

Grasproductie sterk fosfaat fixerende gronden



Colofon

Uitgever:

Praktijkonderzoek Rundvee,
Schapen en Paarden (PR)
Runderweg 6, NL-8219 PK Lelystad
Telefoon 0320 - 293 211
Fax 0320 - 241 584
E-mail info@pr.agro.nl.
Internet <http://www.agro.nl/pr/>

Redactie:

Sectie Voorlichtingszaken PR

Niets uit dit rapport mag zonder overleg
met het Praktijkonderzoek
worden overgenomen
Nadruk verboden © PR-Lelystad

ISSN 0169-3689

Eerste druk 2000/oplage 175

Dit rapport is verkrijgbaar door storting
van f 25,- op Rabobank nr. 11.25.54.989
van het Praktijkonderzoek PR te Lelystad
met vermelding van: Rapport nr. 191

Referaat

Grasproductie van sterk fosfaat fixerende gronden.
A.P. Wouters. (PR-rapport 191)/ Trefw.: verliesnormen,
fosfor, lage fosfaattoestand, ijzerhoudend grasland.
P-beschikbaarheid, fosfaatfixerende gronden



Grasproductie sterk fosfaat fixerende gronden

A.P. Wouters

Samenvatting

Via een literatuurstudie is nagegaan of er behoefte is voor het ontwikkelen van een systeem waarmee grasland in Nederland kan worden ingedeeld naar de mate waarin de gronden fosfaat fixeren en de gevolgen daarvan voor de grasproductie. De verwachting is namelijk dat aanscherping van de verliesnormen (het betrekken van de aanvoer van kunstmestfosfaat in de MINAS regelgeving) leidt tot aanzienlijke opbrengstderving vooral op gronden waar een sterke vastlegging van fosfaat plaatsvindt. Fosfor is een essentieel element voor plantengroei. Bij een zeer lage fosfaattoestand op grasland leidt het verbeteren van de fosfaatvoorziening tot een vergroting van het wortelstelsel. Dit leidt tot een betere uitstoeling en diepere beworteling, het opheffen van gebrekverschijnselen, een grotere grasproductie en hogere reserves (hogere gehalten in het gras). Voor ongestoorde groei is minimaal 0,2-0,3 % P in de vegetatieve delen nodig. De behoefte van vee in het rantsoen varieert van 3-ruim 4 gr per kg ds. In principe leggen alle gronden fosfaat vast, maar vanwege een (zeer) hoog gehalte aan Fe en Al vindt op sommige gronden meer en snellere vastlegging plaats. In landbouwkundige zin zijn gronden fosfaatfixerend. Een gift aan fosfaat resulteert niet in een verhoging van de fosfaattoestand van de grond als er zeer weinig fosfaat beschikbaar is voor plantengroei. Fosfaatfixerende gronden in Nederland worden nog steeds onderscheiden op basis van het gehalte aan ijzer oplosbaar in 10 % HCL oplossing. Sterk ijzerhoudende gronden komen voor op broekveengronden in Drenthe, beekerd gronden in Overijssel en op rivierklei.

In de jaren vijftig en begin jaren zestig zijn er veel bemestingsproeven aangelegd op ijzerhoudend grasland. De resultaten van deze proeven lieten zien dat hoewel de grond sterk fosfaatfixerend was de opbrengstreactie van de eerste snede vaak niet zo groot was dan men op basis van de lage fosfaattoestand zou verwachten. Proeven die een sterke opbrengstreactie op fosfaatbemesting te zien gaven hadden als kenmerk een zeer laag gehalte aan P in het onbemeste gras. De totale P-opname per ha per jaar was minder dan 6 kg/ha, terwijl op deze proefvelden de opbrengstverhoging bij een jaarlijkse bemesting van 100 kg P_2O_5 /ha varieerde van 36-81 %. P-beschikbaarheid heeft ook invloed op de botanische samenstelling. Drie van de vijf proefvelden die zeer sterk reageerden op fosfaatbemesting hadden een slechte botanische samenstelling die verbeterde door fosfaatbemesting. Een duidelijke relatie tussen het ijzergehalte en opbrengstreactie in de eerste snede kon niet worden vastgesteld. Voorraadbemesting (het in één keer sterk verhogen van de fosfaattoestand van de grond door een grote fosfaatgift) leidde niet tot betere resultaten dan een jaarlijkse gift aan het begin van het groeiseizoen. Verdeling van de jaarlijkse gift gedurende het groeiseizoen leidde niet tot hogere opbrengsten, maar gaf wat hogere P-gehalten in het gras tijdens de zomer. Stalmest gaf op ijzerhoudend grasland geen betere resultaten te zien dan kunstmestfosfaat. Bemesting volgens het advies gaf ook op ijzerhoudend grasland de beste resultaten.

De algemene conclusie van deze literatuurstudie is dat bemesting volgens het advies nog steeds de beste oplossing is voor fosfaatfixerende (ijzerhoudende) gronden en er lijkt dan ook geen reden voor het speciaal onderscheiden van deze gronden. Fosfaatfixerende gronden zijn gekenmerkt door een laag P-AL getal. De opbrengstreactie op fosfaatbemesting zal sterk afhangen van de mate waarin P-gebrek zich manifesteert. Het P-gehalte in het onbemeste gras lijkt daarvoor op ijzerhoudend, sterk fosfaat fixerend grasland. Dit is een betere indicator voor P-gebrek dan het P-AL getal. Indien dit sterk fosfaat fixerend grasland suboptimaal wordt bemest dan zal opbrengstderving optreden die echter naar verwachting in dezelfde mate zal optreden op niet sterk ijzerhoudend grasland met een lage P-AL.

Summary

The need for developing a system to distinguish soils according to their phosphate fixing ability and the consequences for grass production has been explored by means of a literature study. It is expected that more restrictions regarding the standards for phosphate losses (like to include the input of phosphate fertiliser in the mineral balance legislation) will lead to considerable yield depressions especially on grassland, where a strong fixation of phosphate occurs.

Phosphorus is an essential element for plant growth. Improvement of the phosphate availability on soils with a very low P-status leads to an enlargement of the rooting system (resulting in better tillering and deeper rooting), vanishing of P-deficiency symptoms, an increase of grass yield and higher reserves in the plant (higher P-contents). For undisturbed growth, at least 0.2-0.3 % P is needed in the vegetative parts. Ration requirements for dairy cattle in the Netherlands vary from 3 to more than 4 mg phosphorus per kg dry matter.

In principle, all soils fix phosphate. However, because of high Fe and Al contents, some soils fix phosphate more and faster than others. From agricultural point of view, soils are strongly phosphate fixing if a dressing with phosphate does not result in an improvement of the phosphate status of the soil and if very little phosphate is available for plant growth. Phosphate fixing soils in the Netherlands have been and still are being distinguished based on the content of iron solved in 10 % HCL solution. Iron rich soils can be found on peat soils in the province of Drenthe, on sandy soils along streams (province of Overijssel) and on river basin clay soils.

During the fifties and early sixties, many fertiliser trials have been established on grassland on iron rich soils. Results of these trials showed that despite the fact that these soils were phosphate fixing soils, yield response in the first cut was often less than one would expect based on the low P-status of these soils. Trials with a strong response on phosphate fertilisation had as characteristic a very low P-content in the herbage. Total P-uptake per ha per year was less than 6 kg, while the yield increase in the first cut after application of 100 kg P_2O_5 /ha/year varied from 36-81 %. P-availability has also an effect on the botanical composition. Three of the five trial fields where a high response to P fertiliser was recorded, had a poor botanical composition. The botanical composition improved after fertilisation. A clear relation between iron content in the soil and the yield response in the first cut could not be established. Stock fertilisation (increasing P-status by applying large quantities of P at once) did not give better results than a yearly application at the beginning of the growing season. Application of farmyard manure on iron rich grassland did not give better results than application of P fertiliser. It proved that application of P according to the fertiliser recommendations gave also the best results on iron rich grassland. For that reason no more efforts have been made to distinguish soils based on iron content and P-availability. The general conclusion of this literature review is that fertilisation according to recommendations is still the best advice for strongly phosphate fixing soils. The yield response on strongly phosphate fixing soils will depend very much on the degree of P-deficiency. P-content in the unfertilised herbage seems to be a better indicator of P-availability than P-Al. If grassland on strongly phosphate fixing soils will be fertilised in a sub-optimal way, a yield depression will occur which, however, is of similar magnitude as on less phosphate fixing soils with a low P-status.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Fosfaat in bodem en plant	2
	2.1 Fosfaat in bodem	2
	2.2 Fosfor in plant.....	2
3	Grondonderzoek naar beschikbaarheid van fosfaat	4
	3.1 Methoden voor meten beschikbaarheid van P voor gewasgroei.....	4
	3.2 Methoden voor het bepalen van P-fixatie	4
	3.2.1 Definitie van P-fixatie	4
	3.2.2 Bepalingmethoden voor P-fixatie	4
4	Resultaten van veldproeven op ijzerhoudend (fosfaat fixerend) grasland	6
	4.1 Algemeen	6
	4.2 Opzet van proeven op fosfaat fixerend grasland.....	6
	4.2.1 Proeven voorlichtingsdienst begin jaren vijftig (Prummel, 1961).....	6
	4.2.2 Proef op ijzerhoudend laag veengrasland (Prummel, 1957)	6
	4.2.3 Veldproeven op beekdal gronden, moerige gronden en veengrasland eind vijftiger jaren (Prummel, 1974)	6
	4.2.4 NMI proeven in jaren tachtig (Van Til en Den Boer, 1984, 1985 &1986).....	7
	4.3 Resultaten.....	7
	4.3.1 Proeven voorlichtingsdienst begin jaren vijftig (Prummel, 1961).....	7
	4.3.2 Proef op ijzerhoudend laag veengrasland (Prummel, 1957)	7
	4.3.3 Veldproeven op beekdal gronden, moerige gronden en veengrasland eind vijftiger jaren (Prummel, 1974)	8
	4.3.4 NMI proeven in jaren tachtig (Van Til en Den Boer, 1984, 1985 &1986).....	13
5	Discussie en conclusies	14
	Literatuur	16
	Bijlagen	18
	Bijlage 1 Grafieken gebaseerd op data Prummel (1974)	18
	Bijlage 2 List of tables and figures.....	23

1 Inleiding

In de komende jaren zullen de verliesnormen voor fosfaat worden aangescherpt. Als de aanvoer van kunstmest fosfaat ook wordt opgenomen in de MINAS regelgeving, in samenhang met scherpere verliesnormen, kan dat negatieve gevolgen hebben voor de grasopbrengst. Tenzij reparatiebemesting blijft toegestaan. De verwachting is dat deze aanscherping juist op gronden waar een sterke vastlegging van fosfaat plaatsvindt, leidt tot opbrengstderving. Op dit moment ontbreekt het aan een eenduidige indeling voor gronden die in sterke mate fosfaat vastleggen en een daarop toegesneden fosfaatbemestingsadvies en verliesnormen.

Het doel van deze literatuurstudie is om na te gaan of er perspectief is voor het ontwikkelen van een systeem waarmee grasland in Nederland kan worden ingedeeld naar de mate waarin de gronden fosfaat fixeren en de consequenties daarvan voor de grasproductie.

Aan de hand van met name Nederlandse onderzoeksresultaten is in dit rapport een overzicht gegeven van de rol van fosfaat in bodem en plant, definities van fosfaat bindend vermogen en fosfaatfixatie (hoofdstuk 2). Verder zijn op basis van literatuur mogelijkheden van grondonderzoek besproken om de mate waarin gronden fosfaat vastleggen vast te stellen (hoofdstuk 3). De resultaten van proeven met fosfaatbemesting op grasland dat de fosfaat sterk vastlegt, op de opbrengst, kwaliteit en botanische samenstelling staan beschreven in hoofdstuk 4. Het rapport is afgerond met een hoofdstuk (5) discussie en conclusies.

2 Fosfaat in bodem en plant

2.1 Fosfaat in bodem

Fosforgehalten in de verschillende grondsoorten zijn van nature laag: 0,01 - 0,1 gewichtsprocenten van de grond. De fosfaten die in de bodem voorkomen zijn meestal afkomstig van apatiet, het meest voorkomende fosfaatmineraal in het moedermateriaal van de bodem. Natuurlijke aanrijking vindt plaats in gebieden waar veel grondwater opkwelt ("ijzerrijke gronden"). Met het grondwater wordt ijzer en fosfaat meegevoerd naar de lagere delen waar het opkwelt en waar het ijzer met fosfaat in geoxideerde toestand neerslaat (Schoumans, 1995). Op veengronden kan verrijking met fosfaat plaatsvinden door een relatief grote mineralisatie van organische stof.

Fosfaat komt in de bodem in verschillende vormen voor. Een zeer klein gedeelte bevindt zich in de bodemoplossing (0,1 kg per ha in de bouwvoor). Een grotere hoeveelheid P is geadsorbeerd fosfaat (tientallen tot honderden kg P per ha). Een groot gedeelte van de P (1500 kg P of meer per ha in de laag 0-25 cm) is aanwezig in vaste fase (chemische neerslagen en mineralen), het zogenaamde stabiele fosfaat (Jansen B.H., 1995). Tussen het geadsorbeerd fosfaat aangeduid als labiel fosfaat en de fosfaat in bodemoplossing vindt voortdurend uitwisseling plaats. De beschikbaarheid van P voor plantengroei hangt dus mede af van de hoeveelheid labiel fosfaat en de ad-/desorptie mechanismen.

Fosfaat dat door bemesting aan de bodem wordt toegediend kan op verschillende manieren in de bodem worden vastgelegd (Schoumans, 1995) namelijk:

- micro kristallijnen Al- en Fe (hydr)oxiden
- Al en Fe gebonden aan organische stof
- Al en Fe gebonden aan kleideeltjes,
- randen van klei mineralen
- kalk

De belangrijkste factoren die de vastlegging beïnvloeden zijn de pH, fosfaat concentratie en reactie tijd. Het fosfaatbindend vermogen van een grond geeft aan hoeveel fosfaat kan worden vastgelegd als stabiel fosfaat. In kalkloze zandgronden blijkt dat het maximaal fosfaatbindend vermogen redelijk gecorreleerd is met de reactiviteitsfractie Al en Fe die in het monster aanwezig is (oxalaat extraheerbaar Al en Fe).

Het fosfaatbindend vermogen neemt toe naarmate de grondwaterstand dieper wordt. Binnen een bepaalde grondwater trap hangt het fosfaatbindend vermogen af van het bodemtype. Verloop en hoogte van de AL en Fe- gehalten bepalen dan de verschillen tussen bodemeenheden (Schoumans, 1995).

Gronden die van nature een hoog gehalte hebben aan Al en Fe zullen mede afhankelijk van de grondwaterstand een groot fosfaatbindend vermogen hebben.

2.2 Fosfor in plant

Jansen B.H. (1995) heeft in zijn voordracht voor de Nederlandse Vereniging voor Weide- en Voederbouw een overzicht gegeven van de functies van fosfaat in de plant. Fosfor komt in verschillende vormen in de plant voor en vervult verschillende functies. Zo speelt fosfor een rol in de energiestofwisseling en de eiwitsynthese en is een bestanddeel van de nucleïne zuren (bouwstenen van de genen) en van de zaden. De directe reactie van planten op een verbetering van de fosfaatvoorziening uit zich in de verschijnselen zoals verwoord in tabel 1.

Tabel 1 Directe reactie van planten op een verbetering van de fosfaat voorziening (Jansen, B.H, 1995)

Uitgangstoestand	Nieuwe toestand	Direct effect op plant
Zeer arm	Matig	Vergroting van wortelstelsel tot maximale omvang
Matig	Voldoende	Stimuleren van bovengrondse groei Opheffen van gebreksverschijnselen
Voldoende	Zeer hoog	Verhogen van fosfaat reserves in plant

Indirecte effecten van het verbeteren van de fosfaattoestand van grasland zijn een betere botanische samenstelling doordat P minnende soorten zoals Engels raaigras een betere concurrentie positie krijgen. Door de vergroting van wortelstelsel is een betere uitstoeling in het voorjaar mogelijk en een diepere beworteling.

Een P-gehalte van 0,2-0,3 in de droge stof van de vegetatieve delen en 0,4-0,5 % in de zaden is het minimum voor een optimale groei (Jansen, B.H., 1995).

Vanuit landbouwkundig oogpunt wordt op grasland gestreefd naar een voldoende voorziening van fosfaat zodat geen gebreksverschijnselen meer optreden en een bedrijfseconomische grasproductie mogelijk is. Daarbij wordt echter ook gestreefd naar een P-gehalte van 0,4 % in de ds van weidegras. Dit streefgehalte hangt samen met de behoefte in het rantsoen van melkvee variërend van ruim 4 g P per kg ds in het begin van de lactatie van hoogproductief vee tot 3 g P per kg ds aan het eind van de lactatie, waarbij het laatste aan de ruime kant is (Van Vliet en Bruins, 1995). Behalve de voorziening met weidegras zal zeker in het begin van de lactatie krachtvoer ook een belangrijke bron zijn van P voor het dier. Eventuele tekorten kunnen in principe worden gecorrigeerd door krachtvoer. Extra aanvoer van P via krachtvoer staat echter haaks op de MINAS doelstelling het P-overschot op het bedrijf te verminderen.

3 Grondonderzoek naar beschikbaarheid van fosfaat

3.1 Methoden voor meten beschikbaarheid van P voor gewasgroei

Wereldwijd zijn er verscheidene methoden (extractie methoden) ontwikkeld om de fosfor/fosfaat die in de bodem beschikbaar is voor plantengroei vast te stellen. In 1937 vergeleken De Vries et al. verschillende extractie middelen. Fosfaat geëxtraheerd met 1 % citroenzuur (P-citroen) en fosfaat geëxtraheerd met een waterig extract (P-getal) gaven goede correlaties met gewas reacties van verschillende gewassen (Agterberg & Henkens, 1995). In 1951 kwam men tot de conclusie dat het P-getal naast het P-citroen geen extra informatie opleverde en P-citroen werd de standaard. In 1958 is overgegaan op P-AL (extractie met ammonium lactaat (0,1N) en azijnzuur (0,4 N)) voor het bepalen van de fosfaat toestand van grasland omdat dit laboratorium technische voordelen had boven de P-citroen bepaling. P-AL had bovendien nog als extra voordeel dat het humusgehalte geen invloed had op de hoeveelheid geëxtraheerd fosfaat, terwijl dit bij P-citroen wel het geval was. (Agterberg en Henkens, 1995).

Sinds 1958 geldt de P-AL uitgedrukt in mg P₂O₅ per 100 gram grond in de laag 0-5 cm op grasland als de maat voor de fosfaattoestand van het grasland. Op bouwland wordt gebruik gemaakt van P-w getal (P geëxtraheerd met een waterig oplossing en intensief schudden in een ruime verhouding grond water (1:60)). Beide methoden bepalen de hoeveelheid fosfaat die in de bodemoplossing aanwezig is en een deel van de labiele fosfaat. (Agterberg & Henkens, 1995, Hotsma & Berghs, 1994).

3.2 Methoden voor het bepalen van P-fixatie

3.2.1 Definitie van P-fixatie

Hotsma en Berghs (1994) omschrijven het begrip fixatie als volgt: "Fixatie is het verschijnsel dat goed oplosbare plantenvoedingsstoffen door reactie met anorganische of organische bestanddelen van de grond overgaan in slecht oplosbare verbindingen die voor de plant moeilijk opneembaar zijn". Verder vermeldten zij dat in landbouwkundige zin "gronden fosfaatfixerend" zijn als een gift aan fosfaat niet resulteert in een verhoging van P-AL of P-w getal. Beter is het te spreken over beperking van de oplosbaarheid van fosfaat op dergelijke gronden omdat in principe alle gronden fosfaatfixerend zijn. Ook in het verleden is geworsteld met deze begrippen. Begin vijftiger jaren had men in de praktijk de indruk dat bepaalde gronden fosfaatfixerend waren. Volgens Van der Paauw (1955) waren de voorstellingen wat men onder fosfaatfixerende gronden in de praktijk verstond vaag. Gronden werden als fosfaatfixerend beschouwd als ze opvielen door een hoog gehalte aan ijzer en/of het waren gronden waar de P-toestand laag bleef ook na een ruime bemesting of waar gebreksverschijnselen van fosfaat werden geconstateerd zonder dat dit aan onvoldoende bemesting kon worden toegeschreven. Later definieerde Prummel (1961) fosfaatfixerend grasland als volgt: gronden gekenmerkt door een hoog ijzergehalte, een laag P-citr, dat ook na bemesting laag blijft, een zeer lage P-citr/P-totaal verhouding en een sterke reductie van P-citr na voorraadbemesting.

Sterk ijzerhoudend graslanden komen vooral voor op de broekveengronden of zogenaamde madelanden in Drenthe en op de leemhoudende beekbezinkingsgronden in Overijssel, terwijl in het rivierklei gebied ook veel fosfaatfixerende gronden voorkomen.

3.2.2 Bepalingsmethoden voor P-fixatie

Fosfaatfixerende gronden heeft men indertijd geprobeerd te onderscheiden op basis van het gehalte aan ijzer oplosbaar in de Morgan-Venema extractievloeistof (pH 4,8) of 10 % HCl (hoog ijzergehalte betekent veel fixatie) en op basis van de verhouding P-citroen/P-totaal (lage waarde betekent hoge fixatie).

Met deze methoden kon echter geen goed onderscheid worden gemaakt (Van der Paauw, 1955 en Prummel, 1974 zoals geciteerd door Hotsma en Berghs, 1994).

Prummel (1969/1970) stelde dat de verandering van de P-AL afhankelijk was van het ijzergehalte. Verbetering van de fosfaattoestand van de grond door bemesting (stijging van de P-AL) is goed mogelijk bij een ijzergehalte lager dan 2 % FeO_3 , terwijl bij sterk ijzerhoudende gronden (15 % Fe_2O_3) de verbetering slechts gering is. Prummel (1974) merkte later op dat waarschijnlijk niet alleen het gehalte aan ijzer, maar ook de vorm waarin het ijzer voorkomt van invloed kan zijn op de mate waarin gronden fosfaatfixerend zijn.

Er is reeds lang een analysemethode waarmee men de fosfaatbinding (fixatie/vastlegging) meet (Hotsma en Berghs, 1994). De methode is gebaseerd op het toedienen van een bekende hoeveelheid fosfaat aan grond en na te gaan of de fosfaattoestand verandert in dezelfde mate als theoretisch te verwachten is. Hotsma en Berghs geven aan dat ze door het ontbreken van onderzoeksgegevens niet kunnen beoordelen of deze methode geschikt is voor het onderscheiden van gronden die fosfaat sterk fixeren.

De maximale fosfaatvastleggingscapaciteit in de vorm van de hoeveelheid ijzer en aluminium die geëxtraheerd kan worden in een ammonium oxalaat oplossing (Van der Zee et al., 1990) geeft voor kalkloze zandgronden een redelijk inzicht in het maximaal fosfaatbindend vermogen. Globaal kan volgens Schoumans et al. (1986) gesteld worden dat 50 % van de hoeveelheid reactief Al en Fe dat aanwezig is met fosfaat reageert.

4 Resultaten van veldproeven op ijzerhoudend (fosfaat fixerend) grasland

4.1 Algemeen

In de jaren vijftig zijn op verschillende plaatsen in Nederland proeven aangelegd om na te gaan wat de reactie is van fosfaatbemesting op de fosfaattoestand, de opbrengst en kwaliteit van grasland op wat men in de praktijk als fosfaatfixerende gronden noemde (Prummel, 1957, 1961 en 1973). Dit was een gevolg van waarnemingen in de praktijk en een vervolg op oriënterend onderzoek van de chemische analyse van "fosfaatfixerende gronden" (Van der Paauw, 1955).

4.2 Opzet van proeven op fosfaat fixerend grasland

4.2.1 Proeven voorlichtingsdienst begin jaren vijftig (Prummel, 1961)

In het begin van de jaren vijftig zijn door de voorlichtingsdienst negen proefvelden aangelegd op grasland waarvan men de indruk had dat het de fosfaat sterk vastlegde. vier van de negen proefvelden zijn aangelegd op sterk ijzerhoudend grasland op leemhoudende beekbezinkingsgronden langs de Schipbeek, Vecht in Overijssel en de Aa in Noord Brabant. Deze gronden voldeden aan de definitie van Prummel wat betreft fosfaatfixerend grasland. Het doel van deze proeven was de beschikbaarheid van fosfaat te vergroten door middel van voorraadbemesting, bekalking of gebruik van stalmest en een verbeterde fosfaatbemesting (vormen van bemesting en tijdstip). In de bespreking van de resultaten (Prummel, 1961) zijn ook de resultaten van een proef op ijzerhoudende zandgrond in Heino meegenomen. Het ijzergehalte in de grond (10 % HCl) varieerde sterk: van 2,4 tot 23,9 %.

4.2.2 Proef op ijzerhoudend laag veengrasland (Prummel, 1957)

In 1953 werd op ijzerhoudend laagveengrasland een uitgebreide veldproef aangelegd. Het doel van dit onderzoek was na te gaan of de fosfaatvoorziening kon worden verbeterd door voorraad bemesting, door jaarlijkse bemesting (in één keer toegediend of gedeeld over het groeiseizoen) of door bemesting met stalmest waarvan werd verondersteld dat fosfaat uit stalmest misschien minder snel wordt vastgelegd of dat stalmest microbiologische omzettingen bevordert. Het onderzoek is uitgevoerd op laagveengrasland met een veen pakket van 2 meter (broekveengrond) waarvan de bovenste 20 cm slibhoudend (50 % humus, 24 % zand en een ijzergehalte van 8 % (10 % HCl oplossing), een pH-KCl: 5,4 en een P-citr. van 15. Het grasbestand bestond uit ruw beemd gras, beemdleng bloem en had een hoedanigheidsgraad van 4,5.

De proef had als hoofdbehandelingen wel en geen stalmest die waren gecombineerd met een jaarlijkse bemesting 0, 60 en 120 kg P₂O₅/ha (met behandelingen éénmalig gegeven aan het begin van het seizoen en behandelingen met een verdeling in drie giften over het seizoen) of een voorraadbemesting van 400 kg P₂O₅/ha (eenmalig in jaar 1 en daarnaast 60 kg P₂O₅/ha/jaar). Alle objecten waren aangelegd in drievoud, terwijl als kunstmeststof dubbelsuperfosfaat is gebruikt.

Vanwege veronkruiding is in 1956 herinzaai toegepast. Na de eerste snede is de laag 0-5 cm omgeplagd en opnieuw ingezaaid.

4.2.3 Veldproeven op beekdal gronden, moerige gronden en veengrasland eind vijftiger jaren (Prummel, 1974)

In 1958 zijn op beekdal gronden in Groningen en Overijssel en op veen- en moerige gronden in Groningen en Drenthe in totaal 12 veldproeven op grasland aangelegd. Daarnaast is de proef op laagveengrasland (Prummel 1957) voortgezet. De proefpercelen waren uitgezocht op het voorkomen van ijzer. De proeven hadden gemiddeld een looptijd van zes tot zeven jaar.

De hoofdbehandelingen waren 0, jaarlijks 100 kg fosfaat voor de eerste snede en voorraad bemesting met 600 kg P_2O_5 /ha aan het begin van de proef. In enkele proeven waren meer P-trappen aangelegd of was voorraadbemesting gecombineerd met een jaarlijkse bemesting voor de eerste snede en in de proef op laagveengrasland lagen objecten met en zonder stalmest.

Fosfaat kunstmest werd gegeven in de vorm van dubbelsuperfosfaat. Het aantal herhalingen bedroeg 2 of 3 per proef. Jaarlijks werd de eerste snede geoogst en de drogestofopbrengst en het P-gehalte in het gras bepaald. Deze eerste snede was bemest met 60-70 kg N/ha en 100-160 kg K_2O /ha en meestal gemaaid als hooisnede in juni, soms in mei. Daarna is meestal geweid en werd geen fosfaat meer toegediend.

Het ijzergehalte (Fe_2O_3 bepaald bij 10 % HCl extractie) op de proefvelden varieerde van 2 tot ruim 35 % in de laag 0-5 cm.

Het P-Al getal bij begin van het onderzoek was op alle proefvelden lager dan 20 en in vijf proeven lager dan 10. De pH-KCl was in drie proeven lager dan 4,5; op de overige proefvelden 5,1-5,8. Op de verschillende behandelingen op de proefvelden is het P-totaal gehalte, P-getal en P-AL in de laag 0-5 cm jaarlijks bepaald.

4.2.4 NMI proeven in jaren tachtig (Van Til en Den Boer, 1984, 1985 & 1986)

In de periode 1984-1986 is door het NMI fosfaatbemestingsonderzoek uitgevoerd met als doel na te gaan hoe via fosfaatbemesting het P-gehalte van het weidegras gedurende de weideperiode op de norm van 0,4 % P in de droge stof of hoger gebracht en gehandhaafd kon worden. De aanleiding voor dit onderzoek was het resultaat verkregen op stikstofproefbedrijven waaruit bleek dat de fosfaattoestand en het P-gehalte van het weidegras in veel gevallen onvoldoende was. In dit onderzoek zijn twee proefvelden aangelegd op ijzerhoudend grasland (zandgrasland met 2,5 % Fe_2O_3 en veengrasland met 4,8 % Fe_2O_3) met een vrij lage P-AL.

4.3 Resultaten

4.3.1 Proeven voorlichtingsdienst begin jaren vijftig (Prummel, 1961)

De reactie op fosfaat bemesting was minder dan men op grond van de lage P-toestand van het grasland zou verwachten. Het grasland op de beekbezinkingsgronden langs de Schipbeek reageerden ondanks een zeer lage P-citr. alsof de fosfaattoestand voldoende was. De opbrengstreactie in de eerste snede was vaak minder dan 10 % bij een fosfaatbemesting van 150 kg P_2O_5 /ha. De geringe reactie kon niet overwegend worden toegeschreven aan een slechte botanische samenstelling (matig tot goed).

Prummel komt op basis van deze proeven tot de constatering *"..dat fosfaatfixerende gronden mogelijk minder veelvuldig voorkomen dan wel wordt verondersteld. Waarschijnlijk heeft een bepaling van het ijzergehalte alleen geen uitsluitel of een grond al of niet fixeert. Ook de vorm waarin het ijzer voorkomt kan hierbij van belang zijn"*. Stalmest en/of bekalking lieten geen duidelijke verbetering zien van de fosfaat beschikbaarheid of fosfaat fixatie.

4.3.2 Proef op ijzerhoudend laag veengrasland (Prummel, 1957)

In de proef op ijzerhoudend laag veengrasland had een bemesting met 120 kg P_2O_5 /ha per jaar het volgende effect op de drogestofopbrengst (%):

	1e snede	Jaaropbrengst
1953	29	12
1954	52	39
1955	80	30
1956	134	133

4.3.3 Veldproeven op beekdal gronden, moerige gronden en veengrasland eind vijftiger jaren (Prummel, 1974)

In deze proeven bleek het P-totaal gehalte positief gerelateerd aan het ijzergehalte. Tussen het P-AL en ijzergehalte bestond slechts een zwak negatief verband. Dit was eveneens het geval voor het P-getal en het ijzergehalte. P-AL en P-getal daalden in de jaren na een voorraad bemesting meer dan P-totaal. Dit wijst duidelijk op vastlegging.

In de tabellen 2-4 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste bodemkenmerken en resultaten van de verschillende proeven. In tabel 5 staan de resultaten van bemesting met stalmest.

In de bijlage 1 worden grafisch verschillende relaties tussen relatieve opbrengst zonder fosfaat bemesting (drogestofopbrengst bij fosfaat bemesting van $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha/jaar} = 100$) en P-gehalte in het gras bij geen fosfaatbemesting, P-AL bij geen fosfaatbemesting en ijzergehalte weergegeven.

Tabel 2 Overzicht van resultaten van proeven uitgevoerd op ijzerhoudend grasland op beekerd gronden in Overijssel (Prummel, 1973)

Proefnr.	Proefjaren	Ijzergehalte (% Fe ₂ O ₃ (10 % HCl)	P-AL begin	P-trap	P-AL eind	Ds-opbr. 1 ^e snede gem. ton/ha	Rel Ds- opbrengst	P-gehalte % P in ds	P-opname kg P/ha	P-effect kg ds/kg P ₂ O ₅	Kg P ₂ O ₅ nodig voor verhoging PAL met 1 eenheid
264	6	2	11	0	11	3,53	100	0,23	8,0		
				100*	31	4,39	130	0,33	14,5	4,6	
				600**	23	4,30	126	0,32	14,8		21
273	7	6,2	19	0	13	5,31	100	0,27	14,3		
				100*	25	5,81	109	0,29	16,8	5,0	
				600**	19	6,00	113	0,29	17,4		24
275	7	20,4	18	0	12	5,46	100	0,27	14,7		
				100*	31	5,83	107	0,32	18,7	3,7	
				600**	25	5,98	110	0,33	19,1		24
274	3	35,2	5	0	9	5,17	100	0,24	12,4		
				100*	7	5,54	107	0,29	16,1	3,7	
				600**	13	5,61	108	0,29	16,3		50

* = per jaar (aan het begin van het groeiseizoen)

** = voorraad bemesting (gegeven in 1 keer aan het begin van de proef)

Tabel 3 Overzicht van resultaten van proeven uitgevoerd op ijzerhoudend grasland op veen gronden met een lutumrijke bovengrond in Groningen/Drenthe (Prummel, 1973)

Proefnr.	Proefjaren	Ijzergehalte (% Fe ₂ O ₃ (10 % HCl)	P-AL begin	P-trap Kg P ₂ O ₅ /ha	P-AL eind	Ds-opbr. 1 ^e snede gem. ton/ha	Rel Ds- opbrengst	P-gehalte % P in ds	P-opname kg P/ha	P-effect kg ds/kg P ₂ O ₅	Kg P ₂ O ₅ nodig voor verhoging PAL met 1 eenheid
443	6	3,2	13	0	8	2,36	100	0,20	4,7	19,1	15
				100*	25	4,27	181	0,32	13,5		
				600**	22	4,30	182	0,29	12,6		
266	3	3,6	13	0	13	5,46	100	0,23	12,6	2,1	16
				100*	30	5,67	104	0,31	17,6		
				600**	32	5,67	104	0,28	15,9		
1435	7	8,0	7	0	5	3,19	100	0,20	6,2	11,4	40
				60*	8	4,33	136	0,278	12,0		
				120*	19	4,40	138	0,34	15,0		
265	7	16,7	7	0	6	3,99	100	0,23	9,3	6,1	55
				100*	9	4,60	115	0,31	14,4		
				600**	7	4,46	112	0,26	11,6		

* = per jaar (aan het begin van het groeiseizoen)

** = voorraad bemesting (gegeven in 1 keer aan het begin van de proef)

Tabel 4 Overzicht van resultaten van proeven uitgevoerd op ijzerhoudend grasland op veen- en moerige gronden met een lutumarme bovengrond in Groningen/Drenthe (Prummel, 1973)

Proefnr.	Proefjaren	Ijzergehalte (% Fe ₂ O ₃ (10 % HCl)	P-AL begin	P-trap	P-AL eind	Ds-opbr. 1 ^e snede gem. ton/ha	Rel Ds- opbrengst	P-gehalte % P in ds	P-opname kg P/ha	P-effect kg ds/kg P ₂ O ₅	Kg P ₂ O ₅ nodig voor verhoging PAL met 1 eenheid
272	6	0,6/9,4	33	0	31	4,96	100	0,23	11,4	4,3	15
				100*	56	5,39	109	0,31	16,7		
				600**	61	5,54	112	0,29	16,1		
270	7	3,9	13	0	11	2,30	100	0,21	4,8	13,3	12
				100*	26	3,63	158	0,25	9,1		
				600**	26	3,41	148	0,28	9,5		
267	7	10,9	10	0	11	4,73	100	0,21	9,9	4,8	26
				60*	22	5,21	110	0,28	14,6		
				120*	20	5,11	108	0,26	13,3		
268	7	22,6	7	0	9	3,11	100	0,20	6,2	13,8	60
				100*	11	4,49	144	0,27	12,1		
				600**	9	4,20	135	0,26	10,9		
269	7	33,0	13	0	9	3,81	100	0,26	9,9	2,3	35
				100*	19	4,04	106	0,32	12,9		
				600**	15	3,96	104	0,32	12,7		

* = per jaar (aan het begin van het groeiseizoen)

** = voorraad bemesting (gegeven in 1 keer aan het begin van de proef)

Tabel 5 Invloed van fosfaatbemesting met en zonder stalmestbemesting op de gemiddelde (7- jarig gemiddelde) opbrengst van de eerste snede in ton droge stof per ha op laagveengrasland (Westerkwartier, Groningen, Prummel, 1974)

Object	Fosfaat bemesting (kg P ₂ O ₅ /ha)			
	0	60	120	200
Zonder stalmest	3,19	4,33	4,40	4,38
Met stalmest	4,90	5,30	5,30	5,14

De resultaten geven het volgende beeld te zien:

- Slechts in 5 van de 13 proeven was er een sterke opbrengstreactie in de eerste snede op fosfaatbemesting: meer dan 15 % verhoging van de opbrengst bij een fosfaatbemesting van 100 of 120 kg per ha per jaar.
Op de overige proeven bedroeg de opbrengstverhoging minder dan 15 % en reageerde het gras niet volgens de opbrengstreactie die bij een fosfaat toestand laag verwacht mocht worden. De fosfaat beschikbaarheid was dus gunstiger dan de P-AL aangaf.
- De proeven die een sterke reactie op fosfaatbemesting gaven hadden als kenmerk een zeer laag P-gehalte (0,20 % in de ds of lager). Dit gehalte geldt voor de meeste planten als het minimum voor groei. Verder was de totale P-opname op de onbemeste veldjes erg laag : 4- 6 kg P in de eerste snede. Dit duidt op sterk fosfaat gebrek. In de ander proeven was het P-gehalte op de onbemeste objecten hoger en de P-opname ook aanmerkelijk hoger.
- Samengevat kunnen de proeven als volgt worden ingedeeld:

Opbrengstverhoging ten gevolge van P-bemesting t.o.v. de onbemeste objecten (%):	Gem. P-opname in de eerste snede van de onbemeste objecten (kgP/ha):
A. 36-81	4 - 6 kg P/ha
B. 6-12	9 - 11
C. 4-9	12 - 15

In deze proefserie lijkt een redelijk verband te zijn tussen de P-opname op het onbemeste object en de opbrengstreactie die men kan verwachten.

Dit is in feite logisch: de P-opbrengst van het onbemeste object mag bij een niet te sterk afwijkende botanische samenstelling gezien worden als een maat voor de beschikbaarheid van fosfaat. Is deze laag door gebrek dan zal men een sterke opbrengst reactie kunnen verwachten op fosfaatbemesting. Een mogelijke verklaring voor de geringe reactie is dat de fosfaat die met bemesting wordt gegeven direct wordt vastgelegd in de bodem (meteen gebonden aan ijzer). Dit wordt door de resultaten van deze proeven niet bevestigd. De proeven met een lage opbrengstreactie geven wél een verhoging te zien van het P-gehalte, zodat de P-opname door het gras in bijna alle proeven gemiddeld verhoogd was met meer dan 30 %. Dit betekent dat er voldoende P beschikbaar was voor opname door de plant.

- Een samenhang tussen de opbrengst reactie en de botanische samenstelling is niet gevonden. Op de weinig op fosfaat reagerende proeven was de hoedanigheidsgraad bijna voldoende tot vrij hoog (5,9 tot 8,2). Op drie van de vijf sterk op fosfaat reagerende proeven daarentegen matig (4,6 tot 6,1). Door fosfaatbemesting nam de hoedanigheidsgraad toe met 1 à 2 punten. Die verbetering bestond vooral uit een toename van veldbeemdgras, ruwbeemd gras, beemd langbloem en timothee. Matige en minderwaardige soorten zoals fiorien, gewoon struis gras etc. werden daarentegen door de fosfaatbemesting teruggedrongen. Fosfaatbemesting heeft daarmee waarschijnlijk indirect het productievermogen van het grasland verbeterd. Een deel van de opbrengstreactie is dus mogelijk veroorzaakt door een verbetering van de botanische samenstelling.
- Er kan geen duidelijke relatie worden aangetoond tussen het ijzergehalte van de bodem en de opbrengstreactie. De proeven die sterk reageerden hadden gemiddeld een hoog ijzergehalte. Een hoog ijzergehalte in combinatie met een lage P-AL betekent niet dat er altijd fosfaatgebrek zal zijn. In

8 van de 13 proeven was dit nauwelijks tot niet het geval. Dit wijst erop zoals Prummel (1974) constateerde dat P-AL noch het ijzergehalte een goede maat is voor de beschikbaarheid van P op deze gronden. Een alternatief is voor zover bekend nooit verder bekeken.

- Op basis van deze proeven inclusief de proeven waar ook meer P-trappen (o.a. 60 en 200 kg P_2O_5 /ha) waren meegenomen, kwam men tot de conclusie dat voor een maximale opbrengst van de eerste snede kon worden volstaan met een bemesting met circa 100 kg P_2O_5 /ha. Dit kwam overeen met het bemestingsadvies voor grasland met een lage P-toestand. In de proeven van Prummel (1957, 1961 en 1974) is geen effect op de opbrengst geconstateerd van het gespreid geven van kunstmest fosfaat tijdens het groeiseizoen. Wel gaf een gedeelde gift wat hogere P-gehalten in het gras tijdens de zomer. Het proefmateriaal waarop dit gebaseerd is echter beperkt.
- Voorraad bemesting, dit wil zeggen het verhogen van de fosfaattoestand in één keer door te bemesten met een grote hoeveelheid fosfaat, gaf op alle proefvelden wel een duidelijke verhoging van de P-AL te zien. Het gaf echter geen betere resultaten dan een geregelde verse gift (een jaarlijkse bemesting in het voorjaar). Na voorraadbemesting daalde de P-AL op den duur weer naar het oorspronkelijke niveau.
- Stalmest eventueel in combinatie met kunstmest fosfaat leidde niet tot betere resultaten dan kunstmest fosfaat. De beschikbaarheid van fosfaat uit stalmest was blijikbaar niet beter. Ook werd de beschikbaarheid van P in het algemeen niet beter.

4.3.4 NMI proeven in jaren tachtig (Van Til en Den Boer, 1984, 1985 & 1986)

De resultaten, vooral op de proefvelden die aangelegd waren op fosfaatfixerend grasland, waren als volgt:

- Op het proefveld op fosfaatfixerend zandgrasland met een fosfaattoestand van vrij laag (P-AL= 22) (1985) bleek er geen effect van fosfaatbemesting op de opbrengst. Het gehalte aan P in het gras, nam wel toe met een toenemende bemesting. Op het proefveld op fosfaatfixerend veengrasland (P-toestand vrij laag, P-AL=24) was er wel een effect van fosfaatbemesting op de opbrengst: bij een gift van 265 kg P_2O_5 per ha was dit 1100 kg ds/ha meer opbrengst. Daarbij was een bemesting in één keer veel gunstiger dan een gespreide bemesting. Bij een gespreide bemesting was de opbrengst 0,6 ton ds/ha minder dan bij een bemesting in één keer.
- In alle proeven was het P-gehalte van het weidegras in de eerste sneden het hoogst bij een bemesting in één keer; terwijl bij een gespreide bemesting het gehalte het hoogst was in de laatste sneden. Gemiddeld over de zes sneden was er geen verschil in P-gehalte van het gras tussen beide methoden.

5 Discussie en conclusies

In principe leggen alle gronden fosfaat vast. De mate waarin dat gebeurt hangt af van verschillende factoren zoals het gehalte aan fosfaatfixerende elementen zoals ijzer, aluminium en calcium en de pH van de grond.

Fosfaatfixatie is in de Nederlandse praktijk altijd sterk geassocieerd met het voorkomen van ijzer in de grond. Van de methoden die zijn ontwikkeld om vanuit landbouwkundig oogpunt fosfaat fixatie vast te stellen is de bekendste de bepaling van het gehalte aan Fe_2O_3 in de grond (hoeveelheid ijzer oplosbaar in de Morgan-Venema extractie vloeistof (pH4,8) of de tegenwoordig nog toegepaste methode met een oplossing van 10 %HCl. De laatste bepaling wordt op verzoek toegepast door het BLGG in Oosterbeek om de mate van fosfaat fixatie vast te stellen. Het bijbehorend advies gaat ervan uit dat alle gronden (behalve veengronden) sterk fosfaatfixerend zijn als het gehalte aan Fe_2O_3 hoger is dan 4 % (4 gr/100 mgr stoofdroge grond) en op veen grasland meer dan 6 % bedraagt. Dit is overeenkomstig de conclusies van Prummel (1974) die stelt dat de mate van fixatie zoals die tot uiting komt in de P-Al bepaling voor een belangrijk deel bepaald wordt door het ijzergehalte en dat fixatie begint op te treden bij circa 4 % Fe_2O_3 . Er bleek op sterk ijzerhoudende gronden een veel grotere fosfaatgift nodig te zijn om de P-Al met één eenheid te verhogen dan op gronden met een laag ijzergehalte. Bij gronden die fosfaat sterk fixeren zal veel fosfaat nodig zijn om de P-Al toestand te verhogen. Deze waarneming vormt de basis van de definitie die Hotsma en Berghs (1994) hanteren en komt het beste overeen met het concept van fosfaat fixatie zoals de praktijk die ervaart. Zij zeggen "in landbouwkundige zin is fosfaat pas gefixeerd wanneer het zeer moeilijk of in het geheel niet meer opneembaar is voor het gewas. In landbouwkundige zin is een grond dus "fosfaatfixerend" als een gift aan fosfaat niet resulteert in een verhoging van Pw en/of P-Al getal". Hotsma en Berghs geven verder aan dat het beter zou zijn niet te spreken van fixatie of vastlegging maar van "beperking van de oplosbaarheid" of in ander woorden beperkte beschikbaarheid van fosfaat voor de plant. Landbouwkundig gezien is immers alleen dié fosfaat interessant die beschikbaar is voor plantengroei.

Uit de proeven van Prummel (1974) en eerder uitgevoerde proeven op ijzerhoudend grasland blijkt dat fosfaatbemesting niet altijd tot die opbrengstreactie leidt die men op basis van het ijzergehalte zou verwachten (zie figuur 3). Verder bleek dat de relatie tussen de relatieve opbrengst bij geen fosfaatbemesting en de fosfaattoestand (P-AL) niet eenduidig was, terwijl die in eerdere proeven (Van der Pauw etc.) wel aanwezig was. Dit duidt erop dat in verschillende proeven het P-AL cijfer geen goede maat was voor de P-beschikbaarheid.

Een sterke opbrengstreactie op fosfaatbemesting vindt vooral plaats op grasland waar het P-gehalte in het onbemeste gras lager is dan 0,2 % in de droge stof. Dit is ook de minimum waarde aan P voor plantengroei (Jansen 1995). Sterk fosfaatgebrek was in de proeven van Prummel (1974) beter te meten aan het P-gehalte in het onbemeste gras dan aan de hand van het ijzergehalte of P-AL. Op deze proefvelden leidde fosfaatbemesting niet alleen tot een sterke verhoging van de opbrengst maar ook tot een verbetering van de botanische samenstelling. Bij groot fosfaatgebrek lijkt de interactie tussen fosfaatbemesting en botanische samenstelling bij te dragen aan de hogere opbrengst als gevolg van fosfaat bemesting. In deze proeven kwam ook naar voren dat de botanische samenstelling van de proefvelden waar het gras weinig op fosfaat reageerde beter was dan die van proefvelden met een duidelijk fosfaatgebrek. Dit duidt ook op een samenhang tussen P beschikbaarheid, botanische samenstellingen en daarmee samenhangend productievermogen.

Er is in het verleden niet meer gezocht naar een oorzaak of een betere methode om de hoeveelheid beschikbare P voor de plant vast te stellen omdat uit de proeven bleek dat bemesting volgens het advies voldoende was om de maximale opbrengst te bereiken. Het opnieuw bestuderen van deze onderzoeksresultaten heeft niet geleid tot fundamenteel andere inzichten. In bijna al deze proeven is alleen gekeken naar de opbrengst in de eerste snede. Uit de resultaten van het meer recente P-onderzoek in Moergestel komt naar voren dat bij een lage P-toestand van de grond er ook in latere sneden nog sprake is van een opbrengstreactie. Dit zou tot gevolg kunnen hebben dat de totale opbrengstreactie op jaarbasis mogelijk groter is geweest dan men uit de eerste snede heeft afgeleid. Vaak wordt geadviseerd om op P-fixerende gronden de P-bemesting te verdelen over het seizoen. Uit de in dit rapport geanalyseerde resultaten blijkt dat dit niet leidt tot een hogere opbrengst. Een gedeelde gift

lijkt wat hogere P-gehalten in het gras te geven tijdens de zomer. Voorraad bemesting op sterk fixerende gronden gaf geen betere resultaten dan een jaarlijkse bemesting in het voorjaar. Ook stalmeest gaf geen betere resultaten dan kunstmest fosfaat.

De algemene conclusie is dat bemesting volgens het advies nog steeds de beste oplossing is voor fosfaatfixerende gronden en er lijkt dan ook geen reden voor het speciaal onderscheiden van deze gronden. Fosfaatfixerende gronden zullen gekenmerkt zijn door een laag P-AL getal. De opbrengst reactie op fosfaatbemesting zal sterk afhangen van de mate waarin er een P-gebrek is. Het P-gehalte in het onbemeste gras lijkt daarvoor op ijzerhoudend, sterk fosfaat fixerend grasland een betere indicator dan het P-AL getal. Indien dergelijk grasland sub-optimaal wordt bemest dan zal een opbrengstderving optreden die echter in dezelfde mate ook zal optreden op grasland dat niet sterk ijzerhoudend is maar wel een lage P-AL heeft.

Literatuur

Agterberg G.C. en P.L.C.M. Henkes, 1995. Grondslagen van het fosfaatbemestingsadvies op grasland. Meststoffen 1995, 12-23.

Bouwknecht K., 1998. BIGG persoonlijke mededeling.

Beek J., 1979. Phosphate retention by soil. Landbouwhogeschool, Wageningen

Boer D.J. den, J.C. van Middelkoop, G. Andre, A.P. Wouters en H. Everts. Effecten fosfaattoestand en fosfaatbemesting op grasland opbrengst en P-gehalte. Meststoffen 1995, 12-23.

Janssen B.H., 1995. Fosfor in de relatie tussen bodem, plant en meststof. Gebundelde verslagen van Nederlandse Vereniging voor Weide en Voederbouw nr. 36.

Hotsma, P.H. & M.E.G. Berghs, 1994. Mogelijkheden van grondonderzoek voor het onderscheiden van gronden met een lage fosfaattoestand. Project verliesnormen. Deel rapport 2, 1994. Ministeries van LNV, VROM, V&W, Landbouwschap en Centrale landbouworganisaties. 51 pp.

Lammers H.W., 1981. Samenvattingen van artikelen over fosfaat. De Buffer 27: 3-7.

Oenema O., 1995. Fosfaatoverschotten en fosfaatverliezen in de Nederlandse landbouw. Gebundelde verslagen van Nederlandse Vereniging voor Weide en Voederbouw nr. 36.

Oenema O., 1994. Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Project verliesnormen. Deelrapport I. Rapport van de technische projectgroep "P-desk studie".

Pauw F. van der; 1955. Een chemische analyse van fosfaat fixerende gronden; Centr. Inst. Landbouwkundig Onderzoek; Gestencilde Verslagen Interprovinciale Proeven 50.

Prummel J., 1957. Fosfaatbemesting van fosfaatfixerend laagveengrasland. Landbouwvoorlichting 14: 607-611.

Prummel J., 1961. Verslag van een serie fosfaatproeven op ijzerhoudende gronden. Proefst. Akker- en Weidebouw, Gestencilde Versl. Interprovinciale Proeven 82 .

Prummel J. en H. A. Sissingh, 1976. Transport en accumulatie van fosfaat in de grond. IB rapport 4-76

Prummel J., 1974. Fosfaatbemesting van ijzerhoudende graslanden. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Rapport 4-74.

Schoumans O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioni-Louwerse en R. Zwijnen, 1991. De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw en P-AI en P-verzadiging bij zandgronden. Rapport nr. 112, SC-DLO, Wageningen.

Schoumans O.F., 1995. De gevolgen van fosfaatbemesting voor het milieu, synopsis. Gebundelde verslagen van Nederlandse Vereniging voor Weide en Voederbouw nr. 36.

Till J. van en D.J. Den Boer. Fosfaat in weidegras in afhankelijkheid van bemestingsniveau en tijdstip van toediening. Proeven 1985. Verslag C85.10. NMI.

Till J. van en D.J. Den Boer. Fosfaat in weidegras in afhankelijkheid van bemestingsniveau en tijdstip van toediening. Proeven 1986. Verslag C86.05. NMI.

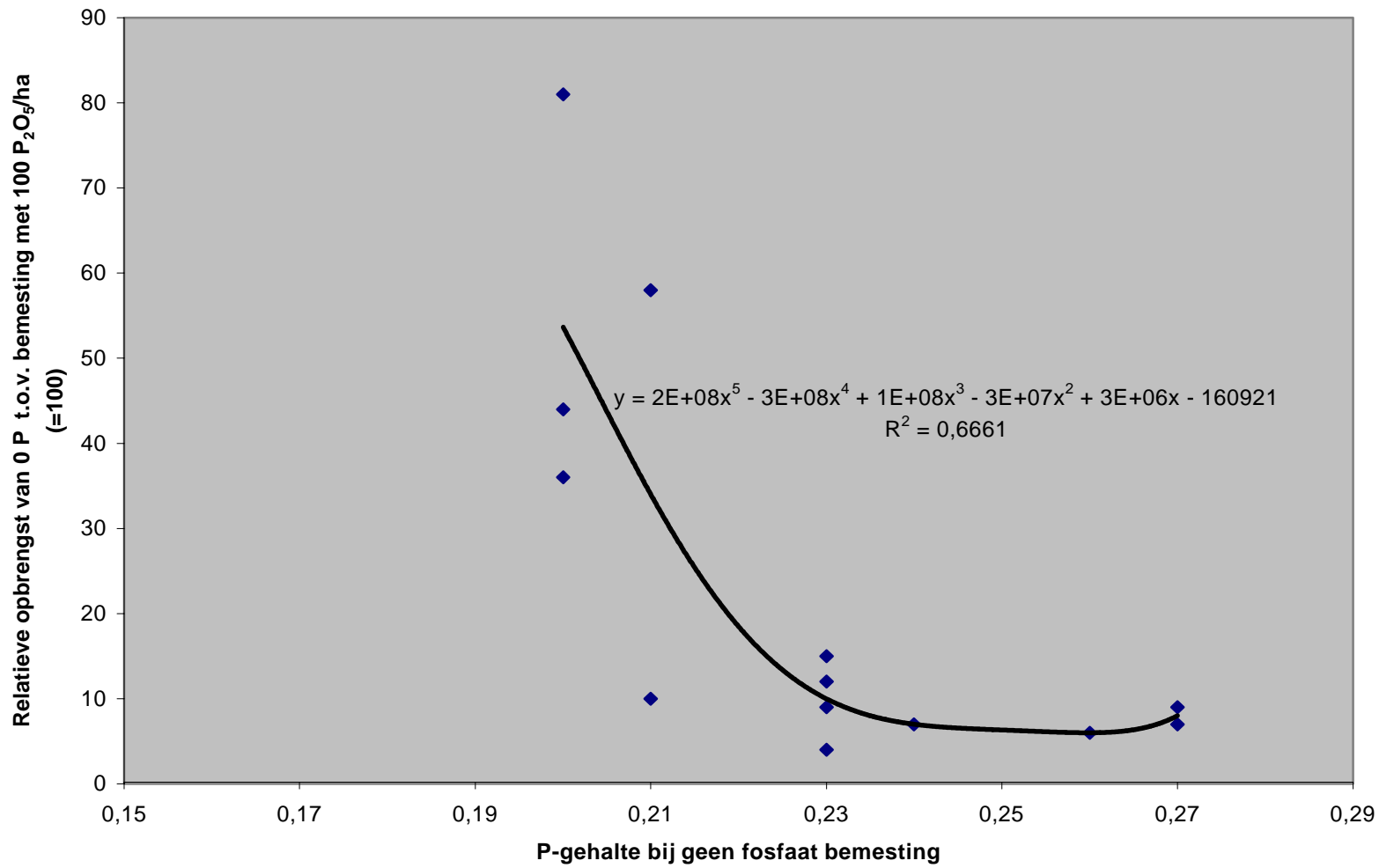
Van Vliet J. en P. Bruins, 1995. Fosfor in voeding melkvee. Gebundelde verslagen van Nederlandse Vereniging voor Weide en Voederbouw nr. 36.

Willigen P. de, P.A.C. Raats en R.G. Gerritse, 1982. Transport and fixation of phosphate in acid, homogenous soils. II Computer simulation. *Agriculture and Environment* , 7, 161-174.

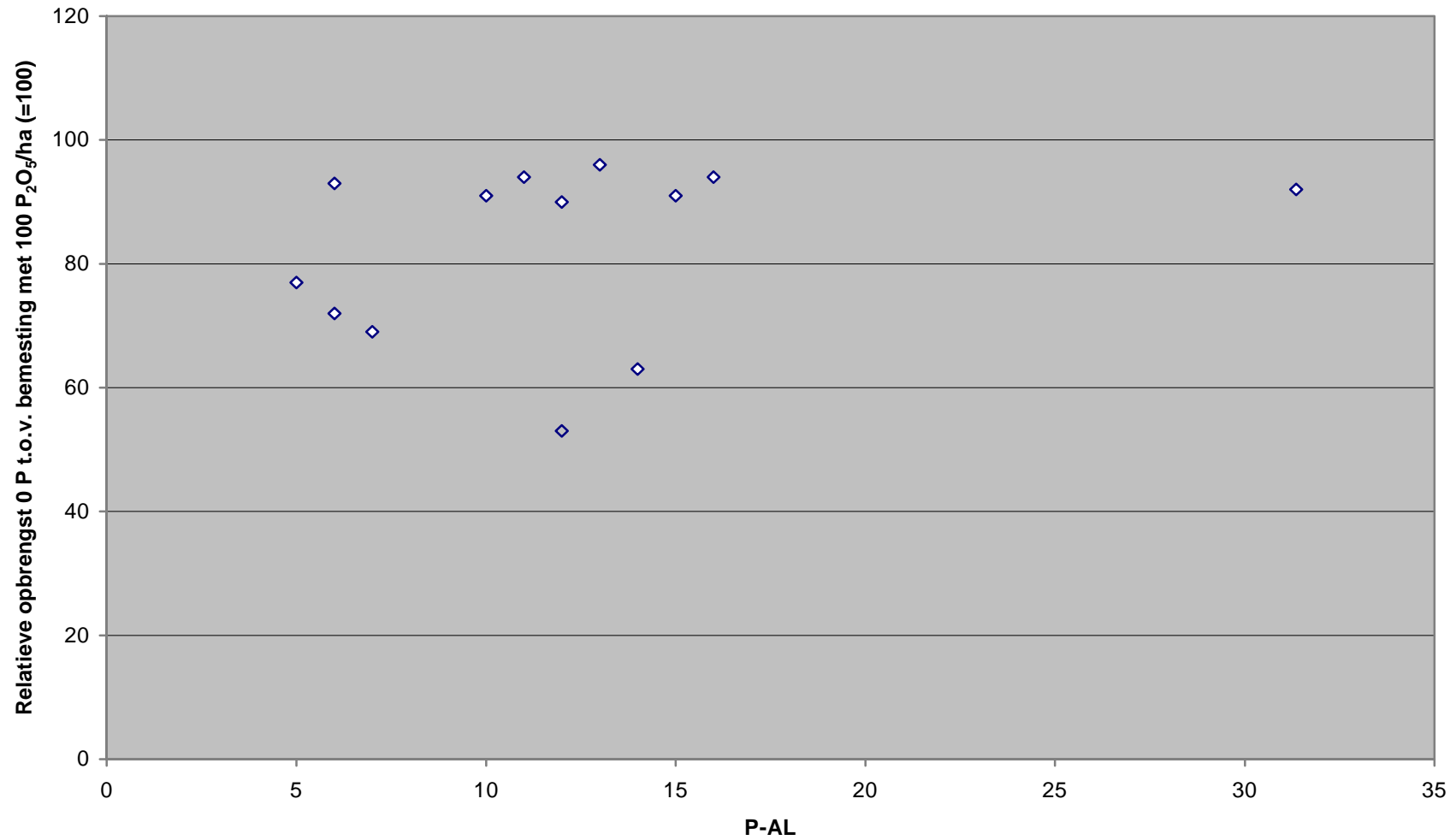
Bijlagen

Bijlage 1 Grafieken gebaseerd op data Prummel (1974)

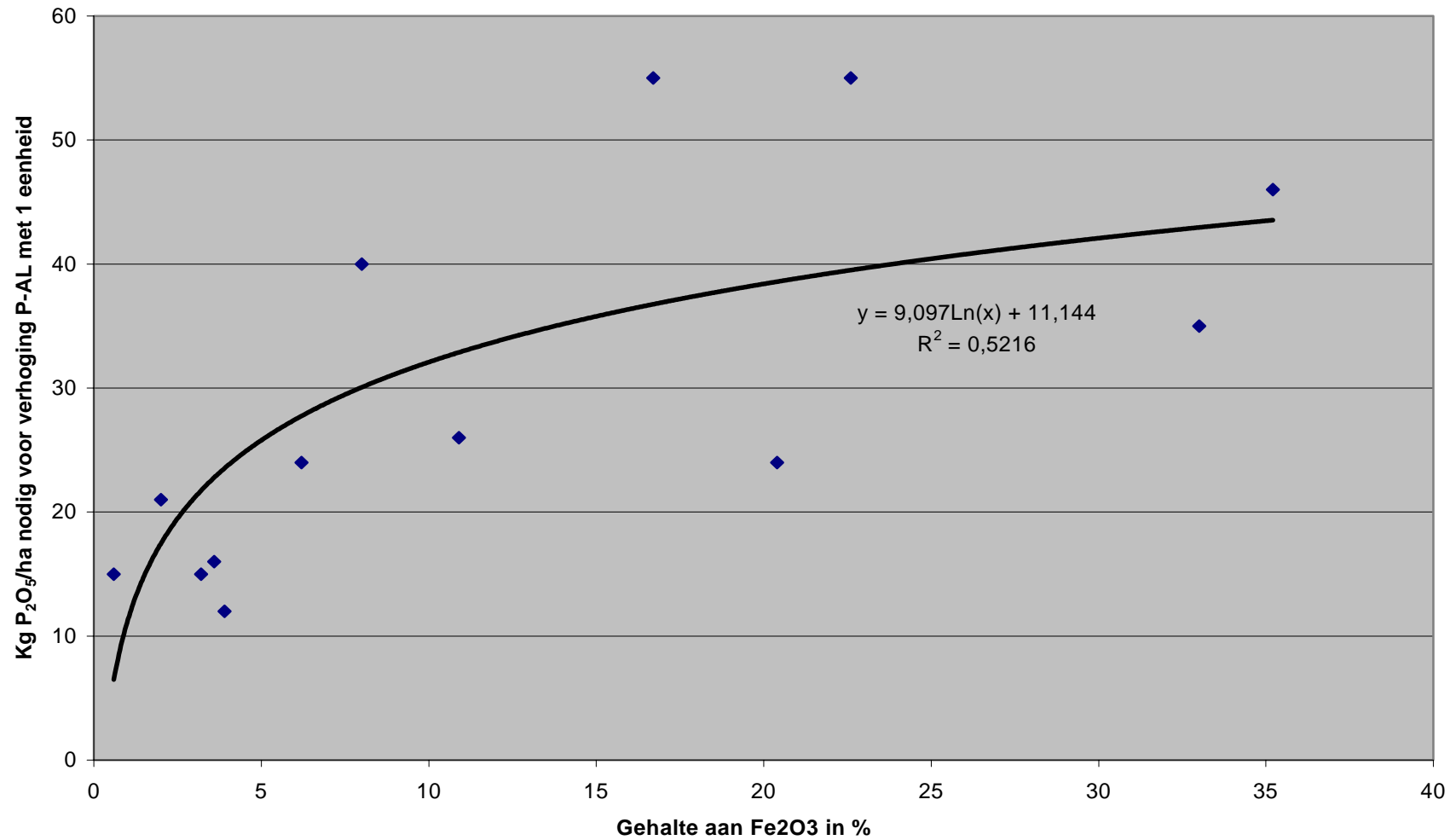
Grafiek 1 Relatie tussen relatieve extra opbrengst bij bemesting met 100 kg P₂O₅ (0 P = 100) en het P-gehalte in het gras bij 0 P (gebaseerd op data Prummel, 1974)



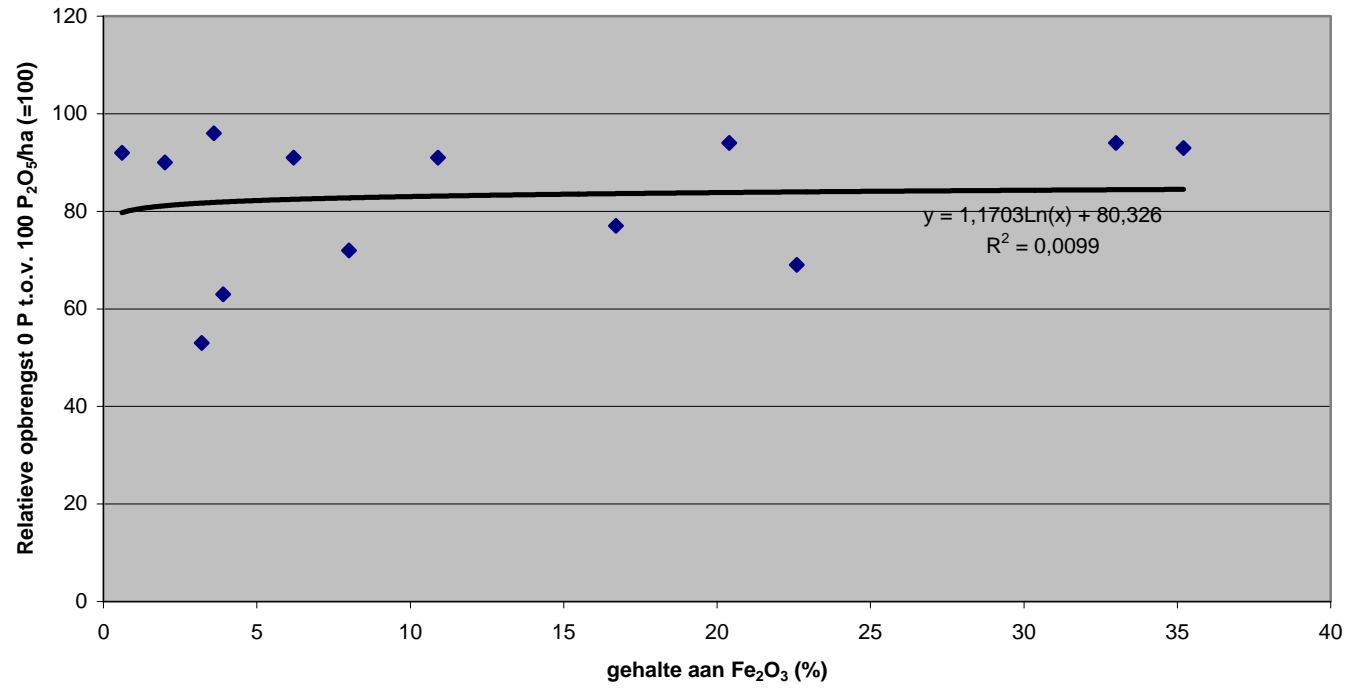
Grafiek 2 Relatie tussen de relatieve opbrengst bij geen fosfaat bemesting t.o.v. bemesting met 100 kg P_2O_5/ha (=100) en het P-AL getal bij geen fosfaatbemesting (gebaerd op data Prummel, 1974)



Grafiek 3 Relatie tussen de hoeveelheid fosfaat (kg P₂O₅/ha) nodig om de P-Al met 1 eenheid te verhogen enerzijds en het gehalte aan Fe₂O₃ in de grond anderzijds (gebaseerd op data Prummel, 1974)



Grafiek 4 Relatie tussen relatieve opbrengst bij geen fosfaatbemesting (opbrengst bij bemesting van 100 kg $P_2O_5/ha = 100$) en gehalte aan Fe_2O_3 in de bodem



Bijlage 2 List of tables and figures

- Table 1** Direct reaction of plants to improved phosphate supply (Jansen, B.H, 1995)
- Table 2** Overview of results of trials in Overijssel on iron-rich grassland on *beekeerd* soils (Prummel, 1973)
- Table 3** Overview of results of trials in Groningen/Drenthe on iron-rich grassland on peat with a clay-rich topsoil (Prummel, 1973)
- Table 4** Overview of results of trials in Groningen/Drenthe on iron-rich grassland on peat and peaty soils with a clay-poor topsoil (Prummel, 1973)
- Table 5** Influence of phosphate fertilisation with or without applications of manure on the mean (of 7 years) yield of the first cut, in tons of dry matter per ha from grassland on low-lying peat (Westerkwartier, Groningen, Prummel, 1974).
- Figure 1** Relation between relative yield without phosphate application (OP) versus fertilisation with 100 kg P_2O_5 /ha (=100), and the P content in the grass at 0 P (based on data from Prummel, 1974)
- Figure 2** Relation between relative yield without phosphate fertilisation versus fertilisation with 100 kg P_2O_5 /ha (=100), and the P-AI number at no phosphate fertilisation (based on data from Prummel, 1974)
- Figure 3** Relation between the amount of phosphate (kg P_2O_5 /ha) needed to raise the P-AI by 1 unit and the Fe_2O_3 content of the soil (based on data from Prummel, 1974)
- Figure 4** Relation between relative yield from no phosphate fertilisation (yield from fertilising with 100 kg P_2O_5 /ha = 100) and the Fe_2O_3 content of the soil