

Rapport 43

Sanering van zandgrond met een hoge fosfaattoestand

Resultaten van een veldexperiment op proefbedrijf
De Marke

September 2003

Sanering van zandgrond met een hoge fosfaattoestand

Resultaten van een veldexperiment op proefbedrijf
De Marke

J.A. Reijneveld (PRI)
J. Verloop (PRI)
G.J. Hilhorst (De Marke)

Rapport 43
PRI-Rapport 34

September 2003

Samenvatting en conclusie

Om de kwaliteitsdoelstelling te waarborgen voor fosfor (P) in oppervlakte- en grondwater (maximaal $0,15 \text{ mg P l}^{-1}$), mogen verliezen van fosfaat uit landbouwgronden naar het grondwater niet meer dan $1 \text{ kg ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ bedragen. Deze randvoorwaarde vergt een bemestingsaanpak waarbij fosfaat zich niet ophoopt in landbouwgronden. Een dergelijke werkwijze is in Nederland niet gangbaar; er wordt nog steeds overbemest. Op het proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu 'De Marke' wordt al vanaf 1992 bemest volgens de strategie van evenwichtsbemesting voor fosfaat. Om te onderzoeken wat de invloed is van verschillende bemestingregiems die gericht zijn op uitmijnen van fosfaat, dan wel het voorkomen van accumulatie is op het perceel op 'De Marke' met de hoogste fosfaattoestand, perceel 1, een proef aangelegd met drie verschillende fosfaatbehandelingen:

- nulbemesting voor fosfaat (P-0);
- een fosfaatgift overeenkomstig de helft van de onttrekking door het gewas (P- $\frac{1}{2}$ evenwicht);
- een fosfaatgift gelijk aan de geschatte fosfaatonttrekking door het gewas (P-evenwicht).

De onttrekkingssnelheid van fosfaat varieerde van $-3,4$ tot -112 kg ha^{-1} . Gemiddeld werd bij de P-evenwichtbehandeling $28 \text{ kg fosfaat ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$ afgevoerd, bij de P- $\frac{1}{2}$ evenwicht 47 kg en bij de P-0 behandeling (maximaal uitmijnen, dus) 72 kg . De berekende hoeveelheid fosfaat in de bodemlaag 0-40 cm is $10.750 \text{ kg ha}^{-1}$. Bij de hoogste waargenomen onttrekkingssnelheid ($112 \text{ kg fosfaat ha}^{-1}\text{jr}^{-1}$) wordt slechts 1% van de totale fosfaatvoorraad weggenomen. Uitmijnen van fosfaatrijke percelen met gewassen neemt dan ook een honderdtal jaren in beslag.

De gewasopbrengsten bij de verschillende fosfaatbehandelingen waren gedurende de hele proef aan elkaar gelijk. Verschillen konden niet worden gemeten of visueel worden vastgesteld.

Dit resultaat is te verklaren doordat de fosfaatconcentratie in de bodem zelfs bij nulbemesting hoog blijft, zodat het gewas geen fosfaattekort heeft. Weliswaar daalde de hoeveelheid beschikbaar fosfaat eerst aanzienlijk, maar daarna trad stabilisatie op. De hoeveelheid snel beschikbaar fosfaat (uitgedrukt in het Pw-getal) daalde in de eerste 2-3 jaar; van 100 tot 75. De hoeveelheid traag beschikbaar komend fosfaat (uitgedrukt in het P-AL-getal) daalde van ruim 120 naar 110. Daarna is een duidelijke daling niet zichtbaar. Verschillen tussen de drie behandelingen zijn zeer gering, maar zowel bij het Pw- als bij het P-AL-getal is de eindtoestand van de P-0 behandeling het laagst, daarna P- $\frac{1}{2}$ evenwicht, gevolgd door P-evenwicht. Bij de drie behandelingen blijft zowel het Pw-, als het P-AL-getal in het landbouwkundige gebied 'hoog'. De zwakke reactie van de fosfaattoestand op de fosfaatbehandelingen kan verklaard worden door de relatief geringe onttrekkingssnelheid bij uitmijnen. Deze onttrekking is op perceel 1 kennelijk gecompenseerd door nalevering van fosfaat uit de gehele voorraad.

Bij een grondwaterstand hoger dan 2,5 meter min maaiveld worden verhoogde fosfaatconcentraties in het grondwater aangetroffen. Het is bekend dat fosfaat mobiel wordt bij een hoge grondwaterstand. In eerder uitgevoerd onderzoek op De Marke werd mobilisatie van fosfaat door hoge grondwaterstanden pas vastgesteld bij een grondwaterstand van minder dan een meter onder het maaiveld. Perceel 1 behoort tot de 140.000 ha zandgronden in de melkveehouderij met een fosfaattoestand 'hoog'. Fosfaatbemesting kan hier achterwege blijven; een bevestiging van de '0' adviezen in de 'Adviesbasis'. Voor andere elementen (zoals stikstof) en het organische stof-gehalte zal (organische) bemesting wel noodzakelijk zijn en dientengevolge zal het fosfaatgehalte van de bodem een weinig of niet afnemen. Door de traagheid van afbouw van de fosfaatvoorraad uit landbouwgronden die nog in gebruik zijn, zullen fosfaatrijke percelen niet snel tot het verleden behoren. Daarom wordt aanbevolen om bij vernatting van landbouwgronden of bij aanwijzing van bergingstaakstellingen een risicoanalyse te maken ten aanzien van het vrijkomen van fosfaat.

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusie

1	Inleiding	1
1.1	Fosfaat in Nederlandse zandgronden, van tekort naar overmaat.....	1
1.2	Beleidscontext.....	2
1.3	Duurzaam bemesten op fosfaatrijke gronden; vragen en antwoorden in de context van De Marke	2
1.4	Dit rapport	3
2	Materiaal en methode.....	5
2.1	Overzicht	5
2.2	Proefveld	5
2.2.1	Perceelskenmerken en –keuze	5
2.3	Methode.....	6
2.3.1	Behandelingen en proefopzet.....	6
2.3.2	Waarnemingen en metingen	8
3	Resultaten	9
3.1	Gewasopbrengsten bij variërende fosfaatbemesting.....	9
3.2	Fosforbalans	9
3.3	Ontwikkeling van de fosfaattoestand	10
3.3.1	Bodemlaag 0-20 cm.....	10
3.3.2	Bodemlaag 20-40 cm.....	12
3.3.3	Bodemlaag 0-40 cm.....	13
3.4	Grondwater	15
4	Discussie.....	17
4.1	Gewasopbrengsten bij uitmijnen van een fosfaatverzaadigd perceel	17
4.2	Fosfaatbalans	17
4.3	Ontwikkeling van de fosfaattoestand	18
4.4	Verliezen uit de bouwvoor en de concentratie in grondwater	21
4.5	Fosfaatrijke landbouwgronden; een overzicht van arealen met een geringe fosfaatbehoefte in Nederland.....	22
4.6	Uitmijnen in relatie tot natuurdoelen	23
4.7	Betekenis voor bodemgebruik en waterbeheer	23
	Bijlagen	24
	Bijlage 1 Perceel 1-perceelkenmerken	24
	Bijlage 2 Definities	27
	Bijlage 3 Bemesting	28
	Bijlage 4 Samenstelling organische mest	29
	Bijlage 5 Bodemanalyses.....	30
	Bijlage 6 Figuren en tabellen P-sanering	33
	Literatuur.....	42

1 Inleiding

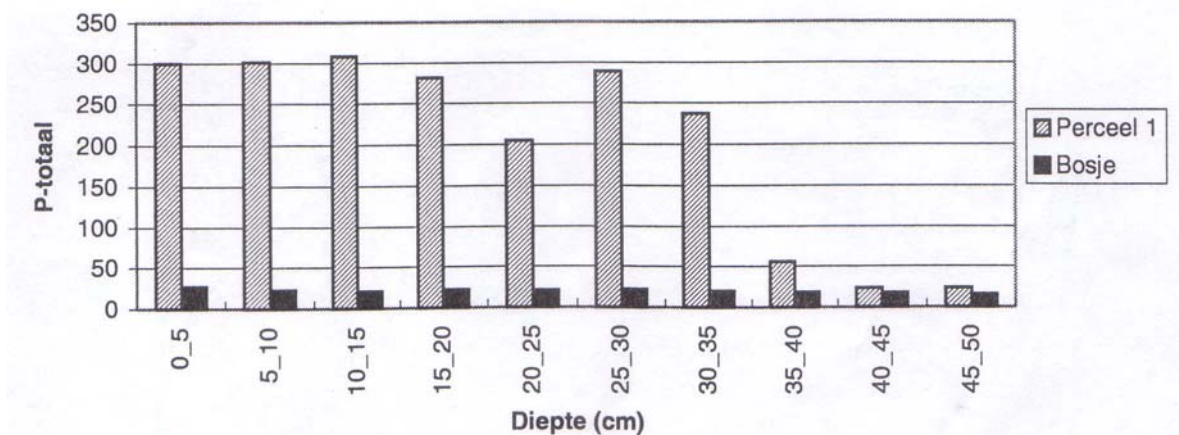
Dit rapport beschrijft de resultaten van een langjarige bemestingsproef in het bedrijfssysteem van 'De Marke' waarin verschillende fosfaatdoseringen zijn toegepast op een sterk met fosfaat verrijkt perceel. De proef was erop gericht om de reactie van de fosfaattoestand, het fosfaatgehalte, de gewasopbrengst en fosfaatuitspoeling naar grondwater te volgen bij toepassing van verschillende bemestingsstrategieën. De strategieën zijn: maximaal uitmijnen, gematigd uitmijnen en evenwichtsbemesting zoals toegepast op 'De Marke'.

1.1 Fosfaat in Nederlandse zandgronden, van tekort naar overmaat

Fosfor (P) is, evenals stikstof, kalium en sulfaat, een macro-element; om te kunnen groeien heeft de plant daarvan relatief grote hoeveelheden nodig. Fosfor speelt een rol bij de energieoverdracht, eiwitsynthese, bij de overdracht van genetische informatie en als bestanddeel van membranen. Veelal spreekt men in plaats van fosfor over fosfaat omdat dit de meest algemene chemische verschijningsvorm (verbinding) is¹. De meeste gronden bevatten van nature slechts weinig opneembaar fosfaat. Vooral op zandgronden heeft de beperkte beschikbaarheid van plantenvoedende stoffen eeuwenlang een remmende werking gehad op de opbrengsten van gewassen. De introductie van kunstmest omstreeks 1890 leverde nieuwe kansen voor de landbouw op; zo werden tussen 1900 en 1940 op grote schaal heidegronden ontgonnen, gronden die eerder niet geschikt waren voor landbouw. De kunstmestgiften waren aanvankelijk relatief laag. In 1990 was echter, mede door de import van krachtvoer, een groot verschil ontstaan tussen de aanvoer en de afvoer van fosfor. In dat jaar werd in de Nederlandse landbouw 120 miljoen kg P aangevoerd en de afvoer bedroeg 41 miljoen kg P (Anonymus, 1994). Op melkveebedrijven lag de aanvoer midden jaren '80 op 47,9 kg en de afvoer op 16 kg, resulterend in een overschot van 31,9 kg P ha⁻¹ (Aarts *et al.*, 2000); in 1997 lag het overschot nog rond 25 kg P ha⁻¹ (Reijneveld *et al.*, 2000; Beldman & Prins, 1999). De fosfaattoestand van landbouwpercelen is door deze langdurige overdosering van fosfaat aanzienlijk gestegen. In 1997 had meer dan 60% van de door Blgg Oosterbeek geanalyseerde zandgronden een P-AL-getal (grasland) van 'ruim voldoende' en 'hoog' en meer dan 80% een Pw-getal (maïsland) van 'ruim voldoende' en hoger (meer dan 40% van de geanalyseerde zandgronden werd gewaardeerd als 'hoog')².

Een illustratie daarvan is te zien in figuur 1.1 waar het verschil in fosfaattoestand tussen een landbouwperceel op proefbedrijf 'De Marke' en een bosje is weergegeven. Het landbouwperceel en het bosje hebben dezelfde geologische herkomst. Bodemkundige verschillen zijn pas ontstaan nadat het perceel (vermoedelijk in 1940) werd ontgonnen voor landbouwkundig gebruik. Het fosfaatgehalte van het landbouwperceel in de bodemlaag tot 35 cm min maaiveld is veel hoger dan het fosfaatgehalte in het bosje (het verschil in gehalte bedraagt ongeveer 250 mg/100 g grond). In de periode waarin het perceel in landbouwkundig gebruik is geweest, is per hectare ongeveer 11.000 kg fosfaat in de bouwvoor geaccumuleerd.

Figuur 1.1 Het fosfaatprofiel (mg P₂O₅/100 g grond) van perceel 1 van 'De Marke' en van een nabij gelegen bosje (Hilhorst *et al.*, 1998)



¹ Fosfaat bestaat uit 2 fosforatomen en 5 zuurstofatomen (P₂O₅).

² Een uitleg over de betekenis van de begrippen P-AL en Pw wordt gegeven in Bijlage II.

1.2 Beleidscontext

Bij hoge fosfaatgehalten in de bodem kan fosfaat naar het grondwater of oppervlaktewater uitspoelen. De kans op uitspoeling wordt onder andere bepaald door de mate waarin de fosfaat-bindingscapaciteit van de bodem opgebruikt is. Verschillende bodemtypes lopen uiteen in het vermogen om fosfaat te binden. Bij voortdurende netto aanvoer van fosfaat zal de bindingscapaciteit van elke bodem vroeg of laat opraken; de bodem is dan fosfaatverzadigd. Als dit punt van verzadiging bereikt is, leidt een verdere ophoping van P in de bodem tot uitspoeling met nadelige gevolgen voor natuur en milieu. Dit besef groeide in de jaren '70 en resulteerde in de jaren '80 in beleid om overbemesting tegen te gaan. Er werden kwaliteitsdoelstellingen voor P in oppervlaktewater geformuleerd: het zomergemiddelde fosforgehalte mag maximaal gelijk te zijn 0,15 mg P l⁻¹. Om te waarborgen dat deze doelstelling ook op de lange termijn gerealiseerd kon worden werd dezelfde kwaliteitsnorm toegepast op het neerslagoverschot dat aan de onderkant van landbouwpercelen naar het grondwater werd afgevoerd. De maatregelen om de gewenste milieukwaliteit te bereiken zijn van meet af aan gericht geweest op enerzijds de beperking van het gebruik van meststoffen en anderzijds de beperking van het volume aan geproduceerde dierlijke mest (Henkens, 2000). Zo werd in 1984 het principe van evenwichts-bemesting³ geïntroduceerd als ijkpunt voor milieuhygiënisch verantwoorde bemesting. Later werd dit begrip beleidsmatig 'ingevuld' via gebruiksnormen naar normen voor de maximaal geaccepteerde overdosering van fosfaat (Dekker & Van Leeuwen, 1998). Het maximale fosfaatoverschot in MINAS, is voor 2003 vastgesteld op 20 kg ha⁻¹.⁴ Berekeningen (Oenema & Van Dijk, 1995) geven aan dat het noodzakelijk is om het fosfaatoverschot terug te brengen tot maximaal 1 kg ha⁻¹ jr⁻¹ teneinde de kwaliteitsdoelstelling voor zandgronden te realiseren. Veel minder dus dan het fosfaatoverschot dat in MINAS wordt toegestaan. Om een dusdanig laag fosfaatoverschot te realiseren zal de fosfaatbemesting (kunstmest en organische mest) sterk beperkt moeten worden ten opzichte van de huidige bemestingsniveaus.

1.3 Duurzaam bemesten op fosfaatrijke gronden; vragen en antwoorden in de context van De Marke

Het is de vraag welk effect de lagere fosfaatbemesting heeft op de bodemvruchtbaarheid (uitgedrukt in het Pw-getal en het P-AL-getal), het totale fosfaatgehalte, de opbrengst van gewassen en de grondwaterkwaliteit. Op bedrijfsschaal geeft het onderzoek op 'De Marke' hier een antwoord op (Habekotté *et al.*, 1998). Op 'De Marke' wordt een bemestingsstrategie gevolgd die ertoe leidt dat het fosfaatoverschot niet meer dan 1 kg ha⁻¹ jr⁻¹ bedraagt, bij een toestand 'voldoende' van de bodem. Vanaf de start van 'De Marke' wordt aandacht besteed aan het effect van nutriëntenbeheer conform milieunormen op bodemvruchtbaarheid en -kwaliteit. Tabel 1.1 geeft de resultaten aan van deze aanpak voor de bedrijfsbalans van fosfaat. In het kader aan het eind van dit hoofdstuk wordt de opzet en doelstelling van 'De Marke' weergegeven.

Tabel 1.1 Fosfaatbalans voor 'De Marke' en voor 'gangbare' bedrijfsvoering (Koskamp et al., 2001)

	De Marke 1993-2000	Gangbaar 1992-1996
Aanvoer		
Krachtvoer	28	50
Ruwvoer	4	3
Kunstmest	1	41
Organische mest	0	25
Depositie	2	2
Diversen	0	3
Totaal	35	124
Afvoer		
Melk	25	25
Vee	6	9
Ruwvoer	0	0
Organische mest	1	0
Totaal	32	34
Overschot	3	87

³ De bemestingsstrategie die erop gericht is om evenveel fosfaat via meststoffen aan landbouwgrond toe te dienen als met oogst van gewassen wordt onttrokken.

⁴ Om fosfaat (P₂O₅) om te rekenen naar fosfor (P) moet door 2,3 gedeeld worden. Een overschot van 20 kg fosfaat is gelijk aan 8,7 kg fosfor.

Dit onderzoek gaat in op een specifiek perceel op 'De Marke' met een fosfaattoestand die hoger wordt gewaardeerd dan 'voldoende'; deze hoge fosfaattoestand is ontstaan door het landbouwkundig gebruik van de grond in de periode voor de vestiging van 'De Marke' in 1989. Op dit perceel is een proef uitgevoerd die gericht was op het volgen van de reactie van fosfaattoestand, fosfaatgehalte, gewasopbrengst en fosfaatuitspoeling naar grondwater bij maximaal uitmijnen, bij gematigd uitmijnen en bij evenwichtsbemesting. Bij maximaal uitmijnen wordt geen fosfaat toegediend maar wordt wel gewasopbrengst geoogst; evenwichtsbemesting is erop gericht evenveel fosfaat aan te wenden als met het gewas wordt afgevoerd (dit is de gangbare strategie op 'De Marke'), en bij gematigd uitmijnen bedraagt de dosering de helft van de dosering conform evenwichtsbemesting.

1.4 Dit rapport

Dit rapport beschrijft achtereenvolgend de opzet van de proef (hoofdstuk 2, Materiaal en methode), de resultaten (hoofdstuk 3, Resultaten) en de wetenschappelijke en beleidsmatige betekenis van de resultaten (hoofdstuk 4, Discussie).

De Marke; het bedrijfssysteem en de bemestingsstrategie

De doelstelling van Proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu 'De Marke' is het ontwikkelen en demonstrenen van een bedrijfsopzet voor grondgebonden melkproductie die voldoet aan de te verwachten toekomstige stringente milieunormen ten aanzien van mineralen en systeemvreemde stoffen met een zo rendabel mogelijke bedrijfsvoering, met behoud van bodemvruchtbaarheid en rekening houdend met andere maatschappelijke doelen (Biewinga et al., 1996). Dat houdt onder meer in dat het nitraatgehalte van het bovenste grondwater niet hoger mag zijn dan 50 mg l⁻¹ en dat het stikstof- en fosfaatoverschot beperkt blijft tot respectievelijk 128 kg ha⁻¹ en 1 kg ha⁻¹. Ook gelden er beperkingen voor het energieverbruik, voor het gebruik van grondwater (voor beregening) en voor de toepassing van bestrijdingsmiddelen. Het bedrijf produceert 12.000 kg melk ha⁻¹, het gemiddelde van Nederland. Uit een evaluatie van resultaten bleek dat het nitraatgehalte (55 mg l⁻¹), het stikstofoverschot (156 kg ha⁻¹) en het fosfaatoverschot (6 kg ha⁻¹) nog te hoog is. In 2001 is het systeem daarom bijgesteld.

De bemestingsstrategie is gericht op het realiseren van een evenwicht tussen de aanvoer en de afvoer van fosfaat naar de bodem en een stikstofoverschot van minder dan 79 kg N/ha jr. Dit wordt nagestreefd door de mest van het vee zo goed mogelijk als meststof benutbaar te laten zijn. Binnen deze algemene aanpak wordt de dosering voor afzonderlijke percelen gevarieerd. Jaarlijks wordt per perceel de meststofbehoefte vastgesteld, waarbij rekening wordt gehouden met gewas- en bodemeigenschappen.

De drijfmestgift wordt ingesteld op de behoefte van gras aan stikstof. Dat beperkt het gebruik van kunstmest en verbetert de mineralenbalans. Gras heeft een hoge behoefte aan stikstof en kan daardoor relatief hoge doses via drijfmest gebruiken. Een deel van de aangeboden stikstof wordt door gras opgeslagen in de wortels en stoppels in de zode. Deze voorraad komt na onderploegen van het gras als voorbereiding op de bouwlandfase weer vrij en kan dan benut worden door maïs. Het bemestingsniveau van grasland is ongeveer 250 kg N ha⁻¹, van maïs 100 kg N ha⁻¹. De werkelijke bemesting van maïs is geringer, omdat de stikstof die vrijkomt door afbraak van de ondergeploegde graszode en groenbemester ook als meststof wordt ingerekend. Door de afnemende nawerking van de graszode neemt de behoefte aan stikstofmeststof toe met de duur van de bouwlandfase. Over een lange periode gerekend mag de fosfaatbemesting niet groter zijn dan de afvoer als gewas (evenwichtsbemesting). Doordat de drijfmestgift op gras vooral wordt afgestemd op de stikstofbehoefte ontvangt gras meer fosfaat dan het kan opnemen. Fosfaat is echter weinig uitspoelingsgevoelig, zodat het tijdelijk overschot in de graslandfase niet problematisch is. In de bouwlandfase is de afvoer als gewas groter dan de aanvoer met drijfmest, zodat de geaccumuleerde fosfaat weer wordt opgebruikt. Maïs wordt geteeld zonder gebruik te maken van kunstmest. Er wordt alleen bemest tussen midden maart en begin augustus, omdat de kans op nitraatuitspoeling buiten deze periode te groot is. Het kunstmestgebruik van De Marke is 70% (N) en 100% (fosfaat) lager dan dat van vergelijkbare praktijkbedrijven in het midden van de jaren negentig. Specifiek perceelsgericht beleid voor de dosering van fosfaat, hangt als volgt samen met de fosfaattoestand in percelen:

- *op percelen met een fosfaattoestand 'voldoende' wordt het overschot beperkt tot maximaal 0,45 P ha⁻¹ jr⁻¹,*
- *op percelen met een fosfaattoestand van meer dan 'voldoende' wordt een negatieve fosfaatbalans nagestreefd,*
- *op percelen die fosfaatverzadigd zijn, wordt geen bemesting met fosfaat toegepast.*

Deze randvoorwaarden gelden voor het fosfaatoverschot van het betreffende perceel, gemiddeld over één rotatie. Het fosfaatoverschot is gemiddeld over de periode 1993-2000 iets te hoog (Tabel 1.1), maar beduidend lager dan 'gangbaar'; het kunstmestgebruik is bijna 0.

2 Materiaal en methode

2.1 Overzicht

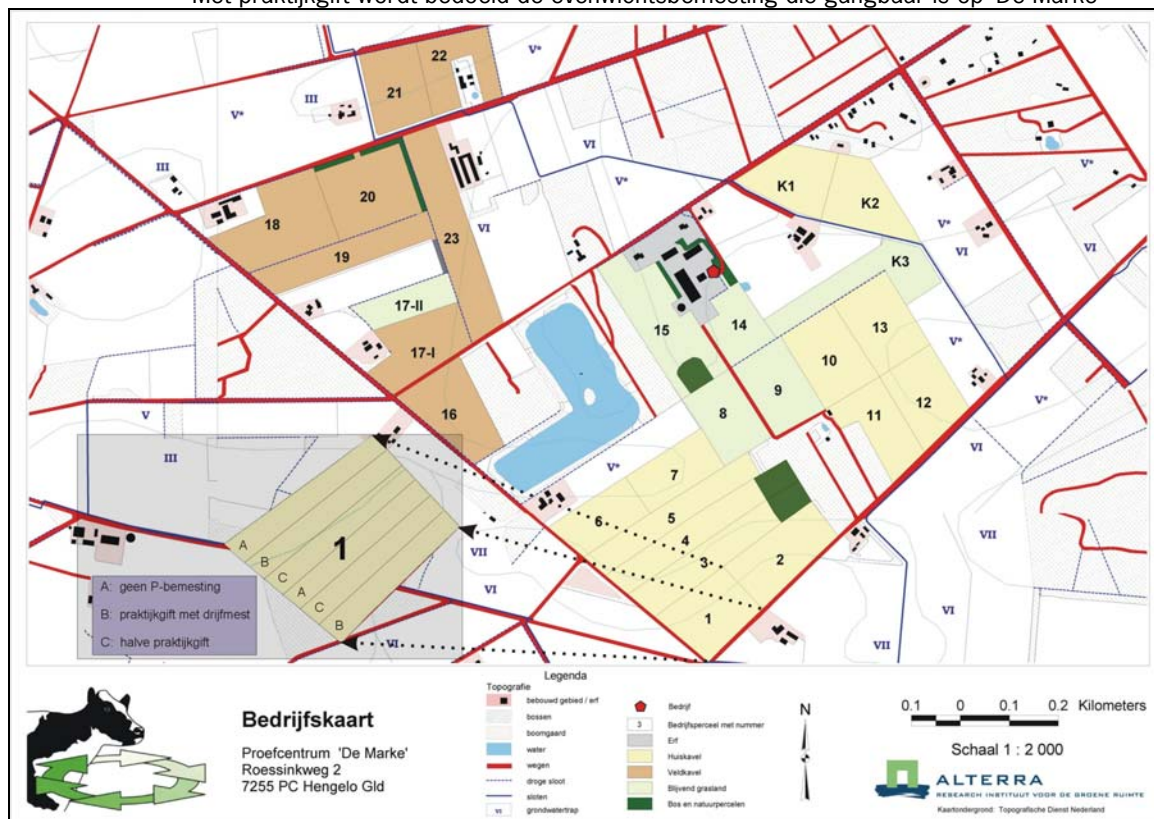
Op het perceel dat bij aanvang van De Marke de hoogste gemiddelde fosfaattoestand van alle percelen had, perceel 1, werden vanaf 1993 tot 2001 drie bemestingsstrategieën voor fosfaat uitgevoerd: evenwichtsbemesting, nul-bemesting en dosering van de helft van de gewasonttrekking. Bepaald werden opbrengsten van gewassen, het fosfaatgehalte in de bodem, Pw-getallen en PAL-getallen en de fosfaatconcentratie in het grondwater onder het perceel. Uitgebreidere informatie over opzet en omstandigheden is in dit hoofdstuk opgenomen.

2.2 Proefveld

2.2.1 Perceelskenmerken en -keuze

Perceel 1 (figuur 2.1.1) had bij aanvang van 'De Marke' de hoogste gemiddelde fosfaattoestand van alle percelen (Aarts, 1995), als gevolg van overmatige organische mestgiften in de jaren vóór 1990. Het Pw-getal lag in 1989/1990 op 117 mg P_2O_5 l⁻¹ (laag 0-25 cm), het P-AL-getal op 142 mg P_2O_5 100 g ds⁻¹, beide waarden liggen ruim in het traject 'hoog'. Dit perceel is gekozen voor de fosfaatsaneringsproef. Het perceel bestaat uit zandgrond en is grotendeels te karakteriseren als een veldpodzol met grondwatertrap VII (gemiddeld hoogste grondwaterstand 80-140 cm). Een strook van ca. 20% perceelsoppervlak is te karakteriseren als een Gooreerdgrond met grondwatertrap VII (gemiddeld hoogste grondwaterstand 140-180 cm) (Biewinga *et al.*, 1992).

Figuur 2.1.1 Plattegrond van 'De Marke', locatie van perceel 1 en behandelingen van veldjes in perceel 1. Met praktijkgift wordt bedoeld de evenwichtsbemesting die gangbaar is op 'De Marke'



Een aantal overige bodemkenmerken wordt hieronder beschreven. De gegevens zijn afkomstig van analyses op perceelsniveau, op blok 1 en op de vaste waarnemingsplek beschreven in het onderzoeksplan van 'De Marke' (Biewinga et al., 1992). Een aantal malen is een kenmerk vergeleken met de mediaan van door Blgg Oosterbeek geanalyseerde zandgronden.

pH, organischestofgehalte en dichtheid van de bodem

De pH van perceel 1 (Bijlage I) varieert van 5,2 in de laag 0-20 cm tot 6 in de laag 0-5 cm. De grasland-monsters (0-5 cm) liggen in het traject 'goed' tot 'vrij hoog'. De bouwlandmonsters (0-20 cm) worden gewaardeerd als 'goed' tot 'hoog'. Een duidelijke afname of toename is niet waarneembaar.

Het organischestofgehalte in de laag 0-5 cm ligt rond de 5, iets lager dan de mediaan voor zandgronden: 6,2% (Bijlage I). De gehalten in de lagen 5-10 en 10-20 cm zijn vrijwel gelijk aan de bovenste laag. Het gehalte in de bouwlandlaag (0-20 cm) ligt rond de 4,3%, gelijk aan de mediaan voor bouwland. In de laag 20-40 cm varieert het percentage tussen 2,2 en 3,5. In geen van de bemonsterde lagen lijkt het organische stofgehalte te veranderen in de periode 1990 tot 2001.

De dichtheid (ρ) is gemeten in 1991 en 1996 en met behulp van het organischestofgehalte ook berekend (Bijlage I). De gegevens zijn gebruikt om omrekeningen te maken van de laag 0-20 en 20-40 naar de laag 0-40 cm.

Tabel 2.1.2 Dichtheid (g cm^{-3}) in de verschillende bodemlagen

Bodemlaag	0-5	5-10	10-20	0-20	20-40	40-60
Dichtheid	0,993	1,204	1,183	1,141	1,347	1,581

Stikstof-, kalium- en magnesiumgehalten

Net als het organischestofgehalte lijkt ook het N-totaalgehalte niet te zijn veranderd in de afgelopen decennia; ook vinden we weinig verschillen tussen de lagen 0-5, 5-10 en 10-20 cm: tussen 150 en 175 mg N per 100 g ds (Bijlage I). Wanneer we N-totaal omrekenen naar stikstoflevering (NLV) (Hassink, 1995) dan ligt de NLV (0-20 cm) op 107 kg N ha^{-1} ; een vrij lage stikstoflevering. In de laag 20-40 cm is de hoeveelheid N-totaal ongeveer 82 mg N per 100 g ds, ongeveer de helft van de hoeveelheid in de bodemlaag erboven.

De K-totaal waarden in de lagen 0-5, 5-10 en 10-20 cm nemen in de periode 1992/1993 - 1996/1997 af van 48-62 tot 35-39 mg K_2O 100 g ds^{-1} om vervolgens op dat niveau te blijven. Het K-getal voor bouwland en voor grasland wordt gewaardeerd als 'vrij hoog' tot 'hoog' (zie Bijlage I).

Slechts twee keer is het magnesiumgehalte gemeten. In 1989/1990 werd een MgO-gehalte van 112 (ruim voldoende) gevonden, in 1994/1995 een gehalte van 222 (hoog). Beide waarden liggen (ruim) boven het streefgetal van 75 mg MgO per kg grond.

2.3 Methode

2.3.1 Behandelingen en proefopzet

Voor de fosfaatproef zijn in de periode 1993-2001 drie bemestingsniveaus toegepast:

- P-0 geen fosfaatbemesting; geen kunstmest en geen organische bemesting
- P-½ evenwicht halve dosering van de evenwichtsbemesting
- P-evenwicht evenwichtsbemesting

De stikstof- en kaliumdosering is in alle behandelingen gelijk en afgestemd op de behandeling met de evenwichtsbemesting. Hiertoe is de eventuele gift runderdrijfmest aangevuld met kunstmest zodat in totaal dezelfde hoeveelheden zijn gegeven. In de Tabellen 2.3.1, 2.3.2 en 2.3.3 is de bemesting voor respectievelijk N, P en K gegeven. In Bijlage III is een uitgebreider overzicht van de bemesting gegeven; de samenstelling van de organische mest staat in Bijlage IV.

Tabel 2.3.1 Totale hoeveelheid werkzame N (kg ha⁻¹ jaar⁻¹) die via dierlijke mest en kunstmest op perceel 1 van 'De Marke' werd toegediend

Hoofdgewas	1993 voederbiet	1994 maïs	1995 maïs	1996 triticale gras/klover	1997 gras/ klover	1998 gras/ klover	1999 maïs	2000 maïs
Kunstmest								
P-0	100	50	46	130	291	227	38	45
P-½evenwicht	50	25	23	105	217	180	19	22
P-evenwicht	0	0	0	80	142	132	0	0
Dierlijke mest								
P-0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-½evenwicht	42	25	21	30	70	54	22	24
P-evenwicht	85	50	41	59	139	108	43	47
Totaal								
P-0	100	50	46	130	291	227	38	45
P-½evenwicht	92	50	44	135	287	234	41	46
P-evenwicht	85	50	41	139	281	240	43	47

Tabel 2.3.2 Totale hoeveelheid P₂O₅ (kg ha⁻¹ jaar⁻¹) die via dierlijke mest en kunstmest op perceel 1 van 'De Marke' werd toegediend

Hoofdgewas	1993 voederbiet	1994 maïs	1995 maïs	1996 triticale gras/klover	1997 gras/ klover	1998 gras/ klover	1999 maïs	2000 maïs
Kunstmest								
P-0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-½evenwicht	0	0	0	0	0	0	0	0
P-evenwicht	0	0	0	0	0	0	0	0
Dierlijk mest								
P-0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-½evenwicht	25	11	9	13	47	31	11	11
P-evenwicht	49	22	18	27	93	62	22	22
Totaal								
P-0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-½evenwicht	25	11	9	13	47	31	11	11
P-evenwicht	49	22	18	27	93	62	22	22

Tabel 2.3.3 Totale hoeveelheid K₂O (kg ha⁻¹ jaar⁻¹) die via dierlijke mest en kunstmest op perceel 1 van 'De Marke' werd toegediend

Hoofdgewas	1993 voederbiet	1994 maïs	1995 maïs	1996 triticale gras/klover	1997 gras/ klover	1998 gras/ klover	1999 maïs	2000 maïs
Kunstmest								
P-0	190	120	110	265	446	317	102	108
P-½evenwicht	95	60	55	175	224	158	51	54
P-evenwicht	0	0	0	85	0	0	0	0
Drijfmest								
P-0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-½evenwicht	112	57	47	89	209	159	53	58
P-evenwicht	224	114	94	177	418	318	106	116
Totaal								
P-0	190	120	110	265	446	317	102	108
P-½evenwicht	207	117	102	264	433	317	104	112
P-evenwicht	224	114	94	262	418	318	106	116

Er is gewerkt met stikstof-, fosfaat- en kaliumwerkingscoëfficiënten volgens de Adviesbasis (Anonymus, 1998)

2.3.2 Waarnemingen en metingen

Bodem

Als maat voor de hoeveelheid extraheerbaar fosfaat in de grond wordt in de praktijk voor bouwland het Pw-getal gebruikt en voor grasland het P-AL-getal. Het Pw-getal is een maat voor de hoeveelheid in water oplosbare fosfaat. Het P-AL-getal geeft de hoeveelheid fosfaat weer die opgenomen wordt in een ammoniumlactaatoplossing; dit heeft een sterker extraherend effect heeft dan water. Met een P-totaal-meting wordt ook het fosfaat meegenomen dat is vastgelegd (zie voor definities ook Bijlage II). Per behandeling en herhaling (= blok) zijn monsters genomen voor de bepaling van het Pw-, het P-AL-getal en P-totaal in de bodemlagen van 0-20 en 20-40 cm diepte. De monsters zijn steeds in vaste kwadranten van 10 x 2 m² in verschillende blokken genomen. Per behandeling zijn vier herhalingen aangelegd.

Gewassen

Op het proefveld, perceel 1, is wisselbouw toegepast⁵ (zie Tabel 2.3.4). In de periode 1993-1996 zijn bepaald: de eindopbrengst van de gewassen (vers- en drooggewicht), de P-gehaltes (en de N- en K-gehaltes) van verschillende plantonderdelen. Vervolgens is de P-afvoer van het perceel berekend. De opbrengsten van de gewassen zijn per blok bepaald. In 1992 en 1993 zijn vanwege praktische overwegingen de maïsopbrengsten bepaald voor twee herhalingen tezamen (blokken I/III en II/IV samen). Vanaf 1997 zijn alleen nog de gewasopbrengsten van het gehele perceel bepaald (zie § 3.1).

Tabel 2.3.4 Vruchtwisseling op perceel 1 van 1993-2001

	Jaar							
	1993	1994	1995	1996	1996-1998	1999	2000	2001
Hoofdgewas	voederbiet	maïs	maïs	triticale	gras/klover	maïs	maïs	triticale
Ras	Bolero	Mandigo	Moreno	n.b.	Cornwall/ Respect/Riesling	Goldoli	Goldoli	n.b.
Inzaaidatum	9-4-'93	2-5-'94	27-4-'95	6-9-'95	3-9-'96	4-5-'99	1-5-00	24-10-'00
Voorvrucht	gras	voederbiet	maïs	maïs	triticale	gras/ klover	maïs	maïs

Grondwater

De methodiek van grondwaterkwaliteitsbepalingen in het bovenste grondwater onder het proefveld komt overeen met die van andere percelen op De Marke. De bemonsteringsprocedure op De Marke is uitvoerig beschreven door Boumans *et al.* (2001). Het bovenste grondwater is bemonsterd door een polyethyleen buis tot 0,25 meter onder de grondwatertafel te brengen en het grondwater op te zuigen. De grondwatermonsters zijn niet aangezuurd of gefilterd. Er waren 6 monsterpunten op perceel 1. Het perceel heeft een oppervlakte van 2,14 ha; de bemonsteringsintensiteit bedroeg dus 2,8 monsterpunten/ha. Het bemonsteringsschema is niet aangepast aan de verschillende behandelingen van de blokken op perceel 1.

⁵ Dat wil zeggen dat op het perceel teelt van gras en teelt van andere voedergewassen elkaar afwisselen in een vast rotatieschema. De rotatie is meestal: 3 jaar gras, 3 jaar bouwland (maïs of voederbiet). 6 Percelen op 'De Marke' zijn blijvend grasland; de overige percelen zijn wisselbouwpercelen. Door wisselbouw toe te passen kan het organische stof-gehalte zich in de graslandfase opbouwen zodat er voldoende organische stof in de grond aanwezig is in de bouwlandfase. Bij continu bouwland zou het organische stof-gehalte te laag worden.

3 Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de waarnemingen weergegeven van gewasopbrengsten (§ 3.1), de fosforbalans (§ 3.2), ontwikkeling van de fosfaattoestand aan de hand van het Pw-getal, het P-AL-getal en het totaal P-gehalte (§ 3.3) en de fosfaatconcentratie in het grondwater (§3.4).

3.1 Gewasopbrengsten bij variërende fosfaatbemesting

In Tabel 3.3.1 zijn de gemiddelde gewasopbrengsten (totaal bovengronds) van de verschillende behandelingen weergegeven. De verschillende behandelingen vertoonden tot en met 1996 geen significant effect op de gewasopbrengsten ($P > 0,05$), ondanks de grote verschillen in P-aanvoer via de mestgift. Ook was geen trend aanwijsbaar zoals bijvoorbeeld een toename van de gewasopbrengst met toename van de P-aanvoer. Daarom is besloten na 1996 de gewasopbrengsten niet meer per behandeling te meten. Ter controle zijn in 1997 nog wel twee grassnedes per behandeling gemeten, in mei had de P-0 behandeling de hoogste grasopbrengst en P-evenwicht de laagste en in juni 1997 was dat net andersom. Dit gaf geen aanleiding de beslissing te herzien. Ook de visuele waarnemingen die wel doorgingen, gaven daartoe geen aanleiding; er werden geen verschillen tussen de behandelingen waargenomen.

Tabel 3.1.1 Gewasopbrengsten (totaal bovengronds, kg ds ha⁻¹) in de verschillende behandelingen: 1) geen fosforbemesting (P-0), 2) een halve dosering van de evenwichtsbemesting (P-1/2 evenwicht) en 3) fosforevenwichtsbemesting zoals toegepast op 'De Marke' (P-evenwicht)

Jaar	Gewas	Behandeling	Opbrengst		
			Biet	Blad	Totaal
1993	voederbiet	P-0	18.371	4.175	22.712
		P-1/2 evenwicht	18.462	4.476	22.938
		P-evenwicht	18.005	4.123	22.127
		LSD ₀₅			2.461
1994	maïs	P-0			6.846
		P-1/2 evenwicht			6.779
		P-evenwicht			6.841
		LSD ₀₅			1.639
1995	maïs	P-0			6.388
		P-1/2 evenwicht			6.298
		P-evenwicht			6.948
		LSD ₀₅			2.733
1996	triticale	P-0			8.823
		P-1/2 evenwicht			8.535
		P-evenwicht			10.725
		LSD ₀₅			2.828
1997	gras	Totaal			11.882
1998	gras	Totaal			8.785
1999	maïs	Totaal			14.532
2000	maïs/mks/maïsstro	Totaal			13.589

3.2 Fosforbalans

De aan- en afvoer van P en het overschot zijn in Tabel 3.2.1 gegeven. De P-aanvoer via organische mest en kunstmest op de P-0 behandelingen was 0. De aanvoer van de P-evenwicht-behandelingen varieerde van 7,8 kg bij maïs tot 40,5 kg P bij grasland; op grasland wordt meer mest toegediend omdat er meerdere snedes zijn. Ook de afvoer van P via gras was hoger, tot 49 kg P. De afvoer van P via voederbieten was eveneens aanzienlijk (> 45 kg); wanneer perceel 1 wordt benut voor de teelt van maïs wordt er minder P afgevoerd. Het verschil in P-afvoer tussen de behandelingen was nihil en vertoonde geen trend; besloten werd de behandelingen niet meer afzonderlijk te oogsten. Het P-overschot is in alle gevallen negatief, variërend van – 1,5 tot –49,0 kg P. De verschillen in overschot tussen de P-0 en P-evenwicht variëren van minder dan 10 kg tot ongeveer 40 kg P ha⁻¹. Het P-overschot is niet gelijk aan nul bij de blokken die zijn behandeld volgens de evenwichtsbemestingsstrategie. Dit lijkt vreemd, maar is eenvoudig te verklaren. De gift bij evenwichtsbemesting is afgestemd op de verwachting van de P-onttrekking. Achteraf blijkt pas in hoeverre deze verwachting is uitgekomen en hoe dicht P-onttrekking en P-gift elkaar in de strategie van evenwichtsbemesting hebben benaderd.

Tabel 3.2.1 Aanvoer van P (kg ha⁻¹) in meststoffen, de afvoer van P via de gewassen en het P-overschot bij de verschillende behandelingen (zie Tabel 3.1.1)

Jaar	Gewas	Behandeling	P-aanvoer	P-afvoer	P-overschot
1993	voederbiet	P-0	0,0	46,3	-46,3
		P-½ evenwicht	10,9	45,3	-34,6
		P-evenwicht	21,4	45,5	-24,1
1994	maïs	P-0	0,0	19,0	-19,0
		P-½ evenwicht	4,8	19,5	-14,7
		P-evenwicht	9,6	20,0	-10,4
1995	maïs	P-0	0,0	9,5	-9,5
		P-½ evenwicht	3,9	7,9	-4,0
		P-evenwicht	7,8	9,3	-1,5
1996	triticale gras/klover	P-0	0,0	18,6	-18,6
		P-½ evenwicht	5,7	15,4	-9,5
		P-evenwicht	11,8	22,1	-10,4
1997	gras	P-0	0,0		-49,0
		P-½ evenwicht	20,5	49,0	-28,5
		P-evenwicht	40,5		-8,5
1998	gras	P-0	0,0		-45,9
		P-½ evenwicht	13,5	45,9	-32,5
		P-evenwicht	27,0		-18,9
1999	maïs	P-0	0,0		-25,9
		P-½ evenwicht	4,8	25,9	-21,1
		P-evenwicht	9,6		-16,3
2000	maïs/mks/maïsstro	P-0	0,0		-21,8
		P-½ evenwicht	4,8	21,8	-17,0
		P-evenwicht	9,6		-12,2

NB: P-afvoer is de netto afvoer (dus de P-opname in het gewas minus oogstverliezen en stoppelresten e.d.).

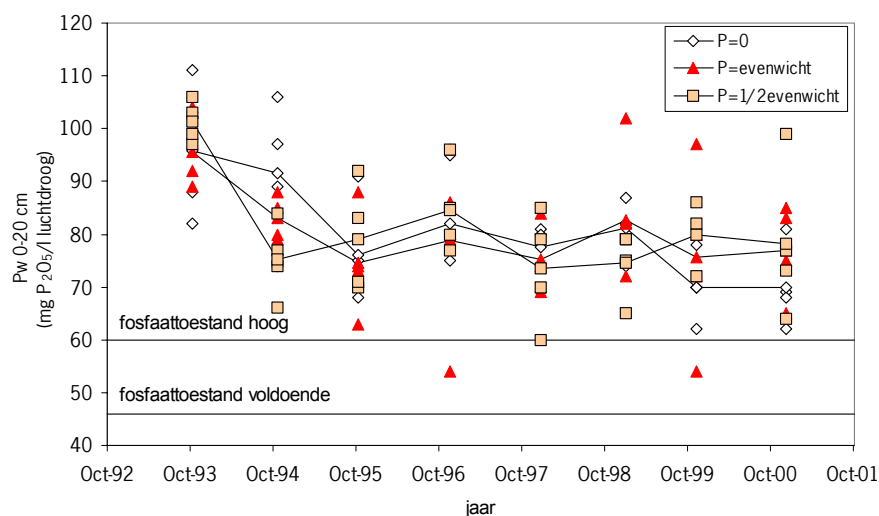
3.3 Ontwikkeling van de fosfaattoestand

De uitslagen van de grondonderzoeken staan in Bijlage V en in Bijlage VI staan per behandeling het Pw-, het P-AL- en het P-totaal-getal; ook zijn in deze bijlage overzichtstabellen opgenomen.

3.3.1 Bodemlaag 0-20 cm

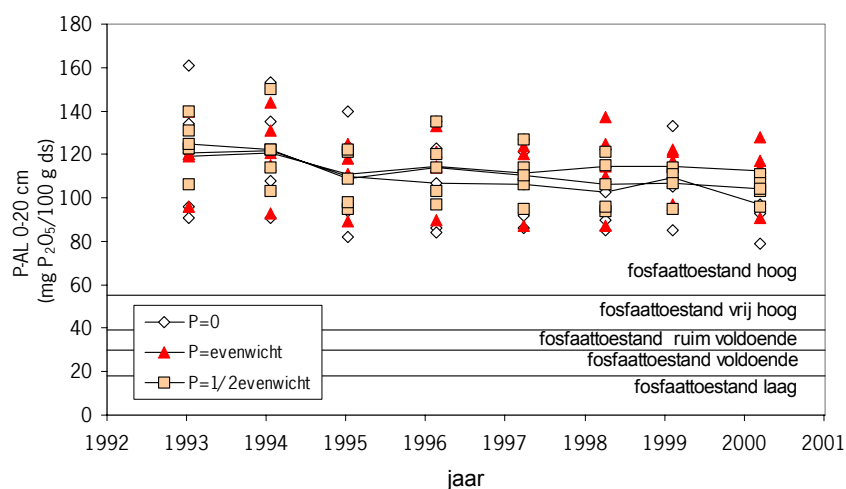
Het Pw-getal was in 1989/1990, dus ruim voor aanvang van de proef, 117 (laag 0-25 cm). Bij aanvang van de proef in 1993 is het Pw-getal al wat gedaald, het gemiddelde Pw-getal van de drie behandelingen ligt op ongeveer 100 (Figuur 3.3.1). Het verschil tussen de hoogste en laagste waarde is 29 (111-82), een behoorlijk verschil, maar alle waarden liggen ruim in het gebied 'hoog' (ruim boven Pw-getal 60). De eerste twee jaar daalt het Pw-getal vrij snel. Bij de alle drie behandelingen is het Pw-getal na 2 jaar gedaald met ongeveer 20. Daarna lijkt het Pw-getal gelijk te blijven. De laatste twee jaar (1999/2000 en 2000/2001) ligt het Pw-getal van de behandeling P-0 op het laagste niveau (Pw-getal 70), nog altijd in het gebied dat landbouwkundig als 'hoog' wordt geclassificeerd.

Figuur 3.3.1 Verloop van het Pw-getal in de bodemlaag 0-20 cm voor de behandelingen P-0, P-1/2 evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001



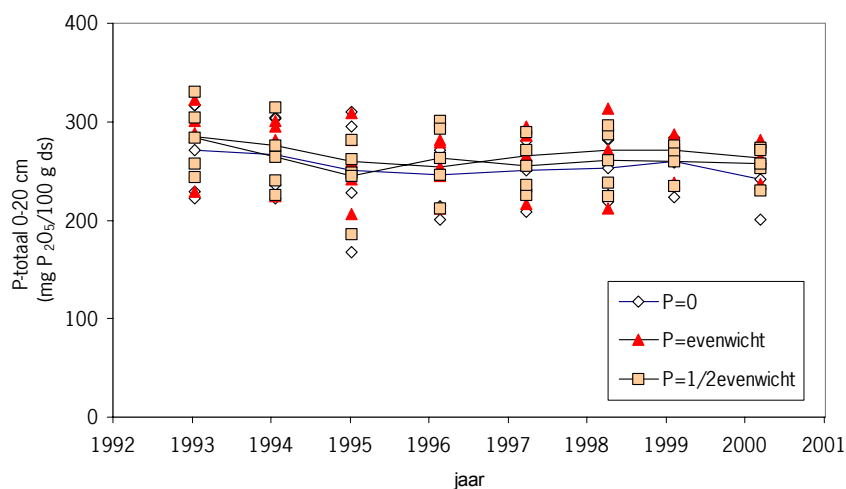
Het P-AL-getal is in 1989/1990 142 (laag 0-25 cm). Bij aanvang van de proef is het P-AL-getal 20 lager. Net als bij het Pw-getal is het verschil tussen de hoogste en laagste waarde aanzienlijk; $161-91 = 70$ (Figuur 3.3.2). Ook hier liggen alle waarden ruim boven de 55; fosfaattoestand 'hoog'. Het P-AL-getal daalt in de loop van de proef naar gemiddeld 110. Er lijken geen verschillen tussen de behandelingen te zijn.

Figuur 3.3.2 Verloop van het P-AL-getal in de bodemlaag 0-20 cm voor de behandelingen P-0, P-1/2 evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001



Het P-totaal-getal (Figuur 3.3.3) ligt bij aanvang rond de 280. Het getal lijkt in de eerste twee jaar vrij sterk af te nemen tot rond 250. Daarna neemt het gemiddeld weer iets toe; bij de laatste analyses (2000/2001) is het P-totaal-getal gemiddeld 10% lager dan in 1993/1994 (Tabel VI).

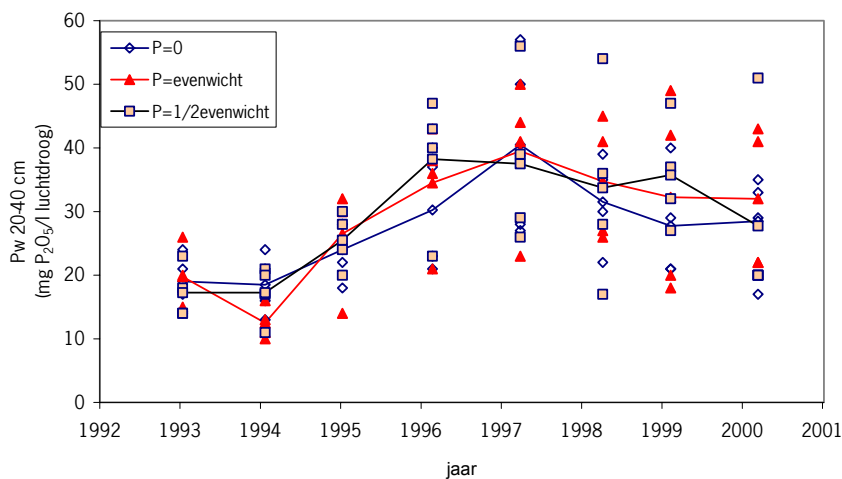
Figuur 3.3.3 Verloop van het P-totaal-getal in de bodemlaag 0-20 cm voor de behandelingen P-0, P- $\frac{1}{2}$ evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001.



3.3.2 Bodemlaag 20-40 cm

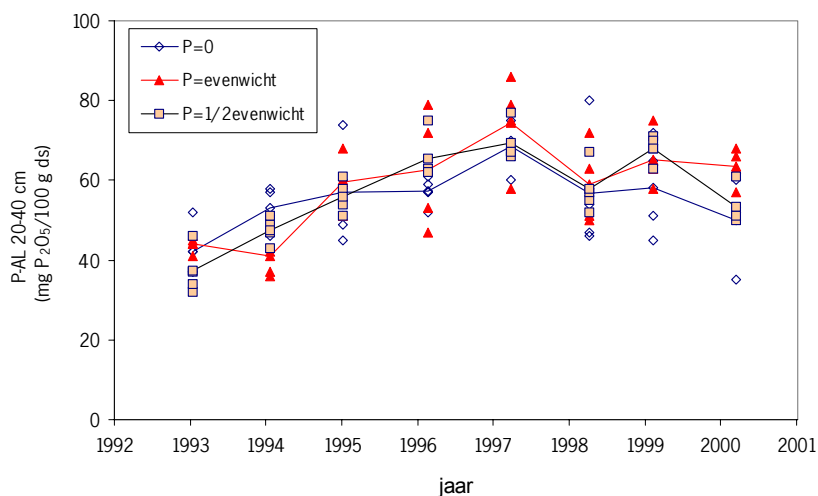
Het Pw-getal in de bodemlaag 20-40 cm (Figuur 3.3.4) is in 1993 iets lager dan 20. In het eerste jaar verandert daar niets aan; daarna stijgt het Pw-getal tot gemiddeld 40 in 1997/1998. In de laatste drie proefjaren neemt het Pw-getal weer iets af tot een gemiddelde van 30. Er lijken geen verschillen tussen de behandelingen te zijn.

Figuur 3.3.4 Verloop van het Pw-getal in de bodemlaag 20-40 cm voor de behandelingen P-0, P- $\frac{1}{2}$ evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001



Het P-AL-getal in de bodemlaag 20-40 cm vertoont een zelfde verloop als het Pw-getal. Het stijgt van gemiddeld 40 tot bijna het dubbele in 1997/1998, waarna het weer iets af lijkt te nemen (Figuur 3.3.5).

Figuur 3.3.5 Verloop van het P-AL-getal in de bodemlaag 20-40 cm voor de behandelingen P-0, P-½ evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001

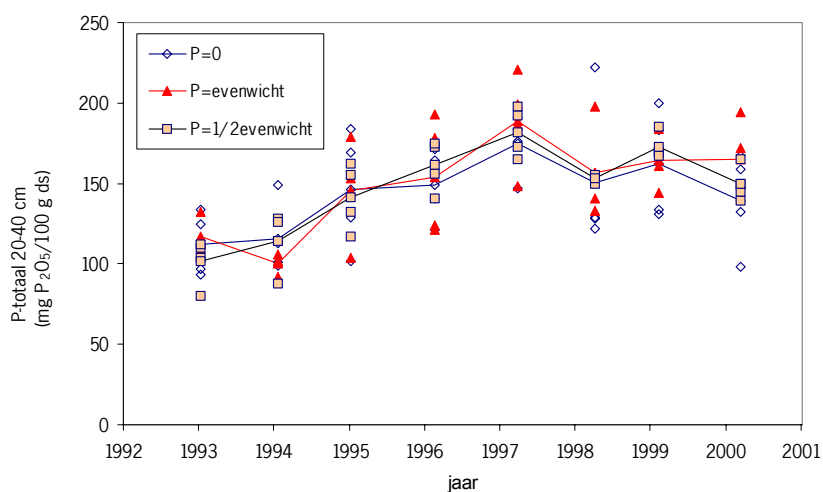


Ook het P-totaal-getal neemt in eerste instantie toe (van 110 tot 185), waarna het weer iets afneemt tot ongeveer 150. Er zijn wederom geen verschillen tussen de behandelingen waar te nemen (Figuur 3.3.6).

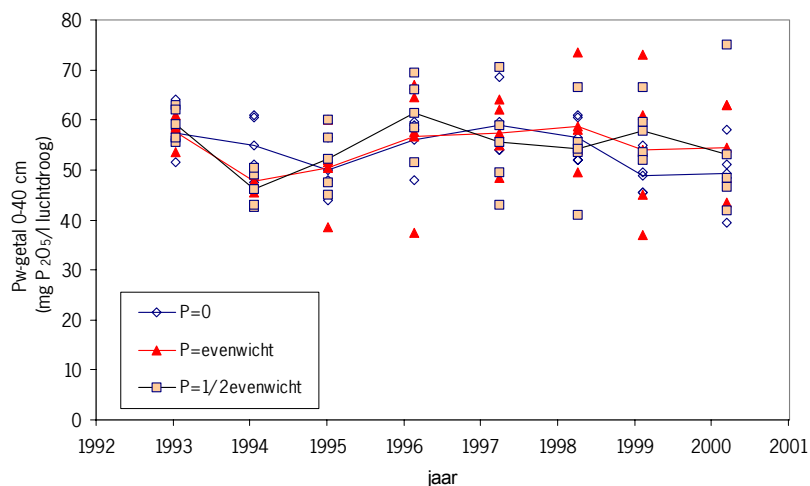
3.3.3 Bodemlaag 0-40 cm

Het Pw-getal (Figuur 3.3.7) schommelt tussen de 50 en 60; voor geen van de behandelingen is een opwaartse of neerwaartse trend zichtbaar. Het P-AL-getal (Figuur 3.3.8) vangt aan en eindigt met 80 als gemiddelde waarde. Duidelijke verschillen tussen de behandelingen zijn afwezig, wel heeft de behandeling P-0 vanaf 1996/1997 de laagste waarden. Het P-totaal-getal (Figuur 3.3.9) is bij aanvang van de proef gemiddeld ongeveer 190. De hoeveelheid P-totaal neemt daarna zelfs toe tot meer dan 200, vervolgens daalt de hoeveelheid P-totaal weer licht tot gemiddeld ongeveer 200. Vanaf 1996/1997 is het P-totaal-getal van de behandeling P-0 gemiddeld het laagst.

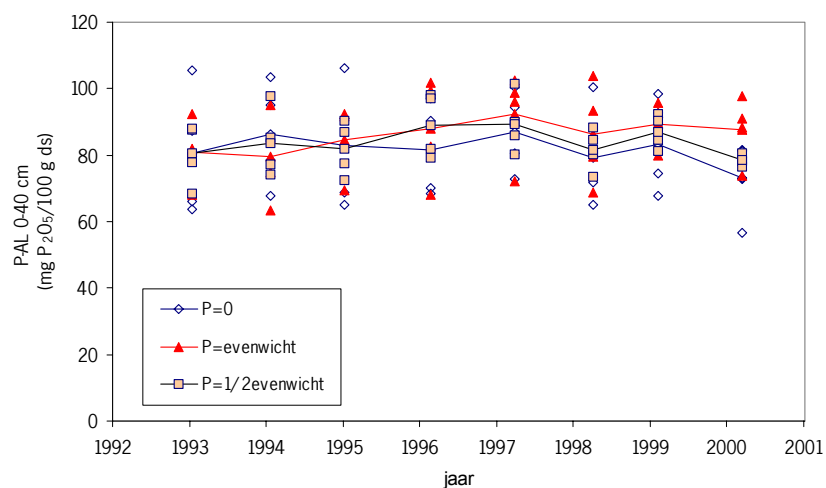
Figuur 3.3.6 Verloop van het P-totaal-getal in de bodemlaag 20-40 cm voor de behandelingen P-0, P-½ evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001



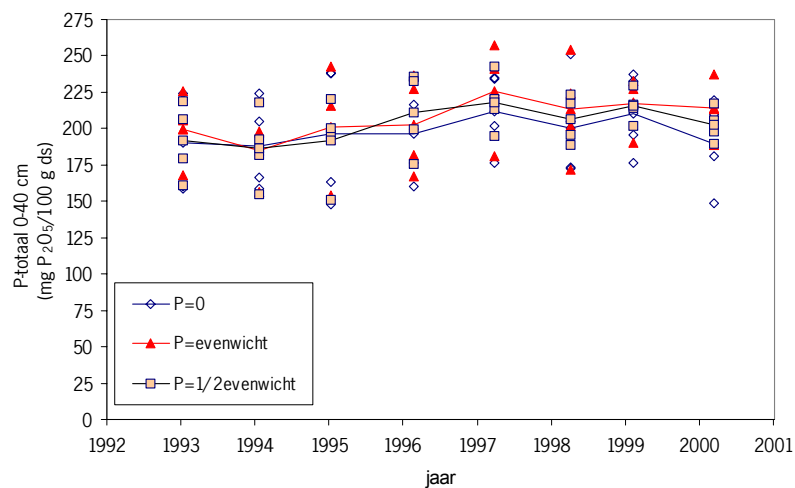
Figuur 3.3.7 Verloop van het Pw-getal in de bodemlaag 0-40 cm voor de behandelingen P-0, P- $\frac{1}{2}$ evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001



Figuur 3.3.8 Verloop van het P-AL-getal in de bodemlaag 0-40 cm voor de behandelingen P-0, P- $\frac{1}{2}$ evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001

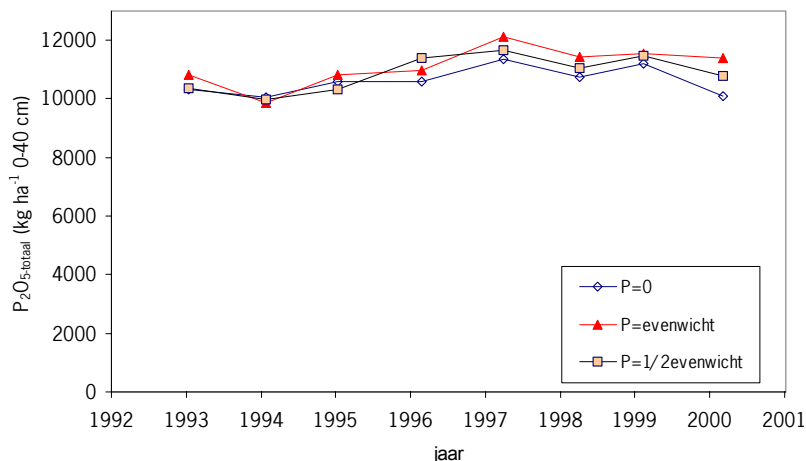


Figuur 3.3.9 Verloop van het P-totaal-getal in de bodemlaag 0-40 cm voor de behandelingen P-0, P- $\frac{1}{2}$ evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001



Figuur 3.3.10 laat de totale hoeveelheid fosfaat per hectare zien voor de bodemlaag 0-40 cm. Bij omrekening is gebruik gemaakt van de dichtheden in Tabel 2.1.2. De totale berekende hoeveelheid fosfaat is bij aanvang van de proef 10.500 kg en neemt toe tot 11.500 kg in 1997-1998, om vervolgens weer licht te dalen. De laatste vier jaar is te zien dat P-0 het laagst is, P-evenwicht het hoogst, P-½ evenwicht ligt daartussen. Verschillen tussen de behandelingen zijn echter niet erg uitgesproken. In dec.1999 bijvoorbeeld liggen de waarden voor P-0, P-½ evenwicht en P-evenwicht op bijna hetzelfde niveau.

Figuur 3.3.10 Verloop van de hoeveelheid P_2O_5 omgerekend naar hectare, in de bodemlaag 0-40 cm voor de behandelingen P-0, P-½ evenwicht en P-evenwicht, voor de periode 1993-2001.



3.4 Grondwater

De fosfaatconcentratie in het grondwater kon niet gerelateerd worden aan de behandeling met fosfaat van de veldjes op perceel 1 doordat de bemonsteringspunten niet duidelijk genoeg waren gekoppeld aan de veldjes. Wel kon het verloop van de gemiddelde fosfaatconcentratie in het perceel bepaald worden in de tijd (zie tabel 3.4). Als het uitmijnen van de bodem een meetbaar effect zou hebben op de gemeten concentraties in het grondwater zou dat tot uiting kunnen komen in de gemiddelde concentraties onder het perceel. Een afnemende concentratie naarmate het proces van uitmijnen vordert in de tijd zou hiervan een indicatie geven. Deze afname is echter niet duidelijk waarneembaar.

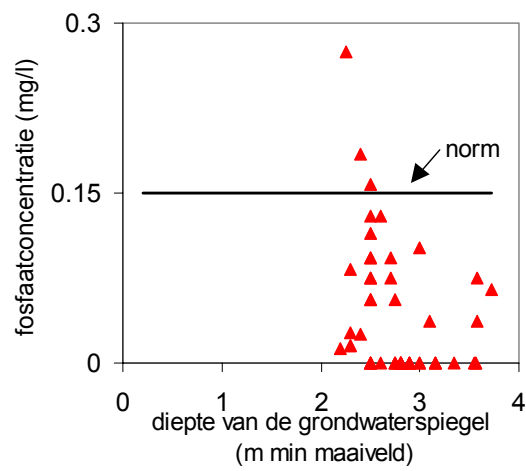
De grondwaterstand werd per bemonstering aangegeven. In figuur 3.4.1 is de fosfaatconcentratie in het grondwater uitgezet tegen de diepte van het grondwater onder maaiveld. Uit de figuur is op te maken dat een hoge fosfaatconcentratie doorgaans niet wordt aangetroffen bij een lage grondwaterstand en veel vaker bij een hoge grondwaterstand.

Tabel 3.4 Fosfaatgehaltes ($mg\ l^{-1}$) in grondwater van perceel 1

Jaar	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Concentratie	0,071	0,104	0,102	0,088	0,065	d.l.*	0,102	0,037	0,059

*: d.l. = lager dan de detectielimiet.

Figuur 3.4.1 Waargenomen fosfaatconcentraties op perceel 1 tussen 1993 en 2001 bij verschillende dieptes van het grondwater



4 Discussie

In dit hoofdstuk gaan we in op de effecten van de verschillende fosfaatbehandelingen op de fosfaattoestand in de bodem, op de onttrekkingssnelheid van fosfaat, de gewasopbrengst en op het grondwater. We vergelijken de waarnemingen met verwachte effecten. Vervolgens vergelijken we de resultaten van de veldproef met waarnemingen op De Marke op bedrijfsschaal. Tenslotte gaan we in op de betekenis van de resultaten voor het omgaan met zwaar met fosfaat belaste landbouwgronden.

4.1 Gewasopbrengsten bij uitmijnen van een fosfaatverzadigd perceel

In de veldproef was geen verschil waarneembaar tussen de opbrengst van de gewassen bij nul-bemesting, bij evenwichtsbemesting en bij dosering van de helft van de verwachte fosfaatonttrekking. Op het eerste gezicht lijkt dit zeer opmerkelijk. In discussies over nutriëntenbeheer zoals die zijn gevoerd in bijvoorbeeld Oenema en Van Dijk (1995) werd immers evenwichtsbemesting als onvoldoende beschouwd met het oog op het risico van opbrengstderving op de langere termijn, terwijl de hier beschreven proef geen derving laat zien zelfs bij nul-bemesting. Enige nuancering is echter op zijn plaats. De fosfaattoestand uitgedrukt in het Pw-getal is gemiddeld boven de 70 gebleven en bevindt zich dus nog in het traject dat landbouwkundig als hoog wordt aangeduid. In de adviesbasis voor bemesting wordt voor dekzand bij alle gewassen een nul-bemesting geadviseerd bij een Pw-getal hoger dan 65 hetgeen erop duidt dat bij Pw-getallen van een dergelijk niveau geen opbrengsverhogend effect van fosfaat verwacht wordt. Gelet op de fosfaattoestand is dus, ook na een aantal jaren nul-bemesting, nog geen gewasreactie te verwachten.

In de adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen wordt voor maïs een nul-bemesting geadviseerd bij een Pw hoger dan 65, voor voederbieten bij een Pw hoger dan 55 en voor triticale bij een Pw hoger dan 35. Op grond daarvan zijn tekenen van fosfaatdeficiëntie bij uitmijnen het eerst te verwachten bij maïs (Anonymous, 1999). Op De Marke zijn de effecten van evenwichtsbemesting op de maïsopbrengst reeds eerder uitvoerig geanalyseerd (Habekotté, 1998). De maïsopbrengsten vertoonden geen waarneembare samenhang met Pw-getallen over een *range* van Pw 20 tot 100. Doordat de perceelsoopbrengsten totstand waren gekomen in verschillende weerjaren kon de invloed van de vochtbeschikbaarheid onderzocht worden. De vochtbeschikbaarheid bleek wel heel duidelijk samen te hangen met het productieniveau. Uit het werk van Habekotté werd duidelijk dat opbrengstderving bij evenwichtsbemesting uitblijft op humusarme zandgronden tot Pw 20. Onze constatering vult de waarnemingen van Habekotté aan. We hebben nu gezien dat zelfs bij nul-bemesting geen verlaging van de opbrengst optreedt, althans niet in een situatie waarin de Pw's hoog blijven. De vraag die overblijft hoe de gewasrespons zal zijn bij uitmijnen bij lagere Pw's.

Men zou verwachten dat evenwichtsbemesting bij een bepaalde Pw niet tot een andere opbrengst leidt dan uitmijnen bij dezelfde Pw. Immers de Pw zou als maat voor de fosfaatbeschikbaarheid het meest moeten zeggen over het al dan niet optreden van fosfaatdeficiëntie. Of een Pw-getal tot stand is gekomen onder een regiem van evenwichtsbemesting of van nulbemesting voor fosfaat zou dan niet veel uit moeten maken. Volgens deze redenering zal een bemestingsstrategie de opbrengst slechts indirect, meetbaar via verandering van de Pw, beïnvloeden. Hierover bestaan echter ook andere opvattingen. Met name in de eerste fase van de ontwikkeling onttrekt de plant een deel van fosfaat uit aangevoerde mest in de directe nabijheid van de wortels van de jonge plant. Als er geen fosfaat uit mest beschikbaar is, dient de plant fosfaat uit de bodemoplossing op te nemen. Bij een lage fosfaatbeschikbaarheid in de bodem kan de afwezigheid van direct door de plant aan te boren fosfaat uit mest als een dubbele stressfactor beschouwd worden. Omdat de fosfaattoestand slechts langzaam daalt (zie later dit hoofdstuk) kan deze vraag in de veldproef op perceel 1 pas na lange tijd beantwoord worden. Een snel antwoord kan verkregen worden door fosfaatbemesting weg te laten op een perceel met een laag Pw-getal.

4.2 Fosfaatbalans

Het fosfaatoverschot was in alle proefjaren (1993-2000) negatief, variërend van $-3,4$ tot -112 kg ha^{-1} . Bij de evenwichtsbemesting (P-evenwicht) was het overschot gemiddeld -28 kg P_2O_5 ha^{-1} , bij het volledig achterwege laten van bemestingen (P-0) lag het overschot op -72 kg P_2O_5 ha^{-1} . Een gemiddeld verschil van 44 kg fosfaat tussen de behandelingen resulteerde niet in gemeten verschillen in gewasopbrengsten en ook visueel werden geen verschillen tussen de drie behandelingen gevonden. De fosfaatfonttrekking ging het snelst bij voederbiet en gras: respectievelijk 106 kg P_2O_5 /ha jr (één jaar) en 109 kg P_2O_5 /ha jr (gemiddeld over twee jaar).

De onttrekkingssnelheid bij teelt van maïs en triticale was een orde van grootte lager: respectievelijk 32 kg P_2O_5 /ha jr (gemiddelde van twee jaren) en 43 kg P_2O_5 /ha jr (één jaar). Als gestreefd wordt naar maximaal uitmijnen van een fosfaatverzaaid perceel is een gewasrotatie met een aanzienlijk aandeel voederbiet in de bouwlandfase optimaal. Een graslandfase is wenselijk om organische stofopbouw in de rotatie te laten plaatsvinden (Aarts, 2002). Er zijn geen aanwijzingen van een afnemende onttrekkingssnelheid. Behalve door een afnemende totaalopbrengst van de gewassen kan een afnemende onttrekkingssnelheid ook veroorzaakt worden door een lager fosforgehalte in de plant. Er waren geen aanwijzingen dat een dergelijke afname zich voordeed. Voortzetting van het uitmijnexperiment is van belang om vast te stellen hoe het proces van uitmijnen geoptimaliseerd kan worden. De onttrekkingssnelheid zal hier een rol bij spelen. Een nog onbeantwoorde vraag is hoe de onttrekkingssnelheid zich ontwikkelt op de middellange en lange termijn (meer dan tien jaar).

4.3 Ontwikkeling van de fosfaattoestand

Het negatieve fosfaatoverschot levert, in de bodemlaag 0-20 cm, een daling op van zowel het Pw-, als het P-AL-getal. Met name in de eerste twee jaar dalen deze bodemparameters, waarna ze min of meer gelijk blijven; ruim in het gebied 'hoog'. Tussen de behandelingen zien we kleine verschillen, bij zowel het Pw- als bij het P-AL-getal is de P-0 behandeling het sterkst gedaald (resp. 27% en 20%) tegen -20 en -5% bij de P-evenwichtbehandelingen. In de bodemlaag 20-40 cm zien we het omgekeerde, de fosfaattoestand stijgt eerst vrij sterk, waarna ze iets lijken af te nemen. Wanneer we de bodemlagen combineren zien we dat zowel het Pw-getal als het P-AL- getal vrijwel gelijk blijft, respectievelijk 50-60 en 80. Het Pw-getal van deze bodemlaag wordt landbouwkundig als 'hoog' geclassificeerd, het P-AL-getal 'vrij hoog' tot 'hoog'.

Ehlert *et al.* (1996) berekenden, via modelberekeningen, dat bij een negatief overschot van 30 kg P_2O_5 ha⁻¹ jr⁻¹ (bij een start Pw-getal van 100) het Pw-getal in een tijdsbestek van 66 jaar op het zeer lage en landbouwkundig onvoldoende Pw-getal 3 zou eindigen. Schoumans (1997) berekende dat bij eenzelfde negatief overschot (30 kg) dat het initiële Pw-getal binnen 10 tot 20 jaar gehalveerd zou zijn. Wanneer we kijken naar de P-0 behandeling (start Pw-getal: 96) waarbij het fosfaatoverschot gemiddeld op -72 kg lag, zien we dat het Pw-getal in de bodemlaag 0-20 zich al na een paar jaar lijkt te stabiliseren in het landbouwkundige traject 'hoog'. Van een werkelijke stabilisatie is echter geen sprake omdat bij elke behandeling steeds fosfaat is onttrokken (het overschot was steeds negatief).

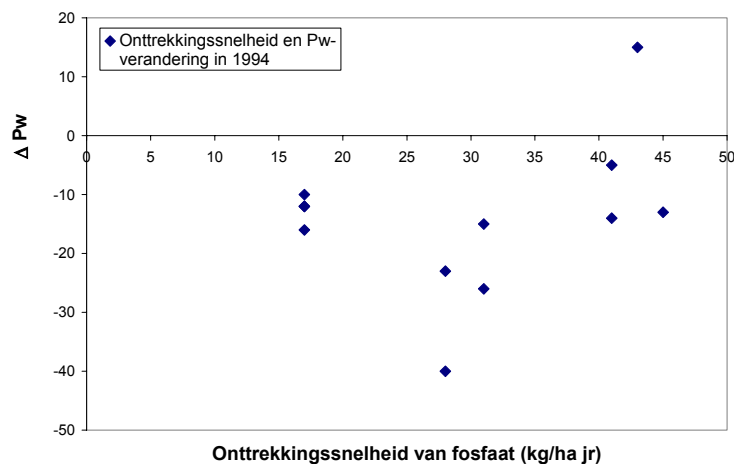
We krijgen enig gevoel voor wat er aan de hand is als we de onttrekkingssnelheid van fosfaat uitdrukken in percentages van de verschillende fosfaatfracties in de bodem. De totale fosfaatvoorraad in de gehele bouwvoor bedraagt ongeveer 11.000 kg fosfaat/ha. Grotendeels is deze enorme hoeveelheid fosfaat geadsorbeerd of als mineraalzouten neergeslagen. De voorraad beschikbaar fosfaat die bij de Pw-bepalingen zijn gemeten, de 'Pw-voorraad', is relatief klein: ongeveer 3% van de totale hoeveelheid fosfaat. Door onttrekking van 72 kg/ha, de gemiddelde onttrekkingssnelheid bij maximaal uitmijnen, wordt in een jaar een zeer klein deel van de totale fosfaatvoorraad afgehaald: in peceel 1 ongeveer 0,5%. Het fosfaat wordt opgenomen uit de bodemoplossing die maar een heel kleine voorraad fosfaat bevat. De fosfaatvoorraad in de bodemoplossing wordt aangevuld uit een pool/min of meer snel beschikbaar, geadsorbeerd fosfaat. Dit is vermoedelijk grotendeels het fosfaat dat wordt gemeten in Pw-en PAL-bepalingen. De onttrekking van 72 kg/ha komt overeen met ongeveer 18% van de 'Pw-voorraad'. Waarschijnlijk zal het Pw-getal dan ook iets dalen gedurende het groeiseizoen. De daling is echter niet definitief; door het hoge totaal fosfaatgehalte in de bouwvoor wordt het verlies uit de Pw-voorraad kennelijk moeiteloos opgevuld door nalevering, ook al is - volgens gangbare inzichten- de overdrachtssnelheid van 'vastgelegd' fosfaat naar de beschikbare fracties laag.

Kortom: de maximaal realiseerbare onttrekkingssnelheid is relatief laag ten opzichte van de overdrachtssnelheden van fosfaat tussen de verschillende fracties van een 'opgeladen bodem'.

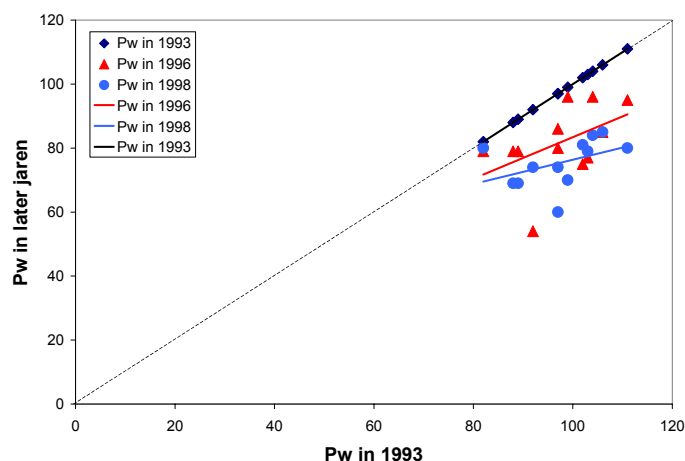
In een dergelijke situatie bepaalt de hoogte van de fosfaattoestand de verandering van de Pw daarom vermoedelijk sterker dan de opgelegde snelheid van de onttrekking. De figuren 4.1 en 4.2 laten dit zien. In figuur 4.1 is de verandering van de Pw uitgezet tegen de fosfaatonttrekkingssnelheid en in figuur 4.2 is de verandering van de Pw uitgezet tegen de Pw in de uitgangssituatie. Figuur 4.1 laat zien dat de onttrekkingssnelheid niet duidelijk gerelateerd is aan de ontwikkeling van de Pw-getallen. Figuur 4.2 laat zien dat de Pw-getallen op veldjes met hoge Pw's in de uitgangssituatie sneller afnemen dan Pw-getallen op veldjes met relatief lage Pw-getallen. De invloed van de begin-Pw op de Pw-verandering is waarneembaar over het gehele bedrijf De Marke. Figuur 4.3 laat zien hoe de Pw's van percelen met een verschillende Pw-waarde in de uitgangspositie van De Marke (x-as) veranderen in de loop van de tijd.

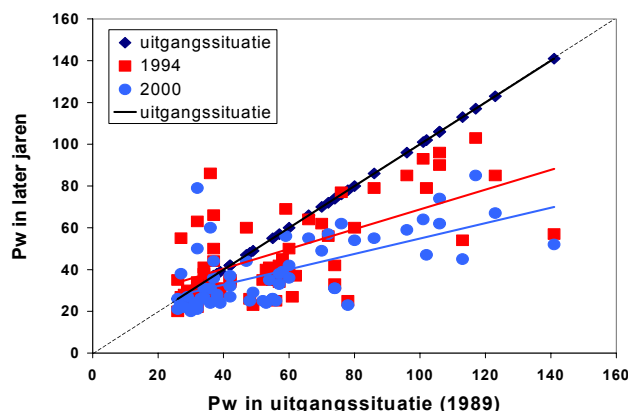
De Pw van percelen met in het begin een hoge waarde dalen snel; de Pw van percelen met in het begin een normale of lage positie, veranderen nauwelijks of niet. De bodemchemische achtergrond van het opladen of uitmijnen van landbouwgrond wordt verder inzichtelijk gemaakt in onderstaand kader.

Figuur 4.1 Reactie van Pw op variabele onttrekkingssnelheid in de afzonderlijke veldjes van perceel 1 in 1994. De variabele onttrekkingssnelheid is het gevolg van nulbemesting, evenwichtsbemesting en een fosfaatgift gelijk aan de helft van evenwichtsbemesting.



Figuur 4.2 Ontwikkeling van de Pw op veldjes van perceel 1 met een verschillende Pw-toestand in de Ausgangssituatie. Er is geen onderscheid gemaakt tussen de verschillende behandelingen van de veldjes



Figuur 4.3 Ontwikkeling van de Pw op percelen van De Marke met een verschillende Pw in de uitgangssituatie

Reactie van landbouwgrond op fosfaatonttrekking en fosfaatophoping

Fosfaat kan in de bodem in verschillende vormen voorkomen. Voortdurend vindt er overdracht plaats van fosfaat in de éne vorm naar een andere; er is eigenlijk nooit evenwicht tussen deze vormen maar wel een continu proces dat gericht is op evenwicht. Voor het overzicht kunnen we een onderscheid maken in drie verschillende fracties, door De Wolf et al. (1987) beschreven als pools. Een uiterst kleine fractie bevindt zich in oplossing. Een iets grotere maar nog steeds betrekkelijk kleine fractie is geadsorbeerd aan bodembestanddelen zoals ijzer- en aluminiumoxiden of bevindt zich in snel afbreekbare organische verbindingen. Deze fractie kan snel en makkelijk in oplossing gaan en is dan ook na oplossing beschikbaar voor planten. Het is nooit precies vastgesteld in welke chemische vormen de fosfaten voorkomen die in Pw-en P-AL-bepalingen worden gemeten, maar algemeen wordt aangenomen dat de fosfaten uit beide bepalingen vooral geadsorbeerd zijn aan ijzer- en aluminiumoxiden. De derde fractie bestaat uit fosfaat dat min of meer ingebouwd is in ijzer- en aluminiumoxiden (secundaire P-mineralen). Accumulatie in of onttrekking uit deze pool vindt plaats door langzame diffusie vanuit de kernen van ijzeroxiden. De drijvende kracht achter deze diffusie is een concentratieverschil tussen de fosfaat in de ijzer- en aluminiumoxiden en de fosfaat in oplossing in het grensvlak van de oxiden (Van der Zee, 1988). Tegen deze achtergrond is te begrijpen hoe de Pw bij continue onttrekking toch langdurig op een redelijk hoog niveau kan blijven. Bij onttrekking mag men aannemen dat continue fosfaat wordt opgebruikt uit de bodemoplossing. Er wordt ook een beroep gedaan op de geadsorbeerde pool. Hierdoor ontstaat een lage fosfaatconcentratie in de oplossing en komt het –op zich trage- diffusieproces van fosfaat uit de metaaloxiden naar de bodemoplossing op gang. Als het concentratieverschil groot is doordat veel fosfaat in de kernen van de oxiden zijn geaccumuleerd kan de totale overdracht van fosfaat vanuit de moeilijk beschikbare pool naar de beschikbare fracties toch aanzienlijk worden. Dit is typisch het geval bij een zwaar met fosfaat belast perceel als perceel 1. Kennelijk kan de onttrekking van 72 kg fosfaat/ha worden bijgebeend door nalevering van gebonden fosfaat naar de twee beschikbare pools die grotendeels bepalend zijn voor de Pw.

Bij opladen van de bodem gebeurt precies het omgekeerde. De aangeboden fosfaat leidt in eerste instantie tot hoge concentraties beschikbaar fosfaat (hoge Pw's). Als de metaaloxiden nog niet zoveel fosfaat bevatten ontstaat diffusie vanuit de bodemoplossing naar de kern van de metaaloxiden. Dat verklaart waarom hoge Pw's in de opladingsfase van de bodem slechts op peil gehouden kunnen worden door steeds overdosering toe te passen.

In welke richting nalevering van fosfaat plaatsvindt (van de Pw-pool naar de langzaam beschikbare voorraad of vice versa), hangt dus af van de verhouding tussen de voorraad beschikbaar fosfaat en de totale voorraad die vooral bestaat uit slechter beschikbaar fosfaat. Janssen (1994) schatte dat bij evenwichtsbemesting van fosfaatrijke percelen meestal nog nalevering van de beschikbare fractie naar de minder beschikbare vormen zal optreden. Die nalevering lijkt in de proef op perceel 1 in het begin nog wel opgetreden te hebben (toen daalde het Pw-getal bij evenwichtsbemesting); later in de proef lijkt echter een omslag te hebben plaatsgevonden naar de fosfaatoverdracht van de langzaam beschikbare fractie naar de Pw-pool (de Pw zakte niet terwijl wel fosfaat onttrokken werd).

De landbouwkundige betekenis van deze waarneming is dat hoge onttrekkingssnelheden van fosfaat langdurig aan een zwaar met fosfaat belast perceel kunnen worden opgelegd zonder dat dit leidt tot een situatie waarin het uitmijnen zichzelf vertraagt door een te lage Pw. Immers na zes jaar maximaal uitmijnen is de fosfaattoestand nog slechts gezakt van 100 naar ongeveer 60. Uit de eerder aangehaalde studie van Habekotté mag niet worden opgemaakt dat maximaal uitmijnen ongeremd door kan gaan tot een Pw 20. De eerder besproken afwezigheid van een opbrengstreductie tot het niveau van Pw 20 was immers niet vastgesteld bij een regiem van maximaal uitmijnen. Aannemelijk is daarom dat de fosfaatonttrekking bij een Pw tussen de 20 en de 60 vertraging gaat oplopen. Voortzetting van de veldproef kan hierover meer duidelijkheid geven.

4.4 Verliezen uit de bouwvoor en de concentratie in grondwater

Het P-totaal-getal neemt, net als het Pw- en het P-AL-getal, in de eerste jaren vrij sterk af, van 280 tot 250, waarna het iets stijgt. Ook hier is het beeld in de laag 20-40 cm complementair: het P-totaal-getal neemt eerst toe, waarna het weer iets lijkt af te nemen. De totale hoeveelheid P-totaal (laag 0-40 cm) verandert dus niet (ongeveer 200); er is wel een lichte verplaatsing naar de diepere laag. Deze verplaatsing kan veroorzaakt zijn door iets dieper ploegen, waardoor een menging van de fosfaatrijkere bovenlaag met de arme onderlaag ontstaat en dientengevolge een afname in de laag 0-20 en een stijging in de laag 20-40 cm. In Figuur 1.1 zien we dat ook in de diepere lagen (onder de ploeglaag van 30 cm) de fosfaattoestand van het landbouwperceel hoger is dan de fosfaattoestand van 'het bosje'. Enige inspoeling naar de laag 30-40 cm zal zijn voorgekomen. Ondanks een geringe verplaatsing van het fosfaat is het fosfaatgehalte in het grondwater onveranderd, en blijft laag. Ook Schoumans (1995) verwachtte dat op grond van de fosfaatkarakteristieken van de bouwvoor de hoeveelheid fosfaat die met de netto-neerslag uitspoelt, beperkt zal zijn tot enkele kg P_2O_5 ha⁻¹. Hij berekende voor verschillende locaties op 'De Marke' (Pw 30-45 en P-AL 55) een P-uitspoeling van slechts 1,2 kg bij fosfaatgiften die gelijk zijn aan de fosfaatafvoer via het gewas. Hij gaf tevens aan dat alleen bij zeer hoge Pw-getallen (> 260) een fosfaatuitspoeling van meer dan 15 kg P ha te verwachten is. Uitgaande van deze berekeningen is het niet waarschijnlijk dat de afname van de P-voorraad in de bovenste laag voornamelijk is veroorzaakt door uitspoeling van P.

Uitspoeling is dus kennelijk niet een belangrijke factor op de massabalans van fosfaat in de bouwvoor. Tegelijkertijd kan uitspoeling echter wel een belangrijke verklaring zijn voor de concentratie van fosfaat in grondwater. Uitspoeling van 1 kg fosfaat is immers al genoeg om de fosfaatconcentratie in grondwater te verhogen tot tweemaal de norm van 0,15 mg/l. Uitspoeling van 15 kg mag dan voor de bodembalans weinig betekenis hebben, bij belasting van het grondwater leidt deze uitspoeling tot een verre overschrijding van de norm.

De concentraties in het grondwater kunnen door de wijze waarop de proef is opgezet niet gerelateerd worden aan de verschillende behandelingen van de veldjes met fosfaat. Er is veel voor te zeggen om die relatie in de toekomst in een veldproef explicieter naar voren te laten komen. Uitmijnen van fosfaatrijke percelen dienen immers niet alleen het doel om het totale fosfaatgehalte terug te brengen, maar zijn uiteindelijk bedoeld om de kans op uitspoeling te verkleinen. Perceel 1 is fosfaatverzadigd volgens de criteria van het protocol fosfaatverzadigde gronden (Van der Zee *et al.*, 1990). De fosfaatverzadigingsgraad is alleen vastgesteld op de naastgelegen percelen 2 en 4. Als de situatie op deze percelen vertaald mogen worden naar perceel 1 moet de verzadigingsgraad geschat worden op iets hoger dan 50%, hoger dan het criterium van 30%. Het protocol gaat ervan uit dat bij een dergelijke fosfaatverzadigingsgraad de kans op fosfaatuitspoeling in een hoeveelheid die tot normoverschrijding leidt, aanzienlijk is.

De kans op fosfaatdoorslag naar het grondwater neemt toe door verzuring van de bodem. Er zijn echter geen aanwijzingen voor een verhoging van de zuurgraad op perceel 1 (bijlage I). Een andere risicofactor is verhoging van de grondwaterspiegel. Als het grondwater omhoogkomt, kan een deel van het fosfaathoudende profiel in het grondwater komen te liggen; daardoor gaan metaaloxiden in oplossing en komt het hieraan gebonden fosfaat vrij. Uit figuur 3.4.1. blijkt dat de grondwaterstand vermoedelijk wel een rol gespeeld heeft. Aarts (2000) gaf al aan dat de fosfaatconcentratie op De Marke in 1993 toegenomen was door een hoge grondwaterstand in dat jaar. De hoge gehalten en de hoge grondwaterstanden op perceel 1 zijn niet specifiek verbonden met een jaartal. Opmerkelijk is echter dat in de analyse van Aarts de verhoging in fosfaatconcentratie pas werd waargenomen bij een grondwaterstand hoger dan 0,8 m min maaiveld. Figuur 4.3.1 laat zien dat mobilisatie van fosfaat door grondwater ook bij grondwaterstanden op grotere diepte al kan optreden. Met het oog op de steeds vaker toegepaste vernatting is het van groot belang de relatie tussen grondwaterstandsverhoging en opname van fosfaat uit fosfaatrijke percelen te onderzoeken. Aan het eind van dit hoofdstuk komen we op dit aspect terug.

4.5 Fosfaatrijke landbouwgronden; een overzicht van arealen met een geringe fosfaatbehoefte in Nederland

Van de geanalyseerde Nederlandse graslandpercelen op zand heeft bijna 30% een hoge fosfaattoestand; op bouwland is dat zelfs meer dan 40% (Tabel 4.1). Deze percelen zijn enigszins vergelijkbaar met perceel 1 van 'De Marke' (hoewel de grootte van het P-AL-getal en Pw-getal binnen de categorie 'hoog' niet bekend is en deze wel van invloed zal zijn op het niveau van stabilisatie).

Meer dan de helft van de gespecialiseerde melkveebedrijven ligt op zand. Een omrekening naar het aantal bedrijven waar de fosfaattoestand 'hoog' is, is niet direct te maken gezien de variabiliteit tussen de percelen. Via de gemiddelde oppervlakte van een bedrijf (30 ha) en uitgaande van 80% grasland en 20% maisland kunnen we wel een schatting maken van het areaal landbouwgrond met een hoge fosfaattoestand dat gebruikt wordt voor de voederbouw: 140.000 ha valt dan landbouwkundig in de fosfaattoestand 'hoog'. Noch bemesting met fosfaatkunstmest noch bemesting met organische mest is zinvol op dit areaal; ook Schröder *et al.* (1999) kwamen tot deze conclusie. Het is eveneens een bevestiging van de '0' adviezen in de 'Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergrassen'. Reijneveld & Ten Berge (2001) kwamen voor een gangbaar melkveebedrijf (bedrijf Eggink) op zandgrond met fosfaattoestanden variërend van 'vrij laag' tot 'hoog' tot eenzelfde conclusie: het achterwege laten van fosfaatkunstmest resulteerde niet direct in een achteruitgang van de bodemvruchtbaarheid noch in een duidelijk vermindering van gewasopbrengst.

Tabel 4.1 Landbouwkundige waardering (anonymus, 1994) van de fosfaattoestand van grasland en maisland per grondsoort, het percentage bedrijven dat in een bepaalde categorie valt (Blgg Oosterbeek, 1997) en het aantal gespecialiseerde melkveehouderijbedrijven per grondsoort (Reijneveld *et al.*, 2000)

Grond soort	%	Aantal bedrijven	Grasland (P-AL-getal)					Maisland (Pw-getal)					
			laag	vrij laag	vold.	ruim vold.	hoog	zeer laag	laag	vold.	ruim vold.	vrij hoog	hoog
Zand	52	14744	2,0	13,7	22,6	32,1	29,6	1	4,6	10,9	22,6	19,6	41,2
Klei	32	9073	3,5	19,7	26,5	30,2	20,1	1,4	11,6	31,5	38,9	11,9	4,6
Veen	11	3119	4,2	18,7	23,8	28,9	24,5	11,5	22,1	20,6	22,1	12,6	11,1
Löss	1	284	12,5	24,5	39,2	16	7,8	1,3	5,7	10,1	18,8	22,1	42,1

NB: 'zandgrond': alleen diluviaal zand; 'kleigrond': gemiddelde van jonge klei, oude klei en rivierklei.

De gegevens van Blgg Oosterbeek zijn afkomstig uit 1997; het is aannemelijk dat de fosfaattoestand van de praktijkpercelen op zand sindsdien alleen nog maar is toegenomen bij de huidige verliesnormen (Habekotté *et al.*, 1998)

De conclusie dat ook op andere grondsoorten met een fosfaattoestand 'hoog' de fosfaatbemesting achterwege gelaten kan worden is niet direct te maken. De Technische commissie bodemscherming (Verloop, 1999) benadrukt dat aandacht gewenst is voor verschillen in risico's van belasting van de bodem bij verschillende bodemtypes. Het project Koeien & Kansen (Aarts, 2001) is mede gestart om de vraag te beantwoorden of het resultaat van 'De Marke' (geen fosfaatbemesting noodzakelijk bij toestand 'hoog') ook vertaald mag worden naar bedrijven met andere omstandigheden (hier: andere grondsoort). Het project omvat onder andere bedrijven op rivierklei, zeeklei, veen en löss, waarbij ook percelen met een hoge fosfaattoestand voorkomen. Ook hier geldt dat pas na enige jaren iets gezegd kan worden over het effect van krappere fosfaatbemesting op de bodemvruchtbaarheid.

Het percentage percelen op klei-, veen- en lössgronden dat in de categorie 'hoog' valt is lager dan op de zandgronden. Ongeveer 1 op de 5 graslandpercelen op kleigrond, 1 van de 4 percelen op veengrond en slechts 7,8% van de percelen op löss valt in categorie 'hoog'. Van de bouwlandpercelen op klei heeft slechts 4% een toestand 'hoog'. Het aandeel bouwlandpercelen op löss met een hoge fosfaattoestand is daarentegen erg groot (42%). Het areaal landbouwgrond in voederbouw-gebruik met een fosfaattoestand 'hoog', kan voor klei, veen en lössgrond geschat worden op dezelfde berekeningsgrondslag als die voor zandgrond is gehanteerd. We komen op 46.000 ha klei, 20.500 ha veen en 1250 ha löss met fosfaattoestand 'hoog'. Overigens komen we via deze berekening ook uit op een areaal van 145.000 ha waar de fosfaattoestand in de twee laagste categorieën valt. Voor deze gronden zal een fosfaatoverschot van 0 of minder wel problemen opleveren. Zo vond Reijneveld (2001) dat bemesting onder de adviezen bij rivierklei met een lage fosfaattoestand resulteerde in een aanzienlijke reductie in drogestofopbrengst.

4.6 Uitmijnen in relatie tot natuurdoelen

In Nederland zijn er beleidsplannen om landbouwgrond uit productie te nemen en om te zetten in natuurterreinen. Een deel van deze natuurterreinen zal gerealiseerd worden op de dekzanden. Het doel is om in de nieuwe natuurgebieden in dit deel van Nederland de vroeger algemeen op zandgronden voorkomende vegetatietypen te herstellen (RIVM, 2000). Het is de vraag aan welke voorwaarden de gronden moeten voldoen om dit herstel mogelijk te maken. Door Verhagen en Van Diggelen (2001) is op inzichtelijke wijze op deze vraag ingegaan. De auteurs gaan ervan uit dat herstel van oorspronkelijke vegetatie op zandgrond gelijk staat aan het herstel van nutriëntenlimitatie. De vraag naar voorwaarden voor herstel kan dan ook uitgesplitst worden in deelvragen: Welk element is in natuurlijke situaties het meest limiterend? En welk element verdwijnt het snelst uit het systeem als landbouwgrond uit productie is genomen? Voor de meeste groepen plantensoorten (verbonden) die op de zandgronden thuishoren, wordt stikstof als de meest limiterende factor beschouwd (uit een screening van studies blijkt dat 37x N-limitatie wordt gerapporteerd tegen negen keer P-limitatie). Stikstof is ook het element dat in vergelijking met fosfaat heel snel uit het systeem verdwijnt. Toch concluderen de onderzoekers dat herstel van laagproductieve vegetaties moeilijker wordt als fosfaatgehaltes hoog blijven. Als oorzaak hiervoor geven ze aan dat fosfaat de stikstofbeschikbaarheid kan verhogen en daardoor de stikstoflimitatie kan opheffen. Zo kan een hoog fosfaatgehalte ertoe leiden dat nutriëntenminnende vegetatie direct kan profiteren van pieken in atmosferische depositie van stikstof. Ook staat een hoog fosfaatgehalte fosfaatlimitatie bij stikstofbinders in de weg waardoor ze zo goed gedijen dat ze veel stikstof in het systeem kunnen brengen en verarming van het systeem voor stikstof in de weg staan. De auteurs geven geen waarden aan voor maximale fosfaatgehalten die nodig zijn voor herstel van verschillende vegetatietypen.

Op grond van de studie van Verhagen en Van Diggelen kunnen we aannemen dat het voor natuurontwikkeling bevorderlijk is om zover mogelijk in de buurt te komen van de lage fosfaatgehalten in de uitgangssituatie. Als we uitgaan van het terugbrengen van een gehalte van ongeveer 25 mg fosfaat/100 g grond (dit is ongeveer het gehalte van de grond in het bosje naast perceel 1, zie figuur 1.1) dan komen we bij een onttrekkingssnelheid van 72 kg fosfaat/ha jr (de waargenomen onttrekking bij nulbemesting op perceel 1) rekenkundig uit op een hersteltijd van 142 jaar. Bij gebruik van de snelst onttrekkende gewassen gras en voederbiet zou de hersteltijd korter kunnen zijn.

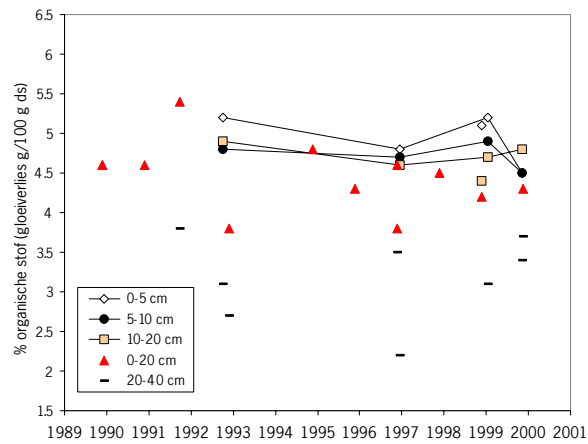
4.7 Betekenis voor bodemgebruik en waterbeheer

Tijdens sanering van fosfaatrijke percelen dient emissie naar grondwater voorkomen te worden. In het grondwater onder Perceel 1 van 'De Marke' kwamen al hoge fosforconcentraties voor bij een grondwaterstand hoger dan 2,5 meter min maaiveld. Onder Nederlandse zandgronden met een hoge fosfaattoestand van de bodem, maar met hoge(re) grondwaterspiegels zullen hoge concentraties P in het grondwater veelvuldig worden gevonden. Het effect van de grondwatertrappen blijkt onder andere uit studie van Chardon *et al.* (1996), Schoumans *et al.* (1991) en Schoumans & Kruijne (1995). In veel landbouwgebieden worden plannen gemaakt om de landbouwgronden te vernatten. In hoog Nederland spreekt men van het vasthouden van water in de haarvaten van het systeem, bijvoorbeeld door het verminderen van de afvoersnelheid uit percelen en door afwaterende kanalen en beken (Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000; Stuurman *et al.*, 2000). In andere landsdelen zijn taakstellingen aangegeven met betrekking tot het bergen van water en ruimte maken voor waterlopen. Vernatting van landbouwgronden heeft echter dikwijls het ongewenste neveneffect van mobiliseren van in de bodem opgeslagen fosfaat. Door vernatting lossen metaaloxiden op, samen met het fosfaat dat daarin opgeslagen is. Omdat te vernatten gebieden niet in korte tijd van het opgeslagen fosfaat ontdaan kunnen worden, is het aan te bevelen om bij vernattingsprojecten risico-evaluaties voor fosfaat uit te voeren.

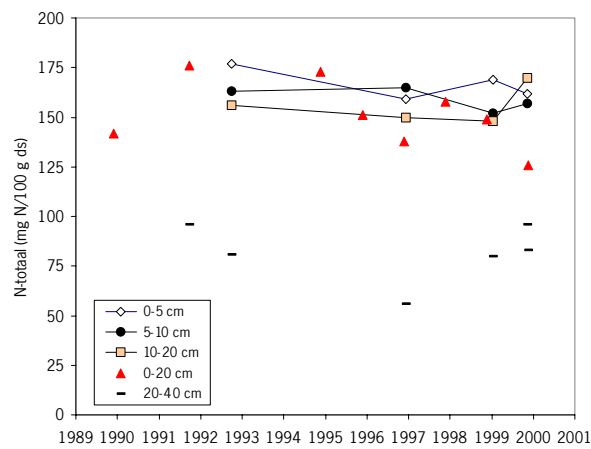
Bijlagen

Bijlage 1 Perceel 1-perceelkenmerken

Figuur 1a Organischestofgehalte van perceel 1 in verschillende bodemlagen gedurende het tijdvak 1990-2001



Figuur 1b N-totaal-gehalte van perceel 1 in verschillende bodemlagen gedurende het tijdvak 1990-2001

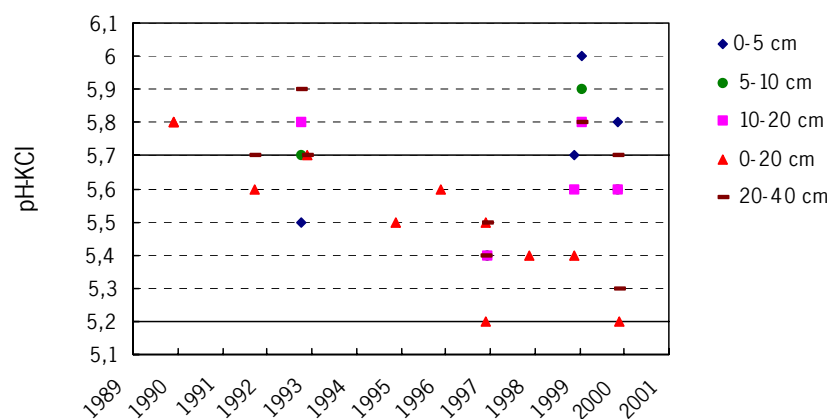


Tabel Ia Gemeten en berekende dichtheid (g cm^{-3}) in de verschillende bodemlagen. Voor het berekenen is de formule ($\rho = 1/(0,02525 \times \text{org. stof \%} + 0,6541)$) aangehouden (Anonymus, 1998)

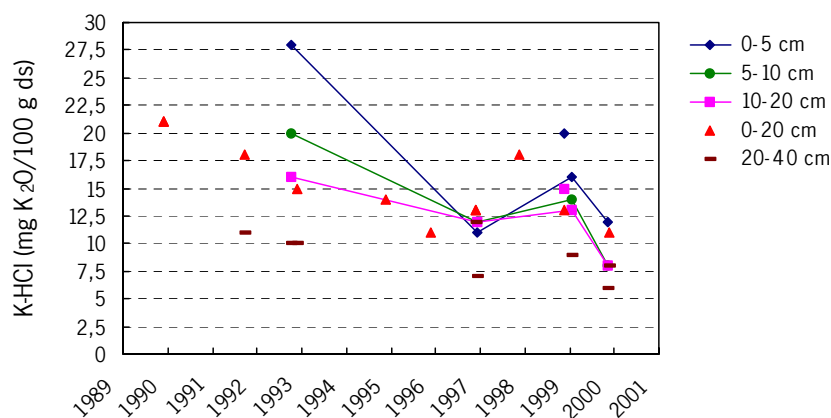
		Bodemlaag					
		0-5	5-10	10-20	0-20	20-40	40-60
Gemeten	Nov-91	n.a.	n.a.	n.a.	1,230	1,360	n.a.
	Sep-96	0,993	1,204	1,183	1,141	1,347	1,581
Berekend	Feb-90	n.a.	n.a.	n.a.	1,298	n.a.	n.a.
	Feb-91	n.a.	n.a.	n.a.	1,298	n.a.	n.a.
	Feb-92	n.a.	n.a.	n.a.	1,265	1,333	n.a.
	Feb-93	1,273	1,290	1,286	1,333	1,375	n.a.
	Feb-95	n.a.	n.a.	n.a.	1,290	n.a.	n.a.
	Feb-96	n.a.	n.a.	n.a.	1,311	n.a.	n.a.
	Feb-97	1,290	1,294	1,298	1,316	1,385	n.a.
	Feb-98	n.a.	n.a.	n.a.	1,303	n.a.	n.a.
	Mar-99	1,273	1,286	1,303	1,316	1,365	n.a.
	Jan-00	1,303	1,303	1,290	1,311	1,347	n.a.

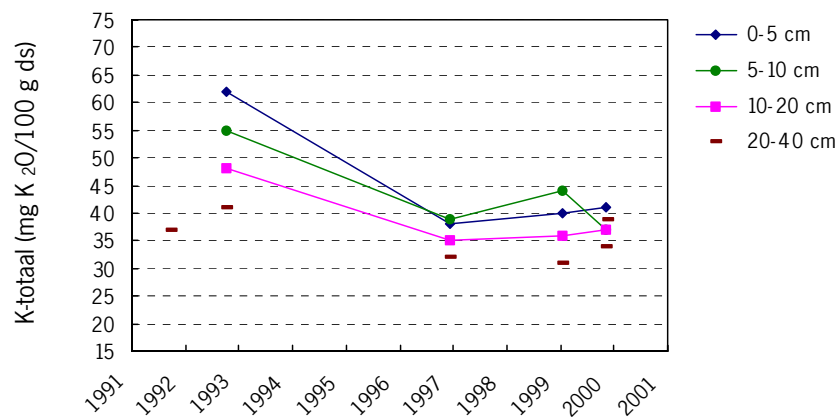
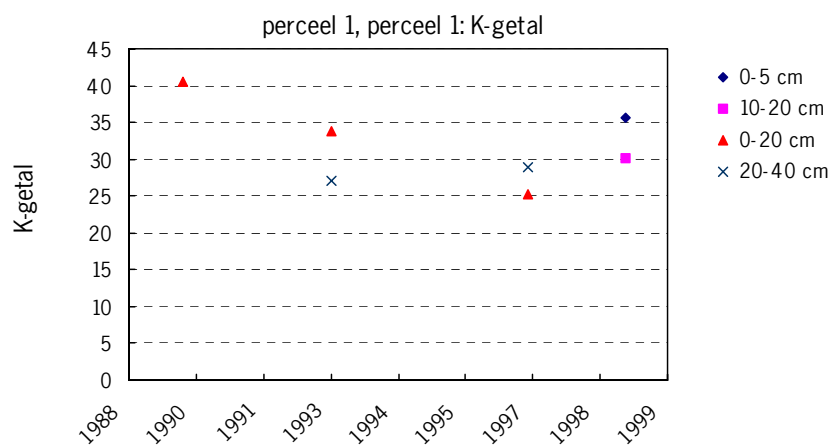
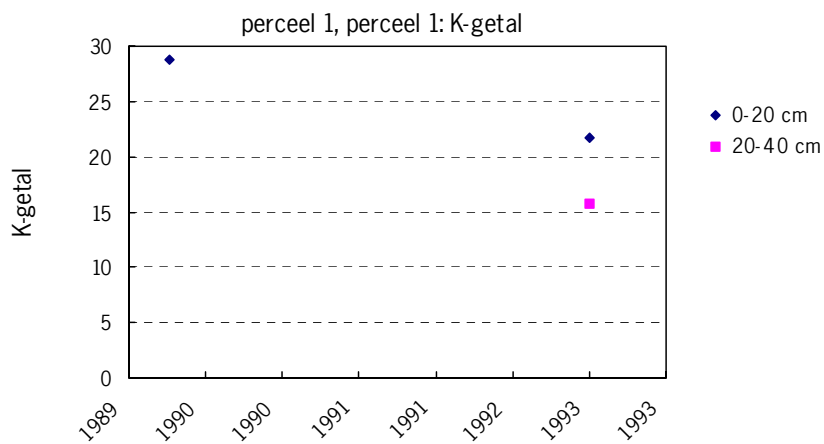
n.a. = niet aanwezig

Figuur Ic pH-KCl



Figuur Id K-HCl



Figuur 1e K-totaal**Figuur 1f** K-getal (grasland)**Figuur 1g** K-getal (bouwland)

Bijlage 2 Definities

De definities zijn overgenomen uit Schoumans (1995).

Fosfaatbinding

In kalkloze zandgronden wordt fosfaat, dat via meststoffen wordt toegediend, hoofdzakelijk vastgelegd aan amorfe/microkristallijne Al- en Fe-(hydr)oxiden. met betrekking tot de binding van fosfaat aan deze hydroxiden wordt onderscheid gemaakt in geadsorbeerd fosfaat (Q) en gediffundeerd fosfaat (S). Beide processen tezamen wordt fosfaatsorptie genoemd. De hoeveelheid geadsorbeerd fosfaat (Q) is het fosfaatgehalte dat geadsorbeerd is aan het (buiten)oppervlak van de microkristallijnen Al- en Fe-hydroxiden. Het fosfaat dat op deze wijze is vastgelegd, wordt beschouwd als zijnde volledig reversibel gebonden fosfaat. Het gediffundeerde fosfaat (S) wordt beschouwd als zijnde de hoeveelheid fosfaat die dat in de amorfe hydroxiden naar binnen is gedrongen (via microporiën) en aldaar is vastgelegd (S), blijkt zeer slecht weer vrij te komen en wordt door de praktijk als 'irreversibel' vastgelegd fosfaat gekarakteriseerd.

Pw-getal

Het Pw-getal van de bouwvoor wordt bepaald bij de teelt van eenjarige gewassen (vooral bouwlandpercelen) en is een maat voor de hoeveelheid direct beschikbaar fosfaat (Sissingh, 1971). Door deze analysetechniek komt een deel van het fosfaat dat aan het oppervlak van de microkristallijne Al- en Fe-(hydr)oxiden is geadsorbeerd (Q) vrij. Het Pw-getal wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per liter grond.

P-AL-getal

Het P-AL-getal wordt veelal bepaald bij meerjarige teelten zoals gras, waarbij de bodemlaag 0-5 cm wordt bemonsterd. Voor de studie op 'De Marke' wordt een laag 0-20 cm bemonsterd, aangezien het hier maïs- en graslandpercelen betreft. Het P-AL-getal is een maat voor de capaciteit van de bodem om fosfaat na te leveren. Met de analyse wordt een indruk verkregen van de 'kracht' van de wortels om fosfaat vrij te maken. Hierbij komt al het geadsorbeerde fosfaat (Q) vrij en lost een deel van de amorfe microkristallijne Al- en Fe-hydroxiden op, waardoor een gedeelte van het gediffundeerde fosfaat (S) weer in oplossing komt. Het P-AL-getal wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per 100 g grond.

Totaal fosfaat (met oxidatie)

Totaal fosfaat zoals bepaald voor deze studie omvat bepaling van al het geadsorbeerde (Q) en gediffundeerde fosfaat (S) en de hoeveelheid fosfaat die in organische stof is vastgelegd. Het P-totaal-getal wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per 100 g grond.

Desorbeerbaar fosfaat

Het desorbeerbaar fosfaat heeft betrekking op al het geadsorbeerde fosfaat (Q).

Bijlage 3 Bemesting

Drijfmest (m ³ /ha)	1993	1994	1995	1996	1996	1997	1998	1999	2000
Datum toediening	2-apr-93	20-apr-94	26-apr-95		28-aug-96	5-mar-97	23-feb-98	3-mei-99	28-apr-00
Voor/na ploegen	voor	voor	na		voor			na	na
P-0	0	0	0		0	0	0	0	0
P-½evenwicht	17.5	10	10		15	15	12.5	10	10
P-evenwicht	35	20	20		30	30	25	20	20
Datum toediening						17-mei-97	3-jun-98		
P-0						0	0		
P-½evenwicht						15	10		
P-evenwicht						30	20		
Datum toediening						31-jul-97	7/17/98		
P-0						0	0		
P-½evenwicht						10	10		
P-evenwicht						20	20		
Kunstmest									
Datum toediening	15-apr-93	27-apr-94	25-apr-95	26-mar-96	3-sep-96	13-mar-97	19-mar-98	3-mei-99	28-apr-00
P-0 (kg N/ha)	100	50	46	80	50	101	80	38	45
P-½evenwicht (kg N/ha)	50	25	23	80	25	73	67	19	22
P-evenwicht (kg N/ha)	0	0	0	80	0	45	54	0	0
P-0 (kg K ₂ O/ha)	190	120	110	85	180	174	105	102	108
P-½evenwicht (kg K ₂ O/ha)	95	60	55	85	90	87	53	51	54
P-evenwicht (kg K ₂ O/ha)	0	0	0	85	0	0	0	0	0
Datum toediening						16-mei-97	8-mei-98		
P-0 (kg N/ha)						54	50		
P-½evenwicht (kg N/ha)						33	46		
P-evenwicht (kg N/ha)						11	41		
P-0 (kg K ₂ O/ha)						159	35		
P-½evenwicht (kg K ₂ O/ha)						80	17		
P-evenwicht (kg K ₂ O/ha)						0	0		
Datum toediening						18-jun-97	3-jun-98		
P-0 (kg N/ha)						30	25		
P-½evenwicht (kg N/ha)						30	12		
P-evenwicht (kg N/ha)						30	0		
P-0 (kg K ₂ O/ha)						0	76		
P-½evenwicht (kg K ₂ O/ha)						0	38		
P-evenwicht (kg K ₂ O/ha)						0	0		
Datum toediening						15-jul-97	23-jun-98		
P-0 (kg N/ha)						15	26		
P-evenwicht (kg N/ha)						15	26		
P-0 (kg K ₂ O/ha)						0	0		
P-½evenwicht (kg K ₂ O/ha)						0	0		
P-evenwicht (kg K ₂ O/ha)						0	0		
Datum toediening						28-Jul-97	17-Jul-98		
P-0 (kg N/ha)						91	46		
P-½evenwicht (kg N/ha)						66	29		
P-evenwicht (kg N/ha)						41	11		
P-0 (kg K ₂ O/ha)						113	101		
P-½evenwicht (kg K ₂ O/ha)						57	50		
P-evenwicht (kg K ₂ O/ha)						0	0		

Bijlage 4 Samenstelling organische mest

	apr- 93	apr- 94	apr- 95	aug- 96	mar- 97	may- 97	jul- 97	feb- 98	jun- 98	jul- 98	mei- 99	apr- 00
kg N/ton	3.80	3.80	3.10	3.70	3.65	3.80	3.70	3.40	3.20	3.30	3.40	3.60
kg NH ₃ -N/ton	1.90	2.05	1.70	2.10	1.75	1.80	1.20	1.70	1.70	1.60	1.70	1.90
kg N-org/ton	1.90	1.75	1.40	1.60	1.90	2.00	2.50	1.70	1.50	1.70	1.70	1.70
kg P ₂ O ₅ /ton	1.40	1.10	0.89	0.89	1.10	1.20	1.20	1.00	1.10	0.75	1.10	1.10
kg K ₂ O/ton	6.40	5.70	4.70	5.90	5.30	5.50	4.70	4.65	5.05	5.05	5.30	5.80

Bijlage 5 Bodemanalyses

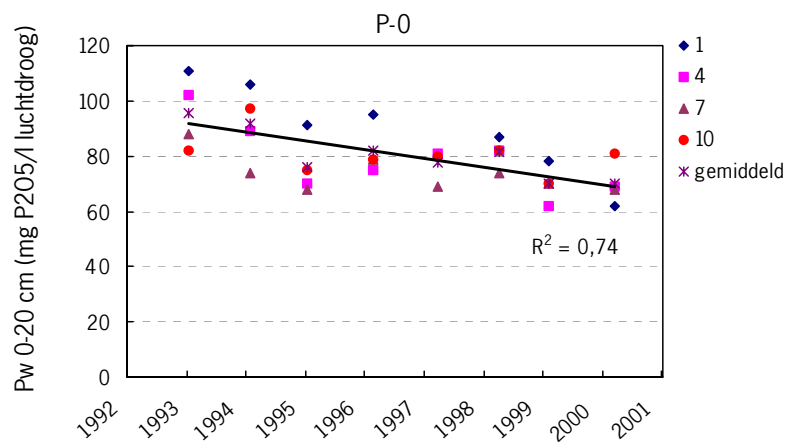
P=0	11/5/93	11/16/94	11/3/95	12/17/96	1/22/98	2/1/99	12/8/99	1/9/01
PlekVPw 0-20 cm								
1	111	106	91	95	80	87	78	62
4	102	89	70	75	81	82	62	69
7	88	74	68	79	69	74	70	68
10	82	97	75	79	80	82	70	81
Gemiddelde	96	92	76	82	78	81	70	70
PlekVPw 20-40 cm								
1	17	16	22	23	28	35	21	17
4	14	13	18	21	27	22	29	33
7	24	21	28	37	50	30	40	29
10	21	24	28	40	57	39	21	35
Gemiddelde	19	19	24	30	41	32	28	29
PlekVP-AL 0-20 cm								
1	161	153	140	135	127	122	133	112
4	134	135	124	123	121	114	114	103
7	91	91	82	86	86	85	85	79
10	96	108	94	84	92	90	105	93
Gemiddelde	121	122	110	107	107	103	109	97
PlekVP-AL 20-40 cm								
1	52	57	74	61	75	80	65	52
4	42	58	60	59	69	47	72	60
7	37	46	49	52	60	46	51	35
10	37	51	45	57	70	54	45	53
Gemiddelde	42	53	57	57	69	57	58	50
PlekVP-tot 0-20 cm								
1	317	303	295	271	288	282	284	
4	317	304	310	298	280	283	275	
7	222	222	168	201	208	226	223	
10	229	236	228	214	229	219	259	
Gemiddelde	271	266	250	246	251	253	260	
PlekVP-tot 20-40 cm								
1	134	113	184	164	184	222	183	
4	125	149	169	171	191	129	200	
7	97	99	129	121	147	122	131	
10	93	101	102	141	176	128	134	
Gemiddelde	112	116	146	149	175	150	162	

P=1/2evenw	11/5/93	11/16/94	11/3/95	12/17/96	1/22/98	2/1/99	12/8/99	1/9/01
PlekPw 0-20 cm								
3	97	74	70	80	60	65		64
5	103	77	71	77	79	79	82	77
9	106	66	83	85	85	79	86	99
11	99	84	92	96	70	75	72	73
Gem.	101	75	79	85	74	75	80	78
PlekPw 20-40 cm								
Plek	14	11	20	23	26	17	27	20
3	23	21	24	40	39	28	37	20
5	18	20	30	47	56	54	47	51
9	14	17	28	43	29	36	32	20
11	17	17	26	38	38	34	36	28
Gem.								
PlekP-AL 0-20 cm								
3	140	150	121	135	114	115		111
5	131	122	122	120	127	121	114	107
9	106	103	95	97	95	94	95	96
11	123	114	98	103	106	96	111	103
Gem.	125	122	109	114	111	107	107	104
PlekP-AL 20-40 cm								
3	37	49	61	63	67	55	63	51
5	46	51	54	75	77	57	71	50
9	32	47	51	62	66	67	68	61
11	34	43	58	62	67	52	70	51
Gemiddelde	37	48	56	66	69	58	68	53
PlekP-tot 0-20 cm								
3	331	314	282	301	271	287		
5	304	276	262	293	289	296	276	
9	244	226	186	212	226	225	235	
11	258	241	248	246	236	238	268	
Gemiddelde	284	264	245	263	256	262	260	
PlekP-tot 20-40 cm								
3	110	128	162	173	173	150	170	
5	112	114	132	175	198	154	185	
9	80	88	117	141	165	154	169	
11	104	126	155	156	192	155	167	
Gemiddelde	102	114	142	161	182	153	173	

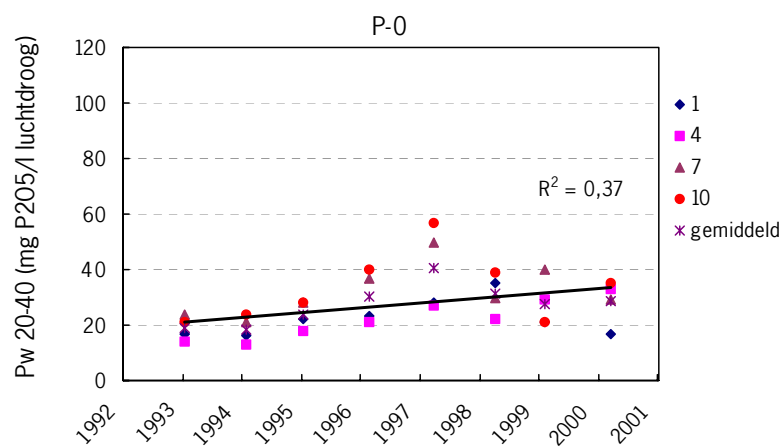
P=evenw	11/5/93	11/16/94	11/3/95	12/17/96	1/22/98	2/1/99	12/8/99	1/9/01
PlekPw 0-20 cm								
2	92	80	63	54	74	82	54	65
6	97	85	74	86	74	102	80	83
8	89	79	73	79	69	75	97	85
12	104	88	88	96	84	72	72	75
	96	83	75	79	75	83	76	77
PlekPw 20-40 cm								
2	15	11	14	21	23	26	20	22
6	20	13	30	43	50	45	42	43
8	26	16	30	36	41	41	49	41
12	18	10	32	38	44	27	18	22
Gemiddelde	20	13	27	35	40	35	32	32
PlekP-AL 0-20 cm								
2	140	144	125	133	124	137	121	128
6	120	131	118	121	120	125	117	114
8	96	93	89	90	87	87	97	91
12	120	115	111	114	114	110	122	117
Gemiddelde	119	121	111	115	111	115	114	113
PlekP-AL 20-40 cm								
2	46	49	60	72	75	72	65	68
6	45	42	68	79	86	63	75	63
8	41	36	51	47	58	51	63	57
12	44	37	59	53	79	50	58	66
Gemiddelde	44	41	60	63	75	59	65	64
PlekP-tot 0-20 cm								
2	323	295	309	282	286	313	283	
6	301	301	282	279	295	296	287	
8	229	225	206	212	216	212	238	
12	288	281	242	245	265	265	277	
Gemiddelde	285	276	260	255	266	272	271	
PlekP-tot 20-40 cm								
2	132	106	179	193	199	198	184	
6	113	102	153	178	221	155	169	
8	109	92	104	124	148	133	144	
12	114	102	145	121	186	141	161	
Gemiddelde	117	101	145	154	189	157	165	

Bijlage 6 Figuren en tabellen P-sanering

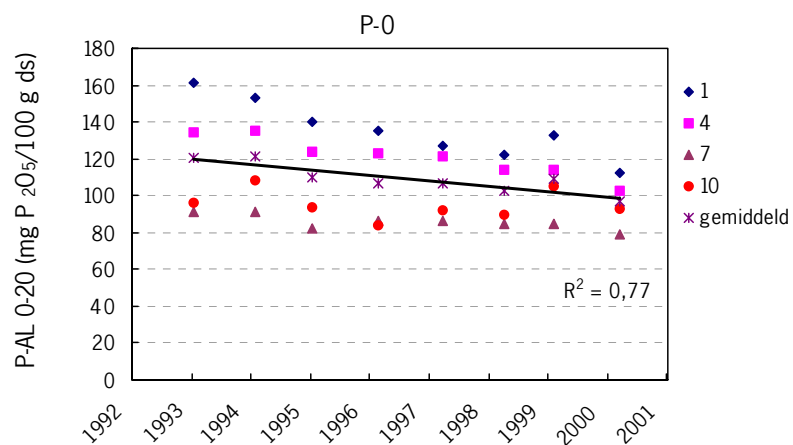
Figuur VIa



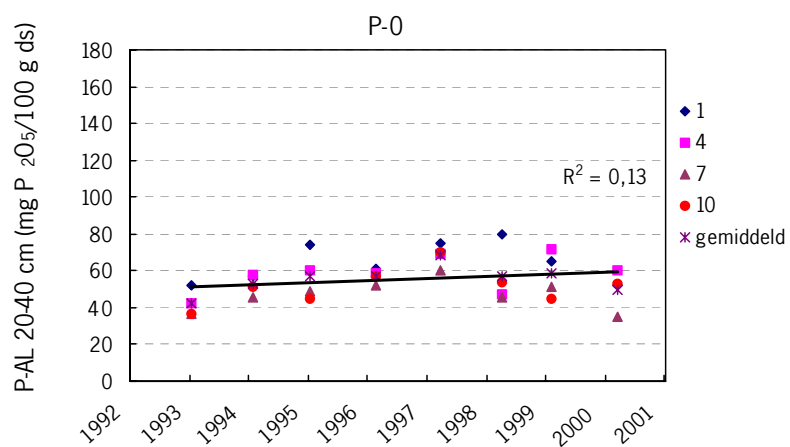
Figuur VIb



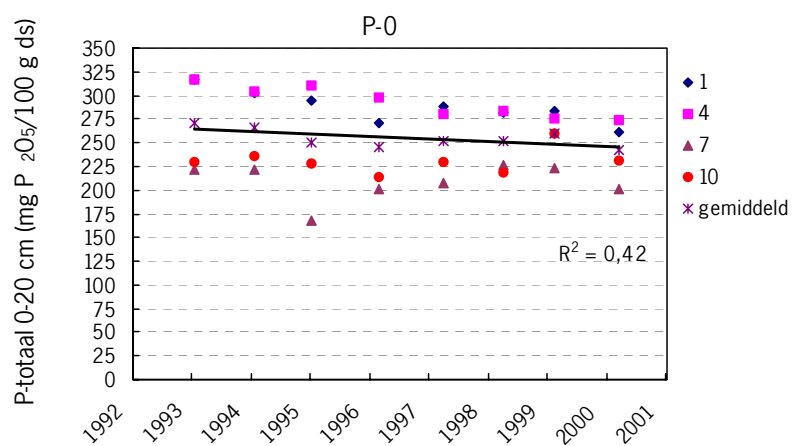
Figuur VIc



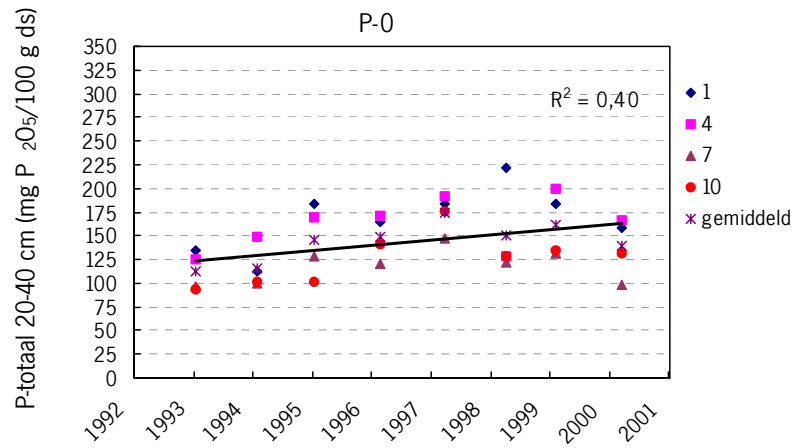
Figuur VI d



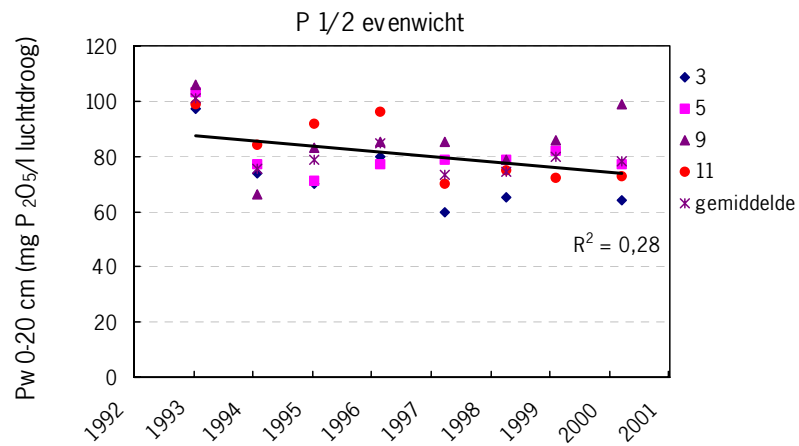
Figuur VI e



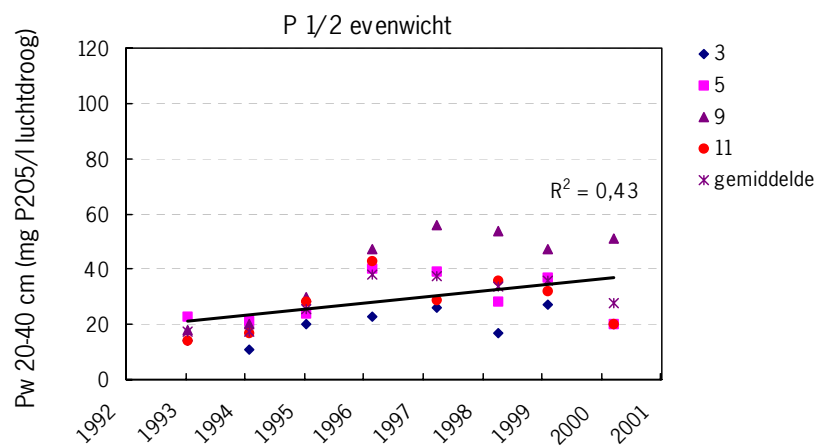
Figuur VI f



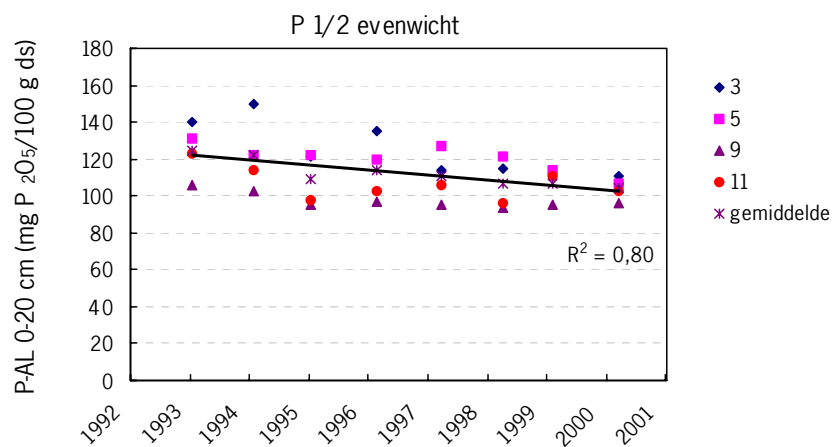
Figuur VI g



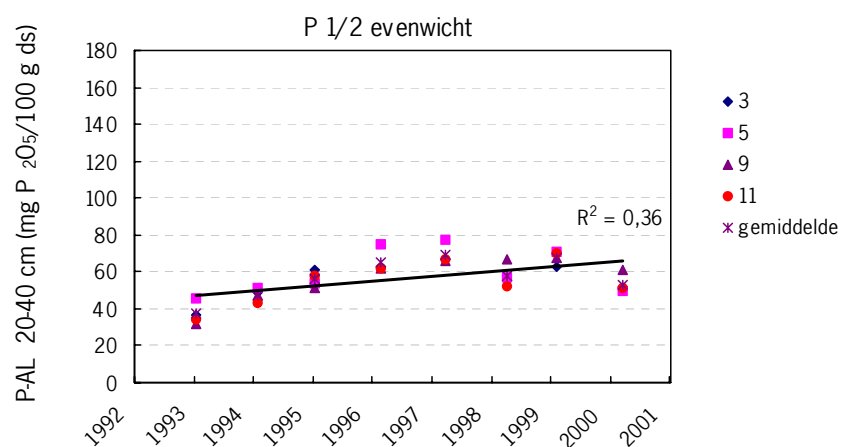
Figuur VI h



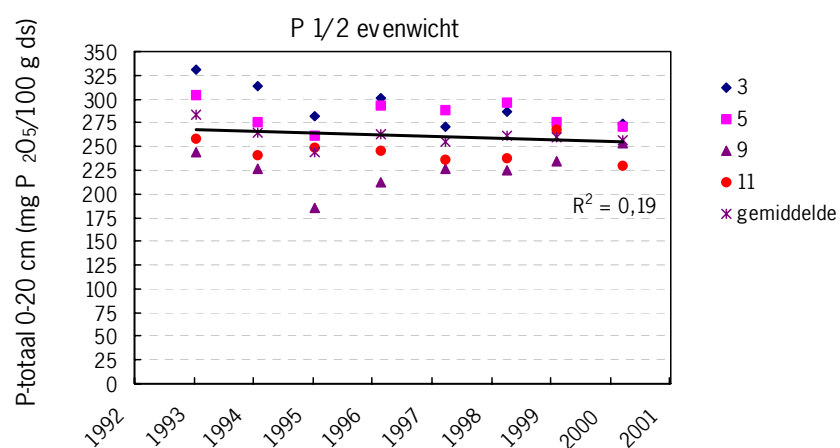
Figuur Vli



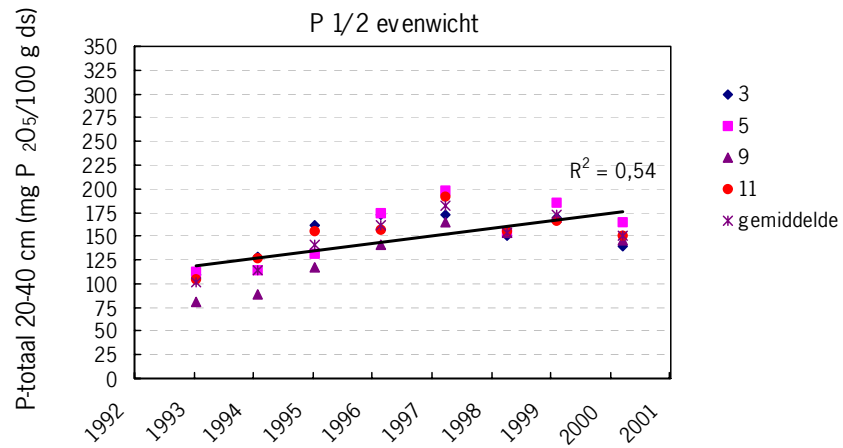
Figuur Vij



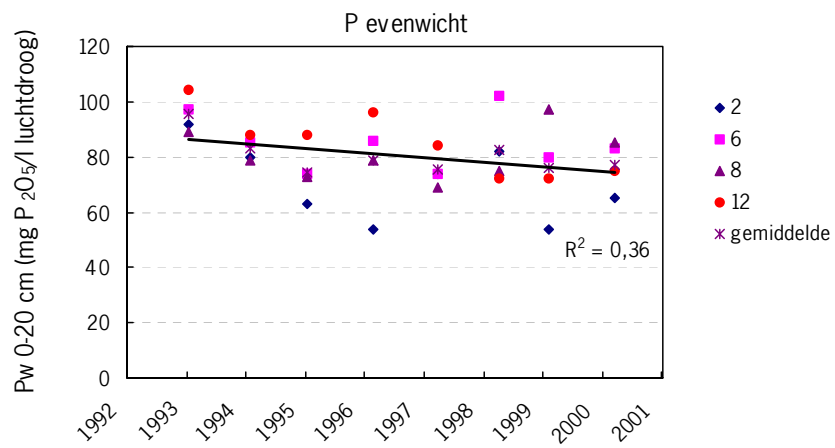
Figuur Vlk



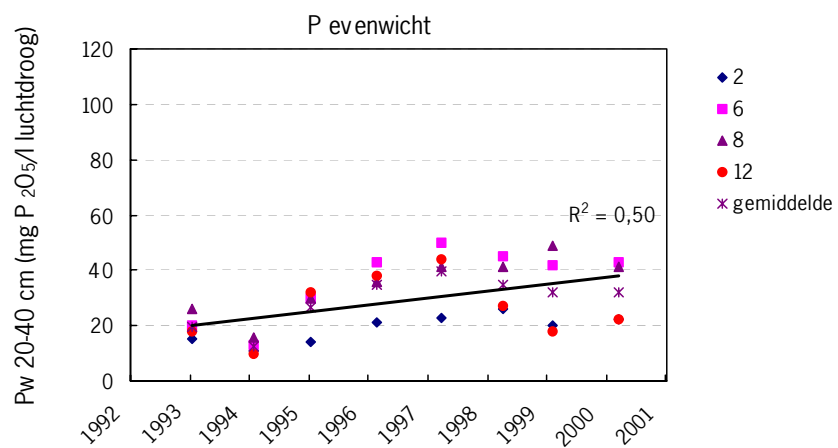
Figuur VII



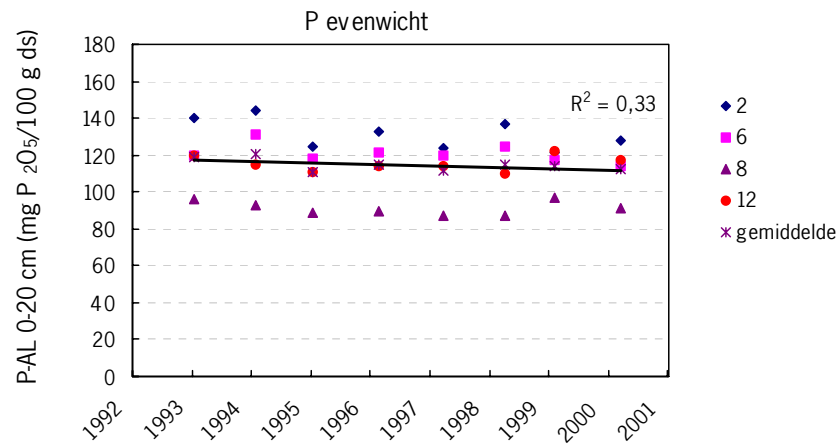
Figuur VIIm



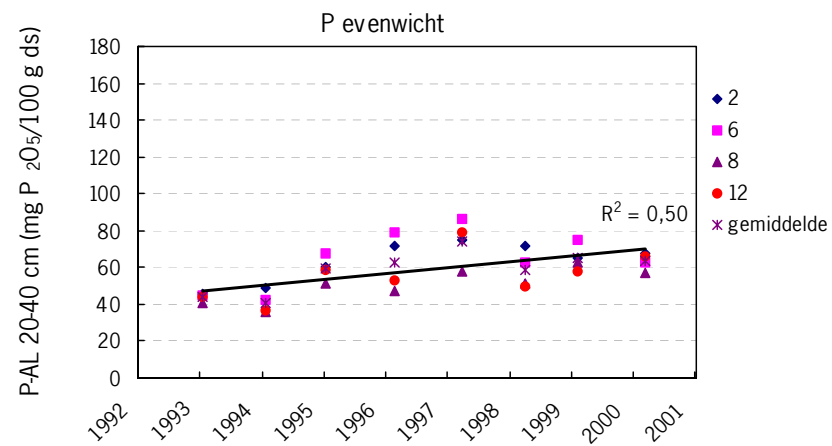
Figuur VIIn



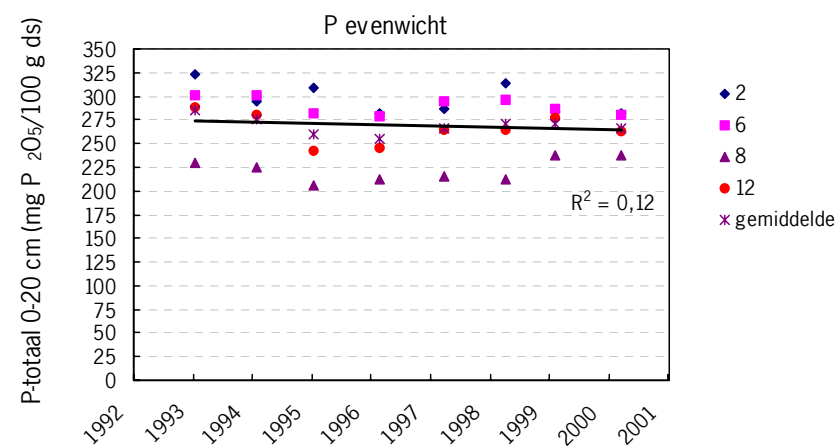
Figuur Vlo



Figuur Vlp



Figuur VIq



– P-0	Pw 0-20 cm	Va
– P-0	Pw 20-40 cm	Vb
– P-0	P-AL 0-20 cm	Vc
– P-0	P-AL 20-40 cm	Vd
– P-0	Ptot 0-20 cm	Ve
– P-0	Ptot 20-40 cm	Vf
– P-1/2 evenwicht	Pw 0-20 cm	Vg
– P-1/2 evenwicht	Pw 20-40 cm	Vh
– P-1/2 evenwicht	P-AL 0-20 cm	Vi
– P-1/2 evenwicht	P-AL 20-40 cm	Vj
– P-1/2 evenwicht	Ptot 0-20 cm	Vk
– P-1/2 evenwicht	Ptot 20-40 cm	Vl
– P-evenwicht	Pw 0-20 cm	Vm
– P-evenwicht	Pw 20-40 cm	Vn
– P-evenwicht	P-AL 0-20 cm	Vo
– P-evenwicht	P-AL 20-40 cm	Vp
– P-evenwicht	Ptot 0-20 cm	Vq
– P-evenwicht	Ptot 20-40 cm	Vr

Tabel VIa Gemiddelde Pw-getal, P-AL-getal en P-totaal in de bodemlagen 0-20, 20-40, 0-40 cm, voor de verschillende behandelingen voor de periode 1993-2000 en het verschil (absoluut en percentage) tussen 1993-1994 en 2000 –2001

P	Behandeling	Jaar								abs.	%
		'93-'94	'94-'95	'95-'96	'96-'97	'97-'98	'98-'99	'99-'00	'00-'01		
0-20 cm											
Pw-getal	P-0	96	92	76	82	78	81	70	70	-26	-27
	P-1/2	101	75	79	85	74	75	80	78	-23	-23
P-AL-getal	evenwicht										
	P-evenwicht	96	83	75	79	75	83	76	77	-19	-20
	P-0	121	122	110	107	107	103	109	97	-24	-20
	P-1/2	125	122	109	114	111	107	107	104	-21	-17
P-totaal	evenwicht										
	P-evenwicht	119	121	111	115	111	115	114	113	-6	-5
	P-0	271	266	250	246	251	253	260	242	-29	-11
	P-1/2	284	264	245	263	256	262	260	257	-27	-10
Pw-getal	evenwicht										
	P-evenwicht	285	276	260	255	266	272	271	263	-22	-8
	P-0	19	19	24	30	41	32	28	29	10	53
	P-1/2	17	17	26	38	38	34	36	28	11	65
P-AL-getal	evenwicht										
	P-evenwicht	20	13	27	35	40	35	32	32	12	60
	P-0	42	53	57	57	69	57	58	50	8	19
	P-1/2	37	48	56	66	69	58	68	53	16	43
P-totaal	evenwicht										
	P-evenwicht	44	41	60	63	75	59	65	64	20	45
	P-0	112	116	146	149	175	150	162	139	27	24
	P-1/2	102	114	142	161	182	153	173	150	48	47
Pw-getal	evenwicht										
	P-evenwicht	117	101	145	154	189	157	165	165	48	41
	P-0	57	55	50	56	59	56	49	49	-8	-14
	P-1/2	59	46	52	61	56	54	58	53	-6	-10
P-AL-getal	evenwicht										
	P-evenwicht	58	48	51	57	57	59	54	55	-3	-5
	P-0	81	86	83	81	87	79	83	73	-8	-10
	P-1/2	80	84	82	89	89	82	87	78	-2	-3
P-totaal	evenwicht										
	P-evenwicht	81	80	84	88	92	86	89	88	7	9
	P-0	191	188	197	196	212	200	210	190	-1	-1
	P-1/2	200	185	201	203	226	213	217	214	14	7
P-totaal	evenwicht										
	P-evenwicht	191	187	192	211	218	206	216	203	12	6

Tabel VIb Hoeveelheden fosfor in de bodem (kg ha⁻¹, 0-40 cm) berekend op basis van het P-totaal getal en de dichtheid van de grond, voor de verschillende behandelingen voor de periode 1993-2000 en het verschil (absoluut en percentage) tussen 1993-1994 en 2000-2001

P	Behandeling	Jaar								abs.	%
		'93-'94	'94-'95	'95-'96	'96-'97	'97-'98	'98-'99	'99-'00	'00-'01		
P-totaal	P-0	4499	4385	4618	4626	4947	4686	4878	4404	-95	-2.1
	P-1/2	4521	4344	4498	4966	5085	4825	4999	4705	184	4.1
	evenwicht										
	P-evenwicht	4718	4309	4718	4780	5277	4981	5033	4960	242	5.1

Tabel VIc Regressiecoëfficiënten van behandelingen van perceel 1 voor de periode 1993-2001

P=0	Pw 0-20	Pw 20-40	P-AL 0-20	P-AL 20-40	P-tot 0-20	P-tot 20-40
1	0.88	0.11	0.86	0.04	0.58	0.62
4	0.54	0.89	0.93	0.23	0.90	0.30
7	0.41	0.22	0.56	0.00	0.04	0.52
10	0.2	0.11	0.03	0.15	0.08	0.46
Gemiddeld	0.74	0.37	0.77	0.13	0.25	0.70

P= ¹ / ₂ evenwicht	Pw 0-20	Pw 20-40	P-AL 0-20	P-AL 20-40	P-tot 0-20	P-tot 20-40
3	0.56	0.36	0.68	0.21	0.62	0.54
5	0.16	0.06	0.63	0.11	0.00	0.67
9	0.01	0.74	0.58	0.71	0.00	0.91
11	0.64	0.15	0.27	0.33	0.00	0.75
Gemiddeld	0.28	0.43	0.80	0.36	0.19	0.75

P=evenwicht	Pw 0-20	Pw 20-40	P-AL 0-20	P-AL 20-40	P-tot 0-20	P-tot 20-40
2	0.25	0.59	0.36	0.55	0.25	0.59
6	0.02	0.63	0.25	0.29	0.10	0.44
8	0.03	0.73	0.04	0.69	0.00	0.72
12	0.75	0.03	0.00	0.34	0.03	0.48
Gemiddeld	0.36	0.50	0.33	0.50	0.11	0.62

Literatuur

- Aarts, H.F.M., G.J. Hilhorst, F. Nevens, J.J. Schröder, 2002. Betekenis wisselbouw voor melkveebedrijf op lichte zandgrond; Analyse van resultaten proefbedrijf 'De Marke'.
- Aarts, H.F.M., 2000. Resource management in a 'De Marke' dairy farming system. Proefschrift, tevens De Marke rapport, no. 26.
- Aarts, H.F.M., B. Habekotté & H. van Keulen, 2000.
Phosphorus (P) management in the 'De Marke' dairy farming system. Nutrient Cycling in Agroecosystems 56: 219-229
- Aarts, 2001.
Startrapport Koeien & Kansen. Koeien & Kansen rapport nr. 1.
- Anonymus, 1994.
Land- en tuinbouwcijfers 1993. Landbouw-Economische Instituut en Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag.
- Anonymus, 1994.
Advies Eindverliesnormen fosfaat. Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.
- Anonymus, 1998.
Adviesbasis bemesting grasland en voedergrassen. Themaboek November 1998. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden, Lelystad.
- Anonymous 1999. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen.
Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt. Publicatie nr. 95.
- Beldman, A.C.G. & H. Prins, 1999.
Analyse verschillen in mineralenoverschotten op gespecialiseerde melkveebedrijven (96/97). Landbouw-Economisch Instituut (LEI) rapport 2.99.01, Den Haag.
- Boer, D.J. den, J.C. van Middelkoop & D.W. Bussink, 1996.
Beperking van nutriëntenverliezen in de melkveehouderij: resultaat van onderzoek op twee praktijkbedrijven. NMI, Wageningen.
- Biewinga, E.E., H.F.M. Aarts & R.A. Donker, 1992.
Melkveehouderij bij stringente milieunormen: bedrijfs- en onderzoeksplan van het proefbedrijf voor melkveehouderij en milieu. 'De Marke' rapport t 1.
- Biewinga, E.E., H.F.M. Aarts, G.J. Hilhorst, F.C. van der Schans & C.K. de Vries, 1996.
Duurzame melkveehouderij: doelstellingen, bedrijf en onderzoek in de tweede fase van 'De Marke'. 'De Marke' rapport 19.
- Boumans L.J.M., B. Fraters, G. van Drecht, 2001 Nitrate in the upper groundwater of 'De Marke' and other farms, Netherlands Journal of Agricultural Science, 49/2-3.
- Chardon, W.J., O. Oenema, O.F. Schoumans, P.C.M. Boers, B. Fraters & Y.C.W.M. Geelen, 1996.
Verkenning van de mogelijkheden voor beheer en herstel van fosfaatlekkende landbouwgronden: programmeringsstudie. Rapporten programma geïntegreerd bodemonderzoek, deel 8.
- Dekker, J.N.M. & T.E.M. van Leeuwen, 1998.
Voortschrijdende normstelling in het mestbeleid, de strategie bij de ontwikkeling van verliesnormen. Milieu 3: 134-143.
- Ehlert, P.A.I., S.L.G.E. Burgers & J.W. Steenhuizen, 1996.
Verandering van de beschikbaarheid van fosfaat in grond onder invloed van bemesting: observationeel statistisch onderzoek naar het voorkomen van 'onvermijdbare fosfaatverliezen' op basis van gegevens van veeljarige bemestingsproeven. AB-DLO, Wageningen, rapport 51.
- Habekotté, B., H.F.M. Aarts, C.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröders, O.F. Schoumans & F.C. van der Schans, 1998.
Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement: recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf 'De Marke' en de betekenis voor praktijkbedrijven. 'De Marke' rapport 22.
- Hassink, J., 1995.
Predicton of the non-fertilizer N supply of grassland soil. Plant and Soil 176: 71-79.
- Henkens, P.L.C.M., 2001. Het mineralenbeleid in Nederland en het nitraatbeleid binnen de EU. In: Het nitraatbeleid: de wetenschap, de sector en het beleid. Symposiumbundel

- Janssen, B.H., 1994. Fosfor in relaties tussen bodem, plant en meststof. In: Gebundelde verslagen van de Nederlandse Vereniging voor Weide-en Voederbouw, nummer 35.
- Johnston, A.E., 1996.
Phosphorus: essential plant nutrient, possible pollutant. Meststoffen 1996.
- Koskamp, G.J., G.J. Hilhorst, H.F.M. Aarts, P.J. Galama, D.Z. van der Vegte, C.K. de Vries & J.A. Reijneveld, 2001.
Evaluatierapport 2e fase en plan 3e fase project 'De Marke'; ontwikkeling van een bedrijfssysteem voor rendabele melkveehouderij op zandgrond binnen stringente milieunormen. 'De Marke' rapport 34.
- Oenema, O. & T.A. van Dijk, 1995.
Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw: rapport van de technische projectgroep 'P-deskstudie' project verliesnormen, deelrapport 1.
- Reijneveld, J.A., B. Habekotté, H.F.M. Aarts & J. Oenema, 2000.
Typical Dutch, zicht op de verscheidenheid binnen de Nederlandse melkveehouderij. Plant Research International Wageningen, Rapport 8
- Reijneveld, J.A. & H.F.M. ten Berge, 2001.
Een bodem in bedrijf; het bedrijf Eggink. Koeien & Kansen rapport 7.
- Reijneveld, J.A., 2001.
Effecten van verminderde fosfaatgiften op fosfaatfixerende kleigronden. Koeien & Kansen rapport 6.
- Schoumans, O.F., 1997.
Relation between phosphate accumulation, soil P levels and P leaching in agricultural land. SC-DLO, Wageningen, Report 146.
- Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui-Louwerse, R. Zwijnen, 1991.
De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters P_w- en P_{AL}-getal, en fosfaatverzadiging bij zandgronden. SC-DLO, Wageningen, rapport 112.
- Schoumans, O.F., 1995.
Analyse van de invloed van evenwichtsbemesting op de fosfaattoestand van de bodem bij het proefbedrijf 'De Marke'. SC-DLO, Wageningen, rapport 380.
- Schoumans, O.F. & R. Kruijne, 1995.
Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden: eindrapport. SC-DLO rapport 374.
- Schröder, J.J., E. Bleumer, B. Phillipsen, W. van Dijk & W. van Dijk, 1999.
Fosfaat-kunstmest achterhaalde gewoonte? Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden. 12: 2, 18-19.
- Stuurman, Roelof, Gelske van Beusekom, Josef Reckman, 2000. Watersystemen in beeld; een beschrijving en kaarten van de grond- en oppervlaktewatersystemen van Noord-Brabant.
- Verloop, K. (red.), 1999
Overschotten van stikstof en fosfaat: bruggen slaan tussen landbouwproductie en milieudoelstellingen. Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.
- Verhagen, René, Rudy van Diggelen, 2001. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in pleistoceen Nederland: herstel van de nutriëntenlimitatie. Rijksuniversiteit Groningen.
- Wolf, J., C.T. de Wit, B.H. Janssen, D.J. Lathwell, 1987. Modeling long-term crop response to fertilizer phosphorus. I. The model. *Agon*. J.79: 445-451.
- Zee, S.E.A.T.M. van der, 1988. Transport of reactive contaminants in heterogeneous soil systems. Landbouwniversiteit Wageningen. Dissertatie.
- Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk en F.A.M. de Haan, 1990. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, Landbouwniversiteit Wageningen.