

De Marke

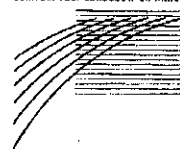
Proefbedrijf voor
Melkveehouderij en Milieu



PR

CLM

Centrum voor Landbouw en Milieu



AB-DLO

Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement

**Recente (1990-1997) en te verwachten
resultaten van proefbedrijf De Marke
en de betekenis voor praktijkbedrijven**

Bibliotheek AB-DLO
Bornsesteeg 65
Postbus 14
6700 AA Wageningen

B. Habekotté (AB-DLO)
H.F.M. Aarts (AB-DLO)
W.J. Corré (AB-DLO)
G.J. Hilhorst (De Marke)
H. van Keulen (AB-DLO)
J.J. Schröder (AB-DLO)
O.F. Schoumans (SC-DLO)
F.C. van der Schans (PR)

Rapport no. 22
AB-DLO rapport 92
Februari 1999

935 023

Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR)



Referaat

B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans en F.C. van der Schans, 1999

Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement - Recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf De Marke en de betekenis voor praktijkbedrijven.

De Marke rapport nr. 22, AB-DLO rapport nr. 92, 160 blz.

Fosfaat speelt een belangrijke rol in de discussie met betrekking tot melkveehouderij en milieu. De Marke accepteert een overschot van maximaal 1 kg ha⁻¹ (de overheid hanteert 20 kg ha⁻¹ voor praktijkbedrijven in 2008). Tijdens de themadag Fosfaat, 24 juni 1998, is besproken hoe een laag fosfaatoverschot op De Marke wordt gerealiseerd en welke gevolgen het heeft gehad en mogelijk zal hebben voor bodemvruchtbaarheid, gewasopbrengsten en veevoeding. In dit rapport vindt u de bijdragen van de verschillende sprekers en een korte samenvatting van de discussie met de deelnemers.

Trefwoorden: melkveehouderij, milieu; bodemvruchtbaarheid, mineralen, fosfaat, De Marke

ISSN 0928-2637

Adressen betrokken instellingen:

- De Marke, zie binnenzijde omslag
- CLM
Amsterdamsestraatweg 877
Postbus 10015, 3505 AA Utrecht
tel. 030-2441301, fax 030-2441318
- AB-DLO
Bornsesteeg 65
Postbus 14, 6700 AA Wageningen
tel. 0317-475700, fax 0317-423110
- PR
Runderweg 6
Postbus 2176, 8203 AD Lelystad
tel. 0320-293211, fax 0320-241584

Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
Samenvatting discussie Themadag Fosfaat	13
1 De fosfaatdoelstelling van De Marke en de betekenis voor het bedrijfssysteem <i>G.J. Hilhorst, H.F.M. Aarts en H. van Keulen</i>	19
1.1 De fosfaatproblematiek	19
1.2 De fosfaatdoelstelling van De Marke versus MINAS	22
1.3 Van doelstelling naar bedrijfssysteem	22
1.4 Bemestingsstrategie	24
1.5 De P-kringloop van De Marke versus die van het gangbare bedrijf	25
1.6 Waarnemingen ten behoeve van de analyse van de fosfaathuishouding	26
1.7 Indeling van het rapport	26
2 De fosfaattoestand van de bodem van De Marke <i>B. Habekotté, W.J. Corré en G.J. Hilhorst</i>	29
2.1 Vragen ten aanzien van de fosfaat-bodemvruchtbaarheid op De Marke	29
2.2 Gevolgde werkwijze	30
2.3 Fosfaatbalansen van percelen en blokken	32
2.4 Het verloop van de fosfaatindicatoren in de bodemlaag van 0-20 cm diepte op basis van blokbemonstering	34
2.5 Het verloop van fosfaatindicatoren in de bodemlagen van 0-20 cm en 20-40 cm diepte op basis van de vaste waarnemingsplekken	40
2.6 Mogelijke oorzaken van de veranderingen in de fosfaattoestand en fosfaatvoorraad in de bouwvoor	42
2.7 Conclusies	45
3 Gevolgen van lagere fosfaatverliesnormen voor het verloop van de fosfaattoestand van de bouwvoor en de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor <i>O.F. Schoumans</i>	47
3.1 Inleiding	47
3.2 Voorkomen en gedrag van P in de bodem	47
3.3 Fosfaatparameters	48
3.4 Relatie tussen bodemvruchtbaarheids- en milieuparameters	49
3.5 Relatie tussen P-overschot, P-toestand en P-uitspoeling	51
3.6 Berekeningen	52
3.7 Conclusies	62

4	Maisopbrengst en -fosfaatgehalte in relatie tot de fosfaattoestand van de bodem van De Marke	
	<i>B. Habekotté en G.J. Hilhorst</i>	65
4.1	Inleiding	65
4.2	Gevolgde werkwijze	66
4.3	Opbrengstbepalende factoren voor maïs op De Marke	71
4.4	Is de fosfaattoestand van de maïsercelen in het voorjaar van de weg af te zien?	77
4.5	Het fosfaatgehalte van de maïs	82
4.6	Discussie en conclusies	83
5	Fosfaatbeheer bij de teelt van maïs	
	<i>J.J. Schröder en P.A.I. Ehlert</i>	87
5.1	Inleiding	87
5.2	Beworteling	87
5.3	Het bemestingadvies	88
5.4	Aanvoer is afvoer?	90
5.5	Gevolgen van fosfaatgebrek	92
5.6	Fosfaatgebrek op De Marke?	93
5.7	Verbetering van beschikbaarheid	96
5.8	Toegespitst op De Marke	99
5.9	Samenvattend	99
6	Fosfor in de veevoeding op De Marke	
	<i>F.C. van der Schans</i>	101
6.1	Inleiding	101
	6.1.1 Beschrijving bedrijfssysteem De Marke	101
	6.1.2 Verwachte fosforkringloop De Marke	102
6.2	Voedervoorziening	103
	6.2.1 Inleiding	103
	6.2.2 Gewassen	103
	6.2.3 Omvang veestapel	107
	6.2.4 Voeropname	108
6.3	Veevoeding in de fosforkringloop	120
6.4	Toekomstperspectief	122
	6.4.1 Effecten lagere fosfaattoestand	122
	6.4.2 Voedervoorziening	123
6.5	Discussie en conclusie	125

	pagina
7 Stringente P-normen in bedrijf Resultaten van proefbedrijf De Marke <i>H.F.M. Aarts, B. Habekotté, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J. Schröder, O. Schoumans en F. van der Schans</i>	127
7.1 Inleiding	127
7.2 Het gerealiseerde fosfaatoverschot	128
7.3 De gerealiseerde P-kringloop	130
7.4 Verdeling fosfaat over percelen	131
7.5 De bodemvruchtbaarheid en de productie van veevoer	133
7.6 Resultaten andere bedrijfsdoelen	133
7.7 Onzekerheden	135
7.8 De gevolgen van MINAS voor de melkveehouderij op zandgrond: extrapolatie van kennis van De Marke	136
Literatuur	139
Bijlage 2.1 Definities	2 pp.
Bijlage 2.2 Plattegrond van De Marke en locatie van percelen, blokken en vaste waarnemingsplekken	2 pp.
Bijlage 2.3 Bodemvruchtbaarheidsindicatoren en fosfaatbalansen per Pw-klasse	2 pp.
Bijlage 3.1 Gemeten (symbolen) en voorspeld (lijnen) Pw-verloop en P-AL-verloop bij permanent grasland (rangnummers van de blokken zijn aangegeven)	1 p.
Bijlage 3.2 Landbouwkundige fosfaatverliezen gerelateerd aan de P-toestand van de bodem (Pw-getal) voor permanent grasland	1 p.
Bijlage 3.3 Voorspeld verloop van het P-AL-getal bij een fosfaatoverschot van 1 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ per jaar voor zowel een situatie waarbij rekening wordt gehouden met hoge landbouwkundige fosfaatverliezen (landbouwkundige worst case scenario) (a), als een situatie waarbij geen landbouwkundige verliezen optreden (b)	1 p.
Bijlage 3.4 Voorspeld verloop van het P-AL-getal bij een fosfaatoverschot van 20 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ per jaar voor zowel een situatie waarbij rekening wordt gehouden met hoge landbouwkundige fosfaatverliezen (landbouwkundige worst case scenario) (a), als een situatie waarbij geen landbouwkundige verliezen optreden (b)	1 p.

Voorwoord

Het project De Marke heeft als doel na te gaan hoe de melkveehouderij op zandgrond kan voldoen aan stringente milieunormen met een zo rendabel mogelijke bedrijfsvoering en aan maatschappelijke wensen met betrekking tot de functies van de groene ruimte. Een bedrijfssysteem dat theoretisch voldoet wordt sinds 1992 op praktijkschaal beproefd en verder ontwikkeld. Het proefbedrijf is gelegen in het Gelderse Hengelo.

Jaarlijks wordt een bedrijfsaspect extra uitgediept en de resultaten daarvan worden op een studiedag ter discussie gesteld. De studiedag heeft voor de onderzoekers van De Marke vooral een klankbordfunctie: worden uit de verzamelde gegevens de juiste conclusies getrokken? Een studiedag biedt de deelnemers de mogelijkheid om aan de hand van een concrete situatie (De Marke) visies met andere deskundigen te delen.

Fosfaat speelt een belangrijke rol in de discussie met betrekking tot melkveehouderij en milieu. De Marke accepteert een overschot van maximaal 1 kg ha^{-1} (de overheid hanteert 20 kg ha^{-1} voor praktijkbedrijven in 2008). Tijdens de Themadag Fosfaat, 24 juni 1998, is besproken hoe een laag fosfaatoverschot op De Marke wordt gerealiseerd en welke gevolgen het heeft gehad en mogelijk zal hebben voor bodemvruchtbaarheid, gewasopbrengsten en veevoeding. In dit rapport vindt u de bijdragen van de verschillende sprekers en een korte samenvatting van de discussie met de deelnemers.

Samenvatting

De fosfaatdoelstelling van De Marke en de betekenis voor het bedrijfssysteem

Op de meeste gronden is toediening van fosfaat in de vorm van bemesting nodig om voldoende hoge gewasopbrengsten te kunnen behalen. Kunstmestfosfaat wordt gemaakt uit fosfaatrijke gesteenten of uit fossiele vogelmest. Voorzien is dat de winbare voorraden in de loop van de volgende eeuw geleidelijk op raken. Via import van veevoer wordt fosfaat onttrokken aan de grond waarop het veevoer geproduceerd wordt en vindt ophoping plaats van fosfaat via de in Nederland geproduceerde mest. Ondanks de grote hoeveelheden fosfaat in de vorm van organische mest waarover de Nederlandse landbouw kan beschikken is het Nederlandse kunstmestgebruik mondiaal gezien extreem hoog. Een belangrijke oorzaak is de slechte verdeling van dierlijke mest binnen Nederland en vaak ook binnen bedrijven. Tevens leiden de huidige bemestingsadviezen – uitsluitend gebaseerd op economische criteria – in de meeste gevallen tot een fosfaatoverschot op perceelsniveau om de hoeveelheid voor het gewas opneembare fosfaat in de bodem op een zodanig peil te houden dat er gedurende de groeiperiode geen of nauwelijks tekort optreedt.

De fosfaatdoelstelling van De Marke is veel stringenter dan de eindnormen van MINAS (een fosfaatoverschot van 20 kg ha⁻¹ in 2008/2010), namelijk een fosfaatoverschot van 1 kg ha⁻¹ bij een fosfaattoestand 'voldoende' van de bodem. Dat is de hoeveelheid die jaarlijks kan uitspoelen zonder overschrijding van de milieukwaliteitsdoelstellingen van de overheid in zandgebieden: maximaal 0,15 mg P per liter voor oppervlaktewater en een streefwaarde van 0,4 mg P per liter voor grondwater. Zolang veel percelen nog een hogere fosfaattoestand hebben, wordt een fosfaatoverschot nagestreefd van ca. – 5 kg ha⁻¹. Uitgangspunt is verder een melkproductieniveau per hectare dat redelijk overeen komt met dat van de gangbare praktijk en dat alle geproduceerde mest moet op het eigen bedrijf worden afgezet.

Enkele belangrijke vragen waar De Marke antwoord op wil geven worden in dit rapport besproken:

- Wat is het verloop van de fosfaattoestand en de fosfaatbodemvoorraad op De Marke in de periode 1989/90-1997/98?
- Welke toekomstige veranderingen van de fosfaattoestand zijn te verwachten met de huidige fosfaatdoelstelling en bedrijfsstrategie?
- Heeft de fosfaattoestand (en veranderingen daarin) invloed op de maïsopbrengsten en fosfaatgehalten in de maïs?
- Hoe kan maïs landbouwkundig en milieukundig verantwoord bemest worden?
- Welke rol speelt fosfaat in de veevoeding en melkproductie op De Marke, niet alleen nu maar ook in de toekomst?
- Hoe zijn de ervaringen op bedrijfsniveau met de stringente P-norm en wat zijn de gevolgen van de mestwetgeving?

De Marke heeft een oppervlak van ca. 55 ha droge zandgrond met een melkquotum van ca. 655.000 kg melk, dus 12.000 kg melk ha⁻¹. De veestapel bestaat uit 80 melkkoeien en ruim 50

stuks jongvee. Op De Marke worden verschillende gewassen verbouwd: gras, maïs en voederbieten (tot 1996). De ca. 31 ha grasland bestaat uit 1/3 blijvend en 2/3 tijdelijk grasland. Tijdelijk grasland wisselt af met bouwland waarop 18 ha maïs en 6 ha voederbieten wordt verbouwd. Een deel van de maïs wordt als maïskolvensilage (MKS) geoogst. De afgelopen jaren is het areaal voederbieten geleidelijk teruggelopen ten gunste van maïs. Vanaf 1996 worden geen voederbieten meer verbouwd.

Het niveau van bemesting ligt lager dan in de praktijk. De niveaus voor de stikstof- en fosfaatbemesting zijn voor blijvend grasland respectievelijk 250 kg stikstof en 50 kg fosfaat ha⁻¹, voor tijdelijk grasland 250 kg stikstof en 90 kg fosfaat ha⁻¹ en voor maïs 100 kg stikstof en 35 kg fosfaat ha⁻¹. De fosfaatbemesting wordt vanaf 1994 volledig ingevuld met dierlijke mest. De nitraatdoelstelling is hierbij beperkend voor de drijfmestgift op maïsland. Daardoor moet maïsland voor fosfaat beneden onttrekking bemest worden. Dit wordt gecompenseerd door een fosfaatbemesting van tijdelijk grasland boven onttrekking. Bij de bemesting, zowel met stikstof als fosfaat, wordt nadrukkelijk rekening gehouden met het vochtleverend vermogen van de grond, de fosfaattoestand van het perceel en het vrijkomen van stikstof uit oude zoden en vanggewas. Omdat de verschillen in fosfaattoestand tussen de percelen groot zijn, de gemiddelde fosfaattoestand van de percelen hoger is dan 'voldoende' en de drijfmestproductie wat hoger dan verwacht, is de bemestingsstrategie tevens gericht geweest op nivellering van de verschillen in fosfaattoestand van de percelen. De maïspcelen met een Pw-getal beneden 40, krijgen 15 m³ drijfmest boven de standaardgift.

De fosfaattoestand van de bodem van De Marke

Voor het in kaart brengen van perceelsbalansen en veranderingen in de fosfaattoestand van de bodem van De Marke is gebruik gemaakt van bemonstering van percelen, van blokken (51 delen van percelen van ca. 1 ha groot die vanaf 1989/90 deel uitmaken van De Marke) en 30 vaste waarnemingsplekken verdeeld over het bedrijfsoppervlak.

Het gerealiseerde fosfaatoverschot van de percelen en de 51 blokken is gemiddeld 5 kg ha⁻¹ voor de periode 1990-'96. Daarmee is op perceels- en blokniveau tot 1996 de bedrijfsdoelstelling nog niet volledig bereikt. Het gemiddelde overschot over ruim 6 jaar is iets hoger dan 1 kg fosfaat ha⁻¹ en zou negatief moeten zijn, aangezien de gemiddelde fosfaattoestand van de percelen hoger is dan 'voldoende'.

De op nivellering gerichte bemestingsstrategie weerspiegelt zich in een gemiddeld hoger fosfaatoverschot van de blokken met een relatief lage fosfaattoestand (Pw ≤ 45) dan van de blokken met een relatief hogere fosfaattoestand (Pw > 45), met name vanaf 1994 (1994-'96: 9-14 kg ha⁻¹ ten opzichte van -3-7 kg ha⁻¹).

Het gemiddelde Pw-getal en P-AL-getal zijn gedurende de eerste zes jaar afgenomen (1989/90-1995/96) en de laatste twee jaar niet veranderd (1996/97-1997/98). De afname van P-totaal (1989/90-1997/98) is relatief gering. De afname van het Pw-getal, het P-AL-getal en van P-totaal heeft zich vooral voorgedaan bij een relatief hoge uitgangstoestand van de fosfaattoestand (Pw-getal > 45). Bij een relatief lage fosfaattoestand van de bouwvoor (Pw-getal ≤ 45) waren de veranderingen relatief gering. Deze veranderingen duiden op een trend tot nivellering van de fosfaattoestand. Daardoor is het bedrijfsoppervlak met een fosfaattoestand 'voldoende' (op

basis van het Pw-getal) en 'ruim voldoende' (op basis van het P-AL-getal) toegenomen en het bedrijfsoppervlak met een fosfaattoestand 'hoog' afgenomen over de periode 1989/90-1997/98.

De bodemlaag van 20-40 cm diepte vertoont in grote lijn dezelfde trend als de bovenste 20 cm van de bouwvoor: een afname (niet significant) van het Pw-getal, het P-AL-getal en van P-totaal, met name bij een hogere uitgangstoestand van de fosfaattoestand van de bouwvoor (Pw-getal > 45).

Een indicatie is gegeven van de op langere termijn te verwachten fosfaattoestand en -voorraad van de blokken en percelen van De Marke bij voortzetting van de huidige bemestingsstrategie en verdergaande daling van de fosfaattoestand en nivellering van de verschillen. Voor het Pw-getal werd een waarde van 15-26 (waardering: 'laag-voldoende'), voor het P-AL-getal een waarde van 22-38 (waardering: 'vrij laag-voldoende') en voor P-totaal een waarde van 125-150. Een verdergaande trend tot nivellering is aannemelijk voor het Pw-getal en P-AL-getal, maar op basis van de gegevens per Pw-klasse van de afgelopen drie jaar in beperkte mate (significant) aantoonbaar. Gezien de stabilisatie van het gemiddelde Pw- en P-AL-getal gedurende de afgelopen twee jaar, is het echter niet duidelijk of verdere daling van de fosfaattoestand zal optreden. Op basis van de veranderingen in P-totaal per Pw-klasse gedurende de afgelopen drie jaar is niet aan te geven of de aanvankelijke nivellering en daling van P-totaal zich zal voortzetten.

Verondersteld kan worden dat netto afvoer van fosfaat van de percelen of menging van bodemlagen door grondbewerking of biologische activiteit geen of een beperkte invloed hebben gehad op de fosfaattoestand en -voorraad in de bovenste bodemlaag (0-20 cm) van de bouwvoor.

Gevolgen van lagere fosfaatverliesnormen voor het verloop van de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor

Om de nutriëntenverliezen naar het milieu te minimaliseren, dient de fosfaatgift op perceelsniveau afgestemd te worden op de fosfaatafvoer van het perceel. Helaas zal de P-aanvoer nooit helemaal gelijk kunnen zijn aan de P-afvoer omdat er altijd sprake zal zijn van P-verliezen in de bodem. Met betrekking tot de P-verliezen wordt er onderscheid gemaakt in landbouwkundige en milieukundige verliezen. Onder landbouwkundige verliezen wordt verstaan de ophoping van fosfaat in organische stof ('netto-immobilisatie', zijnde de ophoping van organisch P) tezamen met sterke vastlegging van fosfaat aan bodemdeeltjes ('fosfaatfixatie', zijnde de ophoping van anorganisch P). Onder milieukundige verliezen wordt verstaan de uit- en afspoeling van fosfaat uit de bouwvoor naar grond- en oppervlaktewater. De grootte van de totale verliezen hangt van een groot aantal factoren af, maar met name van de fosfaattoestand van de bodem.

De fosfaatvoorraad in de bouwvoor (20 cm) varieert veelal tussen de 2.000 en 10.000 kg P₂O₅ ha⁻¹ (bij resp. fosfaattoestand voldoende en hoog). Hiervan is slechts een beperkt deel (5 à 15%) in organische stof opgeslagen. Het overgrote deel is mineraal fosfaat (85 à 95%) dat aan bodemdeeltjes is gebonden en waarvan slechts een beperkt gedeelte (20 à 35%) weer makkelijk in oplossing gaat. De fractie makkelijk oplosbaar mineraal fosfaat beïnvloedt in sterke mate zowel

de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas, weergegeven door het Pw-getal en het P-AL-getal, als de kans op fosfaatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater.

Om het verloop van het Pw- en P-AL-getal op De Marke op lange termijn te kunnen voorspellen, zijn de waarden van ontbrekende en onzekere parameters berekend (via optimalisatie) uit het gemeten en berekende verloop van Pw- en P-AL in de periode '90-'97 (calibratie van ontbrekende en onzekere parameters zoals: waarde van het landbouwkundig P-verlies en Al- en Fe-gehalten liggend in het traject van mogelijke Al- en Fe-gehalten die op een aantal plaatsen op De Marke zijn waargenomen). De afgeleide landbouwkundige verliezen van fosfaat zijn voor blijvend grasland hoger dan voor wisselbouw, mogelijk door de ongelijke verdeling van mestflaten over een beweide perceel. Tevens is het mogelijk dat een deel van het blijvend grasland is aangelegd op voormalig bouwland, waardoor de eerste jaren meer fosfaat is verdwenen door de ontwikkeling van een dicht worstelstelsel van gras.

Berekeningen zijn uitgevoerd voor de wisselbouwpercelen aangezien deze het grootste deel van het bedrijfsareaal beslaan. De berekeningen geven aan dat, uitgaande van een fosfaatoverschot van 1 kg ha^{-1} , de fosfaattoestand van de percelen van De Marke geleidelijk zal dalen. Percelen met een fosfaattoestand 'voldoende' bereiken naar verwachting een fosfaattoestand 'laag' ($Pw < 20$) na 10 tot ca. 40 jaar. Percelen met een toestand 'ruim voldoende' bereiken deze toestand pas na 35 tot 100 jaar en voor percelen met een nog hogere fosfaattoestand duurt het nog langer voordat de toestand 'laag' bereikt wordt. De spreiding in de prognoses wordt veroorzaakt door het aannemen van wel en geen landbouwkundig fosfaatverlies.

De bodemvruchtbaarheidstoestand moet nog sterk dalen voordat de milieukundige fosfaatverliezen uit de bouwvoor lager zullen zijn dan $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar. Volgens de berekeningen wordt deze toestand bereikt bij een fosfaattoestand 'laag' ($8 < Pw < 10 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ per liter grond}$).

Ook het P-AL-getal daalt bij een fosfaatverliesnorm van $1 \text{ kg fosfaat ha}^{-1}$ per jaar. Toch wordt bij een dergelijk laag fosfaatoverschot niet verwacht dat het P-AL-getal op De Marke binnen 100 jaar zal dalen tot het niveau van een lage fosfaattoestand.

Een fosfaatoverschot van $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar (eindnorm MINAS in 2008) leidt volgens de berekeningen op lange termijn tot riante fosfaattoestanden van de bodem ($Pw: 45-90 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ per liter grond}$) van De Marke en naar verwachting ook in een groot deel van Nederland.

Tevens wordt opgemerkt dat bij de relatie tussen de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor is aangenomen, dat een groot deel van het fosfaat in de bodem aanwezig is als gefixeerd fosfaat ('irreversibel' gebonden). Met name in situaties met (zeer) lage fosfaatbodemvruchtbaarheidstoestanden is nog onzeker of deze aanname gerechtvaardigd is. Indien bij de (zeer) lage fosfaattoestanden van de bodem de slecht oplosbare fosfaten ('gefixeerd fosfaat') wel een rol spelen bij de grootte van de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor en de bepaling van het Pw-getal van de bouwvoor (zoals bijv. ook bij het P-AL-getal het geval is), bestaat de kans dat een fosfaatuitspoeling van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar bij een hoger Pw-getal gerealiseerd zal worden. Er wordt echter niet verwacht dat deze zal stijgen tot een niveau van 20 of hoger.

Maïsofbrengst en -fosfaatgehalte in relatie tot de fosfaattoestand van de bodem van De Marke

De gemiddelde hoeveelheid beschikbaar fosfaat op De Marke is tussen 1989/90 en 1995/96 afgenomen. En een verdergaande nivellering en daling van de fosfaattoestand van de percelen is te verwachten indien een fosfaatoverschot van max. 1 kg ha⁻¹ op alle percelen wordt gerealiseerd. Nagegaan is welke factoren het meest bepalend zijn voor de maïsofbrengsten op De Marke, of de waargenomen daling in de fosfaattoestand van de percelen zich weerspiegelt in een daling van de maïsofbrengst en het fosfaatgehalte in de maïs in de periode 1992-1996 en of de maïsofbrengsten en fosfaatgehalten in de maïs van de percelen met een relatief lage fosfaattoestand lager zijn dan die van de percelen met een relatief hoge fosfaattoestand.

De gerealiseerde gemiddelde maïsofbrengsten en -fosfaatgehalten vertonen geen afnemende trend in de periode 1990-1996. Het gerealiseerde gemiddelde opbrengstniveau is vergelijkbaar met het berekende vochtgelimiteerde opbrengstniveau van 10,6 t ha⁻¹, en 33% lager dan het berekende potentiële productieniveau van ca. 16 t ha⁻¹. Aangetoond is dat de vochtvoorziening de meest opvallende opbrengstlimiterende factor is op De Marke. Op basis van de waargenomen nutriënten-gehalten kan verondersteld worden dat de nutriënten-voorziening tevens enigszins beperkend is geweest. Tussen de nutriëntenopnames en de beschikbaarheid van stikstof in de bodem, het Pw-getal en het K-getal en tussen maïsofbrengsten en de beschikbaarheid van stikstof in de bodem, het Pw-getal en het K-getal werden geen overtuigende relaties gevonden. Alleen het Pw-getal bleek voor de percelen met de beste vochtvoorziening (benutbaar vocht ≥ 300 mm) enig aantoonbaar effect te hebben op de fosfaatopname en maïsofbrengsten. Ook is de nutriëntenopname mogelijk beperkt bij een geringe vochtvoorziening. Op basis van veldproeven met meer gedetailleerde waarnemingen is aangetoond dat de opbrengstderving door een beperkte stikstofvoorziening op De Marke gemiddeld 8% bedraagt. Voor fosfaat werd tot nu toe geen opbrengstlimitering vastgesteld.

De achterblijvende groei van maïs in het voorjaar lijkt met name samen te hangen met een lage fosfaattoestand. De relatief lange groeiperiode na het voorjaar, mogelijke verschillen in vochtbenutting en afrijping kunnen ertoe leiden dat de aanvankelijke verschillen in opbrengst niet of nauwelijks zijn terug te vinden bij de eind oogst. Op De Marke speelt ook mee dat de percelen (en vaste waarnemingsplekken) met een relatief hoog Pw-getal een wat geringer vochtleverend vermogen hebben dan de overige percelen. Na de voorjaarsgroei wordt de invloed van de vochtvoorziening zichtbaar en overschaduwde het effect van de geremde voorjaarsgroei.

Het P₂O₅-gehalte in het gewas vertoont geen overtuigend positief verband met de fosfaattoestand van de bodem. Voorlopig kan van een 'mogelijk' minimaal gemiddeld P₂O₅-gehalte van 0,38% uitgegaan worden bij een Pw-getal ≤ 30.

Op basis van de analyses kan verondersteld worden dat voor de nabije toekomst van dezelfde gemiddelde eindopbrengsten van maïs uitgegaan kan worden zolang de meeste percelen een fosfaattoestand van minstens 'voldoende' behouden. De spreiding rond dit gemiddelde wordt in belangrijke mate bepaald door de vochtvoorziening. Mogelijk dat de nutriëntengehalten een daling zullen gaan vertonen naarmate het aantal percelen met een Pw-getal ≤ 30 toeneemt. Op de langere termijn (na 10-40 jaar) zijn Pw-getallen < 20 te verwachten indien de bedrijfsdoelstelling van 1 kg fosfaatoverschot ha⁻¹ wordt gerealiseerd. Op basis van de beschikbare data kan

geen uitspraak gedaan worden over de dan te verwachten maïsopbrengsten. Een mogelijke opbrengstderving zal zoveel mogelijk voorkomen moeten worden door een verbetering van de teelttechniek en er is veel tijd beschikbaar om deze te ontwikkelen.

Fosfaatbeheer bij de teelt van maïs

Milieukundig verantwoorde P-verliezen zijn in het algemeen niet hoger dan 1 kg fosfaat (P_2O_5) ha^{-1} per jaar terwijl zogenaamd 'goed landbouwkundig gebruik' bij de teelt van maïs leidt tot een onvermijdbaar verlies van 0-50 kg fosfaat ha^{-1} per jaar. Nagegaan is in hoeverre er voor fosfaat aangrijpingspunten bestaan voor een milieukundig verantwoorde bemesting van snijmaïs.

Plantenwortels nemen voedingsstoffen op via het vocht dat de wortels binnenkomt om de verdampingsstroom naar het blad te onderhouden ('massastroming'), doordat voedingsstoffen zich als gevolg van een concentratieverval naar de wortels bewegen ('diffusie') en door het aanboren van bodemvoorraden ('interceptie'). De hoeveelheid fosfaat in de bodemoplossing is veel te laag om het gewas door massastroming te kunnen voeden. Direct om de plantenwortel raakt daardoor de hoeveelheid voor het gewas beschikbare fosfaat snel uitgeput. De bodem is niet in staat om die uitgeputte voorraad snel aan te vullen. Om deze reden moet een maïsge- was via wortelgroei voortdurend nieuwe bodemvoorraden aanboren om in de vraag naar fosfaat te voorzien. Met name in een koud en droog voorjaar kan de fosfaatvoorziening van maïs te wensen over laten.

Het fosfaatbemestingsadvies voor maïs geeft aan dat het tot aan een Pw-toestand van circa 55 rendabel is om fosfaat toe te dienen in de vorm van dierlijke mest of kunstmest. Als fosfaat nabij de maïsrij wordt toegediend ('rijenbemesting') kan volgens het advies met de halve gift worden volstaan. De rentabiliteit van rijenbemesting wisselt echter sterk: bij een lage toestand betaalt een rijenbemesting zich soms niet terug, terwijl dit bij een hoge toestand, tegen de verwachting in, soms wel het geval is. Dit maakt het lastig telers te doen afzien van 'verzekeringsgiften'.

Als enig fosfaatverlies inderdaad onvermijdbaar is, dan zal de toestand waarbij geadviseerd wordt niet meer dan de onttrekking te geven (Pw: 50) niet gehandhaafd kunnen blijven. Pas bij een Pw van 40-45 ('voldoende tot ruim voldoende') is het verschil tussen de geadviseerde volveldse gift en de onttrekking voldoende om een verlies van 20 kg P_2O_5 ha^{-1} (MINAS 2008/2010) te compenseren. Dit betekent dat een strikte opvolging van het advies ertoe kan leiden dat hoge Pw's in de loop van de tijd zullen dalen tot een waarde van 40-45. Als het landbouwkundig onvermijdbaar verlies groter is tengevolge van bodemchemische eigenschappen zal een nog verdere daling optreden. Ondanks de onvermijdbaar geachte verliezen is de fosfaattoestand van Nederlandse zandgronden de afgelopen twintig jaren gestegen. Blijkbaar is in de praktijk ruimschoots gecompenseerd voor verliezen. Op zandgronden heeft minstens tweederde deel van de bemonsterde percelen inmiddels een 'vrij hoge' of 'hoge' fosfaattoestand. Van een routinematige toediening van kunstmestfosfaat bij de teelt van maïs zou dan ook geen sprake meer mogen zijn.

Een tekort aan fosfaat heeft bij maïs diverse gevolgen. Bij ernstig tekort kan paarsverkleuring van het blad optreden als gevolg van anthocyaanophoping. Paarskleuring kan echter ook het gevolg zijn van een lage bodemtemperatuur. Een gemiddeld lage fosfaattoestand kan tot een grotere bontheid van het gewas leiden (verschillen in fosfaattoestand binnen een perceel bij

een gemiddeld lage fosfaattoestand weerspiegelen zich sterker in opbrengst- en hoogteverschillen in het gewas dan de verschillen bij een relatief hoog gemiddelde fosfaattoestand). Dit bemoeilijkt een correcte uitvoering van werkzaamheden waarbij het gewasstadium nauw luistert, zoals onkruidbestrijding of onderzaai van een wintergewas. Het vermijden van bontheid kan dan ook een bijkomende overweging voor bemesting zijn. Fosfaat speelt ook een rol bij de ontwikkelingssnelheid van het gewas. Fosfaattekort kan het bloeitijdstip van maïs met enkele dagen vertragen. Dat kan tot gevolg hebben dat het gewenste drogestofgehalte bij de eind oogst in een fosfaat-gelimiteerd gewas pas dagen later bereikt wordt. Een krappe fosfaatvoorziening kan voorts tot gevolg hebben dat N slecht benut wordt. Zo kan fosfaatgebrek uiteindelijk leiden tot een verhoogde uitspoeling van N.

Uit vierjarig onderzoek op De Marke op percelen met een Pw-getal van 27-33 bleek een rijenbemesting met 50 kg P_2O_5 ha⁻¹ in geen van de jaren tot een betrouwbare toename van de eindopbrengst te leiden, terwijl op basis van het fosfaatbemestingsadvies wel een positieve reactie verwacht werd. Kennelijk bevestigen de proeven de eerdere constatering dat de rentabiliteit van kunstmestfosfaat niet alleen van de fosfaattoestand afhangt.

Fosfaat kan sterk bepalend zijn voor de groei en opbrengst van maïs, al bleek dat vooralsnog niet het geval te zijn op De Marke. Verfijning van de mestgift op basis van de bodemvruchtbaarheidstoestand, de afwezigheid van laaggelegen, koude percelen, niet te vroeg zaaien gecombineerd met de keuze van tijdig oogstbare vroege maïsrassen, en een wijze van grondwerken en mesttoediening die de mest 'bovenin' de bouwvoor houdt, maken het verantwoord en gewenst dat De Marke afziet van het gebruik van kunstmestfosfaat bij de teelt van maïs.

Een hoge fosfaattoestand is gemakkelijk omdat die minder eisen stelt aan het vakmanschap van de teler. Een aangepaste teelt- en bemestingsstrategie biedt echter veel mogelijkheden om de huidige onbalans tussen aanvoer en afvoer te voorkomen.

Fosfor in de veevoeding op De Marke

Om te kunnen voldoen aan de fosfaatdoelstelling van De Marke op bedrijfsniveau is het van belang dat de aanvoer van fosfor via meststoffen en veevoer de afvoer via melk en vee niet overtreft. Wat het voer betreft worden de dieren zoveel mogelijk op de behoeftenorm gevoerd om de aanvoer van fosfor middels voer te minimaliseren. Nagegaan is of de productie van veevoer (gewasopbrengsten en -kwaliteit) en voeropname van de afgelopen zes jaar (1992-1997) overeen komen met de prognoses. Eventuele verschillen worden besproken.

Volgens de prognose wordt door de gehele veestapel middels het voer ruim 40 kg P ha⁻¹ opgenomen. Hiervan komt 85% van het eigen bedrijf. In de vorm van melk en vee wordt jaarlijks 12,8 kg P ha⁻¹ van het bedrijf afgevoerd. Hiermee is de fosforbenutting van de gehele veestapel 32%. De overige 68%, 27 kg P ha⁻¹, wordt uitgescheiden in de mest en wordt daarna gebruikt voor de bemesting van de gewassen.

De gewasopbrengsten zijn tot nu toe iets lager dan de prognose. Een mogelijke oorzaak is de geringere beschikbaarheid van vocht voor gewasgroei in de afgelopen jaren dan op basis van meerjarige gemiddelden werd verwacht. Er zijn geen aanwijzingen dat de fosfaatbemesting een negatief effect heeft gehad op de gewasopbrengst.

De kwaliteit van ruwvoer, weidegras, kuilgras en snijmaïs, komt goed overeen met het gemiddelde van de analyses van het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (Blgg-Oosterbeek). Het belangrijkste verschil is het ruw-eiwitgehalte van het gras. Het gehalte aan onbestendige eiwit in zowel weide- als kuilgras is op De Marke lager, en is respectievelijk 25 en 11 gram per kg drogestof. De P-gehalten van de eigen ruwvoerders komen goed overeen met het gemiddelde van het Blgg-Oosterbeek. De VEM-, DVE- en OEB-gehalten van de ruwvoerders wijken nauwelijks af van de prognose. De belangrijkste verschillen zijn een iets hoger OEB-gehalte van weidegras en een hoger VEM-gehalte van snijmaïs. Het fosforgehalte van weidegras is aanmerkelijk lager dan verwacht.

De melkproductie ($\text{kg koe}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$) is de afgelopen jaren geleidelijk gestegen tot duidelijk boven de prognose. Ten gevolge hiervan is het aantal melkkoeien gedaald tot ruim 3% beneden de prognose. Er was echter wel meer jongvee aanwezig dan vooraf berekend. De prognose werd met gemiddeld 6,1 pinken en 6,8 kalveren overschreden, ofwel 25% tot 30% meer jongvee.

De voeropname van de gehele veestapel is beduidend hoger, bijna 9%, dan de prognose. Er is zowel meer ruwvoer als krachtvoer opgenomen. De hogere voeropname wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door het jongvee. De kalveren en pinken namen ruim 23% meer voer op dan verwacht. Belangrijkste reden hiervoor is de grotere omvang van de jongveestapel. De hogere voeropname van de melkkoeien komt voornamelijk doordat de melkkoeien meer voer opnamen dan de behoefte. Deze extra opgenomen energie is niet benut voor de aanzet van vlees of vet aangezien de melkkoeien op De Marke niet zijn toegenomen in gewicht of conditie.

De fosforopname van de veestapel was vrijwel evenredig hoger, 7%. De laatste jaren is net als bij de drogestofopname een duidelijk dalende tendens waar te nemen. Het laatste jaar (1996/97) is de fosforopname reeds gelijk aan de prognose. Ook het totale voerverbruik, uitgedrukt in kg drogestof per kg meetmelk, kwam het laatste jaar overeen met de prognose.

De dalende fosfaattoestand van de bodem heeft in de komende decennia mogelijk lagere fosforgehaltes in het eigen geteelde voer tot gevolg. De gevolgen hiervan voor de voedervoorziening zijn marginaal. De fosforopname van de melkgevende koeien in de weideperiode wordt beduidend lager dan de huidige behoeftenorm. De fosforopname is echter nog duidelijk hoger dan de werkelijke behoefte. De fosforopname van de kalveren en pinken tijdens de stalperiode daalt wel duidelijk beneden de behoefte. Een aanvulling van het rantsoen met fosfor, in totaal ca. 18 kg P per jaar, is noodzakelijk. Een P-efficiëntie van de gehele veestapel van 33,3% is hiermee realiseerbaar, iets hoger dan de prognose van 32%.

Stringente P-normen in bedrijf

De belangrijkste resultaten van De Marke met betrekking tot de fosfaatdoelstelling worden vergeleken met de verwachtingen daaromtrent en vanuit de opgedane kennis wordt ingegaan op de gevolgen van MINAS voor de melkveehouderij in de zandgebieden.

De Marke is pas sinds 1992 in bedrijf, al werd de meeste grond al in 1989 verworven en milieugericht geëxploiteerd. Zoals bij elk bedrijf zijn enige jaren nodig om aanloopproblemen op te lossen en om het systeem stabiliteit te geven. Het overschot was het eerste jaar negatief

(1992/93). In de boekjaren daarna bleek het overschot te hoog omdat meer voer moest worden aangekocht dan vooraf was berekend, vooral door een hoger voerverbruik en een lagere gewasproductie. Daarom moest en kon in de daaropvolgende jaren worden afgezien van kunstmest (er was immers meer fosfaat in de vorm van dierlijke mest beschikbaar door het hogere voerverbruik). Het laatste jaar (1996/97) is een negatief overschot gerealiseerd. De verwachting is dat ook bij een eventueel iets teruglopende fosfaatproductie door de gewassen (lagere gehalten in de drogestof als gevolg van lagere P-toestand bodem) de aanvoer van fosfaat met voer in overstemming kan blijven met de afvoer in melk en vee.

De fosfaatkringloop (1993/94 tot en met 1995/96) maakt het mogelijk te berekenen hoe efficiënt de verschillende bedrijfscomponenten P hebben benut door de som van de uitgaande stromen te delen door die van de inkomende stromen. P in voer werd voor 33% omgezet in melk en vlees (verwacht was 32%). Op een gangbaar bedrijf wordt slechts 21% van de P in het voer omgezet in melk en vlees. P in dierlijke mest (inclusief weidemest), kunstmest, oogstresten en depositie werd voor 89% omgezet in oogstbaar gewas (verwacht was vrijwel 100%), resulterend in een fosfaatoverschot van 7,3 kg ha⁻¹ voor de bodem/gewas-component van het bedrijf. Dit overschot kan verklaard worden uit de relatief droge groeiseizoenen die de P-opname beperkten. In gangbare praktijksituaties in het midden van de jaren tachtig was de benutting ongeveer 62%, resulterend in een fosfaatoverschot van 74 kg ha⁻¹. De P-stromen blijken nergens in de cyclus zodanig te stagneren dat bedrijfsaanpassingen uit fosfaatoverwegingen nu noodzakelijk lijken.

Is het bedrijfssysteem van De Marke in technisch opzicht duurzaam? Onzeker is in hoeverre onderzoek in staat is mogelijke knelpunten op lange termijn te onderkennen en op te lossen. Wat betreft fosfaat is onduidelijk op welk niveau de fosfaattoestand uiteindelijk zal stabiliseren, of de fosfaatgehalten van de gewassen gaan dalen en tot welk niveau de fosfaatvoorziening van de dieren eventueel kan worden teruggebracht zonder de gezondheid aan te tasten. Bovendien is onzeker in hoeverre technische oplossingen in sociaal en economisch opzicht acceptabel zijn.

Sinds De Marke in 1989 de grond is gaan gebruiken, is op praktijkbedrijven het fosfaatoverschot (en daarmee de fosfaatvoorraad in de bodem) met ongeveer 700 kg ha⁻¹ toegenomen. Bedrijven die zich strikt aan de wetgeving gaan houden zullen tot 2008 een overschot mogen opbouwen van 315 kg fosfaat ha⁻¹. Dat houdt in dat de voorraad fosfaat in de bodem van het gemiddelde veebedrijf op zandgrond met ruim 1000 kg ha⁻¹ zal zijn toegenomen, gerekend vanaf de start van proefbedrijf De Marke (1989) tot het moment dat de eindnormen gaan gelden (2008). Zeker tot 2008 is het toegestane overschot voldoende om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden, bedrijven met sterk fosfaatfixerende gronden buiten beschouwing gelaten. Een modelstudie voor een situatie als op De Marke, maar zonder extra milieunormen, wees uit dat het in 2008/10 toegestane overschot van 20 kg ha⁻¹ goed te behalen is 'bij goede landbouwpraktijk'.

Bij een aanscherping van de verliesnormen in 2008 zal de aanvoer van fosfaat met voer moeten worden teruggebracht of de afvoer vergroot door de afzet van dierlijke mest. Mogelijke aanpassingen liggen op het vlak van aankoop van fosfaatarmere veevoer, afstoten van zoveel mogelijk jongvee, een hoge melkproductie per (totale levensduur) koe, de teelt van krachtvoervangers (o.a. MKS) en afvoer van mest. Ook na een eventuele aanscherping van de fosfaatverliesnormen in 2008 is er geen reden om aan te nemen dat er zich voor de huidige generatie melkveehouders problemen gaan voordoen met de bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengsten, zeker niet als in de periode daarvoor zorg is besteed aan het op peil brengen van de percelen met een lagere fosfaattoestand, wat met het toegestane overschot goed mogelijk lijkt door de dierlijke mest meer in de richting van de armste percelen te sturen.

Het onderzoek op De Marke heeft uitgewezen dat het mogelijk is 12.000 kg melk ha⁻¹ te produceren bij een zeer laag fosfaatoverschot en een beperkte N-bemesting. Voor praktijkbedrijven lijkt een melkproductie van ca. 15.000 kg ha⁻¹ mogelijk bij een fosfaatoverschot van 20 kg ha⁻¹ zonder een beperkte N-bemesting. Dit doet vermoeden dat het realiseren van een voldoende kwaliteit grondwater met betrekking tot de nitraatconcentratie, de echte beperkende factor wordt op lichte zandgronden.

De verliesnormen worden gefaseerd ingevoerd. Onderzoek op De Marke en elders kan tijdig informatie leveren voor noodzakelijke bedrijfsaanpassingen. Een probleem blijft dat De Marke uniek is. Daarom is het goed de benadering van De Marke toe te passen op een aantal bedrijven dat voorop wil lopen met betrekking tot de P-normering met onderlinge verschillen in grondsoort en bedrijfsintensiteit. Daartoe is recent het project 'Voorlopers Duurzame Melkveehouderij (VDM)' van start gegaan.

Samenvatting discussie Themadag Fosfaat

H. van Keulen ¹, H.F.M. Aarts ¹, B. Habekotté ¹, W.J. Corré ¹, G.J. Hilhorst ², J.J. Schröder ¹, O.F. Schoumans ³ en F.C. van der Schans ⁴

¹ AB-DLO; ² De Marke; ³ SC-DLO; ⁴ PR

De algemene discussie op de Themadag Fosfaat van De Marke is gevoerd aan de hand van een aantal door de inleiders/organisatoren geformuleerde stellingen, onderverdeeld in de componenten **bodem, gewas en bedrijf** (inclusief de component vee). Daarbij is onderscheid gemaakt tussen stellingen direct op De Marke betrekking hebben en stellingen die ook voor 'de praktijk' van belang zijn.

Stellingen

I Bodem

De Marke

a. Het op De Marke gerealiseerde fosfaatoverschot is gemiddeld laag (3-5 kg ha⁻¹) maar de bemestingsstrategie moet worden aangepast om de fosfaatdoelstelling¹, zoals oorspronkelijk geformuleerd, te realiseren.

b. Met de oorspronkelijke fosfaatdoelstelling van De Marke kan niet tegelijk worden voldaan aan het handhaven van de fosfaattoestand 'voldoende' van de bodem én aan het beperken van de jaarlijkse fosfaatuitspoeling tot maximaal 1 kg ha⁻¹.

Praktijk

c. Bij het realiseren van een fosfaatoverschot van 20 kg ha⁻¹ (MINAS, 2008) zijn riante fosfaattoestanden van de bodem te verwachten.

¹ Fosfaatdoelstelling van De Marke (Biewinga *et al.*, 1996)

Norm: maximaal 0,15 mg P l⁻¹ voor oppervlaktewater en een streefwaarde van 0,4 mg P l⁻¹ voor grondwater.

De eerstgenoemde norm is vertaald naar een fosfaatoverschot op de bedrijfsbalans:

- een beperking van het overschot tot maximaal 0,45 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹ (= 1 kg fosfaat ha⁻¹ jaar⁻¹) bij een gemiddelde fosfaattoestand 'voldoende' van de percelen;
- een fosfaatoverschot van ca. -2 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹ (= -4,6 kg fosfaat ha⁻¹ jaar⁻¹) bij een gemiddelde fosfaattoestand van meer dan 'voldoende' van de percelen.

Voor afzonderlijke percelen gelden deze normen gemiddeld over een periode van 6 jaar.

II Gewas

Praktijk en De Marke

Bij de teelt van maïs op zandgrond moet de te verwachten vochtvoorziening (mede)bepalend zijn voor de hoogte van de fosfaatgift.

III Bedrijf

De Marke

De op De Marke tot dusver gevolgde bemestingsstrategie (nivellering van de verschillen in fosfaattoestand tussen de percelen, gemiddeld fosfaatoverschot 3-5 kg ha⁻¹) leidt de komende decennia niet tot problemen met betrekking tot de voedervoorziening.

Praktijk

Bij realisering van een fosfaatoverschot van 20 kg ha⁻¹ (MINAS) en een goede verdeling van het beschikbare fosfaat over de percelen zijn **geen landbouwkundige problemen** te verwachten voor de melkveehouderij op zandgrond, maar **wel milieukundige problemen**.

Discussie

Het zal duidelijk zijn dat de schematische indeling in de drie componenten altijd arbitrair is, omdat 'alles met alles' samenhangt en de discussie dus snel naar het niveau (bedrijfs)systeem loopt.

Algemeen

De term 'landbouwkundig verlies' zoals die in de stukken (en in het algemene spraakgebruik) gebruikt wordt, is een niet-nauwkeurige en 'ongelukkige' term, omdat het niet gaat om verliezen uit het systeem, maar om omzetting van fosfaat in voor het gewas slecht beschikbare vorm. Er wordt gesuggereerd de term 'vastlegging' te gebruiken. Echter, pogingen in het verleden om termen te standaardiseren hebben er meestal toe geleid dat er weer een nieuwe term aan de al bestaande wordt toegevoegd, niet tot eensluidendheid in definities.

In hoeverre is de geformuleerde norm van 0,15 mg P l⁻¹ voor de concentratie in het oppervlaktewater gebaseerd op 'harde' gegevens?

De basis voor deze norm vormt vermijding van het risico voor eutrofiëring van het oppervlaktewater. Het lijkt niet geheel duidelijk hoe 'hard' deze norm is. Echter, vergeleken met andere landen, lijkt de waarde nog steeds vrij hoog. (In Canada blijkt bijvoorbeeld gestreefd te worden naar een waarde van 0,03 mg l⁻¹). Het lijkt zeer twijfelachtig of dergelijke waarden zelfs in 'natuurlijke' ecosystemen gehaald kunnen worden.

Bodem

In hoeverre zijn de voor De Marke getrokken conclusies met betrekking tot de relatie tussen fosfaatbemesting en fosfaattoestand van de bodem ook geldig voor andere bodems, met name die in de veenweidegebieden?

Er zijn geen specifieke gegevens (noch experimenteel noch modelmatig) beschikbaar voor grasland in het veenweidegebied, maar het lijkt mogelijk met behulp van de beschikbare modellen, gevoed met de relevante bodemkarakteristieken, verkenningen uit te voeren en daarbij een indruk te krijgen van de orde van grootte van de fosfaatstromen.

Een bijzonderheid van het veenweidegebied is dat door de gemiddeld hoge grondwaterstand (water tot in de bouwvoor) de verschillende processen van de fosfaathuishouding met andere intensiteit kunnen verlopen, zodat de getrokken conclusies niet zonder meer mogen worden geëxtrapoleerd.

Kan met een evenwichtsbemesting (de aanvoer van fosfaat via bemesting is gelijk aan de hoeveelheid die met het agrarische product wordt afgevoerd plus de voor het milieu acceptabele verliezen) een fosfaattoestand gekarakteriseerd door $P_w = 20$, gehandhaafd worden?

Per definitie zullen in een evenwichtstoestand de groottes van de verschillende fosfaatpools in de bodem gelijk blijven. Dat betekent dat er netto geen veranderingen meer plaatsvinden in (de grootte van) de afzonderlijke pools, terwijl er wel onderlinge omzettingen plaats kunnen vinden tussen alle afzonderlijke fosfaatpools.

Er wordt geen eenduidig antwoord gegeven op de vraag of bij evenwichtsbemesting (met een fosfaatoverschot van 1 kg ha^{-1}) een $P_w = 20$ gehandhaafd kan worden. Enerzijds wordt aangegeven dat dit zeer waarschijnlijk wel mogelijk lijkt. Anderzijds spreken de berekeningen van O. Schoumans (Hoofdstuk 3) dit tegen.

Met behulp van een eenvoudig model (Wolf *et al.*, 1987) is nagegaan welke evenwichtssituatie ontstaat bij een fosfaatbemesting die vrijwel gelijk is aan de onttrekking door het gewas (fosfaatoverschot van 1 kg ha^{-1}). In het model worden twee fosfaat-pools onderscheiden: "labiel" en "stabiel" fosfaat. Labiel fosfaat omvat fosfaat in de oplossing en geadsorbeerd fosfaat. Calibratie van het model aan de hand van enkele meerjarige fosfaatbemestingsproeven leerde dat jaarlijks één vijfde van het labiele fosfaat overgaat in stabiel fosfaat, en één dertigste van het stabiele fosfaat in labiel fosfaat (Janssen *et al.*, 1987). Door de zware bemesting is in veel Nederlandse gronden de fosfaatvoorraad sterk toegenomen. Daardoor is in eerste instantie de hoeveelheid "labiel" fosfaat in de bodem toegenomen, wat blijkt uit de (zeer sterke) verhoging van de P_w -waarden en de $P\text{-AL}$ -waarden. De stabiele pool is ook toegenomen, ten dele rechtstreeks vanuit de meststof, ten dele indirect door de omzetting van labiel in stabiel fosfaat. Het laatste proces verloopt langzamer; de groei van de stabiele pool ijlt na. In veel Nederlandse gronden zal daardoor de labiele pool relatief te groot zijn en de stabiele pool relatief te klein. Als de bemesting nu wordt afgestemd op de onttrekking van het gewas, gaat de omzetting van labiel fosfaat naar stabiel fosfaat nog gewoon door. Dat uit zich in een afname van P_w en $P\text{-AL}$. De stabiele pool blijft toenemen totdat de labiele en stabiele pool met elkaar in evenwicht zijn. De totale hoeveelheid fosfaat in de bodem blijft gelijk. De berekeningen geven aan dat de evenwichtssituatie zal ontstaan bij een P_w -waarde van ca. 20 ($\text{mg P}_2\text{O}_5$ per liter grond).

De berekeningen van O. Schoumans voor De Marke geven aan dat bij een Pw-getal van 8 à 10 (mg P₂O₅ per liter grond) een dusdanige fosfaatconcentratie in de bodemoplossing van de bouwvoor aanwezig is, dat bij een netto neerslagoverschot van 300 mm per jaar een fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor naar diepere lagen optreedt van 1 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ (Hoofdstuk 3, Figuur 10). Bij een Pw-toestand van 20 mg P₂O₅ per liter grond bedragen de milieukundige verliezen ongeveer 2 à 3 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ (1.1 - 1.4 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹). Om de fosfaattoestand van de bodem op dit niveau te houden lijkt een fosfaatoverschot noodzakelijk van 2 à 3 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ (indien in de bodem netto geen wijzigingen meer plaatsvinden in de grootte van de afzonderlijke fosfaatpools; evenwichtssituatie). Opgemerkt wordt dat bij de relatie tussen de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor is aangenomen dat een groot deel van het in de bodem aanwezige fosfaat bestaat uit gefixeerd fosfaat ('irreversibel' gebonden fosfaat). Met name in situaties met (zeer) lage fosfaatbodenvruchtbaarheidstoestanden is het nog onzeker of deze aanname gerechtvaardigd is. Indien bij de (zeer) lage fosfaattoestanden van de bodem de slecht oplosbare fosfaten ('gefixeerd fosfaat') wel een rol spelen bij de grootte van de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor en de bepaling van het Pw-getal van de bouwvoor (zoals bijv. ook bij het P-AL-getal het geval is), bestaat de kans dat een fosfaatuitspoeling van 1 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ bij een hoger Pw-getal gerealiseerd zal worden. Er wordt echter niet verwacht dat deze zal stijgen van 'zeer laag' (8 à 10) tot een niveau van 20 of hoger ('voldoende': 21-30 mg P₂O₅ per liter grond).

Is het huidige beleid met betrekking tot fosfaatbemesting op De Marke bevredigend?

Het gerealiseerde fosfaatoverschot van 3-5 kg ha⁻¹ over de periode '93/'97 is laag, maar te hoog in vergelijking met de oorspronkelijke doelstelling. Echter in deze waarde zit nog een deel van de 'aanloop-moeilijkheden' verwerkt, en het lijkt erop in de laatste jaren dat een fosfaatoverschot (P_{ov} = 0) kan worden vermeden.

De strategie van 'nivellerend' bemesten ligt het meest voor de hand indien gedacht wordt vanuit het gehele bedrijfssysteem. In dat geval zijn de fosfaatverliezen naar het milieu het laagst en de beschikbare fosfaat op het bedrijf wordt optimaal benut. Echter, het nadeel is dat de gecombineerde effecten van een lage fosfaattoestand en een laag overschot op de fosfaaddynamiek in de bodem en de gewasopbrengsten niet experimenteel kunnen worden vastgesteld. Dat zou er voor pleiten deze beheersmaatregel niet meer toe te passen. Het is echter ook mogelijk om de genoemde effecten verder te onderzoeken op proefvelden en de 'nivellerende' bemestingsstrategie voort te zetten.

In het oorspronkelijke bedrijfsplan (Biewinga *et al.*, 1992) is ook de doelstelling geformuleerd dat 'geen mest kan worden afgevoerd'. Zolang er dus wat meer mest wordt geproduceerd dan toegediend kan worden om een fosfaatoverschot van 1 kg ha⁻¹ te behalen, zoals in de afgelopen periode op De Marke, ligt het voor de hand iets meer mest uit te rijden op de percelen met de laagste fosfaattoestand en de grootste fosfaatbehoefte.

Is het huidige onderzoeks- en waarnemingsbeleid van De Marke toereikend?

Het in de laatste jaren gevolgde beleid om jaarlijks de fosfaattoestand van de bodem te bepalen dient te worden voortgezet om de modeluitkomsten te kunnen verifiëren en extrapolaties meer betrouwbaarheid te geven. Daarnaast moeten aanvullende bepalingen gedaan worden om meer inzicht te verkrijgen in de verdeling van fosfaat over de verschillende fosfaatfracties in de bodem, m.n. de ophoping van fosfaat in organische stof en de fractie slecht oplosbaar mineraal

fosfaat. Aanvullende metingen van Al- en Fe-gehalten en de uitspoeling van fosfaat uit de bouwvoor in organische vorm zijn gewenst.

Wat betekent de voor 2008/2010 voorziene MINAS-norm voor de praktijk?

Een fosfaatoverschot van 20 kg ha⁻¹ leidt op De Marke en naar verwachting in een groot deel van Nederland, op lange termijn tot riante fosfaattoestanden (Pw: 45-90 mg P₂O₅ per liter grond, voor De Marke). Dergelijke fosfaattoestanden leiden tot onacceptabel hoge waarden voor fosforuitspoeling (3-11 kg P jaar⁻¹).

Gewas

De stelling dat bij 'vaststelling van de fosfaatgift rekening gehouden moet worden met de te verwachten vochtvoorziening' kan op twee manieren uitgelegd worden:

Wanneer de te verwachten vochtvoorziening ontoereikend is voor potentiële productie (Habe-kotté en Hilhorst, 1998) zou uit **milieuoogpunt** de geadviseerde fosfaatgift naar beneden bijgesteld moeten worden, omdat de afvoer met het gewas dan lager zal zijn; uit **landbouwkundig oogpunt** echter zou een **hogere gift** kunnen worden aanbevolen, omdat transport van fosfaat naar het wortelstelsel belemmerd zou kunnen worden.

Opgemerkt wordt dat in de literatuur meer aanwijzingen zijn dat percelen met een goede vochtvoorziening minder P-behoefstig zijn dan droogtegevoelige percelen. Dat komt door verstrengelingen van 'goede vochtvoorziening', 'dieper bewortelbaar', 'P gemakkelijker transportabel naar het worteloppervlak', 'de bodem is snel en vlot bewortelbaar door opwarmbaarheid'. Ondanks het hogere vochtleverend vermogen van bijvoorbeeld een esgrond in vergelijking met een podzolgrond kan P beter toegediend worden op een podzolgrond dan op een esgrond (bij dezelfde Pw-toestand). Bovenstaande is strijdig met de stelling dat bij een beter vochthoudend vermogen een hogere P-gift nodig is dan bij een beperkte vochtvoorziening.

Bedrijf

Vanuit het ID-DLO wordt opgemerkt dat recente onderzoeksresultaten aantonen dat de geldende normen voor de P-voorziening van vee wel zo'n 20% naar beneden bijgesteld kunnen worden.

Er moet worden nagegaan in hoeverre de P-doelstelling strijdig is met de doelstelling dat alle geproduceerde mest op het bedrijf toegediend moet worden.

Met het oog op de onder 'bodem' gemaakte opmerkingen verdient het aanbeveling de P-bemestingsstrategie van De Marke nog eens goed onder de loep te nemen. In ieder geval moeten de overwegingen die aan de gevolgde strategie ten grondslag liggen expliciet geformuleerd worden.

1 De fosfaatdoelstelling van De Marke en de betekenis voor het bedrijfssysteem

G.J. Hilhorst¹, H.F.M. Aarts² en H. van Keulen²

¹ De Marke; ² AB-DLO

1.1 De fosfaatproblematiek

Om te kunnen groeien hebben planten fosfaat nodig. Fosfor (P) komt in de plant in verschillende vormen voor, neemt deel aan verschillende processen en vervult verschillende functies in de plant: energie-overdracht, eiwitsynthese, tussenproduct in de stofwisseling, drager van genetische informatie, bestanddeel van membranen, opslag in zaden en reserves in vegetatieve delen. De meeste gronden bevatten van nature maar weinig opneembaar fosfaat. Zeker op zandgrond is toediening van fosfaat in de vorm van bemesting nodig om voldoende hoge opbrengsten te kunnen halen. Bemesting kan met dierlijke mest of met kunstmest. Kunstmest wordt gemaakt uit fosfaatrijke gesteenten of uit fossiele vogelmest. De beschikbare voorraden zijn beperkt. Voorzien is dat de winbare voorraden in de loop van de volgende twee eeuwen geleidelijk op raken (Bockman *et al.*, 1990; Tisdale *et al.*, 1985). Te verwachten is dat tegelijkertijd de energie-inzet om de fosfaten te winnen moet worden vergroot en de prijs van de fosfaatmeststoffen hoger wordt. Als dierlijke mest wordt gebruikt die geproduceerd is met voer dat op het bedrijf zelf wordt geteeld, is er sprake van hergebruik van fosfaat binnen het bedrijf. Bij gebruik van aangekocht voer wordt fosfaat onttrokken aan de grond waarop het veevoer is geteeld en getransporteerd naar de plek waar het voer wordt geconsumeerd. Als de mest niet

Tabel 1.1 Mineralenoverschotten gemeenten Hengelo en Zelhem 1980-1983.

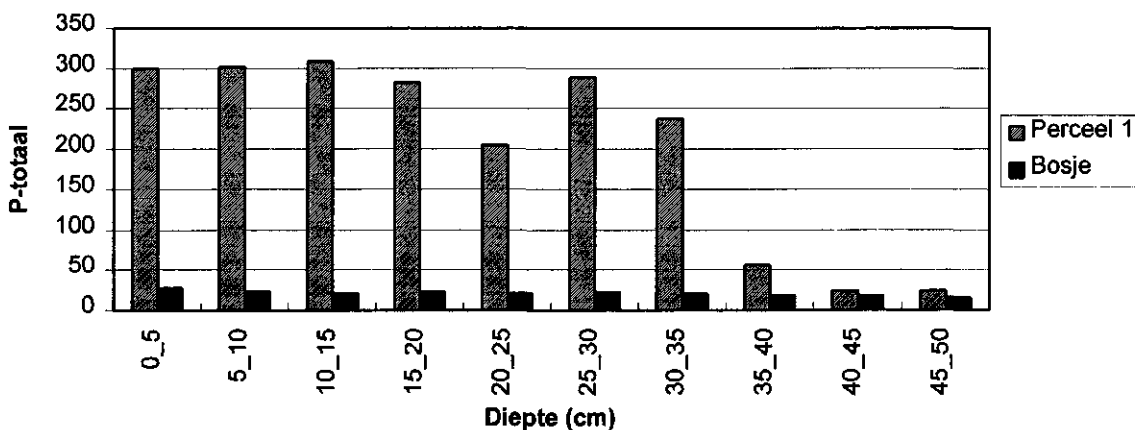
	Hengelo (Gld.)	Zelhem
Aantal melkkoeien	5.372	8.689
Aantal mestvarkens	34.408	46.804
Aantal fokvarkens	7.069	8.095
Aantal legkippen	29.210	64.300
Aantal slachtkuikens	132.900	214.900
Aantal mestkalveren	0	493
Areaal gras (ha)	2.198	3.671
Areaal maïs (ha)	997	1.133
Areaal rest (ha)	425	466
Aantal melkkoeien ha ⁻¹	2,2	2,0
Atikstofoverschot (kg ha ⁻¹)	567	555
Aosfaatoverschot (kg ha ⁻¹)	149	137
Aaliumoverschot (kg ha ⁻¹)	158	157

wordt teruggebracht, wordt de bodem waar het veevoer wordt geteeld uitgeput, tenzij kunstmest wordt toegepast ten koste van de voorraden delfstoffen, en vindt ophoping plaats op de plek waar het voer wordt geconsumeerd. Via de import van veevoer heeft Nederland indirect een landbouwareaal in gebruik dat vijf à zeven maal groter is dan het binnenlandse areaal (RIVM, 1991).

Vooraf in de jaren zeventig en tachtig zijn in de zandgebieden aanzienlijke hoeveelheden veevoer aangevoerd met daarin grote hoeveelheden fosfaat. Als voorbeeld is in Tabel 1.1 de fosfaatbalans gegeven van de gemeenten Hengelo en Zelhem in het begin van de jaren tachtig ('t Jong *et al.*, 1989).

Ondanks de grote hoeveelheden fosfaat in de vorm van organische mest waarover de Nederlandse landbouw kan beschikken is het Nederlands kunstmestgebruik mondiaal gezien extreem hoog. Een belangrijke oorzaak is de slechte verdeling van dierlijke mest binnen Nederland en vaak ook binnen bedrijven (Pinxterhuis *et al.*, 1996). Daarom wordt op melkveebedrijven met een groot fosfaatoverschot toch nog kunstmest gebruikt op een aantal percelen waar weinig dierlijke mest wordt toegepast. Fosfaat hoopt zich op in de grond tot aanzienlijke hoeveelheden. Figuur 1.1 illustreert dit. In deze figuur is aangegeven hoeveel fosfaat in de bodem aanwezig is op perceel 1 van De Marke en in de bodem van een nabij gelegen bosje dat volgens de topografische kaarten nooit een landbouwkundige bestemming heeft gehad en dus ook niet is bemest. Op basis van de verschillen in het fosfaatbodemprofiel is berekend dat in de bodem van perceel 1 ca. 12 ton fosfaat ha⁻¹ is opgehoopt sinds de ontginning (tussen 1890 en 1938). Gemiddeld over 80 jaar komt dit overeen met een fosfaatoverschot van 150 kg ha⁻¹ jaar⁻¹. Uitgaande van de huidige fosfaatgehalten in runderdrijfmest (ca. 1.8 kg fosfaat per ton drijfmest) en een jaarlijkse afvoer van ca. 60 kg fosfaat ha⁻¹ (op basis van huidige gewasopbrengsten gras en maïs) komt dit neer op een jaarlijkse aanvoer van 117 ton runderdrijfmest ha⁻¹.

Het fosfaatoverschot in Nederland leidt tot twee problemen: het leidt tot uitputting van de bodem in de landen van herkomst met grotere effecten op de opbrengst van gewassen dan de landbouwkundige meerwaarde van het overschot in Nederland. De voorraden delfstoffen in de wereld kunnen de afvoer in principe tijdelijk compenseren, maar kunstmest is voor de betreffende landen vaak te duur zodat grote arealen land na uitputting eroderen en alleen ten koste van hoge investeringen weer geschikt gemaakt kunnen worden voor landbouwkundig gebruik.



Figuur 1.1 Het fosfaatprofiel (mg fosfaat per 100 g grond) van perceel 1 van De Marke en van een nabij gelegen bosje.

Een verdere ophoping in Nederland leidt uiteindelijk tot uit- en afspoeling waardoor de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater wordt aangetast en het realiseren van een aantal gewenste functies van het landelijke gebied, waaronder waardevol geachte natuur, moeilijker tot onmogelijk wordt.

Tot voor kort maakte de samenleving zich weinig zorgen om de nadelige effecten van de accumulatie van fosfaat in Nederland. Bemestingsadviezen - uitsluitend gebaseerd op economische criteria - gaan nog steeds uit van een overschot (IKC, 1992). Dat overschot is nodig om de hoeveelheid voor het gewas opneembare fosfaat op een zodanig niveau te houden dat er gedurende de groeiperiode nauwelijks tekort optreedt. Een tekort kan ontstaan als fosfaat in de bodem voor een deel wordt vastgelegd in moeilijk oplosbare vormen, in zandgrond vaak gebonden aan ijzer, aluminium of organische stof. Omdat een fosfaatoverschot van meer dan 1 kg ha^{-1} op den duur tot milieuproblemen leidt (Oenema en Van Dijk, 1994), worden op De Marke de mogelijkheden verkend van melkveehouderij bij evenwichtsbemesting, wat inhoudt dat er niet meer fosfaat wordt gegeven dan de gewassen onttrekken plus een (acceptabel) verlies naar het milieu ($1 \text{ kg fosfaat ha}^{-2}$). Zowel over de effecten gedurende de omschakelingsfase (tot een nieuw evenwicht in de bodem is bereikt), als over het functioneren in de evenwichtssituatie wordt kennis verzameld en waar mogelijk worden landbouwkundige knelpunten weggenomen door aanpassingen van het bedrijfssysteem, bijvoorbeeld in de vorm van verbeterde toedieningstechnieken van dierlijke mest. Uitgangspunten zijn een melkproductieniveau per hectare dat redelijk overeen komt met dat van de gangbare praktijk en de eis dat alle geproduceerde mest op het eigen bedrijf moet worden afgezet (Biewinga et al, 1992).

De belangrijkste vragen waar De Marke een antwoord op wil geven zijn:

- Hoe reageert de bodemvruchtbaarheidstoestand met betrekking tot fosfaat op evenwichtsbemesting?
- Hoe kan het beschikbare fosfaat uit de dierlijke mest zo goed mogelijk worden benut?
- Welke gewasopbrengsten horen bij de veranderende bodemvruchtbaarheid en beperkte bemesting?
- In welke mate kan de voederproductie de voederbehoefte nu en in de toekomst dekken?
- Op welke wijze onderscheidt de fosfaatkringloop van De Marke zich van die van de huidige praktijkbedrijven?
- Welke problemen kunnen praktijkbedrijven verwachten bij aanscherping van de fosfaatverliesnormen in het kader van de mestwetgeving?

In dit rapport wordt op bovenstaande vragen ingegaan. Voor fosfaat (P_2O_5) en fosfor (P) wordt de gebruikelijke terminologie gebruikt. We praten over fosfaat wanneer we het hebben over overschotten, balansen, bemesting, mest als meststof en gehalten in gewassen. Fosfor noemen we bij uitspoeling, waterkwaliteit, veevoeding, voerbenuiting en bij mest als uitscheiding van de koe.

1.2 De fosfaatdoelstelling van De Marke versus MINAS

Sinds het midden van de jaren tachtig onderkent ook de overheid de fosfaatproblematiek. Het mestbeleid schreef maximale mesttoedieningsnormen voor en zorgde voor een betere verdeling van de mest over de landbouwgronden. De komende jaren wordt vooral gekeken naar het overschot aan stikstof en fosfaat op bedrijfsniveau. Daarvoor is een wet aangenomen (MINeralen Aangifte Systeem, MINAS) die voorschrijft welk overschot de komende jaren nog acceptabel is (Tabel 1.2) en welke sancties er zijn bij overschrijding. Het overschot wordt op bedrijfsniveau berekend door registratie van de aanvoer in voer en meststoffen en de afvoer in melk, vee, voer en mest. Aanvoer van fosfaat in depositie wordt in de berekening niet meegenomen. Tot het jaar 2000 zijn alleen bedrijven met meer dan 2,5 grootvee-eenheden (GVE, berekend volgens MINAS-protocol) ha⁻¹ verplicht MINAS bij te houden. Op termijn moeten alle veehouders MINAS gaan bijhouden en zullen de normen worden aangescherpt. Het huidige overschot van melkveebedrijven op zandgrond, berekend volgens het MINAS-protocol, is gemiddeld 84 kg fosfaat ha⁻¹ (1992-1995) (Fraters *et al.*, 1997). De Marke heeft 1.8 GVE ha⁻¹ (zie Sectie 6.3) en is daardoor nu nog niet MINAS-plichtig.

Tabel 1.2 Verliesnormen MINAS (kg fosfaat ha⁻¹).

	1998	2000	2002	2005	2008
Stikstof grasland	300	275	250	200	180
Stikstof bouwland	175	150	125	110	100
Fosfaat	40	35	30	25	20

De doelstelling van De Marke met betrekking tot fosfaat is veel stringenter dan de eindnormen in MINAS, namelijk een fosfaatoverschot van 1 kg ha⁻¹ bij een bodemfosfaattoestand 'voldoende'. Dat is de hoeveelheid die jaarlijks mag uitspoelen zonder overschrijding van de milieukwaliteitsdoelstellingen van de overheid in zandgebieden: maximaal 0,15 mg P per liter voor oppervlaktewater en een streefwaarde van 0,4 mg P per liter voor grondwater (Biewinga *et al.*, 1992). Bij de start van het bedrijf was de fosfaattoestand van veel percelen 'vrij hoog' tot 'hoog' (1989/90: gemiddeld Pw-getal 57 en P-AL-getal 75) en de verschillen in fosfaattoestand tussen de percelen groot (Pw-getal 26-141 en P-AL-getal 38-142). Zolang veel percelen nog een hoge fosfaattoestand hebben, wordt een negatief bedrijfsoverschot nagestreefd (ongeveer - 4.6 kg fosfaat ha⁻¹). Wanneer de fosfaattoestand van steeds meer percelen in de toestand 'voldoende' komt, kan het fosfaatoverschot oplopen tot 1 kg ha⁻¹.

1.3 Van doelstelling naar bedrijfssysteem

Een bedrijfssysteem is altijd een resultante van bedrijfsdoelen en -omstandigheden. Het voorkomen van een fosfaatoverschot is slechts één van de doelen van De Marke. Een belangrijk ander doel is het beperken van schadelijke stikstofemissies. Zo mag het bovenste grondwater niet meer dan 50 mg nitraat bevatten en mag de vervluchtiging van stikstof in de vorm van ammo-

niak niet meer dan 30 kg ha⁻¹ bedragen. Ten opzichte van gangbare bedrijven in 1983-1986 is het stikstofverlies op De Marke 70% lager. Het bedrijf mag geen mest afvoeren omdat dan verliezen worden afgewenteld op andere bedrijven, tenzij deze bedrijven ook aan de norm voldoen. Aan de fosfaat- en stikstofdoelstelling moet zonder meer worden voldaan, maar tegen zo laag mogelijke kosten. Naast deze harde doelen heeft De Marke ook streefwaarden met betrekking tot het verbruik van schaarse grondstoffen (energie en grondwater), het gebruik van systeemvreemde stoffen (o.a. bestrijdingsmiddelen), dier- en menselijk welzijn en de kwaliteit van natuur en landschap.

Zeker binnen de stringente normen van De Marke is de melkveehouderij grondgebonden. De bodem moet voldoende voer leveren en voldoende mogelijkheden voor mestafzet bieden. De eigenschappen van de bodem zijn bij het ontwerpen en implementeren van het systeem daarom erg belangrijk. De Marke beschikt over zandgrond die tot de droogste van Nederland behoort. Op 70% van het areaal kan worden beregend. De verschillen tussen percelen in bodemvruchtbaarheid zijn groot. Het voordeel op De Marke is dat naast gras ook akkerbouwgewassen kunnen worden geteeld (Tabel 1.3). Met name maïs is een geschikt gewas om naast gras de hoeveelheden stikstof, fosfaat en kalium in de rantsoenen op het gewenste lage niveau te brengen. Maïs heeft bovendien als voordelen dat het, geogst als snijmaïs, een relatief energierijk ruwvoer is en dat het, gesplitst in kolf (MKS) en stengel/blad, zowel krachtvoer als ruwvoer kan leveren. De energie- en zetmeelrijke MKS kan bij de hoogproductieve melkkoeien krachtvoer vervangen en het energiearme en structuurrijke maïsstro is een buitengewoon geschikt voer voor ouder jongvee en droogstaande koeien. Bovendien kan het maïsstro dienen om het perssap uit najaarsgrassilage te absorberen.

Een bijkomend voordeel is dat maïs een veel geringere vochtbehoefte heeft dan gras en dat de bemesting mogelijk is op basis van uitsluitend dierlijke mest. Maïssteelt is alleen verantwoord als de bemesting wordt beperkt en een nagewas wordt geteeld. Continueelt van maïs is op de schrale grond van De Marke bij lagere bemestingsniveaus onmogelijk. Het organische-stofgehalte van de bodem zou te sterk teruglopen. Vooral om die reden wordt de maïs in wisselbouw met gras geteeld. Tevens worden de nutriënten in drijfmest beter benut bij de teelt van maïs in wisselbouw dan in continueelt, zodat minder kunstmest nodig is. Op de beregenbare huiskavel, beweidbaar met melkvee, wordt drie jaar gras afgewisseld met drie jaar maïs. Op de niet beregenbare en niet met melkvee beweidbare veldkavel duurt de maïsperiode twee jaar langer. De Marke probeert het voerverbruik van de veestapel zoveel mogelijk te beperken. Volgens modelverkenningen kan dat door een hoge melkproductie per koe en een gering vervangingspercentage (lange levensduur). Op basis van de berekeningen van het voerverbruik en de berekende eigen productie bij een verhouding tussen grasland en bouwland van ongeveer 55

Tabel 1.3 Kenmerken bedrijfssysteem De Marke.

Grond:	55 ha lichte zandgrond
Verkaveling:	39 ha huiskavel en 16 ha veldkavel (veldkavel wordt niet beregend)
Gewassen:	31 ha gras, waarvan 11 ha blijvend grasland 24 ha maïs, waarvan 7 ha MKS
Bemesting:	gras 250 kg N ha ⁻¹ , maïs 100 kg N ha ⁻¹
Melkquotum:	658.000 kg, 12.000 kg melk ha ⁻¹
Veestapel:	80 melkkoeien en bijbehorend jongvee (25% vervanging)

en 45% blijkt de behoefte aan voeraankoop zodanig te worden beperkt dat de aanvoer van fosfaat in krachtvoer lager is dan de afvoer in melk en vlees. Bij de verdeling over bouwland en grasland is ook rekening gehouden met het feit dat alle geproduceerde mest op het bedrijf zelf moet worden afgezet en dat de aanvoer van kunstmeststikstof moet worden beperkt.

1.4 Bemestingsstrategie

De Marke probeert per ha zoveel mogelijk voer te produceren zonder het milieu te zwaar te belasten. Optimaal gebruik van dierlijke mest speelt daarbij een belangrijke rol. Door de beweiding van grasland te beperken - waardoor minder urineplekken ontstaan - en door na maïs een nagewas te telen - waardoor resterende of nog vrijkomende minerale stikstof wordt vastgelegd in organische stof - kan het stikstofbemestingsniveau van deze gewassen hoger zijn dan zonder deze maatregelen (Tabel 1.4). Berekeningen tonen aan dat de opbrengst daardoor slechts 8 tot 10% lager is dan bij gangbare bemesting. Door beperkingen in de beweiding wordt 70% van de mest op stal geproduceerd en is daarmee beschikbaar als meststof welke op het juiste tijdstip en in de juiste hoeveelheid kan worden toegediend. Ook het vruchtwisselingsstelsel draagt bij aan een betere benutting van nutriënten uit de drijfmest.

De behoefte aan meststoffen van een gewas wordt bepaald door het vochtleverend vermogen van de bodem, het soort gewas en de plaats in de rotatie. De bodem- en gewaseigenschappen bepalen samen de basisbehoefte en de plaats in de rotatie geeft aan hoeveel voedingsstoffen er vrijkomen bij de afbraak van de graszode in de akkerbouw fase. Daarnaast kan een groenbemester voor nalevering van stikstof zorgen. De basisbehoefte wordt gekort met deze hoeveelheden.

Eerste voorwaarde is dat alle geproduceerde drijfmest op het eigen bedrijf moet worden toegediend. Maïs wordt uitsluitend bemest met drijfmest. De stikstofbehoefte van de maïs bepaalt hoeveel drijfmest toegediend kan worden. Op de basisbehoefte van 100 kg ha⁻¹ wordt de nalevering uit ondergeploegde graszode en/of groenbemester in mindering gebracht. Met de drijfmest wordt minder fosfaat gegeven dan het gewas onttrekt. Bij continueelt van maïs zou fosfaat in de vorm van kunstmest moeten worden aangevuld. Wanneer maïs en gras in wisselbouw worden geteeld en het gras met drijfmest boven de fosfaatnorm wordt bemest kan de aanvoer van fosfaatkunstmest op maïs achterwege blijven. Het grasland vraagt minder

Tabel 1.4 Bemesting ha⁻¹, 1993–1997.

	drijfmest			kunstmest	
	m ³	kg N*	kg P ₂ O ₅	kg N	kg P ₂ O ₅
Grasland					
- blijvend	49	90	55	127	—
- tijdelijk	72	133	84	121	—
Maïs	26	58	27	—	—
Gemiddeld	49	94	55	72	—

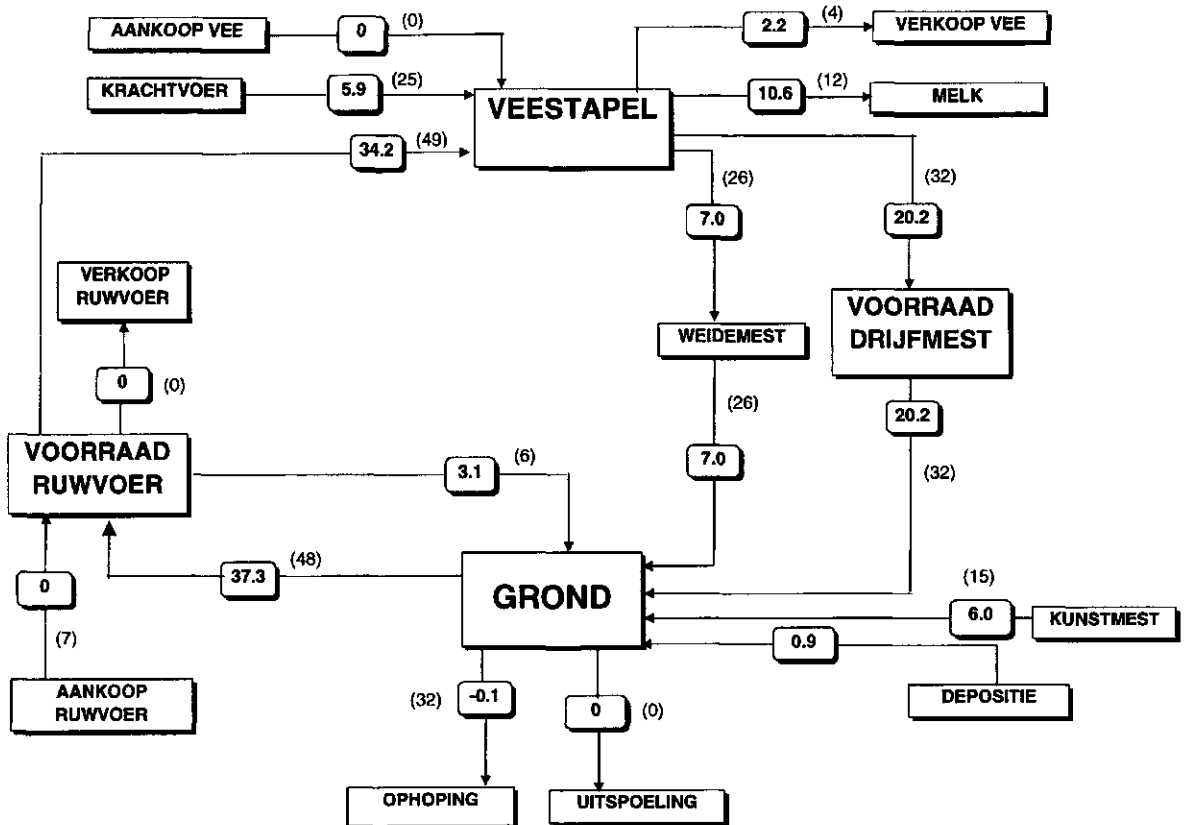
* werkzaam

kunstmest-N omdat met de drijfmest naast veel fosfaat ook veel stikstof wordt gegeven. Maïspercelen met een Pw-getal beneden 40, krijgen 15 m³ drijfmest extra (18 kg fosfaat). Aan de krappe fosfaatvoorziening in de maïs wordt tegemoet gekomen en de bodemvruchtbaarheidsverschillen tussen percelen worden genivelleerd.

Blijvend grasland wordt met drijfmest bemest tot de fosfaatkosten. Percelen met een hoge fosfaattoestand krijgen minder drijfmest dan percelen met een lage fosfaattoestand. De stikstofbehoefte wordt met kunstmest aangevuld tot een totaal N-niveau (werkzaam) van 250 kg ha⁻¹. De drijfmest die niet op maïs en blijvend grasland wordt toegediend moet op het tijdelijke grasland worden afgezet. Met deze drijfmest wordt boven de fosfaatkosten bemest, waardoor het tekort aan fosfaat wordt gecorrigeerd in de bouwlandfase. Er kan op deze wijze op zowel stikstof- als fosfaatkunstmest worden bespaard.

1.5 De P-kringloop van De Marke versus die van het gangbare bedrijf

Bij de start van het bedrijf is berekend hoe en met welke intensiteit de fosforstromen van het bedrijf naar verwachting verlopen. In Figuur 1.2 is deze verwachte bedrijfskringloop weergegeven.



Prognose fosforkringloop De Marke (kg P/ha)

Figuur 1.2 De verwachte P-kringloop van De Marke en die van het gangbare melkveebedrijf op zandgrond midden jaren tachtig (kg ha⁻¹). Gangbare bedrijf tussen haakjes.

In de figuur staan ook de stromen van het gangbare bedrijf in de periode 1983-1986. De totale P-aanvoer en -afvoer op De Marke is respectievelijk 15,2 en 13,6 kg ha⁻¹, op het gangbare bedrijf 48 en 16 kg ha⁻¹. Vergelijken met gangbaar is de aanvoer in voer sterk afgenomen (12,4 kg P ha⁻¹ ten opzichte van 25). Ook de aanvoer van kunstmest is sterk beperkt (0,9 kg P ha⁻¹ ten opzichte van 15). Vanaf 1994 is op De Marke geen fosfaatkunstmest meer toegepast. Het uiteindelijke gevolg van het lagere overschot op de bedrijfsbalans is dat op perceelsniveau minder P oploopt in de bodem.

1.6 Waarnemingen ten behoeve van de analyse van de fosfaathuishouding

Om antwoorden te vinden op de vragen die eerder gesteld zijn, moet een aantal waarnemingen worden gedaan. De aan- en afvoer van fosfaat wordt op perceelsniveau geregistreerd. Dat gebeurt door de aan- en afgevoerde producten te wegen en de fosfaatgehalten daarin te bepalen. De excretie van de dieren tijdens beweiding wordt berekend op basis van de opgenomen voerhoeveelheid en de mestuitscheiding op stal. Bij de overgang van de stalperiode naar de weideperiode en omgekeerd worden de voorraden mest en voer, en de gehalten daarin vastgelegd. Op bedrijfsniveau wordt nauwkeurig de aan- en afvoer van meststoffen, voer, melk en vee bijgehouden. Door deze metingen kunnen de fosfaatstromen op bedrijfsniveau worden gekwantificeerd.

De voorraden fosfaat in de bodem en de beschikbaarheid voor het gewas worden op drie niveaus periodiek bepaald. Jaarlijks wordt een monster genomen van de bouwvoor (0-20 cm) van elke hectare van het bedrijf (blokbemonstering). De percelen blijvend grasland worden elke drie jaar bemonsterd (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm). Percelen in rotatie worden bemonsterd bij de omzetting van bouwland naar grasland en omgekeerd (0-20, 20-40 cm). Tijdens de vijfjarige bouwlandfase worden de percelen in het vierde jaar nogmaals bemonsterd. Op 28 vaste homogene waarnemingsplekken van 400 m² worden minstens elke drie jaar, en telkens bij de wisseling van bouwland naar grasland en omgekeerd, monsters genomen (0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm). Om inzicht te krijgen in de beperkende factoren voor de gewasgroei en ten behoeve van de optimalisatie van bemesting (verbeterde opname en beperkt verlies van voedingsstoffen) zijn proefvelden aangelegd.

1.7 Indeling van het rapport

Een groot aantal gegevens rond de 'fosfaattoestand' van De Marke, verzameld in de periode 1989/90-1997/98, is geanalyseerd en met elkaar in verband gebracht. De verschillende onderwerpen komen achtereenvolgens in de volgende hoofdstukken aan de orde:

- 2) Wat is het verloop van de fosfaattoestand en fosfaatbodemvoorraad op De Marke in de periode 1989/90-1997/98 (Habekotté *et al.*, 1998)?
- 3) Welke toekomstige veranderingen van de fosfaattoestand zijn te verwachten met de huidige fosfaatdoelstelling en bedrijfsstrategie van De Marke (Schoumans, 1998)?

- 4) Heeft de fosfaattoestand (en de veranderingen daarin) invloed op de maïsopbrengsten en fosfaatgehalten in de maïs (Habekotté en Hilhorst, 1998)?
- 5) Hoe kan maïs landbouwkundig en milieukundig verantwoord bemest worden (Schröder en Ehlert, 1998)?
- 6) Welke rol speelt fosfaat in de veevoeding en melkproductie op De Marke, niet alleen nu maar ook in de toekomst (Van der Schans, 1998)?
- 7) Hoe zijn de ervaringen op bedrijfsniveau met de stringente P-norm en wat zijn de gevolgen van de mestwetgeving voor praktijkbedrijven (Aarts *et al.*, 1998)?

2 De fosfaattoestand van de bodem van De Marke

Een analyse van ontwikkelingen in de periode 1989/90- 1997/98

B. Habekotté¹, W.J. Corré¹ en G.J. Hilhorst²

¹ AB-DLO; ² De Marke

2.1 Vragen ten aanzien van de fosfaat-bodemvruchtbaarheid op De Marke

Het Proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu, De Marke, richt zich op een milieu-verantwoorde melkproductie met een zo goed mogelijk economisch resultaat. Daarbij worden de milieukwaliteitsdoelstellingen van de overheid gevolgd voor uitspoeling van fosfor in zandgebieden: maximaal 0,15 mg P per liter voor oppervlaktewater en een streefwaarde van 0,4 mg P per liter voor grondwater. De eerstgenoemde norm is vertaald naar een fosfaatoverschot op de bedrijfsbalans van 1 kg fosfaat ha⁻¹ bij een fosfaattoestand 'voldoende' van de percelen (Biewinga *et al.*, 1992, 1996). De aanvoer van fosfaat in de vorm van kunstmest en krachtvoer mag daarbij de afvoer via melk en verkocht vee nauwelijks overschrijden.

De gemiddelde fosfaattoestand van de percelen bij de start van De Marke was 'vrij hoog' tot 'hoog' (Bijlage 2.1; 1989/90: Pw-getal: 57,1; P-AL-getal: 75,1) als gevolg van ruime drijfmestgiften in voorgaande jaren. Er bestonden echter grote verschillen tussen percelen (Pw-getal: 26-141, P-AL-getal: 38-142). Bij de invulling van de fosfaatdoelstelling wordt rekening gehouden met de fosfaattoestand van de percelen en de behoefte aan fosfaat en stikstof van de gewassen. Sinds 1994 wordt op relatief fosfaat-arme percelen meer drijfmest uitgereden dan op fosfaat-rijke zodat de verschillen in fosfaattoestand minder worden. Zolang veel percelen nog in een hoge fosfaattoestand verkeren, is de bedrijfsstrategie gericht op een negatief fosfaatoverschot. Bij geleidelijke daling en nivellering van de fosfaattoestand van de percelen tot de streefwaarde 'voldoende' kan het fosfaatoverschot oplopen tot de doelstelling van 1 kg ha⁻¹.

In 1996/97 resulteerde de bedrijfsstrategie voor het eerst in een negatief fosfaatoverschot op de bedrijfsbalans van -4 kg fosfaat ha⁻¹. In de periode (1992/93-1995/96) was het fosfaatoverschot ca. 3 kg ha⁻¹, veel lager dan het gangbare overschot op praktijkbedrijven van ca. 60 kg fosfaat ha⁻¹ (Biewinga *et al.*, 1996) en lager dan de MINAS-norm voor 1998 (40 kg ha⁻¹) en 2008 (20 kg ha⁻¹).

Op basis van de P-deskstudie (Oenema en Van Dijk, 1994) is duidelijk geworden dat een positief fosfaatoverschot (> 1 kg fosfaat ha⁻¹ voor zandgronden) op lange termijn leidt tot milieuproblemen. Maar de studie geeft ook aan dat een overschot van minder dan 25 kg fosfaat ha⁻¹ kan leiden tot een fosfaattoestand van de bodem die bij de huidige teelt- en bemestingsystemen landbouwkundig suboptimaal is. De Marke biedt de mogelijkheid om de effecten van een laag fosfaatoverschot op de bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengsten in de praktijk te volgen. Voor invulling van het landbouw- en milieubeleid is dergelijk onderzoek van groot be-

lang. In deze bijdrage aan de fosfaatthemadag worden de fosfaatbalansen van de percelen en het verloop van de fosfaattoestand op De Marke gepresenteerd voor de periode 1989/90 - 1997/98. Hierbij zijn de volgende vragen gesteld:

- Welke fosfaatbalansen op perceelsniveau zijn gerealiseerd met de bemestingsstrategie van De Marke?
- Hoe is het verloop van de fosfaatindicatoren in de bodemlagen van 0-20 cm diepte en van 20-40 cm (bouwvoordiepte = 28 cm)?
- Is er voor de indicatoren een evenwicht bereikt of is een verdergaande daling of stijging te verwachten?
- Verandert de fosfaatvoorraad van de bouwvoor (0-20 cm) en waar wordt dat mogelijk door bepaald?

2.2 Gevolgde werkwijze

Percelen, blokken en vaste waarnemingsplekken

De bodemvruchtbaarheid van De Marke wordt gevolgd door bemonstering van percelen, blokken en vaste waarnemingsplekken. De blokken zijn voor het eerste bemonsterd in de winter van 1989/90. Hiertoe is het in 1989/90 aanwezige bedrijfsoppervlak ingedeeld in 51 blokken van ca. 1 ha (Bijlage 2.2). Na 1989/90 is het bedrijfsoppervlak uitgebreid tot het huidige bedrijfsoppervlak met 62 in plaats van 51 blokken. In de winters van 1994/95, 1995/96, 1996/97 en 1997/98 is de blokbemonstering herhaald. Percelen en vaste waarnemingsplekken (Bijlage 2.2) worden niet elk jaar bemonsterd. Blijvend grasland wordt elke 3 jaar bemonsterd, de huiskavel en veldkavel bij elke overgang van grasland naar bouwland en andersom, elke 3 jaar voor de huiskavel en na 3 jaar gras en 5 jaar bouwland op de veldkavel. De veldkavel wordt een keer extra tijdens de bouwlandperiode bemonsterd.

Van de blokken wordt alleen de bovenste bodemlaag bemonsterd, in 1989/90 tot 25 cm diepte en daarna tot 20 cm diepte. De grondbewerkingsdiepte op De Marke is ca. 28 cm. Dientengevolge is ten aanzien van de fosfaatindicatoren een homogene verdeling verondersteld tot minstens 25 cm diepte en de gemeten fosfaat-indicatoren in 1989/90 (0-25 cm) worden vergeleken worden met de gemeten waarden in de jaren daarna (0-20 cm). Van de percelen en vaste waarnemingsplekken worden meerdere lagen bemonsterd.

Als basis voor de analyse van het verloop van het Pw-getal, het P-AL-getal en P-totaal zijn de resultaten gebruikt van de bemonstering in de winters van 1989/90, 1994/95, 1995/96, 1996/97 en 1997/98 van de 51 blokken die vanaf het begin deel hebben uitgemaakt van het bedrijfsoppervlak. Daarnaast zijn aanvullende analyses uitgevoerd op basis van de bemonstering van de vaste waarnemingsplekken voor de periode 1991/92-1996/97.

Er is altijd bemonsterd in de winter, meestal in januari of februari, voor de eerste grondbewerking of bemesting. Bij uitzondering is in november bemonsterd. De analyses van de bodemonsters zijn steeds uitgevoerd door het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (Blgg) in Oosterbeek.

Fosfaatbalansen

De fosfaatbalansen voor de periode 1992-1996 zijn berekend op basis van de geregistreerde bemesting, de berekende aanvoer van weidemest, gemeten opbrengsten van maïs, voeder-

bieten en kuilgras, en geschatte weidegrasopbrengsten en bijbehorende gemeten fosfaatgehalten per perceel. De afvoerposten van de balansen voor 1990 en 1991 zijn minder nauwkeurig bepaald. In 1990 was de perceelsindeling deels afwijkend van de jaren daarna. De gewasopbrengsten en fosfaatafvoer van de percelen (nieuwe indeling) is gelijk gesteld aan die van de percelen in 1990 (oude perceelsindeling) die in grote mate overlappen met de percelen in de volgende jaren. De fosfaatgehalten zijn voor maïs gelijkgesteld aan de gehalten in de uitgevoerde maïsproeven op De Marke in 1990, voor gras zijn ze gelijkgesteld aan de gemeten gehalten in 1991 en voor gerst zijn ze gebaseerd op standaardgehalten. In 1991 zijn de perceelsopbrengsten per perceel gemeten en de fosfaatgehalten zijn gebaseerd op de bemonstering van de kuilen aan het einde van het stalseizoen. De fosfaatbalansen van de blokken zijn gelijk gesteld aan de balansen van de percelen waar de blokken deel van uitmaken (Bijlage 2.2).

Berekening fosfaatvoorraad in de bouwvoor ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, 0-20 cm)

De fosfaatvoorraad, uitgedrukt in $\text{kg fosfaat ha}^{-1}$ in de bovenste 20 cm van de bodem, is berekend op basis van P-totaal ($\text{mg P}_2\text{O}_5$ per 100 g grond) en de bodemdichtheid (volumegewicht). De bodemdichtheid werd voor de blokken afgeleid uit het gemeten organische-stofgehalte en de grondwatertrap van de bodem (Hoekstra en Poelman, 1982).

Profielmetingen fosfaat

Fosfaatprofielmetingen zijn in 1997 uitgevoerd op de locatie van de vaste waarnemingsplekken binnen twee percelen blijvend grasland (plek 9A en 17A), twee percelen met wisselbouw op de huiskavel (plekken 4A en 19A) en twee percelen met wisselbouw op de veldkavel (plekken 1A en 21A). Per categorie is steeds een perceel gekozen van het noordelijke deel (relatief nat) en van het zuidelijke deel van het bedrijfsoppervlak (relatief droog). Bepaald zijn het Pw-getal, het P-AL-getal en P-totaal per 5 cm, van 0 tot 50 cm diepte. Per meting zijn 30 tot 40 stekken uitgevoerd per bodemlaag en samengevoegd tot een mengmonster.

Vruchtwisseling en gebruik van de percelen

De 55 ha cultuurgrond van De Marke wordt benut voor de productie van ruwvoer en krachtvoervangers. Het bedrijfsoppervlak is opgedeeld in 39 ha huiskavel en 16 ha veldkavel. De huiskavel wordt beweid met melkvee en jongvee en kan beregend worden. De veldkavel wordt niet beregend en wordt alleen beweid met jongvee.

Van de huiskavel is ongeveer 9 ha blijvend grasland. Op het overige deel van de huiskavel wordt wisselbouw toegepast. Drie jaar gras wordt gevolgd door een jaar voederbiet en twee jaar maïs. Vanaf 1994 is voederbiet geleidelijk vervangen door maïs en vanaf 1996 worden geen voederbieten meer verbouwd. Op de veldkavel wordt ook wisselbouw toegepast. Drie jaar gras wordt gevolgd door een jaar voederbiet en vervolgens vier jaar maïs. Vanaf 1994 is ook hier de voederbiet vervangen door maïs. In totaal wordt nu op 31 ha gras verbouwd en op 24 ha maïs. Maïs wordt voornamelijk als snijmaïs geoogst. Een deel van de maïs wordt als maïskolvensilage (MKS) geoogst en ook het stro wordt hierbij geoogst en benut.

De bemestingsstrategie van De Marke

De belangrijkste uitgangspunten voor de bemesting op De Marke zijn het gebruik van alle geproduceerde dierlijke mest, optimale toepassing van N-binding door klaver in grasland en een minimaal gebruik van N-kunstmest. De bemesting wordt zo goed mogelijk afgestemd op de gewasbehoefte voor het bereiken van redelijke gewasopbrengsten en minimale verliezen (Biewinga *et al.*, 1992). Als randvoorwaarde voor de stikstofbemesting geldt een beperkte uitspoeling van nitraat zodat de nitraatdoelstelling wordt gehaald. Onder andere op basis van deze

randvoorwaarde is een bedrijfsoverschot van 128 kg N ha⁻¹ afgeleid. Voor fosfaat geldt evenwichtsbemesting gemiddeld over een periode van 6 jaar, om het beoogde bedrijfsoverschot van 1 kg fosfaat ha⁻¹ te realiseren, bij een fosfaattoestand 'voldoende' van de percelen. Bij de invulling van de fosfaatdoelstelling wordt rekening gehouden met de verschillen in fosfaattoestand van de percelen. Sinds 1994 wordt op relatief fosfaat-arme percelen met maïs (Pw-getal < 40) 15 m³ ha⁻¹ drijfmest extra uitgereden en op de fosfaatrijke graslandpercelen (P-AL-getal > 56) wordt de aanvoer van fosfaat via drijfmest verminderd met maximaal 25 procent. Op deze wijze wordt nivellering van de fosfaattoestand van de percelen bevorderd. Zolang veel percelen nog in een hoge fosfaattoestand verkeren, is de bedrijfsstrategie gericht op een negatief fosfaatoverschot.

Voor een uitgebreidere beschrijving van de bemestingsdoelen en realisering daarvan wordt verwezen naar Hilhorst *et al.* (1998).

Statistiek

Variantieanalyse is uitgevoerd met het statistische programma GENSTAT. De bemonsterde blokken van De Marke zijn daarbij behandeld als herhalingen ('blocks') en de verschillende jaren als behandeling. 'Het kleinste betrouwbare verschil (LSD)' tussen de behandelingen is berekend op basis van de standaardafwijking van het verschil tussen de behandelingen (SED) en het aantal vrijheidsgraden van de restvariantie. Daarbij is uitgegaan van een overschrijdingskans van 1% (LSD_{.01}, P < 0,01). Wanneer de verschillen tussen twee behandelingen groter zijn dan de LSD_{.01} wordt verondersteld dat de behandelingen significant verschillend zijn. De kans dat dit niet het geval is is kleiner dan 1%.

$$SED = \sqrt{(2\delta^2/r)} \quad \begin{array}{l} \delta^2 : \text{gemiddelde restvariantie} \\ r : \text{aantal herhalingen per behandeling} \end{array}$$

$$LSD_{.01} = t_{.01} * SED \quad \begin{array}{l} t_{.01}: \text{t-test voor gegeven graden van vrijheid van de restvariantie} \\ \text{en een overschrijdingskans van 1\%}. \end{array}$$

2.3 Fosfaatbalansen van percelen en blokken

De gerealiseerde fosfaatoverschotten van de percelen van De Marke, gewogen naar oppervlakte per jaar en gemiddeld over een aantal jaren zijn weergegeven in Tabel 2.1. De jaargemiddelden variëren tussen -5 en 11 kg fosfaat ha⁻¹ in de periode 1990-1996. Het gemiddelde fosfaatoverschot van 5 kg ha⁻¹ is iets hoger dan de bedrijfsdoelstelling van 1 kg fosfaat ha⁻¹ (Biewinga *et al.*, 1992, 1996) en zou negatief moeten zijn, aangezien de gemiddelde fosfaattoestand van de percelen hoger is dan 'voldoende' (het Pw-getal van de percelen was gemiddeld 61 in 1989/90 en 45 in 1995/96).

Drijfmest is de belangrijkste aanvoerpost voor fosfaat naar de percelen (65%, 1990-'96), vervolgens kunstmest (15%), weidemest (13%), vaste mest (4%) en depositie (3%). Fosfaatkunstmest is vanaf 1994 niet meer gebruikt.

Gemiddeld over de periode 1992-1996 is het perceeloverschot (4 kg fosfaat ha⁻¹) vrijwel gelijk aan het gemiddelde overschot op de bedrijfsbalans van 3 kg fosfaat ha⁻¹ (Aarts *et al.*, 1998). Per jaar kunnen de verschillen wat groter zijn. Deze verschillen zijn met name een gevolg van schat-

tingen van voorraadveranderingen. Gemiddeld over meerdere jaren verdwijnen de verschillen tussen de perceels- en bedrijfsoverschotten.

Het gemiddelde overschot op de fosfaatbalans van de 51 blokken die vanaf 1989 deel uit maken van het bedrijfsareaal is 5 kg ha^{-1} voor de periode 1990-'96 (Tabel 2.2) en is gelijk aan het gemiddelde perceelsoverschot over dezelfde periode (Tabel 2.1). De indeling van de blokken in

Tabel 2.1 De gemiddelde (gewogen naar oppervlak van de percelen) aanvoer van fosfaat in meststoffen en depositie op de percelen van De Marke, de afvoer als gewas en het overschot per jaar (kg ha^{-1}) en gemiddeld over een aantal jaren ($\text{kg ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$) (n: aantal percelen per jaargemiddelde en aantal jaren per gemiddelde 1990-'96).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	90-96
n	21	22	24	26	27	27	28	7
Oppervlak (ha)	44,04	45,19	49,43	55,63	56,50	56,50	56,60	
Aanvoer	67	52	51	84	87	66	64	67
drijfmest	0	49	31	57	68	49	48	43
vaste mest	0	0	0	3	9	3	3	2
kunstmest	65	0	4	4	0	0	0	10
weidemest	0	0	14	18	8	11	11	9
depositie	2	2	2	2	2	2	2	2
Afvoer	62	43	59	75	75	65	59	62
Overschot	5	9	-8	9	12	1	5	5
min	-19	-35	-38	-58	-62	-26	-40	-8
max	39	65	28	58	71	62	61	12

Tabel 2.2 De aanvoer van fosfaat in meststoffen en depositie op 51 blokken van De Marke, de afvoer via de gewassen (kg ha^{-1}) en het overschot, per jaar en gemiddeld over een aantal jaren voor alle blokken samen en per Pw-bodemvruchtbaarheidsklasse (Bijlage 2.1). De indeling van de blokken in bodemvruchtbaarheidsklassen is gebaseerd op de fosfaattoestand in 1989/90 (n: aantal blokken per gemiddelde, alleen in 1995 ontbreekt één blok voor het totaal gemiddelde en voor Pw-klasse 'hoog').

	n	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	90-93	94-96	90-96
Alle blokken	51	5	7	-5	6	8	1	11	3	7	5
Pw-klasse:											
- voldoende	7	14	-1	-2	10	8	-11	30	5	9	7
- ruim vold.	20	9	7	-6	11	13	14	16	5	14	9
- vrij hoog	6	2	9	-26	19	21	3	-5	1	7	3
- hoog	18	0	10	1	-5	-1	-9	2	1	-3	0

bodemvruchtbaarheidsklassen is gebaseerd op de fosfaattoestand van de blokken in 1989/90. Het aantal blokken per klasse is voor alle klassen minimaal 6. Sinds 1994 wordt op de relatief fosfaatarme maïspancelen (P_w -getal < 40) meer drijfmest uitgereden en op de fosfaatrijke graslandpercelen (P -AL-getal > 56) minder dan volgens de standaard gehanteerde verdeling van drijfmest. Dit weerspiegelt zich in een gemiddeld hoger fosfaatoverschot van de blokken met een relatief lage fosfaattoestand ($P_w \leq 45$) ten opzichte van de blokken met een relatief hogere fosfaattoestand ($P_w > 45$), met name vanaf 1994 (1994-'96: 9-14 kg ha⁻¹ ten opzichte van -3-7 kg ha⁻¹; 1990-'96: 7-9 kg ha⁻¹ ten opzichte van 0-3 kg ha⁻¹).

2.4 Het verloop van de fosfaatindicatoren in de bodemlaag van 0-20 cm diepte op basis van blokbeemonstering

Resultaten van de blokbeemonstering tonen dat de gemiddelde hoeveelheid beschikbaar fosfaat de eerste zes jaar is afgenomen ($P < 0,01$, 1989/90-1995/96): het P_w -getal met 14,6 eenheden (gemiddeld 2,4 eenheden per jaar) en het P -AL-getal met 11 eenheden (gemiddeld 1,8 eenheden per jaar) (Tabel 2.3). P -totaal vertoonde in deze periode geen significante daling ($P > 0,01$, Tabel 2.4). Het gemiddelde P_w -getal verschoof van de klasse 'vrij hoog' (46-60) naar 'ruim voldoende' (31-45). Het gemiddelde P -AL-getal bleef, ondanks de daling in dezelfde P -AL-klasse 'hoog' (> 55). De laatste twee jaar (1995/96-1997/98) vertoonden het gemiddelde P_w - en P -AL-getal geen significante veranderingen. De veranderingen in de gemiddelde waarde van P -totaal zijn relatief gering en P -totaal is alleen significant lager in 1996/97 en 1997/98 ten opzichte van de eerste meting in 1989/90 ($P < 0,01$). De afname van de maximale waarden van het P_w -getal, het P -AL-getal en van P -totaal zijn relatief groot ten opzichte van de veranderingen in de minimum waarden. De daling van de gemiddelde fosfaattoestand gedurende de eerste zes jaar werd dus vooral bepaald door de daling binnen de blokken met een relatief hoge fosfaattoestand.

De absolute afname per jaar (1989/90-1995/96) van P -AL is relatief groot ten opzichte van P -totaal: gemiddeld 1,8 mg voor P -AL ten opzichte van gemiddeld 0,4 mg P_2O_5 per 100 g grond voor P -totaal. De hoeveelheid beschikbaar fosfaat neemt af ten opzichte van de totale hoeveelheid fosfaat in de bodem. Mogelijk wordt de afvoer van beschikbaar fosfaat via de gewassen en uitspoeling naar diepere bodemlagen niet met dezelfde snelheid aangevuld door bemesting en het beschikbaar worden van sterk aan bodemdeeltjes gebonden fosfaat en in organische stof opgeslagen fosfaat (Schoumans, 1998).

De 51 blokken zijn ingedeeld in de P_w -bodemvruchtbaarheidsklassen op basis van de bedrijfsbeemonstering in 1989/90. Per klasse is het verloop van het gemiddelde P_w - en P -AL-getal en van P -totaal weergegeven voor de periode 1989/90 -1997/98 (Figuur 2.1; Bijlage 2.3).

Gedurende de eerste zes jaar daalden het P_w -getal en het P -AL-getal het sterkst binnen de klassen 'vrij hoog' en 'hoog'. Na 1995/96 zette deze daling zich in geringe mate voort binnen de klasse 'hoog'. De klasse 'vrij hoog' vertoonde een geringe toename. De twee laagste klassen vertoonden na een daling gedurende de eerste zes jaar een geringe toename gedurende de laatste twee jaar. De veranderingen van de fosfaattoestand per P_w -klasse zijn deels significant en deels niet significant.

Tabel 2.3 Het gemiddelde van het Pw- en P-AL-getal voor 51 blokken per jaar en het gemiddelde verschil ten opzichte van 1989/90, per jaar (absoluut (abs.) en als percentage (%)).

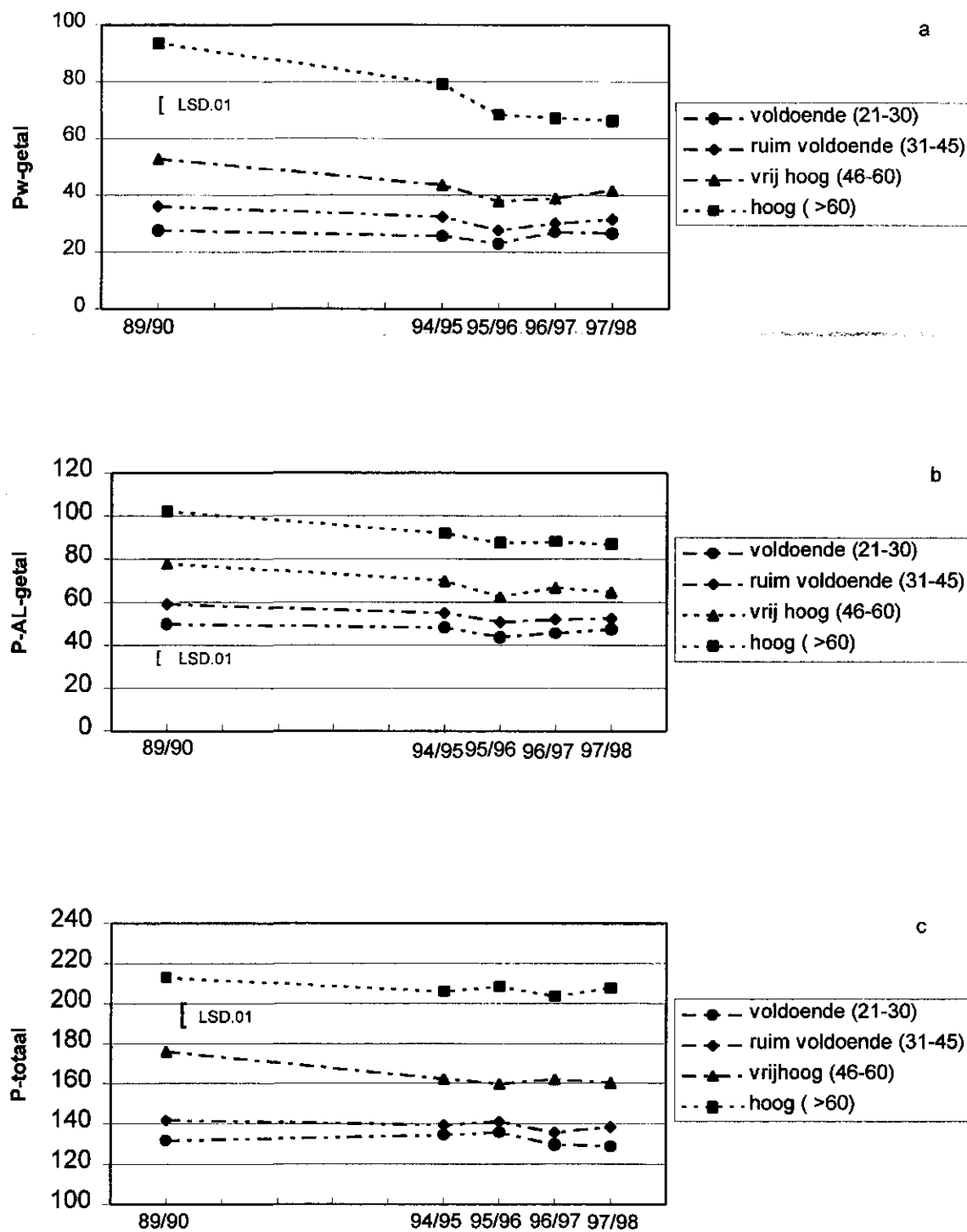
	Pw					P-AL				
	89/90	94/95	95/96	96/97	97/98	89/90	94/95	95/96	96/97	97/98
Min.	26	20	21	22	22	38	35	31	37	37
Max.	141	124	99	102	102	142	118	115	104	104
Gem.	57,1	49,2	42,5	43,7	44,3	75,1	68,7	64,1	65,4	64,7
LSD.01	3,3					2,3				
Gemiddeld verschil per jaar ten opzichte van 1989/90										
Abs.		-1,6	-2,4	-1,9	-1,6		-1,3	-1,8	-1,4	-1,3
%		-2,5	-4,0	-2,8	-2,2		-1,5	-2,4	-1,7	-1,6

Tabel 2.4 Het gemiddelde van P-totaal voor 51 blokken per jaar en het gemiddelde verschil ten opzichte van 1989/90, per jaar (absoluut (abs.) en als percentage (%)).

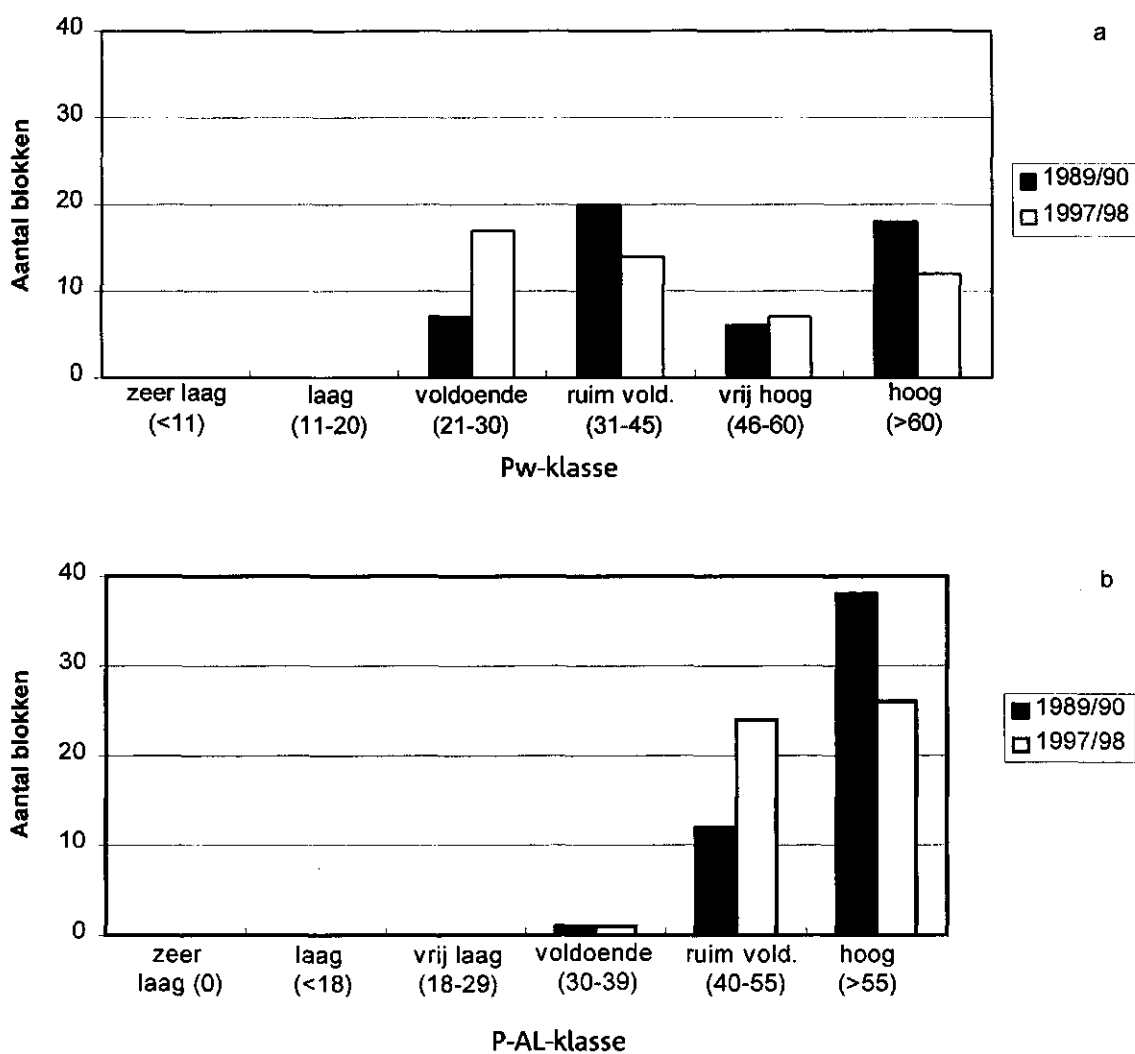
	P-totaal				
	89/90	94/95	95/96	96/97	97/98
Min.	116	115	116	112	112
Max.	289	284	276	257	257
Gem.	168,9	164,8	166,4	161,9	164,0
LSD.01	4,2				
Gemiddeld verschil per jaar ten opzichte van 1989/90					
Abs.		-0,8	-0,4	-1,0	-0,6
%		-0,4	-0,1	-0,5	-0,3

De gemiddelde waarde van P-totaal daalde, met name binnen de hoogste Pw-klassen, gedurende de eerste 5 à 6 jaar. Over de gehele periode van 1989/90 tot 1997/98 daalde P-totaal binnen deze klassen met 5 tot 16 eenheden. De veranderingen in P-totaal binnen de klassen 'voldoende' en 'ruim voldoende' zijn relatief gering, over de gehele periode een daling van ca. 3 eenheden. De waargenomen veranderingen van P-totaal per Pw-klasse zijn alleen significant binnen de Pw-klasse 'vrij hoog' (1989/90-1994/95).

Als gevolg van de daling van de fosfaattoestand, met name binnen de blokken met een hogere fosfaattoestand, is in 1998 het aantal blokken binnen de Pw-klasse 'voldoende' en binnen de P-AL-klasse 'ruim voldoende' hoger dan in 1989/90 en binnen de Pw-en P-AL-klasse 'hoog' lager dan in 1989/90 (Figuur 2.2). Alle blokken hebben een fosfaattoestand 'voldoende' of hoger.

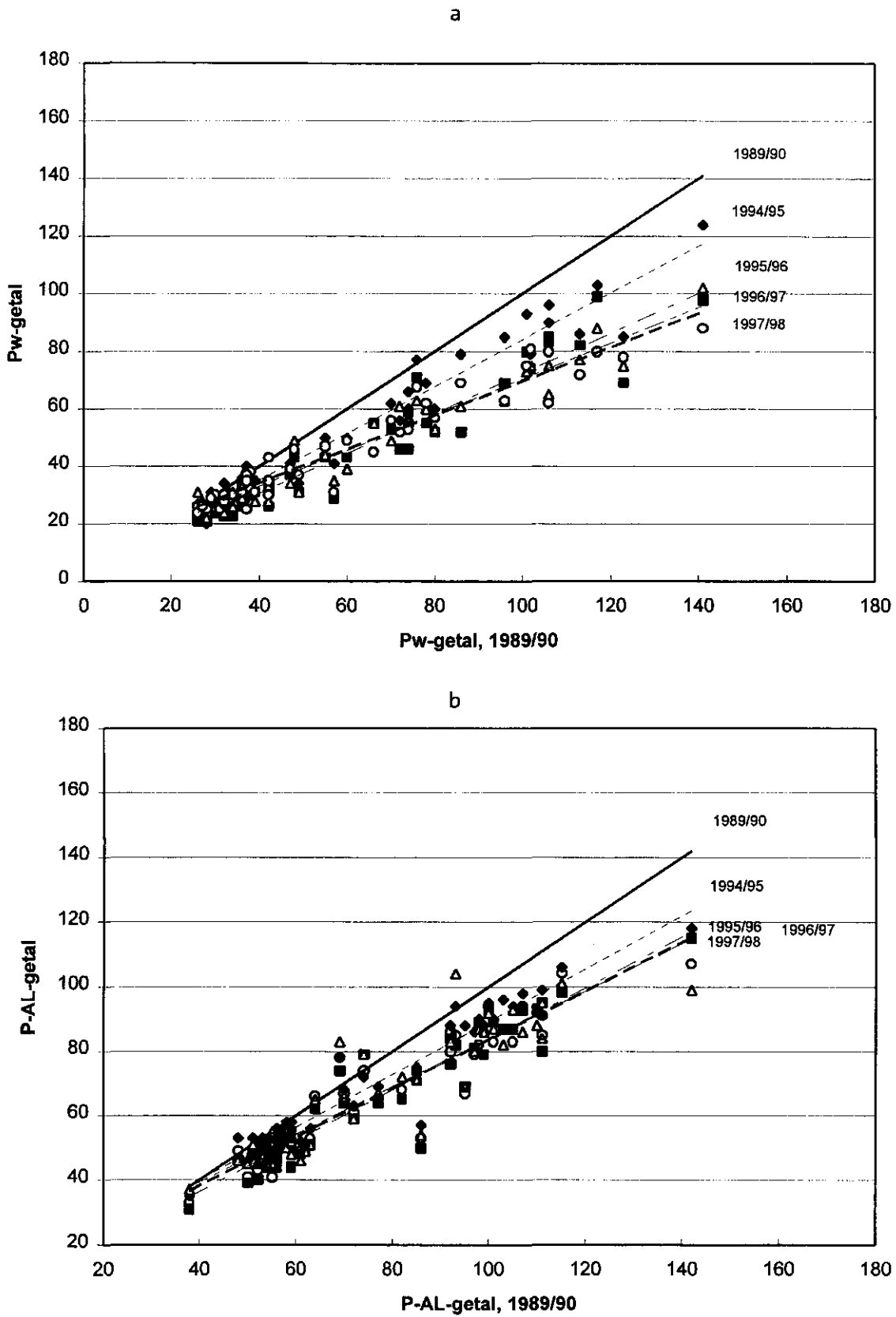


Figuur 2.1 Het verloop van het gemiddelde Pw- (a) en P-AL-getal (b) en van P-totaal (c) per Pw-klasse, op basis van 51 blokken verdeeld over het gehele bedrijfsoppervlak van De Marke van 1989/90 (0-25 cm diepte) tot 1996/97 (0-20 cm diepte). De indeling in bodemvruchtbaarheidsklassen is gebaseerd op de waarde van de P-indicatoren in 1989/90.

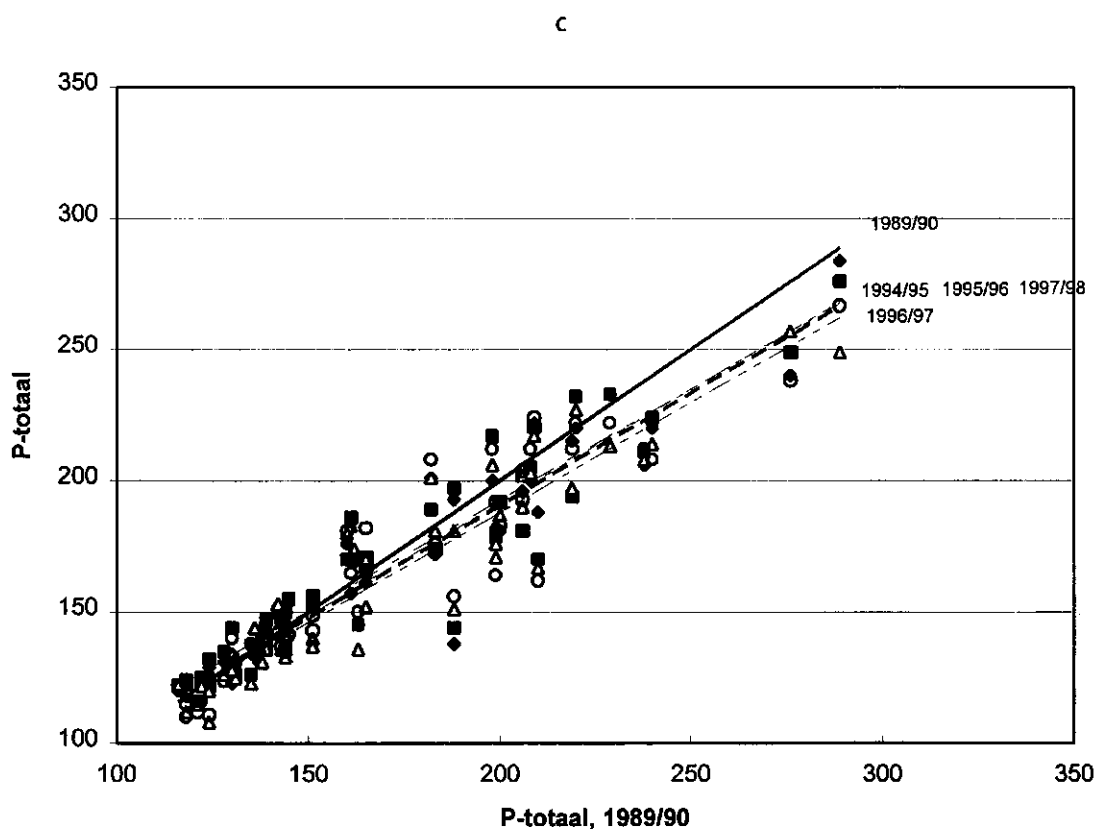


Figuur 2.2 Het aantal blokken (in totaal 51) per bodemvruchtbaarheidsklasse op basis van het Pw- (a) en het P-AL-getal (b) in 1989/90 en 1997/98.

In Figuur 2.3 zijn het Pw-getal, het P-AL-getal en P-totaal van de blokken in 1994/95, 1995/96, 1996/97 en 1997/98 uitgezet tegen de gemeten waarden in 1989/90. De regressie-lijnen liggen voor het grootste gedeelte onder de 45 graden lijn, zoals te verwachten bij een daling van de fosfaatindicatoren voor de meeste blokken. De snijpunten van de regressielijnen met de 45-graden-lijn geven een indicatie van op langere termijn te verwachten gemiddelde waarden bij voortgaande daling en nivellering van de fosfaattoestand en fosfaatvoorraad, waarbij de beschikbaarheid van fosfaat bepaald wordt door de huidige bedrijfsvoering en niet langer door de vroegere bemesting. Voor het Pw-getal is een waarde van 15 tot 26 afgeleid, voor het P-AL een waarde van 22-38 en voor P-totaal een waarde van 126-153.



Figuur 2.3 Het verband tussen de waarden van de fosfaatindicatoren (Pw-getal (a), P-AL-getal (b) en P-totaal (c)) van 51 blokken van De Marke in 1994/95 (\blacklozen), 1995/96 (\blacksquare), 1996/97 (\blacktriangle) en 1997/98 (\circ) ten opzichte van de uitgangssituatie in 1989/90.



Figuur 2.3 Het verband tussen de waarden van de fosfaatindicatoren (Pw-getal (a), P-AL-getal (b) en (vervolg) P-totaal (c)) van 51 blokken van De Marke in 1994/95 (◆), 1995/96 (■), 1996/97 (△) en 1997/98 (○) ten opzichte van de uitgangssituatie in 1989/90.

De huidige bemestingsstrategie is deels gericht op nivellering van de fosfaattoestand van de percelen en het gemiddelde fosfaatoverschot is hoger dan 1 kg ha^{-1} . Het is dus mogelijk dat de indicaties van de waarden van de fosfaatindicatoren op langere termijn, gebaseerd op de huidige bemestingsstrategie hoger zijn dan de waarden die bereikt kunnen worden bij een fosfaatoverschot van 1 kg ha^{-1} voor alle percelen.

Schoumans (1998) gaat verder in op de te verwachten ontwikkelingen in fosfaattoestand van de bodem bij toepassing van de huidige bedrijfsstrategie van De Marke en bij realisering van een fosfaatoverschot van 1 kg ha^{-1} op alle percelen.

2.5 Het verloop van fosfaatindicatoren in de bodemlagen van 0-20 cm en 20-40 cm diepte op basis van de vaste waarnemingsplekken

Metingen van Pw-getal, P-AL-getal en P-totaal op de vaste waarnemingsplekken van De Marke zijn geanalyseerd voor de periode 1991/92-1996/97. De vaste waarnemingsplekken zijn daarbij ingedeeld in een groep met een Pw-getal ≤ 45 en een groep met een Pw-getal > 45 bij de eerste meting (voor het P-AL-getal en P-totaal zijn meetresultaten beschikbaar vanaf 1991/92 en voor het Pw-getal vanaf 1992/93). In Tabel 2.5 is de gemiddelde verandering (per jaar) tussen de eerste en laatste waarneming weergegeven van het Pw-getal, het P-AL-getal en P-totaal.

Voor alle waarnemingsplekken tezamen daalde het gemiddelde Pw-getal, het P-AL-getal en P-totaal ten opzichte van de eerste waarneming in de periode 1991/92-1996/97 zowel in de bodemlaag van 0-20 cm diepte als in de laag van 20-40 cm diepte. De plekken met een relatief hoge Pw-toestand (Pw > 45 bij de eerste waarneming) vertonen ook een afname voor alle drie fosfaatindicatoren in beide bodemlagen. De plekken met een relatief lage fosfaattoestand (Pw ≤ 45) vertonen alleen in de bovenste bodemlaag een afname voor het P-AL-getal en P-totaal. De waargenomen trends, uitgedrukt in eenheden per jaar zijn niet significant ($P > 0,1$).

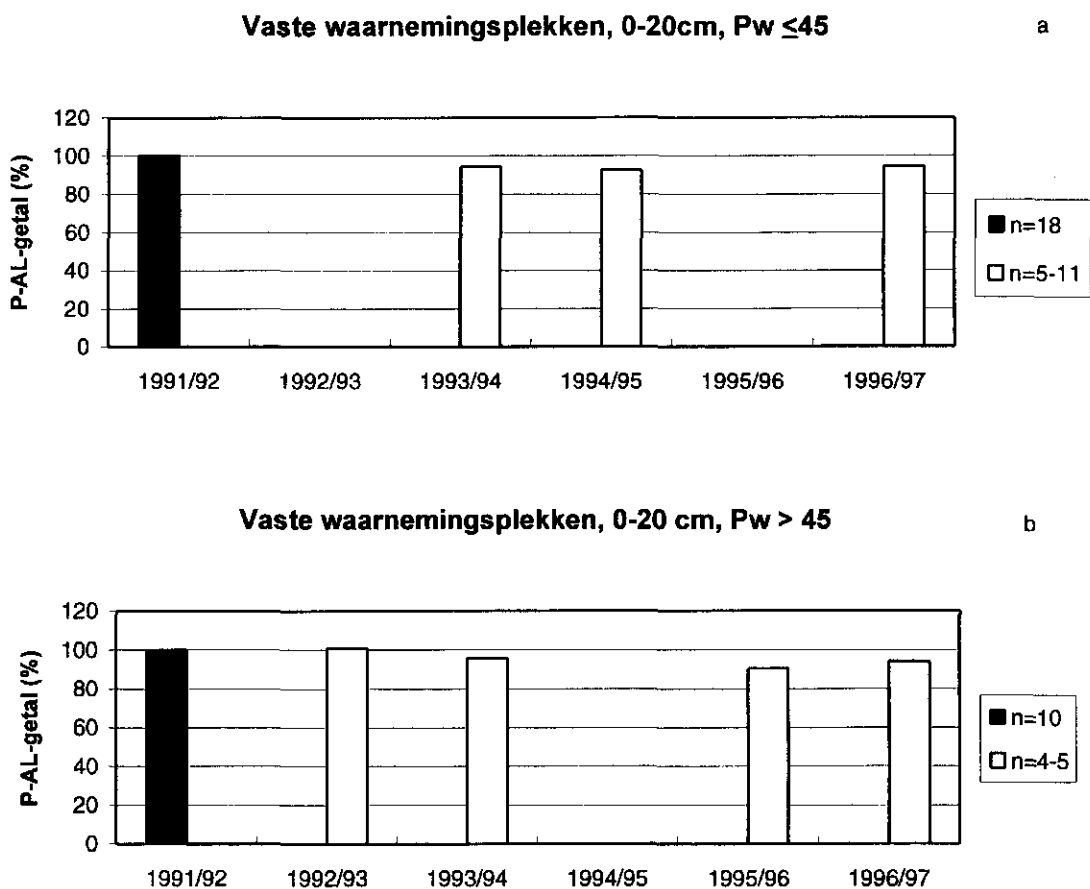
In de Figuren 2.4 en 2.5 zijn de gemiddelde relatieve waardes van het P-AL-getal en van P-totaal ten opzichte van 1991/92 weergegeven, voor de periode 1991/92-1996/97. Hierbij is ook een onderscheid gemaakt in vaste waarnemingsplekken met een Pw-getal ≤ 45 en een Pw-getal > 45 . Voor het Pw-getal waren geen waarnemingen beschikbaar in 1991/92. Het P-AL getal toont voor beide groepen een dalende trend, zoals werd waargenomen op basis van de veranderingen tussen de eerste en laatste meting per plek (Tabel 2.5). Voor P-totaal is deze trend ook aanwezig voor de plekken met een relatief hoge fosfaattoestand (Pw > 45), maar niet voor de plekken met een relatief lage fosfaattoestand (Pw ≤ 45).

Tabel 2.5 De gemiddelde verandering per jaar tussen de eerste en laatste waarneming binnen de periode 1991/92-1996/97 van de vaste waarnemingsplekken weergegeven voor het Pw-getal, het P-AL-getal en P-totaal voor de bodemlagen van 0-20 cm en van 20-40 cm diepte. De vaste waarnemingsplekken zijn tevens ingedeeld in een groep met een Pw-getal ≤ 45 (0-20 cm) bij de eerste meting en een groep met een Pw-getal > 45 .

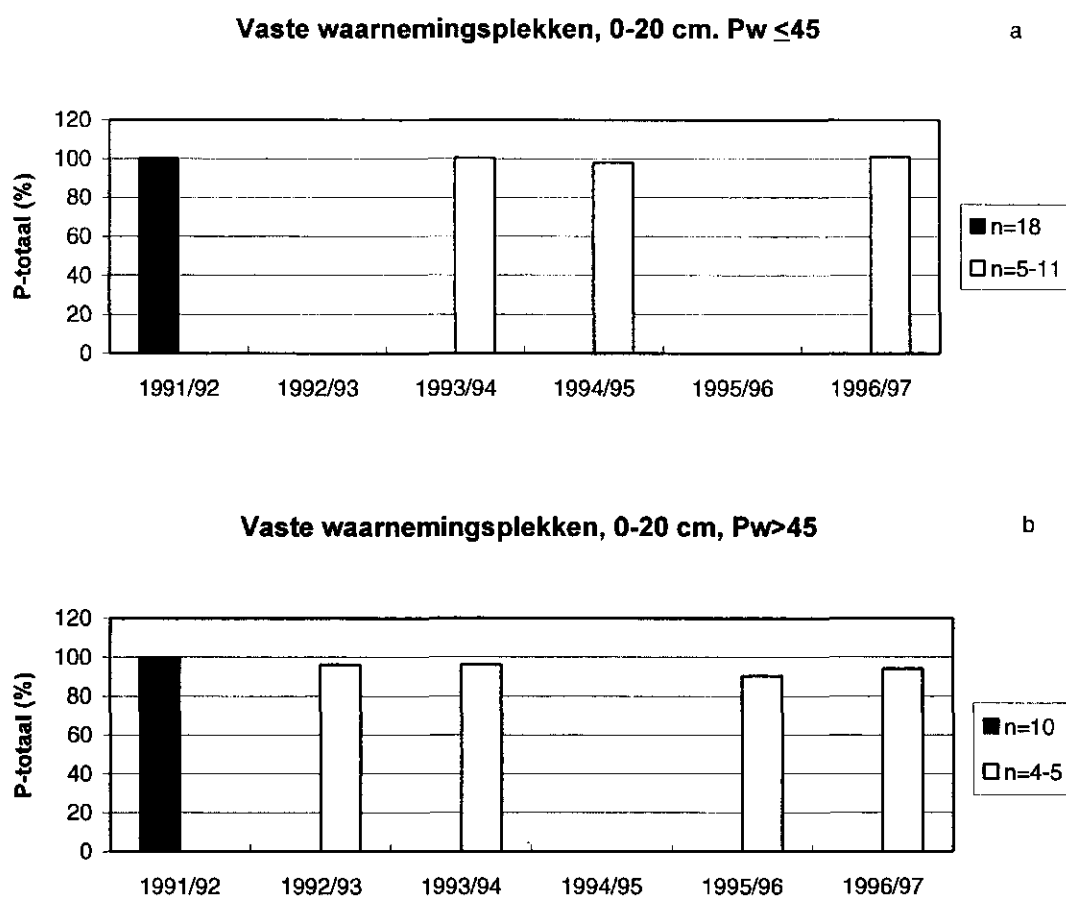
Groep	Bodemlaag	Pw		P-AL		P-totaal	
		eerste meting	verandering per jaar	eerste meting	verandering per jaar	eerste meting	verandering per jaar
Alle plekken	0-20 cm	44,5	-2,2	66,1	-1,3	161,9	-2,0
	20-40 cm	18,8	-1,1	36,8	-0,55	91,6	-0,49
Pw ≤ 45	0-20 cm	26,8	0,00	54,6	-1,1	137,6	-0,62
	20-40 cm	12,9	0,45	30,6	0,33	80,6	1,9
Pw > 45	0-20 cm	80,0	-5,7	89,2	-1,8	210,5	-4,6
	20-40 cm	30,7	-3,6	49,1	-2,3	113,5	-5,2

De trends bij de vaste waarnemingsplekken komen overeen met de waarnemingen op basis van de blokbemonstering (Sectie 2.4): beschikbaar fosfaat en P-totaal in de bodemlaag van 0-20 cm zijn afgenomen, met name bij een hogere fosfaattoestand.

De waarnemingen in de bodemlaag van 20-40 cm diepte tonen ook een (niet significante, $P > 0,01$) afname van de gemiddelde waarden van de fosfaatindicatoren (Tabel 2.5). Deze afname wordt geheel bepaald door de daling van de indicatoren bij een hogere fosfaattoestand (in de bovenste bodemlaag, 0-20 cm) van de plekken. De plekken met een lagere fosfaattoestand tonen een geringe toename (niet significant, $P > 0,01$) in Pw-getal, P-AL-getal en P-totaal.



Figuur 2.4 Het verloop (in percentages ten opzichte van 1991/92) van het gemiddelde P-AL-getal in de bodemlaag van 0-20 cm diepte van de vaste waarnemingsplekken voor de periode 1991/92-'96/97 voor de plekken met een relatief lage fosfaattoestand (Pw-getal \leq 45) (a) en een relatief hoge fosfaattoestand (Pw-getal > 45) (b).



Figuur 2.5 Het verloop (in percentages ten opzichte van 1991/92) van het gemiddelde van P-totaal in de bodemlaag van 0-20 cm diepte van de vaste waarnemingsplekken voor de periode 1991/92-'96/97 voor de plekken met een relatief lage fosfaattoestand (Pw-getal \leq 45) (a) en een relatief hoge fosfaattoestand (Pw-getal > 45) (b).

2.6 Mogelijke oorzaken van de veranderingen in de fosfaattoestand en fosfaatvoorraad in de bouwvoor

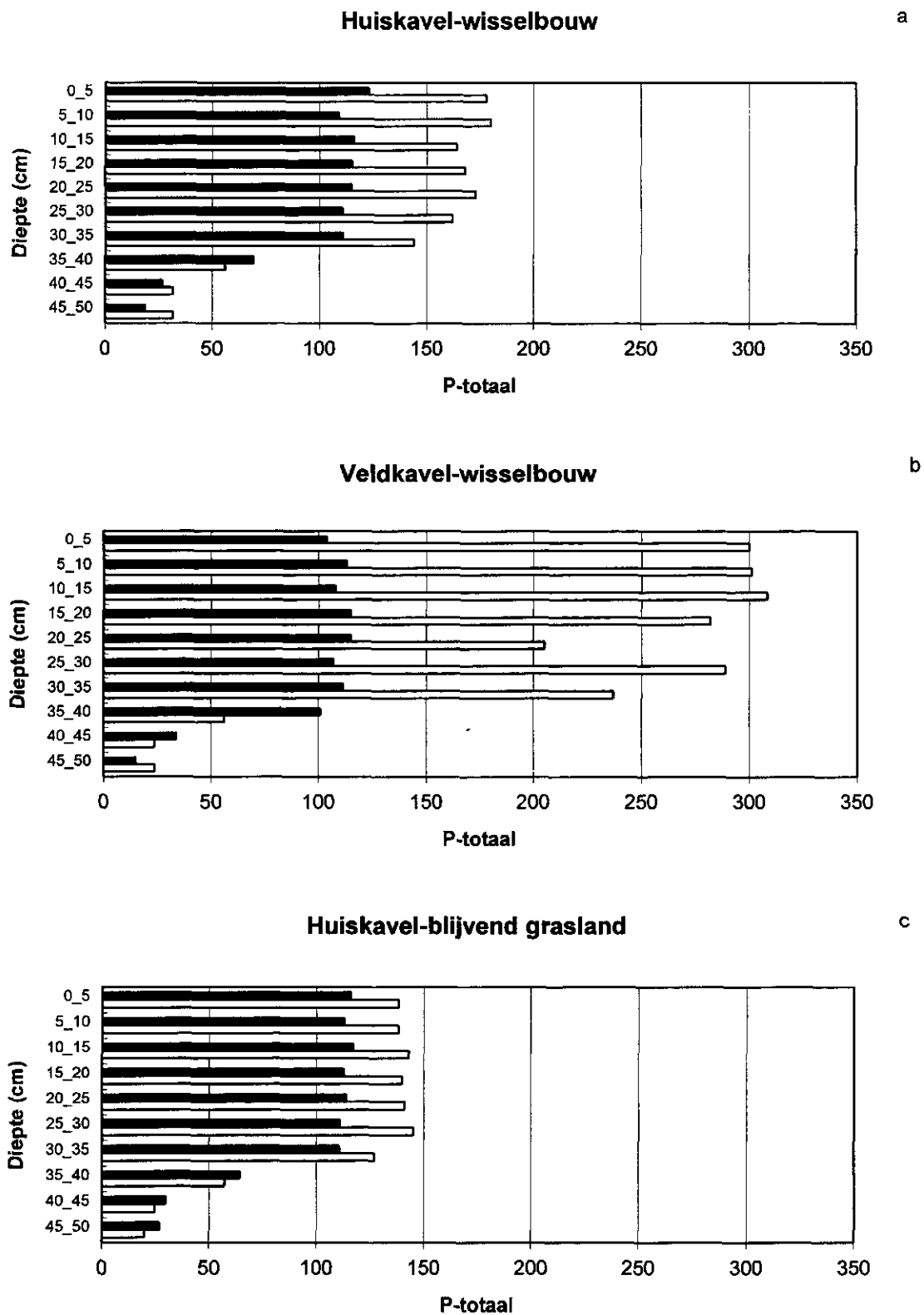
Veranderingen in de fosfaatbodemvoorraad in de bouwvoor (weergegeven met P-totaal in voorgaande paragrafen) kunnen een gevolg zijn van het verschil tussen fosfaataanvoer en -afvoer, van menging van bodemlagen tijdens grondbewerking of door biologische activiteit en/of uitspoeling van fosfaat naar diepere bodemlagen. Veranderingen in de beschikbaarheid van fosfaat voor gewassen (weergegeven met het Pw- en P-AL-getal) kunnen een gevolg zijn van bovengenoemde factoren, maar worden ook beïnvloed door de verdeling van het in de bodem aanwezige fosfaat over een makkelijk oplosbare en een moeilijk oplosbare fractie (Schoumans, 1998). In deze paragraaf wordt met name op de eerste twee genoemde factoren ingegaan (fosfaatoverschot en menging van bodemlagen).

De gemeten fosfaatvoorraad in de bovenste 20 cm van de bouwvoor van de blokken varieert van 112 tot 289 mg P_2O_5 per 100 g grond (Tabel 2.4) en gemiddeld is de verandering -0.6 eenheden per jaar (1989/90-1997/98). Uitgedrukt in $kg\ ha^{-1}$ varieert de gemeten fosfaatvoorraad van 2815 tot 7595 $kg\ ha^{-1}$ en de jaarlijkse verandering in deze voorraad is gemiddeld $-13\ kg\ ha^{-1}$. De fosfaatvoorraad is groot en de jaarlijkse veranderingen zijn relatief klein. Bovendien is de berekening van de hoeveelheid fosfaat, uitgedrukt in $kg\ ha^{-1}$, gevoelig voor aannames betreffende de dichtheid van de bodem (Sectie 2.2). Beide constatering maken dat een fosfaatbodembalans niet nauwkeurig is vast te stellen op basis van de beschikbare data.

Het overwegend positieve fosfaatoverschot van de blokken en percelen, gemiddeld over meerdere jaren (Tabellen 2.1 en 2.2) geeft echter wel aan dat het niet aannemelijk is dat de waargenomen afnames (deels significant en niet significant) van P-totaal, P_w en P-AL binnen de periode 1989/90-1997/98 het gevolg zijn van netto fosfaatafvoer.

De grondbewerkingsdiepte op De Marke is ca. 28 cm en de percelen zijn na aankoop (voor de eerste bemonstering in 1989/90) geploegd. Daarom is ten aanzien van de fosfaatindicatoren een homogene verdeling verondersteld tot minstens 25 cm diepte. Toch worden op een aantal locaties ijzerrijke brokstukken aan de oppervlakte aangetroffen, hetgeen de veronderstelling van een homogene verdeling in twijfel trekt. Om een idee te krijgen van het effect van menging van bodemlagen door grondbewerking op de afname van de fosfaatvoorraad (en de beschikbaarheid van fosfaat) in de bovenste laag van de bouwvoor (0-20 cm) zijn op verschillende plekken op De Marke metingen uitgevoerd naar de verdeling van de fosfaatvoorraad in het bodemprofiel. Daaraan ten grondslag liggen de volgende hypothesen: indien de bodemlaag tot de grondbewerkingsdiepte van circa 28 cm homogeen is, is ook een homogene verdeling van de fosfaatvoorraad te verwachten. Onder die omstandigheden kan de fosfaatvoorraad in de bemonsterde bodemlaag van 0-20 cm alleen veranderen door netto afvoer van fosfaat, door uitspoeling of biologische activiteit. Indien er een gradiënt in de fosfaatvoorraad aanwezig is tot ten minste de grondbewerkingsdiepte, dan is het waarschijnlijk dat menging van de bodemlagen door grondbewerking mede een rol speelt bij afname van de fosfaatvoorraad (en de beschikbaarheid van fosfaat) in de bovenste 20 cm van de bouwvoor.

De fosfaatprofielmetingen zijn uitgevoerd op twee percelen blijvend grasland, twee percelen met wisselbouw op de huiskavel en twee percelen met wisselbouw op de veldkavel (Figuur 2.6). Vrijwel alle profielen binnen de percelen van De Marke tonen een vrij homogene verdeling van P-totaal tot circa 30 cm diepte. Vanaf 35 cm diepte zijn de waarden van P-totaal voor de meeste profielen duidelijk lager dan binnen de bovenste 30 cm. Opvallend is de lagere waarde van P-totaal in de laag van 20-25 cm diepte gemeten op de vaste waarnemingsplek binnen perceel 1 (veldkavel-wisselbouw, veldkavel tot 1-1-'96). Dergelijke 'afwijkingen' doen zich niet voor binnen de andere profielen. In grote lijn geven deze profielen de indruk dat de bouwvoor homogeen is tot ca. 30 cm. Menging van bodemlagen door grondbewerking als belangrijke oorzaak voor de daling van de fosfaatvoorraad en fosfaattoestand in de bovenste bodemlaag (0-20 cm) ligt niet voor de hand. Toch kan enige menging (in het verleden en heden) niet uitgesloten worden op basis van dit geringe aantal metingen en vanwege het eerder genoemde feit dat lokaal ijzerrijke brokken aan de oppervlakte worden aangetroffen.



Figuur 2.6 P-totaal-profiel ($\text{mg P}_2\text{O}_5$ per 100 g grond) gemeten binnen percelen van De Marke met wisselbouw (a en b) en met blijvend grasland (c) met per categorie een locatie op het relatief droge zuidelijke deel van het bedrijf (zwart) en het relatief vochtige noordelijke deel (wit).

Activiteit van bodemorganismen zoals bv. wormen hebben naar verwachting een te verwaarlozen verplaatsing van fosfaat naar diepere/ondiepere bodemlagen tot gevolg (pers. mededeling P.A.I. Ehlert, 1998).

Op basis van bovenstaande kan verondersteld worden dat netto afvoer van fosfaat van de percelen, menging van bodemlagen door grondbewerking of biologische activiteit geen of een beperkte invloed hebben gehad op de fosfaattoestand en -voorraad in de bodemlaag van 0-25 cm diepte. Schoumans (1998) gaat verder in op de waargenomen veranderingen van Pw-getal en P-AL-getal en de te verwachten beschikbaarheid van fosfaat op langere termijn.

2.7 Conclusies

In de voorgaande secties zijn gegevens gepresenteerd van De Marke met betrekking tot gerealiseerde fosfaatbalansen en het verloop van de fosfaatbodemvruchtbaarheid binnen de periode 1989/90-1997/98. Daarbij is aandacht besteed aan de volgende vragen:

- Welke fosfaatbalansen op perceelsniveau zijn gerealiseerd met de bemestingsstrategie van De Marke?
- Hoe is het verloop van Pw-getal, P-AL-getal en P-totaal in de bovenste laag van de bouwvoor (0-20 cm) en in de bodemlaag van 20-40 cm diepte?
- Is er voor de fosfaatindicatoren een evenwicht bereikt of is een verdergaande daling of stijging te verwachten?
- Verandert de fosfaatvoorraad in de bouwvoor (0-20 cm diepte) en waar wordt dat mogelijk door bepaald?

Het gerealiseerde fosfaatoverschot van de percelen en 51 blokken (ca. 1 ha groot) die vanaf 1989/90 deel uitmaken van De Marke is gemiddeld 5 kg ha^{-1} voor de periode 1990-'96. Daarmee is op perceels- en blokniveau de bedrijfsdoelstelling nog niet volledig bereikt. Het gemiddelde overschot over ruim 6 jaar is iets hoger dan $1 \text{ kg fosfaat ha}^{-1}$ en zou negatief moeten zijn, aangezien de gemiddelde fosfaattoestand van de percelen hoger is dan 'voldoende' (Biewinga *et al.*, 1992, 1996).

Sinds 1994 is de bemestingsstrategie mede gericht op nivellering van de fosfaattoestand van de percelen. Dit weerspiegelt zich in een gemiddeld hoger fosfaatoverschot van de blokken met een relatief lage fosfaattoestand ($Pw \leq 45$) dan de blokken met een relatief hogere fosfaattoestand ($Pw > 45$), met name vanaf 1994 (1994-'96: $9\text{-}14 \text{ kg ha}^{-1}$ ten opzichte van $-3\text{-}7 \text{ kg ha}^{-1}$; 1990-'96: $7\text{-}9 \text{ kg ha}^{-1}$ ten opzichte van $0\text{-}3 \text{ kg ha}^{-1}$).

De gemiddelde Pw- en P-AL-getallen zijn gedurende de eerste zes jaar afgenomen (1989/90-1995/96) en de laatste twee jaar niet veranderd (1996/97-1997/98). De afname van P-totaal (1989/90-1997/98) is relatief gering.

De afname van het Pw-getal, het P-AL-getal en van P-totaal heeft zich vooral voorgedaan bij blokken met een relatief hoge uitgangstoestand van de fosfaattoestand ($Pw\text{-getal} > 45$). Bij een relatief lage uitgangstoestand van de bouwvoor ($Pw\text{-getal} \leq 45$) waren de veranderingen relatief gering, met als gevolg een trend tot nivellering van de fosfaattoestand. Daardoor is het bedrijfsoppervlak met een fosfaattoestand 'voldoende' (op basis van het Pw-getal) en 'ruim vol-

doende' (op basis van het P-AL-getal) toegenomen en het bedrijfsoppervlak met een fosfaat-toestand 'hoog' afgenomen over de periode 1989/90-1997/98.

De bodemlaag van 20-40 cm diepte vertoont in grote lijn dezelfde trend als de bovenste 20 cm van de bouwvoor (0-28 cm diepte): een afname (niet significant) van het Pw-getal, het P-AL-getal en van P-totaal met name bij een hogere uitgangstoestand van de bouwvoor (Pw-getal > 45).

Een indicatie is gegeven van de op langere termijn te verwachten fosfaattoestand en -voorraad van de blokken en percelen van De Marke bij voortzetting van de huidige bemestingsstrategie en verdergaande daling en nivellering van de verschillen, namelijk een waarde van 15-26 voor het Pw-getal (waardering: 'laag-voldoende'), een waarde van 22-38 voor het P-AL-getal (waardering: 'vrij laag-voldoende') en een waarde van 125-150 voor P-totaal. Een verdergaande trend tot nivellering is aannemelijk voor het Pw-getal en P-AL-getal, maar de afgelopen twee jaar is de gemiddelde fosfaattoestand niet verder gedaald. Op basis van de veranderingen in P-totaal per Pw-klasse gedurende de afgelopen drie jaar is niet aan te geven of de aanvankelijke nivellering van P-totaal zich voorziet. Een duidelijke trend tot afname van de waarde van P-totaal is evenmin aanwezig. De veranderingen van het Pw-getal, het P-AL-getal en van P-totaal per Pw-klasse tonen niet een trend tot verdergaande daling én nivellering van de fosfaattoestand en -voorraad en bevestigen dus niet een trend tot verandering in de richting van de aangegeven (indicatieve) waarden op langere termijn.

Verondersteld kan worden dat netto afvoer van fosfaat van de percelen, of menging van bodemlagen door grondbewerking of biologische activiteit geen of een beperkte invloed hebben gehad op de fosfaattoestand en -voorraad in de bovenste bodemlaag van de bouwvoor (0-20 cm).

3 **Gevolgen van lagere fosfaatverliesnormen voor het verloop van de fosfaattoestand van de bouwvoor en de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor**

O.F. Schoumans (SC-DLO, Wageningen)

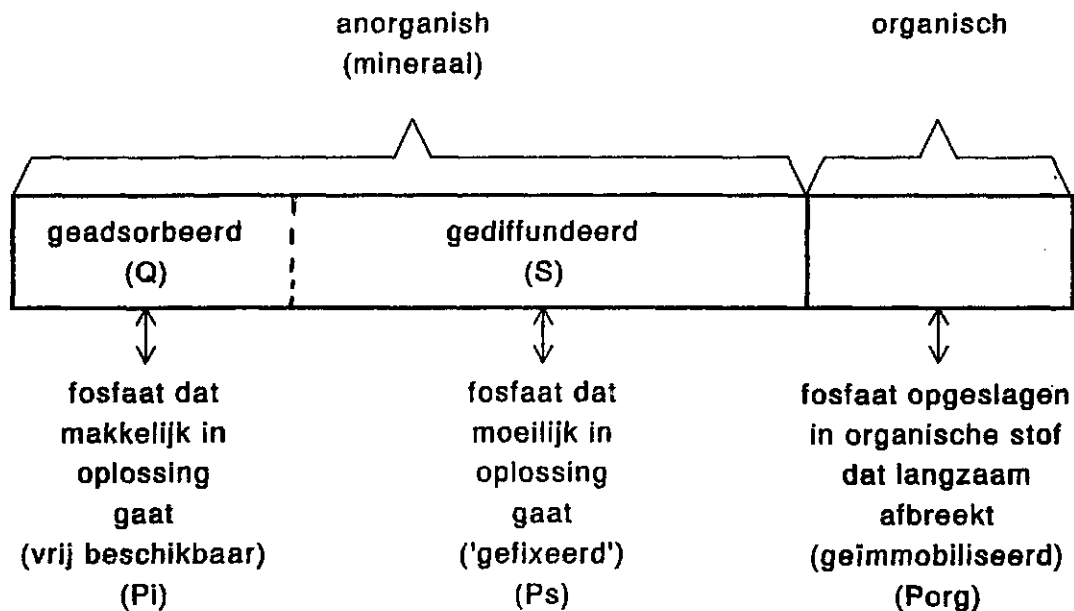
3.1 **Inleiding**

De fosfaattoestand van de meeste landbouwgronden in Nederland is ruim voldoende tot (zeer) hoog (Oenema en Van Dijk, 1994), waardoor ook de landbouw duidelijk bijdraagt aan de fosfaatbelasting van het grond- en oppervlaktewater (Boers *et al.*, 1997). Om de nutriëntenverliezen naar het milieu te minimaliseren, dient de fosfaatgift op perceelsniveau beter afgestemd te worden op de fosfaatafvoer van het perceel. Helaas zal de P-aanvoer nooit helemaal gelijk kunnen zijn aan de P-afvoer omdat er altijd sprake zal zijn van P-verliezen in de bodem. Met betrekking tot de P-verliezen wordt er onderscheid gemaakt in landbouwkundige en milieukundige verliezen. Onder landbouwkundige verliezen wordt verstaan de ophoping van fosfaat in organische stof ('netto-immobilisatie', zijnde de ophoping van organisch P) tezamen met sterke vastlegging van fosfaat aan bodemdeeltjes ('fosfaatfixatie', zijnde de ophoping van anorganisch P). Onder milieukundige verliezen wordt verstaan de uit- en afspoeling van fosfaat uit de bouwvoor naar grond- en oppervlaktewater. De grootte van de totale verliezen hangt van een groot aantal factoren af, en wel met name van de fosfaattoestand van de bodem (Ehlert *et al.*, 1996). Doel van dit artikel is om inzicht te verschaffen in het verloop van de bodemvruchtbaarheids-toestand van de bodem bij lagere fosfaatverliesnormen, zoals deze op proefbedrijf De Marke worden aangehouden, en welke milieuwinst hierdoor verkregen wordt.

3.2 **Voorkomen en gedrag van P in de bodem**

De fosfaatvoorraad in de bouwvoor (20 cm) varieert veelal tussen de 2.000 en 10.000 kg P₂O₅ ha⁻¹ (bij resp. fosfaattoestand voldoende en hoog). Hiervan is slechts een beperkt deel (5 à 15%) in organische stof opgeslagen. Het overgrote deel is mineraal fosfaat (85 à 95%) dat aan bodemdeeltjes is gebonden. In kalkloze zand-, klei- en veengronden wordt deze binding veroorzaakt door de aanwezigheid van aluminium- en ijzer(hydr)oxiden/verbindingen die fosfaten sterk kunnen vastleggen. Van het op deze wijze vastgelegde mineraal fosfaat komt slechts een beperkt gedeelte weer makkelijk in oplossing (20 à 35%). Deze fractie makkelijk oplosbaar mineraal fosfaat beïnvloedt in sterke mate zowel de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas als de kans op fosfaatuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater en wordt in de literatuur aangeduid als de fractie mineraal fosfaat die aan bodemdeeltjes is 'geadsorbeerd' (Q). De fractie mineraal fosfaat die moeilijk in oplossing komt, wordt in de bodem 'gediffundeerd' fosfaat

genoemd (S). Figuur 3.1 geeft op schematische wijze een overzicht van de genoemde fosfaatfracties die in de bodem voorkomen.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de fosfaatopbouw in de bodem.

3.3 Fosfaatparameters

Zowel voor bodembeschermings-, uitspoelings- als bodemvruchtbaarheidsvraagstukken wordt de fosfaattoestand van de bodem geëvalueerd; hiervoor worden echter telkens andere begrippen en meetmethoden gehanteerd.

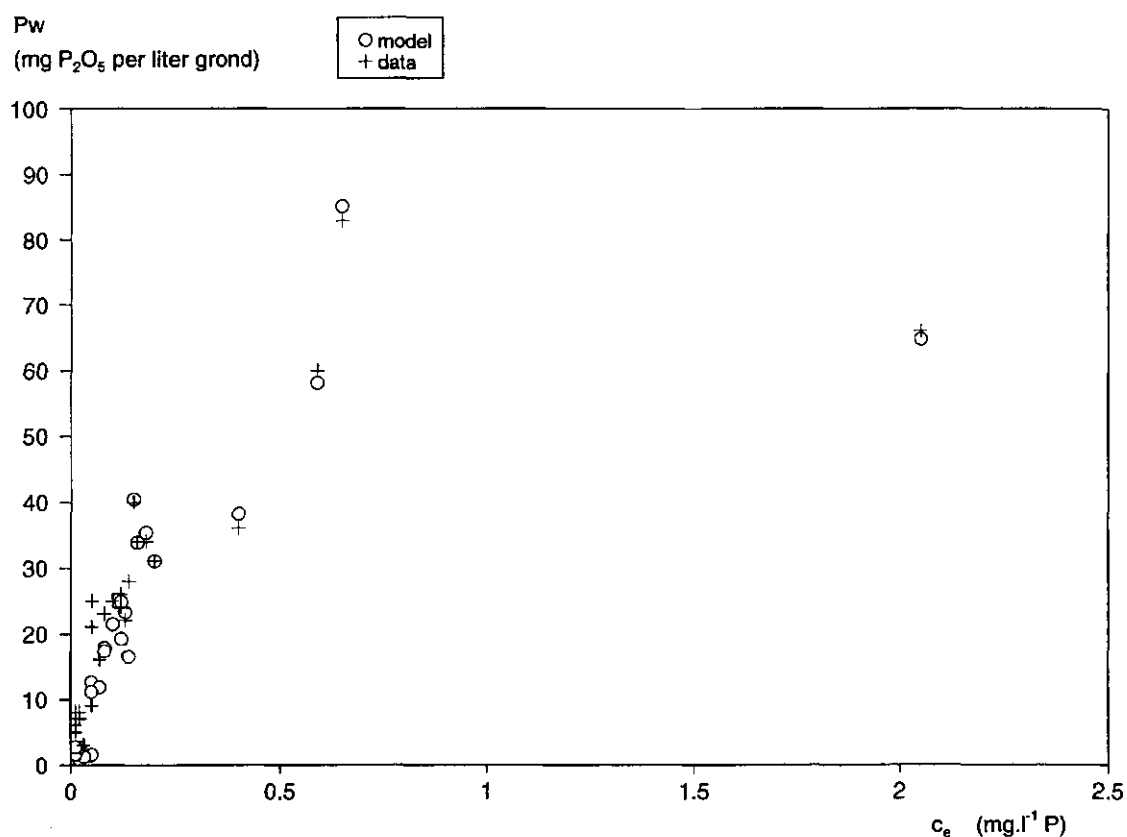
Zo is in de wet Bodembescherming vastgelegd dat een te sterke fosfaatopbouw in de bodem voorkomen moet worden. Om deze reden is het begrip fosfaatverzadigingsgraad geïntroduceerd. Hierbij wordt de totale minerale fosfaatopbouw ($Q + S$) gerelateerd aan de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden (namelijk het gehalte aan actieve aluminium- en ijzeroxiden). De diepte die hierbij wordt aangehouden is de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG), omdat voorkomen moet worden dat reeds bij ondiepe waterafvoer verhoogde fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater worden aangetroffen. Zowel de totale hoeveelheid in de bodem aanwezig mineraal fosfaat als de reactieve aluminium- en ijzerverbindingen, kunnen met een oxalaatazijnzuur-oplossing worden geëxtraheerd en worden resp. aangeduid met P_{ox} , Al_{ox} en Fe_{ox} .

Met betrekking tot oppervlaktewaterkwaliteitsvraagstukken speelt alleen de fractie fosfaat in de bodem een rol die makkelijk kan uitspoelen (Q). Deze fractie fosfaat wordt bepaald met behulp van 'ijzerpapiertjes' en wordt aangeduid met P_i of P_{iron} (Sissingh, 1983; Menon *et al.*, 1990).

Ook voor de bepaling van de bodemvruchtbaarheidstoestand wordt fosfaat uit de bodem geëxtraheerd. Het voor bouwland gebruikte Pw-getal is gebaseerd op een water-extractie. Over het algemeen wordt hierbij slechts een deel van het makkelijk beschikbare minerale fosfaat (P_i) vrijgemaakt. Voor grasland wordt P-AL gehanteerd. Deze is gebaseerd op een Ammonium-Lactaat-azijnzuur oplossing, waarbij al het makkelijk beschikbare fosfaat wordt vrijgemaakt (P_i) tezamen met een deel van het fosfaat dat als slecht beschikbaar mineraal fosfaat wordt beschouwd (P_s) (Schoumans *et al.*, 1992).

3.4 Relatie tussen bodemvruchtbaarheids- en milieuparameters

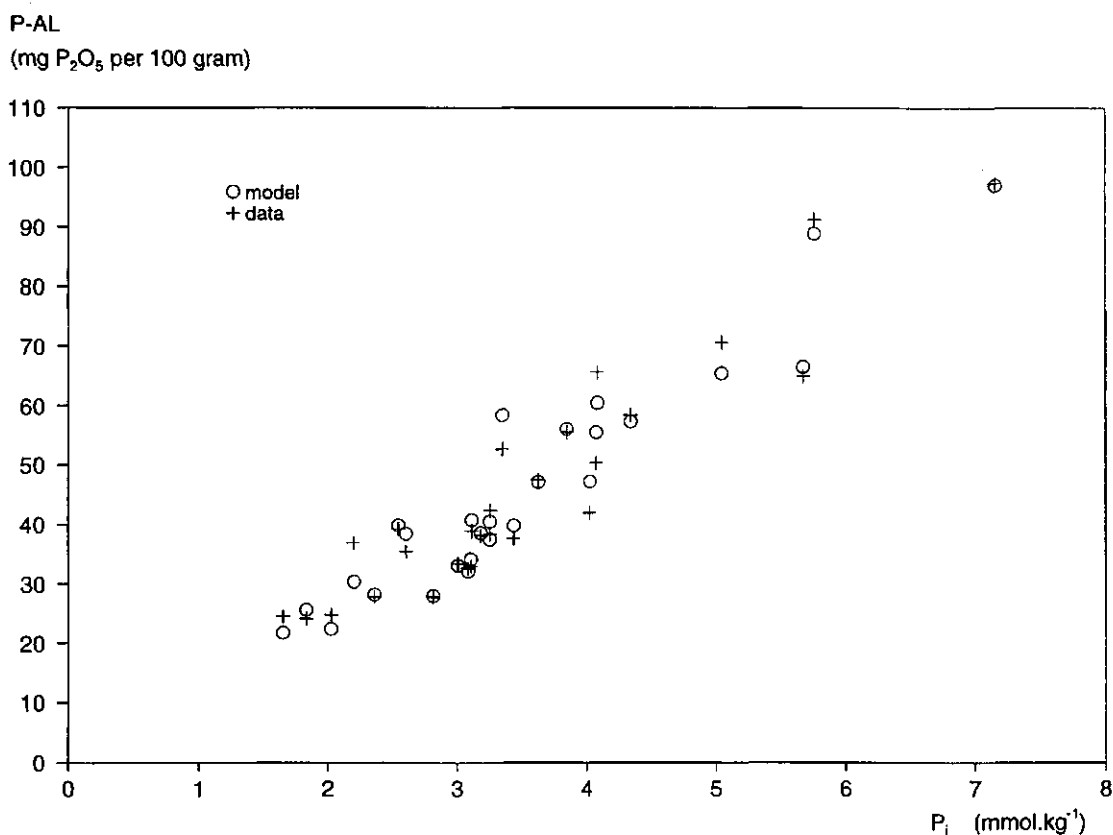
De relatie tussen het Pw-getal en de kans op fosfaatuitspoeling is op basis van het gedrag van fosfaat in de bodem theoretisch onderbouwd en beschreven (Schoumans, 1997). Uit de beschrijving blijkt dat het Pw-getal voor een belangrijk deel bepaald wordt door de totale hoeveelheid makkelijk beschikbaar mineraal fosfaat (P_i) en de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden (Al_{ox} , Fe_{ox}). Figuur 3.2 toont de relatie tussen enerzijds berekende en gemeten Pw-getallen en anderzijds de bijbehorende minerale fosfaatconcentratie in het bodemvocht, zijnde de concentratie die met het netto neerslagoverschot uitspoelt.



Figuur 3.2 Gemeten (+) en voorspeld (o) Pw-getal als functie van de fosfaatconcentratie in het bodemvocht (C_e).

Het verband is over het algemeen goed, alleen bij de lage fosfaattoestanden wordt een lager Pw-getal berekend (o) dan wordt gemeten (+). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat bij dergelijke lage fosfaattoestanden ook een deel van het moeilijker beschikbare fosfaat wordt vrijgemaakt tijdens de Pw-bepaling.

De relatie tussen het P-AL-getal en de milieuparameters is slechts in beperkte mate theoretisch te onderbouwen en wordt momenteel met behulp van een regressie-vergelijking beschreven (Schoomans, 1997). Uit deze studie blijkt dat de grootte van het P-AL-getal afhangt van de hoeveelheid makkelijk en slecht oplosbaar mineraal fosfaat (resp. P_1 en P_2) en de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden (Al_{ox} , Fe_{ox}). Figuur 3.3 toont berekende en gemeten P-AL-getallen als functie van de totale hoeveelheid makkelijk oplosbaar mineraal fosfaat (P_1). Hieruit blijkt dat ook deze onderlinge relatie redelijk is.



Figuur 3.3 Gemeten (+) en voorspeld (o) P-AL-getal als functie van de hoeveelheid fosfaat dat makkelijk vrij kan komen (P_1 ; geadsorbeerd fosfaat).

Aangezien de totale hoeveelheid makkelijk oplosbaar fosfaat (P_1) tevens gerelateerd is aan de fosfaatconcentratie die in het bodemvocht van de bouwvoor ontstaat, en welke met het neerslagoverschot uitspoelt, kan deze relatie ook gebruikt worden om het verloop in fosfaattoestand te relateren aan het verloop van de fosfaatuitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater.

3.5 Relatie tussen P-overschot, P-toestand en P-uitspoeling

In algemene zin kan het P-overschot berekend worden uit het verschil tussen de P-aanvoer en de P-afvoer ofwel:

$$P_{\text{overschot}} = P_{\text{aanvoer}} - P_{\text{afvoer}} = P_{\text{overschot}} \quad (1)$$

Zowel een positief als negatief fosfaatoverschot leidt ertoe dat de fosfaattoestand van de bouwvoor zich wijzigt. Bij een positief fosfaatoverschot treedt aanrijking met fosfaten op. Een deel van deze aanrijking zal vastgelegd worden in de bodem (P_{inbouw} , bijv. in organische stof (P_{org}) of als mineraal fosfaat (P_{min})), terwijl het restant zal uit(/af)spoelen (P_{uitsp}):

$$\Delta P_{\text{overschot}} = P_{\text{inbouw}} + P_{\text{uitsp}} \quad (2)$$

ofwel,

$$\Delta P_{\text{overschot}} = \Delta P_{\text{org}} + \Delta P_{\text{min}} + P_{\text{uitsp}} \quad (3)$$

Bij toename van de hoeveelheid mineraal fosfaat in de bodem zal in de meeste gevallen ook de bodemvruchtbaarheidstoestand (Pw- of P-AL-getal) toenemen. De mate waarin de bodemvruchtbaarheidstoestand van de bodem zal toenemen, hangt af van de verdeling van de extra hoeveelheid mineraal fosfaat over de fracties makkelijk beschikbaar fosfaat (P_i) en slecht beschikbaar fosfaat (P_s).

$$\Delta P_{\text{overschot}} = \Delta P_{\text{org}} + \Delta P_i + \Delta P_s + P_{\text{uitsp}} \quad (4)$$

Omdat het Pw-getal afhankelijk is van de P_i -waarde en het P-AL-getal van zowel P_i als P_s kan ook aangegeven worden in welke mate de Pw- en P-AL-getallen zich zullen wijzigen, indien de minerale fracties in de bodem veranderen als gevolg van een positief of negatief P-overschot.

Aangezien verder de fosfaatuitspoeling (P_{uitsp}) zowel in minerale vorm als in organische vorm plaatsvindt, wordt het totale fosfaatoverschot uiteindelijk in de bodem verdeeld over de volgende fosfaatfracties:

$$\Delta P_{\text{overschot}} = \Delta P_{\text{org}} + \Delta P_i + \Delta P_s + P_{\text{uitsp,min}} + P_{\text{uitsp,org}} \quad (5)$$

Helaas zijn momenteel geen complete datasets beschikbaar, waaruit blijkt hoe de fosfaatoverschotten in de bodem verdeeld worden over deze verschillende fosfaat-fracties (vgl. 5). Met name bestaat er grote onzekerheid omtrent de ophoping in organische stof (ΔP_{org}) en de toename van de fractie slecht oplosbaar mineraal fosfaat (ΔP_s). Ter verdere onderbouwing van de fosfaatverliesnormen wordt thans hierover informatie verzameld (PR, NMI, AB-DLO en SC-DLO).

De minerale fosfaatuitspoeling wordt sterk bepaald door de grootte van de fractie makkelijk oplosbaar fosfaat (P_i) (Van der Zee, 1988). De grootte van de organische-P-uitspoeling blijkt in de praktijk sterk te variëren. Gerritse (1981) geeft aan dat van de toegediende organische fosfaten in dierlijke mest slechts enkele procenten mobiel zijn (ruwweg 1 à 2%). Bij een dierlijke mestgift van $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ komt dit overeen met een organische-P-uitspoeling van ca. 1 à 2 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$. Bij een gemiddeld netto neerslag-overschot van 300 mm per jaar hoort hierbij een gemiddelde organische-P-concentratie van 0,15 à 0,30 mg P l^{-1} . Chardon *et al.* (1997) vinden in kolom- en lysimeterproeven dat resp. 90 en 70% van de totale P-uitspoeling in organische vorm plaatsvindt ($0,1 < t\text{-P} < 0,5 \text{ mg P l}^{-1}$). In deze proeven liepen de mestgiftten op tot 700 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar. Uit deze gegevens blijkt dat bij zeer hoge mestgiftten de bijdrage van de organische-P-uitspoeling beperkt zal zijn tot maximaal enkele $\text{kg P ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$. Onder veldomstandigheden varieert de organische-P-uitspoeling zeer sterk (20 tot 80%; bij $0,5 < t\text{-P} < 3 \text{ mg P l}^{-1}$; deels ongepubliceerde gegevens; Schoumans en Kruijne, 1995). Vooralsnog wordt aangenomen dat van de totale fosfaatuitspoeling (t-P) 50% in organische vorm plaatsvindt (org-P) en 50% in anorganische vorm (ortho-P).

De voorspelling van de verandering in het Pw-getal en het P-AL-getal hangt in sterke mate af van met name de toe- of afname van de hoeveelheid makkelijk oplosbaar fosfaat (P_i ; Schoumans, 1997; zie ook Figuur 3). De verandering van P_i kan uit vergelijking (5) berekend worden, indien de andere fosfaattermen gemeten zijn dan wel goed geschat kunnen worden:

$$\Delta P_i = \Delta P_{\text{overschot}} - \Delta P_{\text{org}} - \Delta P_s - P_{\text{uitsp,min}} - P_{\text{uitsp,org}} \quad (6)$$

De hoeveelheid fosfaat die zich op jaarbasis in de bodem ophoopt, als gevolg van netto-immobilisatie (ΔP_{org}) en sterke fixatie (ΔP_s), wordt beschouwd als het landbouwkundig fosfaatverlies (P_{lv}). De totale hoeveelheid fosfaat die op jaarbasis uitspoelt, zowel mineraal ($P_{\text{uitsp,min}}$) als organisch ($P_{\text{uitsp,org}}$), wordt beschouwd als het milieukundig fosfaatverlies (P_{mv}). Kortom, de verandering van de hoeveelheid fosfaat in de bodem die makkelijk vrij kan komen, en direct een maat is voor de verandering van het Pw- en P-AL-getal en de kans op fosfaatuitspoeling, kan eenvoudig uit (5) afgeleid worden:

$$\Delta P_i = \Delta P_{\text{overschot}} - \Delta P_{\text{lv}} - \Delta P_{\text{mv}} \quad (7)$$

3.6 Berekeningen

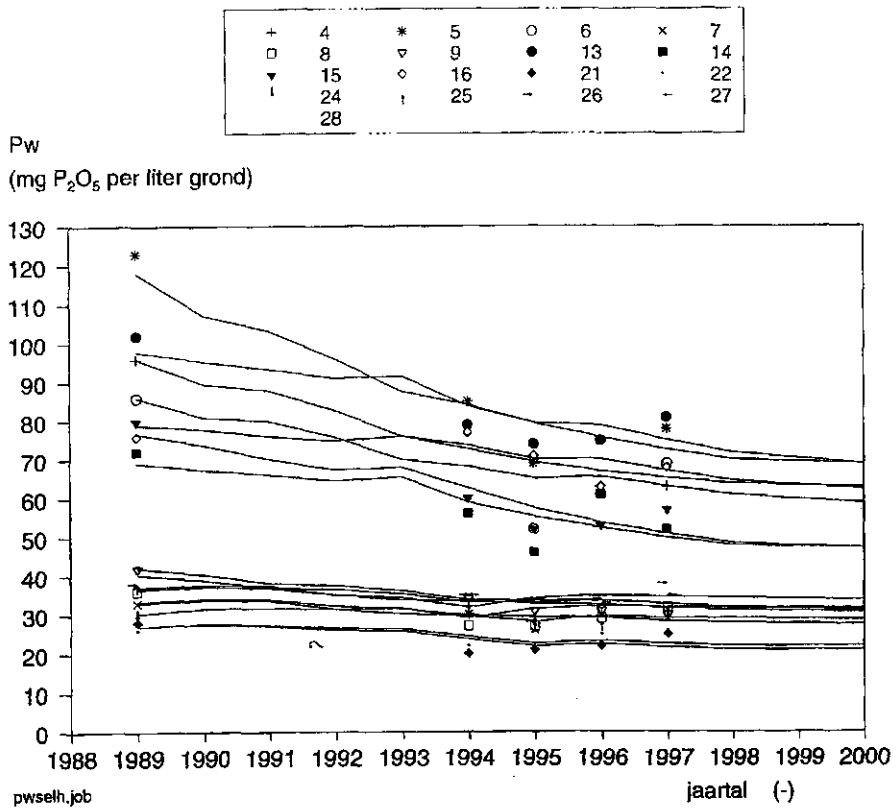
Op het proefbedrijf De Marke wordt van een groot aantal percelen (ingedeeld in blokken) het verloop van de bodemvruchtbaarheidstoestand gemeten bij een relatief laag fosfaatoverschot op bedrijfsniveau (ca. $2 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$; Habekotté *et al.*, 1998). Totaal worden 51 blokken onderscheiden van ca. 1 ha groot die vanaf 1989 deel hebben uitgemaakt van het bedrijfsoppervlak. Bij de verwerking van de analyseresultaten zijn een aantal blokken geselecteerd waar sprake is van permanent grasland of wisselbouw (periode '90-'96).

Op De Marke varieerde de initiële fosfaattoestand van de percelen (1989) van voldoende tot hoog, hetgeen heeft geleid tot een aangepast bemestingsregime van de percelen (Habekotté *et al.*, 1998). In de periode '90-'96 is van de blokken het verloop van een aantal belangrijke bodemvruchtbaarheidsparameters bepaald o.a. Pw, P-AL, Ptotaal, pH, K-HCl, organische stof en N-totaal. Om het verloop van het Pw- en P-AL-getal op langere termijn te kunnen voorspellen, ontbreekt echter een aantal cruciale gegevens zoals Al_{ox} - en Fe_{ox} -gehalte en initiële P_{ox} - en P_i -gehalten. In het voorjaar van 1994 zijn op een beperkt aantal plekken ($n = 9$) wel deze parameters bepaald (Schoumans, 1995). Het gemeten traject in $(Al + Fe)_{ox}$ -gehalte is als basis gebruikt om een reëel $(Al + Fe)_{ox}$ -gehalte van de afzonderlijke blokken te schatten. Voor het P_{ox} - en P_i -gehalte is dit niet zinvol omdat deze betrouwbaarder uit de initiële waarde van Pw en P-AL van de blokken geschat kunnen worden. Daarnaast is van de blokken niet bekend hoeveel fosfaat is omgezet in vormen die bij de analyse van Pw en P-AL niet worden gemeten. Het betreft hier de ophoping in organische stof (ΔP_{org}) en in slecht beschikbare fosfaatvormen (ΔP_s). Deze omzettingen kunnen gekarakteriseerd worden als het landbouwkundig fosfaatverlies. Omtrent de omvang van dit verlies bestaat veel onzekerheid.

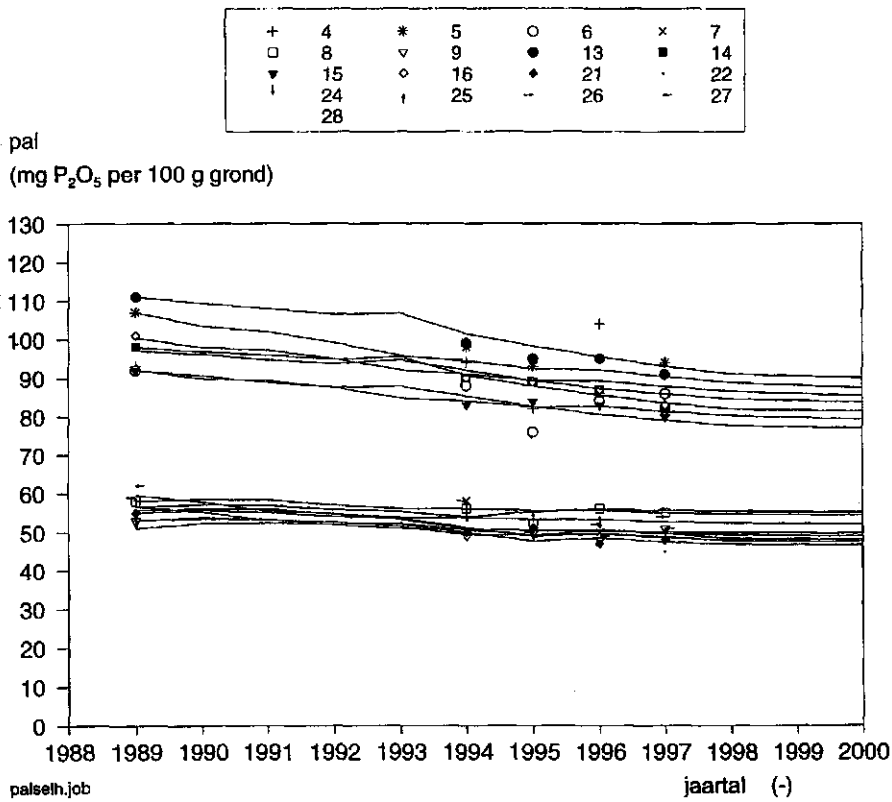
Om toch het verloop van het Pw- en P-AL-getal op lange termijn te kunnen voorspellen, zijn de waarden van ontbrekende en onzekere parameters berekend (via optimalisatie) uit het gemeten en berekende verloop van Pw- en P-AL in de periode '90-'97 (calibratie van ontbrekende en onzekere parameters zoals: waarde van het landbouwkundig P-verlies, Al- en Fe-gehalten liggend in het traject van mogelijke Al- en Fe-gehalten die op een aantal plaatsen op De Marke zijn waargenomen). Opgemerkt wordt dat het fosfaatoverschot van de afzonderlijke blokken voor het jaar '97 gelijk gesteld is aan het gemiddelde van het betreffende blok over de periode '93-'96. Dit omdat voor 1997 de fosfaatoverschotgegevens nog niet beschikbaar waren, terwijl wel de bodemvruchtbaarheidsparameters bekend waren. Het gemiddelde van de periode '93-'96 is gekozen omdat dit een redelijk beeld geeft van het verwachte overschot in 1997 voor de verschillende blokken.

In Bijlage 3.1 is voor de graslandblokken het gemeten en geschatte verloop in Pw- en P-AL-getal weergegeven (resp. a en b). Aangezien op De Marke het wisselbouwsysteem centraal staat, zijn de resultaten van deze calibratie meer centraal gesteld (Figuur 3.4a en 3.4b). Tabel 3.1 geeft een overzicht van gemeten en berekende parameters van de blokken die doorgerekend zijn.

(a)



(b)



Figuur 3.4 Gemeten (symbolen) en voorspeld (lijnen) Pw- (a) en P-AL-verloop (b) bij wisselteelt (rangnummer van de blokken is als legenda gehanteerd).

Tabel 3.1 Initiële fosfaattoestand, gemiddelde fosfaatoverschot (periode '90-'96) en berekend gemiddeld landbouwkundig fosfaatverlies van een aantal blokken waar sprake is geweest van permanent grasland of wisselbouw.

Rangn°	Blok	Perceel	Pw (mg P ₂ O ₅ per liter)	P-AL (mg P ₂ O ₅ per 100 g)	P _{over}	P _{iv} ¹⁾ (kg P ha ⁻¹)	
						P _{iv} ¹⁾	P _{iv} ²⁾
Grasland (permanent)							
19	20	9	32	55	-0,8	9,0	9,8
20	21	9	30	52	-0,8	4,0	4,8
31	39	15	37	64	1,1	-1,0	-2,1
32	40	15	37	70	1,1	3,0	1,9
33	41	15	57	95	1,1	10,0	8,9
38	46	17_2	74	99	-2,7	10,0	12,7
39	47	17_2	34	56	-2,7	1,0	3,7
40	48	17_2	26	50	-2,7	1,0	3,7
Wisselbouw (huiskavels; afwisselend 3 jaar maïs en 3 jaar gras)							
4	4	3	96	93	3,0	9,0	6,0
5	5	3	123	107	3,0	10,0	7,0
6	6	3	86	92	3,0	8,0	5,0
7	7	4	33	58	8,9	10,0	1,1
8	8	4	36	58	8,9	10,0	1,1
9	9	4	42	53	8,9	10,0	1,1
13	13	6	102	111	-1,7	10,0	11,7
14	14	6	72	98	-1,7	9,0	10,7
15	15	7	80	92	-0,3	9,0	9,3
16	16	7	76	101	-0,3	6,0	6,3
21	22	10	28	55	5,2	10,0	4,8
22	23	10	26	53	5,2	9,0	3,8
24	25	10	29	51	5,2	4,0	-1,2
25	26	11	38	59	11,3	10,0	-1,3
26	27	11	38	59	11,3	10,0	-1,3
27	28	12	42	62	1,8	10,0	8,2
28	29	12	42	59	1,8	8,0	6,2

1) Berekend landbouwkundig verlies bij gehanteerd P overschot

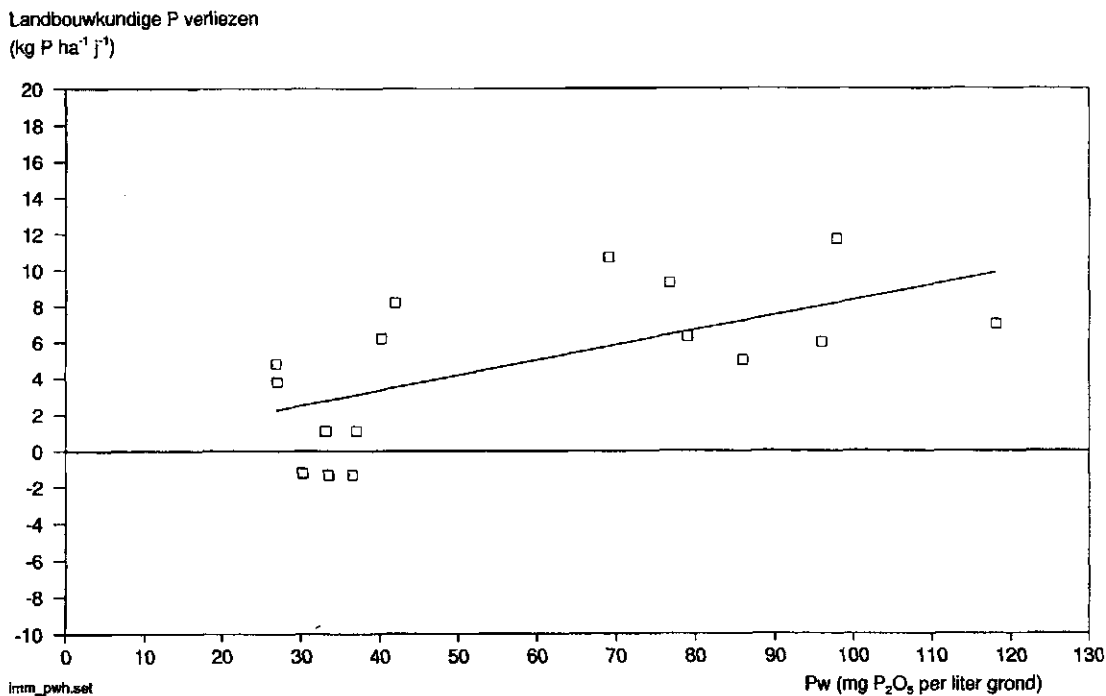
2) Geschat landbouwkundig verlies bij een P overschot van 0 (P_{iv} minus P_{over}; excl. milieukundig verlies)

Na de eerste bemonstering in 1989 is pas na 5 jaar een tweede bemonstering uitgevoerd. De daling van de bodemvruchtbaarheid over deze periode was in een groot aantal blokken aanzienlijk. Om deze reden is na 1995 vervolgens jaarlijks een bemonstering uitgevoerd. De bemonsteringsdiepte bedroeg 20 cm, behalve in het jaar 1989 (25 cm). Habekotté *et al.* (1998) hebben op een aantal plaatsen gevonden dat de bodem over een diepte van 28 cm (de ploegdiepte) homogeen is, zodat de gevolgen van de aangepaste bemonsteringsdiepte wellicht beperkt zijn. Aan de andere kant is bekend dat met name na de aankoop (vlak voor de eerste bemonstering; Aarts, AB-DLO, pers. meded.) de percelen 'netjes gemaakt zijn', dat wil zeggen de

oude zode 'netjes weggeploegd'. Tevens worden plaatselijk ijzerrijke brokstukken aan het maaiveld aangetroffen, afkomstig uit de laag vlak onder de bouwvoor, welke in de loop van de tijd uiteenvallen.

Uit Figuur 3.4a en Bijlage 3.1 blijkt dat het gemeten Pw-getal van jaar tot jaar sterk kan fluctueren ('94-'97) zonder dat hiervoor duidelijke verklarende factoren zijn aan te wijzen, zoals bijv. relatie met het P-overschot. Om de (vrij scherpe) daling vanaf 1989 naar het niveau van 1994 goed te kunnen voorspellen (Figuur 3.4 en Bijlage 3.1), moeten voor sommige blokken aanzienlijke landbouwkundige verliezen aangenomen worden (Tabel 3.1). Indien alleen de metingen van de afgelopen 4 jaar in beschouwing worden genomen, kan het verloop van het Pw- en P-AL-getal ook met veel lagere landbouwkundige verliezen verklaard worden. In dit geval blijkt het landbouwkundig verlies niet gerelateerd te zijn met de fosfaattoestand van de bodem. Het gemiddelde landbouwkundige verlies voor wisselbouw bedraagt dan $0,3 (\pm 6,3)$ kg P ha⁻¹ per jaar en voor grasland $3,8 (\pm 4,6)$. Dit geeft aan dat het van groot belang is om ook in de toekomst jaarlijks het verloop van het Pw- en P-AL-getal te meten, teneinde uiteindelijk werkelijke trends goed vast te kunnen stellen.

Om het verloop van het Pw-getal en P-AL-getal op langere termijn te kunnen voorspellen, moet bekend zijn hoe het landbouwkundige verlies zich zal wijzigen als Pw of P-AL van de bouwvoor daalt of stijgt. Een indruk van deze relatie kan verkregen worden door het (berekende) landbouwkundige verlies van de blokken te relateren aan de gemeten fosfaattoestand van de betreffende blokken. Voor de fosfaattoestand is het Pw-getal gekozen omdat het verloop van het Pw-getal theoretisch onderbouwd is. In Bijlage 3.2 zijn voor permanent grasland de berekende landbouwkundige verliezen weergegeven als functie van het Pw-getal. In Figuur 3.5 is die gegeven voor wisselbouw.



Figuur 3.5 Berékende landbouwkundige fosfaatverliezen bij wisselteelt op proefbedrijf De Marke gerelateerd aan de P-toestand van de bodem.

Op de x-as is het gemiddelde Pw-getal van elk blok weergegeven, berekend over de periode '89-97'. Op de y-as is het landbouwkundig verlies van elk blok uitgezet, dat jaarlijks aangenomen moet worden om het Pw- en P-AL-verloop van het blok goed te kunnen reconstrueren. Het weergegeven landbouwkundig verlies is gecorrigeerd voor het P-overschot van het betreffende blok, omdat anders onderlinge vergelijking van de blokken niet goed mogelijk zou zijn (zie laatste kolom in Tabel 3.1). Het weergegeven landbouwkundig verlies kan beschouwd worden als een indicatie voor het landbouwkundig P-verlies bij een P-overschot van nul (excl. de milieukundige verliezen van uit- en afspoeling).

Uit de regressielijnen in Bijlage 3.2 en Figuur 3.5 blijkt dat bij eenzelfde fosfaattoestand de landbouwkundige verliezen voor grasland- en wisselbouwblokken onderling verschillen. Wel daalt voor beide systemen het landbouwkundig verlies als de fosfaattoestand van de bodem daalt. Opgemerkt wordt dat de betrouwbaarheid beperkt is (met name voor de graslandblokken). Dit wordt hoogstwaarschijnlijk o.a. veroorzaakt doordat het landbouwkundig verlies indirect is afgeleid uit het verloop van het Pw-getal en P-AL-getal van de afzonderlijke blokken. Deze onzekerheid in de grootte van het landbouwkundig verlies kan verkleind worden door het landbouwkundig verlies in de praktijk rechtstreeks te meten. Hiervoor is het noodzakelijk dat de verschillende fosfaatfracties die in de bodem voorkomen, zoals gefixeerd fosfaat en geïmmobiliseerd fosfaat, jaarlijks wordt gemeten.

Vooralsnog bestaat de indruk dat de landbouwkundige verliezen bij blijvend grasland hoger zijn dan bij wisselbouw (Bijlage 3.2 en Figuur 3.5). Hiervoor is een aantal redenen aan te dragen. In de eerste plaats komt op percelen met blijvend grasland een deel van de dierlijke mest maar zeer lokaal terecht (mestflatten tijdens beweiding). Via mestflatten wordt jaarlijks maximaal 5% van het oppervlak extra bemest. Op deze plekken is sprake van een plaatselijk overschot. Op de andere 95% van het oppervlak is feitelijk sprake van een tekort, waardoor de fosfaattoestand van het perceel als geheel sterk zal dalen. Tevens worden bij de bemonstering van de bodem de mestflatten (over het algemeen) niet meegenomen. Bij de bouwlandpercelen daarentegen, en in mindere mate ook de wisselbouwpercelen, wordt regelmatig geploegd waardoor een homogener bouwvoor ontstaat. Een tweede argument kan zijn dat bij de aanleg van de blokken met blijvend grasland een deel van de blokken op voormalige bouwlandpercelen zijn aangelegd, dan wel opnieuw zijn ingezaaid, waardoor de eerste jaren meer fosfaat is verdwenen als gevolg van de ontwikkeling van een zeer dicht wortelstelsel.

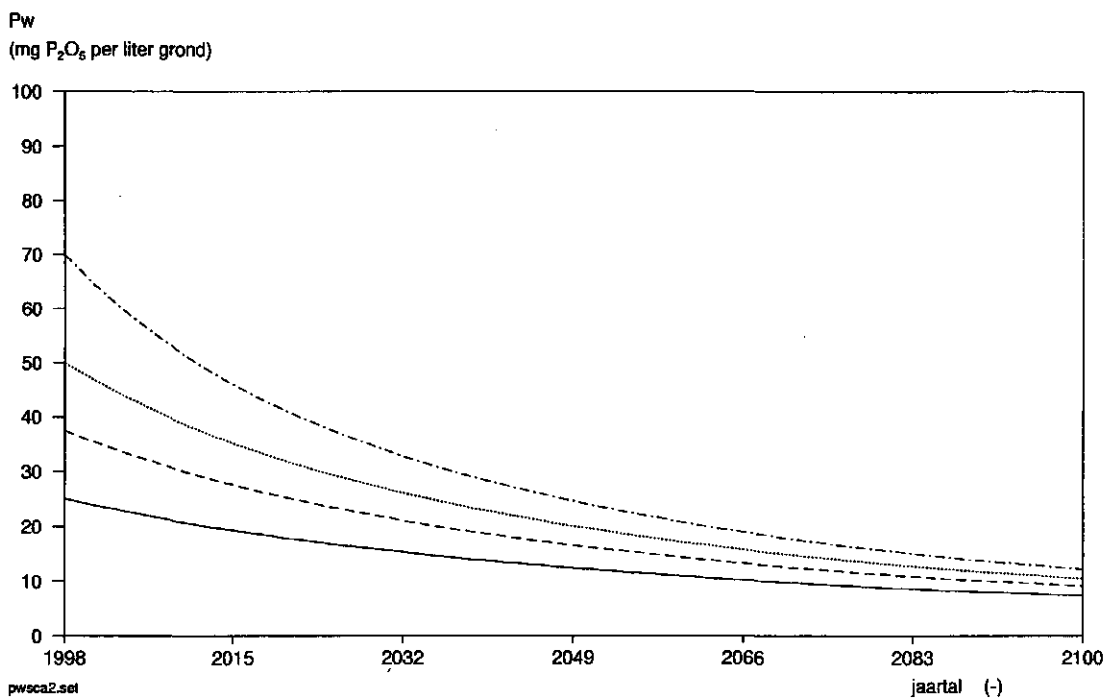
Om een indruk te krijgen van de ontwikkeling van de fosfaattoestand van de bodem op proefbedrijf De Marke is een aantal scenario's doorgerekend. Dit is uitsluitend uitgevoerd voor de wisselbouwblokken, waar 3 jaar maïs wordt afgewisseld met 3 jaar gras, omdat deze blokken het grootste deel van het bedrijfsareaal uitmaken (30 ha).

Scenario 1 gaat uit van de berekende, relatief hoge, landbouwkundige verliezen die zijn afgeleid uit de scherpe daling van de fosfaattoestand van de bodem (gebaseerd op de waarneming in 1989 en die van de periode met een lagere toestand ('94-'97)). Indien alleen de periode '94-'97 in de analyse wordt betrokken, zijn de berekende landbouwkundige verliezen beduidend lager. Zoals gezegd, wordt in dat geval geen relatie meer gevonden tussen de (berekende) hoogte van het landbouwkundig fosfaatverlies en de waarde van het Pw-getal (of P-AL getal). Het gemiddelde landbouwkundige verlies van de blokken met wisselbouw bedraagt 0,3 (\pm 6,3) kg P ha⁻¹ per jaar. Een tweede scenario is daarom doorgerekend, waarbij aangenomen wordt dat er gemiddeld geen landbouwkundige fosfaatverliezen optreden ($P_w = 0$ kg P ha⁻¹ per jaar). Scenario 1 kan beschouwd worden als een landbouwkundige 'worst case' benadering, omdat in

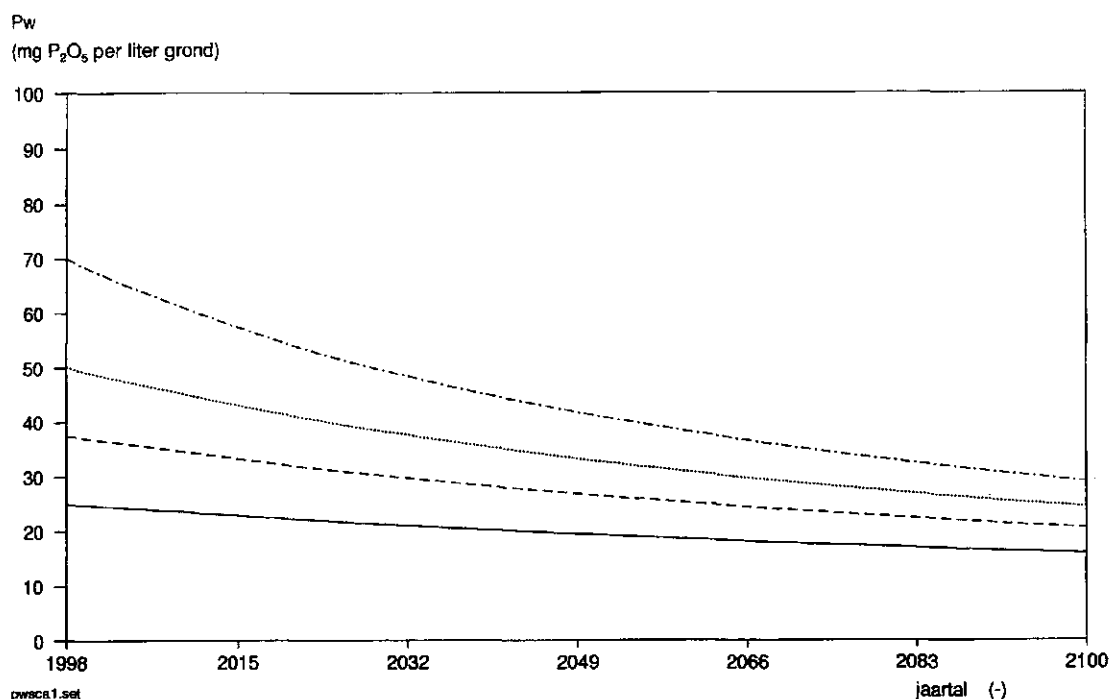
deze situatie de fosfaattoestand van de bodem het sterkst zal dalen. Beide scenario's zijn doorgerekend met een P-overschot van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar. Aangezien de fosfaatverliesnormen 2008/2010 (vooralsnog) veel hoger zijn ($20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar) is het verloop van de fosfaattoestand ook bij dit overschot voorspeld.

De scenario's zijn doorgerekend voor verschillende fosfaatuitgangstoestanden van de bodem en bij een vast Al- en Fe-gehalte ($\text{Al}_{\text{ox}} + \text{Fe}_{\text{ox}} = 80 \text{ mmol kg}^{-1}$). Voor de fosfaatuitgangstoestanden is het midden van elk van de Pw-bodemvruchtbaarheidsklassen (Pw resp. 25, 37, 50 en $75 \text{ mg P}_2\text{O}_5$ per liter grond) gekozen, hetgeen ook redelijk in overeenstemming is met de gemiddelde waarden van de blokken die op het proefbedrijf De Marke in deze klassen worden waargenomen (namelijk gemiddeld 27, 32, 42 en $66 \text{ mg P}_2\text{O}_5$ per liter grond in '97/'98).

Figuur 3.6 geeft een beeld van het verloop van de fosfaattoestand (Pw-getal) bij wisselbouw bij een fosfaatoverschot van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar. Hierbij is aangenomen dat hoge landbouwkundige verliezen in de bodem optreden (worst case scenario). Figuur 3.7 geeft de situatie weer indien geen landbouwkundige verliezen worden aangenomen.



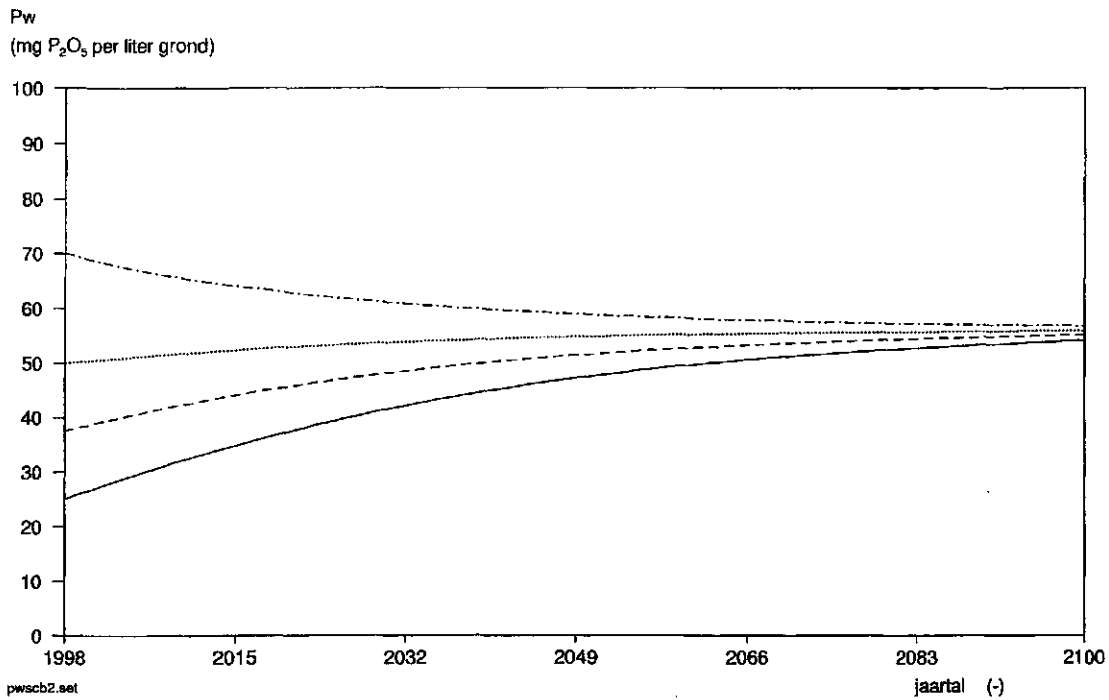
Figuur 3.6 Voorspeld verloop van het Pw-getal bij een fosfaatoverschot van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar en rekening houdend met hoge landbouwkundige fosfaatverliezen (landbouwkundig worst case scenario).



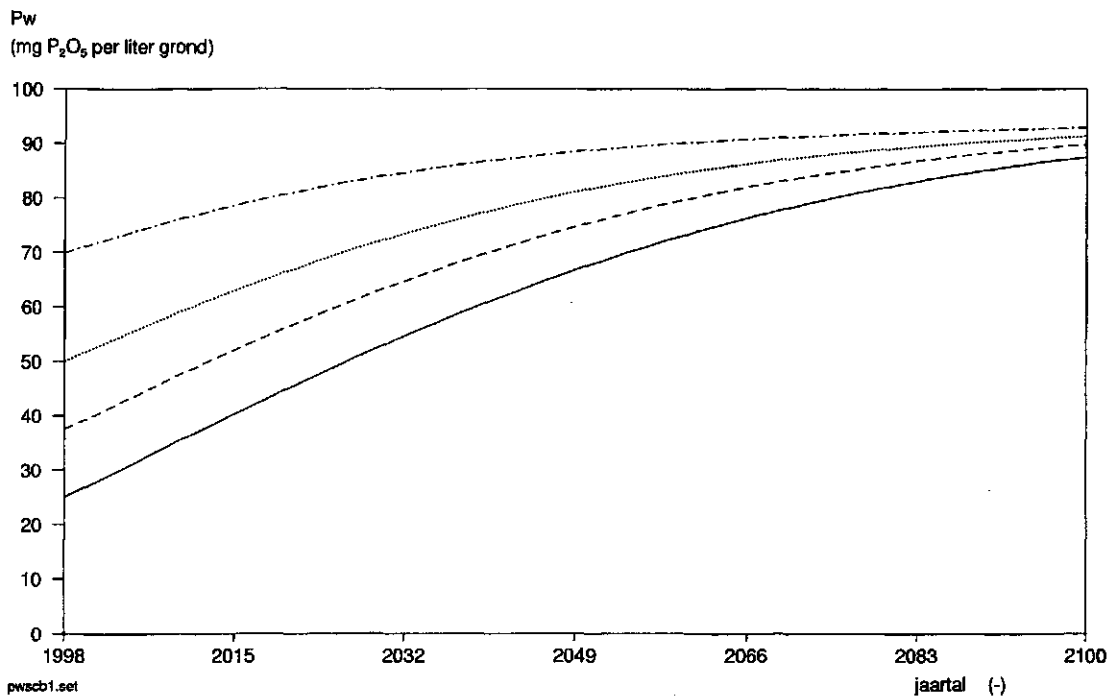
Figuur 3.7 Voorspeld verloop van het Pw-getal bij een fosfaatoverschot van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar onder omstandigheden dat geen landbouwkundige fosfaatverliezen optreden.

Uit Figuur 3.6 blijkt dat bij hogere fosfaattoestanden de fosfaattoestand van het blok vrij sterk daalt als gevolg van de hoge landbouwkundige verliezen die zijn geschat (Figuur 3.5). Het duurt in dit worst case scenario echter nog minimaal 25 jaar voordat de fosfaattoestand van de percelen met een initiële fosfaattoestand van boven de $35 \text{ (mg P}_2\text{O}_5 \text{ per liter grond)}$ een fosfaattoestand bereikt van 20 (zijnde de bovengrens van bodemvruchtbaarheidsklasse laag). Alleen bij percelen met een initiële fosfaattoestand van $25 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ per liter grond}$ wordt deze situatie binnen 10 jaar bereikt (indien op deze percelen daadwerkelijk ook een fosfaatoverschot van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar wordt gerealiseerd). De daling van de fosfaattoestand van de bodem is veel geringer indien geen landbouwkundige verliezen worden aangenomen (Figuur 3.7). Het beeld dat dan ontstaat conformeert zich aan het beeld van de meetperiode '94-'97. In deze situatie ontstaat bij een fosfaatoverschot van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar pas ver in de volgende eeuw een probleem, ook bij gronden met een initiële fosfaattoestand van $25 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ per liter grond}$ of hoger.

Bij een fosfaatoverschot van $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar ontstaan riante fosfaattoestanden van de bodem (Figuur 3.8 en 3.9). Figuur 3.8 geeft de situatie weer indien hoge landbouwkundige verliezen worden aangenomen en Figuur 3.9 indien geen landbouwkundige verliezen worden aangenomen. Deze scenario's laten zien dat bij hoge landbouwkundige verliezen ook op termijn nog Pw-getallen ontstaan van ongeveer $55 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ per liter grond}$ (klasse hoog; Figuur 3.8), terwijl bij het ontbreken van landbouwkundige verliezen de fosfaattoestand oploopt tot zeer hoge Pw-waarden (ca. $90 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ per liter grond}$).



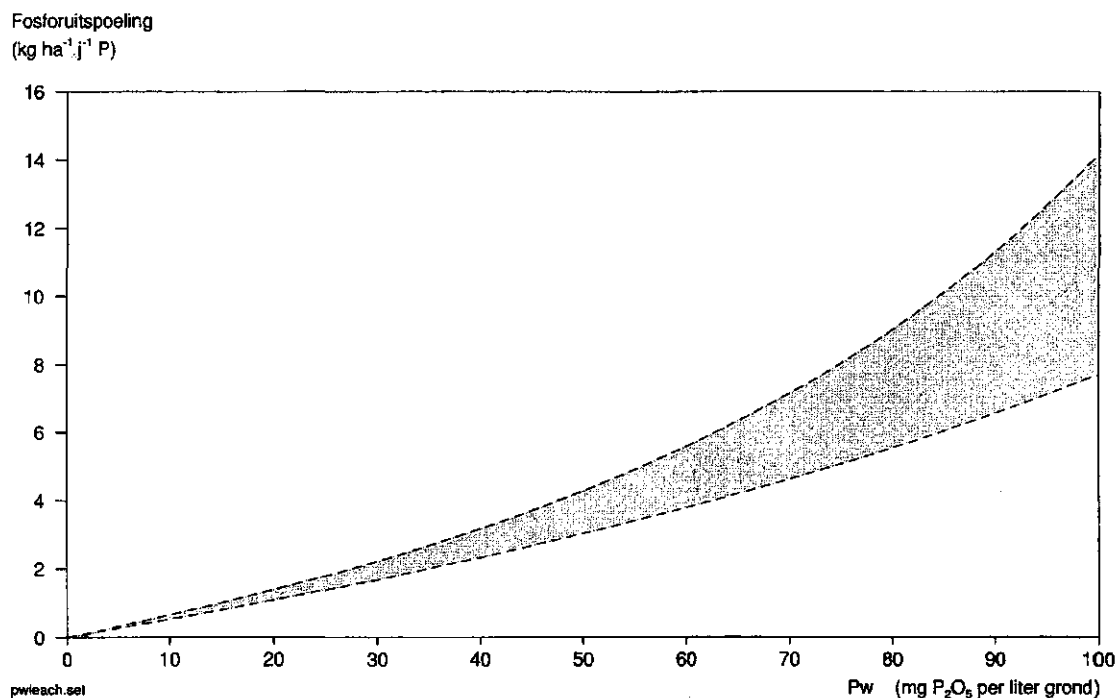
Figuur 3.8 Voorspeld verloop van het Pw-getal bij een fosfaatoverschot van 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ per jaar en rekening houdend met hoge landbouwkundige fosfaatverliezen (landbouwkundig worst case scenario).



Figuur 3.9 Voorspeld verloop van het Pw-getal bij een fosfaatoverschot van 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ per jaar onder omstandigheden dat geen landbouwkundige fosfaatverliezen optreden.

In Bijlage 3.3 en 3.4 is voor wisselbouw het verloop van het P-AL-getal weergegeven voor de scenario's die hiervoor zijn beschreven. Het verloop van het P-AL-getal vertoont een duidelijk ander beeld dan het verloop van het Pw-getal (Figuur 6 t/m 9). Ook het P-AL-getal daalt bij een fosfaatverliesnorm van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar, echter lage P-AL-getallen worden op termijn niet verwacht. Dit wordt veroorzaakt doordat een groot deel van het fosfaat, dat in het verleden in de bodem is vastgelegd, in een vorm aanwezig is die als vrij sterk gefixeerd beschouwd mag worden. Dit opgehoopte fosfaat wordt voor een deel wel uit de bodem geëxtraheerd bij de bepaling van het P-AL-getal, maar zal waarschijnlijk pas bij (zeer) lage Pw-getallen weer in beter beschikbare vormen worden omgezet. De voorspelling van het gedrag van fosfaat onder deze omstandigheden zal de komende jaren aandacht krijgen. Vooralsnog is hier een worst case scenario aangenomen, namelijk dat geen omzetting meer plaatsvindt naar een makkelijk beschikbare fosfaatvorm. Als dit wel gebeurt zal op termijn het Pw-getal wellicht op een hoger niveau stabiliseren dan uit de nu uitgevoerde berekeningen blijkt. Aan de andere kant zal hierdoor het P-AL-getal (heel) langzaam verder dalen. Echter bij een fosfaatverliesnorm gelijk aan het milieukundig acceptabele fosfaatverlies hoeft op De Marke (en in een groot deel van Nederland) niet verwacht te worden dat het P-AL-getal binnen 100 jaar zal dalen tot een niveau van een lage fosfaattoestand. Wel kan bij de blokken met een initieel hoge fosfaattoestand de waarde van het P-AL-getal op termijn halveren. Het niveau waarop stabilisatie van het P-AL-getal zal optreden, hangt af van de hoeveelheid sterk gefixeerd fosfaat dat thans (1998) op De Marke wordt aangetroffen.

De relatie tussen het Pw-getal en de fosfaatuitspoeling (milieukundig fosfaatverlies) is in Figuur 3.10 weergegeven. De berekende onder- en bovengrens is berekend op basis van het traject aan Al- en Fe-gehalten zoals dat op een beperkt aantal plaatsen op De Marke is aangetroffen ($60 - 120 \text{ mmol kg}^{-1}$). Zoals eerder is aangegeven, is bij de berekeningen verondersteld dat de totale fosfaatuitspoeling twee maal zo hoog is als de uitspoeling van mineraal fosfaat (als gevolg van de uitspoeling van ook organisch fosfaat).



Figuur 3.10 Fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor als functie van de fosfaattoestand van de bodem.

Uit Figuur 3.10 blijkt dat de bodemvruchtbaarheidstoestand nog sterk moet dalen voordat de milieukundige fosfaatverliezen uit de bouwvoor lager zullen zijn dan $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar ($8 < \text{Pw} < 10 \text{ mg P}_2\text{O}_5$ per liter grond). Indien een fosfaatoverschot wordt gehanteerd van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar, wordt verwacht dat deze vorm van duurzame landbouw pas medio volgende eeuw gerealiseerd zal kunnen worden op die percelen/blokken waar thans de fosfaattoestand van de bodem voldoende is. Tot welk niveau het P-AL-getal dan gedaald zal zijn is moeilijk aan te geven, omdat dat niveau sterk afhankelijk is van de wijze waarop de bodem in het verleden met fosfaat is opgeladen. Naarmate er meer fosfaat in het verleden in de bodem gefixeerd is (P_s), zal ook het P-AL-getal zich op een hoger niveau stabiliseren.

3.7 Conclusies

- De daling van de fosfaatbodemvruchtbaarheidstoestand op het proefbedrijf De Marke wordt zeker niet alleen door de milieukundige verliezen van fosfaat bepaald, maar ook door de grootte van de landbouwkundige verliezen (fosfaatfixatie en fosfaatimmobilisatie).
- Gegeven de sterke fluctuaties in Pw- en P-AL-getallen die de laatste jaren jaarlijks zijn bepaald, is het van groot belang dat deze parameters ook in de toekomst jaarlijks worden gemeten, teneinde echte trends goed vast te kunnen stellen.
- De indruk bij de berekening van de landbouwkundige fosfaatverliezen bestaat dat deze in de meetperiode waarin jaarlijks het Pw- en P-AL-getal zijn gemeten ('94-'97), lager zijn dan in de periode daarvoor ('89-'94), waarin slechts sprake is van twee meetpunten ('89 en '94).
- De landbouwkundige fosfaatverliezen worden voor blokken met blijvend grasland hoger ingeschat dan voor blokken waarop sprake is van wisselbouw. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat een deel van de fosfaatbemesting lokaal terechtkomt (mestflatten op 5% van het areaal), waardoor op 95% van het oppervlak sprake is van onderbemesting. Bij de berekeningen wordt echter van homogene bemesting uitgegaan waardoor hoge landbouwkundige verliezen moeten worden aangenomen om de gemeten daling in fosfaattoestand te kunnen verklaren.
- Het landbouwkundige verlies van fosfaat neemt af naarmate de bodemvruchtbaarheidstoestand daalt. Omdat de betrouwbaarheid van de relatie beperkt is, wordt aanbevolen om ook het landbouwkundig verlies in de praktijk te meten (analyse van de hoeveelheid gefixeerd en organisch gebonden fosfaat).
- In het worst case scenario (hoog ingeschatte landbouwkundige fosfaatverliezen) zal bij een fosfaatoverschot gelijk aan het milieukundig acceptabel fosfaatverlies van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar het Pw-getal van veel blokken in de periode 2020-2050 gedaald zijn tot een niveau van $20 \text{ mg P}_2\text{O}_5$ per liter grond. Alleen bij percelen met een fosfaattoestand van $25 \text{ mg P}_2\text{O}_5$ per liter grond wordt deze situatie al binnen 10 jaar bereikt.
- De daling van de fosfaattoestand van de bodem is veel geringer indien geen landbouwkundige verliezen worden aangenomen, waartoe de metingen van de laatste jaren meer aanwijzingen geven. In deze situatie ontstaat bij een fosfaatoverschot van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per

jaar pas ver in de volgende eeuw een probleem bij gronden met een initiële fosfaattoestand van 25 mg P_2O_5 per liter grond of hoger.

- Bij een fosfaatoverschot van 20 kg P_2O_5 ha⁻¹ per jaar ontstaan riante fosfaattoestanden in de bouwvoor ($45 < P_w < 90$ mg P_2O_5 per liter grond).
- Het P_w -getal van de bouwvoor moet dalen tot een niveau van 8 à 10 mg P_2O_5 per liter grond om de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor te beperken tot een niveau van minder dan 1 kg P_2O_5 ha⁻¹ per jaar (duurzame landbouwdoelstelling). Indien een fosfaatoverschot wordt gehanteerd van 1 kg P_2O_5 ha⁻¹ per jaar wordt verwacht dat deze vorm van duurzame landbouw pas medio volgende eeuw gerealiseerd zal kunnen worden op die percelen/blokken waar thans de fosfaattoestand van de bodem voldoende is.

4 Maisopbrengst en -fosfaatgehalte in relatie tot de fosfaattoestand van de bodem van De Marke

Een analyse van ontwikkelingen in de periode 1992-1996

B. Habekotté¹ en G.J. Hilhorst²

¹ AB-DLO; ² De Marke

4.1 Inleiding

Het Proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu, De Marke, richt zich op een milieu-verantwoorde melkproductie met een zo goed mogelijk economisch resultaat. Daarbij worden de milieukwaliteitsdoelstellingen van de overheid nagestreefd voor uitspoeling van fosfor in zandgebieden: maximaal 0,15 mg P per liter voor oppervlaktewater en een streefwaarde van 0,4 mg P per liter voor grondwater. De eerstgenoemde norm is vertaald naar een fosfaatoverschot op de bedrijfsbalans van 1 kg fosfaat ha⁻¹ bij een fosfaattoestand 'voldoende' van de percelen (Biewinga *et al.*, 1992, 1996). De aanvoer van fosfaat in de vorm van kunstmest en krachtvoer mag daarom de afvoer via melk en verkocht vee nauwelijks overschrijden.

De spreiding in fosfaattoestand van de percelen van De Marke is groot (1997/98, Pw-getal: 22-102, P-AL-getal: 37-104) en de gemiddelde fosfaattoestand is hoger dan 'voldoende' (Pw-getal: 44, P-AL-getal: 65, Habekotté *et al.*, 1998; Bijlage 2.1). Bij realisering van de fosfaatdoelstelling wordt rekening gehouden met de fosfaattoestand van de individuele percelen en de behoefte aan fosfaat en stikstof van de gewassen. Zolang de fosfaattoestand van de percelen hoger is dan 'voldoende' en de verschillen in fosfaattoestand groot zijn, is de bedrijfsstrategie gericht op een negatief fosfaatoverschot en op nivellering van de fosfaattoestand van de percelen. Bij geleidelijke daling en nivellering van de fosfaattoestand tot de streefwaarde 'voldoende' mag het fosfaatoverschot oplopen tot de doelstelling van 1 kg ha⁻¹.

De gemiddelde fosfaattoestand van de percelen van De Marke is in de periode van 1989/90 tot 1997/98 gedaald van 'vrij hoog' (1989/90: Pw-getal: 57) tot 'ruim voldoende' (1997/98: Pw-getal: 44) (Habekotté *et al.*, 1998) en zal naar verwachting verder dalen bij realisering van een fosfaatoverschot van 1 kg ha⁻¹ op alle percelen (Schoumans, 1998). Van belang is om na te gaan of daling van de fosfaattoestand gevolgen heeft voor de gewasopbrengsten en -kwaliteit. In verschillende seizoenen, met name in 1992 en 1993, vertoonden de maïs zichtbare gebreksverschijnselen die mogelijk duiden op fosfaatgebrek (paarskleuring en geremde initiële groei; Aarts, 1995). In verschillende jaren is in het voorjaar de fosfaattoestand als het ware 'van de weg af te zien' vanwege een geremde hoogtegroeï op percelen met een lagere Pw-toestand. De geremde voorjaarsgroei van de maïs bemoeilijkt de milieugerichte teelt omdat het gewas langer open blijft waardoor meer onkruidbestrijding nodig is en het door de heterogeniteit van het gewas moeilijker is om het moment te bepalen voor onderzaai van Italiaans raaigras.

In deze bijdrage wordt nagegaan welke factoren het meest bepalend zijn voor de maïs-opbrengsten op De Marke en of de waargenomen daling in de gemiddelde fosfaattoestand van de percelen zich weerspiegelt in een daling van de gemiddelde maïsopbrengst en -fosfaatgehalte per jaar in de periode 1992-1996. Tevens wordt nagegaan of de maïsopbrengsten en fosfaatgehalten in de maïs van de percelen met een relatief lage fosfaattoestand lager zijn dan die van de percelen met een relatief hoge fosfaattoestand. Zo kan een idee verkregen worden van te verwachten maïsopbrengsten en fosfaatgehalten bij verdergaande daling en nivellering van de fosfaattoestand van de percelen.

Meerdere factoren zijn van belang voor de groei van maïs, zoals gewaseigenschappen bepaald door de variëteitskeuze, temperatuur en zonnestraling, de beschikbaarheid van vocht en nutriënten en het optreden van ziekten en plagen. Nagegaan is of de verschillen in maïsopbrengst tussen percelen en jaren samenhangen met de beschikbaarheid van vocht en nutriënten. In de loop van het groeiseizoen kunnen deze factoren afwisselend beperkend zijn voor de gewasproductie. Met de gevolgde aanpak wordt naar verwachting in grote lijn inzicht verkregen in de meest bepalende factoren voor de maïsproductie op De Marke.

4.2 Gevolgde werkwijze

Opbrengsten van percelen

Van alle maïspercelen wordt het totale geoogste versgewicht (MKS-kolf en MKS-stro en snijmaïs gescheiden) bepaald via een oogstwagen op de weegbrug. Per gemeten hoeveelheid (in de oogstwagen) wordt een mengmonster genomen ter bepaling van het drogestofgehalte en de nutriëntengehaltes.

De oogst van het MKS-stro is in 1997 verbeterd met de introductie van een nieuwe oogstmachine waarmee in één keer zowel de maïskolven als het stro worden geoogst. In voorgaande jaren was de oogst van het MKS-stro veelal onvolledig. Daarom is de verhouding tussen MKS-kolf/MKS-stro in 1997 gebruikt voor het schatten van de MKS-stro-productie in voorgaande jaren. De gemeten maïsopbrengsten (snijmaïs en MKS) en nutriëntengehaltes zijn omgerekend naar bruto-opbrengsten en -gehalten per perceel. Daarbij is uitgegaan van 1% oogstverlies voor snijmaïs en MKS-kolf en 10% voor het MKS-stro. Alle vermelde opbrengsten en gehalten in de tekst zijn bruto-drogestof-opbrengsten en brutogehaltes.

Opbrengsten van vaste waarnemingsplekken

Op een aantal vaste waarnemingsplekken (20x20 m²), verspreid over de percelen van De Marke (Bijlage 2.2) wordt voor maïs een opbrengstbepaling uitgevoerd rond juni/juli en vlak voor de eindoogst van maïs. Vier herhalingen van twee rijen maïs (van 1 m lengte) worden handmatig geoogst. De maïs wordt dicht bij de grond afgesneden, er zijn geen oogstverliezen. De opbrengsten zijn daardoor gelijk aan de bruto opbrengst. Per herhaling worden het versgewicht, het drogestofgehalte en de nutriëntengehaltes bepaald.

Bodemvruchtbaarheid

Per perceel en vaste waarnemingsplek worden regelmatig bodemvruchtbaarheidsbepalingen uitgevoerd (Habekotté *et al.*, 1998)

Analyse van maïseindopbrengsten

Voor de analyse van de eindopbrengsten zijn de opbrengsten van de percelen gebruikt (1992-1996). Achtereenvolgens zijn de volgende analysestappen gevolgd waarbij drie productie-niveaus zijn onderscheiden. De invloed van ziekten en plagen is naar verwachting te verwaarlozen en de onkruidbestrijding in de maïs is over het algemeen effectief. Deze factoren zijn niet in de analyse betrokken.

1. Het potentiële productieniveau

Een indicatie wordt gegeven van het potentiële productieniveau van maïs op De Marke met behulp van de methode beschreven door Aarts en Middelkoop (1990) en de gerealiseerde maïsopbrengsten worden vergeleken met het berekende potentiële niveau. Bij de berekeningen is ervan uitgegaan dat de zaaidatum en variëteitskeuze geen overheersende invloed hebben op het productieniveau.

2. Het vochtgelimiteerde productieniveau

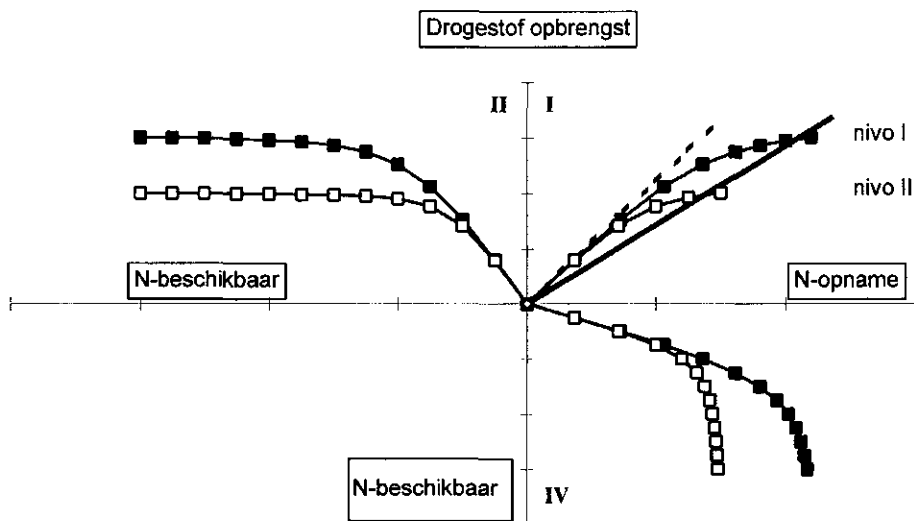
Een indicatie wordt gegeven van het vochtgelimiteerde productieniveau van maïs op De Marke met behulp van de methode beschreven door Aarts en Middelkoop (1990). De berekening van het vochtgelimiteerde productieniveau is gebaseerd op een te verwachten potentiële productie per dag, het vochtleverend vermogen van de bodem, de dagelijkse hoeveelheid neerslag en beregening. De gerealiseerde maïsopbrengsten worden vergeleken met het vochtgelimiteerde productieniveau en nagegaan wordt of de gerealiseerde opbrengsten een verband vertonen met de hoeveelheid benutbaar vocht voor gewasgroei gedurende het groeiseizoen (zie verder in dit hoofdstuk).

3. Het door nutriënten beperkte productieniveau

Indien de gerealiseerde opbrengsten lager zijn dan bovengenoemde productieniveaus en de nutriënten-gehalten lager dan te verwachten bij een ruime nutriëntenvoorziening, dan is het aannemelijk dat de nutriëntenvoorziening beperkend is geweest voor de maïsopbrengsten. Bij een overheersende invloed van de beschikbaarheid van een nutriënt op de opbrengst zijn lage gehalten (de opname van het nutriënt is lager dan te verwachten bij een ruime nutriëntenvoorziening) en een relatie tussen de beschikbaarheid van het nutriënt en de nutriënten-opname en tussen de beschikbaarheid van het nutriënt en de gewasopbrengsten te verwachten. De relatie tussen de gewasopbrengst en beschikbaarheid van stikstof, fosfaat en kalium is opgesplitst in een relatie tussen gewasopbrengst en nutriënten-opname en tussen opname en beschikbaarheid van nutriënten in de bodem naar het voorbeeld van de 'drie-kwadranten-benadering' (Aarts en Middelkoop, 1990; Schröder *et al.*, 1993). In Figuur 4.1 is deze benadering schematisch weergegeven voor stikstof.

Analyse van de voorjaarproductie van maïs

Nagegaan is of de maïsproductie tot ca. eind juni/juli (de voorjaarsgroei) een relatie vertoont met het Pw-getal. Daarbij is gebruik gemaakt van de metingen op de vaste waarnemingsplekken (Bijlage 2.2). Tevens is, analoog aan de benadering bij de percelen, nagegaan welke factoren met name de begingroei van maïs bepalen.



Figuur 4.1 Schematische weergave van de 'drie-kwadranten-benadering' waarbij de relatie tussen de drogestof-opbrengst van het gewas en de beschikbaarheid van stikstof (kwadrant II) is opgesplitst in de relatie tussen de opbrengst en de N-opname (kwadrant I) en de relatie tussen de N-opname en de beschikbaarheid van N (kwadrant IV). Tevens zijn het minimum N-gehalte en het optimale N-gehalte (te verwachten bij een ruime N-voorziening) weergegeven.

Berekening van de potentiële maïsproductie

Van Heemst *et al.* (1978) berekenden de gemiddelde maandelijkse potentiële productie van een standaardgewas in Nederland op basis van de gemiddelde stralingsintensiteit en temperatuur. Als standaardgewas werd een C_3 -gewas genomen, dat voor fotosynthese een minimale gemiddelde dagtemperatuur van 5°C vereist, terwijl voor optimale fotosynthese die temperatuur hoger moet zijn dan 10°C . De lengte van het groeiseizoen en de mate van grondbedekking in verschillende perioden van het jaar bepalen welk deel van de productiemogelijkheden van het standaardgewas aan een specifiek gewas toegewezen kunnen worden. Aarts en Middelkoop (1990) gebruikten de berekende potentiële productie van het standaardgewas als basis voor berekening van de gemiddelde potentiële productie van maïs in Nederland. Maïs wijkt af van het standaardgewas omdat voor groei hogere temperaturen nodig zijn. De groei in het voor- en najaar zal dus geringer zijn. De maximale groeisnelheid in de zomer is hoger dan die van het standaardgewas. Voor het berekenen van de totale gewasproductie lijkt het verantwoord het voorjaar- en najaarnadeel tegen het zomervoordeel weg te strepen (Aarts en Middelkoop, 1990). Bij de berekening van de potentiële productie van maïs is ervan uitgegaan dat de maïs op 15 mei begint te groeien en dat, vanwege een geringe lichtonderschepping, in de tweede helft van mei slechts 12,5% van de groei van het standaardgewas kan worden gerealiseerd. Voor de eerste en tweede helft van juni wordt respectievelijk 25 en 50% aangenomen. Daarna is de potentiële groei gelijk aan de groei van het standaardgewas. Verondersteld is dat na september geen drogestof meer geproduceerd wordt en het gewas afrijpt. In Tabel 4.1 is de berekende potentiële productie van een standaardgewas en van maïs weergegeven. Dit potentiële productieniveau is gecorrigeerd voor het verschil tussen het opbrengstniveau van proefvelden en praktijkpercelen (min 15% opbrengst) en voor de niet-oogstbare drogestof in stoppels en wortels (min 15% opbrengst) (Aarts en Middelkoop, 1990).

Tabel 4.1 De potentiële drogestofproductie van een 'standaardgewas' onder gemiddelde Nederlandse weersomstandigheden (Van Heemst *et al.*, 1978) en die van maïs (Aarts en Middelkoop, 1990).

Maand	Productie drogestof (kg ha ⁻¹)	
	standaardgewas	maïs
April	5.500	0
Mei	7.100	4.430
Juni	7.600	2.850
Juli	7.300	7.300
Augustus	6.400	6.400
September	4.700	4.700
Oktober	3.200	0
Totaal		21.693
'Praktijk'-opbrengst (-15%)		18.439
Oogstbare delen (-15%)		15.693

Berekening van vochtgelimiteerde maïsproductie

Voor elke kilogram drogestofproductie van maïs is gemiddeld 200 l water nodig (voor 1000 kg ds ha⁻¹ is 200.000 l water nodig; dit komt overeen met 20 mm). Het voor groei benodigde vocht is deels afkomstig uit de bodemvoorraad in de bewortelbare zone aan het begin van het groeiseizoen, deels uit capillaire nalevering vanuit het grondwater (samen het vochtleverend vermogen van de grond) en deels uit neerslag. Capillaire nalevering en neerslag zorgen ervoor dat de voorraad bodemvocht, die door verdamping afneemt, wordt aangevuld. Bij overmaat aan neerslag zal het wegzakken tot beneden de bewortelbare zone. Op basis van de neerslaggegevens per dag gedurende het groeiseizoen, de eerder berekende potentiële gewasproductie per dag (maandgemiddelde gedeeld door het aantal dagen per maand) en de veronderstelling dat geen capillaire opstijging mogelijk is door diepe ontwatering, kan voor elk willekeurig perceel het door vocht gelimiteerde productieniveau worden berekend (Aarts en Middelkoop, 1990). De beschreven rekenregels zijn toegepast voor alle percelen en vaste waarnemingsplekken met maïs van De Marke voor de periode 1992-1996. De hoeveelheid benutbaar vocht is gedefinieerd als de berekende gewasverdamping (mm) bij vochtgelimiteerde of potentiële productie (in geval van ruime vochtvoorziening). Het berekende vochtgelimiteerde opbrengstniveau is gecorrigeerd voor het verschil tussen het opbrengstniveau van proefvelden en praktijkpercelen (min 15% opbrengst) en voor de niet-oogstbare drogestof in stoppels en wortels (min 15% opbrengst) (Aarts en Middelkoop, 1990).

Voor de berekeningen is de maximale opslagcapaciteit van de percelen van De Marke gelijk gesteld aan het vochtleverend vermogen (met een maximum van 75 mm) vanwege de te verwachten geringe capillaire opstijging vanuit het grondwater (Dekkers, 1992; pers. med. H.F.M. Aarts, 1998). Deze opslagcapaciteit wordt verder het vochtbergend vermogen (vbm) van de percelen genoemd.

De kwaliteit van de maïs

Met het oog op de daling van de gemiddelde fosfaattoestand van de percelen van De Marke wordt nagegaan of een daling is opgetreden in het P₂O₅-gehalte en ook in N- en K₂O-gehalte in

de geogoste drogestof voor de periode 1992-1996. Tevens wordt onderzocht of de nutriëntengehaltes een verband vertonen met de fosfaattoestand van de percelen en vaste waarnemingsplekken.

Statistiek

Regressie-analyse is uitgevoerd met het statistische programma GENSTAT. De berekende R^2 bij de regressie-analyses is 'the adjusted R^2 statistic', weergegeven in percentages: ($R^2 = 100 \times (1 - (\text{Rest variantie})/(\text{Totale variantie}))$).

'Het kleinste betrouwbare verschil (LSD)' tussen groepen percelen en vaste waarnemingsplekken is berekend op basis van de standaard afwijking van het verschil tussen de groepen (SED-v) en het aantal vrijheidsgraden van de restvariantie. Daarbij is uitgegaan van een overschrijvingskans van 0,1% ($LSD_{0,01}$, $P < 0,001$) tot 10% ($LSD_{0,1}$, $P < 0,1$). Wanneer de verschillen tussen twee groepen groter zijn dan de berekende LSD-waarde wordt verondersteld dat de behandelingen significant verschillend zijn. De kans dat dit niet het geval is is kleiner dan het aangegeven percentage.

$$\delta v^2 = (\delta v_1^2 + \delta v_2^2) / (g_{v1} + g_{v2})$$

$\delta v_1^2, \delta v_2^2$: restvariantie per groep (1 en 2)
 g_{v1}, g_{v2} : graden van vrijheid per groep (r-1)

$$SED-v = \sqrt{(\delta v^2(1/(r_1 + 1/r_2)))}$$

δv^2 : restvariantie van het verschil
 r_1, r_2 : aantal herhalingen per groep waarnemingen (1 en 2)

$$LSD_x = t_x * SED-v$$

t_x : t-test voor gegeven graden van vrijheid van de restvariantie en een overschrijvingskans van x%.

Definities

De hoeveelheid benutbaar vocht (mm) is gedefinieerd als de berekende gewasverdamping (mm) bij vochtgelimiteerde of potentiële productie (in geval van ruime vochtvoorziening).

De beschikbare hoeveelheid N in het voorjaar is gedefinieerd als de som van de hoeveelheid minerale bodem-N in het voorjaar vóór bemesting (0-40 cm), kunstmest-N, en N-mineraal in drijfmest of vaste mest.

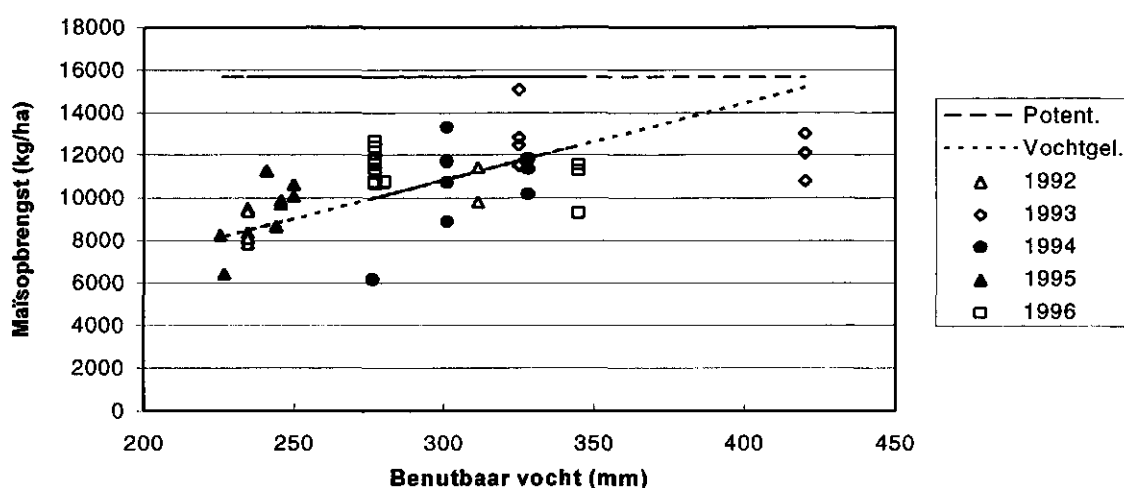
De totale beschikbare hoeveelheid N gedurende het groeiseizoen is gedefinieerd als de som van de beschikbare mineralisatie van N, de beschikbare depositie van N (beide tezamen 156 kg ha⁻¹, Aarts en Middelkoop, 1990, Biewinga *et al.*, 1992), de N die mineraliseert na het scheuren van grasland (met onderscheid in aantal jaren na scheuren) en na de teelt van een groenbemester in het voorgaande jaar en de N-beschikbaar uit runderdrijfmest, vaste mest en kunstmest.

Het Pw-getal geeft de beschikbaarheid van fosfaat op bouwland aan (bemonstering van de bodemlaag 20-25 cm). Het Pw getal wordt uitgedrukt in mg P₂O₅ per liter grond.

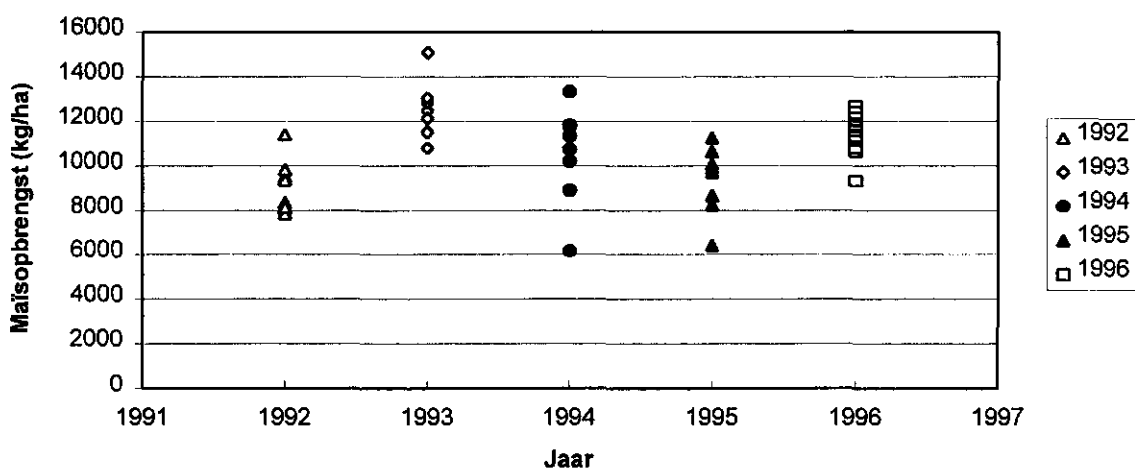
Het P-AL-getal geeft de beschikbaarheid van fosfaat op grasland aan (bemonstering bodemlaag 0-5 cm). Op De Marke wordt een laag van 0-20 cm bemonsterd, aangezien het hier zowel maïs- als graspercelen betreft. Het P-AL-getal wordt uitgedrukt in mg P₂O₅ per 100 g grond.

4.3 Opbrengstbepalende factoren voor maïs op De Marke

Het potentiële productieniveau van maïs is ca. 16 t drogestof ha⁻¹, berekend op basis van de gemiddelde stralingsintensiteit en temperatuur in Nederland (Figuur 4.2, Aarts en Middelkoop, 1990). De gerealiseerde maïsopbrengsten zijn steeds lager dan het potentiële productieniveau en vertonen een positieve relatie met de berekende hoeveelheid benutbaar vocht per perceel en jaar ($P < 0,001$). Tevens is te zien dat de gerealiseerde opbrengsten variëren rond het berekende vochtgelimiteerde opbrengstniveau. Het berekende vochtgelimiteerde opbrengstniveau is gemiddeld 10,6 t ha⁻¹ (1992-1996) en het gerealiseerde productieniveau is gemiddeld 10,5 t ha⁻¹. Bovenstaande geeft aan dat vochtbeschikbaarheid een duidelijke rol speelt bij de opbrengstvorming van maïs op De Marke.



Figuur 4.2 Het berekende potentiële en vochtgelimiteerde productieniveau (kg drogestof ha⁻¹) van maïs in relatie tot de hoeveelheid benutbaar vocht (op basis van bodemvoorraad, neerslag en berekening) per perceel en jaar en de gerealiseerde maïsopbrengsten (snijmaïs, MKS en MKS-stro) van de percelen van De Marke (R^2 : 28,9%; $P < 0,001$, $Y = 5116 + 18,75 X$).



Figuur 4.3 De maïsopbrengsten (kg drogestof ha⁻¹) van de percelen van De Marke in de periode 1992-1996.

In Figuur 4.3 zijn het verloop en de spreiding van de bruto-maïsoopbrengsten in de tijd (1992-1996) weergegeven. In dezelfde periode is het gemiddelde Pw-getal van de percelen met maïs gedaald van 60 tot 47. In de opbrengsten is echter geen dalende trend waar te nemen. Met de relatie tussen de gerealiseerde opbrengsten en het benutbare vocht (Figuur 4.2) is aangetoond dat de vochtvoorziening een belangrijke rol speelt bij de opbrengstvorming en een deel van de spreiding in de opbrengsten verklaart. Hoe meer van de jaarlijkse neerslag valt binnen de periode van gewasgroei, des te beter kan het benut worden voor de gewasproductie. De meest opvallende droge jaren zijn 1992, 1995 en 1996 (jaarlijkse neerslag, respectievelijk, 781, 732 en 657 mm) waarbij de neerslag in 1996 het beste te benutten bleek voor de groei van de maïs (Tabel 4.2). In 1993 en 1994 viel relatief veel neerslag (respectievelijk 992 en 996 mm per jaar), waarbij in 1993 de neerslag het beste benut kon worden voor de groei van maïs (Tabel 4.2). De jaren met weinig benutbaar vocht (1992 en 1995) en het jaar met het meeste benutbare vocht (1993) weerspiegelen zich duidelijk in de behaalde opbrengsten in die jaren (Figuur 4.3).

Tabel 4.2 Jaarlijkse hoeveelheid neerslag en benutbaar vocht (gewasverdamping (mm) op basis van de beschikbare bodemvoorraad en neerslag) voor de maïsproductie bij een vochtbergend vermogen (vbm) van de bodem van 25 en 75 mm.

Jaar	Neerslag (mm)	Benutbaar vocht (mm)	
		vbm = 25 mm	vbm = 75 mm
1992	781	224	300
1993	992	310	387
1994	996	276	328
1995	732	196	246
1996	657	277	345

In de Figuren 4.4, 4.5 en 4.6 zijn de relaties weergegeven tussen de gerealiseerde bruto maïsoopbrengsten, de nutriëntenopname en de beschikbaarheid van de nutriënten in de bodem (weergegeven door respectievelijk: N-beschikbaar, totaal, Pw-getal en K-getal). De nutriëntengehaltes vertonen enige spreiding. Vergelijkbare gewasopbrengsten worden behaald bij verschillen in N-, P₂O₅- en K₂O-opname. Op basis van een groot aantal veldproeven zijn N-, P₂O₅- K₂O-gehaltes afgeleid, te verwachten bij een ruime nutriëntenvoorziening (Stouthart en Lefering, 1992; pers. med. Schröder en Ehlert, 1998). Voor stikstof is tevens een minimum-gehalte bekend, te verwachten wanneer de gewasopbrengst in sterke mate wordt bepaald door de N-opname (Aarts en Middelkoop, 1990; pers. med. Schröder en Ehlert, 1998). De 'optimale' N-, P₂O₅- en K₂O-gehaltes zijn weergegeven met de doorgetrokken lijnen (nutriëntopname/ opbrengst), het 'minimum' N-gehalte door middel van een gestippelde lijn in Figuur 4.4a.

De gerealiseerde maïsoopbrengsten die rond de doorgetrokken lijnen liggen (voor N de onderste lijn) zijn zeer waarschijnlijk niet beperkt door de opname van nutriënten (Figuren 4a, 5a, 6a). Hoe hoger de opbrengsten boven deze lijn liggen, hoe waarschijnlijker opbrengstlimitering door het betreffende nutriënt is.

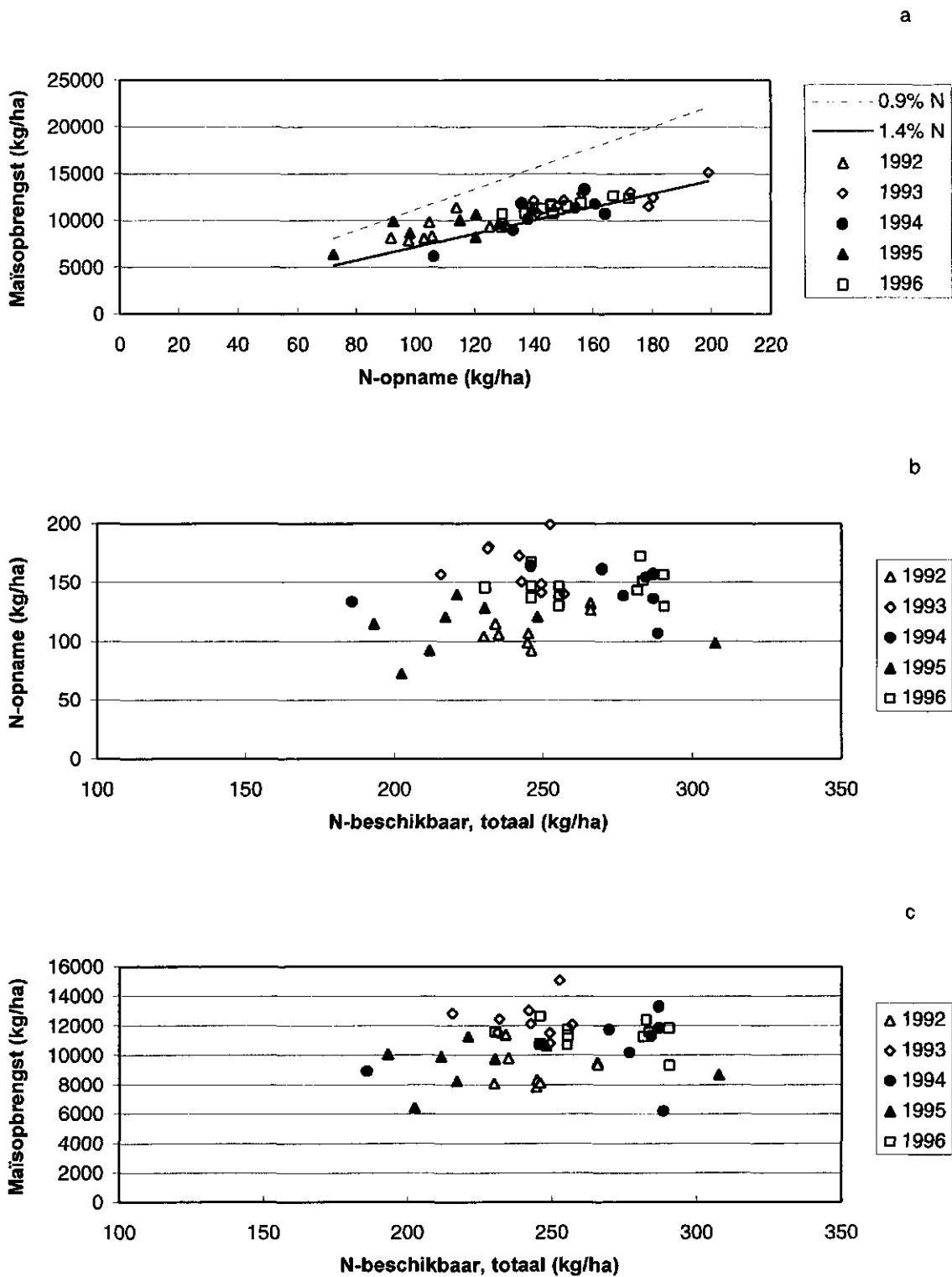
Opvallend zijn de lage maïsoopbrengsten van ca. 6 t ha⁻¹ in 1994 en 1995. De lage opbrengst in 1995 houdt mogelijk verband met de vocht- en/of N-voorziening van het gewas. De lage op-

brengrst in 1994 is niet in verband te brengen met de vocht- of nutriëntenvoorziening. De oorzaak van deze lage opbrengst is niet bekend. De relaties (lineair en niet-lineair) tussen de nutriëntenbeschikbaarheid en de gerealiseerde nutriëntenopnames en maïsopbrengsten zijn getoetst met en zonder de afwijkende punten in 1994 en 1995.

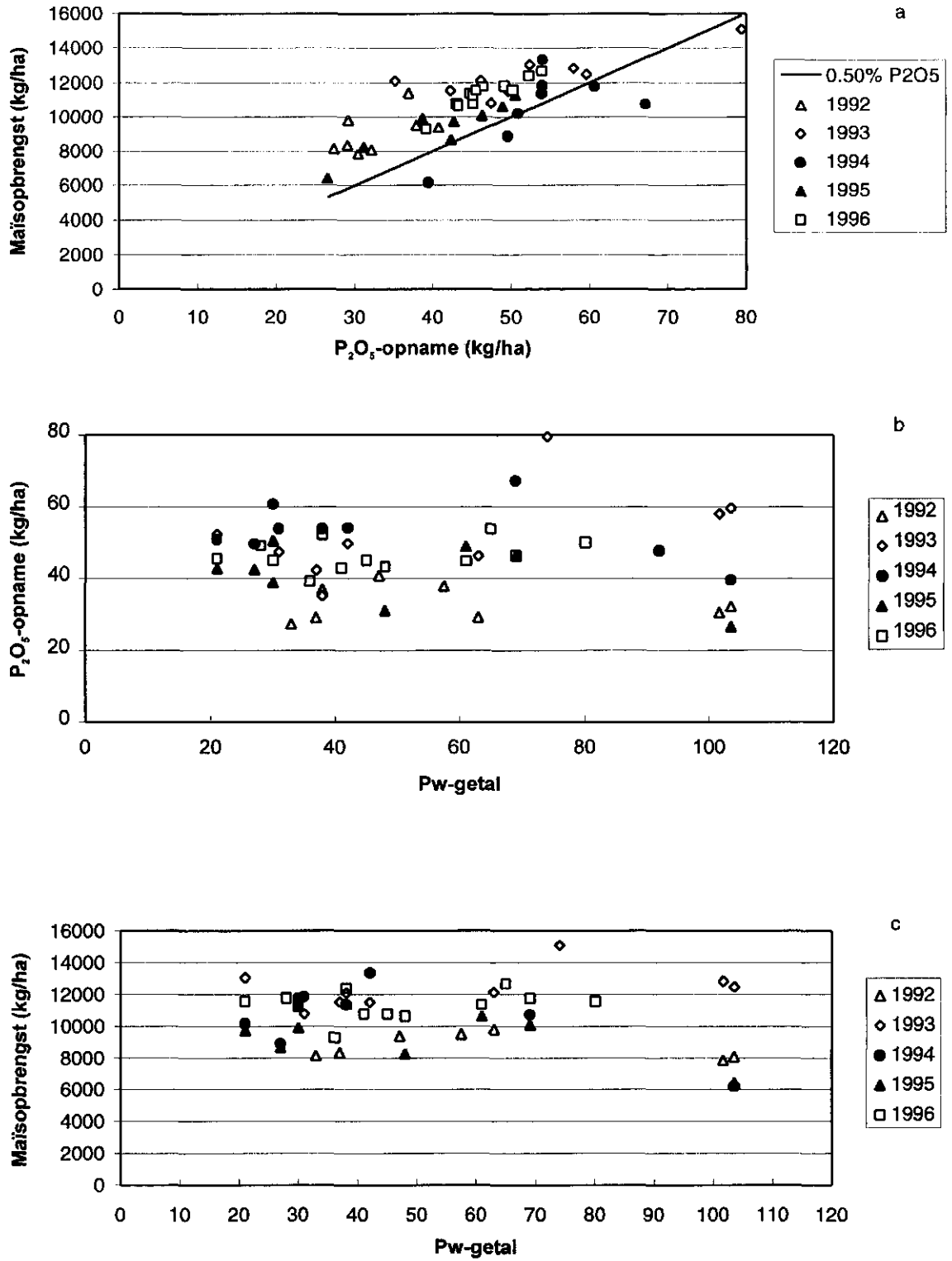
De gerealiseerde N-opnames variëren tussen wat te verwachten is bij een ruime en bij een sterk limiterende N-voorziening (Figuur 4.4a). Opbrengstlimitering door een te beperkte N-voorziening is dus in een aantal gevallen aannemelijk. Een (parabolische) relatie tussen de N-opname en N-beschikbaar, totaal is aantoonbaar ($P = 0.088$) (Figuur 4.4b), maar wordt geheel bepaald door de uitbijters in 1994 en 1995. Opvallend is echter dat in de relatief droge jaren 1992 en 1995 de N-opname per eenheid beschikbare stikstof lager is dan in de overige jaren (Figuur 4.4b). De vochtvoorziening is dus mogelijk bepalend geweest voor de opneembaarheid van de beschikbare stikstof in de bodem. De relatief 'droge percelen' zijn gescheiden van de overige percelen door de jaren 1992 en 1995 te scheiden van de overige jaren en ook door de percelen met een hoeveelheid benutbaar vocht < 300 mm en ≥ 300 mm te scheiden van de overige percelen. Op deze manier ontstaan twee productieniveaus (naar het voorbeeld van Figuur 4.1). In beide gevallen werden zonder de uitbijters geen relaties gevonden tussen de N-opname en N-beschikbaar, totaal. De N-opname werd dus niet aantoonbaar beïnvloed door de beschikbaarheid van N, maar wel indirect door de vochtvoorziening.

Het gevolg is dat ook de maïsopbrengst niet of nauwelijks een relatie vertoont met de hoeveelheid beschikbare stikstof in de bodem. Een verband tussen de maïsopbrengst en N-beschikbaar, totaal is aantoonbaar ($P = 0.093$) (Figuur 4.4c), maar wordt net als de N-opname geheel bepaald door de uitbijters in 1994 en 1995. Het scheiden in jaren leidde alleen voor de jaren 1993, 1994 en 1996 tot een aantoonbare (exponentiële) relatie tussen de maïsopbrengst en N-beschikbaar, totaal met ($P = 0.09$) en zonder ($P = 0.07$) uitbijters. De scheiding op basis van benutbaar vocht leidde zonder uitbijters niet tot aantoonbare relaties tussen opbrengst en de hoeveelheid beschikbare stikstof.

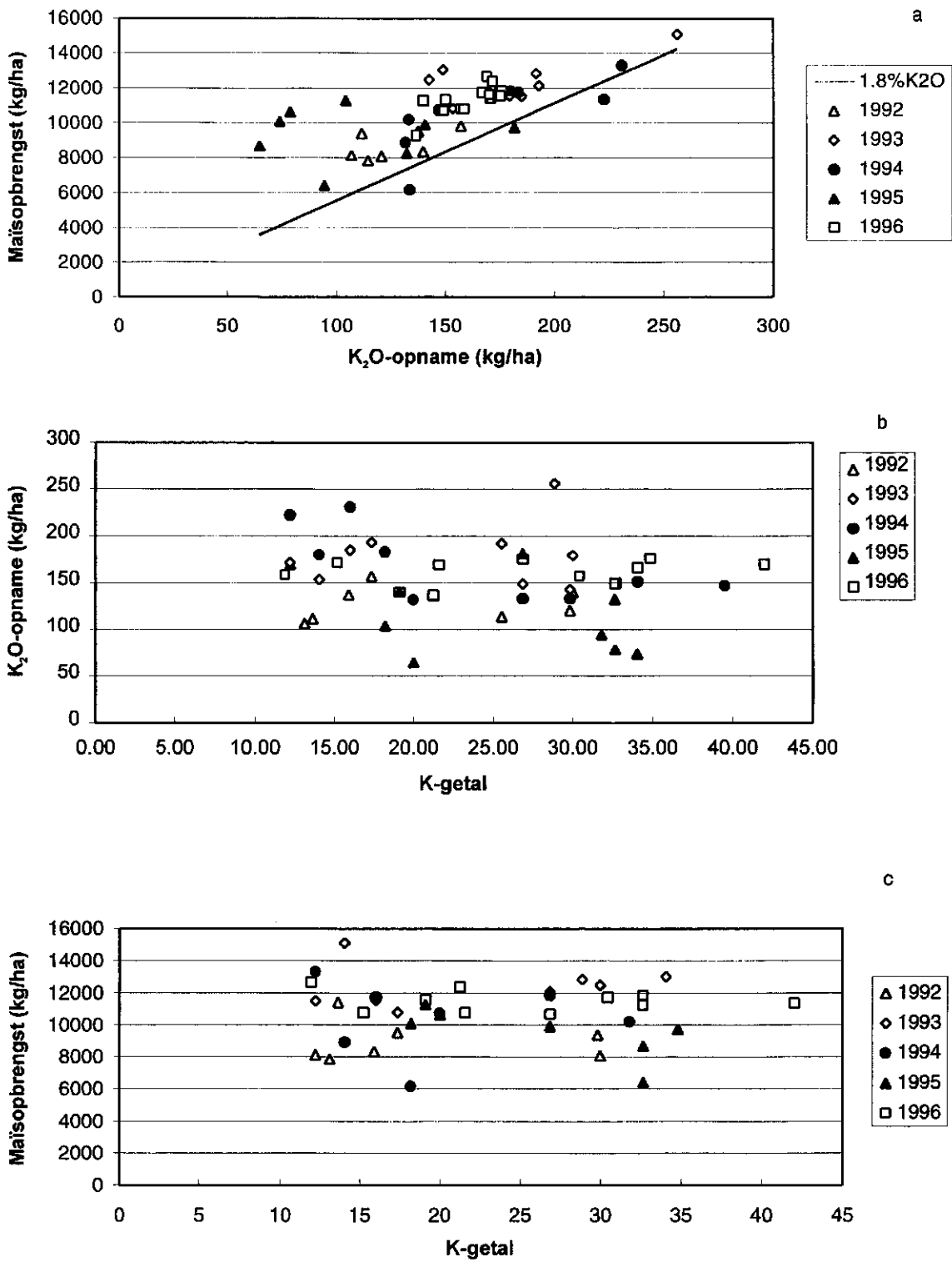
Ook de lage P_2O_5 -gehalten duiden op een mogelijke opbrengstlimitering door fosfaat (Figuur 4.5a). Voor alle data samen werd geen relatie gevonden tussen de fosfaatopname en het Pw-getal. Na het scheiden van de percelen in twee productie-groepen, zoals boven beschreven, werden ook geen overtuigende relaties gevonden tussen de fosfaatopname en het Pw-getal. Alleen een positieve (lineaire) relatie tussen fosfaatopname en het Pw-getal voor de waarnemingen met een berekende hoeveelheid benutbaar vocht ≥ 300 mm bleek aantoonbaar met en zonder uitbijters ($P = 0.092$, $Y = 42.33 + 0.1744 Pw$, $R^2 = 9.7\%$). Voor de andere groepen bleek het wel of niet opnemen van de uitbijters bepalend voor het vinden van een relatie.



Figuur 4.4 Maïsofbrengsten in relatie tot N-opname (a), N-opname in relatie tot N-beschikbaar, totaal (b) en maïsofbrengsten in relatie tot N-beschikbaar, totaal (c). De minimum en optimum N-gehaltenes (te verwachten bij een ruime N-voorziening) zijn weergegeven met de hellingshoek van de gestippelde en de doorgetrokken lijn (a) (Aarts en Middelkoop, 1990; Stouthart en Leferink, 1992; Schröder, AB-DLO, pers. med., 1998) (N-beschikbaar, totaal = N-beschikbaar via mineralisatie, depositie, organische mest en kunstmest).



Figuur 4.5 Maisopbrengsten in relatie tot P₂O₅-opname (a), P₂O₅-opname in relatie tot het Pw-getal (b) en maisopbrengsten in relatie tot het Pw-getal (c). Het optimale P₂O₅-gehalte (te verwachten bij een ruime fosfaatvoorziening) is weergegeven met de hellingshoek van de doorgetrokken lijn (a) (Stouthart en Leferink, 1992; Schröder, AB-DLO, pers. med., 1998).



Figuur 4.6 Maïsofbrengsten in relatie tot K_2O -opname (a), K_2O -opname in relatie tot het K-getal (b) en maïsofbrengsten in relatie tot het K-getal (c). Het optimale K_2O -gehalte (te verwachten bij een ruime kalivoorziening) is weergegeven met de hellingshoek van de doorgetrokken lijn (a) (Stouthart en Leferink, 1992; Schröder, AB-DLO, pers. med., 1998).

Een relatie tussen de maïsopbrengst en het Pw-getal is voor alle data samen niet aantoonbaar. Alleen de groepen waarnemingen in de jaren 1993, 1994, 1996 ($P = 0.04$, $Y = 10631 + 20,8 Pw$, $R^2 = 12\%$) en de groep met benutbaar vocht ≥ 300 mm ($P = 0.097$, $Y = 10586 + 21,4 Pw$, $R^2 = 9,3\%$), vertonen zonder uitbijters een aantoonbare positieve lineaire relatie tussen de maïsopbrengst en het Pw-getal.

Bij een ruime vochtvoorziening (benutbaar vocht ≥ 300 mm) is dus enig effect van het Pw-getal op de fosfaatopname en maïsopbrengsten aantoonbaar. Bij een krappe vochtvoorziening is de opneembaarheid van het in de bodem beschikbare fosfaat mogelijk beperkend.

Ook de lage K_2O -gehalten duiden op een mogelijke opbrengstlimitering door kalium (Figuur 4.6a). De kali-opnames en gewasopbrengsten vertonen echter geen relatie met het K-getal, ook niet na het scheiden van de percelen in twee productie-groepen zoals boven beschreven. Het K-getal heeft blijkbaar geen aantoonbare directe invloed op de maïsopbrengsten op De Marke. De kali-opname is mogelijk wel indirect beperkt door de vochtvoorziening en mogelijk spelen ook verschillen in kali-bemesting een rol.

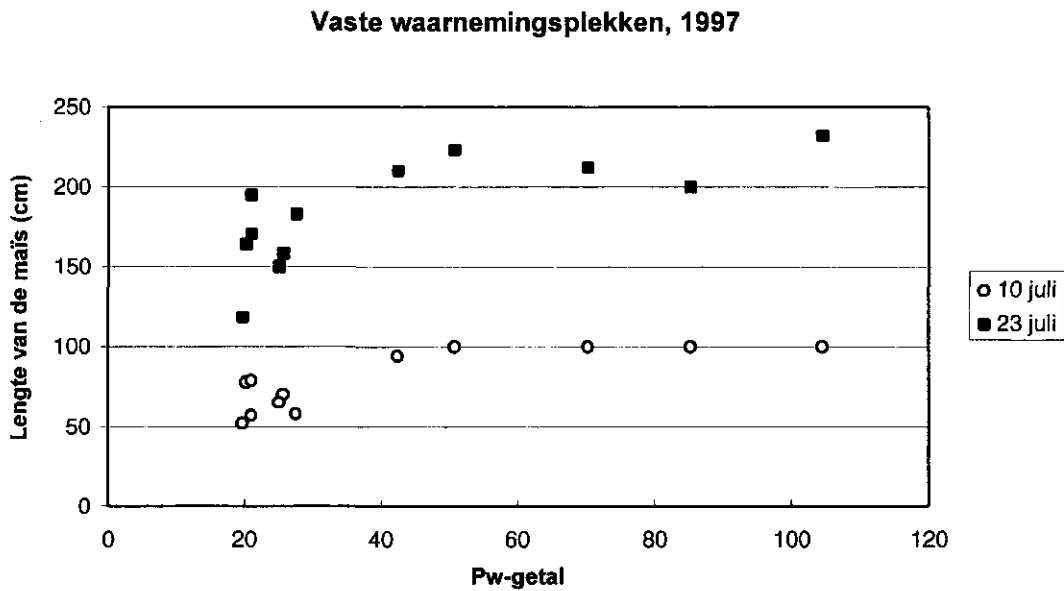
De bovenbeschreven analyses tonen aan dat de vochtvoorziening de meest opvallende opbrengstbeperkende factor is van maïs op De Marke. Op basis van de waargenomen nutriëntengehaltes kan verondersteld worden dat de nutriëntenvoorziening tevens beperkend is geweest voor de opbrengstvorming. Directe overtuigende relaties tussen maïsopbrengsten en nutriëntenopnames en de beschikbaarheid van stikstof in de bodem, het Pw-getal en het K-getal bleken niet aanwezig. Alleen het Pw-getal bleek bij een ruime vochtvoorziening enig aantoonbaar effect te hebben op de fosfaatopname en maïsopbrengsten. Mogelijk is de nutriëntopname wel indirect beperkt door de vochtvoorziening.

4.4 Is de fosfaattoestand van de maïspercelen in het voorjaar van de weg af te zien?

In 1997 bleef de begingroei van maïs op sommige percelen zichtbaar achter bij die op andere percelen. De lengte van de maïsplanten waargenomen op de vaste waarnemingsplekken vertoonde een duidelijk verband met het Pw-getal, zoals te zien is in Figuur 4.7. De fosfaattoestand was 'van de weg af te zien'. De gemiddelde lengte, maar ook de gemiddelde drogestofopbrengst in juli waren significant lager op plekken met een Pw-getal ≤ 30 dan op plekken met een Pw-getal > 30 ($P < 0,001$).

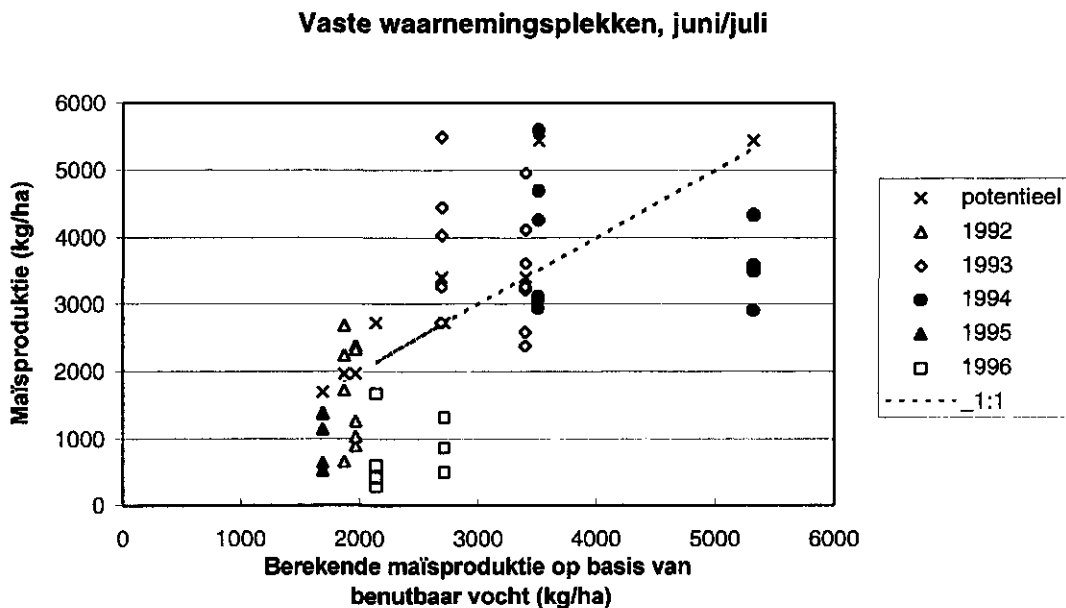
Ook in de jaren 1992, 1993 en 1996 bleek een positieve (lineaire) relatie aanwezig ($P \leq 0,013$, $n \geq 8$) tussen de drogestofopbrengst in juni/juli en het Pw-getal. Het aantal waarnemingen in 1995 was beperkt ($n = 4$) en resulteerde in een negatieve relatie ($P = 0,047$). Op basis van de waarnemingen in 1994 ($n = 11$) werd geen relatie waargenomen.

Nagegaan is welke factoren met name de begingroei van maïs bepalen (voor alle waarnemingen tezamen) in de periode 1992-1996. Hierbij is gebruik gemaakt van de gemeten gewasproductie, N-, P_2O_5 - en K_2O -gehalten, en bodemvruchtbaarheidskarakteristieken bepaald op de vaste waarnemingsplekken.



Figuur 4.7 De gemiddelde lengte van maïsplanten waargenomen op 10 en 23 juli 1997 op de vaste waarnemingsplekken binnen de maïspercelen van De Marke in relatie tot het Pw-getal.

Analoog aan de analyse van de gewasopbrengsten van de percelen is in eerste instantie het belang van de vochtvoorziening nagegaan. De gerealiseerde maïsproductie tot de tussen oogst in juni/juli is uitgezet tegen de berekende gewasproductie op basis van de hoeveelheid beschikbaar vocht (Figuur 4.8). De berekende potentiële opbrengsten (x) zijn voor de meeste vaste waarnemingsplekken iets hoger dan de berekende productie op basis van het beschikbaar vocht. Dit geeft aan dat in de groeiperiode tot de tussen oogsten nog maar weinig of geen vochttekort is opgetreden. Tevens valt op dat de potentiële productieniveaus verschillen tussen de jaren. Dit is een gevolg van verschillen in groeiduur tot de tussen oogst in juni of juli.



Figuur 4.8 De potentiële (berekende) en gerealiseerde maïsproductie tot de tussen oogst in juni/juli van de vaste waarnemingsplekken binnen de maïspercelen van De Marke in relatie tot de berekende gewasproductie op basis van de hoeveelheid beschikbaar vocht ($Y = 2,0 + 0,853 X$, R^2 : 36,0%; $P < 0,001$).

De spreiding van de gerealiseerde maïsproductie is groot per berekend productieniveau. Dit heeft mogelijk deels te maken met de bontheid van de percelen als gevolg van verschillen in bodemkarakteristieken.

Tevens is bij de berekening van de gewasproductie uitgegaan van eenzelfde opkomstdatum (Sectie 4.2), terwijl verschillen daarin, met name vanwege de vrij korte groeiperiode tot de tus-senoogst, een vrij grote invloed hebben op de gewasproductie. Ondanks de vrij grote spreiding is het verband tussen de gerealiseerde maïsproductie en de berekende productie significant ($P < 0,001$).

De verschillen in gewasproductie zijn mogelijk ook deels een gevolg van verschillen in beschikbaarheid van nutriënten. In Figuur 4.9 is de gerealiseerde gewasproductie uitgezet tegen het Pw-getal, het K-getal en N-beschikbaar in het voorjaar. Omdat de gewasproductieniveaus in de verschillende jaren verschillen, zijn alle opbrengsten weergegeven als percentage van de maximale opbrengst van de tus-senoogst per jaar. Op deze wijze worden de relatieve opbrengstverschillen tussen de verschillende waarnemingsplekken zichtbaar. De statistische berekeningen worden echter beïnvloed door het weergeven in percentages. Het gevolg is dat de verdere statistische berekeningen een 'indicatie' geven van aanwezige relaties. De relatieve verschillen in opbrengst tussen de waarnemingsplekken per jaar vertonen een verband met het Pw-getal ($P < 0,001$). Geen relatie werd gevonden met de beschikbaarheid van N of met het K-getal. Dit duidt op een mogelijk fosfaattekort tijdens de begingroei van maïs, zoals al werd verondersteld op basis van waarnemingen in 1997.

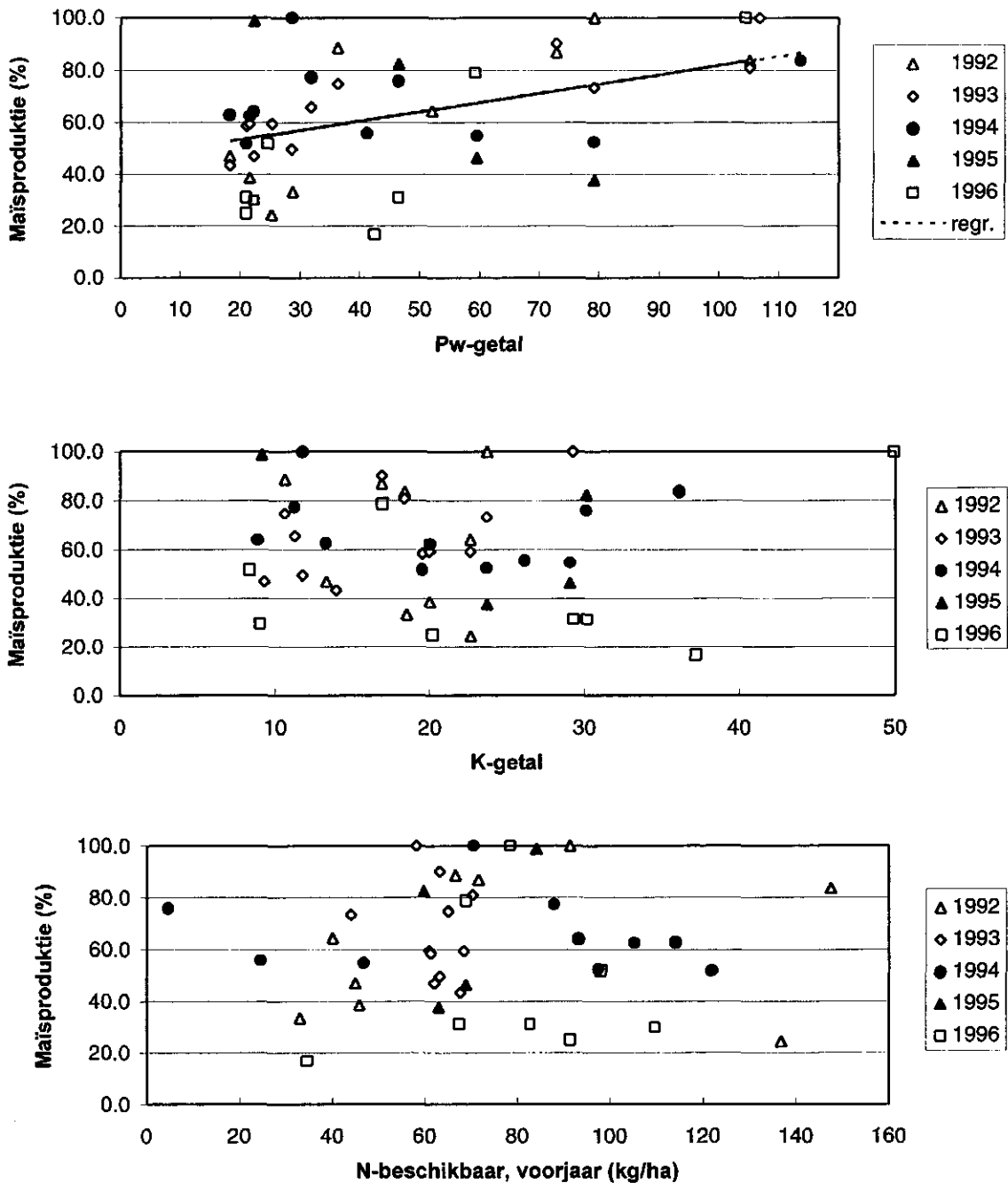
Dit beeld wordt bevestigd door de resultaten in Tabel 4.3. De relatieve gewasproductie tot juni/juli op de waarnemingsplekken is lager ($P < 0,01$) voor de plekken met een Pw-getal ≤ 30 dan voor de plekken met een Pw-getal > 30 (respectievelijk 51,9% en 70,9%). Tevens zijn de relatieve P_2O_5 -gehaltes gemiddeld lager ($P < 0,01$) voor de eerste groep. De verschillen in gemiddeld relatief N- en K-gehalte zijn niet significant. De beschikbaarheid van N is zelfs significant hoger voor de percelen met een Pw-getal ≤ 30 , maar het K-getal is significant lager voor deze plekken.

Op basis van bovenstaande bevindingen kan geconcludeerd worden dat de achterblijvende groei van maïs in het voorjaar met name lijkt samen te hangen met een lage fosfaattoestand.

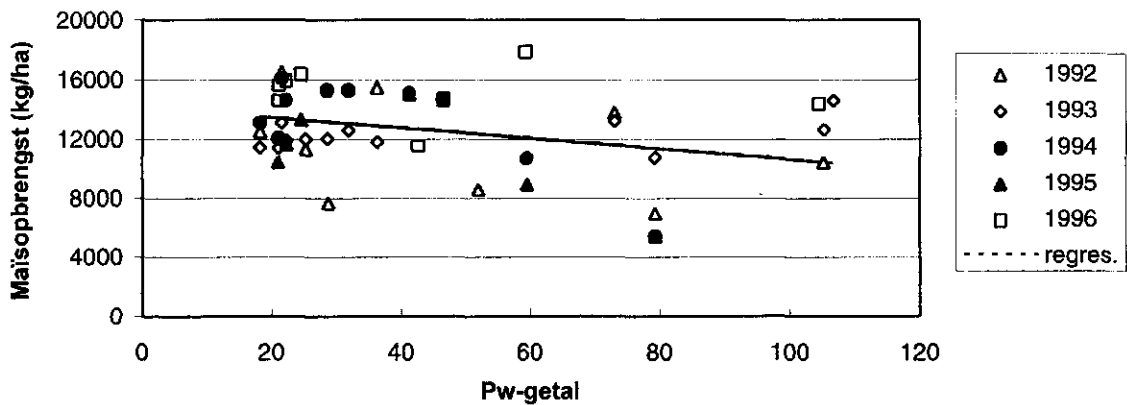
Tabel 4.3 De gemiddelde maïsproductie tot juni/juli, nutriëntengehaltes (per waarneming uitgedrukt als percentage van het maximum per jaar), het Pw-getal, het K-getal en N-beschikbaar in het voorjaar voor vaste waarnemingsplekken met een Pw-getal ≤ 30 en een Pw-getal > 30 (sl/sh: het gemiddelde van Pw ≤ 30 is significant lager/hoger dan voor Pw > 30).

	Productie (%)	P_2O_5 -geh. (%)	K_2O -geh. (%)	Ngeh. (%)	Pw-getal	K-getal	N-besch. (kg ha ⁻¹)
Pw ≤ 30	51,9 sl	71,3 sl	80,2	83,1	22,7 sl	15,9 sl	79,7 sh
Pw > 30	70,9	80,4	80,1	84,1	65,2	24,1	65,2
LSD.01	3,8	3,4	3,8	2,6	3,1	1,3	4,6

Van de positieve relatie tussen de maïsproductie en het Pw-getal rond juni/juli wordt niets teruggevonden bij de eind oogst (Figuur 4.10). De eindopbrengsten vertonen zelfs een licht negatief verband met het Pw-getal ($P < 0,1$). Ook de perceelsopbrengsten vertonen geen relatie met het Pw-getal indien alle data in de analyse worden betrokken (Figuur 4.5c). Alleen de percelen met de beste vochtvoorziening (benutbaar vocht ≥ 300 mm) vertonen een licht positief verband tussen de fosfaatopname, maïsopbrengsten en het Pw-getal. Een positieve relatie werd niet gevonden voor de vaste waarnemingsplekken met de beste vochtvoorziening.



Figuur 4.9 De gerealiseerde gewasproductie in juni/juli (in percentage van de maximale productie per jaar) in relatie tot het Pw-getal ($P < 0,001$; $R^2: 23,2\%$, $Y = 43,9 + 0,398 X$, $n = 44$), het K-getal en N-beschikbaar in het voorjaar (= N-mineraal in de bodem (0-40 cm) vóór bemesting, en in organische mest en kunstmest)).



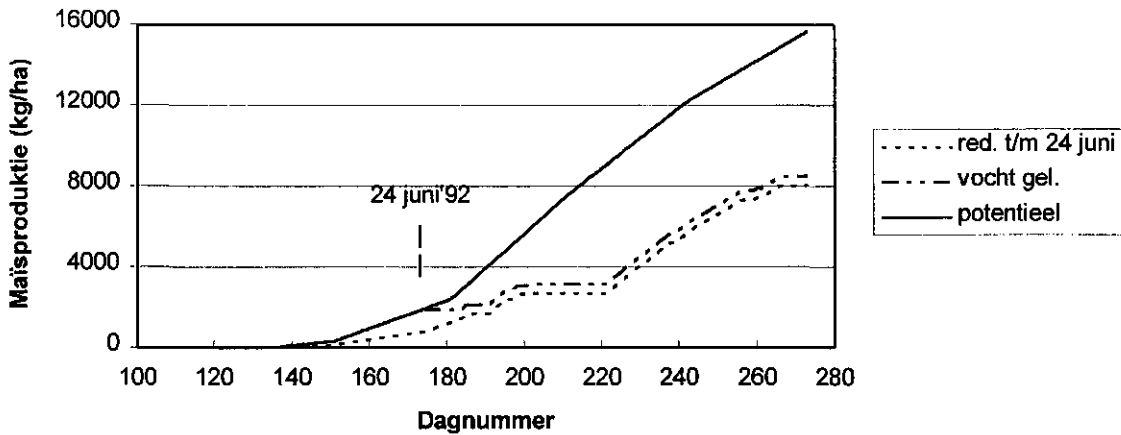
Figuur 4.10 De maïsofbrengst (eindooft) van de vaste waarnemingsplekken binnen de percelen van De Marke in relatie tot het Pw-getal ($P < 0,1$; R^2 : 9.8%, $Y = 14174 - 35,1 X$).

Hoe is het mogelijk dat verschillen in de voorjaarsproductie niet of nauwelijks zijn terug te vinden bij de eindooft? De percelen (en vaste waarnemingsplekken) op De Marke verschillen onderling in vochtleverend vermogen en de percelen met een hoger Pw-getal hebben een wat geringer vochtleverend vermogen dan de overige percelen. Tot juni/juli heeft dit weinig invloed op de maïsofbrengst (Figuur 4.8). Gedurende de rest van het groeiseizoen wordt de invloed van de vochtvoorziening zichtbaar en overschaduwde het effect van de geremde voorjaarsgroei. Het resultaat is dat op basis van alle percelen en vaste waarnemingsplekken niet of nauwelijks een positief verband werd gevonden tussen de uiteindelijke maïsofbrengsten en het Pw-getal (Figuren 4.4 en 4.10).

Verder kunnen verschillen in andere factoren bijdragen aan nivellering van de verschillen in voorjaarsgroei. In de vorige sectie is al duidelijk geworden dat de vochtvoorziening van belang is voor de gewasproductie en dit weerspiegelt zich in een positieve relatie tussen de berekende hoeveelheid benutbaar vocht en de eindopbrengsten van de percelen (Figuur 4.2). Vochtbeperkende periodes treden met name op vanaf juni/juli, na de periode waarin de tusseooften hebben plaatsgevonden. Het goed groeiende gewas heeft de bodemvochtvoorraad meer aangegproken dan het in groei geremde gewas. In de optredende drogere periodes kan het geremde gewas wat langer teren op de bodemvoorraad dan het tot dan toe productievare gewas, zodat de verschillen in gewasproductie minder worden. Met een eenvoudig gewasgroei-model, als beschreven in Sectie 4.2, is dit proces zichtbaar gemaakt voor 1992 voor een bodem met een vochtbergend vermogen van 25 mm (Figuur 4.11). In de figuur zijn weergegeven de door vocht gelimiteerde maïsofbrengst en de vochtgelimiteerde productie met additionele groeiremming tot en met 24 juni, de datum van de tusseooft in dat jaar. De opgelegde groeireductie van 52% is gelijk aan het gemiddelde verschil in gewasproductie in 1992 tussen de vaste waarnemingsplekken met een Pw-getal ≤ 30 en een Pw-getal > 30 . In Figuur 4.11 is duidelijk te zien dat het relatief grote relatieve verschil in gewasproductie rond 24 juni (56% ten opzichte van de hoogste waarde) deels nivelleert door het optreden van droogte. Tevens wordt het relatieve verschil kleiner door de gewasproductie na 24 juni zonder opgelegde groeiremming. Het berekende verschil aan het einde van de groeiperiode is nog slechts 5,5%.

Bij de modelberekeningen wordt geen rekening gehouden met de invloed van wel/geen kolfzetting op de eindopbrengst en het op gang komen van de gewasgroei na droogte. Verschillen

in beschikbaar vocht in 'kritische periodes' van de gewasgroei kunnen mogelijk een nog sterker nivellerend karakter hebben dan hierboven geschetst.



Figuur 4.11 De berekende potentiële groei van maïs (potentieel), de door vocht gelimiteerde gewasproductie (vochtgel.) en de vochtgelimiteerde productie met een groeiremming van 52% tot en met 24 juni 1992 (red. t/m 24 juni) voor een bodem met een vochtbergend vermogen van 25 mm.

Er zijn ook aanwijzingen dat een gewas met sub-optimale fosfaatvoorziening later afrijpt dan een gewas met optimale fosfaatvoorziening (Schröder en Ehlert, 1998) met als gevolg dat de verschillen in jeugdontwikkeling niet of in geringe mate zijn terug te vinden bij de eindopbrengst.

Bovenstaande geeft aan dat mogelijk én een beperkte vochtvoorziening én nivellering van verschillen in voorjaarsgroei ertoe bijdragen dat deze verschillen niet worden teruggevonden bij de eindopbrengsten van maïs op De Marke.

4.5 Het fosfaatgehalte van de maïs

De nutriëntengehaltes bij de eindoogst van de maïs op De Marke (periode 1992-1996) zijn weergegeven in Figuur 4.12. Zoals eerder beschreven, daalde in deze periode het gemiddelde Pw-getal van de maïspcelen van 60 tot 47. Het fosfaatgehalte vertoont echter geen dalende trend.

Nagegaan is of de nutriëntengehaltes een verband vertonen met de fosfaattoestand. In Tabel 4.4 zijn de nutriëntengehaltes weergegeven voor percelen en vaste waarnemingsplekken met een Pw-getal ≤ 30 en een Pw-getal > 30 . Ter aanvulling zijn ook de maïsoopbrengsten weergegeven.

Zoals beschreven in het voorgaande zijn de eindopbrengsten van maïs niet aantoonbaar lager bij relatief lage Pw-getallen. De opbrengsten zijn zelfs significant wat hoger bij een Pw-getal ≤ 30 dan bij een Pw-getal > 30 (Tabel 4.4, $P < 0,1$). Het gemiddelde N- en P_2O_5 -gehalte in de per-

ceelsopbrengsten is significant hoger voor de percelen met een Pw-getal ≤ 30 dan voor de overige percelen. Het K_2O -gehalte is significant lager voor de eerste groep percelen dan voor de tweede. De eindopbrengsten van de vaste waarnemingsplekken tonen een gemiddeld lager P_2O_5 -gehalte in de groep plekken met een Pw-getal ≤ 30 dan in de groep met een Pw-getal > 30 , namelijk 0,38% ten opzichte van 0,47% ($P < 0,01$). Ook het N- en K_2O -gehalte zijn lager ($P < 0,01$). Alle gemiddelde nutriëntengehaltes zijn lager dan het niveau dat verwacht kan worden bij een ruime nutriëntenvoorziening (Figuren 4.4, 4.5 en 4.6, Sectie 4.3).

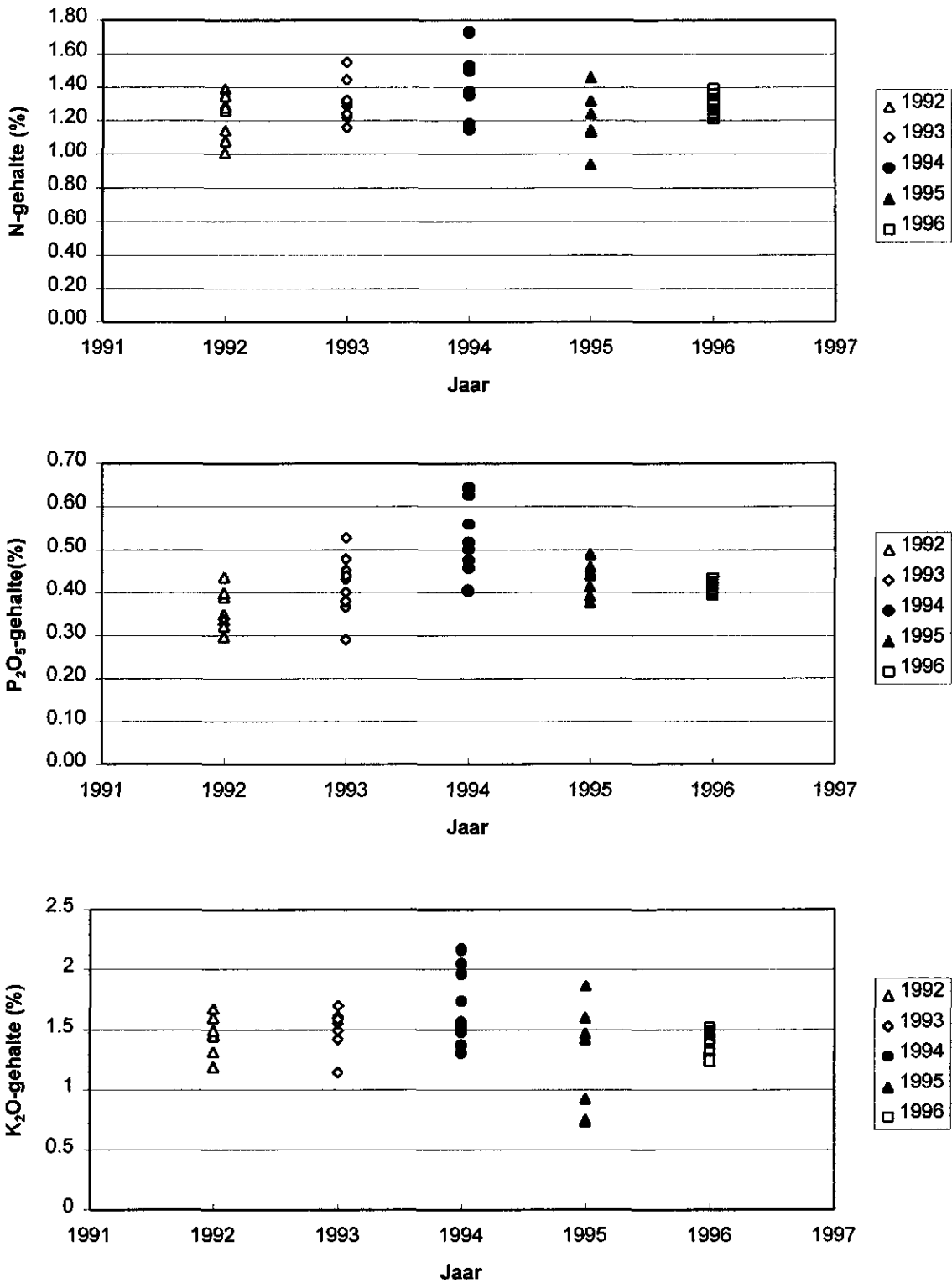
Tabel 4.4 De gemiddelde opbrengst en nutriëntengehaltes (%) bij de eind oogst van percelen en vaste waarnemingsplekken binnen de percelen van De Marke met een Pw-getal ≤ 30 en een Pw-getal > 30 , voor de periode 1992-1996 (sl/sh: het gemiddelde van Pw ≤ 30 is significant lager/hoger dan van Pw > 30).

	Percelen				Vaste waarnemingsplekken			
	Opbr. (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	N (%)	Opbr. (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	N (%)
Pw < 30	10728 sh	0,451 sh	1,34 sl	1,28 sh	13145 sh	0,379 sl	1,41 sl	1,23 sl
Pw > 30	10477	0,431	1,48	1,31	12088	0,469	1,48	1,28
LSD.01	335	0,014	0,058	0,029	479	0,028	0,039	0,036
LSD.1	210	0,0087	0,0361	0,018	299	0,017	0,024	0,023

Op basis van bovenstaande is niet duidelijk aan te geven of het P_2O_5 -gehalte van de maïs een verband vertoont met de fosfaattoestand van de bodem aangezien de resultaten van de percelen en de vaste waarnemingsplekken niet hetzelfde beeld vertonen. Hetzelfde geldt voor het N-gehalte. Alleen het K_2O -gehalte is voor zowel de percelen als voor de vaste waarnemingsplekken lager bij een Pw-getal ≤ 30 dan bij een Pw-getal > 30 . Voorlopig kan van een 'mogelijk' minimaal gemiddeld P_2O_5 -gehalte van 0,38% uitgegaan worden bij een Pw-getal ≤ 30 vastgesteld op basis van de vaste waarnemingsplekken.

4.6 Discussie en conclusies

De gemiddelde hoeveelheid beschikbaar fosfaat op De Marke is tussen 1989/90 en 1995/96 afgenomen en verdergaande nivellering en daling van de fosfaattoestand van de percelen is te verwachten bij realisering van een fosfaatoverschot van 1 kg ha⁻¹ voor alle percelen (Schoumans, 1998). In dit hoofdstuk is nagegaan welke factoren het meest bepalend zijn voor de maïsopbrengsten op De Marke en of de waargenomen daling in de fosfaattoestand van de percelen zich weerspiegelt in een daling van de maïsopbrengst en/of het fosfaatgehalte in de maïs in de periode 1992-1996. Tevens is nagegaan of de maïsopbrengsten en fosfaatgehalten van de percelen met een relatief lage fosfaattoestand lager zijn dan die van de percelen met een relatief hoge fosfaattoestand, om een idee te krijgen van te verwachten maïsopbrengsten en fosfaatgehalten bij verdergaande daling en nivellering van de fosfaattoestand van de percelen.



Figuur 4.12 De nutriëntengehaltes van de maïs van de percelen van De Marke in de periode 1992-1996.

De gerealiseerde maisopbrengsten en -fosfaatgehalten vertonen geen afnemende trend in de periode 1992-1996. Het gerealiseerde gemiddelde opbrengstniveau is vergelijkbaar met het berekende vochtgelimiteerde opbrengstniveau van $10,6 \text{ t ha}^{-1}$, en 33% lager dan het berekende potentiële productieniveau van ca. 16 t ha^{-1} . Aangetoond is dat de vochtvoorziening de meest opvallende opbrengstlimiterende factor is op De Marke. Op basis van de waargenomen nutri-

entengehaltes kan verondersteld worden dat de nutriëntenvoorziening tevens enigszins beperkend is geweest. Een duidelijk verband tussen de maïsopbrengsten en nutriëntenopnames en de beschikbaarheid van stikstof in de bodem, het Pw-getal en het K-getal bleek niet aanwezig. Alleen voor de percelen met de beste vochtvoorziening bleek een positieve relatie aantoonbaar tussen de fosfaatopname en maïsopbrengsten en het Pw-getal. Mogelijk is de nutriëntenopname wel indirect beperkt door de vochtvoorziening. Op basis van veldproeven met meer gedetailleerde waarnemingen is door Schröder en Ten Holte (1996) aangetoond dat de stikstofvoorziening op De Marke gemiddeld een opbrengstderving van 8% tot gevolg heeft.

De achterblijvende groei van maïs in het voorjaar lijkt met name samen te hangen met een lage fosfaattoestand. De relatief lange groeiperiode na de voorjaarsremming, mogelijke verschillen in vochtbenutting en afrijping kunnen ertoe leiden dat de aanvankelijke verschillen in opbrengst niet of nauwelijks zijn terug te vinden bij de eind oogst. Op De Marke speelt ook mee dat de percelen met een relatief hoog Pw-getal een wat geringer vochtleverend vermogen hebben dan de overige percelen. Na de voorjaarsgroei wordt de invloed van de vochtvoorziening zichtbaar en overschaduwde het effect van de geremde voorjaarsgroei.

Ook op basis van uitgevoerde veldproeven op De Marke werd geen effect gevonden van de fosfaatvoorziening in het voorjaar (in de vorm van een rijenbemesting) op de eindopbrengsten van snijmaïs bij percelen met een Pw-getal van 27-33. (Schröder en Ten Holte, 1996; Schröder en Ehlert, 1998). In tegenstelling tot de resultaten van de vaste waarnemingsplekken werd echter in drie van de vier jaar ook geen positief effect op de maïsproductie waargenomen bij de tussen oogsten in juni-juli. Deze verschillen in analyseresultaten geven aan dat niet met zekerheid is aan te geven of de verschillen in gewasproductie in het voorjaar waargenomen binnen verschillende percelen van De Marke een gevolg zijn van een lage fosfaattoestand.

Het P_2O_5 -gehalte van de maïs vertoont geen overtuigend positief verband met de fosfaattoestand van de bodem. Voorlopig kan van een 'mogelijk' minimaal gemiddeld P_2O_5 -gehalte van 0,38% uitgegaan worden bij een Pw-getal ≤ 30 .

Naar verwachting zal het aantal percelen op De Marke met een Pw-getal lager dan 30 toenemen in de toekomst (Habekotté *et al.*, 1998; Schoumans, 1998). Op basis van de analyses kan verondersteld worden dat voor de nabije toekomst (op z'n minst de komende 10 jaar) van dezelfde gemiddelde eindopbrengsten van maïs uitgegaan kan worden. De spreiding rond dit gemiddelde wordt in belangrijke mate bepaald door de vochtvoorziening. Mogelijk dat de nutriëntengehaltes een daling vertonen naarmate het aantal percelen met een Pw-getal ≤ 30 toeneemt. Op de langere termijn, na ca. 2008 volgens een 'worst-case' scenario en na ca. 2045 volgens 'best-case' scenario, (Schoumans, 1998) zijn Pw-getallen lager dan 20 te verwachten indien een fosfaatoverschot van 1 kg ha^{-1} wordt gerealiseerd op alle percelen. Bij toepassing van de huidige op nivellering gerichte bemestingsstrategie zal het nog langer duren voordat dergelijke lage Pw-waarden worden bereikt. Op basis van de beschikbare data kan geen uitspraak gedaan worden over de dan te verwachten opbrengsten. Het is echter ook mogelijk dat percelen die van een hoge fosfaattoestand in een lagere fosfaattoestand terecht komen bij eenzelfde Pw-getal toch meer beschikbaar fosfaat bevatten voor de gewasgroei dan percelen die altijd een lage fosfaattoestand hebben gehad (O.F. Schoumans, SC-DLO, pers. med., 1998). In dat geval is het optreden van enige opbrengstderving mogelijk beperkt. Ongeacht het uiteindelijke resultaat, het verhogen van de fosfaatbemesting blijft vanuit milieuhygiënisch oogpunt ongewenst. Een mogelijke opbrengstderving zal dus zoveel mogelijk voorkomen moeten worden door een verbetering van de teelttechniek.

5 Fosfaatbeheer bij de teelt van maïs

J.J. Schröder¹ en P.A.I. Ehlert¹

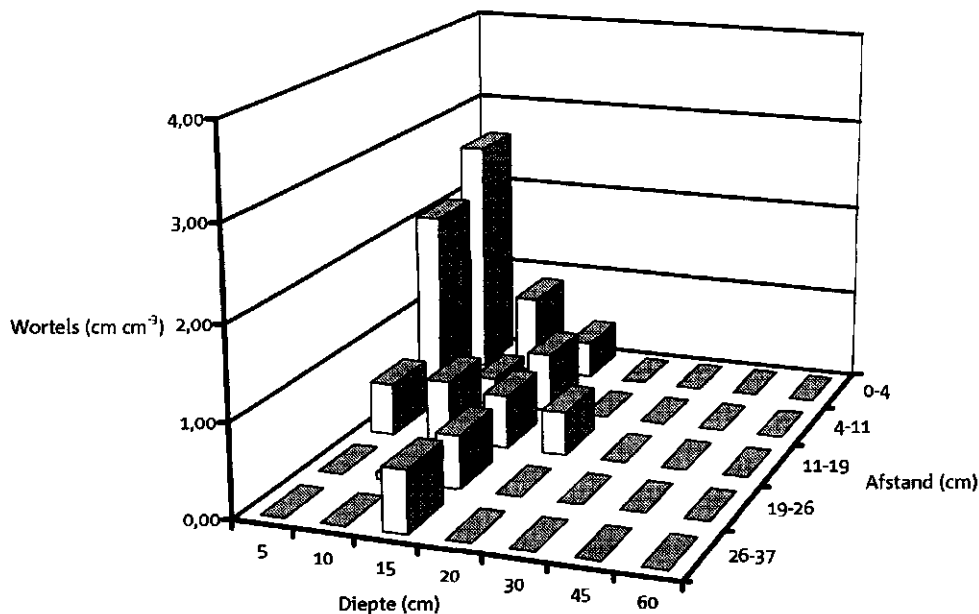
¹ AB-DLO

5.1 Inleiding

Sommigen beweren dat maïs alleen bij een ruime bemesting succesvol geteeld kan worden. Krap bemesten zou daarbij gelijk staan aan een misoogst. Onderzoek gedurende de afgelopen vijftien jaar op diverse plaatsen in Nederland heeft aangetoond dat een drastische verlaging van de bemesting met stikstof (N) slechts een beperkt effect op de opbrengst van maïs heeft. Het is daarbij wel belangrijk dat de plaats en het tijdstip van mesttoediening zorgvuldig gekozen worden en dat gebruik wordt gemaakt van wintergewassen. De milieuwinst van zo'n terughoudende N-bemesting is opmerkelijk (Schröder, 1998b). Een milieukundig verantwoorde bemesting houdt in dat verliezen naar het milieu klein genoeg zijn om aan kwaliteitseisen van grond- en oppervlaktewater te voldoen. Milieukundig verantwoorde P-verliezen zijn in het algemeen niet hoger dan 1 kg fosfaat (P_2O_5) per ha per jaar terwijl zogenaamd 'goed landbouwkundig gebruik' leidt tot een onvermijdbaar verlies van 0-50 kg fosfaat per ha per jaar. In deze bijdrage zal worden nagegaan in hoeverre er toch ook voor fosfaat aangrijpingspunten bestaan voor een milieukundig verantwoorde bemesting.

5.2 Beworteling

Plantenwortels nemen voedingsstoffen op via het vocht dat de wortels binnenkomt om de verdampingsstroom naar het blad te onderhouden ('massastroming'), doordat voedingsstoffen zich als gevolg van een concentratieverval naar de wortels bewegen ('diffusie') en door het aanboren van bodemvoorraden ('interceptie'). De hoeveelheid fosfaat in de bodemoplossing is veel te laag om het gewas door massastroming te kunnen voeden. Desorptie van fosfaat vanaf bodemdeeltjes en de daarop volgende diffusie zijn daarmee de belangrijkste processen in de bodem om een gewas van fosfaat te voorzien. Desorptie verloopt instantaan en de transportnelheid van fosfaat door de bodemmatrix naar de wortel wordt dan ook als de meest beperkende factor voor opnamemogelijkheden gezien (De Willigen en Van Noordwijk, 1987). Direct om de plantenwortel raakt daardoor het gewasbeschikbare fosfaat snel uitgeput. De bodem is niet in staat om die uitgeputte voorraad snel aan te vullen. Om deze reden moet een maïs-gewas voortdurend nieuwe bodemvoorraden aanboren om in de vraag naar fosfaat te voorzien. In het voorjaar duurt het echter geruime tijd voordat maïswortels in voldoende mate zijn doorgedrongen in het gebied tussen de rijen en tot grotere diepte (Figuur 5.1). Bij koude blijven wortels bovendien gedrongener zodat per kg drogestof die in de ondergrondse delen geïnvesteerd wordt, minder meters wortel worden gemaakt. Uit het voorgaande kan worden afgeleid dat zorgvuldig met bewortelingsmogelijkheden en wortels moet worden omgesprongen en dat de fosfaatvoorziening van maïs met name in een koel en droog voorjaar te wensen over kan laten.



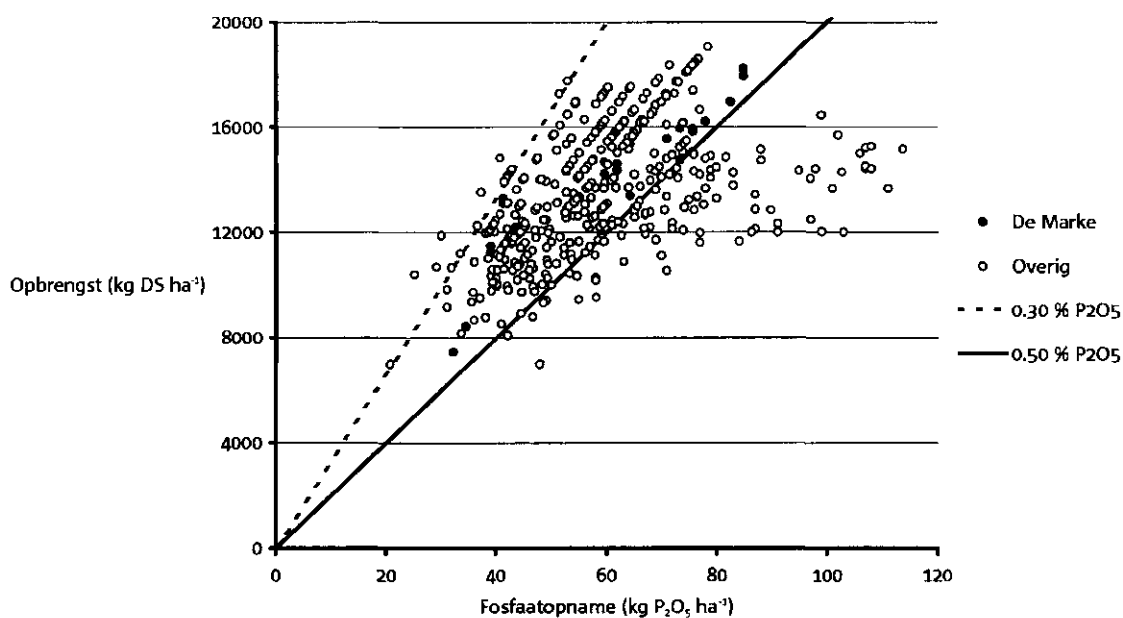
Figuur 5.1 Wortellengtedichtheid in relatie tot de diepte onder en de afstand tot de maïsrij, circa 65 dagen na zaaien (bron: Schröder *et al.*, 1996).

5.3 Het bemestingadvies

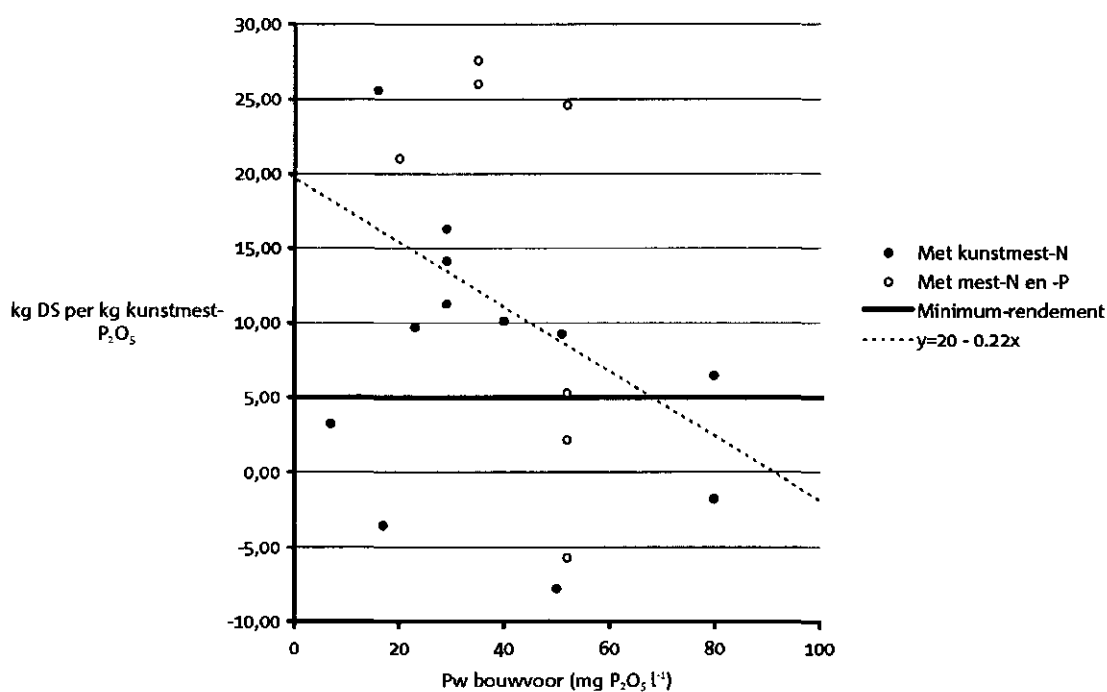
Snijmaïs bevat bij de eind oogst circa 0,45% fosfaat in de drogestof (DS). Een gewas van 12 ton DS ha⁻¹ bevat daarmee circa 50-60 kg fosfaat ha⁻¹ (Figuur 5.2). Het fosfaatbemestingsadvies voor maïs geeft aan dat het tot aan een Pw toestand van circa 55 rendabel is om fosfaat toe te dienen in de vorm van dierlijke mest of kunstmest. Dierlijke mest doet daarbij als fosfaatbron niet onder voor kunstmest omdat er bij regelmatig gebruik van mest op mag worden gerekend dat het fosfaat volledig beschikbaar komt (Chardon, 1995). Als fosfaat nabij de maïsrij wordt toegevend ('rijenbemesting') kan volgens het advies met de halve gift worden volstaan (Tabel 5.1).

Naarmate Pw hoger is en meer dierlijke mest gegeven wordt, is de rentabiliteit van kunstmestfosfaat twijfelachtiger. In Tabel 5.1 wordt in een aantal voorbeeldscenario's aangegeven hoe met dierlijke mest in de P₂O₅- en N-behoefte kan worden voorzien bij opvolging van het fosfaat- en stikstofadvies.

In beginsel is het correct om bemestingsadviezen afhankelijk te stellen van de bodemvruchtbaarheidstoestand. Bij maïs is evenwel al lang bekend dat de rentabiliteit van een rijenbemesting met kunstmestfosfaat van meer factoren afhangt dan alleen de gemiddelde fosfaattoestand van het perceel (Arnold en Ten Hag, 1982). Het weer, de toedieningswijze van dierlijke mest en de bontheid van een perceel spelen namelijk mede een rol. De rentabiliteit van rijenbemesting wisselt dan ook sterk: bij een lage toestand betaalt een rijenbemesting zich soms niet terug, terwijl dit bij een hoge toestand, tegen de verwachting in, soms wel het geval is (Figuur 5.3). Dit maakt het lastig telers te doen afzien van 'verzekeringsgiften'.



Figuur 5.2 Relatie tussen opgenomen fosfaat en de geproduceerde drogestof door snijmaïs (bronnen: Schröder, 1985a, b, c; Schröder, 1987; Schröder, 1990a; Schröder en De la Lande Cremer, 1989; Schröder en Ten Holte, 1993; Schröder en Ten Holte, 1996; Schröder *et al.*, 1992; Schröder *et al.*, 1995; Van Dijk *et al.*, 1995).



Figuur 5.3 Relatie tussen de fosfaattoestand van de bodem en extra snijmaïs DS die per kg gegeven kunstmestfosfaat wordt geproduceerd (bronnen: Lammers *et al.*, 1984; Van der Werf *et al.*, 1989; Schröder *et al.*, 1995; Van Dijk, 1997).

Tabel 5.1 Fosfaatbemestingsadvies voor maïs (bron: Van Dijk, 1993) en voorbeelden hoe dit advies door een gecombineerde inzet van dierlijke mest en kunstmest kan worden opgevolgd.

Pw	Advies (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)		dierlijke mest, volvelds (m ³ ha ⁻¹)	Voorbeeld*		
	volvelds	als rijenbemesting		N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	product
60	0	0	0	120	0	'KAS', 'MAS'
50	55	30	31	66	0	'KAS', 'MAS'
40	85	45	47	37	0	'KAS', 'MAS'
30	120	60	57	20	9	'20-20', '23-23'
20	150	75	57	20	24	'20-20', '23-23'

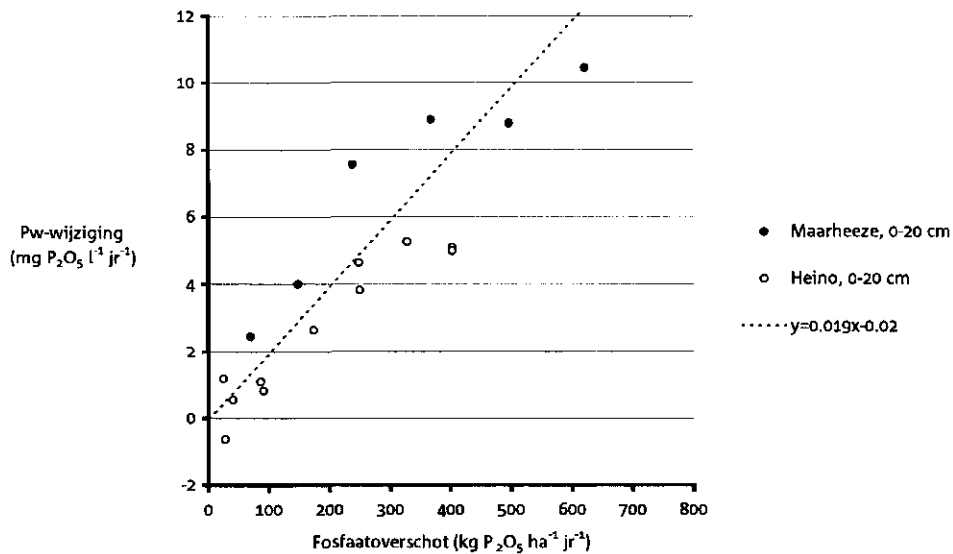
* uitgangspunten: circa 150 kg werkzame N ha⁻¹ nodig, N als rijenbemesting 1,25 maal werkzamer dan N breedwerpig, minimaal 20 kg kunstmest-N als rijenbemesting, werkzame N en P₂O₅ in drijfmest, respectievelijk 2,2 en 1,8 kg per m³.

5.4 Aanvoer is afvoer?

Voor fosfaat is lange tijd gedacht dat de aanvoer op termijn volledig benut zou kunnen worden en de gift gelijk zou kunnen zijn aan de afvoer met het gewas. Dit idee werd bevestigd in veeljarige maïsproeven op zandgrond waarin Pw ongeveer gelijk bleef bij een fosfaatoverschot van ongeveer nul (Figuur 5.4). In die proeven daalde de pH in de loop van de tijd langzaam (Schröder, 1985a, b), waardoor het berekende verlies van totaal-fosfaat naar diepere lagen mogelijk niet tot uiting kwam in de Pw-cijfers.

Tabel 5.2 Het effect van de mestgift (rundveedrijfmest, m³ ha⁻¹) en het snijmaïsoptbrengstniveau (t DS ha⁻¹) op het gemiddeld te realiseren fosfaatoverschot (kg P₂O₅ ha⁻¹); vet: combinaties van giften en opbrengsten waarbij de MINAS-verliesnorm van 2008-2010 overschreden dreigt te worden

Opbrengst	Mestgift						
	0	10	20	30	40	50	60
8	-36	-18	0	18	36		
10	-45	-27	-9	9	27	45	
12	-54	-36	-18	0	18	36	54
14		-45	-27	-9	9	27	45
16			-36	-18	0	18	36

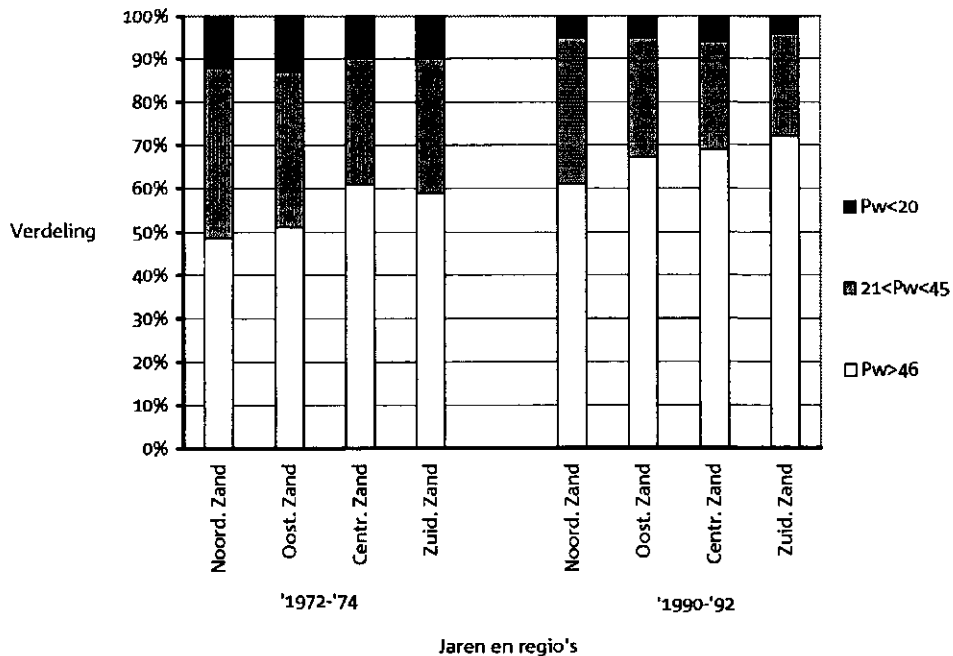


Figuur 5.4 Relatie tussen het fosfaatoverschot (aanvoer minus afvoer) bij mestdumping en de wijziging van de fosfaattoestand van de bouwvoor (Pw 50 en 70 in, respectievelijk, Maarheeze en Heino; bronnen: Schröder, 1985a, b)

Ook in de P-deskstudie is geconcludeerd dat fosfaat verloren kan gaan. Daarbij is benadrukt dat verliezen groter zijn naarmate de fosfaattoestand hoger is. Bij Pw's beneden 45 ('ruim voldoende') werd op proefboerderijen een onvermijdbaar verlies van -7 tot + 27 kg P₂O₅ ha⁻¹ waargenomen (Oenema en Van Dijk, 1994). Op basis van de P-deskstudie is besloten om het toelaatbaar fosfaatverlies voor 2008-2010 voorlopig op 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ te stellen. Dit betekent dat de gemiddelde aanvoer van fosfaat nauwkeurig op de gemiddeld gerealiseerde opbrengst moet worden afgestemd in het kader van MINAS (Tabel 5.2). Eén en ander betekent ook dat hoge fosfaattoestanden milieukundige risico's inhouden en dat sanering van die fosfaattoestand (door voorlopig van bemesting af te zien) vanuit dat oogpunt wenselijk is.

Als enig fosfaatverlies inderdaad onvermijdbaar is, dan zal de toestand waarbij geadviseerd wordt niet meer dan de onttrekking te geven (Pw 50) niet gehandhaafd kunnen blijven. Pas bij een Pw van 40-45 ('voldoende tot ruim voldoende') is het verschil tussen de geadviseerde volledige gift en de onttrekking voldoende om een verlies van 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ te compenseren. Dit betekent dat een strikte opvolging van het advies ertoe kan leiden dat hoge Pw's in de loop van de tijd zullen dalen tot een waarde van 40-45. Als het landbouwkundig onvermijdbaar verlies groter is tengevolge van bodemchemische eigenschappen zal een nog verdere daling optreden. Op dit aspect gaat Schoumans (1998) nader in. Op het proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu De Marke is gedurende een reeks van jaren bemest op basis van de onttrekking ('aanvoer is afvoer'). Habekotte *et al.* (1998) bespreken de gevolgen hiervan voor de fosfaattoestand.

Ondanks de onvermijdbaar geachte verliezen is de fosfaattoestand van Nederlandse zandgronden de afgelopen twintig jaren gestegen. Blijkbaar is in de praktijk ruimschoots gecompenseerd voor verliezen. Op zandgronden heeft minstens tweederde deel van de bemonsterde percelen inmiddels een 'vrij hoge' of 'hoge' fosfaattoestand (Figuur 5.5). Van een routinematige toediening van kunstmestfosfaat bij de teelt van maïs zou dan ook geen sprake meer moeten zijn.



Figuur 5.5 Frequentieverdeling van de fosfaattoestand van Nederlandse zandgronden in 1972-1974 en in 1990-1992 (bron: Neutel, 1994).

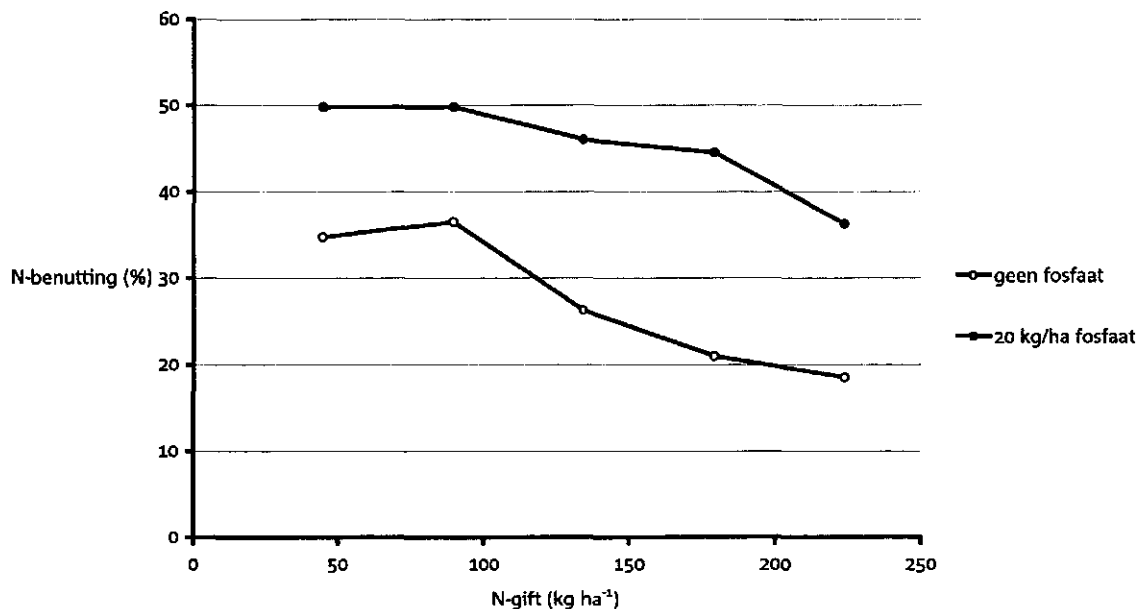
5.5 Gevolgen van fosfaatgebrek

Een tekort aan fosfaat heeft bij maïs diverse gevolgen. Bij ernstig tekort kan paarsverkleuring van het blad optreden als gevolg van anthocyaanophoping. Knoll *et al.* (1964) toonden evenwel aan dat paarse planten soms meer het gevolg zijn van een lage bodemtemperatuur dan van een fosfaattekort in de plant. In hun proeven deed bemesting de paarsverkleuring en opbrengstderving tengevolge van koude dan ook niet teniet. In situaties waarin fosfaat werkelijk groei-beperkend is, kan de opbrengstderving zelfs in het Pw-traject van 20 tot 40 oplopen tot 25 kg DS per kg onthouden P_2O_5 (Figuur 5.3). Het weglaten van een rijenbemesting van bijvoorbeeld 40 kg P_2O_5 ha⁻¹ kost dan 1000 kg DS ha⁻¹. Bij een opbrengstniveau van 12500 kg DS ha⁻¹ komt dat overeen met een derving van 8%. Overigens vertegenwoordigt die 1000 kg extra DS slechts 4 tot 5 kg P_2O_5 . Dit betekent dat slechts circa 11% van het aangeboden fosfaat in het jaar van toediening daadwerkelijk in het gewas terecht komt.

Een lage fosfaattoestand kan tot een grotere bontheid van het gewas leiden (verschillen in fosfaattoestand binnen een perceel bij een gemiddeld lage fosfaattoestand weerspiegelen zich sterker in opbrengst- en hoogteverschillen in het gewas dan de verschillen bij een relatief hoge gemiddelde fosfaattoestand). Binnen eenzelfde perceel bevinden zich dan planten die sterk in grootte verschillen. Dit bemoeilijkt een correcte uitvoering van werkzaamheden waarbij het gewas stadium nauw luistert, zoals onkruidbestrijding of onderzaai van een wintergewas. Het vermijden van bontheid kan dan ook een bijkomende overweging voor bemesting zijn. Fosfaat speelt ook een rol bij de ontwikkelingssnelheid van het gewas. Fosfaattekort kan het bloeitijdstip van maïs met enkele dagen vertragen. Dat kan tot gevolg hebben dat het gewenste droge-stofgehalte bij de eind oogst in een fosfaatgelimiteerd gewas pas dagen later bereikt wordt. Vroegbloeiende maïs heeft namelijk minder dagen nodig om aan een zekere temperatuursom-

behoefte (tussen bloei en een gewenste rijpheid) te voldoen dan laatbloeiende maïs omdat de dagen koeler worden naarmate het groeiseizoen vordert.

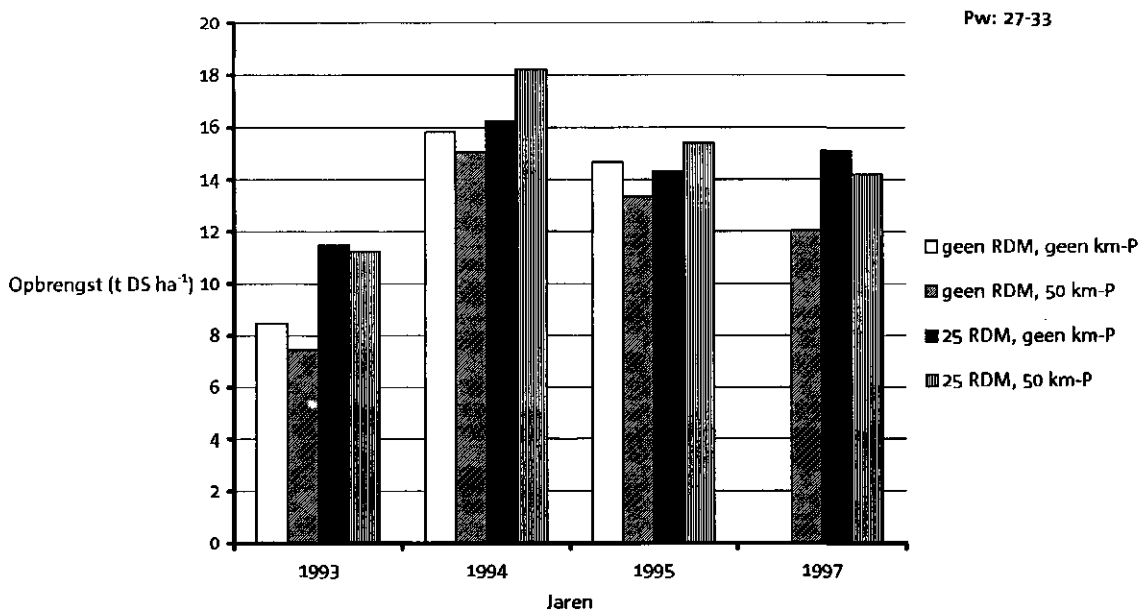
Een krappe fosfaatvoorziening kan voorts tot gevolg hebben dat N slecht benut wordt (Figuur 5.6). Zo kan fosfaatgebrek uiteindelijk leiden tot een vergrote uitspoeling van N (Schlegel en Havlin, 1995).



Figuur 5.6 Relatie tussen de hoeveelheid gegeven N en de benutting hiervan bij twee niveaus van fosfaatvoorziening (bron: Schlegel en Havlin, 1995).

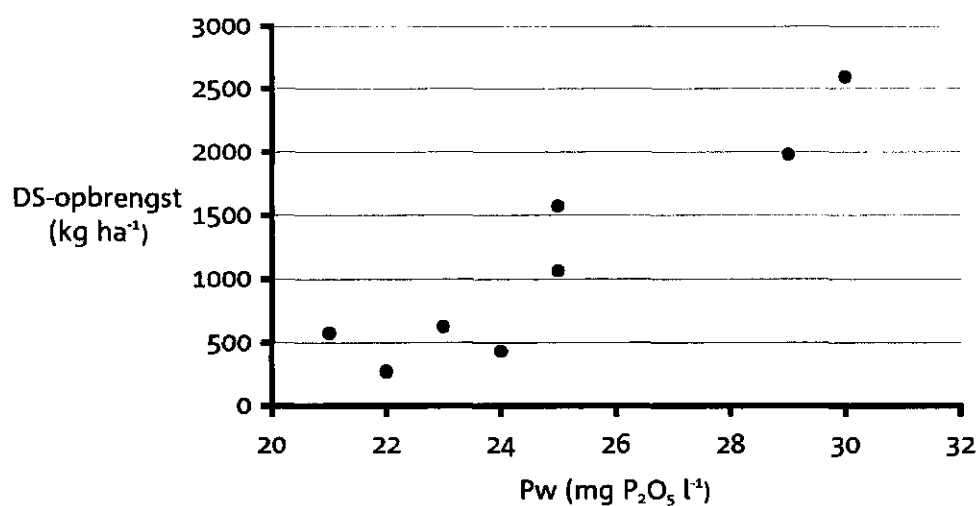
5.6 Fosfaatgebrek op De Marke?

Ook op De Marke is de afgelopen jaren onderzoek verricht naar de reactie van maïs op fosfaatbemesting. Uit vierjarig onderzoek op percelen met een Pw van 27-33 bleek dat een rijenbemesting met 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ in geen van de jaren, met overigens normale voorjaarstemperaturen, leidde tot een betrouwbare toename van de eindopbrengst (Figuur 5.7). Met uitzondering van 1994 was ook de opbrengst bij een proefoogst in juni-juli ondanks paarsverkleuring niet significant hoger. Zelfs bij behandelingen waar 25 m³ rundveedrijfmest ha⁻¹ was toegediend, zou op grond van het fosfaatbemestingsadvies wel een positieve reactie op rijenbemesting verwacht zijn. Kennelijk bevestigen de proeven de eerdere constatering dat de rentabiliteit van kunstmestfosfaat van meer afhangt dan alleen de fosfaattoestand. Ook het fosfaatgehalte van de maïs werd in de proeven op De Marke niet door de bemesting beïnvloed. Dat betekent dat onnodige toediening van kunstmest tot een navenante stijging van het fosfaatoverschot leidde.

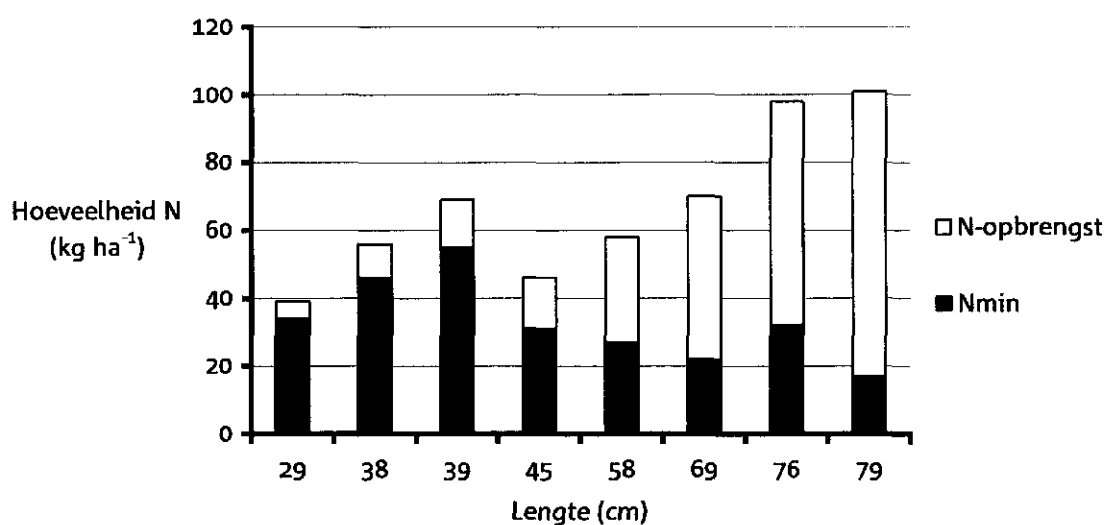


Figuur 5.7 Het effect van een rijenbemesting met 50 kg P_2O_5 ha^{-1} (km-P) op de DS-opbrengst van snijmaïs bij drijfmestgiften van 0 (1993, 1994, 1995) en 25 m^3 (1993, 1994, 1995, 1997) rundveedrijfmest (RDM) ha^{-1} op De Marke (bron: Schröder en Ten Holte (1996) en Schröder *et al.*, 1997).

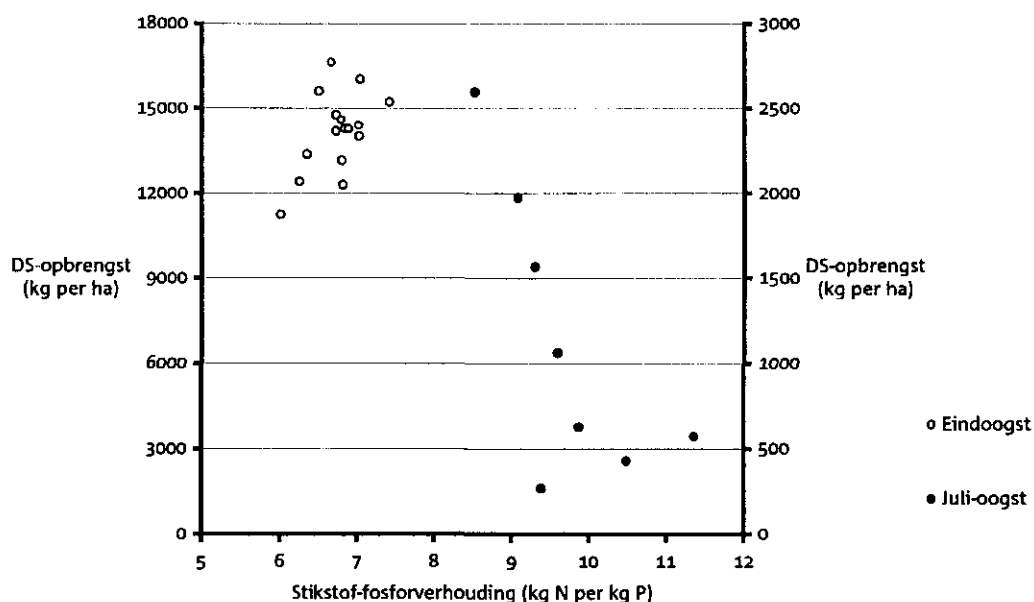
Hoewel een fosfaatrijenbemesting in 1997 zelfs een (niet significant) negatief effect op de eindopbrengst had, bestond er in dat jaar wel een duidelijk verband tussen de grootte van individuele planten begin juli en de Pw-toestand die onder die planten werd aangetroffen (Figuur 5.8). Mogelijk verschilden deze bemonsteringsplekken in meer dan alleen de fosfaattoestand. Zo werden in kleine planten N-gehalten van circa 2% aangetroffen terwijl het N-gehalte van grote planten op het voor juni-juli meer gebruikelijke niveau van circa 3% lag. Ook viel op dat de minerale N voorraad onder grote planten minder verlaagd was dan verklaard kon worden uit de bovengrondse N-opname (Figuur 5.9). Dit kan erop wijzen dat niet de lage fosfaat- maar de lage N-voorraad de groei van maïs beperkt heeft. Ook uit eerdere proeven is gebleken dat de door De Marke gevolgde bemestingsstrategie bij maïs tot N-gebrek en enige opbrengstderiving leidt (circa 8%) (Schröder en Ten Holte, 1996). De N-P-verhouding in de maïs geeft ook niet echt antwoord op de vraag of N dan wel P de opbrengst beperkten. De hoogste opbrengsten bij de bemonstering in juli gingen gepaard met een relatief lage N-P-verhouding. Bij de eind oogst bestond juist de tendens dat bij de hoogste opbrengsten een relatief hoge N-P-verhouding optrad (Figuur 5.10). Een lage N-P-verhouding duidt op een relatief verbeterde beschikbaarheid van P ten opzichte van N, een hoge N-P-verhouding op een relatief verbeterde beschikbaarheid van N ten opzichte van P.



Figuur 5.8 Relatie tussen de fosfaattoestand van de bouwvoor op proefplekken binnen een perceel en de DS-opbrengst van snijmaïs begin juli (De Marke 1997; Schröder *et al.*, 1997).



Figuur 5.9 Relatie tussen de gewaslengte van snijmaïs op proefplekken binnen een perceel begin juli, en de hoeveelheid N die op dat moment in het gewas en in de bodem werd aangetroffen (De Marke 1997; Schröder *et al.*, 1997).



Figuur 5.10 Relatie tussen de N-P verhouding in snijmaïs en de drogestofopbrengst bij een proefoogst begin juli en de drogestofopbrengst bij de eindoogst (De Marke 1997 in Schröder *et al.*, 1997).

5.7 Verbetering van beschikbaarheid

Fosfaat kan sterk bepalend zijn voor de groei en opbrengst van maïs, al bleek dat vooral nog niet het geval te zijn op De Marke. Vanuit een landbouwkundig gezichtspunt is een ruime fosfaatvoorziening aantrekkelijk. Aan de andere kant moet fosfaat terughoudend worden toegediend om geen onnodige kosten te maken, vanwege mondiale schaarste, en ter vermijding van accumulatie in de bodem (vroeg of laat gevolgd door emissies) en een heffing in het kader van MINAS. Bij gebruik van dierlijke mest als fosfaatbron kan een ruime fosfaatgift bovendien gepaard gaan met een ongewenst grote aanvoer van N. Vooral bij rundveedrijfmest met een relatief ruime stikstof-fosfaat-verhouding kan dat gebeuren. Bij een te ruime fosfaatvoorziening uit dierlijke mest kan de uitspoeling van N daarom toenemen. Hoe nu moet een teler van maïs schipperen tussen deze landbouwkundige en milieukundige bakens? Net als bij N, kan landbouwkundig gezien met minder aanbod volstaan worden naarmate het aanbod beter beschikbaar is. De volgende maatregelen dragen bij aan een betere beschikbaarheid en daarmee aan het dichteren van de kloof tussen een landbouwkundig gewenste en een milieukundig toelaatbare fosfaatbemesting.

Perceelskeuze en -behandeling

Op laaggelegen, natte percelen is de kans op een snelle opwarming en doorworteling van de bodem geringer dan op hooggelegen, goed ontwaterde percelen. De jeugdgroei van maïs heeft in dat laatste geval minder ondersteuning met kunstmest. Op laaggelegen, natte percelen bestaat bovendien een grotere kans dat oogstwerkzaamheden onder te natte omstandigheden moeten worden uitgevoerd. Als dit gepaard gaat met bodemverdichting wordt een wissel getrokken op de bodemstructuur en groeikansen voor maïs in het volgende jaar. Een zorgvuldige perceelskeuze draagt daarom bij aan het dichteren van de kloof tussen aanvoer en afvoer of met andere woorden: maïs kan niet op ieder perceel milieukundig verantwoord geteeld worden.

Vanzelfsprekend dragen vroeg afrijpende rassen en matige plantdichtheden eveneens bij aan een tijdige oogst cq. kleinere kans op structuurbederf. Het gebruik van zware machines met een hoge bandenspanning dient om diezelfde reden te worden vermeden. Bij uitstel van de zaai tot begin mei, ontmoet maïs een hogere bodemtemperatuur en dat komt een vlotte doorworteling van de bodem ten goede. Uitstel van de zaai heeft echter wel een keerzijde omdat daarmee de oogst verlaat wordt. Dat kan betekenen dat voor vroeger afrijpende rassen gekozen moet worden die in beginsel minder productief zijn vanwege hun kortere groeidiur.

Omdat maïswortels zich aanvankelijk alleen bovenin de bouwvoor ophouden moet fosfaat bij voorkeur bovenin blijven. Bij een te diepe afstelling van de ploeg kan arme grond naar boven komen en rijke grond worden weggeploegd. Dit kan de gemiddelde fosfaattoestand van de bouwvoor doen dalen en bovendien tot ongewenste bontheid leiden.

Zoals aangegeven, kan de fosfaatvoorziening op natte percelen in het gedrang komen. Dat is evenwel ook het geval op droge percelen. De vochttoestand is namelijk van grote invloed op de snelheid waarmee fosfaat zich door de bodemoplossing naar het worteloppervlak kan verplaatsen. Dat betekent dat bij droogte meer fosfaat beschikbaar moet zijn om in de behoefte van het gewas te kunnen voorzien. Of met andere woorden: bij een lage fosfaattoestand verdient de vochtvoorziening niet alleen omwille van de gewasverdamping, maar ook omwille van de fosfaatvoorziening aandacht. Een te droge bouwvoor is ook om die reden ongewenst en dat betekent dat wintergewassen die de maïsteelt voorafgaan niet later dan medio maart gescheurd of ondergewerkt moeten worden.

Plaatsing van mest

Mest moet zo worden toegediend dat deze snel door maïswortels kan worden onderschept. Diep wegploegen van mest is daarom ongewenst voor een goede benutting van N en fosfaat. Onderzoekresultaten geven aan dat uitstel van de toediening van mest tot na het ploegen niet zonder meer tot een betere beschikbaarheid van meststoffen leidt dan de gebruikelijke toediening voor het ploegen. Dit is alleen het geval als de voor het ploegen uitgereden mest te diep wordt geïnjecteerd, niet goed kerend wordt geploegd (opdat geïnjecteerde mest weer 'bovenin' komt) of als veel tijd verstrijkt tussen het oppervlakkig uitrijden van mest en de bedekking met grond (door inwerken of onderploegen). Dat laatste vergroot de kans op ammoniakverlies. Schröder en Van Dijk (1995) vonden aanwijzingen dat uitstel van toediening van mest tot na het ploegen vooral voordelig kan zijn als na de (gebruikelijke) toediening voor het ploegen extreem veel neerslag valt. De kans hierop is het geringst als toediening en ploegen tot vlak voor zaaien worden uitgesteld. Toediening van mest na ploegen heeft als nadeel dat het geploegde land bereden moet worden. Met name op laaggelegen, natte percelen of in situaties waarin tussen het moment van ploegen en de toediening van mest veel regen valt kan dit tot structuurbederf leiden. Tabel 5.3 geeft een overzicht van de sterk wisselende resultaten in proeven waarin de vergelijking tussen toediening voor en toediening na ploegen gemaakt is.

Naast bovengenoemde verticale component heeft plaatsing ook een horizontale component. Uit recent onderzoek blijkt dat de opbrengst van maïs gunstig kan reageren op plaatsing van mest nabij de voorziene maïsrij. Een rijenbemesting met fosfaatkunstmest bleek daarbij te vervangen door een rijenbemesting met dierlijke mest. De opbrengstderving waarmee het afzien van kunstmest in deze proeven gepaard ging, kon vrijwel teniet gedaan worden door deze plaatsingstechniek (Tabel 5.4). Het effect werd voornamelijk aan een betere fosfaatbeschikbaarheid toegeschreven. In een aantal proeven, waaronder die op De Marke, kan rijenbemesting met dierlijke mest ook de N-beschikbaarheid verhoogd hebben. De benutting van

drijfmest-N nam toe tot een niveau dat normaal gesproken alleen in combinatie met kunstmest-fosfaat zou zijn bereikt.

Tabel 5.3 Effecten van mesttoediening na het ploegen ten opzichte van de gangbare toediening voor het ploegen op de relatieve opbrengst van maïs in diverse Nederlandse proeven waarbij geen kunstmest-rijenbemesting werd toegediend (opbrengst bij mesttoediening voor ploegen is op 100 gesteld).

Bron	Locatie	Jaar	Opbrengst	
Van Dijk (ongepubl.)	Heino	1993	101	ns
Van Dijk, 1997	Heino	1994	103	ns
		1995	99	ns
		1996	105	ns
Schröder en Ten Holte, 1996	Hengelo	1993	88	(P < 0,10)
		1994	124	(P < 0,05)
		1995	108	ns
Schröder (ongepubl.)	Maarheeze	1997	86	(P < 0,05)
		1997	97	ns
Gemiddeld		(n = 9)	101	

Bewerkingen na zaaien

Bij de voornoemde plaatsingstechniek van dierlijke mest is sprake van mesttoediening gevolgd door zaaien. De omgekeerde werkvolgorde (eerst zaaien, dan mesttoediening) wordt in het algemeen ontraden omdat dit vaak gepaard gaat met structuurbederf of wortelbeschadiging (Schröder, 1998a). Overigens is voorzichtigheid geboden met alle bewerkingen na het zaaien. Bij mechanische onkruidbestrijding moet daarom zo ondiep mogelijk gewerkt worden.

Vruchtwisseling

Als de toediening van mest beperkt wordt om de kans op N-verlies te beperken, is het bij continueelt van snijmaïs lastig om de bodemvruchtbaarheid te handhaven. Afhankelijk van de gebruikte mestsoort zullen de fosfaat-, kali- en organische-stofvoorraad vroeg of laat dalen. In dat geval ligt het voor de hand om de teelt van maïs af te wisselen met kunstweide. Tijdens de graslandfase van de vruchtwisseling kunnen de genoemde bodemvoorraden weer worden aangevuld door toediening van dierlijke mest met geringere kansen op N-verlies dan tijdens de bouwlandfase. Maïsteelt op gescheurd grasland kan wel tot schade door ritnaalden leiden, ook blijkens ervaringen op De Marke. Het optreden van paarse maïs kan dan ook mede zijn voortgevloeid uit beschadiging van wortels door de vraat van ritnaalden.

Omdat een deel van het aanwezige fosfaat onvermijdelijk naar diepere lagen uitspoelt en maïs zelf relatief ondiep wortelt kan vruchtwisseling voorts tot doel hebben om van tijd tot tijd gewassen te verbouwen die ook op grotere diepte een hoge worteldichtheid realiseren. Op die wijze kan voor maïs verloren fosfaat opnieuw in omloop worden gebracht.

Tabel 5.4 De invloed van de wijze van bemesting op de opbrengst van snijmaïs ($t DS ha^{-1}$), het stikstofoverschot ($kg N ha^{-1}$), het fosfaatoverschot ($kg P_2O_5 ha^{-1}$) en de terugwinning van drijfmest-N (%); gemiddelde van 4 proeven in Wageningen en 1 op De Marke (bron: Schröder *et al.*, 1997).

methode	Bemesting		Opbrengst	Overschot		N-terugwinning
	drijfmest gift ($m^3 ha^{-1}$)	fosfaatrijen- bemesting ($kg P_2O_5 ha^{-1}$)		N	P_2O_5	
-	0	0	10,10	-110	-46	-
Volvelds	30	0	11,90	-23	-5	29
Bij voorziene rij	30	0	12,70	-30	-9	35
-	0	50	10,70	-118	18	-
Volvelds	30	50	13,00	-32	55	36
Bij voorziene rij	30	50	13,00	-37	53	42
LSD ($P < 0,05$)			0,70	4	9	

Van der Werff *et al.* (1995) vermeldden dat vruchtwisseling via de opbouw van een bodemvoorraad aan mycorrhizae (of hun overlevingslichamen) gunstig kan werken op de fosfaatopname van een volgend gewas. Ook verschillen in N-nawerking kunnen evenwel een rol gespeeld hebben in een deel van de door hen beschreven proeven. Bij de vooralsnog gebruikelijke fosfaattoestanden van bouwland wordt onder veldomstandigheden bij eenjarige gewassen niet veel betekenis aan mycorrhizae toegekend. In de tropen kan dit overigens wel het geval zijn.

5.8 Toegespitst op De Marke

De opbrengst van snijmaïs op De Marke wordt blijkens proefresultaten vooralsnog niet aantoonbaar door de beschikbaarheid van fosfaat beperkt. Verfijning van de mestgift op basis van de bodemvruchtbaarheidstoestand, de afwezigheid van laaggelegen, koude percelen, niet te vroeg zaaien gecombineerd met de keuze van tijdig oogstbare vroege maïsrassen, en een wijze van grondbewerken en mesttoediening die de mest 'bovenin' de bouwvoor houdt, maken het verantwoord en gewenst dat De Marke afziet van het gebruik van kunstmestfosfaat bij de teelt van maïs.

5.9 Samenvattend

Een hoge fosfaattoestand is gemakkelijk omdat deze minder eisen stelt aan het vakmanschap van de teler. Met voldoende vakmanschap en aandacht, echter, is een hoge toestand geen absolute voorwaarde voor een succesvolle maïsteelt. Het handhaven van een hoge toestand kost veel meststof en kan dientengevolge gepaard gaan met overschotheffingen. Een aangepaste teelt- en bemestingsstrategie biedt veel mogelijkheden om de huidige onbalans tussen aanvoer en afvoer te voorkomen.

6 Fosfor in de veevoeding op De Marke

Een analyse van de veevoeding in de periode 1992 tot en met 1997

F.C. van der Schans, PR

6.1 Inleiding

6.1.1 Beschrijving bedrijfssysteem De Marke

Op proefbedrijf De Marke wordt sinds 1992 een bedrijfssysteem voor grondgebonden melkveehouderij ontwikkeld dat 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.*, 1992).

Het bedrijfssysteem heeft een oppervlakte van ongeveer 55 ha droge zandgrond met een melkquotum van circa 655.000 kg melk, 12.000 kg melk ha⁻¹. De quotumintensiteit komt overeen met het gemiddelde van de melkveebedrijven op zandgrond in het begin van de jaren '90. Bij de opzet is uitgegaan van een gemiddelde melkproductie van ruim 8000 kg per koe per jaar en een vervangingspercentage van 25%. De veestapel bestaat zodoende uit 80 melkkoeien en bijna 50 stuks jongvee.

Op De Marke werden drie verschillende gewassen verbouwd: gras, maïs en voederbieten. De circa 31 ha grasland bestaat uit 1/3 blijvend en 2/3 tijdelijk grasland. Tijdelijk grasland wisselt af met bouwland waarop 18 ha maïs en 6 ha voederbieten worden verbouwd. Een deel van de maïs wordt als maïskolvensilage (MKS) geoogst. De afgelopen jaren is het areaal voederbieten geleidelijk teruggelopen ten gunste van maïs. Vanaf 1996 worden geen voederbieten meer verbouwd.

Het niveau van bemesting ligt veel lager dan in de praktijk. De niveaus voor de stikstof- en fosfaatbemesting zijn voor blijvend grasland respectievelijk 250 kg N en 50 kg P₂O₅ ha⁻¹, voor tijdelijk grasland 250 kg N en 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ en voor maïs 100 kg N en 35 kg P₂O₅ ha⁻¹ (Van der Schans *et al.*, 1996). De fosfaatbemesting wordt volledig ingevuld met dierlijke mest. De nitraatdoelstelling is hierbij beperkend voor de drijfmestgift op maïsland. Daarom moet maïsland beneden onttrekking bemest worden. Dit wordt gecompenseerd door een boven onttrekking bemesting met fosfaat van het tijdelijk grasland. Bij de bemesting, met zowel stikstof als fosfaat, wordt nadrukkelijk rekening gehouden met het vochtleverend vermogen van de grond, de fosfaattoestand van het perceel en het vrijkomen van stikstof uit oude zoden en groenbemester.

De melkkoeien weiden in de zomer gedurende ongeveer 5 maanden. De eerste jaren is beperkte beweiding toegepast, vanaf 1993 siëstabeweiding. Bij dit systeem weiden de koeien 's ochtends en 's avonds na het melken vier tot vijf uur. Daarna worden de koeien tot de volgende melkbeurt op stal bijgevoerd met maïs, eventueel kuilgras en krachtvoer. De siëstabeweiding van de melkgevende koeien is gericht op het verhogen van de eiwitbenutting door een betere

afstemming van het eiwitrijke weidegras en de eiwitarme snijmaïs. Door de korte weideperiode, de dieren worden per 1 oktober opgestald, wordt de uitspoeling van stikstof beperkt.

Ter voorkoming van met name stofwisselingsstoornissen worden de droge koeien het gehele jaar op stal gehouden. De pinken weiden op het grasland tot eind oktober en mogen in het najaar/voorjaar het vanggewas op de maïspcelen beweiden. De kalveren weiden in de zomer slechts enkele maanden.

De belangrijkste maatregelen met betrekking tot fosfaat zijn bemesten naar onttrekking en voeren op de behoeftenorm. Dit heeft tot gevolg dat geen fosfaatkunstmest aangekocht wordt en dat de aanvoer van fosfor middels het voer geminimaliseerd moet worden. Het gebruik van relatief fosforrijke krachtvoerders is zodoende uitgesloten. Binnen deze maatregelen wordt zo goed mogelijk met het fosfor/fosfaat omgegaan.

6.1.2 Verwachte fosforkringloop De Marke

Om inzicht te krijgen in de mineralenverliezen op de verschillende plaatsen in het bedrijfsstelsel zijn de voor De Marke verwachte kringlopen voor stikstof, fosfaat en kalium gekwantificeerd (Biewinga *et al.*, 1992). In dit hoofdstuk wordt alleen ingegaan op het veestapel-deel van de fosforkringloop. Dit is in Tabel 6.1 weergegeven.

Tabel 6.1 Prognose van de fosforstromen binnen de veestapel van De Marke (kg P ha⁻¹ per jaar)

Prognose	
Input	
Eigen voer	34,2
Aangekocht voer	5,9
Totaal	40,1
Output	
Melk	10,6
Vlees	2,2
Totaal	12,8
Input - Output	27,3

¹ Het verschil tussen input en output wordt in de mest uitgescheiden.

Er is een groot verschil tussen de stikstof- en de fosforkringloop. Bij stikstof zijn er relatief grote verliezen naar het milieu door de emissie van ammoniak vanuit de mest en nitraat naar het grondwater. Bij fosfor zijn die verliezen nagenoeg verwaarloosbaar. Op De Marke is er geen sprake van afspoeling en de uitspoeling naar het grondwater is gering (Schoumans, 1998). De fosforkringloop is daarmee vrijwel gesloten. Volgens de prognose wordt door de gehele veestapel middels het voer ruim 40 kg P ha⁻¹ opgenomen (Tabel 6.1). Hiervan komt 85% van het eigen bedrijf. In de vorm van melk en vlees wordt jaarlijks 12,8 kg P ha⁻¹ van het bedrijf afgevoerd. Hiermee is de fosforbenutting van de gehele veestapel 32%. De overige 68%, 27 kg P ha⁻¹, gaat niet verloren maar wordt uitgescheiden in de mest en daarna toegediend voor de bemesting van de gewassen.

6.2 Voedervoorziening

6.2.1 Inleiding

In het onderzoek op De Marke worden de mineralenstromen in de verschillende bedrijfsonderdelen nauwlettend gevolgd. Met betrekking tot de voedervoorziening betekent dit dat zowel de hoeveelheid als de samenstelling van het opgenomen voer nauwkeurig worden vastgelegd. Daartoe wordt een groot aantal monsters van gewas en voer genomen en worden de voeropname van alle diergroepen bijgehouden.

In dit hoofdstuk worden de resultaten van zes jaar gewasopbrengst en -kwaliteit en voeropname weergegeven. Deze resultaten worden vergeleken met de prognoses zoals die voorafgaand aan de start van dit bedrijfssysteem zijn gemaakt (Biewinga *et al.*, 1992). Eventuele afwijkingen tussen de prognose en het resultaat worden besproken. Bekeken wordt of de prognoses voor de komende jaren bijgesteld moeten worden en of er verbeteringen in het bedrijfssysteem mogelijk zijn. Daarnaast worden de effecten van eventuele veranderingen in de gewasopbrengsten en/of gewaskwaliteit in de toekomst ten gevolge van de lage fosfaatbemesting in beeld gebracht.

6.2.2 Gewassen

De opbrengst en de kwaliteit van de verschillende gewassen wordt voor een deel bepaald door het niveau van bemesten. Op De Marke wordt op perceelsniveau de behoefte berekend, waarbij rekening wordt gehouden met het gewas, vochtleverend vermogen, fosfaattoestand en de vrijkomende stikstof uit oude zode of vanggewas. De stikstofbemesting op gras, maïs en voederbieten bedraagt respectievelijk 250, 100 en 150 kg ha⁻¹. De fosfaatbemesting is gericht op evenwichtsbemesting op bedrijfs- en rotatieniveau. Een fosfaatbemesting onder onttrekking op maïsland wordt hierbij gecompenseerd door een fosfaatbemesting boven onttrekking op tijdelijk grasland (Hilhorst *et al.*, 1998).

6.2.2.1 Opbrengst

Op De Marke worden de opbrengsten van de verschillende gewassen per perceel (per snede) vastgelegd. Tevens wordt van al het (eigen gewonnen) ruw- en krachtvoer de voederwaarde bepaald. Tabel 6.2 geeft een overzicht van de gewasopbrengst ha⁻¹ na aftrek van de beweidings- en oogstverliezen zoals op De Marke gemeten.

Er zijn grote verschillen in gewasopbrengst tussen de jaren. Deze verschillen worden in belangrijke mate veroorzaakt door de variatie in de vochtvoorziening over de jaren en gedurende het groeiseizoen. Onvoldoende neerslag tijdens het groeiseizoen zorgt met name bij gras voor een sterke daling van de opbrengst. Bij maïs is de opbrengstderving sterk afhankelijk van de vochttoestand tijdens het moment van kolfzetting. De problemen met droogte spelen op De Marke een belangrijke rol in de bedrijfsvoering ondanks dat circa 80% van het grasland en bijna 60% van het bouwland beregend kan worden.

Tabel 6.2 Gewasopbrengsten (ton droge stof ha⁻¹ per jaar)¹.

	Prognose ²	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Gem.
Gras	9,7	9,0	9,6	9,2	9,2	8,0	10,0	9,2
Snijmaïs	11,9	9,0	12,0	10,0	9,0	11,4	11,4	10,5
MKS	7,4	-	8,3	6,8	7,2	7,6	7,3	7,4
Maïsstro	4,1	-	1,7	3,1	2,6	2,7	3,3	2,7
Voederbieten	12,4	14,0	15,8	10,2	9,2	-	-	12,3
Bietenblad	2,2	1,6	2,0	1,7	1,7	-	-	1,8

¹ Opbrengsten exclusief beweidings- en oogstverliezen, inclusief conserveringsverliezen

² Uitgaande van bruto-opbrengst prognose (Biewinga *et al.*, 1992) en geschatte verliezen bij oogst en beweiding (weidegras 10%, kuilgras 6%, snijmaïs 1%, MKS 1%, maïsstro 10%, bieten 1%, bietenblad 30%)

De opbrengst van voederbieten was behalve van de vochtvoorziening, sterk afhankelijk van het oogsttijdstip. Vanaf 1993 is een deel van de voederbieten eind september geoogst en ingekuuld met snijmaïs.

Gemiddeld over de jaren was de opbrengst lager dan de prognose. In relatief natte jaren als 1993 en 1997 is de prognose ongeveer gehaald. Bij de relatief lage opbrengst van snijmaïs moet opgemerkt worden dat de slechtste maïs, die minder of niet geschikt is voor MKS, als snijmaïs wordt geoogst. Zo worden onder andere de kopakkers van de MKS-percelen als snijmaïs geoogst.

6.2.2.2 Kwaliteit

Weidegras

Wekelijks wordt van het weidegras een monster genomen. Dit wordt samengevoegd tot een maandelijks monster dat geanalyseerd wordt. Het gemiddelde van de maandelijkse monsters van april tot en met september staat in Tabel 6.3. De gemiddelde kwaliteit van het weidegras varieert niet sterk over de jaren. Het grootste kwaliteitsverschil tussen de jaren betreft het OEB-gehalte. Een belangrijke oorzaak hiervan is uiteraard de stikstofbemesting. Daarnaast beïnvloedt echter een groot aantal min of meer onzekere factoren, waaronder temperatuur, de beschikbare hoeveelheid stikstof tijdens het groeiseizoen.

Er is nauwelijks verschil tussen de voorziene gehalten voor VEM, DVE en OEB en het gemiddelde van 1992-1997. De OEB- en ruw-eiwitgehalten waren iets hoger dan de prognose, evenals het kaliumgehalte. Hier staat een duidelijk lager fosforgehalte tegenover.

Het fosforgehalte van het weidegras is de laatste jaren geleidelijk gedaald. De eerste jaren lag het fosforgehalte ongeveer op de tabelwaarde van het Centraal Veevoeder Bureau, 4,1 gram per kg droge stof (CVB, 1997). De laatste drie jaar ligt het hier ruim onder op circa 3,7 gram per kg droge stof.

De VEM-waarde van het weidegras is op De Marke iets lager dan in de praktijk, 987 ten opzichte van 1006 VEM per kg droge stof. Uit de analyses van Blgg-Oosterbeek blijkt tevens dat zowel het OEB- als het ruw-eiwitgehalte van vers gras op De Marke veel lager was dan in de praktijk, circa 35 gram per kg droge stof.

Tabel 6.3 Kwaliteit weidegras gevoerd in 1992 tot 1997.

	Prognose	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Gem.	Blgg ¹
Droge stof (g kg ⁻¹ prod.)		160	158	163	173	171	179	167	165
VEM (g kg ⁻¹ ds)	974	987	981	996	979	997	982	987	1006
DVE (g kg ⁻¹ ds)	103	116	100	104	101	99	101	104	107
OEB (g kg ⁻¹ ds)	55	44	62	80	75	55	37	59	94
Ruw eiwit (g kg ⁻¹ ds)	213	234	223	243	237	215	200	225	259
Ruwe celstof (g kg ⁻¹ ds)		202	210	204	214	220	223	212	205
Ruw as (g kg ⁻¹ ds)		97	100	103	99	102	96	100	104
K (g kg ⁻¹ ds)	31,0	34,1	39,4	37,	36,8	36,2	35,0	36,	37,2
P (g kg ⁻¹ ds)	4,5	4,0	4,1	4,	3,8	3,7	3,7	4,	4,1

¹ Gemiddelde analyses van 1994-1995 van Blgg-Oosterbeek

Kuilgras

Van elke partij kuilgras wordt een monster gestoken en geanalyseerd. Het gewogen gemiddelde per jaar van deze analyses staat in Tabel 6.4. In deze cijfers is het herfstgras dat samen met maïsstro en bietenblad is ingekuuld niet meegenomen. De variatie in kwaliteit van het kuilgras over de verschillende jaren is vrij klein. De VEM-waarde van het kuilgras, gemiddeld 873 VEM per kg droge stof, is relatief hoog in vergelijking met analyses die door Blgg-Oosterbeek zijn uitgevoerd (Blgg-Oosterbeek, pers. med., 1998). Het gemiddelde van de afgelopen vijf jaar lag op 857 VEM per kg droge stof. Ten opzichte van de tabelwaarden van het CVB ligt de voederwaarde van kuilgras op De Marke op een vergelijkbaar niveau (CVB, 1997). Bij een stikstofbemesting van 250 kg ha⁻¹ op jaarbasis bedraagt de voederwaarde van de eerste snede circa 900 VEM per kg droge stof en van latere sneden ongeveer 825.

De gemiddelde voederwaarde van kuilgras komt goed overeen met de prognose. Het fosforgehalte van het kuilgras daalde vanaf 1993 tot 1996 van 4,4 naar 3,7 gram per kg droge stof. Dit laatste niveau komt overeen met de prognose. In het laatste jaar, 1997, lag het fosforgehalte echter weer duidelijk hoger, 4,3 gram per kg droge stof. Het kaliumgehalte van het kuilgras is veel hoger dan de prognose.

Tabel 6.4 Kwaliteit kuilgras geoogst in 1992 tot 1997.

	Prognose	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Gem.	Blgg ¹
Droge stof (g kg ⁻¹ prod.)		545	473	401	525	449	448	474	475
VEM (g kg ⁻¹ ds)	880	905	847	874	866	866	879	873	857
DVE (g kg ⁻¹ ds)	74	81	70	67	74	71	72	73	70
OEB (g kg ⁻¹ ds)	52	48	59	60	31	48	49	49	60
Ruw eiwit (g kg ⁻¹ ds)		192	189	183	165	180	176	181	200
Ruwe celstof (g kg ⁻¹ ds)		229	235	256	247	244	262	246	244
Ruw as (g kg ⁻¹ ds)		117	132	106	107	122	113	116	122
K (g kg ⁻¹ ds)	26,0	36,0	43,7	37,	35,8	38,5	38,0	38,	35,2
P (g kg ⁻¹ ds)	3,7	4,1	4,4	4,	3,7	3,7	4,3	4,	4,0

¹ Gemiddelde analyses van 1991-1995 van Blgg-Oosterbeek

Snijmaïs

Het droge-stofgehalte van de snijmaïs is duidelijk verschillend tussen de jaren. Desondanks is de kwaliteit erg constant en de voederwaarde (VEM) relatief hoog. De gemiddelde voederwaarde lag op 952 VEM, 47 g DVE en -29 g OEB per kg droge stof. Het gemiddelde van de monsters die door het Blgg zijn onderzocht lag de afgelopen 5 jaar op 910 VEM, 45 g DVE en -23 g OEB (Tabel 6.5).

Tabel 6.5 Kwaliteit snijmaïs geoogst in 1992 tot 1997

	Prognose	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Gem.	Blgg ¹
Droge stof (g kg ⁻¹ prod.)		377	310	279	354	300	358	330	329
VEM (g kg ⁻¹ ds)	910	936	935	937	981	965	959	952	910
DVE (g kg ⁻¹ ds)	49	46	40	53	48	48	45	47	45
OEB (g kg ⁻¹ ds)	-29	-22	-30	-29	-25	-28	-41	-29	-23
Ruw eiwit (g kg ⁻¹ ds)	79	81	65	84	82	79	61	75	81
P (g kg ⁻¹ ds)	2,2	1,7	2,0	2,2	1,9	1,8	1,9	1,9	1,9

¹ Gemiddelde analyses van 1991-1995 van Blgg-Oosterbeek

Het VEM-gehalte van de snijmaïs is iets hoger dan de prognose, 952 ten opzichte van 910 VEM per kg droge stof. De gerealiseerde DVE- en OEB-gehalten wijken nauwelijks af van de prognose. Een duidelijke uitschieter vormt evenwel het OEB-gehalte in 1997. Waarschijnlijk is door hoge neerslag in de maand juni veel stikstof uitgespoeld en zodoende niet meer beschikbaar voor het gewas. Het fosforgehalte van de snijmaïs is iets lager dan de prognose, maar gelijk aan de resultaten van het Blgg-Oosterbeek.

Samenvattend

Het eigen ruwvoer is over het algemeen van een vergelijkbare kwaliteit (VEM-gehalte) als in de gangbare praktijk. Het ruw-eiwitgehalte van het weide- en kuilgras ligt circa 10% beneden het gemiddelde van de analyses van Blgg-Oosterbeek. Dit heeft een aanmerkelijk lager OEB-gehalte in het gras tot gevolg. Daarnaast is er de laatste jaren een daling van de fosforgehaltes in zowel weide- en kuilgras als in snijmaïs, met uitzondering van het kuilgras in 1997.

De VEM-, DVE- en OEB-gehaltes van de ruwvoerders wijken nauwelijks af van de prognose. De belangrijkste verschillen zijn een iets hoger OEB-gehalte van weidegras en een hoger VEM-gehalte van snijmaïs. Het fosforgehalte van weidegras is aanmerkelijk lager dan verwacht.

6.2.3 Omvang veestapel

Het aantal dieren is sterk bepalend voor het totale voerverbruik. Daarom wordt nu kort ingegaan op de omvang van de veestapel (Tabel 6.6). Bij de prognose voor de veestapel is uitgegaan van een jaarlijkse melkproductie van 8100 kg melk per koe en een vervangingspercentage van 25%. Dit geeft een veestapel van 80 melkkoeien, 22 pinken en 24 kalveren (Biewinga *et al.*, 1992).

Tabel 6.6 Omvang veestapel.

	Prognose	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	Gem.
Melkvee	80	80,7	83,8	80,5	79,8	77,4	80,4
Pinken (11 - 24 maanden) ¹	22	28,7	27,4	31,1	24,7	28,5	28,1
Kalveren (5 - 11 maanden)	12	12,9	19,9	13,2	13,9	15,5	15,1
Kalveren (tot 5 maanden)	12	14,3	16,0	14,0	16,7	17,5	15,7
Totaal	126	136,6	147,1	138,8	135,1	138,9	139,3

¹ Bij de prognose is uitgegaan van 22 pinken van 1 tot 2 jaar en 24 kalveren van 1 tot 2 jaar

De omvang van de veestapel is sterk gerelateerd aan de melkproductie per gemiddeld aanwezige koe, 'bedrijfseconomische melkproductie'. Deze is weergegeven in Tabel 6.7.

Tabel 6.7 Melkproductie.

	Prognose	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97
Melk (kg koe ⁻¹ jaar ⁻¹)	8100	7734	7979	8263	8251	8947
Vetgehalte (%)	4,40	4,60	4,40	4,36	4,51	4,31
Eiwitgehalte (%)	3,35	3,47	3,49	3,51	3,50	3,47
Meetmelk (kg FPCM koe ⁻¹ jaar ⁻¹)	8500	8344	8432	8704	8830	9351

De melkproductie is de afgelopen jaren geleidelijk gestegen tot duidelijk boven de prognose. Ten gevolge hiervan is het aantal melkkoeien gedaald tot ruim 3% beneden de prognose. Er was echter wel meer jongvee aanwezig dan vooraf berekend. De prognose werd met gemiddeld 6,1 pinken en 6,8 kalveren overschreden, ofwel 25% tot 30% meer jongvee.

6.2.4 Voeropname

6.2.4.1 Gehele veestapel

In Tabel 6.8 is de droge-stofopname van de gehele veestapel weergegeven. Bij de interpretatie van de verschillen in de totale droge-stofopname moet rekening worden gehouden met de verschillen in voederwaarde van de producten. Daarom wordt verderop in dit hoofdstuk de voeropname uitgesplitst per diergroep en naar energie, eiwit en fosfor.

Bij de opzet van De Marke is uitgegaan van een totaal voerverbruik van 619 ton droge stof. Het gemiddelde van de afgelopen vijf boekjaren was ruim 50 ton droge stof hoger, bijna 9%. Zowel de opname van ruwvoer als krachtvoer was hoger dan verwacht. Echter, er is sinds het boekjaar 1993/94 een dalende tendens waarneembaar. De oorzaak van de hogere voeropname is een grotere veestapel dan waarvan is uitgegaan en een hogere voeropname van vrijwel alle diercategorieën. Hierop wordt later in dit hoofdstuk ingegaan.

Tabel 6.8 Voeropname veestapel (ton droge stof per jaar).

	Prognose	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	Gem.
Kuilgras	134	185	172	136	103	154	150
Weidegras	146	101	115	128	117	92	111
Snijmaïs (incl. bieten) ¹	148	143	175	192	167	178	171
Voerresten ²	-	23	13	16	17	11	16
Overig ³	27	9	57	45	85	46	48
Totaal ruwvoer	455	462	533	517	490	480	496
Voederbieten	65	38	32	17	24	0	22
MKS	23	27	46	78	43	42	47
Mengvoer	76	107	91	84	108	133	103
Premix	PM	2	2	4	5	5	4
Totaal krachtvoer	164	174	171	184	179	170	176
Totaal	619	635	704	701	669	650	672

¹ In 1994/95 en 1995/96 is een deel van de voederbieten tezamen met de snijmaïs ingekuuld.

² Voerresten van melkgevende koeien die door jongvee en droogstaande koeien zijn opgenomen. Bij de prognose zijn de voerresten verrekend in de verschillende voeders.

³ Overig ruwvoer bestaat hoofdzakelijk uit maïsstro, bietenblad en herfstkuilgras.

De lagere opname aan 'normaal' kuilgras wordt voor een belangrijk deel gecompenseerd door de hogere opname aan herfstkuilgras. Dit herfstkuilgras is in een mengkuil opgeslagen tezamen met onder andere maïsstro en bietenblad. Bij de registratie van de voeropname is een exacte scheiding van deze producten uit de mengkuil niet mogelijk.

Het eerste jaar, 1992/93, was de droge-stofopname van ruwvoer van de gehele veestapel aanmerkelijk lager dan de laatste jaren. Dit werd veroorzaakt doordat in het eerste jaar het bedrijfssysteem nog niet stabiel was. Er was een veestapel aangekocht die nog in opbouw was en er waren nauwelijks 'bijproducten' als maïsstro, bietenblad en herfstgras beschikbaar. De afgelopen jaren is de opname van de bijproducten, in Tabel 6.8 vallend onder de post 'overig ruwvoer', aanmerkelijk toegenomen. Gemiddeld is per jaar bijna 50 ton droge stof aan maïsstro, bietenblad en herfstgras opgenomen door hoofdzakelijk de droge koeien en het jongvee. Daarnaast hebben deze dieren ook de voerresten van het melkvee opgenomen, gemiddeld 16 ton droge stof per jaar.

In het benutten van 'bijproducten' van de krachtvoervangers, als maïsstro en bietenblad, en het beweiden van het vanggewas onder snijmaïs, Italiaans raaigras, wijkt de bedrijfsvoering van De Marke af van de praktijk. Door deze en andere eenvoudige maatregelen zoals het naweiden van de melkkoeien door pinken wordt op De Marke in totaliteit circa 50 tot 60 ton droge stof 'afvalproducten' benut.

In Tabel 6.9 is de voeropname van de veestapel uitgesplitst naar melkvee en jongvee. Vergelijking met de prognose geeft aan dat het melkvee 30 ton droge stof meer opneemt, oftewel 6%. Bij het jongvee is de overschrijding van de prognose met 22 ton droge stof relatief groter, 23%. Een belangrijke reden hiervoor is de omvang van de veestapel. Bij de opzet van De Marke is uitgegaan van 46 stuks jongvee. De afgelopen jaren waren echter gemiddeld bijna 60 stuks jongvee aanwezig, ongeveer 30% hoger dan de prognose.

Tabel 6.9 Voeropname melkvee en jongvee, prognose en resultaat (ton droge stof per jaar).

	Melkvee		Jongvee	
	prognose	1992-1997	prognose	1992-1997
Kuilgras	110	132	24	18
Weidegras	108	66	38	44
Snijmaïs (incl. bieten) ¹	131	158	17	13
Voerresten ²	-	8	-	7
Overig ³	17	26	10	23
Totaal ruwvoer	366	390	89	105
Voederbieten	62	21	3	1
MKS	23	47	0	0
Mengvoer	74	94	2	9
Premix	PM	3	PM	0
Totaal krachtvoer	159	165	5	11
Totaal	525	555	94	116

¹ In 1994/95 en 1995/96 is een deel van de voederbieten tezamen met de snijmaïs ingekuuld.

² Voerresten van melkgevende koeien die door jongvee en droogstaande koeien zijn opgenomen. Bij de prognose zijn de voerresten verrekend in de verschillende voeders.

³ Overig ruwvoer bestaat hoofdzakelijk uit maïsstro, bietenblad en herfstgras.

In Tabel 6.10 is de totale droge-stofopname uitgedrukt per 100 kg voor vet- en eiwitgehalte gecorrigeerde melk (FPCM). Voor de productie van 100 kg FPCM wordt door de totale veestapel van De Marke 25 kg droge stof krachtvoer opgenomen. Dit is inclusief de toegevoegde vitamines en mineralen (premix). Het totale voerverbruik, kracht- en ruwvoer, was de afgelopen jaren iets minder dan 1 kg droge stof per kg FPCM en is de laatste jaren licht gedaald. Het laatste jaar was het totale voerverbruik, zowel krachtvoer als ruwvoer, gelijk aan de prognose. Er was echter een duidelijke verschuiving tussen van eigen geteeld naar aangekocht krachtvoer.

Tabel 6.10 Voerverbruik veestapel (kg droge stof per 100 kg FPCM).

	Prognose	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1992-96
Ruwvoer	67	69	75	74	70	67	71
Aangekocht krachtvoer	11	16	13	13	16	18	15
Eigen teelt krachtvoer	13	10	11	13	9	6	10
Totaal krachtvoer	24	26	24	26	25	24	25
Totaal kracht- en ruwvoer	91	94	100	100	95	90	96

6.2.4.2 Melkgevende koeien

De voeropname van de melkgevende koeien is uitgesplitst naar stal- en weideperiode. Globaal loopt de weideperiode van 1 mei tot 1 oktober. Het vroeg opstallen van de melkkoeien moet uitspoeling van nitraat beperken. De melkgevende koeien hebben de afgelopen jaren gemiddeld bijna 5,4 maand geweid.

Bij de start van De Marke is uitgegaan van beperkte beweiding met enige bijvoeding op stal. Een dergelijk voersysteem heeft als nadeel dat de energie uit snijmaïs en maïskolvensilage en de stikstof uit weidegras, in de pens niet gelijktijdig beschikbaar komen. Hierdoor verloopt de pensfermentatie niet optimaal. De oplossing die op De Marke voor dit probleem is gevonden is siëstabeweiding. Bij dit systeem weiden de melkgevende koeien na het melken vier tot vijf uur en komen daarna terug op stal. Op stal krijgen de melkkoeien een aanzienlijke hoeveelheid energierijk voer, met name snijmaïs. Daarnaast wordt de krachtvoervanger maïskolvensilage (MKS) gevoerd. Vanaf 1993 wordt op De Marke siëstabeweiding toegepast.

In de zomer was de droge-stofopname van de melkgevende koeien per dag gemiddeld 5,6 kg weidegras, 5,8 kg snijmaïs en 2,1 kg overig ruwvoer (Tabel 6.11). Daarnaast is gemiddeld 5,7 kg droge stof aan krachtvoer opgenomen waarvan circa 40% MKS. De gemiddelde totale droge-stofopname bedroeg dus 19,1 kg. Dit betekent dat bij een systeem van siëstabeweiding als op De Marke slechts 30% van het rantsoen uit vers gras bestaat. Bij deze hoeveelheden weidegras moet wel opgemerkt worden dat het een berekende grasopname is. Bij deze berekening wordt er vanuit gegaan dat de energieopname van melkgevende koeien in de wei gelijk is aan de energiebehoefte². Op De Marke bleek de energieopname van de melkgevende koeien tijdens de stalperiode echter duidelijk hoger dan de energiebehoefte (Tabel 6.13 en 6.14). Om een VEM-dekking van 109% ook tijdens de weideperiode te realiseren zouden de melkgevende koeien bijna 2 kg droge stof weidegras per dag meer moeten opnemen.

² Van de energiebehoefte wordt de energieopname uit snijmaïs, kuilgras, overig ruwvoer en krachtvoer afgetrokken. Daarna wordt de energieopname uit weidegras gelijk gesteld aan de resterende energiebehoefte.

Tabel 6.11 Voeropname melkgevende koeien (kg droge stof koe⁻¹ dag⁻¹) tijdens de weideperiode.

	Prognose	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1992-97
Kuilgras	0,0	3,8	1,9	0,5	0,5	2,7	1,1	1,8
Weidegras	9,3	5,1	5,7	5,9	6,6	5,3	5,1	5,6
Snijmaïs (incl. bieten) ¹	5,3	4,4	6,5	6,8	5,7	4,6	6,5	5,8
Overig ²	1,0	0,0	0,6	0,0	0,9	0,1	0,0	0,3
MKS	2,0	2,1	2,1	3,6	2,5	1,5	2,2	2,3
Bijproducten	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,3
Krachtvoer	2,9	3,9	2,3	2,3	3,5	2,7	3,3	3,0
Premix	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Totaal	20,4	19,4	19,2	19,2	19,9	18,8	18,4	19,2

¹ In 1994/95 en 1995/96 is een deel van de voederbieten tezamen met de snijmaïs ingekuuld. Na conservering is de voederwaarde (VEM) van voederbieten vrijwel gelijk aan die van snijmaïs.

² Overig ruwvoer bestaat hoofdzakelijk uit hooi en graszaadhooi.

Gepoogd is om iets meer duidelijkheid te krijgen omtrent de werkelijk opgenomen hoeveelheid weidegras. Daartoe is de berekende opname van weidegras vergeleken met de geschatte opname van weidegras. Dit laatste gebeurt door schattingen van de grashoeveelheid bij in- en uitscharen te doen. Volgens deze schattingen zouden de melkgevende koeien circa 10% meer weidegras opnemen dan hierboven berekend. De VEM-dekking zou daarmee op ongeveer 104% in plaats van 100% uitkomen. Omdat het schatten van de opgenomen hoeveelheid weidegras relatief onbetrouwbaar is en niet van alle diergroepen de grasopname altijd geschat is, worden in dit verslag alleen de berekende hoeveelheden gegeven.

De krachtvoergift in de zomer ligt gemiddeld op ruim 5½ kg droge stof per koe per dag en is daarmee relatief hoog. Dit wordt veroorzaakt doordat de opname van weidegras, met een hoge voederwaarde, relatief laag is in vergelijking met de gangbare praktijk. Het overig ruwvoer heeft een duidelijk lagere voederwaarde dan vers weidegras. Voor voldoende energieopname moet daardoor, bij dit hoge productieniveau, meer krachtvoer worden opgenomen. Circa 40% van het krachtvoer wordt op het eigen bedrijf geteeld.

De melkgevende koeien namen de afgelopen winters per dag gemiddeld 20,6 kg droge stof op (Tabel 6.12). Hiervan was 2/3 ruwvoer, met name kuilgras (35%) en snijmaïs (31%). Daarnaast werd 1/3 krachtvoer, 6,8 kg droge stof, opgenomen. Bijna 60% van het krachtvoer in de winter is aangekocht: mengvoer, enkelvoudige krachtvoerders en bijproducten. De overige 40% krachtvoer is op het eigen bedrijf geteeld, 20% voederbieten en 20% MKS.

Verwacht werd dat maar liefst 4,5 kg droge stof voederbieten gevoerd kon worden. De eerste jaren is gemiddeld respectievelijk 2,4 en 2,0 kg gevoerd. Deze relatief geringe gift gaf reeds negatieve effecten op de melkproductie in de vorm van een tegenvallende melkgift met een extreem hoog vetgehalte. Vergelijkbare effecten van voederbieten werden ook elders gevonden (Meijer *et al.*, 1994). In latere jaren is een deel van de voederbieten met de snijmaïs ingekuuld. Op grond van economische en milieutechnische overwegingen worden vanaf 1996 geen voederbieten meer geteeld.

Tabel 6.12 Voeropname melkgevende koeien (kg droge stof koe⁻¹ dag⁻¹) tijdens de stalperiode

	prognose	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1992-97
Kuilgras	7,8	7,9	8,1	7,5	6,5	6,0	7,2
Snijmaïs (incl. bieten) ¹	3,8	5,2	5,9	6,8	5,7	8,5	6,4
Overig ²	-	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,1
Voederbieten	4,5	2,4	2,0	1,3	1,7	0,0	1,5
MKS	-	0,0	1,5	2,3	0,8	1,9	1,3
Bijproducten	-	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,2
Krachtvoer	2,9	3,9	3,7	3,1	3,2	4,8	3,7
Premix	-	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Totaal	19,0	19,5	21,3	21,1	19,9	21,4	20,6

¹ In 1994/95 en 1995/96 is een deel van de voederbieten tezamen met de snijmaïs ingekuuld. Na conservering is de voederwaarde (VEM) van voederbieten vrijwel gelijk aan die van snijmaïs.

² Overig ruwvoer bestaat hoofdzakelijk uit hooi en graszaadhooi.

Tabel 6.13 Opname van en behoefte aan energie, eiwit en fosfor (per melkgevende koe per dag) en stikstof- en fosforefficiënties (%) tijdens de weideperiode.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1992-97
Opname							
kVEM	18,7	18,7	19,2	19,3	18,8	18,3	18,8
DVE (g)	1793	1590	1653	1750	1582	1617	1664
OEB (g)	427	460	370	563	309	-10	353
P (g)	77	75	65	74	60	57	68
Behoefte¹							
kVEM	18,7	18,7	19,2	19,3	18,8	18,3	18,8
DVE (g)	1499	1580	1631	1630	1587	1556	1581
P (g)	63	64	66	66	64	64	65
Dekking							
VEM (%)	100	100	100	100	100	100	100
DVE (%)	120	101	101	107	100	104	106
P (%)	122	117	98	112	94	88	105
N-efficiëntie	24,6	26,3	29,4	23,4	28,1	31,1	27,2
P-efficiëntie	30,7	29,6	37,8	28,9	37,8	38,0	33,8

¹ Volgens de normen van het CVB (CVB, 1997)

Op De Marke wordt ernaar gestreefd de dieren naar de VEM-, DVE-, OEB- en P- behoeftenorm te voeren. Desondanks blijkt uit Tabellen 6.13 en 6.14 duidelijk dat de melkgevende koeien gemiddeld bijna altijd boven de behoefte gevoerd zijn. Belangrijkste verklaring hiervoor is de individuele diervariatie in voerbehoefte, voeropname en efficiëntie. Door deze variatie is het noodzakelijk om alle dieren minimaal naar behoefte te voeren. Immers dieren die beneden de behoeftenorm gevoerd worden en dan met name de VEM- en DVE-norm, zullen dalen in melkproductie. Als alle dieren minimaal naar behoefte gevoerd worden, zal een deel van de dieren boven behoefte gevoerd worden. Hierdoor ligt de gemiddelde voeropname boven behoefte. Daarnaast is het niet altijd mogelijk om het rantsoen naar wens samen te stellen. De mogelijkheden van rantsoenoptimalisatie worden begrensd door de hoeveelheid en kwaliteit van de beschikbare voedermiddelen.

Door de al eerder genoemde berekeningswijze voor de opname van weidegras is in de zomer de VEM-dekking per definitie 100%. De eiwitopname kwam redelijk goed overeen met de behoefte. Alleen de OEB-opname was gemiddeld duidelijk te hoog. Dit wordt met name veroorzaakt door de variatie in het eiwitgehalte van het weidegras, waardoor een zekere veiligheidsmarge moet worden aangehouden. Voor de praktijk wordt daarom een OEB-opname van minimaal 300 tot 350 gram per koe per dag geadviseerd (Meijer, 1996). De gemiddelde DVE-dekking van 106 wordt vrijwel geheel veroorzaakt door het eerste jaar. De laatste jaren ligt de DVE-dekking tijdens de weideperiode gemiddeld op circa 103%.

In de winter was de energieopname duidelijk hoger dan de behoefte. Dit uitte zich in een VEM-dekking van gemiddeld 109%. De eiwitopname, DVE en OEB, lag de afgelopen jaren duidelijk boven de behoefte. De DVE-dekking varieerde van 103% tot 112% en er werd 153 tot 347 gram OEB per dag opgenomen. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de theoretisch haalbaar veronderstelde norm van 0 gram OEB niet daadwerkelijk is nagestreefd.

Aanvankelijk was de fosforopname aanzienlijk hoger dan de fosforbehoefte. Na introductie van een premix zonder toegevoegd fosfor, is de fosfordekking behoorlijk teruggelopen. Met name met betrekking tot de fosforvoorziening is het bijzonder moeilijk een dekking van 100% te realiseren omdat de beschikbare voedermiddelen, krachtvoerders, dit niet altijd toelaten.

De fosforefficiëntie van de melkgevende koeien (output in vlees en melk gedeeld door input via voer) lag in de zomer iets hoger dan in de winter, 33,8 ten opzichte van 30,8%. De fosforefficiëntie was de afgelopen 3 jaren, 1994 tot 1997, gemiddelde 33,4%. Hiermee wordt de prognose van 32% gerealiseerd.

Tabel 6.14 Opname van en behoefte aan energie, eiwit en fosfor (per melkgevende koe per dag) en stikstof- en fosforefficiënties (%) tijdens de stalperiode.

	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1992/97
Opname						
kVEM	18,2	20,1	20,2	18,9	21,0	19,7
DVE (g)	1593	1746	1701	1642	1821	1701
OEB (g)	329	241	347	204	153	255
P (g)	77	81	71	69	76	75
Behoefte						
kVEM	17,0	18,1	17,9	18,4	19,1	18,1
DVE (g)	1421	1557	1560	1591	1724	1571
P (g)	60	64	63	64	67	64
Dekking						
VEM (%)	107	111	113	103	110	109
DVE (%)	112	112	109	103	106	108
P (%)	128	127	113	108	113	118
N-efficiëntie	25,7	26,7	26,2	28,8	29,6	27,4
P-efficiëntie	26,6	28,6	31,4	33,9	33,7	30,8

¹ Volgens de normen van het CVB (CVB, 1997)

6.2.4.3 Droogstaande koeien

De droge koeien worden het gehele jaar op stal gehouden. Het rantsoen van deze dieren bestaat uit de minste kwaliteit kuilgras, mengkuil (maïsstro / herfstkuilgras / bietenblad) en voerresten van de melkgevende koeien. Daarnaast worden incidenteel snijmaïs en graszaadhooi gevoerd.

Tabel 6.15 Voeropname droogstaande koeien (kg droge stof koe⁻¹ dag⁻¹).

	Prognose	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1992-97
Mengkuil	0,0	0,1	4,2	4,7	8,0	3,6	4,1
Kuilgras	1,0	1,7	2,1	2,0	0,2	5,6	2,3
Snijmaïs (incl. bieten) ¹	4,6	0,4	0,0	0,1	0,4	0,0	0,2
Voerresten ²	-	5,9	1,2	1,6	1,8	0,9	2,3
Overig ³	1,4	0,2	1,8	1,6	0,2	0,9	0,9
Krachtvoer	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Premix	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Totaal	7,1	8,4	9,4	10,1	10,8	11,2	10,0

¹ In 1994/95 en 1995/96 is een deel van de voederbieten tezamen met de snijmaïs ingekuuld. Na conservering is de voederwaarde (VEM) van voederbieten vrijwel gelijk aan die van snijmaïs.

² Voyerresten van melkgevende koeien die door jongvee en droogstaande koeien zijn opgenomen.

³ Overig ruwvoer bestaat hoofdzakelijk uit hooi en graszaadhooi.

In de afgelopen drie jaar is de samenstelling van het rantsoen voor de droogstaande koeien enigszins veranderd (Tabel 6.15). In het eerste jaar bestond bijna 70% van het rantsoen uit voerresten van de melkgevende koeien. Deze voerresten bevatten naast ruwvoer ook een klein gedeelte krachtvoer(-vervangers). Hierdoor had het totale rantsoen in het eerste jaar een te hoge voederwaarde voor de droge koeien, gemiddeld 850 VEM per kg droge stof. In de volgende jaren zijn daarom minder voerresten gevoerd. Hiervoor in de plaats kwam een mengkuil van maïsstro / herfstkuilgras / bietenblad. In jaren dat onvoldoende lage kwaliteit ruwvoer beschikbaar was, is hooi en graszaadstro gevoerd. Dit valt onder de post 'overig' in Tabel 6.15.

Tabel 6.16 Opname van en behoefte aan energie, eiwit en fosfor (per droogstaande koe per dag).

	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1992-97
Opname						
kVEM	7,1	7,0	7,6	8,1	8,8	7,7
DVE (g)	514	457	458	461	567	491
OEB (g)	209	357	347	506	577	399
P (g)	36	30	32	34	37	34
Behoefte						
kVEM	7,1	7,0	7,0	6,8	7,0	7,0
DVE (g)	341	332	341	319	338	334
P (g)	27	27	27	28	27	27
Dekking						
kVEM (%)	100	101	109	119	125	111
DVE (%)	151	138	134	145	168	147
P (%)	133	111	119	121	136	124

¹ Volgens de normen van het CVB (CVB, 1997)

Ondanks een afname van de kwaliteit van het totale rantsoen zijn de droge koeien in staat gebleken om aan hun energiebehoefte te voldoen (Tabel 6.16). Met betrekking tot DVE, OEB en P worden de droge koeien duidelijk boven de behoeftenorm gevoerd, P-dekking van 124%. Correctie van het aanbod van eiwit en fosfor zodat het beter afgestemd is op de behoefte, is bij de droge koeien, evenals bij het grootste deel van het jongvee, zeer moeilijk. Dit komt omdat de kwaliteit van het eigen ruwvoer binnen de randvoorwaarden van het bedrijfssysteem maar in beperkte mate beïnvloed kan worden en er geen krachtvoer gevoerd wordt waarmee gestuurd kan worden.

6.2.4.4 Pinken

De voeropname van het jongvee wordt in twee groepen geregistreerd: 'Kalveren' en 'Pinken'. Deze indeling is uiteraard leeftijdsgebonden maar wordt op De Marke strikt genomen bepaald door de plaats waar het jongvee gehuisvest is. Tot een leeftijd van ongeveer 11 maanden staat het jongvee apart in de jongveestal. Bij deze dieren wordt vanaf circa 5 maanden de voeropname geregistreerd. Tot een leeftijd van 5 maanden is het op De Marke praktisch gezien vrijwel onmogelijk gebleken om de voeropname vast te stellen. De groep 'kalveren' is het jongvee van circa 5 tot 11 maanden dat in de jongveestal is gehuisvest. Vanaf gemiddeld 11 maanden gaat

Tabel 6.17 Voeropname pinken tijdens de weideperiode (kg droge stof per pink per dag).

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1992-97
Weidegras	7,5	8,6	8,1	8,1	7,4	7,8	7,9

het jongvee naar de ligboxenstal. Tot het afkalven op een leeftijd van 24-25 maanden behoort dit jongvee tot de groep 'pinken'.

Het weidegras dat de pinken krijgen bestaat van mei tot oktober uit de weideresten van de melkkoeien. Vanaf half oktober, in het najaar en eventueel voorjaar, weiden de pinken op het vanggewas na de maïs, Italiaans raaigras. Gemiddelde namen de pinken bijna 8 kg droge stof weidegras per dag op (Tabel 6.17).

Tabel 6.18 Opname van en behoefte aan energie, eiwit en fosfor (per pink per dag) tijdens de weideperiode.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1992-97
Opname							
KVEM	7,5	8,2	8,1	7,8	7,4	7,7	7,8
DVE (g)	930	853	897	859	728	783	842
OEB (g)	292	381	731	656	399	279	456
P (g)	31	31	35	34	27	29	31
Behoefte							
KVEM	7,5	8,2	8,1	7,8	7,4	7,7	7,8
DVE (g)	284	313	317	300	282	293	298
P (g)	22	23	23	23	22	23	23
Dekking							
KVEM (%)	100	100	100	100	100	100	100
DVE (%)	327	273	283	286	258	267	282
P (%)	141	135	152	148	123	127	138

¹ Volgens de normen van het CVB (CVB, 1997)

Tijdens de weideperiode van 1993 en 1994 heeft enkele weken een deel van de droge koeien geweid met de pinken. De voeropname van deze droge koeien is onlosmakelijk verbonden met die van de pinken, omdat de voeropname voor de groep als geheel is geregistreerd. Hierdoor was de energiebehoefte en voeropname van de groep 'pinken' in de genoemde weideperiodes iets hoger (Tabel 6.18).

De pinken weiden alleen op 'restgras', weideresten en vanggewas. Desondanks is door de relatief hoge kwaliteit van dit gras, de eiwit- en fosforopname veel hoger dan de behoefte (Tabel 6.19). Gemiddeld werd circa 450 g OEB per pink per dag opgenomen. Daarnaast was de DVE-opname 2½ tot 3 keer zo hoog als de behoefte. Ook de opname van fosfor lag duidelijk boven de behoefte, gemiddeld bijna 40%. Ondanks het lage bemestingsniveau voor stikstof en fosfaat op De Marke is de kwaliteit van het weidegras ruimschoots voldoende om de behoefte van de pinken te dekken.

Tabel 6.19 Voeropname pinken tijdens de stalperiode (kg droge stof per pink per dag).

	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1992/97
Mengkuil	1,5	3,4	3,4	5,1	4,6	3,6
Kuilgras	3,0	0,7	1,3	0,1	1,4	1,3
Snijmaïs (incl. bieten) ¹	1,7	0,5	0,1	0,5	0,0	0,6
Voederbieten	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2
Voerresten ²	0,3	1,3	2,0	2,0	1,3	1,4
Overig ³	0,0	1,0	0,9	0,0	0,3	0,4
Premix	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Opname totaal	7,3	7,3	7,8	7,8	7,7	7,6

¹ In 1994/95 en 1995/96 is een deel van de voederbieten tezamen met de snijmaïs ingekuuld. Na conservering is de voederwaarde (VEM) van voederbieten vrijwel gelijk aan die van snijmaïs.

² Voerresten van melkgevende koeien die door jongvee en droogstaande koeien zijn opgenomen.

³ Overig ruwvoer bestaat hoofdzakelijk uit hooi en graszaadhooi.

Op stal nemen de pinken gemiddeld ruim 7,5 kg droge stof op (Tabel 6.19). Net als bij de droge koeien bestaat het rantsoen hoofdzakelijk uit de minste kwaliteit ruwvoer. In het eerste jaar werd nog een aanzienlijke hoeveelheid kuilgras gevoerd, de volgende jaren werd dit vervangen door een mengkuil van maïsstro / herfstkuilgras / bietenblad. Tegenover een geleidelijke afname van de hoeveelheid snijmaïs en voederbieten staat een toename van de hoeveelheid voerresten van de melkkoeien. Het stalrantsoen van de pinken had een voederwaarde van gemiddeld 785 VEM, 47 g DVE, 27 g OEB en 3,1 g P kg⁻¹ droge stof.

Tabel 6.20 Opname van en behoefte aan energie, eiwit en fosfor (per pink per dag) tijdens de stalperiode.

	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1992/96
Opname						
kVEM	6,0	5,6	6,1	6,1	6,0	6,0
DVE (g)	373	346	366	341	367	359
OEB (g)	45	183	278	277	244	205
P (g)	25	23	24	22	23	23
Behoefte						
kVEM	5,8	5,9	6,1	6,1	6,3	6,0
DVE (g)	265	256	260	259	265	261
P (g)	21	21	21	22	22	21
Dekking						
kVEM (%)	103	95	100	100	96	99
DVE (%)	141	135	141	132	138	137
P (%)	119	110	114	100	103	109

¹ Volgens de normen van het CVB (CVB, 1997)

Door de onbeperkte ruwvoeropname van de minste kwaliteit zijn de mogelijkheden van sturing in de energie-, eiwit- en fosforopname zeer beperkt. De hoeveelheid en kwaliteit van de beschikbare ruwvoerders bepaalt dan ook de mogelijkheden van normvoeding. De beschikbare voeders hebben gemiddeld relatief hoge DVE- en fosforgehaltes ten opzichte van de lage behoeftes van de pinken. Het gevolg is dat tijdens de stalperiode ruim 30 tot 40% boven de DVE-norm en tot 20% te veel fosfor is opgenomen (Tabel 6.20). De laatste twee jaren was door het lagere fosforgehalte van het kuilgras de fosforopname vrijwel gelijk aan de behoefte. Gezien het fosforgehalte van het kuilgras van 1997 lijkt dit vooralsnog geen structureel karakter te hebben.

6.2.4.5 Kalveren

De voeropname van de kalveren vanaf circa vijf maanden leeftijd wordt op De Marke geregistreerd. Tot een leeftijd van vijf maanden nemen de kalveren met name kunstmelk, enig ruwvoer (snijmaïs en hooi) en krachtvoer op. Hoewel dit niet op groepsniveau geregistreerd wordt, wordt het wel meegenomen met de totale voeropname op het bedrijf.

De berekende opname van gras van de kalveren in de wei bedroeg ongeveer 4,5 kg droge stof per dag. Naast het weidegras krijgen de kalveren ongeveer 0,5 kg droge stof mengvoer bijgevoerd (Tabel 6.21).

Tabel 6.21 Voeropname kalveren tijdens de weideperiode (kg droge stof per kalf per dag).

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1992-97
Weidegras	3,4	4,3	4,2	4,7	4,3	4,6	4,3
Mengvoer	0,8	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,5
Totaal	4,2	4,8	4,7	5,1	4,6	4,9	4,7

Ook bij de kalveren is de energieopname in de wei per definitie gelijk aan de energiebehoefte. Hiermee wordt de energie- en daarmee de droge-stofopname mogelijk onderschat. Desondanks is de eiwitvoorziening bijzonder ruim. Gemiddeld werd dagelijks ongeveer 250 g DVE en OEB boven de norm gevoerd (Tabel 6.22). De fosforopname lag de laatste jaren nog weinig boven de behoefte.

De kalveren tot een leeftijd van circa 11 maanden krijgen geen mengkuil gevoerd. Mede hierdoor had het rantsoen voor de kalveren een duidelijk hogere kwaliteit dan dat van de pinken en de droge koeien, gemiddeld 895 VEM, 61 g DVE, 18 g OEB en 3,1 g P per kg droge stof. Naast 5,5 kg droge stof ruwvoer krijgen de kalveren tijdens de stalperiode 0,4 kg droge stof mengvoer (Tabel 6.23). De hoeveelheid krachtvoer is de laatste jaren geleidelijk afgebouwd.

Tabel 6.22 Opname van en behoefte aan energie, eiwit en fosfor (per kalf per dag) tijdens de weideperiode.

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1992-97
Opname							
kVEM	4,2	4,6	4,7	4,8	4,6	4,8	4,6
DVE (g)	501	473	510	535	456	489	494
OEB (g)	151	200	392	383	238	170	256
P (g)	18	18	20	21	17	19	19
Behoefte							
kVEM	4,2	4,6	4,7	4,8	4,6	4,8	4,6
DVE (g)	261	260	249	247	250	255	254
P (g)	16	17	17	18	17	18	17
Dekking							
kVEM (%)	100	100	100	100	100	100	100
DVE (%)	192	182	205	217	182	192	195
P (%)	113	106	118	117	100	106	110

¹ Volgens de normen van het CVB (CVB, 1997)

Tabel 6.23 Voeropname kalveren tijdens de stalperiode (kg droge stof per kalf per dag).

	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1992/96
Kuilgras	2,4	3,7	3,0	1,6	3,0	2,7
Snijmaïs (incl. bieten) ¹	2,3	2,1	2,3	3,0	2,5	2,4
Voerresten ²	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Overig ³	0,0	0,1	0,0	1,2	0,0	0,3
Mengvoer	0,5	0,4	0,6	0,4	0,3	0,4
Totaal	5,2	6,4	5,9	6,2	5,8	5,9

¹ In 1994/95 en 1995/96 is een deel van de voederbieten tezamen met de snijmaïs ingekuuld. Na conservering is de voederwaarde (VEM) van voederbieten vrijwel gelijk aan die van snijmaïs.

² Voerresten van melkgevende koeien die door jongvee en droogstaande koeien zijn opgenomen.

³ Overig ruwvoer bestaat hoofdzakelijk uit hooi en graszaadhooi.

De kalveren worden op stal duidelijk boven de behoefte gevoerd (Tabel 6.24). Niet alleen wordt 15% tot 30% boven de energiebehoefte gevoerd, tevens nemen de kalveren bijna 1,5 maal de behoefte aan eiwit (DVE) op. In de fosforbehoefte werd de laatste stalperiodes exact voorzien.

Tabel 6.24 Opname van en behoefte aan energie, eiwit en fosfor (per kalf per dag) tijdens de stalperiode.

	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1992/96
Opname						
kVEM (dag ⁻¹)	4,5	5,5	5,4	5,6	5,5	5,3
DVE (g dag ⁻¹)	311	389	374	376	373	365
OEB (g dag ⁻¹)	80	161	152	50	53	99
P (g dag ⁻¹)	17	21	19	18	17	18
Behoefte						
kVEM (dag ⁻¹)	4,0	4,3	4,2	4,3	4,2	4,2
DVE (g dag ⁻¹)	256	246	252	249	250	251
P (g dag ⁻¹)	17	18	17	18	18	18
Dekking						
kVEM (%)	113	129	129	130	131	126
DVE (%)	121	158	148	151	149	145
P (%)	100	117	112	100	99	106

¹ Volgens de normen van het CVB (CVB, 1997)

6.3 Veevoeding in de fosforkringloop

De veevoeding is een belangrijk onderdeel van de fosforkringloop omdat de output van het bedrijf vanuit dit deel van de fosforkringloop wordt gerealiseerd. De fosforstromen van de veestapel van de verschillende boekjaren en het gemiddelde van de laatste twee boekjaren zijn in tabellen 6.25 en 6.26 weergegeven.

De input van de veestapel is de afgelopen jaren aanmerkelijk teruggelopen. Dit wordt met name veroorzaakt door een geleidelijke daling van de fosforopname uit het eigen geteelde voer. Hierbij spelen zowel de lagere gewasopbrengsten als de daling van de fosforgehaltes van het gewas / voer een belangrijke rol. Hiertegenover staat een beduidend hogere input van aangekocht voer. De totale input neemt geleidelijk af en is het laatste jaar zelfs lager dan de prognose. De output van fosfor komt redelijk goed overeen met de prognose. Het 'overschot' neemt dus af, het gemiddelde van de laatste twee jaar is vrijwel gelijk aan de prognose.

Opgemerkt moet worden dat bij de prognose is uitgegaan van een bedrijfsomvang van 55 ha. De afgelopen jaren was echter iets meer land in gebruik, 56,5 ha. Hierdoor geeft de gerealiseerde in- en output van fosfor uitgedrukt per ha in vergelijking met de prognose een niet geheel juist beeld. Daarom zijn in Tabel 6.26 aanvullend de absolute hoeveelheden fosfor weergegeven.

Tabel 6.25 Fosforstromen binnen de veestapel van De Marke (kg P ha⁻¹ jaar⁻¹).

	Prognose	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1995/97
Input							
Eigen voer	34,2	29,4	32,8	32,7	30,8	28,1	29,5
Aangekocht voer	5,9	14,5	13,0	9,5	11,3	11,9	11,6
Aangekocht vee	-	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Totaal	40,1	44,7	46,1	42,2	42,2	40,0	41,1
Output							
Melk	10,6	9,8	10,3	10,5	10,1	10,5	10,3
Vlees	2,2	2,8	3,0	2,7	3,1	2,4	2,8
Mutatie veestapel	-	0,8	0,2	-0,2	-0,5	0,1	-0,2
Totaal	12,8	13,5	13,6	12,9	12,7	13,0	12,9
Input - Output ¹	27,3	31,2	32,5	29,3	29,5	26,9	28,2

¹ Het verschil tussen input en output wordt in de mest uitgescheiden

Tabel 6.26 Fosforstromen binnen de veestapel van De Marke (kg P jaar⁻¹).

	Prognose	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97	1995/97
Input	2206	2523	2607	2387	2382	2258	2320
Output	704	760	768	730	717	736	726
Input - Output	1502	1763	1839	1657	1665	1522	1594

¹ Het verschil tussen input en output wordt in de mest uitgescheiden

De in Tabel 6.26 weergegeven fosforstromen worden gebruikt voor de doorrekening van het bedrijfssysteem De Marke in de nabije toekomst. De resultaten hiervan staan in het volgende hoofdstuk 'Toekomstperspectief'.

Tabel 6.27 Fosfaatuitscheiding veestapel (kg P₂O₅/GVE) en fosfaatgehalte drijfmest (kg P₂O₅ / ton) en de forfaitaire waarden uit MINAS.

	Forfaitair	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96	1996/97
Fosfaatuitscheiding	41,0	40,7	40,6	37,9	39,2	35,9
Fosfaatgehalte drijfmest	1,5	1,8	1,7	1,4	1,5	1,4

¹ Fosfaatgehalte drijfmest gecorrigeerd naar 9% droge stof

In het mineralenaangiftesysteem (MINAS) kan gekozen worden voor een verfijnde en een forfaitaire aangifte. Bij de forfaitaire aangifte geldt een fosfaatuitscheiding van 41 kg per GVE. Melkkoeien worden daarbij gewaardeerd op 1,0 GVE, pinken op 0,439 GVE en kalveren op 0,220 GVE (COMMA, 1997). Voor De Marke resulteert dit voor de periode 1992/93-1996/97 in

een omvang van de veestapel van gemiddeld 100 GVE, ofwel een veebezetting van 1,76 GVE ha⁻¹.

De uitscheiding van fosfaat in de mest is de afgelopen jaren afgenomen van 40,7 tot 35,9 kg P₂O₅ per GVE en is daarmee ruim 12% lager dan de forfaitaire uitscheiding (Tabel 6.27). Dit uit zich ook in het fosfaatgehalte van de drijfmest. De afgelopen jaren is het fosfaatgehalte van de drijfmest sterk afgenomen. In het groeiseizoen 1997 had de toegediende drijfmest een gemiddeld fosfaatgehalte van 1,3 kg per ton, gecorrigeerd naar een droge-stofgehalte van 9% (Hilhorst, 1997).

6.4 Toekomstperspectief

Op perceelsniveau is op De Marke in de periode van 1990 tot 1996 een fosfaatoverschot van gemiddeld 5 kg ha⁻¹ gerealiseerd. De bemestingsstrategie was daarbij gericht op nivellering van de fosfaattoestand van de percelen (Habekotté *et al.*, 1998). Als gevolg hiervan is de gemiddelde fosfaattoestand gedurende de eerste 6 jaar gedaald (tot en met 1995/96) en vervolgens gestabiliseerd. De fosfaattoestand van alle percelen is minimaal voldoende. Te verwachten is dat bij aanscherpen van het fosfaatoverschot tot 1 kg ha⁻¹ en het weglaten van de nivellerende bemesting de fosfaattoestand geleidelijk zal dalen. In deze paragraaf wordt ingegaan op de mogelijke effecten van een lagere fosfaattoestand op de voedervoorziening.

6.4.1 Effecten lagere fosfaattoestand

De fosfaattoestand van de bodem op De Marke zal de komende jaren naar verwachting verder dalen. Modelberekeningen laten zien dat de eerste decennia bij een overschot van 1 kg fosfaat ha⁻¹, de fosfaattoestand van de meeste percelen minstens voldoende zal blijven (Schoumans, 1998). Er wordt derhalve vanuit gegaan dat de droge-stofopbrengst van de gewassen de komende jaren niet zal afnemen. De voedervoorziening komt zodoende bij deze lagere fosfaattoestand niet in gevaar. De gemiddeld lagere fosfaattoestand, gecombineerd met evenwichts-bemesting, kan echter wel tot lagere fosforgehaltes in het eigen geteelde voer leiden.

Tabel 6.28 Fosforgehaltes, huidige en mogelijk toekomstige, in eigen geteelde voedermiddelen op De Marke (g P per kg droge stof).

Voedermiddel	Huidig	Toekomstig
Snijmaïs	1,80 - 2,20	1,65 ¹
Weidegras	3,70 - 4,20	3,60 ²
Kuilgras	3,70 - 4,30	3,40 ²
Mengkuil	2,70 - 4,10	2,50 ³
Maïskolvensilage (MKS)	2,50 - 2,70	2,30 ³

¹ Habekotté en Hilhorst, 1998

² Schreuder *et al.*, 1996

³ Afgeleid van de huidige gehalten en de toekomstige gehalten van snijmaïs, weide- en kuilgras

Op basis van de resultaten van De Marke is een extrapolatie uitgevoerd voor het fosforgehalte van snijmaïs. Verwacht wordt dat het fosforgehalte van snijmaïs zou kunnen dalen tot 1,65 g P per kg droge stof (Habekotté en Hilhorst, 1998). Ook voor de andere eigen geteelde voedermiddelen zijn minimale fosforgehaltes verondersteld. Een overzicht hiervan staat in Tabel 6.28.

Voor de fosforgehalten van weide- en kuilgras is enige onderbouwing vanuit de literatuur gevonden (Schreuder *et al.*, 1996). Voor de mengkuil van herfstgras en maïsstro en de MKS zijn de mogelijke gehalten afgeleid van die voor de overige voedermiddelen. De rantsoenen van alle diergroepen zijn op basis van de toekomstige fosforgehaltes in de eigen geteelde voedermiddelen doorgerekend.

6.4.2 Voedervoorziening

De afgelopen jaren is de totale input van fosfor geleidelijk verminderd door verkleining van de veestapel (hogere melkproductie), verlaging van de P-gehalten van de eigen voedermiddelen en door gericht P-armere voedermiddelen aan te kopen. Daarnaast is de laatste jaren beter op de energie- en eiwitnormen gevoerd. De voeropname per kg melk is zodoende gedaald en de hiermee gerelateerde fosforinput ook. Deze maatregelen resulteren in een verminderde fosforinput van 200-300 kg P per jaar (Tabel 6.29). De fosforoutput, via melk en vlees, is de afgelopen jaren vrijwel constant gebleven. Dit is vrij logisch gezien het feit dat een vastgestelde hoeveelheid melk geproduceerd mag worden. De afname van de omvang van de veestapel draagt relatief weinig bij aan de variatie in de fosforoutput.

Tabel 6.29 Input en output van fosfor van de veestapel in 1995/96 en 1996/97 (kg P), fosforuitscheiding in de mest¹ (kg P) en de P-efficiëntie (%).

	1995/96	1996/97	1995 - 1997
Input			
Melkkoeien op stal	991	1092	1042
Melkkoeien in wei	860	630	745
Droge koeien	145	123	134
Pinken op stal	106	140	123
Pinken in wei	141	128	135
Kalveren op stal	68	79	74
Kalveren in wei	26	23	25
Overig jongvee	44	44	44
Totaal	2382	2258	2320
Output			
Melk	571	591	581
Vlees	174	137	156
Mutatie veestapel	-29	8	-11
Totaal	717	736	726
Input - Output¹	1660	1522	1594
P-efficiëntie	30,1	32,6	31,3

¹ Fosforinput minus fosforoutput is de uitscheiding in de mest

De effecten van de lagere fosforgehaltes in het voer zijn doorgerekend op basis van de rantsoenen zoals die de laatste twee jaar zijn gevoerd, boekjaren 1995/96 en 1996/97. In Tabel 6.30 staan de gemiddelde fosforinput en -output over deze boekjaren en de berekende fosforinput bij lagere fosforgehaltes in het eigen voer (In-/output toekomst). Met de lagere fosforgehaltes in het eigen voer daalt de fosforinput met ongeveer 7%. Er wordt via de mest 161 kg P oftewel 6,5 kg P₂O₅ ha⁻¹, minder uitgescheiden. De fosforefficiëntie neemt toe van 31,3% naar 33,6%.

Tabel 6.30 Input van fosfor in de veestapel (prognose en resultaat 1993-1996) en het fosforoverschot van de verschillende diergroepen (kg P).

	In- / output 1995-1997	Verwachte in- / output	Verwachte P-dekking	Benodigde P-aanvulling	Toekomstige in- / output
Input					
Melkkoeien op stal	1042	973	102	0	973
Melkkoeien in wei	745	704	86	0	704
Droge koeien	134	106	102	0	106
Pinken op stal	123	113	92	9	122
Pinken in wei	135	131	119	0	131
Kalveren op stal	74	65	88	9	74
Kalveren in wei	25	24	100	0	24
Overig jongvee	44	44	> 100	0	44
Totaal	2320	2159		18	2177
Output					
Melk	581	581			581
Vlees	156	145			145
Mutatie veestapel	-11	-			-
Totaal	726	726			726
Input - Output¹	1594	1433			1451
P-efficiëntie	31,3	33,6			33,3

¹ Fosforinput minus fosforoutput is de uitscheiding in de mest

Het gevolg van deze lagere P-input is dat enkele diergroepen beneden de huidige P-behoefte-norm gevoerd zullen worden. De melkkoeien in de weideperiode nemen maar liefst 14% minder fosfor op dan de norm. Naar de laatste onderzoeksresultaten laten zien, zijn de huidige fosfornormen voor melkkoeien aan de hoge kant (Valk, ID-DLO, pers. meded., 1998). Er wordt derhalve vanuit gegaan dat de fosforopname van de melkgevende koeien in de weide nog steeds voldoende zal zijn. Dit geldt echter niet voor de pinken en de kalveren op stal. Met betrekking tot de behoefte van deze diergroepen zijn geen nieuwe inzichten. Deze dieren moeten dus extra fosfor opnemen om in de behoefte te voorzien. Aan beide groepen, pinken en kalveren op stal, moet 9 kg P extra gevoerd worden. Door deze hogere P-input neemt de P-efficiëntie van de veestapel weer iets af tot 33,3%. Deze P-efficiëntie is echter nog steeds hoger dan de 32% die in 1992 voor het bedrijf als prognose is opgesteld (Biewinga *et al.*, 1992).

6.5 Discussie en conclusie

Gewasopbrengst

De prognose van De Marke is gebaseerd op een stikstofbemesting van 250 kg N ha⁻¹ grasland en 100 kg N ha⁻¹ maïsland. De gewasopbrengsten zijn tot nu gemiddeld over de periode 1992-1997 lager dan deze prognose. Naar verwachting speelt de vochtvoorziening van de afgelopen jaren hierbij een rol. Er zijn op De Marke geen aanwijzingen dat de fosfaatbeschikbaarheid een negatief effect heeft gehad op de gewasopbrengst.

Ruwvoerkwaliteit

De kwaliteit van ruwvoer, weidegras, kuilgras en snijmaïs, komt goed overeen met het gemiddelde van de analyses van het Blgg-Oosterbeek. Het belangrijkste verschil is het ruw-eiwitgehalte van het gras. Het gehalte aan onbestendige eiwit in zowel weide- als kuilgras is op De Marke lager, respectievelijk 25 en 11 gram per kg droge stof. De P-gehalten van de eigen ruwvoerders komen goed overeen met het gemiddelde van het Blgg-Oosterbeek.

Voeropname veestapel

De voeropname van de gehele veestapel is beduidend hoger, bijna 9%, dan de prognose. Er is zowel meer ruwvoer als meer krachtvoer opgenomen. De hogere voeropname wordt voor een belangrijk deel veroorzaakt door het jongvee. De kalveren en pinken namen ruim 23% meer voer op dan verwacht. Belangrijkste reden hiervoor is de grotere omvang van de jongveestapel. De hogere voeropname van de melkkoeien komt voornamelijk doordat de melkkoeien meer voer opnamen dan de behoefte. Deze extra opgenomen energie is niet benut voor de aanzet van vlees of vet aangezien de melkkoeien op De Marke niet zijn toegenomen in gewicht of conditie.

De fosforopname van de veestapel was vrijwel evenredig hoger, 7%. De laatste jaren is net als bij de droge-stofopname een duidelijk dalende tendens waar te nemen. Het laatste jaar is de fosforopname reeds gelijk aan de prognose. Ook het totale voerverbruik, uitgedrukt in kg droge stof per kg meetmelk, kwam het laatste jaar overeen met de prognose.

Bepaling opname weidegras

Het is vrijwel onmogelijk om in bedrijfsverband de opname van gras in de weide te bepalen. Daarom is de opname van weidegras berekend uit de energiebehoefte en de opname van de overige voedermiddelen. Hierbij wordt verondersteld dat de energieopname gelijk is aan de energiebehoefte. Echter tijdens de stalperiode is de energieopname vrijwel altijd hoger dan de energiebehoefte. Daarom is het niet uitgesloten dat ook tijdens de weideperiode de energieopname hoger is dan de behoefte. Een correctie zou een verhoging van de opname van weidegras van circa 2 kg droge stof geven.

Voeropname

Tijdens de stalperiode was de opname van energie, eiwit en fosfor aanmerkelijk hoger dan de behoefte, respectievelijk 9, 8 en 18%. Gedurende de weideperiode was alleen de eiwitopname structureel hoger, 6%, dan de behoefte. De fosforopname lag de laatste vier weideperioden gemiddeld zelfs iets beneden de behoefte.

De VEM-dekking van de droogstaande koeien is de afgelopen jaren toegenomen van 100% naar 125%. De eiwitvoorziening is alle jaren ruim geweest. Gemiddeld was de DVE-dekking 147% en

werd bijna 400 g OEB per dag opgenomen. Ook de fosforopname is ruim voldoende, variërend in een P-dekking van 111 tot 136%.

De pinken, met een leeftijd van circa 11 tot 24 maanden, nemen voor een belangrijk deel de voer- en weideresten van de melkgevende koeien op. Desondanks zijn de eiwit- en fosforopname in de weide en de eiwitopname op stal veel hoger dan de behoefte. De gemiddelde DVE-dekking bedraagt 137% in de stal en 282% in de weide. Daarnaast wordt in de weide ook nog eens 450 gram OEB opgenomen. Ondanks dat op De Marke relatief weinig pinken worden gehouden draagt deze groep dieren fors bij aan de stikstofverliezen. De P-dekking varieerde tijdens de stalperiode van 100% tot 119% en in het weideseizoen van 123% tot 152%.

De kalveren van 5 tot 11 maanden leeftijd namen gemiddeld 4,7 kg droge stof op tijdens de weideperiode en 5,9 kg droge stof tijdens de stalperiode. Tijdens de stalperiode lag de energieopname ruim 25% boven de behoefte. De eiwitvoorziening is zowel op stal als in de weide erg ruim. De fosforopname van de kalveren is de laatste jaren weinig hoger dan de behoefte.

Toekomstperspectief

De dalende fosfaattoestand van de bodem heeft in de toekomst mogelijk lagere fosforgehaltes in het eigen geteelde voer tot gevolg. De gevolgen hiervoor voor de voedervoorziening zijn marginaal. De fosforopname van de melkgevende koeien in de weideperiode wordt beduidend lager dan de huidige behoeftenorm. De fosforopname is echter nog duidelijk hoger de werkelijke behoefte. Ook in de toekomst worden geen problemen met betrekking tot de fosforopname van de melkgevende koeien verwacht. De fosforopname van de kalveren en de pinken tijdens de stalperiode daalt wel duidelijk beneden de behoefte. Een aanvulling van het rantsoen met fosfor, in totaal circa 18 kg P per jaar, is noodzakelijk. Een P-efficiëntie van de gehele vee-stapel van 33,3% is hiermee realiseerbaar.

7 Stringente P-normen in bedrijf; resultaten van proefbedrijf De Marke

H.F.M. Aarts¹, B. Habekotté¹, W.J. Corré¹, G.J. Hilhorst², H. van Keulen¹, J. Schröder¹, O. Schoumans³ en F. van der Schans⁴

¹ AB-DLO, ² De Marke, ³ SC-DLO, ⁴ PR

7.1 Inleiding

Ook de melkveehouderij maakt zich op voor de toekomst. Een bedrijfssysteem dat past bij melkveebedrijven op zandgronden en dat theoretisch kan voldoen aan de stringente milieunormen van de volgende eeuw werd ontworpen, in 1992 op proefbedrijf De Marke geïmplementeerd en sindsdien op praktijkschaal op functioneren onderzocht en verder ontwikkeld (Hilhorst *et al.*, 1998).

Het voldoen aan de milieunormen moet zo min mogelijk extra kosten veroorzaken, omdat duurzaamheid ook een economische component kent. Omdat in Nederland grond ook in de toekomst een dure productiefactor zal zijn werd niet gekozen voor extensiveren - minder melk per ha produceren door meer grond aan te kopen - maar voor het zoveel mogelijk handhaven van de intensiteit en het sterk verbeteren van de benutting van mineralen in voer en meststoffen, waardoor verliezen worden beperkt. Het milieuprobleem werd daarmee een managementprobleem.

Door een toets op praktijkschaal kan worden nagegaan of de veronderstelde relaties binnen het systeemontwerp ook realistisch zijn en of alle belangrijke relaties binnen een melkveebedrijf wel zijn meegenomen in de afwegingen bij de keuze van het bedrijfssysteem. Het experimentele bedrijfssysteem kent geen herhalingen en er is geen directe vergelijking met een gangbaar bedrijf mogelijk. Dat maakt de analyse van de wetmatigheden achter de bedrijfsprestaties niet eenvoudig. Boekjaren zijn maar beperkt met elkaar vergelijkbaar omdat het weer tussen de jaren sterk verschilt. Bovendien wordt het bedrijfssysteem bijgesteld als dat naar verwachting tot betere prestaties leidt.

Het functioneren van het bedrijf wordt vooral berekend en verklaard vanuit een groot aantal metingen die er voor zorgen dan de stof- en mineralenstromen niet alleen op bedrijfsniveau maar ook op het niveau van percelen en groepen dieren nauwkeurig in beeld komen. Zo worden van elk perceel nauwkeurig de aan- en afvoer vastgesteld door weging van uit te rijden mest en van in te kuilen gewassen, in combinatie met mest- en gewasanalyses. Op basis van landbouw- en milieutechnische kennis worden de resultaten vervolgens zo goed mogelijk geïnterpreteerd. Waar nodig en mogelijk wordt door gericht onderzoek aanvullende kennis verworven, bijvoorbeeld door laboratoriumonderzoek naar bodemprocessen of door het aanleggen van proefvelden. Proefvelden kunnen ook helpen te verkennen of er met bijvoorbeeld aanpassingen in de bemestingstechniek winst te behalen is. Op die manier is een voorzichtige introductie van potentiële verbeteringen van het systeem mogelijk.

De kennis die het project De Marke oplevert moet door veehouders kunnen worden gebruikt om hun bedrijf aan te passen aan de voorziene milieunormen, die voor de komende jaren recent wettelijk zijn vastgelegd (MINAS). Deze normen zijn veel minder vergaand dan de normen die De Marke zichzelf oplegt. MINAS is een compromis tussen milieu en economie. Door de eerdere start en de veel strengere normen wordt De Marke sneller en heftiger met praktische problemen geconfronteerd dan gangbare bedrijven. En dat is leerzaam.

In dit stuk worden de belangrijkste resultaten van De Marke vergeleken met de verwachtingen daaromtrent en wordt vanuit de opgedane kennis ingegaan op de gevolgen van MINAS voor de melkveehouderij in de zandgebieden.

7.2 Het gerealiseerde fosfaatoverschot

Een harde doelstelling van De Marke is het voorkomen van een fosfaatoverschot van meer dan één kg ha⁻¹ bij een 'voldoende' fosfaattoestand van de bodem en een licht negatief overschot bij een toestand die hoger is. Dat betekent dat de bedrijfsopzet moet worden aangepast als uit resultaten blijkt dat de doelstelling met het actuele systeem niet haalbaar is of niet haalbaar blijft. Melkveehouderij is een grondgebonden activiteit. Daardoor heeft het weer grote invloed op het functioneren van het melkveebedrijf en zal het overschot van jaar tot jaar 'natuurlijke' fluctuaties vertonen. In een jaar met een goede vochtvoorziening zullen gewassen meer fosfaat opnemen en meer drogestof produceren dan in een droog jaar (Habekotté en Hilhorst, 1998). Daardoor is de behoefte om voer aan te kopen en daarmee de aanvoer van fosfaat in een dergelijk jaar geringer. De afvoer met melk en vlees blijft gelijk, waardoor het fosfaatoverschot op bedrijfsniveau lager zal zijn.

In Tabel 7.1 zijn de fosfaatbalansen van de laatste jaren gegeven, de prognoses bij de start van het bedrijf, de balansen van praktijkbedrijven in het midden van de tachtiger jaren en die van tien jaar later. De fosfaatbalans wordt steeds berekend over de periode van 1 mei tot 1 mei. Op 1 mei eindigt de stalperiode en begint het weideseizoen. Voorraadveranderingen in de bodem zijn niet in de balans opgenomen. Als verondersteld wordt dat er geen uitspoeling is, zal over een langere periode het overschot op de balans gelijk zijn aan de verandering van de bodemvoorraad. De data van de gangbare bedrijven in de periode 1983/86 zijn de gemiddelden van de zuivere melkveebedrijven op zandgrond in het bedrijfsinformatienet van LEI-DLO, die van tien jaar later zijn gemiddelden van een twintigtal bedrijven in het bedrijfsinformatienet die wat betreft grondsoort, melkquota per ha en areaal redelijk overeen kwamen met De Marke. De Marke is pas sinds 1992 in bedrijf, al werd de meeste grond al in 1989 verworven en milieugegericht geëxploiteerd. Zoals bij elk bedrijf zijn enige jaren nodig om startproblemen op te lossen en om het systeem stabiliteit te geven. Het overschot was het eerste jaar negatief. In het weideseizoen werd nauwelijks drijfmest gebruikt omdat er in de winter daarvoor nog nauwelijks vee op het bedrijf aanwezig was en dus in het voorjaar weinig drijfmest in voorraad. De bemesting van de gewassen met fosfaat was daardoor zeer beperkt - het gebruik van kunstmest werd op veel percelen niet zinvol geacht vanwege de hoge fosfaattoestand - zodat meer fosfaat uit de bodem werd opgenomen dan erop terecht kwam. In de daarop volgende stalperiode was de veestapel vrijwel compleet en werd een voorraad drijfmest opgebouwd. In de boekjaren daarna bleek het overschot te hoog omdat meer voer moest worden aangekocht dan vooraf was berekend, vooral door een 9% hoger voerverbruik (Van der Schans, 1998) en een wat lagere gewasproductie. Daarom moest en kon in de daaropvolgende jaren worden afgezien van kunstmest

Tabel 7.1 Fosfaatbalansen in kg ha⁻¹ van De Marke en van gangbare melkveebedrijven.

	De Marke						Gangbaar 1992/96**	
	Gangbaar 1983/86*	Prognose	1992/93	1993/94	1994/95	1995/96		1996/97
A. Aanvoer								
Krachtvoer	57	14	37	34	21	25	27	50
Ruwvoer	15	0	27	0	4	2	4	3
Kunstmest	34	14	5	5	0	0	0	41
Organische mest	0	0	9	0	0	0	0	25
Vee	1	0	2	0	0	0	0	0
Depositie	2	2	2	2	2	2	2	2
Diversen	2	0	0	0	0	0	0	3
Totaal aanvoer	111	30	82	41	27	29	33	124
B. Afvoer								
Melk	27	25	27	25	24	22	26	25
Vee	10	5	5	7	6	7	6	9
Ruwvoer	0	0	9	2	0	0	0	0
Organische mest	0	0	0	0	0	0	0	0
Diversen	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal afvoer	36	30	41	34	30	29	32	34
C. Verandering voorraad								
Vee	0	0	2	0	0	0	0	0
Ruwvoer	0	0	7	-5	2	-7	-3	0
Organische mest	0	0	46	-2	-14	2	7	0
Krachtvoer	0	0	0	0	-2	0	0	0
Totaal verandering voorraad	0	0	55	-7	-14	-5	4	0
Overschot (A-B-C)	74	0	-14	14	11	5	-3	90

* Aarts *et al.*, 1988; ** Daatselaar *et al.*, 1998

(er was immers meer fosfaat in de vorm van dierlijke mest beschikbaar door het hogere voer-
verbruik).

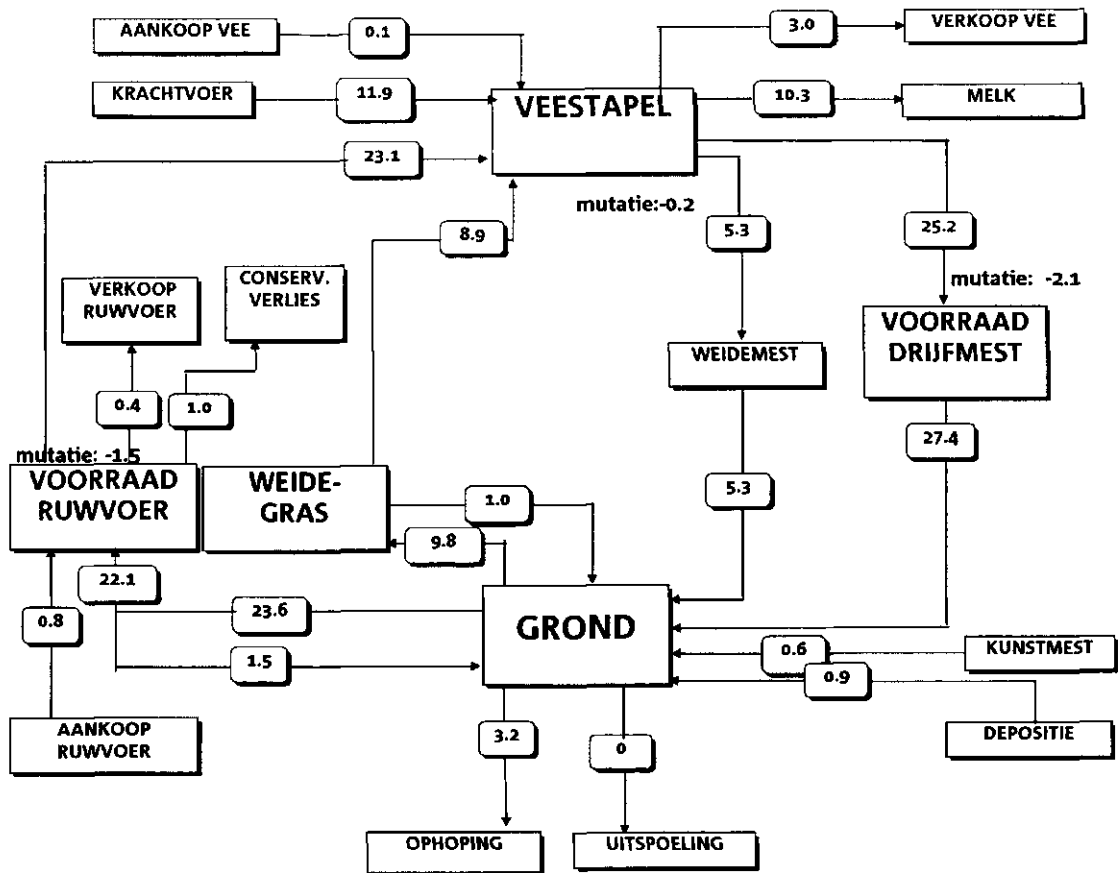
Het aangekocht krachtvoer had een fosforgehalte van gemiddeld 6,2 g per kg drogestof (het laatste jaar 5,6 g), was fosfaatarmere dan het aangekochte voer op praktijkbedrijven (7,0 g kg⁻¹) en iets hoger dan het gehalte in standaard krachtvoer (5,0 g kg⁻¹). Het laatste jaar is een negatief overschot gerealiseerd. De verwachting is dat ook bij een eventueel iets teruglopende fosfaatproductie door de gewassen (lagere gehalten in de drogestof als gevolg van lagere P-toestand bodem) de aanvoer van fosfaat met voer in overstemming kan blijven met de afvoer ervan in melk en vee (Van der Schans, 1998). Het handhaven van het melkquotum bij P-evenwichtsbemesting op bedrijfsniveau lijkt technisch gezien voor De Marke de eerstkomende decennia geen probleem.

Hoewel een zuivere vergelijking tussen de fosfaatbalans van de praktijkbedrijven in de jaren tachtig en negentig strikt genomen niet mogelijk is, omdat de groepen volgens verschillende criteria zijn gekozen, lijkt het er sterk op dat de fosfaatbalans tussen het midden van de jaren tachtig en negentig niet is verbeterd. Dat betekent dat op de gangbare zuivere melkveebedrijven de fosfaatvoorraad van de bodem sinds het begin van evenwichtsbemesting op De Marke (1989) is verhoogd met zo'n 700 kg ha⁻¹, bij de veronderstelling dat fosfaat nauwelijks uitspoelt (Schoumans, 1998). Bij een fosfaatgehalte van 1,21 kg m⁻³ runderdrijfmest (CBS persbericht nr LM197-01, gehalten 1996) komt dat overeen met 579 ton. Veel bedrijven zullen daarom nu over een grotere bodemvoorraad P beschikken dan De Marke, waar de voorraad sinds 1989 vrijwel gelijk is gebleven (Habekotté *et al.*, 1998).

7.3 De gerealiseerde P-kringloop

Voordat het bedrijfssysteem experimenteel werd beproefd is berekend hoe de fosfaatstromen van het bedrijf naar verwachting zouden verlopen (Hilhorst *et al.*, 1998). Metingen maakten het mogelijk de werkelijke stromen te kwantificeren. In Figuur 7.1 is weergegeven hoe de fosfaatstromen in de boekjaren 1993/1994 tot en met 1995/1996 gemiddeld zijn verlopen. Een zwak punt bij het kwantificeren van de kringloop is het kwantificeren van de fosfaatexcretie tijdens beweiding en de opname van fosfaat in de vorm van geconsumeerd vers gras. De opname van fosfaat met weidegras wordt berekend door het schatten van de hoeveelheid gras bij in- en uitscharen en door een zekere bijgroei per dag te veronderstellen. Het weidegras wordt geanalyseerd op onder andere fosfaatgehalte. De excretie tijdens beweiding wordt berekend als het verschil tussen totale opname met voer (op stal goed kwantificeerbaar) en de uitscheiding op stal (hoeveelheid drijfmest). Dat kan alleen maar voor de weideperiode als geheel. De excretie tijdens beweiding wordt naar percelen toegedeeld naar hoeveelheid geconsumeerd vers gras. Naarmate een perceel meer wordt beweid en dus minder wordt gemaaid zal een groter deel van de jaarlijkse excretie aan het perceel worden toegerekend. In de kringloop vormen 'conserveringsverliezen voorraad voer' de sluitpost. In principe kan er na inkuilen van voer geen P verloren gaan, behalve met perssap maar dat komt op De Marke nauwelijks voor. Het berekende conserveringsverlies bestaat dan uit meetfouten bij in- en uitkuilen of uit fouten bij het opmeten van voervorraden bij het wisselen van de stal- en weideperiode.

De kringloop maakt het mogelijk te berekenen hoe efficiënt de verschillende bedrijfscomponenten P hebben benut door de som van de uitgaande stromen te delen door die van de inkomende stromen. P in voer werd voor 33% omgezet in melk en vlees (verwacht was 32%). Op een gangbaar bedrijf wordt slechts 21% van de P in het voer omgezet in melk en vee (Aarts, 1996). Door de hogere P-benutting is het P-gehalte van de drijfmest van De Marke armer aan P dan op gangbare bedrijven. P in dierlijke mest (inclusief weidemest), kunstmest, oogstresten en depositie werd voor 89% omgezet in oogstbaar gewas (verwacht was vrijwel 100%), resulterend in een overschot van 3,2 kg P ha⁻¹ (7,3 kg fosfaat) voor de bodem/gewas-component van het bedrijf. Dit overschot kan verklaard worden uit de relatief droge groeiseizoenen die de P-opname beperkten (Habekotté, 1998). Uit Tabel 7.1 blijkt dat in de jaren daarvoor en daarna het bedrijf geen P-overschot kende. In gangbare praktijksituaties in het midden van de jaren tachtig was de benutting ongeveer 62% (Aarts, 1996), resulterend in een overschot van 32 kg P ha⁻¹ (74 kg fosfaat).



Figuur 7.1 De P-kringloop van De Marke in de boekjaren 1993/1994 tot en met 1995/1996(kg P ha⁻¹).

De conclusie is dat de op De Marke gerealiseerde fosfaatstromen goed overeenkomen met de verwachtingen, uitgezonderd de aanvoer van fosfaat met voer vanwege een hoger voerverbruik (opname P + 9%) en een lagere netto productie door de gewassen (- 10%). De P-stromen blijken nergens in de cyclus zodanig te stagneren dat bedrijfsaanpassingen uit fosfaatoverwegingen nu noodzakelijk lijken.

De P-cyclus onderscheidt zich van die van praktijkbedrijven door de veel geringere aanvoer van P met voer en kunstmest en de veel soberder interne P-stromen, onder meer resulterend in een uiterst beperkte accumulatie van P in de bodem.

7.4 Verdeling fosfaat over percelen

Het overschot op de fosfaatbalans van de cultuurgrond van De Marke in een specifiek jaar hoeft niet overeen te komen met die van het bedrijf omdat er wijzigingen kunnen optreden in de voorraden mest en ruwvoer in het betreffende boekjaar. Er kan als het ware overheveling plaatsvinden van een deel van de fosfaatvoorraad van de bodem naar die van voer en mest, opgeslagen op het erf, of omgekeerd. De voorraad fosfaat in de bodem is geen post op de bedrijfsbalans. Over een reeks van jaren moet het overschot op bedrijfsniveau en dat berekend over alle percelen dicht bij elkaar komen omdat de voorraden mest en voer nauwelijks veranderen. Tussen percelen kunnen verschillen bestaan in fosfaatoverschot als gevolg van verschillen

in bemesting (drijfmest en excretie tijdens beweiding) en opname door het gewas. Op veel praktijkbedrijven neemt de P-toestand rond de stal toe als gevolg van intensievere beweiding. Verschillen tussen percelen ontstaan dan vaak onbewust.

De Marke streeft naar een evenwichtige verdeling van het bedrijfsoverschot over de percelen, met dien verstande dat percelen met een relatief lage fosfaattoestand zo mogelijk een lager fosfaatoverschot horen te hebben als gevolg van een hogere mestgift dan percelen met een hoge fosfaattoestand. Om die reden kregen percelen met een Pw-getal van minder dan 40 in de bouwlandfase 15 m³ extra drijfmest toegediend, met daarin ongeveer 18 kg fosfaat. Bij een fosfaatoverschot conform de doelstelling (licht negatief) zou dat niet mogelijk zijn geweest. Op percelen met wisselbouw wordt gestreefd naar een relatief hoog overschot tijdens de graslandfase en een laag overschot tijdens de bouwlandfase.

Tabel 7.2 Balans percelen, gem. 1990/1996 (kg fosfaat ha⁻¹); laag Pw < 45, hoog Pw > 45.

	Blijvend grasland		Tijdelijk grasland		Bouwland		Alle percelen	
	P hoog	P laag	P hoog	P laag			P hoog	P laag
Oppervlakte (ha)	2,4	6,6	10,4	10,9	9,1	12,9	22,5	30,4
Aanvoer	88	74	87	88	35	49	63	68
- drijfmest	60	44	57	64	22	26	41	43
- vaste mest	0	0	4	0	2	7	2	3
- kustmest	0	10	9	10	8	14	9	12
- weidemest	26	18	14	12	0	0	9	8
- depositie	2	2	2	2	2	2	2	2
Afvoer	83	74	79	76	43	43	64	61
Overschot	5	0	7	12	-8	7	-1	7

In Tabel 7.2 zijn de perceelsbalansen gegroepeerd naar blijvend grasland, tijdelijk grasland en naar bouwland. Er is een splitsing aangebracht tussen percelen met een relatief hoge en lage fosfaattoestand. Zoals op basis van de bemestingsstrategie mag worden verwacht is het fosfaatoverschot zowel op tijdelijk grasland als op bouwland hoger als de fosfaattoestand van de percelen relatief laag is. Ook is duidelijk dat het streven naar een relatief hoog overschot in de graslandfase succesvol is geweest (voorraadbemesting). De percelen blijvend grasland met een hoog Pw-getal hebben een hoger overschot dan de percelen met een laag Pw-getal en dat hoort niet. Mogelijk zijn de percelen intensiever beweid dan oorspronkelijk verwacht (onder meer als gevolg van droogte), waardoor de aanvoer van fosfaat met weidemest hoger is en er vaker drijfmest kan worden uitgereden.

7.5 De bodemvruchtbaarheid en de productie van veevoer

Op De Marke is gebleken dat bij het omschakelen naar evenwichtbemesting de fosfaattoestand van de bodem de eerste jaren terugloopt (Habekotté *et al.*, 1998). Mogelijk heeft ook een rol gespeeld dat ijzerrijk materiaal uit de ondergrond de eerste jaren naar boven is geploegd, waardoor fosfaat in onoplosbare ijzerverbindingen kan zijn vastgelegd. Nog steeds worden in de bouwvoor klompjes ijzerhoudend materiaal aangetroffen. De laatste twee jaren is de fosfaattoestand gemiddeld stabiel. Op de rijkste percelen loopt de toestand iets terug, op de armste percelen daarentegen iets op. Onduidelijk is of de gemeten gemiddelde stabilisatie toevallig is of structureel. Modelverkenningen wijzen uit dat met name een combinatie van blijvend grasland met beweiding kan zorgen voor een afname van de fosfaattoestand van de bodem. Als oorzaken gelden een slechte horizontale en verticale verdeling van fosfaat als gevolg van mestflatten en ophoping als organische stof (stoppel- en wortelresten). In een wisselbouwsituatie (op 80% van areaal van De Marke) is de afname minder sterk (Schoumans, 1998). De in organische stof geaccumuleerde fosfaat komt dan immers weer vrij in de bouwlandfase. Daardoor is de beschikbaarheid van fosfaat voor maïs groter dan op grond van het Pw-getal mag worden verwacht. Het extra beschikbare fosfaat uit afbraak van de graszode blijft bij de bepaling van het Pw-getal buiten beschouwing.

Het is aannemelijk dat zelfs op de fosfaatarmste percelen van De Marke de fosfaattoestand nog niet belemmerend is geweest voor de opbrengst. Aannemelijk is dat het gebrek aan vocht of stikstof veel eerder grenzen heeft gesteld aan de groei. Onduidelijk is of de fosfaatgehalten in het gewas structureel gedaald zijn of alsnog zullen dalen (Van der Schans, 1998). Weersinvloeden verstoren het beeld. Berekeningen hebben aangetoond dat een eventuele beperkte daling de fosfaatproductie van het bedrijf niet zodanig limiteert dat de aankoop van fosfaat in de vorm van voer groter wordt dan de afvoer met melk en vee.

Lagere fosfaattoestanden van de bodem, in combinatie met beperkingen in de bemesting, zorgen voor heterogene gewassen. Heterogeniteit maakt de onkruidbestrijding lastiger en de keuze van het tijdstip waarop Italiaans raaigras tussen de rijen maïs moet worden gezaaid moeilijker. Daarom is het gewenst te zoeken naar bemestingssystemen die heterogeniteit zoveel mogelijk beperken (Schröder en Ehlert, 1998).

7.6 Resultaten andere bedrijfsdoelen

De Marke moet niet alleen accumulatie van fosfaat in de bodem voorkomen maar ook de schadelijke emissies van stikstof naar bodemwater (nitraat) en lucht (ammoniak) sterk beperken. Bij de evaluatie van het systeem moeten resultaten op die fronten mee worden gewogen. Het nitraatgehalte van het bovenste grondwater mag niet meer dan 50 mg per liter bedragen en het verlies van ammoniak uit mest niet meer dan 30 kg N ha⁻¹. In beide gevallen is dat een reductie van ongeveer 70% ten opzichte van de gangbare situatie in de periode 1983/1986. In Tabel 7.3 is het verloop van het nitraatgehalte van het grondwater van De Marke weergegeven. Duidelijk is dat het gehalte snel is gedaald tot waarden onder de 50 mg nitraat l⁻¹.

Tabel 7.3 Nitraatgehalten bovenste grondwater De Marke (mg l⁻¹, gemeten door RIVM).

	1990	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Blijvend grasland	159	80	50	43	60	52	96
Huiskavel	220	117	43	46	54	36	49
Veldkavel	181	104	53	35	35	20	47
Bedrijf	199	107	47	43	51	35	57

De daling is vooral het gevolg van beperkingen in de bemesting en beweiding en van de teelt van Italiaans raaigras als vanggewas na maïs. De stijging van het nitraatgehalte in 1997 is wellicht het gevolg van een extreem natte maand juni die tot uitspoeling van meststoffen kan hebben geleid. Opvallend is het relatief hoge gehalte onder blijvend grasland, wellicht het gevolg van relatief intensieve beweiding. Om dezelfde reden is ook het nitraatgehalte van de huiskavel hoger dan dat van de veldkavel. Op de veldkavel wordt een driejarige grasperiode gevolgd door vijf jaar maïs, op de huiskavel duurt de bouwlandfase slechts drie jaar. Bovendien wordt het grasland op de veldkavel niet beweid met melkvee.

Het verlies van ammoniak uit mest is weergegeven in Tabel 7.4. De beoogde reductie kon vooral worden gerealiseerd door een verminderde stikstofexcretie door de dieren als gevolg van een kleinere veestapel en een eiwitarmere rantsoen (principe: wat er niet is kan ook niet verloren gaan) en door het beperken van de verliezen uit mest door een emissiearme huisvesting, emissiearme mestopslag en emissiearme mesttoediening.

Tabel 7.4 Verlies ammoniak uit dierlijke mest (Aarts, 1996).

	Kg N-NH ₃ ha ⁻¹
Gangbaar 1985	103
Gangbaar 1995	65
De Marke 1993/95	22
Bron:	Aandeel:
- Stal	60%
- Uitrijden mest	20%
- Beweiding	20%

De Marke kan haar milieudoelen alleen bereiken door meststoffen en voedermiddelen beter te benutten. Het beperken van het verbruik van schaarse middelen is voor De Marke echter ook een doel op zich. In Tabel 7.5 is het verbruik van schaarse middelen weergegeven per kg geproduceerde melk.

Tabel 7.5 Milieubeslag (kg^{-1} geproduceerde melk).

	Gangbaar bedrijf	De Marke
Schaarse ruimte:		
- cultuurgrond	0,83 m ²	0,83 m ²
Schaarse grondstoffen:		
- kunstmest N	25 gr	6 gr
- kunstmest P ₂ O ₅	3 gr	0 gr
- aangekocht voer (ds)	370 gr	173 gr
- water	450 liter	350 liter
Invloed op milieu:		
- overschot N	33 gr	13 gr
- nitraat naar grondwater	10 gr	3 gr
- ammoniak naar lucht	6 gr	3 gr
- overschot P ₂ O ₅	7 gr	0 gr

De conclusie is dat het mogelijk is de milieubelasting van de melkveehouderij op zandgrond snel en sterk te reduceren, vooral door een veel efficiënter gebruik van grondstoffen. Zelfs op relatief slechte gronden - zoals die van De Marke - kan in technische zin aan de milieueisen van de verre toekomst worden voldaan bij een melkproductie van bijna 12.000 kg ha⁻¹. In die situatie zijn de eerste decennia geen belangrijke technische problemen te verwachten. Uit economische berekeningen blijken de extra kosten 5 cent per kg melk te bedragen, waarvan 0,7 cent voor extra arbeid die door het bedrijf zelf wordt geleverd, en 2,2 cent voor extra loonwerk (De Haan en Mandersloot., 1998).

7.7 Onzekerheden

Is het bedrijfssysteem van De Marke in technisch opzicht duurzaam? Het lijkt er wel op maar om die vraag goed te kunnen beantwoorden moet er meer zekerheid zijn over de lange-termijn effecten, met name op het gebied van de bodemvruchtbaarheid. Analyses van de bodem wijzen op stabilisatie. Daarbij moet worden aangetekend dat het gerealiseerde overschot jaarlijks gemiddeld 5 kg fosfaat is geweest, duidelijk hoger dan de doelstelling voorschrijft, en dat de percelen met lage fosfaattoestanden extra zijn bemest. Modelverkenningen wijzen op mogelijk een langzame daling met betrekking tot de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas bij evenwichtbemesting. Onzeker is in hoeverre onderzoek in staat is knelpunten in de bedrijfsvoering - onder meer als gevolg van een mogelijk dalende bodemvruchtbaarheid - op te vangen. Onduidelijk is of de fosfaatgehalten van de gewassen gaan dalen en tot welk niveau de fosfaatvoorziening van de dieren eventueel kan worden teruggebracht zonder de gezondheid aan te tasten. Bovendien is onzeker in hoeverre technische oplossingen in sociaal en economisch opzicht acceptabel zijn. Het opstallen van vee kan als voorbeeld gelden. Uit milieu- en bedrijfs-technische overwegingen kan permanent opstallen aantrekkelijk zijn, maar uit andere overwegingen (landschap en welzijn, imago melkveehouderij) mogelijk niet. Bij een grotere daling in de fosfaatproductie door gewassen dan acceptabel - of bij een grotere P-behoefte van het vee dan verwacht - kan overwogen worden het aandeel gras uit te breiden ten koste van het areaal

maïs omdat gras weliswaar minder drogestof levert maar met een aanzienlijk hoger fosfaatgehalte dan maïs. Dat gaat dan wel ten koste van neven doelstellingen als het beperken van waterverbruik of kunstmest. Het grasland van De Marke vergt per ha veel meer beregeningswater en kunstmest dan maïs. Bovendien kan het rantsoen rijker aan eiwit worden met als gevolg een grotere stikstofexcretie en mogelijk een grotere ammoniakemissie (onder meer omdat bij uitrijden van mest op grasland meer ammoniak verloren gaat dan op bouwland).

7.8 De gevolgen van MINAS voor de melkveehouderij op zandgrond: extrapolatie van kennis van De Marke

Het onderzoek van De Marke probeert de melkveehouder op zandgrond te helpen bij het vinden van een verantwoorde aanpak die leidt tot acceptabele mineralenverliezen op zijn bedrijf. De doelstelling van De Marke ten aanzien van fosfaat is veel stringenter dan de wet de Nederlandse veehouders het komende decennium voorschrijft. Aangrijpingspunten voor bedrijfsaanpassingen zijn te vinden in de verschillen tussen de fosfaathuishouding van gangbare bedrijven en die van De Marke.

Sinds De Marke in 1989 de grond is gaan gebruiken is op praktijkbedrijven het fosfaatoverschot met ongeveer 700 kg ha⁻¹ toegenomen. Bedrijven die zich strikt aan de wetgeving gaan houden zullen tot 2008 een overschot mogen opbouwen van 315 kg fosfaat ha⁻¹. Dat houdt in dat de voorraad fosfaat in de bodem van het gemiddelde veebedrijf op zandgrond met ruim 1000 kg ha⁻¹ zal zijn toegenomen, gerekend vanaf de start van proefbedrijf De Marke (1989) tot het moment dat de eindnormen gaan gelden (2008).

Om de overschotten voldoende te beperken moet de aanvoer met meststoffen en voer beter aansluiten bij de afvoer met melk en vee en eventueel mest. Zeker tot 2008 is het toegestane overschot (Tabel 7.7) voldoende om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden, bedrijven met sterk fosfaatfixerende gronden buiten beschouwing gelaten. Omdat de fosfaattoestand op vrijwel alle bedrijven op zandgrond gemiddeld minstens ruim voldoende is kan kunstmestfosfaat achterwege blijven. Een belangrijk aandachtspunt is de verdeling van dierlijke mest over het bedrijf. Vooral van de bemestende effecten van beweiding is de veehouder zich niet altijd bewust. Belangrijk is dat de dierlijke mest van het bedrijf goed wordt verdeeld over de verschillende percelen. Dat kan tot gevolg hebben dat beweiding moet worden beperkt - waardoor weidemest wordt omgezet in drijfmest - of beter over het bedrijf moet rouleren, mogelijk door wisselbouw. Bij die betere verdeling van het fosfaatoverschot van het bedrijf hoeft de gewasproductie ook zonder kunstmest niet te leiden tot lagere bruto opbrengsten of te lage fosfaatgehalten in de gewassen. Een modelstudie voor een situatie als op De Marke, maar zonder extra milieunormen, wees uit dat het fosfaatoverschot 'bij goede landbouwpraktijk' 20 kg ha⁻¹ draagt (De Haan en Mandersloot, 1998). Dat is gelijk aan de eindnorm MINAS (Tabel 7.6).

Tabel 7.6 Normen MINAS en norm De Marke met betrekking tot fosfaat (kg ha^{-1}).

Periode	Hoeveelheid fosfaat (kg ha^{-1})	De Marke
Bedrijven met minder dan 2.5 gve ha^{-1} *	max. fosfaat in dierlijke mest	
1-1-1998 tot 1-1-2000	110**	
1-1-2000 tot 1-1-2002	85	
na 1-1-2002	80	
Bedrijven met meer dan 2.5 gve ha^{-1}	max. overschot (verliesnorm)	
1-1-1998 tot 1-1-2000	40	0
1-1-2000 tot 1-1-2002	35	0
1-1-2002 tot 1-1-2005	30	0
1-1-2005 tot 1-1-2008	25	0
na 1-1-2008	20	0

* 1 gve = aantal dieren met een fosfaatproductie equivalent aan die van 1 melkkoel

** voor gras 120 en voor maïs 100

Ook na een eventuele aanscherping van de verliesnormen in 2008 is er geen reden te veronderstellen dat er zich voor de huidige generatie melkveehouders problemen gaan voordoen met de bodemvruchtbaarheid, zeker niet als in de periode daarvoor zorg is besteed aan het op peil brengen van de percelen met een lagere toestand wat met het toegestane overschot goed mogelijk lijkt door de dierlijke mest meer in de richting van de armste percelen te sturen. Effecten op gewasopbrengsten of gewaskwaliteit zijn dan ook niet te verwachten.

Bij een aanscherping van de normen zal de aanvoer van fosfaat met voer moeten worden teruggebracht of de afvoer vergroot door de afzet van dierlijke mest. Veel bedrijven kopen fosfaatrijk voer aan terwijl dit niet nodig is uit voedingsoverwegingen. Een forse beperking van voeraankoop is in de regel mogelijk door het beperken van de veestapel. Dat kan vooral door een hoge levensproductie en het afstoten van zo veel mogelijk jongvee. Op zandgrond - waar de mogelijkheid bestaat hoogwaardig voer te produceren in de vorm van maïsproducten - is een hoge melkproductie per koe goed mogelijk. Op veel bedrijven ontstaat ruimte voor de teelt van maïskolvenschroot (MKS) waardoor de aankoop van krachtvoer kan worden beperkt. In principe kan de aanvoer van P ook worden beperkt door het uitbreiden van het areaal gras ten koste van maïs en het aankopen van P-arm voer. Vermoedelijk is dat bedrijfseconomisch minder interessant, net zo min als de afvoer van mest.

Het onderzoek op De Marke heeft uitgewezen dat het mogelijk is $12.000 \text{ kg melk ha}^{-1}$ te produceren bij een zeer laag fosfaatoverschot. Bij een hogere melkproductie ha^{-1} moet al het voer voor de extra melk worden aangekocht. Uit de berekeningen (Van der Schans, 1998) blijkt dat op De Marke per kg melk 960 gram drogestof (krachtvoer en ruwvoer) nodig was. De benutting van voer naar melk en vlees bleek in de periode 1993/1997 30,2%. Per kg melk voert De Marke 1,12 gram P af. Dat houdt in dat per kg melk 3,70 gram P moet worden aangevoerd met voer. Het overschot per kg melk boven $12.000 \text{ kg ha}^{-1}$ is dan 2,60 gram P. Dat is gelijk aan 5,91 gram fosfaat. In Tabel 7.7 is weergegeven hoe groot de melkproductie per ha kan zijn als de voederproductie per ha en de efficiëntie van omzetting van P van voer naar melk gelijk zijn aan die van De Marke en voldaan moet worden aan MINAS. Bij een hogere melkproductie moet afvoer van mest plaatsvinden of moet een overschotheffing worden betaald. Omdat de stikstofbemesting

op praktijkbedrijven hoger mag zijn dan op De Marke zal de voederproductie hoger zijn. Bij economische berekeningen is uitgegaan van een opbrengstderving op De Marke als gevolg van beperkte stikstofbemesting van 9%. De maximale melkproductie als een P-overschot moet worden vermeden kan dan ongeveer 1000 kg ha⁻¹ melk hoger zijn. De maximale melkproducties in Tabel 7.7 mogen dan met deze hoeveelheid worden verhoogd. Een hogere maximale melkproductie per ha is ook mogelijk als de kwaliteit van de bodem beter is dan op De Marke, met name het vochtleverende vermogen. De tabel doet vermoeden dat het realiseren van een voldoende kwaliteit grondwater met betrekking tot de nitraatconcentratie de echte beperkende factor wordt op lichte zandgronden.

Tabel 7.7 De maximaal realiseerbare melkproductie (kg ha⁻¹) als voldaan wordt aan de MINAS-normen, geen mest wordt afgevoerd en de gewasopbrengst en voederbenutting gelijk worden verondersteld aan die van De Marke.

Periode	Max. overschot fosfaat (kg ha ⁻¹)	Max. melkproductie (kg ha ⁻¹)
1-1-1998 tot 1-1-2000	40	18.773
1-1-2000 tot 1-1-2002	35	17.926
1-1-2002 tot 1-1-2005	30	17.080
1-1-2005 tot 1-1-2008	25	16.230
na 1-1-2008	20	15.386

De verliesnormen worden gefaseerd ingevoerd. Onderzoek van De Marke en elders kan tijdig informatie leveren voor noodzakelijke bedrijfsaanpassingen. Een probleem blijft dat De Marke uniek is. Daarom is het goed de benadering van De Marke toe te passen op een aantal bedrijven die voorop willen lopen met betrekking tot de P-normering en die onderling verschillen in grondsoort en bedrijfsintensiteit. Daardoor kunnen collega-veehouders tijdig van waardevolle informatie worden voorzien. Recent is het project 'Voorlopers Duurzame Melkveehouderij' van start gegaan. Op een twaalftal bedrijven, representatief voor de belangrijkste segmenten van de Nederlandse melkveehouderij, zal het bedrijfssysteem zodanig worden aangepast dat het aannemelijk is dat in 2002 de MINAS-eindnormen worden gerealiseerd. Uit de ervaringen van De Marke blijkt dat demonstratie als middel voor kennisoverdracht bij onderzoek naar systeemverbetering erg belangrijk is.

Literatuur

- Aarts, H.F.M., 1995. De gevolgen van evenwichtsbemesting voor de fosfaattoestand van de bodem en de invloed daarvan op maïs. In: H.F.M. Aarts (ed.): Weide- en Voederbouw op De Marke: op zoek naar de balans tussen productie en emissie, pp. 63-77.
- Aarts, H.F.M., 1996. Milieuverantwoorde melkveehouderij op lichte zandgrond bij een gangbaar melkquotum. AB-DLO rapport 58, 24 pp.
- Aarts, H.F.M. en N. Middelkoop, 1990. De invloed van bodemeigenschappen en bemesting, op de opbrengst van maïs en de emissies van ammoniak en nitraat. CABO-verslag 131, 58 pp.
- Aarts, H.F.M., E.E. Biewinga, G. Bruin, B. Edel en H. Korevaar, 1988. Melkveehouderij en milieu. Cabo-verslag 79, 136 pp.
- Aarts, H.F.M., B. Habekotté, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J. Schröder, O. Schoumans en F. C. van der Schans, 1998. Stringente P-normen in bedrijf. Resultaten van proefbedrijf De Marke. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans en F. C. van der Schans, Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. Recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf De Marke en de betekenis voor praktijkbedrijven. AB-DLO rapport 92, De Marke verslag 22, pp. 127-138.
- Arnold, G.H. en B.A. ten Hag, 1982. Rijenbemesting met fosfaat bij snijmaïs. Bedrijfsontwikkeling 13: 403-408.
- Biewinga, E.E., H.F.M. Aarts en R.A. Donker, 1992. Melkveehouderij bij stringente milieunormen. Bedrijfs- en onderzoeksplan van het Proefbedrijf voor Melkveehouderij en Milieu. De Marke rapport 1, CLM 98-1992, CABO-DLO verslag 162, PR intern rapport 141, 283 pp.
- Biewinga, E.E., Aarts, H.F.M., Hilhorst, G.J., Schans, F.C. van der en Vries, C.K. de, 1996. Duurzame melkveehouderij, Doelstellingen, bedrijf en onderzoek in de tweede fase van De Marke. De Marke rapport 19, CLM-rapport 273, AB-DLO rapport 68, 56 pp.
- Bockman, O.C., O. Kaarstad, O.H. Lie and I. Richards, 1990. Agriculture and fertilizers, Norsk Hydro, Oslo, 220 pp.
- Boers P.C.M., H.L. Boogaard, J. Hoogeveen, J.G. Kroes, I.G.A.M. Noij, C.W.J. Roest, E.F.W. Ruijgh, en J.A.P.H. Vermulst, 1997. Watersysteemverkenningen 1997. Huidige en toekomstige belasting van het oppervlaktewater met stikstof en fosfaat vanuit de landbouw. DLO-Staring Centrum rapport 532/RIZA rapport 97.013, Wageningen/ Lelystad: DLO-Staring Centrum/RIZA, 217 pp.
- Centraal Veevoeder Bureau (1997). Verkorte tabel 1997. CVB-reeks nr. 20, 96 pp.
- Chardon, W.J., 1995. Fosfaatvormen in dierlijke mest en hun effectiviteit. AB-DLO rapport 53, Wageningen, 33 pp.
- Chardon, W.J., O. Oenema, P. del Castilho, R. Vriesema, J. Japenga, and D. Blaauw, 1997. Organic phosphorus in solutions and leachates from soils treated with animal slurries. Journal of Environmental Quality 26: 372-379.
- COMMA, Projectgroep Communicatie Mest en Ammoniakbeleid (1997). Normen voor de mineralenaangifte, bijlage uit het wetsvoorstel MINAS, 16 pp.
- Daatselaar, C.H.G., D.W. de Hoop, B.W. Zaalink en T. de Haan, 1998. De Marke en haar streefwaarde voor bedrijfseconomie. In: Milieudoelen De Marke in economisch perspectief. De Marke rapport 21, 19 pp.
- De Haan, M.H.A. en F. Mandersloot, 1998. Economie van De Marke anno 1998. In: Milieudoelen De Marke in economisch perspectief. De Marke rapport 21, 19 pp.

- De Willigen, P. and M. van Noordwijk, 1987. Roots, plant production and nutrient use efficiency. Dissertatie Landbouwwuniversiteit Wageningen, 282 pp.
- Dekkers, J.M.J., 1992. De bodemgesteldheid van het proefbedrijf 'Melkveehouderij en milieu' te Hengelo. Resultaten van een bodemgeografisch onderzoek. DLO-Staring Centrum, Wageningen, rapport 66, 50 pp.
- Ehlert, P.A.I., S.L.G.E. Burgers en J.W. Steenhuizen, 1996. Verandering van de beschikbaarheid van fosfaat in grond onder invloed van bemesting. Observatieel onderzoek naar het voorkomen van 'onvermijdbare fosfaatverliezen' op basis van gegevens van veeljarige bemestingsproeven. AB-DLO rapport 51., 74 pp.
- Fraters, B., H.A.Vissenberg, L.J.M. Boumans, T. de Haan, en D.W. de Hoop, 1997. Resultaten Meetprogramma Kwaliteit Bovenste Grondwater Landbouwbedrijven in het zandgebied (MKBGL-zand) 1992-1995. RIVM-rapport 7148014, 181 pp.
- Gerritse, R.G., 1981. Mobility of phosphorus from pig slurry in soils. In: T.W.G. Hucker and G. Catroux (ed.) Phosphorus in sewage sludge and animal waste slurries. Reidel, Dordrecht, pp. 347 - 369.
- Habekotté, B. en G.J. Hilhorst, 1998. Maïsofbrengst en -fosfaatgehalte in relatie tot de fosfaattoestand van de bodem van De Marke. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans en F.C. van der Schans, Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. Recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf De Marke en de betekenis voor praktijkbedrijven. AB-DLO rapport 92, De Marke verslag 22, pp. 65-86.
- Habekotté, B., W.J. Corré, G.J. Hilhorst, 1998. De fosfaattoestand van de bodem van De Marke. Een analyse van ontwikkelingen in de periode 1989/90- 1997/98. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans en F.C. van der Schans, Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. Recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf De Marke en de betekenis voor praktijkbedrijven. AB-DLO rapport 92, De Marke verslag 22, pp. 29-46.
- Heemst, H.D.J. en H. van Keulen en H. Stolwijk, 1978. Potentiële productie, bruto- en nettoproductie van de Nederlandse landbouw. Verslagen landbouwkundig Onderzoek 879, Pudoc, Wageningen, 25 pp.
- Hilhorst, G.J., 1997. Bemestingsoverzicht De Marke 1997, interne notitie, 15 pp.
- Hilhorst, G.J., H.F.M. Aarts en H. van Keulen, 1998. De fosfaatdoelstelling van De Marke en de betekenis voor het bedrijfssysteem. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans en F.C. van der Schans, Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. Recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf De Marke en de betekenis voor praktijkbedrijven. AB-DLO rapport 92, De Marke verslag 22, pp. 19-28.
- Hoekstra, C. en J.N.B. Poelman, 1982. Dichtheid van gronden gemeten aan de meest voorkomende bodemeenheden in Nederland. Stichting voor bodemkartering Wageningen, Stiboka rapport 1582, 46 pp.
- IKC, 1992. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouwgewassen 1992-1993. Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw, Afdeling Akkerbouw en Vollegrondsgroententeelt, Lelystad, 28 pp.
- IKC, 1994. Adviesbasis voor de bemesting van grasland en voedergewassen. Informatie en Kennis Centrum Veehouderij, afdeling Rundvee- Schapen- en Paardenhouderij, Lelystad, Publicatie nr. 44, 82 pp.
- Janssen, B.H., D.J. Lathwell and J. Wolf, 1987. Modeling long-term crop response to fertilizer phosphorus. II. Comparison with field results. *Agronomy Journal* 79: 452-458.

- Jong, P. 't, C. Hermans en H.F.M. Aarts, 1989. Het mineralenoverschot van de Gelderse landbouw en het effect van beleidsmaatregelen. CABO-verslag 114, 171 pp.
- Knoll, H.A., D.J. Lathwell and N.C. Brady, 1964. The influence of root zone temperature on the growth and contents of phosphorus and anthocyanin of corn. *Soil Science Society of America Proceedings* 1964, 400-403.
- Lammers, H.W., K. Dilz, B.A. ten Hag en L.C.N. de la Lande Cremer, 1984. Bemesting. Thema-boekje nr. 4, PAGV, Lelystad, 37-56.
- Meijer, R., Tj. Boxem, G. Smolders, A. van der Kamp en G.H. Wentink, 1994. Voederbieten voor melkvee. PR-publikatie 88, 29 pp.
- Meijer, R.G.M., G.J. R Emmelink en Tj. Boxem, 1996. OEB-niveau in melkveeantsoenen. PR-publikatie 116, 20 pp.
- Menon, R.G., S.H. Chien, and L.L. Hammond, 1990. Development and evaluation of the Pi soil test for plant-available phosphorus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 21: 1131-1150.
- Neutel, H., 1994. De fosfaattoestand van bouwland in Nederland van 1971-1972 tot en met 1991-1992. *Meststoffen* 1994: 14-20.
- Oenema, O. en T.A. van Dijk, 1994. Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Rapport van de technische projectgroep 'P-deskstudie', deelrapport I. Ministerie van LNV, Ministerie van VROM, Ministerie van V en W, Landbouwschap, Centrale Landbouw organisaties, deelrapport I, 102 p.
- Pinxterhuis, J.B., G. André en M. Vervoorn, 1996. P-AL getal op grasland varieert sterk. In: *Praktijkonderzoek* 1996-2, p. 28-30
- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), 1991. Nationale Milieuverkenning 1990-2010, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn, 550 p.
- Schlegel, A.J. and J.L. Havlin, 1995. Corn response to long-term nitrogen and phosphorus fertilization. *Journal of Production Agriculture* 8: 181-185.
- Schoumans, O.F., 1995. Analyse van de invloed van evenwichtsbemesting op de fosfaattoestand van de bodem bij het proefbedrijf De Marke. DLO-Staring Centrum rapport 380, Wageningen, 43 pp.
- Schoumans, O.F., 1997. Relation between phosphate accumulation, soil P levels, and phosphorus leaching. DLO-Staring Centrum report 146. Wageningen, 47 pp.
- Schoumans, O.F., 1998. Gevolgen van lagere verliesnormen op het verloop van de fosfaattoestand van de bodem en de fosfaatuitspoeling. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans en F.C. van der Schans, *Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. Recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf De Marke en de betekenis voor praktijkbedrijven. AB-DLO rapport 92, De Marke verslag 22, p. 47-64.*
- Schoumans, O.F. en R. Kruijne, 1995. Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden. Meting van de fosfaatuitspoeling uit fosfaatverzadigde zandgrond met en zonder hydrologische maatregel. DLO-Staring Centrum rapport 374. 1, Wageningen.
- Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui-Louwerse, en R. Zwijnen, 1992. De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters Pw- en P-AL-getal en fosfaatverzadiging bij zandgronden. DLO-Staring Centrum rapport 112, Wageningen, 69 pp.
- Schreuder, R., F. Mandersloot en A.T.J. van Scheppingen, 1996. Verkenning gevolgen verliesnormen voor fosfaatbemesting, mestafzet en inkomen op melkveebedrijven. PR-rapport (intern) 195, 58 pp.

- Schröder, J.J., 1985a. De invloed van grote giften runderdrijfmest op de groei, opbrengst en kwaliteit van snijmaïs en op de bodemvruchtbaarheid (zandgrond) 1972-1982. Verslag nr. 30, PAGV, Lelystad, 151 pp.
- Schröder, J.J., 1985b. De invloed van grote giften runderdrijfmest op de groei, opbrengst en kwaliteit van snijmaïs en op de bodemvruchtbaarheid en waterverontreiniging (zandgrond) 1974-1982. Verslag nr. 31, PAGV, Lelystad, 101 pp.
- Schröder, J.J., 1985c. De invloed van grote giften runderdrijfmest op de groei, opbrengst en kwaliteit van snijmaïs en op de bodemvruchtbaarheid; Lelystad (kleigrond) 1976-1980. Verslag nr. 32, PAGV, Lelystad, 101 pp.
- Schröder, J.J., 1987. Toedienen van drijfmest in maïs. Verslag nr. 61, PAGV, Lelystad, 35 pp.
- Schröder, J.J., 1990a. Stikstofdeling bij snijmaïs. Verslag nr. 106, PAGV, Lelystad, 104 pp.
- Schröder, J.J., 1990b. Optimale plantgetal van snijmaïs en korrelmaïs. Verslag nr. 108, PAGV, Lelystad, 84 pp.
- Schröder, J.J., 1998a. Effect of split applications of cattle slurry and mineral fertilizer-N on the yield of silage maize in a slurry-based cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (in press).
- Schröder, J.J., 1998b. Towards improved nitrogen management in silage maize production on sandy soils. Proefschrift, Landbouwniversiteit Wageningen, 223 pp.
- Schröder, J.J. en L.C.N. de la Lande Cremer, 1989. Toedienen van drijfmest in maïs (vervolgonderzoek 1985-1987). Verslag 85, PAGV, Lelystad, 51 pp.
- Schröder, J.J. en W. van Dijk, 1995. Maïs telen met minder verlies van mineralen. Themaboekje nr. 19, PAGV, Lelystad, pp. 12-37.
- Schröder, J.J. en P.A.I. Ehlert, 1998. Fosfaatbeheer bij de teelt van maïs. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans en F.C. van der Schans, Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. Recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf De Marke en de betekenis voor praktijkbedrijven. AB-DLO rapport 92, De Marke verslag 22, pp. 87-100.
- Schröder, J.J. en L. ten Holte, 1993. De invloed van nitrificatieremmers, toedieningstijdstip en dosering van organische en minerale stikstof op de opbrengst van snijmaïs en verliezen naar het milieu. Verslag 179, CABO-DLO, Wageningen, 52 pp.
- Schröder, J.J. en Ten Holte, L., 1996. Bemestingsonderzoek aan maïs en voederbieten op De Marke (1990-1995). De Marke rapport 16, AB-DLO rapport 63, 52 pp.
- Schröder, J.J., L. ten Holte, W. van Dijk, W.J.M. de Groot, W.A. de Boer en E.J. Jansen, 1992. Effecten van wintergewassen op de uitspoeling van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Verslag nr. 148, PAGV, Lelystad, 105 pp.
- Schröder, J.J., P. van Asperen, G.J.M. van Dongen en F.G. Wijnands, 1993. Nutriëntenbenutting en -verlies bij akkerbouwgewassen: een theoretische verkenning. Deelstudie voor het project 'Introductie Geïntegreerde Akkerbouw'. CABO-DLO-verslag 186, 30 pp.
- Schröder, J.J., L. ten Holte en G. Brouwer, 1995. Rijenbemesting met drijfmest. Rapport 44, AB-DLO, Wageningen, 40 pp.
- Schröder, J.J., J. Groenwold and T. Zaharieva, 1996. Soil mineral nitrogen availability to young maize plants as related to root length density distribution and fertilizer application method. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 44: 209-225.
- Schröder, J.J., L. ten Holte and G. Brouwer, 1997. Response of silage maize to placement of cattle slurry. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 249-261.
- Schröder, J.J., L. ten Holte en G.J. Hilhorst, 1997. Lange termijn effect van een krappe bemesting bij snijmaïs; documentatieverslag resultaten onderzoek 1997.
- Sissingh, H.A., 1983. Estimation of plant-available phosphate in tropical soils. A new analytical technic. Institute for Soil Fertility Research, Haren, note 235, 27 pp.

- Stouthart, F. en J. Leferink, 1992. Mineralenboekhouding, IKC, DLV, CLM, 109 pp.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson and J.D. Beaton, 1985. Soilfertility and fertilizers, Mac Millan Publishing Company. New York, pp. 189-248.
- Van der Schans, F.C., 1998. Fosfor in de voeding op De Marke. In: B. Habekotté, H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans en F.C. van der Schans, Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. Recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf De Marke en de betekenis voor praktijkbedrijven. AB-DLO rapport 92, De Marke verslag 22, pp. 101-126.
- Van der Schans, F.C., H.F.M. Aarts, E.E. Biewinga, G.J. Hilhorst en C.K. de Vries, 1996. Vijf jaar De Marke. Melkveehouderij met strenge milieudoelstellingen. Jubileumboek De Marke, 43 p.
- Van der Werf, H.M.G., J.J. Klooster en D.A. van der Schans, 1989. Oppervlakkige grondbewerking in het gewas maïs. Verslag nr. 84, PAGV, Lelystad, 77 pp.
- Van der Werff, P.A., Th.B.M. Dekkers en O. Oenema, 1995. Fosfaatkringloop en ecologische aspecten van de fosfaathuishouding. In: Haverkort, A.J. en P.A. van der Werff (Eds.) Hoe ecologisch kan de landbouw worden? Thema's 3, AB-DLO, Wageningen, pp. 17-35.
- Van der Zee, S.E.A.T.M., 1988. Transport of reactive contaminants in heterogeneous soil systems. Proefschrift, Lanbouwniversiteit Wageningen, 283 pp.
- Van Dijk, W., 1993. Teelt van maïs. Teelthandleiding nr. 58, PAGV, Lelystad, 126 pp.
- Van Dijk, W., 1997. Ondiepe toediening dierlijke mest bij maïs. Bulletin Akkerbouw Februari, PAV, Lelystad, 15-17.
- Van Dijk, W., J.J. Schröder, L. ten Holte en W.J.M. de Groot, 1995. Effecten van wintergewassen op verliezen en benutting van stikstof bij de teelt van snijmaïs. Verslag nr. 201, PAGV, Lelystad, 97 pp.
- Wolf, J., C.T. de Wit, B.H. Janssen and D.J. Lathwell, 1987. Modeling long-term crop response to fertilizer phosphorus. I. The model. *Agronomy Journal* 79: 445-451.

Bijlage 2.1

Definities

Evenwichtsbemesting

De aanvoer van fosfaat via bemesting is gelijk aan de hoeveelheid die met het agrarisch product wordt afgevoerd plus de voor het milieu acceptabele verliezen.

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 microkristallijne Al- en Fe-hydroxiden. Het fosfaat dat op deze wijze is vastgelegd, wordt beschouwd als volledig reversibel gebonden fosfaat. Het gediffundeerde fosfaat (S) 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 voor de praktijk als 'irreversibel' vastgelegd fosfaat gekarakteriseerd.

Fosfaatoverschot

Het verschil tussen aanvoer en afvoer van fosfaat.

Fosfaattoestand

De fosfaattoestand karakteriseert de mate waarin fosfaat in de grond beschikbaar is voor het gewas, zoals gekarakteriseerd via Pw-getal (...) en P-AL-getal (...).

Fosfaatverzadiging

De term 'fosfaatverzadiging' heeft betrekking op het percentage van het totale fosfaatbindend vermogen van de grond dat is verbruikt. Een diluviale zandgrond wordt beschouwd als 'fosfaatverzadigd' indien meer dan 25 procent van het fosfaatbindend vermogen van de grond tot een diepte van de hoogste grondwaterstand (GHG) is verbruikt. De hoeveelheid oxalaat-extraheerbaar ijzer en aluminium ($FE_{ox} + AL_{ox}$) en de dikte van de grondlaag van maaiveld tot GHG-niveau bepalen samen het fosfaatbindend vermogen van zandgronden. In 'fosfaatverzadigde' zandgronden overschrijdt het fosfaatgehalte van het grondwater op HGH-niveau op termijn de grenswaarde van 0,1 mg ortho-P per liter.

Landbouwkundig fosfaatverlies

Onder landbouwkundig verlies wordt verstaan de ophoping van fosfaat in organische stof ('netto-immobilisatie') en sterke vastlegging van fosfaat aan bodemdeeltjes ('fosfaatfixatie').

Landbouwkundig onvermijdbaar fosfaatverlies

Het fosfaatverlies dat onvermijdelijk is om een optimale bodemvruchtbaarheidstoestand te handhaven. Hierbij gaat het om de fosfaattoestand van de bovengrond (5 cm zodelaag bij grasland, en 0-20/25 cm bouwvoor in de akkerbouw). De landbouwkundig onvermijdbare fosfaatverliezen zijn onder andere een gevolg van:

Bijlage 2.1-2

- aanvoer van fosfaat dat onvolledig tot werking komt
- redistributie van fosfaat tussen boven- en ondergrond via plantenwortels en/of ploegen
- fixatie, precipitatie en immobilisatie van fosfaat in de bovengrond
- uitspoeling van fosfaat uit de bovengrond
- oppervlakkige afspoeling

Milieukundig fosfaatverlies

De uit- en afspoeling van fosfaat uit de bouwvoor naar grond- en oppervlaktewater.

(Opm. Het verlies van P gaat via fosfaat, maar het milieukundig verlies wordt uitgedrukt in kg P).

Milieukundig acceptabel fosfaatverlies

Het verlies aan fosfaat uit de bodem door uitspoeling en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater, dat ook op termijn niet leidt tot overschrijding van de kwaliteitsdoelstellingen voor grond- en oppervlaktewater.

Pw-getal

Het Pw-getal geeft de beschikbaarheid van fosfaat op bouwland aan (bemonstering van de bodemlaag 0-20/25 cm diepte). Het Pw-getal wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per liter grond.

P-AL-getal

Het P-AL-getal geeft de beschikbaarheid van fosfaat op grasland aan (bemonstering bodemlaag 0-5 cm). Op De Marke wordt een laag van 0-20 cm bemonsterd, aangezien het hier zowel maïs en graspercelen betreft. Het P-AL-getal wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per 100 g grond.

Totaal fosfaat (met oxidatie)

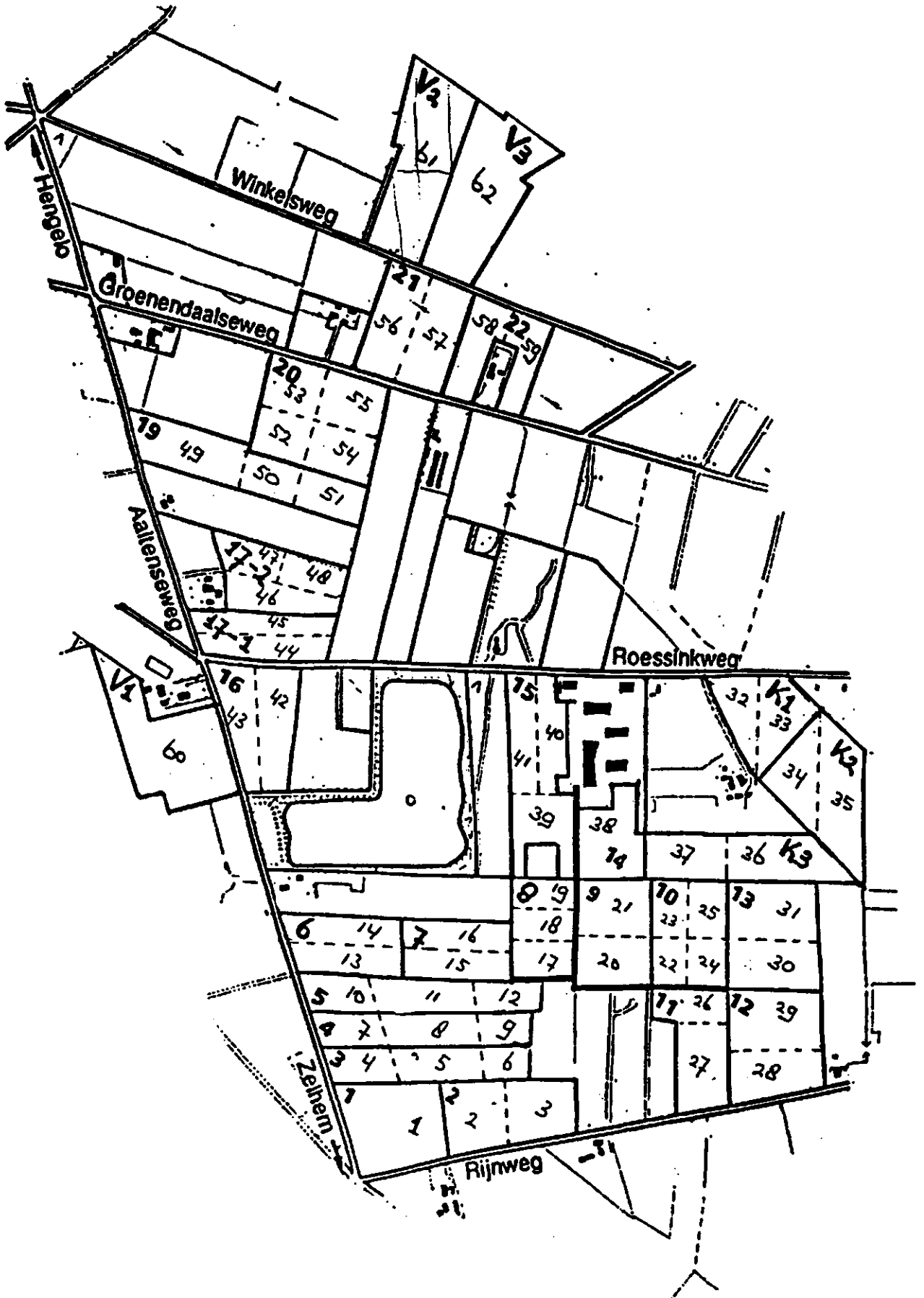
Totaal fosfaat zoals bepaald voor deze studie omvat al het geadsorbeerde (Q) en gediffundeerde fosfaat (S) en de hoeveelheid fosfaat die in organische stof is vastgelegd. P-totaal wordt uitgedrukt in mg P_2O_5 per 100 g grond.

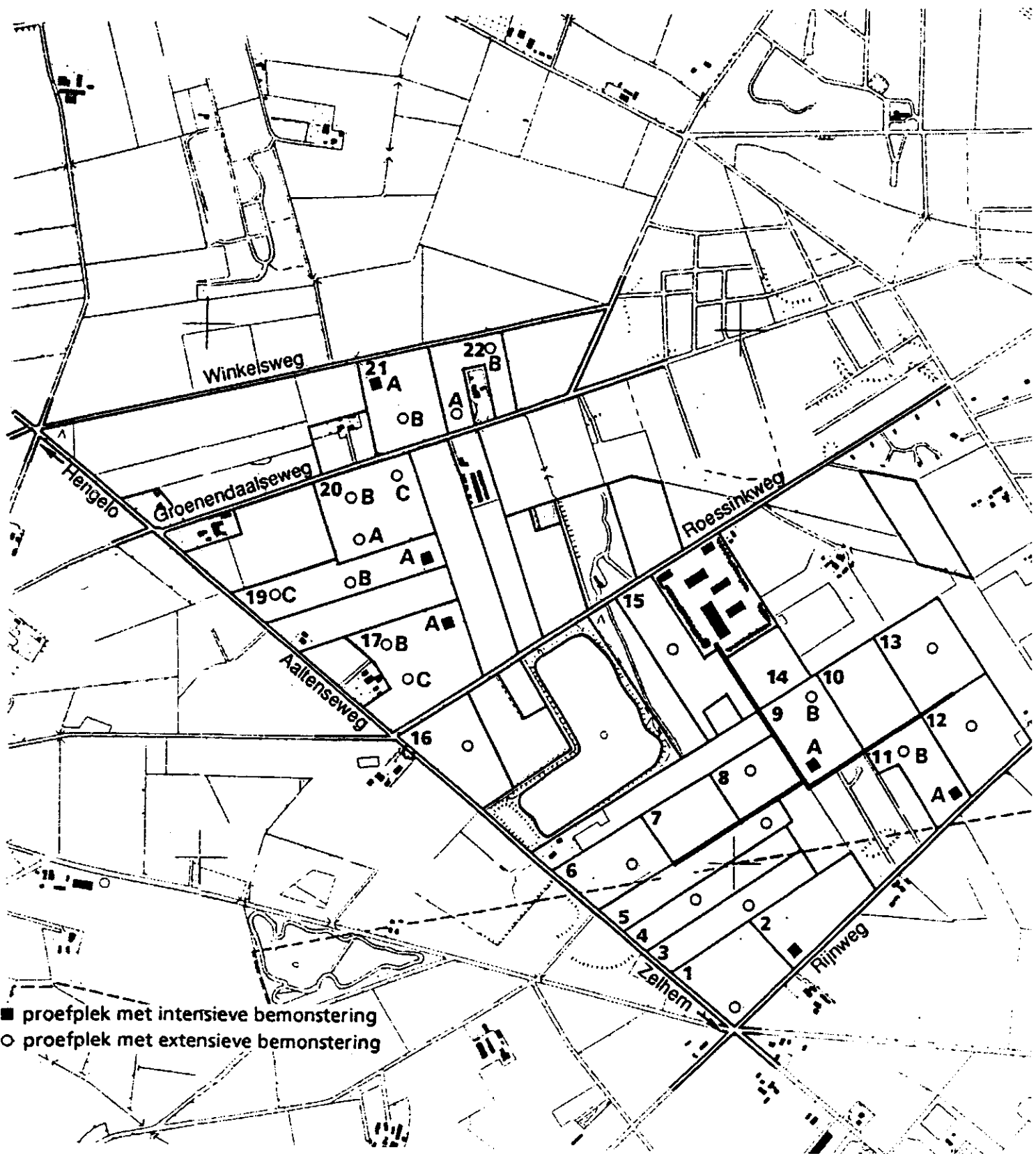
Waardering van het Pw-getal en P-AL-getal volgens de Adviesbasis voor bemesting van grasland en voeder gewassen (IKC, 1994).

Waardering	P-AL-getal (0-5 cm diepte) zeeklei, veen, zand, dalgrond	Pw-getal (0-20/25 cm diepte) alle grondsoorten
Zeer laag	-	< 11
Laag	< 18	11-20
Vrij laag	18-29	-
Voldoende	30-39	21-30
Ruim voldoende	40-55	31-45
Vrij hoog	-	46-60
Hoog	> 55	> 60

Bijlage 2.2

Plattegrond van De Marke en locatie van percelen, blokken en vaste waarnemingsplekken





■ proefplek met intensieve bemonstering
○ proefplek met extensieve bemonstering

Locatie proefplekken op het proefbedrijf 'de Marke'

Bijlage 2.3

Bodemvruchtbaarheidsindicatoren en fosfaatbalansen per Pw-klasse

Gemiddelde waarden van het fosfaatoverschot (1990-1996) en van enkele bodemvruchtbaarheidsindicatoren (1989/90-1997/98) van de 51 blokken (ca. 1 ha groot) die deel uitmaken van het bedrijfsoppervlak van De Marke vanaf 1989/90. De indeling van de blokken in bodemvruchtbaarheidsklassen is gebaseerd op de fosfaattoestand in 1989/90 (n: aantal blokken per gemiddelde).

1. Fosfaatoverschot (kg fosfaat ha⁻¹).

	n	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	90-93	94-96	90-96
Alle blokken	51	5,4	7,5	-4,9	0,5	-1,0	-2,2	7,3	2,1	1,4	1,8
Pw-klasse:											
- voldoende	7	13,8	-1,1	-1,6	10,2	8,2	-10,6	30,5	5,3	9,4	7,1
- ruim vold.	20	8,7	7,5	-5,9	11,5	13,1	13,9	15,7	5,4	14,2	9,2
- vrij hoog	6	1,5	8,9	-25,9	18,8	21,4	3,4	-4,7	0,8	6,7	3,3
- hoog	18	-0,1	10,3	1,2	-5,5	-1,0	-8,9	2,3	1,5	-2,6	-0,3

2. Pw-getal (mg P₂O₅ per liter grond).

Pw-klasse	Jaar					LSD.01
	1989/90	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	
Alle blokken	57,1	49,2	42,5	43,7	44,3	3,3
'voldoende (21-30)'	27,6	25,4	23,1	26,9	26,6	7,0
'ruim vold. (31-45)'	36,0	32,2	27,6	30,1	31,5	
'vrij hoog (46-60)'	52,7	43,5	37,7	38,7	41,5	
'hoog (> 60)'	93,4	79,2	68,2	67,1	66,4	

3. P-AL-getal (mg P₂O₅ per 100 g grond).

Pw-klasse	Jaar					LSD.01
	1989/90	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	
Alle blokken	75,1	68,7	64,1	65,4	64,7	2,3
'voldoende (21-30)'	49,6	48,1	43,6	45,4	43,9	6,4
'ruim vold. (31-45)'	59,0	54,7	50,7	51,8	52,3	
'vrij hoog (46-60)'	77,8	69,8	62,5	66,7	64,5	
'hoog (> 60)'	101,9	91,9	87,4	87,8	86,8	

Bijlage 2.3-2

4. P-totaal (mg P₂O₅ per 100 g grond).

Pw-klasse	Jaar					LSD.01
	1989/90	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98	
Alle blokken	168,9	164,8	166,4	161,9	164,0	4,2
'voldoende (21-30)'	131,6	134,3	135,6	129,7	128,7	12,0
'ruim vold. (31-45)'	140,2	139,3	141,0	135,6	138,3	
'vrij hoog (46-60)'	176,0	162,2	159,8	162,0	160,2	
'hoog (> 60)'	212,9	205,9	208,8	203,5	207,6	

5. Organisch stof gehalte (g per 100 g grond, %).

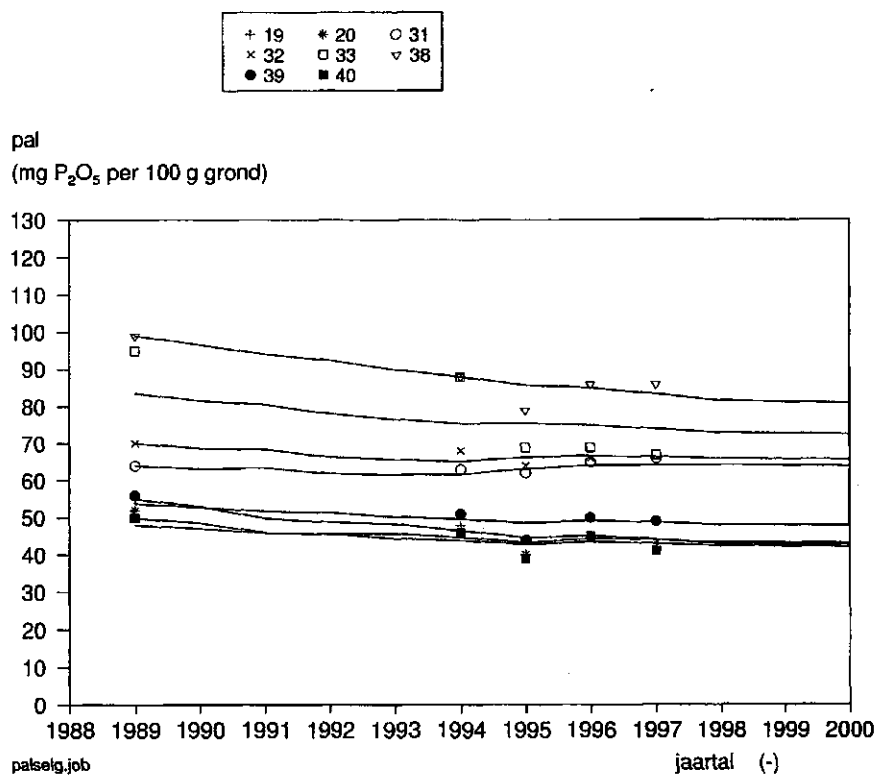
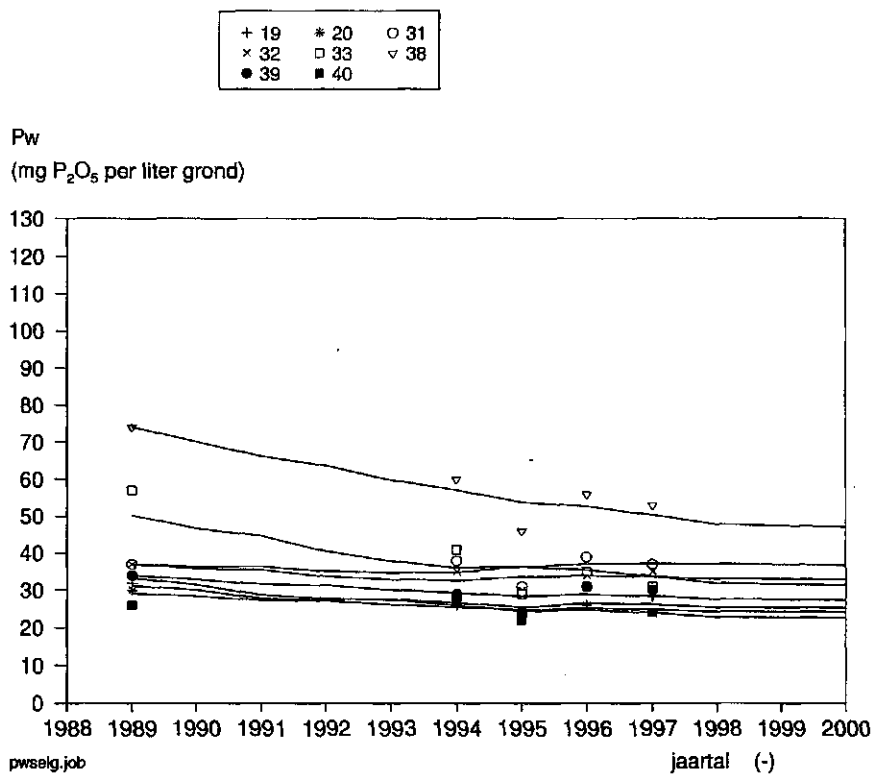
Pw-klasse	Jaar				
	1989/90	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98
Alle blokken	4,8	4,9	4,8	4,6	4,7
'voldoende (21-30)'	4,5	4,7	4,7	4,5	4,6
'ruim vold. (31-45)'	5,0	5,2	5,1	4,9	4,9
'vrij hoog (46-60)'	5,1	5,3	4,9	4,8	4,8
'hoog (> 60)'	4,7	4,6	4,5	4,2	4,3

6. pH-KCL (-log(H+) in suspensie).

Pw-klasse	Jaar				
	1989/90	1994/95	1995/96	1996/97	1997/98
Alle blokken	5,2	5,1	5,3	5,1	5,2
'voldoende (21-30)'	5,5	5,4	5,5	5,3	5,4
'ruim vold. (31-45)'	5,2	5,1	5,3	5,1	5,2
'vrij hoog (46-60)'	5,2	5,1	5,2	5,0	5,0
'hoog (> 60)'	5,1	5,0	5,2	5,1	5,2

Bijlage 3.1

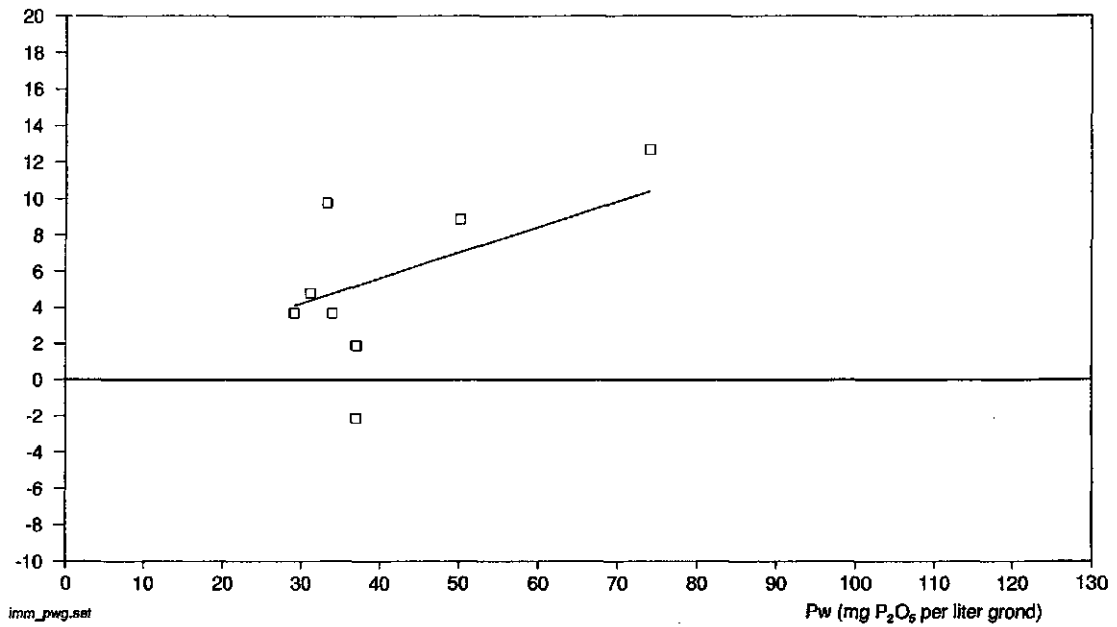
Gemeten (symbolen) en voorspeld (lijnen) Pw-verloop en P-AL-verloop bij permanent grasland (rangnummers van de blokken zijn aangegeven).



Bijlage 3.2

Landbouwkundige fosfaatverliezen gerelateerd aan de P-toestand van de bodem (Pw-getal) voor permanent grasland.

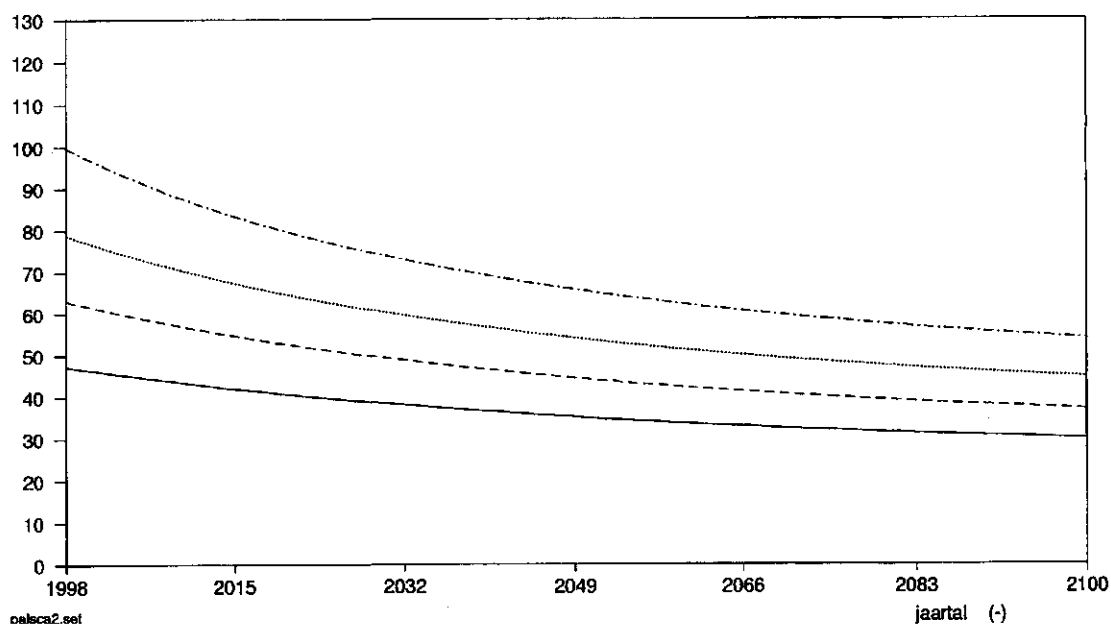
Landbouwkundige P verliezen
(kg P ha⁻¹ j⁻¹)



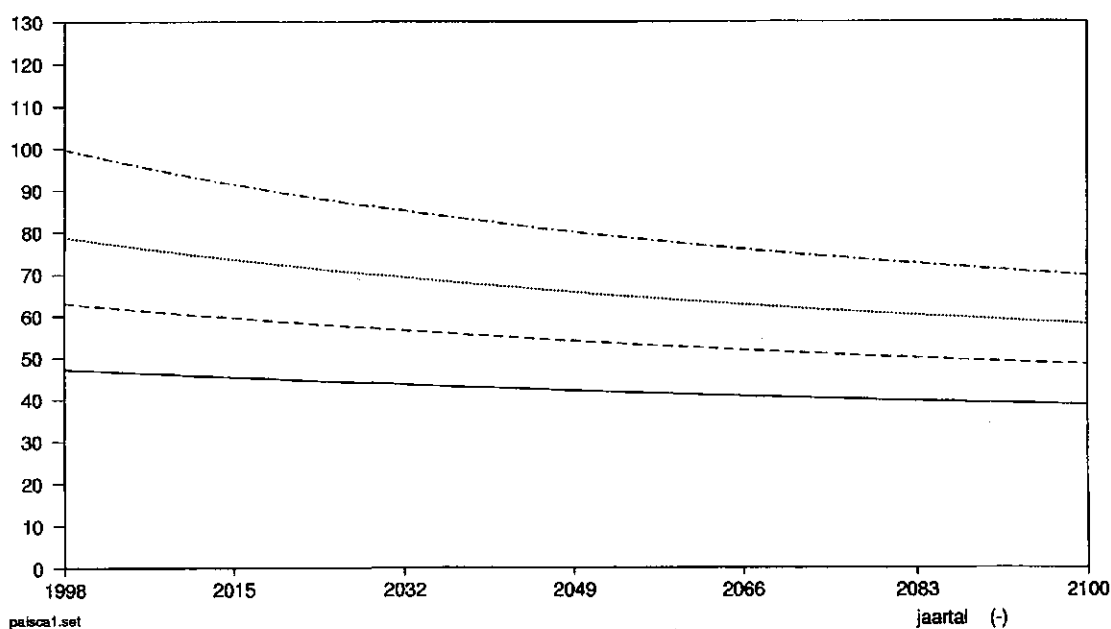
Bijlage 3.3

Voorspeld verloop van het P-AL-getal bij een fosfaatoverschot van $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar voor zowel een situatie waarbij rekening wordt gehouden met hoge landbouwkundige fosfaatverliezen (landbouwkundige worst case scenario) (a), als een situatie waarbij geen landbouwkundige verliezen optreden (b).

(a) PAL
($\text{mg P}_2\text{O}_5$ per 100 gram grond)



(b) PAL
($\text{mg P}_2\text{O}_5$ per 100 gram grond)



Bijlage 3.4

Voorspeld verloop van het P-AL-getal bij een fosfaatoverschot van $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ per jaar voor zowel een situatie waarbij rekening wordt gehouden met hoge landbouwkundige fosfaatverliezen (landbouwkundige worst case scenario) (a), als een situatie waarbij geen landbouwkundige verliezen optreden (b).

