

**FOSFAAT- EN KOPERTOESTAND
VAN DE CULTUURGROND
IN DE PROVINCIE GELDERLAND**

W.H. van Riemsdijk
Th.M. Lexmond
F.A.M. de Haan

WV178



Sectie Bodemhygiëne en Bodemverontreiniging
Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding

FOSFAAT- EN KOPERTOESTAND

VAN DE CULTUURGROND

IN DE PROVINCIE GELDERLAND

W.H. van Riemsdijk

Th.M. Lexmond

F.A.M. de Haan

December 1983

Sectie Bodemhygiene en Bodemverontreiniging

Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding

Landbouwhogeschool, Wageningen

Woord vooraf.

Dit rapport bevat de resultaten van een onderzoek dat werd uitgevoerd in opdracht van Gedeputeerde Staten van de provincie Gelderland. De opdracht tot het onderzoek, dat tot doel had meer inzicht te krijgen in de fosfaat- en kopertoestand van de cultuurgrond in de provincie, werd verstrekt in de tweede helft van 1981.

Vanwege het belang dat door de onderzoekers wordt gehecht aan het verkrijgen van toestemming van de grondgebruikers voor bemonstering was uitgebreid overleg nodig met regionale bedrijfsvoorlichters, regionale bodemkundige specialisten van de voorlichtingsdienst en de in aanmerking komende grondgebruikers. Hierdoor ontstond aanzienlijke vertraging in het tijdstip van aanvang van de veldbemonstering. Tijdens deze intensieve contacten is ons de sterke betrokkenheid van de boeren en voorlichters bij de hele problematiek van de mestoverschotten duidelijk geworden. Gaarne zeggen wij alle betrokkenen dank voor de verleende medewerking.

Aan de bemonstering en uitvoering van de analyses werd medegewerkt door Mw. B. van Loenen, Mw. A.H. de Wild-Wessels en de heren W. Frenzt, F. Möller en F.J. Lettink.

Het typewerk werd verzorgd door Mw. I. Stakman en Mw. H.L.M. Sijlmans-de Kat. De heer B.W. Matser verzorgde het tekenwerk voor een groot aantal figuren.

Een onderzoek als dit vereist de inzet van velen. Voor alle medewerking zeggen wij gaarne dank.

Wageningen, 15 december 1983

De onderzoekers.

Inhoud	Pagina
1. <u>Inleiding.</u>	1
1.1 <u>Algemeen.</u>	1
1.2 <u>Mineralenoverschotten in enkele Gelderse gemeenten.</u>	2
1.3 <u>Uitvoering van de bemonsteringen.</u>	7
1.3.1 Bemonstering voor de "normale" fosfaattoestand, informatie over de bodemgesteldheid.	8
1.3.2 Bemonstering voor de "normale" kopertoestand.	12
1.3.3 Bemonstering van "hoog belaste percelen".	12
2. <u>Fosfaat.</u>	14
2.1 <u>Opzet van de metingen en algemene weergave van de meetresultaten.</u>	14
2.2 <u>Resultaten van de 1e en 2e bemonsteringsronde.</u>	20
2.2.1 Het extraheerbaar ijzer en aluminium.	24
2.2.2 De nog beschikbare P sorptie capaciteit in het veld.	28
2.4 <u>"Hoog belaste percelen".</u>	33
2.4 <u>Interpretatie en conclusies.</u>	35
3. <u>Koper.</u>	38
3.1 <u>Inleiding.</u>	38
3.2 <u>Opzet van het onderzoek.</u>	40
3.3 <u>Herkomst van de monsters in de steekproef.</u>	41
3.4 <u>Invloed van grondsoort en bemonsteringsdiepte op het kopergehalte.</u>	43
3.5 <u>Invloed van de mestvarkensbezetting in de gemeente van herkomst op het kopergehalte.</u>	46
3.6 <u>Het kopergehalte van de door de Dienst Milieuhygiëne genomen monsters.</u>	48
3.7 <u>Criteria voor de beoordeling van de kopertoestand.</u>	49
3.8 <u>Beoordeling van de kopertoestand aan de hand van de geldende bemestingsadviezen.</u>	54
3.9 <u>Beoordeling van de kopertoestand van grasland met betrekking tot de kans op toxische effecten op schapen en regenwormen.</u>	55
3.10 <u>Beoordeling van de kopertoestand van bouwland met betrekking tot de kans op opbrengstvermindering bij cultuurgewassen.</u>	57
3.11 <u>Samenvatting.</u>	66
4. <u>Algemene samenvatting en conclusies.</u>	68
5. <u>Literatuur.</u>	71
Bijlage 1 en 2.	

1. Inleiding.

1.1 Algemeen.

De ontwikkeling van de intensieve veehouderij heeft geleid tot het plaatselijk ontstaan van mestoverschotten. In Nederland betreft het vooral de drie zandgebieden welke worden aangeduid als het Centrale, het Oostelijke en het Zuidelijke zandgebied. Hiervan beslaan het Centrale en een deel van het Oostelijke zandgebied het grootste deel van de provincie Gelderland.

Mestoverschotten geven aanleiding tot doseringen van plantevoedingsstoffen aan de bodem die de behoefte van cultuurgewassen overschrijden. Dit kan leiden tot ongewenste gevolgen zoals uitspoeling van stikstof en fosfaat naar grondwater en oppervlaktewater; een dergelijke uitspoeling kan leiden tot verlaging van de kwaliteit van grondwater voor gebruik als drinkwater en tot eutrofiëring van het oppervlaktewater. Daarnaast treedt ingeval van toediening van koperhoudende varkensmest een verhoging op van het kopergehalte van de bodem; deze kan het ecologisch functioneren van de bodem nadelig beïnvloeden, leiden tot beperkingen in de gebruiksmogelijkheid van de bodem voor bepaalde doeleinden zoals beweiding door schapen, of zelfs het produktievermogen van de grond aantasten.

Teneinde een indruk te verkrijgen van de omvang van de mineralenoverschotten en de daarvan te verwachten gevolgen voor de fosfaat- en kopertoestand van de bodem werd gedurende de periode december 1979-januari 1982 in opdracht van het toenmalige Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne een onderzoek uitgevoerd door dezelfde onderzoekers die het hier te beschrijven onderzoek hebben verricht. Van dat onderzoek werd medio 1982 verslag uitgebracht (Lexmond e.a., 1982), waarin uitgebreid werd ingegaan op de historische ontwikkeling van de intensieve veehouderij en de wijze waarop mineralenoverschotten berekend kunnen worden. Voor de drie genoemde zandgebieden werd een dergelijke berekening uitgevoerd met behulp van de gegevens voor het jaar 1979. Daarnaast werd ingegaan op de achtergronden van de fosfaat- en koperproblematiek, op de bodemeigenschappen die in dat verband van belang zijn, en op de wijze waarop deze gemeten kunnen worden.

Het onderzoek dat in dit verslag wordt beschreven werd verricht in opdracht van de provincie Gelderland en beperkt zich dan ook tot het grondgebied van deze provincie. Het had tot doel om een zo goed mogelijk inzicht te geven in de thans

bestaande fosfaat- en kopertoestand van de bodem. Daarnaast om de mogelijkheid na te gaan om ten aanzien van fosfaat op basis van bodemeigenschappen en gegevens omtrent de huidige toestand te komen tot kwetsbaarheidsindicaties. Dergelijke indicaties kunnen worden gebruikt bij de ontwikkeling en toepassing van beleidsmaatregelen die erop zijn gericht om de nadelige gevolgen van hoge mestdoseringen tegen te gaan.

Het eerder uitgevoerde en het hier beschreven onderzoek hebben een aantal gemeenschappelijke elementen, b.v. met betrekking tot kwantificering van mineralenoverschotten, het uitvoeren van specifieke metingen, en de interpretatie van meetdata. Voor meer gedetailleerde informatie over de achtergronden van deze gemeenschappelijke facetten wordt verwezen naar Lexmond e.a. (1982).

Bij het koperonderzoek waren 935 bodemmonsters betrokken. Hiervan werden naast het kopergehalte een aantal andere eigenschappen bepaald zoals organische stofgehalte en pH (zie hoofdstuk 3). De meetgegevens van al deze monsters zijn weergegeven in een verslag dat als een afzonderlijke bijlage bij dit rapport aan de provincie Gelderland ter beschikking werd gesteld.

Door de onderzoekers werd aan de Stichting voor Bodemkartering de opdracht verstrekt om voor een aantal belangrijk geachte bodemtypen een veldbodemkundig onderzoek uit te voeren. Daartoe werd voor 15 percelen verspreid over de Gelderse Vallei een inventarisatie van de bodemgesteldheid gemaakt waarbij aan de hand van boringen de profielopbouw en de fluctuatie van de grondwaterstand werd vastgesteld. Tevens werden de bodemeenheden van de onderzochte percelen gecodeerd en benoemd volgens de legenda van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000. De resultaten van dit veldbodemkundig onderzoek zijn beschreven in een verslag dat eveneens als een afzonderlijke bijlage bij dit rapport aan de provincie Gelderland werd aangeboden.

De weergave en bespreking van de gegevens die in het navolgende worden gepresenteerd is zodanig opgezet dat dit rapport als een afzonderlijk verslag kan worden gelezen. Voor geïnteresseerden die over de volledige informatie aan verzamelde gegevens willen beschikken liggen de eerdergenoemde afzonderlijke rapporten ter inzage bij de Dienst Milieuhygiëne van de provincie Gelderland.

1.2 Mineralenoverschotten in enkele Gelderse gemeenten.

Door Lexmond e.a. (1982) werden op basis van de gegevens van de metingen van 1979 berekeningen uitgevoerd omtrent de omvang van de mineralenoverschotten

in de intensieve veehouderij. Daarbij werden voor de berekening van de gebruiksmogelijkheden van de geproduceerde mest zgn. landbouwkundige criteria gehanteerd, d.w.z. dat "niet meer mest aan het land moet worden toegediend dan nodig is voor het verkrijgen van een maximale gewasproductie bij een acceptabele kwaliteit" (EG Rapport nr. 47, IB, 1978). In dat geval vindt de dosering op bouwland plaats op basis van stikstof en op grasland op basis van kalium. De resultaten van de berekeningen werden voor de drie zandgebieden weergegeven per gemeente omdat hiervoor de gegevens via de metellingen beschikbaar zijn.

Alhoewel vallend buiten de opdracht van het hier beschreven onderzoek, werden voor een aantal gemeenten in Gelderland soortgelijke berekeningen uitgevoerd met de meer recente gegevens van de metellingen van 1982 (Brinksma en Koppers, 1983). De gemeenten waarvoor dit werd gedaan staan aangegeven in figuur 1.1.

Hiervoor werd eerst berekend hoe groot het N-overschot, uitgedrukt in kg N/ha cultuurgrond, is indien voor de bemesting van de cultuurgrond de bovengenoemde landbouwkundige normen worden aangehouden. Figuur 1.2A geeft het resultaat van deze berekeningen.

De in de intensieve veehouderij geproduceerde mestsoorten verschillen zeer sterk in drogestofgehalte en daardoor in transporteerbaarheid i.v.m. de kosten van transport. Van de verschillende organische mestsoorten kan pluimveemest als het best transporteerbaar worden beschouwd. Teneinde een indruk te verkrijgen van het effect van afvoer van de pluimveemest werd eenzelfde berekening omtrent het N-overschot uitgevoerd onder aanname dat alle pluimveemest uit de betreffende gemeentes zou worden afgevoerd. De resultaten zijn weergegeven in figuur 1.2B, waaruit de verlaging van het N-overschot door de afvoer van pluimveemest duidelijk blijkt. Een dergelijke verlaging zal tot uitdrukking komen in een verkleining van de N-belasting van het grond- en oppervlaktewater in deze gemeentes.

Voor dezelfde gemeentes werd voor het jaar 1982 ook het fosfaatoverschot berekend, uitgedrukt als kg P_2O_5 per ha cultuurgrond (fig. 1.3A). Hierbij werd de bemesting echter niet afgestemd op de landbouwkundige norm zoals eerder omschreven maar op een zgn. milieuhygiënische norm. Daarvoor werd als dosering de gemiddelde fosfaatonttrekking door het gewas (60 kg P_2O_5 /ha) aangehouden, hetgeen dus impliceert dat de nog resterende fosfaatvastleggingscapaciteit niet verder door bemesting wordt opgevuld.

Ook voor het aldus berekende fosfaatoverschot werd het effect van afvoer van pluimveemest uit de betreffende gemeentes berekend (figuur 1.3B). Gezien het hoge fosfaatgehalte van pluimveemest is de drastische verlaging van het fosfaatoverschot door deze afvoer voor de hand liggend.

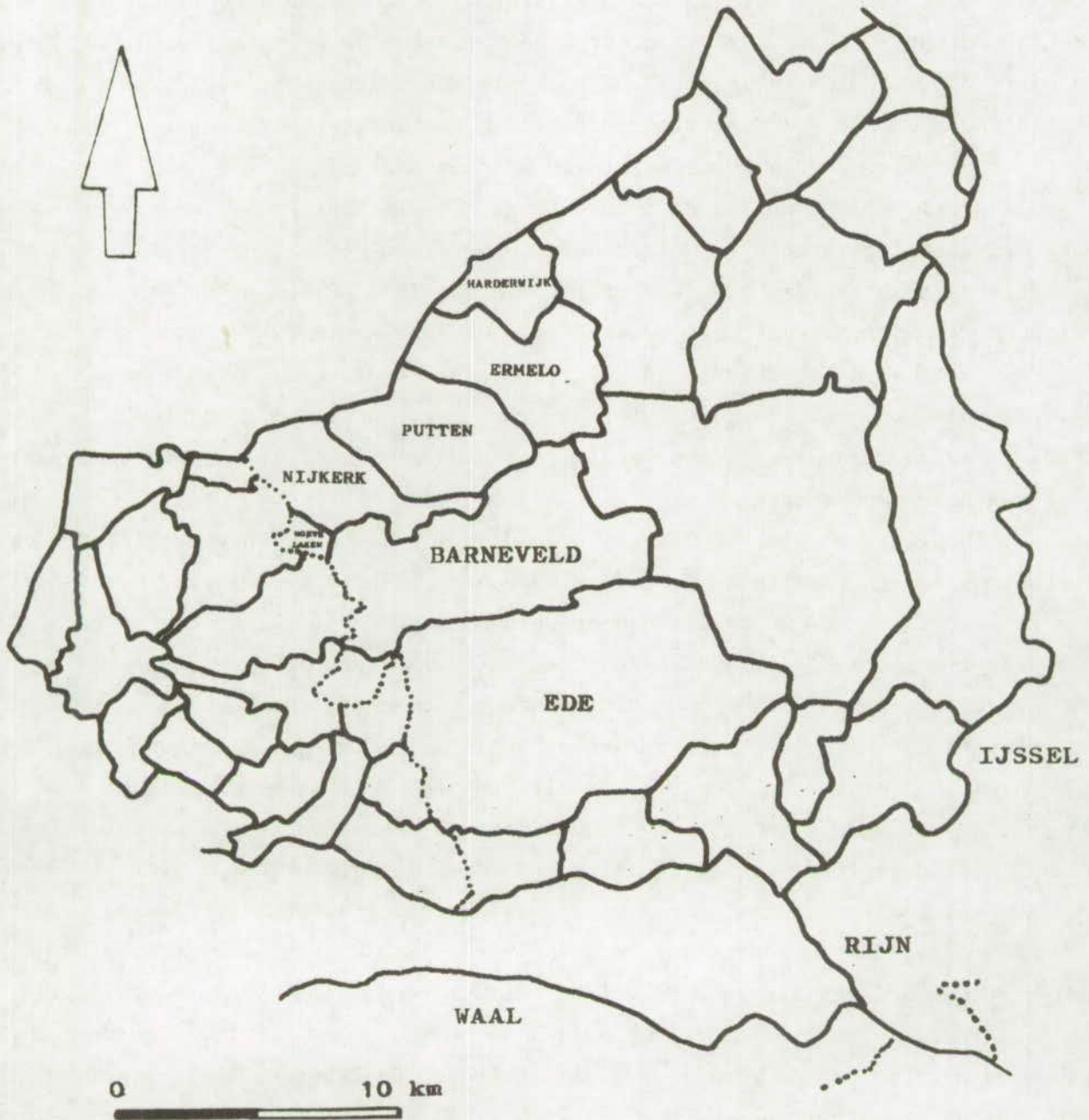
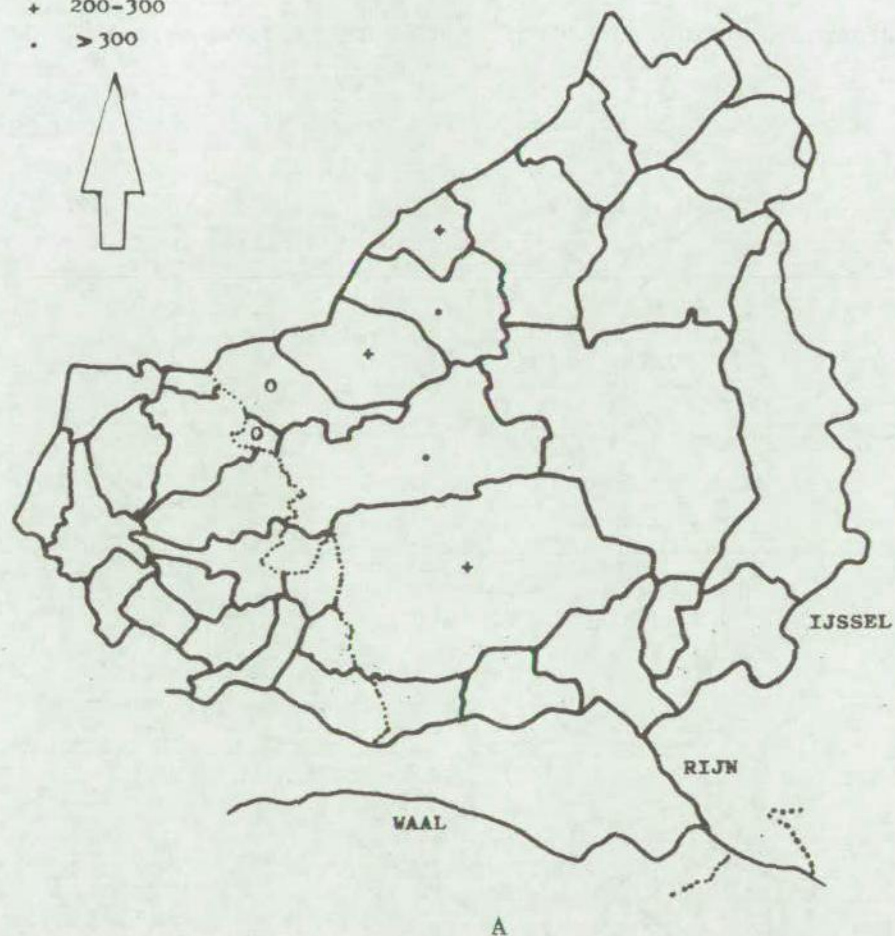


Fig. 1.1 Ligging van enkele gemeenten in de provincie Gelderland waarvoor berekeningen van mineralen-overschotten werden uitgevoerd op basis van gegevens van de metellingen van 1982.

- 0-100
- o 100-200
- + 200-300
- . > 300



- 0-100
- o 100-200
- + 200-300
- . > 300

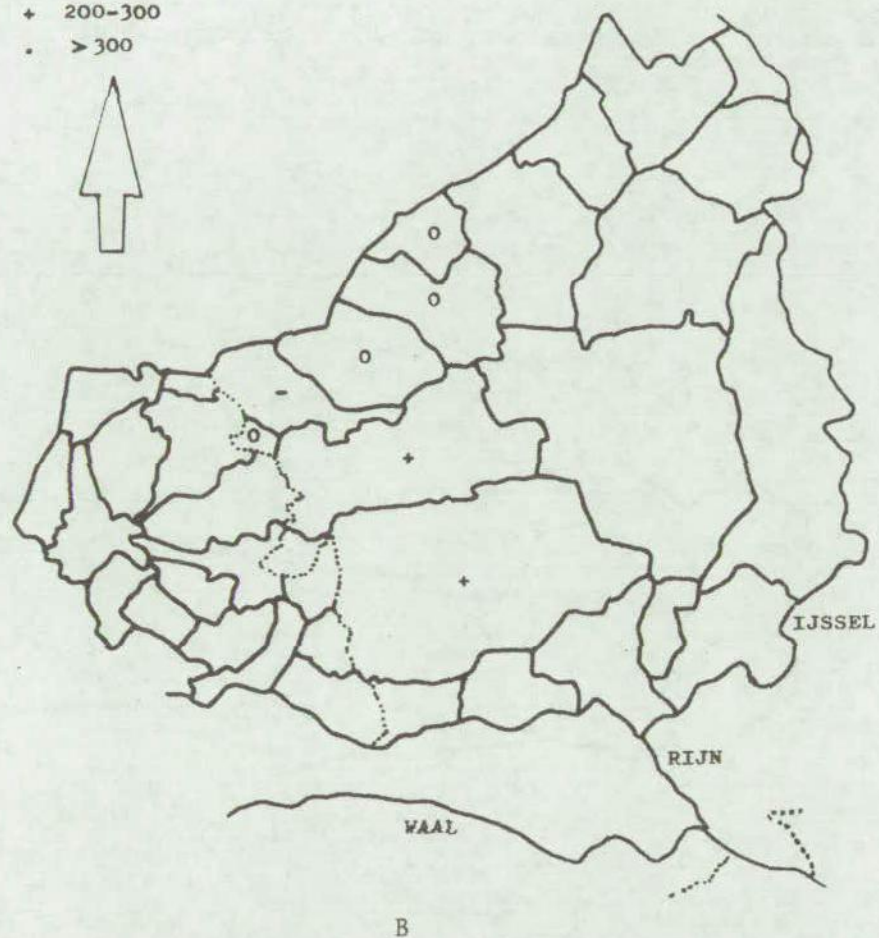
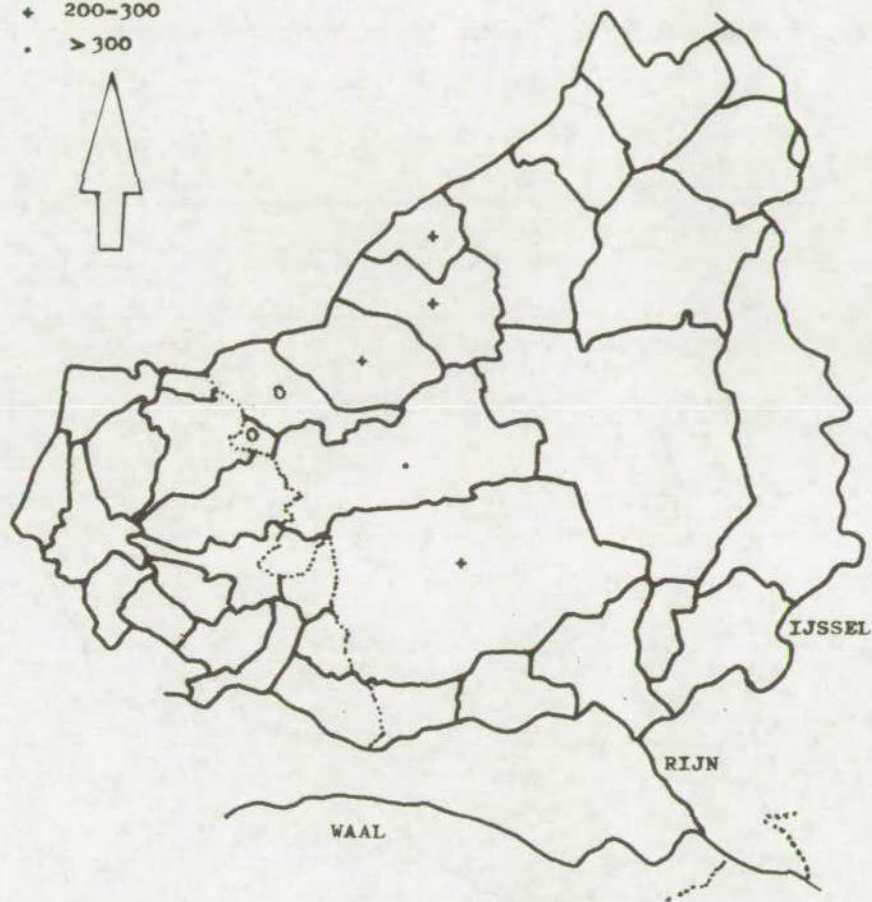


Fig. 1.2 N-overschot, kg N/ha, voor enkele Gelderse gemeenten, berekend voor 1982 na bemesting van de cultuurgrond op landbouwkundige norm.

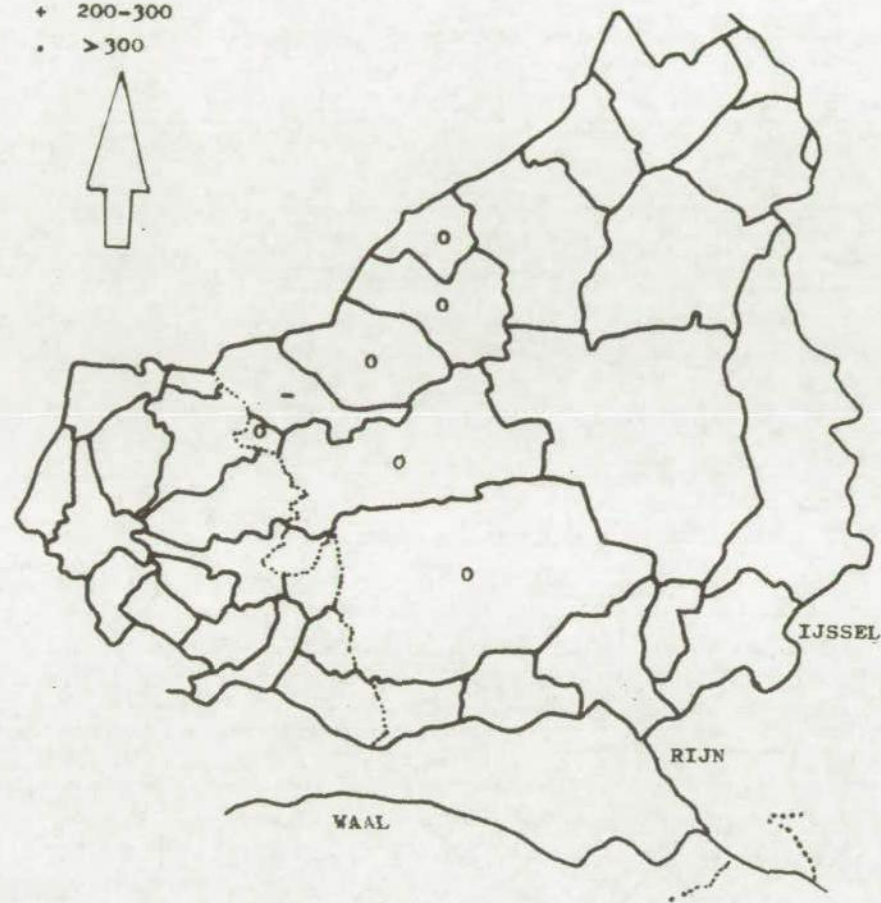
A vóór afvoer, B na afvoer van alle pluimveemest.

- 0-100
- o 100-200
- + 200-300
- . > 300



A

- 0-100
- o 100-200
- + 200-300
- . > 300



B

Fig. 1.3 Fosfaatoverschot, in kg P_2O_5 /ha, voor enkele Gelderse gemeenten, berekend voor 1982 na bemesting van de cultuurgrond met fosfaat op milieuhygiënische norm.

A vóór afvoer, B na afvoer van alle pluimveemest.

Omdat bij de berekening van de fosfaatoverschotten een zgn. milieunorm werd aangehouden, d.w.z. dat de dosering gelijk wordt gesteld aan de onttrekking door het gewas, geven de berekende overschotten de hoeveelheden fosfaat aan die jaarlijks in de bodem moeten worden vastgelegd. Gezien de eindigheid van het fosfaatvastleggend vermogen van de bodem en het feit dat overdoseringen t.o.v. de gewasonttrekking reeds enkele decennia hebben plaatsgevonden, geleidelijk oplopend tot de huidige waarde, is het van groot belang om inzicht te hebben in de huidige fosfaattoestand van de bodem. Hetzelfde geldt met betrekking tot koper waarvoor eveneens reeds vele jaren de toediening de onttrekking door het gewas in belangrijke mate overtreft (vergelijk hoofdstuk 3).

1.3 Uitvoering van de bemonsteringen.

Het onderzoek was o.m. gericht op het verkrijgen van inzicht in de thans bestaande fosfaat- en kopertoestand van de bodem in de provincie Gelderland. Er werden bemonsteringsprogramma's uitgevoerd welke daarop waren gericht, d.w.z. die dus zouden leiden tot gegevens over de thans als normaal voorkomende situaties. De metingen aan de grondmonsters die voor een beoordeling van de fosfaattoestand moeten worden uitgevoerd zijn meer omvattend dan de metingen ter beoordeling van de kopertoestand. Dit is terug te voeren op het feit dat voor het fosfaatonderzoek tijdrovende metingen omtrent de nog resterende sorptiecapaciteit moeten worden verricht, terwijl beoordeling van de kopertoestand kan plaatsvinden na verwerking van routinematig verkregen analysegegevens. Dit maakte het noodzakelijk dat voor het verkrijgen van inzicht in de vigerende fosfaat- en kopertoestand verschillende bemonsteringsstrategieën moesten worden ontwikkeld, waarbij voor het koperonderzoek veel meer monsterplaatsen zouden kunnen worden geanalyseerd dan voor het fosfaatonderzoek.

Naast inzicht in de normaal voorkomende situaties had de provincie behoefte aan gegevens over de fosfaat- en kopertoestand van percelen waarop in het verleden, naar verondersteld, hoge mestdoseringen werden toegepast. De percelen die als zodanig werden beschouwd worden aangeduid als "hoog belaste percelen".

Het bovenstaande heeft er toe geleid dat er in de uitvoering van de bemonsteringen drie verschillende strategieën werden toegepast.

1.3.1 Bemonstering voor de "normale" fosfaattoestand, informatie over de bodemgesteldheid.

Het fosfaatonderzoek was niet alleen gericht op verkrijging van inzicht in de thans bestaande fosfaattoestand van de bodem maar ook op bestudering van de mogelijkheid om uit bodemkundige gegevens informatie af te leiden over de kwetsbaarheid van de bodem voor hoge belasting met fosfaat. Indien de daartoe benodigde bodemkundige gegevens rechtstreeks beschikbaar zouden zijn via de bodemkaart of daaruit op relatief eenvoudige wijze zouden kunnen worden afgeleid, zou de bodemkaart als een belangrijk hulpmiddel kunnen fungeren bij de uitvoering van beleidsmaatregelen i.v.m. de mestoverschottenproblematiek. Daarom werd de uitvoering van de bemonstering erop gericht dat alle belangrijke bodemtypes, zoals onderscheiden en weergegeven op de bodemkaart, in het onderzoek vertegenwoordigd zouden zijn.

Tevens werd ernaar gestreefd om per bodemtype een zo groot mogelijke variatie in toegepaste mestdoseringen te verkrijgen. Daartoe was per te bemonsteren perceel informatie nodig over de voorgeschiedenis t.a.v. de bemesting. Deze laatste is uiteraard het beste bekend bij de betreffende grondgebruiker, en bij medewerkers van de adviserende en voorlichtende diensten welke het dichtste bij de praktijk staan. Het bemonsteringsprogramma werd daarom uitgevoerd in nauw overleg en samenwerking met de regionale bedrijfsvoorlichters en de regionale bodemkundige specialisten van de voorlichtingsdienst. Uitvoering van de bemonstering vond plaats in twee verschillende rondes. Tijdens de eerste ronde werden 244 percelen bemonsterd welke waren geselecteerd op basis van een verondersteld tegemoetkomen aan de bovenbeschreven criteria. De regionale verdeling van de bemonsterde percelen was als volgt: Gelderse Vallei 165; Achterhoek 62 en Rivierengebied 17. De objecten werden met behulp van een steekboor bemonsterd tot een diepte van 20 cm waarbij per object minimaal 40 boringen werden verricht. De monsters werden per object gemengd en in het laboratorium aan de lucht gedroogd, waarna o.a. de gehalten aan met ammoniumoxalaat extraheerbaar Fe, Al en P werden bepaald (Lexmond e.a., 1982; zie verder hoofdstuk 2). Op basis van deze gegevens werd een aantal percelen uitgezocht voor hernieuwde en nu diepergaande bemonstering. Daarbij werd gelet op voldoende variatie in de waarden zoals gemeten na de eerste bemonstering en op het vertegenwoordigd zijn van de verschillende bodemtypes. Tijdens deze tweede ronde werden 48 percelen bemonsterd in de Gelderse Vallei en 13 in de Achterhoek. Het Rivierengebied werd niet verder bemonsterd aangezien

het resultaat van de eerste ronde ten aanzien van de nog resterende fosfaatvastleggingscapaciteit een hernieuwde bemonstering hier minder zinvol maakte. Bij de uitvoering van de tweede ronde werden per object minimaal 25 punten bemonsterd tot een diepte van 1 meter, of tot aan het grondwater als dat op geringere diepte stond. De monsters werden in het veld verdeeld in een bovenlaag van 20 cm en verder in lagen van 10 cm, en per laag gemengd. Later werden in het laboratorium aan deze monsters metingen verricht, hetzij per in het veld verzamelde laag, hetzij aan mengmonsters van verschillende lagen (zie hoofdstuk 2).

Bij de tweede bemonsteringsronde werd tevens een profielbeschrijving van de bodem gemaakt en een bodemkundige benaming aan de betreffende bodem gegeven. Ter controle werd aan de Stichting voor Bodemkartering de opdracht verstrekt om een gedetailleerde kartering uit te voeren voor een 15-tal percelen welke op de belangrijkste bodemtypen in het zandgebied waren gelegen. De bevindingen van dit specialistisch veldbodemkundig onderzoek stemden goed overeen met de door de onderzoekers uitgevoerde indeling. Als belangrijkste bodemtypen voor het Gelderse zandgebied kunnen worden genoemd: de podzolen, de enkeerdgronden en de beekeerdgronden. Van elk hiervan volgt hierna een gedetailleerde omschrijving, overgenomen uit het veldbodemkundig onderzoeksrapport.

Perceel: LNT-8

Bodemeenheid: Hn21-veldpodzolgrond

Grondwatertrap: V*-->III GHG: 30-15 cm - mv.

GLG: ca. 140-110 cm - mv.

Bodemgebruik: grasland

Horizont			Humus (%)	Leem (%)	M50 (µm)	Opmerkingen
code	diepte (cm-mv.)	omschrijving				
ABp	0-25	matig humeus, leemarm matig fijn zand	4	8	160	verwerkt
BAp	25-60	matig humusarm, leemarm matig fijn zand	2	8	160	verwerkt
B3	60-120	zeer humusarm, leemarm, matig fijn zand	1	8	160	

Toelichting:

Vrijwel overal bestaat de humeuze bovengrond uit een mengsel van de oorspronkelijke bovengrond, de A2-horizont (loodzandlaag) en een gedeelte van de B2-horizont van 25 tot 65 cm dikte. Het materiaal heeft een humusgehalte van 3 tot 5%, ca. 8% leem en is matig fijn zandig.

De B2-horizont, voor zover nog aanwezig, gaat door tot ca. 80 cm en is hier en daar verkit. Vervolgens wordt op vele plaatsen een B3-horizont aangetroffen tot ca. 120 cm diepte. Het leemgehalte van deze lagen varieert van 8 tot 12%.

De grond heeft een geleidelijk verloop van Gt V* naar Gt III.

De profielopbouw is representatief voor de veldpodzolgronden in de Gelderse Vallei. De gronden binnen het perceel zijn homogeen van samenstelling.

Perceel: PUT-14

Bodemeenheid: zEZ21-zwarte enkeerdgrond

Gronwatertrap: VII* GHG: > 200 cm - mv.

GLG: > 300 cm - mv.

Bodemgebruik: bouwland

Horizont			Humus (%)	Leem (%)	M50 (µm)	Opmerkingen
code	diepte (cm-mv.)	omschrijving				
Aanp	0-25	matig humeus, zwak lemig, zeer fijn zand	5	14	145	
Aan2	25-65	matig humeus, zwak lemig, zeer fijn zand	4	14	145	
Apb	65-90	matig humeus, zwak lemig, zeer fijn zand	3	14	145	bruin
Clb	90-120	uiterst humusarm, zwak lemig, zeer fijn zand	0,5	13	145	

Toelichting:

De 90 à 100 cm dikke, humeuze bovengrond bevat 3 à 5% humus, ca. 14% leem en is zeer fijnzandig. De onderste 25 à 30 cm van het humeuze dek heeft een bruine kleur en het laagste humusgehalte (ca. 3%).

Onder het humeuze dek treft men een C-horizont aan die hier en daar iets roestig is en ongeveer dezelfde granulaire samenstelling heeft als het bovenliggende materiaal. Het heeft een moderpodzolachtig karakter.

De profielopbouw binnen het perceel is zeer homogeen en de gronden zijn representatief voor de Gelderse Vallei.

Perceel: KWB-3

Bodemeenheid: pZg21-beekeerdgrond

Grondwatertrap: VI GHG: 50 cm-mv.

GLG: 120-150 cm-mv.

Bodemgebruik: grasland

Horizont			Humus (%)	Leem (%)	M50 (µm)	Opmerkingen
code	diepte (cm-mv.)	omschrijving				
Ap	0-25	matig humeus, zwak lemig, zeer fijn zand	5	17	145	
C11g	25-60	matig humusarm, sterk lemig, zeer fijn zand	1,5	25	145	lutumhoudend
C12g	60-110	uiterst humusarm, zwak lemig, zeer fijn zand	<0,5	16	145	
C13	110-120	uiterst humusarm, zwak lemig, matig fijn zand	<0,5	15	155	

Toelichting:

De 25 à 30 cm dikke, humeuze bovengrond bevat 5 à 6% humus, ca. 17% leem en is meestal niet roestig.

Direct onder de humeuze bovengrond komt op enkele plaatsen een sterk lemige, dikwijls ook ijzerrijke laag voor van ca. 10 cm dikte.

Verder is de ondergrond opgebouwd uit zwak of sterk lemig, zeer fijn en matig fijn zand. Op een heel enkele plaats is een leemlaag aangetroffen van ca. 10 cm dikte.

Binnen het onderzochte perceel vindt men plaatselijk wat "gooreerdachtige" profielen, omdat vooral vanaf maaiveld tot 35 cm diepte nauwelijks of geen roest voorkomt.

De profielopbouw binnen het perceel is heterogeen maar wel representatief voor de Gelderse Vallei.

1.3.2 Bemonstering voor de "normale" kopertoestand.

De meeste grondgebruikers laten regelmatig hun grond bemonsteren en analyseren om vervolgens op basis van de resultaten een advies te ontvangen betreffende de toe te passen bemesting. Deze analyses en het daaraan gekoppelde bemestingsadvies worden verzorgd door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek dat ook de bemonstering uitvoert volgens daartoe gestelde normen v.w.b. het aantal steken per oppervlakte-eenheid en de wijze waarop de monsters worden verzameld. Bij de bemonstering wordt een onderscheid gemaakt naar het grondgebruik; grasland wordt gewoonlijk bemonsterd tot een diepte van 5 cm en bouwland over de gehele bouwvoor (dikte 20 à 30 cm). Door genoemd Bedrijfslaboratorium worden jaarlijks ca. zeventigduizend percelen, verspreid over Nederland, bemonsterd en geanalyseerd. Om een indruk te krijgen van de koper-toestand van de bodem in de provincie Gelderland zoals deze thans is, werd besloten om van alle monsters die vanuit deze provincie gedurende één bemonsteringsseizoen ter analyse werden aangeboden uit elk tiende monster een deelmonster te nemen en dit te analyseren op koper en op de overige bodemeigenschappen die ter beoordeling van het gevonden kopergehalte van belang zijn. Hiertoe werd door de onderzoekers een afzonderlijke opdracht verstrekt aan het Bedrijfslaboratorium voor selectie van de monsters en uitvoering van op te geven analyses. Op deze wijze werden voor het seizoen 31 oktober 1981 t/m 31 maart 1982 in totaal 935 bodemonsters in het koperonderzoek betrokken.

Beoordeling van deze monsters naar herkomst vindt plaats in hoofdstuk 3, evenals de evaluatie van de gevonden analyse-resultaten.

1.3.3 Bemonstering van "hoog belaste percelen".

Zoals in het voorafgaande werd beschreven waren de bemonsteringsprogramma's voor zowel het fosfaat- als het koperonderzoek gericht op de verzameling van informatie omtrent de normaal voorkomende situaties in de provincie. Het bestaan van mestoverschotten heeft ertoe geleid dat in incidentele gevallen hoeveelheden mest aan de bodem zijn en worden toegediend welke buiten verhouding staan tot normale bemesting. In dergelijke gevallen zou gesproken kunnen worden van het "dumpen" van de mest, waarbij de bodem meer wordt benut als opslag- en verwerkingsplaats van afvalstoffen dan voor landbouwkundige produktiedoelinden.

Aangezien het vanuit de provinciale Dienst Milieuhygiëne van belang werd geacht om ook inzicht te hebben in de fosfaat- en kopertoestand van de bodem in dergelijke extreme situaties werden een 25-tal percelen bemonsterd die, naar verondersteld, als hoog belast zouden kunnen worden beschouwd. Deze bemonsteringen werden uitgevoerd door de Dienst Milieuhygiëne, die tevens de criteria aanlegde op basis waarvan percelen werden uitgekozen. Voor de wijze van uitvoering van de bemonstering wordt verwezen naar een apart verslag van de Dienst Milieuhygiëne.

Deze bodemmonsters werden door de onderzoekers geanalyseerd en beoordeeld op fosfaat en koper. De resultaten worden in afzonderlijke paragrafen weergegeven bij de behandeling van de overige gegevens.

In de hoofdstukken 2 en 3 worden de resultaten besproken van, respectievelijk, het fosfaatonderzoek en het koperonderzoek. Ter bescherming van de privacy van de betrokken grondgebruikers worden daarbij alle bemonsteringsplekken aangeduid door middel van coderingen.

2. Fosfaat,

2.1 Opzet van de metingen en algemene weergave van de meetresultaten.

De opzet van de grondbemonstering is beschreven in hoofdstuk 1, waar tevens een beschrijving van een aantal belangrijke bodemtypes werd gegeven. Hier zullen enkele hoofdpunten daaruit nog kort worden herhaald, omdat deze punten van belang zijn bij het interpreteren van de meetresultaten. Er zijn twee zogenaamde bemonsteringsronden geweest in het kader van het fosfaat-onderzoek. In de eerste bemonsteringsronde is een relatief groot aantal percelen bemonsterd waarbij alleen grondmonsters van de laag 0-20 cm zijn genomen. Uit deze percelen is een selectie gemaakt en deze gronden zijn in de tweede bemonsteringsronde bemonsterd tot op een diepte van 100 cm. De lagen 0-20 cm en 30-50 cm werden verder in het onderzoek gebruikt. Elke monsterplek is gecodeerd door middel van drie letters en één of twee cijfers. De regio's die zijn onderscheiden, zijn: Gelderse Vallei, Achterhoek, Betuwe en Land van Maas en Waal. Aangezien het aantal monsters in de Betuwe en in het Land van Maas en Waal gering was, zijn bij de evaluatie van de metingen deze twee gebieden veelal samengevoegd; zij worden daarbij aangeduid met de term Rivierengebied. Aangezien voor het Rivierengebied werd volstaan met de eerste bemonsteringsronde zijn hiervoor alleen monsters uit de laag 0-20 cm beschikbaar. Deze beperking werd aangebracht omdat de resultaten van de eerste bemonsteringsronde geen aanleiding gaven tot het uitvoeren van diepere bemonsteringen in dit gebied.

Wat betreft het principe van de fosfaatbinding, de reactiekinetiek en het fosfaatbindend vermogen, en voor zover niet hier beschreven ook wat betreft de gebruikte methoden van onderzoek, wordt verwezen naar Lexmond e.a. (1982) en Van Riemsdijk e.a. (1983). De belangrijkste metingen in relatie tot fosfaat die verricht zijn, zijn de bepaling van het gehalte aan ijzer (Fe), aluminium (Al) en fosfaat (P) extraheerbaar met oxalaat, en de nog resterende fosfaat vastleggings- of sorptie-capaciteit. Zoals in de eerder genoemde literatuur is uiteengezet is de belangrijkste factor die het fosfaattransport bepaalt de nog beschikbare fosfaat sorptie capaciteit. Vanwege de aard van de reactie is er sprake van een pseudo sorptie maximum, dat wil zeggen dat de gemeten fosfaat vastleggingscapaciteit bij eenzelfde grond afhangt van de tijdsduur van de

reactie en van de fosfaat concentratie waarbij gemeten wordt. Bij een constante fosfaat concentratie tijdens de reactie neemt de reactiesnelheid sterk af met toenemende vastlegging en dus met de tijd. Het reactieverloop in de tijd is onder dergelijke omstandigheden zodanig dat de gemeten vastlegging als een functie van de logaritme van de reactietijd meestal vrij goed voldoet aan een lineair verband. Dit maakt het mogelijk om op grond van metingen die één à twee dagen duren de totale nog beschikbare vastleggingscapaciteit te schatten door middel van extrapolatie. Extrapolatie tot ca. 1 jaar op deze manier leidt tot vrij goede schattingen van de vastleggingscapaciteit (Lexmond e.a., 1982). Omdat de vastleggingscapaciteit sterk afhangt van de concentratie waarbij gemeten wordt is besloten om voor alle gronden van de tweede bemonsteringsronde de fosfaat sorptie te meten bij twee concentraties, namelijk 5 en 0,5 mmol P/l. Deze metingen werden verricht door gebruikmaking van een volledig computer gestuurde fosfato-stat opstelling (Van Riemsdijk en Van der Linden, 1984*). Het principe van de fosfato-stat is beschreven in Lexmond e.a. (1982). Deze metingen werden uitgevoerd voor de bodemlagen 0-20 cm en 30-50 cm. De resultaten zijn d.m.v. grafieken weergegeven in bijlage 1. De resultaten zijn gerangschikt naar de regio van herkomst en naar grondsoort. In fig. 2.1A en 2.1B zijn ter illustratie de eerste twee pagina's van bijlage 1 opgenomen. Op de linker pagina (fig. 2.1A) staan de resultaten zoals verkregen voor de laag 0-20 cm en op de tegenoverliggende pagina (fig. 2.1B) de bijbehorende resultaten voor de laag 30-50 cm, voorzover hiervan gegevens beschikbaar zijn. Op één pagina staan steeds de resultaten die behoren bij één en dezelfde grondsoort, terwijl per pagina de resultaten van maximaal vier verschillende percelen zijn weergegeven. De totale reactietijd van ieder experiment is ca. 40 uur. Omdat de fosfato-stat methode een vrij kostbare en tijdrovende methode is, is er ook gewerkt met een veel simpelere methode om de nog beschikbare fosfaat vastleggings capaciteit te meten. Het betreft hier een schudmethode die speciaal ten behoeve van dit onderzoek is ontwikkeld, getest en toegepast. Een uitgebreide beschrijving hiervan is gegeven door Beurmanjer (1983). De principiële verschillen tussen een schudmethode en de fosfato-stat methode zijn beschreven in Lexmond e.a. (1982) en in Van Riemsdijk (1983*). Een andere schudmethode die voor hetzelfde doel is bestemd, werd ontwikkeld door Korzilius en Breeuwsma (1983). Met een schudmethode verkrijgt men in het algemeen slechts één meetpunt, terwijl de fosfato-stat methode zoals hier toegepast ca. twintig meetpunten in de tijd aan hetzelfde grondmonster weergeeft.

Fig.2.1.A

P Sorptie : laag 0-20 cm

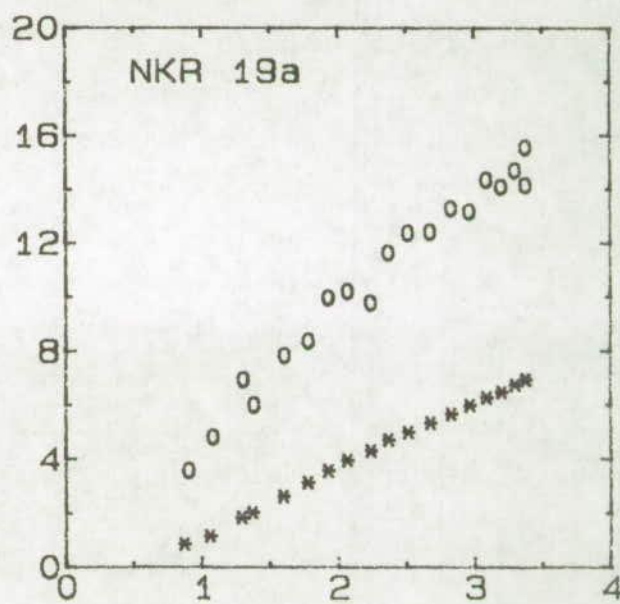
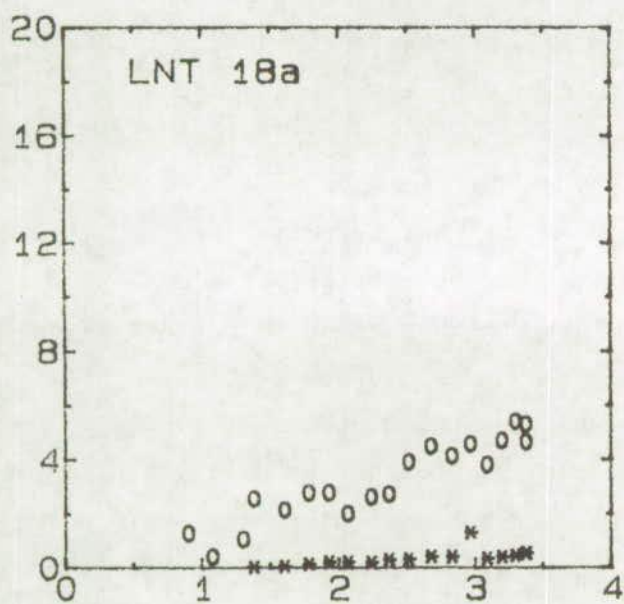
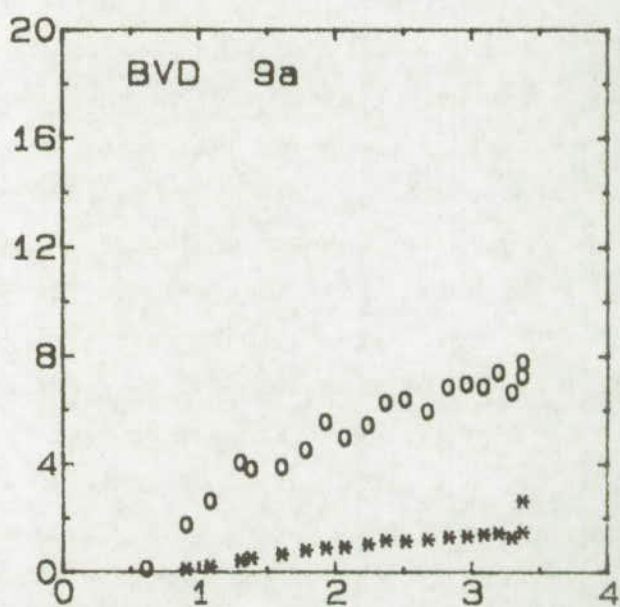
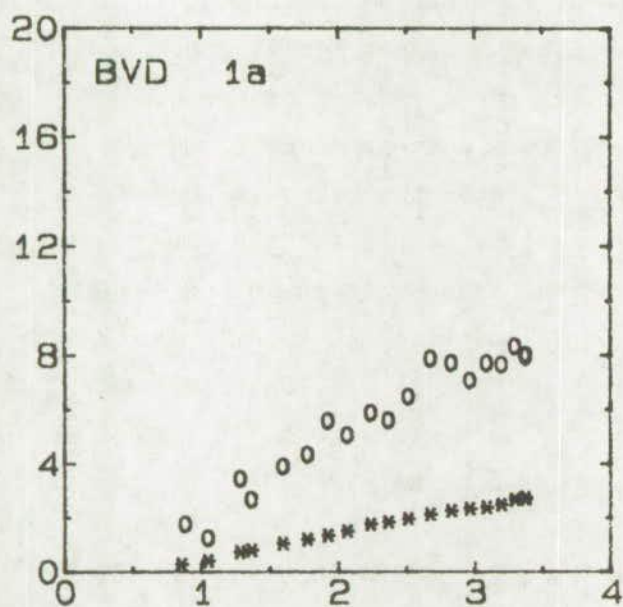
Verticaal : S/ (mmol/kg)

Regio : Geld. Vallei

* : 0.5 mmol P/l

Grondsoort : zEZ

0 : 5.0 mmol P/l



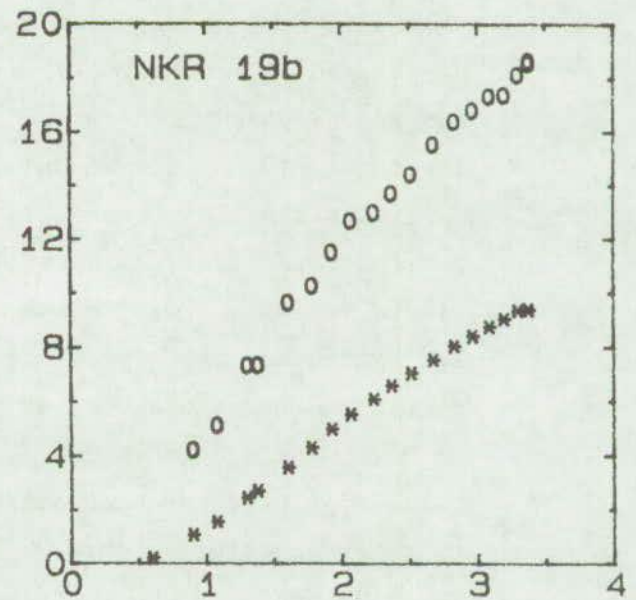
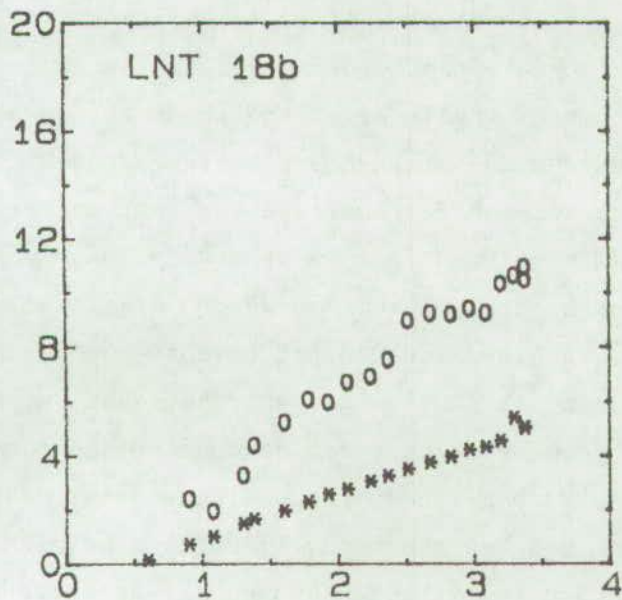
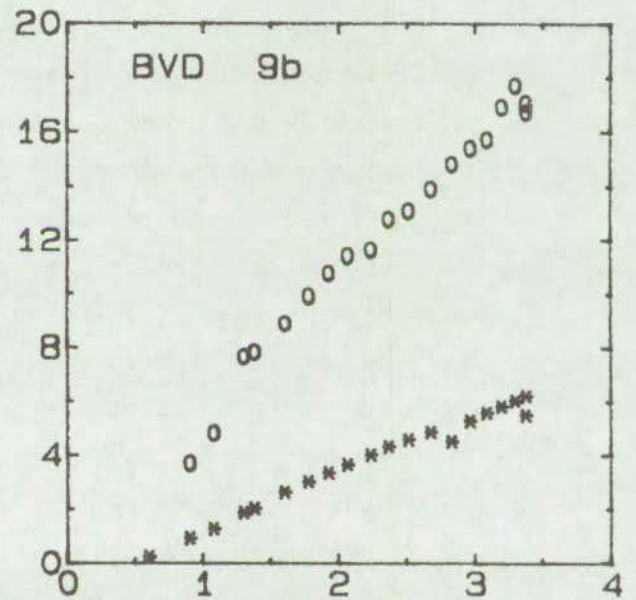
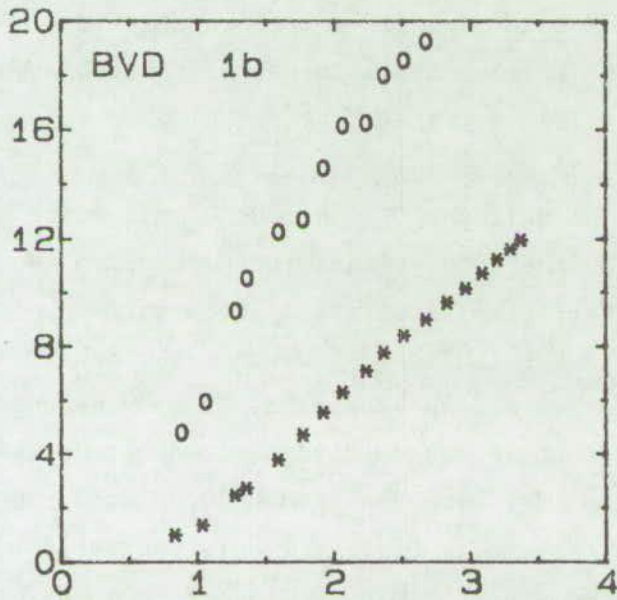
log (t/min)

log (t/min)

Fig.2.1.B

P Sorptie : laag 30-50 cm
Regio : Geld. Vallei
Grondsoort : zEZ

Verticaal : S/ (mmol/kg)
* : 0.5 mmol P/l
o : 5.0 mmol P/l



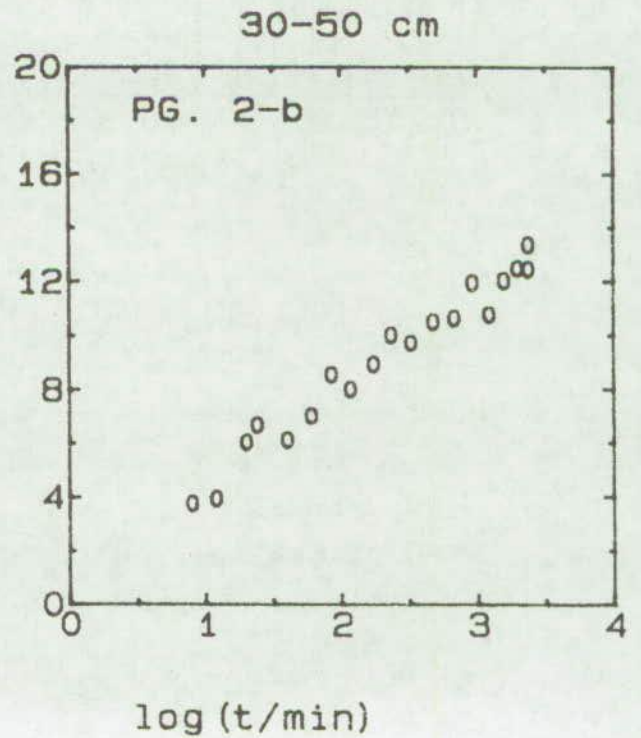
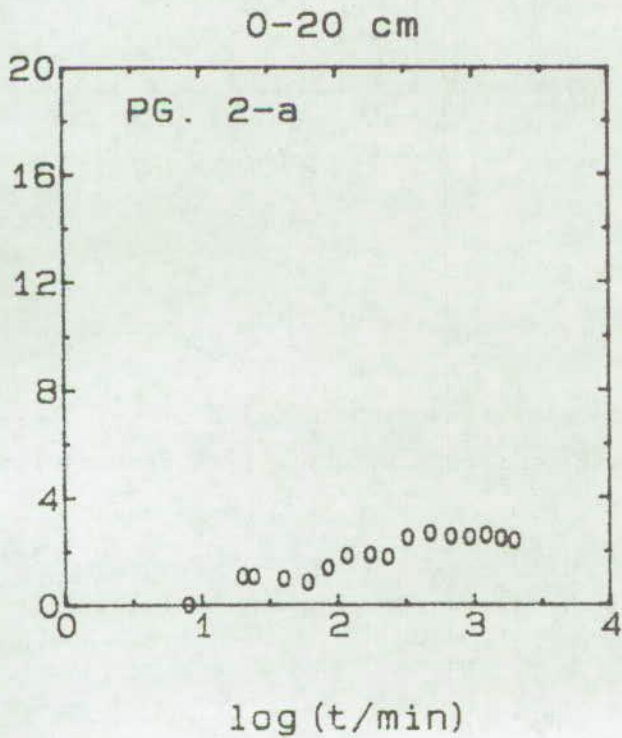
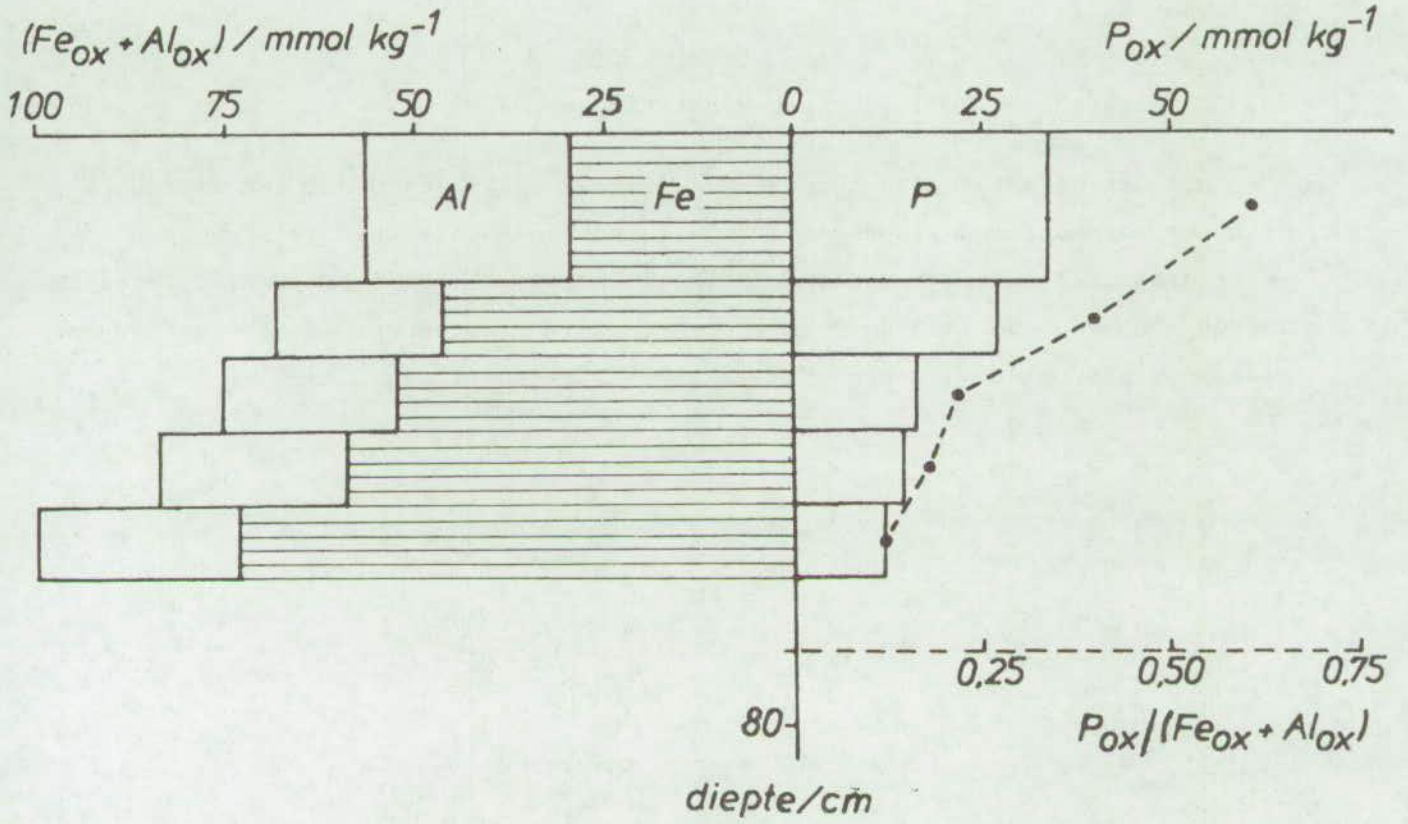
log (t/min)

log (t/min)

Voor een nauwkeurige bestudering van de vastleggingskinetiek gedurende niet al te lange reactietijd is de fosfato-stat te prefereren boven schudmethoden. Voor zeer lange reactietijden en voor meting van de sorptie capaciteit voor één reactietijd is een goede schudmethode wel bruikbaar en bovendien goedkoper dan de fosfato-stat methode. Een schudmethode leent zich ook beter voor routinematig onderzoek op grotere schaal. De schudmethode is toegepast op alle monsters (0-20 cm) van de eerste bemonsteringsronde uit de regio's de Gelderse Vallei en het Rivierengebied.

De belangrijkste parameter die de totale maximale sorptiecapaciteit bepaalt is het gehalte extraheerbaar ijzer en aluminium. In het hier beschreven onderzoek is het gehalte met ammoniumoxalaat extraheerbaar Fe, Al en P bepaald voor alle monsters van zowel de eerste bemonsteringsronde (laag 0-20 cm) als van de tweede bemonsteringsronde (nu voor de lagen 0-20 en 30-50 cm). Naast de door ons zelf bemonsterde percelen zijn er nog vijfentwintig percelen door de provincie bemonsterd. Deze laatste betreffen situaties waarvan vermoed werd dat er in het verleden zeer grote hoeveelheden mest waren opgebracht. Van deze percelen is per laag van 10 cm het extraheerbaar Fe, Al en P bepaald en tevens is de fosfaatvastlegging als functie van de tijd gemeten met de fosfato-stat bij een concentratie van 5 mmol P/l voor de lagen 0-20 cm en 30-50 cm. Deze resultaten zijn alle grafisch weergegeven in bijlage 2. Als voorbeeld zijn hier de resultaten van perceel PG.2 opgenomen in fig. 2.2. In het bovenste deel van deze figuur zijn de resultaten van het met oxalaat extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat uitgezet als functie van de diepte. Af te lezen is dat de bepalingen zijn uitgevoerd voor de laag 0-20 cm en verder per laag van 10 cm tot een diepte van 60 cm; voor enkele percelen zijn deze bepalingen tot op een diepte van 100 cm uitgevoerd. Het ijzergehalte is gearceerd weergegeven. Uit de figuur kan aldus eenvoudig het extraheerbaar Fe gehalte en de som van het extraheerbaar ijzer en aluminium worden afgelezen (dit is de meest linkse verticale streep) terwijl ook het extraheerbaar aluminium kan worden afgelezen. Het extraheerbaar fosfaat staat aan de rechterzijde van het bovenste deel van de figuur weergegeven. De eenheden waarin het gehalte aan extraheerbaar Fe, Al en P is weergegeven is mmol/kg. In de rechter helft staan ook punten aangegeven welke zijn verbonden met stippellijnen; deze geven de verhouding van het oxalaat extraheerbaar fosfaat t.o.v. de som van het extraheerbaar ijzer en aluminium ($P_{ox}/(Fe_{ox} + Al_{ox})$). De waarden die bij deze punten horen kunnen bij de onder-as van het bovenste deel van de figuur worden afgelezen. In de twee onderste

Gegevens perceel: PG. 2



afbeeldingen van deze figuren zijn de resultaten van fosfato-stat vastleggings metingen weergegeven voor de bodemlagen 0-20 en 30-50 cm, gemeten bij een concentratie van 5 mmol P/l. De resultaten van deze metingen worden besproken in paragraaf 2.3.

2.2 Resultaten van de 1e en 2e bemonsteringsronde.

Uit het onderzoek van Lexmond e.a. (1982) is gebleken dat het extraheerbaar fosfaat voor zandgronden als in dit onderzoek betrokken gelijk mag worden gesteld aan het totaal aanwezige fosfaat. In fig. 2.3 zijn frekwentieverdelingen weergegeven voor de laag 0-20 cm voor het oxalaat extraheerbaar fosfaat voor alle monsters uit de Gelderse Vallei en uit de Achterhoek.

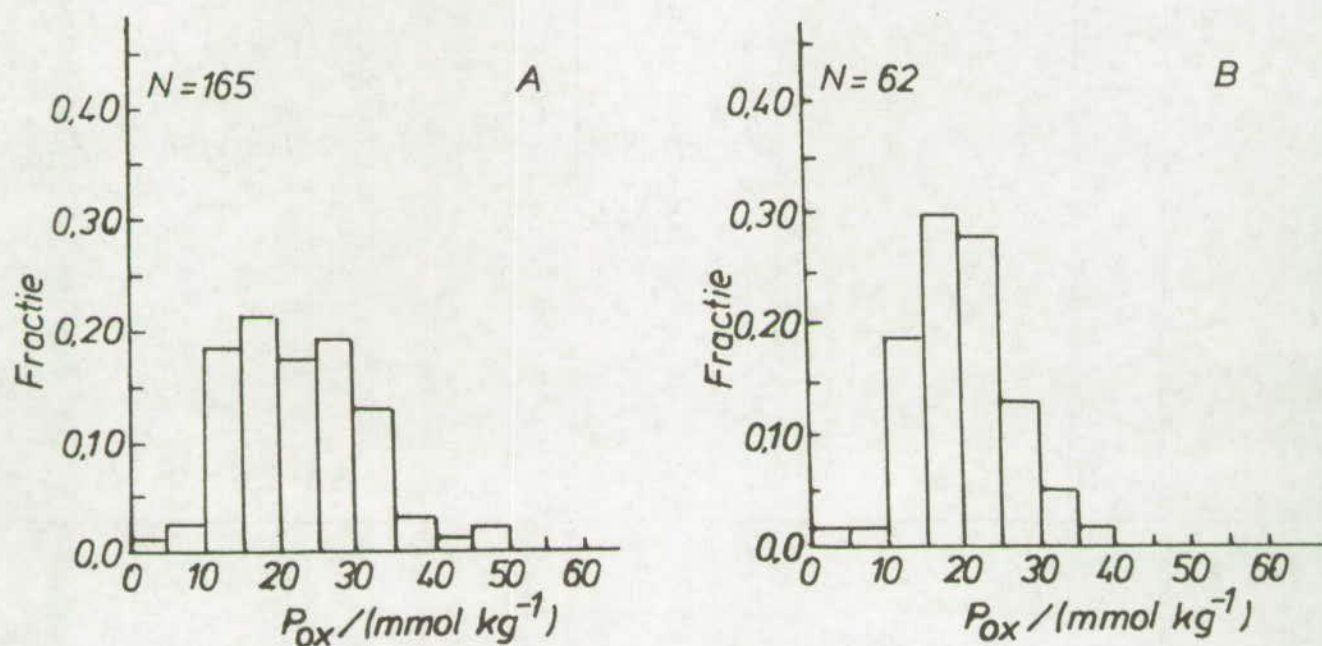


Fig. 2.3 Frekwentieverdeling van het oxalaat-extraheerbaar fosfaat (P_{ox} , in $mmol.kg^{-1}$) in de laag 0-20 cm voor monsters uit de eerste bemonsteringsronde.

A: Gelderse Vallei B: Achterhoek

N is het aantal percelen waarop de frekwentieverdeling betrekking heeft.

Het gaat hierbij om de eerste bemonsteringsronde, waarbij het grootste aantal grondmonsters werd meegenomen. Deze figuren geven dus een indruk van de verdeling van het fosfaatgehalte in de beide regio's op het tijdstip van bemonstering. De verschillen tussen beide verdelingen zijn mede gelet op het verschillende aantal monsters per regio niet erg groot. Het gemiddelde gehalte in de Gelderse Vallei is 22 en in de Achterhoek 20 mmol/kg.

Voor de Gelderse Vallei is de situatie zoals die voor de tweede bemonsteringsronde geldt weergegeven in fig. 2.4.

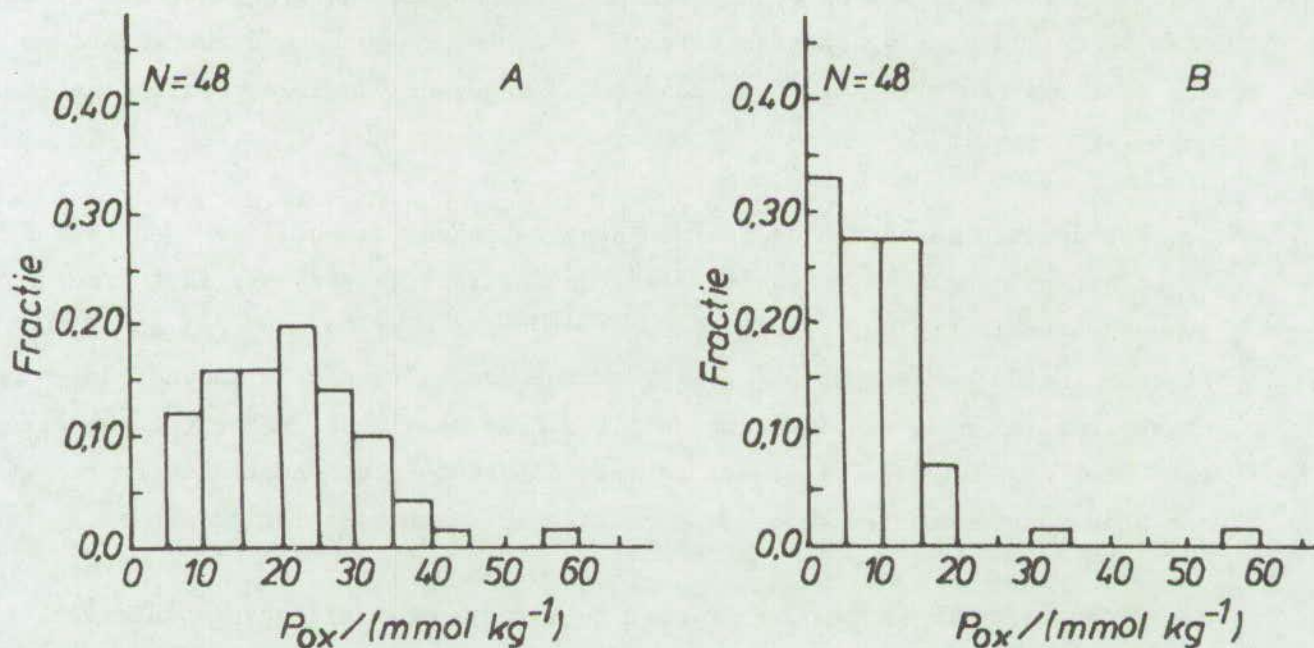


Fig. 2.4 Frekwentieverdeling van het oxalaat-extraheerbaar fosfaat (P_{ox} , in mmol.kg^{-1}) in de lagen 0-20 cm (A) en 30-50 cm (B) zoals aangetroffen bij de tweede bemonsteringsronde in de Gelderse Vallei.

Het gemiddelde fosfaat gehalte in de bovenlaag bij de tweede bemonstering (23 mmol/kg) is vrijwel gelijk aan dat bij de eerste bemonstering. Hetzelfde geldt voor de Achterhoek. Zoals te verwachten is ligt het gemiddelde gehalte in de laag 30-50 cm (9 mmol/kg) duidelijk beneden dat voor de bovenlaag. Toch valt het op dat ca. 15% van de gronden in de laag 30-50 cm reeds een fosfaatgehalte hebben van meer dan 15 mmol/kg.

Een relatief hoog gehalte fosfaat in de ondergrond kan verschillende oorzaken hebben. Het kan gaan om door de mens in de loop der eeuwen opgehoogde profielen (enkeerdgronden), waarbij de landbouw in het verleden deze verhoogde gehalten heeft veroorzaakt. Het kan ook gaan om gronden die onder invloed staan of bestaan hebben van fosfaat-rijk grondwater en het kan gaan om fosfaat dat uit de bovengrond naar beneden is getransporteerd omdat de bovengrond vrijwel volledig is "verzadigd" met fosfaat. De herkomst van het fosfaat is echter niet van belang wanneer het gaat om de nog beschikbare fosfaat vastleggings capaciteit. Omdat de totale vastleggingscapaciteit eindig is, is een grond kwetsbaarder voor fosfaatuitspoeling naarmate een groter gedeelte van deze totale capaciteit reeds is "opgevuld".

Uit de resultaten van de fosfato-stat metingen (zie bijlage 1 en fig. 2.1A,B) blijkt dat er, zoals te verwachten is, een aanzienlijk verschil is tussen de gevonden beschikbare vastleggingscapaciteit gemeten bij 5 mmol P/l en bij 0,5 mmol P/l en in het algemeen ook bij gelijke concentratie tussen de lagen 0-20 en 30-50 cm. Het verschil is nader geïllustreerd in fig. 2.5 waarin de frekwentie verdelingen staan voor de Gelderse Vallei van de met de fosfato-stat gemeten fosfaatsorptie voor beide concentraties en beide grondlagen bij een reactietijd van ca. 40 uur.

Om dus iets te kunnen zeggen over de resterende vastleggingscapaciteit is het op zijn minst nodig om te weten welke maximale fosfaatconcentratie in de bodemoplossing kan voorkomen als gevolg van (drijf)mestdosering. Dit kan alleen gemeten worden in het veld in een profiel dat geen fosfaat meer vast legt. Uit resultaten van een continue bemonstering van het bodemvocht in de onverzadigde zone (30 cm beneden maaiveld), thans gedurende ca. één jaar uitgevoerd aan een dergelijk profiel, blijkt dat de fosfaatconcentratie in het natte seizoen (dan vindt er fosfaattransport naar beneden plaats) continu gemiddeld ca. 3 mmol P/l bedraagt. Uit metingen gedaan door de Dienst Milieuhygiëne van de Provincie Gelderland blijkt dat ook in het bovenste grondwater van een met fosfaat vrijwel

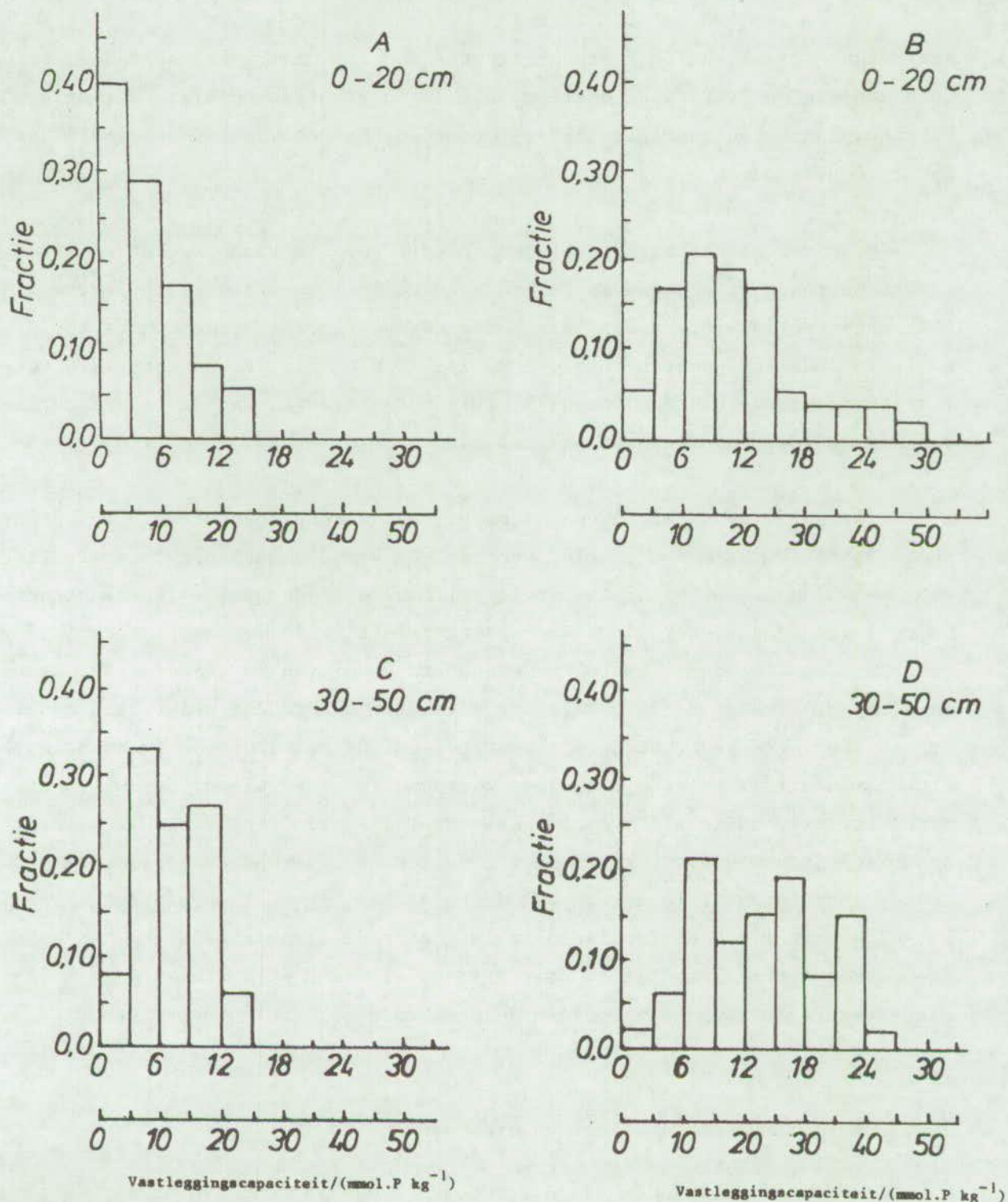


Fig. 2.5 Frekwentieverdeling van de, m.b.v. de fosfato-stat gemeten, nog beschikbare sorptiecapaciteit (mmol P.kg^{-1}) voor een reactietijd van 40 uur voor de monsters uit de Gelderse Vallei. In alle gevallen is $N = 48$. A en B zijn de gegevens voor de laag 0-20 cm bij respectievelijk 0,5 en 5,0 mmol fosfaat per liter. C en D idem voor de laag 30-50 cm. De onderste as heeft betrekking op de verdeling die geldt voor een reactietijd van 1 jaar zoals verkregen d.m.v. extrapolatie (zie tekst).

verzadigd profiel een fosfaatconcentratie van 2,6 mmol/l kan optreden. Beide getallen stemmen vrij goed overeen. Het is in principe mogelijk dat deze "verzadigings" concentraties nog enigermate afhangen van het type mest dat wordt toegediend.

Om de nog beschikbare sorptiecapaciteit goed te kunnen schatten uit sorptiemetingen zijn nog twee bewerkingen nodig. De eerste is een extrapolatie naar een reactietijd van één jaar en de tweede is een omrekeningsfactor die nodig is omdat er gemeten is bij 5 mmol/l en niet bij de voor het veld realistische waarde van 2 à 3 mmol/l. (Bij het uitvoeren van de sorptiemetingen was deze veldwaarde nog niet bekend).

Extrapolatie van metingen gedaan bij een zekere concentratie levert het pseudo sorptie maximum dat geldt voor de gegeven concentratie. Hier is gekozen voor een lineaire extrapolatie op logaritmische tijdschaal (zie ook paragraaf 2.1), waarbij uitgegaan wordt van de oorsprong (reactietijd 1 minuut, sorptie = 0) van de grafiek en het punt gemeten na 40 uur in geval van de fosfato-stat methode en het punt gemeten na 24 uur in het geval van de schudmethode. Deze manier van extrapoleren heeft het grote voordeel dat de resulterende frekwentieverdeling onmiddellijk volgt uit diegene waarvan hij is afgeleid. Het enige dat er verandert zijn de getallen op de horizontale as, zie fig. 2.5. Uit eerder onderzoek (Lexmond e.a., 1982) en uit de vorm van de meeste gemeten verbanden tussen sorptie en de logaritme van de tijd (zie fig. 2.1 en bijlage 1) blijkt dat deze manier van extrapoleren i.h.a. tot redelijke schattingen van het pseudo sorptie maximum leidt. Voor extrapolatie van 40 uur naar 1 jaar is de aldus verkregen verhouding tussen de berekende sorptie en het meetpunt 1,7.

2.2.1 Het extraheerbaar ijzer en aluminium.

Een van de doeleinden van dit onderzoek was inzicht te verkrijgen in de verschillen tussen de verschillende bodemtypen wat betreft het fosfaatbindend vermogen. De belangrijkste bodemfactor welke de totale maximale fosfaat bindings capaciteit bepaalt is het gehalte aan extraheerbaar ijzer plus aluminium. Uit het onderzoek blijkt dat in alle gevallen de spreiding van dit gesommeerde gehalte vrij groot is. De belangrijkste groepen van in het onderzoek betrokken

bodemtypen zijn podzol-, beekerd- en enkeerdgronden. Met name de frekwentie-verdeling van de podzol- en de beekerdgronden tonen veel overeenkomst. Dat het gemiddelde voor de beekerdgronden (zie tabel 2.1) wat hoger ligt komt voornamelijk doordat er hier een paar percelen zijn met een zeer hoog gehalte aan extraheerbaar ijzer zoals blijkt uit figuur 2.6 waar de frekwentieverdeling voor de podzol- en beekerdgronden voor de laag 0-20 cm is weergegeven.

Tabel 2.1 Het gemiddelde van $(\text{Fe}+\text{Al})_{\text{ox}}$ en de standaarddeviaties voor drie verschillende bodemtypen en drie provinciale regio's. $(\text{Fe}+\text{Al})_{\text{ox}}$ is de som van het extraheerbaar ijzer en aluminium, N is het aantal monsters in een bepaalde categorie. I en II duiden de eerste respectievelijk de tweede bemonsteringsronde aan.

	$(\text{Fe}+\text{Al})_{\text{ox}} \pm \text{st.dev.}$ mmol/kg	N aantal
podzol (0-20)	75 \pm 24	23
podzol (30-50)	63 \pm 19	23
beekerd (0-20)	87 \pm 39	18
beekerd (30-50)	80 \pm 60	18
enkeerd (0-20)	91 \pm 25	18
enkeerd (30-50)	96 \pm 31	18
Gelderse Vallei (0-20) I	82 \pm 27	165
Gelderse Vallei (0-20) II	78 \pm 27	48
Gelderse Vallei (30-50) II	72 \pm 41	48
Achterhoek (0-20) I	106 \pm 48	62
Achterhoek (0-20) II	120 \pm 66	13
Achterhoek (30-50) II	102 \pm 31	13
Rivieren (0-20)	171 \pm 79	17

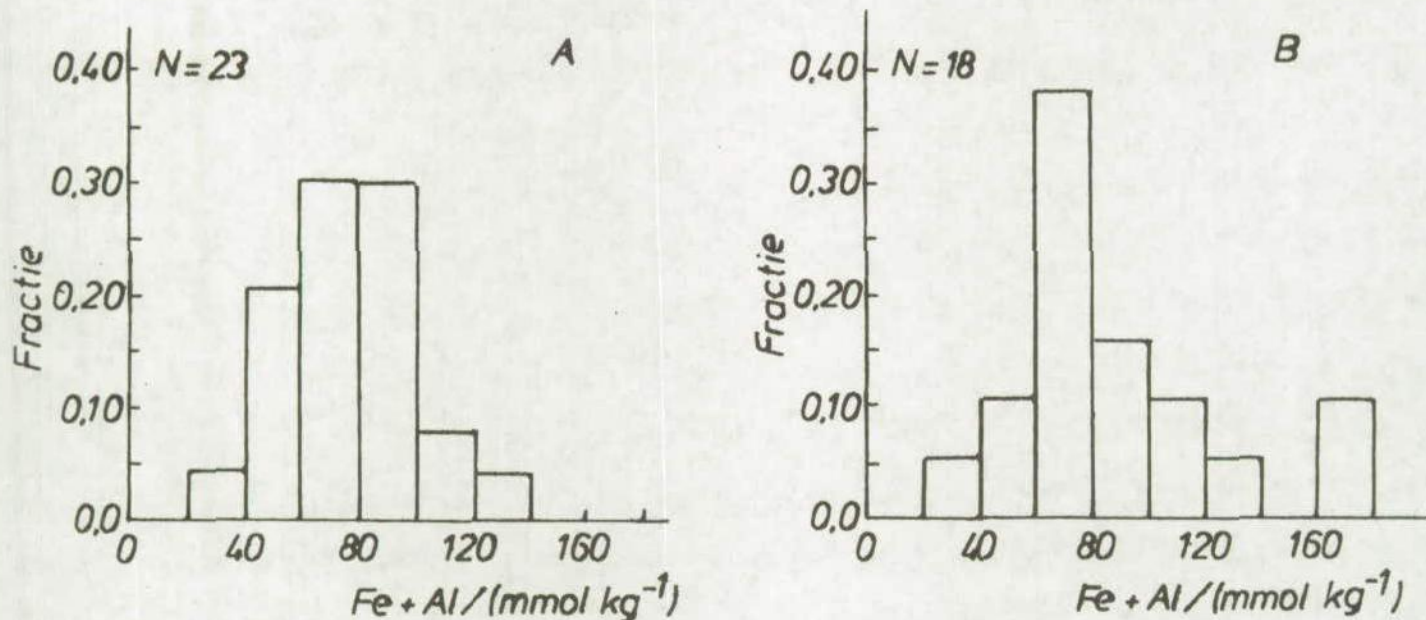


Fig. 2.6 Frekwentieverdeling van de som van het oxalaat-extraheerbaar (Fe + Al) in mmol/kg voor de bemonsterde podzol-gronden (A) en de beekerdgronden (B) voor de laag 0-20 cm.

De frekwentieverdeling voor de enkeerdgronden ligt duidelijk iets meer naar rechts verschoven op de (Fe + Al)-as. Bovendien blijkt het dat de verdeling voor de Gelderse Vallei zowel bij de eerste als bij de tweede bemonsteringsronde vrijwel gelijk is aan die van de podzol/beekerdgronden. De verdeling voor de Achterhoek ligt duidelijk bij hogere (Fe + Al) gehalten. In tabel 2.1 zijn de gemiddelden en de standaarddeviaties voor de diverse verdelingen weergegeven. Het Rivierengebied toont duidelijk de hoogste vastleggende eigenschappen, terwijl het fosfaat gehalte op dit moment niet veel afwijkt van de overige regio's. In fig. 2.7 is voor de Gelderse Vallei de verdeling van het gehalte aan extraheerbaar (Fe + Al) uitgezet zoals dat gevonden werd bij de eerste bemonsteringsronde.

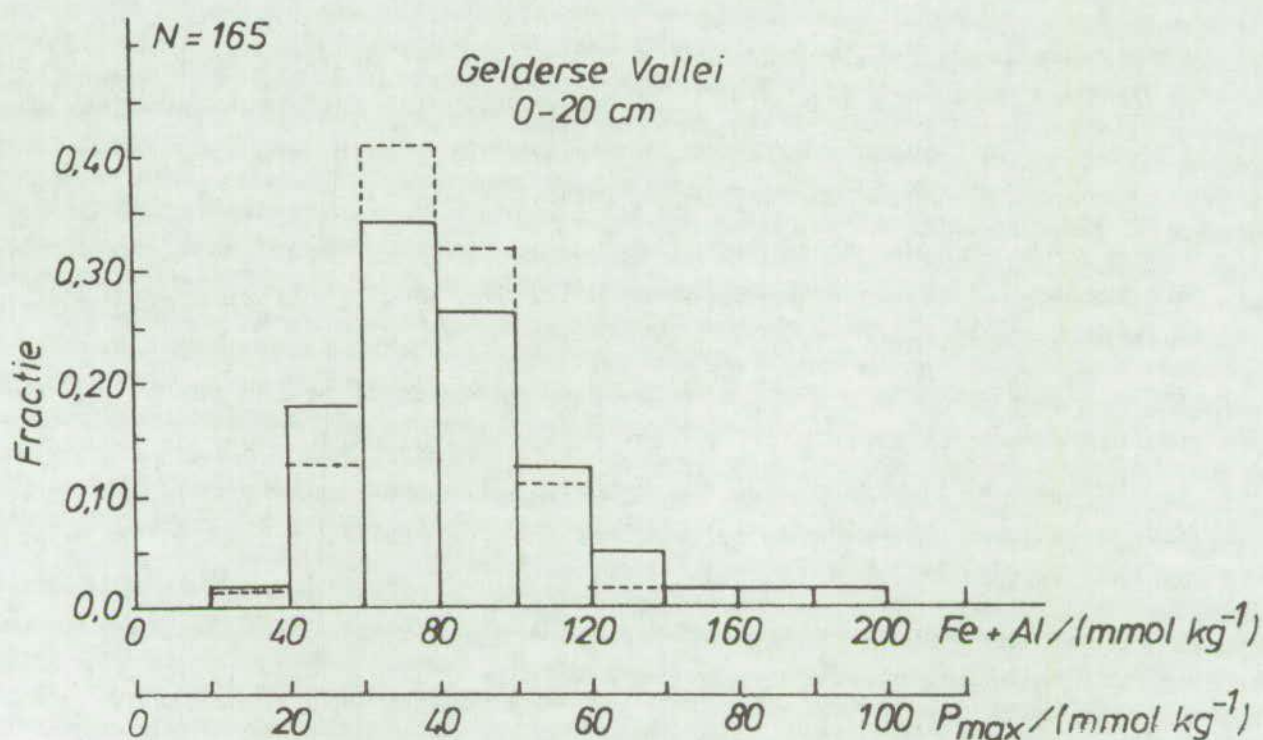


Fig. 2.7 Frekwentieverdeling van de som van het oxalaat-extraheerbaar (Fe + Al), getrokken lijnen, bovenste horizontale as. Dezelfde lijnen in combinatie met de 2e horizontale as geeft de verdeling van de maximale fosfaatvastleggingscapaciteit (P.max), berekend uit het gehalte (Fe + Al) via vermenigvuldiging met een factor 0,5. De gestippelde verdeling hoort uitsluitend bij de P.max-as en is berekend m.b.v. fosfaatsorptie-metingen en het P_{ox} getal (zie verder tekst).

Uit voorafgaand onderzoek is gebleken dat de verhouding tussen het totale pseudo sorptie maximum en het extraheerbaar (Fe + Al) gemiddeld vrij constant is. Bij een fosfaatconcentratie van 5 mmol P/l werd een gemiddelde verhouding van $0,61 \pm 0,14$ gevonden. Dit houdt in dat het mogelijk zou moeten zijn om de (Fe + Al) verdeling eenvoudig om te zetten in een verdeling die de totale fosfaat sorptie capaciteit weergeeft. Het enige dat er dan verandert zijn de getallen op de horizontale as (zie ook fig. 2.5). Deze nieuwe verdeling kan dan vergeleken worden met de verdeling verkregen uit sorptie metingen. Dat wil zeggen dat het bij de bemonstering aanwezige fosfaat (P_{ox}) plus de via extrapolatie verkregen nog beschikbare sorptie capaciteit samen gelijk is aan het totale fosfaat pseudo

sorptie maximum (P_{\max}). Het is mogelijk om het verhoudingsgetal $P_{\max}/(Fe + Al)$ zodanig te berekenen dat beide verdelingen zoveel mogelijk samenvallen. Hier is volstaan met het uitvoeren van de vergelijking voor een aangenomen verhoudingsgetal van 0,6 en 0,5. De keuze van 0,5 levert een zeer acceptabel resultaat, het optimum ligt waarschijnlijk iets hoger dan 0,5. Een en ander blijkt ook uit figuur 2.7 waarin de gestippelde verdeling de via fosfaat sorptie meting verkregen verdeling is (schudmethode) en de getrokken lijnen de verdeling op basis van $(Fe + Al) \times 0,5$ geven. In beide gevallen dient men de P_{\max} -as te gebruiken voor interpretatie. Hetzelfde kan gedaan worden voor de tweede bemonstering voor de lagen 0-20 en 30-50 cm. Dit leidt tot een volkomen vergelijkbaar resultaat. Dit gegeven gecombineerd met het feit dat de $(Fe + Al)$ verdelingen voor meerdere bodemtypen nagenoeg gelijk zijn is een belangrijk resultaat. Bij zeer hoge gehalten aan extraheerbaar $(Fe + Al)$ blijkt echter vaak dat de via vermenigvuldiging berekende sorptiecapaciteit veel te groot is in vergelijking met de via sorptiemetingen berekende sorptiecapaciteit. Omdat deze gevallen niet veel voorkomen heeft dit op het totaal beeld niet veel effect, maar voor een eventuele toepassing van deze resultaten in de praktijk dient hier wel rekening mee gehouden te worden. Tevens dient opgemerkt te worden dat het verhoudingsgetal 0,5 gemiddeld genomen de situatie goed karakteriseert, maar dat in individuele gevallen het verhoudingsgetal voor een met fosfaat verzadigde grondlaag ($P_{ox} = P_{\max}$) zowel kleiner als groter kan zijn dan 0,5. Dit komt nader aan de orde wanneer de "hoog belaste percelen" worden besproken.

2.2.2 De nog beschikbare P sorptie capaciteit in het veld.

Om de nog beschikbare sorptie capaciteit in het veld te kunnen berekenen is het nodig om de gevonden resultaten gemeten bij 5 mmol P/l te converteren naar een resultaat dat overeenkomt met een te verwachten maximale P-concentratie van 2-3 mmol P/l. Wanneer de data van Korzilius en Breeuwsma (1983) op dezelfde manier als hiervoor aangegeven worden gebruikt om het gemiddelde verhoudingsgetal ($P_{\max}/(Fe + Al)$) te berekenen dan is dit 0,34. Deze resultaten betreffen vergelijkbare bodemtypen waarbij de profielen zijn bemonsterd in de verschillende bodemhorizonten zoals die onderscheiden kunnen worden. De fosfaatconcentratie die in hun onderzoek werd gebruikt is 1,6 mmol P/l. Het is dus te verwachten dat het verhoudingsgetal voor de gronden uit Gelderland geldig bij 3 mmol P/l tussen de 0,34 en de eerder berekende 0,5

in zal liggen. Lineaire interpolatie leidt tot een verhoudingsgetal ($P_{\max}/(Fe + Al)$) van 0,40. Wanneer van dit getal wordt uitgegaan houdt dit in dat alle berekende maximale sorptiecapaciteiten geldig voor 5,0 mmol P/l met 0,8 moeten worden vermenigvuldigd om de totale maximale sorptiecapaciteit te verkrijgen geldig bij 3,0 mmol/l.

Om te kunnen berekenen wat de resterende sorptiecapaciteit over een zekere diepte is, is het nodig om een getal aan te nemen voor de dichtheid van de grond (kg/m^3). In Lexmond e.a. (1982) is voor deze berekeningen het getal 1500 gebruikt. In de praktijk zal dit getal variëren, onder meer afhankelijk van het organische stof gehalte. Voor de bovengrond van de gemiddelde zandgrond in Gelderland is $1400 kg/m^3$ echter een betere benadering van de werkelijkheid. Met dit getal zijn de verdere berekeningen uitgevoerd. In figuur 2.8 is op de hier boven aangegeven wijze de verdeling van de nog

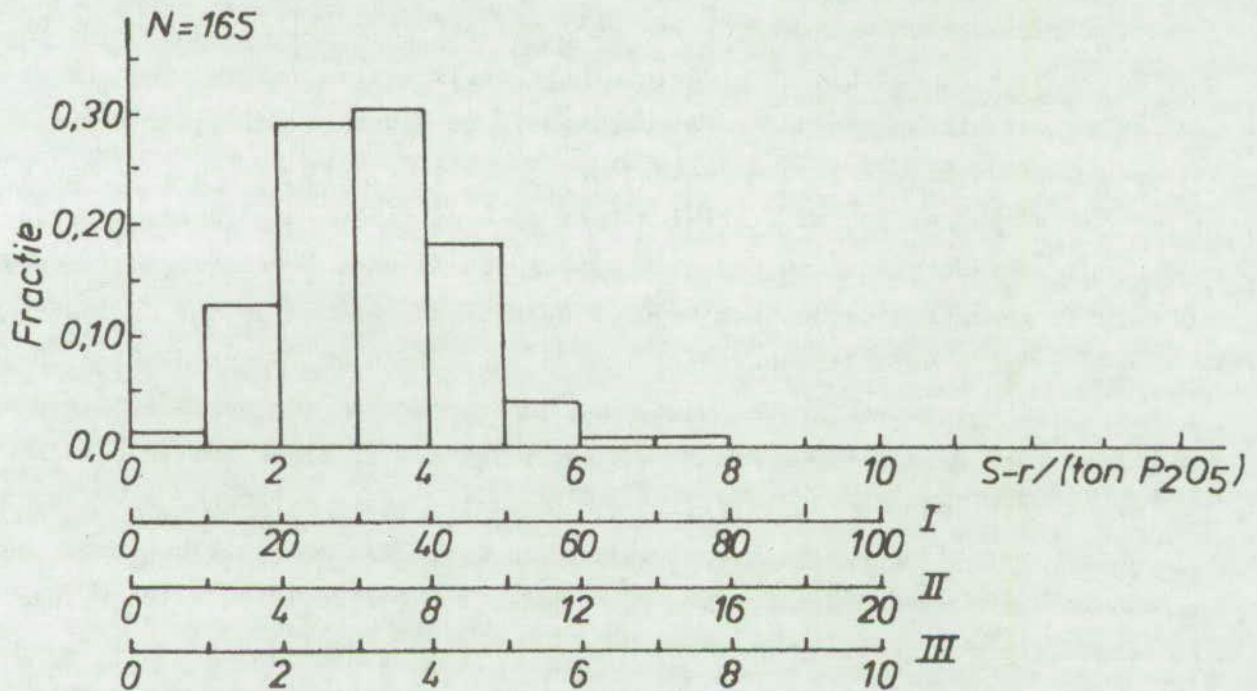


Fig. 2.8 Frekwentieverdeling van de berekende nog resterende sorptiecapaciteit per ha over de laag 0-25 cm, S-r, uitgedrukt in ton P_2O_5 , voor de Gelderse Vallei (1e bemonsteringsronde). De onderste drie assen hebben betrekking op de verdeling van het aantal jaren dat het duurt voor deze bodemlaag is opgevuld bij drie aangenomen mestregimes van I $160 kg P_2O_5/(ha.jr)$, II $560 kg P_2O_5/(ha.jr)$, III $1060 kg P_2O_5/(ha.jr)$. (zie voor verdere verklaring tekst)

beschikbare sorptiecapaciteit berekend uitgedrukt in tonnen P_2O_5 /ha over de laag 0-25 cm. Aangenomen is dat de nog resterende sorptiecapaciteit in de laag 20-25 gelijk is aan die van de laag 0-20 cm. Wanneer nu een bepaalde jaarlijkse mestdosering wordt aangenomen kan de horizontale as worden omgezet in het aantal jaren dat het duurt voordat de laag 0-25 cm helemaal is opgevuld. Er zijn drie verschillende doseringen varkensdrijfmest aangenomen I) 34 ton (ha.jr), hetgeen een overdosering t.o.v. de jaarlijkse onttrekking door het gewas ($60 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha.jr}$) inhoudt van $100 \text{ kg } P_2O_5/\text{jr}$. II) 120 ton/(ha.jr), hetgeen neerkomt op een overdosering van $500 \text{ kg } P_2O_5/\text{jr}$. III) 225 ton/(ha.jr) overeenkomend met een overdosering van $1000 \text{ kg } P_2O_5/\text{jr}$. De laagste dosering wordt als laag ervaren en komt bij benadering overeen met de stikstofbehoefte van een maisgewas wanneer de mest in het voorjaar wordt uitgereden. De middelste dosering zal in overschotgebieden waarschijnlijk veelvuldig voorkomen, terwijl de hoogste dosering tot de meer extreme situaties moet worden gerekend die in veel mindere mate zullen voorkomen. Uit fig. 2.8 volgt dat bij de middelste gift vrijwel alle 165 onderzochte profielen vol zitten tot op een diepte van 25 cm binnen twaalf jaar terwijl deze periode bij de laagste aangenomen jaarlijkse gift ca. 60 jaar bedraagt. De helft van het aantal profielen over deze diepte is met fosfaat verzadigd in ongeveer de helft van de boven aangegeven tijden. Eenzelfde soort verdeling is gemaakt voor de laag 0-50 cm waarbij aangenomen is dat de laag 25-30 cm zich hetzelfde gedraagt als de laag 30-50 cm. Omdat de laag 30-50 cm alleen is meegenomen in de tweede bemonsteringsronde kan deze berekening alleen voor deze serie monsters worden gemaakt; zie fig. 2.9. In deze figuur staat behalve de verdeling op de manier zoals berekend voor fig. 2.8 ook een verdeling weergegeven berekend op basis van het extraheerbaar ijzer, aluminium en fosfaat en het verhoudingsgetal $P_{\text{max}}/(\text{Fe} + \text{Al})$. Beide verdelingen stemmen redelijk goed met elkaar overeen afgezien van enkele hoge waarden; dit is in overeenstemming met wat reeds eerder werd opgemerkt over de relatie tussen $\text{Fe}_{\text{ox}} + \text{Al}_{\text{ox}}$ en P_{max} ! Uit de figuur blijkt dat bij een jaarlijkse varkensdrijfmest gift van 120 ton/ha 15% van de onderzochte profielen volledig met fosfaat verzadigd zijn tot op een diepte van 50 cm binnen 8-10 jaar. Dat de situatie in de Achterhoek minder ernstig is dan in de Gelderse Vallei blijkt uit vergelijking van fig. 2.10 met fig. 2.9. Op de wat langere termijn zullen bij ongewijzigd beleid ook in de Achterhoek problemen gaan ontstaan.

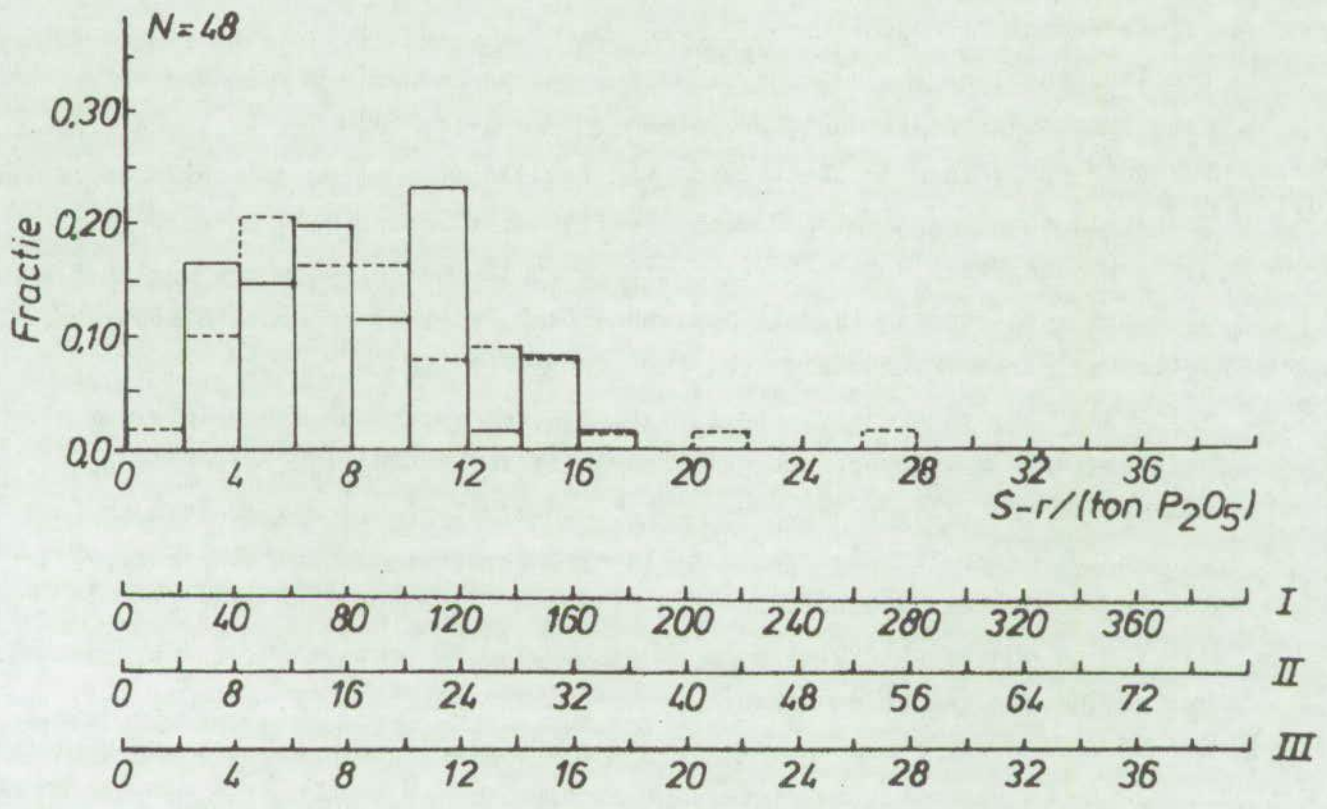


Fig. 2.9 Frekwentieverdeling van de berekende nog resterende sorptiecapaciteit per ha over de laag 0-50 cm uitgedrukt in ton P₂O₅ voor de Gelderse Vallei

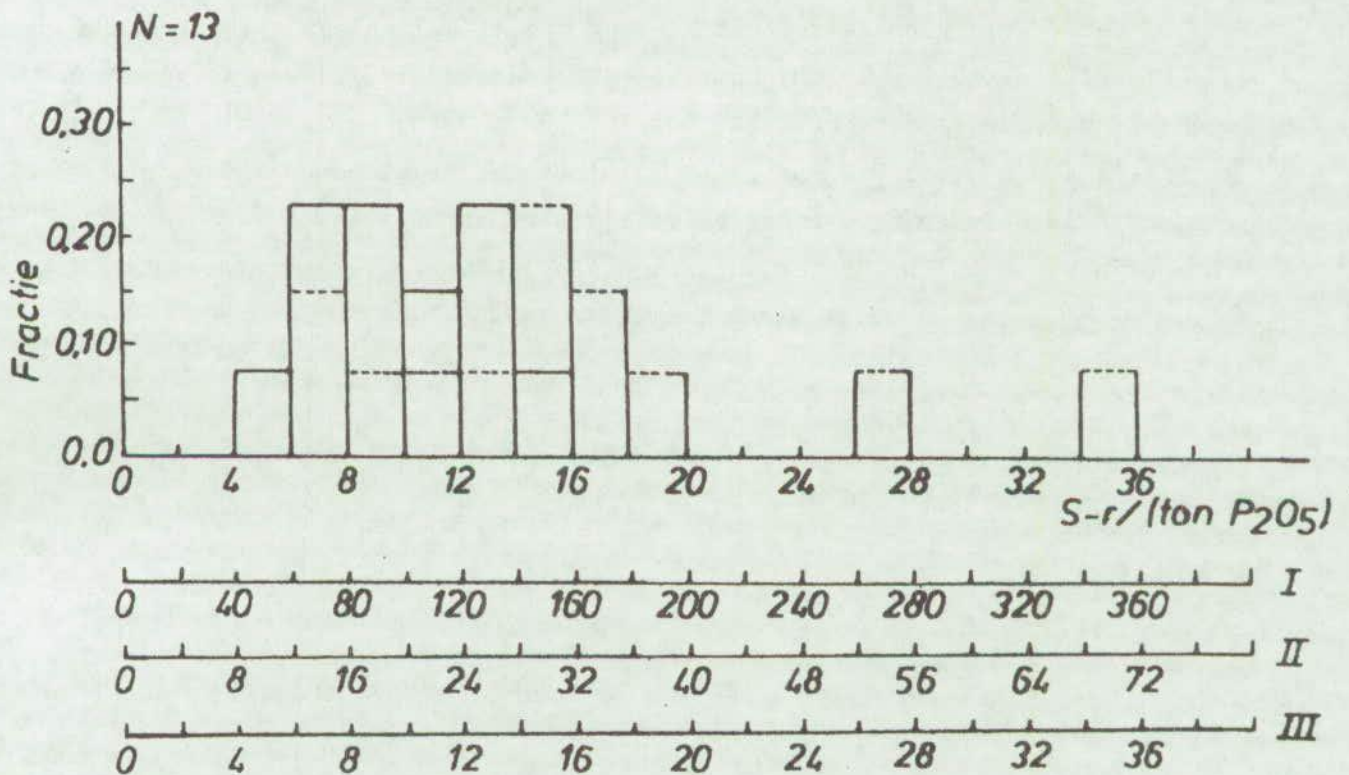


Fig. 2.10 Zie fig. 2.9, maar nu voor Achterhoek.

Van de bemonsterde percelen in de Gelderse Vallei bestaat het merendeel uit grasland; bij de eerste bemonsteringsronde is het percentage grasland 80 en bij de tweede 77. Dit komt vrij goed overeen met de werkelijke verdeling grasland/bouwland in de Gelderse Vallei. Aangenomen mag worden dat het bouwland i.h.a. gemiddeld veel hogere mestgiftten krijgt dan het grasland, zodat verwacht kan worden dat het risico van fosfaatuitspoeling op bouwlandpercelen groter is dan op graslandpercelen. Er zijn hier echter veel factoren die dit eenvoudige beeld kunnen verstoren. Factoren die er doorheen spelen zijn de bodemeigenschappen (gehalte extraheerbaar Fe + Al) en de tijd gedurende welke het perceel reeds als zwaar bemest (bouw)land in gebruik is. Uitsplitsing van de verdeling van fig. 2.8 is een verdeling die geldt voor het bouwland en een voor het grasland geeft toch duidelijk verschillen, met name in het gebied met lage nog resterende vastleggingscapaciteiten en in het gebied met relatief hoge vastleggingscapaciteiten. Een resterende vastleggingscapaciteit kleiner dan of gelijk aan 2 ton P_2O_5 /ha komt bij 11% van de onderzochte graslanden voor en bij 29% voor de bouwlandgronden. Het gemiddelde van beide verdelingen verschilt slechts 20%, dat wil zeggen dat de gemiddelde resterende vastleggingscapaciteit van de bouwlandpercelen 20% lager is dan die van de graslandpercelen.

Een zelfde uitsplitsing is gemaakt voor de resultaten die staan weergegeven in fig. 2.9. Ook hier vallen de verdelingen duidelijk uit elkaar en zijn de verschillen aan de uiteinden het grootst.

Een vastleggingscapaciteit kleiner dan of gelijk aan 4 ton P_2O_5 /ha over een profieldikte van 50 cm komt bij het grasland in 13% van de gevallen voor en bij het bouwland is dit 27%. Dezelfde berekening voor de groep kleiner dan of gelijk aan 6 ton P_2O_5 /ha geeft 23% voor het grasland en 54% voor het bouwland. Deze berekeningen tonen duidelijk aan dat het risico voor fosfaatuitspoeling op bouwland groter is dan op grasland. Voor een verdere interpretatie van de gegevens wordt verwezen naar paragraaf 2.4.

2.3 "Hoog belaste percelen".

Omdat de monsters zoals die m.b.v. de landbouwvoorlichtingsdienst waren verzameld (1e en 2e bemonsteringsronde) allen afkomstig zijn van percelen waar een min of meer normale bedrijfsvoering plaats vindt, ligt het voor de hand dat hiermee een inzicht ontstaat in de "doorsnee situatie". Er zijn echter ook situaties waarbij bepaalde percelen gebruikt worden om mest te dumpen; het landbouwkundig gebruik komt dan op de tweede plaats. In dat geval zal er eerder fosfaatuitspoeling beneden de bouwvoor optreden dan in de doorsnee situatie. De Dienst Milieuhygiëne van de provincie Gelderland heeft om in deze situaties enig inzicht te verkrijgen 25 percelen bemonsterd. De resultaten van het onderzoek aan deze percelen zijn weergegeven in fig. 2.2 en in bijlage 2. In vier gevallen nl.: PG. 6, PG. 10, PG. 18 en PG. 24 wordt er, zowel in de laag 0-20 cm als in de laag 30-50 cm, geen of nagenoeg geen fosfaat vastlegging meer gemeten bij 5 mmol P/l. In 16% van de gevallen is de laag 0-50 cm dus reeds verzadigd met fosfaat. Uit de verhoudingscijfers $P_{ox}/(Fe_{ox} + Al_{ox})$ kan worden afgeleid dat bij PG. 6 en PG.10 het bodemprofiel al minstens tot op een diepte van één meter verzadigd is met fosfaat, terwijl bij PG. 18 de verzadiging op één meter diepte wordt benaderd. Dat bij dergelijke belastingen behalve uitspoeling van stikstof er ook fosfaat uitspoeling naar het grondwater optreedt blijkt uit onderzoek van de Dienst Milieuhygiëne van de provincie die op 12 van de 25 percelen grondwater buizen heeft geplaatst en grondwater analyses heeft laten verrichten. In de helft van deze gevallen komen fosfaat concentraties voor die hoger zijn dan 0,01 mmol/l; het geanalyseerde water komt gemiddeld van een diepte van twee à drie meter beneden maaiveld. Concentraties in de orde van 0,01 mmol/l komen ook voor wanneer er op grond van de fosfaatvastleggingsmetingen en de $P_{ox}/(Fe_{ox} + Al_{ox})$ metingen nog geen doorbraak van fosfaat naar het grondwater is te verwachten. In deze gevallen is bovendien vrijwel altijd het totaal fosfaat gehalte in oplossing duidelijk hoger dan het anorganisch fosfaat. Een en ander wijst er op dat het hier vermoedelijk gaat om uitspoeling van organisch fosfaat dat in het grondwater weer gedeeltelijk wordt omgezet in anorganisch fosfaat. Geschat wordt op basis van metingen verricht door Gerritse van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid dat uit drijfmest ca. 1% van het totale fosfaat in de vorm van organisch fosfaat kan uitspoelen. Relatief gezien is deze bijdrage

dus gering, maar absoluut kan dit altijd nog aanzienlijk zijn bij hoge mestdoseringen. Uit de grondwateranalyses blijkt dat een dergelijk effect inderdaad kan optreden. Een concentratie van ca. 0,01 mmol/l is altijd nog meer dan een factor tien hoger dan in oppervlaktewater wenselijk wordt geacht! In het geval van PG. 10 is het anorganisch fosfaat sorptiefront duidelijk al dieper dan 3,70 meter doorgedrongen. In de drie op dit perceel gelegen grondwaterbuizen werden fosfaatconcentraties gemeten variërend van 1,2 tot 2,6 mmol P/l. In dit geval was al het opgeloste fosfaat aanwezig in anorganische vorm. Bij PG. 6 heeft helaas geen grondwater bemonstering plaats gevonden. Wanneer het grondwater hier niet al te diep zit zijn ook in dit geval vergelijkbare hoge fosfaatconcentraties in het grondwater te verwachten. De situatie bij PG. 6 is veroorzaakt door een combinatie van hoge mestdoseringen en een extreem lage totale fosfaat vastleggingscapaciteit. Hier valt het ook op dat de verhouding $P_{ox}/(Fe_{ox} + Al_{ox})$ in de bovengrond veel groter is dan één. Dit nu is op het eerste gezicht zeer vreemd omdat wanneer precipitatie van fosfaat met ijzer en aluminium verantwoordelijk is voor de vastlegging op z'n hoogst een verhoudingsgetal van één kan worden verwacht. In Lexmond e.a. (1982) wordt er op gewezen dat er onder bepaalde omstandigheden een soort "tijdbom situatie" kan ontstaan. Dit komt omdat het fosfaat in de mest voornamelijk aanwezig is in vrij goed oplosbare calcium- en magnesium-ammonium-fosfaten. Bij niet al te hoge mestgiften lossen deze verbindingen in het regenwater op en worden of bovenin weer vastgelegd aan de grond, of wanneer de bovengrond "vol" is spoelt dit fosfaat uit naar diepere lagen. Wanneer de jaarlijkse mestdosering echter hoger is dan een bepaalde grens zullen niet alle goed oplosbare fosfaten oplossen en uitspoelen in één jaar. Dat wil zeggen dat er zich dan goed oplosbaar fosfaat ophoopt in de bovenste 20 à 30 cm (bouwvoor). Stopt men echter volledig met fosfaatbemesting dan zal deze voorraad goed oplosbaar fosfaat in de loop van de tijd gaan oplossen en uitspoelen, vandaar de benaming "tijdbom effect" voor een dergelijke situatie.

Een ander gegeven dat opvalt is dat hoewel hier duidelijk is gezocht naar hoogbelaste percelen er in zeker vier (PG. 9, PG. 11, PG. 16, PG. 25) gevallen geconstateerd moet worden dat de gehalten fosfaat in boven- en ondergrond zeker niet als hoog en in één geval (PG. 25) zelfs als zeer laag moeten worden gekarakteriseerd.

2.4 Interpretatie en conclusies.

Aangezien het bezwaar dat bestaat tegen hoge mestdoseringen eerder moet worden gezocht in het risico van nutriëntenuitspoeling dan in het risico van oogstdepressies (zie ook hoofdstuk 3 over de koperproblematiek) is bij de beoordeling van de situatie ook de ligging van de percelen van belang.

Met name ten aanzien van eutrofiëring speelt fosfaat een sleutelrol omdat de zgn. blauwalgen in staat zijn om zelf stikstof te binden uit de lucht. Uitspoeling van stikstof zonder fosfaat zal t.a.v. de eutrofiëring waarschijnlijk minder ernstig zijn dan uitspoeling van beide nutriënten. T.a.v. nitraatuitspoeling naar het grondwater kunnen echter ook problemen ontstaan uit een oogpunt van drinkwaterbereiding.

Dat er ook fosfaatuitspoeling beneden de bouwvoor optreedt is duidelijk aangetoond.

Ten aanzien van de variabiliteit van de maximale vastleggingscapaciteit kan gezegd worden dat de spreiding vrij groot is maar dat het verschil in de frekwentieverdeling voor enkele in de onderzochte gebieden veel voorkomende grondsoorten erg klein is. Een gering percentage van deze gronden vertoont echter een zeer lage vastleggingscapaciteit. Wanneer op dergelijke gronden ook hoge mestdoseringen plaats vinden dan zal hier al gauw een sterke uitspoeling optreden. Hoewel er op dit moment waarschijnlijk slechts op een zeer geringe schaal verontreiniging van het grondwater met fosfaat plaats vindt zou dit in de nabije toekomst, zeg 10-15 jaar, aanzienlijk kunnen toenemen bij ongewijzigd beleid. Gezien het feit dat gronden met zeer lage vastleggingscapaciteit in combinatie met hoge mestdoseringen zijn aangetroffen in de buurt van de randmeren verdient het onzes inziens aanbeveling om de huidige en de te verwachten bijdrage van de landbouw aan de eutrofiëring van deze meren nader te onderzoeken.

Ten aanzien van een sanering van de mestoverschottenproblematiek kan gesteld worden dat in de provincie Gelderland de Gelderse Vallei het meest kwetsbaar is. Het gevaar voor fosfaatuitspoeling is hier het grootst omdat de natuurlijke fosfaat vastleggingscapaciteit in dit gebied het kleinst is van de drie onderscheiden regio's. In het algemeen kan gesteld worden dat nadelige effecten het eerst zullen optreden in gebieden waarin de weg van het water via de onverzadigde zône en het grondwater naar het oppervlakte-

water relatief kort is en in gebieden waar het grondwater natuurterreinen kan beïnvloeden.

Wat betreft de berekening van het aantal jaren dat het duurt voordat een bepaalde grondlaag verzadigd is bij een aangenomen mestdosering dient bedacht te worden dat het fosfaatfront niet de vorm heeft van een blokfront maar een zgn. "teen" vertoont. Dit houdt in dat het bodemprofiel al over een grotere diepte gedeeltelijk is "opgevuld" met fosfaat dan welke overeenkomt met de blokfront benadering. Hoe groter de "verzadiging" hoe hoger de corresponderende fosfaatconcentratie in de bodemoplossing zal zijn. Wanneer het puntje van de teen, dit is de overgang van het natuurlijke bodemprofiel naar het fosfaatindringingsfront, een zekere diepte heeft bereikt zal op deze diepte de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing in de loop van de tijd langzaam gaan oplopen totdat de grond op deze diepte volledig is verzadigd met fosfaat. De fosfaatconcentratie zal dan ca. 2-3 mmol/l zijn. Wanneer volgens de berekeningen die ten grondslag liggen aan fig. 2.9 en 2.10 wordt vastgesteld dat een profiel of een reeks van profielen na een aantal jaren verzadigd zullen zijn met fosfaat tot op een diepte van 50 cm, dan dient men zich te realiseren dat mogelijk al op 70 cm diepte duidelijk verhoogde fosfaatconcentraties voorkomen. Zelfs wanneer op 70 cm diepte de fosfaatconcentratie slechts één tiende is van die bij volledige verzadiging dan nog is dit een zeer hoge fosfaatconcentratie, vergelijkbaar met die in ongezuiverd huishoudelijk afvalwater!

Wanneer een bodemprofiel eenmaal verzadigd is met fosfaat tot aan het grondwater zal er ook bij het volledig beëindigen van verdere mestdoseringen nog jarenlang een sterke uitspoeling van fosfaat optreden als gevolg van fosfaatdesorptie. De onttrekking door het gewas is in zo'n geval kwantitatief vrij onbelangrijk. Een vol profiel zal over een diepte van 50 cm toch al gauw zo'n 10 ton P_2O_5 per hectare bevatten. Bij een jaarlijkse gewasonttrekking van 60 kg P_2O_5 /ha verdwijnt langs die weg slechts 0,6 procent/jr. van de totale hoeveelheid in het begin aanwezig fosfaat. In dertig jaar is dan nog slechts 18% via gewasonttrekking afgevoerd. Gedurende diezelfde periode zal doorlopend uitspoeling na desorptie optreden.

Omdat de concentraties die bij volledige doorbraak optreden meer dan duizend maal hoger zijn dan toelaatbaar vanuit het oogpunt van eutrofiëring zal ook indien dit uitspoelingswater wordt gemengd met vrij schoon grondwater alvorens het deel gaat uitmaken van oppervlaktewater, toch al vrij

gaww sprake zijn van ontoelaatbare fosfaatbelasting. Dezelfde redenering t.a.v. de vereiste verdunning geldt voor de toelaatbaarheid van "lekkende" percelen ten opzichte van de oppervlakte waarover nog geen doorslag is opgetreden, en waarvan het neerslagoverschot als verdunningswater kan fungeren.

Dit onderzoek toont aan dat in gevallen van vermoede zware mestdo-
seringen reeds thans in een belangrijk deel van de situaties sprake is van
volledige doorslag. Daarnaast dat, bij ongewijzigd beleid, eenzelfde
situatie zal ontstaan over veel uitgestrektere oppervlakte. Voor de
Gelderse Vallei zal dit reeds binnen 5-10 jaar op grote schaal het geval
zijn. Voor de Achterhoek bedraagt deze periode enkele decennia, terwijl
voor de kleigronden van het Rivierengebied het gevaar voor fosfaatuit-
spoeling vooralsnog gering is.

3. Koper.

3.1 Inleiding.

Toevoeging van oplosbare koperzouten aan het voer leidt tot een hogere groeisnelheid en een lagere voederconversie (de hoeveelheid voer nodig per kg groei) van varkens. Hoewel voor een ongestoorde groei een kopergehalte van het voer van 5 tot 10 mg Cu per kg toereikend wordt geacht, is uit een groot aantal onderzoeken gebleken, dat de maximale groeisnelheid pas wordt bereikt als aan het voer 200 tot 250 mg Cu per kg wordt toegevoegd in de vorm van kopersulfaat (Figuur 3.1). Een afdoende verklaring voor dit verschijnsel is nog niet gegeven.

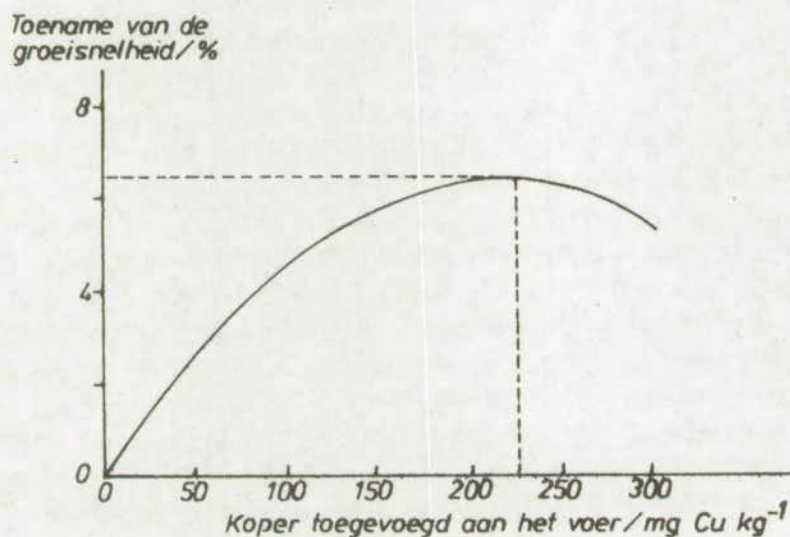


Fig. 3.1 Effect van kopertoediening aan het voer op de groeisnelheid van varkens (Cooke, 1981).

In Nederland wordt koper al ongeveer 25 jaar gebruikt als groeibevorderende stof voor biggen en mestvarkens. In de periode mei 1973 - april 1974 bleken de voeders voor deze dieren gemiddeld 235 mg Cu per kg droge stof te bevatten. In 1975 werd de Verordening Diervoeders van het Produktschap voor Veevoeders van kracht, waarin - overeenkomstig de EEG-richtlijn betreffende voederadditieven - een maximum van 200 mg per kg werd gesteld aan het kopergehalte van varkensvoeders. In de periode mei 1975 - april 1976 bleken de kopergehalten

van voeders voor biggen en mestvarkens inderdaad te zijn verlaagd tot gemiddeld 205 mg per kg droge stof. Sinds 1 juli 1982 is op verzoek van de Minister van Landbouw en Visserij het maximale kopergehalte van voeders mestvarkens ouder dan 4 maanden verlaagd tot 125 mg per kg; voor voeders voor biggen en mestvarkens jonger dan 4 maanden is het maximum gehandhaafd op 200 mg per kg. Gegevens omtrent de werkelijke gehalten van de momenteel verkrijgbare voeders ontbreken, maar er zijn geen redenen om te veronderstellen dat ze in belangrijke mate zullen afwijken van de overeengekomen maxima.

Extra koper in het voer bekort de mestperiode van slachtvarkens, waardoor met dezelfde stalruimte meer varkens per jaar kunnen worden afgeleverd tegen lagere huisvestingskosten per dier. De verlaging van de voederconversie waarmee het groeibevorderende effect van koper gepaard gaat, leidt tot een besparing op de voederkosten per afgeleverd varken. Omdat de kosten van het toegevoegde kopersulfaat veel lager zijn dan deze besparingen, worden de produktiekosten per saldo aanmerkelijk verlaagd. Borggreve (1977) schatte de kostenverlaging voor Nederlandse omstandigheden op f 4,15 per afgeleverd varken.

De kwaliteit van het slachtprodukt heeft niet te lijden van het gebruik van extra koper. Weliswaar stijgt het kopergehalte van de lever, maar het niveau dat wordt bereikt, wordt voor de levers van runderen en schapen als normaal beschouwd. Vanuit humaan-toxicologisch oogpunt bestaan er geen bezwaren tegen het gebruik van extra koper. De mens beschikt namelijk over een uiterst efficiënt mechanisme om koper dat wordt opgenomen boven de behoefte, uit het lichaam te verwijderen.

Hoewel het gebruik van koper als groeibevorderende stof economisch bezien dus voordelig is en vanuit het oogpunt van de volksgezondheid niet bezwaarlijk, is het toch omstreden. De reden daarvoor is dat koper dat met het voer door de dieren wordt opgenomen, grotendeels wordt uitgescheiden in de mest en via de mest uiteindelijk in de bodem terecht komt. Daar hoopt het zich op en kan het op den duur leiden tot ongewenste gevolgen.

Het aantal mestvarkens in de provincie Gelderland is in de afgelopen decennia sterk toegenomen, van ca. 280.000 in de jaren 1957-1959 tot bijna 1.400.000 in de jaren 1980-1982. Als gevolg van een voortdurende afname van de oppervlakte cultuurgrond is het aantal mestvarkens dat per km² cultuurgrond wordt gehouden, in dezelfde periode zelfs verzesvoudigd van 90 in de jaren 1957-1959 tot 543 in de jaren 1980-1982.

De totale hoeveelheid koper die in de loop der jaren beschikbaar is gekomen in de vorm van varkensmest bedraagt ca. 2.800 ton. Wanneer deze hoeveelheid gelijkmatig zou zijn verdeeld over alle cultuurgrond in de provincie, dan zou dat hebben geleid tot een gemiddelde aanvoer van ca. 10 kg Cu per ha. De werkelijke belasting van de cultuurgrond zal echter een grote variatie vertonen. Zo kan op percelen die gedurende 25 jaar elk jaar zijn bemest met 40 ton varkensdrijfmest per ha, de totale koperbelasting al ruim 80 kg Cu per ha bedragen. Plaatselijk kunnen nog aanzienlijk grotere mestdoseringen zijn toegepast, wat in de hand is gewerkt door het ontstaan van mestoverschotten in gebieden met een sterke concentratie van intensieve veehouderijbedrijven en door de opkomst van de teelt van snijmais, een gewas dat qua opbrengst positief reageert op hoge drijfmestgiften.

Er is dus alle reden toe om de kopertoestand van de cultuurgrond in Gelderland na 25 jaar van toediening van extra koper aan varkensvoerders aan een onderzoek te onderwerpen. Dit hoofdstuk bevat de resultaten van een dergelijk onderzoek, dat tot doel had een overzicht te verschaffen van de kopergehalten van de cultuurgrond in Gelderland en deze gehalten te beoordelen aan de hand van een aantal relevant geachte criteria.

3.2 Opzet van het onderzoek.

Om een beeld te krijgen van de kopertoestand van de cultuurgrond in de provincie Gelderland is een steekproef genomen uit de grondmonsters die gedurende één seizoen (1 oktober 1981 tot en met 31 maart 1982) zijn ingestuurd naar het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek. Elk tiende monster uit de provincie werd door het Bedrijfslaboratorium onderzocht op zijn gehalte aan koper extraheerbaar met verdund salpeterzuur, ongeacht of daar door de inzender om was gevraagd of niet. De resultaten van de koperbepaling werden tesamen met gegevens over de grondsoort, het grondgebruik, de bemonsteringsdiepte, de zuurgraad, het humusgehalte en voor klei- löss- en veengronden ook het slibgehalte onder code doorgegeven, zulks ter bescherming van de privacy van de inzenders. Met behulp van de code kon de gemeente van herkomst worden vastgesteld. Op deze wijze werden gegevens verkregen van in totaal 935 monsters, wat correspondeert met 1 monster per 271 ha cultuurgrond.

Omdat verwacht werd, dat in een dergelijke steekproef geen percelen vertegenwoordigd zouden zijn, waarvan het produktievermogen doelbewust ondergeschikt is gemaakt aan de mestverwerking, werden daarnaast door de Dienst Milieuhygiëne van de provincie 25 percelen bemonsterd, waarvan werd vermoed dat daar grote hoeveelheden mest waren opgebracht, waarbij wel dient te worden bedacht, dat het niet uitsluitend de koperrijke mest van slachtvarkens betrof.

3.3 Herkomst van de monsters in de steekproef.

De representativiteit van de steekproef werd gecontroleerd door na te gaan of het aantal monsters uit elk van de landbouwgebieden waarin de provincie is ingedeeld door het Centraal Bureau voor de Statistiek, in overeenstemming was met de oppervlakten bouwland en grasland in die landbouwgebieden. Gemiddeld bleek de steekproef te bestaan uit 1 monster per 239 ha bouwland (de som van de oppervlakten akkerbouwgewassen, tuinbouwgewassen in de open grond en braakland) en 1 monster per 281 ha grasland. In de rivierkleigebieden (IJsselstreek, Lijmers, Betuwe, Bommelerwaard en Land van Maas en Waal) bleek de bemonsteringsdichtheid aanmerkelijk lager te zijn dan in de zandgebieden (Veluwe, Veluwezoom, Achterhoek, Oude IJsselgebied en Rijk van Nijmegen). Voor bouwland bedroeg de vertegenwoordiging in de steekproef respectievelijk 1 monster per 368 en 191 ha, voor grasland respectievelijk 1 monster per 476 en 223 ha. De Betuwe, de Bommelerwaard en het Oude IJsselgebied bleken het zwakst vertegenwoordigd te zijn, de Achterhoek en het Rijk van Nijmegen het sterkst.

Tevens werd nagegaan of de mestvarkensbezetting van invloed was op de vertegenwoordiging in de steekproef. De gemeenten werden daartoe ingedeeld in vier klassen met respectievelijk minder dan 4, 4-8, 8-12 en meer dan 12 mestvarkens per ha cultuurgrond (Tabel 3.1). Hoewel de gemeenten met minder dan 4 mestvarkens per ha tezamen 44% van de cultuurgrond in de provincie vormen, bedroeg hun aandeel in de steekproef slechts 30%. Relatief sterk vertegenwoordigd waren de gemeenten met 4-8 en 8-12 mestvarkens per ha. De gemeenten met de hoogste mestvarkensbezetting bleken alleen in de categorie graslandmonsters enigszins ondervertegenwoordigd te zijn.

Tabel 3.1 Indeling van de gemeenten in Gelderland naar mestvarkensdichtheid en naar overwegende grondsoort

Aantal mestvarkens per hectare cultuurgrond (mei 1982)				
0-4	4-8	8-12	12-17	
RIVIERKLEI-GEBIED				
Ammerzoden	Duiven	Millingen a/d Rijn	Bemmel	Didam
Angerlo	Echteld	Neerijnen	Horsens	Gendt
Appeltern	Elst	Pannerden	Huissen	Wchl
Batenburg	Gelderwalsen	Rossum	Hummelo & Keppel	
Bergharen	Hedel	Tiel	Steenderen	
Beuningen	Heerewaarden	Ubbergen		
Brakel	Herwen & Aerd	Valburg		
Brummen	Herwijnen	Voorst		
Buren	Heteren	Vuren		
Culemborg	Kerkwijk	Wamel		
Dodewaard	Kesteren	Westervoort		
Doesburg	Lienden	Zaltbommel		
Dreumel	Maasdriel	Zevenaar		
Druten	Maurik			
ZANDGEBIED				
Arnhem		Aalten	Winterswijk	Barneveld
Elburg		Apeldoorn	Wisch	Dinxperlo
Epe		Bergh	Wychen	Ede
Groesbeek		Borculo	Zelhem	
Hattem		Doetinchem		
Heerde		Gendringen	Hoewelaken	
Heumen		Gorsseel	Lichtenvoorde	
Nijmegen		Harderwijk	Neede	
Oldebroek		Lochem	Putten	
Renkum		Nunspeet	Scherpenzeel	
Rheden		Nijkerk		
Rozendaal		Ruurlo		
Wageningen		Vorden		
Zutphen		Warmsveld		

3.4. Invloed van grondsoort en bemonsteringsdiepte op het kopergehalte.

Overeenkomstig de verwachting bleek de steekproef voornamelijk te bestaan uit monsters van zand- en rivierkleigrond. Van de 935 monsters waren er slechts 27 die niet als zodanig waren geklasseerd: 12 zeekleimonsters (afkomstig uit het kustgebied van de voormalig Zuiderzee), 11 lössmonsters (afkomstig uit het lössgebied bij Ubbergen en Groesbeek), 3 veenmonsters en 1 monster van een niet gespecificeerde grondsoort.

Bij de vergelijking van de kopergehalten van de verschillende grondsoorten moet rekening worden gehouden met de variatie in bemonsteringsdiepte. Bouwland wordt bemonsterd over de bewerkingdiepte (20 tot 30 cm), terwijl van grasland gewoonlijk slechts de zodelaag van 5 cm dikte wordt bemonsterd. Alleen wanneer men voornemens is het grasland te scheuren om het opnieuw met gras in te zaaien, dan wel het als bouwland te gaan gebruiken, wordt dieper bemonsterd (10 tot 20 cm). Om de invloed van deze storende factor te beperken werden de monsters naar bemonsteringsdiepte ingedeeld in twee categorieën: 0-5 cm en 0-10/30 cm.

De waarnemingen in een bepaalde categorie (grondsoort/bemonsteringsdiepte) worden gekenmerkt door een gemiddelde waarde en een spreiding om het gemiddelde, die tot uitdrukking komt in de standaardafwijking. Omdat de kopergehalten niet normaal verdeeld bleken te zijn - er is sprake van een uitloop naar hoge waarden - is op de waarnemingen een log-transformatie toegepast, waardoor de verdeling een symmetrische vorm aanneemt (Figuur 3.2). Het centrum van de door de log-transformatie genormaliseerde verdeling is het geometrische gemiddelde. De spreiding ervan wordt gekarakteriseerd door een standaardafwijking, die terugvertaald naar de oorspronkelijke eenheid overeenkomt met een factor. In de oorspronkelijke eenheid wordt de spreiding gekarakteriseerd door een traject waarvan de ondergrens wordt bepaald door het geometrische gemiddelde gedeeld door de factor en de bovengrens door het gemiddelde vermenigvuldigd met deze factor.

In tabel 3.2 wordt voor de onderscheiden categorieën monsters het gemiddelde en de standaardafwijking van de getransformeerde waarnemingen gegeven met daarnaast gerecentreerd in de oorspronkelijke eenheid het gemiddelde en het traject dat overeenkomt met het gemiddelde \pm de standaardafwijking. Deze tabel bevat de informatie die het mogelijk maakt te beoordelen of een gemeten kopergehalte naar de huidige toestand normaal of afwijkend van normaal is.

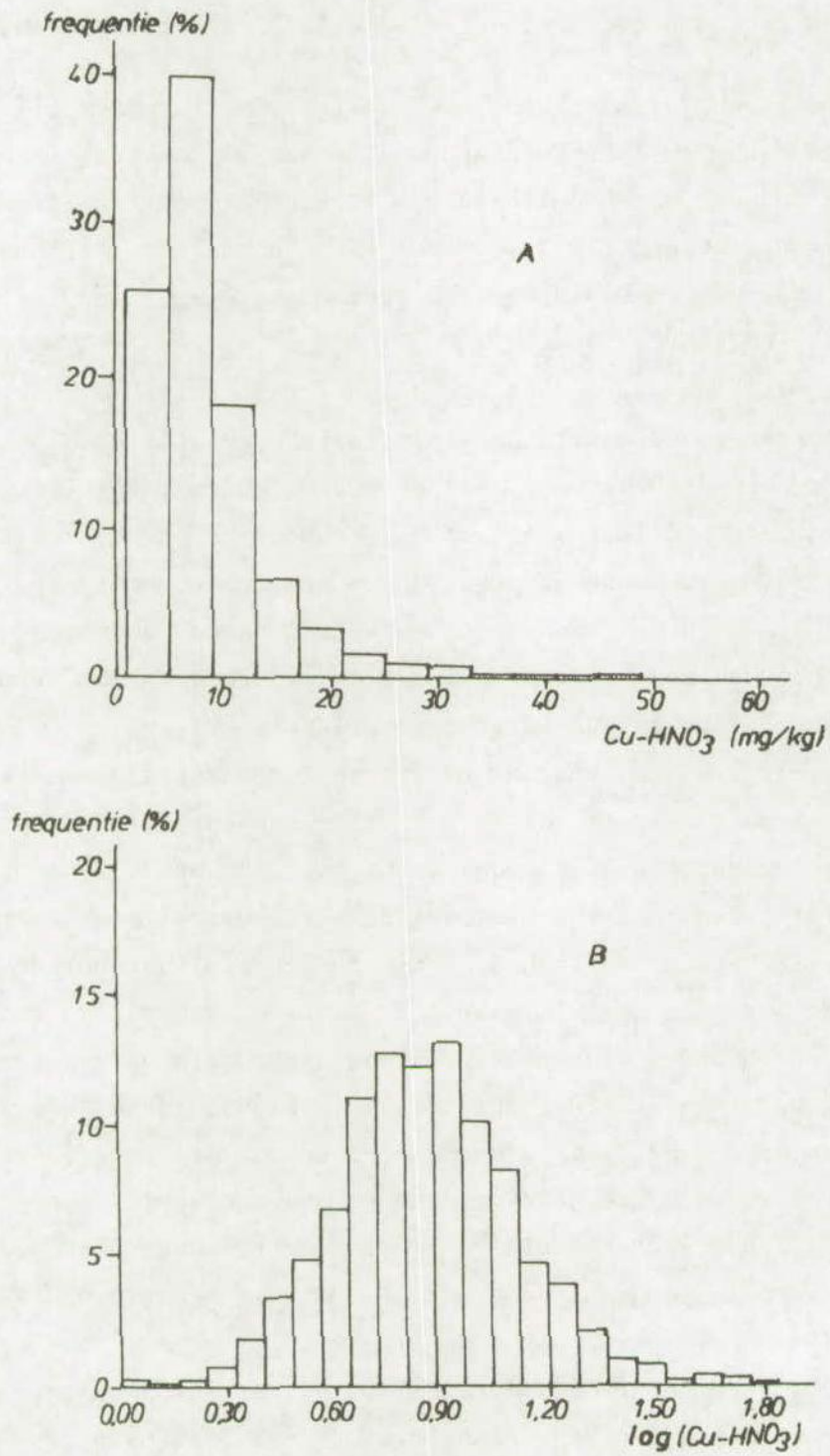


Fig. 3.2 Frekwentieverdeling van de kopergehalten in de steekproef in de oorspronkelijke eenheid (A) en na logaritmische transformatie (B).

Tabel 3.2 Overzicht van de kopergehalten van grondmonsters uit de steekproef onderscheiden naar grondsoort en bemonsteringsdiepte.

categorie	aantal monsters	$\overline{\log x}$ (1)	s(2)	$10^{\overline{\log x}}$ (3)	$10^{\overline{\log x} - s} - 10^{\overline{\log x} + s}$ (4)
rivierklei					
0-5	164	1,0230	0,2314	10,5	6,2-18,0
0-10/30	78	0,9424	0,2115	8,7	5,4-14,3
zand					
0-5	428	0,8305	0,2497	6,8	3,8-12,0
0-10/30	238	0,7520	0,1857	5,6	3,7- 8,7
zeeklei					
0-5	11	0,9469	0,1557	8,8	6,2-12,7
löss					
0-5	6	0,8830	0,1766	7,6	5,1-11,5
0-20	5	0,9491	0,1781	8,9	5,9-13,4
veen					
0-5	3	1,3668	0,2526	23,3	13,0-41,6

- (1) gemiddelde waarde van het getransformeerde kopergehalte
- (2) standaardafwijking van het getransformeerde kopergehalte
- (3) geometrisch gemiddelde van het kopergehalte in de oorspronkelijke eenheid (mg Cu per kg)
- (4) traject dat overeenkomt met gemiddelde waarde \pm standaardafwijking gere-transformeerd naar de oorspronkelijke eenheid (mg Cu per kg)

Bij een bemonsteringsdiepte van 5 cm neemt het kopergehalte toe in de richting zand < löss < zeeklei < rivierklei < veen. Bij een bemonsteringsdiepte van 10/30 cm wordt in zandgrond minder koper gevonden dan in rivierklei en löss. Door het geringe aantal waarnemingen is de schatting van het gemiddelde en de standaardafwijking van het kopergehalte van zeeklei, löss en veen niet erg

nauwkeurig.

Bij de nadere bespreking van de resultaten zullen deze grondsoorten dan ook buiten beschouwing worden gelaten.

Zowel bij rivierklei als bij zand is het kopergehalte van de monsters uit de laag 0-5 cm gemiddeld 1,2 x zo hoog als dat van de monsters uit de laag 0-10/30 cm. Ongeacht de bemonsteringsdiepte blijkt het kopergehalte van rivierklei gemiddeld 1,5-1,6 x zo hoog te zijn als dat van zandgrond. Dit verschil heeft een natuurlijke oorzaak.

Binnen de categorieën rivierkleimonsters is een samenhang aanwijsbaar tussen het slibgehalte en het kopergehalte. Per procent slib neemt het kopergehalte toe met ca. 0,1 mg per kg.

Naar het type valt de rivierklei in Gelderland in te delen in oude en jonge rivierklei. De oude rivierklei (afgezet in het laat-Pleistoceen) komt voor in het Rijk van Nijmegen langs de Maas en in Oost-Gelderland in het stroomgebied van de Oude IJssel. De elders in de provincie voorkomende rivierklei is jong (afgezet in het Holoceen). De monsternemers van het Bedrijfslaboratorium maken geen onderscheid tussen beide typen. Door de samenstelling van monsters uit gemeenten met overwegend oude rivierklei te vergelijken met die van monsters uit gemeenten met overwegend jonge rivierklei kan toch worden nagegaan in hoeverre de twee kleisoorten verschillen. Hierbij bleek dat de oude rivierklei gemiddeld minder koper, slib en organische stof bevat en dat ook de pH gemiddeld lager is dan in de jonge rivierklei.

3.5 Invloed van de mestvarkensbezetting in de gemeente van herkomst op het kopergehalte.

Aangezien er een direkt verband bestaat tussen het aantal mestvarkens in een gemeente en de hoeveelheid koperhoudende varkensmest die er wordt geproduceerd, is nagegaan of de mestvarkensbezetting (het aantal dieren per ha cultuurgrond) van invloed is op het gemiddeld kopergehalte van de cultuurgrond. Dit werd gedaan voor elk van de volgende deelgroepen uit de steekproef: zandgrond (0-5), zandgrond (0-10/30), rivierklei (0-5) en rivierklei (0-10/30). De resultaten worden vermeld in tabel 3.3.

In beide rivierklei-categorieën bleken de twee hoogste klassen te weinig waarnemingen te bevatten om een betrouwbaar gemiddelde voor het kopergehalte te berekenen.

Tabel 3.3 Invloed van de varkensdichtheid in de gemeente van herkomst op het kopergehalte (mg per kg).

categorie	varkensdichtheid (aantal mestvarkens per ha cultuurgrond)			
	0-4	4-8	8-12	12-17
<u>zandgrond (0-5 cm)</u>				
gem. kopergehalte ¹⁾	5,9	6,6	6,7	9,5
schattingsinterval ²⁾	4,9-7,1	6,2-7,0	5,9-7,5	7,6-11,9
aantal monsters	49	250	86	43
<u>zandgrond (0-10/30 cm)</u>				
gem. kopergehalte	5,4	5,4	5,5	8,2
schattingsinterval	4,6-6,4	5,1-5,7	4,8-6,2	6,5-10,3
aantal monsters	31	133	53	21
<u>rivierklei (0-5 cm)</u>				
gem. kopergehalte	11,0	8,7	--	26,0
schattingsinterval	10,0-12,2	7,3-10,4	--	--
aantal monsters	129	34	0	1
<u>rivierklei (0-10/30 cm)</u>				
gem. kopergehalte	9,7	6,8	--	10,3
schattingsinterval	8,5-11,1	5,4-8,6	--	7,5-14,0
aantal monsters	51	23	0	4

1) geometrisch gemiddelde

2) schattingsinterval bij een betrouwbaarheid van 95%

Het kopergehalte van de zandgrondmonsters uit gemeenten met 12 of meer mestvarkens per ha is duidelijk hoger dan dat van de monsters uit gemeenten met een lagere mestvarkensbezetting. Opmerkelijk is dat de rivierkleimonsters uit gemeenten met weinig mestvarkens de tendens vertonen meer koper te bevatten dan die uit gemeenten met 4-8 varkens per ha. De vermoedelijke verklaring hiervoor is dat het overgrote deel van de monsters in de categorie 4-8 varkens per ha afkomstig is uit gemeenten met veel oude rivierklei, terwijl in de categorie 0-4 varkens per ha het overgrote deel van de monsters afkomstig is uit gemeenten met jonge rivierklei. Zoals hierboven al werd besproken is het kopergehalte van jonge rivierklei hoger dan dat van de oude rivierklei.

3.6 Het kopergehalte van de door de Dienst Milieuhygiëne genomen monsters.

Alle door de Dienst Milieuhygiëne genomen monsters waren afkomstig uit de laag 0-20 cm van zandgrond. De kopergehalten vertoonden een grote variatie. De laagste waarde bedroeg 1,4, de hoogste 29,8 mg per kg. In vergelijking met de overeenkomstige monsters uit de steekproef (zandgrond 0-10/30 cm) was het gemiddelde kopergehalte bijna een factor twee hoger (10,2 tegen 5,6 mg per kg).

Uit de waarnemingen aan de steekproefmonsters kan worden afgeleid welke kopergehalten momenteel als normaal gelden en welke daarvan afwijken. Als normaal wordt beschouwd een gehalte dat ligt binnen het traject dat overeenkomt met het geometrische gemiddelde plus of min éénmaal de standaardafwijking. Als het gehalte lager is dan het gemiddelde min éénmaal de standaardafwijking, maar hoger dan het gemiddelde min tweemaal de standaardafwijking, wordt het als vrij laag beoordeeld. Is het gehalte lager dan het gemiddelde min tweemaal de standaardafwijking, dan wordt het als zeer laag beoordeeld. De categorieën vrij hoog en zeer hoog zijn op analoge wijze gedefiniëerd. De indeling voor zandgrond (0-10/30) die aldus tot stand is gekomen, wordt weergegeven in tabel 3.4. Tevens wordt daarin de verdeling over de klassen vermeld van de door de Dienst Milieuhygiëne genomen monsters.

Terwijl van de steekproef slechts 8 van de 238 monsters (3,4%) in de klasse zeer hoog viel, moesten 12 van de 25 monsters die door de Dienst Milieuhygiëne waren genomen als zeer hoog worden aangemerkt (48%).

Tabel 3.4 Beoordeling van het kopergehalte op basis van de steekproef van zandgrond (0-10/30) en verdeling van de door de Dienst Milieuhygiëne genomen monsters over de beoordelingsklassen.

klasse	Cu-HNO ₃ (mg per kg)	aantal monsters	percentage
zeer laag	< 2,4	2	8
vrij laag	2,4-3,6	1	4
normaal	3,7-8,7	4	16
vrij hoog	8,8-13,3	6	24
zeer hoog	> 13,3	<u>12</u>	<u>48</u>
	Totaal	25	100

3.7 Criteria voor de beoordeling van de kopertoestand.

Momenteel zijn er nog geen normen voor het kopergehalte van grond. Wel zijn er een aantal criteria die bij de beoordeling van kopergehalten worden gehanteerd of daarvoor in aanmerking zouden kunnen komen. Deze worden hier in het kort besproken.

1. De kopervoorziening van cultuurgewassen en vee.

Omdat koper een essentiële element is in de voeding van planten en dieren, moet landbouwgrond voldoende koper bevatten voor een ongestoorde groei van cultuurgewassen en vee. De adviesbasis voor de bemesting van landbouwgronden geeft voor bouwland aan dat het kopergehalte minimaal 4 mg per kg (extraheerbaar met verdund salpeterzuur) dient te bedragen. Bij een lager gehalte wordt een bemesting met koperhoudende meststoffen geadviseerd. De grenswaarde is gebaseerd op de resultaten van onderzoek met granen (tarwe, haver), die bij een te lage kopertoestand van de grond symptomen van de zogenaamde ontginningsziekte vertonen. Er wordt aangenomen dat ook de kopervoorziening van andere gewassen gewaarborgd is, als het kopergehalte van de grond minimaal 4 mg per kg bedraagt.

Voor grasland is een grenswaarde van 5 mg per kg aangegeven. Bij lagere gehalten kan het gras te weinig koper bevatten om in de behoefte van het vee te voorzien. Indien de gehalten in de grond hoger zijn wordt geen bemesting met koper geadviseerd, omdat het effect daarvan op het kopergehalte van het gras te verwaarlozen is.

Verhoging van het kopergehalte van de grond tot aan de genoemde grenswaarden moet worden beschouwd als een doelmatige beïnvloeding van de samenstelling van de grond om zijn geschiktheid voor landbouwkundig gebruik te vergroten. Voor een verdere verhoging is daarentegen landbouwkundig bezien geen noodzaak aanwezig.

Welk kopergehalte als maximaal toelaatbaar is te beschouwen staat momenteel nog ter discussie. Uit landbouwkundig oogpunt dient in ieder geval te worden voorkomen dat het kopergehalte zo hoog wordt, dat de opbrengst en de kwaliteit van de gewassen en de gezondheid van het vee er negatief door worden beïnvloed. In de ontwerpwet Bodembescherming wordt het algemeen ecologisch functioneren van de bodem centraal gesteld. De bodem speelt in dit verband een essentiële rol bij de kringloop van voedingselementen, een rol die is gebaseerd op de afbraak (mineralisatie) van organische residuen. Voor het verloop van de afbraakprocessen zijn de activiteiten van bodemfauna en bodemmicroflora van groot belang. Omdat ook de landbouw gebaat is bij de instandhouding van deze functie van de bodem, bestaat er ons inziens in dit opzicht geen wezenlijke tegenstelling tussen het belang van de landbouw en het uitgangspunt van de ontwerpwet Bodembescherming. In het onderstaande zal de beschikbare informatie worden samengevat die betrekking heeft op het optreden van schade door overmaat aan koper aan de gezondheid van landbouwhuisdieren, de opbrengst van cultuurgewassen, het functioneren van regenwormen en activiteiten van de bodemmicroflora.

2. Landbouwhuisdieren.

Van alle landbouwhuisdieren zijn schapen veruit het gevoeligst voor koper. Terwijl varkens voer met een kopergehalte van 200 tot 250 mg per kg zonder bezwaren verdragen, houdt krachtvoer met een kopergehalte van 20 mg per kg al een risico in voor chronische vergiftiging van schapen (Hartmans, 1975a). Het bemesten van schapeweiden met de mest van slachtvarkens of met rioolslib wordt dan ook ten stelligste ontraden door de landbouwvoorlichtingsdienst. Niettemin rijst in dit verband de vraag of het acceptabel zou zijn dat cultuurgrond, ook al wordt

die momenteel niet als schapeweide gebruikt, voorgoed onbruikbaar zou worden voor de schapenteelt. Het is niet aan ons deze vraag te beantwoorden. Wel moet hier aan de orde worden gesteld bij welk kopergehalte de grond als ongeschikt voor schapeteelt is te beschouwen.

In Nederland is door Hartmans (1975b) als voorlopige richtlijn aangegeven, dat het houden van schapen op percelen met een kopergehalte hoger dan 15 tot 20 mg per kg (extraheerbaar met verdund salpeterzuur) niet zonder risico moet worden geacht. Deze grenswaarde is gebaseerd op waarnemingen op bedrijven waar zich kopervergiftiging had voorgedaan. Het is echter niet duidelijk of de geconstateerde sterfte uitsluitend te wijten was aan het kopergehalte van de grond, of dat er wellicht ook sprake was van met varkensmest besmeurd gras dan wel van krachtvoer met een hoog kopergehalte waardoor de dieren te veel koper hadden opgenomen. Het verstrekken van krachtvoer met een te hoog kopergehalte is in Nederland een belangrijke oorzaak van kopervergiftiging. In dit verband is ook van belang dat de sterfte van schapen voornamelijk optreedt in de winter als de dieren worden bijgevoerd en in de periode dat de lammeren worden geboren en aan de ooien aanvullend krachtvoer wordt verstrekt. Uit Brits en Iers onderzoek is gebleken dat het grootste gevaar voor de gezondheid van de dieren is gelegen in de opname van gras dat is besmeurd met varkensmest (Bremner, 1981; Poole, 1981); het gras neemt zelf maar weinig koper op uit de grond, ook als deze een hoog kopergehalte heeft. Daarnaast zijn problemen geconstateerd nadat bij het inzamelen van hooi droge mestresten vanaf het bodemoppervlak werden meegenomen door de oogstmachine (Dalgarno en Mills, 1975).

Een andere complicerende factor is dat de door Hartmans (1975b) aangegeven grenswaarde betrekking heeft op het kopergehalte van de zodelaag (0-5 cm), zonder dat de verdeling van het koper in de zodelaag nader is bestudeerd. Bemesting van grasland met drijfmest kan resulteren in de vorming van een dunne laag op het bodemoppervlak die een hoog organische stofgehalte heeft en ca. 200 mg Cu per kg kan bevatten (McGrath, 1981). Het grootste deel van de grond die de dieren bij het grazen opnemen, is afkomstig uit de bovenste millimeters. Het is dus heel wel mogelijk dat bij een kopergehalte van de zodelaag van 15 tot 20 mg per kg de dieren feitelijk zijn blootgesteld aan een tien maal zo hoog gehalte. Wanneer zich geen koperrijke laag op het bodemoppervlak zou bevinden, zou het kopergehalte van de zodelaag waarbij schapenteelt mogelijk is, aanmerkelijk hoger kunnen zijn dan 15 tot 20 mg per kg. In de praktijk is zo'n situatie eenvoudig te realiseren door het grasland te scheuren en opnieuw in te zaaien alvorens het als schapeweide in gebruik te nemen.

De conclusie die uit het voorafgaande kan worden getrokken is dat kopervergiftiging van schapen kan optreden bij een kopergehalte van de grond hoger dan 15 tot 20 mg per kg, maar dat dat niet hoeft te betekenen dat grond met een dergelijk kopergehalte permanent ongeschikt is geworden voor de schapenteelt. Bij welk gehalte dat wel het geval zal zijn is niet duidelijk. Unwin (1981) komt op basis van resultaten van Brits onderzoek tot de conclusie dat de opname van koper door schapen via gras en via directe consumptie van grond ook bij een kopergehalte van de grond van 50 mg per kg geen problemen zal veroorzaken, mits de directe opname van varkensmest wordt voorkomen. Of deze waarde ook voor Nederlandse omstandigheden acceptabel is, moet nog worden vastgesteld.

3. Cultuurgewassen.

Remming van de groei en opbrengst van cultuurgewassen is het meest uitgebreid bestudeerde gevolg van een te hoog kopergehalte van de grond. Het kopergehalte waarbij deze ongewenste effecten zichtbaar worden is van grond tot grond verschillend. Terwijl bij sommige grondsoorten al sprake is van opbrengstderving bij een kopergehalte van 50 mg per kg of lager, heeft toevoeging van 2000 mg koper per kg bij andere grondsoorten nog geen effect op de opbrengst. Het kopergehalte van de grond is dus niet zonder meer bruikbaar om het optreden van toxische effecten op planten te voorspellen. De oorzaak daarvan is dat het koper door de grond wordt vastgelegd in een vorm die niet giftig is voor planten, waarbij de mate waarin dat gebeurt afhankelijk is van de samenstelling van de grond. Zoals is uiteengezet door Lexmond (1981) en Lexmond e.a. (1982) zijn het organische koolstofgehalte en de zuurgraad van de grond de belangrijkste factoren die bepalen hoeveel koper kan worden vastgelegd in een voor planten onschadelijke vorm.

De kopertoestand is daardoor beter te beoordelen wanneer wordt uitgegaan van de verhouding waarin koper en organische koolstof voorkomen en bovendien rekening wordt gehouden met de zuurgraad (pH) van de grond.

Bij een pH-CaCl₂ van 4 (een voor landbouwgrond extreem lage waarde) doen zich bij maisplanten de eerste toxische verschijnselen voor als de Cu/C verhouding ca. 3 mg Cu per g C bedraagt. In het voor zandgrond wenselijk geachte traject van de pH-CaCl₂ (5-6) begint schade op te treden bij Cu/C-verhoudingen van 5 tot 8. Bij een Cu/C verhouding van 2 tot 3 is schade als gevolg van koperovermaat uiterst onwaarschijnlijk in het gehele pH-traject dat voor de landbouw

van belang is. Bij de gemiddelde koolstofgehalten zoals die in rivierklei (0-10/30)- en zandgrond (0-10/30)-monsters in de steekproef werden aangetroffen komt deze Cu/C-verhouding overeen met een kopergehalte van 40-60 mg per kg (rivierklei) en 50-70 mg per kg (zandgrond).

4. Regenwormen.

Grote aantallen regenwormen komen voor in grasland en in boomgaarden, waar ze een belangrijke bijdrage leveren aan de vertering van strooisel en mest en aan de instandhouding van een goede bodemstructuur. Uit experimenten in de IJsselmeerpolders, waar regenwormen van nature ontbreken, is gebleken dat het uitzetten van regenwormen leidt tot een opbrengstverhoging van grasland van ca. 10% (Hoogerkamp e.a., 1983).

Door hun levenswijze hebben regenwormen een intensief contact met de grond en met eventueel daarin aanwezige verontreinigende stoffen. Daarom is onlangs onderzoek verricht naar de waarde van regenwormen als biologische graadmeter van het effect van bodemverontreiniging (Ma, 1983). Een belangrijk deel van dit onderzoek was gericht op de vaststelling van de gevolgen van verhoogde kopergehalten van grond op de activiteit, de voortplantingssnelheid en de samenstelling van regenwormen. Uit dat onderzoek is gebleken dat de voortplantingssnelheid de gevoeligste maat is voor het effect van koper. Bij kopergehalten hoger dan 30 tot 50 mg per kg (extraheerbaar met verdund salpeterzuur) neemt het aantal geproduceerde cocons af. Er zijn weliswaar aanwijzingen verkregen dat de grenswaarde van grond tot grond verschillend is en afhankelijk is van de zuurgraad, maar het aantal gegevens is momenteel nog niet toereikend om de invloed van deze en andere bodemfactoren nauwkeurig te omschrijven.

5. Bodemmicroflora.

Onder de bodemmicroflora worden de micro-organismen in de grond verstaan: bacteriën, actinomyceten, schimmels, gisten en protozoën. Deze organismen zijn onder meer betrokken bij de afbraak van organisch materiaal (planteresten, mest) tot anorganische, voor planten opneembare voedingsstoffen. De effecten van koper en andere zware metalen op de activiteiten van de bodemmicroflora en de aantallen organismen in de grond zijn onlangs bestudeerd in een vijftal Nederlandse

grondsoorten (Doelman en Haanstra, 1983). De onderzochte activiteiten en groepen micro-organismen vertoonden onderling grote variatie in hun gevoeligheid voor koper. Bovendien bleek de volgorde van gevoeligheid afhankelijk te zijn van de grondsoort. Er is momenteel onvoldoende inzicht in het mechanisme van de effecten van koper op de microflora in de bodem om voorspellingen te doen over de gevolgen van verhoging van het kopergehalte.

3.8 Beoordeling van de kopertoestand aan de hand van de geldende bemestingsadviezen.

Voor vier hoofdgroepen van monsters in de steekproef (zandbouwland, zandgrasland, rivierkleibouwland en rivierkleigrasland) is berekend voor welk deel koperbemesting wordt geadviseerd. Deze fractie betreft dus de monsters met een kopergehalte dat in de adviesbasis voor de bemesting van landbouwgronden als vrij laag of te laag wordt gewaardeerd. Het resultaat van de berekening is weergegeven in tabel 3.5.

Tabel 3.5 Het percentage monsters in de steekproef met een uit bodemvruchtbaarheidsoogpunt onvoldoende kopertoestand.

grondsoort grondgebruik bemonsteringsdiepte (cm)	zandgrond		rivierklei	
	grasland	bouwland	grasland	bouwland
	5	20-30	5	20-30
aantal monsters	428	169	164	65
% met onvoldoende koper ¹⁾	30	22	7	6

¹⁾ voor grasland < 5,0 mg per kg; voor bouwland < 4,0 mg per kg.

Hieruit blijkt dat vooral op zandgrond nog een aanzienlijk percentage van de monsters een onvoldoende kopertoestand heeft.

Vergelijking van dit resultaat met overzichten over voorgaande jaren is niet mogelijk, omdat die overzichten uitsluitend betrekking hebben op monsters die op verzoek van de inzenders zijn onderzocht op koper, terwijl de monsters in deze steekproef op koper zijn onderzocht ongeacht of daar door de inzender nu wel of niet om was gevraagd.

3.9 Beoordeling van de kopertoestand van grasland met betrekking tot de kans op toxische effecten op schapen en regenwormen.

In figuur 3.3 wordt een overzicht gegeven van de kopertoestand van de monsters van zandgrasland en rivierkleigrasland (0-5 cm). Het percentage van de monsters waarin de aangegeven grenswaarden worden overschreden is hieronder aangegeven.

	aantal	percentage monsters met kopergehalte hoger dan			
		15	20	30	50 mg/kg
zandgrasland (0-5 cm)	428	8,0	4,0	0,9	0,2
rivierkleigrasland (0-5 cm)	164	18,3	12,8	4,3	1,8

De door Hartmans (1975b) genoemde grenswaarde in verband met de gezondheid van schapen (15 tot 20 mg/kg) wordt regelmatig overschreden in de rivierkleimonsters en minder frequent in de zandgrondmonsters. De door Ma (1983) gevonden grenswaarde waarboven het voortplantingsvermogen van regenwormen negatief beïnvloed kan worden (30 tot 50 mg/kg) wordt slechts af en toe overschreden.

In hoeverre de geconstateerde overschrijdingen het gevolg zijn van de toepassing van koperhoudende varkensmest is niet zonder meer duidelijk. Voor de zandgrondmonsters is dat wel aannemelijk, maar de rivierkleimonsters zouden ook afkomstig kunnen zijn uit de uiterwaarden van de grote rivieren waar bij overstroming slib met een hoog gehalte aan zware metalen wordt afgezet.

Bij de beoordeling van de kopergehalten in de laag van 0-5 cm dient te worden bedacht dat in veel gevallen de grond direct onder de zodelaag een aanmerkelijk lager gehalte zal hebben. Een grondbewerking zoals die wordt uitgevoerd voor herinzaai kan in zo'n geval tot een flinke vermindering van het kopergehalte leiden door vermenging van de koperhoudende zodelaag met de relatief koperarme ondergrond. De geconstateerde overschrijding van de grenswaarden hoeft daardoor geen permanent karakter te hebben.

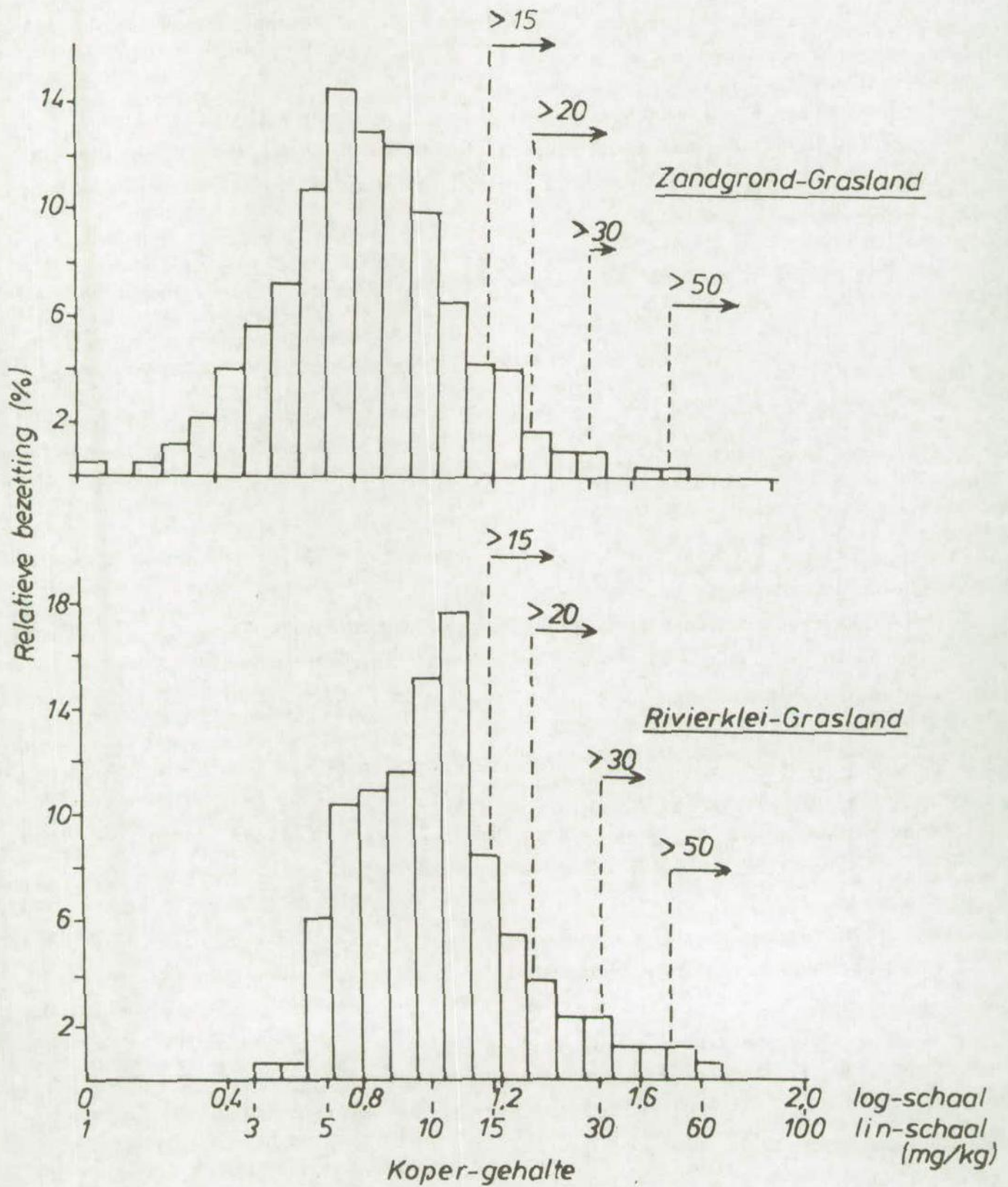


Fig. 3.3 Frekwentieverdeling van de kopergehalten van de graslandmonsters (0-5 cm) uit de steekproef, onderscheiden naar grondsoort.

3.10 Beoordeling van de kopertoestand van bouwland met betrekking tot de kans op opbrengstvermindering bij cultuurgewassen.

Om de kopertoestand van het bouwland te beoordelen werd voor elk monster de Cu/C-verhouding berekend. De door het Bedrijfslaboratorium opgegeven humusgehalten werden daartoe omgerekend naar gehalten aan organische koolstof met behulp van een experimenteel vastgestelde factor, die voor zandgrond en rivierklei verschillend bleek te zijn. De door het Bedrijfslaboratorium opgegeven waarden voor pH-KCl werden omgerekend naar pH-CaCl₂ via het experimenteel vastgestelde verband tussen beide grootheden, dat eveneens verschillend bleek te zijn voor zandgrond en rivierklei. Tabel 3.6 geeft een overzicht van de gemiddelde waarden en van het traject dat wordt gevormd door het gemiddelde ± de standaardafwijking van de gehalten aan koper en organische koolstof, van de Cu/C-verhouding en de pH.

Tabel 3.6 Overzicht van de koper- en organische koolstofgehalten, de Cu/C-verhouding en de pH-CaCl₂ in de over 10 tot 30 cm bemonsterde percelen in de steekproef, onderscheiden naar grondsoort.

		rivierklei 0-10/30 cm	zandgrond 0-10/30 cm
aantal monsters		78	238
Cu-HNO ₃ (mg/kg) ¹⁾	gem.	8,7	5,6
	gem.±st.afw.	5,4-14,3	3,7-8,7
Org. C (gew.%) ¹⁾	gem.	2,0	2,4
	gem.±st.afw.	1,2-3,2	1,7-3,5
Cu/C (g Cu per kg C) ¹⁾	gem.	0,45	0,23
	gem.±st.afw.	0,24-0,84	0,14-0,39
pH-CaCl ₂ ²⁾	gem.	6,2	5,1
	gem.±st.afw.	5,5-6,9	4,7-5,5

1) geometrisch gemiddelde

2) rekenkundig gemiddelde

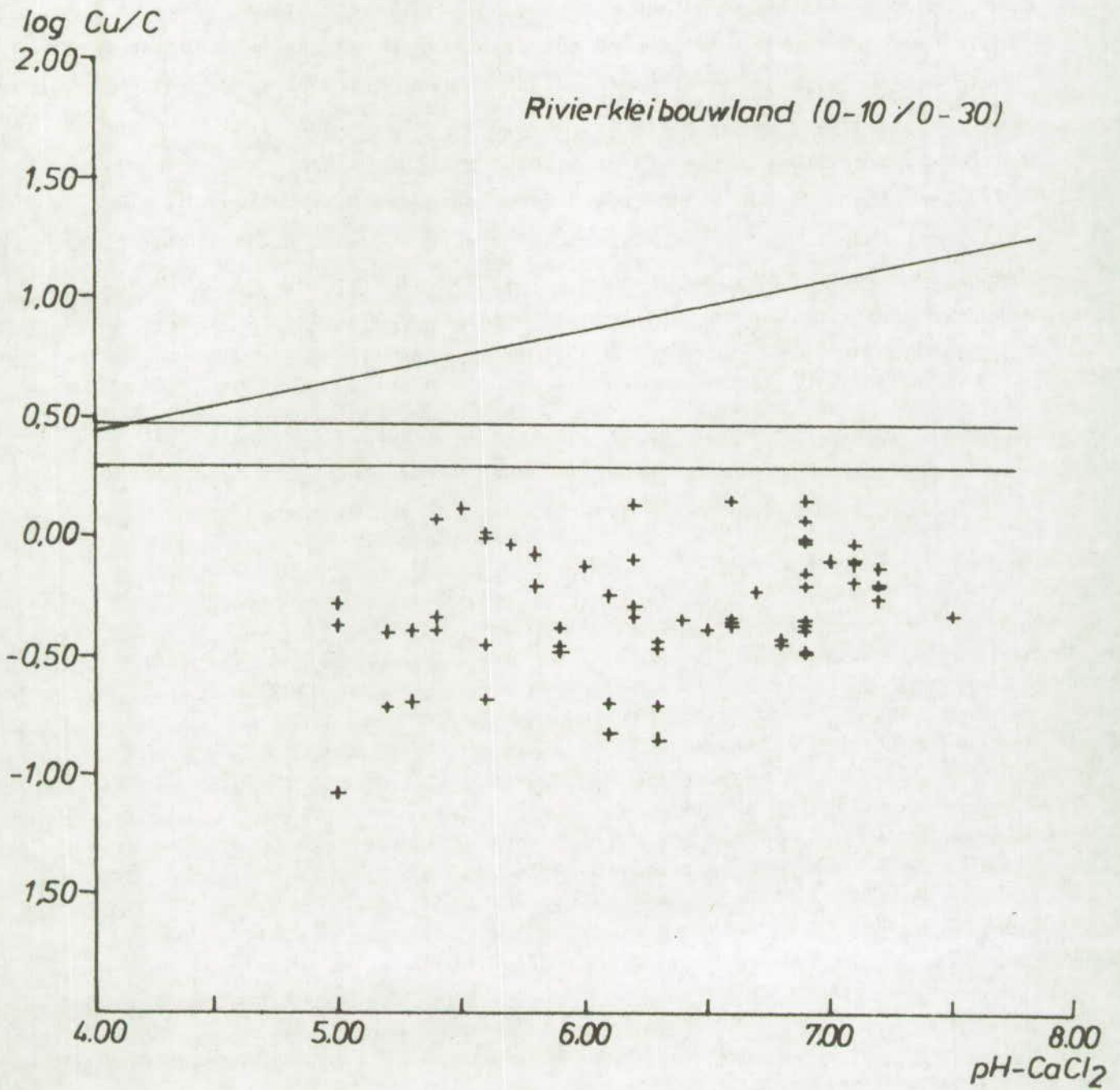


Fig. 3.4.A Combinaties van de Cu/C-verhouding en de $pH-CaCl_2$ aangetroffen in monsters van rivierkleibouland uit de steekproef.

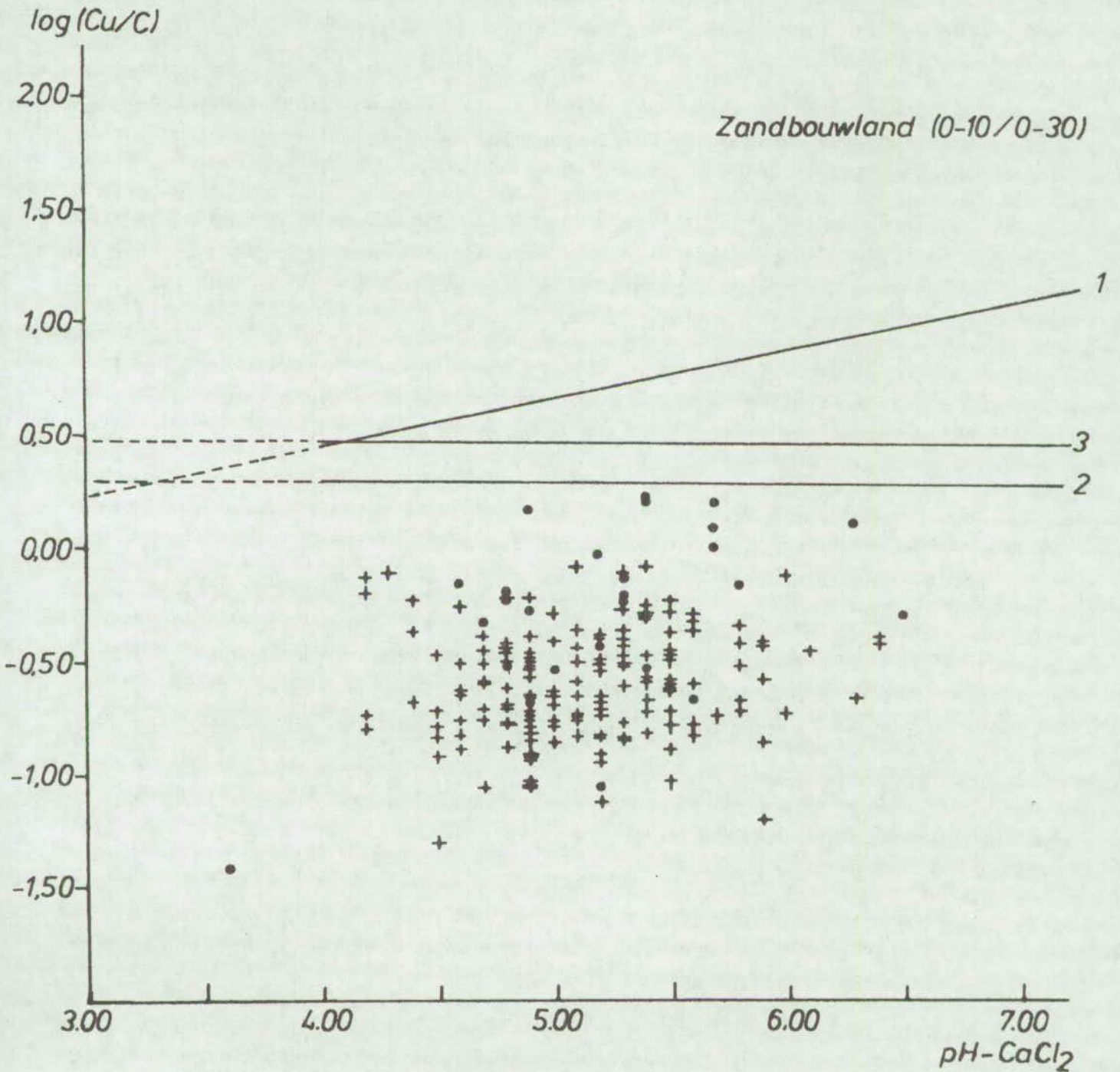


Fig. 3.4.B Combinaties van de Cu/C-verhouding en de $pH-CaCl_2$ aangetroffen in monsters van zandbouwland uit de steekproef (+) en in de door de Dienst Milieuhygiëne genomen monsters (.).

Als gevolg van de hogere kopergehalten en de lagere organische koolstofgehalten is de Cu/C-verhouding in de rivierkleimonsters gemiddeld duidelijk hoger dan in de zandgrondmonsters. De pH van de rivierkleimonsters is eveneens duidelijk hoger dan die van de zandgrondmonsters.

In figuur 3.4 zijn de waarnemingen die betrekking hebben op de bouwlandmonsters grafisch weergegeven. Tevens zijn de in paragraaf 3.7.3 genoemde Cu/C-grenswaarden aangegeven: de pH-afhankelijke Cu/C-verhouding waarbij toxische effecten op gewassen zichtbaar worden (lijn 1) en de met het oog op de plantegroei aanvaardbaar geachte Cu/C-verhouding van 2 (lijn 2) en 3 (lijn 3), die over het gehele pH-traject dat voor de landbouw van belang is, geen problemen zullen geven bij de gewasproductie. In het deel van de figuur dat betrekking heeft op het zandbouwland zijn tevens de waarnemingen aangegeven die betrekking hebben op de door de Dienst Milieuhygiëne verzamelde monsters van zandgronden.

Uit de grafieken blijkt dat in de steekproef van het zandbouwland geen Cu/C verhoudingen groter dan 1 zijn aangetroffen, maar dat de waarde 2 in een aantal door de Dienst Milieuhygiëne genomen monsters dicht wordt genaderd. In de steekproef van rivierkleibouwland wordt de waarde 2 evenmin bereikt of overschreden, maar in een aantal gevallen wel dicht genaderd.

Vergelijking van de gemeten Cu/C-verhoudingen met de waarden waarbij koper toxisch wordt voor planten, laat zien dat deze pH-afhankelijke lijn het dichtst wordt genaderd door monsters die door de Dienst Milieuhygiëne zijn genomen.

Om een nauwkeuriger inzicht te krijgen in de kopertoestand van het bouwland is berekend hoeveel koper er per hectare nog zou kunnen worden toegevoegd alvorens de aangegeven grenswaarde van de Cu/C-verhouding (de lijnen 1, 2 en 3 in figuur 3.4) worden overschreden. Hierbij zijn de volgende veronderstellingen gemaakt:

1. de onttrekking door het gewas en de uitspoeling van koper zijn te verwaarlozen ten opzichte van de aanvoer.
2. het organische koolstofgehalte en de pH van de gronden worden door de bemesting niet beïnvloed.
3. de fractie van het opgebrachte koper dat met verdund salpeterzuur wordt geëxtraheerd bedraagt 80%.
4. de dikte van de bouwvoor bedraagt 20 cm.
5. de dichtheid van de grond wordt bepaald door de grondsoort (zandgrond of rivierklei) en door het organische stofgehalte.

De resultaten van deze berekening zijn voor de drie groepen van monsters weergegeven in de vorm van histogrammen (figuur 3.5, 3.6 en 3.7).

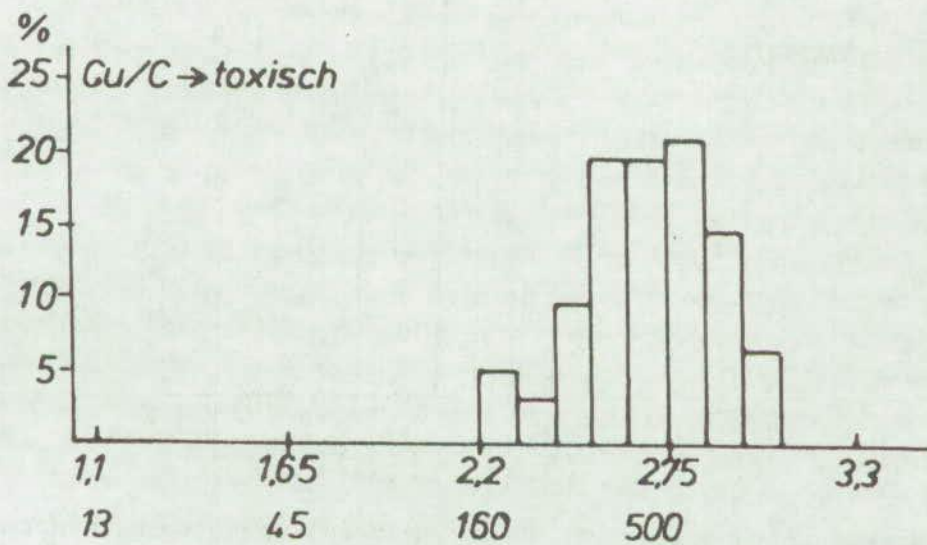
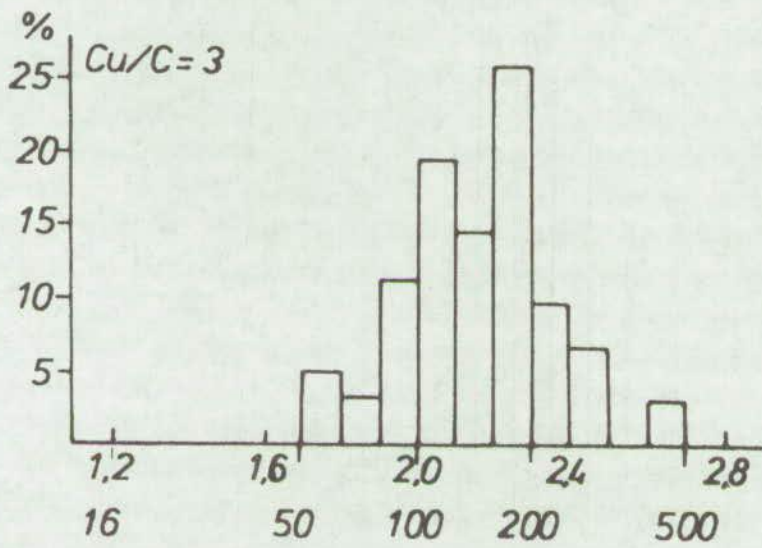
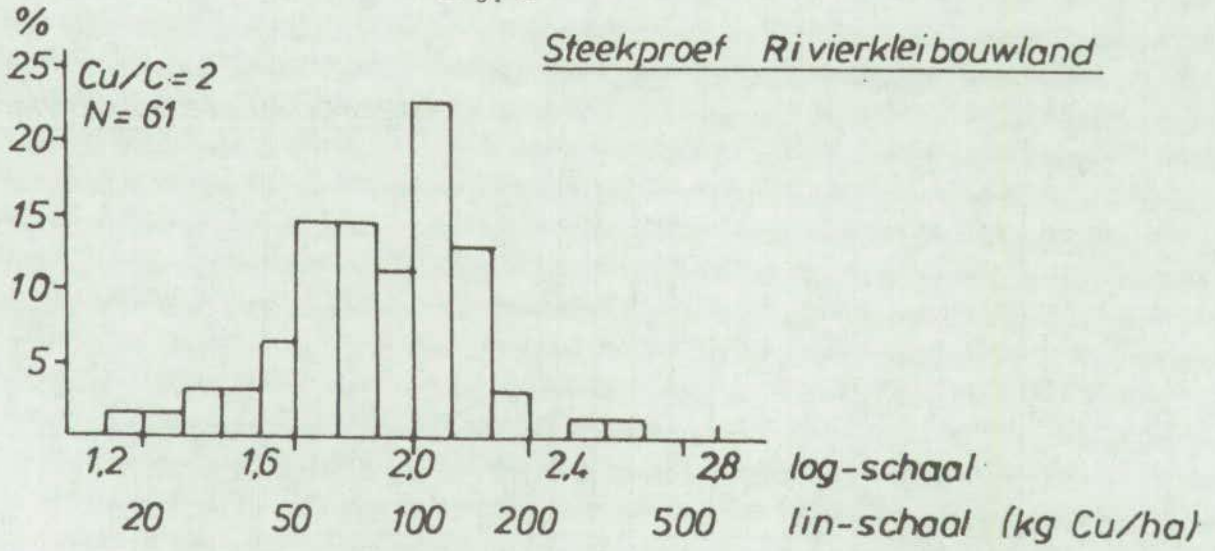


Fig. 3.5 Frekwentieverdeling van de hoeveelheid koper (kg/ha) waarmee de aangegeven grenswaarde van de Cu/C-verhouding wordt bereikt.

Steekproef Zandbouwland

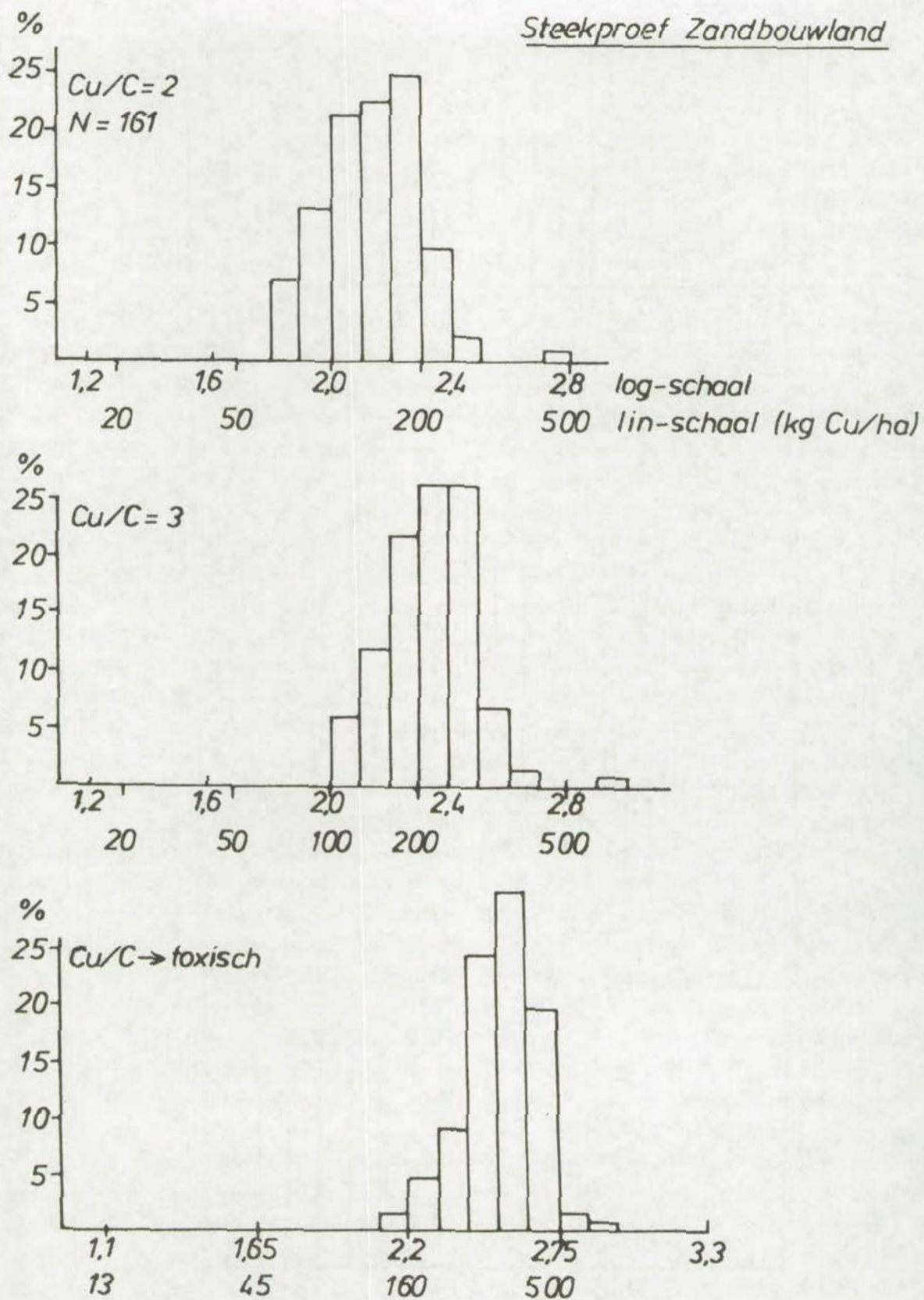


Fig. 3.6 Frekwentieverdeling van de hoeveelheid koper (kg/ha) waarmee de aangegeven grenswaarde van de Cu/C-verhouding wordt bereikt.

Monsters Dienst Milieuhygiëne

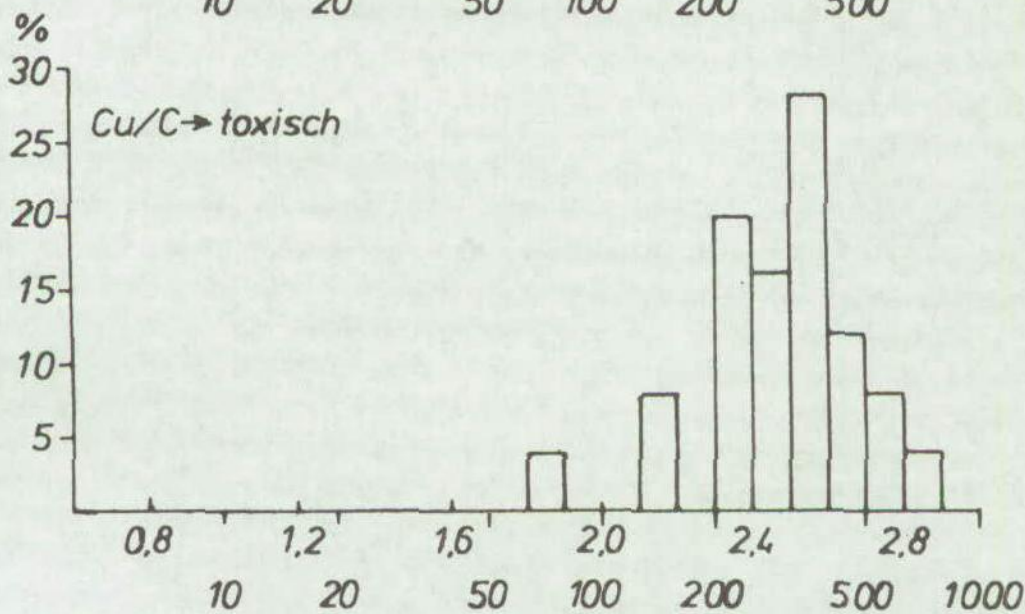
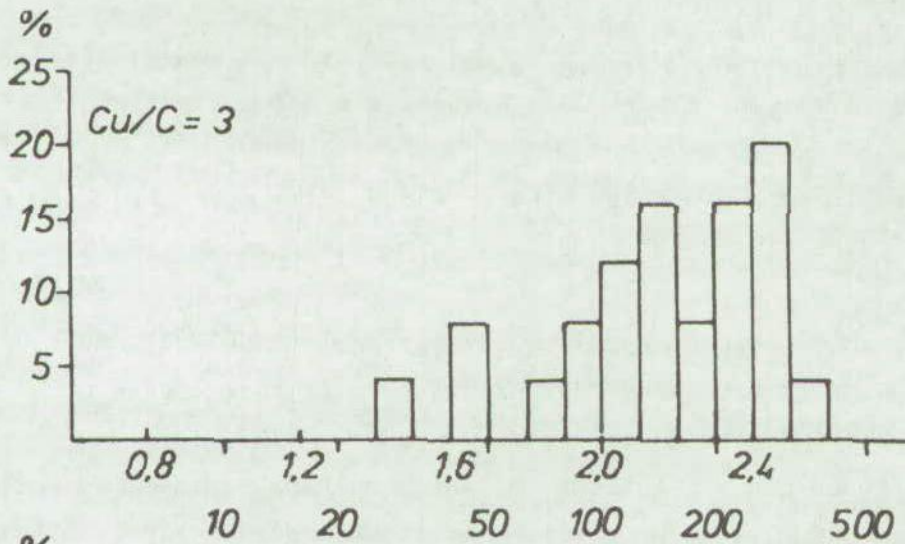
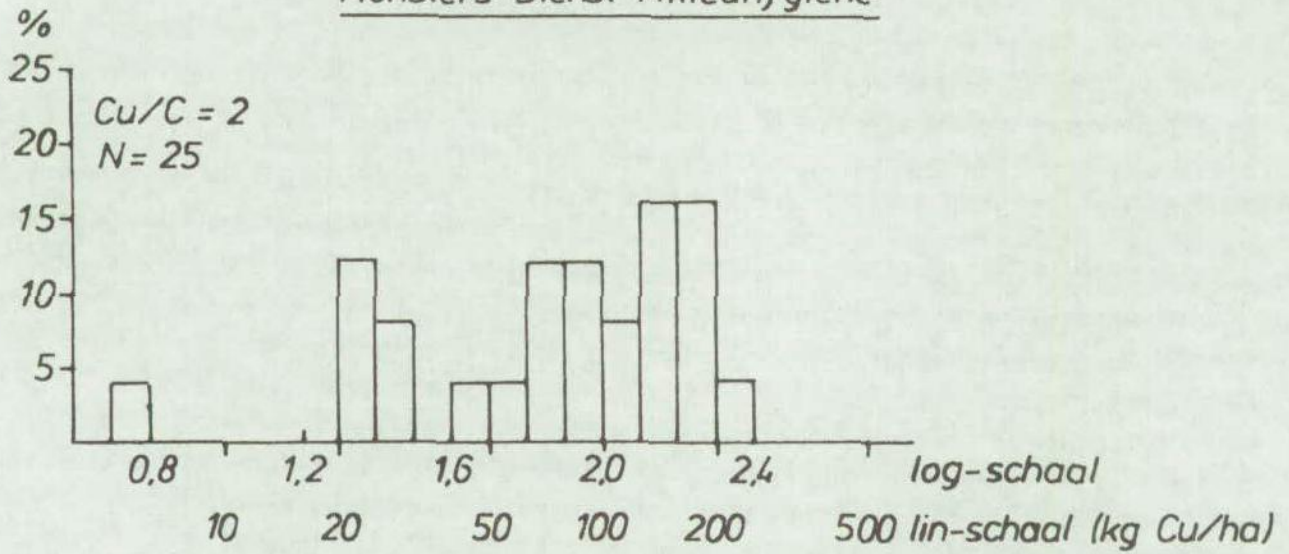


Fig. 3.7 Frekwentieverdeling van de hoeveelheid koper (kg/ha) waarmee de aangegeven grenswaarde van de Cu/C-verhouding wordt bereikt.

De hoeveelheid koper die kan worden toegevoegd alvorens een Cu/C-verhouding van 2 wordt overschreden, is kleiner dan 50 kg per ha voor 16% van de rivierkleimonsters uit de steekproef en voor 28% van de door de Dienst Milieuhygiëne bemonsterde percelen. Voor één van de door de Dienst Milieuhygiëne bemonsterde percelen wordt voorspeld dat toxische effecten op gewassen zullen optreden na toevoeging van minder dan 100 kg koper per ha.

De termijn waarop de onderscheiden grenswaarden worden bereikt, is berekend voor drie verschillende scenario's:

1. een jaarlijkse dosering van 50 ton varkensdrijfmest per hectare, die toereikend is om in de behoefte van gewassen aan voedingsstoffen te voorzien;
2. een jaarlijkse dosering van 100 ton varkensdrijfmest per hectare, die in de maisteelt niet ongebruikelijk is;
3. een jaarlijkse dosering van 200 ton varkensdrijfmest, die zonder meer als excessief is aan te merken, hoewel de opbrengst van snijmais er nog niet onder hoeft te lijden.

De hoeveelheid koper die met deze hoeveelheden varkensdrijfmest wordt aangevoerd bedraagt bij het huidige niveau van kopertoevoeging respectievelijk ca. 2,5, 5 en 10 kg.

De resultaten van de berekening zijn weergegeven in tabel 3.7. Behalve de gemiddelde tijdsduur is ook steeds de kortste termijn weergegeven die in de desbetreffende categorie monsters werd waargenomen.

De resultaten tonen aan dat toxische effecten op gewassen niet op korte termijn behoeven te worden verwacht bij een jaarlijkse mestdosering van 50 ton per ha. Bij hogere mestdoseringen zijn echter op een termijn van enkele tientallen jaren de eerste problemen te verwachten.

Wanneer als grenswaarde een Cu/C-verhouding van 2 wordt aangehouden, blijkt dat deze in incidentele gevallen al op korte termijn zal worden bereikt. Bij een mestdosering van 50 ton per ha per jaar bedraagt de nog beschikbare termijn voor de meeste monsters nog enkele tientallen jaren.

Tabel 3.7 Aantal jaren dat het nog duurt voordat de aangegeven grenswaarden voor de Cu/C-verhouding worden overschreden bij verschillende aannamen met betrekking tot de jaarlijkse aanvoer van koper.

jaarlijkse mestdosering per ha	50 ton VDM	100 ton VDM	200 ton VDM
jaarlijkse koperdosering (kg/ha)	2,5	5,0	10

GRENSWAARDE Cu/C = 2

RIVIERKLEIBOUWLAND

minimum ¹⁾	7	4	2
gemiddeld ²⁾	33	16	8

ZANDBOUWLAND

minimum	26	13	7
gemiddeld	55	27	13

MONSTERS DIENST MILIEUHYGIËNE

minimum	3	2	1
gemiddeld	30	15	7

GRENSWAARDE Cu/C = 3

RIVIERKLEIBOUWLAND

minimum	25	13	6
gemiddeld	58	29	14

ZANDBOUWLAND

minimum	46	23	11
gemiddeld	87	44	21

MONSTERS DIENST MILIEUHYGIËNE

minimum	12	6	3
gemiddeld	58	29	14

GRENSWAARDE Cu/C → TOXISCH

RIVIERKLEIBOUWLAND

minimum	73	36	17
gemiddeld	200	100	50

ZANDBOUWLAND

minimum	59	30	14
gemiddeld	150	75	36

MONSTERS DIENST MILIEUHYGIËNE

minimum	32	16	8
gemiddeld	120	60	28

1) kortste tijdsduur in deze categorie

2) gemiddelde tijdsduur in deze categorie (geometrisch gemiddelde)

3.11 Samenvatting.

De kopertoestand van de cultuurgrond in de provincie Gelderland is onderzocht door middel van een steekproef van de grondmonsters die in het seizoen 1981/82 voor onderzoek zijn aangeboden aan het Bedrijfslaboratorium voor Gronden en Gewasonderzoek te Oosterbeek. Daarnaast zijn monsters onderzocht die door de Dienst Milieuhygiëne van de provincie Gelderland zijn genomen van percelen die zwaar zouden zijn bemest met organische meststoffen.

De waarnemingen verricht aan de steekproef maken het mogelijk te beoordelen of een gemeten kopergehalte naar de huidige situatie als normaal of afwijkend van normaal geldt. Hierbij is een onderscheid gemaakt naar bemonsteringsdiepte (0-5 cm of dieper) en naar grondsoort (zandgrond of rivierklei). Van de door de Dienst Milieuhygiëne genomen monsters bleek ca. 70% een kopergehalte te hebben dat hoger is dan normaal voor dat soort monsters (zandgrond 0-20 cm).

Het kopergehalte van grondmonsters uit de gemeenten Barneveld, Dinxperlo en Ede, waar meer dan 12 mestvarkens per ha worden gehouden, was hoger dan dat van grondmonsters uit gemeenten met een lagere mestvarkensdichtheid.

Circa 25% van de zandgrondmonsters bevatte naar landbouwkundige maatstaven onvoldoende koper, zodat in die gevallen bemesting met koper wordt geadviseerd. De kopertoestand van de rivierkleimonsters is gemiddeld hoger; in die groep bevatte slechts 6 tot 7% van de monsters onvoldoende koper.

Bijna één vijfde gedeelte van de bemonsterde percelen rivierkleigrasland heeft een dermate hoog kopergehalte dat daar het weiden van schapen afgeraden wordt in verband met het risico voor kopervergiftiging. Zandgrasland bevat gemiddeld minder koper; in die categorie wordt voor 8% van de bemonsterde percelen het weiden van schapen riskant geacht. Kopergehalten waarbij het vermogen tot voortplanting van regenwormen negatief beïnvloed kan worden, worden slechts incidenteel bereikt.

Een hoog kopergehalte kan, vooral in combinatie met een laag organische koolstofgehalte en een lage pH, schade toebrengen aan cultuurgewassen. Indien het bouwland op een landbouwkundig verantwoorde wijze wordt bemest (50 ton varkensdrijfmest per hectare per jaar) behoeven de eerste tientallen jaren nog geen schadelijke effecten van koper te worden verwacht. Deze periode zal uiteraard worden bekort indien overmatig wordt bemest.

Een Cu/C-verhouding van 2, waarbij in het gehele pH-traject dat voor de landbouwgronden van belang is geen schade aan gewassen zal optreden, werd in geen van de monsters bereikt of overschreden. Deze waarde werd echter wel dicht genaderd in een aantal rivierkleimonsters uit de steekproef en in zandgrondmonsters genomen door de Dienst Milieuhygiëne. Bij toepassing van 50 ton varkensdrijfmest per hectare per jaar zal deze waarde over ca. 30 jaar zijn overschreden in een groot deel van het rivierkleibouwland; voor het zandbouwland bedraagt de overeenkomstige termijn ca. 50 jaar.

4. Algemene samenvatting en conclusies.

Het onderzoek werd uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de fosfaat- en kopertoestand van cultuurgrond in de provincie Gelderland en om te komen tot kwetsbaarheidsindicaties van de bodem voor fosfaatdoorslag. Bij de verzameling van de bodemonsters werden drie verschillende strategieën gevolgd.

Voor het onderzoek naar de thans voorkomende fosfaattoestand werd in een eerste bemonsteringsronde de bovengrond van 244 percelen bemonsterd. Tijdens een tweede ronde werden 61 percelen tot op grotere diepte bemonsterd. De percelen werden zodanig geselecteerd dat er een goede vertegenwoordiging was van de voornaamste bodemtypes, met variaties in doseringsregimes. De monsters werden op een aantal kenmerken geanalyseerd met als voornaamste de fosfaatvastleggingscapaciteit en het gehalte aan Fe, Al en P, extraheerbaar met ammoniumoxalaat.

Voor het onderzoek naar de thans voorkomende kopertoestand werd van alle bodemonsters uit de provincie die gedurende de periode 31 oktober 1981 t/m 31 maart 1982 ter analyse werden aangeboden aan het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek uit elk tiende monster een deelmonster genomen. Dit werd geanalyseerd op koper en op bodemeigenschappen die van belang zijn voor de beoordeling van de kopertoestand. Op deze wijze werden 935 percelen in het koperonderzoek betrokken.

Door de Dienst Milieuhygiëne van de provincie werden 25 percelen bemonsterd die als "hoog belast" werden beschouwd. De monsters hiervan werden meegenomen in zowel het fosfaat- als het koperonderzoek.

Daarnaast werden voor 7 gemeenten in het gebied van de Gelderse Vallei-Westelijke Veluwe berekeningen uitgevoerd van de mestoverschotten op basis van gegevens van de metellingen van 1982.

De voornaamste conclusies van het onderzoek zijn de volgende:

- Het berekende fosfaatoverschot na bemesting op milieuhygiënische norm (toediening van fosfaat in overeenstemming met de onttrekking door het gewas) bedraagt in de meeste gevallen meer dan 200 en soms zelfs meer dan 300 kg P_2O_5 per hectare cultuurgrond. Maatregelen gericht op afvoer van alle pluimveemest uit deze gemeenten kunnen een wezenlijke bijdrage leveren tot verlichting van deze problematiek.

- In geval van hoger dan gemiddelde jaarlijkse mestdoseringen gekoppeld aan een lager dan gemiddelde totale fosfaatvastleggingscapaciteit is reeds nu de bovengrond over een laagdikte van dertig tot vijftig centimeter volledig verzadigd met fosfaat. In enkele gevallen is er ook sprake van onacceptabel hoge fosfaatconcentraties in het grondwater. Deze kunnen oplopen tot ca. 3 mmol fosfaat per liter (\approx 100 mg P/liter).
- Bij ongewijzigd beleid zal eenzelfde situatie binnen afzienbare tijd over veel uitgestrektere oppervlakte bestaan. Voor de Gelderse Vallei zal dit reeds binnen 5-10 jaar op grote schaal het geval zijn. Voor de Achterhoek bedraagt deze periode enkele decennia, terwijl voor de kleigronden van het Rivierengebied het gevaar voor fosfaatuitspoeling vooralsnog gering is.
- Berekeningen aan de hand van de fosfaat analyses voor de Gelderse Vallei tonen duidelijk aan dat de verzadiging van de bovengrond met fosfaat verder is voortgeschreden op bouwland dan op grasland.
- Er bestaat een aanzienlijke variatie binnen de bemonsterde bodems in gehalten aan bestanddelen waaraan fosfaat kan worden vastgelegd. Het gemiddelde gehalte ligt bij de rivierkleigronden duidelijk hoger dan bij de zandgronden. Binnen de groep van de zandgronden is nog enig verschil aan te geven tussen de podzol- en beekeerdgronden enerzijds en de enkeerdgronden anderzijds.
- Het gemiddelde gehalte aan fosfaatbindende bestanddelen en de spreiding daarvan van de monsters uit de Gelderse Vallei komen goed overeen met die van de groep podzol- en beekeerdgronden.
- Binnen elke categorie komen monsters voor met een laag gehalte aan fosfaatbindende bestanddelen. Het is echter niet mogelijk om aan de hand van de bodemkaart schaal 1:50.000 aan te geven waar deze percelen liggen.
- Van de "hoog belaste percelen" bleek 70% een kopergehalte te hebben dat hoger is dan normaal voor overeenkomstige grondmonsters uit de provincie (zandgrond, 0-20 cm).
- Ongeveer 25% van de zandgrondmonsters bevatte naar landbouwkundige maatstaven onvoldoende koper. Voor rivierkleimonsters bedroeg dit percentage 6-7.
- Bijna één vijfde deel van de bemonsterde percelen rivierkleigrasland had een zodanig hoog kopergehalte in de zodelaag dat beweiding door schapen wordt ontraden. Voor zandgrasland was dit percentage 8.
- Indien het bouwland op landbouwkundig verantwoorde wijze wordt bemest (50 ton varkensdrijfmest per hectare per jaar) behoeven de eerste tientallen jaren geen schadelijke effecten van koper voor de groei van cultuurgewassen te worden verwacht.

- Bij zandgronden van de "hoog belaste percelen" en bij een aantal rivierkleimonsters uit de steekproef wordt de waarde van een Cu/C-verhouding van 2 (waarbij in het gehele pH-traject dat voor de landbouw van belang is geen schade aan gewassen zal optreden en die daardoor als veilig wordt beschouwd) dicht benaderd.

5. Literatuur.

Hoofdstuk 1

Brinksma, M.A., en R.G.M. Koppers, 1983. Kwantificering van mestoverschotten en de gevolgen van overmatige bemesting voor de fosfaat- en nitraat-uitspoeling naar het grondwater. Doct. verslag bodemhygiëne, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, Landbouwhogeschool Wageningen.

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, 1978. De mest- en gierverspreiding op landbouwgrond in de E.G. I. Wetenschappelijke basis voor het beperken van de verspreiding en criteria voor regulerende maatregelen. Informatie over Landbouw nr. 47. Commissie van de Europese Gemeenschappen, Brussel-Luxemburg.

Lexmond, Th.M., W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1982. Onderzoek naar fosfaat en koper in de bodem in het bijzonder in gebieden met intensieve veehouderij. Rapport 9, Serie Bodembescherming, Staatsuitgeverij, 's Gravenhage, 159 pp.

Hoofdstuk 2

Beurmanjer, K., 1983. Rechtstreekse meting van de nog beschikbare fosfaat sorptiecapaciteit m.b.v. schudproeven. Doctoraalverslag bodemhygiëne, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, Landbouwhogeschool Wageningen.

Korzilius, E. en A. Breeuwsma, 1983. Het fosfaatbindend vermogen van enkele zandgronden. Rapport nr. 1745 van Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Lexmond, Th.M., W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1982. Fosfaat en koper in de bodem in gebieden met intensieve veehouderij. Serie Bodembescherming nr. 9, Staatsuitgeverij, 's Gravenhage, 159 pp.

Van Riemsdijk, W.H., 1983 (*). The mechanism of ortho-phosphate sorption in non calcareous sandy soil. Proc. third IMPHOS Congres (in press).

Van Riemsdijk, W.H., Th.M. Lexmond en F.A.M. de Haan, 1983. Risico van fosfaatuitspoeling bij hoge mestdoseringen op pleistocene zandgronden. Bedrijfsontwikkeling, 14, 9, p. 669-675.

Van Riemsdijk, W.H. and A.M.A. van der Linden, 1984 (*). Phosphate sorption by soils. II. Sorption measurement technique. Soil Sci. Soc. Am. J. (in press).

Hoofdstuk 3

- Borggreve, G.J., 1977. Het groeibevorderende effect van extra koper voor varkens. C.L.O.-Instituut voor de Veevoeding "De Schothorst", Hoogland, 52 pp.
- Bremner, I., 1981. Effects of the disposal of copper-rich slurry on the health of grazing animals. In: P.L'Hermite & J. Dehandtschutter (Eds.) Copper in animal wastes and sewage sludge. Reidel, Dordrecht, pp 245-255.
- Cooke, B.C., 1981. Copper as a growth promoter. In: P. L'Hermite & J. Dehandtschutter (Eds.). Copper in animal wastes and sewage sludge. Reidel, Dordrecht, pp. 327-354.
- Dalgarno, A.C. & C.F. Mills, 1975. Retention by sheep of copper from aerobic digests of pig faecal slurry. J. Agric. Sci., Camb. 85, 11-18.
- Doelman, P. en L. Haanstra, 1983. De invloed van zware metalen op de bodemmicroflora. Reeks Bodembescherming nr. 20. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 132 pp.
- Hartmans, J., 1975a. De frequentie van het optreden van kopervergiftiging bij schapen en de rol van het schapenkrachtvoer daarbij. Verslag van een enquête. Tijdschr. Diergeneesk. 100, 379-382.
- Hartmans, J., 1975b. Hoe chronische kopervergiftiging bij schapen te voorkomen? Tijdschr. Diergeneesk. 100, 405-407.
- Hoogerkamp, M., H. Rogaar & H.J.P. Eijsackers, 1983. Effect of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. In: J.E. Satchell (Ed.) Earthworm ecology. Chapman & Hall, London, pp. 85-104.
- Lexmond, Th.M., 1981. A contribution to the establishment of safe copper levels in soil. In: P. L'Hermite & J. Dehandtschutter (Eds.). Copper in animal wastes and sewage sludge. Reidel, Dordrecht, pp. 162-183.
- Lexmond, Th.M., W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1982. Onderzoek naar fosfaat en koper in de bodem in het bijzonder in gebieden met intensieve veehouderij. Reeks Bodembescherming nr. 9. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 159 pp.
- Ma, W., 1983. Regenwormen als bio-indicators van bodemverontreiniging. Reeks Bodembescherming nr. 15. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 111 pp.
- McGrath, D, 1981. Implications of applying copper-rich pig slurry to grassland-effects on plants and soils. In: P. L'Hermite & J. Dehandtschutter (Eds.). Copper in animal wastes and sewage sludge. Reidel, Dordrecht, pp. 144-153.

- Poole, D.B.R., 1981. Implications of applying copper rich pig slurry to grassland-effects on the health of grazing sheep. In: P. L'Hermite & J. Dehandtschutter (Eds). Copper in animal wastes and sewage sludge. Reidel, Dordrecht, pp. 237-282.
- Unwin, R.J., 1981. The application of copper in sewage sludge and pig manure to agricultural land in England and Wales. In: P. L'Hermite & J. Dehandtschutter (Eds.). Copper in animal wastes and sewage sludge. Reidel, Dordrecht, pp. 102-116.

