

32/446 (112) 2^e α.

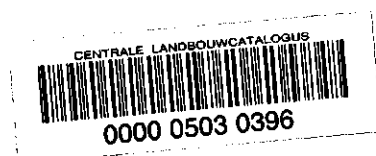
**De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en
P-AL-getal, en fosfaatverzadiging bij zandgronden**

**O.F. Schoumans
A. Breeuwsma
A. El Bachrioui-Louwerse
R. Zwijnen**

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

Rapport 112

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1991



4 DEC. 1991

18m 346106 *

REFERAAT

Schoumans O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui-Louwerse en R. Zwijnen, 1990. *De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AL-getal, en fosfaatverzadiging bij zandgronden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 112. 71 blz.; 13 afb.; 12 tab.; 9 aanhangsels.

Met bodemanalyses is het verband tussen de fosfaatextractiemethoden die voor het bodemvruchtbaarheidsonderzoek worden gebruikt (Pw- en P-AL-getal) en de fosfaatextractiemethoden die een rol spelen bij de omschrijving van een fosfaatverzadigde grond (P_i en P_{ox}) onderzocht. Er blijken goede relaties te bestaan. Met de regressielijnen kon voor percelen met grondwatertrap I, II, II*, III, III*, V en V* vastgesteld worden bij welk Pw- of P-AL-getal het perceel fosfaatverzadigd is. Op basis van geïnventariseerde Pw- en P-AL-getallen is vastgesteld welk areaal van deze natte gronden fosfaatverzadigd is.

Trefwoorden: Pw-getal, P-AL-getal, P_i , P_{ox} , fosfaatverzadigde grond, fosfaatverzadigingsgraad

ISSN 0924-3070

©1991 DLO-Staring Centrum Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO), Postbus 125, 6700 AC Wageningen
Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812; telex: 75230 VISI-NL

Het DLO-Staring Centrum is een voortzetting van: het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen, afd. Milieu (IOB), de Afd. Landschapsbouw van het Rijksinstituut voor Onderzoek in de Bos- en Landschapsbouw "De Dorschkamp" (LB), en de Stichting voor Bodemkartering (STIBOKA).

Het DLO-Staring Centrum aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm en op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het DLO-Staring Centrum.

INHOUD

	blz.
WOORD VOORAF	9
SAMENVATTING	11
1 INLEIDING	13
2 ACHTERGRONDEN VAN FOSFAATVASTLEGGING EN EXTRACTIEMETHODEN	15
2.1 Fosfaatvastlegging	15
2.2 Fosfaatextractiemethoden	16
3 OPZET VAN HET ONDERZOEK	19
3.1 Monsters	19
3.2 Extractie- en analysemethoden	21
3.3 Statistische verwerking	22
4 FOSFAATGEHALTEN MET VERSCHILLENDE EXTRACTIE- METHODEN	25
4.1 Gemiddelde waarden	25
4.2 Onderlinge verbanden	27
5 HET VERBAND TUSSEN HET Pw- EN P-AL-GETAL, EN FOSFAATVERZADIGING	33
5.1 Kritische waarden voor fosfaatverzadiging	33
5.2 Indicatie van kritische waarden voor het Pw- en P-AL-getal	36
5.3 Indicatie van het areaal fosfaatverzadigde gronden op basis van het Pw- en P-AL-getal	39
6 GEVOLGEN VOOR DE OMSCHRIJVING VAN EEN FOSFAATVERZADIGDE GROND	45
7 CONCLUSIES	47
LITERATUUR	49
AANHANGSELS	
1 Algemene gegevens van de bemonsterde percelen in de gemeente Ruinen, Zuidwolde en Odoorn	53
2 Bodemeenheid en grondwatertrap volgens de codering van de Bodemkaart, 1 : 50 000, zoals waargenomen bij de bemonstering in Ambt-Delden	55
3 Analyseresultaten van de bouwvoor van de bemonsterde percelen in Ruinen, Zuidwolde en Odoorn	57
4 Analyseresultaten van de bouwvoor van de bemonsterde percelen in Ambt-Delden	59
5 Voorschrift bepaling hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat	61

6	Statistische begrippen bij lineaire regressie-analyse	65
7	De betrouwbaarheid van de bepaling van het Pw-getal	67
8	De verdeling van het Pw-getal in de landbouwgebieden van het centrale, oostelijke en zuidelijke zandgebied voor het seizoen 1986, 1987	69
9	De verdeling van het P-AL-getal in de landbouwgebieden van het centrale, oostelijke en zuidelijke zandgebied voor het seizoen 1986, 1987	71

FIGUREN

1	Overzicht van de analyseresultaten van Al_{ox} , Fe_{ox} , de som van Al_{ox} en Fe_{ox} , pH-KCl en organische-stofgehalte van de monsters	20
2	Overzicht van de geëxtraheerde hoeveelheid fosfaat volgens de verschillende extractiemethoden het Pw-getal, het P-AL-getal, P_i en P_{ox} en het quotiënt van oxalaatextraheerbaar fosfaat en de som van Al en Fe	26
3	Het verband tussen het Pw-getal en P_i	28
4	Het verband tussen P_i en het P-AL-getal bij verschillende niveaus van Pw-getallen	29
5	Het verband tussen het P-AL-getal en P_i	30
6	Het verband tussen de fosfaatbezettingsfractie inclusief 95%-betrouwbaarheidsinterval en het Pw-getal	37
7	Het verband tussen de fosfaatbezettingsfractie inclusief 95%-betrouwbaarheidsinterval en het P-AL-getal	37
8	Procentuele verdeling van het Pw-getal binnen het bouwlandareaal van het totale zandgebied	40
9	Procentuele verdeling van het P-AL-getal binnen het graslandareaal van het totale zandgebied	40
10	Procentuele verdeling van de grondwatertrappen onder bouwland	41
11	Procentuele verdeling van de grondwatertrappen onder grasland	41
12	Cumulatieve percentage van het bouwlandareaal als functie van het Pw-getal	42
13	Cumulatieve percentage van het graslandareaal als functie van het P-AL-getal	43

TABELLEN

1	De coëfficiënten van (multiple) regressie-analyse om het Pw-getal te voorspellen	27
2	De coëfficiënten van (multiple) regressie-analyse om P_i te voorspellen	29
3	De coëfficiënten van (multiple) regressie-analyse om het P-AL-getal te voorspellen	
4	De coëfficiënten van (multiple) regressie-analyse om P_{ox} te voorspellen	31
5	De coëfficiënten van (multiple) regressie-analyse om $P_{ox}/(Al_{ox}+Fe_{ox})$ te voorspellen	31
6	Kritische fosfaatbezettingsfractie voor natte gronden in afhankelijkheid van de bemonsteringsdiepte en ploegdiepte	36
7	Kritisch Pw-getal waarbij natte bouwland percelen fosfaatverzaadigd zijn	38
8	Kritisch P-AL-getal waarbij natte grasland percelen fosfaatverzaadigd zijn	38

9	Waardering van het Pw-getal voor bouwland op zandgronden	38
10	Waardering van het P-AL-getal voor grasland op zandgronden	38
11	Areaal fosfaatverzadigde natte bouwlandgronden geschat met behulp van gepubliceerde Pw-getallen en het kritisch Pw-getal	41
12	Areaal fosfaatverzadigde natte graslandgronden geschat met behulp van gepubliceerde P-AL-getallen en het kritisch P-AL-getal	42
13	Indringingssnelheid van anorganisch fosfaat in de bodem afhankelijk van uitspoelingsverlies en diepte	45

WOORD VOORAF

Een oriënterend onderzoek naar de relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AL-getal en de parameters P_{ox} en P_i die een rol spelen bij de omschrijving van een fosfaatverzadigde grond is uitgevoerd in het kader van het project "Inventarisatie fosfaatverzadigde gronden" (project 7131). De aanleiding werd gevormd door de vele vragen, vanuit de landbouwpraktijk en -voorlichting over de samenhang tussen bodemvruchtbaarheidstoestand en fosfaatverzadiging.

SAMENVATTING

Op grond van vragen uit de landbouwpraktijk en -voorlichting is onderzoek verricht naar de relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AL-getal en bodembeschermingsparameters die een rol spelen bij de omschrijving van een fosfaatverzadigde grond.

Centraal staan de fosfaatparameters:

- Pw-getal : bodemvruchtbaarheidsmaat voor de hoeveelheid direct beschikbaar fosfaat (bouwland); in water extraheerbaar fosfaat;
- P-AL-getal : bodemvruchtbaarheidsmaat voor de hoeveelheid direct beschikbaar fosfaat die nageleverd kan worden (grasland); ammoniumlactaat extraheerbaar fosfaat;
- P_i : de maximale hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat;
- P_{ox} : de totale hoeveelheid ortho-fosfaat (oxalaat extraheerbaar);
- FBF : fosfaatbezettingsfractie, de verhouding tussen de P_{ox} en de som van de reactieve bodemcomponenten voor fosfaat namelijk Al_{ox} en Fe_{ox} ; oxalaat-extraheerbaar aluminium en ijzer.

Voor 74 bouwvoormonsters (0-30 cm) zijn deze fosfaatparameters bepaald. De hoeveelheid fosfaat die uit de zandgronden geëxtraheerd kan worden, neemt toe in de volgorde $Pw\text{-getal} < P_i < P\text{-AL-getal} < P_{ox}$. Daarnaast is met meervoudige (en lineaire) regressie-analyse de onderlinge relatie vastgesteld. De meervoudige regressie-analyse tussen de verschillende fosfaatextractiemethoden levert voor Pw-getal, P_i en P-AL-getal een hoge verklaarde variantie (resp. 82, 95 en 92%). Bij enkelvoudige regressie-analyse varieert de verklaarde variantie veelal tussen 60 en 90%. Tevens is er een redelijk goede relatie tussen de fosfaatbezettingsfractie FBF en P-AL-getal ($V^2 = 70\%$) en Pw-getal ($V^2 = 66\%$). Hiermee kan voor natte gronden afgeleid worden boven welke waarde van het P-AL-getal en Pw-getal de bodem fosfaatverzadigd is.

Gronden met grondwatertrap III en V onder bouwland of regelmatig gescheurd grasland kunnen reeds bij een lage waardering van de fosfaattoestand ($Pw\text{-getal} < 10$ en $P\text{-AL-getal} < 18$) fosfaatverzadigd zijn. Een grond kan zowel *fosfaatarm* zijn vanuit de invalshoek van de bodemvruchtbaarheid, terwijl deze grond toch als *fosfaatverzadigd* kan worden bestempeld. Gronden met grondwatertrap III of V en een hoge fosfaatwaardering ($Pw\text{-getal} > 60$ en $P\text{-AL-getal} > 55$) zijn (vrijwel) zeker fosfaatverzadigd (95% betrouwbaarheid). Ook relatief droge gronden (grondwatertrap III* en V*) onder bouwland of regelmatig gescheurd grasland kunnen reeds bij resp. fosfaattoestand voldoende ($Pw\text{-getal}$ ca. 30) en ruim voldoende ($P\text{-AL-getal}$ ca. 45) fosfaatverzadigd zijn.

Gebruikmakend van Pw- en P-AL-getallen van landbouwgebieden in het centrale, oostelijk en zuidelijk zandgebied, kan het areaal fosfaatverzadigde gronden geschat worden. Daarbij is aangenomen dat deze cijfers voor ondiep ontwaterde gronden dezelfde verdeling hebben als voor overige gronden. Uitgaande van de relatie

tussen de definitie van een fosfaatverzadigde grond en het Pw- of P-AL-getal blijkt dat 84% van de ondiep ontwaterde bouwlandgronden fosfaatverzadigd en 87% van het regelmatig gescheurde "natte" grasland.

Uit het onderzoek blijkt dat vooral bij ondiep ontwaterde gronden, waar de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) 20 à 40 cm is, ***de bodem fosfaatverzadigd kan raken bij opvolging van het bemestingsadvies***. In verband met deze conclusie en vragen ten aanzien van het protocol fosfaatverzadigde gronden is er behoefte aan een onderbouwing van het begrip "fosfaatverzadigde grond" via een directe relatie met de algemene kwaliteitsdoelstelling voor het oppervlaktewater.

1 INLEIDING

Vanuit de invalshoek van de bodemvruchtbaarheid is veel onderzoek verricht naar de karakterisering van de fosfaattoestand van de bodem. Eén van de belangrijkste redenen hiervoor is dat fosfaat tot de macronutriënten van de plant behoort. Aangezien fosfaat in de bodem veelal sterk gebonden wordt, is de beschikbaarheid voor de plant beperkt. Met betrekking tot de hoeveelheid fosfaat die voor de plant beschikbaar is, wordt een onderscheid gemaakt in de direkt beschikbare hoeveelheid (de hoeveelheid die op korte termijn oplosbaar is; fosfaatintensiteit) en de hoeveelheid fosfaat die beschikbaar is om de fosfaatintensiteit op peil te houden (fosfaatcapaciteit; labiel fosfaat; een maat voor fosfaatbeschikbaarheid op langere termijn) (Van der Paauw et al., 1971; Van Diest, 1981). Voor de huidige Nederlandse situatie wordt de fosfaatintensiteit gekarakteriseerd met een water-extractie (Pw-getal) en de fosfaatcapaciteit met een extractie met ammoniumlactaat-azijnzuur (P-AL-getal). De fosfaatintensiteit is van belang bij de fosfaatvoorziening van landbouwgewassen met een korte groeidiur en de fosfaatcapaciteit bij continue teelt (zoals blijvend grasland). De fosfaatopname op bouwland is vaak beter gecorreleerd met het Pw-getal en de fosfaatopname op grasland met het P-AL-getal. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in een bemestingsadvies voor bouwland en grasland op basis van resp. het Pw- en P-AL-getal (CAD, 1989).

Door de toename van de intensieve veehouderij in het oostelijk, centraal en zuidelijk zandgebied is de mestproductie in deze gebieden de laatste 20 jaar sterk toegenomen. Aangezien de fosfaatgift in de vorm van dierlijke mest vooral bij maïsland vaak hoger was dan de fosfaatopname door het gewas, is de fosfaatvastlegging in zandgronden onderzocht (Beek, 1979; Van Riemsdijk, 1979; Lexmond et al., 1982; Schoumans et al., 1986; Van der Zee, 1988). Het fosfaatbindend vermogen van de grond is beperkt en gecorreleerd aan de hoeveelheid amorfe (en microkristallijne) aluminium- en ijzer- (hydr)oxiden. Als gevolg van dit beperkte fosfaatbindend vermogen en de hoge dierlijke mestdoseringen treedt in de mestoverschotgebieden fosfaatverzadiging en een verhoogde fosfaatuitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater op (Breeuwsma en Schoumans, 1986; Breeuwsma et al., 1989; Breeuwsma et al., 1990; Kroes et al., 1990).

Om een indruk te krijgen van de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem (d.i. de mate waarin het fosfaatbindend vermogen van de bodem verbruikt is), wordt de hoeveelheid oxalaat-extraheerbaar fosfaat, aluminium en ijzer bepaald (P_{ox} , Fe_{ox} en Al_{ox}). Daarnaast is recent een "infinite sink" (P_i) methode ontwikkeld om de hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat te bepalen (Van der Zee, 1988; Menon et al., 1989). Dit is de hoeveelheid fosfaat, die uit kan spoelen.

Tot nu toe was weinig bekend over de relatie tussen bodemvruchtbaarheidsgegevens (Pw- en P-AL-getal) en fosfaatverzadigingsparameters (P_{ox} en P_i). Deze relatie is van belang voor de vraag of opvolging van het bemestingsadvies tot fosfaatverzadiging kan leiden. Doordat de kans op verzadiging, bij een gegeven fosfaatbelasting, toeneemt naarmate de grondwaterstand hoger is, doet deze

mogelijkheid zich in principe vooral voor bij de minder diep ontwaterde gronden. Doel van deze studie was om inzicht te krijgen in de fosfaatverzadigingsgraad van ondiep ontwaterde bouwland- en graslandgronden op basis van beschikbare Pw- en P-AL-getallen. Daartoe is via een oriënterend onderzoek vastgesteld of voor zandgronden en moerige gronden relaties bestaan tussen deze gegevens. Vervolgens is nagegaan in hoeverre de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AL-getal bruikbaar zijn als indicatie van de fosfaatverzadigingsgraad van een perceel.

2 ACHTERGRONDEN VAN FOSFAATVASTLEGGING EN EXTRACTIEMETHODEN

Fosfaat wordt door de bodem sterk gebonden (fosfaatsorptie). Daardoor is een deel van het fosfaat dat aan de bodem wordt toegediend, niet beschikbaar voor de plant. Een bodem waaraan geen fosfaat meer wordt toegediend, is wel in staat fosfaat aan de plant te leveren als gevolg van fosfaatdesorptie. De mate waarin fosfaat beschikbaar is, hangt van bodemfactoren af. In de volgende paragrafen wordt kort ingegaan op het reactiemechanisme in de bodem. Vervolgens zal, voor zover bekend, worden aangegeven welk deel van het fosfaat dat in de bodem aanwezig is, geëxtraheerd wordt volgens de verschillende extractiemethoden.

2.1 Fosfaatvastlegging

Fosfaat wordt in de bodem gebonden door

- micro kristallijne en amorf aluminium- en ijzer(hydr)oxiden;
- kalk (calciumcarbonaat);
- aluminium en ijzer gecomplexeerd aan klei en organische stof;
- randen van kleimineralen

(De Haan, 1965; Kuo en Lotse, 1972; Breeuwsma, 1973; Beek, 1979; De Haan en Zwerman, 1978; Van Riemsdijk, 1979; Enfield et al., 1981; Beek en Van Riemsdijk, 1982; Shaviv en Shachar, 1989).

In het onderhavige onderzoek staan de kalkloze zandgronden met een laag percentage organische stof (< 10%) centraal. De fosfaatvastlegging in deze gronden wordt hoofdzakelijk bepaald door de amorf en micro kristallijne aluminium- en ijzer(hydr)oxiden. Bij de reactie van fosfaat met metaaloxiden wordt een onderscheid gemaakt in twee processen namelijk een adsorptie- en een diffusie-proces. Onder fosfaatadsorptie wordt verstaan de fosfaatvastlegging aan het oppervlak van het metaal(hydr)oxide. Fosfaatadsorptie verloopt relatief snel (minuten/dagen). Dit proces speelt met name een rol bij lage concentraties (tot enkele mg P per liter). Het diffusieproces daarentegen is een langzaam proces (maanden/jaren), dat pas een rol gaat spelen bij hogere concentraties (vanaf enkele mg P per liter). Er zijn verschillende theoriën over het diffusie-reactiemechanisme. Van Riemsdijk (1979) beschrijft de reactie als het indringen van fosfaat in de vaste fase van het metaaloxide. Tijdens dit proces wordt het metaaloxide omgezet in metaalfosfaat. Metaalfosfaten zijn in het algemeen zeer slecht oplosbaar, waardoor in de praktijk dit fosfaat als irreversibel gebonden fosfaat beschouwd. Madrid en Arambarri (1985) geven aan dat diffusie van fosfaat door de poriën van het metaaloxide optreedt en vervolgens (ad)sorptie aan de poriënwanden. Van der Zee (1988) concludeert dat het voor de procesformulering niet uitmaakt of er sprake is van fosfaatdiffusie door de vaste fase heen of in de poriën, aangezien beide theorieën uitgaan van de diffusievergelijking.

De totale hoeveelheid fosfaat die aan aluminium- en ijzer(hydr)oxiden kan worden vastgelegd (FosfaatBindend Vermogen; FBV), wordt o.a. beïnvloed door de fosfaatconcentratie en de reactietijd. Naarmate de fosfaatconcentratie hoger is of de reactietijd langer, neemt de fosfaatsorptie toe (Beek en Van Riemsdijk, 1982).

Indien bij gelijke concentratie en reactietijd het FBV van monsters bepaald wordt, blijkt het FBV een lineair verband te vertonen met de hoeveelheid aluminium- en ijzer(hydr)oxide, welke geëxtraheerd kan worden met een oxalaatoplossing (Schoumans et al., 1986).

Uit het fosfaatdesorptie-onderzoek komt sterk een hysteresis effect naar voren. Van der Zee (1988) vond dat ongeveer 30% van het gesorbeerde fosfaat maximaal vrij kan komen. Hij gaat er vanuit dat de gevormde metaalfosfaten niet oplossen, zodat het fosfaat dat vrijkomt, beschouwd wordt als fosfaat dat geadsorbeerd is geweest aan het oppervlak van de metaal-(hydr)oxiden. De desorbeerbare hoeveelheid fosfaat kan bepaald worden met behulp van de "infinite sink" methode (P_i ; Van der Zee, 1988).

De mate waarin fosfaat vrij kan komen, wordt ook beïnvloed door de pH en het organische-stofgehalte. Dit is een gevolg van de concurrentie met OH^- -ionen (bij hoge pH) of organische anionen (van organische stof).

2.2 Fosfaatextractiemethoden

Indien kalkloos zandmateriaal volledig wordt gedestruëerd komt al het fosfaat vrij dat in de bodem aanwezig is (P_{tot}). Dit is zowel fosfaat dat met bodemdeeltjes heeft gereageerd als fosfaat dat nog in organische stof is geïncorporeerd. Met een oxalaat-oxaalzuur extractie wordt fosfaat geëxtraheerd dat hoofdzakelijk met bodemdeeltjes in deze gronden heeft gereageerd (amorphe en micro kristallijne Al- en Fe(hydr)oxiden; Beek, 1979; Van Riemsdijk, 1979; Oudendag et al., 1984). Lexmond et al. (1982) vond dat met een oxalaatoplossing ca. 90% van de totale hoeveelheid fosfaat kon worden geëxtraheerd. Hieruit blijkt dat ruwweg 10% van het aanwezige fosfaat in organische stof is geïncorporeerd.

Bij de infinite sink methode (P_i ; Van der Zee, 1988; Menon et al., 1989) wordt aan grond die in oplossing is gebracht, "ijzerpapier" (filterpapier geïmpregneerd met ijzeroxide) toegevoegd met een zeer hoog fosfaatbindend vermogen. De van de grond gedesorbeerde hoeveelheid fosfaat, wordt hierdoor aan het ijzerpapier gebonden, waardoor de fosfaatconcentratie van de oplossing laag blijft en de bodem maximaal kan blijven desorberen. De totale hoeveelheid gedesorbeerd fosfaat, die aan het ijzerpapier wordt vastgelegd, wordt beschouwd als de maximale hoeveelheid fosfaat die uit de bodem vrij kan komen, aangezien de concentratie continu zeer laag wordt gehouden.

Bij de bepaling van het P_w -getal (Sissingh, 1971) wordt bij een grond-vloeistof verhouding 1:60 de hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat (na 23 uur) bepaald. Omdat

bij deze methode fosfaat niet wordt weggevangen (geen ijzerpapier), neemt de fosfaatconcentratie van de oplossing toe, waardoor er zich een evenwicht tracht in te stellen. De hoeveelheid fosfaat die vrijkomt bij de bepaling van het Pw-getal is dan ook altijd minder dan bij de bepaling van het P_i getal. Daarbij komt dat in veel gevallen bij de bepaling van het Pw-getal geen evenwicht optreedt omdat de reactietijd te kort is.

Welk deel van het fosfaat bij de bepaling van het P-AL-getal wordt vrij gemaakt, is nog niet bekend. Bij deze methode wordt fosfaat met ammoniumlactaat geëxtraheerd (Égner et al., 1960). Qua extractiemiddel lijkt lactaat op oxalaat (beide organische complexerende extractiemiddelen), maar het is minder krachtig. Het P-AL-getal wordt standaard voor bemestingsadvies van grasland gebruikt. De geëxtraheerde hoeveelheid is een maat voor de capaciteit van de bodem om fosfaat na te leveren.

3 OPZET VAN HET ONDERZOEK

3.1 Monsters

Gezien het oriënterend karakter van het onderzoek is materiaal gebruikt dat in het kader van andere projecten is verzameld. Voor het bemestingsadvies wordt normaal voor bouwland (Pw-getal) en grasland (P-AL-getal) bodemmateriaal uit de laag 0-20 cm en 0-5 cm verzameld, omdat het overgrote deel van de wortels in deze laag aanwezig is. Voor vergelijking van extractiemethoden is het niet zinvol om voor Pw- en P-AL-getal een verschillende bemonsteringsdiepte binnen één perceel aan te houden, omdat juist dan verschillende uitgangsmaterialen ontstaan. In dit onderzoek zijn de fosfaatextractiemethoden uitgevoerd op materiaal uit de bouwvoor (0-30 cm).

De monsters komen uit een bemonstering voor een studie naar de fosfaat-verzadiging in drie gemeenten in Drenthe (Schoumans en Breeuwsma, 1989) en één gemeente in Overijssel (Breeuwsma et al., 1987).

De monsters in Drenthe zijn genomen in de zomer van 1987 en afkomstig van 6 bouwlandpercelen uit de Veenkoloniën (gemeente Odoorn), en van 17 graslandpercelen en 4 maïspcelen uit Zuid-West Drenthe (gemeenten Ruinen en Zuidwolde). Per perceel zijn 9 boringen verricht. Per boring zijn lagen van 25 cm bemonsterd. De bemonstering heeft plaatsgevonden met een steekboor, waarvan het volume bekend is. Vervolgens zijn de monsters van gelijke diepte per perceel samengevoegd, zodat een mengmonster op volume basis ontstond. Elk monster is gedroogd bij 50 °C en gewogen voor de berekening van de dichtheid. In dit onderzoek wordt uitsluitend gebruik gemaakt van het materiaal uit de bovenste laag (bouwvoor).

De bemonstering in Overijssel heeft plaatsgevonden in de gemeente Ambt-Delden in het najaar van 1985 op 47 percelen. Het betreft hier 45 bouwlandpercelen en 2 graslandpercelen. Per perceel werden meestal 5 boringen verricht. De bouwvoor werd apart bemonsterd. In verband met onderzoek naar de variabiliteit in fosfaat-verzadiging zijn de monsters niet direkt gemengd, maar apart gedroogd en gewogen voor de bepaling van de dichtheid. Vervolgens is van de bouwvoor-monsters per perceel op massabasis een mengmonster gemaakt. De dichtheid van dit mengmonster is berekend op basis van de afzonderlijke dichtheden.

De bodemeenheid en grondwatertrap van de bemonsterde lokaties staan in aanhangsel 1 en 2 weergegeven. De meeste percelen zijn zandgronden. In Drenthe zijn ook een aantal moerige gronden bemonsterd.

In de aanhangsels 3 en 4 zijn de dichtheden en analyse resultaten van pH-KCl, percentage organische stof en Al_{ox} en Fe_{ox} weergegeven voor de monsters uit de drie gemeenten in Drenthe en Ambt-Delden.

Figuur 1 geeft met behulp van histogrammen een overzicht van de analyse resultaten van de bodemkenmerken Al_{ox} , Fe_{ox} , pH-KCl en organische-stofgehalte voor de laag 0-25 cm (bouwvoor). De verdeling van Al_{ox} en Fe_{ox} komt overeen met de Al- en Fe-gehalten die normaal in kalkloze niet-ijzerrijke zandgronden gevonden wordt. De pH-KCl varieert van 3,7 tot en met 6,2 (gemiddelde waarde $4,7 \pm 0,5$) en is niet gecorreleerd met het organische-stofgehalte. De laagste pH's zijn gevonden in de bouwvoor van enkeerdgronden (gronden die in het verleden opgehoogd zijn met potstalmest). Door de aanwezigheid van moerige gronden is het organische-stofgehalte bij ongeveer 20% van de monsters groter dan 6%.

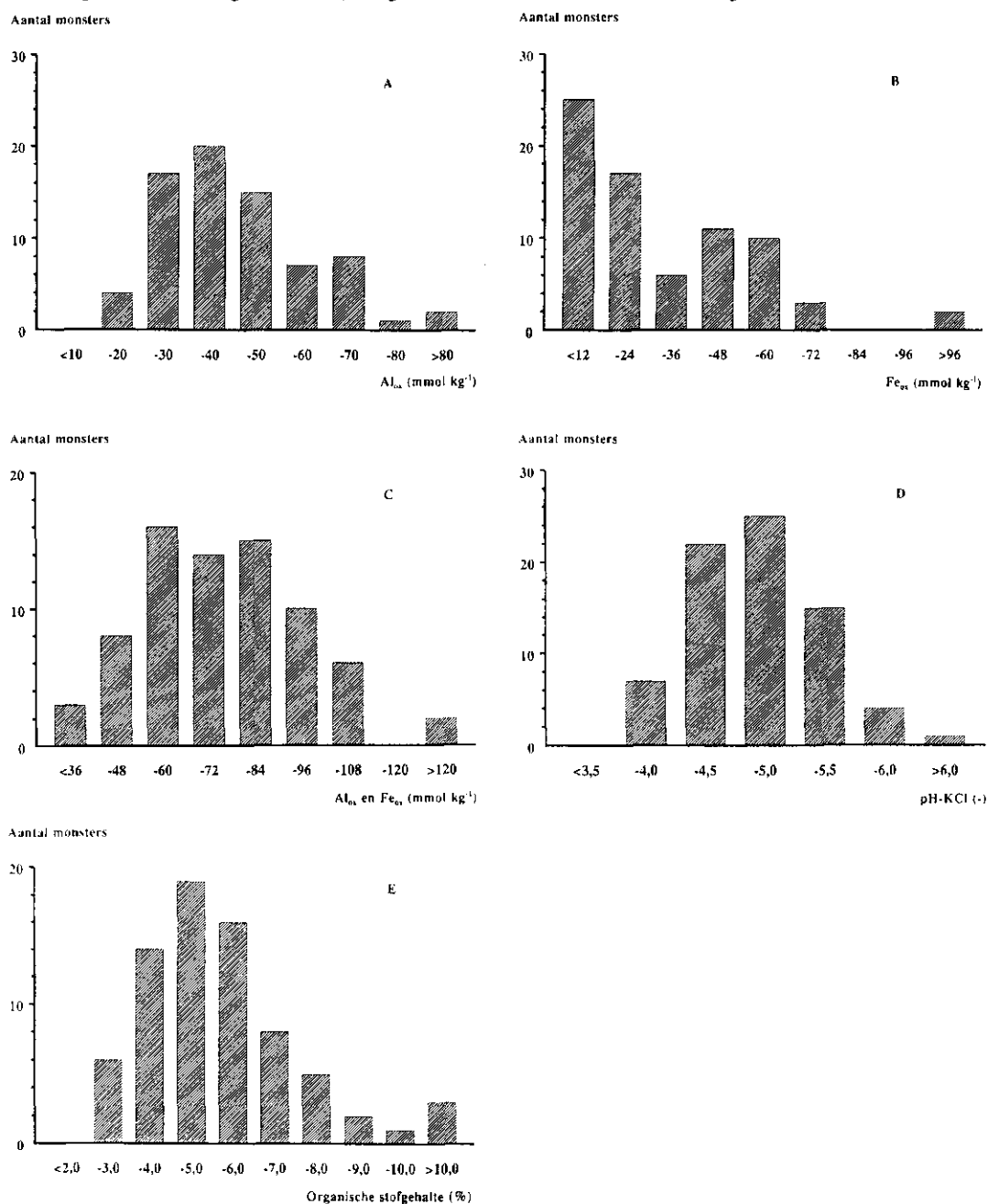


Fig. 1 Overzicht van de analyseresultaten van Al_{ox} (a), Fe_{ox} (b), de som van Al_{ox} en Fe_{ox} (c), pH-KCl (d) en organische-stofgehalte (e) van de monsters

3.2 Extractie- en analysemethoden

Aan de monsters zijn volgens vier methoden fosfaatextracties uitgevoerd (Pw-getal, P-AL-getal P_{ox} en P_i). Bij de oxalaatextractie is tevens de hoeveelheid oxalaat extraheerbaar Al en Fe bepaald. Om vast te stellen in hoeverre de fosfaatextractie beïnvloed wordt door de pH en het organische-stofgehalte, zijn ook deze bodemeigenschappen bepaald.

P-water bepaling (Pw-getal)

Een volume grond van 1,2 ml wordt met 2 ml water voor een periode van 22 uur bij 20°C geïncubeerd. Vervolgens wordt hieraan 70 ml demi water toegevoegd en gedurende 1 uur geschud bij 20 °C (Sissingh, 1971; Houba et al., 1979). Voor een goede reproduceerbaarheid moeten temperatuur en schudtijd constant zijn. In het gefilterde extract wordt de fosfaatconcentratie volgens Murphy en Riley (1962) bepaald. Het gehalte aan fosfor is met een spectrofotometer gemeten bij 880 nm en vervolgens uitgedrukt in mg P_2O_5 per liter grond.

P-ammoniumlactaat bepaling (P-AL-getal)

Ongeveer 2,5 gram grond wordt gedurende 4 uur bij een temperatuur van 20 °C geschud met 50 ml ammoniumlactaat-azijnzuuroplossing (pH 3,75) (Égner et al., 1960). In het onverdunde extract wordt met de ICP (Induced Coupled Plasma) de fosfaatconcentratie gemeten. Het P-AL-getal wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per 100 g grond.

Oxalaat bepaling (P_{ox} , Fe_{ox} en Al_{ox})

Ca. 0,5 tot 2 gram grond wordt gedurende 2 uur in het donker geschud met 50 ml ammoniumoxalaat oplossing (pH 3) (Schwertmann, 1964; Oudendag et al., 1984). Na het filtreren wordt aan het filtraat 5 ml geconcentreerde H_2SO_4 toegevoegd om een stabiele meting van P, Al en Fe met de ICP te creëren (Jansen en Koning, 1987). Het P_{ox} -gehalte wordt uitgedrukt in mmol P per kg grond.

P-infinite sinkmethode (P_i)

Ongeveer 1 gram grond wordt afgewogen en samen met 100 ml elektrolytoplossing (0,1 M KCl) en een ijzerhydroxidepapiertje (Van der Zee, 1988) gedurende 16 uur in een end-over-end rotatiemachine met een snelheid van 30 rpm geschud. Het ijzerpapier wordt verwijderd en gespoeld met water. Na het drogen wordt de door het ijzerpapier vastgelegde hoeveelheid fosfaat verwijderd door gedurende 4 uur met 100 ml 0,2 M H_2SO_4 te roteren bij 30 rpm (aanhangel 5). Na filtratie wordt in het filtraat de fosfaatconcentratie met de ICP bepaald. Het P_i gehalte wordt uitgedrukt in mmol P per kg grond.

Percentage organische-stof

Ongeveer 3 gram grond (stoofdroog; 105 °C) wordt na weging in een moffeloven gedurende 4 uur bij 500 °C gegloeid. Na afkoelen tot kamertemperatuur wordt het gewicht van het kroesje weer bepaald. Het gloeiverlies wordt berekend als percentage van de stoofdroge grond. Voor de berekening van het organische-stofgehalte wordt een correctie toegepast voor het vochtverlies van de anorganische bestanddelen van de grond. Deze correctie bedraagt 7% van het lutumgehalte.

Zuurgraad (pH-KCl)

Een volume grond wordt in een glazen flesje met vijf volume delen 1 M KCl aangevuld. Daarna wordt dit flesje tenminste 5 minuten krachtig geschud. Na minimaal 2 uur tot maximaal 24 uur wachten, wordt de pH van de oplossing gemeten. Vlak voor het meten wordt de suspensie opgeschud (NEN 5750, 1989).

3.3 Statistische verwerking

De relaties tussen de verschillende extractiemethoden is vastgesteld op basis van multiple regressie. In deze paragraaf zal enige achtergrond informatie gegeven worden met betrekking tot (multiple) regressie-analyse. Voor een volledig overzicht zie Montgomery and Peck (1982), Draper and Smith (1981).

De algemene vorm van een meervoudig lineair regressie model is voor responsie variabele y_i en potentiële verklarende variabelen $x_1, x_2, \dots, x_m$:

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \dots + \beta_m * x_m + \epsilon$$

met $\beta_0 \dots \beta_m$ = regressiecoëfficiënten
 ϵ_i = residuele variatie = ruisterm

De coëfficiënten β_k ($k = 0, 1, \dots, m$) worden geschat met behulp van de kleinste kwadraten methode. Dat wil zeggen dat de coëfficiënten zodanig worden berekend dat:

$$\sum_{i=1}^n [y - (\beta_0 + \beta_1 * x_1 + \dots + \beta_m * x_m)]^2 \text{ minimaal is.}$$

met n = aantal waarnemingen
 m = aantal verklarende variabelen

Uit de regressiecoëfficiënten β_i en de standaardafwijking van β_i (Engels: standard error = s.e.) wordt de t-waarde als volgt afgeleid:

$$t(\beta_i) = \frac{\beta_i}{se(\beta_i)}$$

De t-waarde is een maat voor de significantie van de betreffende variabele. Indien $t(\beta_i) \geq t_{\frac{1}{2}\alpha, n-m}$, dan verschilt de regressiecoëfficiënt significant van nul en is de bijbehorende variabele verklarend voor y ($t_{\frac{1}{2}\alpha, n-m}$ is ongeveer gelijk aan 2). Als blijkt dat een model een aantal variabelen bezit, die niet verklarend zijn (coëfficiënt verschilt niet significant van 0), dient de variabele met de kleinste $t(\beta_i)$ -waarde uit het model verwijderd te worden. Hierna dient allereerst opnieuw multiple regressie uitgevoerd te worden, alvorens een volgende variabele geëlimineerd kan worden ("stapsgewijze regressie-analyse").

Om de "kwaliteit" van het uiteindelijke model aan te geven komen veelal de volgende begrippen voor: restspreiding, (multiple) correlatiecoëfficiënt en percentage verklaarde variantie (aanhangel 6). Voor de vergelijking van regressiemodellen wordt (zie aanhangsel 6) alleen gebruik gemaakt van het percentage verklaarde variantie. Voor de berekening van het betrouwbaarheidsinterval wordt gebruik gemaakt van de restspreiding (hoofdstuk 4).

4 FOSFAATGEHALTEN MET VERSCHILLENDE EXTRACTIEMETHODEN

Teneinde een indruk te krijgen van de capaciteit van het extraciemiddel om fosfaat van de bodem vrij te maken, is allereerst onderzocht wat de verhouding is tussen de verschillende hoeveelheden geëxtraheerd fosfaat (paragraaf 4.1). Vervolgens zijn op basis van (meervoudige) regressie onderlinge relaties tussen Pw-getal, P-AL-getal, P_i en P_{ox} vastgesteld. Daarna is nagegaan in hoeverre er een verband bestaat tussen Pw- en P-AL-getal enerzijds en fosfaatverzadiging anderzijds.

4.1 Gemiddelde waarden

In de aanhangsels 3 en 4 staan de analyse resultaten van Pw-getal, P-AL-getal, P_i en P_{ox} weergegeven. In figuur 2 is via histogrammen een overzicht gegeven van de fosfaattoestand van de monsters. Teneinde een indruk te krijgen van de geëxtraheerde hoeveelheden fosfaat volgens de verschillende extractiemethoden zijn de analyse resultaten van Pw- en P-AL-getal omgerekend naar mmol P per kg grond resp. Pw' en P-AL'.

$$Pw' = \frac{Pw}{71 * \rho} \quad (\text{mmol kg}^{-1})$$

met ρ = dichtheid (g cm^{-3})

$$P-AL' = \frac{P-AL}{7,1} \quad (\text{mmol kg}^{-1})$$

De geëxtraheerde hoeveelheden fosfaat (in mmol kg^{-1}) zijn vervolgens uitgedrukt ten opzichte van P_{ox} om een indruk te krijgen van de relatieve extraheerbaarheid van de verschillende extractiemethoden (100%).

$$\left(\frac{P'_w}{P_{ox}} \right) * 100\% = (4,0 \pm 2,7)\%$$

$$\left(\frac{P_i}{P_{ox}} \right) * 100\% = (28,4 \pm 9,2)\%$$

$$\left(\frac{P'_{AL}}{P_{ox}} \right) * 100\% = (54,7 \pm 13,7)\%$$

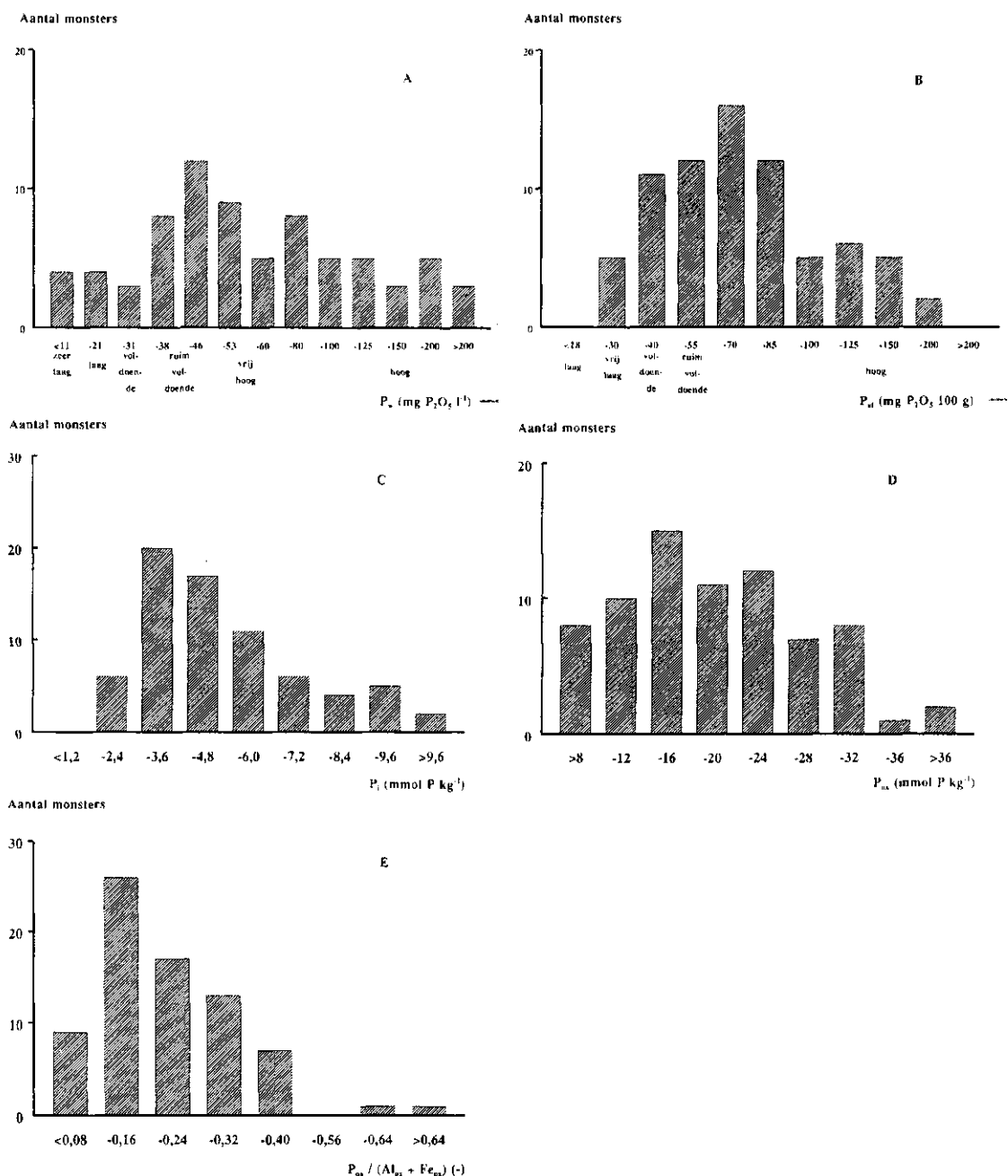


Fig. 2 *Overzicht van de geëxtraheerde hoeveelheid fosfaat volgens de verschillende extractiemethoden het Pw-getal (a), het P-AL-getal (b), P_i (c) en P_{ox} (d) en het quotiënt van oxalaatextraheerbaar fosfaat en de som van Al en Fe [$P_{ox}/(Al_{ox} + Fe_{ox})$] (e)*

Uit deze gemiddelde verhoudingen blijkt dat de geëxtraheerde hoeveelheid fosfaat toeneemt in de volgorde:

$$Pw' < P_i < P-AL' < P_{ox} \quad (\text{mmol kg}^{-1})$$

Ruwweg de helft van de hoeveelheid oxalaat extraheerbaar fosfaat wordt met een ammoniumlactaat geëxtraheerd, waaruit blijkt dat ammoniumlactaat een zwakker extractiemiddel is dan oxalaat. Er vanuit gaande dat met de infinite sink methode (P_i) uitsluitend de hoeveelheid volledig reversibel (geadsorbeerd) fosfaat wordt vrijgemaakt, blijkt dat ammoniumlactaat-azijnzuur in staat is nog een deel van het "irreversibel gebonden" fosfaat te extraheren.

Verder blijkt dat bij deze monsters, die rechtstreeks uit het veld komen dat ca. 28% van de hoeveelheid fosfaat potentieel desorbeerbaar fosfaat is. Van der Zee (1988) vindt bij monsters waaraan eerst fosfaat is toegediend (voor bezetting van alle adsorptie plaatsen) dat ca. 33% desorbeerbaar is.

Bij de bepaling van het Pw-getal wordt, zoals verwacht het minst fosfaat geëxtraheerd. Slechts 4% van de "totale" hoeveelheid fosfaat is direct beschikbaar. Uit aanhangsel 7 blijkt dat de fout (standaardafwijking) in Pw-getal bij waarden kleiner dan 30 sterk toeneemt. Omdat dit bij minder dan 15% van de monsters voorkomt is ook in deze gevallen met een duplo bepaling volstaan.

4.2 Onderlinge verbanden

De relatie tussen de fosfaatgehalten volgens verschillende fosfaatextractiemethoden is met behulp van lineaire regressie vastgesteld (uitgedrukt in basiseenheden). Vervolgens is nagegaan of de relaties verbeteren door het organische-stofgehalte, pH-KCl en het Al_{ox} - en Fe_{ox} gehalte in de analyse mee te nemen.

Pw-getal

Tabel 1 geeft een overzicht van de belangrijkste resultaten van de regressie-analyse.

Tabel 1 De coëfficiënten van (meervoudige) regressie-analyse om het Pw-getal te voorspellen

b_0	P_i	P-AL-getal	P_{ox}	V^2	
-38,08	35,13	-0,91		82,2	$\beta_0 + \beta_1 P_i - \beta_2 P-AL$
-38,36	22,35			79,4	$\beta_0 + \beta_1 P_i$
-21,18		1,335		61,6	$\beta_0 + \beta_2 P-AL$
			3,893	42,8	$\beta_0 + \beta_3 P_{ox}$

Uit de meervoudige regressie-analyse met de fosfaatgehalten als verklarende variabelen blijkt dat P_i de belangrijkste variabele is en P_{ox} geen significante bijdrage levert in de voorspelling van het Pw-getal (tabel 1). De regressie-analyse verslechtert nagenoeg niet indien het P-AL-getal achterwege wordt gelaten (percentage verklaarde variantie (V^2) daalt van 82% naar 79%).

Uit de volledige meervoudige regressie-analyse (incl. pH, percentage organische stof en $(Al+Fe)_{ox}$ -gehalte; resultaten niet weergegeven) blijkt dat er geen significante invloed is van het organische-stofgehalte. De pH heeft een geringe negatieve invloed. Door rekening te houden met de pH stijgt het percentage verklaarde variantie van 82% tot ca. 85%. Het regressiemodel verbetert minimaal door het Al- en Fe-gehalte op te nemen (V^2 stijgt tot 86%).

Uit de enkelvoudige lineaire regressie (tabel 1) blijkt het percentage verklarende variantie sterk daalt in de volgorde P_i , P-AL-getal, P_{ox} (van 79 naar 43%). De

slechte relatie die met P_{ox} gevonden wordt, stemt overeen met de resultaten van van der Zee (1988). Figuur 3 toont het verband tussen het P_w -getal en P_i .

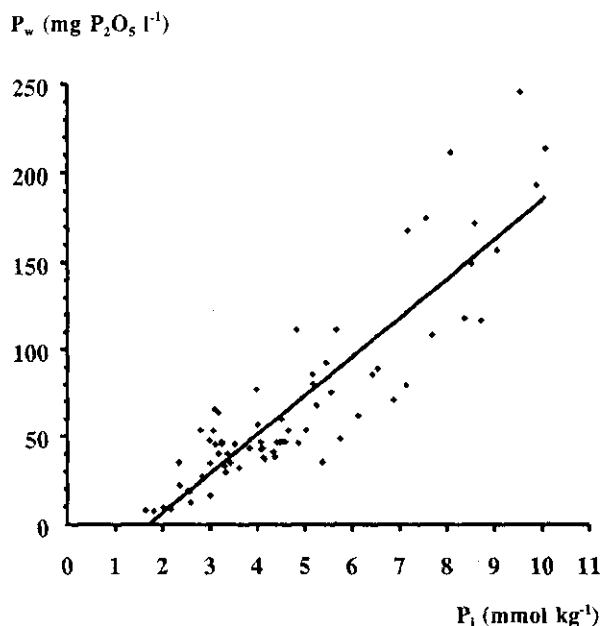


Fig. 3 Het verband tussen het P_w -getal en P_i

Lexmond et al. (1982) gaven een niet lineair verband weer tussen P_w -getal en $P_{ox}/(Al_{ox} + Fe_{ox})$ namelijk:

$$P_w = 429 * \left(\frac{P_{ox}}{Al_{ox} + Fe_{ox}} \right)^{1,20}$$

Indien op dezelfde wijze de hier verzamelde gegevens worden verwerkt wordt een minder steile lijn gevonden

$$P_w = 468 * \left(\frac{P_{ox}}{Al_{ox} + Fe_{ox}} \right)^{1,55} \quad V^2 = 63,2$$

Tevens blijkt dat het aannemen van een kromlijng verband niet voor de hand ligt aangezien hiermee een lager percentage verklaarde variantie wordt gevonden dan met een lineair verband:

$$P_w = -36,66 + 397,9 * \left(\frac{P_{ox}}{Al_{ox} + Fe_{ox}} \right) \quad V^2 = 65,4$$

P_i-gehalte

Tabel 2 geeft het overzicht van de (meervoudige) regressie-analyse voor de voorspelling van P_i.

Tabel 2 De coëfficiënten van (meervoudige) regressie-analyse om P_i te voorspellen

b ₀	P-AL- getal	Pw-getal P _{ox}	V ²
0,81	0,043	0,0155	95,1
0,48	0,064		89,4
2,34		0,0357	79,4
0,98		0,21	62,3

Bij de voorspelling van de hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat wordt met het Pw- en P-AL-getal als verklarende variabelen een zeer hoog percentage verklaarde variantie behaald (95,1%). Figuur 4 geeft daarvan een indruk door P_i als functie van P-AL-getal weer te geven voor verschillende Pw-getal-klassen.

Zowel het Pw-getal als P-AL-getal zijn sterk significant (t-waarde 9,0 en 14,9). Uit de volledige meervoudige regressie-analyse blijkt dat de pH, het percentage organische stof en het Al- en Fe- gehalte geen significante invloed hebben op de voorspelling van P_i. Enkelvoudige lineaire regressie levert een duidelijk lager percentage verklaarde variantie (tabel 2). De duidelijkste relatie wordt gevonden met P-AL-getal.

P_i (mmol kg⁻¹)

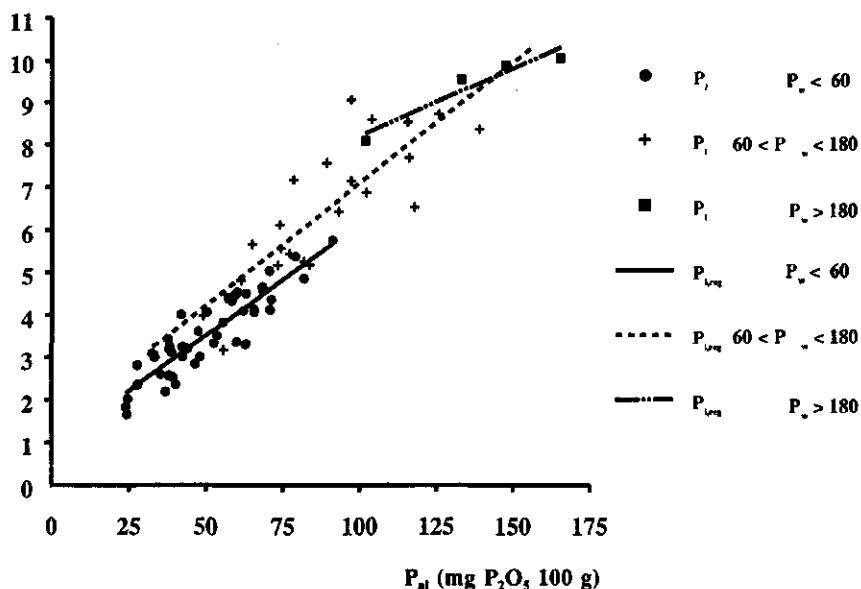


Fig. 4 Het verband tussen P_i en het P-AL-getal bij verschillende niveaus van Pw-getallen

P-AL-getal

Een overzicht van de belangrijkste resultaten van de regressie-analyse voor de voorspelling van het P-AL-getal is weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 De coëfficiënten van (meervoudige) regressie-analyse om het P-AL-getal te voorspellen

b_0	P_i	P_{ox}	Pw-getal	V^2
-7,33	15,54	0,56	-0,14	91,5
	14,1			89,6
		3,6		64,9
35,4			0,47	61,6

Evenals bij het P_i getal wordt ook bij het P-AL-getal een goede relatie gevonden bij de meervoudige regressie op basis van de overige fosfaatextractiecijfers (tabel 3). Zowel P_i , Pw-getal als P_{ox} zijn van significante invloed op de voorspelling van P-AL-getal. De t-waarde van de coëfficiënten is alleen groot voor P_i namelijk 10,8 (t-waarde voor het Pw-getal en P_{ox} is 3,1 resp. 2,5).

Het percentage verklaarde variantie daalt nagenoeg niet indien resp. P_{ox} en het Pw-getal worden geëlimineerd (V^2 daalt van 91,5 naar resp. 90,6 en 89,6), zodat een lineaire relatie tussen P-AL-getal en P_i wordt gevonden met een hoog percentage verklaarde variantie (figuur 5).

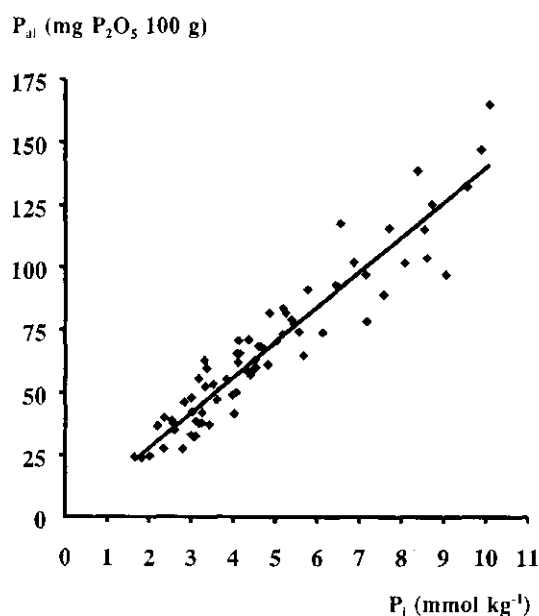


Fig. 5 Het verband tussen het P-AL-getal en P_i

Van de overige bodemvariabelen (pH, organische stof en aluminium- en ijzergehalte) wordt de voorspelfout in het P-AL-getal alleen geringer indien de pH als verklarende variabele (naast P_i en P_{ox}) wordt meegenomen ($V^2 = 93,4\%$).

P_{ox} -gehalte

De voorspelling van het oxalaat-extraheerbaar fosfaatgehalte op basis van de overige fosfaatextractiemethoden levert het laagste percentage verklaarde variantie. Tevens blijkt bij de meervoudige regressie-analyse dat het Pw-getal en P_i niet significant zijn zodat een enkelvoudig lineair verband ontstaat tussen P_{ox} en het P-AL-getal (tabel 4).

Tabel 4 De coëfficiënten van (meervoudige) regressie-analyse om P_{ox} te voorspellen

b_0	P-AL-getal	P_i	Pw-getal	V^2
4,14	0,21			65,9
3,8		3,0		62,3
11,3			0,1	42,7

Het feit dat met oxalaat-extraheerbaar fosfaat een relatief laag percentage verklaarde variantie wordt verkregen wordt veroorzaakt doordat oxalaat al het gebonden fosfaat uit de bodem extraheert terwijl de overige methoden slechts delen hiervan extraheren. Het resultaat van meervoudige lineaire regressie verbetert aanzienlijk indien uitgegaan wordt van een volledig model waarin ook de overige bodemkenmerken worden meegenomen ($V^2 = 86,9\%$). Met name het Al- en Fe-gehalte speelt een significante rol. Dit is logisch aangezien fosfaat hieraan sterk wordt gebonden.

$P_{ox} / (Al_{ox} + Fe_{ox})$

Voor de aanwijzing van gronden die gevoelig zijn voor fosfaatuitspoeling speelt niet alleen de totale hoeveelheid fosfaat een rol maar met name deze hoeveelheid in relatie tot de bindingscapaciteit van de bodem, welke gerelateerd is aan het oxalaatextraheerbaar aluminium- en ijzergehalte. Om deze reden is nagegaan in hoeverre de verhouding tussen P_{ox} en de som van Al_{ox} en Fe_{ox} voorspeld kan worden (tabel 5).

Tabel 5 De coëfficiënten van (meervoudige) regressie-analyse om $P_{ox} / (Al_{ox} + Fe_{ox})$ te voorspellen

b_0	P_i	P-AL-getal	Pw-getal	V^2
0,09		0,0017	0,0008	75,6
0,06	0,042			72,6
0,08		0,0028		69,7
0,15			0,0016	65,6

Uit de meervoudige regressie-analyse blijkt dat P_i geen significante bijdrage levert. Zowel het percentage organische stof als de pH-KCl leveren geen significante verbetering op. Het percentage verklaarde variantie van de enkelvoudige regressie-analyse daalt gering in de volgorde P_i , P-AL- en Pw-getal. De mate van fosfaatverzadiging van bodemmateriaal is redelijk gecorreleerd met het P-AL- en Pw-getal (V^2 varieert van 65 tot 70%).

5 HET VERBAND TUSSEN HET Pw- EN P-AL-GETAL, EN FOSFAATVERZADIGING

Gegeven de gevonden verbanden tussen de verschillende (fosfaat)extractiemethoden (hoofdstuk 4) is nagegaan in hoeverre de definitie van een fosfaatverzadigde grond te herschrijven is in termen van Pw- en P-AL-getal (paragraaf 5.2 en 5.3). Vervolgens is nagegaan hoe groot het areaal fosfaatverzadigde gronden is, uitgaande van het groot aantal gemeten Pw- en P-AL-getallen in de landbouwgebieden in het centraal, oostelijk en zuidelijk zandgebied (paragraaf 5.4).

5.1 Kritische waarden voor fosfaatverzadiging

Een perceel is fosfaatverzadigd indien het gemiddelde fosfaatgehalte vanaf het maaiveld tot aan de GHG groter is dan een kwart van het FBV van de bodem berekend vanaf het maaiveld tot aan de GHG (Van der Zee et al., 1990 a,b; Breeuwsma et al., 1990). Dit betekent als de fosfaatverzadigingsgraad gedefinieerd als (Breeuwsma et al., 1986),

$$FVG = \frac{P_{act,GHG}}{FBV_{GHG}} * 100 \quad (\%) \quad (1)$$

groter is dan 25 %.

met $P_{act,GHG}$ = actuele fosfaatgehalte (kg P_2O_5 ha⁻¹)
 FBV_{GHG} = fosfaatbindend vermogen (kg P_2O_5 ha⁻¹)

Kortom een perceel is "fosfaatverzadigd" als geldt:

$$P_{act,GHG} \geq 0,25 FBV_{GHG} \quad (2)$$

Het fosfaatbindend vermogen, uitgedrukt in mmol per kg wordt geschat op basis van het oxalaat extraheerbaar Al en Fe (Schoumans et al., 1986; Van der Zee et al., 1990 b) volgens:

$$FBV = 0,5 (Al_{ox} + Fe_{ox}) \quad (3)$$

De definitie van een fosfaatverzadigde grond kan nu herschreven worden tot:

$$\frac{\sum_{i=0}^{GHG} P_{ox,i} * LD_i * \rho_i}{\sum_{i=0}^{GHG} LD_i * \rho_i} \geq \frac{1}{4} * \frac{1}{2} * \frac{\sum_{i=0}^{GHG} (Al_{ox,i} + Fe_{ox,i}) * LD_i * \rho_i}{\sum_{i=0}^{GHG} LD_i * \rho_i} \quad (4)$$

met $P_{ox,i}$, $Al_{ox,i}$, $Fe_{ox,i}$ = oxalaat extraheerbare fosfaat, aluminium, ijzer (mmol kg⁻¹)

LD = laagdikte (m)

ρ = dichtheid (kg m⁻³)

i = laagnummer

De bouwvoor van cultuurland is ca. 20 tot 30 cm diep en mag homogeen verondersteld worden qua dichtheid en oxalaatextraheerbaar Al en Fe (ten gevolge van het regelmatig ploegen en scheuren). Voor natte zandgronden, met Gt III/V of III*/V*, geldt dat voor het zuivere deel van het kaartvlak de GHG 17 resp. 32 cm is (Van der Sluys, 1987). Voor deze gronden kan het fosfaatverzadigingscriterium herschreven worden tot:

$$\frac{\sum_{i=0}^{GHG} P_{ox,i} * LD_i}{\sum_{i=0}^{GHG} LD_i} \geq \frac{1}{8} * (Al_{ox} + Fe_{ox}) \quad (5)$$

Indien uitsluitend de hoeveelheid fosfaat, die in resp. de eerste 5 of 20 cm van de bodem opgeslagen is wordt meegenomen (zoals normaal bij de bemonstering van resp. P-AL- en Pw-getal gebeurt), wordt veelal een deel van de grond niet meegenomen dat volgens het criterium van een fosfaatverzadigde grond wel zou moeten (namelijk tot aan GHG). Als zou blijken dat reeds op basis van de hoeveelheid fosfaat in de eerste 5 (of 20) cm het perceel al fosfaatverzadigd is, dan is dit zeker het geval als de hoeveelheid fosfaat beneden deze diepte tot aan de GHG ook nog zou worden meegenomen. Kortom in formule is een nat perceel fosfaatverzadigd als geldt :

$$\frac{P_{ox,BD} * BD + \sum_{i=BD}^{GHG} P_{ox,i} * LD_i}{\sum_{i=0}^{GHG} LD_i} \geq \frac{1}{8} * (Al_{ox} + Fe_{ox}) \quad (6)$$

met BD = bemonsteringsdiepte (m)

Onder verwaarlozing van de hoeveelheid fosfaat beneden de bemonsteringsdiepte geldt:

$$\frac{P_{ox,BD} * BD}{GHG} \geq \frac{1}{8} * (Al_{ox} + Fe_{ox}) \quad (7)$$

Hieruit volgt :

$$\frac{P_{ox,BD}}{(Al_{ox} + Fe_{ox})} \geq \frac{1 * GHG}{8 * BD} \quad (8)$$

Bij een fosfaatbezettingsfractie (FBF) gedefinieerd als

$$FBF = \frac{P_{ox}}{(Al_{ox} + Fe_{ox})} \quad (9)$$

wordt de kritische fosfaatbezettingsfractie (FBF_{krit}), waarbij fosfaatverzadiging optreedt volgens het protocol voor een nat perceel

$$FBF_{krit} = \frac{1 * GHG}{8 * BD} \quad (10)$$

Uit de formules 1, 3 en 9 kan afgeleid worden dat de relatie tussen FBF en FVG is:

$$FVG = 200 * FBF (\%) \quad (11)$$

In tabel 6 is een overzicht gegeven van de kritische fosfaatbezettingsfractie (FBF_{krit}) voor natte gronden afhankelijk van de bemonsteringsmethode (Pw- of P-AL-getal).

Indien grasland niet regelmatig gescheurd wordt, ontstaan zeer hoge kritische fosfaatbezettingsfracties, omdat aangenomen is dat beneden de bemonsteringsdiepte van 5 cm geen fosfaat meer aanwezig is. In de praktijk zal deze situatie zich weinig voordoen, zodat op basis van deze berekening de werkelijke fosfaattoestand onderschat zal worden, waardoor de kritische FBF lager zal zijn.

Indien grasland regelmatig (bijvoorbeeld eens in de 5 jaar) gescheurd wordt (tot ca. 20-30 cm diep) mag verondersteld worden dat ook de hoeveelheid fosfaat waarschijnlijk redelijk homogeen over de ploegdiepte vermengd is, waardoor het gevonden fosfaatgehalte (P-AL-getal) voor een grotere diepte geldt (20 cm in plaats

van 5 cm). Hierdoor wordt de kritische fosfaatbezettingsfractie lager (tabel 6). Ehlert (1985) vond bij percelen waarbij niet recent drijfmest werd toegediend en opnieuw werd ingezaaid, dat het P-AL-getal van de laag 10-20 cm gering lager lag (ca. 20%) dan het P-AL-getal van de laag 0-5 cm. Dit gold zelfs voor percelen die tenminste 10 jaar niet gescheurd waren.

Tabel 6 Kritische fosfaatbezettingsfractie $[P_{ox} / (Al_{ox} + Fe_{ox})]_{krit}$ voor natte gronden in afhankelijkheid van bemonsteringsdiepte en ploegdiepte

Methode	Bemonsterings- diepte (cm-mv.)	Ploegdiepte (cm-mv.)	FBF _{krit} bij grondwatertrap	
			III/V	III*/V*
Pw	20	20	0,125	0,20
P-AL	5	n.v.t.	0,425	0,80
		20	0,125	0,20

5.2 Indicatie van de kritische waarden voor het Pw-getal en P-AL-getal

Fosfaatverzadigde gronden zijn gedefinieerd via $P_{ox}/(Al_{ox} + Fe_{ox})$ (formule 8). Tevens is er een relatie tussen $P_{ox}/(Al_{ox} + Fe_{ox})$ en het Pw- of P-AL-getal (tabel 5). Hiermee is het mogelijk fosfaatverzadiging voor natte gronden te definiëren via het Pw- en P-AL-getal

De relatie tussen $P_{ox}/(Al_{ox} + Fe_{ox})$ en het Pw-getal is als volgt:

$$\left(\frac{P_{ox}}{Al_{ox} + Fe_{ox}} \right) = 0,15 + 0,0016 * P_w\text{-getal} \quad (12)$$

Volgens vergelijking 10 is een nat perceel fosfaatverzadigd als geldt:

$$\left(\frac{P_{ox}}{Al_{ox} + Fe_{ox}} \right) \geq FBF_{krit} \quad \left(= \frac{1}{8} * \frac{GHG}{BM} \right)$$

Hieruit volgt dat een perceel fosfaatverzadigd is als geldt:

$$0,15 + 0,0016 P_w\text{-getal} \geq FBF_{krit} \quad (13)$$

Evenzo geldt voor P-AL-getal:

$$0,08 + 0,0028 P\text{-AL-getal} \geq FBF_{krit} \quad (14)$$

Opgemerkt moet worden dat deze relaties tussen $P_{ox}/(Al_{ox} + Fe_{ox})$ en het Pw- of P-AL-getal de gemiddelde situatie weergeven. Statistisch gezien geldt met 95% betrouwbaarheid dat:

$$0,15 + 0,0016 \text{ Pw-getal} \pm \epsilon_{\text{Pw-getal}} \geq \text{FBF}_{\text{krit}} \quad (15)$$

$$0,08 + 0,0028 \text{ P-AL-getal} \pm \epsilon_{\text{P-AL-getal}} \geq \text{FBF}_{\text{krit}} \quad (16)$$

Figuur 6 en 7 geeft het verband tussen resp. het Pw- en P-AL-getal en de verhouding $P_{ox}/(Al_{ox} + Fe_{ox})$ inclusief het betrouwbaarheidsinterval.

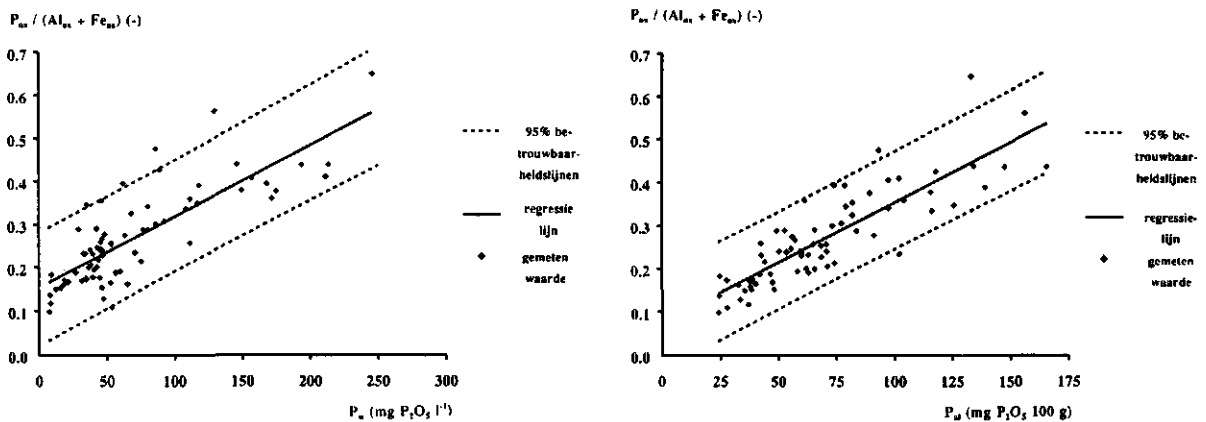


Fig. 6 en 7 Het verband tussen de fosfaatbezettingsfractie [$\text{FBF} = P_{ox}/(Al_{ox} + Fe_{ox})$] inclusief 95%-betrouwbaarheidsinterval en het Pw-getal (6) en het P-AL-getal (7)

Op basis van vergelijking 15 of 16 kan zowel met behulp van de regressielijn als op basis van het 95% betrouwbaarheidsinterval ($\approx 2 \cdot \text{standaardafwijking}$) aangegeven worden wat resp. de kritische Pw-getal (tabel 7) en P-AL-getallen (tabel 8) zijn.

Tabel 7 Kritisch Pw-getal (mg P₂O₅/l) waarbij natte bouwland percelen fosfaatverzaadigd zijn

Grond- watertrap	GHG ¹⁾	FBF _{krit}	P _{w,krit}	
	(cm-mv.)	(-)	schatting met regressielijn	ondergrens 95% betrouwbaarheidsinterval
III/V	17	0,125	< 10	61,5
III*/V*	32	0,2	28,8	106,5

1) Van der Sluys, 1987

Tabel 8 Kritisch P-AL-getal (mg P₂O₅/100 g) waarbij natte grasland percelen fosfaatverzaadigd zijn

Regelmatig geploegd tot 20 cm - mv.	Grond- watertrap	GHG ²⁾	FBF _{krit}	P _{al,krit}	
		(cm-mv.)	(-)	schatting met regressielijn	ondergrens 95%- betrouwbaarheids- interval
niet	III/V	17	0,425	124,9	165,5
	III*/V*	32	0,8	*1)	*1)
wel	III/V	17	0,125	17,8	56,8
	III*/V*	32	0,2	44,6	84,0

1) boven bovengrens regressie interval

2) Van der Sluys, 1987

In de tabellen 9 en 10 zijn de waardering van de fosfaattoestand opgenomen zoals deze wordt gehanteerd voor het bemestingsadvies van resp. het Pw-getal (bouwland) en het P-AL-getal (grasland).

Tabel 9 De waardering van het Pw-getal bouwland op zandgronden (naar CAD, 1989)

Waardering	Pw-getal
Zeer laag	<11
Laag	11/20
Voldoende	21/30
Ruim voldoende	31/45
Vrij hoog	46/60
Hoog	>60

Tabel 10 De waardering van het grasland P-AL-getal grasland op zandgronden (naar CAD, 1989)

Waardering	P-AL-getal
Laag	<18
Vrij laag	18/29
Voldoende	30/39
Ruim voldoende	40/55
Hoog	>55

Op basis van deze tabellen en figuur 6 en 7 kan voor gronden met grondwatertrap III en V onder bouwland of regelmatig gescheurd grasland geconcludeerd worden dat reeds bij een lage waardering (Pw-getal < 10 en P-AL-getal < 18) van de fosfaattoestand een perceel fosfaatverzaadigd kan zijn (schatting m.b.v. regressie-analyse). Om er zeker van te zijn (95% betrouwbaarheid) dat een dergelijk perceel fosfaatverzaadigd is moet de waardering van het Pw- en P-AL-getal resp. groter zijn dan 60 en 55 (afgeronde waarden).

Voor gronden met grondwatertrap III* en V* onder bouwland of regelmatig gescheurd grasland kan geconcludeerd worden dat bij een fosfaatwaardering voor van het Pw- en P-AL-getal van voldoende (Pw-getal ca. 30) en ruim voldoende (P-AL-getal ca. 45) het perceel fosfaatverzadigd kan zijn (schatting met behulp van regressie-analyse). Indien het Pw- of P-AL-getal van het perceel groter is dan ca. 105 en 85 (afgeronde waarden) is vrijwel zeker (95% betrouwbaarheid) dat deze percelen fosfaatverzadigd zijn.

Uit deze resultaten blijkt dat vooral bij ondiep ontwaterde gronden, waar de GHG 20 à 30 cm is, de bodem fosfaatverzadigd kan raken bij opvolging van het bemestingsadvies.

5.3 Indicatie van het areaal fosfaatverzadigde gronden op basis van het Pw- en P-AL-getal

Door DSM Agro B.V. (1988) zijn per landbouwgebied Pw- en P-AL-statistieken gepubliceerd (periode 1971/72 t/m 1986/1987). Op basis van de Pw- en P-AL-getallen per landbouwgebied voor het seizoen 1986/1987 (aanhangel 8 en 9) is de procentuele verdeling voor het centraal, oostelijk, zuidelijk en totale zandgebied berekend (figuur 8 en 9) volgens:

$$\% P_w (i) = \frac{\sum_{j=1}^n ([\% P_w (i)]_j * [\text{Opp. bouwland}]_j)}{\sum_{j=1}^n [\text{Opp. bouwland}]_j}$$

met i = klasse i
j = landbouwgebied

$$\% P_{al} (i) = \frac{\sum_{j=1}^n ([\% P_{al} (i)]_j * [\text{Opp. grasland}]_j)}{\sum_{j=1}^n [\text{Opp. grasland}]_j}$$

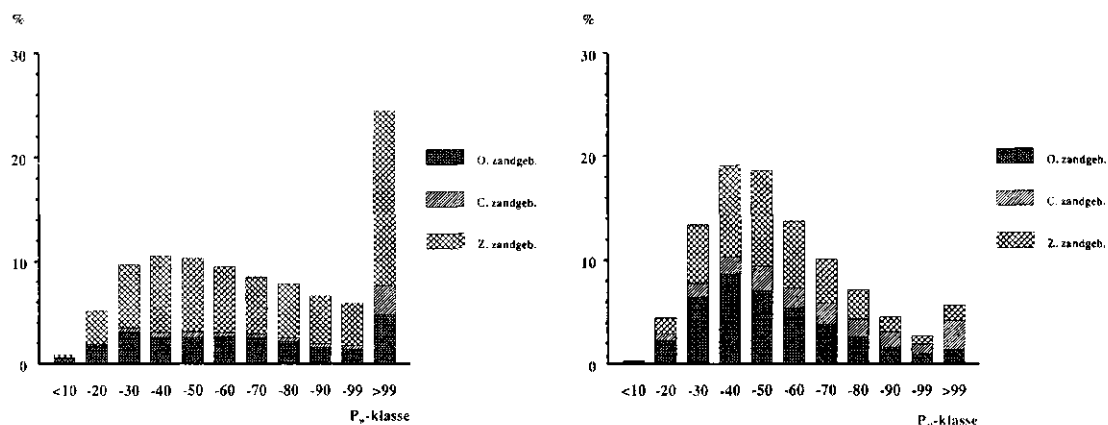


Fig. 8 en 9 Procentuele verdeling van het Pw-getal binnen het bouwlandareaal (8) en het P-AL-getal binnen het graslandareaal (9) van het totale zandgebied

De verdeling van het P-AL-getal is redelijk normaal (enigszins scheef) verdeeld binnen het totale zandgebied. Het overgrote deel van de grasland monsters (totaal aantal = 16365) krijgt de waardering voldoende of hoger (ca. 80%). In de praktijk is het areaal met deze fosfaattoestand waarschijnlijk zelfs nog groter omdat percelen met een hoge fosfaattoestand in verhouding niet zoveel worden bemonsterd als percelen met een lage bemestingstoestand. Het Pw-getal is min of meer uniform verdeeld over het traject 20 tot 110 mg P_2O_5 per liter. Ongeveer 25% van de bouwlandmonsters bezit een Pw-getal van 100 of hoger. Deze laatste klasse kan niet verder opgesplitst worden omdat de gegevens ontbreken. Meer dan 90% van de bouwlandmonsters heeft een fosfaattoestand ruim voldoende (Pw-getal > 30) of hoger. Naast Pw- en P-AL-getal statistieken is per landbouwgebied het areaal van de verschillende grondwatertrappen bekend. Deze Gt gegevens zijn verzameld in een studie naar de mate van fosfaatverzadiging van cultuurgronden (Breeuwsma en Schoumans, 1986). Hierbij is een overlay gemaakt van de bodemkaart met de topografische kaart. Aangezien een deel van de kaarten sterk verouderd zijn geeft dit geen goed beeld van de werkelijke situatie. Enerzijds wordt dit veroorzaakt doordat het bouwlandareaal is toegenomen ten koste van het graslandareaal waardoor bouwland meer dan in het verleden het geval was, ook op nattere gronden voorkomt; anderzijds is een deel van de natte gronden droger geworden in met name land-inrichtingsgebieden. De bovengenoemde gegevens (figuur 10 en 11) geven aan dat grasland veelal op natte gronden [II(*), III(*), V(*)] voorkomt en bouwland op de drogere gronden (IV, VI, VII, VII*).

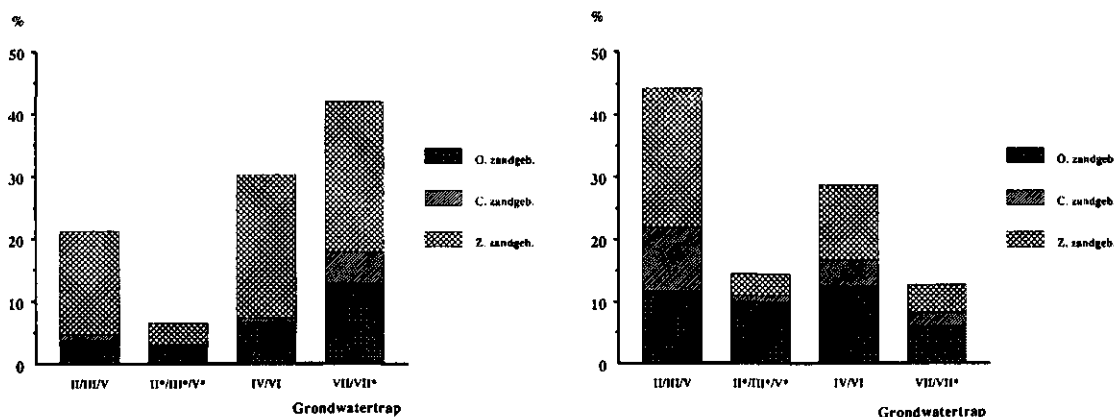


Fig. 10 en 11 Procentuele verdeling van de grondwatertrappen onder bouwland (10) en onder grasland (11)

Indien verondersteld wordt dat de verdeling van het Pw- en P-AL-getal onafhankelijk is van de grondwatertrap (kortom de gepubliceerde verdeling van het Pw-getal en het P-AL-getal geldt voor de verschillende grondwatertrappen), dan kan geschat worden welk areaal van de natte gronden fosfaatverzadigd is (tabel 11 en 12; figuur 12 en 13). Daarbij is tevens aangenomen dat de GHG-waarden van Van der Sluys (1987) ook voor kaartvlakken van toepassing zijn. Doordat de GHG van kaartvlakken door onzuiverheden gemiddeld lager is (Breeuwsma et al., 1990) wordt het areaal fosfaatverzadigde gronden op deze wijze overschat.

Tabel 11 Areaal fosfaatverzadigde natte bouwlandgronden geschat met behulp van gepubliceerde Pw-getallen en het kritische Pw-getal (95% betrouwbaarheidsinterval van de regressielijn en de regressielijn)

Gt	Totaal areaal (ha.)	95% betrouwbaarheidsinterval			Regressielijn		
		P _{w,krit}	Gekozen getab. P _{w,krit}	Fosfaatverz. areaal (% van Gt opp.)	P _{w,krit}	Gekozen getab. P _{w,krit}	Fosfaatverz. areaal (% van Gt opp.)
		(mg P ₂ O ₅ .l ⁻¹)		(ha) (%)	(mg P ₂ O ₅ .l ⁻¹)		(ha) (%)
III/V	43000	61,5	>60	23000 (53,5)	*	>30	36000 (83,7)
III*/V*	13000	106,5	>99	2500 (19,2)	28,9	>30	10000 (76,9)
	56000			25500 (45,5)			47000 (83,9)

* buiten ondergrens regressie interval

Tabel 12 Areaal fosfaatverzadigde natte bouwlandgronden geschat met behulp van gepubliceerde P-AL-getallen en het kritische P-AL-getal (95% betrouwbaarheidsinterval van de regressielijn en de regressielijn)

Gt	Totaal areaal (ha.)	95% betrouwbaarheidsinterval			Regressielijn		
		$P_{Al,krit}$	Gekozen getab. $P_{Al,krit}$	Fosfaatverz. areaal (% van Gt opp.)	$P_{Al,krit}$	Gekozen getab. $P_{Al,krit}$	Fosfaatverz. areaal (% van Gt opp.)
		(mg $P_2O_5 l^{-1}$)		(ha) (%)	(mg $P_2O_5 l^{-1}$)		(ha) (%)
III/V	164000	58,8	>60	54000 (32,9)	17,9	>20	157000 (95,7)
III*/V*	50700	85,8	>80	5300 (10,5)	44,6	>40	30000 (59,1)
	$\downarrow$			$\downarrow$			$\downarrow$
	214700			59300 (27,6)			187000 (87,1)

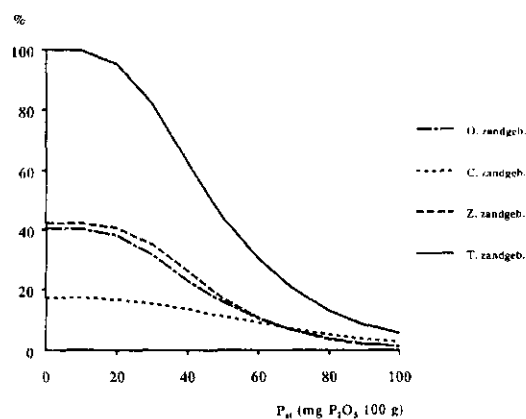
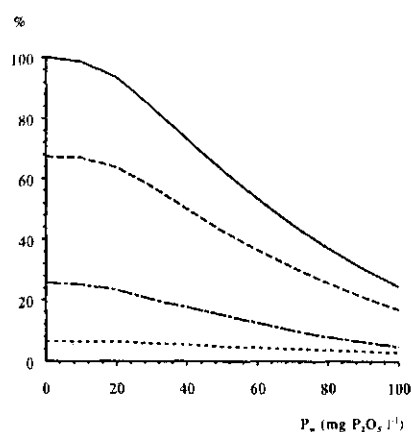


Fig. 12 en 13 Cumulatieve percentage van het bouwlandareaal als functie van het Pw-getal (12) en van het graslandareaal als functie van het P-AL-getal (13)

Voor de natte bouwlandgronden gezamenlijk (Gt III, V en III*, V*) kan geconcludeerd worden dat met 95% betrouwbaarheid maximaal 45% van deze gronden fosfaatverzadigd is. Op basis van de regressielijn blijkt 85% fosfaatverzadigd te zijn.

Het graslandareaal bestaat voor ongeveer 214 700 ha uit natte gronden (Gt III, V en III*, V*). Een schatting van het fosfaatverzadigingsareaal blijkt hier alleen mogelijk indien aangenomen wordt dat het graslandareaal regelmatig gescheurd wordt, waardoor een homogene bouwvoor van 20 cm ontstaat met betrekking tot

Al_{ox} , Fe_{ox} en P_{ox} . Onder deze aanname geldt dat met 95% betrouwbaarheid gesteld kan worden dat maximaal 33% van de gronden met Gt III of V en 11% van de gronden met Gt III* of V* fosfaatverzadigd is. In totaal betreft dit maximaal 28% van alle natte gronden (ca. 59 300 ha). Indien uitgegaan wordt van de regressielijn blijkt meer dan 87% van deze gronden fosfaatverzadigd te zijn (187 000 ha).

6 GEVOLGEN VOOR DE OMSCHRIJVING VAN EEN FOSFAATVERZADIGDE GROND

Het feit dat een grond fosfaatverzadigd kan raken wanneer de fosfaattoestand op een landbouwkundig gewenst niveau wordt gebracht is opmerkelijk. Dit gegeven, samen met een aantal kritische kanttekeningen die bij het protocol fosfaatverzadigde gronden zijn te plaatsen, noopt tot een nadere bezinning op het begrip fosfaatverzadiging.

De eerste kanttekening die bij het protocol kan worden gemaakt betreft de uitgangspunten die door de TCB (1990) zijn geformuleerd. De maximaal aanvaardbare fosfaatconcentratie in het grondwater (0,10 mg ortho-P per liter) is vrijwel gelijk aan de algemene kwaliteitsdoelstelling voor oppervlaktewater (0,15 mg totaal-P per liter) wanneer wordt aangenomen dat in grondwater ongeveer $\frac{1}{4}$ tot $\frac{1}{3}$ van het totaal fosfaat als organisch fosfaat aanwezig is (Steenvoorden et al., 1988). Door dit kwaliteitscriterium vervolgens te hanteren voor het (bovenste) grondwater op GHG niveau wordt geen rekening gehouden met de vastlegging beneden dit niveau en de lagere concentraties die daar heersen. Daardoor wordt in de praktijk een zekere veiligheidsmarge gehanteerd.

Dit kan met een rekenvoorbeeld worden geïllustreerd. Daarbij gaan we er vanuit dat extra verliezen van fosfaat uit de bouwvoor (boven de natuurlijke uitspoeling) bij landbouwkundig gebruik van de bodem niet zijn te voorkomen (Breeuwsma en Ehlert, in voorber.). Op basis van de kwaliteitsdoelstelling van 0,15 mg totaal-P per liter zou deze hoeveelheid gemiddeld per jaar niet meer dan ongeveer 0,5 kg P (ca. 1 kg P_2O_5) per ha mogen bedragen.

In tabel 13 is een schatting gemaakt van de snelheid waarmee het fosfaat zich onder deze omstandigheden door de bodem verplaatst.

Tabel 13 *Indringingssnelheid ($cm.jr^{-1}$) van anorganisch fosfaat in de bodem afhankelijk van uitspoelingsverlies en diepte^{1,2}*

Uitspoeling (kg P_2O_5 .ha.jr ⁻¹)	Concentratie (mg P.l ⁻¹)	Bovengrond ³⁾	Ondergrond ³⁾
0,67	0,10	0,019	0,034
1,0	0,15	0,014	0,076
2,0	0,30	0,010	0,077

1) aanname: blokfront

2) de concentratie in een onbelaste situatie is op 0,06 mg ortho-P per liter gesteld

3) ($Al_{ox}+Fe_{ox}$) is gelijk gesteld aan 80 en 15 mmol.kg⁻¹ in boven- resp. ondergrond

Daarbij is gebruik gemaakt van het model dat gehanteerd is in het protocol fosfaatverzadigde gronden (Van der Zee et al., 1990) en de aanname dat fosfaat zich ook bij lage fosfaatconcentraties als een blokfront door de bodem beweegt. Op deze wijze kan een indruk van de verplaatsingssnelheid worden verkregen. Uit tabel 13 blijkt dat de transportsnelheid in de bovengrond (A- en B-horizonten) bij

lage uitspoelingsverliezen vrijwel verwaarloosbaar is (ongeveer 0,01 cm per jaar). Ook in de permanent gereduceerde ondergrond (beneden de GLG) verloopt het transport nog zeer langzaam (minder dan 0,1 cm per jaar).

Uit deze gegevens blijkt dat wanneer een bodem volgens de huidige definitie tot aan de GHG verzadigd is, en de GHG zich in de bovengrond bevindt, het verticale transport beneden GHG niveau uiterst gering zal zijn wanneer er geen overdosering wordt toegepast. Voor de bescherming van de grondwaterkwaliteit zou uit dit oogpunt vaak met een minder scherp criterium kunnen worden volstaan.

Een tweede kanttekening betreft de aanname die in het model is gemaakt met betrekking tot het fosfaatprofiel. De berekening is gebaseerd op een blokfront zoals dat in een ongestoord profiel aanwezig zou zijn. In werkelijkheid bevindt het fosfaat zich door het ploegen gedeeltelijk op een grotere diepte dan in het protocol is aangenomen. Wanneer alleen hier rekening mee zou worden gehouden leidt dit juist tot een scherper criterium (Van der Zee, mond. med.).

De derde kanttekening heeft betrekking op het toegepaste model. Het protocol is gebaseerd op een 1-dimensionaal vertikaal transportmodel. Daardoor is er geen directe relatie met het transport naar het oppervlaktewater. In de praktijk vindt de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater vooral plaats bij hoge grondwaterstanden boven het GHG niveau, via de ondiepe afvoer door de fosfaatverzadigde bovengrond (Breeuwsma et al., 1989). De buffercapaciteit van de bodem beneden GHG niveau wordt daardoor minder benut dan bij vertikaal transport. De bovengenoemde veiligheidsmarge is daardoor in werkelijkheid kleiner. Bovendien zijn de concentraties in de laterale afvoer door de fosfaatverzadigde zone aanzienlijk hoger.

Het netto-resultaat van bovengenoemde veronderstellingen en uitgangspunten is niet bekend. Bij de vaststelling van de uitgangspunten voor het protocol door de TCB is er van afgezien een directe relatie te leggen met de kwaliteit van het oppervlaktewater omdat de relatie met fosfaatverzadiging moeilijker te kwantificeren is dan voor grondwater. Gezien de landbouw- en milieubelangen die op het spel staan (Breeuwsma en Ehlert, in voorber.) is er aanleiding alsnog een poging in deze richting te ondernemen om er zeker van te zijn dat dit tot vergelijkbare resultaten leidt.

7 CONCLUSIES

- De hoeveelheid fosfaat die uit zandgronden en moerige gronden geëxtraheerd kan worden middels verschillende extractiemethode neemt toe in de volgorde Pw-getal < P_i < P-AL-getal < P_{ox} en staat ongeveer in verhouding 4 : 28 : 55 : 100.
- De *meervoudige* regressie-analyse tussen de verschillende fosfaatextractie methoden levert voor zowel het Pw-getal, P_i als het P-AL-getal een hoog percentage verklaarde variantie. Het feit dat met oxalaat extraheerbaar fosfaat een relatief laag percentage verklaarde variantie wordt verkregen wordt veroorzaakt doordat oxalaat een relatief groot deel van het irreversibel gebonden fosfaat uit de bodem extraheert in tegenstelling tot de andere methoden (vooral Pw-getal en P_i). De volgende optimale modellen zijn gevonden:

$$\text{Pw-getal} = -38,08 + 35,13 P_i - 0,91 \text{ P-AL-getal} \quad V^2 = 82,2$$

$$P_i = 0,81 + 0,0155 \text{ Pw-getal} + 0,043 \text{ P-AL-getal} \quad V^2 = 95,1$$

$$\text{P-AL-getal} = -7,33 - 0,14 \text{ Pw-getal} + 15,54 P_i + 0,56 P_{ox} \quad V^2 = 91,5$$

$$P_{ox} = 4,14 + 0,21 \text{ P-AL-getal} \quad V^2 = 65,9$$

Ook de *enkelvoudige* lineaire regressie-analyse levert over het algemeen goede relaties tussen de verschillende fosfaatextractie methoden. Het percentage verklaarde variantie varieert veelal tussen de 60 en 90%.

- Er bestaat een redelijk verband tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AL-getal en de mate van fosfaatverzadiging $P_{ox}/(Al_{ox} + Fe_{ox})$ van het bodemmateriaal:

$$\frac{P_{ox}}{Al_{ox} + Fe_{ox}} = 0,08 + 0,0028 \text{ P-AL-getal} \quad V^2 = 69,7$$

$$\frac{P_{ox}}{Al_{ox} + Fe_{ox}} = 0,15 + 0,0016 \text{ Pw-getal} \quad V^2 = 65,6$$

Op basis hiervan kan voor natte gronden met grondwatertrap II, II*, III, III*, V en V* nagegaan worden of deze gronden "fosfaatverzadigd" zijn.

- Bouwlandpercelen met grondwatertrap II, III of V en een Pw-getal met een waardering hoog zijn fosfaatverzadigd (op basis van het 95% betrouwbaarheids-interval van de regressielijn). Ditzelfde geldt voor grasland percelen die regelmatig gescheurd zijn (homogene bouwvoor) en waarbij het P-AL-getal hoog is.

- Uitgaande van de regressielijn (in plaats van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de regressielijn) geeft aan dat ook bij een lagere fosfaatwaardering een duidelijke kans op fosfaatverzuuring bestaat.

Voor gronden met grondwatertrap (I, II) III of V lijkt normaal landbouwkundig gebruik (volgens bemestingsadvies) en het niet optreden van fosfaatverzuuring strijdig.

- Gebruikmakend van de gepubliceerde Pw- en P-AL-getallen per landbouwgebied in het centrale, oostelijke en zuidelijke zandgebied is een indicatie gegeven van het areaal ondiep ontwaterde gronden dat volgens de huidige definitie fosfaatverzuurd is. Met 95% betrouwbaarheid kan gesteld worden dat 47% van het natte bouwland areaal fosfaatverzuurd is. Dit percentage loopt op tot 84% op basis van de regressielijn. Voor regelmatig gescheurd ondiep ontwaterd grasland zijn deze percentages resp. 26 en 87%.

LITERATUUR

Beek, J., 1979. *Phosphate retention by soil in relation to waste disposal*. Wageningen, Landbouwniversiteit. Dissertatie.

Beek, J. en W.H. van Riemsdijk, 1982. Interaction of orthophosphate ions with soil. Uit: *Soil Chemistry. B. Physico-chemical models*. Ed. G.H. Bolt, 1979. Amsterdam, Elsevier.

Bodemkaart van Nederland. Schaal 1 : 50 000, 1978. Blad 17 West en 17 Oost. Wageningen, Stiboka.

Bodemkaart van Nederland. Schaal 1 : 50 000, 1988. Blad 16 West en 16 Oost. Wageningen, Stiboka.

Bodemkaart van Nederland. Schaal 1 : 50 000, (1990). Blad 22 West en 22 Oost. Wageningen, Stiboka.

Bodemkaart van Nederland. Schaal 1 : 50 000, 1979. Blad 34 West, 34 Oost en 35 West. Wageningen, Stiboka.

Breeuwsma, A., 1973. *Adsorption of ions on hematite (-Fe₂O₃)*. Wageningen, Landbouw-universiteit. Dissertatie.

Breeuwsma, A. en O.F. Schoumans, 1986. Ophoping en uitspoeling van fosfaat in de bodem van mestoverschotgebieden. *Bodembeschermingsreeks nr. 74*. Den Haag, Staats-uitgeverij.

Breeuwsma, A., E.J. Jansen en R. Visschers, 1987. *Fosfaatverzadiging en kopertoestand van bouwlandpercelen in de gemeente Ambt-Delden*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1896.

Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink, O.F. Schoumans, D.J. Brus en H. van het Loo, 1989. *Fosfaatbelasting van bodem, grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuivenbeek*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 10.

Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink, O.F. Schoumans, 1990. *Fosfaatverzadigde gronden in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 68.

Breeuwsma, A. en P.A.I. Ehlert, in voorber. *Fosfaatbemesting in relatie tot bodemvruchtbaarheid en milieudoelstellingen*. Voordracht voor het congres Mest en Milieu in 2000. Dienst Landbouwkundig Onderzoek, Wageningen.

CAD, 1989. *Adviesbasis voor bemesting van grasland en voedergrassen*.

Diest, A. van, 1981. *Bodemvruchtbaarheid*. Wageningen, Landbouwniversiteit. Dictaat.

Draper, N.R. and H. Smith, 1981. *Applied regression analysis*. 2e druk. New York, John Wiley & Sons.

DSM, 1988. *De fosfaattoestand van de landbouwgebieden 1971/72 tot en met 1986/1987*. Utrecht, DSM Agro afd. Markt- en Landbouwkundig onderzoek.

Égner, H., H. Riehm en W.R. Domingo, 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungl. Lantbr. Högsk. Ann.* 26, 199-215.

Ehlert, P.A.I., 1985. *Betekenis van de fosfaat- en kalitoestand van de onder de zoden gelegen bodemlagen voor de fosfaat- en kalivoorziening van grasland. 1. Proefplekken onderzoek op zandgrond*. Haren, Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Rapport 11-85, 32 p.

Enfield, C.G., T. Phan, D.M. Walters en E Roscoe Jr, 1981. Kinetic model for phosphate transport and transformation in calcareous soils: I. Kinetics of transformation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 1059-1064.

Haan, F.A.M. de, 1965. *The interaction of certain inorganic anions with clay and soils*. Wageningen, Landbouwniversiteit. Dissertatie.

Haan, F.A.M. de en P.J. Zwerman, 1978. Pollution in soil. Uit: *Soil Chemistry. A. Basic Elements*. Ed. G.H. Bolt en M.G.M. Bruggenwert. Amsterdam, Elsevier.

Houba, V.J.G., J.Ch. van Schouwenburg, I. Waling en I. Novozamsky, 1979. *Soil analyses II. Methods of analyses for soils*. Wageningen, Landbouwniversiteit. MSc-Course in Soil Science and Water Management.

Jansen, E.J. en R.A. Koning, 1986. *De bepaling van aluminium, ijzer en fosfaat in oxalaatextracten met ICP/AES*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1950.

Kroes, J.G., C.W.J. Roest, P.E. Rijtema en L.J. Locht, 1990. *De invloed van enige bemestingsscenario's op de afvoer van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater in Nederland*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 55.

Kuo S. en E.G. Lotse, 1972. Kinetics of phosphate adsorption by calcium carbonate and Ca-kaolinite. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36: 725-729.

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. *Bodembeschermingsreeks nr. 9*. Min. van Volksgezondheid en Milieuhygiëne. Den Haag, Staatsuitgeverij.

Lexmond, Th.M., W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1982. *Onderzoek naar fosfaat en koper in de bodem in gebieden met intensieve veehouderij*. Ministerie van VROM, Reeks Bodembescherming nr. 9, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Madrid, L. en P. de Arambarri, 1985. Adsorption of phosphate by two iron oxides in relation to their porosity. *Journal of Soil Science*, 36: 523-530.

Marsman, B.A. en J.J. de Gruijter, 1982. *Kwaliteit van bodemkaarten; Een vergelijking van karteringsmethoden in een zandgebied*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1714.

Menon, R.G., S.H. Chien, L.L. Hammond en J. Henao, 1989. Modified techniques for preparing paper strips for the new P_i soil test for phosphorus. *Fertilizer Research* 19: 85-91.

Montgomery, D.C. and E.A. Peck, 1982. *Measures of model adequacy to linear regression analyses*. New York, John Wiley & Sons Inc.

Murphy, J. en J.P. Riley, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27: 31-36.

Nederlands Normalisatie Instituut, 1989. *Bodem. Bepaling van de pH in grondmonsters*. NEN 5750. Delft

Oudendag, D., O.F. Schoumans en A. Breeuwsma, 1984. *Vereenvoudigingen in de bepaling van het fosfaatbindend vermogen*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1849.

Paauw, F. van der, H.A. Sissingh en J. Ris, 1971. *Een verbeterde methode van fosfaatextractie van grond met water: het Pw-getal*. Wageningen, Pudoc. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 749.

Prummel J., 1974. Veranderingen in het Pw-getal in de loop van de tijd en onder invloed van de bemesting. *Buffer* 20, 2: 21-36.

Riemsdijk, H.A.M. van, 1979. *Reaction mechanism of phosphate with $Al(OH)_3$ and a sandy soil*. Wageningen, Landbouwuniversiteit. Dissertatie.

Schoumans, O.F., W. de Vries en A. Breeuwsma, 1986. *Een fosfaattransportmodel voor toepassing op regionale schaal*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 1951.

Schoumans, O.F. en A. Breeuwsma, 1989. *Verkennd onderzoek naar het fosfaatbindend vermogen en de fosfaatverzadiging van de bodem in Drenthe*. Wageningen, STIBOKA. Rapport 2062.

Schwertmann, U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenern., Düngung u. Bodenk.* 105: 194-202.

Shaviv A. en N. Shachar, 1989. A kinetic-mechanistic model of phosphorus sorption in calcareous soils. *Soil Science* 148, 3: 172-178.

Sissingh, H.A., 1971. Analytical procedure of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. *Plant and soil* 34: 483-486.

Sluijs, P. van der, 1987. Grondwatertrappen. In: *Bodemnatuurkunde deel 1*; hoofdstuk 11, Red. W. Locher en H. de Bakker. Den Bosch, Malmberg.

Steenvoorden, J.H.A.M., W.A. de Boer, A. Breeuwsma en J.G.A. Reijerink, 1988. *Fosfaatuitspoeling uit een perceel met fosfaatverzadigde bovengrond*. Wageningen, ICW, Rapport 34, 63 p.

Steur, G.G.L. en W. Heijink, 1983. *Bodemkaart van Nederland, schaal 1 : 50000; Algemene begrippen en indelingen*. Wageningen, STIBOKA.

TCB, 1990. *Advies van de Technische commissie Bodembescherming ten behoeve van de hantering van het protocol fosfaatverzadigde gronden*. Advies aan de Minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

Zee, S.E.A.T.M. van der, 1988. *Transport of reactive contaminants in heterogeneous soil systems*. Wageningen, Landbouwniversiteit. Dissertatie.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1990a. *Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting*. Wageningen, Landbouwniversiteit.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1990b. *Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II: Technische uitwerking*. Wageningen, Landbouwniversiteit.

AANHANGSEL 1

Algemene gegevens van de bemonsterde percelen in de gemeenten Ruinen, Zuidwolde en Odoorn (naar Schoumans en Breeuwsma, 1989)

Perceel	Gemeente	Perceels- grootte (ha)	Huidig bodem- gebruik	Bodemeenheid ¹⁾ schaal 1 : 50 000	Gt-code ¹⁾ schaal 1 : 50 000
1-1	Zuidwolde	4	gras	zVz, zVc	II, II
1-2	Zuidwolde	3	gras	Hn23x	VI
2-1	Zuidwolde	6	mais	Hn23x	V
2-2	Zuidwolde	1,5	gras	Hn23x	V
3-1	Odoorn	3	aard	iWp	V*
3-2	Odoorn	4	bieten	iWp, iVz	V*, V*
4-1	Odoorn	6	bieten	iWp	V*, VI
4-2	Odoorn	5	aard	iVz, iWp	V*, V
5-1	Odoorn	6	bieten	iWp	V*
5-2	Odoorn	3	aard	iWp	V*
6-1	Zuidwolde	2	gras	dobbe, zVp	?, II
6-2	Zuidwolde	2	gras	Hn21	III, V*
7-1	Zuidwolde	1	gras	hVz	II*
7-2	Zuidwolde	2	gras	hVz, vWz	II*, III*
8-1	Zuidwolde	3	gras	zVzt, zWpx	II, III
8-2	Zuidwolde	3	gras	Hn23, Hn21	V, V*
9-1	Ruinen	?	?	Hn21	III
10-1	Ruinen	2	gras	fvWz, faVz	II,II
10-2	Ruinen	3	mais	fvWz	III
11-1	Ruinen	1,5	mais	vWz	II
11-2	Ruinen	2	gras	Hn23x	V, VI
12-1	Ruinen	2	gras	fvWz, pZn23	III, V
12-2	Ruinen	3	gras	Hn21, Hn21x	V, VI
13-1	Ruinen	3	gras	aVz	I
13-2	Ruinen	3,5	mais	zEZ23	VI, VII
14-1	Ruinen	3	gras	Hn21x, Hn23x	V, V
14-2	Ruinen	2,5	gras	Hn21x	V

1) afgeleid van de Bodemkaart schaal 1 : 50 000

AANHANGSEL 2

Bodemeenheid en grondwatertrap volgens de codering van de Bodemkaart, 1 : 50 000 (Steur en Heijink, 1983), zoals waargenomen bij de bemonstering in Ambt-Delden (naar Breeuwsma et al., 1987)

Perceel- nummer	Profielnummer				
	1	2	3	4	5
1	zEZ23-VII*	Zn21-V*	Hn21-V*	Zn21-VI	zEZ23-VII*
2	Hn21-V*	Hn21-V*	Hn21-V*	Hn21-V*	Hn21-V*
3	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII	zEZ23-VI
4	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	-
5	pZn21x-V	pZn21x-V	pZn21x-V	pZn21x-V*	pZn21x-V*
6	pZg23-III	pZg23-III	kpZg23-III	pZn21-V*	-
7	pZn23-VI	zEZ23-VII	zEZ23-VI	zEZ23-VI	cHn23-VI
8	zEZ23-VII	zEZ23-VII	zEZ23-VII	zEZ23-VII	zEZ23-VII
9	Hn21-V*	Zn21-V*	Hn21-V*	Hn21-III*	Hn21-V*
10	Hn21-VI	Hn21-VI	pZn21-III	Hn21-V*	Hn21-III
11	zEZ23-VII	zEZ23-VI	pZn23-VII*	cHn23-VI	zEZ23-VII
12	pZn23-V*	KX-V	pZn21x-V	pZn23x-V	pZn23x-V
13	zEZ23-V	pZn23-V	zEZ23-VI	zEZ23-V*	-
14	Hn21-V*	Hn21-V*	Hn21-V*	Hn21-V*	-
15	pZn21-III*	Hn21-V*	cHn21-V*	cHn21-V*	cHn21-V*
16	Hn21-III*	Hn21-III*	pZn21-III*	Hn21-V*	Hn21-III*
17	pZn21-V*	Hn21-V*	Hn21-V*	cHn21-V*	Hn21-V*
18	pZn21-III*	pZn21-III	pZn21-III	pZn21-III	pZn21-III
19	cHn21-VI	Hn21-VI	cHn21-VI	cHn21-VI	Hn21-VI
20	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	-	-	-
21	zEZ23-VII	zEZ23-VII	zEZ23-VII	-	-
22	zEZ23-VI	zEZ23-VI	cHn21-VI	zEZ23-VI	zEZ23-VI
23	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*
24	Hn21-VI	Hn21-VI	Hn21-V*	pZn21-V*	Hn21-VI
25	pZn21-VI	Hn21-V*	Hn21-VI	Hn21-VI	pZn21-V*
26	zEZ23-VI	zEZ23-VI	zEZ23-VI	zEZ23-VI	zEZ23-VI
27	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII	zEZ23-VII*	zEZ23-VII
28	Zn21-III*	Zn21-III*	pZg21-III*	Zn21-III*	pZn21-III*
29	Hn21-VI	Hn21-VI	Hn21-VI	Hn21-VI	Hn21-VI
30	pZn21-III	Hn21-III*	Zn21-III*	Hn21-VI	Zn21-III*
31	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	-
32	cHn21-V*	cHn21-V*	pZn21-V*	pZn21-V*	cHn21-III*
33	pLn5-VI	cHn23-VII	pZn23-VII	pZn23-VII	pZn23-VII
34	Hn21-VI	Hn21-VI	Hn21-VI	cHn21-VI	pZn21-VI
35	pZg21-III*	pZg23-III*	pZg23-III*	Zn21-V*	Zn21-III*
36	Hn21-VI	Hn21-VI	Hn21-VI	pZn21-VI	cHn21-VI
37	pZn21-V*	Hn21-VI	pZn21-VI	Hn21-VI	pZn21-VI
36	Hn21-VI	Hn21-VI	Hn21-VI	pZn21-VI	cHn21-VI
37	pZn21-V*	Hn21-VI	pZn21-VI	Hn21-VI	pZn21-VI
38	Hn21-VI	Hn21-V*	Hn21-V*	pZn21-V*	pZn21-III*
39	zEZ23-VII	zEZ23-VII	zEZ23-VII	zEZ23-VI	cHn23-V*

Vervolg aanhangsel 2

Perceel- nummer	Profielnummer				
	1	2	3	4	5
40	kpZg21-III	kpZg21-III	pRn59-III	pRn59-III	pZg21-III*
41	Hn21-VII	cHn21-VIIa	zWp-VII	Hn21-VI	Hn21-VII
42	Hn21-VI	Hn21-VI	Hn21-VI	Hn21-V*	Hn21-V*
43	zEZ23-VII*	zEZ23-VII	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*
44	zEZ23-VII*	zEZ23-VII*	pZn21-III*	pZn21-III*	zEZ23-VII*
45	Hn21-III*	Hn21-V*	Hn21-V*	pZn21-III*	pZn21-III*
46	Hn21-III*	Hn21-V*	Hn21-V*	Hn21-V*	Hn21-VI
47	zEZ23-VII	zEZ23-VII	zEZ23-VII	zEZ23-VII	zEZ23-VII

AANHANGSEL 3

Analyseresultaten van de bouwvoor van de bemonsterde percelen in Ruinen, Zuidwolde en Odoorn

Perceel- nummer	bg	zv	Bodem- eenheid	di	os	pH- KCl	P _{ox}	Al _{ox}	Fe _{ox}	P _{ox}	P _i	P-AL- getal	Pw- getal
				(g.cm ⁻³)	(%)	(-)	Al _{ox} +Fe _{ox} (-)	(mmol.kg ⁻¹)				(a)	(b)
101	g	v	zVz,zVc	1,19	5,8	5,1	0,259	19,4	12,2	8,2	3,2	42,3	45,5
102	g	z	Hn23x	1,38	5,3	4,2	0,176	45,8	11,0	10,0	3,1	38,9	45,0
201	m	z	Hn23x	1,18	6,5	5,0	0,117	89,3	8,3	11,4	2,2	36,9	8,5
202	g	z	Hn23x	1,25	5,4	4,4	0,290	49,1	13,7	18,2	3,3	52,7	29,5
301	b	v	iWp	1,20	6,3	4,3	0,128	46,4	6,3	6,8	3,0	33,4	47,5
302	b	v	iWp,iVz	1,00	8,4	5,1	0,153	37,9	13,9	7,9	3,2	38,3	46,5
401	b	v	iWp	1,14	5,5	5,2	0,172	38,5	9,1	8,2	3,4	37,6	35,0
402	b	v	iVz,iWp	0,84	7,8	4,7	0,174	18,5	16,9	6,2	2,3	27,8	35,0
501	b	v	iWp	1,03	7,0	5,1	0,177	37,0	10,5	8,4	3,2	38,0	40,0
502	b	v	iWp	1,09	6,9	4,6	0,164	30,1	7,8	6,2	3,1	32,6	53,0
601	g	v	dobbe,zVp	1,34	4,0	4,7	0,136	37,1	5,3	5,8	1,6	24,5	8,0
602	g	z	Hn21	1,21	6,2	4,7	0,291	32,9	17,8	14,7	4,1	65,6	42,5
701	g	v	hVz	0,84	11,4	5,0	0,247	24,9	34,6	14,7	3,8	55,5	43,0
702	g	v	hVz,vWz	0,68	15,5	5,2	0,342	19,4	45,2	22,0	7,2	97,3	80,0
801	g	v	zVzt,zWpx	0,94	10,5	4,4	0,162	35,5	7,1	6,9	3,1	32,9	65,5
802	g	z	Hn23,Hn21	1,22	4,4	4,0	0,257	44,1	4,7	12,5	5,7	64,9	111,5
901	-	z	Hn21	1,25	7,1	4,1	0,109	45,4	4,3	5,4	2,8	27,8	53,5
1001	g	v	fvWz,faVz	1,03	7,4	4,5	0,170	39,2	52,6	15,6	2,5	39,2	19,0
1002	m	v	fvWz	1,13	3,9	4,9	0,241	23,8	30,4	13,1	4,1	50,2	46,5
1101	m	v	vWz	1,25	3,8	5,5	0,183	15,3	10,8	4,8	2,0	24,7	9,5
1102	g	z	Hn23x	1,18	5,8	4,8	0,257	43,8	11,9	14,3	5,0	70,6	53,5
1201	g	v	fvWz,pZn23	0,97	9,2	5,1	0,098	26,1	101,3	12,5	1,8	24,0	7,5
1202	g	z	Hn21,Hn21x	1,15	6,8	4,9	0,169	56,2	14,6	11,9	3,6	47,4	32,0
1301	g	v	aVz	1,10	7,1	5,0	0,141	28,8	71,4	14,9	2,6	35,4	12,5
1302	m	z	zEZ23	1,19	8,6	5,3	0,278	28,7	99,5	35,7	5,8	91,2	48,5
1401	g	z	Hn21x,Hn23x	1,21	4,6	4,3	0,188	45,3	5,7	9,6	4,0	41,9	56,5
1402	g	z	Hn21x	1,24	6,5	4,7	0,194	63,9	11,4	14,6	4,3	58,4	41,0

bg = bodemgebruik (g = gras; b = bouwland; m = maisland; - = onbekend)

zv = z = zand; v = moerig/venig

di = dichtheid

os = organische-stofgehalte (%)

(a)= eenheid mg P₂O₅/100 g

(b)= eenheid mg P₂O₅.l⁻¹

AANHANGSEL 4

Analyseresultaten van de bouwvoor van de bemonsterde percelen in Ambt-Delden

Per- ceel nr.	Bodemeenheid	di	os	pH- KCl	P _{ox}	Al _{ox}	Fe _{ox}	P _{ox}	P _i	P _{al} getal	P _w getal
		(g.cm ⁻³)	(%)	(-)	Al _{ox} +Fe _{ox} (-)	(mmol.kg ⁻¹)				(a)	(b)
1	zEZ23,Zn21,Hn21	1,46	3,2	4,0	0,408	45,6	32,3	31,8	9,1	97,3	157,0
2	Hn21	1,31	2,7	5,7	0,395	31,7	9,6	16,3	6,1	74,0	62,0
3	zEZ23	1,37	5,6	4,6	0,267	26,1	57,3	22,2	4,4	57,2	46,5
4	zEZ23	1,29	5,8	4,5	0,307	24,2	59,5	25,7	5,4	77,2	92,5
5	pZn21x	1,36	5,2	4,7	0,346	32,0	43,4	26,0	5,4	79,0	35,5
6	pZg23,kpZg23,pZn21	1,34	4,3	6,2	0,152	43,9	61,7	16,0	3,0	48,1	16,0
7	pZn23,zEZ23,cHn23	1,51	5,0	5,6	0,563	28,8	40,6	39,1	-	156,0	129,5
8	zEZ23	1,39	4,9	4,0	0,394	23,0	36,0	23,2	7,2	78,5	168,0
9	Hn21,Zn21	1,35	3,7	4,7	0,336	69,5	8,7	26,3	7,7	116,1	108,5
10	Hn21,pZn21	1,31	4,8	4,8	0,228	56,2	12,6	15,7	4,6	68,5	47,0
11	zEZ23,pZn23,cHn23	1,41	4,8	4,4	0,237	51,2	48,8	23,7	4,5	60,2	47,0
12	pZn23,KX,pZn23,pZn23x	1,40	4,6	5,3	0,233	38,2	46,0	19,6	3,3	63,0	33,0
13	zEZ23,pZn23	1,34	5,3	4,7	0,254	35,0	52,1	22,1	4,7	68,3	53,5
14	Hn21	1,33	3,5	4,6	0,191	52,5	4,4	10,9	4,5	63,0	60,0
15	pZn21,Hn21,cHn21	1,28	5,6	4,5	0,214	65,5	7,1	15,5	5,6	74,3	75,5
16	Hn21,pZn21	1,41	3,5	5,5	0,231	40,3	10,8	11,8	3,4	59,9	40,0
17	pZn21,Hn21,cHn21	1,42	4,9	4,4	0,438	76,9	12,5	39,1	9,9	147,4	193,5
18	pZn21	1,39	3,5	5,7	0,427	36,9	17,6	23,2	6,1	117,8	89,0
19	cHn21,Hn21	1,34	5,2	5,6	0,391	63,6	8,8	28,3	8,4	139,0	118,0
20	zEZ23	1,46	4,6	3,7	0,359	27,3	44,0	25,6	4,8	61,3	111,5
21	zEZ23	1,48	4,0	3,8	0,289	30,2	40,2	20,4	4,0	49,1	77,0
22	zEZ23,cHn21	1,37	5,0	4,2	0,275	34,2	39,6	20,3	3,2	55,8	63,5
23	zEZ23	1,41	6,1	4,3	0,301	24,8	66,7	27,5	5,2	73,3	86,0
24	Hn21,pZn21	1,28	4,2	4,6	0,206	62,1	8,9	14,7	4,4	71,2	38,5
25	pZn21,Hn21	1,38	4,5	4,8	0,188	46,8	32,1	14,9	2,8	46,5	27,5
26	zEZ23	1,45	4,1	4,3	0,326	49,1	41,6	29,6	5,3	81,8	68,0
27	zEZ23	1,41	4,3	4,0	0,377	26,5	38,9	24,7	7,6	89,2	175,0
28	Zn21,pZg21,pZn21	1,46	2,6	5,0	0,355	31,0	18,9	17,7	4,9	81,8	46,0
29	Hn21	1,23	4,6	5,1	0,200	69,1	22,7	18,4	4,2	65,6	37,0
30	pZn21,Hn21,Zn21	1,53	3,0	5,2	0,241	52,2	20,2	17,5	4,1	70,8	38,0
31	zEZ23	1,43	5,3	3,7	0,411	27,4	49,0	31,4	8,1	101,8	211,5
32	cHn21,pZn21	1,48	3,5	4,8	0,242	37,4	57,3	22,9	4,5	59,4	46,5
33	pLn5,cHn23,pZn23	1,34	5,5	4,4	0,159	47,0	43,9	14,4	2,6	38,0	18,5
34	Hn21,cHn21,pZn21	1,43	5,1	5,0	0,349	60,5	23,0	29,1	8,7	125,7	117,0
35	pZg21,pZg23,Zn21	1,54	2,6	5,5	0,476	24,2	15,3	18,8	6,4	93,1	86,0
36	Hn21,pZn21,cHn21	1,40	4,9	4,6	0,235	87,9	10,4	23,1	6,9	102,2	71,0
37	pZn21,Hn21	1,49	2,6	4,6	0,649	31,7	8,9	26,3	9,6	132,8	245,5
38	Hn21,pZn21	1,47	3,5	4,5	0,379	48,9	14,2	23,9	8,5	115,6	149,5
39	zEZ23,cHn23	1,40	4,6	4,3	0,232	27,4	42,5	16,2	3,0	42,5	34,5
40	kpZg21,pRn59,pZg21	1,47	3,9	4,9	0,201	39,3	59,6	19,9	4,1	62,1	43,0
41	Hn21,cHn21,zWp	1,43	4,7	4,2	0,289	60,9	20,0	23,4	5,2	83,6	80,5
42	Hn21	1,46	3,4	5,5	0,439	57,7	8,7	29,1	10,1	165,3	213,5
43	zEZ23	1,42	5,5	4,4	0,360	29,5	56,9	31,1	8,6	103,9	172,0
44	zEZ23,pZn21	1,49	4,4	4,1	0,217	32,7	34,0	14,4	-	44,0	44,0
45	Hn21,pZn21	1,34	3,6	5,1	0,440	57,7	10,6	30,1	-	134,0	146,0
46	Hn21	1,48	2,9	4,4	0,166	41,8	14,1	9,3	2,4	40,2	22,0
47	zEZ23	1,26	6,4	4,2	0,239	24,4	49,4	17,6	3,5	53,5	45,5

AANHANGSEL 5 Voorschrift bepaling hoeveelheid desorbeerbaar fosfaat (P_i)

Afdeling Bodem- en Natuurbescherming
DLO-Staring Centrum

maart, 1990

1 Principe

Met behulp van geïmpregneerd ijzerhydroxide papier, dat een zeer hoge affiniteit voor fosfaat heeft, wordt fosfaat aan de bodem onttrokken,

Als een grondmonster, gesuspenseerd in een elektrolytoplossing, geschud wordt in aanwezigheid van ijzerhydroxide papier wordt het fosfaat dat van de grond desorbeert door het ijzerhydroxide papier geadsorbeerd. De fosfaatconcentratie in het elektrolyt blijft hierdoor zeer laag. Het ijzerhydroxide papier kan als "infinite sink" beschouwd worden,

2 Hulpmiddelen

Schudmachine (Bühler)
End over end rotor
Doseerpompen (hand) 25 en 50 ml
Analytische balans tot 0,1 mg nauwkeurig
pH - papier (pH 4,0 - 7,0) Merck
Filtreerpapier 589³ blauwband (S&S)
ICP-spectrofotometer
Polyethyleenflesjes 100 en 200 ml

Benodigdheden:

Filtreerpapier blauwband S & S Ø 15 cm (opp ±125 cm²) op maat gemaakt
Wijdmondspolyethyleenflesjes van 200 ml met papierhouder

3 Reagentia

Kaliumchloride	- KCl (p.a.)
Natriumfosfaat (primair)	- NaH ₂ PO ₄ ·H ₂ O (p.a.)
Kaliumfosfaat (primair)	- KH ₂ PO ₄ (p.a.)
Ijzerchloride	- FeCl ₃ ·6H ₂ O
Ammonia	- NH ₃ OH 25% (p.a.)
Zwavelzuur	- H ₂ SO ₄ gec. 95-97%(s.g.=1,84 g ml ⁻¹) (p.a.)
Zoutzuur	- HCl gec. 37% (s.g.= 1,19 g ml ⁻¹)(p.a.)
Ammoniumoxalaat	- NH ₄ C ₂ O ₄ ·H ₂ O (p.a.)
Oxaalzuur	- C ₂ H ₂ O ₄ ·2H ₂ O chem. zuiver
Demi-water	- gedemineraliseerd water

Oplossingen:

- 1 *NH₄-oxalaatoplossing pH 3* : Weeg 32,22 gram ammoniumoxalaat en 21,85 gram oxaalzuur in en breng dit in een maatkolf van 2 liter. Vul aan tot de streep met demi-water en homogeniseer. Bewaar de oplossing in de koelkast (niet langer dan een week)
- 2 *Zure ijzerchloride oplossing (0,37 M)* : los 100 gram ijzerchloride op in 110 ml geconcentreerde HCl (37%) en verdun met demi-water tot 1 liter
- 3 *5% Ammonia-oplossing* : Verdun een 25% ammonia oplossing 5 maal met demi-water
- 4 *0,2 M Zwavelzuur* : Verdun 21,1 ml geconcentreerd zwavelzuur (95-97%) met demi water tot 2 liter
- 5 *Elektrolytoplossing (0,01 M kaliumchloride)* : Los 1,4912 gram kaliumchloride op in 2 liter demi-water

Standaarden:

- *Moederstandaard* : 2000 ppm Fe, 2000 ppm Al, 326,3 ppm P met 5 ml H₂SO₄ in 1000 ml demi-water (titrisol standaarden)
- *Meetstandaard* : 200 ppm Fe, 200 ppm Al, 32,63 ppm P, moederstandaard 10x verdunnen in 0,2 M H₂SO₄

4 Werkwijze

A. Bereiding van het ijzerhydroxidepapier:

- Verzadig het filtreerpapier met de zure ijzerchloride - oplossing (2)
- Laat het papier uitdruppelen en drogen
- Haal het papier in één ononderbroken beweging door een bad met 5% ammonia-oplossing (3)
- Spoel het papier af met demi-water, nadat het bruin verkleurd is en veeg losse ijzerhydroxideprecipitaten af
- Hang het papier te drogen

B. Schudexperiment:

- Rol het ijzerhydroxidepapier om de houder en bevestig deze met de filterklem (zie figuur)
- Weeg 1 g monster af in het flesje
- Voeg 100 ml elektrolytoplossing (5) toe
- Draai het deksel met het ijzerhydroxidepapier in de houder op het flesje
- Roteer het geheel end over end gedurende 16 uur bij 30 rpm

C. Fosfaat vastgelegd door ijzerpapier:

- Deksel met filterhouder en ijzerhydroxidepapier verwijderen, afspoelen met demi-water via blauwband filter over glazen trechters (Ø 10 cm) op kolven van 500 ml
- Het ijzerhydroxide papier van de filterhouder halen en overbrengen in een 200 ml polyethyleen flesje
- Toevoegen 100 ml 0,2 M zwavelzuur (4)
- Roteren end over end bij 30 rpm gedurende 4 uur

- Vloeistof affiltreren over een blauwband filter in een polyethyleenflesje van 100 ml
- Meet de fosfaatconcentratie met de spectrofotometer (Murphy en Riley, 1962)

5 Berekening

$$el = \left[\frac{st}{st_{gem}} * elu - \frac{st}{st_{gem}} * blelu \right] * \frac{ml}{gr * Mel}$$

met :

st_{gem} = gemiddelde standaard voor en na het monster of de blanko

el = elementgehalte (mmol/kg grond)

st = standaardconcentratie (P = 32,63 ppm P; Al = 200 ppm Al;
Fe = 200 ppm Fe)

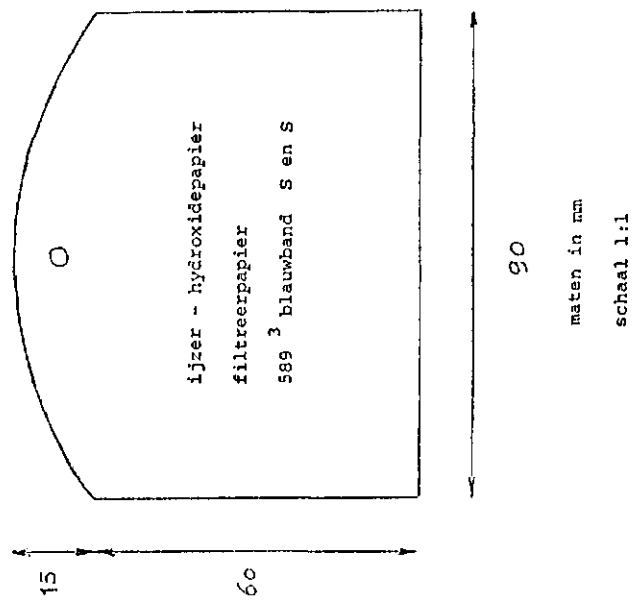
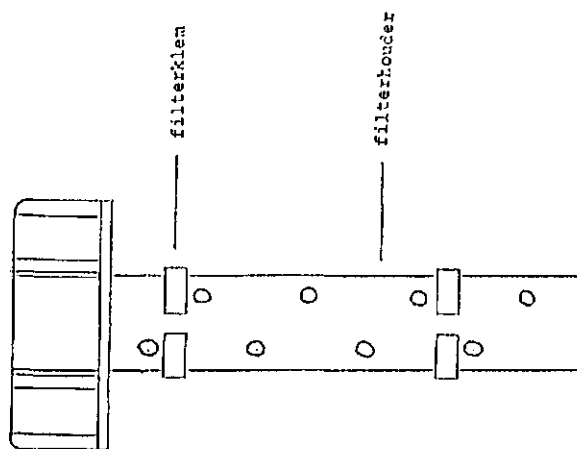
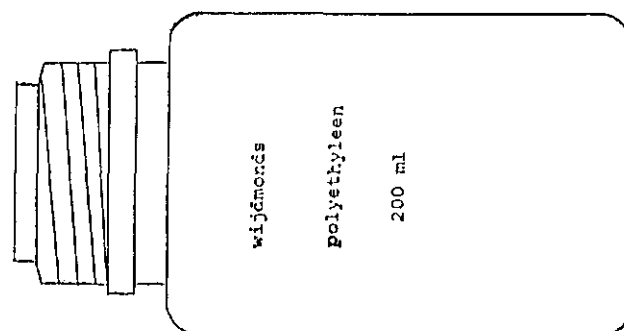
elu = ICP elementuitslag

$blelu$ = gemiddeld blanco ICP elementuitslag

ml = aantal ml toegevoegde oplossing (100 ml)

gr = ingewogen gram monster

Mel = molgewicht (P = 30,98; Al = 26,97; Fe = 55,85)



AANHANGSEL 6 Statistische begrippen bij lineaire regressie-analyse

a) restvariantie σ^2 (= variantie van y bij vaste waarden van $x_1 \dots x_n$) wordt geschat door:

$$\hat{\sigma}^2 = s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-m} = \frac{SS_{\text{residual}}}{df} = MS_{\text{res}}$$

De wortel hieruit geeft een schatting van de onverklaarde spreiding in y:

$$\hat{\sigma} = s = \sqrt{MS_{\text{res}}}$$

met df = degrees of freedom = aantal vrijheidsgraden

n = aantal waarnemingen

m = aantal verklarende variabelen in het model

y_i = gemeten y bij waarneming i

$\hat{y}_i$ = regressie y

SS = sum of squares (kwadraatsom)

MS = means of squares ("gemiddelde" kwadraatsom)

Een $100 * (1-\alpha)\%$ betrouwbaarheidsinterval voor de voorspelling van een willekeurig nieuw object met $(x_{o1}, x_{o2}, \dots, x_{om})$ wordt als volgt berekend:

$$\hat{y}_o \pm t_{\alpha, n-m-1} * \sqrt{MS_{\text{res}} + \text{var}(\hat{y}_o)}$$

Voor enkelvoudige lineaire regressie analyse wordt dit:

$$e = t_{\alpha, n-m-1} * \text{s.e.} = t * \sqrt{MS_{\text{res}} \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right]}$$

b) (meervoudige) correlatiecoëfficiënt (R).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \frac{SS_{\text{reg}}}{SS_{\text{tot}}} = \frac{SS_{\text{tot}} - SS_{\text{res}}}{SS_{\text{tot}}} = 1 - \frac{SS_{\text{res}}}{SS_{\text{tot}}}$$

met $\bar{y}$ = gemiddelde y

$$R = \sqrt{R^2}$$

De correlatiecoëfficiënt zal niet worden gebruikt omdat de waarde hiervan automatisch toeneemt naarmate het model met meer variabelen wordt uitgebreid. R^2 zal ook toenemen als men x-variabelen in het model opneemt die geen relatie hebben met y. ($SS_{res} [= \sum (y_i - \hat{y}_i)^2]$ nadert tot nul als het aantal parameters (m) nadert tot n-1). In plaats van R^2 zullen we V^2 gebruiken omdat V^2 hiermee wel rekening houdt.

c) percentage verklaarde variantie (percentage variance accounted for = V^2)
 $V^2/100$ wordt ook wel adjusted coefficient of determination genoemd (R_{adj}^2)

$$V^2 = \frac{S_{tot}^2 - S_{res}^2}{S_{tot}^2} * 100\% = (1 - \frac{S_{res}^2}{S_{tot}^2}) * 100\%$$

$$\text{met } S_{tot}^2 = \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \frac{SS_{tot}}{n-1} = MS_{tot}$$

$$S_{res}^2 = \frac{1}{n-m-1} * \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \frac{SS_{res}}{n-m-1} = MS_{res}$$

$$S_{reg}^2 = \frac{1}{m} * \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 = \frac{SS_{reg}}{m} = MS_{reg}$$

Kortom:

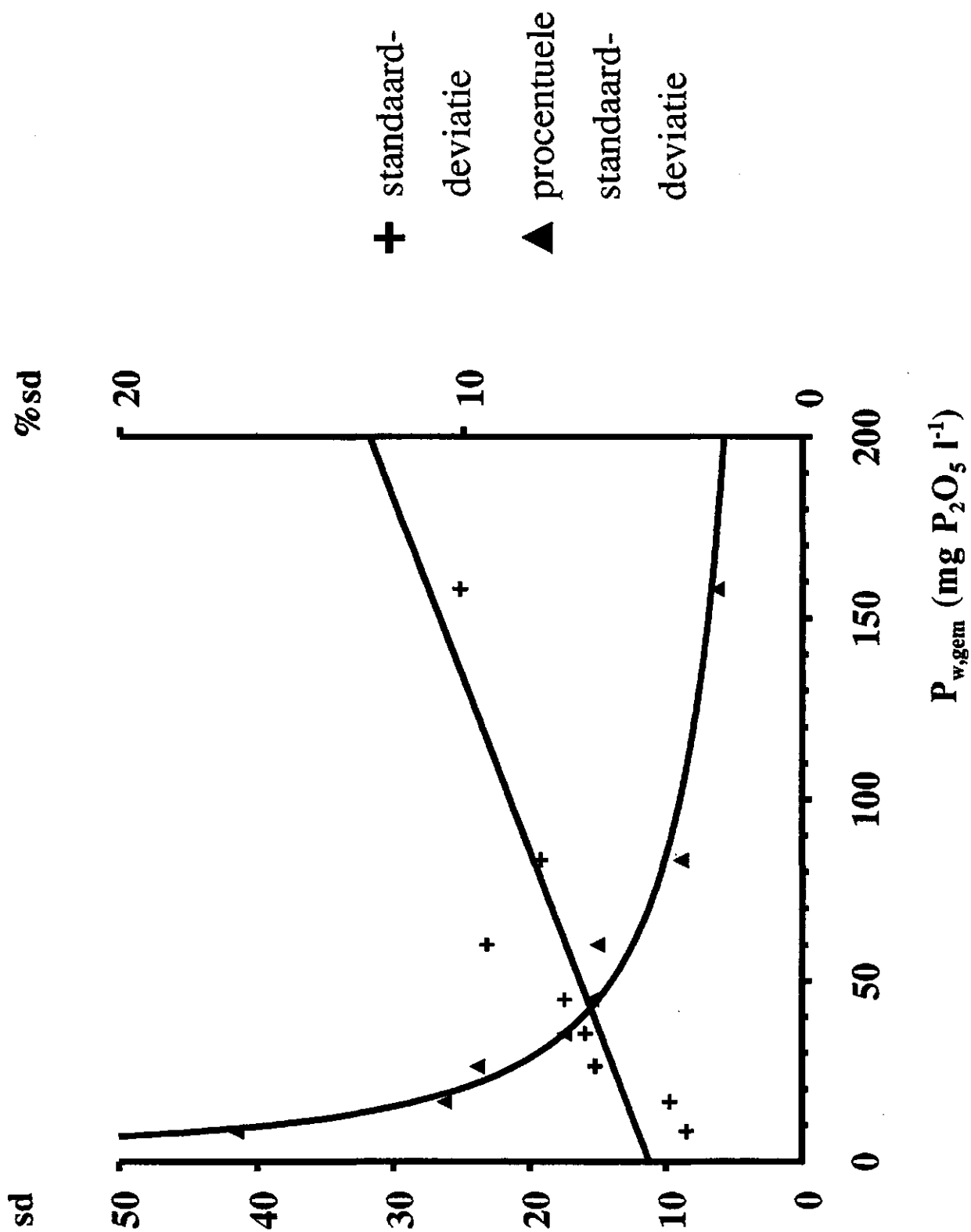
$$V^2 = 100\% * R_{adj}^2 = (1 - \frac{MS_{res}}{MS_{tot}}) * 100\%$$

De relatie tussen V^2 en R^2 kan als volgt worden weergegeven:

$$V^2 = 100\% * R_{adj}^2 = 1 - (\frac{n-1}{n-m}) (1 - R^2) * 100\%$$

AANHANGSEL 7

De betrouwbaarheid van de bepaling van het Pw-getal



AANHANGSEL 8

De verdeling van het Pw-getal in de landbouwgebieden van het centraal, oostelijk en zuidelijk zandgebied voor het seizoen 1986, 1987 (DSM Agro, 1988)

Landbouwgebied	Aantal monsters	Pw-getal verdeling											
		< 10	10/19	20/29	30/39	40/49	50/59	60/69	70/79	80/89	90/99	> 99	mediaan
Salland en Twente	738	3	8	15	10	10	10	10	8	5	5	12	54
Noordelijke Achterhoek	825	1	6	7	9	9	10	9	9	8	7	26	69
Zuidelijke Achterhoek	440	1	5	8	12	12	10	9	9	6	5	24	62
Oude IJssel-gebied	60	0	0	13	7	3	12	8	5	8	5	33	83
Noordelijke Veluwe	21	5	5	5	5	14	19	0	5	10	0	33	58
Westelijke Veluwe	188	1	1	2	4	3	3	2	5	5	7	66	103
Oostelijke Veluwe	134	0	2	10	8	13	5	13	6	8	4	31	69
Veluwezoom	204	0	3	17	20	14	5	10	6	5	4	16	37
Zandgebied	24	0	8	0	8	8	17	4	8	8	4	33	76
Heuvelrug	46	0	0	9	7	17	9	4	11	4	11	28	74
Rijk van Nijmegen	32	0	9	3	3	6	0	0	13	3	13	50	100
Land van Bergen op Zoom	39	0	8	21	15	13	3	8	8	3	5	18	45
Noordwestelijke zandgrond	339	1	5	11	18	18	13	8	7	6	3	10	48
Land van Breda	322	1	7	15	11	11	12	8	7	5	5	17	54
Westelijke Kempen	805	1	7	10	11	10	7	6	7	6	6	29	67
Meijerij	1165	1	10	13	14	11	9	8	6	5	5	19	51
Oostelijke Kempen	1031	1	5	11	13	11	10	9	9	7	5	20	59
Noordelijk Peelgebied	585	0	2	8	9	10	11	10	8	9	6	27	70
Zuidelijk Peelgebied	357	0	2	6	8	10	6	7	10	6	5	38	82
Land van Cuyk	59	0	0	5	12	7	12	10	9	5	3	37	74
Westelijk Noord-Limburg	754	0	4	7	9	11	10	7	7	6	7	33	73
Noordelijke Maasvallei	589	0	2	5	9	8	9	9	9	11	9	29	79
Land van Montfort	288	0	3	5	7	9	11	14	9	10	10	20	71

AANHANGSEL 9

De verdeling van het P-AL-getal in de landbouwgebieden van het centrale, oostelijke en zuidelijke zandgebied voor het seizoen 1986, 1987 (DSM Agro, 1988)

Landbouwgebied	Aantal monsters	P-AL-getal verdeling												Mediaan
		< 10	10/19	20/29	30/39	40/49	50/59	60/69	70/79	80/89	90/99	>99		
Salland en Twente	2467	1	7	19	24	17	12	8	5	3	2	3	40	
Noordelijke Achterhoek	3312	0	4	13	18	18	15	12	8	5	3	4	48	
Zuidelijke Achterhoek	1149	0	4	10	19	18	16	11	8	6	3	5	49	
Oude IJssel-gebied	124	0	2	15	17	20	15	10	12	6	3	1	48	
Noordelijke Veluwe	108	0	12	15	14	21	13	9	5	8	2	1	44	
Westelijke Veluwe	825	0	1	4	6	8	9	10	11	11	8	32	81	
Oostelijke Veluwe	399	1	8	16	13	18	13	13	9	4	3	4	47	
Veluwezoom	93	2	0	1	17	23	23	16	9	7	1	2	53	
Zandgebied	441	0	3	5	12	15	13	14	8	10	6	13	61	
Heuvelrug	122	0	0	4	9	12	2	18	21	8	6	9	67	
Rijk van Nijmegen	38	0	0	16	13	26	8	13	5	8	3	8	48	
Land van Bergen op Zoom	15	0	0	7	60	7	13	7	7	0	0	0	37	
Noordwestelijke zandgrond	358	0	2	14	29	25	13	7	5	2	2	1	42	
Land van Breda	657	0	2	13	21	22	15	11	8	3	3	2	46	
Westelijke Kempen	1181	0	3	14	19	22	17	11	7	3	1	3	46	
Meijerij	1801	0	5	12	19	19	18	10	7	4	2	3	47	
Oostelijke Kempen	1491	0	3	14	24	25	15	9	5	2	1	2	44	
Noordelijk Peelgebied	856	0	2	8	17	22	17	13	10	4	2	4	51	
Zuidelijk Peelgebied	383	0	3	11	18	22	12	13	10	4	3	3	48	
Land van Cuyk	42	0	2	24	19	29	10	2	10	2	0	2	42	
Westelijk Noord-Limburg	301	0	3	15	17	19	15	10	7	5	3	7	48	
Noordelijke Maasvallei	151	0	12	17	25	21	9	5	1	3	1	5	38	
Land van Montfort	51	0	6	20	29	28	12	6	0	0	0	0	38	