

Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas

Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaat- onttrekking door een gewas

F.P. Sival
W.J. Chardon

Alterra-rapport 1090

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Sival, F.P., W.J. Chardon. 2004. *Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1090. 50 blz.; 5 fig.; 36 tab.; 36 ref.

Als gevolg van de realisering van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) komen landbouwgronden beschikbaar voor natuurontwikkeling. De kans is dan ook groot dat zonder verdere maatregelen alleen ruigtesoorten terug zullen komen. Naast stikstof heeft ook fosfaat zich opgehoopt in de bodem. In de bodem is het gedrag van fosfaat echter anders dan van stikstof. De maatregelen om stikstof te verlagen zijn niet altijd effectief om ook fosfaat te verlagen. Een literatuur- en gegevensonderzoek is uitgevoerd om de effectiviteit van gewasteelt met een aangepaste bemesting vast te stellen om fosfaat en stikstof in de bodem te verlagen. De economisch meest belangrijke gewassen in Noord-Brabant en Limburg waren in de jaren 2000 tot 2002: blijvend gras, snijmaïs, tijdelijk grasland, granen en aardappelen. De fosfaatonttrekking van die gewassen is in volgorde van potentiële P-afvoer (bij afvoer van gewasresten en bij voldoende voorziening met N): gras (40) > consumptieaardappel (35-40) > snijmaïs (25-30) > granen (20-25 kg P/ha). Een gewas heeft een optimale onttrekking als de productie hoog blijft, dus bij optimale bemesting; N-bemesting is daarvoor een bepalende factor. Akkerbouwgewassen kunnen de fosfaatbeschikbaarheid echter maar tot een Pw van 30 mg P₂O₅ L⁻¹ grond verlagen, omdat beneden dat niveau de groei te sterk wordt geremd. Om lagere waarden lager te bereiken, en een niveau dat geschikt is voor vegetaties van voedselarme omstandigheden (Pw ca. 3-4 mg P₂O₅ L⁻¹ grond), is gras het meest efficiënt.

Trefwoorden: Natuurontwikkeling, fosfaat, natuurbeheer, uitmijnen, EHS, programmabeheer

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €13,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1090. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

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 Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Probleemstelling	13
1.2 Voorafgaand onderzoek	14
1.3 Doelstelling	15
1.4 Aanpak	15
1.5 Leeswijzer	16
2 Economisch belang van verschillende akkerbouw- en groenteteeltgewassen en gras in Noord-Brabant en Limburg	17
3 Fosfaatonttrekking door verschillende gewassen	19
3.1 Grasland	19
3.1.1 Onttrekking van fosfaat bij nul-P bemesting	19
3.1.2 Onttrekking van fosfaat bij P-bemesting	26
3.2 Akkerbouw en vollegrondsgroente	29
3.2.1 Onttrekking van fosfaat bij nul-P bemesting	29
3.2.2 Onttrekking van fosfaat bij P bemesting	32
4 Fosfaatbeschikbaarheid in de bodem	35
4.1 Grasland	35
4.1.1 Afname van fosfaatbeschikbaarheid in de bodem bij nul-P bemesting	35
4.1.2 Afname van fosfaat in de bodem bij P bemesting	37
4.2 Akkerbouw en vollegronds groente	37
4.2.1 Afname van fosfaat in de bodem bij nul-P bemesting	37
5 Conclusies	41
Literatuur	43
Bijlage A Toelichting bij economisch belang van gewassen.	47
Bijlage B Oppervlakte (ha) van de akkerbouwgewassen en grasland in provincies Noord-Brabant en Limburg	49

Woord vooraf

Als gevolg van de realisering van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en de Reconstructie komen landbouwgronden beschikbaar voor natuurontwikkeling. In Nederland bestaan terrestrische natuurgebieden uit grote en kleine natuurgebieden die ruimtelijk van elkaar gescheiden zijn. Om meer samenhang tussen deze terreinen te realiseren is begin jaren negentig in het Natuurbeleidsplan het beleid voor de EHS ontwikkeld (LNV, 1990). Een schatting van het totale oppervlakte aan bestaande natuur is 450.000 ha en van nieuwe natuur begrensd in de EHS is 151.500 ha (Natuurbalans, 2003). De provincies en het Rijk hebben de intentie om vóór 2005 de begrenzing vastgesteld te hebben van de EHS. In 2018 moet de EHS volledig zijn ingericht, moeten de vereiste milieucondities zijn gerealiseerd, en moet het duurzame beheer van deze gebieden en soorten zijn gewaarborgd (LNV, 2000).

In verband met het nemen van beleidsmaatregelen op het gebied van natuurontwikkeling zijn de Provincies probleemhouder, en winnen advies in bij de Dienst Landelijk Gebied (DLG). Deze Dienst is, als procesbegeleider van landinrichtingsvraagstukken, tevens een belangrijke intermediair tussen natuurbeheerders, agrariërs en waterkwaliteitsbeheerders. Daarnaast heeft DLG een controlerende taak binnen de beheerssubsidieregeling Programma Beheer. Belanghebbenden zijn ook de toekomstige natuurterreinbeheerders Staatsbosbeheer, Provinciale Landschappen en Natuurmonumenten. Zij zijn als grondgebruikers vooral geïnteresseerd in de vraag hoe condities gecreëerd kunnen worden voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden.

Voor het gebruik van gegevens van voornamelijk langlopende experimenten en stimulerende discussies bedanken wij Jan Rinze van der Schoot (PPO-AGV), Jantine van Middelkoop (PV), Phillip Ehlert (Alterra) en Peter Dekker (PPO-AGV).

Het onderzoek is gefinancierd door de DWK programma's 382: Regionale identiteit en natuurontwikkeling en 398 Mest en Mineralen, Dienst Landelijk Gebied en LNV-Zuid. Arno Betting (LNV-Zuid) en Walter Schoenmaker (DLG) waren ons aanspreekpunt tijdens het project.

Samenvatting

Kennis over de effectiviteit van verschrallingsmethoden voor het verlagen van de beschikbaarheid van fosfaat, en dus voor de haalbaarheid van natuurdoeltypen is van belang voor natuurterreinbeheerders. De doelstelling van het onderzoek is het bepalen van de effectiviteit van fosfaatopname en uitputting door gewasteelt met bemesting van stikstof en kalium maar zonder fosfaatbemesting, op verschillende grondsoorten en onder uiteenlopende hydrologische condities.

Door middel van literatuur- en gegevensonderzoek van lopende projecten is voor verschillende gewassen een overzicht gemaakt van de onttrekking van fosfaat. De bronnen van informatie waar gebruik van is gemaakt zijn literatuur en gegevens van langlopende experimenten van voornamelijk proefboerderijen.

De keuze van gewassen is bepaald door de economische relevantie voor Noord-Brabant en Limburg. Veel van die gewassen zijn niet alleen economisch voor Zuidoost Nederland. In 2002 zijn de cultuurgronden het meest in gebruik voor blijvend grasland (ca. 27%), snijmaïs (voor Noord-Brabant en Limburg resp. 24 en 15%), granen (8 en 13,5 %) en aardappelen (7,5 en 9%).

De economisch meest belangrijke gewassen in Noord-Brabant (NB) en Limburg (L) waren in de periode 2000-2002: blijvend gras (ca. 27%, NB en L), snijmaïs, (NB 24% en L 15%), tijdelijk grasland (NB 15% en L 9,5%), granen (NB 8% en L 13,5%) en aardappelen (NB 7,5% en L 9%). Het totale areaal grasland was: NB 42% en L 37%.

Door gras wordt onder praktijkomstandigheden bij maaien en afvoeren maximaal 50 kg P/ha.jaar opgenomen, onder voorwaarde dat de voorziening van N voldoende is. In plaats van kunstmest-N kan ook Witte klaver worden ingezaaid, maar in dat geval moet de voorziening van K voldoende hoog zijn. In geval van droogte kan de groei van Witte klaver echter sterk worden geremd, en daarmee die van gras wanneer dat voor N van de Witte klaver afhankelijk is.

Van de akkerbouw- en vollegronds groentegewassen kan voor witte kool en spruitkool de P-afvoer het hoogst zijn (≥ 40 kg P/ha.jaar), maar voor beide gewassen geldt dat dit alleen het geval is wanneer ook de oogstresten worden afgevoerd; gebeurt dit niet dan halveert de afvoer van P. Voor andere gewassen die veel P afvoeren (> 35 kg P/ha.jaar) is dit in mindere mate het geval (consumptieaardappel, hennep, winterpeen en waspeen). Vooral op zandgronden kan de afvoer van gewasresten ook van belang zijn voor het tegengaan van nitraatuitspoeling.

Voor de bovengenoemde belangrijkste gewassen die in Noord-Brabant en Limburg worden verbouwd is de volgorde van potentiële P-afvoer (bij afvoer van gewasresten en bij voldoende voorziening met N):

gras (40) > consumptieaardappel (35-40) > snijmaïs (25-30) > granen (20-25 kg P).

Slechts twee studies zijn uitgevoerd naar de fosfaatopname van verschillende granen.

De productie van rogge halveerde na stopzetten van bemesting, dit onttrok 10 kg P/ha; tarwe onttrok slechts 9 kg/ha. Bij bemesting onttrekken winterrogge en zomergerst 15-20 kg/ha, wintertarwe, zomertarwe en triticale 20-25 kg/ha. Geen informatie is gevonden over de fosfaatopname van wintergerst.

Koolzaad is een gewas dat verbouwd wordt om bio-energie te winnen. Bij geen bemesting onttrekt koolzaad 12 kg P/ha, bij bemesting 10-15 kg/ha.

Bij bodemcondities waarbij de Pw hoger is dan 30 mg P₂O₅ L⁻¹ grond is de fosfaat-afvoer of -opname door akkerbouw- of vollegrondsgroentegewassen onafhankelijk van de P-bemesting en de beschikbaarheid van P in de bodem. Een gewas heeft een optimale onttrekking als de productie hoog blijft, dus in de buurt komt van de productie bij optimale bemesting; N-bemesting is daarvoor een bepalende factor. De bodemconditie en P-bemesting zijn dus minder belangrijk dan N- en K-bemesting. Is de uitgangssituatie van de bodem lager dan 30 mg P₂O₅ L⁻¹ grond voor Pw dan wordt het moeilijk om dat verder te verlagen. Er kan niet alleen volstaan worden met een N-bemesting omdat dan de kans bestaat dat K-tekort zal optreden; naast N- is dus ook K-bemesting noodzakelijk. Voor een aantal soorten en vegetaties die kenmerkend zijn voor voedselarme omstandigheden is een Pw voorgesteld die lager moet zijn dan ca. 3-4 mg P₂O₅ L⁻¹ grond (Sival e.a., 2004). In een potexperiment werd aangetoond dat gras wel de mogelijkheid heeft om de Pw te verlagen tot onder 30 mg P₂O₅ L⁻¹.

Opgemerkt moet worden dat het alleen voor gras mogelijk is om dit langdurig achtereen op hetzelfde perceel te verbouwen, voor de overige gewassen is vruchtwisseling vrijwel altijd noodzakelijk. Voor maïs geldt dat dit weinig organische stof in de bodem achterlaat en dus op dit punt verschrallend werkt, en aardappelen mogen slechts eenmaal per 4 jaar op hetzelfde perceel worden verbouwd i.v.m. aardappel-moeheid. Per rotatie zal de P-afvoer moeten worden berekend om na te gaan welke rotatie tot de snelste afvoer van P leidt.

Resultaten van potexperimenten kunnen sterk verschillen van veldproeven: in een potproef is vrijwel altijd de vocht- en lichtvoorziening optimaal, en hierin behaalde resultaten kunnen als een (theoretisch) maximum worden gezien.

Er kunnen geen algemene uitspraken worden gedaan over de vraag hoe lang het duurt voordat de fosfaat- en kaliumbeschikbaarheid in de bodem afnemen na het stopzetten van P bemesting. De snelheid van afname hangt vooral af van de initiële toestand, de hoeveelheid P en K die met het gewas wordt afgevoerd, de grootte van de minder goed beschikbare pool en de snelheid van vrijkomen vanuit deze pool.

De keuze van een gewas kan ook bepaald worden door andere randvoorwaarden, zoals een eenvoudige teeltwijze, en een (zeer) beperkte inzet van meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen, gewasverzorging of arbeid. Weinig intensieve gewassen zijn gras en granen.

De beschikbare hoeveelheid fosfaat (Pw en P-Al) kan niet alleen worden verlaagd door fosfaatopname maar ook door fosfaatfixatie als gevolg van de aanwezigheid van ijzer of aluminium in de bodem. In het laatste geval vermindert de totale hoeveelheid echter niet, en het fosfaat kan eventueel weer beschikbaar worden.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

Natuurontwikkeling vindt op dit moment vooral plaats bij de realisering van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en in de zgn. Reconstructiegebieden waar een ruimtelijke herinrichting plaatsvindt met als doel de nadelige invloed te verminderen van de intensieve dierlijke productie op natuurgebieden. Een te hoge beschikbaarheid van fosfaat in de bodem kan problemen opleveren bij het omzetten van voormalige landbouwgrond in natuurterrein. Dit is vooral het geval wanneer het gewenste natuurdoel gekenmerkt wordt door een lage biomassa-productie en een grote soortenrijkdom (McCrea e.a., 2001; Gilbert e.a., 2003). Voor een aantal soorten voor voedselarme omstandigheden is een Pw lager dan 5 mg P₂O₅ / L grond nodig (Sival e.a., 2004). Er bestaat een groot verschil tussen de bodemvruchtbaarheid van landbouwgrond en die van soortenrijke graslanden (Gough & Marrs 1990a); omzetting van landbouwgrond naar natuurterrein maakt het dus vrijwel altijd noodzakelijk om de bodemvruchtbaarheid te verlagen. Tevens kan een hoge beschikbaarheid van P leiden tot uitspoeling van P uit landbouwgronden; een verlaging ervan vermindert het risico op uitspoeling.

Om de nadelige invloed van een hoge rijkdom aan nutriënten (waaronder fosfaat) op de kansen voor natuurontwikkeling te verminderen wordt in bijna alle situaties inrichtings- en beheersmaatregelen zoals afgraven met maaien en begrazen toegepast (Sival & Chardon, 2002). Verschraling van de bodem is te bereiken door toepassing van verschillende maatregelen. De tijd die nodig is voor het verschralen hangt sterk af van de uitgangssituatie m.b.t. het voormalige landgebruik en de bemestingsgeschiedenis, de grondsoort (zand, klei of veen) en het vochtgehalte van de bodem. Welke maatregel het meest effectief is ten aanzien van het verlagen van de fosfaatbeschikbaarheid, binnen een redelijke tijd te realiseren is en binnen het budget van een natuurbeheerder past, is nog niet duidelijk.

Bij afgraven en ontgronden kunnen een aantal kanttekeningen worden gemaakt. Een te hoge beschikbaarheid van fosfaat kan tot diep in de bodem en soms tot aan het grondwater voorkomen, waardoor afgraven soms onmogelijk wordt (Sival e.a. 2004). Daarnaast is afgraven erg kostbaar, de verwijderde grond is vaak verontreinigd en niet meer te hergebruiken, en bij ontgroning wordt de zaadvoorraad afgevoerd. Afgraven heeft als risico dat een te dunne bodemlaag wordt verwijderd en dat binnen korte tijd de vegetatie verruigt. In dat geval is de kostbare operatie van afgraven weinig zinvol geweest. In veel gevallen wordt via verschralen (maaien en afvoeren van biomassa) getracht een voldoende lage beschikbaarheid van fosfaat te bereiken; dit kan echter mislukken doordat de beginvoorraad in de bodem te hoog is. In dat geval kan jarenlang een beheer gevoerd worden met nauwelijks kans op resultaat, waardoor een grote vertraging optreedt in het proces van natuurontwikkeling.

Vooronderzoek gecombineerd met een overgangsbeheer wordt daarom aanbevolen.

Een alternatieve maatregel om de voedingsvoorraad te verlagen is uitmijnen: gewas-teelt met een aangepaste bemesting. Uit onderzoek naar de teelt van gras zonder P- maar met N- en K-bemesting is gebleken dat zonder groeireductie de bodem armer wordt aan fosfaat, en dat vooral de direct beschikbare fractie snel kan afnemen (Koopmans e.a., 2004). Mogelijk zijn andere gewassen nog effectiever in het uitputten of verlagen van de beschikbaarheid van P in de bodem. Op voormalige akkers zijn experimenten uitgevoerd met granen zoals zomer en wintergerst, rogge, lijnzaad, aardappels, maïs en tabak (McCrea e.a., 2001; Snow & Marrs, 1996; Marrs e.a., 1998). Ten behoeve van verschraling werd op graslanden maaibeheer en verschillende begrazingsintensiteit gecombineerd met bemesting van N, P en K (Smith e.a., 2000; Mountford e.a., 1993; Tallowin e.a., 1998; Tallowin e.a., 1990; Oomes & Mooi, 1981; van der Woude e.a., 1994).

Voordelen van uitmijnen met een gewas zijn dat de bodem veel minder wordt verstoord, de methode veel goedkoper is dan afgraven, en dat er mogelijkheden zijn voor een win-win situatie: zowel economisch, recreatief als m.b.t. biodiversiteit. Het inzaaien van o.a. gerst of rogge is nu al gangbaar bij natuurorganisaties; in dit onderzoek willen we hierop aansluiten en de effectiviteit van verschillende economisch rendabele en cultuurhistorisch belangrijke gewassen hierin betrekken.

1.2 Voorafgaand onderzoek

In 2001 is een verkennend onderzoek uitgevoerd door middel van enquêtes, een workshop en aanvullend literatuuronderzoek (Sival & Chardon, 2002). Een hoge beschikbaarheid van P in de bodem werd door vrijwel alle geraadpleegde deskundigen gezien als een probleem voor natuurontwikkeling. In meerdere studies is beschreven dat de beschikbaarheid van P in de bodem een sleutelfactor is voor de soortendiversiteit en drogestof-productie van graslanden. Verschraling van de bodem is te bereiken door toepassing van verschillende maatregelen. De tijd die nodig is voor het verschralen hangt sterk af van de uitgangssituatie m.b.t. het voormalige landgebruik en de bemestingsgeschiedenis, de grondsoort (zand, klei of veen) en het vochtgehalte van de bodem. Welke maatregel het meest effectief is ten aanzien van het verlagen van de P-beschikbaarheid, binnen een redelijke tijd te realiseren is en binnen het budget van een natuurbeheerder past, is nog niet duidelijk.

Vanaf 2002 is aanvullend op het verkennende onderzoek een evaluatie uitgevoerd van verschillende inrichtings- en beheersmaatregelen en het bepalen van grenswaarden voor de beschikbaarheid van fosfaat voor verschillende natuurdoeltypen op zandgronden (Sival et al., 2004). Hiervoor zijn 24 natuurterreinen geselecteerd op zandgronden in Noord-Brabant en Limburg. De onderzochte maatregelen zijn de meest gangbare: 1) afgraven in combinatie met maaien en afvoeren, 2) afgraven in combinatie met begrazen, 3) maaien en afvoeren, 4) begrazen. Per maatregel in combinatie zijn drie natuurterreinen gekozen die door de beheerder als succesvol zijn aangeduid, en drie niet-succesvolle. Succesvol zijn de terreinen waar de doelvegetatie voorkomt of een groot aantal soorten die kenmerkend zijn voor voedselarme standplaatsen.

De effectiviteit van verschrallingsmaatregelen voor natuurontwikkeling werd enerzijds afgeleid uit de mate van realisering van het gewenste natuurdoeltype uitgedrukt in de biomassaproductie, het aantal soorten, het aantal voedselmijdende soorten, het aantal doelsoorten per vegetatietypen voor voedselarme standplaatsen, en anderzijds uit de aanwezigheid van niet gewenste ruigtesoorten zoals Pitrus, Gestreepte witbol, Gewoon struisgras, Akkerdistel, Witte klaver en Engels raaigras. De opgenomen voedingsstoffen en de verhouding tussen opgenomen stikstof, fosfor en kalium werden als laatste besproken. De verschrallingsmaatregelen afgraven/maaien en maaien gaven de meeste doelsoorten uit de doelvegetatie natte heiden (*Ericion tetralicis*), kleine zeggen (*Caricion nigrae*), voedselarme graslanden (*Junco-Molinion* en het *Nardo-Galion saxatilis*). In veel mindere mate kwamen soorten voor van droge heide (*Calluno-Genistion pilosae*), voedselarm grasland (*Thero-Airion*) of van veen-vegetatie (*Hydrocotylo-Baldellion*). Begrazen leverde slechts een enkele doelsoort op.

De maatregel uitmijnen was niet betrokken in het onderzoek, doordat er geen locaties werden gevonden waar deze maatregel is toegepast. De successen van maaien met afvoeren gaven echter wel aan dat uitmijnen succesvol is.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is het bepalen van de effectiviteit van fosfaat opname en uitputting door gewasteelt met stikstof en kalium maar zonder fosfaatbemesting op verschillende grondsoorten en onder uiteenlopende hydrologische condities.

Dit overzicht van gewassen met hun fosfaatonttrekking onder verschillende omstandigheden kan toegepast worden bij omvorming van landbouwgebieden voor natuur. De natuurterreinbeherende organisatie kan hiermee een gerichte keuze maken om de hoeveelheid nutriënten in het algemeen, en fosfaat in het bijzonder, effectief te verlagen. Daarnaast is de informatie nuttig voor het tegengaan van fosfaatuitspoeling vanuit landbouwgronden.

1.4 Aanpak

Voor Noord-Brabant en Limburg is een overzicht gemaakt van de economisch rendabele gewassen voor de jaren 2000, 2001 en 2002. Gegevens zijn afkomstig uit een CBS bestand. Naast literatuuronderzoek zijn ook gegevensbestanden geraadpleegd van langlopende bemestingsproeven van zowel Engels raaigras als van akkerbouwgewassen.

1.5 Leeswijzer

Het rapport begint met een hoofdstuk waarin het economische belang van de gewassen in Zuidoost Nederland is beschreven (hoofdstuk 2). De fosfaatopname door gras en verschillende akkerbouwgewassen is beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft studies waarin het verloop van de fosfaathoeveelheden in de bodem veranderen bij een teelt zonder fosfaattoediening. Hoofdstuk 3 en 4 zijn ingedeeld in akkerbouwgewassen en grasland, beide zonder en met fosfaatbemesting.

2 Economisch belang van verschillende akkerbouw- en groenteteeltgewassen en gras in Noord-Brabant en Limburg

In Noord-Brabant en Limburg is het areaal akkerbouw het grootst, gevolgd door grasland, tuinbouw, braakland en houtteelt (bijlage A en tabel 2.1). In Noord-Brabant is naar verhouding meer cultuurgrond in gebruik als grasland (38%) dan in Limburg (31%).

Tabel 2.1. Oppervlakte aan cultuurgewassen; akkerbouw, tuinbouw, bosbouw en grasland in Noord-Brabant en Limburg in ha van de jaren 2000-2002. Voor een toelichting op de verschillende gewassen zie Bijlage A (Uit: Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen 2003-10-09)

Gewas	Noord-Brabant			Limburg		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
Totaal cultuurgrond	2673	2625	2661	1083	1060	1064
Akkerbouw	1391	1374	1398	584	575	580
Totaal grasland	1044	1002	1022	350	332	335
Blijvend grasland	746	696	670	269	251	247
Tijdelijk grasland	298	306	352	82	81	87
Tuinbouw open grond	195	197	213	120	23	132
Tuinbouw onder glas	11	11	12	8	8	9
Totaal tuinbouw	207	208	225	128	131	141
Braakland	29	38	9	20	21	6
Snelgroeiend hout	2	3	7	1	1	3

De totale oppervlakte cultuurgrond en het gebruik veranderen niet sterk, daarom is gekozen voor de gegevens van 2002 voor de verdeling over de verschillende gewassen. Uit tabel 2.2 blijkt dat in 2002 de cultuurgronden het meest werden gebruikt voor blijvend grasland (ca. 27%), snijmaïs (voor Noord-Brabant en Limburg resp. 24 en 15%), granen (8 en 13,5 %) en aardappelen (7,5 en 9%).

Tabel 2.2. De oppervlakte aan akkerbouwgewassen en grasland in Noord-Brabant en in Limburg in % en ha in 2002. (Uit: Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen 2003-10-09)

Gewas	Noord-Brabant		Limburg	
	2002		2002	
	(%)	(ha)	(%)	(ha)
Granen	7,8	188	13,4	122
Peulvruchten	1,0	25	1,4	13
Handelsgewassen	0,1	4	0,1	1
Graszaad	1,3	32	0,2	2
Luzerne	0,1	2	0,0	0
Korrelmais	4,8	117	7,1	65
Corn-cob-mix	1,7	42	0,7	7
Cichorei	0,6	15	0,5	5
Hennep	0,0	1	0,0	
Uien	1,0	24	0,3	3
Overige	0,8	20	1,0	9
Aardappelen	7,5	181	8,9	81
Voederbieten	0,1	2	0,1	1
Suikerbieten	5,6	135	12,6	115
Snijmais	23,8	576	15,2	139
Blijvend grasland	27,7	670	27,1	247
Tijdelijk grasland	14,6	352	9,5	87
Totaal akkerbouw	57,8	1398	63,4	580
Totaal grasland	42,2	1022	36,6	335
TOTAAL	100	2421	100	914

3 Fosfaatonttrekking door verschillende gewassen

3.1 Grasland

3.1.1 Onttrekking van fosfaat bij nul-P bemesting

Verschraling graslanden

In het begin van de 70er jaren zijn enkele graslanden uit landbouwkundig gebruik genomen in het stroomdal van de Drentse Aa (Pegtel e.a., 1996). De bemesting is gestopt en vervolgens werd tweemaal per jaar gemaaid. Een aantal velden werd bemonsterd die 3, 7, 20 of 25 jaar uit productie waren. De bovengrondse biomassa en de gehalten aan N, P en K werden bepaald. De resultaten zijn vermeld in tabel 3.1. Het bleek dat tijdens de successie na het uit productie nemen de groei van de vegetatie in eerste instantie door N werd gelimiteerd en vervolgens door K; limitatie door P werd niet gevonden. Bij N-bemesting zou de productie dus hoog blijven en meer P onttrokken kunnen worden.

Tabel 3.1. Grasproductie (ton d.s./ha.jaar) en opname van N, P en K (kg/ha.jaar) van verschillende graslanden na stopzetting van landbouwgebruik en bemesting. Jaarlijks werd tweemaal gemaaid en afgevoerd. (Pegtel e.a., 1996).

Tijd uit landbouw (jaar)	Productie	N-opname	P-opname	K-opname
3	15,1	341	46	381
7	2,4	37	6	26
20	2,1	33	5	17
25	1,3	26	2	16

Graslandexperimenten op zware kleigrond

Gedurende acht jaar (1972-1980) werd een veldexperiment uitgevoerd met grasland op een zware kleigrond (Oomes & Mooi, 1981; Altena & Oomes, 1995, § 4.1.1). Het effect van bemesting (met N, P en/of K), het effect van het maaitijdstip (mei, mei+september of juni) en de maai-frequentie (1 of 2 keer) werden bestudeerd. Bij de start van het experiment was de drogestofproductie 10 ton/ha en werd het grasland licht bemest met 50 kg N/ha. De gemiddelde productie in juni was 4,6 ton/ha, een tweede maaibeurt leverde ongeveer 1-1,5 ton/ha extra op. Wanneer begin mei werd gemaaid dan waren de grassoorten in de meerderheid, een tweede keer maaien in september stimuleerde de groei van niet-grassen. Maaien in mei of juni resulteerde in laag-productieve soorten, alleen in augustus maaien bevorderde juist de hoog-productieve soorten.

Van 1996 tot 2000 werd een ander verschralingsexperiment uitgevoerd, eveneens met grasland op zware kleigrond (Oomes & van der Werf, 2003). Er waren drie behandelingen: geen bemesting, alleen stikstof of alleen kalk (tabel 3.2). Voordat het uit productie nemen werden de graslanden bemest met 200 kg N/ha, en hadden een productie van 10,2 ton/ha. Al na drie jaar zakte de productie naar 5 ton/ha in de

onbemeste plots. Bemesting met N verhoogde de productie en de opname van P niet, wat aangeeft dat N niet limiterend was.

Tabel 3.2. Drogestofproductie (ton/ha.jaar) en opname van P, N en K (kg/ha.jaar) bij geen, en bij lichte bemesting (Oomes & van der Werf, 2003)

Bemesting (kg/ha)	Drogestof	N-opname	P-opname	K-opname
0	4,6	71	6,3	39
N (160)	5,0	99	6,4	63
Ca (355)	5,2	87	7,7	34

Bekalken had nauwelijks effect op de opbrengst maar gaf wel een lichte toename van de P-opname, mogelijk doordat P beter beschikbaar is bij een hogere pH. Helaas is in dit experiment geen stikstof + kalium gegeven zodat het effect van stopzetten van P-bemesting en doorgaan met N+K niet bekend is. Het tijdsaspect en het verloop van de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem worden helaas niet vermeld in het artikel.

Graslandexperiment op zandgrond

Altena en Oomes (1995; Oomes, 1990) voerden een langjarig (1973 tot 1993) experiment uit met grasland op zandgrond. Hierin werd een lichte gift van 50 kg N, 8,7 kg P en 16,6 kg K per ha toegepast, met geen bemesting als controle. Behalve het effect van de bemesting werd het effect van maaitijdstip en maai frequentie gevolgd. De percelen werden een keer (juni of september) of twee keer (juni en september) per jaar gemaaid. Van één perceel werd van de bovengrond 5 cm afgegraven en werd in juni en in september gemaaid. De totale productie nam af van 12 ton/ha in de uitgangssituatie (bij een gemiddelde gift van 250 kg N/ha), naar 6 ton/ha na ongeveer 4 jaar, om vervolgens na 8 jaar te stabiliseren op 4-5 ton/ha op de onbemeste percelen (tabel 3.3). De P-opname varieerde sterk gedurende de laatste proefperiode, samenhangend met maai-beheer en de variatie in de drogestof-opbrengst. Alleen van de behandeling maaien in juni+september zijn gegevens bekend van de P-opbrengst voor vrijwel de gehele meetperiode (1974-1993); gedurende deze tijd daalde deze van 18 naar 11,5 kg/ha.

Tabel 3.3. Drogestofproductie (ton/ha.jaar) en opname van P, N en K (kg/ha.jaar) bij verschillend maai-beheer en bij plaggen. Grasland op zandgrond, een of twee keer per jaar maaien gedurende twintig jaar (Altena & Oomes, 1995)

	Opbrengst		P-opname		N-opname		K-opname	
	1973	1993	1974	1993	1973	1993	1974	1993
Juni	6,2	2,8	11(°88)	7	100	65	15(°88)	12
September	4,3	4,6	12,5(°85)	13	90	80	20(°85)	24
Juni + sept.	8,2	3,7	18	11,5	149	90	32	16
Plaggen	3,3(°78)	3,5	7,5(°84)	9	50(°78)	80	15(°84)	17

Graslandexperimenten op venige kleigrond

Op een venige kleigrond, de Veenkampen, is grasland in 1978 uit landbouwkundige productie genomen en werd de bemesting gestopt (Oomes e.a., 1998a en 1998b). Sindsdien werd het gras twee keer per jaar gemaaid. In 1985, dus na 7 jaar, werd op één perceel de grondwaterstand verhoogd. Aansluitend op de veldproef werden uit hetzelfde terrein in juni 1993 ongestoorde bodemkolommen genomen van de laag 0-30 cm. Deze werden in november 1995 geplaatst op twee constante waterniveaus van

-10 cm en -30 cm. Na 15 jaar verschralen en 8 jaar vernatten was de drogestofproductie gedaald naar waarden die vergelijkbaar zijn met die van blauwgraslanden (4,5-5,5 ton/ha). De opname van N, P en K was beduidend hoger in de veldproef dan in de mesocosmos (tabel 3.4).

Tabel 3.4. Drogestofproductie (ton/ha.jaar) en opname van N, P en K (kg/ha.jaar) in de veldproef en mesocosmos (Oomes e.a. 1998a)

	Veldproef		Mesocosmos	
	nat	droog	nat	droog
Drogestofproductie	6,9	7,3	6,2	6,5
N-opname	180	139	142	114
P-opname	22,1	20,9	16,1	17,5
K-opname	50,4	46,8	22,2	32,0

In 1992 is op één perceel 5 cm of 10 cm van de bodem afgegraven. De drogestofproductie en de nutriëntenopname werden vergeleken met het perceel dat alleen twee keer per jaar werd gemaaid (Oomes e.a., 1998b). In de veldproef was de drogestofproductie van het gemaaide perceel afgenomen van 11 ton in 1978 naar 7 ton in 1985 en deze daling zette zich voort tot aan 5 ton in 1992. Plaggen leidde alleen op de korte termijn van 3-4 jaren tot een duidelijke lagere drogestofproductie; opvallend is dat de productie daarna weer toenam tot het niveau van de niet-geplagde vegetatie (tabel 3.5). De opbrengsten aan N en P waren echter wel duidelijk lager na 10 cm plaggen.

Tabel 3.5. Drogestofproductie (ton/ha.jaar) en opname van N, P en K (kg/ha.jaar) in de veldproef na plaggen (Oomes e.a., 1998b)

	Maaien		Plaggen: 5 cm		Plaggen: 10 cm	
	1992	1995	1992	1995	1992	1995
Drogestofproductie	5	4	1	4	1	4
N-opname	140	95	40	75	40	80
P-opname	15	12	5	11	4	7
K-opname	30	22	10	28	10	21

Bemonstering voormalige landbouwgronden

Binnen het zandgebied van de provincies Noord Brabant en Limburg zijn door Sival e.a. (2004) in 2002 een 24-tal locaties geselecteerd met uiteenlopende grasland- en heidevegetatie. Het betreft natuurontwikkelingsprojecten in verschillende stadia van ontwikkeling op voormalige landbouwgronden. Als verschralingsmaatregel was toegepast: wel of niet afgraven in combinatie met begrazen of maaien + afvoeren. De drogestofproductie varieerde van 0,7 tot 8,9 ton/ha (tabel 3.6). De opname van fosfaat was vaak gerelateerd aan de productie en varieerde van 1,5 tot 29 kg P/ha.jaar.

Tabel 3.6. Drogestofproductie (ton/ha.jaar) en opname van P (kg/ha.jaar) van de 24 locaties met verschillende inrichtings- en beheersmaatregelen in 2002 (Sival e.a., 2004)

Locatie	Gebruikt als	Beheerd vanaf	Inrichting	Beheer **	d.s.	P
Boshuizerbergen	akker	1998	afgraven	maaien	2,8	2
Reuselse moeren: 4	akker	1994	afgraven	maaien	1,4	1,5
Reuselse beemden	akker	1996	afgraven	maaien	3,7	12
Labbebat	gras	1990-95	afgraven	maaien	2,3	2,5
Gastelslaag	gras	1995	afgraven	maaien	3,8	2,5
SA: Heggerdijk *	gras	1998	afgraven	begrazen,k	6,1	16
De Banen	akker	1993	afgraven	begrazen,p	6,1	9
St. Elisabethakker	akker	1998/99	afgraven	begrazen,p	0,7	2
Brobbebies	akker	1995	afgraven	begrazen,?	0,9	3
Pannehoef zuid	gras/akker	1996	afgraven	begrazen,p	3,4	5
Witrijt	gras/akker	2001	niets	maaien	4,3	13
SA: perceel 2	gras/akker	1960	niets	maaien	3,9	12
SA: zandpad	gras/akker	onbekend	niets	maaien	3,7	3
Gompel	akker	1994	niets	maaien	2,4	2,5
Leudalbeemden	gras	1975	niets	maaien	5,2	5,5
Hombergerbeemd	gras/akker	< 1980	niets	maaien	3,5	5
Langendonk	akker	1998	niets	niets	4,0	9
Langendonk	akker	1998	niets	begrazen,k	8,9	29
Cartierheide	akker	2000	niets	begrazen,p	5,6	17
Achelse kluis	akker	1995	niets	begrazen,k,s	5,6	16
SA: kruispunt	akker	onbekend	niets	begrazen,s	2,1	7,5
Groote Peel	akker	< 1990	niets	begrazen,p	2,6	7
Leudalheuvel	akker	1998	niets	begrazen,p	2,5	5
Pastoorswai	gras/akker	1983	niets	begrazen,p	2,7	3

* SA: Strijper Aa

** begrazing met: k=koeien, p=paarden, s=schape

Potexperiment fosfaatrijke zandgrond

Gedurende een periode van 140 weken (ca. 2,5 jaar) is een potexperiment uitgevoerd met Engels raaigras op zandgrond (zie ook § 4.1.1; Koopmans e.a., 2004). Een fosfaatrijke grond werd in een 5 of 10 cm dikke laag opgebracht op inert zand. In de oorspronkelijke grond was de Pw 25,5 mg P/L (58 mg P₂O₅/L grond) en P-AL 91 mg P₂O₅/ 100 g grond. Na elke oogst van het gras werd de grond bemest met N en K om groeireductie zoveel mogelijk te voorkomen. Na twee en een half jaar was de totale P opname (omgerekend) 208 kg P/ha voor de potten met 5 cm grond en 280 kg P/ha voor 10 cm grond. Voor de 5-cm potten was de P-opname in het eerste jaar ca. 120 kg/ha, en in het tweede jaar 60 kg/ha. Het gewogen gemiddelde P-gehalte van het gras nam af van 4,2 (eerste jaar) naar 1,1 mg P/kg d.s. (tweede jaar), de productie van drogestof nam toe van 39 naar 56 ton d.s./ha.jaar. Uit deze gegevens blijkt dat de omstandigheden in deze potproef vrij extreem waren, met een groot aantal sneden per jaar (ca. 12) en waarschijnlijk zeer dicht begroeide potten.

Gras/klaverproef op zandgrond

Op zandgronden bij het Hengstven (Noord Brabant) is in 2002 een pilotstudie gestart (van Eekeren, 2003). Op een gras/klavervegetatie, bestaand of ingezaaid,

werd kaliumbemesting en bekalken toegepast. De meeste gronden hadden een hoge fosfaattoestand en een P-AL groter dan 27-35 mg P₂O₅ / 100 g grond, de landbouwkundige streefwaarde. De beschikbaarheid van kalium in de bodem was echter zeer laag (ca. 25 mg K/kg (K-HCl)). De drogestofproductie nam duidelijk toe door kaliumbemesting op een perceel met bestaand gras/klaver: 4 ton/ha bij geen K-bemesting en 6,3-7 ton/ha bij K-bemesting. Op het opnieuw ingezaaide perceel werd een veel hogere drogestofproductie en opname van N, P en K gevonden dan op het bestaande perceel. Op het bestaande perceel werd een hoog P-gehalte van het gras gevonden (5,1 mg/kg), wat waarschijnlijk toegeschreven kan worden aan de zeer hoge waarde van P-AL.

Tabel 3.7. Fosfaatbeschikbaarheid (P-AL), drogestofproductie en klaveropbrengst (ton/ha.jaar), opname van N, P en K (kg/ha.jaar) en P-gehalte van de veldproef onder invloed van bemesting met kalium: geen bemesting of volgens adviesbasis. (van Eekeren, 2003)

	Bestaand		Ingezaaid	
	geen K	wel K	geen K	wel K
P-AL (mg P ₂ O ₅ /100 g)	135	145	62	64
Productie	4,1	6,8	11,9	12,2
Klaveraandeel (%)	13	38	22	18
Klaveropbrengst	0,53	2,54	2,66	2,2
N-opname	88	195	347	347
P-opname	21	31	48	49
K-opname	59	191	205	484
P-gehalte	5,1	4,6	4,0	4,0

Fosfaatonttrekking op veen- of zandgrond

De effectiviteit van fosfaatonttrekking door gras is beschreven in studies van Van Dijk (1989). Hij beschrijft meerdere eenjarige proeven waarbij drijfmest wel of niet in combinatie met kunstmest is toegediend in de jaren 1984 t/m 1987. Uitgangssituatie was zand- of veengrond met een uiteenlopend P-AL gehalte, dit varieerde van 7 tot maximaal 24 mg P₂O₅ / 100 g grond. Het totale aantal sneden was 6, met een gemiddelde productie van 11 ton drogestof per ha. Bemesting met stikstof vond in ruime mate plaats. In tabel 3.8 is de P-opname gegeven van de verschillende niet met P bemeste percelen, waarbij een verdeling is gemaakt aan de hand van het P-AL gehalte. Landbouwkundig gezien wordt een waarde van P-AL ≤ 18 als zeer laag gezien, de overige locaties (P-AL > 18) vielen in de categorie 'laag'.

Tabel 3.8. Gemiddelde P-opname (kg P/ha.jaar), drogestofproductie (ton/ha.jaar) en P-gehalte (mg/kg) van 12 graslandexperimenten waar geen drijfmest of kunstmest is toegepast (van Dijk, 1989)

P-AL	Locaties	P-opname	Drogestof	P-gehalte
≤ 12	5	34,2	11,9	2,87
12-18	4	37,7	10,9	3,46
> 18	3	40,2	11,5	3,50
Gem.		36,9	11,4	3,2

Uit de tabel blijkt dat de P-AL-waarde geen invloed had op de drogestofproductie, maar wel op het P-gehalte en de P-opbrengst.

Gras/klaverexperiment op zeeklei

Door Schils en Snijders (2004) werd gedurende 5 jaar een experiment uitgevoerd waarbij gras of gras/klaver werd bemest met verschillende hoeveelheden N. In tabel 3.9 worden de drogestofopbrengst en de P-opbrengst gegeven voor de verschillende N-niveaus, voor gras en gras/klaver (gemiddelden over 5 jaar).

Tabel 3.9. Drogestofopbrengst (ton d.s./ha.jaar) en P-opname (kg P/ha.jaar) bij grasland (G) of gras/klaver (GK) op zeeklei, bij verschillende niveaus van N-bemesting (kg/ha.jaar)

N-bemesting	Opbrengst d.s.	P-opname
G / 0	6,1	23,7
G / 200	10,9	35,3
G / 400	13,8	39,5
GK / 0	11,6	40,0
GK / 200	12,4	40,0

Uit de tabel blijkt dat toedienen van N een sterke toename gaf van de opbrengst en van de P-opname. Een gras/klaver mengsel bleek eveneens zeer effectief in het opnemen van P, een N-gift gaf geen verdere verhoging.

Grasexperiment op vier locaties

Vanaf 1997 wordt een experiment uitgevoerd waarbij verschillende hoeveelheden P worden gegeven bij 2 niveaus van N-bemesting, op 4 locaties: Zegveld (veengrond), Waiboerhoeve (kleigrond), Cranendonck en Aver-Heino (zandgrond) (Middelkoop e.a., 2004). Vanaf 2002 zijn ook plots ingericht waarbij wel N wordt toegediend (300 kg N/ha.jaar), maar geen P, op Aver-Heino is echter klaver ingezaaid en geen kunstmest-N gebruikt. In tabel 3.10 zijn vermeld de hoeveelheden P die werden opgenomen door het gras in 2002 en 2003.

Tabel 3.10. Opname van P (kg/ha.jaar) en droge-stofopbrengst (ton/ha.jaar) door gras op vier locaties (geen P-bemesting, N-bemesting 300 kg N/ha.jaar of Aver-Heino klaver), met verschil (%) tussen proefjaren 2002 en 2003. Data: van Middelkoop, Praktijkonderzoek Animal Sciences Group, Lelystad

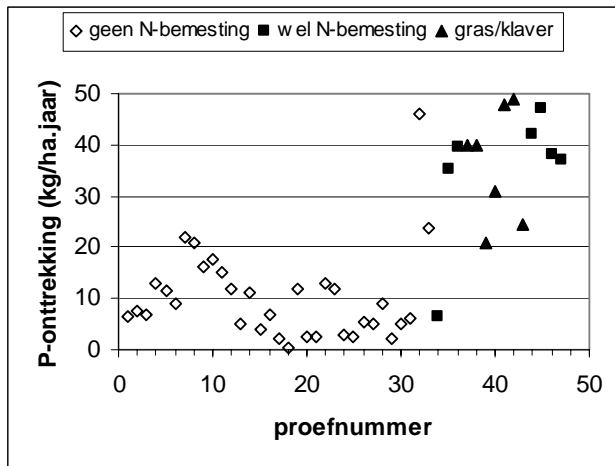
Locatie	P-opname		%	d.s.		%
	2002	2003		2002	2003	
Aver-Heino, zandgrond	24,3	19,4	-20	6,5	5,4	-17
Cranendonck, zandgrond	42,1	30,5	-28	14,7	10,6	-28
Waiboerhoeve, kleigrond	47,1	42,0	-11	13,8	12,2	-12
Zegveld, veengrond	38,1	23,7	-38	11,9	9,7	-18

Uit de gegevens blijkt dat de opname van P in 2003 (veel) lager was dan in 2002, het is niet zeker wat hiervan de oorzaak is. Uitputting van de bodemvoorraad van P lijkt op deze korte termijn niet erg waarschijnlijk; dit blijkt ook uit het feit dat de teruggang in drogestof vrijwel gelijk was aan die van de P-opname, en een afname van het P-gehalte dus niet optrad. Mogelijk speelt de droogte gedurende de zomer van 2003 een rol, het is bekend dat droogte een negatieve invloed heeft op de opbrengst van droge stof. Droogte kan ook de opneembaarheid van P negatief beïnvloeden wanneer de beschikbaarheid ervan laag is; dit effect zal groter zijn wanneer geen nieuwe P meer wordt toegediend. Op Zegveld (veengrond) nam de P-opname echter veel sterker af dan de drogestofopbrengst, de beschikbaarheid van P was hier laag in 2003. De lage drogestofopbrengst op Aver-Heino waar klaver werd

toegepast i.p.v. kunstmest-N kan mogelijk worden toegeschreven aan het feit dat de klaver (nog) niet goed is aangeslagen op dit bedrijf.

Samenvatting P-onttrekking door gras bij geen P-bemesting

In figuur 3.1 zijn de resultaten samengevat van de P-onttrekking die zijn gevonden in de eerder beschreven experimenten. Het proefnummer verwijst naar een behandeling uit een tabel, de verklaring van de nummers staat vermeld in tabel 3.11. Uit de figuur blijkt dat een hoge afvoer van P sterk gecorreleerd is aan N-bemesting of de aanwezigheid van klaver. Een uitzondering is de hoge afvoer van P zonder dat werd bemest met N (proefnummer 32, afvoer 46 kg P), maar dit betrof een perceel dat pas 3 jaar uit productie was; op een vergelijkbaar perceel dat 4 jaar langer uit productie was, was de afvoer 6 kg P. Voorwaarde voor een hoge afvoer van P met klaver is wel dat de beschikbaarheid van kalium voldoende is. Herinzaai van gras/klaver kan de afvoer sterk bevorderen, maar klaver is kwetsbaar voor langdurige droogte (van Eekeren en Iepema, 2004). Zonder N-bemesting of klaver daalt de P-afvoer met gras vaak tot 10 kg/ha.jaar of lager, en zal uitmijnen van de bodem dus (zeer) traag verlopen.



Figuur 3.1. Samenvatting fosfaatopname (kg/ha.jaar) bij verschillende experimenten en behandelingen. Het proefnummer verwijst naar tabel 3.11

Tabel 3.11. *Herkomst van datapunten in figuur 3.1. Experimenten ontvingen wel (+) of geen (-) N-bemesting of het betrof een gras/klaver experiment (gk)*

Nr	Tabel	N	Toelichting	Nr	Tabel	N	Toelichting
1	3.2	-	N-160	25	3.6	-	Gompel
2	3.2	-	CaO-gift	26	3.6	-	Leudalbeemden
3	3.3	-	1993, juni	27	3.6	-	Hombergerbeemd
4	3.3	-	1993, sept	28	3.6	-	Langendonk
5	3.3	-	1993, j+s	29	3.1	-	na 25 jr.
6	3.3	-	1993, plag	30	3.1	-	na 20 jr.
7	3.4	-	veld nat	31	3.1	-	na 7 jr.
8	3.4	-	veld droog	32	3.1	-	na 3 jr.
9	3.4	-	meso nat	33	3.9	-	G / 0
10	3.4	-	meso droog	34	3.2	+	N(160)
11	3.5	-	maai 92	35	3.9	+	G / 200
12	3.5	-	maai 95	36	3.9	+	G / 400
13	3.5	-	5 cm 92	37	3.9	gk	GK / 0
14	3.5	-	5 cm 95	38	3.9	gk	GK / 200
15	3.5	-	10 cm 92	39	3.7	gk	geen K bestaand
16	3.5	-	10 cm 95	40	3.7	gk	wel K bestaand
17	3.6	-	Boshuizerbergen	41	3.7	gk	geen K inzaai
18	3.6	-	Reuselse moeren	42	3.7	gk	wel K inzaai
19	3.6	-	Reuselse beemden	43	3.10	gk	Aver-Heino
20	3.6	-	Labbe gat	44	3.10	+	Cranendonck
21	3.6	-	Gastelslaag	45	3.10	+	Waiboerhoeve
22	3.6	-	Witrijt	46	3.10	+	Zegveld
23	3.6	-	SA: perceel 2	47	3.8	+	gemiddelde
24	3.6	-	SA: zandpad				

3.1.2 Onttrekking van fosfaat bij P-bemesting

Veldproef met gras

Het effect van stikstofbemesting werd onderzocht door Tallowin e.a. (1998) in een kleinschalige veldproef die liep van 1986 tot 1989. Per jaar werd er 0, 100 of 200 kg N/ha toegediend. P en K werden toegediend afhankelijk van de hoeveelheid P en K die was geoogst in juli, dus een compensatiehoeveelheid. Na het maaien in juli werd de hergroei opnieuw gemaaid aan het eind van de zomer. Gemiddeld over de jaren 1990-1993 was de opname van P zeer laag, maar nam sterk toe bij een P-gift van 75 kg (tabel 3.12). Dit duidt erop dat op deze locatie sprake was van P-gebrek.

Tabel 3.12. Drogestofproductie (ton/ha.jaar) en opname van N en P (kg/ha.jaar) door gras bij verschillende bemestingsniveaus (kg/ha): wel/geen N-bemesting en geen P- en K-bemesting of P/K-gift als vervanging van onttrekking; resp. 6-12 en 35-110 kg/ha. (Tallowin e.a.,1998)

N-gift	P-gift	K-gift	Opbrengst	P-opname	N-opname
0	0	0	4,2		
0	vervang	vervang	5,4	1,8	21
0	75	vervang	5,9	12,2	31
200	vervang	vervang	5,7	1,2	15
200	0	vervang	4,8	0,6	8

Grasland op zandgrond

Altena en Oomes (1995; Oomes 1990; zie ook § 3.1.1) voerden van 1973 tot 1993 een langdurig experiment uit met grasland op zandgronden, waarbij behalve geen bemesting een lichte NPK-kunstmestgift van 50 kg N, 8,7 kg P en 16,6 kg K ha⁻¹ werd toegepast. Er werd gekeken naar het effect van de bemesting en naar het effect van maaitijdstip en -frequentie. De percelen werden één keer (juni of september) of twee keer (juni en september) per jaar gemaaid. Van één perceel is van de bovengrond 5 cm afgegraven en werd in juni en in september gemaaid. De totale productie nam af van 12 ton/ha, bij een gemiddelde gift van 250 kg N/ha, naar 7,5-8 ton/ha na ongeveer 4 jaar, om vervolgens na 8 jaar te stabiliseren op ca.7 ton/ha voor de bemeste percelen. Een duidelijk effect van de bemesting werd gemeten bij zowel de N-, P- als K-opname. Een groot gedeelte van de toegediende N, P en K werd door het gras opgenomen. Na 20 jaar was de opname van P gedaald van 28 naar 17 kg/ha, N van 210 naar 140 kg/ha, en van K van 45 naar 33 kg/ha voor de bemeste percelen (tabel 3.13). De gehalten van N, P en K bleven gelijk gedurende de 20 jaar.

Tabel 3.13. Opname van P, N en K- (kg/ha.jaar) bij geen bemesting en bij een lichte bemesting (N,P,K) van gras op zandgrond (Altena & Oomes, 1995)

	P		N		K	
	1973	1993	1973	1993	1973	1993
Onbemest	18	12	150	90	33	16
Bemest	28	17	210	140	45	33
Verschil	10	5	60	50	12	17

Verschralingsexperiment op zware kleigrond

Van 1996 tot 2000 werd een verschralingsexperiment uitgevoerd met grasland op zware kleigrond (Oomes & van der Werf, 2003). Behalve geen bemesting werd in verschillende combinaties N, P en K gegeven (tabel 3.14). Voordat de graslanden uit productie werden genomen waren ze bemest met 200 kg N/ha.jaar en hadden een productie van 10,2 ton/ha. Al na drie jaar zakte de productie naar 5 ton/ha in de onbemeste plots (tabel 3.14). In de met NPK bemeste plot daalde de productie langzamer en uiteindelijk minder, naar 9 ton/ha. Bemesting hield zowel de productie als de N en P opname hoog. Bemesting met alleen N hield de productie niet hoog, wat aangeeft dat N niet limiterend was; ook gaf deze behandeling geen verhoging in de fosfaatopname.

Tabel 3.14. Drogestofproductie (ton/ha.jaar) en opname van N, P en K (kg/ha.jaar) bij geen bemesting en bij een lichte bemesting van gras op een zware kleigrond (Oomes & van der Werf, 2003)

Bemesting (kg/ha)	Drogestof	N-opname	P-opname	K-opname
0	4,6	70,9	6,3	39,3
N (160)	5,0	99,2	6,4	63,0
Ca (355)	5,2	87,2	7,7	33,6
P (21)	5,5	85,2	17,2	52,3
P (21), K (108)	7,2	121,7	19,0	153,2
N (160), P (21), K (108)	9,3	147,2	21,7	198,6

Uitsluitend bekalen had nauwelijks effect op de opbrengst maar gaf wel een lichte toename van de fosfaatopname. Helaas was in dit experiment geen behandeling opgenomen waarbij zowel stikstof als kalium werd gegeven, zodat het effect van stopzetten van fosfaatbemesting en wel toedienen van de andere meststoffen niet werd onderzocht. Ook het verloop in de tijd van de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem wordt helaas niet gepresenteerd in het artikel.

Effect fosfaatonttrekking door gras

Van Dijk (1989) beschrijft meerdere eenjarige proeven waarbij drijfmest al dan niet in combinatie met kunstmest is toegediend in de jaren 1984 t/m 1987. In het artikel gaat hij vooral in op de fosfaatwerking van drijfmest. Uitgangssituatie waren zand- en veengronden met een uiteenlopend P-AL gehalte (7 - 24 mg P₂O₅ / 100 g grond). Het totale aantal sneden was 6 met een gemiddelde productie van 13 ton drogestof per ha (tabel 3.15).

Tabel 3.15. Gemiddelde P-opname (kg P/ha.jaar), drogestofproductie (ton/ha.jaar) en P-gehalte (mg/kg) van 12 graslandexperimenten waar drijfmest en kunstmest is toegepast (van Dijk, 1989)

P-AL	Locaties	P-opname	Drogestof	P-gehalte
≤ 12	5	63,9	14,0	4,57
12-18	4	58,5	12,4	4,70
> 18	3	55,6	13,1	4,26
Gem.		60,0	13,3	4,54

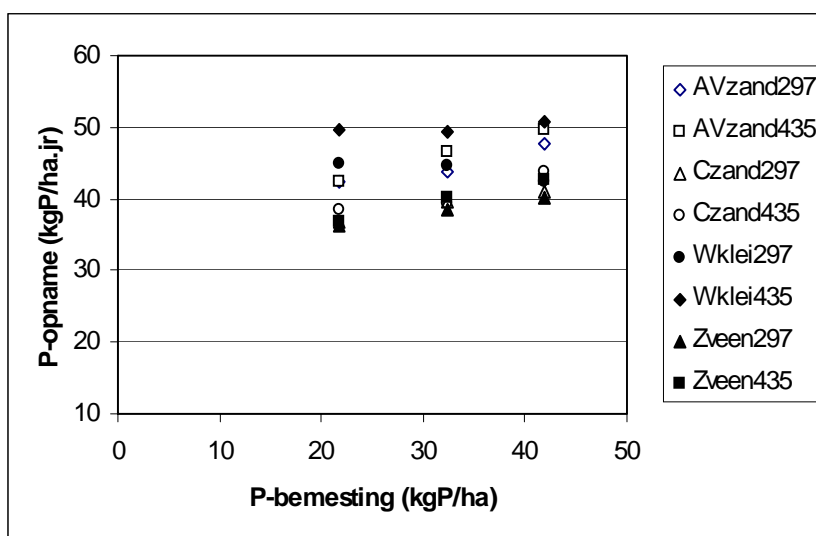
Uit de tabel blijkt dat de oorspronkelijke P-AL-waarde geen invloed had op de drogestofproductie, het P-gehalte of de P-opbrengst.

De opname van fosfaat bij geen bemesting was gemiddeld ca. 37 kg P/ha.jaar (tabel 3.8), overeenkomend met 61 % van de hoeveelheid die opgenomen werd bij een 40 ton drijfmestgift en een P-gift via kunstmest volgens de adviesbasis. De opbrengst bij geen bemesting was 86 % van die bij wel bemesten met P, en het P-gehalte van het gras 71 %. Bemesting had dus vooral een grote invloed op het P-gehalte van het gras.

Veldonderzoek 4 locaties

Een veeljarig veldonderzoek (1997-2001) naar de fosfaatopname bij verschillende bemestingshoeveelheden op grasland wordt beschreven in Middelkoop e.a. (2004). Hierin worden de resultaten van de interactie tussen N en P en de afvoer van P bij optimale bemesting beschreven. De graslanden werden afwisselend gemaaid en begraaasd, en bemest met zowel kunstmest als dierlijke mest. Uit de proeven bleek dat

de P opname door gras toenam bij oplopende fosfaat- en of stikstofbemesting (figuur 3.2).



Figuur 3.2. Fosfaatopname (kg/ha.jaar) bij verschillende hoeveelheden P-bemesting (50, 74 en 96 kg P₂O₅/ha), en 2 niveaus van N-bemesting (resp. 297 en 435 kg N/ha). Locaties: Zegveld, veengrond; Waiboerboeve, kleigrond; Cranendonck en Aver-Heino, zandgrond. Data Van Middelkoop e.a. (2004)

3.2 Akkerbouw en vollegrondsgroente

Bij het niet toedienen van fosfaatbemesting zal een gewas een lagere biomassa-productie en dus ook een lagere fosfaatafvoer hebben (van der Schoot & van Dijk, 2001; Ehlert e.a., 2003); de mate van afname verschilt per gewas. Daarnaast zijn bemesting met stikstof- en kalium eveneens van invloed op de opbrengst. Volgens van der Schoot & van Dijk (2001) blijft het fosfaatgehalte van het gewas meestal gelijk bij toenemende biomassa-productie. Deze paragraaf beschrijft voor verschillende gewassen hoe groot de fosfaatafvoer is wanneer geen fosfaatbemesting wordt toegepast.

3.2.1 Onttrekking van fosfaat bij nul-P bemesting

Bij bodemcondities waarbij de P_w hoger is dan 30 mg P₂O₅ L⁻¹ grond is de fosfaat-afvoer of -opname door akkerbouw- of vollegrondsgroentegewassen onafhankelijk van de P-bemesting en de beschikbaarheid van P in de bodem (W. van Dijk, Lelystad, pers. meded.). Een gewas heeft een optimale onttrekking als de productie hoog blijft, dus in de buurt komt van de productie bij optimale bemesting; N-bemesting is daarvoor een bepalende factor. De bodemconditie en P-bemesting zijn dus minder belangrijk dan N- en K-bemesting. Is de uitgangssituatie van de bodem lager dan 30 mg P₂O₅ L⁻¹ grond voor P_w dan wordt het moeilijk om dat verder te verlagen. Er kan niet alleen volstaan worden met een N-bemesting omdat dan de

kans bestaat dat K-tekort zal optreden; naast N- is dus ook K-bemesting noodzakelijk. Voor een aantal soorten en vegetaties van voedselarme omstandigheden is een Pw voorgesteld die lager moet zijn dan ca. 3-4 mg P₂O₅ L⁻¹ grond (Sival e.a., 2004).

Snijmaïs

In 1999 en in 2000 zijn in totaal 4 proeven aangelegd met snijmaïs op zandgrond, op de proefboerderijen Heino en Cranendonck (van der Schoot & van Dijk, 2002). Voor beide jaren was in Heino de Pw resp. 34 en 29 en in Cranendonck 43 en 35 mg P₂O₅ L⁻¹ grond. De N-gift was 0, 40, 80 of 200 kg N/ha, er werd geen P gegeven. De drogestofopbrengst van snijmaïs nam toe bij toename van de N-gift van 8 naar ca. 14 ton/ha, een verhoging met 82% (tabel 3.16); doordat het P-gehalte van de maïs daalde nam de P-afvoer minder toe: met bijna 43%. Bij alle N-giften lag de gemeten afvoer beneden het voor snijmaïs gemiddelde niveau (25-30 kg/ha.jaar, zie tabel 3.23).

Tabel 3.16. Opbrengst (ton/ha.jaar), afvoer van N en P (kg/ha) en P-gehalte (mg/kg) bij snijmaïs bij verschillende N-giften zonder P-gift (van der Schoot & van Dijk, 2002)

N-gift (kg N/ha)	Opbrengst	N-afvoer	P-afvoer	P-gehalte
0	7,9	69	16,2	4,9
40	10,0	92	18,8	4,5
80	12,5	128	21,4	4,0
200	14,4	180	23,1	3,9

Twaalf verschillende gewassen in pot- en veldexperiment

Zowel een pot- als een veldexperiment zijn uitgevoerd om te bepalen welke gewassen het efficiëntst zijn in de opname van fosfaat (Delorme e.a., 2000). Om te zorgen dat het gewas geen stikstoftekort zou hebben is bemest met 170 kg N/ha. Het gehalte aan beschikbaar P wordt geclassificeerd als 'zeer hoog'. Vijf van de twaalf soorten zijn geselecteerd voor het veldexperiment. Belangrijk voor de selectie van de gewassen waren:

- 1) hoog P-gehalte in spruit (>10 mg/kg d.s.)
- 2) hoge drogestofproductie
- 3) economische waarde

De berekende opgenomen hoeveelheid P varieerde van 11 tot 95 kg P/ha (tabel 3.17). Voor de gewassen maïs (*Zea mays*) (95 kg/ha) en Indiaanse mosterd (*Brassica juncea*; 85 kg/ha) waren deze het hoogst. De hoeveelheden zijn berekend door de opgenomen hoeveelheid P in het gewas te vermenigvuldigen met de productie onder optimale omstandigheden.

Tabel 3.17. Maximale opbrengst (ton/ha) en maximaal potentiële P opname (kg/ha) (Delorme e.a., 2000)

Gewas	Max. opbrengst	Max. potentiële P opname
Alfalfa	6,1	19
Indiase mosterd	18	85
Koolzaad	3	12
Broccoli	6,7	22
Canola	5,6	24

Collard	3	19
Maïs	19,4	95
Rode klaver	9,2	27
Russische kool	3,5	14
Sojaboon	14,9	27
Switsch grass	3,9	10
Tree kale	10,5	28

Voor het veldexperiment werden de gewassen maïs, sojaboon, Alfalfa, Indiase mosterd en koolzaad geselecteerd. Een vergelijking van het pot- met het veldexperiment liet zien dat bij in het veld geteeld gewas het P-gehalte lager was dan in het potexperiment. De hoeveelheid opgenomen fosfaat in het gewas was bij alfalfa en maïs lager, en bij Indiase mosterd en koolzaad veel hoger dan in het potexperiment (tabel 3.18). Maïs en Indiase mosterd werden de meest veelbelovende gewassen voor het uitmijnen van P-rijke grond genoemd. De geschatte maximale potentiële P-opname door maïs ligt echter veel hoger dan in de praktijk in Nederland is gemeten (gemiddeld 25-30 kg/ha.jaar, zie tabel 3.24).

Tabel 3.18. Experiment met vijf gewassen onder pot- en veldomstandigheden: P-gehalte (g/kg) en opname per plant (mg) (Delorme e.a., 2000)

Gewas	P-gehalte		P-opname per plant	
	pot	veld	pot	veld
Alfalfa	3,1	1,6	46	32
Indiase mosterd	4,6	2,6	24	108
Koolzaad	4,0	2,9	80	425
Maïs	4,9	1,3	125	93
Sojaboon	3,7	1,7	123	-

Wintertarwe

Langdurig verbouwen van wintertarwe op Broadbalk resulteerde in de uitputting van de fosfaathoeveelheid van de bodem, mits voldoende stikstof werd toegevoegd om de productie op peil te houden (tabel 3.19; Marrs, 1985).

Tabel 3.19. Opbrengst (ton/ha.jaar) en opname van P, K, Ca en Mg (kg/ha.jaar) met of zonder N-bemesting bij wintertarwe van 1970-1975 in Broadbalk (Marrs, 1985)

Bemesting	Opbrengst	P	K	Ca	Mg
- N	2,9	6,2	15	5	2,2
+N	5,4	9,0	25	10	3,3
verschil	2,5	2,8	10	5	1,1

Rogge

Op Roper's Heath zandgronden zijn meerdere experimenten uitgevoerd om de mate van verschraling door onttrekking via gewassen te kwantificeren. De zandgronden werden van 1954 tot 1979 gronden bemest en gebruikt voor landbouw. Na 1979 werd het overgedragen voor natuurontwikkeling met heide als doelvegetatie. Op de gronden werd rogge verbouwd, er werd niet bemest. De opgenomen hoeveelheid P bevond zich voor de helft in het graan (tabel 3.20). De productie van 1,7 ton/ha was laag t.o.v. de tussen 1974 en 1978 in Engeland gebruikelijke (gemiddeld 3,2 ton/ha) Door de korrels werd een hoeveelheid P en K opgenomen die resp. 7 en 3 maal zo

groot was als de hoeveelheid die werd aangevoerd via atmosferische depositie en zaden (Tabel 3.20); voor N waren de hoeveelheden vergelijkbaar. Als ook het stro werd verwijderd dan was de verhouding voor N, P en K resp. ca. 2, 14 en 13.

Tabel 3.20. De opbrengst (ton/ha.jaar) en N, P en K opname (kg/ha), en onttrekking door rogge t.o.v. aanvoer door zaad en depositie tussen haakjes (Marrs, 1985)

	Opbrengst	N	P	K
korrels	1,7	18 (x 0)	5 (x 7)	14 (x 2,9)
gehele plant		35 (x 1,8)	10 (x 14)	61 (x 12,7)

3.2.2 Onttrekking van fosfaat bij P bemesting

Snijmaïs

In 1999 en in 2000 zijn in totaal 4 proeven aangelegd met snijmaïs op zandgrond, op de proefboerderijen Heino en Cranendonck (van der Schoot & van Dijk, 2002). Voor beide jaren was in Heino de Pw resp. 34 en 29 en in Cranendonck 43 en 35 mg P₂O₅ L⁻¹ grond. De N-gift was 0, 40, 80 of 200 kg N/ha, de P-gift was 0 of 35 kg/ha. Bij toename van de N-gift nam de drogestofopbrengst van snijmaïs toe van 8 naar ca. 15 ton/ha (tabel 3.21). De opbrengst verdubbelde dus bijna, maar doordat het P-gehalte afnam bij een hogere N-gift nam de P-afvoer minder toe, met ca. 50%.

Tabel 3.21. Opbrengst (ton/ha), N- en P-afvoer (kg/ha) bij snijmaïs, bij verschillende giften van N en P (kg N,P/ha) (Van der Schoot & van Dijk, 2002)

N-gift \ P-gift	Opbrengst		N-afvoer		P-afvoer	
	0	35	0	35	0	35
0	7,8	7,8	69	71	16	17
40	10,0	10,5	92	94	18	19
80	12,5	12,5	128	124	21	22
200	14,3	15,3	180	189	23	25

Verskillende akkerbouw- en vollegronds groentegewassen

Door Van der Schoot & van Dijk (2001) zijn voor verschillende akkerbouw en vollegronds groentegewassen de fosfaatopname en drogestofproductie berekend. Het fosfaatgehalte bleek bij de meeste gewassen onafhankelijk van de fosfaatbemesting en van de drogestofopbrengst. Doordat er te weinig gegevens beschikbaar waren over de bodemvruchtbaarheid konden er geen relaties gelegd worden tussen de Pw en de fosfaatafvoer. De berekende P-afvoer varieert van 4,4 kg/ha voor rietzwenkgras tot 40 kg/ha voor hennep (tabel 3.22). Bij de berekening is geen rekening gehouden met de afvoer via een bijproduct of gewasresten, zoals stro bij granen en graszaad. Bij de meeste gewassen worden gewasresten niet standaard afgevoerd; voor het maximaliseren van de P-afvoer t.b.v. uitmijnen zou dit echter wel kunnen worden overwogen mits het praktisch haalbaar is.

Tabel 3.22. P-afvoer (kg/ha/jaar) van akkerbouw- en vollegronds groentegewassen (Van der Schoot en Van Dijk, 2001, bijlage 7). Noot: de vermelde afvoer betreft slechts het hoofdproduct, geen gewasresten

P-afvoer	Gewas
0-5	zaad van rietzwenkgras, roodzwenkgras en veldbeemdgras; aardbei
5-10	broccoli; doperwt; zaad van engels raaigras; knolvenkel; spinazie; stamboon; stokslaboon
10-15	pootaardappel; chinese kool; groenselderij; bloemkool; iris; prei; digitalis; winterkoolzaad; krotten; bospeen; schorseneer; ijssla
15-20	haver; cichorei; kropsla; tulp; winterrogge; zomergerst; witlof
20-25	fabriksaardappel, dal/zandgrond; suikerbieten; droge erwt; spruitkool; zomertarwe; wintertarwe; triticale; valeriaan; witte kool; ui
25-30	knolselderij; consumptieaardappel, klei/loss; veldboon; korrelmaïs; snijmaïs
30-35	winterpeen; consumptieaardappel, zand
35-40	waspeen; hennep

Voor consumptie- en fabriksaardappel, suikerbiet en snijmaïs werden door PPO-AGV gedetailleerde gegevens verzameld van de P-afvoer, bij verschillende hoeveelheden N-, P- en K-bemesting, over verschillende jaren en voor verschillende grondsoorten. In tabel 3.23 zijn deze gegevens samengevat. De waarden komen vrij goed overeen met de waarden die gegeven zijn in tabel 3.22 voor de betreffende gewassen. Voor vrijwel alle gewas/ grondcombinaties was de procentuele standaardafwijking van de P-afvoer groter dan van het P-gehalte; dit houdt in dat de variatie in de opbrengst groter was dan in het P-gehalte. Er werd geen duidelijke invloed gevonden van een verschil in P-bemesting tijdens de proef, wat erop duidt dat de P-voorziening van de gewassen voldoende was.

Tabel 3.23. Gemiddelde P-afvoer (kg P/ha/jaar) en P-gehalte (mg P/kg), beide met standaardafwijking (s.a.), van enkele akkerbouw- en vollegronds groentegewassen op verschillende grondsoorten (data PPO-AGV). Noot: de vermelde afvoer betreft slechts het hoofdproduct, geen gewasresten

Gewas	Grondsoort	Data	P-afvoer	s.a. %	P-gehalte	s.a. %
Cons. aardappel	diluviaal zand	71	30	14	0,20	11
Cons. aardappel	jonge zeeklei	295	26	36	0,22	21
Fabriksaardappel	dal/zandgrond	39	29	15	0,19	16
Suikerbiet	jonge zeeklei	134	24	21	0,15	21
Suikerbiet	dalgrond	19	14	28	0,13	7
Suikerbiet	loss	19	21	7	0,15	3
Snijmaïs	diluviaal zand	317	24	35	0,19	23
Snijmaïs	jonge zeeklei	16	33	17	0,20	10

Door Van der Schoot (PPO-AGV, pers. meded.) zijn schattingen gemaakt van de hoeveelheid P in gewasresten. In tabel 3.24 zijn de gewassen met hun afvoer uit tabel 3.22 gecorrigeerd voor P in het restproduct. Voor gewassen met een afvoer > 25 kg P/ha/jaar is aangegeven welk deel P in gewasresten uitmaakt van de totale afvoer (hoofdproduct+gewasresten), wat aangeeft hoe belangrijk afvoer van gewasresten is voor de totale afvoer van P. Het afvoeren van gewasresten is echter niet gebruikelijk. Als de prijs van stro hoog genoeg is of als de gewasrest als veevoer kan worden gebruikt, zoals vroeger met b.v. bietenblad, is het afvoeren van gewasresten rendabel. Afvoeren van gewasresten naar b.v. een composteerbedrijf is erg duur.

Tabel 3.24. P-afvoer (kg/ha/jaar) van akkerbouw- en vollegronds groentegewassen inclusief gewasresten. Tussen () staat aandeel gewasresten in totale afvoer (data Van der Schoot, PPO-AGV, pers. meded.)

P-afvoer	Gewas
5-10	aardbei
10-15	spinazie; bospeen; zaad van: roodzwenkgras en veldbeemdgras; digitalis; stamboon / stokslaboon
15-20	iris; zaad van engels raaigras; knolvenkel; krotten; doperwt; ijssla; kropsla; winterkoolzaad; haver; schorseneer
20-25	tulp; droge erwt; winterrogge; witlof; broccoli; prei; zomergerst; cichorei; zomertarwe; valeriaan; chinese kool
25-30	ui (14%); fabrieksaardappel (21%); groenselderij (49%); triticale (13%); wintertarwe (11%); veldboon (8%); pootaardappel (54%); snijmaïs (3%); bloemkool (54%); suikerbiet (30%)
30-35	cons. aardappel klei/loss (17%); korrelmaïs (24%)
35-40	knolselderij (21%); cons. aardappel dal/zandgrond (15%); hennep (2%); winterpeen (13%); waspeen (8%); spruitkool (49%)
40-50	witte kool (46%)

Engels raaigras en rogge

In een potexperiment werd de zandgrond van Roper's Heath gemengd met de meststoffen 50 kg N/ha, 42 kg P/ha en 42 kg K/ha en ingezaaid met Engels raaigras en rogge (Marrs, 1985). Vervolgens werd drie keer een verschillende bemestingsbehandeling gegeven: zonder en met N en/of P. Het experiment duurde in totaal 16 weken. Nadien werd op de helft van de grond de testplant Engels raaigras ingezaaid voor een periode van 12 weken ter bepaling van de uitputting door het eerste gewas. Bij N- en P-bemesting was de productie en nutriëntopname, met uitzondering van K, hoger bij Engels raaigras (tabel 3.25). De testplant gaf een ander resultaat: toename bij P- en NP- bemesting. Bij alleen N bemesting is geen verandering in productie van de testplant. Dat betekent dat er geen N is overgebleven voor de testplant. Engels raaigras nam 20 % van de toegediende N meststof en 13 % van de P meststof op. De andere 80 % van de N meststof is waarschijnlijk uitgespoeld of gedenitrificeerd. Bij rogge gaf alleen P bemesting een significante toename bij de testplant (tabel 3.25). Rogge nam 6 % van de toegediende P meststof op.

Tabel 3.25. Effect van factoriele bemesting van N, P en K op opbrengst en N en P opname door Engels raaigras. Alleen de significante waarden zijn gepresenteerd (Marrs, 1985)

Behandeling	Engels raaigras			Testplant
	Opbrengst (g)	N (mg)	P (mg)	Opbrengst (g)
N0	2.7	9.3	3.9	0.876
N+	3.4	11.0	4.4	0.820
P0	2.8	9.5	3.6	0.729
P+	3.3	10.8	4.8	0.967
N0P0				0.844
N0P+				0.908
N+P0				0.615
N+P+				1.026

4 Fosfaatbeschikbaarheid in de bodem

4.1 Grasland

4.1.1 Afname van fosfaatbeschikbaarheid in de bodem bij nul-P bemesting

In enkele graslanden op zandgrond in Drenthe werd naast het maaien en afvoeren de bodem bemest met 50 N kg/ha. Het effect op de drogestofproductie en bodemvruchtbaarheid werd bepaald na 16 jaar (Van der Woude e.a., 1994). Na 10-11 jaar was de productie van het bemeste grasland het dubbele van dat van de referentieplek na 17 jaar niet bemesten. Na 16 jaar was de productie gelijk aan onbemest grasland en ongeveer 300 g m⁻² (3 ton/ha).

Tabel 4.1. Bodemvruchtbaarheid van een bemest en een onbemest grasland in 1973, 1977, 1982 en 1989. (Van der Woude e.a., 1994)

	Jaar	Onbemest		Bemest	
		0-5 cm	0-10 cm	0-5 cm	0-10 cm
N-totaal (mg N/kg)	1973	1,6		1,6	
	1977	3		3,6	
	1982	2,5		3,1	
	1989		2		2,4
P-totaal (mg P/kg)	1977	352		365	
	1982	308		379	
Pw (mgP ₂ O ₅ /L)	1973	44,8		7,1	
	1977	28,3		14,9	
	1982	33,8		10,9	
	1989		18,4		
Fe-AA(mgFe/100g)	1989		1,65		5,31
Al-AA(mgAl/100g)	1989		11,3		34,7

Na 16 jaar kon nog geen verandering in de bodemvruchtbaarheid worden vastgesteld (tabel 4.1). In het bemeste grasland was de Pw in 1973, 1982 en 1989 lager dan in het onbemeste grasland. De lagere Pw in de bemeste plekken kan verklaard worden uit de grotere P fixatie capaciteit: de bemeste plek had een hoger Fe- en Al-gehalte.

Met een testplant reukgras kon worden vastgesteld dat na 16 jaar het bemeste grasland door K gelimiteerd was en het niet-bemeste grasland door N. Het bemeste grasland reageerde niet op N of P bemesting. Evenals Oomes (1990) vonden van der Woude e.a. (1994) dat in bemeste graslanden K sneller daalde dan P en limiterend werd. Een aangepaste K-bemesting kan waarschijnlijk het gehalte aan P nog verder verlagen.

Altena en Oomes (1995; § 3.1.1) voerden van 1973 tot 1993 een langdurig experiment uit met grasland op zandgrond waarbij naast geen bemesting een lichte NPK-mestgift van 50 kg N, 8,7 kg P en 16,6 kg K per ha werd gegeven. Naast het effect van de bemesting werd gekeken naar het effect van maaitijdstip en de maai-frequentie. De percelen werden een keer (juni of september) of twee keer (juni en

september) per jaar gemaaid. Van één perceel is van de bovengrond 5 cm afgegraven en werd in juni en in september gemaaid. De totale productie nam af van 12 ton/ha, bij een gemiddelde gift van 250 kg N/ha, naar 6 ton/ha na ongeveer 4 jaar om vervolgens na 8 jaar te stabiliseren op 4-5 ton/ha voor de bemeste percelen. De bodemvruchtbaarheid nam af in de loop van de tijd, onafhankelijk van het maai-beheer. De zuurgraad (pH-KCL) nam af van 5 naar gemiddeld 4,4 en de fosfaatbeschikbaarheid (P-AL) van ca 49 naar 22 mg P₂O₅/ 100 g bij twee keer maaien (tabel 4.2). Bemesting met NPK had geen duidelijk positief effect op de fosfaatbeschikbaarheid, waarschijnlijk doordat de gegeven P tot extra opname had geleid.

Tabel 4.2. P-AL (mg P₂O₅/ 100 g) en het K-gehalte (mg K/ kg) van de bodem bij verschillend maai-beheer en bij plaggen met twee keer maaien op zandgrond in 1973 en in 1993 (Uit: Altana & Oomes, 1995)

Maaitijdstip	Jaar	P-AL		K-gehalte	
		1973	1993	1973	1993
Juni		57	30	107	50
September		30(88)	28(92)	74(88)	50
Juni + september		49	22	91	50
Plaggen		18(82)	11	41(82)	50

Op een veen- op kleigrond, de Veenkampen, werd grasland in 1978 uit landbouw-kundige productie genomen en de bemesting gestopt (van der Hoek & Kemmers, 1998). Sindsdien werd het gras twee keer per jaar gemaaid. In 1985, dus 7 jaar later, werd onder één perceel de grondwaterstand verhoogd. Aansluitend op de veldproef werden uit hetzelfde terrein in juni 1993 ongestoorde bodemkolommen van 0-30 cm diepte genomen. Deze werden in november 1995 op twee constante waterniveaus van -10 cm en -30 cm geplaatst. Na 15 jaar verschralen en 8 jaar vernatten was de drogestofproductie gedaald naar waarden die vergelijkbaar zijn aan blauwgraslanden van ca 4,5-5,5 ton/ha. Vernatting had maar een beperkte invloed op de voorraad en de beschikbaarheid van nutriënten.

Tabel 4.3. De drogestofproductie, N-, P- en K-opname van de veldproef en labproef (van der Hoek, & Kemmers, 1998)

		1989	1991	1993	1997
Organische stof (%)	droog	91	89	98	97
	nat	102	107	105	106
N-totaal (kgN/ha)	droog	105	104	95	95
	nat	112	105	101	107
P-totaal (kgP/ha)	droog	105	120	108	108
	nat	87	86	86	95
Pw (mgP ₂ O ₅ /L)	droog	11,9	9,4	9,6	10,0
	nat	4,8	3,9	3,2	3,2

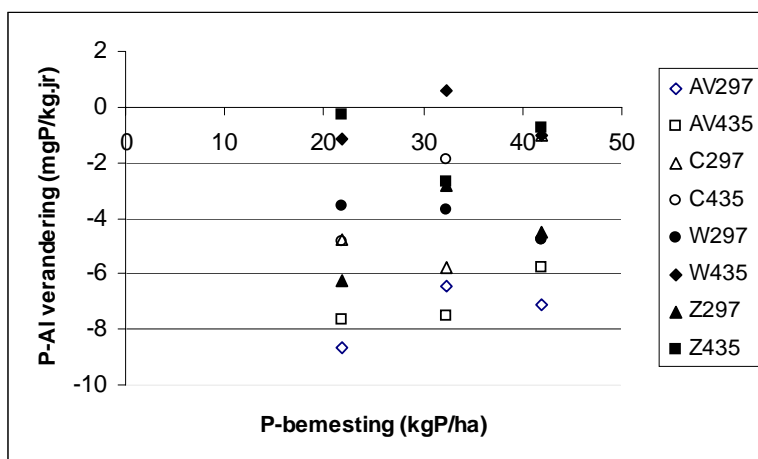
Een potexperiment werd uitgevoerd met Engels raaigras op zandgrond gedurende 140 weken, dus ongeveer 2,5 jaar (tabel 4.4; Koopmans e.a., 2004). Grond was in een 5 of 10 cm dikke laag aangebracht op inert zand. Na de groei en elke oogst van het gras werd de grond bemest met N en K om groeireductie zoveel mogelijk te voorkomen. De beginsituatie was Pw 76 en P-AL 91. Na 2,5 jaar was de fosfaatbeschikbaarheid gedaald tot Pw 11 en P-AL 35 voor de 5 cm laag grond.

Tabel 4.4. Beschikbare hoeveelheid fosfaat gemeten als Pw (mg P₂O₅/L) en P-AL (mg P₂O₅/100 g) in de tijd van het potexperiment met Engels raaigras (Koopmans e.a., 2004)

Dag	Tijd		5 cm		10 cm	
	Week		Pw	P-AL	Pw	P-AL
0	0		76	91	76	91
22	3		48	89	64	92
41	6		46	86	61	93
88	13		40	75	59	91
151	21		38	75	52	85
236	34		29	63	40	72
319	45		18	57	32	61
692	99		12	41	24	55
978	140		11	35	21	50

4.1.2 Afname van fosfaat in de bodem bij P bemesting

Uit onderzoek van Middelkoop e.a. (2004) blijkt dat ondanks het toepassen van P-bemesting de fosfaatbeschikbaarheid (P-AL) afnam (figuur 4.1); fosfaat werd blijkbaar vastgelegd in de bodem. De beschikbare hoeveelheden namen af bij alle bemestingscombinaties. In de zandgrond was de afname het grootst. Toenemende stikstofbemesting versterkte het effect.



Figuur 4.1. Verandering van P-AL (mg P₂O₅/100 g grond/jr) bij verschillende hoeveelheden P-bemesting: (22, 32 of 42 kg P/ha.jaar), en N-bemesting (297 en 435 kg/ha.jaar). Locaties: Zegveld, veengrond; Waiboerboeve, kleigrond; Cranendonck en Aver-Heino, zandgrond

4.2 Akkerbouw en vollegronds groente

4.2.1 Afname van fosfaat in de bodem bij nul-P bemesting

Zomergerst, aardappel, maïs en tabak

In maart 1995 werden de gewassen zomergerst, aardappel, maïs en tabak ingezaaid en in de winter van 1995 wintergerst op het perceel van zomergerst (Mc Crea e.a., 2001). De locatie was voorheen permanent grasland, bekalkt in 1993 maar zonder bemestingsgeschiedenis met N, P of K, en werd na inzaaien ook niet bemest. Na 1 en 2

jaren veranderde de gemiddelde bodemvruchtbaarheid niet significant (tabel 4.5). Een lichte afname van het gehalte aan organische stof werd wel waargenomen.

Tabel 4.5. Gemiddeld gehalte aan organische stof en totaal-N, P en K voor alle behandelingen en gewassen. Start van het experiment was maart 1995 (McCrea e.a., 2001)

Jaar	N (%)	P (%)	K (%)	Org. stof (%)
1995 (start)	0.1±0.01	0.13±0.00	4.26±0.02	4.13±0.21
1996 (na 1 jr)	0.16±0.01	0.09±0.00	3.98±0.01	3.06±0.14
1997 (na 2 jr)	0.20±0.01	0.09±0.00	3.99±0.01	3.11±0.09

De hoeveelheid extraheerbaar P (Truog's extract) nam toe voor alle behandelingen, wat waarschijnlijk het resultaat is van de omzetting van organische stof na de grondbewerking. De hoeveelheid extraheerbaar P was het laagst bij gerst en bij maïs in 1997; gerst en maïs onttrekken P dus mogelijk efficiënter dan de andere gewassen.

Uit een potexperiment met gras na een gewasteelt bleek dat de bodem waar gerst geteeld was de grootste afname gaf in de productie van gras. De hoeveelheden beschikbare nutriënten waren door de gerst blijkbaar het sterkst afgenomen. De volgorde van afnemende effectiviteit van onttrekking was: gerst, tabak, maïs en aardappel (tabel 4.6).

Tabel 4.6. Effect van vier gewassen als voorvrucht op de grasproductie (mg) in de bio-assays (McCrea e.a., 2001).

gewas	1995	s.a.	1996	s.a.	1997	s.a.	verschil
Gerst	85,2	4,12	76,0	4,40	65,2	1,87	20,0
Aardappel	84,0	3,15	89,4	3,37	80,2	2,04	3,8
Maïs	79,8	2,70	87,8	2,54	76,0	1,97	3,8
Tabak	81,8	3,34	84,8	2,41	75,4	1,99	6,4
Controle	84,8	3,19	88,8	3,33	84,0	2,48	0,8

Lijnzaad, zomergerst, rogge en engels raaigras

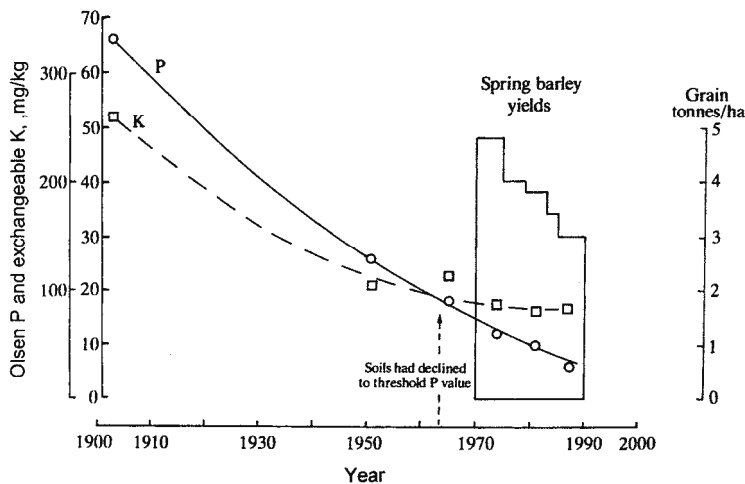
In een potexperiment werd bepaald wat de effectiviteit is van de gewassen: lijnzaad, zomergerst, rogge en engels raaigras om de bodemvruchtbaarheid te verlagen (Snow & Marrs, 1996). In het experiment zijn naast deze vier gewassen op vier verschillende bodems 6 verschillende bemestingsbehandelingen met N en K toegepast. Het effect van gewasteelt op de beschikbare hoeveelheid P (Truog's reagens) werd sterk beïnvloed door N-bemesting en minder door K-bemesting (tabel 4.7).

Tabel 4.7. De opbrengst (ton/ha.jaar) en nutriëntafvoer van N, P en K (kg/ha) van de gewassen bij de zes verschillende bemestingsbehandelingen (Snow & Marrs, 1996)

Bemesting	opbrengst	N	P	K
Geen	3,9	45	7,7	49
N1-ammonium nitraat	7,3	111	11,1	71
N2-ureum	7,0	93	10,7	68
K-kaliumsulfaat	3,8	48	7,2	52
N1+K	8,2	109	11,8	122
N2+K	7,3	88	11,2	109
LSD	0,8	13	1,4	12

Zomergerst

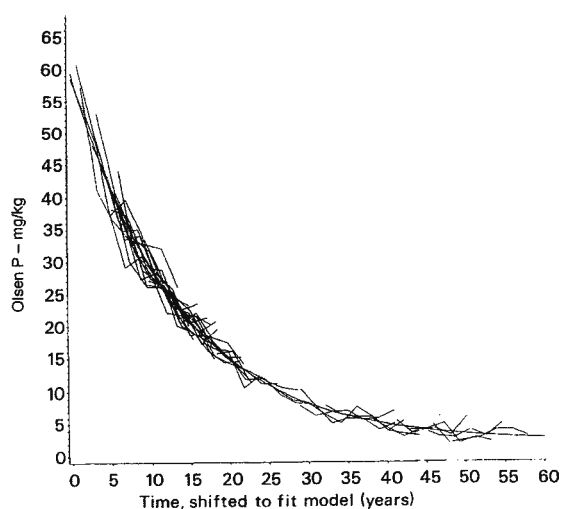
Na het stopzetten van stikstof-, fosfaat- en kaliumbemesting in het 80 jaar durende zgn. Exhaustion Land experiment in Rothamsted bleek dat de beschikbare hoeveelheid fosfaat, gemeten als P-Olsen, exponentieel afnam met de tijd (Johnston e.a. 2001a). Uit het experiment bleek dat gedurende de eerste 40 jaar waarin zomergerst werd geteeld, de opbrengst door het stoppen van de bemesting klein was, evenals de P afvoer (figuur 4.2).



Figuur 4.2. Afname van P-Olsen en uitwisselbaar kalium in het Exhaustion Land experiment in Rothamsted bij wintergerst (Johnston e.a., 2001a)

In een ander experiment op klei en op silthoudende zandgronden duurde het acht jaar voor de P-Olsen waarde was gehalveerd (Johnston e.a., 2001a). Na analyse van verschillende experimenten, met een beginwaarde van 60 mg/kg, kwamen de auteurs tot de conclusie dat P-Olsen gemiddeld halveert in 10 jaar. Hiervoor werden resultaten van 8 verschillende experimenten genormaliseerd door horizontale verschuiving van de curves (Johnston e.a., 2001a).

Op het zgn. Hoosfield experiment in Rothamsted is op een aantal plots sinds 1852 door jaarlijkse giften een grote reserve opgebouwd van P en K; andere plots kregen geen bemesting of alleen K en Mg. In 1980 werd de bemesting stopgezet en werd zomergerst geteeld waarbij voldoende stikstof werd toegediend. Na 19 jaar bleek de fosfaatbeschikbaarheid (P-Olsen) gedaald met ca. 35 mg/kg op de plots die vóór 1980 met fosfaat waren bemest (tabel 4.8). Op de andere plots was de beschikbaarheid van P in 1982 al laag en daalde nog verder.



Figuur 4.3. Afname van P-Olsen met de tijd op een silthoudende zandgrond en akkerbouwgewassen (Johnston e.a., 2001a)

Tabel 4.8. Beschikbaarheid van fosfaat- en kalium na het stopzetten van P- en K-bemesting en teelt van zomergerst (Johnston e.a. 2001a)

Jaar	Geen	Bemesting voor 1980		
		P	K+Mg	P+K+Mg
		P-Olsen (mg/kg)		
1982	12	125	17	128
1998	8	91	10	94
		Uitwisselbaar K (mg/kg)		
1982	75	74	293	273
1998	79	70	197	172

5 Conclusies

De economisch meest belangrijke gewassen in Noord-Brabant (NB) en Limburg (L) waren in 2002: blijvend gras (ca. 27%, NB en L), snijmaïs, (NB 24% en L 15%), tijdelijk grasland (NB 15% en L 9,5%), granen (NB 8% en L 13,5%) en aardappelen (NB 7,5% en L 9%). Het totale areaal grasland is: NB 42% en L 37%.

Door gras wordt onder praktijkomstandigheden bij maaien en afvoeren maximaal 50 kg P/ha.jaar opgenomen, onder voorwaarde dat de voorziening van N voldoende is. In plaats van kunstmest-N kan ook Witte klaver worden ingezaaid, maar in dat geval moet de voorziening van K voldoende hoog zijn. In geval van droogte kan de groei van Witte klaver echter sterk worden geremd, en daarmee die van gras wanneer dat voor N van de Witte klaver afhankelijk is.

Van de akkerbouw- en vollegronds groentegewassen kan voor witte kool en spruitkool de P-afvoer het hoogst zijn (≥ 40 kg P/ha.jaar), maar voor beide gewassen geldt dat dit alleen het geval is wanneer ook de oogstresten worden afgevoerd; gebeurt dit niet dan halveert de afvoer van P. Voor andere gewassen die veel P afvoeren (> 35 kg P/ha.jaar) is dit in mindere mate het geval (consumptieaardappel, hennep, winterpeen en waspeen). Vooral op zandgronden kan de afvoer van gewasresten ook van belang zijn voor het tegengaan van nitraatuitspoeling.

Voor de bovengenoemde belangrijkste gewassen die in Noord-Brabant en Limburg worden verbouwd is de volgorde van potentiële P-afvoer (bij afvoer van gewasresten en bij voldoende voorziening met N):

gras (40) > consumptieaardappel (35-40) > snijmaïs (25-30) > granen (20-25 kg P).

Slechts twee studies zijn uitgevoerd naar de fosfaatopname van verschillende granen. De productie van rogge halveerde na stopzetten van bemesting, en onttrok 10 kg/ha. Tarwe onttrok slechts 9 kg/ha. Bij bemesting onttrekken winterrogge en zomergerst 15-20 kg/ha, wintertarwe, zomertarwe en triticale 20-25 kg/ha. Geen informatie is gevonden over de fosfaatopname van wintergerst.

Koolzaad is een gewas dat onder meer verbouwd wordt om bio-energie te winnen. Zonder bemesting onttrekt koolzaad 12 kg/ha, met bemesting 10-15 kg/ha.

Bij bodemcondities waarbij de P_w hoger is dan $30 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ grond is de fosfaat-afvoer of -opname door akkerbouw- of vollegrondsgroentegewassen onafhankelijk van de P-bemesting en de beschikbaarheid van P in de bodem. Een gewas heeft een optimale onttrekking als de productie hoog blijft, dus in de buurt komt van de productie bij optimale bemesting; N-bemesting is daarvoor een bepalende factor. De bodemconditie en P-bemesting zijn dus minder belangrijk dan N- en K-bemesting. Is de uitgangssituatie van de bodem lager dan $30 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ grond voor P_w dan wordt het moeilijk om dat verder te verlagen. Er kan niet alleen volstaan worden met een N-bemesting omdat dan de kans bestaat dat K-tekort zal optreden; naast N- is dus

ook K-bemesting noodzakelijk. Voor een aantal soorten en vegetaties die kenmerkend zijn voor voedselarme omstandigheden is een Pw voorgesteld die lager moet zijn dan ca. 3-4 mg P₂O₅ L⁻¹ grond (Sival e.a., 2004). In een potexperiment werd aangetoond dat gras wel de mogelijkheid heeft om de Pw te verlagen tot onder 30 mg P₂O₅ L⁻¹.

Opgemerkt moet worden dat het alleen voor gras mogelijk is om dit langdurig achtereen op hetzelfde perceel te verbouwen, voor de overige gewassen is vruchtwisseling vrijwel altijd noodzakelijk. Voor maïs geldt dat dit weinig organische stof in de bodem achterlaat en dus op dit punt verschrallend werkt, en aardappelen mogen slechts eenmaal per 4 jaar op hetzelfde perceel worden verbouwd i.v.m. aardappelmoetheid. Per rotatie zal de P-afvoer moeten worden berekend om na te gaan welke rotatie tot de snelste afvoer van P leidt.

Resultaten van potexperimenten kunnen sterk verschillen van veldproeven: in een potproef is vrijwel altijd de vocht- en lichtvoorziening optimaal, en hierin behaalde resultaten kunnen als een (theoretisch) maximum worden gezien.

Er kunnen geen algemene uitspraken worden gedaan over de vraag hoe lang het duurt voordat de fosfaat- en kaliumbeschikbaarheid in de bodem afnemen na het stopzetten van P bemesting. De snelheid van afname hangt vooral af van de initiële toestand, de hoeveelheid P en K die met het gewas wordt afgevoerd, de grootte van de minder goed beschikbare pool en de snelheid van vrijkomen vanuit deze pool.

De keuze van een gewas kan ook bepaald worden door andere randvoorwaarden, zoals een eenvoudige teeltwijze, en een (zeer) beperkte inzet van meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen, gewasverzorging of arbeid. Weinig intensieve gewassen zijn gras en granen.

De beschikbare hoeveelheid fosfaat (Pw en P-Al) kan niet alleen worden verlaagd door fosfaatopname, maar ook door fosfaatfixatie als gevolg van de aanwezigheid van ijzer of aluminium in de bodem. In het laatste geval vermindert de totale hoeveelheid echter niet, en het fosfaat kan eventueel weer beschikbaar worden.

Literatuur

Altena, H.J. & M.J.M. Oomes. 1995. De invloed van 20 jaar verschraling op de productie en de vegetatie van een zandgrond. AB-DLO rapport 34. Wageningen.

Delorme, T.A., J.S. Angle, F.J. Coale & R.L. Chaney. 2000. Phytoremediation of phosphorus-enriched soils. *Int. J. Phytorem.* 2: 173-181.

Dijk, T.A. van. 1989. Het gebruik van dierlijke mest op grasland. 3. Fosfaatwerking van in het voorjaar geïnjecteerde dunne rundermest in het jaar van toediening. *Meststoffen 1989* 2/3:5-9.

Eekeren, N. van. 2003. Evenwichtige verschraling van natuurgronden: voordeel voor natuur en landbouw. Pilotstudy bij het Hengstven, projectrapportage 2002. Louis Bolk Instituut Driebergen.

Eekeren, N. van & G. Iepema. 2004. Evenwichtige verschraling van natuurgronden: voordeel voor natuur en landbouw. Pilotstudy bij het Hengstven, projectrapportage 2002-2003. Louis Bolk Instituut Driebergen.

Ehlert, P.A.I., C.A.Ph. van Wijk & P.H.M. Dekker. 2003. Fosfaatbalansen op perceelniveau. Scan van de resultaten van vier veeljarige veldproeven op bouwland. Rapport PPO 305. Wageningen.

Gilbert, J.C., D.J.G. Gowing & P. Loveland. 2003. Chemical amelioration of high phosphorus availability in soil to aid the restoration of species-rich grassland. *Ecol. Eng.* 19:297-304.

Gough, M.W. & R.H. Marrs. 1990a. A comparison of soil fertility between semi-natural and agricultural plant communities: implications for the creation of species-rich grassland on abandoned agricultural land. *Biol. Conserv.* 51:83-96.

Gough, M.W. & R.H. Marrs. 1990b. Trends in soil chemistry and floristics associated with the establishment of a low-input meadow system on an arable clay soil in Essex, England. *Biol. Conserv.* 52:135-146.

Hoek, D. van der & R.H. Kemmers. 1998. Invloed van 10 jaar vernatting op de regeneratieprocessen in de bodem van De Veenkampen. In: M.J.M. Oomes & H. Korevaar (eds.), *Herstel van natte soortenrijke graslanden*. AB-DLO Thema's 5. AB-DLO, Wageningen.

Johnston, A.E., K.W.T. Goulding, P.R. Poulton & A.G. Chalmers. 2001a. Reducing fertiliser inputs: endangering arable soil fertility? *Proc. no. 488*, Intern. Fertiliser Society, York, UK. 43 p.

- Johnston, A.E., P.R. Poulton & J.K. Syers. 2001b. Phosphorus, potassium and sulphur cycles in agricultural soils. Proc. no. 465, Intern. Fertiliser Society, York, UK., 44 pp.
- Koopmans, G.F., W.J. Chardon, P.A.I. Ehlert, J. Dolfing, R.A.A. Suurs, O. Oenema & W.H. van Riemsdijk. 2004. Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. *J. Environ. Qual.* 33: 965-975.
- LNV. 1990. Natuurbeleidsplan. Regeringsbeslissing. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Den Haag.
- LNV. 2000. Natuur voor mensen, mensen voor natuur. Nota natuur, bos en landschap 21^e eeuw. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Den Haag.
- Marrs, R.H. 1985. Techniques for reducing soil fertility for nature conservation purposes: a review in relation to research at Roper's Heath, Suffolk, England. *Biol. Conserv.* 34:307-332.
- Marrs, R.H., C.S.R. Snow, K.M. Owen & C.E. Evans. 1998. Heathland and acid grassland creation on arable soils at Minsmere: identification of potential problems and a test of cropping to impoverish soils. *Biol. Conserv.* 85:69-82.
- McCrea, A.R., I.C. Trueman & M.A. Fullen. 2001. A comparison of the effects of four arable crops on the fertility depletion of a sandy silt loam destined for grassland habitat creation. *Biol. Conserv.* 97:181-187.
- Middelkoop, J.C. van, C. van der Salm, D.J. den Boer, M. ter Horst, W.J. Chardon, R.F. Bakker, R.L.M. Schils, P.A.I. Ehlert & O.F. Schoumans. 2004. Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland. Praktijkrapport Rundvee 48. Praktijkonderzoek Animal Sciences Group WUR.
- Mountford, J.O., K.H. Lakhani & F.W. Kirkham. 1993. Experimental assessment of the effects of nitrogen addition under hay-cutting and aftermath grazing on the vegetation of meadows on a Somerset peat moor. *J. Appl. Ecol.* 30:321-332.
- Oomes, M.J.M. 1990 Changes in dry matter and nutrient yields during the restoration of species-rich grasslands. *J. Veget. Sci.* 1: 333-338.
- Oomes, M.J.M. & H. Mooi. 1981. The effect of cutting and fertilizer on the floristic composition and production of an *Arrhenatherion elatioris* grassland. *Vegetatio* 47: 233-239.
- Oomes, M.J.M. & A. van der Werf. 2003. Hooilandgebruik en botanische diversiteit: is bemesting altijd een bedreiging? *De Levende Natuur* 104: 192-196.
- Oomes, M.J.M., R. Geerst & H. Altena. 1998a. Vernatten en verschralen. *Landschap* 15/2: 99-110.

- Oomes, M.J.M., R. Geerst & H. Altena. 1998b. Effect van vernatten en afplaggen op verschraling en vegetatie. In: M.J.M. Oomes & H. Korevaar (Eds.), *Herstel van natte soortenrijke graslanden*. AB-DLO Thema's 5. AB-DLO, Wageningen.
- Pegtel, D.M., J.P. Bakker, G.L. Verweij & L.F.M. Fresco. 1996. N, K and P deficiency in chronosequential cut summer-dry grasslands on gley podzol after the cessation of fertilizer application. *Plant Soil* 178:121-131.
- Schils, R. & P. Snijders. 2004. The combined effect of fertiliser nitrogen and phosphorus on herbage yield and changes in soil nutrients of a grass/clover and grass-only sward. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 68:165-179.
- Schoot, J.R. van der & W. van Dijk. 2001. N- en P-afvoer akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PPO-AGV intern rapport.
- Schoot, J.R. van der & W. van Dijk. 2002. Interactie stikstof- en fosfaatvoorziening bij snijmaïs. PPO-AGV rapport 110017.
- Sival, F.P. & W.J. Chardon. 2002. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat. Rapport SV 511, SKB, Gouda.
- Sival, F.P., W.J. Chardon & M.M. van der Werff. 2004. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat: evaluatie van verschralingsmaatregelen. Rapport Alterra Wageningen, 951.
- Smith, R.S., R.S. Shiel, D. Millward & P. Corkhill. 2000. The interactive effects of management on the productivity and plant community structure of an upland meadow: an 8-year trial. *J. Appl. Ecol.* 37:1029-1043.
- Snow, C.S.R. & R.H. Marrs. 1996. The effect of harvesting four crops under varying fertiliser regimes on nutrient offtake and selected soil properties. *Aspects Appl. Biol.* 44:413-418.
- Tallowin, J.R.B., F.W. Kirkham, S.K.E. Brookman & M. Patefield. 1990. Response of an old pasture to applied nitrogen under steady-state continuous grazing. *J. Agric. Sci., Camb.* 115:179-194.
- Tallowin, J.R.B., F.W. Kirkham, R.E.N. Smith & J.O. Mountford. 1998. Residual effects of phosphorus fertilization on the restoration of floristic diversity to wet hay meadows. In: C.B. Joyce and P.M. Wade (ed.), *European lowland wet grasslands: biodiversity, management and restoration*. John Wiley and Sons Ltd. p. 249-263.
- Woude, B.J. van der, D.M. Pegtel & J.P. Bakker. 1994. Nutrient limitation after long-term nitrogen fertilizer application in cut grasslands. *J. Appl. Ecol.* 31: 405-412.

Bijlage A Toelichting bij economisch belang van gewassen.

Arealen akkerbouwgewassen

Geteld zijn de arealen waarop ten tijde van de telling akkerbouwgewassen stonden en arealen waarop nog akkerbouwgewassen geteeld zouden worden. De akkerbouwgewassen die op contract voor een ander zijn verbouwd vallen hier ook onder. Voor de grond die op het tijdstip van de telling nog niet was beteeld, geeft de landbouwer het gewas op dat hij van plan is voor dat oogstjaar te telen. Zaaizaden voor akkerbouwgewassen zijn geteld bij het desbetreffende akkerbouwgewas. Zaaizaden voor niet met name genoemde akkerbouwgewassen zijn gevoegd bij de 'overige akkerbouwgewassen'. Stoppelgewassen die na het ruimen van het hoofdgewas verbouwd zijn, blijven buiten beschouwing. Gewassen uitgezaaid onder dekvrucht worden niet geteld, alleen de dekvrucht wordt in de telling meegenomen.

Granen

- winter- en zomertarwe;
- winter- en zomergerst;
- rogge (geen snijrogge);
- haver; en
- triticale.

Peulvruchten

- groene erwten (droog te oogsten) en schokkers;
- kapucijners en grauwe erwten;
- bruine bonen;
- veldbonen (o.a. duiven-, paarden- en wierbonen); en
- erwten groen te oogsten (incl. gele erwten).

Handelsgewassen

- koolzaad (incl. boter- en raapzaad);
- karwijzaad;
- blauwmaanzaad; en
- vlas.

Knol- en wortelgewassen

- pootaardappelen op zand- of veengrond;
- pootaardappelen op kleigrond;
- consumptieaardappelen op zand- of veen grond;
- consumptieaardappelen op kleigrond;
- zetmeelaardappelen;
- suikerbieten; en
- voederbieten.

Groenvoedergewassen

- luzerne; en
- snijmaïs.

Groenbemestingsgewassen

Met ingang van 1 januari 2002 worden groene braak en natuurbraak tot de groenbemestingsgewassen gerekend.

Uien

- poot- en plantuien (ook sjalotten);
- zaaiuien; en
- zilveruitjes (bestemd voor inleg).

Aardappelen

- pootaardappelen op zand- of veengrond;
- pootaardappelen op kleigrond;
- consumptieaardappelen op zand- of veen grond;
- consumptieaardappelen op kleigrond; en
- zetmeelaardappelen.

Bijlage B Oppervlakte (ha) van de akkerbouwgewassen en grasland in provincies Noord-Brabant en Limburg

Bron: Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen 2003-10-09

Gewas	jaar	Noord-Brabant			Limburg			
		2000	2001	2002	2000	2001	2002	
Granen	totaal	205,63	194,39	187,91	130,08	123,58	122,34	
	wintertarwe	128,18	104,63	125,11	71,81	69,63	72,09	
	zomertarwe	20,09	32,38	19,57	10,46	7,93	6,88	
	wintergerst	3,65	2,03	1,65	10,15	8,83	11,07	
	zomergerst	30,01	37,14	26,75	25,44	27,40	20,93	
	rogge	3,93	2,56	2,21	2,34	1,57	2,58	
	haver	1,84	1,79	1,62	0,54	0,80	0,52	
	triticale	17,95	13,85	11,00	9,33	7,42	8,27	
Peulvruchten	totaal	25,43	21,85	24,94	15,66	14,84	12,83	
	groene erwten en schokkers	2,44	2,25	3,20	1,86	1,18	0,73	
	erwten(groen te oogsten)	19,77	16,57	19,68	11,18	11,22	11,20	
	kapucijners	0,41	0,95	0,33	0,45	0,38	0,14	
	bruine bonen	0,27	0,19	0,15		0,06	0,03	
	veldbonen	2,54	1,90	1,58	2,17	2,00	0,73	
	Graszaad	39,99	37,31	32,04	4,37	3,44	2,16	
	Handelsgewassen	totaal	3,53	4,13	3,52	0,58	1,13	0,81
koolzaad		0,06	0,03	0,12	0,32	0,20	0,22	
karwijzaad			0,09	0,12	0,00	0,02		
blauwmaanzaad		1,03	1,29	0,51				
vlas		2,44	2,72	2,77	0,26	0,91	0,59	
Knol- en wortelgewassen	totaal	341,54		318,66	204,71	193,93	197,40	
	pootaardappelen op zand of veen	4,60	5,27	2,38	1,16	0,69	0,41	
	pootaardappelen op klei	15,08	15,03	15,36	0,84	0,60	0,42	
	consumptieaardappelen op zand of veen	103,44	87,46	99,09	59,64	52,61	63,15	
	consumptieaardappelen op klei	75,79	60,41	61,48	22,63	22,47	17,28	
	fabrieksaardappelen	3,53	2,73	2,74	1,69	0,55	0,23	
	suikerbieten	137,19	135,92	135,32	117,23	115,73	114,99	
	voederbieten	1,90	1,96	2,28	1,51	1,28	0,93	
	Groenvoeder-gewassen	totaal	568,07	557,01	578,05	153,95	141,53	138,84
		luzerne	4,95	4,91	2,48	1,31	1,19	0,27
	enigma's	563,12	552,10	575,57	152,64	140,34	138,58	
Groenbestedings gewassen		4,93	7,12	35,47	4,15	4,43	15,94	
	korrelmaïs	95,51	131,31	116,93	49,98	68,82	65,29	
	corn-cob-mix	45,15	45,90	41,79	7,55	8,68	6,71	
	cichorei	17,75	17,97	14,73	3,26	4,03	4,97	

hennep		1,14	1,08	0,87		0,04	
uien	totaal	19,38	23,19	23,67	2,95	2,43	3,06
	poot- en plantuien	7,34	7,55	7,25	1,14	1,06	1,48
	zaaiuien	11,20	10,87	12,51	1,17	1,00	1,25
	zilveruitjes	0,84	4,77	3,90	0,64	0,37	0,33
Overige akker- bouwgewassen		23,14	23,94	19,74	6,88	7,98	9,25
Totaal akker- bouwgewassen		1391,19	1065,20	1398,31	584,12	574,84	579,62