

35/11116 (389) 2^e e r

Fosfaatverliezen door uitspoeling in relatie tot het fosfaatoverschot en de bemestingstoestand

Een onderzoek in het kader van de P-desk studie

**C. van der Salm
A. Breeuwsma
J.G.A. Reijerink
R.F.A. Hendriks
J.G. Wesseling**

**BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW**

Rapport 389

DLO-Staring Centrum, Wageningen, 1995



22 MEI 1995

15n 907056*

REFERAAT

Salm, C. van der, A. Breeuwsma, J.G.A. Reijerink, R.F.A. Hendriks, J.G. Wesseling, 1995. *Fosfaatverliezen door uitspoeling in relatie tot het fosfaatoverschot en de bemestingstoestand. Een onderzoek in het kader van de P-desk studie.* Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 389, 44 blz.; 2 fig.; 16 tab.; 23 ref.; 1 aanh.

Voor grasland op zand- en veengronden zijn fosfaatuitspoelingsverliezen berekend die op lange termijn bij een bepaald fosfaatoverschot zijn te verwachten. Geen rekening is gehouden met najleffecten die zich op kortere termijn bij fosfaatverzadigde gronden voordoen, maar wel met de fosfaattoestand zoals in het bemestingsadvies wordt gehanteerd. De berekende verliezen zijn meestal aanzienlijk hoger dan de milieukundig acceptabele. De verschillen tussen de berekende en de milieukundig acceptabele verliezen zijn afhankelijk van de procesformulering in het model en het criterium voor de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit. De termijn waarop de verliezen het oppervlaktewater bereiken, is voor niet-fosfaatverzadigde zandgronden zeer lang en voor veengronden met krimpischeuren of ondiepe ontwatering zeer kort.

Trefwoorden: fosfaattoestand, fosfaatuitspoeling, fosfaatverzadiging, grasland, veengrond, verliesnorm, waterkwaliteit, zandgrond

ISSN 0927-4499

©1995 DLO-Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC-DLO), Postbus 125, 6700 AC Wageningen. Tel.: 08370-74200; telefax: 08370-24812.

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

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

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

Project 7374

[Rap389.CS/03-95]

Inhoud

	blz.
Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1. Inleiding	13
2. Fosfaatconcentratie in het ondiepe grondwater	15
3. Fosfaatuitspoelingsverliezen bij zandgronden	17
3.1 Aanpak en uitgangspunten	17
3.2 Model	17
3.3 Berekening van bodemvruchtbaarheidsparameters	18
3.4 Gegevens	19
3.5 Resultaten	22
3.6 Discussie	27
3.7 Evaluatie	28
3.8 Conclusies	29
4. Fosfaatuitspoelingsverliezen bij veengronden	31
4.1 Aanpak	31
4.2 Model	32
4.3 Gegevens	32
4.4 Resultaten en discussie	33
4.5 Evaluatie	35
4.6 Conclusies	35
5. Vergelijking met milieukundig acceptabele verliezen	37
Literatuur	39

Tabellen

1 Verdeling van de steekproefpunten in bodemkaarteenheden (schaal 1: 50 000) met grondwatertrap III	15
2 Ortho- en totaal-P concentraties (mediaanwaarden en gemiddelden) in bodemvocht op GHG niveau bij waarnemingen uit de landelijke steekproef kaarteenheden (februari/maart 1994)	16
3 Doorgerekende combinaties	17
4 De opbouw van de verschillende bodemprofielen	20
5 De gebruikte onderrandvoorwaarden, drainagekarakteristieken en bereikte	

GHG en GLG	20
6 Enkele chemische karakteristieken van de onderzochte gronden	20
7 Mestgiften gedurende de initialisatieperiode	21
8 Geadsorbeerde hoeveelheden fosfaat aan het einde van de initialisatieperiode	21
9 Verdeling van het fosfaatoverschot over weidemest, drijfmest en kunstmest	22
10 P-toestand (P-Al getal) als functie van het opgelegde fosfaatoverschot en de tijd voor een bekeerdgrond op Gt III	23
11 Termijn waarop de ortho P concentratie de waarde van $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ op GHG-niveau overschrijdt (referentiewaarde voor fosfaatverzadigde gronden)	25
12 Doorgerekende combinaties voor veengronden	31
13 Chemische karakteristieken van de doorgerekende veengronden	32
14 Berekende P-overschot en berekende toename van de totale fosfaatbelasting van oppervlaktewater onder invloed van bemesting voor de drie veenprofielen bij 6 combinaties van ontwateringsdiepte en bemestingsniveau	33
15 Milieukundig acceptabele fosfaatverliezen als functie van een aantal kwaliteitscriteria voor grond- en oppervlaktewater	37
16 Berekende fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater bij zand- en veengronden	38

Figuren

1 P-Al getal en ortho P concentratie op GHG niveau als functie van de tijd in relatie tot het P_2O_5 overschot voor een veldpodzolgrond op Gt VI (GHG: 61 cm)	26
2 Toename van fosfaatconcentratie in het grond- en oppervlaktewater als functie van de tijd	34

Woord vooraf

In het kader van het mestbeleid heeft de Projectgroep Verliesnormen, bestaande uit vertegenwoordigers van de overheid (LNV en VROM) en het landbouwbedrijfsleven, opdracht verleend tot het uitvoeren van een bureaustudie naar fosfaatverliezen bij evenwichtsbemesting (de zogenaamde P-deskstudie). In dit verband voerde DLO-Staring Centrum (SC-DLO) berekeningen uit met het model ANIMO.

De P-deskstudie werd uitgevoerd in de periode januari - mei 1994. Het onderzoek van SC-DLO werd begeleid door de 'cluster milieu' van de Technische Projectgroep bestaande uit: Dr. P.C.M. Boers (RIZA), Dr. Ir. A. Breeuwsma (SC-DLO), Dr. Ir. W.J. Chardon (AB-DLO), Ir. P.A.I. Ehlert (AB-DLO), Dr. D. Fraters (RIVM), Ir. J.G.A. Reijerink (SC-DLO), Prof. Dr. W.H. van Riemsdijk (LUW, vakgr. Bodemkunde en Plantevoeding), Ir. R. Römer (LUW, vakgr. Bodemkunde en Plantevoeding), Prof. Dr. Ir. O. Oenema (NMI), Drs. C. van der Salm (SC-DLO), Dr. Ir. S.E.A.T.M. van der Zee (LUW, vakgr. Bodemkunde en Plantevoeding).

De resultaten van het onderzoek werden verwerkt in het eindrapport van de Technische Projectgroep P-deskstudie dat in juni 1994 gereed kwam. Begin 1995 zijn enkele berekeningen herhaald met een nieuwe versie van het model ANIMO waarin een nieuwe fosfaatmodule is opgenomen.

Het rapport dat voor U ligt bevat de achtergrondinformatie voor het eindrapport en de resultaten van de aanvullende berekeningen. Naast de modelberekeningen werd ook een landelijke steekproef verricht voor de bepaling van het fosfaatgehalte in ondiep grondwater. De auteurs zijn in dit verband dank verschuldigd aan Ing. R. Visschers voor de opzet van de steekproef en de uitvoering van de bemonstering en aan Ing. L. Köhlenberg en Ing. P. Lepelaar voor de fosfaatanalyses.

Samenvatting

In het kader van de mestwetgeving heeft de Projectgroep Verliesnormen (LNV, VROM, Landbouwbedrijfsleven) opdracht verleend tot het uitvoeren van een bureaustudie naar de fosfaatverliezen die bij evenwichtsbemesting op kunnen treden (de zogenaamde P-deskstudie). Deze studie werd uitgevoerd door de Technische Projectgroep P-deskstudie in de periode december '93 - juni '94. Daarbij werden de verliezen uit de bouwvoor enerzijds geschat op basis van bedrijfs- en proefveldgegevens en anderzijds via berekeningen met een model dat het gedrag van fosfaat in de bodem beschrijft. Deze modelberekeningen werden uitgevoerd door DLO-Staring Centrum. Daarnaast werd door dit instituut via een landelijk steekproef ook ondiep grondwater (bodemvocht) bemonsterd en geanalyseerd voor een toetsing van de modeluitkomsten op het niveau van de gemiddeld hoogste grondwaterstand.

Dit rapport geeft een meer uitvoerige beschrijving en interpretatie van het grondwateronderzoek en de modelberekeningen die in het eindrapport van de P-deskstudie zijn verwerkt. Deze modelberekeningen hebben betrekking op grasland op zand- en veengronden. Daarnaast worden de resultaten van deze studie geëvalueerd met behulp van resultaten van aanvullende berekeningen.

Voor het grondwateronderzoek is een landelijk steekproef uitgevoerd van het grondwater op het niveau van de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) bij eenheden van de bodemkaart met grondwatertrap III. De GHG was ongeveer 50 cm beneden maaiveld. Op deze diepte was de ortho-fosfaatconcentratie in zandgronden bij 4% van de monsters sterk verhoogd. In de meeste gevallen was de concentratie onder landbouwgronden niet hoger dan in natuurlijke situaties. Bij de totaal-fosfaatconcentratie is wel sprake van verhoogde waarden (0,20 mg P per liter versus 0,05 mg P per liter in natuurterreinen op zandgronden).

Bij de zandgronden zijn fosfaatverliezen berekend voor een fosfaatoverschot variërend van 0-100 kg P_2O_5 per ha en een fosfaattoestand 'vrij laag' tot 'hoog' (P-Al getal 20, 40 en 60). Daarbij is in eerste instantie gebruik gemaakt van de huidige versie van het model ANIMO en een (correlatief) verband tussen de geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat en de bodemvruchtbaarheidstoestand uitgedrukt in het P-Al getal. Uit de berekeningen volgt dat voor het handhaven van een ruim voldoende fosfaattoestand (P-Al ca. 40) een jaarlijks fosfaatoverschot van 25 à 50 kg P_2O_5 per ha nodig is om uitspoelingsverliezen uit de bouwvoor te compenseren. Dit stemt redelijk overeen met de fosfaatverliezen die door andere instellingen uit bedrijfs- en proefveldgegevens zijn afgeleid. Berekeningen met een verbeterde P module, die na de P-deskstudie zijn uitgevoerd, geven lagere verliezen van ongeveer 15 à 20 kg P_2O_5 per ha jaar.

Volgens de oorspronkelijke P module is er bij de veldpodzolgrond met P-Al 40 op 50 cm diepte na 25 jaar reeds sprake van een verhoogde fosfaattuitspoeling (meer dan 0,10 mg ortho-P per liter). Bij P-Al 60 zou op deze diepte nu reeds sprake moeten zijn van een verhoogde uitspoeling ('doorslag'). Dit is niet in overeenstemming met de

waargenomen fosfaatconcentraties in het grondwater (bodemvocht) op deze diepte. De berekeningen met de nieuwe P module geven een langere doorslagtermijn. Bij P-Al 40 en Gt VI bedraagt deze bij een jaarlijks fosfaatoverschot van 5 à 50 kg P_2O_5 per ha in alle gevallen meer dan 200 jaar, terwijl deze bij de eerdere berekeningen 70 à 90 jaar bedroeg bij een overschot van resp. 50 en 25 kg P_2O_5 per ha. Op een diepte van 50 cm is volgens de nieuwe module nog geen doorslag te verwachten. Daarmee sluiten de nieuwe berekeningen wat de uitspoeling betreft beter aan bij de veldwaarnemingen.

Bij de veengronden zijn alleen aanvullende berekeningen van de fosfaatverliezen uitgevoerd voor een eutroof veenprofiel met een kleidek van 20 cm en een ontwateringsdiepte van 45 cm. Daarnaast is gebruik gemaakt van gegevens uit ander onderzoek. Het betreft hier verliezen naar het oppervlaktewater. De fosfaattoestand van de onderzochte profielen is niet bekend maar varieert vermoedelijk van 'vrij laag' tot 'voldoende'. Bij een veebezetting van 1,5 resp. 2,5 grootvee-eenheden (gve) per ha werden op dit moment jaarlijkse uitspoelingsverliezen naar het oppervlaktewater berekend als gevolg van bemesting van resp. 1 à 3 en 4 à 8 kg P_2O_5 per ha. (N.B. De huidige verliezen naar het grondwater liggen hoger maar zijn niet berekend). Deze verliezen zijn een gevolg van de krimpscheuren die in de onderzochte veengronden (kopveen- en weideveengronden) aanwezig zijn en bij ondiepe ontwatering ook van de ondiepe uitspoeling. Naast het snelle transport door scheuren en macroporiën treedt er ook een langzamer transport op door de bodemmatrix. De bijdrage van het langzame transport neemt met de tijd toe tot het fosfaatoverschot volledig uitspoelt, na meer dan 200 jaar (ca 35 kg P_2O_5 per ha bij 2,5 gve per ha).

Voor de veengronden zijn nog geen berekeningen gedaan met de nieuwe P module. Hierdoor zijn de berekende verliezen mogelijk te hoog. Daarnaast is de representativiteit van de gegevens ook niet bekend. Naast het bemestingsniveau hebben ook bodemtype (wel of geen kleidek), veensoort, ontwateringstoestand, en kwel grote invloed op de uitspoeling.

De belangrijkste conclusie uit dit onderzoek is dat de berekende fosfaatverliezen in het algemeen hoger zijn dan de milieukundig acceptabele verliezen die uit kwaliteitscriteria voor grond- en oppervlaktewater zijn af te leiden. Dit geldt vooral voor het oppervlaktewater waar de milieukundig acceptabele verliezen ongeveer 0,7 - 1,7 kg P_2O_5 per ha kunnen bedragen. Bij grondwater zijn op basis van de streefwaarde veel hogere verliezen acceptabel (1,8 - 4,6 en 13 - 34 kg P_2O_5 per ha bij respectievelijk zand- en veengronden). Een tweede algemene conclusie is dat de fosfaatverliezen volgens de oorspronkelijke berekeningen redelijk overeenstemmen met schattingen op basis van bedrijfs- en proefveldgegevens maar niet met metingen van de grondwaterkwaliteit. De resultaten van de nieuwe berekeningen sluiten beter aan bij het grondwateronderzoek. In het laatste geval is het gat met de milieukundig acceptabele verliezen kleiner dan in het eerste geval. Daar staat tegenover dat de nieuwe schattingen duidelijk lager uitkomen dan de verliezen die op bedrijfsniveau zijn berekend. Dit vereist nader onderzoek naar zowel de realiteit als de eventuele verklaring van dit verschil.

Tot slot moet worden opgemerkt dat in de P-deskstudie geen rekening is gehouden met de najleffecten die bij fosfaatverzadigde gronden optreden. De fosfaatverliezen

zullen daardoor in de praktijk eerder in het grond- en oppervlaktewater terecht komen en tijdelijk ook hoger zijn dan in dit onderzoek is berekend.

1. Inleiding

In de Notitie 'Mest- en Ammoniakbeleid derde fase' (LNV, 1993) is voorgesteld eindnormen vast te stellen voor de verliezen van fosfaat en stikstof die landbouwkundig onvermijdbaar zijn en milieukundig acceptabel. Voor de uitwerking hiervan werd door overheid en bedrijfsleven gezamenlijk de Projectgroep Verliesnormen in het leven geroepen. Deze projectgroep gaf aan een technische projectgroep de opdracht een P-deskstudie uit te voeren waarbij de fosfaatverliezen zowel vanuit landbouwkundige als milieukundige invalshoek inzichtelijk zouden worden gemaakt op basis van de huidige kennis.

Dit rapport vormt de bijdrage die DLO-Staring Centrum in 1994 aan de P-deskstudie heeft geleverd. Doel van dit onderdeel is in de eerste plaats de fosfaatverliezen naar het grondwater te berekenen als functie van het fosfaatoverschot en de fosfaattoestand van de bodem zoals die in bemestingsadviezen wordt gehanteerd. De verzadigings-toestand van de bodem is buiten beschouwing gebleven omdat in het mestbeleid geen rekening wordt gehouden met de naitjeffecten door fosfaatverzadiging. De invloed van de fosfaatverzadigingstoestand op de fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater wordt daarom momenteel in andere kaders onderzocht. In verband met de beschikbare kennis en tijd richten de scenarioberekeningen zich voornamelijk op de diluviale zandgronden. Voor veengronden is gebruik gemaakt van een andere studie. Voor kleigronden en alluviale zandgronden zijn geen berekeningen uitgevoerd. De fosfaatuitspoeling is berekend met het model ANIMO en een P-module die ook gehanteerd is bij de berekeningen voor de Derde Nota Waterhuishouding (Kroes et al., 1990). Na het verschijnen van het eindrapport van de P-deskstudie zijn ook nog enige berekeningen uitgevoerd met een verbeterde P-module.

In de tweede plaats is een bijdrage geleverd aan de inventarisatie van fosfaatconcentraties in het ondiepe grondwater. Daarbij werd aangehaakt op het project 'Landelijke Steekproef Kaarteenheden' dat door DLO-Staring Centrum wordt uitgevoerd. In dit kader werd op landelijke schaal een representatieve steekproef uitgevoerd van de fosfaatconcentratie in het (ondiepe) grondwater op het niveau van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG). Deze gegevens vervulden tevens een rol bij de toetsing van de modelberekeningen.

In dit rapport wordt eerst ingegaan op het grondwateronderzoek (hoofdstuk 2). Daarna volgt de bespreking van de modelberekeningen voor zand- (hoofdstuk 3) en veengronden (hoofdstuk 4). In hoofdstuk 5 worden de berekende fosfaatverliezen vergeleken met milieukundig acceptabele verliezen die afgeleid zijn van verschillende criteria voor de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater. Met uitzondering van de resultaten van de aanvullende berekeningen is de informatie uit dit onderzoek tevens verwerkt in het eindrapport van de Technische projectgroep 'P-deskstudie' (Oenema en van Dijk, 1994).

2. Fosfaatconcentratie in het ondiepe grondwater

In het kader van een 'landelijke steekproef kaarteenheden' zijn van verschillende eenheden van de bodemkaart schaal 1: 50 000 statistische gegevens verzameld (Vischers, i.v). Voor de P-deskstudie werd hierbij aangesloten via een bemonstering van het bodemvocht op GHG niveau van de kaarteenheden met Gt III en III'. Door de bemonstering uit te voeren rond het moment waarop het GHG niveau wordt bereikt zijn de gegevens representatief voor het ondiepe grondwater op dit niveau (ongeveer 40 à 50 cm). Op deze wijze is voor deze Gt een representatief beeld verkregen voor verschillende grondsoorten en bodemgebruiksvormen (Tabel 1).

Tabel 1 Verdeling van de steekproefpunten in bodemkaarteenheden (schaal 1: 50 000) met grondwatertrap III

grondsoort	aantal	bodemgebruik	aantal
veen (op podzolprofiel)	18		
veen (op zand)	29	grasland	134
zand (veldpodzol)	23	mais	6
zand (beekkeerd)	47	bouwland	17
zeekleif	36	natuur	23
rivierklei	27		
	<u>180</u>		<u>180</u>

Het bodemgebruik was overwegend grasland. Daarnaast werd ook maisland, bouwland en 'natuur' bemonsterd. Bij de grondsoorten is naast zand ook klei en veen met een zandondergrond aanwezig. (N.B. Dikke veenpakketten hebben meestal een Gt II en ontbreken daardoor).

De grondmonsters met aanhangend bodemvocht werden in de periode februari/maart 1994 genomen. In het laboratorium werden de monsters gekoeld bewaard en zo snel mogelijk behandeld. Het bodemvocht werd verzameld door centrifugeren en de analyses uitgevoerd met de Flow Injection Analyzer (ortho-P) en de ICP- techniek (totaal-P). Gehalten beneden $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$ (P) werden afgerond op 0,03. Voor ortho-P betrof dit ongeveer 80% van de monsters; voor totaal-P 20%.

De mediaan waarde voor totaal P ($0,11 - 0,16 \text{ mg.l}^{-1}$) verschilt niet veel voor de verschillende grondsoorten; bij ortho-P ($0,03 \text{ mg.l}^{-1}$) is er zelfs helemaal geen verschil. (Tabel 2).

Tabel 2 Ortho- en totaal-P concentraties (mediaanwaarden en gemiddelden) in bodemvocht op GHG niveau bij waarnemingen uit de landelijke steekproef kaartenheden (februari/maart 1994)

grondsoort/ bodemgebruik	ortho-P (mg.l ⁻¹)		Totaal-P (mg.l ⁻¹)		GHG ¹ (cm)	
	med.	gem.	med.	gem.	med.	gem
<u>grondsoort</u>						
zandgronden						
- veldpodzol	0,03	0,07	0,11	0,19	54,0	54,7
- beekerd	0,03	0,08	0,05	0,21	47,0	47,4
veen op zand						
- podzolprofiel	0,03	0,16	0,13	0,29	43,0	39,5
- geen podzolprofiel	0,03	0,19	0,11	0,39	35,0	45,8
rivierklei	0,03	0,03	0,13	0,13	37,0	43,2
zeeklei	0,03	0,12	0,16	0,33	37,0	40,0
<u>bodemgebruik</u>						
grasland	0,03	0,07	0,13	0,22	37,0	50,8
maisland	0,03	0,03	0,12	0,11	37,0	43,6
bouwland	0,03	0,56	0,19	0,89	37,0	42,9
natuur	0,03	0,03	0,05	0,05	37,0	62,9

¹⁾ gemiddeld hoogste grondwaterstand

Met uitzondering van de rivierklei liggen de gemiddelde waarden duidelijk hoger dan de mediaan waarden. Bij zandgronden (0,08 mg l⁻¹ ortho-P, 0,20 mg l⁻¹ totaal-P) wordt dit veroorzaakt door een beperkt aantal punten (ca. 10%) met verhoogde concentratie, vermoedelijk als gevolg van bemesting. Bij de veengronden en moerige gronden met een zandondergrond zijn de hogere gemiddelden (0,1 mg l⁻¹ ortho-P, 0,34 mg l⁻¹ totaal-P) een gevolg van de aanwezigheid van dalgronden (bouwland). Bij deze gronden is zowel ortho-P (gem. 1,45 mg l⁻¹) als totaal-P (2,33 mg.l⁻¹) aanzienlijk hoger. Bij de zeekleigronden waren enkele monsters aanwezig met een sterk verhoogde fosfaatconcentratie die vermoedelijk aan de marine herkomst is toe te schrijven.

Effecten van het bodemgebruik lijken het grootst te zijn bij bouwland (Tabel 2). Dit is echter slechts schijn omdat dit een gevolg is van de boven beschreven invloed van de dalgronden. Het landbouwkundig gebruik van de bodem leidt vooral tot een stijging van de totaal P gehalten van 0,05 mg.l⁻¹ (in natuurterreinen) tot 0,12 en 0,13 mg.l⁻¹ bij grasland resp. maisland (mediaanwaarden).

De belangrijkste conclusie uit deze gegevens is dat er bij Gt III op een diepte van 40 à 50 cm beneden maaiveld (GHG niveau) op dit moment wel sprake is van een stijging van de totaal-P concentraties door het landbouwkundig gebruik, maar dat doorbraak van ortho-P nog slechts in beperkte mate is waargenomen. In dit laatste geval kan de ortho-P concentratie oplopen tot enkele mg per liter (hoofdstuk 3). Bij de zandgronden is het percentage monsters met dergelijke sterk verhoogde concentraties (ca. 1-3 mg.l⁻¹ ortho-P) 4%.

3. Fosfaatuitspoelingsverliezen bij zandgronden

3.1 Aanpak en uitgangspunten

De fosfaatuitspoeling en de verandering in fosfaattoestand van de bodem is voor de zandgronden berekend met het dynamische simulatiemodel ANIMO. Met dit model zijn de effecten van verschillende fosfaatoverschotten doorgerekend voor een periode van 100 jaar. De P_2O_5 overschotten varieerden van 0 tot 100 $kg \cdot ha \cdot jr^{-1}$. De berekeningen zijn uitgevoerd voor gras op een veldpodzol en een beekerd op respectievelijk GT VI en III met startwaarden voor het P-Al-getal van 20, 40 en 60. De fosfaatverdeling in het profiel die bij deze startwaarden hoort werd berekend door aan te nemen dat het 40 jaar heeft geduurd voordat de betreffende P-Al toestand werd bereikt. Tabel 3 geeft een overzicht van de doorgerekende situaties.

Tabel 3 Doorgerekende combinaties

Serie	Bodemtype	GT	P-Al	P_2O_5 overschot ($kg \cdot ha^{-1} \cdot jr^{-1}$)				
				0	5	25	50	100
1	Veldpodzol	VI	20				X	
			40		X	X	X	
			60	X	X	X		
			40 ¹⁾		X			
1	Beekeerd	III	20				X	
			40		X	X		

¹⁾ Deze profielen zijn in een periode van 40 jaar op P-Al 20 gebracht en vervolgens is door een hoge mesttoediening gedurende 4 jaar de P-Al toestand van 20 naar 40 gestegen

Een belangrijk uitgangspunt bij het onderzoek is dat er geen rekening is gehouden met de fosfaatverzadigingstoestand van de bodem. Bij een hoge fosfaatverzadigingsgraad en ophoping van fosfaat beneden de bouwvoor kunnen tijdelijk grotere hoeveelheden fosfaat uitspoelen dan de opgelegde fosfaatoverschotten. In de notitie 'Mest- en Ammoniakbeleid derde fase' (LNV, 1993) worden de najleffecten door fosfaatverzadiging buiten beschouwing gelaten omdat het mestbeleid uitsluitend op de eindnormen is gericht. Daarbij wordt in principe een 'ruim voldoende' fosfaattoestand voor de bouwvoor nagestreefd. De werkelijke fosfaatverliezen die op kunnen treden bij zeer hoge fosfaattoestanden (P-Al groter dan 60) en fosfaatophoping beneden de bouwvoor, zoals bij fosfaatverzadigde gronden, komen daardoor in deze studie niet aan de orde.

3.2 Model

Het model ANIMO (Kroes et al., 1990) is een dynamische simulatiemodel dat de koolstof-, stikstof- en fosfaatkringloop beschrijft. Het model voorspelt de veranderingen in de concentraties in bodemvocht en vaste fase. Berekeningen vinden plaats op

dagbasis. De voornaamste processen met betrekking tot de fosfaatkringloop die in het model zijn opgenomen zijn: mineralisatie/immobilisatie, gewasopname, snelle en langzame adsorptie en precipitatie.

Voor de eerste serie berekeningen in deze studie is gebruik gemaakt van versie 3.3.3 van het model ANIMO. Deze versie wijkt af van versie 3.3 met betrekking tot de opname van fosfaat door het gras. In de oorspronkelijke versie van ANIMO is er ook bij een goede fosfaattoestand nog een verband tussen de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing en de fosfaatopname door het gewas. Verwacht wordt echter dat de fosfaatopname boven een kritische waarde van de fosfaatconcentratie in het bodemvocht uitsluitend door de droge-stofproductie wordt bepaald. Voor deze studie is een maximaal P-gehalte van 3.3 g.kg⁻¹ droge stof aangehouden (Berghs en Hotsma, 1993). Bij fosfaatconcentraties lager dan 0.4 mg.l⁻¹ P is een opnamereductie aangenomen die evenredig is met het tekort in de bodemoplossing.

Versie 3.3 bevat een eenvoudige P-sorptie module, waarin wordt uitgegaan van een snelle lineaire sorptie en een tijdsafhankelijke Freundlich vergelijking voor de langzame sorptie. Deze module is tot nu toe bij alle ANIMO berekeningen gebruikt. De procesbeschrijving verschilt op twee punten van de formulering van van der Zee (1988):

- het snelle adsorptieproces verloopt volgens een lineaire adsorptie-isotherm in plaats van een Langmuir-isotherm.
- het langzame proces is reversibel

Vooraf dit laatste verschilpunt leidt tot een hogere fosfaatuitspoeling bij de berekening met ANIMO 3.3, zoals blijkt uit voorlopige berekeningen met een nieuwe versie (3.5) waarbij de procesformulering aansluit bij die van van der Zee (Schoumans, 1995a). In par 3.7 wordt nader ingegaan op de gevolgen voor de resultaten van dit rapport.

3.3 Berekening van bodemvruchtbaarheidsparameters

Het model ANIMO berekend fosfaatconcentraties in de bodemoplossing en geadsorbeerde hoeveelheden fosfaat. Om bodemvruchtbaarheidsparameters, zoals het P-Al getal, te berekenen moet gebruik gemaakt worden van statistische relaties. Voor P-Al is in deze studie de volgende relatie gebruikt (Schoumans et al., 1991):

$$P-Al = 357,1 * \frac{P_{ox}}{Al_{ox} + Fe_{ox}} - 28,6 \quad (1)$$

waarin P_{ox}, Al_{ox} en Fe_{ox} de NH₄-oxalaat extraheerbare P, Al en Fe gehalten (mmol.kg⁻¹) zijn en P-Al, zoals gebruikelijk, in mg P₂O₅.100g⁻¹ is uitgedrukt.

3.4 Gegevens

Om de verandering in de P toestand van bodemwater en vaste fase te modelleren moeten de volgende gegevens aan ANIMO aangeboden worden: hydrologische data, bodemchemische constanten en parameters die de snelheid van de verschillende processen sturen, initiële bodemchemische toestand, bemestingsgegevens en gewasgegevens.

Bodem en bodemgebruik

De berekeningen in dit rapport hebben hoofdzakelijk betrekking op een veldpodzolgrond met grondwatertrap (Gt) VI. Dit is de meest voorkomende combinatie van bodemtype en grondwatertrap in de mestoverschotgebieden (Reijerink et al., 1993). Daarnaast zijn ook berekeningen uitgevoerd voor een beekerdgrond op Gt III, om een indruk te krijgen van de invloed van de grondwaterstand. De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) waarmee is gerekend is resp. 61 en 17 cm minus maaiveld (Van der Sluys, 1990). Voor de veldpodzolgrond zijn ook gegevens over de uitspoeling op 50 cm diepte vermeld omdat dit aansluit op de veldmetingen in hoofdstuk 2.

Het bodemgebruik was in alle gevallen grasland.

Hydrologie

Om de periode van 100 jaar met het model ANIMO door te kunnen rekenen is ervoor gekozen een representatieve reeks van jaren te simuleren met een hydrologisch model en deze reeks te herhalen totdat de 100 jaar gesimuleerd zijn. Hiervoor zijn de jaren 1971 t/m 1985 gekozen met meteorologische gegevens van het station De Bilt.

Als hydrologisch model is het simulatiemodel SWAP (Working Group SWAP, 1994) ingezet. Dit is een model voor het simuleren van niet-stationaire stroming in een één-dimensionaal profiel waarbij de stroming naar de drains of sloten gedurende de simulatie wordt berekend aan de hand van de grondwaterstand. Om een goede initiële situatie te creëren wordt eerst een berekening uitgevoerd met de weergegevens van het jaar 1985 omdat dit jaar als een gemiddeld jaar kan worden beschouwd. Bij de initiële run wordt uitgegaan van een hydrostatisch evenwicht waarbij de grondwaterspiegel op het gemiddelde voor de gewenste Gt wordt aangenomen. Als gewasinvoer zijn de data genomen zoals beschreven door Wesseling (1991).

Om ook de diepere grondwaterstromingen door te kunnen rekenen is gewerkt met een bodemprofiel van 10 m. Ten behoeve van de discrete simulatie is het profiel opgesplitst in 40 compartimenten van verschillende grootte (5 x 1 cm, 2 x 2.5 cm, 6 x 5 cm, 17 x 10 cm, 2 x 20 cm, 1 x 50 cm, 7 x 100 cm). Alvorens de simulaties uit te kunnen voeren moesten de bodemfysische kenmerken van de door te rekenen profielen worden bepaald. De profielen worden geacht te zijn opgebouwd volgens de bouwstenen van de Staringreeks (Wösten et al., 1994). In Tabel 4 is de opbouw van de verschillende bodemeenheden gegeven met de bijbehorende bouwstenen.

Tabel 4 De opbouw van de verschillende bodemprofielen

Bodemtype	Laag 1		Laag 2	
	Diepte (m)	Bouwsteen	Diepte (m)	Bouwsteen
veldpodzol	0 - 0,3	B3	0,3 - 10	O2
beekeerd	0 - 0,7	B2	0,7 - 10	O2

Om de gewenste Gt te bereiken worden, nadat een run van 15 jaar is gedraaid, de gesimuleerde GHG en GLG bepaald (Wesseling, 1991). Hieruit volgt dan de gesimuleerde Gt. Indien deze Gt niet in overeenstemming is met de gewenste Gt worden drainafstand en kwel/wegzijging aangepast tot de gewenste Gt is bereikt. De gebruikte onderrandvoorwaarden staan vermeld in Tabel 5.

Tabel 5 De gebruikte onderrandvoorwaarden, drainagekarakteristieken en bereikte GHG en GLG

Bodemtype	Gewas	GLG (cm)	GHG (cm)	Gt	q_{bot} (mm.d ⁻¹)	L (m)	r (cm)	z_{bot} (cm)	z_{lev} (cm)
veldpodzol	gras	-85,7	-37,2	III	0,5	35	30	-70	-40
beekeerd	gras	-198,1	-95,3	VII	-0,5	100	50	-75	-70

Bodemchemische eigenschappen en parameters

In Tabel 6 staat een overzicht van enkele belangrijke chemische eigenschappen van de onderzochte gronden. De Al- en Fe- gehalten van de bestudeerde bodemtypen zijn gebaseerd op bouwstenen die opgesteld zijn voor de Derde Nota Waterhuishouding (Schoumans en Breeuwsma, 1990). De fosfaatgehalten geven de natuurlijke achtergrondgehalten weer en zijn gebaseerd op gehalten in bos- en natuurterreinen.

Tabel 6 Enkele chemische karakteristieken van de onderzochte gronden

Bodemtype	Diepte (cm)	Bulkdichtheid (g.cm ⁻³)	(Al+Fe) _{ox} (mmol.kg ⁻¹)	% lutum	pH _{KCl} (mmol.kg ⁻¹)	P _{ox}
Veldpodzol	0 - 20	1,3	71,3	3,0	4,8	5,0
	20 - 50	1,5	70,7	3,0	4,4	1,9
	50 - 70	1,6	49,7	3,0	4,4	1,9
	70 - 250	1,6	35,7	3,0	4,6	1,9
Beekeerd	0 - 25	1,3	117,9	6,0	4,9	10,0
	25 - 50	1,7	21,1	6,0	5,0	2,0
	50 - 110	1,7	21,1	4,0	5,2	2,0
	110- 250	1,7	10,9	4,0	5,4	2,0

De overige bodemchemische parameters zijn gebaseerd op diverse voorgaande simulaties met het model ANIMO. Een overzicht van de bronnen staat vermeld in Van der Bolt et al., (i.v.).

Initiële toestand

Om bodemprofielen met een P-Al of Pw getal van 20, 40 en 60 te creëren, in de laag van 0 -20 cm, is uitgegaan van de initiële geadsorbeerde hoeveelheden in onbemeste toestand (Tabel 6). De fosfaat toestand van de profielen is verhoogd, tot de bovengenoemde waarden door het toedienen van mest gedurende een periode van 40 jaar (Tabel 7). Om de invloed van de lengte van de oplaadperiode te analyseren is voor gras op een veldpodzol ook een initiële situatie berekend waarbij de fosfaattoestand in 4 jaar van P-Al 20 naar P-Al 40 is gebracht. Bij de berekeningen is rekening gehouden met de beweidingintensiteit van een extensief, gemiddeld en intensief bedrijf (Aanhangsel 1).

Tabel 7 Mestgiften gedurende de initialisatieperiode

Gewas	Bodemtype	P-Al	Mestgift (kg P ₂ O ₅ .ha ⁻¹ .jr ⁻¹)
Gras	Veldpodzol	20	62,7
		40	169,2
		60	302,1
		40s ^{*)}	348,0
		Beekeerd	20
		40	251,7

^{*)} Opladen van de grond van P-Al 20 naar P-Al 40 in 4 jaar

In Tabel 8 staat een overzicht van de geadsorbeerde hoeveelheden fosfaat en de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) in de verschillende gronden aan het einde van de initialisatieperiode. Duidelijk komt naar voren dat bij een snelle oplading van de grond tot een P-Al van 40 beduidend minder geadsorbeerd fosfaat in de diepere lagen aanwezig is. De totale mestgift over de oplaadperiode is dan ook beduidend lager. Verder valt op dat de hoeveelheid fosfaat die nodig was om een ruim voldoende P-Al toestand (P-Al 40 à 60) te bereiken reeds tot fosfaatverzadiging heeft geleid (overschrijding van de kritische waarde van 25 %). Dit komt doordat er bij de gebruikte ANIMO-versie tijdens het opladen reeds vrij veel fosfaat uitspoelt. Er is daardoor ook relatief veel fosfaat nodig om de fosfaattoestand van de bouwvoor op het gewenste peil te brengen.

Tabel 8 Geadsorbeerde hoeveelheden fosfaat aan het einde van de initialisatieperiode

Gewas	Bodemtype	P-Al getal (mg P ₂ O ₅ . 100g ⁻¹)	Geadsorbeerd P (mmol.kg ⁻¹)					FVG (%)
			diepte:					
			20	30	50	70	100	
Gras	Veldpodzol	20	10,1	6,7	2,0	1,9	1,9	16
		40	13,9	13,7	2,2	1,9	1,9	25
		60	17,7	19,3	4,4	1,9	1,9	36
		40s	13,8	8,1	2,0	1,9	1,9	20
		Gras	Beekeerd	20	16,1	8,8	2,3	2,0
		40	22,7	13,6	3,7	2,1	2,2	38

Gewasgegevens

In ANIMO wordt gebruik gemaakt van verscheidene parameters die de gewasopbrengst, stikstof- en fosforopname, wortellengte, wortelmassa en dergelijke sturen. Voor deze gewasgegevens zijn standaardwaarden gebruikt zoals die toegepast zijn voor de studie in het Beerze - Reusel gebied (Van der Bolt et al., i.v..). Deze standaardwaarden zijn afkomstig uit een groot aantal voorgaande studies.

Bemestingsgegevens

Voor de aanvoer van stikstof en fosfaat via kunstmest en mestflatten op grasland in melkveehouderij bedrijven zijn waarden gebruikt die berekend zijn met behulp van het programma 'Normen voor de Voederverzorging' en het 'Bedrijfs Begrotings Programma' van het Proefstation voor de Rundveehouderij (PR). Voor de situaties met een P-Al getal van 20, 40 en 60 is uitgegaan van respectievelijk een extensief, een gemiddeld en een intensief melkveehouderijbedrijf, (Tabel 9, Aansluiting 1). Om de gewenste fosfaatoverschotten (variërend van 5 tot 100 kg P₂O₅.ha⁻¹.jr⁻¹) te creëren is extra fosfaat toegevoegd in de vorm van drijfmest en in een aantal gevallen kunstmest (triple-superfosfaat) (Tabel 9).

Tabel 9 Verdeling van het fosfaatoverschot over weidemest, drijfmest en kunstmest

Gewas	P-Al getal (mg P ₂ O ₅ .100g ⁻¹)	P ₂ O ₅ -overschot (kg.ha ⁻¹ .jr ⁻¹)	P ₂ O ₅ -gift (kg.ha ⁻¹ .jr ⁻¹)			
			Totaal	Weidemest	Drijfmest	Kunstmest
Gras	20	50	114,9	23,2	56,7	35,0
		100	190,6	23,2	132,4	35,0
	40	5	101,2	23,4	77,8	-
		25	125,9	23,4	102,6	-
		50	156,1	23,4	102,6	30,1
	60	0	95,4	32,6	62,8	-
		5	99,4	32,6	66,8	-
		25	125,9	32,6	93,3	-

3.5 Resultaten

Fosfaattoestand van de bodem (P-Al-getal)

De invloed van het fosfaatoverschot op de fosfaattoestand van een veldpodzol op GT VI onder gras wordt geïllustreerd door Fig. 1. Bij het extensieve bedrijf wordt een sterke stijging van de P-Al waarde voorspelt van de initiële waarde van 20 naar ongeveer 40 bij een P₂O₅ overschot van 50 kg.ha⁻¹.jr⁻¹. Bij een P₂O₅ overschot van 100 kg.ha⁻¹.jr⁻¹ stijgt P-Al naar circa 53. Bij het gemiddelde bedrijf valt op dat het P-Al getal bij een overschot van 55 kg P₂O₅ slechts weinig meer toe neemt en stabiliseert rond een waarde van circa 43. Deze evenwichtswaarde wordt bij eenzelfde overschot na 50 jaar ook bereikt bij het extensieve bedrijf. Bij een overschot van 25 kg P₂O₅ per ha daalt het

P-Al getal naar een vrij constante waarde van 34. Bij een overschot van 5 kg P₂O₅ per ha treedt een veel sterkere daling op, na 100 jaar bedraagt het P-Al getal 22 en is dan nog steeds dalende. Bij het snel opgeladen systeem treedt een sterke daling in de fosfaattoestand op. Na 100 jaar is het P-Al getal gedaald naar circa 15. Bij het intensieve bedrijf, dat oorspronkelijk een P-Al van 60 heeft, vindt een daling naar circa 33 plaats bij een P₂O₅ overschot van 20 kg.ha⁻¹.jr⁻¹. Bij lagere fosfaatoverschotten daalt het P-Al getal verder, na 100 jaar worden waarden tussen 25 en 20 bereikt. Het bereiken van een evenwichtssituatie zal nog langer duren. Duidelijk komt uit deze figuur naar voren dat de 'eindwaarde' voor P-Al bepaald wordt door het fosfaatoverschot. De hoogte van deze eindtoestand wordt niet beïnvloed door de initiële waarde, de tijdsduur die verstrekt voordat de 'eindtoestand' bereikt wordt wel. Bij een overschot van circa 50 kg P₂O₅ bedraagt de 'eindwaarde' voor P-Al circa 40 (na 40 tot 100 jaar). Bij een overschot van 25 kg P₂O₅ per ha bedraagt het P-Al getal uiteindelijk ongeveer 35. Bij een overschot van 5 kg P₂O₅ verloopt het P-Al getal naar een waarde van 20 of lager. De verschillen in reactie van het langzaam en het snel opgeladen systeem geven aan dat de daling in P-Al sterk afhankelijk is van de bemestingsgeschiedenis. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij een langdurige belasting van de bodem er een hoger percentage fosfaat via het langzame proces geadsorbeerd is. De desorptie van fosfaat vindt daardoor in verhouding trager plaats en dus daalt ook het P-Al getal langzamer.

De resultaten voor de bekeerdgrond op Gt III zijn samengevat in Tabel 10. Bij het extensieve bedrijf op een bekeerd stijgt bij een P₂O₅ overschot van ruim 50 kg.ha⁻¹.jr⁻¹ het P-Al getal naar circa 35. De fosfaattoestand, uitgedrukt in het P-Al getal, stijgt langzamer en bereikt aan het einde van de simulatieperiode een lagere waarde dan bij een vergelijkbare bemesting op een veldpodzol. De oorzaak hiervoor is de hogere fosfaatadsorptiecapaciteit van deze bekeerdgrond (hogere gehalten aan Al en Fe oxyden). Bij een gemiddeld bedrijf op een bekeerd, daalt het P-Al getal van 40 naar 30 en 20 bij respectievelijk een P₂O₅ overschot van 30 en 8 kg.ha⁻¹.jr⁻¹. Vergeleken met de veldpodzol daalt de fosfaattoestand iets sneller bij de bekeerd en bereikt een iets lagere P-Al waarde na 100 jaar.

Tabel 10 P-toestand (P-Al getal) als functie van het opgelegde fosfaatoverschot en de tijd voor een bekeerdgrond op Gt III

Jaar	P toestand (P-Al getal)		
	P ₂ O ₅ overschot (kg.ha ⁻¹ .jr ⁻¹)		
	50 ¹	30 ²	8 ²
0	20	40	40
10	24	37	36
25	28	34	31
40	31	32	27
55	33	31	25
70	34	30	24
85	35	30	22
100	35	30	21

¹ extensief bedrijf

² gemiddeld bedrijf

Fosfaatuitspoeling

Fig. 1 toont de doorbraakcurven op het niveau van de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) (ca. 60 cm) voor de veldpodzol. In de meeste doorgerkende combinaties treedt een sterke stijging van de uitspoeling op tijdens de simulatieperiode. De voorspelde concentraties op GHG niveau zijn gedurende de simulatieperiode sterk afhankelijk van de hoeveelheid fosfaat die aan het einde van de initialisatieperiode in het profiel aanwezig is (Tabel 8). De sterk opgeladen systemen (zie Tabel 7) vertonen de grootste stijging in concentratie op korte termijn omdat daar de grootste hoeveelheid fosfaat beneden de bouwvoor aanwezig is. Op langere termijn wordt de uitspoeling meer bepaald door het opgelegde P_2O_5 overschot tijdens de simulatieperiode. De systemen met hoge overschotten vertonen een doorlopende toename van de fosfaatuitspoeling. De 'zwaar' opgeladen systemen (P-A1 60) met lage overschotten vertonen na een initiële stijging van de fosfaatuitspoeling een stabilisatie van de uitspoeling. Ondanks de dalende fosfaattoestand vindt op het niveau van de GHG nog geen verlaging van de uitspoeling plaats gedurende de simulatieperiode. Iets hoger in het profiel, op 50 cm diepte (niet getoond), vindt gedurende de eerste 30 jaar een stijging van de uitspoeling plaats, waarna deze weer geleidelijk gaat dalen. Pas op langere termijn zal zich een evenwichtssituatie instellen waarbij de uitspoeling van fosfaat gelijk is aan het fosfaatoverschot.

De termijn waarop fosfaatuitspoeling tot een verhoogde concentratie in het grond- (of oppervlakte)water leidt wordt in dit rapport de doorslagtermijn genoemd. Deze termijn is afhankelijk van de norm voor de waterkwaliteit. De gegevens in Tabel 11 zijn gebaseerd op het kwaliteitscriterium voor een fosfaatverzadigde grond. Daarbij wordt voor de ortho - P concentratie op het niveau van de GHG een waarde gehanteerd van $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$. De termijn waarop een overschrijding van de norm plaats vindt wordt beïnvloed door de aanwezige hoeveelheid fosfaat in het profiel en het fosfaatoverschot. Deze 'norm' wordt bij het extensieve bedrijf na 72 jaar overschreden bij een P_2O_5 overschot van $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$; bij een overschot van $50 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ treedt overschrijding van de norm op na 106 jaar. Bij het gemiddelde bedrijf treedt bij een overschot van 55 en $25 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ overschrijding van de norm op na respectievelijk 68 en 87 jaar. Bij een overschot van $5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{jr}^{-1}$ treedt geen overschrijding op gedurende de simulatieperiode. Hetzelfde geldt voor het snel opgeladen systeem. Bij het intensieve bedrijf wordt bij alle bemestingsscenario's de norm overschreden na circa 30 jaar.

Tabel 11 Termijn waarop de ortho P concentratie de waarde van 0,1 mg.l⁻¹ op GHG-niveau overschrijdt (referentiewaarde voor fosfaatverzadigde gronden)

bodem- type	grondwater- trap	fosfaat- toestand 1) (P-AI getal)	P2O5-overschot (kg.ha ⁻¹ .jr ⁻¹)				
			0	5	25	50	100
veldpodzol	VI (GHG: 61 cm)	20	--	--	--	106	72
		40	--	>100	87	68	--
		60	30	30	30	--	--
veldpodzol	III (GHG: 50 cm)	20	--	--	--	55	40
		40	--	23	23	20	--
		40s	--	>100	--	--	--
		60	0	--	--	--	--
beekeerd	III (GHG: 17 cm)	20	--	--	--	0	--
		40	--	0	0	--	--

1) : begintoestand

In een nattere situatie waarbij de GHG bijvoorbeeld op 50 in plaats van 60 cm diepte ligt is de termijn waarop de concentraties op GHG niveau boven 0,1 mg.l⁻¹ komen in de veldpodzol veel korter (Tabel 11). Bij het intensieve bedrijf met P-AI 60 treedt al direct een overschrijding van de norm op. Bij het gemiddelde bedrijf, P-AI 40 wordt de norm na circa 20 jaar overschreden.

Bij de beekeerdgrond wordt vanaf het begin van de simulaties de uitspoelingsnorm overschreden. De oorzaken hiervoor zijn te vinden in het feit dat de GHG bij dit profiel zeer ondiep is verondersteld (17 cm) en de fosfaatadsorptiecapaciteit zeer groot is in de bovengrond. Hierdoor moet veel fosfaat toegediend worden om de P-AI waarde van 20 of 40 te bereiken (Tabel 7), mede door het feit dat in deze studie de P-AI waarde berekend wordt over de bovenste 20 cm van het profiel.

De gehanteerde norm voor de grondwaterkwaliteit heeft slechts weinig invloed op de doorslagtermijn. Bij gebruik van de streefwaarde voor grondwater in zandgronden (0,4 mg.l⁻¹ totaal P) neemt deze termijn met ongeveer 5 - 10 jaar toe (hier niet getoond).

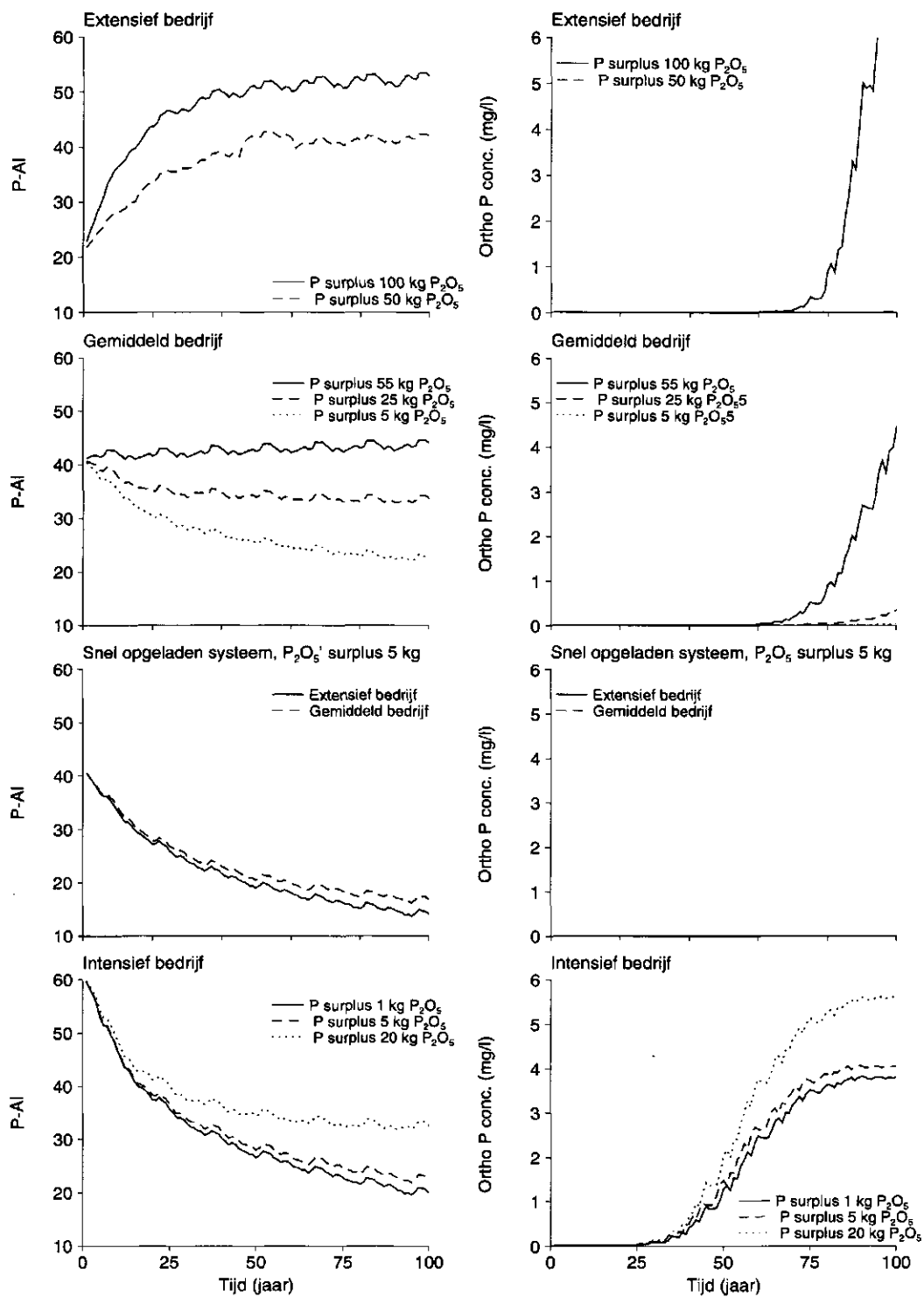


Fig. 1 P-AI getal en ortho P concentratie op GHG niveau als functie van de tijd in relatie tot het P₂O₅ overschot voor een veldpodzolgrond op Gt VI (GHG: 61 cm)

3.6 Discussie

Invloed bodem en Gt

De berekende waarden van de fosfaattoestand en fosfaatuitspoeling gelden voor een veldpodzol- en beekerdgrond met de chemische eigenschappen zoals vermeld in Tabel 6. De chemische eigenschappen zijn gebaseerd op de berekeningen voor de Derde Nota Waterhuishouding. Recent onderzoek gebaseerd op een groter aantal gegevens (Reijerink et al., 1993) geeft met name voor de beekerdgrond lagere ijzer- plus aluminiumgehalten in de bovengrond dan gebruikt in deze studie. De gehalten in de ondergrond van de beekerd liggen daarentegen volgens de laatste inzichten gemiddeld iets hoger. Dit betekent dat de gemiddelde uitspoeling op een beekerd lager zal zijn dan berekend en meer in de buurt zal liggen van de waarden voor een veldpodzol.

Bemestingsgeschiedenis

De doorbraaktermijn is sterk afhankelijk van de verdeling van het geadsorbeerde fosfaat met de diepte. Deze verdeling wordt enerzijds bepaald door het verloop van het ijzer- en aluminiumgehalte met de diepte. Anderzijds heeft de snelheid waarmee de 'huidige' fosfaattoestand (de beginwaarde voor de scenario-berekeningen) is bereikt een grote invloed op de verdeling. Wanneer P-Al 40 in 4 jaar wordt bereikt in plaats van 40 jaar is er tijdens het opladen minder fosfaat uit de bouwvoor uitgespoeld naar de onderliggende laag. In dat geval duurt het zelfs bij een ondiepe grondwaterstand (Gt III) meer dan 100 jaar voordat de fosfaatconcentratie in het grondwater stijgt (Tabel 11). Dit geeft aan dat de voorgeschiedenis voor de effecten op korte en middellange termijn belangrijker is dan de hoogte van het fosfaatoverschot.

Vergelijking met bedrijfsgegevens

Het feit dat er voor deze studie slechts twee bodemtypen zijn doorerekend en het feit dat de chemische eigenschappen van de beekerd niet representatief zijn voor een gemiddelde beekerd maakt het lastig om de gegevens te vergelijken met meetgegevens. De berekeningen geven namelijk geen representatief beeld voor Nederland als geheel. Een vergelijking met meetgegevens uit de praktijk wordt verder nog beïnvloed door het feit dat de berekeningen van het P-Al getal betrekking hebben op een laagdikte van 0-20 cm terwijl de metingen vaak plaatsvinden in de laag 0-5 cm. Daardoor is slechts een globale vergelijking mogelijk met gegevens over de verandering in fosfaattoestand en de fosfaatuitspoeling zoals die in verscheidene studies zijn gemeten. In het kader van de P-desk studie is aan de hand van een groot aantal bedrijven de verandering in P-toestand als functie van het P-overschot bepaald (Oenema en van Dijk, 1994). Uit een regressie analyse van gegevens van melkveebedrijven blijkt dat een P_2O_5 overschot van 40 à 50 $kg \cdot ha^{-1} \cdot jr^{-1}$ noodzakelijk is om in een zandgrond een P-Al van 40 te handhaven. De simulatieresultaten geven een iets lager traject van 25 à 50 $kg P_2O_5$ per ha.

Volgens metingen van het fosfaatgehalte in bodemvocht (Hoofdstuk 2) is op 50 cm diepte nog nauwelijks sprake van doorslag. De gemiddelde ortho-P concentratie (mg.l^{-1}) bedraagt 0,07 in een veldpodzol en 0,08 in een beekerdgrond. Momenteel simuleert ANIMO eveneens zeer lage concentraties op deze diepte in veldpodzolgronden met een P-Al getal van 40 of lager. Bij deze resultaten moet echter worden opgemerkt dat de initiële P-Al toestand in de simulaties slechts 1 jaar heeft geduurd. In de praktijk zijn de gehanteerde P-Al waarden reeds veel langer aanwezig. Deze 'historische' termijn moet in mindering worden gebracht op de in Tabel 11 vermelde waarden om de werkelijke termijn te kunnen bepalen. Dat dit een grote invloed heeft blijkt onder meer uit het feit dat de mediaanwaarde van het P-Al getal in 1970 reeds ongeveer 40 was. Dat betekent dat vanaf 1995 gerekend de doorbraaktermijn voor de helft van de gronden minimaal 25 jaar korter zou kunnen zijn. Of dit in de praktijk ook zo is, is niet met zekerheid aan te geven omdat de P-Al getallen uit 1970 betrekking hebben op de laag 0-5 cm en de berekeningen op 0-20 cm. Volgens de modelberekeningen is er na 25 jaar op een diepte van 50 cm wèl sprake van verhoogde concentraties ($> 0,10 \text{ mg l}^{-1}$ ortho-P). Bij een P-Al-getal van 60 is dit direct na het bereiken van deze waarde al het geval.

De gesimuleerde concentraties in een beekerd zijn in 1995 eveneens hoger dan de gemeten concentraties. Hierbij moet echter vermeld worden dat de fosfaatadsorptiecapaciteit van de beekerdgrond in de bovengrond vrij hoog is. Hierdoor was het noodzakelijk meer mest toe te dienen ten opzicht van de veldpodzol om in de bovenste 20 cm een P-Al van 20 of 40 te creëren. Hierdoor is ook de uitspoeling relatief hoog.

3.7 Evaluatie

Vergelijking van de modelberekeningen met praktijkgegevens geeft aan dat:

- 1) het fosfaatoverschot dat nodig is om een P-Al getal van ongeveer 40 te handhaven (25 à 50 $\text{kg P}_2\text{O}_5$ per ha) redelijk overeenstemt met de gegevens van melkveebedrijven (40 à 50 $\text{kg P}_2\text{O}_5$ per ha).
- 2) op 50 cm diepte volgens de metingen vrijwel geen sprake is van verhoogde ortho-fosfaat concentraties in het bodemvocht terwijl dit volgens de modelberekeningen wel waarschijnlijk is.

Dit betekent dat de berekende doorslagtermijn waarschijnlijk te kort is. In verband hiermee zijn na het verschijnen van het eindrapport van de P-deskstudie (juni 1994) nog een aantal oriënterende berekeningen uitgevoerd met een nieuwe versie van ANIMO (versie 3.5). In deze versie is een verbeterde formulering van de fosfaatsorptie en -desorptie opgenomen die via laboratorium -en veldonderzoek is gevalideerd. (Schoumans, 1995a; Kruijne en Schoumans, i.v.). Met behulp van de nieuwe module is een verband afgeleid tussen de fosfaatuitspoeling uit de bouwvoor en de fosfaatverzadigings-grad bij evenwichtsbemesting (Schoumans en Kruijne, 1995b). Met deze relatie en vergelijking (1) zijn nieuwe schattingen gemaakt voor de fosfaatverliezen die op langere termijn het grondwater bereiken. Daarbij is uitgegaan van een fosfaatgift van 110 $\text{kg P}_2\text{O}_5$ per ha, waardoor het overschot vrijwel nul was. Deze schattingen geven een lager fosfaatverlies van ongeveer 20 en 35 $\text{kg P}_2\text{O}_5$ per ha bij een beginwaarde voor

het P-Al getal van respectievelijk 40 en 60. Door het nuloverschot neemt de fosfaattoestand af (niet berekend). Daarnaast zijn de berekeningen voor de veldpodzolgrond op Gt VI bij P-Al 40 en 60 herhaald. In dit geval werd wel een fosfaatoverschot toegediend om de fosfaattoestand op peil te houden. Dit resulteerde in een fosfaatverlies van respectievelijk ongeveer 15 en 25 à 50 kg P_2O_5 per ha. Bij het bovenstaande moet wel worden opgemerkt dat de fosfaatverliezen naar het grondwater in de praktijk nog aanzienlijk hoger kunnen zijn als de grond sterk fosfaatverzadigd is.

De doorslagtermijn wordt sterker beïnvloed door de nieuwe module dan het fosfaatverlies uit de bouwvoor. Bij de berekeningen voor de veldpodzol werd nu bij een P-Al 40 en 60 en een fosfaatoverschot van 15 en 50 kg P_2O_5 per ha een doorslagtermijn berekend van meer dan 200 jaar. Bij de eerdere berekeningen was dit respectievelijk ongeveer 90 en 70 jaar. Op dit punt sluiten de nieuwe berekeningen beter aan bij het grondwateronderzoek omdat volgens de nieuwe module op 50 cm beneden maaiveld nog geen doorslag te verwachten is. Ook bij deze resultaten dient wel aangetekend te worden dat in de praktijk de doorbraaktermijn aanzienlijk korter kan zijn doordat de fosfaattoestand reeds lang op dit of een hoger niveau zit. Bij fosfaatverzadigde gronden (ca 70% van het landbouwareaal in de mestoverschotgebieden, Reijerink en Breeuwsma, 1992) kan zelfs op dit moment al sprake zijn van een verhoogde uitspoeling zoals gebleken is uit onderzoek in het Schuitenbeekgebied in de Gelderse Vallei (Breeuwsma et al., 1989, Schoumans en Kruijne, 1995a).

Verder is het van belang op te merken dat het onderzoek gericht was op de kwantificering van de uitspoelingsverliezen. In de praktijk kunnen ook nog verliezen optreden door fixatie en immobilisatie. Fosfaatfixatie kan bij niet fixerende gronden tijdelijk een rol spelen bij het aanploegen van lagen die nog niet de gewenste fosfaattoestand hebben. Bij fixerende gronden is het fixatie-effect zo overheersend dat de fosfaattoestand meestal laag blijft ondanks de extra gift die wordt toegediend. Ook immobilisatie (vastlegging in organische stof) kan tijdelijk optreden, bijvoorbeeld bij de overgang van bouwland naar grasland. Deze studie was echter gericht op de verliezen in een evenwichtssituatie omdat de normstelling zich ook hierop richt. Bij de vergelijking met gegevens van mineralenbalansen en proefvelden moet steeds worden bedacht dat in de praktijk niet-evenwichtssituaties veelvuldig voorkomen.

Een andere bron van onzekerheid is het gebruik van een empirische relatie (vergelijking 1) tussen de gesimuleerde fosfaattoestand van de grond en het P-Al getal.

3.8 Conclusies

De fosfaatverliezen die in een evenwichtssituatie optreden zijn hoofdzakelijk toe te schrijven aan verliezen door uitspoeling uit de bouwvoor. In de praktijk kunnen op perceelsniveau ook 'bodemverliezen' optreden in de vorm van fixatie en immobilisatie. Laatstgenoemde verliezen hebben een tijdelijk karakter maar kunnen wel invloed hebben op de vergelijking met gegevens van mineralenbalansen en proefvelden.

De berekende uitspoelingsverliezen zijn mede afhankelijk van de procesbeschrijving (P-module) die wordt gehanteerd. De oorspronkelijke module waarmee in dit rapport is gerekend geeft bij een P-Al getal van 40 voor grasland verliezen van 25 - 50 kg P_2O_5 per ha. Voorlopige berekeningen met een nieuwe module geven een verlies van 15 - 20 kg P_2O_5 per ha bij hetzelfde P-Al getal en een verlies van 25 - 50 kg P_2O_5 per ha bij P-Al 60.

De procesformulering heeft vooral gevolgen voor de doorbraaktermijn. In dit rapport varieert de termijn waarop de verhoogde uitspoeling optreedt van 0 jaar, bij een hoge fosfaattoestand (P-Al 60) of een hoge grondwaterstand (Gt III) tot meer dan 100 jaar, bij een 'lage' grondwaterstand (Gt VI), en een lage fosfaattoestand (P-Al 20) of een laag fosfaatoverschot (5 kg P_2O_5 per ha). Met de nieuwe module bedraagt de doorslagtermijn bij Gt VI (GHG 61 cm) bij P-Al 40 en 60 en een fosfaatoverschot kleiner of gelijk aan 50 kg P_2O_5 per ha in alle gevallen meer dan 200 jaar.

De nieuwe module geeft een betere beschrijving van laboratoriumproeven dan de oorspronkelijke module. Daarnaast sluiten de resultaten ook beter aan bij het grondwateronderzoek omdat volgens de nieuwe module nog geen doorslag te verwachten is op 50 cm beneden maaiveld, terwijl dit bij de oorspronkelijke module wel het geval zou moeten zijn.

De verliezen zijn vooral bij de nieuwe module wat lager dan de verliezen die in de praktijk zijn gemeten op melkveebedrijven (40 à 50 kg P_2O_5 per ha). De verklaring hiervoor dient mogelijk gezocht te worden in verliezen die op kunnen treden in een niet-evenwichtssituatie (tijdelijke fixatie of immobilisatie). Daarnaast spelen mogelijk ook verliezen op het bedrijf een rol.

4. Fosfaatuitspoelingsverliezen bij veengronden

4.1 Aanpak

Voor veengronden zijn geen aparte simulaties uitgevoerd in het kader van de P-desk studie maar is gebruik gemaakt van bestaande resultaten van het onderzoek 'Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater in veenweidegebieden' (Hendriks, 1993). Bij berekeningen was de nieuwe P-module nog niet beschikbaar. Voor de P-desk-studie is op basis van de resultaten een analyse uitgevoerd van mogelijke verbanden tussen het fosfaatoverschot op perceelsniveau en de fosfaatconcentraties in het bovenste grondwater en de fosfaatbelasting van het kleine oppervlaktewater in veenweidegebieden.

Het onderzoek heeft zich gericht op drie veenweidepercelen met een kleidek van ca. 20 cm dikte. Deze percelen vertegenwoordigden de volgende drie veensoorten:

- eutroof of voedselrijk veen;
- matig oligotroof veen of matig voedselarm veen;
- sterk oligotroof of sterk voedselarm veen.

Voor deze drie veensoorten zijn scenarioberekeningen uitgevoerd voor een periode van 20 jaar. Deze simulaties zijn uitgevoerd voor negen combinaties van ontwatering en bemesting (Tabel 12). De bemestingsniveaus zijn gekoppeld aan een veebezetting van 1,5 resp. 2,5 grootvee-eenheid per ha.

Tabel 12 Doorgerekende combinaties voor veengronden

Ontwateringspeil (cm - mv)	Bemestingsniveau (gve.ha ⁻¹)		
	0	1,5	2,5
20	x	x	x
45	x	x	x
70	x	x	x

Om na te gaan op welke termijn doorslag van het P-overschot naar het grond- en oppervlaktewater optreedt, zijn extra modelberekeningen uitgevoerd voor een periode van 220 jaar voor een veengrond met Gt II. Hiervoor zijn de gegevens van het eutrofe veenprofiel genomen, omdat de eutrofe en mesotrofe venen het meest voorkomen in Nederland (samen ca. 75% van de oppervlakte veengronden). Als bemestings/ontwaterings-combinatie is 2,5 g.v.e. per ha bij een ontwatering van 45 cm -mv gekozen, een veel voorkomende combinatie bij redelijk intensief landbouwkundig gebruik op veenweidegronden.

4.2 Model

Het Veenweide-onderzoek had tot doel de achtergrondbelasting aan nutriënten van het oppervlaktewater in veenweidegebieden te kwantificeren en de invloed van ontwatering en bemesting op deze nutriëntenbelasting vast te stellen. Het onderzoek bestond uit literatuur-, kolom-, laboratorium- en veldonderzoek, en modelanalyse met de modellen FLOCR (hydrologie) en ANIMO (nutriëntenhuishouding).

Het model FLOCR houdt rekening met krimpen en zwellen van de bodemmatrix van veen en klei. Dit heeft belangrijke gevolgen voor de vochthuishouding van de bodem. Een krimpemde bodem blijft vochtiger dan een rigide bodem. Het belang voor de nutriëntenhuishouding hiervan is zeer groot. Immers de vochthuishouding bepaalt in belangrijke mate de zuurstofhuishouding en daarmee processen als organische-stofafbraak, N- en P-mineralisatie, nitrificatie en denitrificatie. Verder is het belangrijk rekening te houden met zwel en krimp, omdat hierdoor krimpscheuren ontstaan. Deze versnellen het transport van nutriënten naar diepere bodemlagen en naar het oppervlaktewater.

4.3 Gegevens

In de initiële situatie, in 1991, verschilt de bezetting van het bodemcomplex met fosfaat sterk tussen de percelen (Tabel 13). De verzadigingsgraad varieert van 2 tot 20%. Het eutrofe perceel is tot 1984 intensief gebruikt voor landbouw en daarna als natuurterrein niet meer bemest, maar wel gebruikt als hooiland. Het sterk oligotrofe profiel is tot 1974 extensief voor de landbouw gebruikt en daarna als natuurterrein niet meer bemest en alleen gemaaid. Het matig oligotrofe perceel is altijd extensief gebruikt. Het P-Al-getal is vermoedelijk 'vrij laag' tot 'voldoende'.

Tabel 13 Chemische karakteristieken van de doorgerekende veengronden

Veentype	Diepte (cm)	Bulk-dichtheid (g.cm ⁻³)	(Al+Fe) _{ox} (mmol.kg ⁻¹)	% lutum	pH _{KCl}	P _{ox} (mmol.kg ⁻¹)
Eutroof	0 - 25	0,6	472	53,0	4,5	20,7
	25 - 45	0,2	376	4,7	4,2	5,2
	45 - 62	0,2	229	1,7	4,1	1,9
	> 62	0,14	109	4,8	4,7	2,3
Matig Oligotroof	0 - 20	0,6	293	39,5	4,8	29,7
	20 - 40	0,2	246	6,3	4,8	4,2
	40 - 65	0,15	352	3,5	4,3	5,8
	> 65	0,12	36	2,0	5,0	-
Sterk Oligotroof	0 - 23	0,5	352	39,8	4,3	3,2
	23 - 40	0,2	227	1,5	3,8	-
	40 - 58	0,12	142	< 0,1	4,2	-
	> 58	0,12	37	1,1	5,0	-

4.4 Resultaten en discussie

In Tabel 14 zijn het berekende P_2O_5 overschot en de berekende toename van de totale fosfaatbelasting onder invloed van bemesting gegeven voor de drie veenprofielen bij zes combinaties van ontwateringsdiepte en bemestingsniveau. De concentratie is berekend als het quotiënt van de jaarafvoer van totaal-fosfaat en water. Het is daarmee een uitdrukking van een globaal gemiddelde. De fosfaatcomponenten die uitspoelen in veenweidegebieden zijn in de eerste plaats ortho-P en in de tweede plaats organisch-P in oplossing.

Tabel 14 Berekende P-overschot en berekende toename van de totale fosfaatbelasting van oppervlaktewater onder invloed van bemesting voor de drie veenprofielen bij 6 combinaties van ontwateringsdiepte en bemestingsniveau

Veen- soort	Ont- wateringspeil (cm - mv)	Bemestingsniveau 1,5 gve.ha ⁻¹			Bemestingsniveau 2,5 gve.ha ⁻¹		
		P ₂ O ₅ -overschot ¹ (kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹)	toename P-emissie		P ₂ O ₅ -overschot (kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹)	toename P-emissie	
			conc P _{tot} (mg.l ⁻¹)	P ₂ O ₅ vracht (kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹)		conc. P _{tot} (mg.l ⁻¹)	P ₂ O ₅ vracht (kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹)
eu- troof	20	19,0	0,26	2,1	38,5	0,54	4,3
	45	18,3	0,15	1,3	40,3	0,41	3,7
	70	19,9	0,10	1,2	40,1	0,20	2,2
matig oligo- troof	20	17,0	0,39	2,2	36,2	0,84	4,9
	45	16,3	0,34	2,2	36,7	0,70	4,5
	70	15,3	0,28	2,1	36,2	0,53	3,8
sterk oligo- troof	20	20,8	0,50	3,5	40,8	1,07	7,6
	45	13,7	0,36	2,1	37,1	0,95	5,5
	70	15,1	0,18	1,1	34,8	0,94	5,5

¹ Overschot na 20 jaar, het overschot in het eerste jaar is circa 2 maal zo hoog

In Tabel 14 is de toename van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater door bemesting aangegeven. De achtergrondbelasting bij 'nulbemesting' varieert van ongeveer 1,0 kg P_2O_5 per ha per jaar (sterk oligotroof veen) tot 5,4 kg P_2O_5 per ha per jaar (eutroof veen) en de jaargemiddelde fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater van 0,3 tot 0,8 mg totaal-P per liter. Bij een veebezetting van 1,5 grootvee-eenheid per ha neemt de fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater toe met 0,15-0,50 mg totaal-P per liter en de afvoer met ongeveer 1-3 kg P_2O_5 per ha per jaar. Bij een veebezetting van 2,5 grootvee-eenheid per ha en een fosfaatgift van 130 kg P_2O_5 per ha per jaar bedraagt de toename van de fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater door bemesting 0,5 tot 1,0 mg totaal P per liter. De toename van de oppervlaktewaterbelasting is ongeveer 4-8 kg P_2O_5 per ha en het bijbehorende (jaarlijkse) fosfaatoverschot 35-40 kg P_2O_5 per ha.

Bij veengronden is dus vrijwel direct sprake van een verhoogde uit (en af-) spoeling naar het oppervlaktewater als gevolg van bemesting. Dit ondanks het feit dat de grond nog niet fosfaatverzadigd is geraakt (N.B. De verzadigingsgraad is na 20 jaar nog lager dan 25%). Dit verschijnsel is bij matig diep en diep ontwaterde veengronden

(ontwateringspeil 45 en 70 cm -mv) vooral een gevolg van het optreden van krimp-scheuren. Bij de ondiep ontwaterde gronden (ontwateringspeil 20 cm -mv) overheerst de ondiepe uitspoeling en afspoeling van zowel ortho-P als organisch P.

Uit het lange-termijngedrag van de fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater (Fig 2) blijkt dat ook in veengronden sprake is van een vertraagde doorbraak. Deze uitspoeling neemt na de snelle stijging in de eerste jaren minder snel toe door vastlegging van fosfaat in de ondergrond (in anorganische en organische vorm). Nadat hier evenwicht is bereikt neemt de uitspoeling weer vrij snel toe. Na ruim 200 jaar nadert de uitspoeling het fosfaatoverschot van ongeveer 35 kg P_2O_5 per ha.

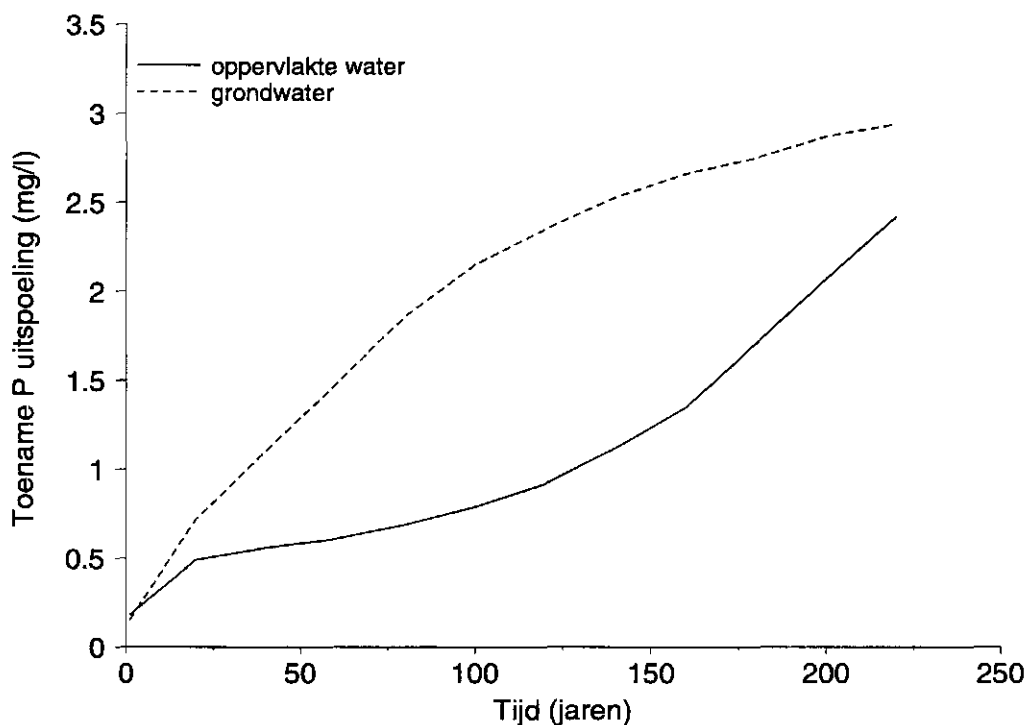


Fig. 2 Toename van fosfaatconcentratie in het grond- en oppervlaktewater als functie van de tijd

Uit Tabel 14 blijkt dat naast bemesting ook veensoort en ontwateringsdiepte invloed hebben op de uitspoeling. Daarnaast heeft ook het kleidek invloed, via het fosfaatbindend vermogen en het fysisch gedrag (niet getoond in Tabel). De effecten zijn, in de onderzochte profielen, iets kleiner dan die van de bemesting. Bij een veebezetting van 2,5 g.v.e per ha is het effect van de veensoort op de extra uitspoeling door bemesting (bemestingsverliezen) 1 à 3 kg P_2O_5 per ha en het effect van de ontwateringsdiepte 1 à 2 kg P_2O_5 per ha. Het verschil in bemestingsniveau geeft een effect van 2 à 4 kg P_2O_5 per ha. Uit deze gegevens kunnen nog geen eenduidige verbanden tussen de uitspoeling en de veensoort of het fosfaatoverschot worden afgeleid door verschillen in kwel, profielopbouw, fosfaatbindend vermogen en bodemfysische eigenschappen tussen de onderzochte profielen.

4.5 Evaluatie

In hoeverre de berekende uitspoelingsverliezen representatief zijn voor de veengronden is nog moeilijk aan te geven. Bij de berekeningen is nog geen gebruik gemaakt van de nieuwe P-module. Daardoor zou de berekende uitspoeling aan de hoge kant kunnen zijn. Daar staat tegenover dat de fosfaattoestand van de onderzochte percelen vermoedelijk laag was door het extensieve beheer of de omzetting in natuurterrein zo'n 10-20 jaar geleden. Daardoor is de berekende uitspoeling naar verwachting lager dan bij meer intensief gebruikt grasland. Ook onzekerheden in de beschrijving van de fosfaatmineralisatie (Hendriks, 1993) en het ontbreken van voldoende validatiegegevens dragen bij aan de onzekerheid in de schattingen van de uitspoeling.

Hoewel de hoogte van de uitspoeling nog onzeker is, is wel duidelijk dat de aanwezigheid van krimpscheuren en een ondiepe ontwatering tot een versnelde afvoer van meststoffen naar grond en/of oppervlaktewater leiden.

4.6 Conclusies

De belangrijkste conclusie uit deze eerste berekeningen is dat bemesting op veengronden met een kleidek vrijwel direct tot verhoogde uitspoelingsverliezen leidt. Dit wordt vooral veroorzaakt door het optreden van krimpscheuren (bij een (matig) diepe ontwatering) en direct uitspoeling (bij een ondiepe ontwatering). De uitspoelingsverliezen variëren voor de onderzochte profielen van 1 à 3 kg P_2O_5 per ha per jaar bij een veebezetting van 1,5 gve per ha. tot 4 à 8 kg P_2O_5 per ha per jaar bij 2,5 gve per ha. De fosfaattoestand van de profielen was niet bekend, maar varieert vermoedelijk van laag tot voldoende.

Verder blijkt dat de fosfaatuitspoeling in de loop der tijd verder toeneemt. Nadat evenwicht is bereikt in de ondergrond spoelt het volledige fosfaatoverschot uit. Bij een veebezetting van 2,5 gve per ha duurt dit ruim 200 jaar.

Bij de berekeningen is nog niet gebruik gemaakt van de nieuwe P-module. Naar verwachting wordt de uitspoeling daardoor momenteel overschat en is de doorbraaktermijn (veel) langer. Daarnaast is uit de veenweidestudie gebleken dat de mineralisatie van fosfaat nog niet goed valt te beschrijven en daarmee mogelijk ook de uitspoeling van organisch fosfaat. Tot slot is de representativiteit van de gegevens nog niet aan te geven omdat de uitspoeling behalve van het bemestingsniveau ook afhankelijk is van de ontwateringstoestand, het optreden van kwel, de aanwezigheid van een kleidek, de veensoort, e.d.

Het grootste effect van bemesting op de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater is te verwachten bij een ondiep ontwaterd, eutroof veenprofiel met een slecht doorlatende toplaag onder kwelomstandigheden. Het effect is groter naarmate het fosfaatbindend vermogen van de bovenste profiellagen lager is. Het fosfaatbindend vermogen van de bovenste profiellagen van de onderzochte veenpercelen is groot als gevolg van de aanwezigheid van een kleidek. Bij 40 % van de veengronden van Nederland ontbreekt

een kleidek van betekenis. Hier kan bemesting een veel groter effect op de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater betekenen dan in dit onderzoek is berekend voor de onderzoekspercelen.

5. Vergelijking met milieukundig acceptabele verliezen

Er zijn verschillende mogelijkheden om milieukundig acceptabele verliezen te definiëren omdat er verschillende criteria en kwaliteitsdoelstellingen zijn geformuleerd (Tabel 15). Naast het criterium voor fosfaatverzadigde gronden (0.1 mg.l^{-1} ortho-P) betreft dit de grenswaarde voor de oppervlaktewaterkwaliteit (0.15 mg.l^{-1} totaal P) en streefwaarden voor grondwater (in zandgronden 0.4 mg.l^{-1} totaal P en in klei- en veengronden 3.0 mg.l^{-1} totaal P). De bijbehorende bandbreedte in milieukundig acceptabele verliezen is voor zandgronden ongeveer $0,5 - 4,5 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$. Daarbij is uitgegaan van een maximaal neerslagoverschot van 500 mm per jaar. Op basis van de algemene grenswaarde voor de oppervlaktewaterkwaliteit bedraagt het milieukundig acceptabele verlies slechts ongeveer $1 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$. De spreiding rond deze waarde (Tabel 15) is afhankelijk van het neerslagoverschot.

Tabel 15 Milieukundig acceptabele fosfaatverliezen als functie van een aantal kwaliteitscriteria voor grond- en oppervlaktewater

kwaliteitscriterium	fosfaat-concentratie $\text{mg.l}^{-1} \text{ P}^{2)}$	milieukundig acceptabel verlies ¹⁾ $\text{kg.ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$
<u>zandgronden</u>		
P-verzadigde gronden	0,1	0,5 - 1,2
streefwaarde grondwater	0,4	1,8 - 4,6
<u>veengronden</u>		
streefwaarde grondwater	3,0	13 - 34
<u>algemeen</u>		
grenswaarde oppervlaktewater	0,15	0,7 - 1,7

¹⁾ bij neerslagoverschotten van respectievelijk 200 en 500 mm per jaar

²⁾ totaal P (ortho P + organisch P) met uitzondering van de cijfers voor het criterium dat gebaseerd is op de definitie van P-verzadigde gronden die betrekking hebben op ortho-P

Het berekende fosfaatverlies (Tabel 16) is voor zandgronden hoger dan het milieukundig acceptabele verlies (Tabel 15). Dit geldt vooral voor de berekeningen met de oorspronkelijke P module. Ook bij de nieuwe berekeningen is er echter nog sprake van een verschil. Bij de ondergrens voor de fosfaattoestand 'ruim voldoende' (P-Al 40) is het berekende P_2O_5 verlies nog ongeveer $15 \text{ à } 20 \text{ kg.ha}^{-1} \text{ .jr}^{-1}$. Dit is het verlies dat momenteel gemiddeld over een periode van 15 jaar uit de bouwvoor uitspoelt en pas op langere termijn in het grondwater terecht komt. (N.B. zoals eerder vermeld heeft dit verlies betrekking op een niet-fosfaatverzadigde grond).

Bij de veengronden heeft het berekende fosfaatverlies betrekking op het oppervlaktewater. In dit geval is op korte termijn sprake van een doorslag door het optreden van scheuren en macroporiën waardoor een snelle afvoer van meststoffen naar het grond- en oppervlaktewater mogelijk is. Dit verlies is eveneens hoger dan het milieukundig

acceptabel verlies, gebaseerd op de grenswaarde voor het oppervlaktewater. Dit geldt in nog veel sterkere mate voor het verlies op langere termijn (35 kg P₂O₅ per ha per jaar bij een veebezetting van 2,5 gve per ha). Wanneer het milieukundig acceptabel verlies op de streefwaarde voor grondwater zou worden gebaseerd is er daarentegen bij veengronden ook op langere termijn geen sprake van een gat tussen de landbouwkundig onvermijdbare en milieukundig acceptabele verliezen.

Tabel 16 *Berekende fosfaatverliezen naar grond- en oppervlaktewater bij zand- en veengronden*

grondsoort	fosfaat- toestand (P-AI) (mg.100 g ⁻¹)	fosfaatverliezen (kg.ha ⁻¹ .jr ⁻¹ P ₂ O ₅)			
		grondwater		oppervlaktewater	
		korte termijn	lange termijn	korte termijn	lange termijn
zand	34 - 42	-	25 - 50	-	-
	40	-	15 - 20 ¹⁾	-	-
	60	-	35 - 50 ¹⁾	-	-
veen	?	-	-	4 - 8 ²⁾³⁾	35 ²⁾³⁾

¹⁾ berekening met verbeterde P - module

²⁾ veebezetting van 2.5 gve per ha

³⁾ toename van de uitspoeling door bemesting

Literatuur

Berghs, M.E.G. en P.H. Hotsma, 1993. *Fosfaatafvoercijfers van land- en tuinbouwgewassen in Nederland, Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw en Veehouderij*. Ede

Van der Bolt, F.J.E., P. Groenendijk en H.P. Oostrom, i.v.. *Nutrientenbelasting van grond- en oppervlaktewater in de stroomgebieden van de Beerze, de Reusel en de Rosep. Simulatie van de nutriëntenhuishouding*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 306.3.

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

Hendriks, R.F.A., 1993, *Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater in veenweidegebieden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 251.

Kroes, J.G., C.W.J. Roest, P.E. Reijtema en L.J. Vocht, 1990. *De invloed van enige bemestingsscenario's op de afvoer van stikstof en water naar het oppervlaktewater in Nederland*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 55.

Kruijne, R. en O.F. Schoumans, i.v. *Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden. Modelcalibratie en -validatie bij onderzoek naar het effect van een hydrologische maatregel*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 374.4

LNV, 1993. *Notitie mest- en ammoniakbeleid derde fase*. Ministerie LNV, Den Haag.

Oenema, O. en T.A. van Dijk, 1994. *Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse Landbouw. Project verliesnormen, Deelrapport I*. Ministeries LNV, VROM, V&W, Landbouwschap en centrale landbouworganisaties.

Reijerink, J.G.A., A. Breeuwsma, 1992. *Ruimtelijk beeld van de fosfaatverzadiging in mestoverschotgebieden*. Wageningen DLO Staring Centrum, rapport 222

Reijerink, J.G.A., A. Breeuwsma, H.H. Luesink en H. Kleijer, 1993. *Rekenmodel voor de fosfaatverzadigingstoestand van mestoverschotgebieden*. Wageningen, DLO Staring Centrum, rapport 241.

Schoumans, O.F., R.W. de Waal en A. Breeuwsma, 1988. *Risicogebieden voor fosfaatuitspoeling in Zuid-Holland; bodemchemisch onderzoek naar de invloed van fosfaatbemesting en -binding in landbouwgebieden*. Wageningen, STIBOKA. rapport 1978.

Schoumans, O.F. en A. Breeuwsma, 1990. *Methodiek voor de chemische bodemschematisatie van PAWN-districten op basis van de bodemkaart 1:250000*. Wageningen, DLO-Staring Centrum. rapport 45.

Schoumans, O.F., A. Breeuwsma, A. El Bachrioui- Louwerse en R. Zwijnen, 1991. De relatie tussen de bodemvruchtbaarheidsparameters P_w - en P-Al-getal en de fosfaatverzadiging bij zandgebieden. Wageningen, DLO- Staring Centrum. rapport 112

Schoumans, O.F., 1995a. *Beschrijving en validatie van de procesformulering van de abiotische fosfaatreacties in kalkloze zandgronden*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport ..

Schoumans, O.F., 1995b. *Analyse van de invloed van evenwichtsbemesting op de fosfaattoestand van de bodem bij het proefbedrijf De Marke*. Wageningen DLO-Staring Centrum, rapport ...

Schoumans, O.F. en R. Kruijne, 1995a. *Voorspelling van de fosfaatuitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater in het stroomgebied van de Schuitenbeek*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport...

Schoumans, O.F. en R. Kruijne, 1995b. *Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden. Eindrapport*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 374

Sluijs, P. van der, 1990. *Grondwatertrappen*. In: 'Bodemkunde van Nederland. Deel 1 Algemene Bodemkunde' Eds. W.P. Locher en H. de Bakker. Malmberg Den Bosch, tweede druk, 167-180

Visschers, R., i.v. *Steekproef in kaarteenheden met Gt III van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport ...

Wesseling, J.G, 1991. *Meerjarige simulatie van grondwaterstroming voor verschillende bodemprofielen, grondwatertrappen en gewassen met het model SWATRE*. Wageningen, DLO-Staring Centrum, rapport 152, p. 63.

Working Group SWAP. 1994. *SWAP 1993: Input Instructions manual*. DLO-Staring Centrum, Wageningen. p. 66.

Wösten, J.H.M., G.J. Veerman en J. Stolte, 1994. *Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks*. Vernieuwde uitgave, Wageningen, DLO-Staring Centrum, Technisch Document 18

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

Aanhangsel 1

Graslandgebruik

De parameters voor het graslandgebruik en de melkveehouderij zijn ontleend aan berekeningen met de programma's 'Normen voor de Voederveorziening (NVV) en Bedrijfs Begrotingen Programma (BBPR) van het Proefstation voor de Rundveehouderij, Paardenhouderij en Schapenhouderij (PR). Parameters voor de akkerbouw zijn ontleend aan Kwantitatieve Informatie (KWIN) 1993-1994 van IKC-agv en PAGV, en 'Fosfaatafvoercijfers van land en tuinbouwgewassen in Nederland' van Berghs en Hotsma (IKC-AT-MKT, 1993).

Grasland algemeen

Voor grasland/melkveehouderij zijn drie situaties onderscheiden, namelijk een extensief, een gemiddeld en een intensief bedrijf. Aangenomen is dat het pure graslandbedrijven zijn; ten behoeve van de voederveorziening wordt op het gemiddelde en intensieve bedrijf mais aangekocht. Op het extensieve bedrijf is sprake van een gering ruwvoeroverschot. Voor alle bedrijfsituaties zijn de volgende parameters uniform:

- Melkproductie is circa 7000 liter per melkkoe per jaar
- Vervanging van melkvee is gesteld op 25%, het percentage jongvee op 35% per melkkoe
- Een melkkoe met 7000 liter is equivalent aan 1,3 grootvee eenheden (GVE)
- Een pink is 0,5 GVE en een kalf 0,3 GVE; dus respectievelijk $0,35 \cdot 0,5 = 0,175$ en $0,35 \cdot 0,3 = 0,105$ GVE per melkkoe.
- Het P-gehalte in gras is 4,0 g per kg
- Het P-gehalte in melk is 0,9 g per kg
- Het P-gehalte in kalf is 7,4 g per kg
- Mestproductie per koe per jaar: $[1 + \{(melkgift - 6000) / 1000\} \cdot 0,1] \cdot 52 \cdot 1,04 \cdot 365 = 21700$ kg mest met 10% ds bij 7000 liter melk per koe per jaar
- Mestproductie per pink per jaar: 9500 kg mest met 10% ds
- Mestproductie per kalf per jaar: 3800 kg mest met 10% ds
- Samenstelling dunne rundermest (g per kg): 100 ds; 4,4 N; 1,8 P₂O₅; 5,5 K₂O
- Werkingscoëfficiënten dunne rundermest (%): N=50; P₂O₅=100; K₂O=100
- De op het bedrijf aanwezige mest dient ook als P- meststof. Indien de hoeveelheid op het bedrijf groter is dan de hoeveelheid die nodig is om een opgelegd P-overschot te creëren, dan wordt mest afgevoerd van het bedrijf. Indien de hoeveelheid niet voldoende is dan wordt mono-ammoniumfosfaat (eventueel triple-superfosfaat) aangevoerd.
- het grasland wordt één keer per 8 jaar gefreesd en opnieuw ingezaaid.

1. Bodemgebruik en bemesting

1. Grasland

1.1. zandgrond: extensief bedrijf

- 8000 liter quotum per ha,
- 1,2 mk + jongvee = 1,8 GVE per ha,
- 's zomers dag en nacht weiden
- N-bemesting: 160 kg per ha
- maaipcentage: 166%
- totale P-onttrekking door het gewas: 30,8 kg P of 68,7 kg P₂O₅ per ha
- P-uitscheiding in de wei: 10,4 kg P of 23,2 kg P₂O₅ per ha
- hoeveelheid dunne mest: 21,8 ton per ha met zodemester op 15 maart (dag 74)
- voor Animo wordt aangenomen dat de mest homogeen in de bovenste 5 cm wordt verdeeld
- toediening N uit KAS [$160 - (21,8 * 4,4 * 0,5) = 110$ kg per ha]: 40 kg op dag 135, 40 kg op dag 165 en 30 kg op dag 200.
- er is een klein ruwvoeroverschot van 1,35 ton ds per ha, overeenkomend met circa 12 kg P₂O₅ per ha, dat wordt verkocht (afgevoerd van het bedrijf).
- P-aanvoer via dunne rundermest is dus $21,8 * 1,8 = 39,2$ kg P₂O₅ per ha, en de totale aanvoer via dunne rundermest en mestflatten $39,2 + 23,2 = 62,4$ kg P₂O₅ per ha
- Omdat de onttrekking 68,7 kg is, is er dus een negatief P-surplus van 6,3 kg P₂O₅ per ha.

1.2. zandgrond gemiddeld bedrijf

- 13000 liter quotum per ha,
- 1,9 mk + jongvee = 2,9 GVE per ha,
- 's zomers koeien 's nachts binnen
- N-bemesting: 400 kg per ha
- maaipcentage: 175%
- totale P-onttrekking door het gewas: 35,4 kg P of 78,9 kg P₂O₅ per ha
- P-uitscheiding in de wei: 10,5 kg P of 23,4 kg P₂O₅ per ha
- hoeveelheid dunne mest in de put: 41,8 ton per ha
- toediening dunne mest: 21,8 ton per ha met zodebemester op 15 maart (dag 74) en nog een keer 20 ton per ha op dag 135 op de helft van het oppervlak en op dag 165 op de andere helft.
- voor Animo wordt aangenomen dat de mest homogeen in de bovenste 5 cm wordt verdeeld.
- toediening N uit KAS [$400 - 41,8 * 4,4 * 0,5 = 310$ kg per ha]: 60 kg op dag 75, 40 kg op dag 120, 40 kg op dag 145, 60 kg op dag 170, 60 kg op dag 200 en 50 kg op dag 240.
- op dit bedrijf is de P-aanvoer via dunne rundermest dus $41,8 * 1,8 = 75,2$ kg P₂O₅ per ha, en de totale aanvoer via dunne rundermest en mestflatten $75,2 + 23,4 = 98,6$ kg P₂O₅ per ha.
- Omdat de onttrekking 78,9 kg is, is er dus een positief P-surplus van 19,7 kg P₂O₅ per ha. Om dit P-overschot tot 0 te reduceren zal dus $19,7 / 1,8 = 11$ ton per ha aan mest moeten worden afgevoerd. Dat zou in dit voorbeeld kunnen door vóór de derde snede geen mest meer toe te dienen.

1.3. intensief bedrijf

- 18000 liter quotum per ha
- 2,6 mk + jongvee is 4,1 GVE per ha
- 's zomers koeien 's nachts binnen

- N-bemesting: 400 kg per ha
 - maaipercantage: 145%
 - totale P-onttrekking door het gewas: 39,1 kg P of 87,2 kg P₂O₅ per ha
 - P-uitscheiding in de wei: 14,6 kg P of 32,6 kg P₂O₅ per ha
 - hoeveelheid dunne mest in de put: 60 ton per ha
 - toediening dunne mest: 20 ton per ha met zodebemester op 15 maart (dag 74), 20 ton per ha op dag 145 en 20 ton per ha op dag 175.
 - voor Animo wordt aangenomen dat de mest homogeen in de bovenste 5 cm wordt verdeeld.
 - toediening N uit KAS [$400 - (60 \cdot 4,4 \cdot 0,5) = 270$ kg per ha]: 60 kg op dag 75, 40 kg op dag 120, 40 kg op dag 145, 30 kg op dag 170, 50 kg op dag 200 en 50 kg op dag 240.
 - op dit bedrijf is de P-aanvoer via dunne rundermest dus $60 \cdot 1,8 = 108$ kg P₂O₅ per ha, en totale aanvoer via dunne rundermest en mestflatten $108 + 32,6 = 140,6$ kg P₂O₅ per ha.
- Omdat de onttrekking 87,2 kg is, is er dus een positief P-surplus van 53,4 kg P₂O₅ per ha. Om dit P-overschot tot 0 te reduceren zal dus $53,4 / 1,8 = 29,7$ ton per ha aan mest moeten worden afgevoerd. Dat zou in dit voorbeeld kunnen door vóór de derde snede geen mest meer toe te dienen en voor de tweede snede circa 10 in plaats van 20 ton mest per ha toe te dienen.