageningen.
- Bosmans, H. en J. Paenhuys (1980). The distribution of heavy metals in the soils of the Kempen. *Pedologie* 30, 191-223.
- Cammarota, V.A. (1980). Production and uses of zinc. In: J.O. Nriagu (ed.). Zinc in the environment. Part I: Ecological cycling. John Wiley & Sons, New York.
- Dekkers, J.M.J. en H.L. Kanters (1980). Stadsgewest Tilburg "Buitengebied". De bodemgesteldheid en bodemgeschiktheid. Rapport 1447, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- Harmsen, K. (1977). Behaviour of heavy metals in soils. Agric. Res. Rep. (Versl. Landbouwk. Onderz.) 866. Pudoc, Wageningen.
- Hieltjes, A.H.M. en A. Breeuwsma (1983). Chemische bodemonderzoekmethoden voor bodemkenmerken en anorganische stoffen. Reeks Bodembescherming 21, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Hoekstra, C. en J.A.B. Poelman (1982). Dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland. Rapport 1582, Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.
- McClenahan, J.R. (1983). The impact of an urban-industrial area on deciduous forest tree growth. *J. Environ. Qual.* 12, 64-69.
- Smilde, K.W., P. Koukoulakis en B. van Luit (1974). Crop response to phosphate and lime on acid sandy soils high in zinc. *Plant Soil* 41, 445-457.

Van Schouwenburg, J.Ch., I. Walinga en Ch. Koot (1980). The determination of Pb and Cd after extraction with DDDTC in xylene using flameless atomic absorption spectrophotometry. (A preliminary report). Internal Communication 53, Vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer, Landbouwhogeschool, Wageningen.

Werkgroep verspreiding luchtverontreiniging (1981). Frequentieverdelingen van luchtverontreinigingsconcentraties. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage

Bijlage 1. Gehalten aan zink en organische stof (humus) en de daaruit berekende zinkvoorraden in de afzonderlijk bemonsterde lagen en in de laag van 0-60 cm. Mast 49.

code	positie			laag	gehalten		zinkvoorraad
	coördinaten		afstand tot (0,0)	cm beneden	zink	humus	z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	x(m)	y(m)	d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$	maaiveld	(mg/kg)	(gew. %)	
A 1	13,9	0	13,9	0-20	76,6	4,9	20,6
				20-40	161	4,2	44,3
				40-60	29,4	1,9	9,0
				0-60			74,0
A 2	15,9	0	15,9	0-20	66,4	5,4	17,6
				20-40	51,1	3,7	14,4
				40-60	21,1	1,5	6,6
				0-60			38,6
A 3	17,9	0	17,9	0-20	30,6	4,7	8,3
				20-40	65,4	3,8	18,4
				40-60	19,8	1,8	6,1
				0-60			32,7
A 4	19,9	0	19,9	0-20	61,5	5,2	16,4
				20-40	44,3	4,1	12,3
				40-60	8,8	2,6	2,6
				0-60			31,3
A 5	21,9	0	21,9	0-20	65,9	6,8	16,7
				20-40	68,0	4,1	18,9
				40-60	3,9	1,6	1,2
				0-60			36,8
A 6	26,9	0	26,9	0-20	23,8	4,3	6,5
				20-40	49,9	3,0	14,5
				40-60	20,9	1,5	6,5
				0-60			27,6
A 7	31,9	0	31,9	0-20	39,0	4,4	10,7
				20-40	29,9	4,0	8,3
				40-60	6,2	3,2	1,8
				0-60			20,8
A 8	51,9	0	51,9	0-20	8,8	4,9	2,4
				20-40	18,4	4,3	5,1
				40-60	8,8	3,3	2,5
				0-60			10,0
A 9	71,9	0	71,9	0-20	7,1	4,7	1,9
				20-40	21,3	3,2	6,1
				40-60	10,8	1,1	3,4
				0-60			11,5
A 10	111,9	0	111,9	0-20	15,2	5,0	4,1
				20-40	24,6	4,1	6,8
				40-60	6,8	3,1	2,0
				0-60			12,9
B 1	5,3	- 5,3	7,5	0-20	154	4,4	42,1
				20-40	194	3,7	54,7
				40-60	36,6	2,4	10,9
				0-60			107,8

code	positie			afstand tot (0,0) $d(m) = \sqrt{x^2+y^2}$	laag	gehalten		zinkvoorraad
	coördinaten		cm beneden maaiveld		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	z (g Zn/m <sup>2</sup> )	
	x(m)	y(m)						
B 2	6,7	- 6,7	9,5	0-20	110	4,0	30,6	
				20-40	137	4,3	37,7	
				40-60	45,2	4,4	12,4	
				0-60			80,6	
B 3	8,1	- 8,1	11,5	0-20	147	4,3	40,4	
				20-40	94,2	3,9	26,3	
				40-60	57,9	13,9	12,0	
				0-60			78,8	
B 4	9,6	- 9,6	13,5	0-20	67,6	4,5	18,4	
				20-40	102	4,0	28,4	
				40-60	15,8	2,3	4,7	
				0-60			51,6	
B 5	11,0	- 11,0	15,5	0-20	72,6	4,7	19,6	
				20-40	95,4	4,4	26,1	
				40-60	27,4	3,5	7,8	
				0-60			53,5	
B 6	14,5	- 14,5	20,5	0-20	60,8	4,5	16,6	
				20-40	64,2	4,6	17,4	
				40-60	14,2	2,2	4,3	
				0-60			38,3	
B 7	18,0	- 18,0	25,5	0-20	35,7	4,4	9,8	
				20-40	52,3	4,3	14,4	
				40-60	14,9	1,9	4,6	
				0-60			28,7	
B 8	32,2	- 32,2	45,5	0-20	21,1	4,2	5,8	
				20-40	24,0	3,8	6,7	
				40-60	8,4	3,3	2,4	
				0-60			15,0	
B 9	46,3	- 46,3	65,5	0-20	29,2	5,5	7,7	
				20-40	20,7	4,2	5,7	
				40-60	7,6	3,4	2,2	
				0-60			15,6	
B 10	74,6	- 74,6	105,5	0-20	17,7	5,3	4,7	
				20-40	7,9	2,4	2,4	
				40-60	11,4	1,7	3,5	
				0-60			10,6	
C 1	0	- 5,9	5,9	0-20	180	4,3	49,5	
				20-40	183	4,7	49,4	
				40-60	23,1	2,4	6,9	
				0-60			105,7	
C 2	0	- 7,9	7,9	0-20	158	4,8	42,6	
				20-40	55,0	3,9	15,4	
				40-60	9,5	2,1	2,9	
				0-60			60,9	



code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
C 3	0	- 9,9	9,9	0-20	80,2	4,7	21,7
				20-40	63,1	4,5	17,2
				40-60	33,4	3,7	9,4
				0-60			48,3
C 4	0	- 11,9	11,9	0-20	78,9	4,8	21,3
				20-40	49,5	3,7	14,0
				40-60	12,5	5,4	3,3
				0-60			38,5
C 5	0	- 13,9	13,9	0-20	62,1	4,5	16,9
				20-40	32,8	4,2	9,1
				40-60	13,9	2,7	4,1
				0-60			30,1
C 6	0	- 18,9	18,9	0-20	52,5	4,4	14,4
				20-40	39,8	4,0	11,1
				40-60	11,9	3,5	3,4
				0-60			28,8
C 7	0	- 23,9	23,9	0-20	24,3	4,3	6,7
				20-40	34,4	5,6	9,1
				40-60	6,7	3,1	1,9
				0-60			17,7
C 8	0	- 43,9	43,9	0-20	12,4	4,4	3,4
				20-40	25,0	3,9	7,0
				40-60	12,5	3,6	3,5
				0-60			13,9
C 9	0	- 63,9	63,9	0-20	9,9	4,5	2,7
				20-40	21,4	4,2	5,9
				40-60	6,9	3,4	2,0
				0-60			10,6
C 10	0	-103,9	103,9	0-20	5,5	5,1	1,5
				20-40	17,0	3,7	4,8
				40-60	8,2	1,3	2,6
				0-60			8,8
D 1	- 5,3	- 5,3	7,5	0-20	158	4,7	42,7
				20-40	118	4,7	31,8
				40-60	8,6	1,5	2,7
				0-60			77,2
D 2	- 6,7	- 6,7	9,5	0-20	149	4,6	40,4
				20-40	105	3,8	29,5
				40-60	12,3	2,6	3,6
				0-60			73,6
D 3	- 8,1	- 8,1	11,5	0-20	133	4,7	36,0
				20-40	62,7	3,1	18,2
				40-60	10,2	2,9	3,0
				0-60			57,1

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
D 4	- 9,6	- 9,6	13,5	0-20	71,4	5,3	19,0
				20-40	69,0	4,6	18,7
				40-60	11,0	5,0	3,0
				0-60			40,6
D 5	- 11,0	- 11,0	15,5	0-20	76,9	5,0	20,6
				20-40	47,2	4,6	12,8
				40-60	8,1	3,1	2,3
				0-60			35,8
D 6	- 14,5	- 14,5	20,5	0-20	48,8	5,0	13,1
				20-40	38,9	4,7	10,5
				40-60	9,3	3,0	2,7
				0-60			26,3
D 7	- 18,0	- 18,0	25,5	0-20	24,3	5,5	6,4
				20-40	16,0	3,9	4,5
				40-60	9,8	18,0	1,9
				0-60			12,7
D 8	- 32,2	- 32,2	45,5	0-20	25,3	4,4	6,9
				20-40	18,6	3,2	5,4
				40-60	8,1	1,1	2,6
				0-60			14,9
D 9	- 46,3	- 46,3	65,5	0-20	24,2	5,4	6,4
				20-40	16,8	4,2	4,6
				40-60	5,1	1,3	1,6
				0-60			12,7
D 10	- 74,6	- 74,6	105,5	0-20	17,4	4,9	4,7
				20-40	23,3	4,6	6,3
				40-60	7,4	2,0	2,3
				0-60			13,3
E 1	- 13,9	0	13,9	0-20	78,4	5,2	20,9
				20-40	19,1	4,2	5,3
				40-60	7,2	4,5	2,0
				0-60			28,1
E 2	- 15,9	0	15,9	0-20	58,4	5,1	15,6
				20-40	16,8	4,3	4,6
				40-60	10,9	3,4	3,1
				0-60			23,3
E 3	- 17,9	0	17,9	0-20	41,7	4,8	11,2
				20-40	23,7	4,2	6,5
				40-60	5,8	2,6	1,7
				0-60			19,5
E 4	- 19,9	0	19,9	0-20	35,7	4,8	9,6
				20-40	25,4	5,1	6,8
				40-60	7,4	2,8	2,2
				0-60			18,6

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
E 5	- 21,9	0	21,9	0-20	37,2	5,1	9,9
				20-40	18,8	3,6	5,3
				40-60	6,5	0,9	2,1
				0-60			17,4
E 6	- 26,9	0	26,9	0-20	28,4	4,6	7,7
				20-40	23,8	4,0	6,6
				40-60	7,5	1,1	2,4
				0-60			16,7
E 7	- 31,9	0	31,9	0-20	40,9	4,9	11,0
				20-40	22,4	3,6	6,3
				40-60	6,0	1,6	1,9
				0-60			19,2
E 8	- 51,9	0	51,9	0-20	30,0	5,4	7,9
				20-40	19,2	4,6	5,2
				40-60	3,8	2,1	1,2
				0-60			14,3
E 9	- 71,9	0	71,9	0-20	18,2	4,5	5,0
				20-40	15,2	3,7	4,3
				40-60	7,5	2,1	2,3
				0-60			11,5
E 10	-111,9	0	111,9	0-20	16,7	4,6	4,5
				20-40	14,0	4,4	3,8
				40-60	3,4	2,7	1,0
				0-60			9,4
F 1	- 5,3	5,3	7,5	0-20	171	4,7	46,3
				20-40	104	5,0	27,8
				40-60	23,4	1,9	7,2
				0-60			81,2
F 2	- 6,7	6,7	9,5	0-20	150	5,0	40,2
				20-40	89,2	4,0	24,8
				40-60	24,3	2,8	7,1
				0-60			72,2
F 3	- 8,1	8,1	11,5	0-20	77,8	4,4	21,3
				20-40	81,8	4,9	22,0
				40-60	23,4	4,1	6,5
				0-60			49,8
F 4	- 9,6	9,6	13,5	0-20	67,4	4,9	18,1
				20-40	43,1	4,2	11,9
				40-60	11,5	3,0	3,3
				0-60			33,4
F 5	- 11,0	11,0	15,5	0-20	59,7	5,0	16,0
				20-40	38,9	4,6	10,6
				40-60	13,0	2,8	3,8
				0-60			30,4

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
F 6	- 14,5	14,5	20,5	0-20	32,9	5,0	8,8
				20-40	26,2	4,9	7,0
				40-60	10,4	3,4	3,0
				0-60			18,8
F 7	- 18,0	18,0	25,5	0-20	36,4	5,0	9,8
				20-40	25,0	4,8	6,7
				40-60	4,6	4,9	1,2
				0-60			17,7
F 8	- 21,6	21,6	30,5	0-20	31,8	4,7	8,6
				20-40	28,7	4,7	7,8
				40-60	10,4	5,1	2,8
				0-60			19,1
G 1	0	5,9	5,9	0-20	104	4,2	28,7
				20-40	51,4	2,9	15,0
				40-60	42,5	1,3	13,4
				0-60			57,1
G 2	0	7,9	7,9	0-20	106	4,8	28,6
				20-40	80,3	4,1	22,3
				40-60	18,4	2,0	5,6
				0-60			56,4
G 3	0	9,9	9,9	0-20	48,4	4,4	13,2
				20-40	46,7	3,3	13,4
				40-60	21,8	1,9	6,7
				0-60			33,3
G 4	0	11,9	11,9	0-20	57,0	4,7	15,4
				20-40	52,3	4,0	14,6
				40-60	12,6	1,6	3,9
				0-60			33,9
G 5	0	13,9	13,9	0-20	56,5	5,0	15,1
				20-40	43,0	4,2	11,9
				40-60	11,1	2,1	3,4
				0-60			30,4
G 6	0	18,9	18,9	0-20	38,4	5,0	10,3
				20-40	30,1	4,2	8,3
				40-60	5,5	2,6	1,6
				0-60			20,2
G 7	0	23,9	23,9	0-20	33,0	5,0	8,8
				20-40	27,4	4,3	7,5
				40-60	6,6	3,7	1,9
				0-60			18,2
G 8	0	28,9	28,9	0-20	46,2	5,7	12,1
				20-40	26,6	4,6	7,2
				40-60	7,6	3,9	2,1
				0-60			21,5

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
H 1	5,3	5,3	7,5	0-20	116	4,4	31,7
				20-40	136	3,8	38,2
				40-60	27,2	1,5	8,5
				0-60			78,4
H 2	6,7	6,7	9,5	0-20	125	4,7	33,8
				20-40	72,9	2,8	21,4
				40-60	23,8	1,1	7,6
				0-60			62,8
H 3	8,1	8,1	11,5	0-20	83,7	4,8	22,6
				20-40	85,6	3,6	24,2
				40-60	21,8	1,5	6,8
				0-60			53,6
H 4	9,6	9,6	13,5	0-20	75,2	4,9	20,2
				20-40	60,0	3,0	17,5
				40-60	20,8	1,3	6,6
				0-60			44,2
H 5	11,0	11,0	15,5	0-20	53,0	4,7	14,3
				20-40	54,0	4,0	15,0
				40-60	21,2	2,2	6,4
				0-60			35,8
H 6	14,5	14,5	20,5	0-20	50,5	5,1	13,5
				20-40	28,2	3,2	8,1
				40-60	10,3	1,5	3,2
				0-60			24,8
H 7	18,0	18,0	25,5	0-20	48,1	5,0	12,9
				20-40	26,7	3,9	7,5
				40-60	5,3	1,4	1,7
				0-60			22,0
H 8	32,2	32,2	45,5	0-20	29,1	5,0	7,8
				20-40	13,5	3,7	3,8
				40-60	6,8	2,2	2,1
				0-60			13,7
H 9	46,3	46,3	65,5	0-20	17,4	5,2	4,6
				20-40	16,9	5,8	4,4
				40-60	8,3	5,3	2,2
				0-60			11,3
H 10	60,5	60,5	85,5	0-20	18,2	5,0	4,9
				20-40	14,4	4,3	4,0
				40-60	9,1	4,0	2,5
				0-60			11,4
O 1	6,0	3,9	7,1	0-20	326	4,9	87,6
				20-40	141	4,0	39,2
				40-60	43,8	2,3	13,2
				0-60			140,0

code	positie			afstand tot (0,0) $d(m) = \sqrt{x^2+y^2}$	laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		zink (mg/kg)			humus (gew. %)		
	x(m)	y(m)						
0 2	6,0	3,9	7,1	0-20	281	5,0	75,3	
				20-40	164	3,8	46,0	
				40-60	77,6	2,4	23,2	
				0-60			144,5	
0 3	11,9	0	11,9	0-20	326	4,9	87,6	
				20-40	408	3,8	114,5	
				40-60	155	2,5	46,1	
				0-60			248,3	
0 4	6,0	- 3,9	7,1	0-20	297	4,9	79,8	
				20-40	204	3,9	57,0	
				40-60	82,8	2,9	24,2	
				0-60			161,0	
0 5	- 6,0	- 3,9	7,1	0-20	316	4,6	85,8	
				20-40	171	3,9	47,8	
				40-60	14,4	1,6	4,5	
				0-60			138,0	
0 6	- 11,9	0	11,9	0-20	202	5,5	53,3	
				20-40	76,3	4,4	20,9	
				40-60	16,2	4,1	4,5	
				0-60			78,7	
0 7	- 6,0	0	6,0	0-20	284	5,3	75,4	
				20-40	188	4,0	52,3	
				40-60	34,4	1,7	10,6	
				0-60			138,3	
0 8	6,0	0	6,0	0-20	236	4,6	64,0	
				20-40	189	3,9	52,8	
				40-60	83,7	2,9	24,5	
				0-60			141,3	

Bijlage 2. Gehalten aan zink en organische stof (humus) en de daaruit berekende zinkvoorraden in de afzonderlijk bemonsterde lagen en in de laag van 0-60 cm. Mast 51.

code	positie			laag	gehalten		zinkvoorraad
	coördinaten		afstand tot (0,0)	cm beneden maaiveld	zink (mg/kg)	humus (gew. %)	z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	x(m)	y(m)	d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$				
A 1	0	5,9	5,9	0-20	108	4,7	29,2
				20-40	9,3	2,4	2,8
				40-60	5,7	0,8	1,9
				0-60			33,9
A 2	0	7,9	7,9	0-20	113	5,3	29,9
				20-40	39,7	2,8	11,7
				40-60	9,5	1,0	3,0
				0-60			44,6
A 3	0	9,9	9,9	0-20	101	5,5	26,8
				20-40	37,3	2,6	10,1
				40-60	8,3	0,9	2,8
				0-60			39,7
A 4	0	11,9	11,9	0-20	69,7	4,8	18,7
				20-40	21,7	2,5	6,5
				40-60	8,1	0,8	2,7
				0-60			27,9
A 5	0	13,9	13,9	0-20	62,3	4,2	17,1
				20-40	18,7	1,9	5,7
				40-60	8,1	0,8	2,7
				0-60			25,5
A 6	0	18,9	18,9	0-20	63,4	5,5	16,7
				20-40	15,8	1,8	4,9
				40-60	8,3	1,0	2,6
				0-60			24,2
A 7	0	23,9	23,9	0-20	36,3	5,8	9,5
				20-40	12,4	2,0	3,8
				40-60	9,2	0,9	3,1
				0-60			16,4
A 8	0	43,9	43,9	0-20	32,2	5,5	8,5
				20-40	8,2	1,6	2,5
				40-60	3,7	0,6	1,3
				0-60			12,3
A 9	0	63,9	63,9	0-20	29,3	6,8	7,4
				20-40	6,2	1,6	1,9
				40-60	2,9	0,6	1,0
				0-60			10,3
A 10	0	103,9	103,9	0-20	26,1	5,8	6,7
				20-40	7,4	2,3	2,2
				40-60	4,2	1,1	1,3
				0-60			10,2
B 1	5,4	5,4	7,6	0-20	175	5,5	46,1
				20-40	64,4	2,0	19,7
				40-60	16,1	1,0	5,1
				0-60			70,9



code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
B 2	6,8	6,8	9,6	0-20	176	6,1	45,7
				20-40	45,0	1,9	13,7
				40-60	4,0	0,7	1,4
				0-60			60,8
B 3	8,2	8,2	11,6	0-20	144	6,4	36,8
				20-40	21,9	1,6	6,8
				40-60	5,7	1,1	1,8
				0-60			45,4
B 4	9,6	9,6	13,6	0-20	116	5,4	30,5
				20-40	28,9	2,1	8,8
				40-60	8,4	1,1	2,7
				0-60			42,0
B 5	11,0	11,0	15,6	0-20	96,6	4,2	26,6
				20-40	28,8	1,1	9,2
				40-60	9,5	0,8	3,2
				0-60			39,0
B 6	14,6	14,6	20,6	0-20	78,5	6,8	19,9
				20-40	12,5	1,8	3,9
				40-60	5,2	1,1	1,6
				0-60			25,4
B 7	18,1	18,1	25,6	0-20	82,0	4,1	22,6
				20-40	19,4	2,3	5,8
				40-60	4,5	1,0	1,4
				0-60			29,8
B 8	32,2	32,2	45,6	0-20	43,8	6,5	11,2
				20-40	11,8	0,6	4,0
				40-60	7,6	0,5	2,6
				0-60			17,8
B 9	46,4	46,4	65,6	0-20	27,2	5,4	7,2
				20-40	13,3	2,8	3,9
				40-60	9,4	1,6	2,9
				0-60			14,0
B 10	74,7	74,7	105,6	0-20	19,6	5,1	5,2
				20-40	6,7	2,0	2,0
				40-60	4,0	0,7	1,4
				0-60			8,6
C 1	13,9	0	13,9	0-20	178	5,1	47,4
				20-40	45,7	1,4	14,3
				40-60	22,8	0,8	7,7
				0-60			69,4
C 2	15,9	0	15,9	0-20	752	5,1	200,3
				20-40	63,4	1,4	19,9
				40-60	28,6	0,7	9,7
				0-60			229,9

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten x(m)	y(m)	afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
C 3	17,9	0	17,9	0-20	115	5,5	30,1
				20-40	33,2	1,9	10,2
				40-60	14,1	1,0	4,5
				0-60			44,8
C 4	19,9	0	19,9	0-20	97,4	4,6	26,3
				20-40	19,3	1,8	5,9
				40-60	9,1	1,1	2,9
				0-60			35,1
C 5	21,9	0	21,9	0-20	74,7	5,0	20,0
				20-40	29,1	1,7	9,0
				40-60	10,5	0,8	3,6
				0-60			32,6
C 6	26,9	0	26,9	0-20	38,3	4,6	10,3
				20-40	18,3	1,7	5,7
				40-60	8,3	0,9	2,8
				0-60			18,8
C 7	31,9	0	31,9	0-20	28,9	3,7	8,1
				20-40	11,4	1,2	3,6
				40-60	6,9	0,8	2,3
				0-60			14,0
C 8	51,9	0	51,9	0-20	29,3	3,2	8,5
				20-40	15,6	2,1	4,7
				40-60	5,7	1,0	1,9
				0-60			15,1
C 9	71,9	0	71,9	0-20	37,4	4,4	10,3
				20-40	26,3	3,4	7,5
				40-60	8,5	1,0	2,7
				0-60			20,5
C 10	111,9	0	111,9	0-20	22,6	2,4	6,8
				20-40	20,9	3,1	6,1
				40-60	11,9	2,1	3,6
				0-60			16,5
D 1	5,4	- 5,4	7,6	0-20	252	4,6	68,0
				20-40	41,0	1,6	12,7
				40-60	10,3	0,6	3,5
				0-60			84,2
D 2	6,8	- 6,8	9,6	0-20	131	3,9	36,5
				20-40	35,7	2,5	10,6
				40-60	13,3	0,6	4,5
				0-60			51,6
D 3	8,2	- 8,2	11,6	0-20	201	4,4	54,8
				20-40	31,3	1,3	9,9
				40-60	15,4	0,6	5,2
				0-60			69,9
D 4	9,6	- 9,6	13,6	0-20	259	5,3	68,7
				20-40	54,4	1,5	17,0
				40-60	23,4	0,7	7,9
				0-60			93,6

code	positie			afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$	laag	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		cm beneden maaiveld		zink (mg/kg)	humus (gew. %)		
	x(m)	y(m)						
D 5	11,0	- 11,0	15,6	0-20	134	3,4	38,2	
				20-40	33,6	1,7	10,4	
				40-60	27,7	0,9	9,4	
				0-60			58,0	
D 6	14,6	- 14,6	20,6	0-20	98,7	4,4	26,8	
				20-40	20,4	1,3	6,4	
				40-60	15,7	0,8	5,3	
				0-60			38,5	
D 7	18,1	- 18,1	25,6	0-20	34,9	3,3	10,0	
				20-40	24,3	1,8	7,5	
				40-60	17,1	1,1	5,4	
				0-60			22,9	
D 8	32,2	- 32,2	45,6	0-20	40,3	3,4	11,5	
				20-40	12,2	1,2	3,9	
				40-60	6,2	0,7	2,1	
				0-60			17,5	
D 9	46,4	- 46,4	65,6	0-20	33,8	2,8	9,9	
				20-40	25,9	2,3	7,8	
				40-60	9,9	1,6	3,1	
				0-60			20,8	
D 10	74,7	- 74,7	105,5	0-20	48,0	3,6	13,8	
				20-40	16,5	1,6	5,1	
				40-60	8,4	0,9	2,8	
				0-60			21,7	
E 1	0	- 5,9	5,9	0-20	232	4,9	62,1	
				20-40	68,1	3,5	19,4	
				40-60	6,6	1,2	2,1	
				0-60			83,6	
E 2	0	- 7,9	7,9	0-20	151	4,7	40,7	
				20-40	47,0	3,7	13,2	
				40-60	6,9	1,3	2,2	
				0-60			56,1	
E 3	0	- 9,9	9,9	0-20	140	4,2	38,6	
				20-40	60,0	2,5	17,9	
				40-60	27,5	1,4	8,6	
				0-60			65,1	
E 4	0	- 11,9	11,9	0-20	115	4,3	31,5	
				20-40	32,9	1,8	10,1	
				40-60	18,9	0,7	6,4	
				0-60			48,0	
E 5	0	- 13,9	13,9	0-20	106	4,0	29,4	
				20-40	34,1	2,6	10,1	
				40-60	7,7	0,7	2,6	
				0-60			42,1	

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
E 6	0	- 18,9	18,9	0-20	89,2	4,9	24,0
				20-40	37,7	3,1	10,8
				40-60	11,7	1,1	3,7
				0-60			38,5
E 7	0	- 25,9	25,9	0-20	51,5	3,5	14,6
				20-40	11,1	1,1	3,5
				40-60	5,3	0,7	1,8
				0-60			19,9
E 8	0	- 43,9	43,9	0-20	52,1	5,1	13,9
				20-40	17,6	2,0	5,4
				40-60	9,0	0,7	3,1
				0-60			22,4
E 9	0	- 63,9	63,9	0-20	46,6	6,7	11,8
				20-40	13,0	3,2	3,8
				40-60	8,2	1,4	2,6
				0-60			18,2
E 10	0	-103,9	103,9	0-20	21,9	5,7	5,7
				20-40	8,0	1,8	2,5
				40-60	7,0	1,0	2,2
				0-60			10,4
F 1	- 5,4	- 5,4	7,6	0-20	172	6,4	44,0
				20-40	55,6	3,7	15,7
				40-60	14,1	1,6	4,4
				0-60			64,1
F 2	- 6,8	- 6,8	9,6	0-20	119	6,2	30,8
				20-40	38,4	3,5	10,9
				40-60	12,5	1,5	2,7
				0-60			44,4
F 3	- 8,2	- 8,2	11,6	0-20	122	5,9	31,7
				20-40	22,7	3,8	6,6
				40-60	8,6	1,6	2,7
				0-60			41,0
F 4	- 9,6	- 9,6	13,6	0-20	97,7	6,3	25,1
				20-40	21,0	4,4	5,7
				40-60	9,1	2,3	2,7
				0-60			33,5
F 5	- 11,0	- 11,0	15,6	0-20	75,0	5,5	19,7
				20-40	19,7	3,2	5,7
				40-60	8,2	1,5	2,6
				0-60			28,0
F 6	- 14,6	- 14,6	20,6	0-20	51,6	6,0	13,4
				20-40	16,4	3,9	4,6
				40-60	6,9	1,7	2,1
				0-60			20,1

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
F 7	- 18,1	- 18,1	25,6	0-20	50,0	5,5	13,2
				20-40	15,3	4,0	4,2
				40-60	6,3	1,9	1,9
				0-60			19,3
F 8	- 35,8	- 35,8	50,6	0-20	31,8	4,6	8,6
				20-40	8,9	2,6	2,6
				40-60	6,5	1,4	2,0
				0-60			13,2
F 9	- 46,4	- 46,4	65,6	0-20	27,3	6,1	7,1
				20-40	16,5	3,0	4,8
				40-60	9,9	1,3	3,1
				0-60			15,0
F 10	- 74,7	- 74,7	105,6	0-20	28,5	5,4	7,5
				20-40	8,0	2,2	2,4
				40-60	9,1	1,6	2,8
				0-60			12,7
G 1	- 13,9	0	13,9	0-20	114	5,5	30,1
				20-40	47,9	4,8	12,9
				40-60	13,2	1,4	4,1
				0-60			47,1
G 2	- 15,9	0	15,9	0-20	67,0	5,4	17,7
				20-40	33,4	4,2	9,2
				40-60	10,5	1,6	3,3
				0-60			30,2
G 3	- 17,9	0	17,9	0-20	44,8	5,7	11,8
				20-40	25,1	4,0	7,0
				40-60	8,1	1,5	2,5
				0-60			21,3
G 4	- 19,9	0	19,9	0-20	38,6	5,1	10,3
				20-40	23,5	3,6	6,7
				40-60	10,3	1,8	3,2
				0-60			20,2
G 5	- 21,9	0	21,9	0-20	54,3	5,5	14,3
				20-40	12,1	3,3	3,5
				40-60	5,2	1,4	1,6
				0-60			19,4
G 6	- 26,9	0	26,9	0-20	30,0	5,2	8,0
				20-40	21,3	3,9	5,9
				40-60	8,2	1,5	2,6
				0-60			16,5
G 7	- 31,9	0	31,9	0-20	30,0	6,0	7,8
				20-40	9,8	3,2	2,8
				40-60	4,6	1,2	1,5
				0-60			12,1

code	positie		afstand tot (0,0) $d(m) = \sqrt{x^2+y^2}$	laag	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten x(m)	y(m)		cm beneden maaiveld	zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
G 8	- 51,9	0	51,9	0-20	39,8	5,1	10,6
				20-40	13,5	2,5	4,0
				40-60	4,8	1,2	1,5
				0-60			16,1
G 9	- 71,9	0	71,9	0-20	34,3	6,4	8,8
				20-40	8,5	1,7	2,6
				40-60	5,2	1,2	1,6
				0-60			13,0
G 10	- 111,9	0	111,9	0-20	30,9	4,6	8,3
				20-40	9,5	2,8	2,8
				40-60	4,3	0,9	1,5
				0-60			12,6
H 1	- 5,4	5,4	7,6	0-20	122	5,9	31,6
				20-40	42,9	4,2	11,8
				40-60	18,2	1,8	5,6
				0-60			49,0
H 2	- 6,8	6,8	9,6	0-20	128	5,5	33,6
				20-40	66,7	5,0	17,8
				40-60	11,5	1,9	3,5
				0-60			54,9
H 3	- 8,2	8,2	11,6	0-20	106	5,7	27,8
				20-40	67,5	4,2	18,6
				40-60	8,1	1,0	2,6
				0-60			49,0
H 4	- 9,6	9,6	13,6	0-20	61,6	4,8	16,6
				20-40	44,8	3,5	11,8
				40-60	13,8	1,1	4,4
				0-60			32,8
H 5	- 11,0	11,0	15,6	0-20	56,6	5,9	14,7
				20-40	30,6	3,3	8,8
				40-60	7,6	1,0	2,4
				0-60			25,9
H 6	- 14,6	14,6	20,6	0-20	62,2	7,5	15,4
				20-40	20,8	4,8	5,6
				40-60	4,5	1,2	1,4
				0-60			22,4
H 7	- 18,1	18,1	25,6	0-20	55,0	7,9	13,4
				20-40	22,7	4,6	6,1
				40-60	4,3	1,6	1,3
				0-60			20,8
H 8	- 32,2	32,2	45,6	0-20	35,3	8,6	8,4
				20-40	12,3	4,2	3,4
				40-60	5,2	1,8	1,6
				0-60			13,4

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
H 9	- 46,4	46,4	65,6	0-20	30,5	7,5	7,6
				20-40	9,0	2,7	2,7
				40-60	6,0	1,2	1,9
				0-60			12,2
H 10	- 74,7	74,7	105,6	0-20	28,0	5,6	7,3
				20-40	10,5	3,2	3,0
				40-60	5,5	1,6	1,7
				0-60			12,0
O 1	3,9	3,9	5,6	0-20	304	4,8	81,4
				20-40	172	2,4	51,6
				40-60	55,7	1,2	17,6
				0-60			150,6
O 2	11,9	0	11,9	0-20	312	4,6	84,1
				20-40	70,8	1,4	22,2
				40-60	33,3	0,8	11,3
				0-60			117,6
O 3	3,9	- 3,9	5,6	0-20	383	4,5	103,3
				20-40	110	2,3	36,7
				40-60	46,5	0,8	15,8
				0-60			155,8
O 4	- 3,9	- 3,9	5,6	0-20	183	5,2	48,7
				20-40	111	3,4	30,3
				40-60	32,9	1,3	10,4
				0-60			89,4
O 5	- 11,9	0	11,9	0-20	148	6,1	38,2
				20-40	120	4,1	33,2
				40-60	24,7	1,6	7,7
				0-60			79,1
O 6	- 3,9	3,9	5,6	0-20	229	5,6	60,0
				20-40	180	4,8	48,4
				40-60	18,9	1,2	6,0
				0-60			114,4
O 7	5,9	0	5,9	0-20	460	5,4	130,8
				20-40	291	3,8	81,6
				40-60	36,3	1,0	11,6
				0-60			224,0
O 8	- 5,9	0	5,9	0-20	204	6,1	53,0
				20-40	191	6,2	49,2
				40-60	33,8	1,0	10,8
				0-60			113,0

Bijlage 3. Gehalten aan zink en organische stof (humus) en de daaruit berekende zinkvoorraden in de afzonderlijk bemonsterde lagen en in de laag van 0-60 cm. Mast 55.



code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
A 1	0	8,2	8,2	0-20	298	4,6	80,9
				20-40	292	4,4	79,9
				40-60	210	2,1	63,6
				0-60			224,4
A 2	0	10,2	10,2	0-20	241	6,4	61,8
				20-40	198	6,3	51,0
				40-60	29,1	2,4	8,7
				0-60			121,5
A 3	0	12,2	12,2	0-20	141	6,7	35,9
				20-40	133	5,8	34,8
				40-60	20,9	2,2	6,3
				0-60			76,9
A 4	0	14,2	14,2	0-20	106	6,4	27,2
				20-40	51,1	4,7	13,8
				40-60	13,0	1,9	4,0
				0-60			45,0
A 5	0	16,2	16,2	0-20	90,1	7,0	22,7
				20-40	53,4	5,2	14,2
				40-60	12,3	2,0	3,7
				0-60			40,7
A 6	0	21,2	21,2	0-20	62,2	6,8	15,8
				20-40	56,5	5,6	14,9
				40-60	10,4	1,4	3,3
				0-60			33,9
A 7	0	26,2	26,2	0-20	40,8	6,0	10,6
				20-40	25,5	5,0	6,8
				40-60	28,1	2,5	8,4
				0-60			25,8
A 8	0	46,2	46,2	0-20	28,4	5,8	7,4
				20-40	20,0	5,1	5,3
				40-60	5,9	2,2	1,8
				0-60			14,5
A 9	0	66,2	66,2	0-20	26,0	6,1	6,7
				20-40	13,8	3,7	3,9
				40-60	4,4	1,4	1,4
				0-60			12,0
A 10	0	106,2	106,2	0-20	26,0	7,6	6,4
				20-40	14,6	4,9	3,9
				40-60	7,7	2,4	2,3
				0-60			12,7
B 1	7,6	7,6	10,7	0-20	190	7,2	47,6
				20-40	30,9	4,0	8,6
				40-60	9,8	1,5	3,1
				0-60			59,3

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
B 2	9,0	9,0	12,7	0-20	89,4	5,5	23,6
				20-40	44,1	3,1	12,8
				40-60	7,3	1,1	2,3
				0-60			38,7
B 3	10,4	10,4	14,7	0-20	78,7	6,7	20,0
				20-40	32,5	4,0	9,1
				40-60	7,5	1,2	2,4
				0-60			31,4
B 4	11,8	11,8	16,7	0-20	63,8	5,8	16,7
				20-40	17,1	2,5	5,1
				40-60	6,4	1,0	2,0
				0-60			23,8
B 5	13,2	13,2	18,7	0-20	78,7	7,2	19,7
				20-40	25,2	2,8	7,4
				40-60	8,4	1,2	2,7
				0-60			29,8
B 6	16,8	16,8	23,7	0-20	53,2	6,8	13,5
				20-40	36,2	4,7	9,8
				40-60	6,4	1,0	2,0
				0-60			25,3
B 7	20,3	20,3	28,7	0-20	49,2	6,6	12,6
				20-40	32,5	3,6	9,2
				40-60	6,4	0,7	2,2
				0-60			23,9
B 8	34,4	34,4	48,7	0-20	20,8	4,5	5,7
				20-40	12,7	3,5	3,6
				40-60	4,9	2,3	1,5
				0-60			10,8
B 9	48,6	48,6	68,7	0-20	21,9	5,1	5,9
				20-40	13,3	3,9	3,7
				40-60	4,7	2,0	1,4
				0-60			11,0
B 10	76,9	76,9	108,7	0-20	27,5	5,9	7,2
				20-40	9,8	3,5	2,8
				40-60	4,5	1,5	1,4
				0-60			11,4
C 1	14,3	0	14,3	0-20	166	8,7	39,8
				20-40	35,9	4,4	9,8
				40-60	8,4	1,6	2,6
				0-60			52,3
C 2	16,3	0	16,3	0-20	108	8,2	26,3
				20-40	36,3	4,7	9,8
				40-60	5,8	1,6	1,8
				0-60			37,9

code	positie			laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
C 3	18,3	0	18,3	0-20	83,9	7,9	20,6
				20-40	23,6	4,7	6,4
				40-60	6,3	1,2	2,0
				0-60			29,0
C 4	20,3	0	20,3	0-20	71,9	8,6	17,3
				20-40	32,0	4,8	8,6
				40-60	6,8	1,4	2,1
				0-60			28,1
C 5	22,3	0	22,3	0-20	69,0	7,8	17,0
				20-40	22,9	2,5	6,8
				40-60	6,4	1,3	2,0
				0-60			25,8
C 6	27,3	0	27,3	0-20	47,7	7,4	11,9
				20-40	22,1	3,2	6,4
				40-60	5,1	1,2	1,6
				0-60			19,9
C 7	32,3	0	32,3	0-20	31,0	7,1	7,8
				20-40	25,5	3,5	7,3
				40-60	6,4	0,8	2,2
				0-60			17,2
C 8	52,3	0	52,3	0-20	21,5	8,1	5,3
				20-40	13,8	4,4	3,8
				40-60	7,3	1,4	2,3
				0-60			11,3
C 9	72,3	0	72,3	0-20	24,2	7,3	6,1
				20-40	10,7	3,8	3,0
				40-60	5,8	1,7	1,8
				0-60			10,8
C 10	112,3	0	112,3	0-20	26,9	6,8	6,8
				20-40	13,0	5,8	3,4
				40-60	3,4	2,6	1,0
				0-60			11,2
D 1	7,6	- 7,6	10,7	0-20	92,4	4,0	25,7
				20-40	110	3,6	31,2
				40-60	65,9	2,2	19,9
				0-60			76,8
D 2	9,0	- 9,0	12,7	0-20	71,2	4,0	19,8
				20-40	67,9	4,0	18,9
				40-60	22,8	1,6	7,1
				0-60			45,8
D 3	10,4	- 10,4	14,7	0-20	62,3	5,1	16,6
				20-40	42,2	3,6	12,0
				40-60	9,0	1,4	2,8
				0-60			31,4

code	positie			afstand tot (0,0) $d(m) = \sqrt{x^2+y^2}$	laag	gehalten		zinkvoorraad
	coördinaten		cm beneden maaiveld		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	z (g Zn/m <sup>2</sup> )	
	x(m)	y(m)						
D 4	11,8	- 11,8	16,7	0-20	50,5	4,4	13,8	
				20-40	36,1	4,1	10,0	
				40-60	7,7	1,6	2,4	
				0-60			26,2	
D 5	13,2	- 13,2	18,7	0-20	46,1	4,7	12,5	
				20-40	30,9	5,5	8,2	
				40-60	9,5	3,8	2,7	
				0-60			23,3	
D 6	16,8	- 16,8	23,7	0-20	34,1	5,2	9,1	
				20-40	29,9	5,3	7,9	
				40-60	8,3	2,0	2,5	
				0-60			19,6	
D 7	20,3	- 20,3	28,7	0-20	17,5	4,4	4,8	
				20-40	15,5	6,2	4,0	
				40-60	6,0	1,9	1,8	
				0-60			10,6	
D 8	23,8	- 23,8	33,7	0-20	15,5	5,1	4,1	
				20-40	12,4	5,3	3,3	
				40-60	7,7	3,5	2,2	
				0-60			9,6	
D 9	30,9	- 30,9	43,7	0-20	12,9	3,9	3,6	
				20-40	9,3	3,6	2,6	
				40-60	11,3	1,6	3,5	
				0-60			9,8	
D 10	38,0	- 38,0	53,7	0-20	14,2	5,0	3,8	
				20-40	9,6	4,4	2,6	
				40-60	6,8	2,3	2,0	
				0-60			8,5	
E 1	0	- 8,2	8,2	0-20	59,3	3,2	17,1	
				20-40	49,6	3,1	14,4	
				40-60	17,9	1,3	5,6	
				0-60			37,1	
E 2	0	- 10,2	10,2	0-20	67,3	4,2	18,6	
				20-40	30,8	2,0	9,4	
				40-60	10,1	0,7	3,4	
				0-60			31,4	
E 3	0	- 12,2	12,2	0-20	66,9	4,2	18,5	
				20-40	34,9	2,4	10,4	
				40-60	11,5	1,0	3,7	
				0-60			32,6	
E 4	0	- 14,2	14,2	0-20	63,2	4,1	17,5	
				20-40	45,7	3,0	13,3	
				40-60	7,9	0,8	2,7	
				0-60			33,5	

code	positie			laag cm beneden massiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		afstand tot (0,0) d(m) = $\sqrt{x^2+y^2}$		zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
	x(m)	y(m)					
E 5	0	- 16,2	16,2	0-20	62,9	4,2	17,4
				20-40	62,0	4,1	17,2
				40-60	13,7	1,4	4,3
				0-60			38,8
E 6	0	- 21,2	21,2	0-20	39,0	4,2	10,8
				20-40	30,3	3,4	8,7
				40-60	11,1	0,9	3,6
				0-60			23,0
E 7	0	- 26,2	26,2	0-20	22,4	4,5	6,1
				20-40	18,4	3,6	5,2
				40-60	8,9	1,3	2,8
				0-60			14,1
E 8	0	- 46,2	46,2	0-20	20,2	5,6	5,3
				20-40	15,7	4,2	4,3
				40-60	7,9	0,9	2,5
				0-60			12,2
E 9	0	- 66,2	66,2	0-20	16,5	6,6	4,2
				20-40	10,3	4,3	2,8
				40-60	3,5	0,9	1,1
				0-60			8,2
E 10	0	-106,2	106,2	0-20	18,0	7,5	4,5
				20-40	9,6	3,7	2,7
				40-60	3,5	0,9	1,1
				0-60			8,3
F 1	- 7,6	- 7,6	10,7	0-20	74,2	4,7	20,1
				20-40	56,1	4,5	15,3
				40-60	21,0	2,3	6,3
				0-60			41,7
F 2	- 9,0	- 9,0	12,7	0-20	71,1	4,8	19,2
				20-40	52,4	3,9	14,7
				40-60	13,1	1,5	4,1
				0-60			37,9
F 3	- 10,4	- 10,4	14,7	0-20	70,0	5,3	18,6
				20-40	57,4	4,6	15,6
				40-60	12,5	1,9	3,8
				0-60			38,0
F 4	- 11,8	- 11,8	16,7	0-20	57,8	5,0	15,5
				20-40	67,5	4,8	18,2
				40-60	10,8	1,3	3,4
				0-60			37,1
F 5	- 13,2	- 13,2	18,7	0-20	50,8	5,2	13,5
				20-40	35,5	3,7	10,0
				40-60	8,3	1,0	2,7
				0-60			26,2

code	positie		afstand tot (0,0) $d(m) = \sqrt{x^2+y^2}$	laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten x(m)	y(m)			zink (mg/kg)	humus (gew. %)	
F 6	- 16,8	- 16,8	23,7	0-20	46,2	4,7	12,5
				20-40	37,2	4,0	10,4
				40-60	11,6	1,8	3,6
				0-60			26,4
F 7	- 20,3	- 20,3	28,7	0-20	38,5	4,7	10,4
				20-40	32,5	3,7	9,2
				40-60	9,0	1,0	2,9
				0-60			22,4
F 8	- 23,8	- 23,8	33,7	0-20	25,7	4,7	7,0
				20-40	20,3	3,5	5,8
				40-60	9,5	1,2	3,0
				0-60			15,7
F 9	- 27,4	- 27,4	38,7	0-20	24,4	4,3	6,7
				20-40	18,6	3,3	5,3
				40-60	7,8	3,6	2,2
				0-60			14,2
F 10	- 30,9	- 30,9	43,7	0-20	26,7	4,9	7,2
				20-40	24,5	4,4	6,7
				40-60	7,8	1,3	2,5
				0-60			16,3
G 1	- 14,3	0	14,3	0-20	102	5,6	26,8
				20-40	113	5,3	30,0
				40-60	39,8	2,2	12,0
				0-60			68,8
G 2	- 16,3	0	16,3	0-20	101	6,0	26,2
				20-40	98,6	5,8	25,8
				40-60	24,8	2,1	7,5
				0-60			59,5
G 3	- 18,3	0	18,3	0-20	84,4	5,5	22,3
				20-40	68,3	4,9	18,4
				40-60	21,6	2,9	6,3
				0-60			46,9
G 4	- 20,3	0	20,3	0-20	72,5	5,3	19,2
				20-40	45,1	3,5	12,8
				40-60	10,8	1,0	3,5
				0-60			35,5
G 5	- 22,3	0	22,3	0-20	73,2	5,1	19,6
				20-40	43,1	3,3	12,4
				40-60	26,9	0,9	8,6
				0-60			40,6
G 6	- 27,3	0	27,3	0-20	58,1	5,5	15,3
				20-40	32,9	3,4	9,4
				40-60	11,5	1,4	3,6
				0-60			28,3

code	positie			afstand tot (0,0) $d(m) = \sqrt{x^2+y^2}$	laag	gehalten		zinkvoorraad z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		cm beneden maaiveld		zink (mg/kg)	humus (gew. %)		
	x(m)	y(m)						
G 7	- 32,3	0	32,3	0-20	39,9	4,9	10,7	
				20-40	20,7	2,6	6,1	
				40-60	7,7	0,9	2,5	
				0-60			19,3	
H 1	- 7,6	7,6	10,7	0-20	349	6,1	90,4	
				20-40	316	5,9	82,3	
				40-60	90,1	5,1	24,1	
				0-60			196,8	
H 2	- 9,0	9,0	12,7	0-20	197	6,2	50,9	
				20-40	188	5,9	49,0	
				40-60	12,1	4,2	3,3	
				0-60			103,2	
H 3	- 10,4	10,4	14,7	0-20	138	5,3	36,6	
				20-40	62,8	2,9	18,3	
				40-60	46,1	2,6	13,7	
				0-60			68,6	
H 4	- 11,8	11,8	16,7	0-20	125	6,0	32,5	
				20-40	91,4	5,8	23,9	
				40-60	31,9	3,2	9,2	
				0-60			65,6	
H 5	- 13,2	13,2	18,7	0-20	92,4	5,3	24,5	
				20-40	60,8	5,1	16,2	
				40-60	8,4	2,0	2,6	
				0-60			43,3	
H 6	- 16,8	16,8	23,7	0-20	59,9	5,6	15,8	
				20-40	46,8	5,5	12,3	
				40-60	13,9	2,1	4,2	
				0-60			32,3	
H 7	- 20,3	20,3	28,7	0-20	49,6	6,2	12,8	
				20-40	23,3	4,4	6,4	
				40-60	7,2	1,6	2,2	
				0-60			21,4	
H 8	- 34,4	34,4	48,7	0-20	18,6	6,2	4,8	
				20-40	8,8	4,5	2,4	
				40-60	4,4	1,8	1,4	
				0-60			8,6	
H 9	- 48,6	48,6	68,7	0-20	25,5	3,8	7,2	
				20-40	22,5	3,4	6,4	
				40-60	6,4	1,3	2,0	
				0-60			15,6	
H 10	- 76,9	76,9	108,7	0-20	15,4	5,5	4,1	
				20-40	6,2	2,8	1,8	
				40-60	3,7	1,8	1,1	
				0-60			7,0	

code	positie			afstand tot (0,0) $d(m) = \sqrt{x^2+y^2}$	laag cm beneden maaiveld	gehalten		zinkvoorra: z (g Zn/m <sup>2</sup> )
	coördinaten		zink (mg/kg)			humus (gew. %)		
	x(m)	y(m)						
0 1	- 6,2	6,2	8,7	0-20	349	6,2	90,1	
				20-40	276	2,1	83,6	
				40-60	119	4,1	33,0	
				0-60			206,7	
0 2	6,2	6,2	8,7	0-20	264	7,3	66,0	
				20-40	68,7	3,5	19,5	
				40-60	22,7	1,4	7,1	
				0-60			92,6	
0 3	12,3	0	12,3	0-20	181	7,9	44,4	
				20-40	37,1	4,3	10,2	
				40-60	13,6	2,0	4,1	
				0-60			58,8	
0 4	6,2	- 6,2	8,7	0-20	125	4,3	34,4	
				20-40	119	3,7	33,6	
				40-60	52,4	2,3	15,7	
				0-60			83,6	
0 5	- 6,2	- 6,2	8,7	0-20	94,1	4,7	25,5	
				20-40	142	4,7	36,8	
				40-60	57,1	3,7	16,1	
				0-60			78,3	
0 6	- 12,3	0	12,3	0-20	166	5,5	43,8	
				20-40	80,9	3,7	22,8	
				40-60	42,2	2,6	12,5	
				0-60			79,1	
0 7	- 6,2	0	6,2	0-20	72,0	5,4	19,1	
				20-40	21,2	1,5	6,6	
				40-60	15,4	1,0	4,9	
				0-60			30,6	
0 8	6,2	0	6,2	0-20	419	7,4	104,4	
				20-40	239	6,5	58,6	
				40-60	37,8	3,0	11,0	
				0-60			174,0	



Bijlage 4. Overzicht van de resultaten van de cadmium- en loodbepalingen, de berekende voorraden aan deze metalen in de afzonderlijk bemonsterde lagen en de door optelling daarvan verkregen voorraden tot op 60 cm diepte.

De monsters zijn gerangschikt naar toenemende zinkvoorraad.

code	laag cm beneden maaiveld	gehalten		voorraden		
		cadmium (mg/kg)	lood (mg/kg)	cadmium (mg/m <sup>2</sup> )	lood (g/m <sup>2</sup> )	zink (g/m <sup>2</sup> )
49 C 10	0-20	0,38	24,8	101	6,60	
	20-40	0,27	12,5	76	3,52	
	40-60	0,04	2,1	13	0,66	
	0-60			190	10,78	8,8
49 E 10	0-20	0,32	13,6	87	3,68	
	20-40	0,25	9,4	68	2,57	
	40-60	0,04	1,3	12	0,38	
	0-60			167	6,63	9,4
49 B 10	0-20	0,27	16,7	71	4,42	
	20-40	0,19	3,9	57	1,17	
	40-60	0,06	2,4	19	0,74	
	0-60			147	6,33	10,6
55 C 10	0-20	0,26	15,1	66	3,81	
	20-40	0,14	5,7	36	1,48	
	40-60	0,01	1,6	3	0,47	
	0-60			105	5,76	11,2
49 H 10	0-20	0,24	18,8	64	5,02	
	20-40	0,21	10,8	58	2,97	
	40-60	0,15	2,1	42	0,58	
	0-60			163	8,57	11,4
55 A 10	0-20	0,36	13,3	89	3,28	
	20-40	0,18	7,4	48	1,98	
	40-60	0,02	2,9	6	0,87	
	0-60			143	6,13	12,7
49 A 10	0-20	0,30	48,2	78	12,87	
	20-40	0,30	15,7	41	4,35	
	40-60	0,05	4,1	6	1,19	
	0-60			125	18,41	12,9
49 D 10	0-20	0,33	16,4	88	4,39	
	20-40	0,26	14,0	70	3,79	
	40-60	0,04	3,1	12	0,94	
	0-60			171	9,12	13,3
49 F 8	0-20	0,34	18,8	92	5,07	
	20-40	0,28	14,8	75	3,99	
	40-60	0,12	9,3	32	2,48	
	0-60			199	11,54	19,1
55 C 6	0-20	0,28	14,9	69	3,69	
	20-40	0,09	5,3	26	1,53	
	40-60	0,01	2,4	3	0,76	
	0-60			99	5,98	19,9
49 G 8	0-20	0,30	18,8	78	4,91	
	20-40	0,23	12,9	62	3,49	
	40-60	0,09	2,9	25	0,81	
	0-60			166	9,21	21,5

code	laag cm beneden maaiveld	gehalten		voorraden		
		cadmium (mg/kg)	lood (mg/kg)	cadmium (mg/m <sup>2</sup> )	lood (g/m <sup>2</sup> )	zink (g/m <sup>2</sup> )
55 A 7	0-20	0,23	8,8	60	2,28	
	20-40	0,13	6,6	35	1,76	
	40-60	0,11	3,8	33	1,13	
	0-60			127	5,17	25,8
49 E 1	0-20	0,33	24,3	88	6,45	
	20-40	0,25	15,2	69	4,19	
	40-60	0,14	24,3	38	6,62	
	0-60			195	17,26	28,1
55 C 2	0-20	0,40	19,4	97	4,70	
	20-40	0,13	6,0	35	1,62	
	40-60	0,01	2,2	3	0,68	
	0-60			135	7,00	37,9
55 A 4	0-20	0,27	12,2	69	3,12	
	20-40	0,12	5,8	32	1,56	
	40-60	0,02	2,2	6	0,67	
	0-60			107	5,35	45,0
49 G 1	0-20	0,23	15,0	63	4,14	
	20-40	0,15	7,5	44	2,19	
	40-60	0,05	1,3	16	0,41	
	0-60			123	6,74	57,1
55 O 3	0-20	0,39	19,3	95	4,72	
	20-40	0,12	5,6	33	1,54	
	40-60	0,02	3,4	6	1,04	
	0-60			134	7,30	58,8
49 A 1	0-20	0,29	19,8	78	5,50	
	20-40	0,15	7,6	41	2,10	
	40-60	0,02	1,3	6	0,40	
	0-60			125	7,80	74,0
55 A 3	0-20	0,32	12,6	81	3,19	
	20-40	0,25	8,4	65	2,19	
	40-60	0,02	2,1	6	0,63	
	0-60			152	6,01	76,9
49 D 1	0-20	0,30	30,9	81	8,33	
	20-40	0,26	22,5	70	6,07	
	40-60	0,02	1,4	6	0,44	
	0-60			157	14,84	77,2
49 H 1	0-20	0,24	15,4	66	4,21	
	20-40	0,17	9,0	48	2,53	
	40-60	0,03	0,9	9	0,28	
	0-60			123	7,02	78,4

code	laag cm beneden maaiveld	gehalten		voorraden		
		cadmium (mg/kg)	lood (mg/kg)	cadmium (mg/m <sup>2</sup> )	lood (g/m <sup>2</sup> )	zink (g/m <sup>2</sup> )
49 F 1	0-20	0,29	16,0	78	4,31	
	20-40	0,24	10,8	64	2,88	
	40-60	0,05	1,9	15	0,58	
	0-60			158	7,77	81,2
49 C 1	0-20	0,30	17,1	82	4,70	
	20-40	0,32	7,3	86	1,97	
	40-60	0,02	1,3	6	0,39	
	0-60			175	7,06	105,7
49 B 1	0-20	0,29	16,6	79	4,54	
	20-40	0,25	8,9	70	2,51	
	40-60	0,04	1,6	12	0,48	
	0-60			162	7,53	107,8
55 A 2	0-20	0,33	12,7	84	3,25	
	20-40	0,25	10,3	64	2,64	
	40-60	0,05	2,6	15	0,78	
	0-60			163	6,67	121,5
49 O 5	0-20	0,29	16,3	78	4,41	
	20-40	0,21	9,5	59	2,65	
	40-60	0,05	3,2	16	0,99	
	0-60			153	8,05	138,0
49 O 4	0-20	0,26	20,7	70	3,40	
	20-40	0,22	9,8	61	2,74	
	40-60	0,10	5,7	29	1,66	
	0-60			160	7,86	161,0
55 O 8	0-20	0,47	18,6	117	4,61	
	20-40	0,21	7,8	54	1,99	
	40-60	0,02	3,7	6	1,08	
	0-60			176	7,68	174,0
55 A 1	0-20	0,28	11,2	76	3,03	
	20-40	0,21	8,5	57	2,32	
	40-60	0,09	3,8	27	1,15	
	0-60			160	6,50	224,4
49 O 3	0-20	0,27	17,9	72	4,80	
	20-40	0,23	10,0	65	2,81	
	40-60	0,09	3,7	27	1,10	
	0-60			164	8,71	248,3

Bijlage 5. Resultaten van de niet-lineaire parameterfitting met behulp van SIMPLEX-optimalisering van het verband tussen de zinkvoorraad en de afstand tot de voet van de mast.

$$\text{Model: } z = z_0 + z_v \cdot e^{-k \cdot d_v}$$

waarin  $z$  de zinkvoorraad (0-60 cm) op afstand  $d_v$  tot de voet van de mast ( $\text{g Zn m}^{-2}$ )

$z_0$  de zinkvoorraad (0-60 cm) op oneindig grote afstand tot de mast, de achtergrondwaarde ( $\text{g Zn m}^{-2}$ )

$z_v$  de zinkbelasting (toename van de zinkvoorraad in de laag van 0-60 cm) aan de voet van de mast ( $\text{g Zn m}^{-2}$ )

$k$  parameter die een maat vormt voor de snelheid waarmee de zinkbelasting verandert met de afstand tot de mast; het negatieve teken van  $k$  geeft aan dat de zinkbelasting afneemt als de afstand tot de mast groter wordt ( $\text{m}^{-1}$ )

$d_v$  afstand tot de voet van de mast (m)

In de tabel worden de schattingen van  $z_0$ ,  $z_v$  en  $k$  per raai gegeven, die leiden tot de kleinste standaardafwijking van de absolute verschillen tussen de gemeten en de geschatte waarde van  $z$ . Daarnaast geeft de tabel de waarde van de correlatiecoëfficiënt  $r$  en het aantal waarnemingen  $n$ .

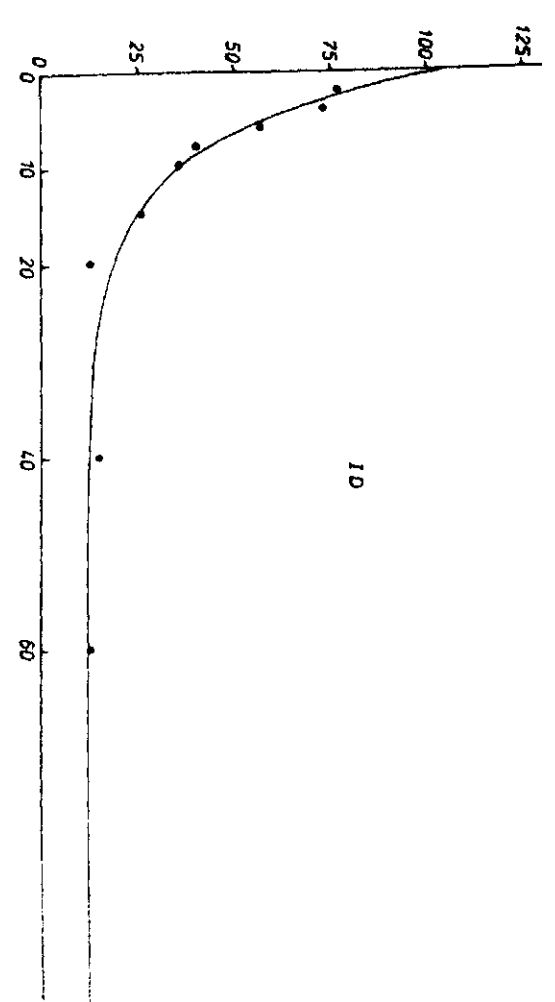
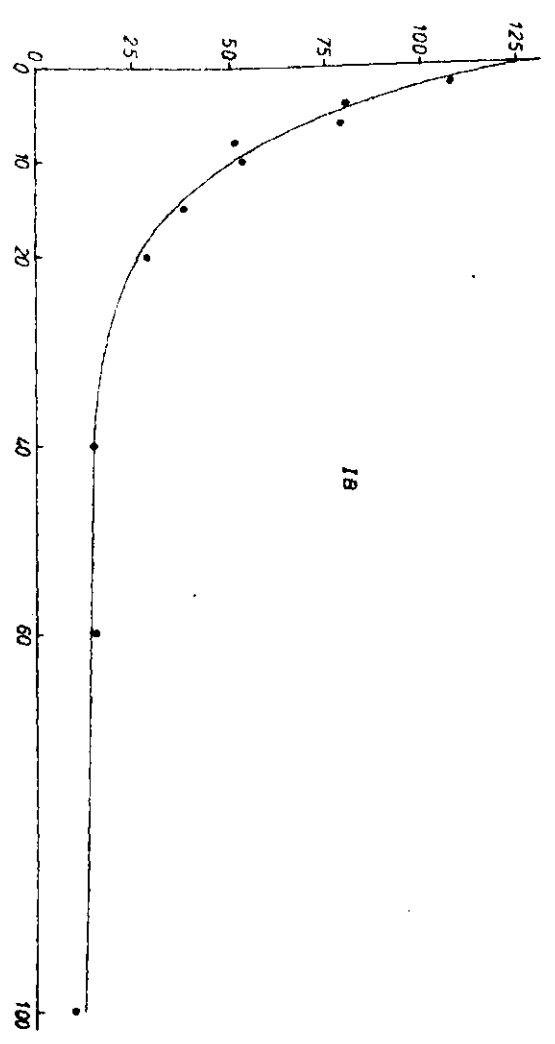
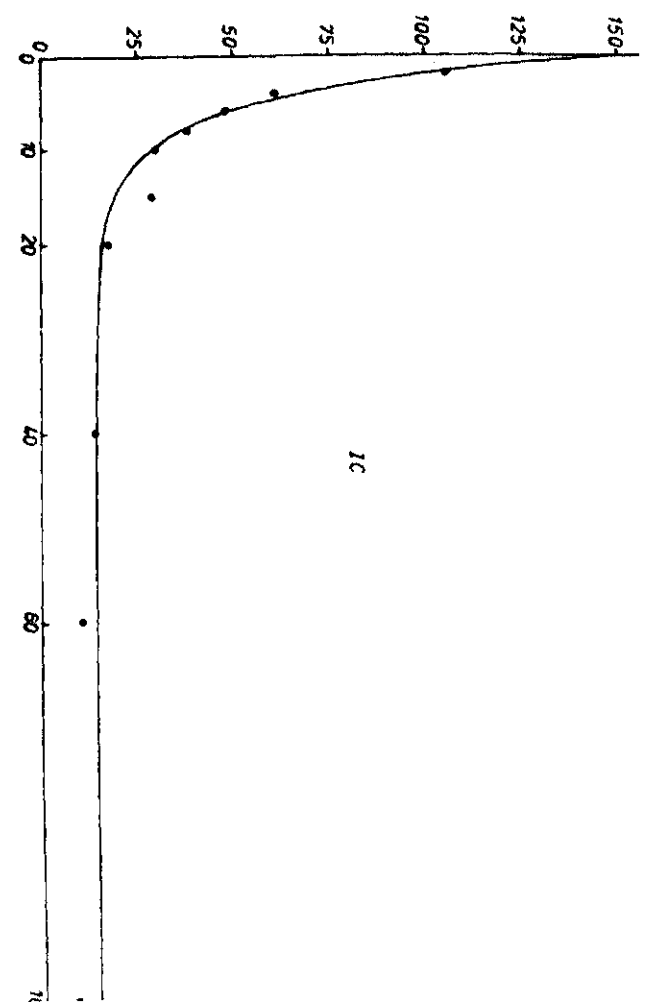
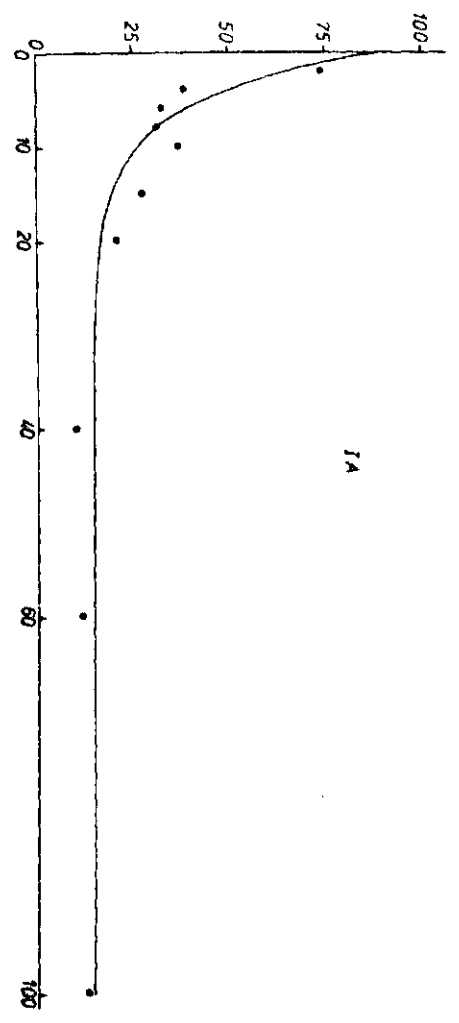
Het berekende verband en de waarnemingen zijn per raai weergegeven in de figuren 5/1 - 5/6. In deze figuren worden de aanduidingen I, II en III gebruikt voor respectievelijk de masten 49, 51 en 55.

raai	$z_o$	$z_v$	-k	r	n
Mast 49					
A	14,9	87,3	-0,179	-0,922	10
B	13,7	126,0	-0,110	-0,989	10
C	14,7	152,5	-0,230	-0,986	10
D	12,1	103,5	-0,131	-0,988	10
E	13,4	32,5	-0,154	-0,897	10
F	15,1	116,9	-0,184	-0,986	8
G	15,0	73,4	-0,138	-0,978	8
H	12,3	96,8	-0,124	-0,999	10
Mast 51					
A	9,6	46,7	-0,073	-0,950	10
B	16,1	87,5	-0,129	-0,968	10
C	15,6	90,3	-0,161	-0,984	9
D	16,1	91,4	-0,065	-0,860	10
E	16,9	93,5	-0,106	-0,958	10
F	13,9	76,6	-0,146	-0,981	10
G	11,2	47,6	-0,139	-0,909	10
H	14,2	76,6	-0,154	-0,977	10
Mast 55					
A	18,6	395,9	-0,313	-0,990	10
B	13,2	65,1	-0,137	-0,936	10
C	12,1	62,5	-0,147	-0,994	10
D	11,2	116,3	-0,255	-0,989	10
E	8,6	41,8	-0,053	-0,886	10
F	10,3	46,8	-0,060	-0,949	10
G	17,2	79,7	-0,116	-0,891*)	<del>10</del> 7
H	16,4	310,5	-0,266	-0,987	10

\*) significant bij  $0,01 < P < 0,05$   
 alle andere relaties bij  $P < 0,01$

FIGUUR 3/1

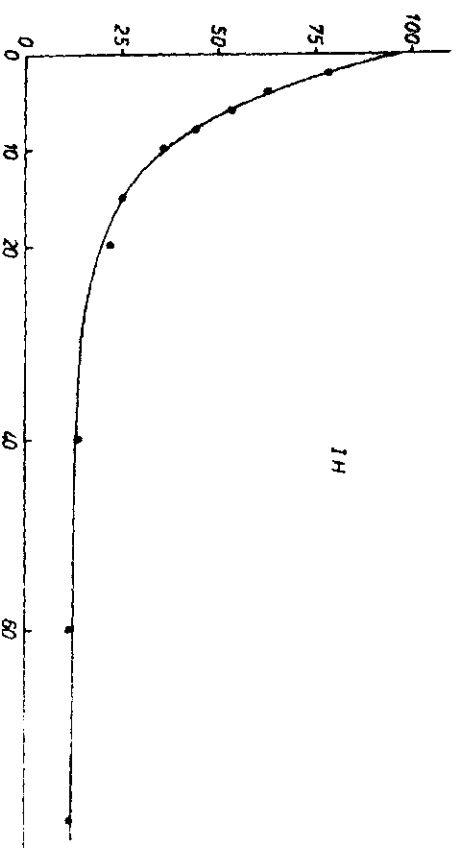
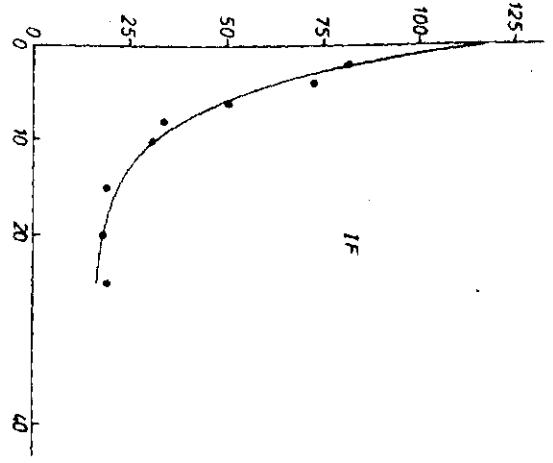
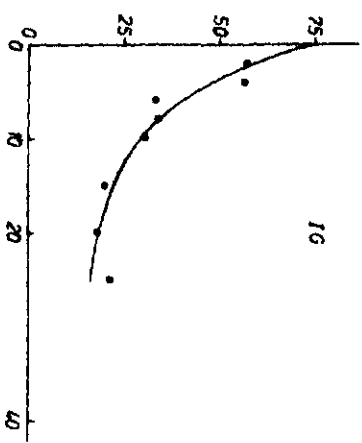
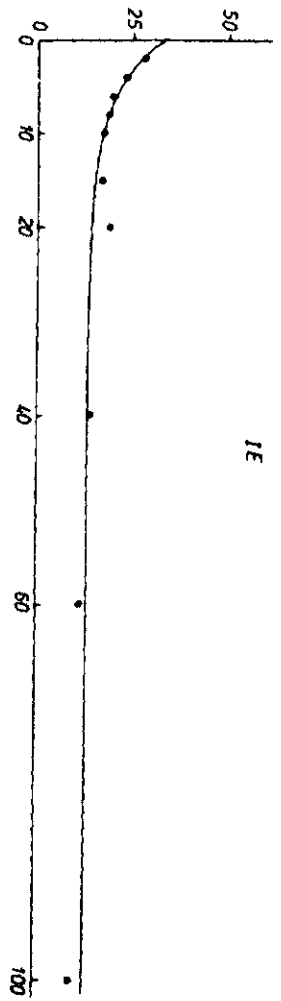
zinkvoorraad 0-60 cm  
 $z/g \text{ Zn } m^{-2}$



afstand tot de wort (cm)

$z/g \text{ Zn } m^{-2}$

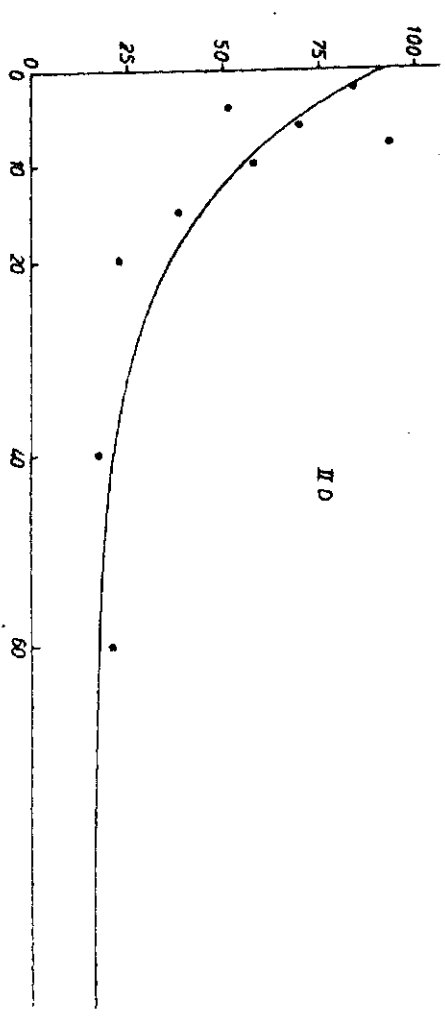
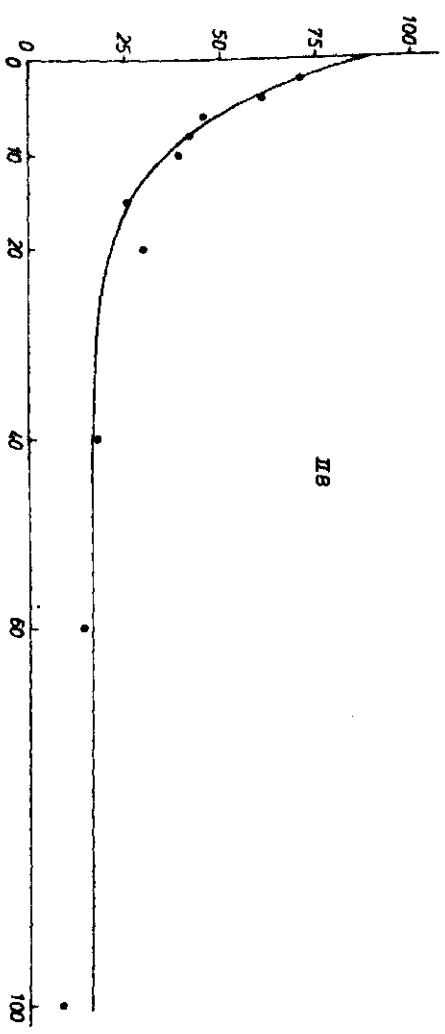
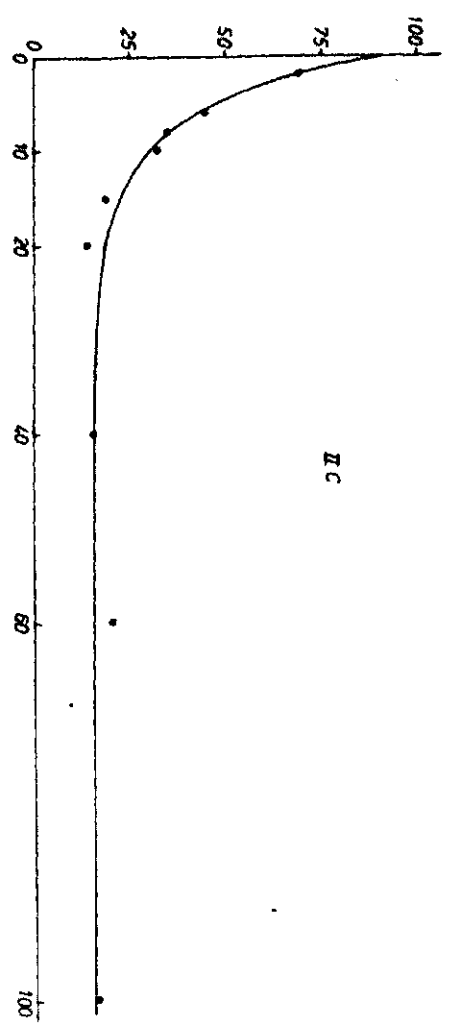
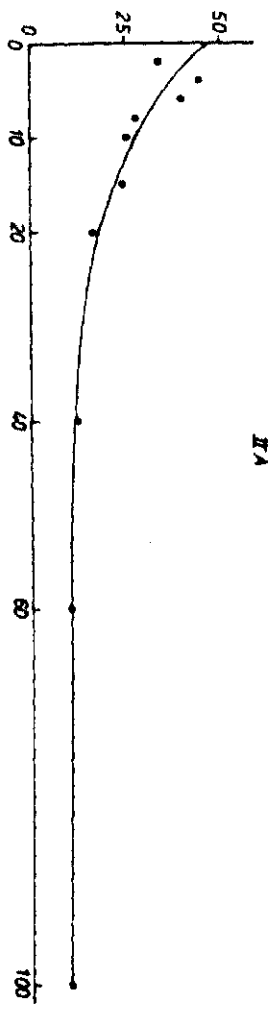
zinkvoorraad 0-60 cm  
 $z/g \text{ Zn m}^{-2}$



afstand tot de wort van de wort  
 $d_v/m$

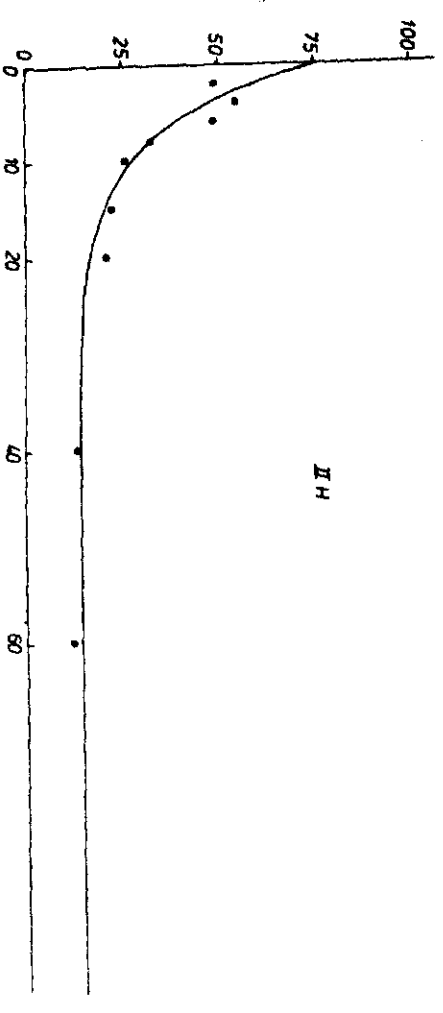
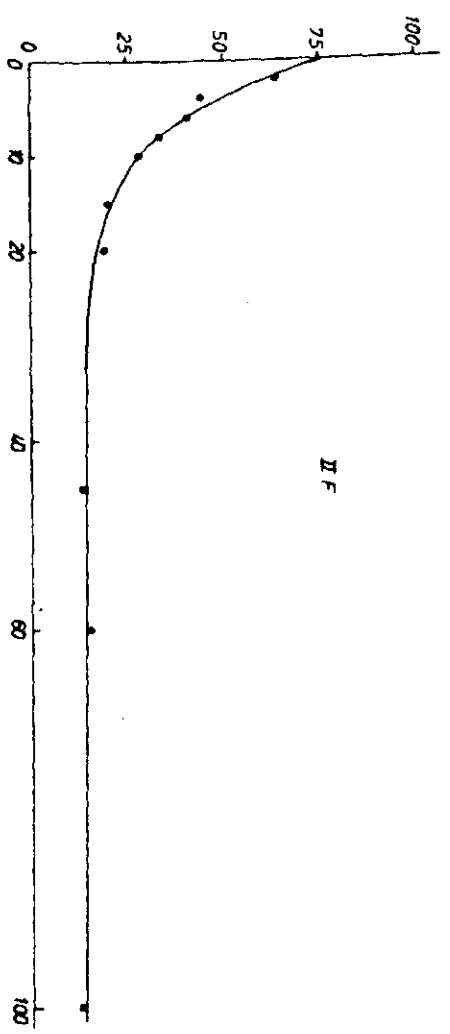
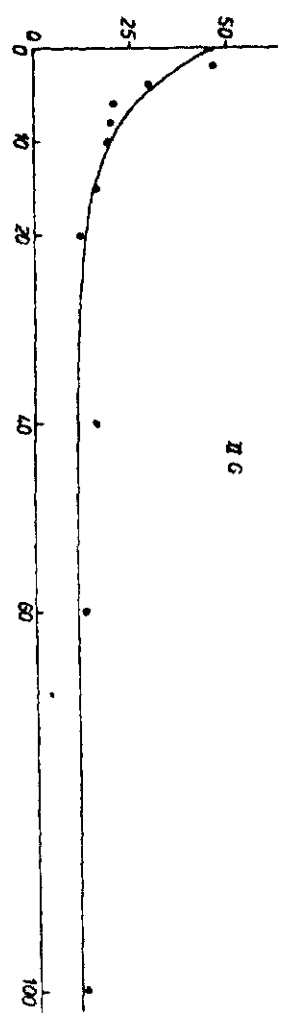
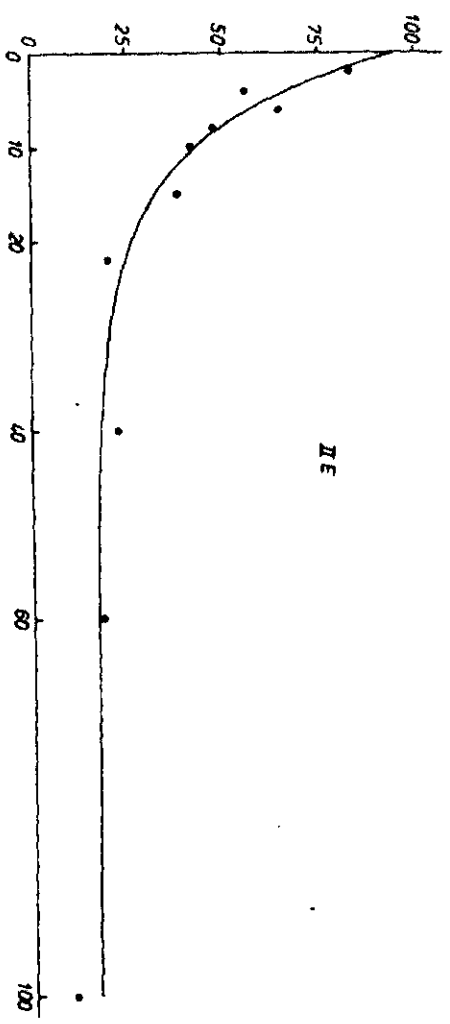


zinkvoorraad 0-60 cm  
 $z/B \text{ Zn m}^{-2}$



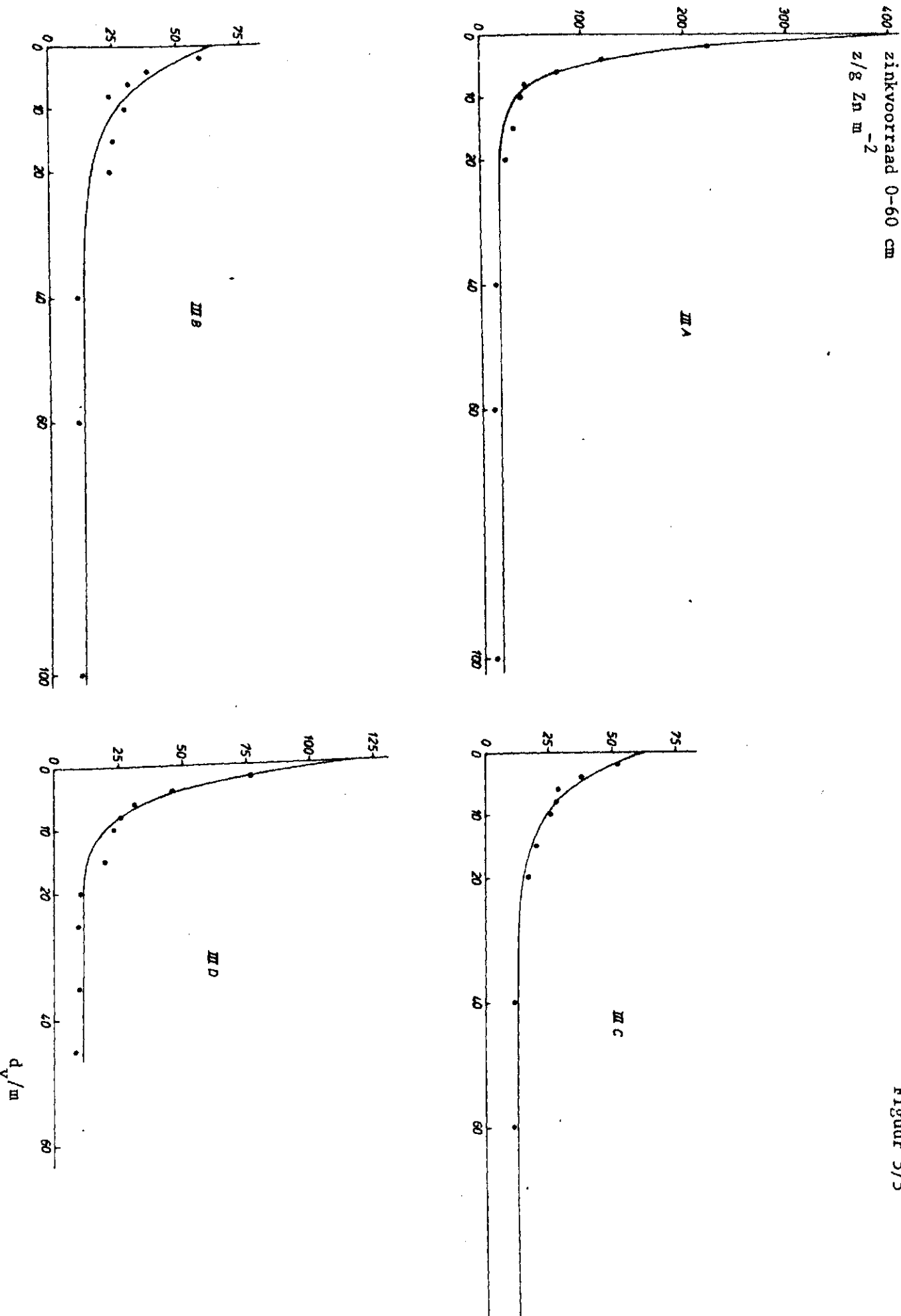
afstand tot de voet van de mast  
 $d_v/m$

zinkvoorraad 0-60 cm  
 $z/g Zn m^{-2}$



$d_v/m$   
 afstand tot de voet van de mast

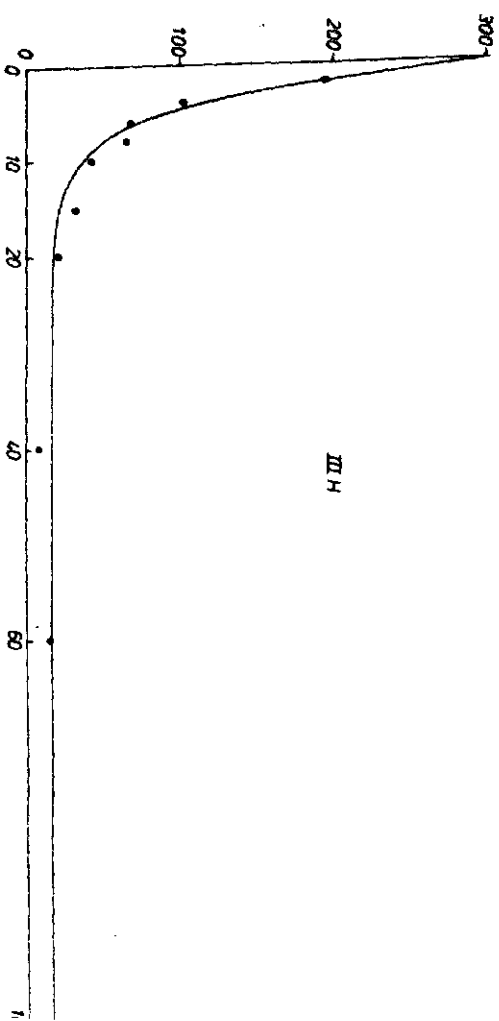
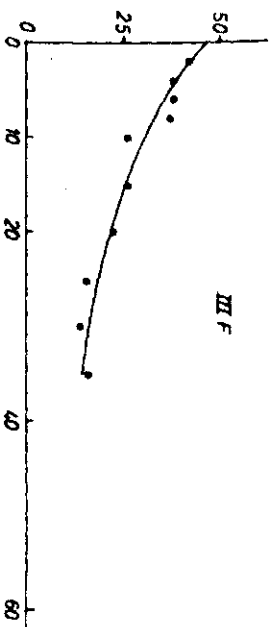
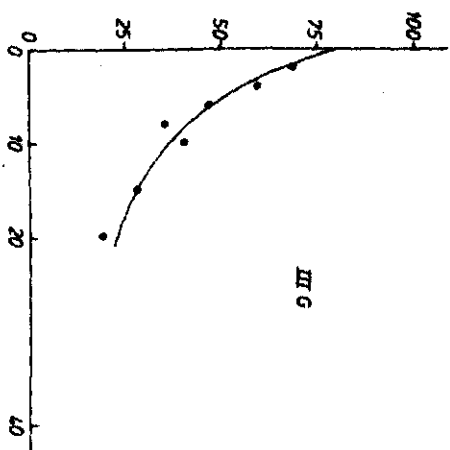
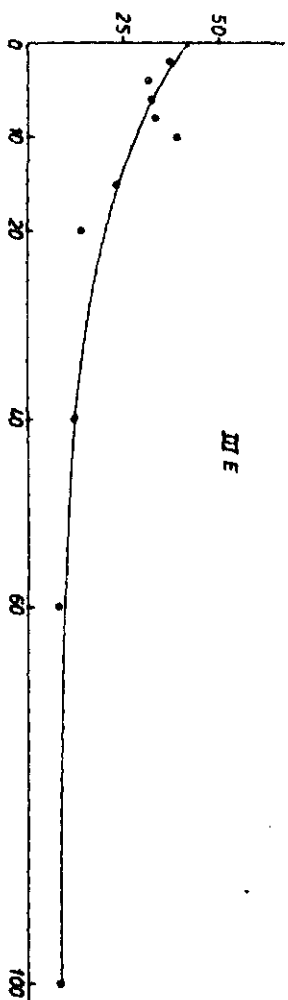
Figuur 5/5



afstand tot de voet van de mast

Figuur 5/6

zinkvoorraad 0-60 cm  
 $z/g Zn m^{-2}$



afstand tot de voet van de  $\pi$