



Natuur- en Pitrusontwikkeling in het beekdal van de Geeserstroom

Bodemtoestand 3-5 jaar na inrichting

Alterra-rapport 2129
ISSN 1566-7197

Francisca Sival, Rolf Kemmers, Popko Bolhuis en Bernard de Jong

Natuur- en Pitrusontwikkeling in het beekdal van de Geeserstroom

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het kader van het beleidsondersteunend onderzoek van het voormalig ministerie van LNV
(nu ministerie van EL&I)
Projectcode [BO-11-006.03-001]

Natuur- en Pitrusontwikkeling in het beekdal van de Geeserstroom

Bodemtoestand 3-5 jaar na inrichting

Francisca Sival¹, Rolf Kemmers¹, Popko Bolhuis¹ en Bernard de Jong²

¹ Alterra

² Staatsbosbeheer, kantoor Slenerweg 114, 7848 AK Schoonoord

Alterra-rapport 2129

Alterra, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen, 2011

Referaat

Sival, F.P., R.H. Kemmers, P. Bolhuis en B. de Jong, 2010. *Natuur- en Pitrusontwikkeling in het beekdal van de Geeserstroom. Bodemtoestand 3-5 jaar na inrichting*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2129. 40 blz.; 10 fig.; 2 tab.; 15 ref.

Doel van het onderzoek waarover dit rapport verslag uitbrengt is het verwerven van inzicht in de effectiviteit van maatregelen om ongewenste ontwikkeling van Pitrus bij natuurontwikkeling te voorkomen of te bestrijden. In het Geeserstroombied vindt op grote schaal natuurontwikkeling plaats op voormalige landbouwgronden en is een meerjarig praktijkexperiment opgezet om te toetsen via welke inrichting- en beheersmaatregelen de vestiging en dominantie van Pitrus kan worden voorkomen. In dit rapport worden de opzet, de uitgangspunten en de ontwikkelingen van P in de bodem na 3 tot 5 jaar beschreven. In vrijwel alle behandelingen is een sterke afname van de P-concentraties opgetreden met een nagenoeg gelijkblijvende verzadigingsgraad onafhankelijk van de inrichtings- of beheersmaatregelen. Het sterkste was de P-concentratie afgenomen in het afgegraven deel. Met uitzondering van begrazing op de organische stof arme bodem zijn geen significante effecten van inrichting of beheer waargenomen. De Pitrus-ontwikkeling gaat in alle inrichtingsvarianten gestaag door en in het bijzonder op de organisch stofarme vernalde zandgronden.

Trefwoorden: Pitrus, fosfaat, transitie landbouw natuur, afgraven, vernatten, uitmijnen, hooien, beweiden.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2011 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

Alterra-rapport 2129

Wageningen, februari 2011

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 Aanleiding en achtergrond	9
1.2 Doel	10
1.3 Aanpak	10
1.4 Leeswijzer	11
2 Materiaal en methoden	13
2.1 Gebiedskarakteristiek	13
2.2 Gebiedsinrichting	14
2.3 Experimentele behandelingen	14
2.4 Bemonstering	16
2.5 Gegevensanalyse	16
2.6 Fosfaatadsorptie en -desorptie	17
2.7 Beoogde effecten van maatregelen	18
3 Resultaten	21
3.1 Verschillen tussen inrichtingsvarianten	21
3.1.1 Voedselrijkdom	21
3.1.2 Fosforbeschikbaarheid	22
3.2 Verschillen tussen beheervarianten	23
3.2.1 Voedselrijkdom	24
3.2.2 Fosforbeschikbaarheid	24
3.3 Begrazingseffect	25
3.3.1 Voedselrijkdom	26
3.3.2 Fosforbeschikbaarheid	26
3.4 Fosforadsorptie	28
3.5 Conclusies	29
3.5.1 Effecten van inrichting en beheer	29
3.5.2 Effecten op Pitrusdominantie	29
4 Gebruikte bronnen	31
Bijlage 1 Inrichting en beheer van de verschillende deelgebieden	33
Bijlage 2 Bodemkaart en ligging monsterplekken	35
Bijlage 3 Coördinaten van de bemonsterde locaties	37
Bijlage 4 Bodemeigenschappen van de locaties in 2005 en 2010	39

Samenvatting

Doel

Doel van het onderzoek waarover dit rapport verslag uitbrengt is het verwerven van inzicht in de effectiviteit van maatregelen om ongewenste ontwikkeling van Pitrus bij natuurontwikkeling te voorkomen of te bestrijden (pitrusproblematiek). In dit rapport wordt de opzet van een praktijkexperiment beschreven om te toetsen via welke beheersmaatregelen de vestiging en dominantie van Pitrus kan worden voorkomen.

Protocol

De afgelopen jaren is in veel graslandreservaten een zodanige toename van Pitrus geconstateerd dat doelstellingen voor botanisch beheer en weidevogels niet meer kunnen worden gerealiseerd - niet op de korte, noch op de lange termijn. Het probleem doet zich vooral voor op gronden die de laatste 20 jaar zijn overgekomen uit de landbouw. Op verzoek van en in samenwerking met Staatsbosbeheer heeft het toenmalige OBN-deskundigenteam 'Natte schraallanden' in 2003 een protocol opgesteld voor experimenten waarin beheersmaatregelen worden onderzocht op hun effectiviteit om dominantie van Pitrus terug te dringen. Dit resulteerde in een advies van het deskundigenteam met een onderzoeksvoorstel: voorkomen en bestrijden van Pitrusdominantie in natte schraallanden. Het Geeserstroombied werd geselecteerd als locatie voor de uitvoering van de voorgestelde experimenten op praktijkschaal. Tot nu toe zijn twee rapporten uitgebracht. De opzet en de uitgangspunten van het experiment en de uitgangssituatie van de bodem en vegetatieproductie zijn beschreven in het Kemmers et al. 2008; Alterra rapport 1620. De vegetatiesamenstelling van 2006 tot 2008 is beschreven in Sival et al. 2009; Alterra-rapport 1899. Voor u ligt het rapport met de bodemkarakteristieken na 3-5 jaar na inrichting waarbij in het bijzonder de beheer- en inrichting op P-dynamiek uitvoerig aandacht krijgt.

Praktijkexperiment

Het Geeserstroombied is een beekdal en daarom ook rijk aan gradiënten: hoog-laag, zand-veen; mate van kwel en ijzerrijkdom van de bodem. Drie verschillende inrichtingszones zijn geselecteerd en gebaseerd op de voorkomende landschapeigenschappen:

- I) Vernatting;
- II) Oppervlakkige drainage en begreppeling;
- III) Afgraven.

De inrichtingsmaatregelen werden uitgevoerd in de periode voorjaar 2006 - zomer 2007. Binnen de inrichtingszones werden bestaande percelen ingericht voor vijf verschillende vormen van beheer:

- a) Maaien en afvoeren;
- b) Maaien en afvoeren + N- en K-bemesting (*uitmijnen*);
- c) Maaien en afvoeren + bekalking;
- d) Begrazing;
- e) Begrazing + bekalking.

Omdat niet alle vijftien scenario's uit de matrix even relevant zijn, werden in het experiment uiteindelijk negen combinaties van inrichting en beheer (scenario's) onderzocht.

De uitgangssituatie

In de uitgangssituatie waren de gronden in Gees over het algemeen zeer rijk aan ijzer en matig rijk aan fosfor. Daardoor kwam de fosfaatverzadigingsindex nergens hoger dan 10%. Zowel binnen als tussen de inrichtingsvarianten en tussen duplo's kwamen belangrijke verschillen in de uitgangssituatie voor, waardoor het niet eenvoudig is conclusies te trekken uit de behandelingen. De meeste fosfaat lag in alle percelen opgeslagen in de bovenste 30 cm van het bodemprofiel. Onder een diepte van 40 cm-mv kwam nog maar nauwelijks fosfaat voor. De bodem van de percelen van de begreppelde en weinig ontwikkelde inrichtingsvariant II bevatte de hoogste gehalten stikstof en fosfaat. De afgegraven inrichtingsvariant III had volgens verwachting de laagste gehalten stikstof en fosfaat en organische stof. De kaliumgehalten varieerden sterk per perceel maar minder per inrichtingsvariant. Het in 2007 door inundatie afgezette sliblaagje heeft vergelijkbare gehalten fosfaat maar hogere gehalten kalium en stikstof dan de bodem waarop het is afgezet.

Het fosfaat in de minerale gronden van Gees kan worden begrepen uit een evenwichtsreactie tussen aan ijzer- en aluminiumoxiden geadsorbeerd en in het bodemvocht opgelost fosfaat. In de uitgangstoestand zijn de gronden in Gees niet P-verzadigd geweest. De maximale P-adsorptiecapaciteit bedroeg 24% van het gehalte ijzer- en aluminiumoxiden. De moerige gronden vertoonden een afwijkend gedrag dat kan worden toegeschreven aan het verlies aan P-adsorptiecapaciteit door de aanwezigheid van opgelost organische stof (DOC) dat zicht aan de Fe- en Al-oxiden hecht.

In de uitgangstoestand kwamen tussen de inrichtingsvarianten significante verschillen voor in droge stofproductie en N-gehalte van het gewas. Verschillen in P- en K-gehalten waren niet significant. De gemiddelde gewasproductie per perceel varieerde tussen 5,5 en 2,2 ton/ha. Ook kwamen significante verschillen voor tussen de verschillende beheersvarianten binnen de inrichtingsvarianten. De productie van alle percelen wordt door stikstof beperkt. In haarden met een dominante Pitrusbegroeiing is eveneens sprake van stikstofbeperking.

Effecten

In vrijwel alle behandelingen is een sterke afname van de P-concentraties opgetreden met een nagenoeg gelijkblijvende verzadigingsgraad onafhankelijk van de inrichtings- of beheermaatregelen. Er werden geen significante effecten van inrichting of beheer waargenomen.

Alleen in de organisch stofarme vernalte zandgronden (Zone Id) met begrazing neemt de P-concentratie toe met een toenemende verzadigingsgraad (PSI).

De Pitrus-ontwikkeling gaat in alle inrichtingsvarianten gestaag door en in het bijzonder op de organisch stofarme vernalte zandgronden.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en achtergrond

Praktijkervaring

De afgelopen jaren is in de graslandreservaten van Staatsbosbeheer, maar ook van andere terreinbeheerders, een forse toename van Pitrus (*Juncus effusus*) geconstateerd. Dit leidt op veel plaatsen tot zeer hoge bedekkingen van Pitrus, waardoor doelstellingen voor weidevogelbeheer of botanisch beheer op de korte en lange termijn niet kunnen worden gerealiseerd.

Het probleem doet zich vooral voor op gronden die de laatste 20 jaar zijn overgekomen uit de landbouw en die waarschijnlijk gekenmerkt zijn door een overmaat aan fosfaat, stikstof en sulfaat en een gebrek aan ijzer. Een groot gedeelte van de gronden die te leiden hebben onder verpitruissing liggen in inzijsgebieden, gebieden met zwakke kwel of voormalige kwelgebieden, die als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding zijn veranderd in inzijsgebieden.

Vermoed wordt dat Pitrus tot kieming komt op voormalige bemeste landbouwgronden met een geringe zuurbuffercapaciteit wanneer bemesting (inclusief bekalking) wordt gestopt, bodembeschadiging optreedt, vernatting plaatsvindt en de fosfaatbeschikbaarheid toeneemt. Vooral door begrazing zou Pitrus tot dominantie komen. Maatregelen gericht op verlaging van de fosfaatbeschikbaarheid, vergroting van de zuurbuffercapaciteit of bekalking, oppervlakkige ontwatering en een frequent maaibeheer zouden Pitrusdominantie voorkomen. De fosfaatbeschikbaarheid moet door de maatregelen tot onder een kritische niveau worden teruggedrongen.

Kennisvragen

Het toenmalige deskundigenteam 'Natte schraallanden' adviseerde in 2004 Staatsbosbeheer om op praktijk-schaal een experiment op te zetten waarbij verschillende vormen van inrichting en beheer worden beoordeeld op hun effectiviteit bij de Pitrusbestrijding. Een areaal van ca. 600 ha landbouwgrond in het stroomgebied van de Geeserstream en het Loodiep ten zuidwesten van Emmen bleek aan alle randvoorwaarden voor een experiment te voldoen. Op korte termijn zouden daar inrichtingsmaatregelen als vernatting en ontgronding worden uitgevoerd, die goed aansloten bij het voorgenomen experiment (Kemmers et al., 2004; 2008).

Met de resultaten van het praktijkexperiment dienen een aantal kennisvragen beantwoord te kunnen worden:

1. Onder welke omstandigheden leidt vernatting van voormalige landbouwgronden tot het vrijkomen van ongewenste hoeveelheden fosfaat?
2. Wat zijn de effecten van inrichtings- en beheersmaatregelen op de bodemvruchtbaarheid van voormalige landbouwgronden?
3. Hoe kan een ongewenste pitrusontwikkeling door te hoge fosfaatbeschikbaarheid via inrichtings- of beheersmaatregelen worden voorkomen?

Theorie en hypothesen

Het experiment is gebaseerd op de theorie dat in zand- en veengronden de overmaat aan fosfaat wordt gebonden aan ijzer- en aluminiumoxiden. De bodem heeft een bepaalde capaciteit om fosfaat te adsorberen. Anorganisch fosfaat in een bodemvochttoplossing wordt verondersteld te worden geadsorbeerd aan ijzer- en aluminiumoxiden, waarna zich een evenwichtsreactie instelt. De ligging van het evenwicht, en dus de beschikbaarheid van fosfaat in de bodemvochttoplossing, wordt bepaald door de verhouding tussen fosfaat en ijzer- en aluminiumoxiden in de bodem: de fosfaatverzadigingsindex. Naarmate deze index lager is, neemt de beschikbaarheid af. Zowel bodemzuurgraad als vochtcondities beïnvloeden de oplosbaarheid van ijzeroxiden

en daarmee de fosfaatverzadigingsindex. Via vegetatiebeheer kan fosfaat meer of minder snel aan de bodem worden onttrokken, waardoor de index eveneens kan worden beïnvloed.

Door literatuuronderzoek naar de abiotische randvoorwaarden en de fysiologie van Pitrus en op basis van ervaringen met de effectiviteit van beheersmaatregelen is een hypothese opgesteld over het tot dominantie komen van Pitrus. Pitrus komt tot kieming op voormalige met fosfaatbelaste landbouwgronden met een geringe zuurbuffercapaciteit wanneer bemesting (inclusief bekalking) wordt gestopt, vernatting plaatsvindt en bodembeschadiging optreedt door maaien of begrazen. Wanneer op zulke gronden begrazing plaatsvindt, komt Pitrus tot dominantie, onder meer vanwege selectieve vraat van grassen. Daaruit volgt dat maatregelen gericht op verlaging van de fosfaatbeschikbaarheid, vergroting van de zuurbuffercapaciteit, oppervlakkige ontwatering, bemesting en een frequent maaibeheer zouden moeten leiden tot ongunstige omstandigheden voor Pitrus, waardoor Pitrusdominantie op een effectieve wijze kan worden bestreden, beheerst en voorkomen. Door Smolders et al. (2007) worden kritische fosfaatgrenzen aangegeven die niet mogen worden overschreden om dominantie van Pitrus te voorkomen. Zij baseerden hun advies op onderzoek van de bodem door middel van een P-Olsen analyse. Bij overschrijding van de kritische grens adviseren zij afgraving van de bovengrond. In de praktijk is dit lang niet altijd mogelijk en kan dit bovendien tot ongewenste neveneffecten leiden. Kemmers et al. (2007) stellen echter dat de fosfaatproblematiek een relatief probleem is en moet worden beschouwd in relatie tot het fosfaatbergend vermogen van de bodem, dat wordt bepaald door het gehalte amorfe ijzer- en aluminiumoxiden (Van Riemsdijk et al., 1984; Van der Zee en Van Riemsdijk, 1986). De fosfaatverzadigingsindex (PSI) geeft de verhouding aan tussen geadsorbeerd fosfaat en de hoeveelheid amorfe ijzer- en aluminiumoxiden. De beschikbaarheid van fosfaat in het bodemvocht is laag als de PSI laag is en neemt niet-lineair toe als de PSI stijgt. Vooral in kwelgevoede (zand)gronden kunnen zeer hoge gehalten ijzeroxide voorkomen (Van Delft en Jansen, 2003), waardoor bij een hoog fosfaatgehalte van de bodem een lage PSI en fosfaatbeschikbaarheid kunnen voorkomen.

1.2 Doel

Doel van het onderzoek waarover dit rapport verslag uitbrengt is het verwerven van inzicht in de effectiviteit van maatregelen om ongewenste ontwikkeling van Pitrus bij natuurontwikkeling te voorkomen of te bestrijden (pitrusproblematiek). In het bijzonder worden de bodemkarakteristieken na 3-5 jaar beschreven.

1.3 Aanpak

In het advies aan SBB (Kemmers et al., 2004) werd ervoor gepleit een aantal regionale praktijkexperimenten op te zetten gedifferentieerd naar landschappelijke omstandigheden. Omdat de problematiek met name (maar niet uitsluitend) speelt in het pleistocene beekdallandschap werd daar primair gezocht naar een locatie. Bij voorkeur zouden daar recent of binnen afzienbare termijn inrichtingsmaatregelen voor natuurontwikkeling moeten worden genomen, zodat we daarbij konden aansluiten met het praktijkexperiment. Het experiment diende aan te sluiten bij vormen van beheer en inrichting die ook op de schaal van de reële praktijkvoering (perceelsniveau) mogelijk zouden zijn. Daarom dienden op een geschikte locatie liefst meerdere vergelijkbare percelen (herhalingen) aanwezig te zijn en meerdere inrichtingsvarianten. Met de resultaten van het praktijkexperiment dienden een eerder genoemde kennisvragen beantwoord te kunnen worden.

Op initiatief van Staatsbosbeheer en in overleg met de Dienst Landelijk Gebied regio Noord werd de zoekruimte voor het experiment gericht op het stroomgebied van de Geeserstroom en het Loodiep, waar een gebied van 620 ha. landbouwgrond volgens een inrichtingsplan zou worden omgevormd tot natuurontwikkelingsgebied (Hofstra, 2004). Dit gebied bleek aan alle randvoorwaarden voor het experiment te voldoen.

Het experiment kon aansluiten bij verschillende voorgenomen inrichtingsmaatregelen conform het gebieds-inrichtingsplan. Dit leverde een aantrekkelijk financieel voordeel op voor het experiment.

Binnen dit stroomgebied werd gezocht naar geschikte percelen waarbij verschillende inrichtings- en beheers-varianten konden worden onderzocht op hun effectiviteit om Pitrusdominantie te voorkomen. Er werd een experiment opgezet waarbij verschillende combinaties van varianten in duplo konden worden onderzocht. Via loting binnen percelen werd een netwerk uitgezet en vastgelegd van punten waar in de tijd herhaalde opnamen van bodem en vegetatie konden worden uitgevoerd. De nultoestand van de bodemchemische en vegetatiekundige aspecten werd vastgelegd nadat de percelen waren ingericht.

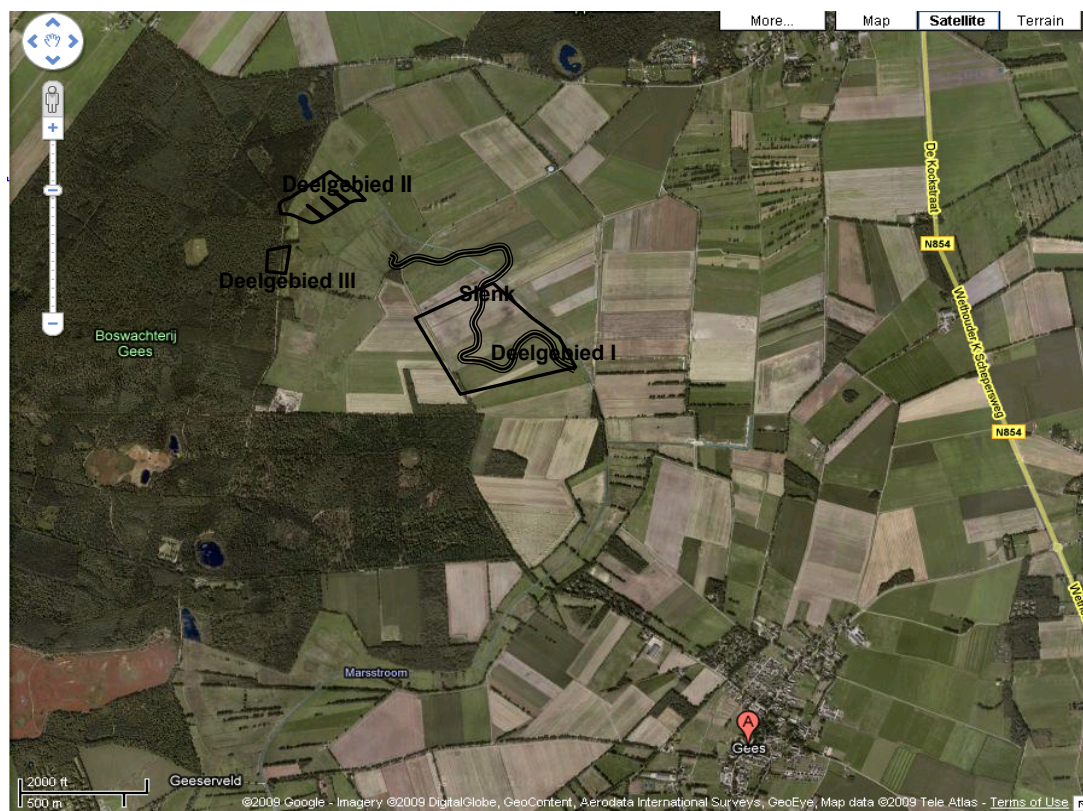
1.4 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de resultaten van de analyse van de bodem 3-5 jaar na inrichting. In hoofdstuk 2 wordt de opzet van het experiment beschreven, welke percelen zijn geselecteerd als proefvlak, welk ontwerp voor het experiment is gekozen en welke variabelen zijn gemeten om de uitgangssituatie- en de toestand na 3-5 jaar te beschrijven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gepresenteerd van het onderzoek naar de bodemkundige parameters. Eerst wordt perceelsgewijs aangegeven hoeveel nutriënten (N,P,K) in de bodem aanwezig en beschikbaar zijn en wat de fosfaatbindingscapaciteit is. Speciale aandacht wordt besteed aan de fosfaat-adsorptiekaracteristieken van de bodem. Speciale aandacht wordt besteed aan de effecten van de inrichting en het beheer na 3-5 jaar.

2 Materiaal en methoden

2.1 Gebiedskarakteristiek

Het stroomgebied van de Geeserstream en het Loodiep is op praktische gronden gekozen als onderzoeksgebied voor het praktijkexperiment. Voor dit gebied is een inrichtingsplan opgesteld, waarbij ca. 620 ha landbouwgrond zal worden ingericht als natuurgebied (Hofstra, 2004.). De voorbereidingen voor het inrichtingsplan waren reeds in een ver gevorderd stadium en bij de plaatselijke beheerseenheid was een grote bereidheid aanwezig om aan het experiment mee te werken. Op landschapsschaal zouden grote delen van het stroomgebied op korte termijn vernat worden. Naar verwachting zou door deze vernatting het in de bodem geaccumuleerde fosfaat worden gemobiliseerd, waardoor eutrofiering optreedt die zich in de vegetatie zal uiten in een massale ontwikkeling van Pitrus.



Figuur 1

Het noordelijk deel van het onderzoeksgebied Geeserstream.

Binnen het Geeserstroomgebied is een noordelijk deelgebied (Mepperhooilanden, Marsen) en een zuidelijk deelgebied te onderscheiden (Bergstukken, Roonboom, Oude maden). De deelgebieden zijn via een smal beekdal met elkaar verbonden (figuur 1).

Het noordelijk deelgebied is het bovenstroomse gebied, waar de Geeserstroom haar oorsprong heeft. Dit deelgebied bestaat uit laaggelegen ijzerrijke veen- en beekoordgronden en wordt omringd door hogere podzolgronden, waarop aan de westzijde de Boswachterij Gees is gelegen (zie bijlage 2). De hogere podzolgronden van de Boswachterij Gees vormen een belangrijk brongebied van de lokale kwel die ondiep toestroomt naar het beekdal. Het noordelijk deelgebied is daardoor rijk aan gradiënten: hoog-laag, zand-veen; mate van kwel en ijzerrijkdom. In het zuidelijk deelgebied zijn in principe vergelijkbare gradiënten aanwezig, maar nemen veengronden een grotere oppervlakte in. Dit zuidelijk deelgebied is minder ijzerrijk dan het noordelijk deelgebied. In combinatie met de Boswachterij vormt het beekdal een lokaal stroomgebied. In de eerste fase van de gebiedsinrichting (start 2005) komt het noordelijk deelgebied aan bod. De tweede fase betreft de inrichting van het zuidelijk deelgebied en begon pas later in 2006.

2.2 Gebiedsinrichting

In het Geeserstroomgebied zijn op ruime schaal sloten gedempt waardoor vernatting is opgetreden in het beekdal (Figuur 1). Uniek is dat ook in de hogere delen van het stroomgebied (Boswachterij) vernattingsmaatregelen zijn genomen, waardoor naar verwachting de kwel in het bovenstroomse deelgebied plaatselijk zal toenemen. Daarnaast zijn plaatselijk gronden afgegraven die zijn gelegen op de gradiënt van hoge terreindelen naar een toekomstig veenmoeras en langs een te graven slenk die de 'afwatering' van het veenmoeras verzorgt. Ten slotte is er een zone waar oppervlakkige begreppeling (slenkjes) heeft plaatsgevonden van veengronden aan de noordzijde van het veenmoeras. De voorgenomen inrichtingsmaatregelen in het Geeserstroomgebied zijn richtinggevend geweest om te zoeken naar geschikte percelen voor het onderzoek. Binnen elke zoekruimte moeten vervolgens percelen voor de verschillende beheersvarianten (zie paragraaf experimentele behandelingen a t/m e) worden gezocht. Als meest geschikte zoekruimte zijn drie zones of deelgebieden aangegeven (figuur 1):

- I. Vernatting;
- II. Oppervlakkige drainage; begreppeling;
- III. Afgraven.

De inrichtingsmaatregelen zijn uitgevoerd in de periode voorjaar 2006 - zomer 2007. Voor de uitgangspunten en de onderbouwing van de opzet verwijzen we naar Kemmers et al. (2008).

2.3 Experimentele behandelingen

Voor het inrichtingsgebied wordt onderscheid gemaakt tussen een overgangsbeheer en een eindbeheer. Voor grote arealen is als overgangsbeheer uitmijnen aangegeven, bedoeld als maatregel om de overmaat aan P versneld af te voeren. Voor een kleiner areaal is als overgangsbeheer alleen maaien en afvoeren aangegeven. Hoewel begrazing niet als reguliere vorm van overgangsbeheer is aangegeven, wordt deze beheersvorm wel in het praktijkonderzoek opgenomen op nadrukkelijk verzoek van SBB (zie eerder). Om ook de effecten van zuurgraad op fosfaatgedrag mee te kunnen nemen wordt voorgesteld perceelsgewijze bekalking als beheersmaatregel mee te nemen in het onderzoek. Samengevat worden de volgende beheersvarianten onderzocht (zie bijlage 1):

- a. Maaien en afvoeren;
- b. Maaien en afvoeren + N- en K-bemesting (*uitmijnen*);
- c. Maaien en afvoeren + bekalking;
- d. Begrazing;
- e. Begrazing + bekalking.

Door combinatie van inrichtings- en beheersmaatregelen ontstaat een matrix met te onderzoeken behandelings (scenario's, zie tabel 1). In tabel 1 is kort aangegeven op welk proces de maatregelen naar verwachting aangrijpen en in welke mate dit bijdraagt aan de doelstelling om een schraler milieu te creëren via afvoer van P uit de bodem. Het hoeft niet te betekenen dat een scenario dat nauwelijks bijdraagt aan een verlaging van de P-verzadiging per definitie ook slecht is voor een natuurdoelstelling. Zo levert scenario IIC volgens het schema een ongunstige bijdrage aan de verlaging van de P-verzadiging. Tegelijkertijd wordt door dit scenario wel de P-fixatie extra versterkt, zodat de beschikbaarheid voor het gewas geringer wordt. Uiteindelijk zal de respons van de vegetatie uitsluitsel moeten geven of het scenario per saldo gunstig of ongunstig is voor de natuurdoelstellingen.

Tabel 1

Voorgestelde inrichtings- en beheersvarianten (scenario's) met verwachte effecten op fosfaatgedrag. Met + of - is de mate aangegeven waarmee het scenario naar verwachting bijdraagt aan de verlaging van de P-verzadiging (zie grafiek 1). De + en - kunnen alleen binnen kolommen of rijen worden vergeleken.

Beheersvarianten	Inrichtingsvarianten		
	Zone I Vernatting	Zone II Begreppeling	Zone III Afgraven
A Maaien en afvoeren	Afname P-sorptiecapaciteit P-mobilisatie Versterkte P-afvoer ++	Toename P-sorptiecapaciteit P-fixatie Vertraagde P-afvoer +	P-verwijdering Zeer sterke P-afvoer +++
B Maaien en afvoeren N- en K-bemesting	Afname P-sorptiecapaciteit P-mobilisatie Versterkte P-desorptie Extra sterke P-afvoer +++	Toename P-sorptiecapaciteit P-fixatie Versterkte P-desorptie Versterkte P-afvoer ++	Effect afhankelijk van P-rest in bodem lets versterkte P-afvoer? ++++?
C Maaien en afvoeren + bekalken	Minder afname P-sorptiecapaciteit Minder P-mobilisatie Minder sterke P-afvoer +	Extra toename P-sorptiecapaciteit Extra P-fixatie Extra vertraagde P-afvoer -	Effect afhankelijk van P-rest in bodem lets versterkte P-fixatie lets minder P-afvoer ++
D Begrazen	Afname P-sorptiecapaciteit Versterkte P-mobilisatie P-circulatie Versterkte productiviteit --	Geen realistisch scenario	P-verwijdering Effect afhankelijk van P-rest in bodem lets meer P-mobilisatie ??
E Begrazen + bekalken	Minder afname P-sorptiecapaciteit Minder P-mobilisatie P-circulatie Minder productiviteit --	Geen realistisch scenario	P-verwijdering Effect afhankelijk van P-rest in bodem lets minder P-mobilisatie ??

Lichtgrijs gearceerde vlakken werden in tweede instantie als minder relevante scenario's beschouwd. Hoofddoel van afgraven is immers dat de bulk van het fosfaat verdwijnt, waarom zou je dan met kalk of N en K nog een extra marginaal effect willen forceren? Donkergrijs gearceerde vlakken zijn wellicht ook niet realistisch: een hoge investering als plaggen suggereert immers een hoge ambitie voor het natuurdoel (botanische doelstelling); bij dergelijke hoogwaardige natuur zal eerder een maaibeheer van toepassing zijn. De vakken met 'Geen realistisch scenario' hebben die kwalificatie gekregen omdat je geen hoge investering in begreppeling pleegt als je begrazing inzet als goedkope beheersvariant.

Door de onvoorziene natte omstandigheden die in zone II zijn ontstaan na inrichting kon alleen begrazing plaatsvinden. Samengevat staan de inrichting en beheer in tabel 2.

Tabel 2

Gerealiseerde inrichtings- en beheersvarianten (scenario's).

Beheersvarianten	Inrichtingsvarianten		
	Zone I Vernatting	Zone II Begreppeling	Zone III Afgraven
A Maaien en afvoeren	scenario		scenario
B Maaien en afvoeren + N- en K-bemesting	scenario		
C Maaien en afvoeren + bekalken	scenario		
D Begrazen	scenario	scenario	
E Begrazen + bekalken	scenario	scenario	

2.4 Bemonstering

Om ontwikkelingen in bodem en vegetatie te kunnen volgen is een meetplan opgesteld met in de tijd gefaseerde herhaalde bemonsteringen. In bijlage 2 staan de bemonsteringslocaties. Binnen elke pseudo-replica werden vier waarnemingsvlakken van 20 x 20 m via loting geselecteerd. Binnen elk waarnemingsvlak werden vijf bodemonsters (0-10 cm-mv) gestoken. Bemonstering van de bodem werd uitgevoerd in de voorzomer van 2006 (zones I en II) en in het voorjaar van 2007 (zone III). In het voorjaar van 2007 werd tevens een sliblaag verzameld die zich tijdens het eerste jaar na vernatting op het maaiveld had afgezet (Kemmers et al., 2008). Op de bodem van de afgegraven zone III was in de zomer van 2006 nog geen vegetatie tot ontwikkeling gekomen en kon niet worden geoogst. In voorjaar 2007 werden haarden met pitrus geoogst in zone II.

De bodem is geanalyseerd op pH-KCL, gehalte organische stof (gloeiverlies 550 °C, N- en P-totaal (destructie H_2SO_4/Se), oxalaat extraheerbare gehalten ijzer, aluminium en fosfaat, water extraheerbaar P (Pw-getal en $Pw/v= 1:2$) en met zoutzuur extraheerbaar kalium: K-HCl (Kemmers et al., 2008; bijlage 3 en 4). De herhalingsbemonstering vond voor alle zones plaats in 2010 van de 0-10 cm laag. Uit de diepteprofielen bleek dat fosfaat vooral ligt opgeslagen in de bovenste 30 cm van het profiel. Niet alle analyses zijn herhaald maar alleen die relevant zijn voor de P-dynamiek: ijzer, aluminium en fosfaat met oxalaat extraheerbare gehalten, P met water extraheerbaar fosfaat (w:v,2:1) en een 0.01M $CaCl_2$ extractie. Totaal P en totaal K (destructie H_2SO_4/Se). De phosphate saturation index (PSI) is berekent uit $P_{ox}/(Al_{ox}+Fe_{ox})$ (Kemmers et al., 2004).

2.5 Gegevensanalyse

Om de verschillen tussen de inrichting, tussen het beheer binnen zone I en tussen de verschillende gebieden waar begrazing is te bepalen is een two-way ANOVA-analyse uitgevoerd. De significantie van de verschillen tussen de gemiddelde is bepaald door de e.s.e. (effective standard error) te vermenigvuldigen met 2,26 en zo de standard error of difference of means te bepalen (Oude Voshaar, 1995).

2.6 Fosfaatadsorptie en -desorptie

Het onderzoek is gebaseerd op de theorie dat in de zand- en veengronden de overmaat aan fosfaat wordt gebonden aan ijzer- en aluminiumoxiden. De bodem heeft een bepaalde capaciteit om fosfaat te adsorberen of fixeren. Anorganisch fosfaat in een bodemvochttoplossing (P) wordt verondersteld te worden geadsorbeerd aan ijzer- en aluminiumoxiden (S), waarna zich een evenwichtsreactie met een evenwichtsconstante K instelt volgens :



waarbij als reactievergelijking geldt:

$$[SP]/([S] \cdot [P]) = K$$

De totale adsorptiecapaciteit (St), gevormd door ijzer- en aluminiumoxiden, kan worden geschreven als:

$$St = [SP] + [S]$$

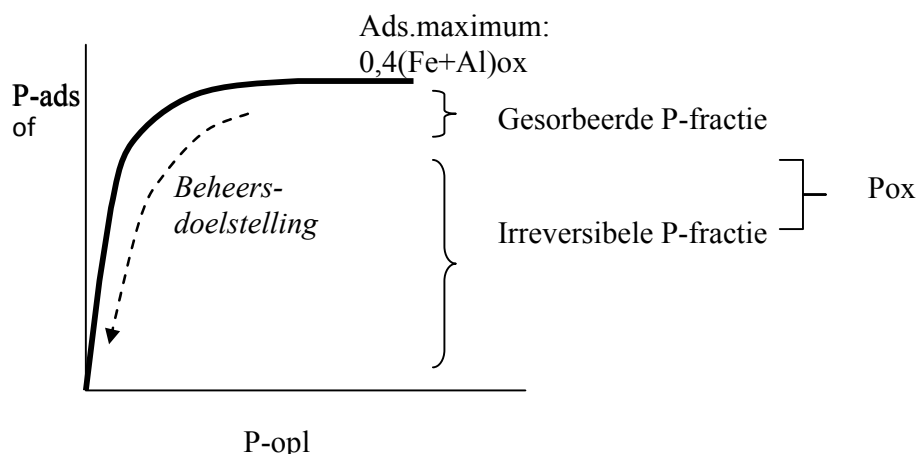
Eliminatie van S levert:

$$[SP]/[St] = K \cdot [P]/(1 + K \cdot [P]) \quad (2)$$

Vergelijking (2) is een zgn. Langmuir-isotherm, die het evenwicht beschrijft tussen de fractie geadsorbeerd (linker term vgl. 2) en opgelost fosfaat (rechter term). Figuur 2 is een grafische weergave van de adsorptie-isotherm. De linkerterm van de vergelijking kan worden herschreven als $P_{ox}/(Al+Fe)_{ox}$ en wordt ook wel de fosfaatverzadigingsindex (PSI) genoemd (Koopmans, 2004). Het suffix *ox* heeft betrekking op de extractie van fosfaat, aluminium- en ijzeroxiden met ammoniumoxalaat (Schwertmann, 1964). Deze extractiemethode ontsluit de reactieve, ook wel amorfe genoemd, ijzer- en aluminiumoxiden waaraan fosfaat kan worden geadsorbeerd. De PSI kan een maximale waarde van 0,4 à 0,5 (α) bereiken. Er is dan sprake van een adsorptiemaximum (Q_{max}) volgens:

$$Q_{max} = \alpha (Al+Fe)_{ox}$$

Het adsorptiemaximum komt ongeveer overeen met 40 à 50% van het gehalte aan ijzer- en aluminiumoxiden. De bodem is dan fosfaatverzadigd. Naarmate meer van de bindingscapaciteit is benut, zal de oplosbaarheid van fosfaat in het bodemvocht toenemen en het evenwicht van vergelijking (1) naar links verschuiven (zie ook figuur 2). Het evenwicht wordt bepaald door de bindingssterkte. De helling van de grafiek geeft informatie over de bindingssterkte.



Figuur 2

Opgelost fosfaat is in evenwicht met geadsorbeerd fosfaat. Het evenwicht kan grafisch worden weergegeven door een niet-lineair verband dat door een zgn. Langmuir-vergelijking wordt beschreven.

De Langmuir-isotherm geeft het verband weer tussen de geadsorbeerde fosfaatfractie (PSI) en opgelost fosfaat (P_{opl}). Dit verband verloopt niet lineair (figuur 2). Het horizontale deel van de isotherm wijst op fosfaatverzadigde 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 de fosfaatconcentratie veel sterker gebufferd en verandert de concentratie nog maar langzaam: 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, 2004). In dit deel van de curve is de fosfaatbeschikbaarheid gering. De helling van het verticale deel van de isotherm geeft informatie over de bindingssterkte (K) van het evenwicht tussen geadsorbeerd en opgelost fosfaat.

Verwacht werd dat de fosfaatbindingscapaciteit van de voormalige landbouwgronden in het Geeserstroomgebied vrijwel geheel zal zijn benut, dat de gronden dus (vrijwel) fosfaatverzadigd zijn en dat de fosfaatbeschikbaarheid groot is. Onduidelijk is welke maatregelen het meest effectief zijn om de fosfaatbeschikbaarheid terug te dringen. Het praktijkonderzoek heeft als doel via monitoring dit proces te volgen.

2.7 Beoogde effecten van maatregelen

Via inrichting en beheer moet gepoogd worden de fosfaatverzadigingsgraad en daarmee de fosfaatbeschikbaarheid terug te dringen. Het doel van het beheer is erop gericht zo dicht mogelijk bij de oorsprong van de grafiek uit te komen. Door de volgende inrichtingsvarianten kan de fosfaatbeschikbaarheid worden beïnvloed:

- *Vernatting*

Door vernatting wordt de bodem anaëroob. Hierdoor kunnen ijzeroxiden worden gereduceerd en in oplossing gaan, waardoor de bindingscapaciteit en/of de bindingssterkte van de bodem voor fosfaat afneemt. Hierdoor komt meer fosfaat in oplossing en voor de planten beschikbaar. Vernatting leidt dus tot fosfaatmobilisatie. In ons experiment beschouwen we deze situatie als de referentie.

- *Begreppeling*

Door begreppeling ontstaat een oppervlakkige drooglegging waardoor meer aërobe omstandigheden ontstaan. Onder deze aërobe omstandigheden worden ijzeroxiden gevormd, zodat de bindingscapaciteit voor fosfaat toeneemt en de beschikbaarheid van opgelost fosfaat voor de planten afneemt.

- *Afgraven*

Door afgraven wordt de voorraad fosfaat verminderd. Beoogd wordt af te graven tot een diepte waar nog maar weinig fosfaat geadsorbeerd is en dus de beschikbaarheid voor de plant gering is.

De fosfaatbeschikbaarheid kan ook worden beïnvloed door beheersmaatregelen:

- *Maaien en afvoeren*

Door maaien en afvoeren wordt het opgeloste fosfaat uit de bodem opgenomen, zodat de fosfaatverzadiging en -voorraad geleidelijk kan afnemen. Hoewel rijkelijk fosfaat aanwezig is, leert de ervaring dat de productie al snel beperkt kan worden door een gebrek aan stikstof en/of kalium (Kemmers et al., 2004). Hierdoor verloopt de afvoer van fosfaat steeds langzamer.

- *Uitmijnen*

Door naast maaien en afvoeren ook stikstof- en kaliumbemesting te geven blijft de productie op niveau, waardoor de uitputting van de fosfaatvoorraad in de bodem sneller verloopt (Sival en Chardon, 2004).

- *Bekalken*

Bij overgang van landbouwgrond naar natuur zal de bodemzuurgraad kunnen dalen. Door te bekalken blijft de zuurgraad op peil. IJzeroxiden lossen minder goed op naarmate de omstandigheden minder zuur zijn. Door bekalking wordt de fosfaatadsorptiecapaciteit en/of bindingssterkte dus op peil gehouden en wordt de mobilisatie van fosfaat tegengewerkt. Door deze maatregel komt minder fosfaat beschikbaar dan wanneer niet bekalkt zou worden. De maatregel werkt echter in tegen een vermindering van de fosfaatvoorraad in de bodem.

- *Begrazen*

Begrazing leidt niet of nauwelijks tot afvoer van fosfaat maar tot het in kringloop brengen ervan. Via mest en urine komt na vraat een deel van het fosfaat weer terug in de bodem. De ervaring leert dat in begraasde systemen de mobilisatie van fosfaat (beschikbaar P) wordt gestimuleerd (Kemmers et al., 2004). Begrazing zal dus nauwelijks bijdragen aan afvoer van fosfaatvoorraden, maar zorgt wel ervoor dat biomassa wordt afgevoerd.

- *Combinaties*

Door begrazing in combinatie met bekalking wordt de fosfaatmobiliteit mogelijk iets teruggedrongen, waardoor de productie weer afneemt. Begrazing in combinatie met stikstof- en kaliumbemesting leidt waarschijnlijk tot een verhoogde gewasproductie, waartoe de begrazingsdichtheid zou moeten worden vergroot om verruiging te voorkomen. Dit lijkt ons niet wenselijk vanwege de geringe draagkracht van de bodem bij vernattingsmaatregelen. Te sterke betreding leidt tot bodembeschadiging en tot gunstige omstandigheden voor pitruskieming (lichtkieming).

3 Resultaten

In dit hoofdstuk beschrijven we de bodemresultaten na vijf jaar voor zone I en zone II en voor zone III na drie jaar inrichting. Naast de ontwikkeling van de fosforbeschikbaarheid is het boeiend te weten of ook de andere factoren die belangrijk zijn voor de groeiomstandigheden voor natte schraalgraslanden zijn gerealiseerd.

Maatregelen gericht op verlaging van de fosforbeschikbaarheid, vergroting van de zuurbuftercapaciteit, afname oppervlakkige ontwatering, afname bemesting en een frequent maaibeheer zouden moeten leiden tot ongunstige omstandigheden voor Pitrus, waardoor Pitrusdominantie op een effectieve wijze kan worden bestreden, beheerst en voorkomen. In dit hoofdstuk komen we uitvoerig terug op de ontwikkeling van de voedselrijkdom en de fosforbeschikbaarheid van de bodem die belangrijk zijn om de Pitrusdominantie te voorkomen en/of te verminderen.

3.1 Verschillen tussen inrichtingsvarianten

De resultaten van de two-way ANOVA analyse om de drie inrichtingszones (I,II,III) te toetsen op verschillen tussen de voedselrijkdom en fosforbeschikbaarheid zijn weergegeven in figuur 3. De drie inrichtingsvarianten zijn per zone aangegeven (zie bijlage 1):

- Zone I: Vernatting;
- Zone II: Oppervlakkige drainage; begreppeling;
- Zone III: Afgraven.

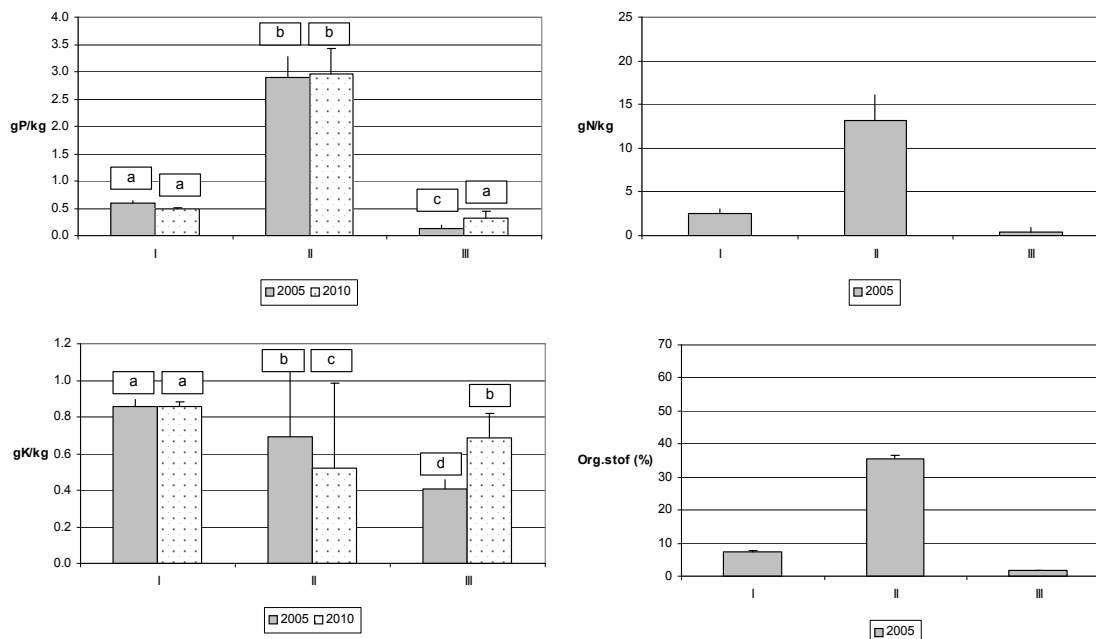
Een uitgebreide beschrijving van de gegevensanalyse is te lezen in §2.5.

3.1.1 Voedselrijkdom

Voor de bepaling van de voedselrijkdom zijn de totaalgehalten van stikstof, fosfor, kalium en organische stof in de bodem gemeten (figuur 3; bijlage 4).

De bodem van de percelen van de begreppelde en weinig ontwikkelde inrichtingsvariant II bevat, in zowel 2005 als in 2010, de hoogste gehalten stikstof en fosfaat (Kemmers et al., 2004). De kaliumgehalten variëren, vooral sterk in zone II, per perceel maar minder per inrichtingsvariant. De afgegraven inrichtingsvariant (III) heeft volgens verwachting de laagste gehalten stikstof en fosfor en organische stof. Het gehalte kalium is in zone III nog betrekkelijk hoog.

Vijf jaar na inrichting is de voedselrijkdom nagenoeg onveranderd gebleven. De verschillen tussen de inrichtingsvarianten is gelijk gebleven. Echter, in zone I en zone II is het kaliumgehalte veranderd. De oppervlakkige drainage en de begreppeling resulteerde in een verlaging van het kaliumgehalte. Kalium is een mobiele stof dat mobiel wordt bij vernatting. Verhoging van het kaliumgehalte is alleen waargenomen in de afgegraven zone. Alle inrichtingsmaatregelen hebben een vernattingseffect maar een ongelijke mate van vernatting en dat heeft geen effect op de voedselrijkdom van de bodem: nagenoeg onveranderd gebleven.



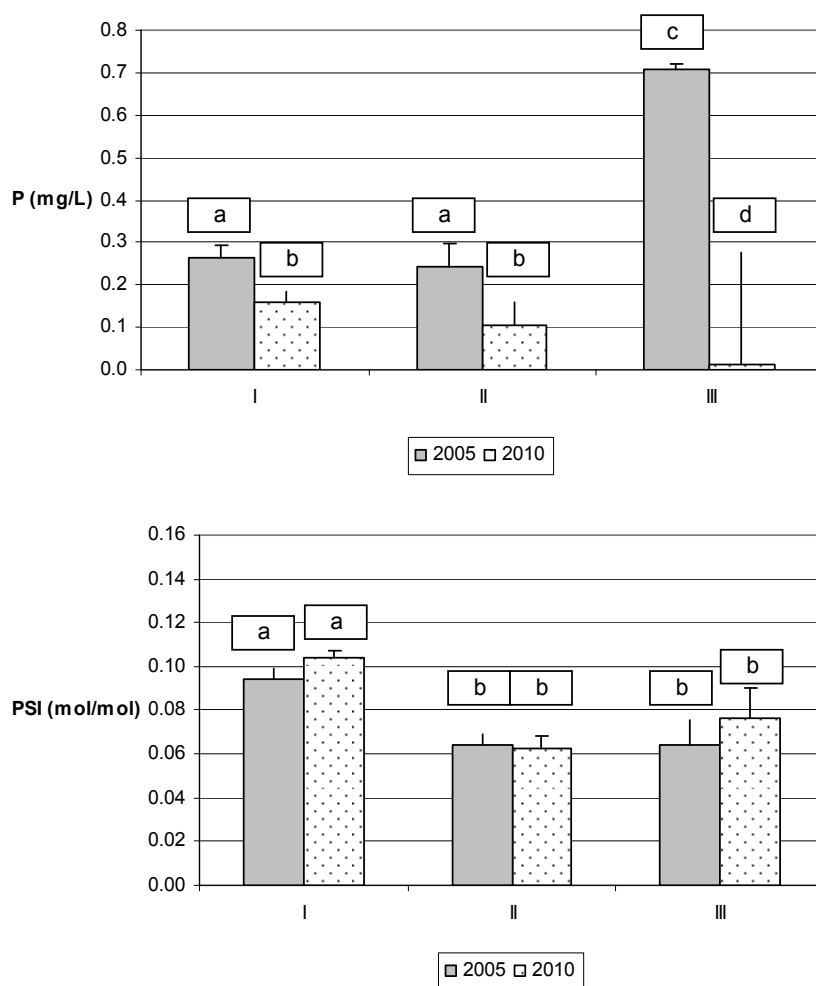
Figuur 3
Voedselrijkdom tussen inrichtingsvarianten.

3.1.2 Fosforbeschikbaarheid

Voor de bepaling van de fosforbeschikbaarheid zijn de P (mg/l) en de PSI berekend (figuur 4; bijlage 4). De P-concentratie is berekend uitgaande van een waterextractie met w/v=1:2 en uitgedrukt in mgP/l. De PSI is de Phosphate Saturation Index en is berekend uit $P_{ox}/(A_{lox} + F_{eox})$ en uitgedrukt in mol/mol.

In tegenstelling tot de PSI zijn significante verschillen gemeten in de fosforconcentratie in het bodemvocht ten opzichte van de uitgangstoestand in de verschillende inrichtingszones. Het afgegraven gedeelte (III) had de hoogste fosforconcentratie in de uitgangssituatie, maar na een aantal jaren echter de laagste concentratie. In alle drie inrichtingvarianten is de P-concentratie in het bodemvocht gedaald wat een bemoedigde ontwikkeling is. De PSI is echter niet significant in de tijd veranderd. Dus de verlaging in P-concentratie treedt ook op bij vernatting wat in tegenspraak is met andere onderzoeken. Vernatting resulteert immers in P-mobilisatie bij een omvormingsbeheer van landbouw in natuur (Smolders et al., 2006; Kemmers et al., 2007). Mogelijk dat in ons experiment P na mobilisatie, via oppervlakkige afstroming naar het oppervlakte water is afgevoerd.

De begreppelde inrichtingsvariant (II) heeft voor vrijwel alle parameters significant hogere waarden dan de andere varianten (bijlage 1). Variant II is zeer rijk aan ijzer en oxalaat-extraheerbaar fosfaat. De P-concentratie in het bodemvocht is echter niet afwijkend van inrichtingsvariant I met de laagste PSI van alle inrichtingsvarianten.



Figuur 4

Fosforbeschikbaarheid tussen inrichtingsvarianten.

3.2 Verschillen tussen beheervarianten

Toetsing van effecten tussen verschillende beheersvormen kon slechts binnen de inrichtingvariant I worden geanalyseerd. De resultaten van de two-way ANOVA-analyse om de vijf beheervarianten binnen zone I te toetsen op verschillen tussen de voedselrijkdom en fosforbeschikbaarheid zijn weergegeven in figuur 5 en figuur 6).

De vijf beheervarianten zijn:

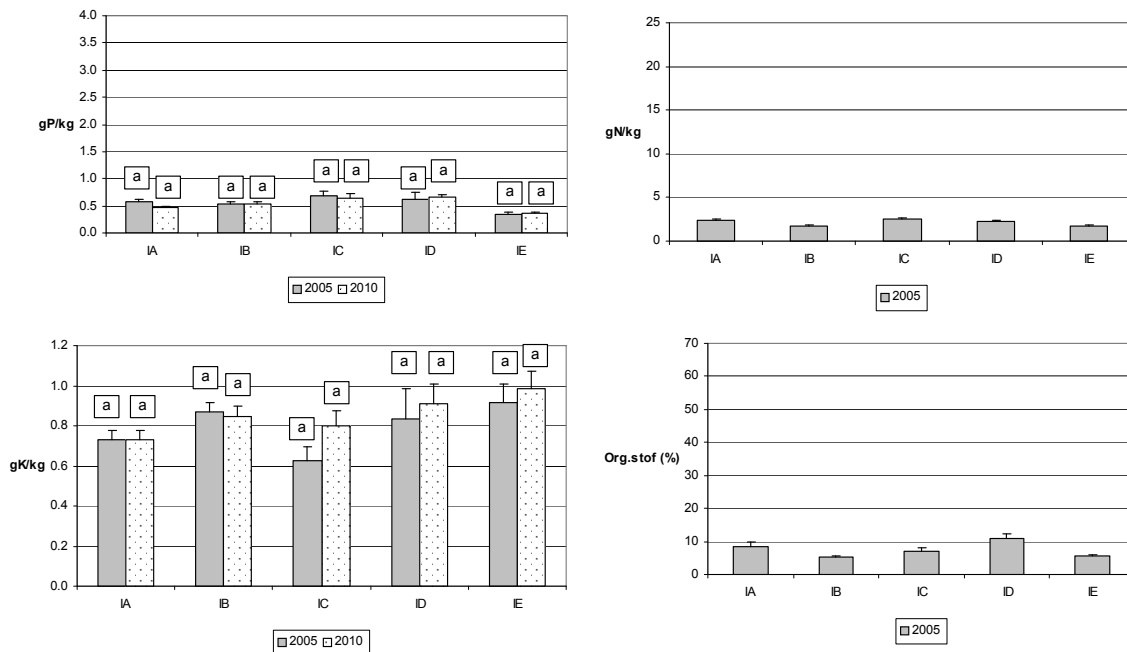
- Maaien en afvoeren;
- Maaien en afvoeren + N- en K-bemesting (*uitmijnen*);
- Maaien en afvoeren + bekalking;
- Begrazing;
- Begrazing + bekalking.

Een uitgebreide beschrijving van de gegevensanalyse is te lezen in §2.5.

3.2.1 Voedselrijkdom

Voor de bepaling van de voedselrijkdom zijn de totaalgehalten van stikstof, fosfor, kalium en organische stof in de bodem gemeten (figuur 5; bijlage 4).

Vijf jaar na inrichting is de voedselrijkdom nagenoeg onveranderd gebleven. De verschillen tussen de beheer-varianten zijn gelijk gebleven. Zowel P als K zijn niet significant veranderd. Na vijf jaar zijn onder invloed van beheer de K-gehalten per beheervariant meer op elkaar gaan lijken en licht verhoogd. Dat geldt voor maaien en afvoeren + bekalking (c); begrazing (d) en begrazing + bekalking (e).



Figuur 5

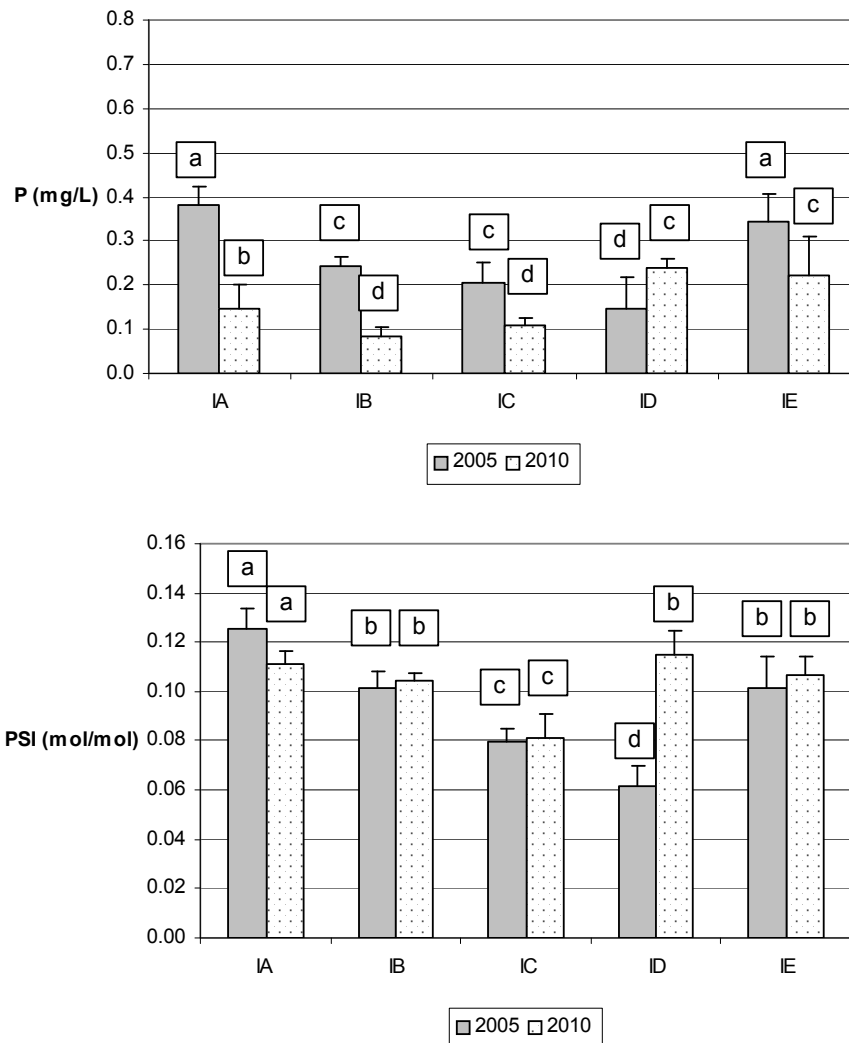
Voedselrijkdom tussen beheervarianten.

3.2.2 Fosforbeschikbaarheid

Voor de bepaling van de fosforbeschikbaarheid zijn de P (mg/l) en de PSI berekend (figuur 6; bijlage 4; §2.4). De P concentratie is berekend uitgaande van een waterextractie met w/v=1:2 en uitgedrukt in mgP/l. De PSI is de Phosphate Saturation Index en berekent uit $P_{ox}/(A_{lox}+F_{eox})$ en uitgedrukt in mol/mol.

Met uitzondering van begrazing zijn de fosforconcentraties in het bodemvocht afgenomen. Deze resultaten komen overeen met Sival et al. (2004). De P-afname is in alle beheervarianten significant. De PSI is echter niet significant in de tijd veranderd. Dus de verlaging in P-concentratie lijkt volledig toe te schrijven aan de vernatting wat in tegenspraak is met ander onderzoek. Vernatting resulteert immers in P-mobilisatie bij een omvormingbeheer van landbouw in natuur (Smolders et al., 2006; Kemmers et al. 2007). Een mogelijke reden voor de onveranderde PSI is de korte tijd na inrichting en de ongelijke hoge hoeveelheden die in de bodem zitten ten opzichte van de P-concentratie in het bodemvocht.

Bij begrazing neemt niet alleen P significant toe, maar ook de PSI (Figuur 6). De verhoogde PSI is een gevolg van een lichte toename van Al_{ox} (van 20 naar 33.6 mmol/kg) en een lichte afname van P_{ox} (van 17 naar 13.2 mmol/kg) en een nog zeer sterkere afname van Fe_{ox} (254 naar 77 mmol/kg).



Figuur 6

Fosforbeschikbaarheid tussen beheervarianten.

3.3 Begrazingseffect

De resultaten van de two-way ANOVA-analyse om de drie verschillende inrichtingsvarianten met begrazing (ID, II, III) te toetsen op verschillen tussen de voedselrijkdom en fosforbeschikbaarheid zijn weergegeven in figuur 7 en figuur 8. De drie inrichtingsvarianten met begrazing zijn:

- Zone I: Vernatting;
- Zone II: Oppervlakkige drainage; begreppeling;
- Zone III: Afgraven.

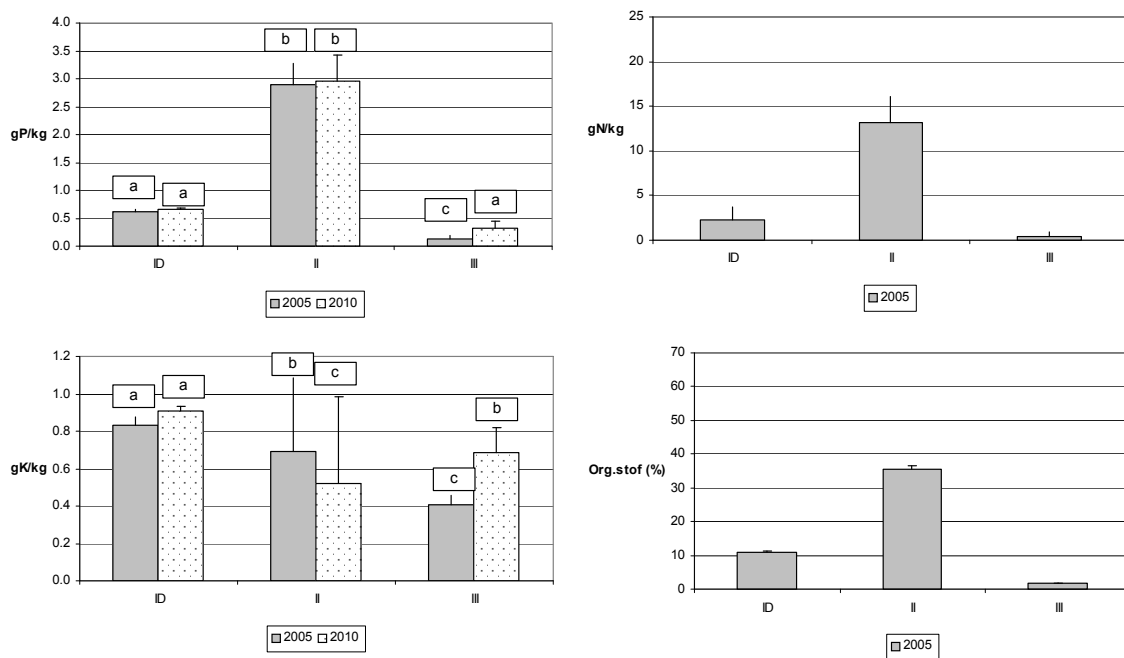
Een uitgebreide beschrijving van de gegevensanalyse is te lezen in §2.5.

3.3.1 Voedselrijkdom

Voor de bepaling van de voedselrijkdom zijn de totaal-gehalten van stikstof, fosfor, kalium en organische stof in de bodem gemeten (Figuur 7; bijlage 4).

De bodem van de percelen van de begreppelde en weinig ontwikkelde inrichtingsvariant II bevat, in zowel 2005 als in 2010, de hoogste gehalten stikstof, fosfaat en organische stof (Kemmers et al., 2004). De kalium-gehalten variëren vooral sterk in zone II met een grote spreiding. De afgegraven inrichtingsvariant (III) heeft volgens verwachting de laagste gehalten stikstof en fosfor en organische stof. Het gehalte kalium is in zone III nog betrekkelijk hoog.

Na vijf jaar na inrichting is de voedselrijkdom nagenoeg onveranderd gebleven. De verschillen tussen de inrichtingsvarianten zijn gelijk gebleven. Echter, het kaliumgehalte verandert en is in alle zones veranderd. In zone I en zone II neemt kalium toe en in zone III juist af. De oppervlakkige drainage en de begreppeling resulteerde in een verlaging van het kaliumgehalte. Kalium is een stof dat mobiel wordt bij vernatting. De sterkste verhoging van het kaliumgehalte is waargenomen in de afgegraven zone.

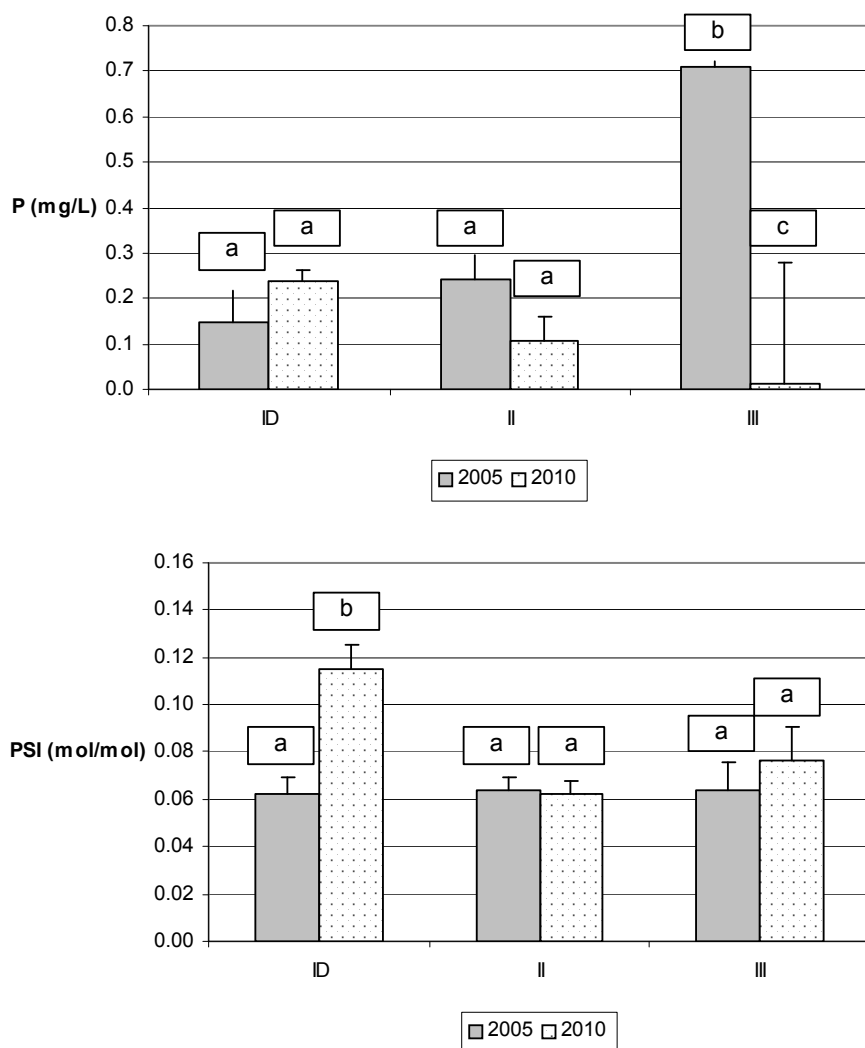


Figuur 7

Voedselrijkdom tussen inrichtingsvarianten met begrazing.

3.3.2 Fosforbeschikbaarheid

Voor de bepaling van de fosforbeschikbaarheid zijn de P (mg/l) en de PSI berekend (figuur 8; bijlage 4; §2.4). De P-concentratie is berekend uitgaande van een waterextractie met w/v=1:2 en uitgedrukt in mgP/l. De PSI is de Phosphate Saturation Index en berekend uit $P_{ox}/(Al_{ox}+Fe_{ox})$ en uitgedrukt in mol/mol.



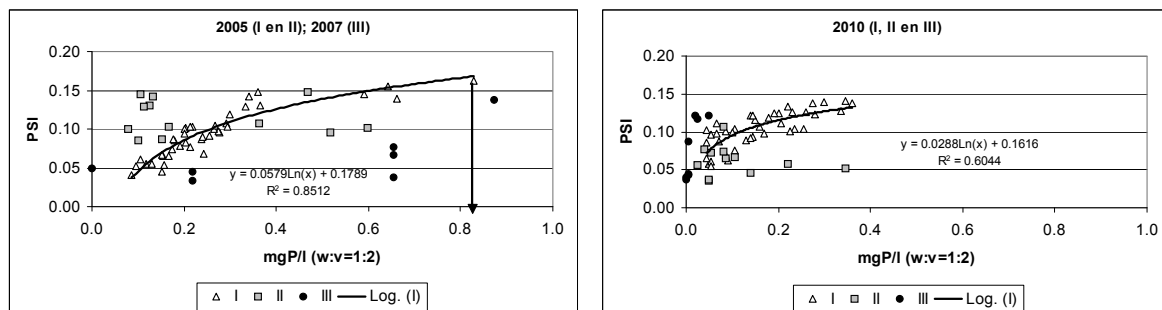
Figuur 8

Fosforbeschikbaarheid tussen inrichtingsvarianten met begrazing.

Met uitzondering van de PSI zijn significante verschillen gemeten in de fosforconcentratie in het bodemvocht ten opzichte van de uitgangstoestand in de verschillende inrichtingszones. Het afgegraven gedeelte (III) had de hoogste fosforconcentratie in de uitgangssituatie echter na een aantal jaren de laagste concentratie. Met uitzondering van de zanderige zone (I) zijn in de andere twee zones de P-concentratie in het bodemvocht gedaald wat een bemoedigde ontwikkeling is. De verhoging van de P-concentratie is in de lijn met de verwachting (Kemmers et al., 2007). Echter, de toename in PSI niet. De verhoogde PSI is een gevolg van een lichte toename van Alox (van 20 naar 33.6 mmol/kg) en een lichte afname van Pox (van 17 naar 13.2 mmol/kg) en een nog zeer sterkere afname van Feox (254 naar 77 mmol/kg; bijlage 4; zie ook §3.2.2).

3.4 Fosforadsorptie

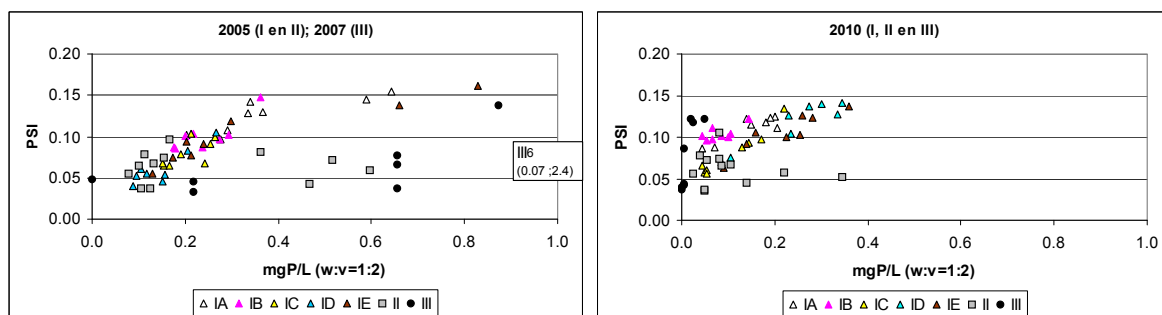
In figuur 9 is het verband weergegeven tussen de fosfaatverzadigingsindex (PSI) en opgelost fosfor in de bodemvochttoplossing. Het blijkt dat er een logaritmisch verband bestaat tussen deze beide parameters zowel in 2005(07) als in 2010. Opvallend en al eerder geconcludeerd is de afname in P-concentratie en een nagenoeg onveranderende PSI. Vernatting en de verschillende beheervarianten leiden tot mobilisatie van P, maar niet door de afname van de P-sorptiecapaciteit vanwege de leeftijd en het verschil in hoeveelheden. De laagste PSI zijn gevonden in de afgegraven gronden (zone III) waarbij de voorraad P en ook de voorraad Al en Fe zijn verwijderd. De organisch arme vernatte zandgronden (zone I) en de begreppelde en weinig ontwikkelde inrichtingsvariant II zijn vergelijkbaar wat de PSI betreft met dezelfde minimale en maximale waarden, maar nooit lager dan in het afgegraven zone III. Echter, de gemiddelde waarden zijn hoger in de organisch arme vernatte zandgronden inrichtingsvariant I (§3.1.2). Mogelijk reden voor de onveranderde PSI is de korte tijd na inrichting en de ongelijke hoge hoeveelheden die in de bodem zitten ten opzichte van de P-concentratie in het bodemvocht.



Figuur 9

Verband tussen de fosfaatverzadigingsindex (PSI) en de P-concentratie van de verschillende inrichtingsvarianten.

In figuur Figuur 10 is het verband weergegeven tussen de fosfaatverzadigingsindex (PSI) en de opgeloste fosfor in de bodemvochttoplossing per inrichtings- en beheervariant. Voor zone I en zone II kunnen dezelfde conclusies worden getrokken als in Figuur 9. Alle vormen van beheer laat een afname zien met uitzondering van begrazing (zone II d).



Figuur 10

Verband tussen de fosfaatverzadigingsindex (PSI) en de P-concentratie van de verschillende inrichtingsvarianten.

3.5 Conclusies

3.5.1 Effecten van inrichting en beheer

In vrijwel alle behandelingen is een sterke afname van de P-concentraties opgetreden met een nagenoeg gelijkblijvende verzadigingsgraad onafhankelijk van de inrichtings- of beheermaatregelen. Er werden geen significante effecten van inrichting of beheer waargenomen.

Alleen in de organisch arme vernatte zandgronden (zone Id) met begrazing neemt de P-concentratie toe met een toenemende verzadigingsgraad (PSI). De toename van de PSI is toe te schrijven aan een sterke afname van Fe.

Het fosfaatgedrag in de minerale gronden van Gees kan worden begrepen uit een evenwichtsreactie tussen aan ijzer- en aluminiumoxiden geadsorbeerd en in het bodemvocht opgelost fosfaat. De maximale P-adsorptiecapaciteit bedraagt 24% van het gehalte ijzer- en aluminiumoxiden (Kemmers et al., 2008). In de uitgangstoestand zijn de gronden in Gees niet P-verzadigd geweest met een fosfaatverzadigingsindex van 0.17. Na vijf jaar is de fosfaatverzadigingsindex licht gezakt naar 0.14.. De moerige gronden vertonen een afwijkend gedrag dat kan worden toegeschreven aan het verlies aan P-adsorptiecapaciteit door de aanwezigheid van opgelost organische stof (DOC) dat zich aan de Fe- en Al-oxiden hecht.

Door vernatting kunnen mobiele stoffen als kalium uitspoelen. Dat geldt niet voor zone I en zone III maar wel voor zone II. Echter, in de organisch arme vernatte zandgronden is bij maaien en afvoeren + bekalking, bij begrazing en bij begrazing + bekalking het gehalte aan kalium toegenomen.

3.5.2 Effecten op Pitrusdominantie

Al in het eerste jaar komt Pitrus voor (Sival et al., 2009). In 2006 komt de meeste Pitrus voor in de begrepede en weinig ontwikkelde inrichtingsvariant II en op slechts enkele locaties in de organisch arme vernatte zandgronden. De grootste toename vindt echter plaats in deelgebied I waar vernatting de inrichtingsmaatregel was. Na drie jaar is het aantal locaties echter meer dan verdubbeld. Op percelen, in deelgebied I, waar een graszaadmengsel werd ingezaaid bleef de ontwikkeling van Pitrus sterk achter ten opzichte van percelen waar niet werd ingezaaid. In deelgebied II waar oppervlakkige drainage en begreppeling plaatsvond was Pitrus na drie jaar nog steeds ruim aanwezig.

Na de inrichting zijn grote delen van het stroomgebied op landschapsschaal vernat. In tegenstelling tot de verwachting heeft de vernatting niet geleid tot waarnemingen van verhoogde P-concentraties in het bodemvocht. In 2010 zijn de P-concentraties in bijna alle zones lager dan in 2005 bij een onveranderende verzadigingsgraad. Deze verlaagde concentraties hebben waarschijnlijk meer te maken met afspoeling of opname van het gemobiliseerde fosfaat dan met versterkte adsorptie door vernatting. Mogelijk reden voor de onveranderde PSI is de korte tijd na inrichting en de ongelijke hoge hoeveelheden die in de bodem zitten ten opzichte van de P-concentratie in het bodemvocht.

De Pitrusontwikkeling gaat in alle inrichtingsvarianten gestaag door en in het bijzonder op de organisch arme vernatte zandgronden (Sival et al., 2009). De verpitruissing is een landelijk probleem, waarvoor het terreinbeheer nog geen adequate oplossing heeft (Kemmers et al., 2008).

Zoals in Sival et al. (2009) geconcludeerd blijkt Pitrus enige voorkeur te vertonen voor bodems waar de fosfaatbuffercapaciteit relatief groot is, gekenmerkt door hogere waarden van Fe_{ox} en Al_{ox} in de begreppelde en weinig ontwikkelde inrichtingsvariant. Daarentegen vertoont Pitrus geen voorkeur voor hogere of lagere waarden van beschikbaar fosfaat (P_{w}). Oude studies naar de oecologie van Nederlandse grasplanten bevestigen dat (Kruijne et al., 1967). Pitrus komt veelvuldig voor op natte veen tot weinig gronden met voornamelijk maaibeheer en een maaibeheer met nabeweiding. De pH is vaak tussen 6 en 7 en zowel de P- als de K-toestand is groot.

In 2008 schreef (Kemmers et al.) dat de productie van alle percelen door stikstof wordt beperkt. In haarden met een dominante Pitrusbegroeiing is eveneens sprake van stikstofbeperking. In bovengrondse biomassa van Pitrus komen significant hogere stikstofconcentraties voor dan in de biomassa van de vegetatie van de onderzochte percelen.

Het voorkomen en de ontwikkeling van Pitrus is niet alleen te verklaren uit de P-dynamiek van de bodem maar vooral ook door N en vernatting los van het beheer.

4 Gebruikte bronnen

Delft, S.P.J. van en P.C. Jansen, 2003. Randvoorwaarden natuurontwikkeling Onderlaatsse Laak; Bodemkundige en hydrologische kansen en beperkingen voor de realisatie van natuurdoelen. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 799.

Hofstra, R., 2004. Inrichtingsplan Geeserstroom; Inrichting van de natuurgebieden en verbindingzones in het stroomgebied van de Geeserstroom. Assen. Dienst Landelijk Gebied

Kemmers, R., L. Kuiters, B. van Delft, P.A. Slim, J.P. Bakker en Y. de Vries, 2004. Haalbaarheid natuurdoelen op fosfaatverrijkte gronden; Dertig jaar natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1040.

Kemmers, R.H. en J. Nelemans, 2007. Vergroting van de fosfaatadsorptiecapaciteit en afname van de chemische beschikbaarheid van fosfaat in gronden door wisselvochtigheid; Resultaten van desorptie- en adsorptie-experimenten met zand-, klei- en veengrond. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1546.

Kemmers, R.H., P. Bolhuis, E.J. Lammerts en B. de Jong, 2008. Voorkomen en bestrijden van dominantie *Pitrus* in natte schraallanden. Praktijkexperiment Gees. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1620.

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

Kruijne, A.A., D.M. de Vries en H. Mooi, 1967. Bijdrage tot de oecologie van de Nederlandse graslandplanten. Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen 696. Mededeling 338, Wageningen.

Oude Voshaar, J.H., 1995. Statistiek voor onderzoekers. Wageningen Pers. Wageningen.

Riemsdijk, W.H. van, L.J.M. Boumans en F.A.M. de Haan, 1984. Phosphate sorption by soils, I. A diffusion-precipitation model for the reaction of phosphates with metal oxides in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 537-540.

Sival, F.P., W.J. Chardon en M.M. van der Werff, 2004. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat: evaluatie van verschralingsmaatregelen. Alterra rapport 951. Alterra, Wageningen.

Sival, F.P. en W.J. Chardon, 2004. Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas. Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1090.

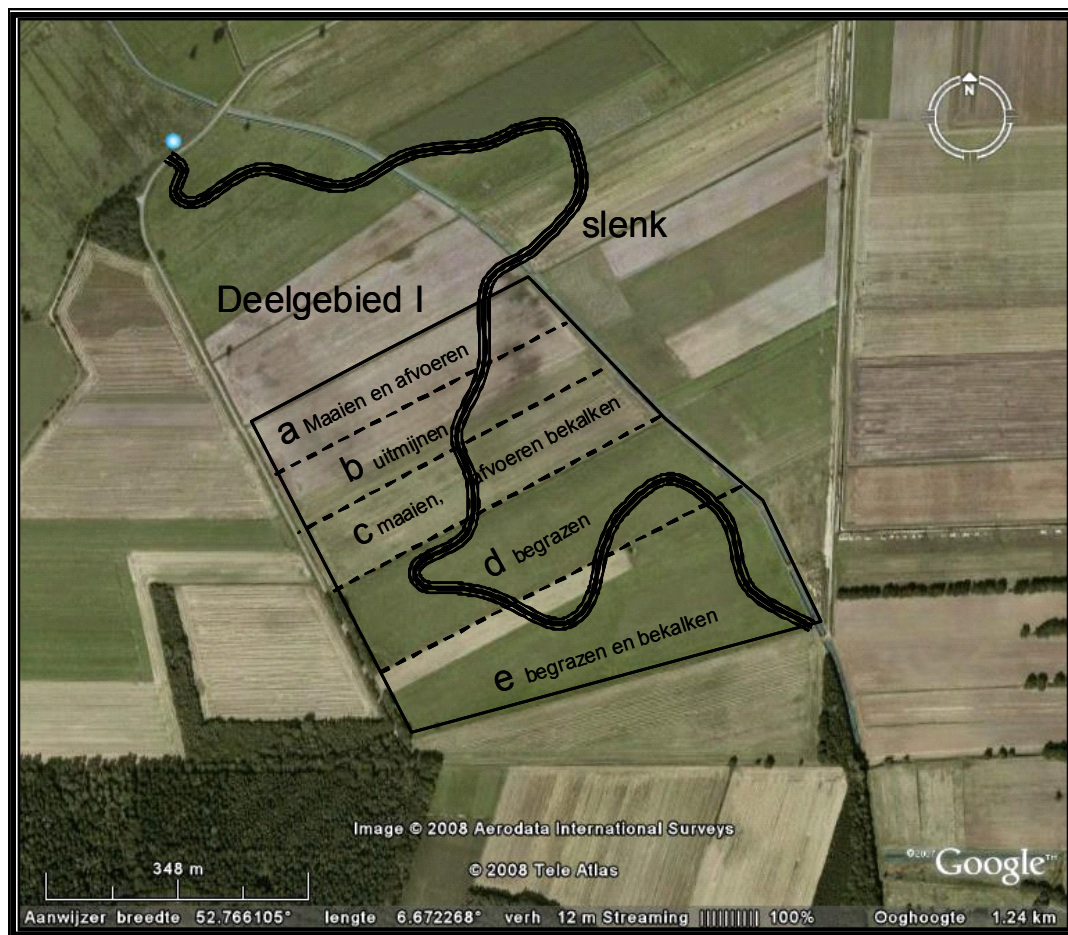
Sival, F.P., R.H. Kemmers, W. de Vlieger en B. de Jong. 2009. Vegetatieontwikkeling en *Pitrus*dominantie op voormalige landbouwgronden in het Geesterstroomgebied. Praktijkexperiment Gees. Alterra-rapport 1899.

Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers en J. Roelofs. 2006. De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 3(4): 5-11

Smolders, A.J.P., C.H.E.T. Esther, T. Lucassen, M. van der Aalst, L.P.M. Lamers en J.G.M. Roelofs, 2007. Decreasing the abundance of *Juncus effusus* on former Agricultural lands with noncalcareous Sandy soils: possible effects of liming and soil removal. *Restoration Ecology*.

Zee, S.E.A.T.M van der en W.H. van Riemsdijk, 1986. Sorption kinetics and transport of phosphate in sandy soil. *Geoderma* 38: 293-309.

Bijlage 1 Inrichting en beheer van de verschillende deelgebieden



Deelgebied I (Vernatting)

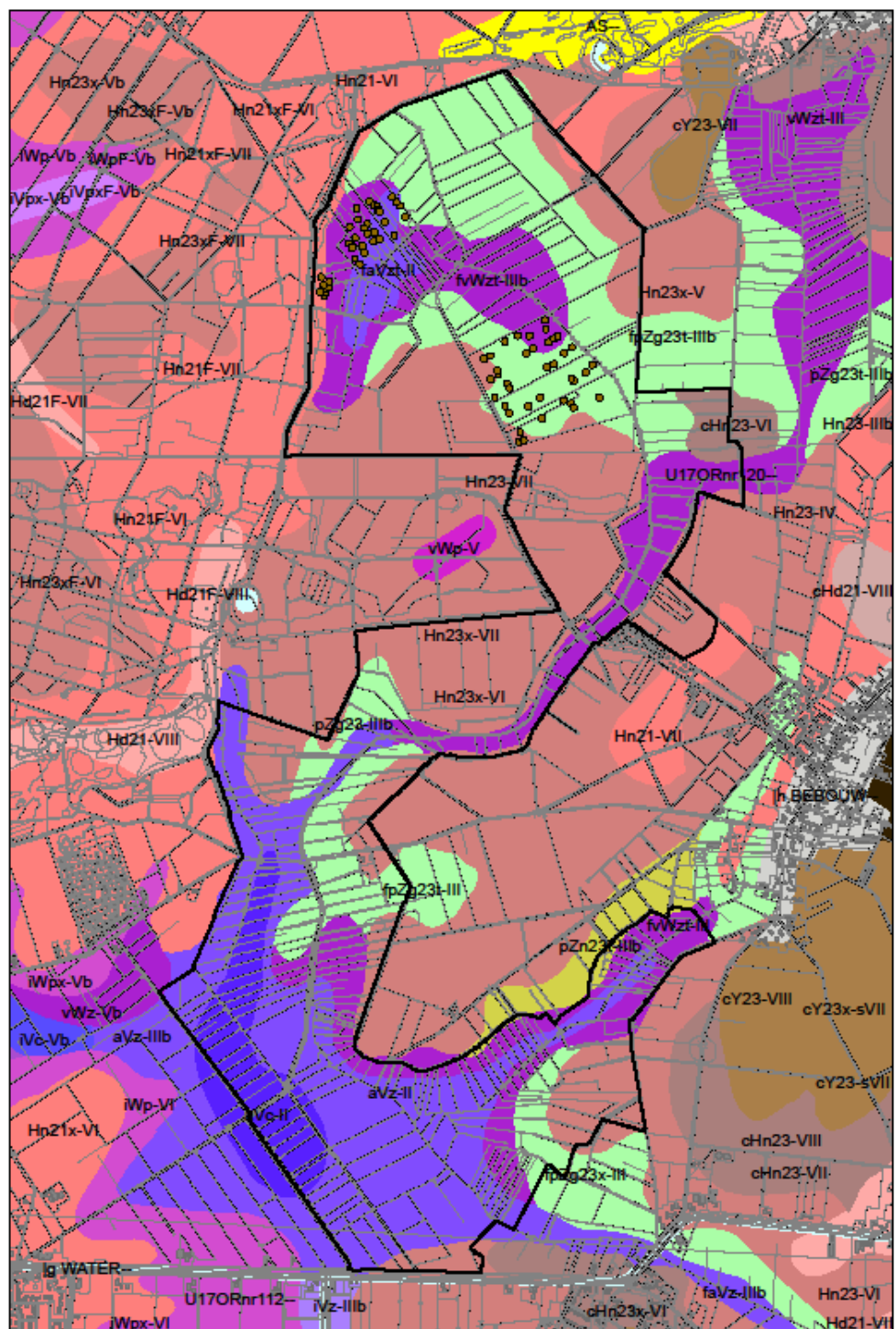
Aangegeven op een luchtfoto van de periode voor de inrichting. Vernatting heeft plaatsgevonden door demping van alle sloten en greppels. Alleen een ondiepe slenk is aangelegd voor de oppervlakkige afwatering van het ten noorden gelegen moerasgebied. Verschillende percelen werden verschillend beheerd.



Deelgebied II (Oppervlakkige ontwatering) en deelgebied III (Afgraven)

Aangegeven op een luchtfoto van de periode voor de inrichting. Ten zuiden van deelgebied II (vanaf de lijn met blauwe pijlen) is een grote oppervlakte van het gebied afgegraven, waardoor een permanente open wateroppervlak is ontstaan. Deelgebied II is daardoor ook sterk verdrast. Niettemin werden een drietal ondiepe slenken aangelegd om een oppervlakkige afvoer en ontwatering te realiseren. Deelgebied III maakte deel uit van het afgegraven terreindeel, maar omdat het op de flank van een hogere (beboste) rug is gelegen is het maaiveld van deelgebied III een groot deel van het jaar boven het waterpeil gelegen.

Bijlage 2 Bodemkaart en ligging monsterplekken



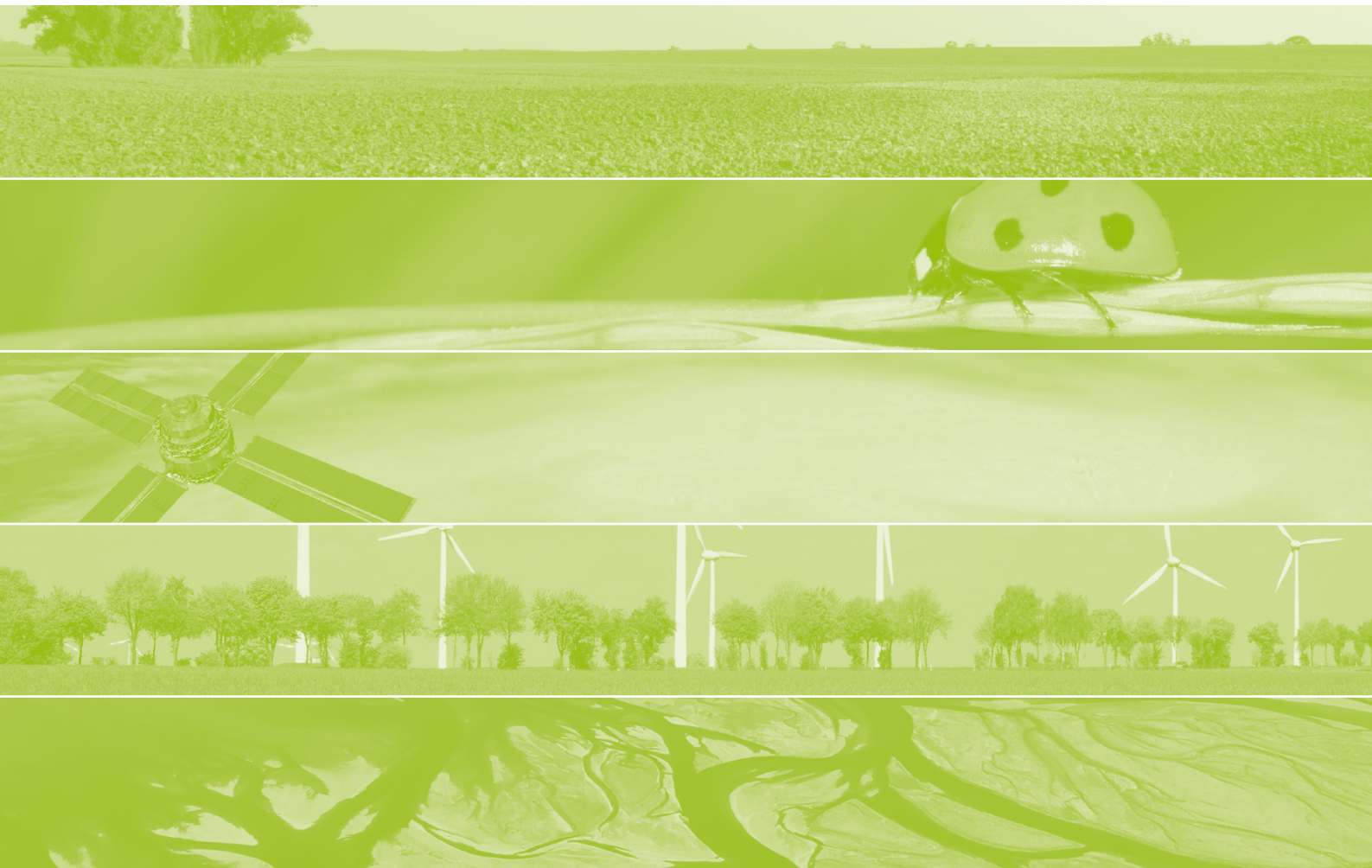
Bijlage 3 Coördinaten van de bemonsterde locaties

Coördinaten van locaties die in 2005 en 2010 zijn bemonsterd.
Locaties die in 2010 niet werden bemonsterd zijn doorgestreept.

Locatie code	X-coor.	Y-coor.	Locatie code	X-coor	Y-coor.
I A 1	241424	531800	II A 1	240864	532298
I A 2	241623	531826	II A 2	240852	532329
I A 3	241453	531813	II A 3	240821	532366
I A 4	241521	531880	II A 4	240794	532418
I A 5	241581	531909	II A 5	240790	532342
I A 6	241637	531910	II A 6	240803	532322
I A 7	241716	531940	II A 7	240820	532268
I A 8	241711	531982	II A 8	240842	532244
I B 1	241457	531704	II B 1	240937	532364
I B 2	241491	531731	II B 2	240907	532393
I B 3	241488	531745	II B 3	240876	532433
I B 4	241656	531850	II B 4	240826	532506
I B 5	241726	531878	II B 5	240833	532452
I B 6	241752	531895	II B 6	240860	532412
I B 7	241770	531906	II B 7	240877	532387
I B 8	241771	531903	II B 8	240905	532350
I C 1	241476	531620	II C 1	241056	532466
I C 2	241533	531685	II C 2	241028	532518
I C 3	241544	531662	II C 3	241012	532535
I C 4	241719	531760	II C 4	240994	532558
I C 5	241751	531775	II C 5	240888	532537
I C 6	241800	531829	II C 6	240908	532519
I C 7	241837	531854	II C 7	240959	532441
I C 8	241524	531581	II C 8	241004	532377
I D 1	241544	531544	III 1	240676	532097
I D 2	241632	531578	III 2	240681	532114
I D 3	241686	531619	III 3	240685	532127
I D 4	241797	531605	III 4	240654	532115
I D 5	241846	531696	III 5	240696	532134
I D 6	241902	531736	III 6	240674	532150
I D 7	241932	531773	III 7	240699	532163
I D 8	241834	531709	III 8	240659	532183
I E 1	241589	531413	Pitrus en bodemslib Veld II		
I E 2	241595	531456			
I E 3	241610	531423			
I E 4	241611	531420			
I E 5	241696	531521			
I E 6	241832	531591	Pitr II 1	240910	532521
I E 7	241846	531572	Pitr II 2	240923	532513
I E 8	241964	531620	Pitr II 3	240926	532500
			Pitr II 4	240929	532493
			Pitr II 5	240936	532489

Bijlage 4 Bodemeigenschappen van de locaties in 2005 en 2010

Code eenheid jaar	X-coor.	Y-coor.	Pw				Alox		Feox		Pox	PSI			pHKCl	org.stof	N	P		K		P-PO4 (CaCl2)
			mgP2O5/kg	mgP/kg	mgP/L	mgP/L	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/kg	mmol/mol	mmol/mol	%	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
			2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2010	2005	2005	2005	2005	2010	2005	2010	2010
IA1	241424	531800	2.9	0.4	0.6	0.2	67	55	31	70	15	16	0.15	0.12	4.53	14.5	3.1	582	512	820	880	0.3
IA2	241623	531826	2.7	0.3	0.6	0.2	72	19	36	97	16	13	0.15	0.11	4.67	13.7	3.4	608	430	842	503	0.2
IA3	241453	531813	1.7	0.4	0.4	0.2	64	69	35	46	13	14	0.13	0.12	5.08	6.8	1.9	454	488	669	1017	0.3
IA4	241521	531880	1.6	0.4	0.3	0.2	14	47	78	66	13	12	0.14	0.11	4.93	4.7	1.6	462	452	660	862	0.2
IA5	241581	531909	1.5	0.3	0.3	0.1	11	12	87	79	12	11	0.13	0.12	5.12	4.4	1.6	494	394	825	635	0.1
IA6	241637	531910	1.3	0.4	0.3	0.2	10	11	113	83	13	12	0.11	0.12	5.41	5.0	1.8	470	377	658	631	0.3
IA7	241716	531940	1.3	0.1	0.3	0.1	14	9	159	128	17	12	0.10	0.09	5.32	8.2	2.6	652	437	842	687	0.1
IA8	241711	531982	0.9	0.1	0.2	0.0	20	12	223	156	25	14	0.10	0.09	5.37	10.8	3.7	876	598	680	831	0.0
IB1	241457	531704	1.7	0.3	0.4	0.1	26	79	95	27	18	13	0.15	0.12	4.96	4.8	1.6	629	407	974	859	0.2
IB2	241491	531731	0.9	0.2	0.2	0.1	29	73	90	57	12	14	0.10	0.10	5.03	5.5	1.6	442	419	883	692	0.1
IB3	241488	531745	0.8	0.2	0.2	0.1	36	15	90	95	11	11	0.09	0.10	4.94	5.7	1.5	428	388	658	635	0.1
IB4	241656	531850	0.8	0.1	0.2	0.1	11	14	122	164	12	17	0.09	0.10	5.18	4.7	1.7	483	550	683	814	0.0
IB5	241726	531878	1.3	0.2	0.3	0.1	20	16	130	179	15	20	0.10	0.10	5.19	6.1	2.4	602	652	971	847	0.1
IB6	241752	531895	1.0	0.1	0.2	0.1	13	16	168	149	19	16	0.10	0.10	4.94	6.8	2.4	720	626	871	822	0.1
IB7	241770	531906	1.1	0.1	0.2	0.0	9	11	152	127	14	14	0.09	0.10	5.29	4.5	1.5	579	524	1003	1133	0.0
IB8	241771	531903	1.3	0.1	0.3	0.1	10	14	106	141	11	17	0.10	0.11	5.16	4.7	1.6	424	689	926	958	0.0
IC1	241476	531620	0.9	0.1	0.2	0.1	23	19	267	380	23	23	0.08	0.06	5.51	12.7	4.5	907	900	1075	1064	0.0
IC2	241533	531685	0.7	0.1	0.2	0.1	16	16	195	387	14	25	0.06	0.06	5.11	6.5	2.4	766	970	485	997	0.1
IC3	241544	531662	0.8	0.1	0.2	0.1	11	14	294	367	20	21	0.07	0.06	5.47	6.9	2.4	973	892	651	1042	0.0
IC4	241719	531760	1.1	0.1	0.2	0.0	17	10	264	215	19	15	0.07	0.07	5.44	11.1	3.9	776	582	658	789	0.0
IC5	241751	531775	0.7	0.4	0.2	0.2	9	8	181	78	13	11	0.07	0.13	5.24	4.9	1.8	564	361	658	514	0.2
IC6	241800	531829	1.2	0.3	0.3	0.1	9	9	158	163	15	16	0.09	0.09	5.06	5.2	1.9	588	533	485	530	0.1
IC7	241837	531854	1.2	0.3	0.3	0.1	9	9	113	137	12	13	0.10	0.09	5.12	4.9	1.6	457	394	508	812	0.1
IC8	241524	531591	1.0	0.3	0.2	0.2	10	11	128	130	14	14	0.10	0.10	4.8	4.8	1.7	513	497	508	629	0.2
ID1	241544	531544	0.5	0.5	0.1	0.2	28	44	264	110	16	19	0.05	0.13	4.97	11.5	4.0	695	637	923	702	0.3
ID2	241632	531678	0.5	0.6	0.1	0.3	19	63	213	60	14	17	0.06	0.14	4.78	7.8	2.9	634	564	690	828	0.3
ID3	241686	531619	0.4	0.2	0.1	0.1	16	16	298	46	13	5	0.04	0.08	5.08	12.1	4.5	698	283	862	1338	0.1
ID4	241797	531605	0.7	0.2	0.2	0.1	17	12	231	62	11	5	0.04	0.07	5.13	12.9	3.9	594	292	1038	1325	0.1
ID5	241846	531696	0.7	0.6	0.2	0.3	17	80	295	19	17	14	0.05	0.14	5.21	10.9	4.9	843	456	699	822	0.4
ID6	241902	531736	0.4	0.7	0.1	0.3	23	20	138	95	9	15	0.05	0.13	5.37	5.9	2.0	385	523	1203	673	0.4
ID7	241932	531773	0.9	0.7	0.2	0.3	28	18	406	98	36	16	0.08	0.14	5.41	18.7	7.2	1684	479	1220	633	0.4
ID8	241834	531709	1.2	0.5	0.3	0.2	12	15	190	127	21	15	0.10	0.10	4.71	6.5	2.7	853	531	2000	673	0.2
IE1	241589	531413	3.0	0.7	0.7	0.4	54	60	5	8	9	9	0.14	0.14	4.78	4.5	1.1	280	369	877	820	0.5
IE2	241595	531456	1.4	0.5	0.3	0.3	60	57	8	7	8	8	0.12	0.13	4.93	5.8	1.6	337	339	865	801	0.5
IE3	241610	531423	3.8	0.5	0.8	0.3	52	54	5	7	9	6	0.16	0.10	4.66	4.5	1.3	319	224	842	1027	0.2
IE4	241611	531420	0.8	0.2	0.2	0.1	27	30	38	136	5	10	0.07	0.06	5.25	5.1	1.6	256	451	1365	1237	0.1
IE5	241696	531521	0.6	0.3	0.1	0.2	14	43	55	23	4	7	0.06	0.11	4.93	5.5	1.9	229	285	1136	1316	0.1
IE6	241832	531591	1.0	0.3	0.2	0.1	13	12	157	53	13	6	0.08	0.09	5.87	7.8	2.9	566	310	1010	1228	0.1
IE7	241846	531572	0.9	0.5	0.2	0.2	17	22	105	89	11	11	0.09	0.10	4.96	6.2	2.3	437	451	707	794	0.2
IE8	241964	531620	1.1	0.6	0.2	0.3	10	20	108	92	11	14	0.09	0.12	5.29	4.5	1.6	360	444	528	656	0.2
IIA1	240864	532298	0.5	0.1	0.1	0.1	30	44	1061	1129	40	41	0.04	0.04	4.97	38.0	13.4	3856	5034	690	344	0.0
IIA2	240852	532329	0.6	0.3	0.1	0.1	29	53	1144	1006	43	48	0.04	0.05	5.25	43.3	15.1	4314	3843	490	342	0.0
IIA3	240821	532366	0.6	0.2	0.1	0.1	55	46	987	1074	71	73	0.07	0.07	5.03	46.4	16.6	4509	5872	656	342	0.1
IIA4	240794	532418	0.5	0.1	0.1	0.1	49	38	143	1071	15	41	0.08	0.04	4.59	16.1	5.7	706	4597	687	330	0.1
II B3	240876	532433	1.7	0.2	0.4	0.1	48	75	708	819	61	60	0.08	0.07	5.09	30.5	11.0	2409	2912	694	498	0.1
II B5	240833	532452	2.4	0.7	0.5	0.3	65	62	807	796	63	45	0.07	0.05	5.14	43.1	17.2	2874	2624	845	337	0.1
II B6	240860	532412	2.7	0.1	0.6	0.0	49	73	1072	975	66	59	0.06	0.06	5.21	42.5	16.4	4431	2836	508	497	0.1
II B8	240905	532350	2.1	0.4	0.5	0.2	63	63	938	824	43	52	0.04	0.06	5.23	46.3	18.3	3085	2694	660	323	0.1
II C2	241028	532518	0.4	0.1	0.1	0.1	52	33	406	340	25	27	0.05	0.07	4.48	27.2	10.2	1277	1009	1020	804	0.0
II C4	240994	532568	0.5	0.2	0.1	0.1	43	22	375	279	27	22	0.06	0.07	4.56	20.9	8.1	1198	714	997	965	0.0
II C5	240888	532537	0.7	0.2	0.2	0.1	39	53	626	342	50	42	0.07	0.11	4.79	28.6	8.7	1928	1391	492	839	0.1
II C7	240959	532441	0.8	0.1	0.2	0.0	81	65	925	641	97	55	0.10	0.08	5.25	43.0	16.7	4073	2001	536	629	0.1
III1	240676	532097	3.0	0.0	0.7	0.0	13	8	6	21	1	4	0.08	0.12	4.52	0.6	0.1	64	70	326	492	0.1
III2	240681	532114	4.0	0.1	0.9	0.0	7	12	29	143	5	18	0.14	0.12	4.31	0.6	0.1	65	763	314	684	0.0
III3	240685	532127	3.0	0.0	0.7	0.0	10	7	24	64	2	3	0.07	0.04	4.31	0.6	0.2	47	169	339	662	0.0
III4	240654	532115	3.0	0.1	0.7	0.1	52	23	2	3	2	3	0.04	0.12	4	2.2	0.5	71	125	635	676	0.1
III5	240696	532134	1.0	0.0	0.2	0.0	5	15	45	234	2	22	0.03	0.09	4.28	1.1	0.2	125	1041	353	880	0.0
III6	240674	532150	11.0	0.0	2.4	0.0	59	12	15	61	5	3	0.07	0.04	4	5.1	1.1	166	138	323	654	0.0
III7	240699	532163	0.0	0.0	0.0	0.0	10	9	90	52	5	2	0.05	0.04	4.26	1.7	0.2	462	222	627	820	0.0
III8	240659	532183	1.0	0.0	0.2	0.0	11	10	30	21	2	1	0.04	0.04	4.32	1.6	0.4	73	69	348	658	0.0



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl