

Haalbaarheid natuurdoelen op fosfaatverrijkte gronden

Dit onderzoek werd gefinancierd met geld vanuit DWK-onderzoeksprogramma 382 Regionale Identiteit en vanuit het Beleidsondersteunend Onderzoekcluster Ecologische Hoofdstructuur, thema abiotische randvoorwaarden.

Haalbaarheid natuurdoelen op fosfaatverrijkte gronden;

Dertig jaar natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden

Rolf Kemmers

Loek Kuiters

Bas van Delft

Pieter A. Slim

Jan P. Bakker ¹

Yzaak de Vries ¹

¹ Community and Conservation Ecology Group, Rijksuniversiteit Groningen

Alterra-rapport 1040

Alterra, Wageningen, 2005

REFERAAT

Rolf Kemmers, Loek Kuiters, Bas van Delft, Pieter A. Slim, Jan P. Bakker en Yzaak de Vries, 2005. *Haalbaarheid natuurdoelen op fosfaatverrijkte gronden; Dertig jaar natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1040. 68 blz. 14 fig.; 13 tab.; 43 ref.

Twee 30-jarige reeksen met natuurontwikkeling op fosfaatverrijkte vochtig tot droge gronden werden vegetatiekundig en bodemkundig geanalyseerd op de mate waarin natuurdoeltypen werden gerealiseerd in relatie tot de fosfaattoestand van de bodem. In beide casestudies werden geen inrichtingsmaatregelen genomen, zodat de fosfaattoestand die door landbouwkundig gebruik was ontstaan, tevens het uitgangspunt voor natuurontwikkeling is geweest. In Baronie Cranendonck werd via extensieve begrazing en in Loefvledder via maaien en afvoeren een halfnatuurlijk beheer gevoerd. Bij beide vormen van beheer blijkt de productie van de vegetatie over een periode van 30 jaar sterk te zijn gedaald, waarbij de fosfaatvoorraad en -beschikbaarheid in de bouwvoor van percelen in de Baronie sterk daalden, maar in die van Loefvledder toenamen. Niet zozeer de beheersvorm maar de bodemkundig/hydrologische gesteldheid is van invloed op de vermindering van de fosfaatvoorraad. Uit het onderzoek kan worden geconcludeerd dat zonder afgraven zowel via begrazing als via hooien laagproductieve vegetaties van de *Koeleria-Coryneporetea* en het *Nardo-Galium saxatile* kunnen worden ontwikkeld op matig tot sterk fosfaatverzadigde gronden. Onder invloed van beide beheersvormen zijn vooral de beperking aan stikstof- en kalium van invloed geweest op de teruglopende productiviteit. Verdere verschraling is alleen mogelijk indien fosfaatbeperking ontstaat, wat in de huidige situatie nog niet het geval is. Wel lijkt het van belang maatregelen te nemen die de kolonisatie van karakteristieke plantensoorten via dispersie van zaden vereenvoudigt.

Trefwoorden: Natuurontwikkeling, landbouwkundig gebruikte gronden, fosfaat, inrichtingsmaatregelen, half natuurlijk beheer, natuurdoeltype, maaien en afvoeren, beweiding

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 15,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1040. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2005 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	15
2 Werkwijze	19
2.1 Case studies	19
2.1.1 Globale aanpak	19
2.1.2 Literatuuronderzoek	22
2.2 Concepten	23
2.2.1 Natuurontwikkeling	23
2.2.2 Fosfaatverzadigde gronden	24
3 Vegetatie onderzoek	27
3.1 Werkwijze en methoden	27
3.1.1 Baronie Cranendonck	27
3.1.2 Loefvledder	28
3.2 Resultaten en discussie	29
3.2.1 Baronie Cranendonck	29
3.2.2 Loefvledder	34
3.2.3 Discussie	38
4 Nutriëntenonderzoek	41
4.1 Werkwijze en methoden	41
4.1.1 Bemonstering	41
4.1.2 Analysemethoden	42
4.1.3 Statistiek	44
4.2 Resultaten en discussie	44
4.2.1 Fosfaattoestand in 2004	45
4.2.2 Ontwikkelingen sinds 1970	46
4.2.2.1 Baronie Cranendonck	46
4.2.2.2 Loefvledder	49
4.2.3 Literatuuronderzoek	53
5 Synthese en conclusies voor beheer	55
5.1 Synthese	55
5.2 Conclusies voor beheer	59
Literatuur	61
Bijlage 1 Analyseresultaten bodemchemisch onderzoek	65
Bijlage 2 Biomassa en elementgehalten in enkele bosreservaten	67

Woord vooraf

In het najaar 2003 werden onafhankelijk van elkaar door Staatsbosbeheer, Dienst Landelijke Gebieden en Alterra twee workshops gehouden rond het thema “Fosfaat en Natuur”. Op 17 september werd de studiedag ‘Afgraven of niet’ en op 16 december de ‘Fosfaatdag’ (met vertegenwoordigers van Provincies, DLG, Terreinbeheerders, diverse LNV-beleidsdirecties en onderzoekers) georganiseerd.

In toenemende mate komen inrichtingsmaatregelen voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden, zoals afgraven of ontgronden en vernatting, onder druk te staan omdat ze moeilijk zijn te verenigen met nationale en internationale regelgeving vanuit andere beleidssectoren. Onverenigbaarheid van beleidsdoelen leidt tot hoge maatschappelijke inspanningen en kosten bij het zoeken naar en realiseren van oplossingen.

Deze problematiek heeft de vraag doen rijzen in welke richting natuur zich zou ontwikkelen indien niet zou worden afgegraven en de verrijkte bovengrond als uitgangspunt zou worden genomen.

Ter verkenning van een antwoord op deze vraag werd voorgesteld oriënterend onderzoek uit te voeren op enkele voormalige landbouwgronden die ongeveer dertig jaar geleden werden ingericht als natuurgebied. Eén van deze terreinen, Baronie-Cranendonck, werd al jarenlang gevolgd door medewerkers van het huidige Alterra om effecten van begrazing te bestuderen. In Loefvledder (Anloër Diepje, Dr.) wordt door medewerkers van de Rijksuniversiteit Groningen onder leiding van Jan P. Bakker al vanaf het begin het effect van verschillende vormen van graslandbeheer gevolgd. Beide onderzoeksgroepen waren onmiddellijk enthousiast om het gedrag van fosfaat nader onder de loep te nemen en zegden hun collegiale medewerking toe. Tenslotte stelde de Directie (Wetenschap en) Kennis van het ministerie LNV aanvankelijk via het programma ‘Regionale Identiteit’ geld beschikbaar voor uitvoering van het onderzoek. In 2005 werd het onderzoeksproject afgerond met financiële middelen die beschikbaar werden gesteld via het Beleidsondersteunend Onderzoekscuster Ecologische Hoofdstructuur, thema abiotische randvoorwaarden. Wij zijn alle genoemde partijen zeer erkentelijk voor hun steun. Het rapport kwam mede tot stand door belangrijke inhoudelijke opmerkingen, aanvullingen of correcties van Dick Bal en Henk Beije (Directie Kennis, LNV) en Caroline van der Salm (Alterra), waarvoor wij hen zeer erkentelijk zijn.

Samenvatting

Aanleiding en doel

In het Natuurbeleidsplan wordt voorzien dat in de komende jaren binnen de contouren van de Ecologische Hoofdstructuur op grote schaal natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden zal plaatsvinden. Als referentie voor de te realiseren kwaliteit is een natuurdoeltypenstelsel ontwikkeld. Om de beoogde kwaliteit van natuurdoelen te kunnen realiseren moet een beheersstrategie worden gekozen en zijn soms inrichtingsmaatregelen noodzakelijk. Bij omvorming van landbouwgronden naar natuur vormt de historisch gegroeide fosfaatvoorraad vaak een belemmering voor de realisatie van gewenste voedselarme natuurdoeltypen. Hoewel het onvoldoende bekend is welke fosfaatiniveaus voor welke natuurdoeltypen acceptabel zijn, wordt vaak gekozen voor meer of minder diepe ontgronding al dan niet in combinatie met vernatting.

In toenemende mate komen inrichtingsmaatregelen voor natuurontwikkeling zoals afgraven of ontgronden onder druk te staan. Afgraven kan weliswaar een te veel aan voedingsstoffen verwijderen, maar tast tevens de zuurbuffercapaciteit van de bodem aan, leidt tot een vernietiging van de zaadbank of de bodembiodiversiteit en is vaak kostbaar. Afgraven leidt, althans op de korte termijn, niet altijd tot gewenste resultaten.

Het doel van het onderzoek was een antwoord te vinden op de vraag welke natuurdoeltypen zich zonder afgraven van de bouwvoor op fosfaatverrijkte landbouwgronden ontwikkelen en welke verschuiving in de fosfaatbalans daarbij plaatsvindt onder verschillende vormen van beheer.

Twee beheerstrategieën vergeleken

Voor het onderzoek werd aansluiting gezocht bij twee casestudies waar al ongeveer 30 jaar de ontwikkeling van de vegetatie op voormalige landbouwgronden wordt gevolgd. De Baronie-Cranendonck (Br.) is een complex van ca. 95 ha waar sprake is van extensief begrazingsbeheer met als doel een open landschap met bos, heide en voedselarm droog schraalgrasland (*natuurdoeltype 3.33; o.a. Koelerio-Corynephoretea*). In Loefvledder (Anloër Diepje, Drentse Aa) wordt geëxperimenteerd met verschillende vormen van (halfnatuurlijk) maaibeheer op perceelsniveau met als doel herstel van vochtig heischraal grasland (*natuurdoeltype 3.29; Nardo-Galium saxatilis*). De twee gebieden zijn typische representanten van een beekdallandschap met overgangen van droge stuifzand- en podzolgronden met Gt VII (Baronie) naar vochtig tot natte gooreerd-, bekeerd- of broekeerdgronden met Gt III (Loefvledder). Van beide terreinen is de vegetatieontwikkeling tot op heden gevolgd, maar werd de fosfaattoestand van de bodem alleen gedurende de beginjaren gevolgd. In het kader van het huidige project werden opnieuw bodem- en gewasmonsters verzameld om de huidige fosfaattoestand te kunnen bepalen en te vergelijken met de toestand in de 70-er jaren van de vorige eeuw. Ontwikkelingen in de fosfaattoestand werden in verband gebracht met ontwikkelingen in de vegetatie.

Bij het onderzoek werden de concepten die in het 'Handboek natuurdoeltypen' zijn geformuleerd als uitgangspunt genomen. De onderscheiden natuurdoeltypen werden gedefinieerd als combinatie van doelsoorten en bijbehorende 'natuurlijke' processen, welke door extensief begrazingsbeheer (Cranendonck) resp. hooilandbeheer (Loefvledder) worden gestuurd. In beide terreinen zijn sinds 1973 met meer of minder regelmatige tussenpozen vegetatieopnamen gemaakt van pq's binnen en buiten exclusies volgens Londo en van percelen volgens de Tansley-methode. De opnamen werden toegewezen aan plantengemeenschappen, waarna een beeld kon worden gevormd van de successie. Op basis van Ellenberg-waarden van de samenstellende soorten werd van de opnamen hun indicatieve waarde voor de nutriëntenrijkdom en de zuurgraad van de bodem in de loop van de successie vastgesteld.

Ontwikkeling vegetatie en natuurdoeltypen

In de Baronie-Cranendonck is over de periode van 30 jaar een licht dalende tendens in het gemiddeld aantal soorten van begraasde pq's van 15 naar 11 waarneembaar. Er is een sterke verschuiving opgetreden van soorten die indicatief zijn voor voedselrijke naar voedselarme, zure omstandigheden. De indicatiewaarde voor stikstof volgens Ellenberg daalde in de opnamen van ongeveer 5,5 naar 3,5 en voor zuurgraad van 4 naar 3,5. Het totale aantal soorten op de percelen varieerde tussen 38 en 75. In de successie uit deze ontwikkeling zich in een overgang van akkeronkruidgemeenschappen gedurende de eerste jaren naar gemeenschappen van de voedselarme droge zandgronden (combinatie van *Koelerio-Corynephoretea* en *Trifolio-Festucetalia*). Het aantal kenmerkende soorten van het doeltype bedraagt na ruim 25 jaar beheer 7, terwijl nog geen enkele doelsoort zich heeft gevestigd. Waarschijnlijk is dit toe te schrijven aan een dispersieprobleem, omdat soorten van het doeltype geen persistente zaadbank hebben.

In Loefvledder veranderde het aantal soorten over een periode van 25 jaar niet tot nauwelijks en schommelde tussen 10 en 15. Het aantal kenmerkende soorten van het doeltypen bedraagt na ruim 25 jaar vijf, waarvan één doelsoort. Ook hier trad een verschuiving op van voedselrijkdom naar voedselarmoede indicerende soorten. Dit uit zich in een daling van de gewasproductie van 6 à 7 ton tot 2 à 2,5 ton droge stof per hectare. Deze huidige productie is nog steeds een factor 2 hoger dan de referentie die voor het doeltype (*Nardo-Galium saxatilis*) wordt gehanteerd. Ook hier ontbraken in de zaadbank kenmerkende soorten van het doeltype.

Ontwikkeling fosfaatgehalten en -voorraden

Voor de analyse van de fosfaattoestand van de bodem is het concept gehanteerd dat fosfaat gebonden wordt aan actieve ijzer en aluminiumoxiden en in evenwicht is met opgelost fosfaat in het bodemvocht, dat voor opname beschikbaar is. Het evenwicht tussen deze verschillende fosfaatfracties kan verschuiven.

In beide terreinen werden bodemmonsters genomen van de bouwvoor en geanalyseerd op pH, organische stof-, stikstof- en fosfaatgehalten. Ter vergelijking met fosfaatgehalten uit de 70-er jaren van de vorige eeuw werd daarbij de nodige zorg besteed aan vergelijkbaarheid van analysemethoden. De analyses waren niet

alleen gericht op inzicht in nutriëntgehalten en -voorraden in relatie tot de vegetatieproductie, maar ook op inzicht in het fosfaatgedrag in de bodem (sorptie, fixatie, beschikbaarheid).

Over een periode van 30 jaar beweiding in Baronie Cranendonck daalde het organisch stofgehalte met 0,5 à 1% en daalde de pH-KCl met een halve eenheid. Over deze periode heeft beweiding geleid tot een vermindering van de fosfaatvoorraad, maar niet van de stikstofvoorraad van de bouwvoor. De daling van de fosfaatvoorraad vertaalt zich in een daling van de fosfaatverzadigingsgraad en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht. Voor de vegetatie is daardoor de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem afgenomen. De toename van de stikstofvoorraden lijkt verklaard te kunnen worden uit atmosferische depositie. In tegenstelling tot fosfor wordt stikstof vooral ingebouwd in organische stof, wat zich uit in een daling van de C/N verhouding en een stijging van de N/P verhouding van de organische stof sinds 1974. Er is sprake van een absolute en relatieve stikstofverrijking van de bodem.

In Loefvledder daalde over een periode van ruim 25 jaar hooibeheer de pH met 0,7 tot ruim 1 eenheid. Over diezelfde periode werd een toename waargenomen van de fosfaatgehalten en -voorraden in de bouwvoor, waarschijnlijk als gevolg van een herallocatie van fosfaat uit diepere bodemlagen. Naast een geringe toename van de gefixeerde fosfaatfractie nam vooral ook het organisch fosforgehalte toe. Daarbij vond immobilisatie van fosfor plaats door inbouw in organische stof. De beschikbaarheid van fosfaat in het bodemvocht van de bouwvoor nam echter af. In een relatief schraal perceel waar sinds 1967 niet meer wordt bemest (oude reservaat) namen de stikstofvoorraden toe en in een relatief rijk perceel waar in 1972 met bemesting werd gestopt (nieuwe reservaat), namen de stikstofvoorraden af.

Fosfaatvoorraden in bos

Bij een niet zeer intensief beweidingbeheer is struweel- en bosontwikkeling te verwachten. Via vraat kan een dichte (ruigt)kruidenlaag worden doorbroken, wat kieming van boomsoorten kan bevorderen. Uit ons onderzoek bleek dat op de droge ijzerarme gronden van de Baronie fosfaat vrij makkelijk beschikbaar komt en weer in kringloop kan worden gebracht bijvoorbeeld in een boscysteem. Om een indruk te krijgen van de hoeveelheid fosfaat die in omloop is in de climaxfase van een vegetatiesuccessie naar bos werd een literatuuronderzoek uitgevoerd om een vergelijking te kunnen maken tussen de fosfaatvoorraad in de bodem van landbouwgronden en de totale hoeveelheid fosfaat die is verdeeld over de verschillende compartimenten van oude boscystemen. In Wintereiken-beukenbossen van de iets rijkere zandgronden blijkt, verdeeld over de verschillende ecosysteemcompartimenten, een fosforvoorraad te zijn opgeslagen die van dezelfde orde van grootte is als in fosfaatverzadigde zandgronden van landbouwpercelen. De huidige fosforvoorraden in de bodem van Baronie Cranendonck en Loefvledder zijn een factor 1,5 tot 2 lager dan de fosforvoorraad in boscystemen van de rijkere zandgronden.

Synthese en conclusies

Uit het onderzoek blijkt dat zonder afgraven van de bouwvoor in een periode van 25 jaar de productie van voormalige landbouwgronden sterk kan worden gereduceerd zowel via extensief begrazingsbeheer als via hooilandbeheer. Niet zozeer de beheersvorm maar de bodemkundig/hydrologische gesteldheid is daarbij bepalend voor de mate waarin fosfaatvoorraden in de bodem van de voormalige landbouwgronden kunnen worden gereduceerd. Het blijkt dat niet zozeer het absolute fosfaatgehalte bepalend is voor de fosfaatbeschikbaarheid maar de fosfaatverzadigingsgraad. Het fosfaatgehalte moet daarbij worden beschouwd in relatie tot de fosfaatadsorptiecapaciteit van de bodem, die wordt bepaald door het gehalte ijzer- en aluminiumoxiden. Naarmate de fosfaatverzadiging lager is, is ook de fosfaatbeschikbaarheid geringer. Aldus bleken in 2004 in Loefvledder lagere fosfaatbeschikbaarheden voor te komen dan in Baronie, ondanks hogere absolute fosfaatgehalten in Loefvledder. In Loefvledder is fosfaat vooral in (irreversibel) gefixeerde vorm in de bodem vastgelegd en slechts moeilijk beschikbaar. Daar staat tegenover dat fosfaatverarming van ijzerrijke gronden zoals in Loefvledder een veel langduriger proces is dan op ijzerarme gronden zoals in Baronie.

Geconcludeerd kan worden dat op voormalige landbouwpercelen zonder afgraven van een bouwvoor met een fosforvoorraad van 700 tot 800 kgP.ha⁻¹, overeenkomend met fosfaatverzadigingsgraad van 40 tot 90%, via extensief begrazingsbeheer binnen 30 jaar droge schraalgraslanden als natuurdoeltype tot ontwikkeling kunnen komen met soorten die behoren tot de *Koelerio-Corynephoretea*. Over deze periode worden de fosfaatvoorraden met ca. 50% gereduceerd. De productieniveaus worden daarbij teruggebracht tot tussen 1,8 en 2,4 ton ds.ha⁻¹. Deze lage productieniveaus zijn tot stand gekomen door kalium- en stikstofgebrek. Bij het productieniveau is fosfor geen beperkende factor, zodat voor een verdere daling van de productie de fosfaatbeschikbaarheid lager moet worden. Het feit dat zich relatief weinig doelsoorten van het beoogde natuurdoeltype (o.a. *Koelerio-Corynephoretea*) hebben ontwikkeld, heeft waarschijnlijk eerder te maken met het ontbreken van deze soorten in de zaadbank dan een overmaat aan fosfaat.

Via maaien en afvoeren blijkt dat zonder afgraven van een bouwvoor met een fosfaatvoorraad van 300 tot 750 kgP.ha⁻¹, overeenkomend met een fosfaatverzadigingsgraad van maximaal 20%, binnen een periode van 30 jaar de productie van 6 à 8 ton ds.ha⁻¹.jr⁻¹ kan worden teruggebracht tot ca 2 ton ds.ha⁻¹.jr⁻¹, waarbij een nat schraalgrasland als natuurdoeltype met soorten van het *Nardo-Galium saxatile* tot ontwikkeling kan komen. Dit productieniveau is nog ongeveer een factor 2 hoger dan dat van een gebruikte referentie van het *Nardo-Galium saxatile*. Ondanks het verschrallingsbeheer blijken in de periode van 1978-2004 de fosfaatvoorraden in de bodem met 32-34% te zijn gestegen. Gewasanalyses laten zien dat de lage productieniveaus tot stand zijn gekomen door stikstofbeperking die in de tijd is verschoven naar een co-limitatie van stikstof en kalium. Voor een verdere verlaging van het productieniveau is nog te veel fosfaat aanwezig. Het achterwege blijven van soorten uit het doeltype is toe te schrijven aan het ontbreken van de doelsoorten in de zaadbank.

Uit literatuuronderzoek blijkt dat in oudere bosecosystemen van de zandgronden een hoeveelheid fosfaat van 700 tot 1500 kgP.ha⁻¹ in de verschillende ecosysteemcompartimenten ligt opgeslagen, wat een factor 1 tot 2 hoger is dan in de bouwvoor van Baronie Cranendonck en Loefvledder lag opgeslagen toen zij uit productie werden genomen en wat vergelijkbaar is met de voorraad in de bodem van huidige fosfaatverzadigde gronden. Dit impliceert dat in matig fosfaatverzadigde gronden evenveel fosfaat ligt opgeslagen als in oudere bosecosystemen circuleert. Beweiding lijkt een geschikte beheersvorm om fosfaat weer in kringloop te brengen en bosontwikkeling te stimuleren.

Praktijkrelevantie

Uit het huidige onderzoek wordt geconcludeerd dat ook zonder afgraven van matig tot sterk fosfaatverzadigde gronden schrale natuurdoeltypen tot ontwikkeling kunnen komen in een periode van ruim 25 jaar. Gedurende de eerste decennia worden voornamelijk een gebrek aan stikstof en kalium bepalend voor de productiviteit. Om productieniveaus lager dan 2 à 2,5 ton ds.ha⁻¹ te kunnen realiseren moet de fosfaatvoorraad in de bodem verder omlaag. Het criterium voor een acceptabel fosfaatiniveau waarbij natuurdoelen gerealiseerd kunnen worden, is afhankelijk van het natuurdoeltype. Daarbij blijken richtlijnen voor absolute fosfaatgehalten niet zinvol te zijn. De fosfaatverzadigingsindex die de verhouding tussen geadsorbeerd fosfaat en het gehalte ijzer en aluminiumoxiden weergeeft, is een betere maat om de fosfaattoestand in relatie tot productieniveaus aan te geven. Voor schrale laag productieve vegetaties kan daarbij als richtlijn een fosfaatverzadigingsindex < 0,1 worden aangehouden.

De mogelijkheden voor natuurontwikkeling zonder afgraven zouden moeten worden afgewogen tegen de steeds gangbaardere praktijk om als inrichtingsmaatregel de bouwvoor af te graven. Onduidelijk is op welke termijn bij wel afgraven natuurontwikkelingdoelen gerealiseerd kunnen worden. Primaire successie op initieel moedermateriaal (i.e. vegetatieontwikkeling na afgraven van de bouwvoor) kon wel eens een even lange zo niet langere periode nodig hebben als secundaire successie zonder afgraven. Wel lijkt het van belang maatregelen te nemen die de kolonisatie van karakteristieke planten(doel)soorten via dispersie van zaden vereenvoudigt.

De onderzoeksresultaten kunnen belangrijke consequenties hebben voor de praktijk. Op basis van de verworven inzichten en kennis wordt daarom aanbevolen het onderzoek verder te verbreden en te verdiepen.

1 Inleiding

Achtergrond

In het Natuurbeleidsplan wordt voorzien dat in de komende jaren binnen de contouren van de Ecologische Hoofdstructuur op grote schaal natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden zal plaatsvinden. Londo (1997) geeft aan dat natuurontwikkeling breed moet worden opgevat. Dit impliceert dat niet alleen inrichtingsmaatregelen maar ook beheersmaatregelen als maaien en beweiding nodig zijn. Als referentie voor de te realiseren kwaliteit is een natuurdoeltypenstelsel ontwikkeld dat is gebaseerd op biodiversiteits- en natuurlijkheidscriteria (Bal et al. 2001). Er worden vier hoofdgroepen onderscheiden met een verschillende mate van natuurlijkheid, elk te realiseren via een geëigende beheerstrategie met een verschillende mate en intensiteit van menselijke sturing in biotische en abiotische processen. De ruimtelijke schaal speelt een belangrijke rol bij de keuze van een beheersstrategie, terwijl de abiotische randvoorwaarden doorslaggevend zijn voor de kansrijkdom van een gealloceerd natuurdoeltype.

Afhankelijk van de uitgangssituatie kunnen voor de beoogde kwaliteit van de natuurdoelen inrichtingsmaatregelen noodzakelijk zijn. De indruk bestaat dat bij omvorming van landbouwgronden naar natuur de historisch gegroeide fosfaatvoorraad een belangrijke belemmering vormt voor de realisatie van gewenste voedselarme natuurdoeltypen. Het blijkt vooralsnog onbekend welke fosfaalniveaus voor welke natuurdoeltypen acceptabel zijn en hoe vervolgens geschikte randvoorwaarden kunnen worden gerealiseerd. Als pragmatische oplossing wordt vaak gekozen voor meer of minder diepe ontgronding al dan niet in combinatie met vernatting (Sival & Chardon 2002, Sival et al. 2004, Lamers et al. 2005).

Probleemstelling

In toenemende mate komen inrichtingsmaatregelen voor natuurontwikkeling zoals afgraven of ontgronden en vernatting onder druk te staan omdat ze moeilijk zijn te verenigen met nationale en internationale regelgeving vanuit andere beleidssectoren. Onverenigbaarheid van beleidsdoelen leidt tot hoge maatschappelijke inspanningen en kosten bij het zoeken naar en realiseren van oplossingen, terwijl het rendement van inrichtingsmaatregelen, althans voor de gestelde 'schrane' natuurdoelen, onbekend is (o.a. Van Delft & Jansen, 2003). Vanuit de praktijk komt een aantal 'frustrerende' problemen naar voren (Noij, 2004):

- In het nationale Natuurbeleidsplan (1990) zijn natuurdoeltypen geformuleerd. Echter, de historisch gegroeide grote P-voorraden in gebieden waar conversie van landbouw naar natuur plaatsvindt, vormen in toenemende mate een belemmering. Realisatie van de gealloceerde natuurdoelen wordt veelal slechts mogelijk geacht door ontgronding en of vernatting ter verwijdering van P-voorraden.
- Via de Europese Habitatrictlijn wordt in het Natuurbeleid uitwerking gegeven aan de verplichting leefgebieden voor bijzondere soorten veilig te

stellen ter instandhouding van de biodiversiteit. Doelsoorten zijn vaak afhankelijk van schrale en natte milieus.

- Waterbeheer 21^{ste} eeuw (2000) en het anti-verdrogingsbeleid leiden tot het formuleren van ‘vernattingsdoelen’ vaak in combinatie met natuurontwikkeling. Door vernatting van met name voormalige landbouwgronden wordt juist fosfaat gemobiliseerd dat vervolgens uitspoelt naar het oppervlaktewater. Dit verdraagt zich niet met de doelen van de Kader Richtlijn Water (KRW, 2002).
- De KRW vraagt om het terugdringen van (o.a.) fosfaatconcentraties in oppervlaktewater om te voldoen aan Europese normen.
- Ontgronding ter verlaging van P-voorraden wordt steeds problematischer omdat dit het anti-ontgrondingsbeleid (Verdrag van Valetta, Malta) ter veiligstelling van aardkundige en archeologische waarden, frustreert.
- Regelgeving rond grondstromen en grondverzet conform het besluit bouwstoffen kan leiden tot zeer hoge kosten voor schoongrondverklaring alvorens tot ontgronding kan worden overgegaan.

Tijdens een tweetal workshops (zie Woord vooraf) bleek dat vanuit het onderzoek nog geen adequate antwoorden kunnen worden gegeven op vragen naar gewenste P-niveaus, dan wel naar geschikte parameters om de fosfaattoestand te duiden. Daarnaast levert de vraag ‘afgraven of niet’ tegenstrijdige meningen op: afgraven kan weliswaar een te veel aan voedingsstoffen verwijderen, maar impliceert tevens een aantasting van de zuurbuffercapaciteit en kan leiden tot een vernietiging van de zaadbank of bodembiodiversiteit. In veel gevallen blijkt ook afgraven althans op de korte termijn niet tot gewenste resultaten te leiden (Sival & Chardon, 2002).

Doelstelling

Het natuurontwikkelingsbeleid in Nederland is sterk deterministisch gericht. Bij de allocatie van natuurdoelen wordt in hoge mate uitgegaan van de maakbaarheid van abiotische randvoorwaarden. In samenhang met beleidsontwikkelingen in andere sectoren blijkt deze maakbaarheid in toenemende mate onder druk te staan.

Het doel van het onderhavige onderzoeksproject is een verkenning van alternatieve trajecten van natuurontwikkeling bij verschillende vormen van beheer van voormalige landbouwgronden, waarbij het determinisme wordt losgelaten en ontgronding als inrichtingsmaatregel achterwege wordt gelaten. Welke mogelijkheden zijn er voor natuurontwikkeling op landbouwgrond zonder inleidende inrichtingsmaatregelen zoals afgraven van de bouwvoor?

Deze verkenning kan leiden tot nieuwe inzichten voor natuurontwikkelingsmogelijkheden op fosfaatverzadigde gronden en daarmee een perspectief bieden op een vereenvoudigde inrichtingsopgave tegen een grotere kosteneffectiviteit bij ontwikkeling van nieuwe natuur in het landelijk gebied.

Onderzoekvraag

Het onderzoek spitste zich toe op natuurontwikkeling van voormalige agrarische gronden van het Pleistocene zandlandschap die met fosfaatmeststoffen verrijkt

waren aan het begin van het natuurontwikkelingstraject. Het onderzoek moest leiden tot beantwoording van een aantal vragen:

- Welke natuurdoeltypen zullen zich, zonder ontgroning als inrichtingsmaatregel, op termijn ontwikkelen op fosfaatverrijkte zandgronden bij extensief begrazingsbeheer of hooilandbeheer?
- Welke verschuivingen treden onder invloed van deze beheersstrategieën op in termen van de fosfaatbalans; in hoeverre wordt de in de bodem opgeslagen fosfaatvoorraad weer in kringloop gebracht of uitgemijnd?
- Hoe verhoudt de fosfaatvoorraad in bodems van landbouwecosystemen zich tot die in de verschillende ecosysteemcompartimenten van climaxvegetaties (oude bossen) op vergelijkbare primaire standplaatsen?

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt op hoofdlijnen de aanpak van het onderzoek in een tweetal studiegebieden geschetst en de conceptuele uitgangspunten die daarbij zijn gehanteerd. In hoofdstuk 3 wordt in meer detail de onderzoeksmethode voor het vegetatiekundig deel van het onderzoek toegelicht en worden vervolgens de resultaten besproken en bediscussieerd. In hoofdstuk 4 wordt uiteengezet hoe de fosfaattoestand van de bodem is geanalyseerd en tot welke inzichten dit heeft geleid over veranderingen in fosfaatgehalten en –voorraden in de bodem. In hoofdstuk 5 worden de conclusies van beide eerdere hoofdstukken bijeengebracht tot een synthese, waarbij conclusies worden getrokken over gerealiseerde natuurdoelen na 30 jaar natuurontwikkeling op fosfaatverrijkte gronden.

2 Werkwijze

2.1 Case studies

Aan het begin van de zeventiger jaren van de vorige eeuw ontwikkelde zich een Europees landbouwbeleid waarbij door subsidieregelingen een sterkere concentratie van landbouwbedrijven op productieve gronden werd gestimuleerd en waardoor marginale gronden werden verlaten door de landbouw (Bakker 1989). In deze tijd richtten ecologen in verschillende delen van het land terreinen in waar zij wilden onderzoeken in hoeverre op deze landbouwkundig gebruikte gronden de teloorgang van de natuur kon worden teruggedraaid. Met name deden zich mogelijkheden voor op de arme zandgronden van Brabant en Drenthe waar ooit sprake was van een zeer gevarieerde en rijke natuur. In die tijd werd fosfaat in de bodem als een persistent probleem voor natuur beschouwd en werd het natuurbeheer gericht op langdurige verschraling via maaien en afvoeren dan wel via beweiding. In Baronie-Cranendonck werd door het toenmalige Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN) een experiment gestart waar het effect van beweiding op de vegetatieontwikkeling werd bestudeerd. In het Stroomgebied van de Drentse Aa werden door het toenmalige Laboratorium voor Plantenoecologie van de Rijksuniversiteit Groningen terreinen ingericht waar effecten van verschillende vormen van beheer naast elkaar konden worden gevolgd.

2.1.1 Globale aanpak

Ons project borduurt voort op de genoemde casestudies, zodat een periode van ongeveer dertig jaar natuurontwikkeling kan worden beoordeeld. Ons onderzoek is zodanig opgezet dat zowel het effect van extensief begrazingsbeheer als van hooilandbeheer (maaien en afvoeren) op fosfaatverrijkte zandgronden in beschouwing kan worden genomen. Onderzocht werd wat het effect was op de vegetatieontwikkeling en de fosfaattoestand van de bodem. In beide casestudies werden geen inrichtingsmaatregelen genomen, zodat de fosfaattoestand die door landbouwkundig gebruik was ontstaan, tevens het uitgangspunt voor natuurontwikkeling is geweest. In beide gebieden is dezelfde vorm van beheer over de gehele periode gehandhaafd. Van beide cases is de uitgangstoestand van fosfaat in de bodem (rond 1975) vastgelegd en zijn ontwikkelingen in de vegetatie gevolgd tot op heden.

In het huidige project is de fosfaattoestand van de bodem in 2004 en 2005 opnieuw bepaald. De natuurdoelrealisatie is geëvalueerd in termen van doelsoorten. Indicatorsoorten zijn als procesparameters gebruikt. Beide langjarige reeksen zijn geanalyseerd op verbanden tussen beheersvorm, biotische parameters en de fosfaattoestand. Nagegaan is of de gesignaleerde ontwikkelingen convergeren dan wel divergeren met beoogde natuurdoelen.

Aandacht is besteed aan de vraag in hoeverre, in welke mate en op welke wijze enerzijds grote grazers een rol spelen bij het in kringloop brengen en de herverdeling van fosfaat dat in landbouwecosystemen is geaccumuleerd en anderzijds in welke mate maaien en afvoeren tot een verschraling van de fosfaattoestand heeft geleid.

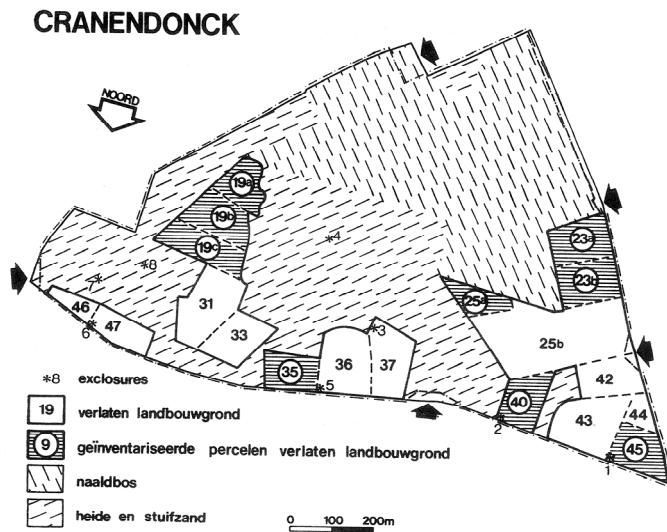
Baronie Cranendonck

Het begrazingsproject Baronie Cranendonck is als casestudie voor ontwikkelingen bij extensief begrazingsbeheer gebruikt (Oosterveld 1976, Van de Laar & Slim 1979, Kuiters 2004).

In het kader van DWK-project 'Begrazing als landschapsvormend proces' werden in 2000 en 2002 in de Baronie vegetatieopnamen gemaakt en bodemmonsters genomen. In 2004 werden bodemmonsters en in 2005 gewasmonsters geanalyseerd op de nutriënttoestand. De ontwikkeling van de vegetatie werd geanalyseerd over een periode van dertig jaar sinds het gebied uit landbouwproductie werd genomen. De vegetatieontwikkelingen werden getoetst aan de criteria van het natuurdoeltypenstelsel.

De veranderingen in de nutriëntgehalten en -voorraden over een periode van dertig jaar werden tevens bepaald en in verband gebracht met het gevoerde beheer.

Het gebied is gelegen in de bovenloop van de Strijper Aa ten westen van Soerendonck in de Brabantse Kempen en heeft een oppervlakte van ongeveer 95 ha (Van de Laar & Slim 1979). Bodemkundig maakt het gebied deel uit van een beekdallandschap met stuifzandgronden, humuspodzolgronden en gooreerdgronden (Heijink 1975). Het gebied bestaat uit dennenopstanden (30 ha), heide (30 ha) en voormalige landbouwgronden (35 ha), die 40 á 50 jaar in gebruik zijn geweest (zie Figuur 1). De akkers werden destijds zwaar bemest met drijfmest veelal afkomstig uit de intensieve varkenshouderij en werden gebruikt voor teelt van rogge, andere granen en maïs. In 1973 is het gehele gebied in jaarrond begrazing genomen door inzet van een kudde van uiteindelijk ca. 10 IJslandse pony's. De doelstelling van het beheer is handhaving van een open landschap met gradiënten tussen bos, heide en heischrale graslanden. Het natuurdoeltype, een begrip dat nog niet bekend was in 1973, zou voor de grazige delen het best als 'Droog schraalgrasland van de hogere gronden' (type 3.33) getypeerd kunnen worden.



Figuur 1 Plattegrond van het gebied Baronie Cranendonck (bron Van de Laar & Slim, 1979)

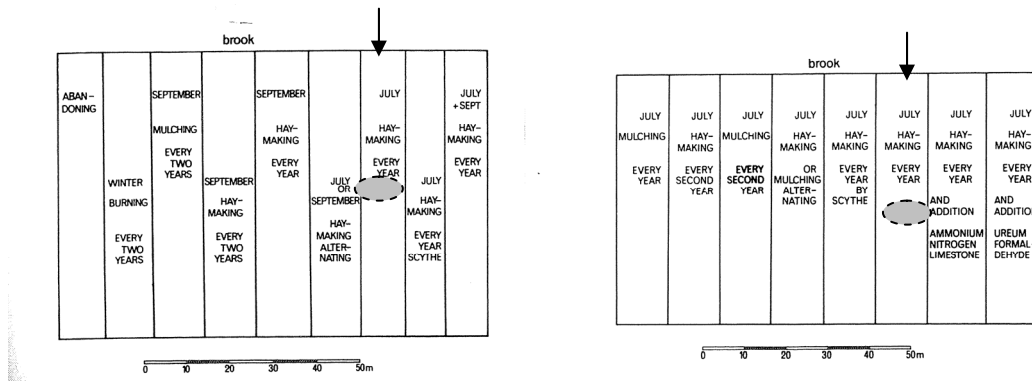
Loefvledder

Een langjarige verschrallingsreeks (sinds ca. 1972) in Loefvledder op het Drents Plateau nabij het Anloër Diepje (Bakker 1989, Bakker et al. 2002) is als casestudy gebruikt voor natuurontwikkelingen bij half-natuurlijk beheer. Loefvledder maakt deel uit van het Stroomdallandschap Drentse Aa, dat sinds 1965 bestaat. Het reservaat bestaat uit beekdalgraslanden op de overgang van hogere gronden met humuspodzolen naar het dal van het Anloër Diepje met beekerd- en broekerdgronden met mogelijk enige invloed van uittredend grondwater.

Door Bakker (1989) is in Loefvledder onderzoek gedaan naar effecten van verschillende vormen van vegetatiebeheer op regeneratie van soortenrijke graslanden door verschralling van landbouwgronden die in 1967 (oud reservaat) en 1972 (nieuw reservaat) uit productie werden genomen. De graslanden werden in de 50-er jaren al als intensief gebruikte en bemeste gronden beschouwd met een botanisch geringe kwaliteit. In 1973 werd de vegetatiekundige en bodemkundige uitgangssituatie voor natuurontwikkeling vastgelegd. Vegetatiekundig werd het onderzoek voortgezet tot op heden, terwijl analyses van nutriëntgehalten in de bodem alleen gedurende de eerste tien jaar werden uitgevoerd.

In het kader van het huidige project werden in 2004 en 2005 in percelen waar een beheer werd gevoerd van jaarlijks 1x maaien en afvoeren (juli) nabij enkele pq's opnieuw bodemmonsters genomen voor analyse van nutriëntgehalten (zie Figuur 2). De verandering in nutriëntgehalten en -voorraden sinds het begin van het experiment werd geanalyseerd en in verband gebracht met het gevoerde beheer. Nutriëntgehalten van het gewas werden geanalyseerd om een indruk te krijgen van de aard van de productiebeperkende factoren. Ontwikkelingen in de vegetatie werden gerelateerd aan beoogde natuurdoeltypen. Als doeltype van het beheer wordt 'Nat

schraalgrasland' (type 3.29: Bal et al. 2001) aangehouden, terwijl vegetatiekundig het *Nardo-Galion saxatilis* (Schaminée et al. 1996) als referentie wordt aangehouden.



Figuur 2 Schematische plattegrond van het nieuwe (1972, links) en oude (1967, rechts) reservaat in Loefvledder met beheersvormen en locatie van monstername. Pijlen markeren de percelen waar 1x per jaar in juli wordt gehooid en die in 2004 bodemkundig zijn bemonsterd. De gearceerde cirkels markeren het bemonsterde gedeelte van het perceel (bron Bakker 1989).

2.1.2 Literatuuronderzoek

Indien ontgronden niet mogelijk is om een overmaat aan fosfaat te verwijderen, blijven twee mogelijkheden over. Een beheer van maaien en afvoeren, zoals in Loefvledder, is gericht op uitputting van de fosfaatvoorraad van de bodem. Via het alternatieve beheer van beweiding wordt fosfaat weer in kringloop gebracht. Bij een niet zeer intensief graasbeheer is struweel- en bosontwikkeling te verwachten. Via vraat kan een dichte (ruigt)kruidenlaag worden doorbroken, wat kieming van boomsoorten kan bevorderen. Om een indruk te krijgen van de hoeveelheid fosfaat die in omloop is in de climaxfase van een vegetatiesuccessie naar bosccosystemen (beheersstrategie nagenoeg natuurlijk) is met behulp van literatuurgegevens geprobeerd een analyse te maken van de fosfaatbalans in jonge en oude bosccosystemen. Daarbij is aandacht besteed hoe en in welke mate fosfaat verdeeld is over de verschillende ecosysteemcompartimenten. Inzicht in de fosfaatbalans van bosccosystemen kan een indicatie geven van de fosfaatvoorraad in landbouwgronden ten opzichte van die in oude bosccosystemen.

Hiertoe zijn enkele data-bestanden geanalyseerd die werden verzameld in het kader van het bosreservatenprogramma. Het betreft gegevens van een aantal jonge en oude bossen op arme en rijkere zandgronden: Norgerholt, Mattenburgh, Lheebroek, Smoddebos en Houtribbos (Kemmers et al. 1998, Kemmers en Mekking 1999, Kemmers et al. 2000, Kemmers en Mekking 2003). Daartoe werd langs transecten het humusprofiel beschreven, bemonsterd en bodemchemisch geanalyseerd. Naast gemiddelde waarden en standaardafwijkingen van horizontdikten, nutriëntengehalten en pH werden voorraden van C, N en P in de strooisellaag en de minerale ondergrond tot ca. 20 cm-mv berekend. De nutriëntenvoorraden in de biomassa zijn gebaseerd op literatuuronderzoek. (De Vries et al. 1990). De eindtoestand van deze

climaxvegetaties is vergeleken met de bodemkundige uitgangstoestand en de toestand na ca. 30 jaar van beide cases.

2.2 Concepten

2.2.1 Natuurontwikkeling

Het onderzoek sluit aan bij de concepten conform het 'Handboek natuurdoeltypen' (Bal et al. 2001). Natuurdoeltypen zijn daarbij gedefinieerd als combinatie van doelsoorten en bijbehorende 'natuurlijke' processen die een bijdrage leveren aan biodiversiteit en natuurlijkheid. De processen kunnen door verschillende beheersstrategieën worden gestuurd.

Bij begeleid natuurlijk beheer wordt gestuurd op landschapsvormende processen ter verhoging van differentiatie tussen plantengemeenschappen op landschapsniveau (> 500 ha). Extensief begrazingsbeheer past daar goed in. Het beheer is zeer extensief en bestaat vooral uit jaarrondbegrazing als vorm van natuurlijk biotisch beheer. Strikt genomen voldoet het beheer in de Baronie niet aan de criteria voor begeleid natuurlijk beheer. Daar staat tegenover dat extensief begrazingsbeheer ook in half-natuurlijke landschappen kan worden toegepast.

Halfnatuurlijk beheer richt zich op bevordering van specifieke successiestadia, is kleinschalig en stuurt op aspecten die op perceelsniveau spelen. Het beheer is intensief en bestaat uit maaien, hooien al dan niet in combinatie met (seizoen)begrazing. Bij beide beheersstrategieën gaat het om de kwaliteit van de(zelfde) plantengemeenschappen, waarbij doelsoorten als procesparameters worden onderscheiden en centraal staan. Bij beide beheersstrategieën wordt uitgegaan van lange ontwikkelingsreeksen, waarbij pas op lange termijn een hoge natuurkwaliteit mag worden verwacht.

Om de effectiviteit van beheer te kunnen volgen zijn ontwikkelingsreeksen beschikbaar. De ontwikkelingsreeksen zijn gebaseerd op een matrixbenadering (Schaminée et al. 2001), waarbij voor de verschillende landschapstypen van o.a. de hogere zandgronden wordt aangegeven langs welke lijnen de te verwachten plantengemeenschappen zich zullen ontwikkelen. Bij begeleid natuurlijk beheer zal het grootste deel van het Pleistocene plateaulandschap op de armste plekken (droge dekzanden) bestaan uit bossen van het *Betulo-Quercetum* en op de wat rijkere plekken uit bossen van het *Fago-Quercetum*. Daarnaast zullen afhankelijk van o.a. de begrazingsdruk in verschillende verhoudingen tot elkaar heidevelden (*Calluno-Ulicetea*), graslanden (*Koelerio-Corynephoretea* en *Nardetea*), zomen (*Melampyro-Holcetea*), struwelen (*Lonicera-Rubetea*) en eventueel vennen aanwezig zijn.

2.2.2 Fosfaatverzadigde gronden

Bij de analyse van de fosfaattoestand van de bodem is het uitgangspunt geweest dat fosfaat wordt gebonden aan 'actieve' Fe- en Al-oxiden. Daarbij wordt uitgegaan van een evenwicht tussen geadsorbeerd fosfor en fosfaat in de bodemoplossing. Door extractie van een bodemmonster met oxalaat kan zowel het actieve Fe en Al als het daaraan gebonden fosfor worden bepaald (Schwertmann 1964). De fosfaatverzadigingsindex (PSI) wordt berekend volgens (Koopmans 2004):

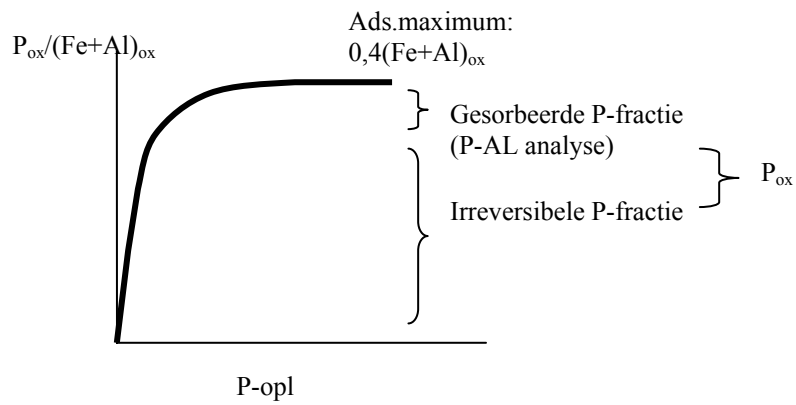
$$PSI = P_{ox} / (Al + Fe)_{ox} \quad (1)$$

De PSI kan een maximale waarde van 0,4 à 0,45 bereiken. Er is dan sprake van een adsorptiemaximum (fosfaatverzadigde grond).

De evenwichtsreactie tussen geadsorbeerd en opgelost fosfaat kan worden beschreven met een Langmuir-(adsorptie)-isotherm (zie Figuur 3). Deze isotherm geeft het verband weer tussen de geadsorbeerde fosfaatfractie (PSI) en opgelost fosfaat (P_{water}). Dit verband verloopt niet lineair. Bij verschraling vanuit een min of meer fosfaatverzadigde bodem (het horizontale deel van de isotherm) neemt de concentratie sterk af waarbij de vaste fase nauwelijks afneemt. Dit deel van de isotherm wijst op vrijwel verzadigde omstandigheden, waarbij fosfaat vooral vanuit de gesorbeerde (i.e. reversibel gebonden) fase in oplossing komt en makkelijk beschikbaar is. In het verticale deel van de curve is het fosfaatevenwicht sterk verschoven naar geadsorbeerde fase waardoor de fosfaatconcentratie op een veel lager niveau wordt gebufferd. In dit deel van de curve is een langzame diffusiereactie verantwoordelijk voor het slechts moeizaam in oplossing komen van de gefixeerde (quasi-irreversibele) fosfaatfractie (Koopmans et al. 2004). In dit deel van de curve is de fosfaatbeschikbaarheid gering. De fosfaatconcentratie daalt nog maar langzaam bij verdere afname van het geadsorbeerde fosfaat. De helling van het verticale deel van de isotherm geeft informatie over de bindingssterkte van het evenwicht tussen geadsorbeerd en opgelost fosfaat.

Beschikbaarheid van fosfaat

Er zijn verschillende fosfaatextractiemethoden in omloop ter bepaling van het anorganisch fosforgehalte. De oxalaatextractie (P_{ox}) extraheert al het aan Fe- en Al gebonden fosfaat; een ammoniumlactaat extractie (P-AL) is een mildere extractie en wordt verondersteld het makkelijk desorbeerbare fosfaat vrij te maken. Deze extractie wordt voor landbouwkundige doeleinden gebruikt om een indruk te krijgen van het potentieel beschikbare fosfaat voor het gewas. Bemestingsadviezen voor weidebouw worden gebaseerd op P-AL waarden. Het P_w-getal (Sissingh 1971) is eveneens een landbouwkundig criterium om bemestingsadviezen voor akkerbouw op te baseren. Het P_w-getal wordt bepaald door een waterextractie met een grond/water verhouding v/v=1:60. Tenslotte wordt een waterextractie met een grond/water verhouding 1:2 ($P_{w1:2}$) gebruikt als een benadering voor de fosfaatconcentratie die in evenwicht is met de vaste fase en makkelijk beschikbaar (desorbeerbaar) is voor de plant. De PSI en de $P_{w(1:2)}$ zijn gebruikt om de Langmuir-isotherm af te leiden.



Figuur 3 Langmuir-isotherm die het verband beschrijft tussen geadsorbeerd fosfaat (verticale as) en opgelost fosfaat.

Tenslotte kan berekend worden wat de totale fosfaatvoorraad in de bodem is, ongeacht in welke vorm fosfaat aanwezig is. Daartoe is in het onderzoek een P_{totaal} analyse als uitgangspunt gekozen.

3 Vegetatie onderzoek

3.1 Werkwijze en methoden

3.1.1 Baronie Cranendonck

Vegetatiekundige aspecten

Bij de start van het beweidingonderzoek in de Baronie Cranendonck in 1972 is een 8-tal exclusures aangelegd met als doel veranderingen in bodem en vegetatie in aan- of afwezigheid van de grazers te kunnen volgen in de tijd. Vijf exclusures lagen in voormalige landbouwpercelen (nrs. 1, 2, 3, 5 en 6). Deze waren 10 x 10 m en waren ontoegankelijk voor de IJslandse pony's. Twee daarvan (nrs. 3 en 5) waren voorzien van een binnenraaster, waarbij een gedeelte tevens voor konijnen was afgeschermd. Een zesde exclusure (nr. 4) lag in het heide/stuifzandgebied en nog twee andere (nrs. 7 en 8) lagen op het dichtgeschoven vuilstortterrein. Nr. 4 en 8 hadden een afwijkende afmeting van 20 x 50 m.

In de exclusures en aangrenzend daarbuiten zijn permanente kwadraten (pq's) gemarkeerd met een afmeting van 1 x 4 m. Van 1973 tot en met 1982 zijn de pq's jaarlijks in de maand juni opgenomen met de opnameschaal volgens Doing (Doing-Kraft 1954). Dit is nog een keer herhaald in 1985. In 2000 zijn de pq's in en buiten de exclusures 1, 2, 3, 5, 6 en 7 opnieuw opgenomen. De meeste exclusures waren nog intact. Alleen van nr. 7 bleek in 2000 de afrastering deels kapot. Deze is dus een aantal jaren begraaasd geweest. In 2003 zijn van alle exclusures de rasters gecontroleerd en waar nodig hersteld.

In dezelfde periode zijn op een 9-tal voormalige landbouwpercelen (zie figuur 1: 19a, 19b, 19c, 23a, 23b, 25a, 35, 40, 45) tevens inventarisaties uitgevoerd van plantensoorten volgens de opnameschaal van Tansley.

De pq-opnamen zijn in TURBOVEG (Hennekens & Schaminée 2001) ingevoerd en verwerkt in synoptische tabellen. Met behulp van ASSOCIA (Van Tongeren 2000) is voor ieder pq de plantengemeenschap bepaald. Wanneer ASSOCIA koos voor een weinig realistische plantengemeenschap, is gewerkt met de tweede keus van het programma. Op deze wijze kon een beeld worden gevormd van de successie op de voormalige landbouwgronden.

Soorten aangetroffen in de pq's werden gekarakteriseerd op basis van hun indicatieve waarde voor nutriëntarme (P), intermediaire (I) of nutriëntrijke bodems (R) op basis van Ellenberg-waarden (bron: SynBioSys, Hennekens et al. 2001).

Gewasproductie

Op een zestal voormalige landbouwpercelen zijn in 2005 gewasmonsters genomen om de droge stofproductie en de nutriëntgehalten van het gewas te bepalen. Hiertoe werden op representatieve plekken in drie van de armste percelen (19A, 19B, 19C,

zie Figuur 1) en in drie van de rijkste percelen (23B, 40 en 45) graskooien geplaatst (1x4 m) om de vegetatie tegen vraat te beschermen. De kooien werden geplaatst op 7 april en ten tijde van 'peak standing crop' op 4 juli weer verwijderd nadat 1m² van het gewas was geoogst. Van het gewasmonster werd het drooggewicht bepaald en het N-, P- en K-gehalte bepaald.

Er zijn geen gegevens bekend van de gewasproductie uit de beginperiode van het experiment in de 70-er jaren, zodat de ontwikkeling van de gewasproductie niet is te reconstrueren.

3.1.2 Loefvledder

Vegetatiekundige aspecten

In Loefvledder was in zowel het oude als het nieuwe reservaat in ieder perceel aan de beekzijde, in het midden en op de kopzijde een 2-tal pq's gesitueerd van 2 x 2 m. Van 1973 tot 2000 is de vegetatie jaarlijks in juni opgenomen met een decimale schaal volgens Londo (1976). Het aantal soorten per perceel en hun gemiddelde bedekking werd berekend als gemiddelde van de twee proefvlakken op de kopzijde van het perceel.

Als lokale referentie werd een naburig reservaat gekozen dat al sinds de jaren 40 van de vorige eeuw niet meer was bemest. Hier lagen 5 pq's van 2 x 2 m. Ook werd een tweetal regionale referenties samengesteld op basis van opnamen uit de Landelijke Vegetatie Databank afkomstig van het Drents Plateau:

- a) een groep van 6 opnamen die een slecht ontwikkeld *Nardo-Galium saxatile* vertegenwoordigden;
- b) een groep van 5 opnamen die een goed ontwikkeld *Nardo-Galium saxatile* vertegenwoordigden.

Soorten van het *Nardo-Galium saxatile* zoals op het Drents Plateau worden aangetroffen zijn Borstelgras (*Nardus stricta*), Zwarte zegge (*Carex nigra*), Veelbloemige veldbies (*Luzula multiflora*), Trekrus (*Juncus squarrosus*), Blauwe knoop (*Succisa pratensis*), Valkruid (*Arnica montana*), Gewone dophei (*Erica tetralix*) en Struikhei (*Calluna vulgaris*).

Soorten aangetroffen in de pq's werden gekarakteriseerd op basis van hun indicatieve waarde voor nutriëntarme (P), intermediaire (I) of nutriëntrijke bodems (R).

Gewasproductie

Over de periode 1973-1999 is jaarlijks de gewasproductie in de verschillende percelen bepaald. In het kader van dit project werden de gedroogde gewasmonsters van 1999 geanalyseerd op N-, P- en K-gehalte.

3.2 Resultaten en discussie

3.2.1 Baronie Cranendonck

Soorten en vegetatie

Op de verlaten akkers kwam in de eerste jaren een secundaire successie op gang van akkergemeenschappen (*Sperguletalia arvensis*), met soorten als Grote windhalm (*Apera spica-venti*), Gewone reigersbek (*Erodium cicutarium* subsp. *cutarium*), Melganzevoet (*Chenopodium album*), Vogelmuur (*Stellaria media*) en Eenjarige hardbloem (*Scleranthus annuus*) (tabel 1; zie ook Van de Laar & Slim 1979, 1981). Soorten behorend tot akkeronkruidgemeenschappen uit de klasse *Chenopodietea* en de klasse *Secalietea* (*Aperetalia*) zijn daarna in de loop van de jaren nagenoeg verdwenen. Ze maakten geleidelijk plaats voor soorten van droge, relatief voedselarme en zandige graslanden van de klasse *Koelerio-Corynephoretea*, zoals Zandstruisgras (*Agrostis vinealis*), Fijn schapegras (*Festuca filiformis*) en Purpersteeltje (*Ceratodon purpureus*). Het blijkt dat na ruim 25 jaar begrazingsbeheer zich 5 tot 10 soorten hebben gevestigd die kenmerkend zijn voor het doeltype, daaronder bevindt zich echter geen enkele doelsoort.

In de beginjaren bedroeg het aantal soorten in de pq's gemiddeld 15 soorten (Figuur 4). In 1976 trad in alle pq's een tijdelijk sterke daling van het aantal soorten op als gevolg van de extreem droge en warme zomer. Over vrijwel de gehele periode lag het aantal soorten in de begraasde pq's (pony en konijn) wat hoger ten opzichte van de onbeweide pq's (geen pony, wel konijn), al was de variatie tussen de pq's aanzienlijk. Acht jaar na braaklegging (1980) waren de verschillen het grootst. Recentelijk leek het aantal soorten in de begraasde pq's weer wat gedaald en in de onbegaasde pq's enigszins gestegen, waardoor er na 30 jaar geen significante verschillen meer waren wat betreft het aantal soorten.

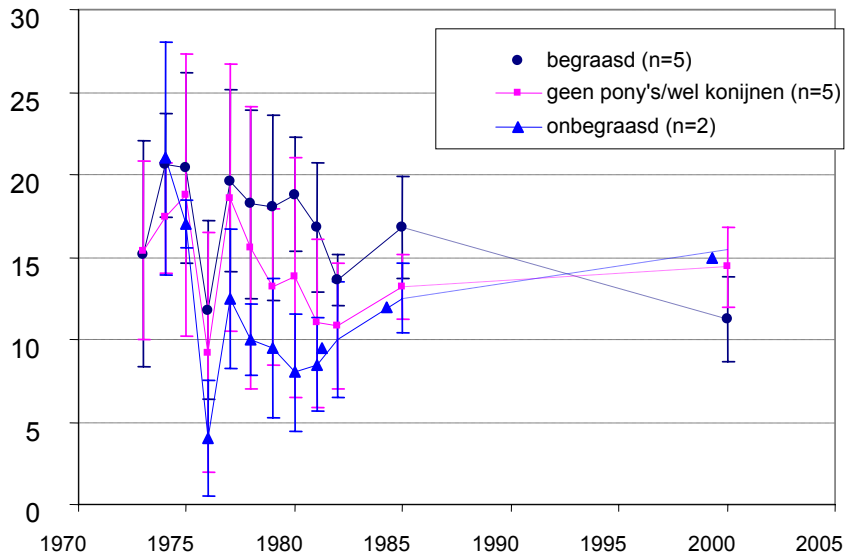
In 1973 bestond de vegetatie voor het belangrijkste deel uit soorten van nutriëntrijke bodems. In 2000 hadden deze soorten grotendeels plaats gemaakt voor soorten die indicatief waren voor nutriëntarme bodems (Figuur 5). Het aantal soorten van nutriëntarme bodems leek in de begraasde (pony en konijn) pq's vanaf 1985 gestabiliseerd. In de onbeweide pq's (geen pony wel konijn) nam het aantal nog altijd toe. Het totale aantal soorten in de begraasde pq's leek enigszins te zijn gedaald van 15 (± 6) in 1973 naar 11 (± 3) in 2000, vooral als gevolg van het vrijwel geheel verdwijnen van (akker)soorten van nutriëntrijke bodems.

In 2002 zijn op een 9-tal voormalige landbouwpercelen (19A, 19B, 19C, 23A, 23 B, 25A, 35, 40 en 45) ook vegetatieopnamen gemaakt volgens de Tansley-methode, op dezelfde wijze als eerder in de jaren 70 en begin jaren 80. In totaal werden er 116 plantensoorten aangetroffen, waarbij het aantal soorten dat op een perceel werd aangetroffen varieerde van 38 tot 75. De opnamen zijn geclusterd tot 3 perceeltypen op basis van bodemkundige eigenschappen (zie voor een bodemkundige beschrijving paragraaf 4.1.3). Er zijn gemiddelde indicatiewaarden berekend op basis van Ellenbergwaarden voor stikstof en zuurgraad.

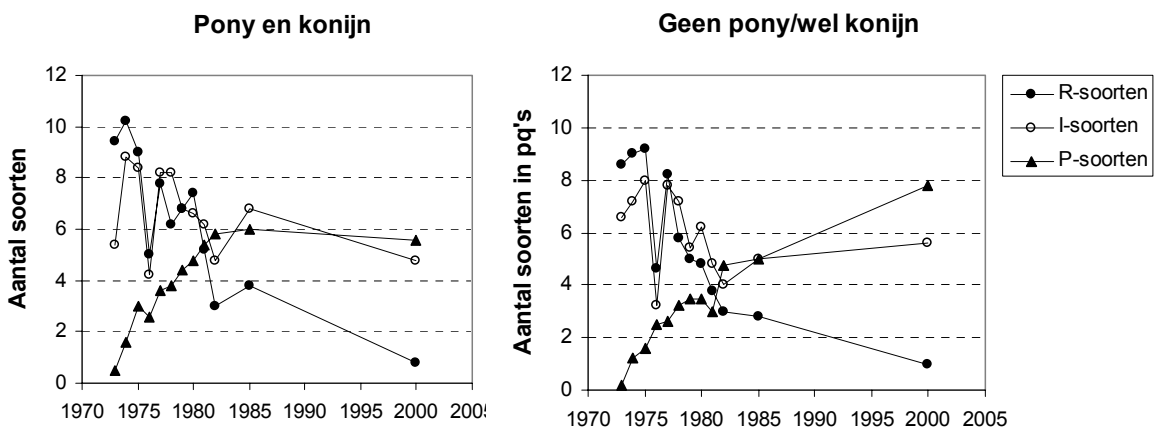
Tabel 1 Verschuiving in soortensamenstelling van de pq's onder invloed van de verschillende begrazingsregimes (pony + konijn: n=5; alleen konijn: n=5; onbegaasd: n=2). De gebruikte codes per soort (R, I, P) geven de indicatiemaarde aan voor de nutriëntenstatus van de bodem op basis van Ellenberg-waarden (bron : SynBioSys; Hennekens et al. 2001). Doelsoorten en kenmerkende soorten van het natuurdoeltype zijn met een d resp. k aangeduid.

Jaar	1973	1973	2000	2000	2000
Bedekking kruidlaag (%)			88	96	77
Bedekking moslaag (%)			32	20	20
Grote grazers	pony	-			
Kleine grazers	konijn	konijn		pony	konijn
Code	bu	bi	bi'	bu	bi
Aantal soorten	15,2	15,4	13,7	11,2	14,4
stand deviatie	6,8	5,4	3,1	2,6	2,4
<i>Agrostis stolonifera</i>	R	R	.	.	.
<i>Alopecurus geniculatus</i>	R	R	.	.	.
<i>Apera spica-venti</i>	R	R	.	.	.
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	R	R	.	.	.
<i>Centaurea cyanus</i>	I	I	.	.	.
<i>Chenopodium album</i>	R	R	.	.	.
<i>Erodium cic. subsp. cic.</i>	I	I	.	.	.
<i>Juncus bufonius</i>	I	I	.	.	.
<i>Lolium perenne</i>	R	R	.	.	.
<i>Phleum pratense</i>	I	I	.	.	.
<i>Plantago major</i>	R	R	.	.	.
<i>Poa annua</i>	R	R	.	.	.
<i>Polygonum aviculare</i>	R	R	.	.	.
<i>Polygonum convolvulus</i>	R	R	.	.	.
<i>Raphanus raphanistrum</i>	R	R	.	.	.
<i>Scieranthus annuus</i>	I	I	.	.	.
<i>Spergula arvensis</i>	I	I	.	.	.
<i>Stellaria media</i>	R	R	.	.	.
<i>Trifolium repens</i>	R	R	.	.	.
<i>Urtica urens</i>	R	R	.	.	.
<i>Veronica arvensis</i>	I	I	.	.	.
<i>Vicia sativa ssp. nigra</i>	I	I	.	.	.
<i>Anchusa arvensis</i>	R	.	.	.	.
<i>Bryum argenteum</i>	.	I	.	.	.
d <i>Corynephorus canescens</i>	P	.	.	.	.
<i>Dactylis glomerata</i>	.	R	.	.	.
<i>Erophila verna</i>	.	I	.	.	.
<i>Geranium pusillum</i>	R	.	.	.	.
<i>Mentha arvensis</i>	I	.	.	.	.
<i>Myosotis arvensis</i>	.	R	.	.	.
<i>Poa trivialis</i>	R	.	.	.	.
<i>Polygonum persicaria</i>	R	.	.	.	.
<i>Rumex obtusifolius</i>	R	.	.	.	.
<i>Sagina procumbens</i>	I	.	.	.	.
<i>Solanum nigrum</i>	.	R	.	.	.
<i>Vicia hirsuta</i>	.	I	.	.	.
k <i>Agrostis capillaris</i>	I	I	I	I	I
<i>Elymus repens</i>	R	R	R	.	R
<i>Silene latifolia (subsp. alba)</i>	R	R	.	.	R
<i>Poa pratensis</i>	R	R	.	R	R
k <i>Rumex acetosella</i>	I	I	.	I	I
<i>Cerastium fontanum subsp. vi</i>	I	I	.	I	I
<i>Taraxacum officinale</i>	I	I	.	.	I
<i>Viola arvensis</i>	R	R	.	.	R
<i>Deschampsia flexuosa</i>	P	.	P	P	P
k <i>Ceratodon purpureus</i>	.	P	P	P	P
k <i>Festuca rubra</i>	.	I	.	I	I
<i>Holcus lanatus</i>	.	I	.	I	I
<i>Rhamnus frangula</i>	.	I	.	I	I
<i>Quercus robur</i>	.	I	.	I	I
<i>Agrostis vinealis</i>	.	.	P	P	P
<i>Brachythecium albicans</i>	.	.	P	P	P
<i>Cladonia subulata</i>	.	.	I	I	I
<i>Festuca filiformis</i>	.	.	P	P	P
<i>Lophocolea heterophylla</i>	.	.	I	I	I
<i>Pinus sylvestris</i>	.	.	I	I	I
<i>Campylopus pyriformis</i>	.	.	P	.	P
<i>Cladonia portentosa</i>	.	.	P	.	P
<i>Cladonia grayi</i>	.	.	P	.	P
<i>Pohlia nutans</i>	.	.	P	.	P
<i>Pleurozium schreberi</i>	.	.	P	.	P
<i>Campylopus introflexus</i>	.	.	P	.	P
<i>Cladonia scabriuscula</i>	.	.	P	P	.
<i>Cladonia macilenta</i>	.	.	P	P	.
<i>Juncus effusus</i>	.	.	P	.	.
<i>Xanthoria parietina</i>	.	.	P	.	.
<i>Coelocaulon aculeatum</i>	.	.	P	.	.
<i>Hypogymnia physodes</i>	.	.	P	.	.
<i>Asparagus officinalis</i>	.	.	.	P	.
<i>Brachythecium rutabulum</i>	.	.	.	I	.
<i>Cerastium semidecandrum</i>	.	.	.	P	.
<i>Lophocolea bidentata</i>	.	.	.	P	.
<i>Polytrichum juniperinum</i>	.	.	.	P	.
<i>Prunus serotina</i>	.	.	.	I	.
<i>Pseudoscleropodium purum</i>	.	.	.	P	.
<i>Ranunculus repens</i>	.	.	.	R	.
<i>Cladonia furcata</i>	.	.	.	P	P
k <i>Aira caryophylla</i>	.	.	.	.	P
<i>Betula pendula</i>	.	.	.	.	I
<i>Cladonia fimbriata</i>	.	.	.	.	P
<i>Cladonia floerkeana</i>	.	.	.	.	P
<i>Eurhynchium praelongum</i>	.	.	.	.	I
<i>Holcus mollis</i>	.	.	.	.	P
k <i>Ornithopus perpusillus</i>	.	.	.	.	P
<i>Placynthiella icmalea</i>	.	.	.	.	P
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	.	.	.	.	I
k <i>Polytrichum piliferum</i>	.	.	.	.	P
<i>Senecio sylvaticus</i>	.	.	.	.	I
Indicatie	gemiddeld aantal soorten				
R (nutrientrijk)	9,4	8,6	0,3	0,8	1,0
I (intermediair)	5,4	6,6	3,3	4,8	5,6
P (nutrientarm)	0,5	0,2	9,7	5,6	7,8

aantal soorten in
pq's



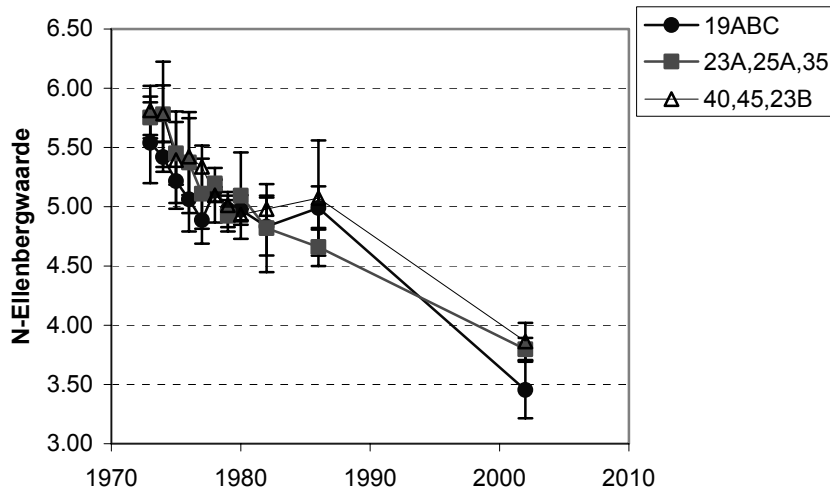
Figuur 4 Verloop in het aantal plantensoorten in de begraasde pq's (n=5), in de pq's zonder pony's/ met konijnen (n=5) en in de onbegraasde pq's (n=2) in de periode 1973-2000. De afmeting van alle proefvlakken was 4 x 1 m.



Figuur 5 Verloop in het aantal plantensoorten in pq's (1 x 4 m) op de voormalige landbouwgronden, onderscheiden naar R-species, indicatief voor nutriëntrijke bodems en P-species, indicatief voor nutriëntarme bodems. I-species zijn intermediair.

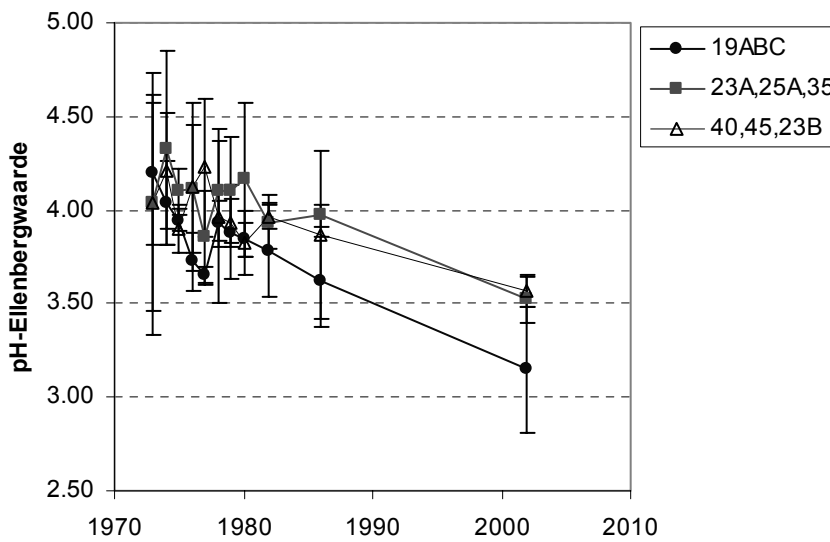
De toename van soorten, indicatief voor nutriëntarme bodems kwam ook in deze opnamen tot uitdrukking in een daling van de gemiddelde Ellenbergwaarde. De indicatiewaarde voor stikstof liet een afname in de tijd zien in alle onderzochte percelen. Het ging gemiddeld om een daling van twee schaal eenheden (Figuur 6). De indicatiewaarde voor de zuurgraad liet een daling zien van iets meer dan een halve schaal eenheid (Figuur 7).

Stikstof-indicatiewaarden



Figuur 6 Verloop in de gemiddelde indicatiewaarden (n=3) voor stikstof (volgens Ellenberg) van de vegetatie op 9 voormalige landbouwpercelen over de periode van 1973 tot 2002.

pH-indicatiewaarden



Figuur 7 Verloop in de gemiddelde indicatiewaarde (n=3) voor de pH (volgens Ellenberg) van de vegetatie op 9 voormalige landbouwpercelen over de periode 1973-2002.

Natuurdoeltype

Doeltypen voor deze verlaten landbouwgronden op kalk- en leemarm dekzand zijn gemeenschappen van het *Koelerio-Corynephoretea* (droge graslanden op zandgrond (natuurdoeltype 3.33; Bal et al. 2001, Schaminée et al. 1996). De plantengemeenschappen die in 2000 op de voormalige landbouwgronden werden aangetroffen konden worden getypeerd als droge graslanden van het *Koelerio-Corynephoretea* (droge graslanden op zandgrond), met kensoorten van zowel de struisgrasorde (*Trifolio-Festucetalia*) als de buntgrasorde (*Corynephorretalia canescentis*). De meest algemene soorten staan in tabel 2.

Tabel 2. Meest frequent voorkomende soorten volgens decimale schaal van Londo in de pq's op de voormalige landbouwgronden in 2000. Bu: buiten exclosure; bi resp. bi1 binnen exclosure (geen pony, wel konijn); bi2: binnen exclosure (geen pony geen konijn).

	1 bu	1 bi	2 bu	2 bi	3 bu	3 bi1	3 bi1 '	3 bi2 '	3 bi2	5 bu	5 bi1	5 bi2	6 bu	6 bi	7 bu	7 bi
Pony	+	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	+	-
Konijn	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+
Gewoon struisgras	10	8	9	2	1	3	r	.	a	r	4	p	9	p	.	2
Bochtige smele	.	.	m	5	9	2	9	8	m	2	p	.	.	.	.	.
Bleek dikkopmos	m	m	1	2	3	.	a	p	3	a	.	.	3	.	2	a
Purpersteeltje	.	m	.	m	.	p	a	m	.	r	2	7	.	1	.	.
Gewoon dikkopmos	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	6
Fijn schapegras	p	.	m	2	.	p	r	1	1	p	a	r	p	p	5	m
Zandstruisgras	m	m	m	a	m	3	m	p	m	m	p	a	p	5	m	m
Zomereik	.	.	.	.	.	.	.	r	1	.	r	6	.	.	.	.
Gestreepte nitbol	p	a	1	p	a	.	.	.	.	5	r	.	.	.	m	m
Ruig haarmos	.	m	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	1	m	.
Veldbeemdgras	a	a	m	m	.	.	.	.	.	.	.	.	m	.	a	2
Schapezuring	r	r	r	.	.	.	.	.	.	.	p	.	a	r	a	p
Gewone boornbloem	p	p	p	p	p	p	.	.	.	r	.	.	p	.	.	p
Cladonia subulata	r	p	.	r	.	p	r	p	r	.	r	a	.	R	.	.

Uit tabel 1 blijkt dat zich inmiddels 5-10 kenmerkende soorten van het doeltype hebben gevestigd, maar dat zich daaronder nog geen enkele doelsoort bevindt. Bekend is dat veel soorten van het verbond van droge (hei)schrle graslanden geen persistente zaadbank hebben (Bakker et al. 2002). Deze soorten zullen dus via dispersie van elders moeten komen. Het ingerasterd zijn van deze begrazingseenheid maakt dat niet eenvoudiger, aangezien het zoöchore verspreiding door de grazers verhindert. Diverse kenmerkende soorten van heischrale graslanden worden vaak aangetroffen in de mest van vee zoals Gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*), Struikhei (*Calluna vulgaris*), Pilzegge (*Carex pilulifera*), Rood zwenkgras (*Festuca rubra*), Fijn schapegras (*F. filiformis*), liggend walstro (*Galium saxatile*), gewone veldbies (*Luzula campestris*), Veelbloemige veldbies (*L. multiflora*), Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*), Borstelgras (*Nardus stricta*) en Tormentil (*Potentilla erecta*) (Bonn & Poschlod 1998). Aangezien er geen maai-beheer werd uitgevoerd kon er evenmin sprake zijn van zaaddispersie via maaimachinerie.

Gewasproductie en nutriëntgehalten

Door een communicatiestoornis waren geen meetgegevens beschikbaar van de droge stofproductie, maar kon wel een schatting daarvan worden gemaakt. Wel zijn de nutriëntgehalten bepaald. Het blijkt (Tabel 3) dat er tussen de rijke en arme percelen geen significante verschillen in droge stofproductie en nutriëntgehalten van het gewas

kunnen worden aangetoond. Hoewel de droge stofproductie van de rijke percelen iets hoger wordt berekend dan van de arme percelen kon er geen significant verschil worden aangetoond.

De N/P- en de N/K verhouding van het gewas blijkt in alle percelen kleiner dan 14 resp. groter dan 1,2 te zijn, wat volgens Koerselman en Meuleman (1996) en Pegtel et al. (1996) wijst op stikstof en kalium beperkte groei. Olde Venterink et al. (2003) berekenden op basis van literatuuronderzoek kritische grenzen voor nutriëntenbeperking op basis van N/P, N/K en K/P verhoudingen van het gewas. Zij konden 3 groepen onderscheiden: N-beperking indien $N/P < 14,5$ én $N/K < 2,1$; P- of (P+N)-beperking indien $N/P > 14,5$ én $K/P > 3,4$; K- of (K+N)-beperking indien $N/K > 2,1$ én $K/P < 3,4$. Dit zou betekenen dat de productie van de vegetatie in zowel de arme als de rijke percelen van de Baronie door K of door K+N beperkt is. Dit impliceert dat er nog steeds te veel fosfaat in de bodem aanwezig is om nog lagere productieniveaus te kunnen realiseren.

Tabel 3 Stikstof- fosfor- en kaliumgehalten, droge stofproductie en nutriëntenverhoudingen van het gewas in arme (19A,B,C) en rijke percelen in 2005.

Perceel	N	P	K	Droge stof *	N/P	N/K	K/P	Limitatie
	g/100g (%)			g/m ²	g/g			
19A	1,20	0,18	0,49	177,2	6,8	2,5	2,8	K ,K+N
19B	1,40	0,18	0,67	177,4	8,0	2,1	3,8	?
19C	1,27	0,17	0,48	175,4	7,3	2,6	2,8	K ,K+N
Gem.	1,29	0,17	0,55	176,7	7,4	2,4	3,1	K ,K+N
23B	1,44	0,17	0,73	175,8	8,3	2,0	4,2	N
40	2,20	0,32	0,43	336,4	6,8	5,2	1,3	K ,K+N
45	1,34	0,19	0,66	193,6	7,0	2,0	3,5	N
Gem.	1,66	0,23	0,61	235,3	7,4	3,1	3,0	K ,K+N
Tprob	0,31	0,37	0,62	0,37	0,97	0,60	0,90	

*) De droge stofproductie is berekend volgens een regressieformule (zie paragraaf 2.4.2)

3.2.2 Loefvledder

Effecten verschillende beheersvormen

Hieronder volgt een korte samenvatting van de resultaten van het vegetatieonderzoek in Loefvledder na ruim 25 jaar consequent toepassen van de verschillende beheersvormen op de afzonderlijke percelen in het 'oude' (1967) en 'nieuwe' (1972) reservaat (Bakker 1989, Bakker et al. 2002):

- zonder beheer vestigden zich struiken, al duurde het meer dan 20 jaar voordat de percelen geheel bedekt waren;
- maaïen zonder afvoer (mulchen) leidde tot ruigtebegroeiingen;
- maaïen en afvoeren in verschillende perioden van het jaar (juli vs. september) leidde niet tot verschillende plantengemeenschappen;
- tweemaal per jaar hooien leidde tot de grootste afvoer van nutriënten en daling van het aantal soorten, na een aanvankelijke sterke toename.

De effecten werden ook weerspiegeld in de verandering van de gemiddelde frequentie in het voorkomen van soorten van nutriëntarme of -rijke bodems. De productiviteit van de vegetatie nam het meest af (>50%) in de percelen die jaarlijks tweemaal werden gehooïd. Het jaarlijks hooien bleek een voorwaarde voor het bewerkstelligen van een afname in de jaarlijkse bovengrondse productie.

Effecten op vegetatie en soorten bij hooien

Tabel 4 geeft een overzicht van soorten uit 1973 en 1995 van het oude en nieuwe reservaat en van de referenties. Hieruit blijkt dat zich na ca. 25 jaar vijf kenmerkende soorten hebben gevestigd van het natuurdoeltype 3.29 (nat schraalgrasland, Bal et al. 2001, Schaminée et al. 1996), waaronder één strikte doelsoort (*Nardus stricta*).

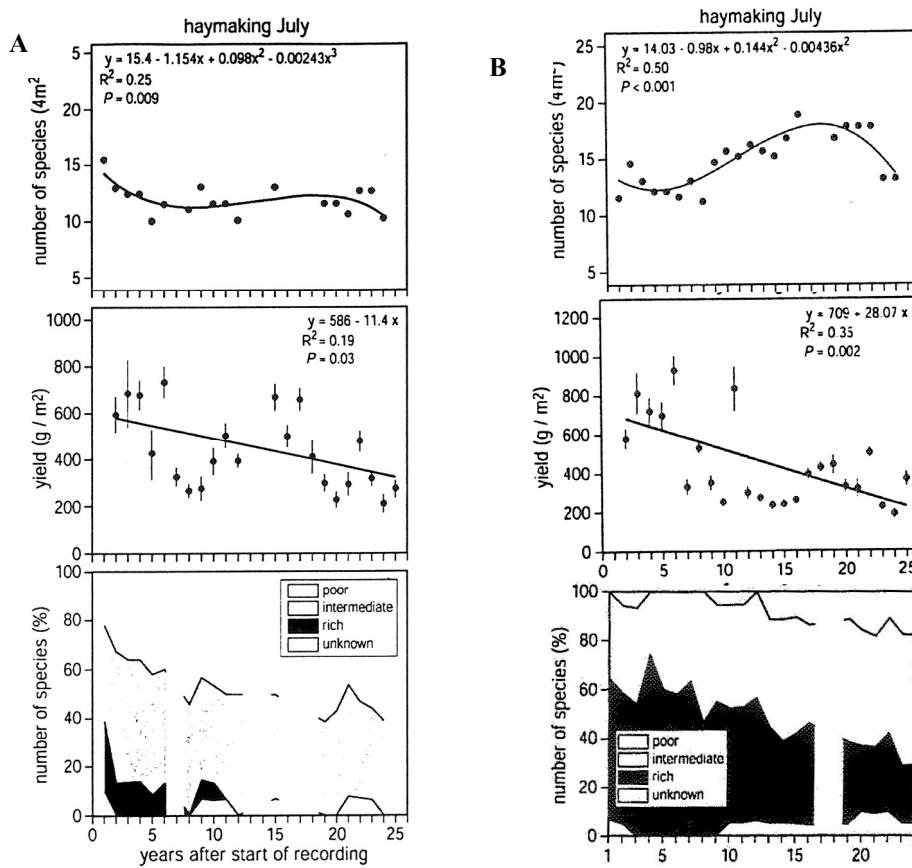
Tabel 4 Soortenlijst uit 1973 en 1995 van de vegetatie in het nieuwe en oude reservaat, een locale referentie (Loc), een slecht ontwikkelde (Reg p) en een goed ontwikkelde (Reg w) referentie van het *Nardo-Galium saxatilis* in de regio. Van de soorten zijn de frequentie en tussen haakjes de gemiddelde bedekking aangegeven. Tevens is aangegeven of een soort indicatief is voor voedselrijke (R), intermediaire (I) of voedselarme (P) omstandigheden. De doelsoorten van het natuurdoeltype zijn onderstreept, de kenmerkende soorten aangeduid met en stip (Bron: Bakker et al., 2002).

Species		New '73 n=16	New no hay '95 n=6	New hay '95 n=10	Old '73 n=2	Old '95 n=2	Loc n=5	Reg p n=5	Reg w n=6
<i>Alopecurus geniculatus</i>	R	94 (2)	0	0	0	0	0	0	0
<i>Lolium perenne</i>	R	62 (6)	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cirsium arvense</i>	R	12 (1)	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rumex crispus</i>	R	12 (1)	33 (1)	0	0	0	0	0	0
<i>Ranunculus repens</i>	R	94 (5)	100 (12)	100 (24)	100 (4)	0	0	0	0
<i>Poa pratensis</i>	R	94 (10)	67 (1)	100 (2)	100 (1)	0	20 (1)	0	0
<i>Poa trivialis</i>	R	87 (11)	67 (1)	40 (1)	50 (1)	0	0	0	0
<i>Holcus lanatus</i>	I	100 (16)	100 (37)	100 (11)	0	100 (1)	60 (1)	60 (5)	0
<i>Festuca rubra</i>	I	87 (3)	83 (14)	60 (2)	100 (20)	100 (6)	100 (4)	20 (10)	0
<i>Rumex acetosa</i>	I	62 (1)	100 (2)	80 (2)	100 (3)	100 (1)	40 (1)	20 (4)	17 (4)
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	I	6 (1)	0	100 (13)	100 (10)	100 (7)	100 (18)	40 (3)	33 (4)
<i>Agrostis stolonifera</i>	R	100 (20)	50 (1)	0	100 (1)	0	0	20 (1)	0
<i>Festuca pratensis</i>	R	100 (15)	0	40 (1)	0	0	0	0	0
<i>Cardamine pratensis</i>	I	94 (1)	0	60 (1)	0	0	0	0	0
<i>Cerastium fontanum</i>	I	56 (1)	33 (1)	20 (1)	0	0	0	20 (1)	0
<i>Trifolium repens</i>	R	44 (1)	0	0	100 (1)	0	0	0	0
<i>Taraxacum spec.</i>	R	37 (1)	0	40 (1)	100 (1)	0	0	20 (1)	0
<i>Ranunculus acris</i>	I	12 (1)	0	80 (1)	0	0	0	0	0
<i>Equisetum arvense</i>	R	12 (1)	0	0	0	0	0	0	17 (2)
<i>Potentilla anserina</i>	R	6 (1)	83 (4)	40 (1)	0	0	0	0	0
<i>Scrophularia nodosa</i>	R	0	17 (2)	0	0	0	0	0	0
<i>Galeopsis tetrahit</i>	R	0	17 (1)	0	0	0	0	0	0
<i>Elymus repens</i>	R	0	17 (1)	0	0	0	0	0	0
<i>Galium palustre</i>	I	0	17 (1)	0	0	0	0	0	0
<i>Polygonum hydropiper</i>	I	0	17 (1)	0	0	0	0	0	0
<i>Holcus mollis</i>	P	0	17 (1)	0	0	0	0	0	0
<i>Heracleum sphondylium</i>	R	0	33 (1)	0	0	0	0	0	0
<i>Rhinanthus angustifolius</i>	P	0	17 (1)	90 (11)	0	0	0	0	0
<i>Lotus uliginosus</i>	I	0	50 (2)	0	100 (1)	0	0	0	0
<i>Epilobium obscurum</i>	P	0	50 (1)	0	0	0	0	0	0
<i>Cirsium palustre</i>	P	0	17 (1)	0	100 (1)	0	0	0	0
<i>Agrostis capillaris</i>	P	0	83 (16)	100 (11)	0	100 (4)	100 (17)	80 (7)	17 (4)
<i>Juncus effusus</i>	P	0	33 (41)	50 (3)	100 (1)	100 (9)	60 (2)	0	33 (2)
<i>Quercus robur</i>	P	0	17 (1)	30 (1)	0	50 (1)	100 (1)	20 (1)	33 (2)
<i>Plantago lanceolata</i>	I	0	0	90 (17)	0	0	0	0	0
<i>Leontodon autumnalis</i>	I	0	0	40 (1)	50 (1)	0	0	40 (3)	50 (2)
<i>Hypochaeris radicata</i>	P	0	0	20 (1)	0	0	0	80 (2)	33 (2)
<i>Equisetum palustre</i>	P	0	0	20 (1)	0	0	0	0	17 (2)
<i>Rumex acetosella</i>	P	0	10 (4)	0	0	0	60 (2)	0	0
<i>Juncus conglomeratus</i>	P	0	0	10 (1)	0	0	0	0	0
<i>Carex nigra</i>	P	0	0	0	100 (1)	100 (3)	80 (4)	0	17 (2)
<i>Carex ovalis</i>	I	0	0	0	100 (1)	50 (1)	20 (1)	0	0
<i>Lucida campestris</i>	P	0	0	0	50 (1)	50 (1)	100 (3)	40 (7)	33 (2)
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	I	0	0	0	50 (1)	0	0	0	0
<i>Prunus spec.</i>	P	0	0	0	50 (1)	0	0	0	0
<i>Galium saxatile</i>	P	0	0	0	0	100 (1)	100 (3)	80 (31)	50 (5)
<i>Agrostis canina</i>	P	0	0	0	0	100 (11)	40 (3)	60 (5)	33 (4)
<i>Nardus stricta</i>	P	0	0	0	0	50 (1)	0	60 (15)	50 (3)
<i>Betula pubescens</i>	P	0	0	0	0	50 (1)	0	0	33 (6)
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	P	0	0	0	0	50 (1)	0	0	0
<i>Viola palustris</i>	P	0	0	0	0	50 (1)	0	0	0
<i>Lucula multiflora</i>	P	0	0	0	0	0	60 (1)	20 (4)	17 (2)
<i>Potentilla erecta</i>	P	0	0	0	0	0	20 (50)	60 (5)	100 (5)
<i>Molinia caerulea</i>	P	0	0	0	0	0	20 (1)	20 (10)	83 (14)
<i>Deschampsia caespitosa</i>	P	0	0	0	0	0	20 (1)	0	0
<i>Achillea millefolium</i>	I	0	0	0	0	0	0	20 (2)	0
<i>Agrostis vinealis</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (4)	0
<i>Aira praecox</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (2)	0
<i>Plantago bifolia</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (2)	0
<i>Spergularia morisonii</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (1)	0
<i>Viola canina</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (4)	0
<i>Festuca ovina</i>	P	0	0	0	0	0	0	100 (25)	83 (26)
<i>Danthonia decumbens</i>	P	0	0	0	0	0	0	100 (15)	67 (3)
<i>Calluna vulgaris</i>	P	0	0	0	0	0	0	80 (5)	83 (10)
<i>Carex pilulifera</i>	P	0	0	0	0	0	0	80 (2)	83 (2)
<i>Juncus squarrosus</i>	P	0	0	0	0	0	0	80 (2)	33 (3)
<i>Hieracium pilosella</i>	P	0	0	0	0	0	0	80 (3)	17 (2)
<i>Hieracium laevigatum</i>	P	0	0	0	0	0	0	60 (3)	0
<i>Deschampsia flexuosa</i>	P	0	0	0	0	0	0	40 (12)	17 (2)
<i>Erica tetralix</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (10)	100 (16)
<i>Pedicularis sylvatica</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (2)	83 (9)
<i>Arnica montana</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (2)	33 (7)
<i>Rhannus frangula</i>	I	0	0	0	0	0	0	20 (2)	33 (7)
<i>Trichophorum cespitosum</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (2)	33 (2)
<i>Hieracium umbellatum</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (2)	33 (2)
<i>Hieracium vulgatum</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (4)	17 (2)
<i>Succisa pratensis</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (4)	17 (4)
<i>Gentiana pneumonanthe</i>	P	0	0	0	0	0	0	20 (2)	17 (4)
<i>Polypoda serpyllifolia</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	83 (3)
<i>Carex panicea</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	83 (3)
<i>Dactylorhiza maculata</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	50 (3)
<i>Drosera rotundifolia</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	33 (4)
<i>Salix cinerea</i>	I	0	0	0	0	0	0	0	33 (2)
<i>Carex arenaria</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	17 (2)
<i>Cirsium dissectum</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	17 (2)
<i>Cuscuta epithymum</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	17 (2)
<i>Eriophorum angustifolium</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	17 (2)
<i>Genista anglica</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	17 (2)
<i>Genista pilosa</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	17 (4)
<i>Lycopodium clavatum</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	17 (2)
<i>Alnus incana</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	17 (2)
<i>Pinus sylvestris</i>	I	0	0	0	0	0	0	0	17 (2)
<i>Salix repens</i>	P	0	0	0	0	0	0	0	17 (4)

Hieronder belichten we in meer detail de vegetatieveranderingen in de percelen die eenmaal per jaar (juli) werden gemaaid en gehooid, aangezien de herhaling van de bodemanalyses in 2004 uitsluitend in deze percelen is uitgevoerd. Het is een samenvatting van de resultaten uit Bakker et al. 2002 (Figuur 8).

In de periode 1973-1999:

- nam het aantal soorten af van 15 naar 10 per 4 m² in het 'oude' reservaat en bleef ongeveer gelijk (13 spp.) in het 'nieuwe' reservaat na een aanvankelijke toename;
- daalde de productiviteit, afgemeten aan de standing crop in de eerste helft van juli, van 580 naar 200 g ds.m⁻² in het 'oude' en van 680 naar 250 g ds.m⁻² in het 'nieuwe' reservaat; dit is nog steeds ca. een factor twee hoger dan gemiddeld voor het *Nardo-Galium saxatilis* (Klapp 1965);
- verdwenen soorten die indicatief zijn voor nutriëntrijke bodem;
- nam het aantal soorten voor nutriëntarme bodems sterk toe in het 'oude', maar nauwelijks in het 'nieuwe reservaat'.



Figuur 8 Veranderingen in vegetatieparameters sinds 1973 in het 'oude' reservaat (A) en het 'nieuwe' reservaat (B) in de percelen waar jaarlijks in juli wordt gehooid (Bron: Bakker et al. 2002)

Natuurdoeltype

Uit tabel 4 bleek dat zich na ca. 25 jaar vijf kenmerkende soorten hadden gevestigd van het natuurdoeltype 3.29 (nat schraalgrasland), waaronder één strikte doelsoort (*Nardus stricta*). Op basis van een multifactoriële analyse (CANOCO) werd inzichtelijk gemaakt dat de vegetatiesamenstelling:

- van het 'nieuwe' reservaat verschoof in de richting van het 'oude';
- van het 'oude' reservaat verschoof in de richting van de 'lokale referentie';
- van de 'lokale referentie' na 50 jaar nog steeds niet gelijk was aan die van de verarmde 'regionale referentie'.

De veranderingen werden gekarakteriseerd als een verschuiving van eutrofe naar oligotrofe bodemcondities maar er was nog geen sprake van een heischraal grasland. Daarvoor was de productiviteit nog te hoog en ontbraken veel kenmerkende soorten. Onderzoek naar de zaadvoorraden in de bodem maakte duidelijk dat kenmerkende soorten van het doeltype (*Nardo-Galium saxatile*) niet voorkwamen in de zaadbank. Ook leek het Gewoon haakmos (*Rhytidiadelphus squarrosus*) sterk in opmars. Dit mos breidt zich bij een hooibeheer uit door afname van de bodem pH in afwezigheid van bemesting (Londo, 2002). Bovendien profiteert het sterk van stikstof die het systeem binnenkomt via atmosferische depositie. Een dichte moslaag kan de vestiging van typische heischrale soorten belemmeren. De lagere basenbezetting kan ook op zichzelf een belemmering zijn voor de vestiging van typische heischrale soorten, die een wat hogere concentratie aan basische kationen nodig hebben.

Gewasanalyses

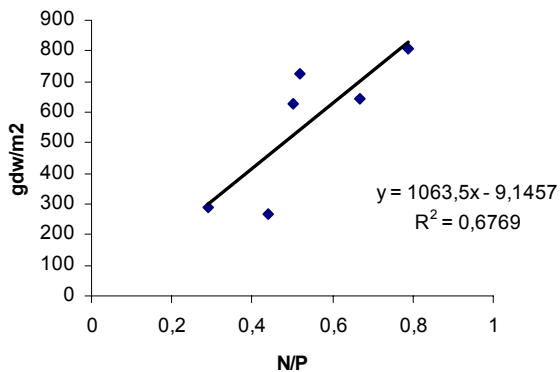
Uit de gewasanalyses van het nieuwe reservaat (1972) blijkt dat de droge stof productie is gedaald van 6 à 7 ton.ha⁻¹ tot 2,7 ton.ha⁻¹ (Tabel 5). Het stikstofgehalte is daarbij gestegen en het fosfor- en kaliumgehalte gedaald. De N/P en de N/K verhouding van het gewas zijn gestegen en wijzen op stikstof- en kaliumbeperkte groei (Olde Venterink et al. 2003). Uit de nutriëntverhoudingen kan worden herleid dat in het reservaat al vanaf het begin sprake moet zijn geweest van stikstofbeperking. Dit betekent dat in het nieuwe reservaat een ontwikkeling is opgetreden van N beperking naar N- en K co-limitatie. Dit impliceert dat een verdere productieverlaging vooral door een te rijk fosfaataanbod wordt verhinderd.

Tabel 5 Nutriëntgehalten, droge stofproductie en nutriëntverhoudingen van het gewas van het nieuwe reservaat bij Loefvledder bij een beheer van maaien en afvoeren in juli.

Jaar	N	P	K	Droge stof g/m ²	Nutriëntverhoudingen			Limitatie
					N/P	N/K	K/P	
1975	1,31	0,5	0,67	625	2,6	1,96	1,3	N
1983	1,49	0,52	1,08	723	2,9	1,38	2,1	N
1999	1,89	0,44	0,38	269	4,3	4,97	0,9	K, K+N

Productie en nutriëntverhoudingen

In Loefvledder is van meerdere percelen de droge stofproductie en het nutriëntgehalte van het gewas bepaald in de periode 1975-1999. De droge stofproductie blijkt het sterkst gerelateerd te zijn aan het P-gehalte van het gewas (zie figuur 9). Deze relatie is gebruikt om de gewasproductie in Baronie te schatten (zie tabel 3).



Figuur 9 Relatie tussen droge stofproductie en het P gehalte van het gewas in het nieuwe reservaat van Loefvledder in de periode 1975-1999 bij een beheer van hooien in juli en hooien in juli en september.

3.2.3 Discussie

Graslanden van het (hei)schrale type (*Nardo-Galium saxatilis*, *Koelerio-Corynephoretea*) komen voor op tamelijk zure, nutriëntenarme bodems en zijn gekenmerkt door een lage productiviteit (100-150 g.ds.m⁻²). Voor de instandhouding is een beheer van maaien en afvoeren of beweiding noodzakelijk (Schaminée et al. 1996). Over het herstel van (hei)schraal grasland vanuit bemeste akkers of graslanden is betrekkelijk weinig bekend. Begrazing (met schapen) is voor de afvoer van nutriënten niet efficiënt (Marrs et al. 1989). Alleen een verschalingsbeheer met jaarlijks één of tweemaal hooien resulteert in een effectieve afvoer van nutriënten. Meest effectief is het afplaggen van de bovenste bodemlaag van de voormalige akkers, gevolgd door een beweidingsbeheer (Schaminée & Jansen 1998). De herstelperiode zou 50 jaar in beslag nemen. Het onderzoek laat zien dat zonder afplaggen het herstel van heischraal grasland mogelijk is, maar dat er enkele knelpunten zijn:

- afvoer van stikstof: na 25 jaar hooien in Loefvledder bleek de productiviteit nog altijd een factor twee hoger dan de streefwaarde. Het gemiddelde niveau van atmosferische depositie ligt nog altijd te hoog voor het effectief herstel van heischrale graslanden (max. 20-25 kg N ha.jr⁻¹, Bobbink et al., 1998). In de Baronie Cranendonck waar alleen werd begraaasd zal enige afvoer van nutriënten hebben plaatsgevonden, vooral van stikstof door vervluchtiging via de urine. Maar ook daar stond een input van stikstof via atmosferische stikstof tegenover. In beide terreinen leek niettemin sprake van een aanzienlijke afname in beschikbare stikstof, afgemeten aan een verschuiving van het soortenspectrum van in hoofdzaak soorten van nutriëntrijke naar soorten van nutriëntarme bodems. Ook de Ellenberg-indicatiewaarden in Cranendonck gaven dit aan; er trad een daling op van ca. 2 schaaleenheden binnen 30 jaar.
- verhoogde stikstof-input en verzuring: deze kunnen leiden tot een dichte moslaag die de vestiging van karakteristieke heischrale soorten verhindert; dit

leek in ieder geval in Loefvledder een belangrijk mechanisme. Ook in de Baronie was in bepaalde pq's sprake van een aanzienlijke bedekking van de moslaag (gemiddeld 20-30% bedekking in 2000).

- verzuring kan ook het niveau van basische kationen verlagen tot onder een niveau dat wenselijk is voor heischrale graslandsoorten; zowel in Loefvledder als in Cranendonck was sprake van enige mate van bodemverzuring na het staken van de bemesting.
- veel kenmerkende soorten komen niet voor in de zaadbank en hebben een gering dispersievermogen. In Loefvledder is onderzoek gedaan naar de zaadbank en er kwamen nagenoeg geen karakteristieke soorten van heischrale graslandsoorten voor. In Cranendonck bleek het aantal soorten van droge voedselarme graslanden de laatste jaren, na een aanvankelijke toename, te stabiliseren. Het is zeer waarschijnlijk dat ook daar dispersie een belangrijke barrière vormt.

4 Nutriëntenonderzoek

4.1 Werkwijze en methoden

Van zowel Cranendonck als Loefvledder is de recente fosfaattoestand in de bodem vergeleken met de toestand in de 70-er jaren. De bemonsterde locaties, monster- en analysemethoden dienden daarom vergelijkbaar te zijn.

4.1.1 Bemonstering

Baronie Cranendonck

In de Baronie werden perceelsgewijs via een diagonaal patroon 50 deelmonsters verzameld met een gutsboor over een diepte van 0-20 cm, wat ongeveer overeenkomt met de bouwvoor. De deelmonsters werden tot een mengmonster samengevoegd voor analyse. Er werden negen percelen bemonsterd (zie Figuur 1). Van alle percelen was de bodem eerder onderzocht op nutriëntgehalten in 1973, 1974, 1975, 1976 en 1979.

Loefvledder

In Loefvledder is sprake van een 'oud-reservaat', dat sinds 1967 uit landbouwproductie werd genomen en een 'nieuw-reservaat' dat in 1972 uit productie werd genomen en een iets voedselrijker karakter had. In beide reservaatdelen werden na verwerving dezelfde beheersregimes perceelsgewijs doorgevoerd en gehandhaafd tot heden. Deze percelen hellen licht af richting beek, maar in de vegetatie komt nauwelijks een gradiënt tot uiting.

In de periode 1974-1982 zijn in het oude en nieuwe reservaatdeel systematisch bodemmonsters genomen bij de pq's. Daarbij werden bodemmonsters verzameld van de laag 0-5 en 5-20 cm-mv (Bakker 1989). In 2004 is de bodem opnieuw bemonsterd. Deze bemonstering werd beperkt tot percelen met de in de praktijk meest gangbare beheersvariant, nl. 1x maaien en afvoeren (hooien) in juli. Monsters werden met een humushapper gestoken in een aan de pq's grenzende strook van 1 meter breed dwars over het perceel (zie Figuur 2). In de strook werden 10 deelmonsters verzameld, die per laag werden samengevoegd tot een mengmonster.

In 2005 werden tenslotte op identieke wijze aanvullende bodemmonsters genomen op verschillende dieptes onder de bouwvoor: 0-20, 20-40, 40-60 en 60-80 cm-mv., met als doel de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem onder de bouwvoor te analyseren.

4.1.2 Analysemethoden

Om tot een goede vergelijking te kunnen komen van data uit de verschillende perioden werden in 2004 dezelfde parameters bepaald als in de 70-er jaren. Daarbij was het van belang te achterhalen welke analysemethoden toen zijn gebruikt en in welke dimensies de diverse parameters waren uitgedrukt.

De verschillende extractiemethoden richten zich op verschillende fosfaatfracties en vertonen over het algemeen goede correlaties. De verschillende fracties zijn daarom vaak uit elkaar te herleiden. In principe wordt in de volgorde $P_w(1:60) < P_w(1:2) < P_{AL} < P_{ox} < P_{an} < P_{tot}$ een steeds grotere fosfaatfractie ontsloten. P_{tot} analyses onsluiten zowel organisch als anorganisch fosfor door oxidatie via verhitting met sterke zuren. Hiertoe zijn diverse methoden in gebruik (Fleischmannzuur, Kjeldahl), die in wezen tot vergelijkbare resultaten leiden.

De dimensies en gebruikte omrekeningsfactoren tussen dimensies zijn opgenomen in tabel 6. Daarnaast werd in 2004 en 2005 een aantal parameters geanalyseerd die in de 70-er jaren niet werden bepaald. Deze parameters waren gericht op het verkrijgen van inzicht in het adsorptiegedrag van fosfaat (zie 2.2.2).

De C/P verhouding van de organische stof werd berekend als quotiënt van C-elementair en P-organisch (P_{org}). C-elementair werd daartoe herleid uit het organische stofpercentage door vermenigvuldiging met een factor 0,5. P_{org} werd berekend uit het verschil tussen P_{tot} en P_{ox} .

Tabel 6 Gebruikte dimensies van variabelen en omrekeningsfactoren naar alternatieve dimensies

Variabele	Dimensie	Omrekening naar:		
		B	C	Voorraad/ 10cm bodemlaag kgP/ha
P_{tot}	gP ₂ O ₅ /100g	= $P_{tot} * 10 * 1000 * 62 / 142$	C=B/31	=B/BD
P_{ox}	mmolP/kg	= $P_{ox} * 31$		=B/BD
P_{AL}	mgP ₂ O ₅ /100g	= $P_{AL} * 10 * 62 / 142$	C=B/31	=B/BD
$P_w(1:60)$	mgP ₂ O ₅ /dm ³ grond	= $P_w * BD * 62 / 142$	C=B/31	
$P_w(1:2)$	mg/dm ³ water			
BD	kg/dm ³	Bulk Density = 1,507-0,312Ln(org.stof %)		

Baronie Cranendonck

De Cranendonck dataset van 2004 is vergeleken met beschikbare data uit de periode 1973-1979 (Heijink, 1976 en ongepubliceerde analyserapporten van het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek te Oosterbeek; in archief Alterra). In deze laatstgenoemde periode zijn echter geen analyses uitgevoerd van oxalaatextraheerbare gehalten P, Al en Fe of van waterextraheerbaar fosfaat. Van P_{tot} en P_{AL} zijn wel gegevens van beide perioden beschikbaar (zie tabel 7). Voor de periode 1973-1979 zijn daarom schattingen gemaakt van P_{ox} en $P_w(1:2)$ op basis van correlaties. Daarbij diende nauwkeurig te worden gelet op de verschillende dimensies waarin de variabelen worden uitgedrukt (Tabel 6). De variabelen werden getransformeerd naar overeenkomende dimensies. Tabel 7 geeft de

bepalingsmethoden voor de verschillende gebruikte variabelen, hetzij rechtstreeks via chemische analyse, hetzij indirect via regressie.

De dataset van Cranendonck uit 2004 is gebruikt voor het afleiden van verbanden tussen verschillende P-variabelen via regressieanalyse. De P_{ox} waarden in Cranendonck voor de periode 1973-1979 werden afgeleid uit de P-AL waarden uit diezelfde periode op basis van een via een regressie bepaalde correlatie tussen beide variabelen in 2004. De evenwichtconcentratie van fosfaat in het bodemvocht $P_w(1:2)$ uit de monsters van Cranendonck in de periode 1970-1980 werd afgeleid uit PSI waarden op basis van een via regressie bepaalde correlatie tussen deze variabelen in 2004. Verondersteld werd dat de oxalaatextraheerbare gehalten Fe en Al vrijwel onveranderlijk zijn en in de 70-er jaren gelijk waren aan de gehalten in 2004.

Tabel 7. Analyse- en bepalingmethoden van bodemvariabelen bij het onderzoek in Cranendonck en Loefvledder in de verschillende onderzoeksperiodes. Bij blanco vakken is de betreffende variabele niet bepaald.

Variabele	Cranendonck		Loefvledder	
	1970-1980	2004	1970-1985	2004
P_{tot}	Fleischmann destructie: (HNO ₃ +H ₂ SO ₄)	Kjeldahl destructie (H ₂ SO ₄)	Fleischmann destructie: (HNO ₃ +H ₂ SO ₄)	Kjeldahl destructie (H ₂ SO ₄)
P_w -getal(1:60)			Sissingh,Water-extractie v/v= 1:60	Sissingh,Water – extractie v/v= 1:60
P_{AL}	Azijnzure ammoniumlactaat	Azijnzure ammoniumlactaat		
P_{ox}	= 1,9836 P_{AL} (r ² =0,71)	Ammoniumoxalaat	= 0,32 P_{tot} (r ² =0,82)	Ammoniumoxalaat
(Fe+Al) _{ox}	Identiek 2004	Ammoniumoxalaat	Identiek 2004	Ammoniumoxalaat
PSI	= $P_{ox}/(Fe+Al)_{ox}$	= $P_{ox}/(Fe+Al)_{ox}$	= $P_{ox}/(Fe+Al)_{ox}$	= $P_{ox}/(Fe+Al)_{ox}$
$P_w(1:2)$	= 0,155e ^{8,96PSI} (r ² =0,76)	Waterextractie w/v=1:2	=0,15e ^{0,11P_w(1:60)}} (r ² =0,97)	Waterextractie w/v=1:2

Loefvledder

De bodemanalyse was niet alleen gericht op verkrijgen van inzicht in nutriëntgehalten en -voorraden in relatie tot de vegetatieproductie, maar ook op inzicht in het fosfaatgedrag in de bodem (sorptie, fixatie, beschikbaarheid). Daarom werd in 2004 een aantal P-parameters bepaald die in de periode 1974-1982 niet werden gemeten. Ook voor Loefvledder werden omrekeningsfactoren gehanteerd om dimensies in elkaar te kunnen omzetten (Tabel 6 en 8).

Om ook informatie over $P_{oxalaat}$ en P_w uit de periode 1974-1982 te verkrijgen werden deze parameters berekend uit P_{totaal} en P_w -getal via regressiemodellen (zie tabel 7). In Loefvledder werd voor de periode 1974-1982 P_{ox} afgeleid uit P_{tot} -waarden op basis van een via regressie bepaalde correlatie tussen deze variabelen in een nutriëntenstudie (zie tabel 2, Kemmers 2001). De P-concentratie in bodemvocht, $P_w(w/v=1:2)$, werd voor de periode 1974-1982 afgeleid uit het P_w -getal (omgerekend naar mgP/kg grond) op basis van een via regressie bepaalde correlatie tussen deze variabelen in een uitmijningsexperiment van Koopmans (2004) met vergelijkbare gronden.

Tabel 8 Gebruikte dimensies van parameters in de verschillende onderzoeksperioden in Loefvledder en hun omrekeningsfactoren

Parameter	Periode		Omrekeningsfactor
	1974-1982	2004	
	X	Y	
P _{totaal}	mgP ₂ O ₅ .100g ⁻¹	mgP.100g ⁻¹	Y=62/142
P _w -getal (v/v=1:60)	µgP ₂ O ₅ .cm ⁻³ grond	mgP ₂ O ₅ .L ⁻¹ grond	Y=X
P _w -getal (v/v=1:60)	µgP ₂ O ₅ .cm ⁻³ grond	mgP.L ⁻¹ water	Y=(62*X/142)*BD/60
P _{oxalaat}		mgP.100g ⁻¹	
P _w (w/v=1:2)		mgP.L ⁻¹ water	

4.1.3 Statistiek

Voor vergelijking van de data uit de 70-er jaren en 2004 in Baronie Cranendonck werden percelen samengevoegd tot drie groepen op basis van enkele bodemkundige eigenschappen in de 70-er jaren:

1. Schrale percelen 19A, B, C; gekenmerkt door matig humusarme gronden (organische stofgehalte <2%). Deze percelen zijn bodemkundig te typeren als zeer fijnzandige stuifzandgronden en werden gebruikt voor de teelt van rogge.
2. Percelen 23A, 25A en 35; humeuze gronden (3-4% org. stof) met vrij lage P-toestand (30<PAI<40) en bodemkundig te typeren als veldpodzol- en gooreerdgronden. Deze percelen werden gebruikt voor de teelt van andere graansoorten dan rogge.
3. Percelen 40, 45 en 23B; matige humeuze gronden (3-4% org. stof) met matige P-toestand (50<PAI<60) en bodemkundig te typeren als veldpodzol- en gooreerdgronden. Deze percelen werden gebruikt voor maïsteelt of als weidegrond.

Van elk cluster percelen werden gemiddelden berekend voor de jaren 1973, 1974, 1975, 1976, 1979 en 2004. De waarnemingen van 1973 en 2004 zijn getoetst op significante verschillen met een student T-toets.

Voor de gegevens van Loefvledder was een statistische bewerking niet mogelijk omdat van 2004 slechts over één waarneming kon worden beschikt.

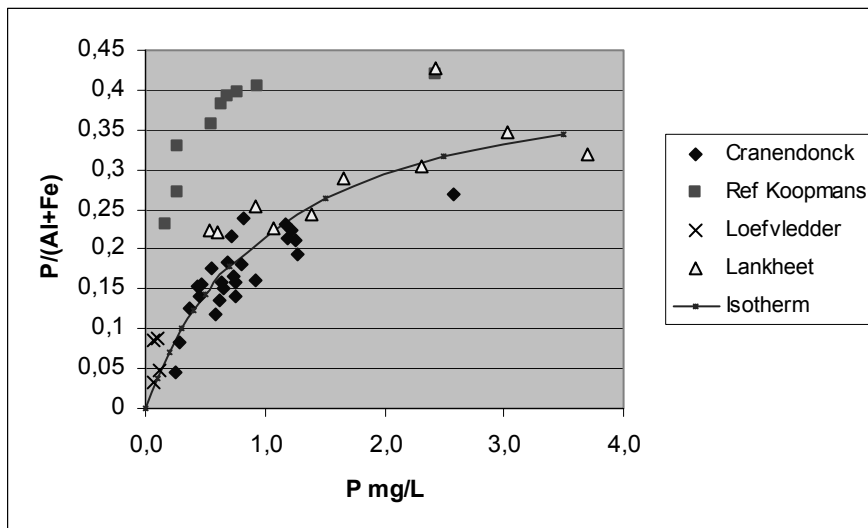
4.2 Resultaten en discussie

De basisgegevens met analyseresultaten van bodemonderzoek in Baronie Cranendonck en Loefvledder zijn opgenomen in bijlage 1.

4.2.1 Fosfaattoestand in 2004

Van de in 2004 verzamelde gegevens van Baronie Cranendonck en Loefvledder is de relatie tussen de fosfaatverzadigingsindex (PSI) en opgelost fosfaat weergegeven in figuur 10 en vergeleken met gegevens afkomstig van vergelijkbare arme zandgronden uit de Achterhoek (Lankheet, ongepubliceerde gegevens), die als (bemest) maïsland in gebruik zijn. Tenslotte zijn gegevens opgenomen van een uitmijnxperiment onder gecontroleerde laboratorium omstandigheden (Koopmans 2004).

Het verband tussen PSI en wateroplosbaar P (P_w 1:2) gedraagt zich volgens verwachting als een Langmuir-isotherm en laat een adsorptiemaximum bij een $PSI=0,43$ zien. (per definitie komt het adsorptiemaximum overeen met een fosfaatverzadigingsgraad van 100%. De data van Koopmans geven over het algemeen voor vergelijkbare waarden van de PSI veel lagere fosfaatconcentraties te zien. Dit heeft te maken met hoge calciumgehalten in het groeimedium van Koopmans. (Hoge calciumgehalten versterken de bindingssterkte tussen fosfaat en de oxiden, omdat de negatieve lading van het adsorptiecomplex wordt 'samengedrukt', waardoor de eveneens negatieve fosfaationen zich beter hechten.)



Figuur 10 Verband tussen fosfaatverzadigingsgraad ($P/(Al+Fe)$) en in bodemvocht opgelost fosfaat van percelen in Baronie Cranendonck en Loefvledder in 2004 in vergelijking tot enkele referenties voor fosfaatverzadigde gronden.

De landbouwkundig gebruikte bodems in Lankheet hebben een hoge fosfaatverzadigingsindex en kunnen als nagenoeg fosfaatverzadigd worden beschouwd (Figuur 10). In 2004 is de bovengrond (0-20 cm-mv) van de percelen in Cranendonck zeker niet fosfaatverzadigd. De bodem in Loefvledder heeft in 2004 een fosfaatverzadigingsgraad van maximaal 20% ($PSI < 0,10$). Indien naar de absolute fosfaatgehalten wordt gekeken (bijlage 1), dan blijken deze in Loefvledder echter een factor 2 hoger dan in de Baronie. Met name door de hoge ijzeroxalaatgehalten is de fosfaatverzadigingsgraad in de percelen van Loefvledder echter lager dan in de Baronie. Dit impliceert dat in Loefvledder fosfaat in (irreversibel) gefixeerde vorm in de bodem is vastgelegd en slechts moeilijk beschikbaar komt. Ondanks de in absolute zin hoge fosfaatgehalten in Loefvledder is de beschikbaarheid in het bodemvocht zeer laag en zelfs veel lager dan in de Baronie.

4.2.2 Ontwikkelingen sinds 1970

4.2.2.1 Baronie Cranendonck

Voor een aantal bodemvariabelen is de ontwikkeling sinds 1970 aangegeven in tabel 9. De trend over een periode van dertig jaar is in de verschillende perceelsclusters vergelijkbaar. De waarnemingen van 1973 en 2004 zijn getoetst op significante verschillen met een student T-toets.

Het organische stofgehalte en de zuurgraad vertonen een dalende tendens. Het aantal waarnemingen is over het algemeen te gering om een significant verschil tussen 1973 en 2004 te kunnen vaststellen. De orde van grootte van de daling bedraagt in alle clusters voor de pH een halve eenheid en voor het organische stofgehalte 0,5%.

De P-AL-, P_{ox}- en P_{tot} gehalten geven significant lagere waarden in 2004 dan in 1973. In alle perceelstypen zijn de fosfaatvoorraden in 2004 significant lager dan de voorraden in 1973. De C/P- en N/P verhouding zijn alleen in de matig rijke percelen significant hoger dan in 1973.

Met uitzondering van de schrale percelen geeft het totaal stikstofgehalte, hoewel niet significant, een licht stijgende tendens te zien. Hetzelfde geldt voor de stikstofvoorraden van deze percelen. De C/N verhouding is in 2004 in alle perceelstypen significant lager dan in 1973. De C/P verhouding is in alle perceelstypen in 2004 hoger dan in 1973. Dit verschil is alleen in de matig rijke percelen significant.

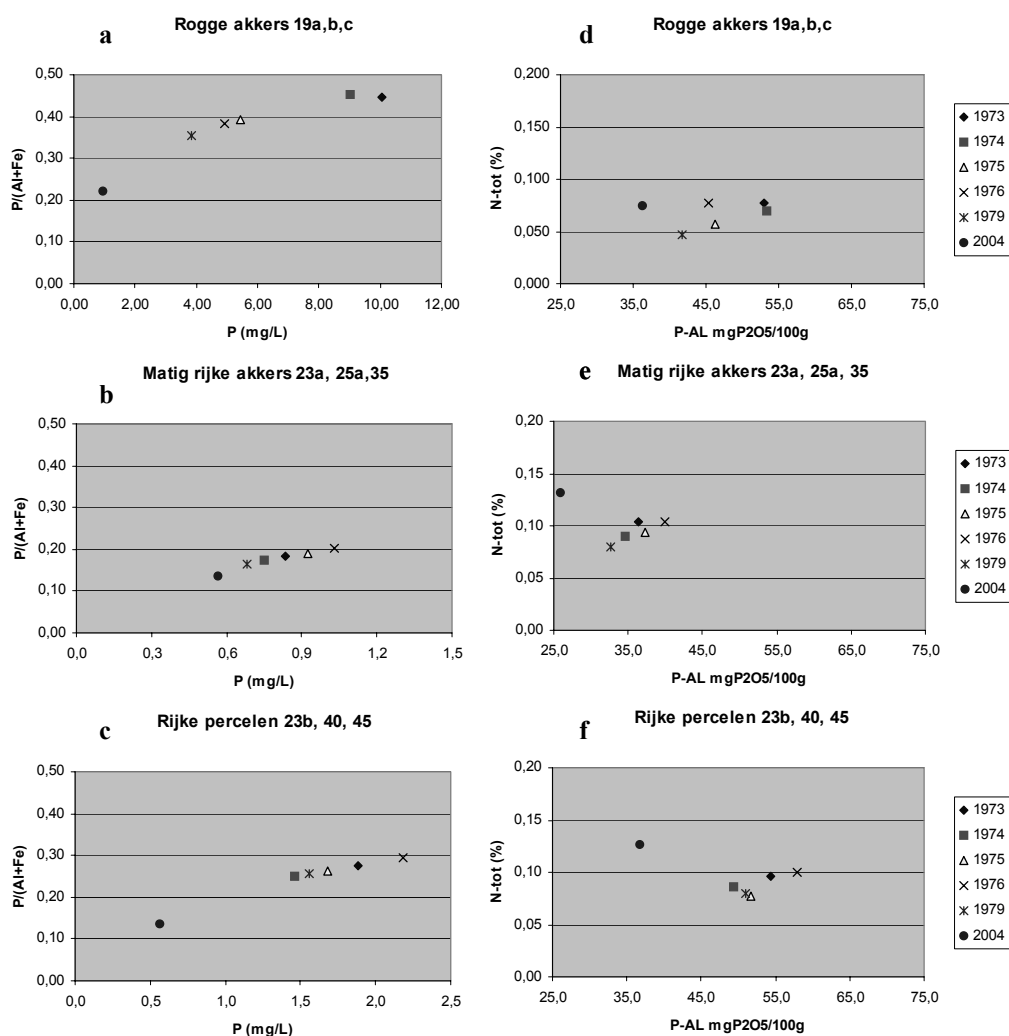
Tabel 9 Gemiddelde waarden per perceelstype van bodemvariabelen in de periode 1973-2004 in Baronie Cranendonck. Waarden met $T_{prob} < 0,05$ geven een significant verschil tussen waarnemingen in 1973 en 2004 en zijn gearceerd weergegeven.

Schrale percelen 19A,B,C												
Jaar	pH-KCl (-)	Humus %	N-tot mg/100g	P-AL	Pox mgP/100g	P-tot	C/N	C/P (-)	N/P	P kg/ha	N	
1973	4,67	2,03	76,7	23,1	45,9	45,1	13,2	46	3,5	704	1196	
1974	4,67	2,07	70,0	23,3	46,2	42,2	14,9	55	3,7	659	1095	
1975	4,73	1,70	56,7	20,2	40,1	36,4	15,0	53	3,6	543	846	
1976	4,60	2,10	76,7	19,8	39,3	40,8	13,8	50	3,7	639	1202	
1979	4,50	1,90	46,7	18,2	36,1	39,3	20,6	45	2,2	602	714	
2004	4,13	1,55	74,6	15,9	22,7	23,5	10,5	110	10,5	343	1090	
T_{prob}	0,118	0,172	0,825	0,096	0,05	0,019	0,022	0,102	0,053	0,037	0,561	
Matig P-rijke percelen 23A, 25A, 35												
1973	4,73	4,07	103,3	15,9	31,5	40,8	19,7	82	4,2	762	1933	
1974	4,67	3,43	90,0	15,1	30,0	30,6	19,2	113	5,9	545	1605	
1975	4,70	3,47	93,3	16,3	32,3	36,4	18,6	88	4,8	650	1667	
1976	4,73	3,50	103,3	17,5	34,6	40,8	16,9	76	4,5	729	1855	
1979	4,77	3,27	80,0	14,3	28,3	33,5	20,4	87	4,3	589	1406	
2004	4,21	3,17	132,3	11,3	23,5	23,9	12,0	126	10,5	416	2307	
T_{prob}	0,037	0,027	0,032	0,007	0,005	0,007	0,001	0,007	0,001	0,005	0,097	
P-rijke percelen 40, 45, 23b												
1973	4,57	4,00	96,7	23,7	47,1	43,7	20,6	101	4,9	812	1800	
1974	4,63	3,40	86,7	21,5	42,7	37,8	19,7	105	5,4	672	1540	
1975	4,57	3,40	76,7	22,6	44,7	39,3	22,3	102	4,6	698	1362	
1976	4,60	3,83	100,0	25,3	50,2	43,7	19,2	105	5,5	803	1838	
1979	4,53	3,40	80,0	22,3	44,2	42,2	21,5	87	4,1	749	1421	
2004	4,03	3,09	126,7	16,0	32,0	25,5	12,3	214	17,6	445	2198	
T_{prob}	0,005	0,103	0,105	0,004	0,001	0,044	0,007	0,298	0,197	0,033	0,206	

In figuur 11 zijn van de drie perceelsclusters gemiddelden van enkele variabelen op de verschillende tijdstippen met elkaar in verband gebracht en gevisualiseerd.

De figuren 11 a, b en c geven de adsorptiekaracteristieken volgens een Langmuir-isotherm, waarmee het verband tussen geadsorbeerd fosfaat (PSI) en de P-concentratie in het bodemvocht wordt aangegeven. Opvallend is dat in alle jaren de schrale percelen (roggeakkers) zowel een hogere fosfaatverzadigingsindex als een hogere fosfaatconcentratie in het bodemvocht hebben dan de beide andere perceelstypen. Deze hogere fosfaatverzadigingsindex hangt samen met de relatief lage ijzer- en aluminiumgehalten van de bouwvoor in deze leemarme schrale percelen. In alle perceelstypen is in de loop van de tijd een daling van de fosfaatverzadigingsindex en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht volgens het verloop van de adsorptie-isotherm waar te nemen. Daarbij is het opvallend dat in de matig rijke en rijke percelen in de periode tot 1979 aanvankelijk sprake is van een stijging van deze fosfaatparameters.

De figuren 11 d, e, f laten zien dat de P-Al gehalten van de bodem in 2004 ten opzichte van de 70-er jaren zijn afgenomen en de N-totaal gehalten zijn gestegen.



Figuur 11 Verband tussen de fosfaatverzadigingsgraad en opgelost fosfaat (a, b, c) en tussen Ntot en P-AL (d, e, f) in de verschillende perceelstypen in de verschillende perioden. Let op de verschillende dimensies van de X-as in figuur a, b en c!

Discussie

Koopmans (2004) voerde een meerjarig experiment uit waarbij onder laboratoriumomstandigheden een kolom fosfaatverzadigde grond werd uitgemijnd door regelmatig gras te oogsten. Er werd een afname vastgesteld zowel in de fosfaatverzadigingsindex als in de bodemvochtconcentratie van fosfaat. Ook onder veldomstandigheden blijken in de Baronie na 30 jaar de fosfaatverzadigingsindex, de fosfaatconcentratie in het bodemvocht en de P-AL waarde van de bodem te zijn gedaald. Ook de fosfaatvoorraad in de bouwvoor is gedaald. De stikstofgehalten en voorraden in de bodemlaag 0-20 cm-mv zijn daarentegen, na een aanvankelijke daling in de periode 1973-1979, sinds 1979 toegenomen. Omdat het aantal waarnemingen gering is, zijn de veranderingen statistisch niet altijd aantoonbaar. De fosfaatvoorraad is in alle drie perceelstypen met bijna de helft gedaald. Daarbij treedt tevens een matige daling van de fosfaatverzadigingsindex en een veel sterkere daling van de fosfaatconcentratie in het bodemvocht op, geheel in overeenstemming met het laboratoriumexperiment van Koopmans (2004). Dit impliceert dat erin het fosfaatevenwicht een verschuiving optreedt van de opgeloste fase in de 70-er jaren naar de gefixeerde fase in 2004. De fosfaatbeschikbaarheid is daarbij veel sterker gedaald dan de fosfaatverzadigingsindex. Geconcludeerd kan worden dat de voorraad en de beschikbaarheid van fosfaat in de bouwvoor van deze zandgronden in de loop van 30 jaar begrazing sterk is gedaald. De stikstofvoorraad en het stikstofgehalten lijken daarentegen gestegen over dezelfde periode. Dit vraagt om een nadere beschouwing.

In tabel 10 zijn de gemiddelde jaarlijkse veranderingen weergegeven van de voorraad N en P in de bodemlaag 0-20 cm-mv van de percelen in Cranendonck over de periode 1979 tot 2004. De gemiddelde jaarlijkse toename van de stikstofvoorraad ligt in dezelfde orde van grootte als de jaarlijks gemiddelde natte en droge atmosferische depositie van stikstof over de afgelopen periode van 25 jaar (20-50 kg N).

Tabel 10 Gemiddelde jaarlijkse verandering in N en P voorraad in de bodemlaag 0-20 cm-mv van de verschillende percelen in Baronie Cranendonck over de periode 1979-2004 en de mogelijke uitspoeling uit de bouwvoor uitgaande van een gemiddeld neerslagoverschot van 250mm. jr⁻¹ en de gemiddelde fosfaatconcentratie in het bodemvocht in 1973, 1979 en 2004.

Percelen	Toename (0-20 cm-mv) kg/ha/jr		Uitspoeling kgP/ha/jr		
	N	P	1973	1979	2004
19A,B,C	15,1	-10,4	25	10	2,5
23A, 25A, 35	36,0	-6,9	2	1,75	1,5
40, 45, 23b	31,1	-12,2	5	3,75	2,5

De jaarlijkse atmosferische fosfaatdepositie varieerde in Brabant tussen 0,3 en 0,6 kgP.ha⁻¹ (Erisman et al. 1989). De jaarlijkse afname van de fosfaatvoorraad bedraagt 7-12 kg.ha⁻¹. Uit oriënterende berekeningen blijkt dat de verandering in fosfaatvoorraad zowel in de arme (19A,B,C) als de rijkere percelen niet verklaard lijkt te kunnen worden uit fosfaatuspoeling (Tabel 10). Daarbij werd een gemiddeld neerslagoverschot van 250 mm.jr⁻¹ en de fosfaatconcentratie van het bodemvocht in de verschillende jaren van de percelen (zie Figuur 11) aangehouden. Waarschijnlijk is in alle percelen tevens een fosfaatafvoer via opname door het vee gerealiseerd.

De verrijking van de bodem met stikstof en de verarming met fosfaat impliceert dat de N/P verhouding van de organische stof sinds de 70-er jaren is gestegen. Er vindt dus een relatieve verrijking van de bodem met stikstof plaats. De gewasproductie blijkt in 2005 beperkt te zijn door stikstof en kalium (zie tabel 3).

Conclusies

Een periode van 30 jaar begrazing heeft in Baronie Cranendonck geleid tot stijging van de stikstof- en een daling van de fosfaatvoorraden in de bouwvoor. De fosfaatconcentratie in het bodemvocht is daarbij sterk gedaald. In dezelfde periode daalde het organisch stofgehalte met 0,5 tot 1% en daalde de pH-KCl met een halve eenheid.

De toename van de stikstofvoorraden lijkt verklaard te kunnen worden uit atmosferische depositie. De afname van de fosfaatvoorraden kan slechts deels worden verklaard uit uitspoeling en lijkt tevens te moeten worden toegeschreven aan netto fosfaatopname door het vee. In tegenstelling tot fosfor wordt stikstof vooral ingebouwd in organische stof, wat zich uit in een daling van de C/N verhouding en een stijging van de N/P verhouding van de organische stof sinds 1974.

4.2.2.2 Loefvledder

In tabel 11 zijn de resultaten weergegeven van de (bewerkte) analyseresultaten over de verschillende perioden. Basisgegevens zijn opgenomen in bijlage 1.

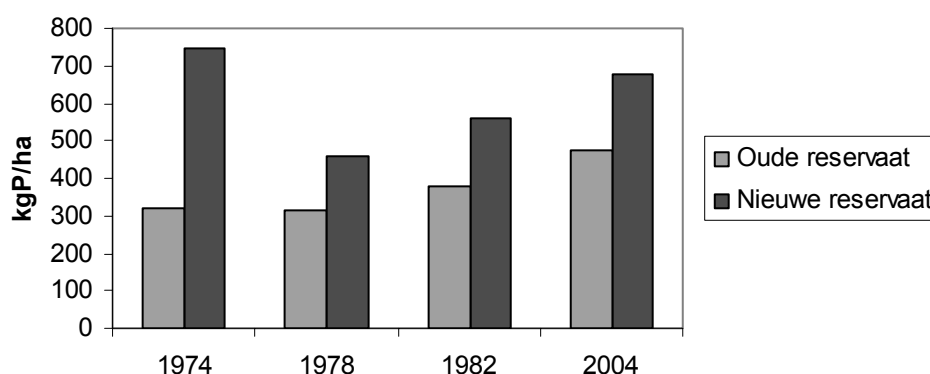
De pH is gedaald met 0,7 tot ruim 1 eenheid. In het oude reservaat is P-totaal in beide bodemlagen na een aanvankelijk daling sinds 1982 weer toegenomen. In het nieuwe reservaat is het gehalte in de bovenlaag afgenomen en de onderlaag toegenomen. Dezelfde veranderingen zijn opgetreden in de voorraad (kgP.ha⁻¹).

Tabel 11 Gemiddelde waarden van bodemvariabelen per bodemhorizont in de periode 1974-2004. Gearceerde velden geven waarden aan die niet op metingen zijn gebaseerd, maar werden herleid.

Jaar	Loefvledder oud (0-5)										
	pH-KCl (-)	Humus (%)	N-tot (mg/100g)	P-AL	Pox (mgP/100g)	P-tot	C/N	C/P (-)	N/P	P (kg/ha)	N (kg/ha)
1974	4,00		1210		46,6	144	22,6	281	12,4	187	1560
1978	3,80		1270		49,4	153	21,6	265	12,3	199	1637
1982	3,70		1490		57,9	179	18,4	226	12,3	233	1921
2004	3,10	54,80	1674	5	47,5	200	16,4	179	11,0	260	2159
Loefvledder oud (5-20)											
1974	3,95		1100		25,4	79	18,9	390	20,7	134	1895
1978	3,75		920		21,9	68	22,6	453	20,1	115	1585
1982	3,65		1205		27,5	85	17,2	360	20,9	145	2076
2004	3,14	41,5	1138	3	24,8	125	18,2	206	11,3	213	1962
Loefvledder nieuw (0-5)											
1974	5,30		820		53,7	166	12,9	94	7,3	456	2272
1978	5,00		680		32,5	100	15,6	156	10,0	276	1884
1982	4,10		640		42,4	131	16,6	120	7,2	360	1773
2004	4,17	21,2	668	8	46,0	117	15,9	149	9,4	322	1850
Loefvledder nieuw (5-20)											
1974	4,90		580		28,9	90	13,6	130	9,6	291	1873
1978	4,60		410		18,4	57	19,3	206	10,7	184	1324
1982	4,50		330		19,8	61	23,9	191	8,0	199	1066
2004	4,21	15,8	435	10	48,8	110	18,1	130	7,2	356	1406

Gesommeerd over de laag 0-20 cm zijn de veranderingen in de fosfaatvoorraad weergegeven in figuur 12. Het aan Fe- en Al-oxiden gebonden fosfaatgehalte (P-oxalaat) is in het oude reservaat in 2004 niet wezenlijk veranderd ten opzichte van 1974, maar is in het nieuwe reservaat in de laag 5-20 cm-mv sterk toegenomen. Hoewel geen oude P-AL cijfers beschikbaar zijn, kunnen de cijfers van 2004 als laag worden beschouwd (zie ook data Cranendonck in paragraaf 4.2.2.1). De C/P verhouding is (m.u.v de laag 0-5 in het nieuwe reservaat) duidelijk afgenomen sinds 1982. Dit betekent dat een deel van het fosfor in (stabiele) organische stof is vastgelegd. De N/P verhouding is in diezelfde lagen gedaald sinds 1982, hetgeen suggereert dat de bodem relatief verarmd is aan stikstof of juist relatief rijker aan fosfor is geworden.

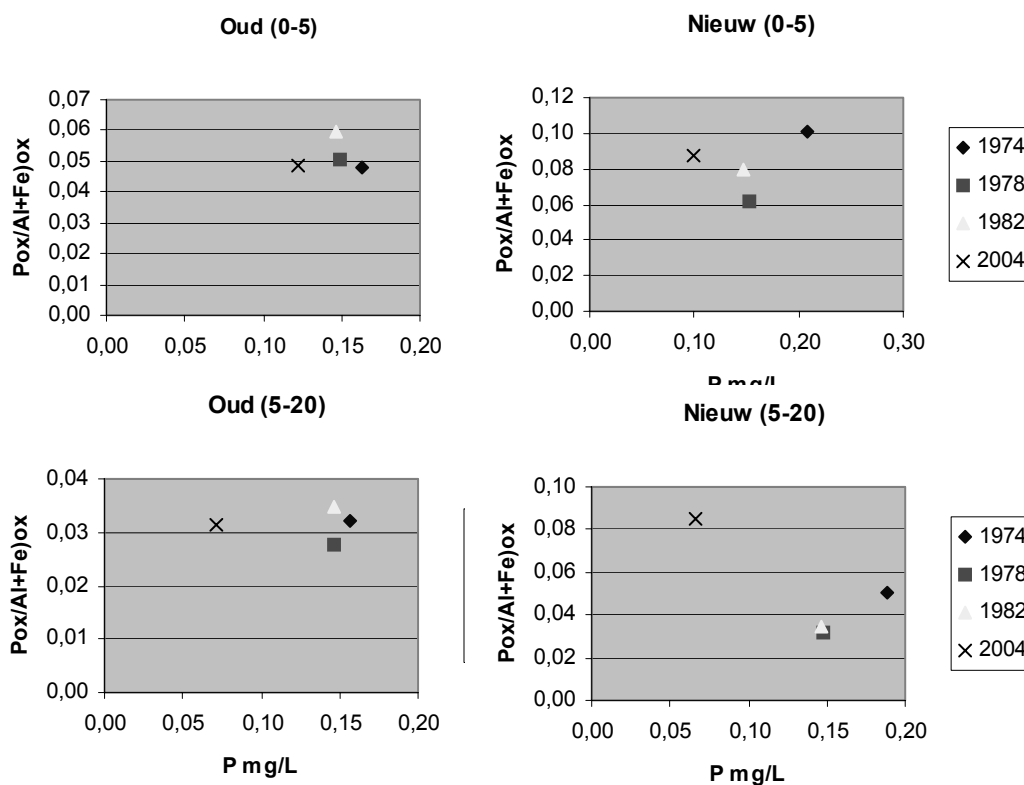
Bodemvoorraad 0-20 cm-mv



Figuur 12 Fosforvoorraden in de laag 0-20 cm diepte in het oude en nieuwe reservaat van Loefvledder in de verschillende perioden.

De stikstofvoorraden in het oude reservaat zijn toegenomen sinds 1982, wat gepaard gaat met een geringe daling van de C/N verhouding van de organische stof. In het nieuwe reservaat is de stikstofvoorraad gedaald en de C/N verhouding juist gestegen. De C/N verhouding van beide percelen vertoont sinds 1974 een convergerende tendens naar een waarde 16-18. Dit hangt waarschijnlijk samen met het verschil in zuurgraad tussen beide reservaten in de uitgangssituatie.

In figuur 13 is de fosfaatverzadigingsindex in relatie tot de fosfaatconcentratie in het bodemvocht weergegeven. De fosfaatverzadigingsindex is in bijna alle bodemlagen niet wezenlijk veranderd sinds de 70-er jaren. Alleen in de bodemlaag 5-20 cm van het nieuwe reservaat is de fosfaatverzadigingsindex sinds de 70-er jaren gestegen. De fosfaatconcentraties zijn duidelijk lager geworden sinds de 70-er jaren. Deze laatste parameter wordt ook wel als de makkelijk beschikbare (desorbeerbare) P-fractie beschouwd. Dit wil zeggen dat het evenwicht tussen geadsorbeerd en opgelost fosfaat iets is verschoven in de richting van geadsorbeerd fosfaat en minder opgelost fosfaat voor opname beschikbaar is geworden. Hoewel de totaalfosfaatgehalten zijn toegenomen is de beschikbaarheid afgenomen.



Figuur 13 Relatie tussen fosfaatverzadigingsgraad (geadsorbeerde P-fractie) en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht van het oude en nieuwe reservaat.

Discussie

In tabel 12 is de gemiddelde toename in fosfor- en stikstofvoorraad per laag over de periode 1974-2004 op jaarbasis weer gegeven.

Tabel 12 Toename in fosfor- en stikstof voorraden in de bodem op jaarbasis over de periode 1974-2004 in Loefvledder.

Reservaat	Laag	Toename		Bodemvoorraad P	
		N	P	1974	2004
		kg/ha.jr		kg/ha	
Oud	0-5	20,0	2,4	187	260
	5--20	2,2	2,7	134	213
Nieuw	0-5	-14,1	-4,5	456	322
	5--20	-15,6	2,2	291	356

In het oude reservaat, dat in de uitgangssituatie al een schraler karakter had, wordt de bovengrond zowel rijker aan stikstof als aan fosfor. Uit de daling van de C/N verhouding kan worden geconcludeerd dat in het oude reservaat immobilisatie van stikstof heeft plaatsgevonden door inbouw in organische stof. De afvoer van stikstof is er kennelijk minder dan de aanvoer via depositie.

Het nieuwe reservaat wordt na een daling gedurende de eerste vijf jaar rijker aan fosfor maar armer aan stikstof. Het beheer leidt kennelijk tot een grotere afvoer van N dan er via atmosferische depositie bijkomt. De lage C/N verhouding in de uitgangssituatie is waarschijnlijk de oorzaak dat stikstof niet wordt geïmmobiliseerd door inbouw in organische stof.

Uit onderzoek van Bakker (1989) kan worden afgeleid dat in de periode 1974-1982 via oogsten ruim 53 ton droge stof per hectare uit het nieuwe reservaat is afgevoerd. Met een P-gehalte van 5 g.kgds⁻¹ (Bakker 1989) komt dit neer op een afvoer van 267 kgP.ha⁻¹. Op jaarbasis is dit ca. 29,6 kgP.ha⁻¹. Als wordt uitgegaan van een jaarlijkse oogst van 2000 kgdw.ha⁻¹ en een P-gehalte van 5 gP.kgds⁻¹ (zie tabel 5) dan kan in de periode van 1982 tot 2004 nog eens 220 kgP.ha⁻¹ zijn afgevoerd. In totaal zou dan over een periode van 30 jaar 487 kgP uit de bodem zijn afgevoerd via oogsten. Uitspoeling is verwaarloosbaar. Met de aldus berekende P-afvoer zou de bodemvoorraad over de periode 1974-2004 moeten zijn afgenomen tot 260 kgP/ha (747-487). Daadwerkelijk wordt echter een bodemvoorraad van 678 kgP in de laag 0-20cm-mv van het nieuwe reservaat gemeten. Er moet dus een aanvulling uit diepere bodemlagen hebben plaatsgevonden. Dit kan slechts worden verklaard via een nutriëntenpomp, waarmee P uit diepere lagen via wortels wordt getransporteerd naar ondiepere lagen (Miles in Bakker, 1989). Ook Bakker (1989) melde in zijn onderzoek naar effecten van verschraving van voormalige landbouwgronden over een periode 1974-1982 een toename van de fosfaatgehalten van de bouwvoor.

In 2005 werd een hernieuwde bemonstering van de bodemprofielen in het oude en nieuwe reservaat uitgevoerd om zicht te krijgen op ijzer-, aluminium en fosfaatgehalten. Op basis van P-totaalgehalten werden fosfaatvoorraden onder de bouwvoor berekend. De analyseresultaten laten zien (Tabel 13) dat in 2005 onder de bouwvoor nog aanzienlijke fosfaatvoorraden liggen opgeslagen. Er is dus sprake van een fosfaatbron in diepere bodemlagen van waaruit via de nutriëntenpomp fosfaat naar de wortelzone kan worden getransporteerd.

Tabel 13 Organische stofgehalte, bulkdichtheid (BD), elementgehalten, de fosfaatverzadigingsindex (PSI) en fosforvoorraden in verschillende horizonten tot 80 cm diepte in de bodemprofielen van het oude en nieuwe reservaat van Loefvledder in 2005.

Reservaat	Diepte cm-mv	Org.stof %	BD kg/dm ³	Al mmol/kg	Fe mmol/kg	P mmol/kg	PSI	P-totaal mg/kg	P kg/ha
Oud	0-20	38,0	0,37	72,6	144,5	10,8	0,05	930	691,4
	20-40	40,0	0,36	80,1	136,6	4,2	0,02	414	294,7
	40-60	4,3	1,05	20,3	9,8	1,0	0,03	56	118,2
	60-80	1,0	1,50	9,1	4,1	0,2	0,02	32	94,9
Nieuw	0-20	19,1	0,59	72,5	177,0	18,9	0,08	859	1007,1
	20-40	7,2	0,89	31,4	70,1	3,8	0,04	189	336,9
	40-60	0,9	1,53	7,7	6,4	0,5	0,04	44	135,4
	60-80	0,6	1,64	7,1	3,6	0,3	0,03	28	90,7

Ook uit onderzoek van Klooker et al. (1999) en Verhagen et al. (2003) blijkt dat in dagzomende horizonten (0-20 cm-mv) van ontgronde percelen nog gemiddeld 4 tot 27 mgP.100g⁻¹ voorkomt.

Opvallend is dat het maai- en afvoerbeheer in Loefvledder leidt tot een verhoging van de fosfaatgehalten en –voorraden, maar een verminderde beschikbaarheid van fosfaat in het bodemvocht. Kennelijk leidt verschraling tot een afname van de makkelijk desorbeerbare fosfaatfractie. Daarentegen blijkt dat de stijging van de totaalfosfaatgehalten vooral is toe te schrijven aan een toename van de organische fosforfractie, wat zich o.a. uit in een sterke daling van de C/P waarden sinds 1974. Naast afvoer van P door het gewas wordt dus een belangrijk deel vastgelegd door micro-organismen in de bodem. De N/P verhouding is daardoor gedaald, wat wijst op een relatieve fosforverrijking. In Baronie Cranendonck was de N/P verhouding juist gestegen.

De fosforvoorraden in de bodem van Cranendonck liggen in dezelfde orde van grootte als die in Loefvledder (vgl. tabel 8 en figuur 12). Echter de fosfaatverzadigingsindex en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht zijn in Loefvledder aanzienlijk lager dan in Baronie. In Loefvledder zijn de stikstofvoorraden in de bodem groter dan in de Cranendonck.

Conclusies

Ondanks een verschralingbeheer van maaien en afvoeren is in Loefvledder sprake van een toename van de fosfaatvoorraden in de bouwvoor. De stikstofvoorraad kan zowel toe als afnemen, afhankelijk van de lokale omstandigheden en de balans tussen afvoer via hooien en aanvoer via atmosferische depositie. De fosfaatvoorraad neemt waarschijnlijk toe door een herallocatie van nutriënten uit diepere bodemlagen. De beschikbaarheid van fosfaat in de bouwvoor neemt echter af. De gefixeerde fosfaatfractie verandert nauwelijks, maar vooral het organisch fosforgehalte neemt toe door inbouw van fosfor in organische stof.

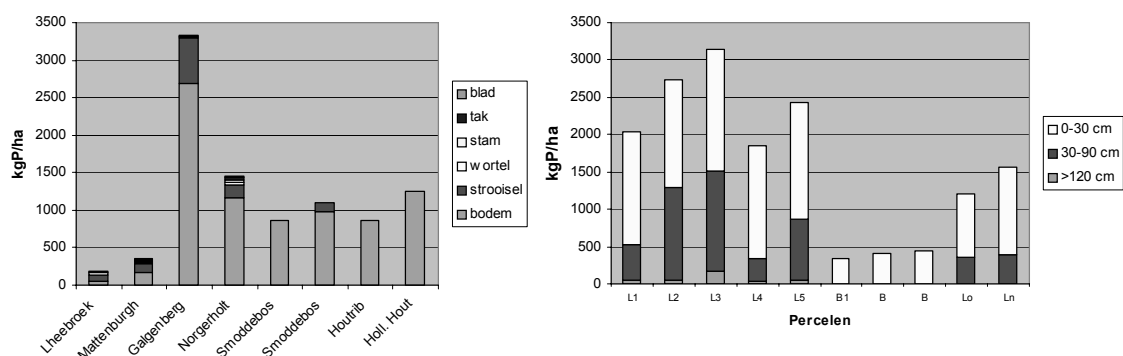
4.2.3 Literatuuronderzoek

Fosforvoorraden in bosesystemen

De berekende fosforvoorraden voor de verschillende ecosysteemcompartimenten van de onderzochte bossen zijn weergegeven in figuur 14. De voor de berekening gebruikte elementgehalten en biomassa's zijn opgenomen in bijlage 2. Ter vergelijking zijn de fosforvoorraden tot ca. 1 m-mv in een aantal percelen van het landgoed Lankheet, waar sprake is van fosfaatverzadigde zandgrond, berekend en weergegeven. Tenslotte is de huidige fosforvoorraad in de bouwvoor van de drie perceelsclusters in Baronie Cranendonck en van de beide reservaten in Loefvledder weergegeven.

Uit figuur 14 blijkt dat op arme (stuif)zandgronden zoals in Lheebroek en Mattenburg de fosforvoorraad in bosesystemen aanzienlijk lager is dan in een landbouwecosysteem. Voor oudere bosesystemen op rijkere zandgronden (Wintereiken-Beukenbos) varieert de voorraad tussen 1500 en 3500 kgP.ha⁻¹. Dit is van dezelfde grootteorde als de fosfaatvoorraad in de bodem van landbouwkundig gebruikte percelen in Lankheet. De gemeten fosforvoorraad in de bodem (0-25 cm-mv) van rijke bossen op keileem (Smoddebos) of op zavel (Houtribbos) loopt uiteen

van 860-1100 kgP.ha⁻¹ resp. 864-1250 kgP.ha⁻¹. Dit is ongeveer een factor 1,5 tot 2 hoger dan de fosfaatvoorraad in de landbouwkundig gebruikte percelen van Cranendonck en van dezelfde grootteorde als in die van Loefvledder.



Figuur 14 De fosforvoorraden in de verschillende compartimenten van het bosecosysteem Lheebroek (70 jr), Mattemburgh (150 jr), Galgenberg (100jr), Norgerholt (400 jr), Smoddebos (150 jr) in vergelijking met die van enkele landbouwkundig gebruikte en fosfaatverrijkte gronden van het landgoed Lankbeet (L1-5) Cranendonck (B) en Loefvledder (Lo,n).

Conclusie

- In Wintereiken-beukenbossen van de iets rijkere zandgronden ligt, verdeeld over de verschillende ecosysteemcompartimenten, een fosforvoorraad opgeslagen die van dezelfde orde van grootte is als in fosfaatverzadigde zandgronden van landbouwpercelen.
- De huidige fosforvoorraden in de bodem van Cranendonck en Loefvledder, die in het verleden landbouwkundig matig intensief zijn gebruikt, zijn vergelijkbaar tot lager dan de fosforvoorraad in bosecosystemen op zavel en keileemgronden.

5 Synthese en conclusies voor beheer

5.1 Synthese

Uitgangssituatie en beheer

Baronie Cranendonck en Loefvledder zijn terreinen die ruim 30 jaar geleden uit landbouwproductie zijn genomen en die sindsdien als natuurgebied worden beheerd. Landschappelijk zijn beide terreinen gelegen op de overgang van hoge naar lage zandgronden in de bovenloop van een beekdal. Bodemkundig worden zij getypeerd door de gradiënt van stuifzanden en podzolgronden via gooreerdgronden naar beekerd- of broekeerdgronden. Loefvledder is iets lager op deze gradiënt gelegen en de bodem is door de invloed van kwel en/of beekwater en de aanwezigheid van leem iets basenrijker en vochtiger dan die van Baronie Cranendonck.

Beide terreinen hebben een landbouwkundig verleden, waarbij fosfaat in de vorm van drijfmest en/of kunstmest werd opgebracht. In de Baronie Cranendonck werden de gronden vooral gebruikt voor akkerbouw en cultuurweide en in Loefvledder alleen voor grasland. De uitgangstoestand van de bodem van beide terreinen kan als fosfaatverrijkt worden gekenschetst. In de huidige studie hebben we de fosfaattoestand in de uitgangssituaties proberen te reconstrueren. Daaruit kan worden afgeleid dat de bodems zeker niet fosfaatverzadigd waren. In de uitgangstoestand van 1973 bevatte de bouwvoor (0-20 cm) van de percelen in Baronie Cranendonck tussen de 700 en 800 kgP.ha⁻¹ en een fosfaatverzadigingsindex variërend van 20 tot 45% wat overeenkomt met een fosfaatverzadigingsgraad van 40 tot 90%. In Loefvledder bevatte de bouwvoor in 1973 tussen de 320 (oude reservaat) en 750 kgP.ha⁻¹ (nieuw reservaat) en een fosfaatverzadigingsindex variërend van 3 tot 10% wat overeenkomt met een fosfaatverzadigingsgraad van maximaal 20%. De lage fosfaatverzadigingsgraad van Loefvledder is het gevolg van de ijzerrijke bodem, waardoor de fosfaatadsorptiecapaciteit aanzienlijk groter is dan in Baronie Cranendonck.

In de twee gebieden zijn verschillende vormen van beheer in gang gezet die in ons onderzoek zijn vergeleken. Hoewel natuurdoeltypen in 1973 nog geen gangbaar begrip waren zou voor deze terreinen nu het *Nardo-Galium saxatile* (Loefvledder) en het *Koelerio-Corynephoretea* (Cranendonck) als natuurdoeltype zijn aangegeven. In Baronie Cranendonck werd via begrazingsbeheer beoogd op landschapsschaal te komen tot een herallocatie van nutriënten, waardoor een mozaïek van schrale en rijkere vegetaties zich kon ontwikkelen. Het halfnatuurlijk beheer van Loefvledder beoogde de bodem te verschralen via maaien en afvoeren. In beide terreinen was de bodemkundige uitgangstoestand na landbouwkundig gebruik een gegeven. Er werden geen inleidende inrichtingsmaatregelen, zoals plaggen of afgraven van de bouwvoor genomen. Het beheer is continue op systematische wijze voortgezet tot op heden.

Begrazingsbeheer in Cranendonck

In Baronie Cranendonck werd een 'begeleid natuurlijk' beheer ingezet met beweiding als landschapsvormend proces, gericht op een verhoging van de differentiatie tussen plantengemeenschappen op landschapsniveau.

In de afgelopen dertig jaar is een belangrijke verschuiving opgetreden in de verhouding tussen soorten die indicatief zijn voor voedselarme en voedselrijke omstandigheden. De voedselrijkdom- en de zuurgraadindicatie zijn beide gedaald met resp. twee eenheden en een halve eenheid op basis van Ellenberg-waarden. Het aantal soorten is nauwelijks veranderd maar de soortensamenstelling wel. Van het beoogde doeltype zijn na dertig jaar diverse kensoorten aangetroffen. De huidige vegetatie kan het best worden getypeerd als een soortenarme variant van de *Koelerio-Corynephoretea*, kenmerkend voor droge graslanden op zandgrond.

De indicatie van de vegetatie voor voedselrijkdom gebaseerd op Ellenberg-N-getallen is over een periode van 30 jaar met 2 eenheden gedaald. De oude productieniveaus van de percelen zijn niet bekend. De huidige geschatte droge stofproductie van de vegetatie op de rijkste percelen bedraagt ca. 2,4 ton.ha⁻¹ en van de armste percelen 1,8 ton.ha⁻¹. Hoewel de indicatie voor voedselrijkdom van de vegetatie sterk is gedaald, bleken de stikstofvoorraden in de bouwvoor eerder te zijn gestegen dan gedaald. Deze stikstoftoename van 15 à 30 kgN.ha⁻¹.jr⁻¹ zou heel goed verklaard kunnen worden uit de jaarlijkse atmosferische stikstofdepositie. Kennelijk kan deze extra stikstoftoevoer niet via begrazing worden gecompenseerd. Een belangrijk deel van deze atmosferische stikstof lijkt te worden ingebouwd in de organische stof van de bodem, zoals kan worden afgeleid uit een daling van de C/N- verhouding over de afgelopen dertig jaar. De N/P-verhouding van de organische stof in de bodem is gestegen sinds 1973, waaruit kan worden afgeleid dat in de bodem, ten opzichte van fosfor, een relatieve verrijking met stikstof heeft plaatsgevonden.

De fosfaatvoorraden zijn echter sterk gedaald van 700 à 800 kgP.ha⁻¹ tot 350 à 450 kgP.ha⁻¹. De fosfaatverzadigingsgraad is daarbij gedaald tot 30-50%. De fosfaatbeschikbaarheid daalde relatief het sterkst van waarden rond 10mgP.L⁻¹ tot minder dan 1 mgP.L⁻¹. De afname van de fosfaatvoorraad kan slechts ten dele worden verklaard door te veronderstellen dat er uitspoeling is opgetreden. Ook door begrazing zal er een netto fosfaatafvoer uit de bodem moeten zijn opgetreden.

Aan de kaliumvoorraden in de bodem en de eventuele veranderingen daarin werd geen onderzoek verricht. Onderzoek naar de nutriëntgehalten van het gewas in 2005 wijzen echter uit dat kalium en/of stikstof beperkende factoren zijn voor de productie van het gewas. Dit impliceert dat kennelijk nog voldoende fosfaat beschikbaar is voor het huidige productieniveau. Lagere productieniveaus zijn slechts mogelijk bij vermindering van de fosfaatbeschikbaarheid.

Geconcludeerd wordt dat zonder afgraven van de bouwvoor die voor 40 tot 90% verzadigd is met fosfaat via begrazing in een periode van 30 jaar de fosfaatvoorraden met 50% kunnen worden gereduceerd op arme droge zandgronden. De fosfaatverzadigingsgraad en de beschikbaarheid van fosfaat worden daarbij sterk

gereduceerd. Onder deze condities heeft zich een schraal vegetatietype behorend tot de *Koelerio-Corynephoretea* kunnen ontwikkelen. Het lage productieniveau van de vegetatie ontwikkelt zich door een gebrek aan kalium en stikstof. Voor nog lagere productieniveaus is de fosfaatbeschikbaarheid echter nog steeds te hoog. Het feit dat zich relatief weinig doelsoorten van het beoogde *Koelerio-Corynephoretea* hebben ontwikkeld, heeft waarschijnlijk eerder te maken met het ontbreken van doelsoorten in de zaadbank dan een teveel aan fosfaat.

Halfnatuurlijk beheer in Loefvledder

In Loefvledder werd (o.a.) een halfnatuurlijk beheer van maaien en afvoeren ingevoerd om de overmaat aan voedingsstoffen terug te dringen. Na 30 jaar versralen is de productiviteit van de graslanden gedaald maar nog steeds een factor 2 hoger dan die van het beoogde natuurdoeltype *Nardo-Galium saxatilis*. Het aantal soorten daalde over deze periode licht. Er zijn meer soorten gekomen die wijzen op voedselarme omstandigheden en het aantal soorten dat indicatief is voor voedselarmoede daalde. Er vestigde zich slechts een beperkt aantal soorten van het doeltype.

Het verschralingbeheer leidde echter tot een toename van de fosfaatvoorraad in de bouwvoor van 310 naar 470 in het oude en van 460 naar 680 kgP.ha⁻¹ in het nieuwe reservaat. De fosfaatverzadigingsgraad veranderde niet wezenlijk. De beschikbaarheid van makkelijk oplosbaar fosfaat nam echter iets af en bleef op een laag niveau gebufferd. De toename in fosfaatvoorraad kan slechts verklaard worden uit een herallocatie van fosfaat binnen het bodemprofiel, waarbij fosfaat uit diepere bodemlagen moet zijn gemobiliseerd. Ondanks deze mobilisatie van fosfaat door de wortels heeft fosfaatopname niet tot een hogere productie van de vegetatie geleid. De productie is over 30 jaar gedaald van ca. 6 à 8 ton ds.ha⁻¹ tot ca. 2 ton ds.ha⁻¹. Kennelijk is een andere voedingsstof dan fosfor beperkend voor de productie. De stikstofvoorraad in het oude reservaatdeel steeg in de periode 1974-2004 met gemiddeld 22 kgN.ha⁻¹.jr⁻¹, wat verklaard zou kunnen worden uit atmosferische stikstofdepositie. Kennelijk is maaien en afvoeren ontoereikend om de stikstofinput te compenseren en is de productie te gering om al het beschikbare stikstof af te voeren. Dit wijst erop dat kalium mogelijk de beperkende factor is in dit reservaatdeel. In het nieuwe reservaatdeel is echter sprake van een afname van de stikstofvoorraad met bijna 30 kgN.ha⁻¹.jr⁻¹. Kennelijk voert het gewas hier meer stikstof af dan via atmosferische depositie wordt aangevoerd.

Nutriëntenanalyses van het gewas toonden aan dat in het nieuwe reservaat zich sinds 1975 een ontwikkeling heeft voorgedaan van N-beperkte naar N+K-beperkte gewasproductie. Dit impliceert dat door maaien en afvoeren stikstof en kalium in ruime mate zijn afgevoerd, maar dat nog steeds te veel fosfaat beschikbaar is om de productie nog verder te kunnen laten dalen.

Geconcludeerd kan worden dat het niet afgraven van de bouwvoor, die tot maximaal 20% verzadigd is met fosfaat, geen probleem is voor de ontwikkeling van een schraal vegetatietype met een opbrengst van ca 2 ton ds.jr⁻¹. Ondanks een verschralingbeheer over een periode van 30 jaar zijn de fosfaatvoorraden gestegen in de bodem, maar is

de beschikbaarheid iets afgenomen, waaruit wordt geconcludeerd dat fosfaat van ondergeschikt belang is geweest als productiebeperkende factor. Waarschijnlijk is de beschikbaarheid van stikstof en kalium van doorslaggevend belang als productiebeperkende factor. Thans is de productie echter op een niveau aangekomen waarbij fosfaat beperkend moet worden om nog lagere productieniveaus te kunnen bereiken. Het achterwege blijven van soorten uit het doelttype is toe te schrijven aan het ontbreken van doelsoorten in de zaadbank.

Tenslotte moet worden opgemerkt dat ondanks het feit dat de huidige fosfaatvoorraden in Loefvledder groter zijn dan in Cranendonck, de verzadigingsgraad en daarmee de beschikbaarheid van fosfaat in Loefvledder beduidend lager is dan in Cranendonck. Dit is toe te schrijven aan de grotere fosfaatadsorptiecapaciteit van de bodem in Loefvledder door de rijkdom aan ijzeroxiden. De fosfaatverzadigingsgraad is daarom een belangrijkere maat voor de bodemvruchtbaarheid dan absolute fosfaatgehalten. Daar tegenover staat dat fosfaatvershraling van arme droge zandgronden zoals in Baronie sneller verloopt dan vershraling van vochtige ijzerrijke gronden zoals in Loefvledder.

Fosfaatvoorraden in oude bossen

Uit het onderzoek is gebleken dat zonder afgraven zowel via beweiding als via maaien en afvoeren laagproductieve vegetaties kunnen worden ontwikkeld op matig tot sterk fosfaatverzadigde gronden. Grazen op (ijzer)arme zandgronden leidt tot een sterke afname van de fosfaatvoorraad en- beschikbaarheid en hooien van (ijzer)rijkere gronden leidt niet tot een daling van de fosfaatvoorraad in de bouwvoor maar wel tot een daling van de beschikbare fosfaatfractie. Op arme droge zandgronden lijkt begrazing dus te leiden tot een verlies van fosfaat uit de nutriëntenkringloop en hooien van rijke gronden juist tot een sterkere fixatie van fosfaat in de bodem. Ook uit de literatuur is bekend dat begrazing de mineralisatie van nutriënten in graslandssystemen kan versnellen (Tracy & Frank 1998; Singer & Schoenecker 2003).

Een van de doelen van beweiding zou kunnen zijn dat op landschapsschaal een grotere variatie aan vegetatietypen en -structuren ontstaat met plaatselijk struweel- en bosontwikkeling. Het onderzoek gaf aanwijzingen dat op droge arme zandgronden fosfaat vrij makkelijk beschikbaar komt. Uit literatuuronderzoek blijkt dat in oudere boscystemen van de zandgronden 700 tot 1500 kgP.ha⁻¹ ligt opgeslagen in de verschillende ecosysteemcompartimenten. Dit is een factor 1 tot 2 hoger dan in de bouwvoor van Baronie Cranendonck en vergelijkbaar met de voorraad die in Loefvledder lag opgeslagen toen zij uit productie werden genomen. De fosfaatvoorraden in rijkere bossen zijn ongeveer een factor 2 lager dan in de bodem van huidige fosfaatverzadigde gronden. Dit impliceert dat in oudere boscystemen evenveel fosfaat circuleert als ligt opgeslagen in matig fosfaatverzadigde gronden. Het zou een kwestie van geduld en het juiste beheer zijn om ervoor te zorgen dat deze fosfaatvoorraden in landbouwgronden weer in circulatie kunnen komen. Beweiding lijkt daartoe een geschikte beheersvorm. Overigens blijkt dat ook in Loefvledder 20 jaar na het uit cultuur nemen er een ontwikkeling op gang komt naar struweel met een boomlaag bij de beheersmaatregel 'niets doen'.

5.2 Conclusies voor beheer

Het onderzoek naar effecten op de lange termijn van verschillende vormen van natuurbeheer leidde in twee in geografisch opzicht verschillende gebieden tot verschillende resultaten. Uit het onderzoek kunnen de volgende conclusies voor het beheer worden getrokken:

- Afgraven van matig tot sterk fosfaatverzadigde gronden op regenwatergevoede droge tot vochtige zandgronden is geen noodzakelijke optie om te komen tot schrale natuurdoeltypen, ongeacht het in te zetten beheer.
- Beweiding van droge ijzerarme gronden kunnen in een periode van ruim 25 jaar leiden tot een sterke vermindering van de fosfaatgehalten en -voorraden van de bouwvoor en de fosfaatconcentratie in het bodemvocht van voormalige landbouwgronden. Daarbij kan een productieniveau van 1,8 tot 2,4 ton ds.ha⁻¹ gerealiseerd worden en kunnen vegetaties van het *Koelerio-Corynephoretea* verwacht worden. Kalium en stikstof zijn in de eerste 25 jaar beperkend voor de gewasproductie. Indien een verdere productiedaling wordt gewenst, is een verder terugdringen van de fosfaatbeschikbaarheid noodzakelijk.
- Op ijzerrijke vochtige zandgronden leidt hooilandbeheer niet tot een daling van de fosfaatgehalten en -voorraden in de bodem, maar kan wel een daling van de gewasproductie worden gerealiseerd tot een niveau waarbij doeltypen behorend tot het *Nardo-Galion saxatilis* verwacht mogen worden. In de eerste fasen van de verschraling heeft waarschijnlijk stikstofbeperking en in latere fasen kaliumbeperking een rol gespeeld. Voor verdere daling van de productie is terugdringing van de fosfaatbeschikbaarheid noodzakelijk.
- Het niet aanwezig zijn van zaden van veel doelsoorten lijkt een van de belangrijkste redenen dat doelsoorten zich nog niet in de vegetatie hebben gevestigd.
- Het is daarom van belang maatregelen te nemen die de kolonisatie van karakteristieke plantensoorten via dispersie van zaden vereenvoudigt.
- Beweiding van arme zandgronden die in landbouwkundig gebruik zijn geweest, kan een belangrijke bijdrage leveren bij het weer in kringloop brengen van fosfaat, waardoor op grotere schaal meer variatie in voedselrijkdom en vegetatiestructuur (gras, struweel en bos) kan ontstaan

Een van de consequenties van deze conclusies zou kunnen zijn dat niet-afgraven van verrijkte, vochtig tot droge landbouwgronden kan leiden tot een aanzienlijke reductie van kosten en milieukundige problemen bij de verwerking van vervuilde grond, zonder dat de beoogde natuurdoelen in gevaar komen. Ook al gaat dat in tegen de gangbare praktijk, lijkt ons een kritische evaluatie van het gangbare beheer dus wel gewenst al was het alleen al uit overwegingen van kostenbeheersing.

Aanbeveling

Het onderzoek heeft geleid tot andere resultaten dan a-priori werd verwacht en heeft nieuwe inzichten opgeleverd over het lange termijn gedrag van fosfor in de bodem en de mogelijke actieve rol die de vegetatie daarbij zelf speelt. Onder ijzerarme droge condities kan de fosfaatvoorraad in de loop van 30 jaar sterk teruglopen, maar onder ijzerrijke en vochtige condities nauwelijks. Desondanks leidt het gevoerde beheer tot

de ontwikkeling van laag productieve vegetaties met kenmerkende soorten van beoogde natuurdoeltypen. Deze onderzoeksresultaten kunnen belangrijke consequenties hebben voor de praktijk. Op basis van de verworven inzichten en kennis wordt daarom aanbevolen het onderzoek verder te verbreden en te verdiepen.

Literatuur

- Bakker, J.P., 1989. Nature Management by grazing and cutting. Dordrecht. Kluwer Academic publishers.
- Bakker, J.P., J.A. Elzinga & Y. de Vries, 2002. Effects of long-term cutting in a grassland system: perspectives for restoration of plant communities on nutrient poor soils. *Applied Vegetation Science* 5: 107-120.
- Bal, D., H.M. Beije, M. Fellingner, R. Haveman, A.J.F.M. Opstal & F.J. van Zadelhof, 2001. Handboek Natuurdoeltypen; tweede geheel herziene editie. Wageningen. Expertisecentrum LNV.
- Bobbink, R., M. Hornung and J.G.M. Roelofs, 1998. The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *J. Ecol.* 86: 717-738.
- Bonn, S. & P. Poschlod, 1998. Ausbreitungsbiologie der Pflanzen Mitteleuropas. Quelle & Meyer, Wiesbaden.
- Commissie Waterbeheer 21^{ste} eeuw, 2000. Waterbeleid voor de 21^{ste} eeuw; geef water de ruimte en de aandacht die het verdient. Advies en basisrapport.
- Delft, S.P.J. van & P.C. Jansen, 2003. Randvoorwaarden natuurontwikkeling Onderlaatste Laak; bodemkundige en hydrologische kansen en beperkingen voor de realisatie van natuurdoelen. Wageningen. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra rapport 799.
- Doing Kraft, H. 1954. L'analyse des carrés permanents. *Acta Botanica Neerlandica* 3: 421-424.
- Ellenberg, H., R. Mayer, J. Schauerer, 1986. Ökosystemforschung; Ergebnisse des Solling-Projekts. Stuttgart. Ulmer.
- Erisman, J.W., F.A.A.M. de Leeuw and R.M. van Aalst, 1989. Deposition of the most acidifying components in the Netherlands during the period 1980-1986. *Atmospheric Environment* 23: 1051-1062.
- Heijink, J., 1975. Een bodemkartering van een gedeelte van het CRM-reservaat Baronie-Cranendonck. Landbouwhogeschool Wageningen. Doctoraal verslag.
- Heijink, J., 1976. Een bodemvruchtbaarheidsonderzoek op het proefterrein 'Baronie Cranendonck' Leersum. Rijksinstituut voor Natuurbeheer. Intern rapport werkgroep begrazing.

Hennekens, S.M. & J.H.J. Schaminée, 2001. TURBOVEG, a comprehensive database management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* 12: 589-591.

Hennekens, S.M., Schaminée, J.H.J. & A.H.F. Stortelder, 2001. SynBioSys. Een biologisch kennisstelsel ten behoeve van natuurbeheer, natuurbeleid en natuurontwikkeling. Versie 1.0. Alterra, CD-ROM, Wageningen.

Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft, P.C. Jansen, 2001. Productiviteit van korte vegetaties en beperkende factoren in relatie tot voedselrijkdom en vochttoestand van natuurterreinen. Wageningen. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra rapport 257.

Kemmers, R.H., P.Mekkinck & R.W. de Waal, 1998. De uitgangstoestand van bodemvariabelen in Norgerholt en Tongerense hei; basisprogramma bosreservaten. Wageningen. DLO-Staring Centrum. Rapport 592.

Kemmers, R.H. en P. Mekkinck, 1999. Humusprofielen in de bosreservaten Lheebroek en Mattemburgh; Basisprogramma bosreservaten. Wageningen, DLO-Staring Centrum. Rapport 686.

Kemmers, R.H., M.M. van der Werff en R.W. de Waal, 2000. Humusprofielen van het bosreservaat Galgenberg; Basisprogramma bosreservaten. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Rapport 116.

Kemmers, R.H., P.Mekkinck en R.W. de Waal, 2000. Humusprofielen in de bosreservaten Hollandse Hout en Houtrbbos; Basisprogramma bosreservaten. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Rapport 175

Kemmers, R.H. en P. Mekkinck, 2003. Bodemontwikkeling en nutriënten in het Smoddebos; ondertitel. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Rapport 739

Klapp, E. 1965. Grünlandvegetation und Standort. Parey, Berlin.

Klooker, J., R. van Diggelen & J.P. Bakker, 1999. Natuurontwikkeling op minerale gronden; Ontgronden: nieuwe kansen voor bedreigde plantensoorten. Intern rapport. Laboratorium voor Plantenoecologie, Rijksuniversiteit Groningen.

Koerselman, W. en A. Meuleman, 1996. N:P ratio's en nutriëntenbeperking. *Landschap* 13(4).

Koopmans, G.F., 2004. Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Wageningen. Wageningen University. PhD-thesis.

Kuiters, A.T., 2004. Ontwikkeling van mozaïeklandschappen onder invloed van begrazing; een drietal casestudies. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Rapport 1105.

Lamers, Leon, Esther Lucassen, Fons Smolders en Jan Roelofs, 2005. Fosfaat als adder onder het gras bij 'nieuwe natte natuur'. H₂O 17.

Laar, J.A.J. van de & P.A. Slim, 1979. Veranderingen in flora en vegetatie van de verlaten landbouwgronden in het CRM-reservaat Baronie Cranendonck na vijf jaar begrazing door IJslandse pony's (1972-1977). Leersum, Rijksinstituut voor Natuurbeheer. RIN-rapport 79/13.

Laar, J. van de & P.A. Slim, 1981. Veranderingen op verlaten landbouwgronden in de Baronie Cranendonck met behulp van begrazing door IJslandse pony's. Brabants Landschap 57: 5-10.

Londo, G., 1976. The decimal scale for relevés of permanent quadrats. Vegetatio 33: 61-64.

Londo, G., 1997. Natuurontwikkeling. Bos- en natuurbeheer in Nederland 6. Backhuys, Leiden.

Londo, G., 2002. Does *Rhytidiadelphus squarrosus* (Hedw.) increase in the Netherlands? Lindbergia 27: 29-36.

Mars, R.H., A. Rizand & A.F. Harrison, 1989. The effects of removing sheep grazing on soil chemistry, above-ground nutrient distribution, and selected aspects of soil fertility in long-term experiments at Moor House national reserve. Journal of Applied Ecology 26: 647-661.

Nationaal Natuurbeleidsplan (1990)

Noij, G.J., 2004. Verslag fosfaatdag DLG-Alterra; 16 december 2003. DLG-Alterra. Ongepubliceerde Notitie.

Olde Venterik, H., M.J. Wassen, A.W.M. Verkroost & P.C. de Ruiter, 2003. Species richness-productivity patterns differ between N-, P- and K-limited wetlands. Ecology 84(8) pp. 2191-2199.

Oosterveld, P., 1976. Integratie van voormalige landbouwgronden d.m.v. een extensief grasbeheer met IJslandse pony's in de Baronie Cranendonck. Contactblad voor Oecologen 12 (4):99-109.

Pegtel, D.M., J.P. Bakker, G.L. Verwey and 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 and Soil, 178(1):121-131.

Schaminée, J. en A.J.M. Jansen (eds.), 2001. Wegen naar natuurdoeltypen. Wageningen. EC-LNV. Rapport Directie Natuurbeheer 46.

- Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder & E.J. Weeda, 1996. De vegetatie van Nederland, deel 3. Opulus Press. Uppsala. Zweden.
- Schwertmann, U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide dese Bodens durch Extraction mit Ammoniumoxalaat-Lösung. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 105: 194-202
- Singer, F.J. & K.A. Schoenecker, 2003. Do ungulates accelerate or decelerate nitrogen cycling? Forest Ecology and Management 181: 189-204.
- Sissingh, H.A., 1971. Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. Plant and Soil 34:483-486.
- Sival, F.P. en W.J. Chardon, 2002. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat. Gouda, SKB. SKB-rapport SV-511.
- 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 verschrallingsmaatregelen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 951.
- Tongeren, O.F.R. van, 2000. Programma ASSOCIA: Gebruikershandleiding en voorwaarden. Data-Analyse Ecologie, s.l.
- Tracy, B.F. and D.A. Frank, 1998. Herbivore influence on soil microbial biomass and nitrogen mineralization in a northern grassland ecosystem: Yellowstone National Park. Oecologia 114: 556-562.
- Verhagen, R., R. van Diggelen & J.P. Bakker, 2003. Natuurontwikkeling op minerale gronden; Veranderingen in de vegetatie en abiotische omstandigheden gedurende de eerste tien jaar na ontgronden. Intern rapport. Laboratorium voor Plantenoecologie, Rijksuniversiteit Groningen.
- Vries, W. de, A. Hol, S. Tjalma, J.C.H. Voogd, 1990. Literatuurstudie naar voorraden en verblijftijden van elementen in bosecosystemen. Wageningen. Staring Centrum-DLO. Rapport 94.
- Witte, W.C.J., 2001. De Baronie Cranendonck; effecten van extensieve begrazing op de vegetatieontwikkeling van voormalige landbouwgronden. Wageningen. Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Intern rapport.
- Woude, B.J. van der, D.M. Pegtel and J.P. Bakker, 1994. Nutrient limitation after long-term nitrogen fertilizer application in cut grasslands.

Bijlage 1 Analyseresultaten bodemchemisch onderzoek

Intern nr.	Alterra nr.	Gebied	Datum	pH KCl	Org. stof	Extractie met:											Kjeldahl destructie	P verzadigings-index	
						oxalaat			water			lactaat		P		N			
						Fe	Al	P	Fe	Al	P	P	P	P	P	N			totaal
						mmol/kg OD			mg/100g OD			mg/l	mg/l OD	mg/100g OD					-
LV 1	oud	0-5	Loefvledder	26-8-2004	3,10	54,8	269,29	44,08	15,32	1503,9	118,9	47,5	0,122	5,22	0,795	3,305	200,35	1674,50	0,05
LV 2	oud	5-20	Loefvledder	26-8-2004	3,14	41,5	177,69	77,17	8,01	992,4	208,2	24,8	0,072	1,74	0,283	1,865	125,39	1138,49	0,03
LV 3	nieuw	0-5	Loefvledder	26-8-2004	4,17	21,2	113,91	56,84	14,85	636,2	153,4	46,0	0,100	5,28	0,564	5,365	117,05	667,71	0,09
LV 4	nieuw	5-20	Loefvledder	26-8-2004	4,21	15,8	126,69	58,88	15,72	707,5	158,9	48,7	0,066	3,96	0,360	7,119	109,60	435,40	0,08
LK 1	1	19A	Cranendonk	17-6-2004	4,13	1,64	10,05	21,53	7,52	56,11	58,08	23,3	0,823			14,02	22,38	84,41	0,24
LK 2	2	19B	Cranendonk	17-6-2004	4,12	1,50	10,06	24,02	7,36	56,2	64,82	22,8	0,713			17,11	22,00	64,73	0,22
LK 3	3	19C	Cranendonk	17-6-2004	4,14	1,52	9,18	24,25	7,06	51,25	65,41	21,9	1,262			16,43	26,60	74,68	0,21
LK 16	16	23A	Cranendonk	17-6-2004	4,11	3,49	9,98	48,90	6,99	55,74	131,9	21,6	0,590			11,00	23,56	141,56	0,12
LK 15	15	25A	Cranendonk	17-6-2004	4,12	3,04	9,32	36,57	7,66	52,06	98,67	23,7	0,736			11,64	23,98	119,25	0,17
LK 8	8	35	Cranendonk	17-6-2004	4,39	2,97	11,10	53,78	8,11	62,01	145,1	25,1	0,362			11,33	23,95	136,00	0,12
LK 21	21	40	Cranendonk	17-6-2004	3,97	3,41	12,49	41,78	10,46	69,74	112,7	32,4	1,264			16,51	30,05	124,39	0,19
LK 17	17	23B	Cranendonk	17-6-2004	4,03	2,66	10,35	41,71	9,46	57,83	112,5	29,3	0,803			14,14	17,74	108,87	0,18
LK 18	18	45	Cranendonk	17-6-2004	4,10	3,20	9,37	50,54	11,01	52,35	136,4	34,1	0,680			17,38	28,76	147,37	0,18
LK 4	4	7bu	Cranendonk	17-6-2004	5,09	1,41	7,35	17,21	1,13	41,07	46,44	3,51	0,254			3,44	8,75	76,51	0,05
LK 5	5	7bi	Cranendonk	17-6-2004	5,36	1,62	7,98	21,29	2,40	44,57	57,44	7,43	0,284			5,58	11,41	74,67	0,08
LK 6	6	6bu	Cranendonk	17-6-2004	4,25	1,55	13,26	20,74	7,85	74,06	55,95	24,3	1,165			10,61	25,85	108,71	0,23
LK 7	7	6bi	Cranendonk	17-6-2004	4,10	1,55	13,90	19,11	7,41	77,64	51,56	22,9	1,226			12,47	25,35	94,30	0,22
LK 9	9	5bu	Cranendonk	17-6-2004	3,97	3,12	9,67	67,35	11,59	54	181,7	35,9	0,651			14,47	25,36	155,37	0,15
LK 10	10	5bi2	Cranendonk	17-6-2004	3,88	3,79	12,53	68,03	12,78	69,99	183,6	39,6	0,759			16,85	29,39	171,82	0,16
LK 11	11	5bi1	Cranendonk	17-6-2004	4,03	3,40	13,80	66,09	14,10	77,06	178,3	43,7	0,559			19,45	33,48	144,79	0,18
LK 12	12	3bu	Cranendonk	17-6-2004	3,91	3,59	11,46	56,28	10,57	63,99	151,9	32,7	0,474			16,90	29,94	167,90	0,16
LK 13	13	3bi1	Cranendonk	17-6-2004	3,96	3,93	13,43	57,58	9,99	74,99	155,4	30,9	0,447			14,79	23,45	125,40	0,14
LK 14	14	3bi2	Cranendonk	17-6-2004	3,84	4,02	13,83	44,76	9,44	77,26	120,8	29,2	0,913			12,15	24,74	157,26	0,16
LK 19	19	1bu	Cranendonk	17-6-2004	4,21	3,74	11,20	61,32	11,18	62,55	165,4	34,6	0,440			15,35	29,54	157,03	0,15
LK 20	20	1bi	Cranendonk	17-6-2004	4,10	3,10	10,24	47,63	9,15	57,18	128,5	28,3	0,633			10,78	27,77	121,57	0,16
LK 22	22	1bu	Cranendonk	17-6-2004	4,37	2,99	13,23	32,88	9,86	73,87	88,7	30,5	1,187			17,28	35,35	121,14	0,21
LK 23	23	1bi	Cranendonk	17-6-2004	4,48	2,84	13,44	35,83	13,28	75,07	96,66	41,1	2,579			22,63	34,62	136,22	0,27
LK 24	24	3bi1'	Cranendonk	17-6-2004	3,99	3,23	14,84	52,72	9,47	82,85	142,2	29,3	0,748			15,48	27,63	146,30	0,14
LK 25	25	3bi2'	Cranendonk	17-6-2004	3,96	3,19	13,20	51,02	8,76	73,69	137,7	27,1	0,616			11,40	22,58	149,17	0,14

Bijlage 2 Biomassa en elementgehalten in enkele bosreservaten

		Bos op arme zandgrond													
		Lheebroek 70 jaar Grove den							Mattemburg 150 jaar Grove den/Eik						
		stam	tak	blad	wortel	strooisel	bodem	Som	stam	tak	blad	wortel	strooisel	bodem	Som
biomassa	(kg/ha)	97000	14500	4700	34100				120900	75800	3500	35300			
N-geh	%	0,11	0,32	1,04	0,67				0,18	0,33	2,37	0,84			
P-geh	%	0,03	0,04	0,11	0,04				0,01	0,03	0,17	0,08			
C-vrd	kg/ha	48500	7250	2350	17050	49500	8500	133150	60450	37900	1750	17650	57000	24400	199150
Nvrd	kg/ha	107	46	49	228	2266	350	3046	218	250	83	297	3486	1730	6063
Pvrd	kg/ha	29	6	5	14	76	52	182	12	23	6	28	113	169	351
		Bos op rijke zandgrond													
		Galgenberg 100 jaar Eik							Norgerholt 400 jaar Eik/Beuk						
		stam	tak	blad	wortel	strooisel	bodem	Som	stam	tak	blad	wortel	strooisel	bodem	Som
biomassa	(kg/ha)	93200	37000	3200	31100				232000	58000	3500	49000			
N-geh	%	0,18	0,17	2,09	0,35				0,12	0,3	3	0,36			
P-geh	%	0,01	0,01	0,13	0,03				0,02	0,05	0,2	0,06			
C-vrd	kg/ha	46600	18500	1600	15550	94400	105600	282250	116000	29000	1750	24500	71500	166600	409350
Nvrd	kg/ha	168	63	67	109	4400	3630	8436	278	174	105	176	4683	11760	17177
Pvrd	kg/ha	9	4	4	9	625	2680	3332	46	29	7	29	165	1169	1446