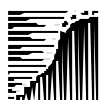


Continuering experimenteel bevloeiingsonderzoek langs de Reest

Eindrapport 2006



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit

Directie Kennis, oktober 2007

© 2007 Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Rapport DK nr. 2007/080-O
Ede, 2007

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de directie Kennis onder vermelding van code 2007/dko80-O en het aantal exemplaren.

Oplage 70 exemplaren

Samenstelling R.H. Kemmers, WUR, Environmental Sciences Group, Wageningen.
A.P. Grootjans, RU-Groningen, Community and Ecology Conservation Group, Groningen.
J. Nijp, Van Hal/Larenstijn, Leeuwarden.
S.P.J. van Delft, WUR, Environmental Sciences Group, Wageningen.
G. van Dijk, Van Hal/Larenstijn, Leeuwarden.

Druk Ministerie van LNV, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Directie Kennis
Bedrijfsvoering/Publicatiezaken
Bezoekadres : Horapark, Bennekomseweg 41
Postadres : Postbus 482, 6710 BL Ede
Telefoon : 0318 822500
Fax : 0318 822550
E-mail : DKinfobalie@minlnv.nl

Voorwoord

De belangrijkste voorloper van het onderzoeksveld "Beekdallandschap" van het eind 2006 ingestelde kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit, is het onderzoeksveld "Natte Schraallanden" binnen het toenmalige Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) van het Ministerie LNV. Binnen deze natte ecosystemen is op praktijkschaal in diverse terreinen, onderzoek gedaan naar de effecten van maatregelen tegen verzuring, vermesting en verdroging.

Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van een onderzoek in de middenloop van de Reest waarbij een Dotterbloemhooiland kunstmatig werd bevoeid met oppervlaktewater.

Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van de Directie Kennis van het Ministerie LNV en OBN en werd tot eind 2006 begeleid door het Deskundigenteam Natte Schraallanden; nadien door het Deskundigenteam Beekdallandschap. Dit eindrapport bevat naast de resultaten van het onderzoek ook adviezen voor het beheer van Dotterbloemhooilanden

DE DIRECTEUR DIRECTIE KENNIS
Dr. J.A. Hoekstra

Inhoudsopgave

Praktijkgerichte managementsamenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Onderzoeksopzet	11
3 Slibaanvoer	13
3.1 Methode	13
3.2 Resultaten	15
4 Effecten van bevloeiing op bodem en vegetatie	19
4.1 Doel kalk- en ijzerbemesting	19
4.2 Invloed op de bodem	20
4.2.1 Te verwachten effecten kalk- en ijzerbemesting	20
4.2.2 Methoden	21
4.2.3 Resultaten en discussie Ca- en Fe-bemesting	23
4.2.4 Conclusies	29
4.3 Invloed op de vegetatie	29
4.3.1 Toelichting stalmest- en ijzerchloride bemesting	29
4.3.2 Methoden	30
4.3.3 Resultaten en discussie	30
4.3.4 Conclusies	34
5 Ontwikkelingen in vegetatieparameters	35
5.1 Methode	35
5.2 Resultaten en discussie	35
5.3 Conclusies	41
6 Synthese en conclusies	43
7 Literatuur	47

Praktijkgerichte managementsamenvatting

In de middenloop van de Reest werd van 1999 tot 2006 een proef uitgevoerd waarbij een Dotterbloemhooiland kunstmatig werd bevoeid met oppervlaktewater uit de Reest. Het doel van de proef was de gevolgen van bevoeiing als effectgerichte maatregel te toetsen op effectiviteit voor het herstel van verdroogde en verzuurde Dotterbloemhooilanden door aanvoer van baserijk oppervlaktewater. Zowel in een bevoeid als een niet-bevoeid (controle) perceel werden ontwikkelingen in water-, bodem- en vegetatieparameters gevolgd. Technische problemen bij de aanvoer van vloeiwatervan waren vanaf 2002 opgelost zodat over een periode van 4 jaar de ontwikkelingen konden worden gevolgd. Tussentijdse rapportages (Bakker et al. 2004) lieten een aanzet tot een gunstige ontwikkeling zien. Deze gunstige ontwikkeling heeft zich voortgezet tijdens de periode waarover dit vervolgonderzoek verslag doet. De belangrijkste conclusies van het onderzoek zijn:

- Winterbevoeiing is een effectieve maatregel voor herstel van verdroogde en verzuurde Dotterbloemgraslanden in madelanden van de middenloop van de Reest waar slechts sporadisch natuurlijke inundaties optreden;
- Bevoeiing heeft geleid tot terugkeer en uitbreiding van specifieke Calthion soorten zoals, Dotterbloem (*Caltha palustris*), Noordse zegge (*Carex aquatilis*), Waterkruiskruid (*Jacoba aquaticus*), Echte Koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*) en bijbehorende zeggenssoorten zoals Snavelzegge (*Carex rostrata*), Draadrus, (*Juncus filiformis*), en Moeraskartelblad (*Pedicularis palustris*);
- Het gunstige effect van bevoeiing komt vooral tot stand via aanvoer van baserijk 'slib' en van in oppervlaktewater opgelost kalium. Aanvoer van oppervlaktewater leidt niet tot een effect op grondwaterstanden maar wel tot een verbetering van de grondwaterachtige kwaliteit van het grondwater;
- Afgezet 'slib' bestaat voornamelijk uit organische stof waaraan veel ijzer en stikstof en in mindere mate calcium en kalium gehecht is.
- Door het aangevoerde ijzer stijgt de fosfaatadsorptiecapaciteit van de bodem en wordt de fosfaatbeschikbaarheid op een lager niveau gebufferd;
- Door het aangevoerde ijzer treedt onder natte omstandigheden in winter en voorjaar een pH verhogend effect van de bodem. Aanvoer van ijzeroxiden vergroot de redoxcapaciteit waardoor onder natte omstandigheden een versterkte reductie en zuurneutralisatie optreedt. In de zomer treden juist lagere pH waarden op waardoor bevoeiing met ijzerhoudend slib tot sterkere fluctuaties in pH leidt.
- Verhoging van de zuurbuffercapaciteit en de pH, opheffing van kaliumbeperking en verminderde fosfaatbeschikbaarheid zijn waarschijnlijk de sleutelfactoren voor het herstel van verdroogde en verzuurde Dotterbloemgraslanden in het Reestdal.
- De gunstige effecten van bevoeiing nemen niet weg dat de zuurgraad in de bevoeide percelen nog steeds lager is dan die in goed ontwikkelde referenties van Dotterbloemhooilanden. Voor een duurzaam herstel van Dotterbloemhooilanden langs de Reest blijft herstel van de grondwatertoevoer noodzakelijk.

Adviezen voor beheer

- Gunstige effecten van bevoeiing mogen verwacht worden in madelanden van de middenloop van beekdalen die hun oorsprong vinden in veengebieden, die als belangrijke bron van ijzer en kalium fungeren.
- Het effect van bevoeiing moet worden toegeschreven aan de aanvoer van organische stof, ijzer en kalium. Bij de extrapolatie van de resultaten zou het vloeiwatervan dus vooral zwevend organische stof, kalium en ijzer moeten bevatten

en geen leem of fosfaat. Leem bevat veel geadsorbeerd fosfaat. Leem kan worden geweerd door het water eerst door een bezinkingsbassin/ aanvoersloot te leiden.

- Winterbevloeiing zou in de periode november tot eind maart met regelmatige tussenpozen moeten worden toegepast.
- Periodiek hoge nitraatconcentraties in het aangevoerde vloeewater lijkt niet tot ernstige problemen te leiden.
- Aanvoer van sulfaathoudend water kan leiden tot interne eutrofiëring door mobilisatie van stikstof en vooral fosfaat in de bodem. Het risico van fosfaatmobilisatie is echter alleen aanwezig indien de verhouding tussen ijzer en sulfaat (Fe/S ratio) bij benadering gelijk is. Bodems van Dotterbloemhooilanden zijn over het algemeen veraard en zeer rijk aan ijzeroxiden. Bij dergelijk hoge Fe-gehalten is het risico van fosfaatmobilisatie door interne eutrofiëring gering.

Aanbevelingen voor de uitvoering van de regeling EGM

De resultaten van bevloeiing in praktijkvelden die in het kader van OBN onderzoek werden verkregen (Plateaux, Zijdebrug) en in het bijzonder de resultaten van het meerjarige bevloeiingsexperiment langs de Reest wijzen erop dat kunstmatige bevloeiing een effectief middel is voor het herstel van verzuurde dotterbloemhooilanden. Aanbevolen wordt bevloeiing de status van proefmaatregel te verlenen bij de toepassing van effectgerichte maatregelen ter bestrijding van verzuring en verdroging van dotterbloemhooilanden in middenlopen van beekdalen op het pleistoceen. Ondanks de zeer positieve effecten van de proef langs de Reest is nog slechts weinig ervaring in andere gebieden opgedaan, zodat met extrapolatie van de resultaten naar andere vergelijkbare gebieden omzichtig moet worden omgegaan. Om deze reden is het nog te vroeg om de status van reguliere maatregel toe te kennen.

Aanbevelingen voor het beleid

Middels onderzoek is nieuwe kennis gegenereerd over het effect van de oude landbouwkundige praktijk van bevloeiing, die kan worden ingezet ter bestrijding van verzuring van dotterbloemhooilanden in madelanden langs beekdalen. Het beleid wordt geadviseerd financiële middelen beschikbaar te stellen voor inrichting van kunstmatige vloeivelden en het beheer daarvan te subsidiëren conform de regeling EGM en de daaraan verbonden status als proefmaatregel. Tevens wordt nadrukkelijk geadviseerd een deel van de subsidiegelden te bestemmen voor extensieve monitoring van effecten.

Voor het beleid is het tevens van belang dat bevloeiing, mits op juiste wijze en plaatsen uitgevoerd, kan bijdragen aan waterberging zonder nadelige effecten op natuur en daarmee kan bijdragen aan de wateropgave conform de doelstellingen van het beleid zoals geformuleerd in Waterbeheer 21^{ste} eeuw.

1 Inleiding

Probleemstelling

In veel natte schraallanden neemt de verzuring van bodem en vegetatie snel toe omdat ontwatering van omliggende landbouwgebieden de toevoer van baserijk grondwater naar de natuurgebieden heeft verminderd. Op termijn zijn er vaak wel mogelijkheden om die landbouwontwatering weer ongedaan te maken door gebieden aan te kopen en vervolgens de ontwatering te verminderen, maar in afwachting daarvan is er grote behoefte om de verdere achteruitgang van bestaande natuurwaarden af te remmen door aangepaste hydrologische maatregelen. Bevloeiing met baserijk (oppervlakte) water is een van de opties. Bij veel natuurbeschermers bestaat nog veel weerstand om waterberging toe te staan in kwetsbare schrale natuurgebieden. Echter, de mogelijkheden hiervan zijn nog nauwelijks onderzocht. Uitblijven van inundaties levert vaak ook problemen op in de vorm van verzuring en verdroging. Het is zaak een goede balans te vinden.

Achtergrond

In zeer veel beekdalen werden vroeger door boeren vloeivelden aangelegd, welke bevoeid werden met baserijk oppervlaktewater. Hierdoor werd niet alleen verzuring bestreden, maar omdat de bodem hierdoor grotendeels en langdurig met water verzadigd is, neemt de warmtecapaciteit van de bodem sterk toe waardoor vermoedelijk ook vorstschade wordt voorkomen en de hergroei eerder begint (Burny 1999). Bovendien werd veelal slib afgezet met daarin mineralen. Over de ecologische effecten van dit traditionele beheer is erg weinig bekend. Om de effecten van herstel van het overstromingsregime beter te kunnen voorspellen hebben het Drentse Landschap, Royal HasKoning en de Rijksuniversiteit Groningen (OBN-regeling) een experimenteel vloeiveld langs de Reest ingericht op een plek waar vroeger ook een traditioneel vloeiveld heeft gelegen (Baaijens e.a. 2001).

De effecten van het bevoeien zijn gemonitord in de periode 1999-2003, waarbij de uitgangssituatie is vastgelegd en ook een stuk is afgeschermd van bevoeiing om als blanco te dienen (Grootjans et. al. 2001, Bakker et.al. 2004). De RUG heeft daarnaast in 2000 een aantal experimenten in het vloeiveld ingericht (bemesting met N, P, K, stalmest, kalk, ijzer, chloride). Om het effect van de behandelingen op de overleving van doelsoorten vast te stellen zijn in 2002 bovendien een aantal doelsoorten in deze experimenten ingezet (zaden van Dotterbloem, jonge planten van Echte Koekoeksbloem en Waterkruiskruid). Ook in andere vloeivelden (Plateaux in Brabant, Zijdebrug in Zuid Holland) heeft het deskundigen team Natte schraallanden in de periode 2000-2002 meer in detail een aantal bodemprocessen bestudeerd die bij bevoeiing een rol spelen (Kemmers et.al. 2003a, b).

De proef heeft de eerste twee jaren minder goed gefunctioneerd omdat de ingezette windmolen onvoldoende capaciteit had. In 2003 heeft het Drentse Landschap een pomp gehuurd van het Waterschap waardoor een intensievere bevoeiing gerealiseerd kon worden. De monitoring is na 2003 voortgezet. De vegetatie heeft mede als gevolg daarvan een sterke verandering ondergaan in positieve zin; sterke uitbreiding van Snavelzegge en toename van doelsoorten als Dotterbloem en Noordse zegge. Er werden aanvullende experimenten verricht om het effect van bevoeiing op de nutriëntenhuishouding van de vegetatie te kunnen vaststellen. Dit rapport vormt het verslag van het project waarin de ontwikkeling van de vegetatie na 2003 werd gemonitord en waarbij aanvullende experimenten werden uitgevoerd.

Doelstelling

Doel van het project is het bevoeiingsexperiment te continueren en kennis te genereren over de effecten van bevoeiing op de lange termijn en de effectiviteit van bevoeiing als praktijkgerichte maatregel voor herstel van verdroogde en verzuurde Dotterbloemgraslanden. De resultaten van het onderzoek zullen worden gebruikt voor en beoordeling van de geschiktheid van deze maatregel als proefmaatregel ter bestrijding van verdroging en verzuring van Dotterbloemgraslanden in beekdalen.

Hoewel advisering over mogelijkheden en onmogelijkheden voor waterberging geen expliciete projectdoelstelling is, kunnen de verkregen inzichten over effecten van bevoeiing tevens een bijdrage leveren aan de discussie over effecten van waterberging in natuurgebieden (Commissie Waterbeheer 21ste eeuw).

In deze rapportage zullen aan de orde komen:

- Onderzoeksopzet
- Resultaten van onderzoek met aandacht voor de volgende aspecten:
 - Hoeveelheid slib en daarin aanwezige nutriënten die via bevoeiing worden aangevoerd en de kwaliteit van het aangevoerde Reestwater.
 - Effect van aangevoerd slib en elementen op bodemkundige toestand (pH, basen-, redox- en fosfaattoestand (*incl. vergelijking met nutriëntentoestand in *Calthion* referenties*)).
 - Effect van bekalking en bemesting met stalmest en ijzerchloride op de overleving van geïntroduceerde soorten.
 - Effecten van aangevoerde elementen op de productiviteit en elementopname van de vegetatie.
 - Effect van bevoeiing op de ontwikkeling van de vegetatie in permanente kwadraten en op de ontwikkeling van een aantal aandacht soorten.
- Praktijkgerichte managementsamenvatting met adviezen voor beheer, aanbevelingen voor de uitvoering van de regeling EGM en aanbevelingen voor het beleid.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt op hoofdlijnen uiteengezet hoe het onderzoek naar slibaanvoer, effecten van aangevoerde stoffen op bodemprocessen en de vegetatieontwikkeling is opgezet en hoe deze onderzoekslijnen met elkaar samenhangen. Hoofdstuk 3 gaat meer gedetailleerd in op de methoden, de resultaten en conclusies van het onderzoek naar slibaanvoer via kunstmatige bevoeiing. Hoofdstuk 4 is een verslag van onderzoek naar de effecten van door slib aangevoerde elementen op fosfaatbeschikbaarheid en de zuurgraad in de bodem. In het tweede deel van dit hoofdstuk worden vervolgens de effecten daarvan op de productiviteit van de vegetatie besproken. Beide aspecten werden onderzocht met een bemestingsexperiment, waarbij bemest werd met door het vloeiwatervoorhanden aangevoerde stoffen: Fe, Ca en organische stof (i.e. vaste organische stalmest). In hoofdstuk 5 worden de vegetatiekundige ontwikkelingen gevolgd in bevoeide en niet bevoeide percelen met aandacht voor de overleving van geïntroduceerde plantensoorten, soortverspreiding en vegetatieontwikkeling in permanente kwadraten. Hoofdstuk 6 vindt een synthese plaats van de verschillende onderzoekslijnen en worden conclusies getrokken over de effectiviteit van bevoeiing. Dit hoofdstuk kan tevens als een wetenschappelijke samenvatting worden gezien.

2 Onderzoekopzet

In 2001 werd een experimenteel bevoeiingsveld opgezet langs de Reest vlakbij Oud-Avereest. Het veld bestaat uit een bevoeid gedeelte en een onbevoeide referentie, gescheiden door een aarden dam (Figuur 1). Het bevoeiingsveld kan via een pomp met water uit de Reest worden bevoeid. Aangrenzend is een compartiment afgescheiden waar geen bevoeiing plaatsvindt en dat als blanco wordt beschouwd. Van november tot april wordt volgens een cyclisch systeem bevoeid: gedurende een aantal dagen wordt Reestwater gepompt naar een aanvoersloot, van waaruit het water over het maaiveld wordt geleid, waarna de pomp wordt uitgeschakeld en het inundatiewater weer kan wegzakken. Voor een uitvoerige beschrijving van de experimentele opzet verwijzen we naar Bakker et.al. (2004). De volgende onderzoeklijnen zijn uitgezet, die elk in een afzonderlijk hoofdstuk nader zullen worden toegelicht :

- **Slibaanvoer.** In beide percelen zijn twee transecten met slibmatten uitgelegd. Met deze slibmatten wordt geanalyseerd hoeveel slib wordt aangevoerd via het inundatiewater en hoeveel nutriënten (N, P, K, Ca, Fe, organisch stof) daarin voorkomen.
- **Bemestingsexperimenten.** In beide percelen werden in duplo proefvelden ingericht om bemestingsexperimenten uit te voeren. In de proefvelden werd aanvankelijk onderzocht welk nutriënt (N, P, K) beperkend is voor de productie van de vegetatie en wat het effect van bevoeiing hierop is (Bakker et al. 2004). Aanvullend werd in het bemestingsexperiment onderzocht wat het effect is van Fe-bemesting, bekalking en stalmestbemesting op de bodem en de vegetatie. Met dit onderdeel werd beoogd de effecten van aanvoer van ijzer- en kalkrijk slib via bevoeiing te simuleren.
- **Ontwikkelingen in vegetatieparameters.** Binnen het bevoeide en het niet-bevoeide perceel zijn permanente kwadraten aangelegd waarvan de vegetatie periodiek wordt opgenomen. Bovendien worden een aantal aandachtsoorten in beide percelen gemonitord. Als onderdeel van het bemestingsexperiment werden kenmerkende soorten van het dotterbloem grasland geïntroduceerd en hun gevoeligheid (overlevingskans) voor de verschillende behandelingen geanalyseerd.

3 Slibaanvoer

3.1 Methode

Toelichting

De hoofdintentie van bevloeiing is aanvoer van calcium- en ijzerrijk slib met een minimum aan voedingsstoffen als N, P en K. Indien Ca en Fe inderdaad worden aangevoerd, dan heeft dit naast directe effecten op bodemtoestand indirect via bodemprocessen ook invloed op de vegetatie. De slibafzetting op de bodem via vloeewater gedurende de onderzoeksperiode zal minimaal zijn en moeilijk te onderzoeken op bodemkundige effecten. Wel werd onderzocht hoeveel slib (inclusief elementen als N, P, K, Ca, Fe) werd ingevangen door zgn. slibmatten.

Uitleggen slibmatten

Op 7 december 2004 zijn 20 slibmatten (40x40cm) uitgelegd in de percelen. Per perceel werden 2 transecten uitgelegd met elk 5 matten. Zowel in het bevoeide als niet bevoeide (controle) perceel werden matten uitgelegd (zie figuur 1). Op *at random* gekozen plaatsen in de strook werd de vegetatie zo diep mogelijk (inclusief een eventuele stobbe) weggeknipt, waarna de slibmat in de bodem werd verankerd met een spijker (18cm) op elk van de 4 hoekpunten (zie foto). Begin- en eindpunt van de raaien werd ingemeten met GPS. (zie Figuur 1). De slibmatten bestonden uit kunstgras (met ca. 0,5 cm hoge polen). Tijdens plaatsing stond op de meeste plaatsen het grondwater in het maaiveld. Na het plaatsen vloeide op beide percelen het aanwezige grondwater(deels) uit over de matten.

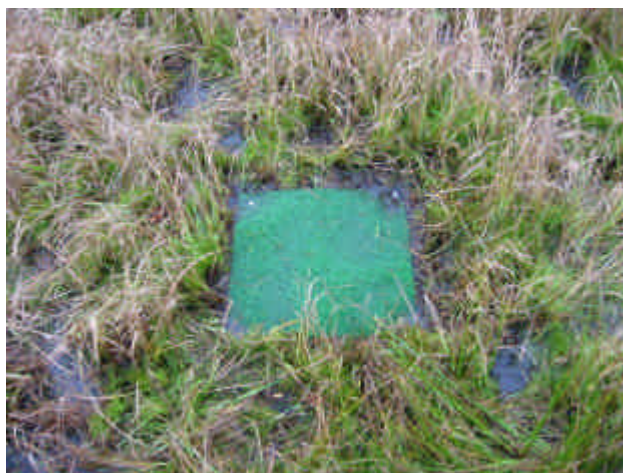
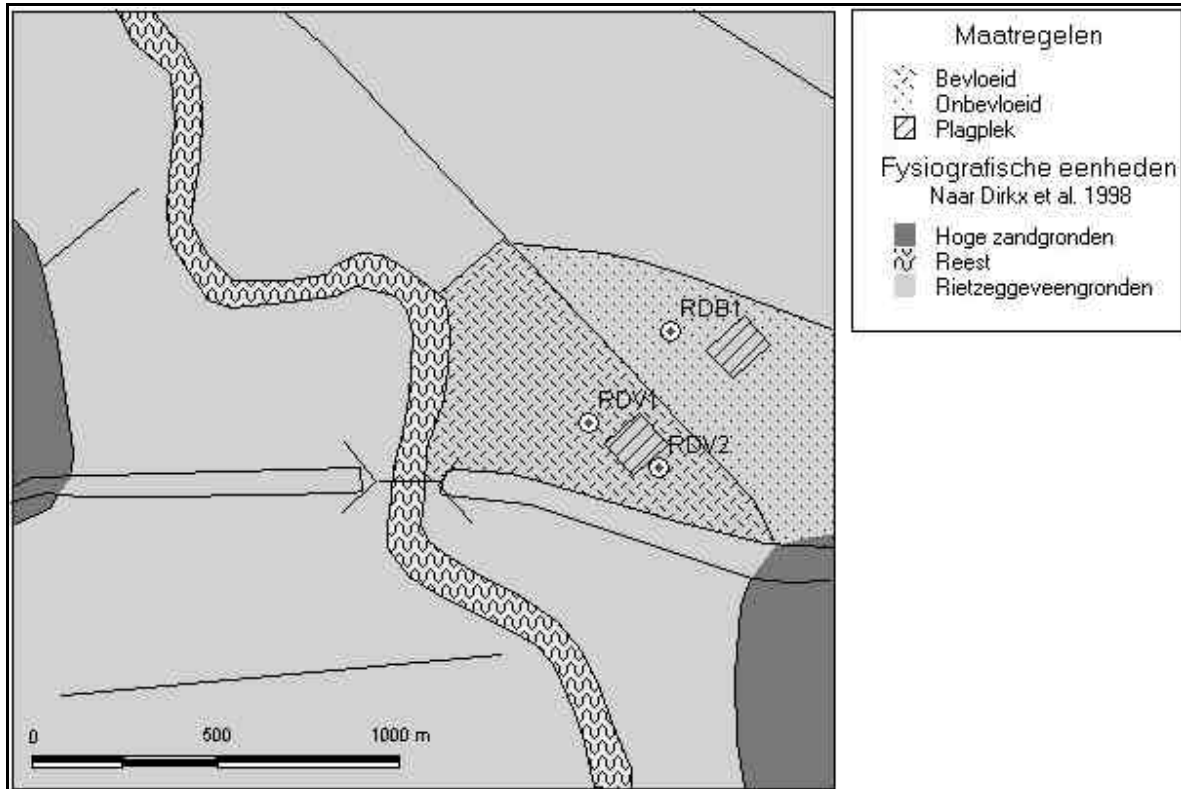


Foto 1: Een kunstgrasmat voor het invangen van slib



Figuur 1. Ligging van het bevoeide en onbevoeide perceel en de beide transecten (I en II) met slibmatten

Verzameling slib

Op 22 april zijn de slibmatten verwijderd en naar het laboratorium gebracht. In het lab werden de matten opgehangen in een bak en afgespoten met leidingwater. Daartoe werd de mat met een klem aan de rand van de bak bevestigd en in fasen afgespoten, steeds nadat de mat een kwartslag was gedraaid. Er werd afgespoten tot er visueel geen materiaal meer vanaf kwam. Hiervoor is steeds ca 15 liter water gebruikt. Het spoelwater werd in emmers overgebracht en werd 2 nachten met rust gelaten om te laten bezinken. Vervolgens werden de emmers afgeheveld. Omdat er sprake was van zichtbaar bezinksel op de bodem van de emmers werd verondersteld dat er geen of in een verwaarloosbare hoeveelheid gesuspendeerd slib mee afgeheveld werd. Het residu per emmer werd overgebracht in een aluminium bakje, gedroogd in een droogstoof bij 50 graden, waarna de monsters werden teruggewogen

Analyse slib

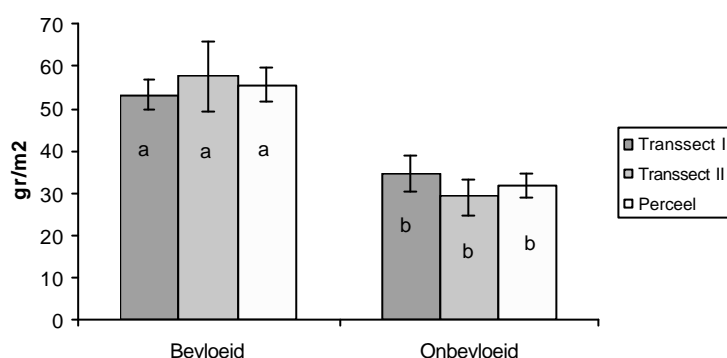
Doel van de slibanalyse is te kwantificeren welke stoffen en in welke hoeveelheid met het slib worden aangevoerd. De hoeveelheden slib per mat bleken onvoldoende om alle beoogde analyses te kunnen uitvoeren. Per raai van 5 matten werd het slib daarom bij elkaar gevoegd tot een mengmonster. Wel kon de massa van het verzamelde slib per mat worden vastgesteld.

De matten werden geanalyseerd op slibmassa, organisch stofgehalte (gloeiverlies), N_{tot} , P_{tot} (destructie met $H_2SO_4/H_2O_2/Se$), K_{tot} -gehalte, uitwisselbaar Ca (gebufferde $BaCl_2$ extractie volgens Bascomb) en gehalte Fe_{tot} (destructie met koningswater).

3.2 Resultaten

Slibaanvoer

Tussen het voorste transect I en achterste transect II beide bestaande uit 5 slibmatten) van zowel het bevoeide als het onbevoeide perceel (zie figuur 1) bestaat geen significant verschil in de hoeveelheid afgezet slib (zie figuur 2). Binnen elk perceel wordt dus overal evenveel slib afgezet. In zijn totaliteit werd met de matten in het bevoeide perceel significant meer slib ingevangen ($55,56 \text{ g.m}^{-2}$) dan in het onbevoeide perceel ($31,9 \text{ g.m}^{-2}$). Opvallend is dat in het onbevoeide perceel toch slib wordt ingevangen in de matten. Dit lijkt te moeten worden toegeschreven aan het 'slib' dat tijdens inundatie door interne erosie uit de bodem van het onbevoeide perceel wordt opgewarrelt en weer wordt afgezet. Het effect van bevoeiing is dus significant en komt overeen met het verschil tussen het bevoeide en onbevoeide perceel. Dit verschil bedraagt $22,66 (\pm 17,0) \text{ g.m}^{-2}$.



Figuur 2. Hoeveelheden ingevangen slib in de slibmatten van twee transecten in het bevoeide en niet bevoeide perceel. Verschillen in letters geven een significant verschil ($T_{prob} < 0,05$) aan.

Aanvoer elementen

Er was per individuele slibmat te weinig slib ingevangen om over voldoende materiaal te kunnen beschikken voor chemische analyse. Daarom zijn per transect van het bevoeide en onbevoeide perceel de slibmassa's van de 5 matten gebulkt. Van deze bulkmonsters werden de elementgehalten bepaald. Per perceel kon daarom slechts over twee analyseresultaten worden beschikt. Een vergelijking tussen de transecten van elk perceel was daardoor niet mogelijk.

Met een student T-toets konden in de elementgehalten van het ingevangen slib van het bevoeide en onbevoeide perceel nauwelijks verschillen worden aangetoond ($T_{prob} < 0,05$; zie Tabel 1). Ook niet als getoetst werd in de veronderstelling dat de populaties een ongelijke variantie hadden en de T-toets iets minder kritisch was (type 2). Door de elementgehalten te vermenigvuldigen met de aangevoerde slibmassa werden de met het slib aangevoerde hoeveelheden elementen berekend en getoetst op verschillen. Het blijkt dan dat er enige aanwijzing is (zwak significant ($T_{prob} < 0,1$)) dat door bevoeiing iets meer stikstof, kalium, organische stof, calcium en ijzer wordt aangevoerd dan in het niet bevoeide perceel. Er werd geen fosfaateffect gemeten.

Tabel 1 Elementgehalten van ingevangen slib en aangevoerde hoeveelheden slib met elementen in het bevoeide en onbevoeide perceel. In elk perceel werden 2 raaien met 5 monsters (R1 t/m R5 etc.) verzameld

monster nr.		N (g/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	org.stof %	Slibmassa g/m ²	N (g/m ²)	P (mg/m ²)	K (mg/m ²)	org.stof g/m ²
aantoonbaarheidsgrens		0,2	100							
Bevoeid	R1 t/m R5	14,1	1695	1761	82,93	53,48	0,76	90,64	94,15	44,35
	R6 t/m R10	15,3	1926	1049	74,32	57,65	0,88	111,01	60,47	42,85
Onbevoeid	R11 t/m R15	14,8	2944	1020	83,31	34,56	0,51	101,76	35,27	28,79
	R16 t/m R20	10,1	2115	342	78,06	29,24	0,30	61,85	10,01	22,82
T-toets, type 3		0,50	0,32	0,28	0,73		0,11	0,51	0,13	0,09
T-toets, type 2		0,44	0,24	0,28	0,72		0,08	0,49	0,12	0,03

monster nr.		Ca (g/kg)	Fe (g/kg)	pH	Slibmassa g/m ²	Ca (g/m ²)	Fe (g/m ²)
Bevoeid	R1 t/m R5	9	47	6,55	53,48	0,50	2,53
	R6 t/m R10	11	71	6,52	57,65	0,64	4,11
Onbevoeid	R11 t/m R15	10	46	7,32	34,56	0,34	1,59
	R16 t/m R20	11	65	7,75	29,24	0,32	1,91
T-toets, type 3		0,91	0,84	0,13		0,18	0,29
T-toets, type 2		0,91	0,84	0,04		0,07	0,19

Hoewel steeds gesproken wordt van slib, blijkt uit de analyses dat het ingevangen materiaal vooral uit organische stof bestaat (75-85%). Door de gemiddelde getallen van het onbevoeide perceel af te trekken van het bevoeide perceel kan het bevoeiingseffect worden gekwantificeerd. Door bevoeiing zou dan per hectare 178 kg organische stof, 15,7 kg Fe, 4 kg N, 2,4 kg Ca en 0,547 kg K extra worden aangevoerd. In absolute zin worden door bevoeiing dus vooral organische stof, ijzer en stikstof in de bodem gebracht en in mindere mate calcium en kalium.

Discussie

Door Runhaar en Jansen (2004) werd op vijf locaties langs de Dommel, Overijsselse Vecht, Reest en Drentse Aa een vergelijkend onderzoek uitgevoerd naar effecten van overstroming op de productiviteit van vegetaties. Wat betreft de aanvoer van nutriënten leverde hun onderzoek duidelijke aanwijzingen op dat het aangevoerde sediment de belangrijkste bron van voedingsstoffen is en dat in het water opgeloste elementen geen wezenlijke bijdrage leveren. Overstromingsduur en -frequentie en de oppervlaktewaterkwaliteit correleerden evenmin met de vegetatieproductie. Zij concludeerden dat als gevolg van afzetting van P-rijk slib fosfor in de onderzochte overstromingsvlakten nergens beperkend is en dat waarschijnlijk kalium de productie van de vegetatie beperkte.

Sival et al. (in prep.) stelden vast dat tijdens natuurlijke overstromingen in de winter nabij de Havixhorst op 100-200 m afstand vanaf de Reest 13-31,6 g slib.m⁻² werd afgezet waarmee 240 tot 550 mgN.m⁻² en 80-150 mgP.m⁻² werd aangevoerd. Dit is tot 5,5 kg N.ha⁻¹ en 1,5 kg P.ha⁻¹. De 'slib' massa bestond voor ruim de helft uit organische stof en voor 30-35% uit leem en voor de rest uit zand. Aanvoer van kalium werd niet gemeten. De hoeveelheid sediment die wordt afgezet en de textuur daarvan blijkt sterk gecorreleerd te zijn met de afstand tot de beek. In het water van de Reest maten zij 0,0041 mg.L⁻¹ zwevend stof met een N-gehalte van 1,8 gN.100g⁻¹ droge stof.

In verschillende onderzoeken werd gedurende de afgelopen jaren de waterkwaliteit van de Reest in verschillende seizoenen gemeten (Tabel 2).

Tabel 2 Chemische samenstelling van het oppervlaktewater van de Reest

Locatie	monster datum	pH	Ca	Fe	K	Mg	Na	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ortho-P	SO ₄ ²⁻
		mg/l									
Reest Oud Avereest (Kemmers et al. 2003)	sept 2001	6,9	31,5	6,0	8,5	5,7	22,5	2,1	1,90	0,30	24,5
Reest Oud Avereest (Bakker et al. 2004)	iuni 2003	6,3	23,5	6,2	7,2	5,1	26,7	0,4	0,55	0,09	25,7
Reest Halfweg (Sival et al. In prep)	mrt 2004	6,8						13,8	0,04	0,10	

De nitraatconcentratie lijkt sterk te variëren en in het zomerseizoen lagere waarden aan te nemen dan in najaar en winter. Met uitzondering van kalium hebben de overige elementen concentraties die in orde van grootte overeenkomen met de samenstelling van het grondwater onder het onderzoeksterrein. Opvallend zijn de hoge concentraties kalium van het oppervlaktewater, die ongeveer een factor 10 hoger zijn dan die van het grondwater. Via inundatie vanuit de Reest wordt dus relatief veel kalium aangevoerd naar de wortelzone van de vegetatie.

3.3 Conclusie

Door bevloeiing wordt per hectare ca. 227 kg slib, 178 kg organische stof, 15,7 mg Fe, 4, kg N, 2,4 kg Ca en 0,547 kg K afgezet in de bodem van het experimentele bevloeiingsveld. Daarnaast bevat het oppervlaktewater zelf veel kalium. In absolute zin worden door bevloeiing dus vooral organische stof, ijzer, stikstof en kalium en in mindere mate calcium op de bodem afgezet. De kunstmatige sediment- en stikstofaanvoer bij het experimentele bevloeiingsveld is in orde van grootte goed vergelijkbaar met de aanvoer via natuurlijke inundatie vanuit de Reest tijdens het winterseizoen. Bij de experimentele vloeivelden wordt echter duidelijk minder zand en leem afgezet en kon geen aanvoer van fosfaat worden vastgesteld. Mogelijk dat fosfaat dus vooral gehecht is aan de leemfractie van het 'slib' en daarom in het experimentele bevloeiingsveld niet werd aangetoond. Bij natuurlijke inundaties met veel slib lijkt wel extra fosfaat te worden aangevoerd.

4 Effecten van bevloeiing op bodem en vegetatie

4.1 Doel kalk- en ijzerbemesting

Als surrogaat voor het bestuderen van de bodemkundige en vegetatiekundige gevolgen van slibaanvoer is het effect van kalk- en ijzerbemesting (ijzerchloride- en ijzerhoudend slib) op de bodem onderzocht. Omdat in het eerste jaar ijzerchloridebemesting tot een desastreus effect op de vegetatie leidde, (HCl vorming en zuurproductie) is deze behandeling niet verder in het onderzoek betrokken. Er werden twee onderzoekslijnen uitgezet. Via lijn 1 werd onderzocht hoe Ca- en Fe-additie de bodemtoestand beïnvloeden. Via lijn 2 werd onderzocht hoe Ca- en Fe-additie de productie van de vegetatie beïnvloeden.

Lijn 1: Bodem

- Aanvoer van Ca moet verzuring tegengaan door de basenverzadiging op te krikken. Dit is getoetst door de pH-KCl te meten in de (3x2) bekalkte en (3x2) blanco plots (pH-KCl is een voorspeller voor de Ca-bezetting). Naast een analyse van bodemmonsters werd daartoe de veld-pH met een sonde in de bodem gemeten. De veldmetingen van de pH werden in de tijd herhaald.
- Aanvoer van Fe moet via vergroting van de voorraad ijzeroxiden, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, in de bodem de redoxcapaciteit opvoeren, zodat er een grotere zuurconsumptie plaats kan vinden onder natte omstandigheden in winter/voorjaar. Behandelde plots (3x2) zouden dan een hogere pH-KCl moeten hebben dan de blanco plots (3x2).
- Een grotere voorraad ijzeroxiden vergroot ook de P-adsorptiecapaciteit. Behandelde plots zouden hierdoor meer fosfaat adsorberen dan de blanco plots. Versterkte P-adsorptie gaat samen met een verminderde beschikbaarheid van fosfaat (P_{water}). Bij dit proces speelt mogelijk ook een seizoenseffect; in winter/voorjaar heersen vooral reducerende omstandigheden, wat naar verwachting leidt tot P-mobilisatie, in hoogzomer vooral oxiderende omstandigheden en P-fixatie. Dit aspect werd zowel in het bevoeide als onbevoeide perceel bestudeerd, omdat er interactie verwacht mag worden tussen met Fe-slib behandelde plots en terreincondities (vernatting) die door bevloeiing ontstaan. Door bevloeiing wordt immers niet alleen Fe aangevoerd maar wordt de bodem ook natter. Dus om een gebalanceerde proefopzet te krijgen moest ook gemeten worden in het onbevoeide perceel.

Lijn 2: Vegetatie

- Calcium beïnvloedt de pH, de pH beïnvloedt de N-mineralisatie en daarmee de beschikbaarheid van stikstof voor de productie van de vegetatie. IJzer beïnvloedt de fosfaatadsorptie en daarmee de beschikbaarheid van fosfaat voor de productie van de vegetatie. In bekalkte plots, Fe-slibplots en blancs van het bemestings-experiment werd daarom de vegetatie geoogst en geanalyseerd op droge stofproductie, N, P en K.

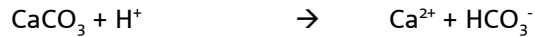
4.2 Invloed op de bodem

In de volgende paragrafen worden de methoden en resultaten van de eerste onderzoekslijn besproken: de effecten van slibaanvoer op de bodem.

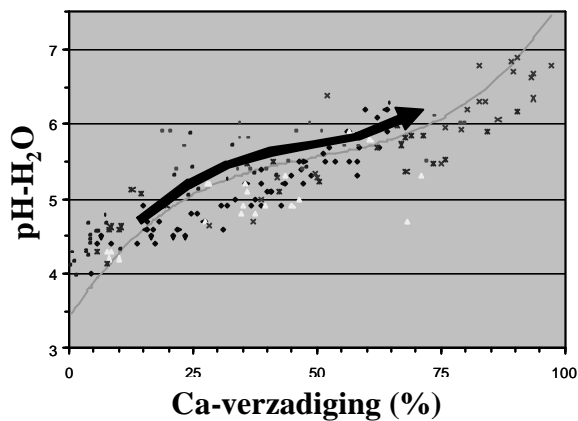
4.2.1 Te verwachten effecten kalk- en ijzerbemesting

Kalkbemesting

Na toevoeging aan de bodem lost kalk (CaCO_3) door opname van zuurionen en vormen zich Ca^{2+} en HCO_3^- ionen volgens:



Na de afgenomen H^+ concentratie in het bodemvocht herstelt zich een evenwicht waardoor aan het adsorptiecomplex geadsorbeerde zuurionen weer in oplossing komen. De H^+ -bezetting daalt hierdoor en de Ca-ionen nemen op het adsorptiecomplex de plaats in van de zuurionen. Hierdoor stijgt de Ca-verzadiging en daalt de zuurgraad (de pH stijgt) van de bodem zoals aangegeven in figuur 3).



Figuur 3. Verband tussen zuurgraad en calciumverzadiging en theoretisch effect (pijl) van bekalking op deze relatie BRON?

Ijzerbemesting

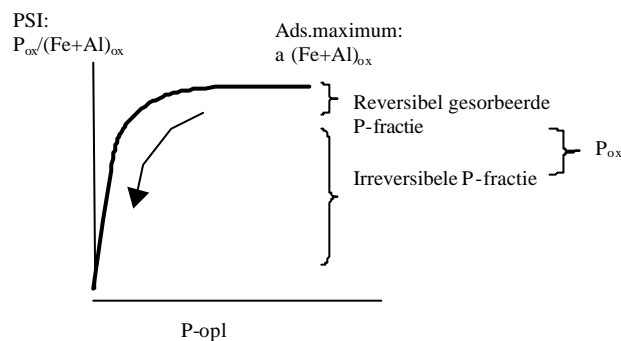
Anorganische fosfaat in een bodemvochttoplossing (P-opl) wordt verondersteld te worden geadsorbeerd aan ijzer- en aluminiumoxiden (Fe+Al_{ox}), waarna zich een evenwichtsreactie instelt tussen opgelost en geadsorbeerd fosfaat (Koopmans 2004). Dit evenwicht wordt beschreven door een adsorptie-isotherm (zie Figuur 4).

De Y-as ($\text{P}_{\text{ox}}/[\text{Al+Fe}]_{\text{ox}}$) van figuur 4 geeft de fosfaatverzadigingsindex (kortweg PSI) weer, die aangeeft welk deel van de maximale fosfaatadsorptiecapaciteit is benut. De PSI kan een maximale waarde (a) van 0,4 à 0,5 bereiken (Van Riemsdijk et al., 1984; Koopmans 2004). Er is dan sprake van een adsorptiemaximum (Q_{max}). Het suffix 'ox' heeft betrekking op de extractie van fosfaat, aluminium- en ijzeroxiden met ammoniumoxalaat (Schwertmann, 1964). Deze extractiemethode ontsluit de reactieve ijzer- en aluminiumoxiden waaraan fosfaat kan worden geadsorbeerd. Figuur 4 geeft het verband weer tussen de geadsorbeerde fosfaatfractie (PSI) en opgelost fosfaat (P-opl). Dit verband verloopt niet lineair. 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 et al. 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.

Onder natte omstandigheden kunnen micro-organismen organische stof afbreken door gebruik te maken van andere oxidatoren dan zuurstof, zoals b.v. van Fe^{3+} dat als ijzer(hydr)oxide ligt opgeslagen (redoxreactie). Voor redoxreacties moet er wel voldoende makkelijk oxideerbaar afbreekbaar organisch materiaal aanwezig zijn. IJzer(hydr)oxiden worden dan gereduceerd en lossen daarbij op. De fosfaat-adsorptiecapaciteit daalt en de PSI stijgt hierdoor echter. Dit leidt volgens figuur 4 tot een stijging van de fosfaatconcentratie (P-mobilisatie). Als interessant nevenaspect treedt bij reductie een stijging van de pH op.

Door bemesting met ijzerhoudend slib worden ijzeroxiden in de bodem gebracht, waardoor de fosfaatadsorptiecapaciteit van de bodem toeneemt en meer fosfaat kan worden gebonden. Door verschuiving van het evenwicht daalt de fosfaatconcentratie in het bodemvocht en stijgt de geadsorbeerde fosfaatfractie. IJzerbemesting moet theoretisch dus leiden tot een lagere beschikbaarheid van fosfaat voor de vegetatie. Doordat ijzeroxiden onderhevig zijn aan redoxprocessen moet ook rekening worden gehouden met seizoenseffecten als gevolg van wisselend natte en droge omstandigheden.



Figuur 4. Verband tussen geadsorbeerd en opgelost fosfaat. Met een pijl is het theoretisch effect van ijzerbemesting op de fosfaatconcentratie in het bodemvocht aangegeven.

Hypothese

Verwacht werd dat kalkaanvoer zou leiden tot een pH-verhogend effect. IJeraanvoer zou leiden tot een versterkte fixatie van fosfaat, zeker in zomerperioden. Onder natte omstandigheden in het voorjaar zou het fosfaatgedrag afwijken van dat in de drogere zomerperiode vanwege het effect van ijzerreductie op de fosfaatadsorptie. Naast beïnvloeding van het fosfaatgedrag werd ook een pH verhogend effect in de winter van ijzerbemesting verwacht.

4.2.2 Methoden

Bemesting

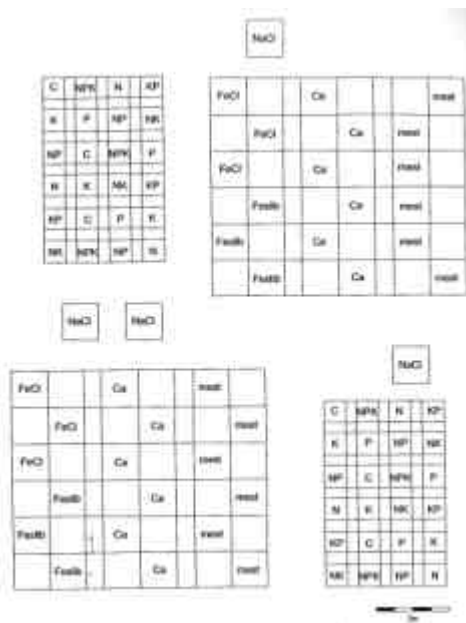
Stalmest en kalk werden jaarlijks toegevoegd. De jaarlijkse kalkgift bestond uit 200 g Emkal per m^2 en de stalmestmestgift uit 350 gr droge organische mest per m^2 . Bemesting met ijzerchloride en ijzerhoudend slib is eenmalig uitgevoerd. Omgerekend bedroeg zowel FeCl_3 als Fe-slib bemesting uit $1867 \text{ kgFe} \cdot \text{ha}^{-1}$. Dit komt overeen met ca. $61 \text{ mmolFe} \cdot \text{dm}^{-2}$, wat een substantiële hoeveelheid is vergeleken bij het ijzeroxalaatgehalte van het controle plot op het niet bevoeide perceel in de zomer ($425 \text{ mmolFe} \cdot \text{kg}^{-1}$, zie figuur 10).

Bemonstering

Op zowel bevoeide als niet bevoeide percelen werden de bemestingsexperimenten uitgevoerd met blanco's (Figuur 5, zie ook Bakker et al. 2004). Om seizoensaspecten te kunnen analyseren zijn de bemeste percelen en blanco's zowel in het voorjaar als in de zomer in duplo bemonsterd met elk 3 herhalingen. Op 22 april 2005 zijn de bodemonsters gestoken om de effecten van Fe- en Ca-bemesting te onderzoeken (voorjaarsronde). Op 8 juli is de bodembemonstering herhaald (zomerronde). Bodembemonstering vond plaats binnen de behandelingsvlakken (blanco, kalkbemesting en Fe-bemesting) van het bevoeide en onbevoeide perceel. In elk bemestings- (of blanco)vlak van 1x1 m werd nabij de hoekpunten en in het midden een subsample gestoken en gebulkt tot een mengmonster (0-5 cm-mv).

Naast laboratoriumanalyses werden veldmetingen van de pH uitgevoerd om het verloop ervan in de tijd te kunnen vaststellen. De veldmetingen werden per vlak (1x1m) in 3-voud uitgevoerd. Iedere behandeling is in het experiment 12 maal herhaald, zodat in totaal iedere behandeling in 36-voud gemeten werd. De ijzer(slib)behandelingen zijn aanwezig met 6 herhalingen. Hier werd per plot 6 maal gemeten om tot een zelfde aantal metingen te komen. Deze pH metingen werden regelmatig in de tijd herhaald (Van Dijk & Nijp 2006)

Het verschil tussen pH meting na KCl extractie in het lab en met een veldsonde is dat met deze laatste methode de H^+ concentratie in het bodemvocht wordt gemeten. De pH-KCl meet de geadsorbeerde H^+ ionen op het adsorptiecomplex. Tussen geadsorbeerde en opgeloste H^+ ionen is een evenwicht aanwezig, waarbij meer ionen geadsorbeerd zijn dan in oplossing. Dit resulteert doorgaands in lagere pH-KCl waarden dan pH veldwaarden.



Figuur 5. Opzet bemestingsexperiment in duplo voor bevoeide en niet bevoeide perceel.

Analyses

Veldmetingen van de pH werden met een Sentron-pH meter uitgevoerd.

De bodemonsters werden in het laboratorium geanalyseerd op de zuurgraad (pH-KCl) en verschillende parameters om het aan ijzer- en aluminiumoxiden geadsorbeerd fosfaat en in bodemvocht opgelost fosfaat te kunnen bepalen:

- oxalaat extraheerbaar Al, Fe en P (Schwertman, 1964).
- wateroplosbaar P (P_{water}) bij een extractie verhouding tussen vaste delen en water van 1:2 en schudden gedurende 1 hr bij 130 spm (Koopmans, 2004).

4.2.3 Resultaten en discussie Ca- en Fe-bemesting

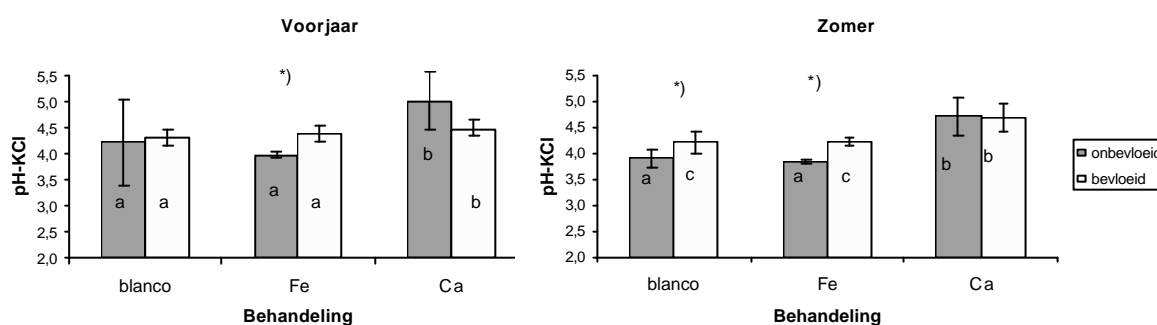
Bij Fe-bemesting wordt in het vervolg gedomd op bemesting met ijzerhoudend slob tenzij nadrukkelijk FeCl₃ wordt aangegeven.

Effecten op zuurgraad

Figuur 6 geeft de resultaten van de pH-KCl metingen. In de voorjaarsperiode vertoonden de duplo's voor blanco, kalk- en ijzerbemesting geen verschil in pH voor het onbevloeide en het bevloeide perceel. Hieruit kan worden geconcludeerd dat er geen ruimtelijke verschillen zijn.

Voorjaar

In het onbevloeide perceel leidt bekalking (zie figuur 6a) in het voorjaar tot een zwak significant hogere pH ($T_{\text{prob}}=0,08$). Fe bemesting leidt niet tot een significant pH effect. Bemesting met kalk leidt tot een sterk significant hogere pH dan met ijzerslob. Ook in het bevloeide perceel is alleen van kalkbemesting een significant effect aanwezig op de pH-KCl. Bevloeiing leidt bij Fe-bemesting tot een sterk significant hogere pH-KCl dan wanneer niet wordt bevloeid (Fig 6a). Een verklaring hiervoor is dat bevloeiing tot nattere en reducerende milieus leidt, waardoor de opgebrachte ijzeroxiden gaan reduceren wat een zuurconsumerend effect heeft. Bovendien wordt door het vloeewater organische stof aangevoerd dat als elektronendonor bij reductie van belang is. Er zijn dus belangrijke interacties tussen bemesting (Fe-aanvoer) en bevloeiing c.q. natte of droge terreincondities. Bij bekalking leidt bevloeiing niet tot een ander effect op de pH dan wanneer niet wordt bevloeid.



Figuur 6. Effecten van ijzer- en kalkbemesting in bevloeide en onbevloeide percelen op de pH-KCl in het voorjaar en in de zomer 2005. Verschillen in letters geven een significant verschil in effect van mestbehandling aan. Een asterisk geeft een significant effect van bevloeiing aan binnen een mestbehandling.

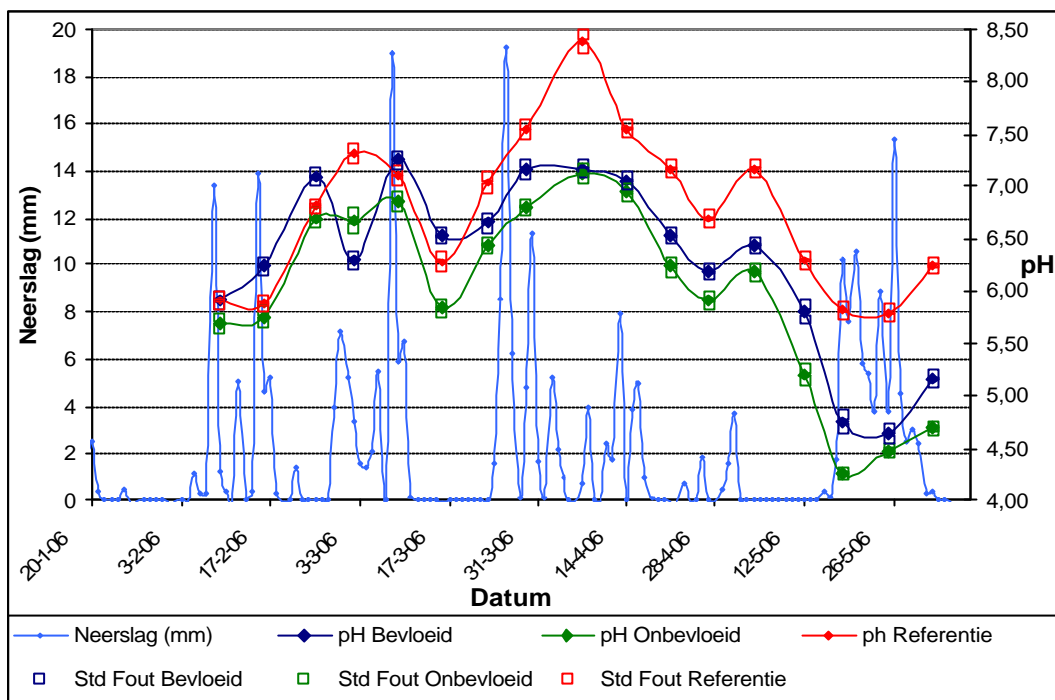
Zomer

In de zomerperiode is in het bevloeide en onbevloeide veld geen effect van Fe-bemesting te zien (zie fig. 6b). Dit kan worden verklaard uit het optreden van oxiderende omstandigheden, waardoor vorming van ijzeroxiden optreedt, wat een zuurproducerend effect heeft. Kalkbemesting leidt tot een significant hogere pH in de zomer. Bevloeiing leidt zowel bij de blanco als de Fe-bemesting tot een significant hogere pH dan wanneer niet wordt bevloeid. Het ontbreken van het bevloeiingseffect in het blanco veld in het voorjaar is waarschijnlijk toe te schrijven aan de grote standaardfout. in de metingen tijdens het voorjaar.

Effecten op verloop van de zuurgraad (2006)

Effecten van bevloeiing

Uit de (veld) pH metingen in 2006 blijkt dat de pH in het referentieveld met de goed ontwikkelde Dotterbloemvegetatie aan de Overijsselse kant van de Reest gemiddeld een halve eenheid hoger is dan in het bevloeide veld (Figuur 7a). De pH van het bevloeide veld is met uitzondering van een eenmalige waarneming in maart altijd hoger dan de pH van het onbevloeide veld.



Figuur 7a. Verloop zuurgraad van het bevloaide, onbevloaide en referentieveld in relatie tot de neerslag.

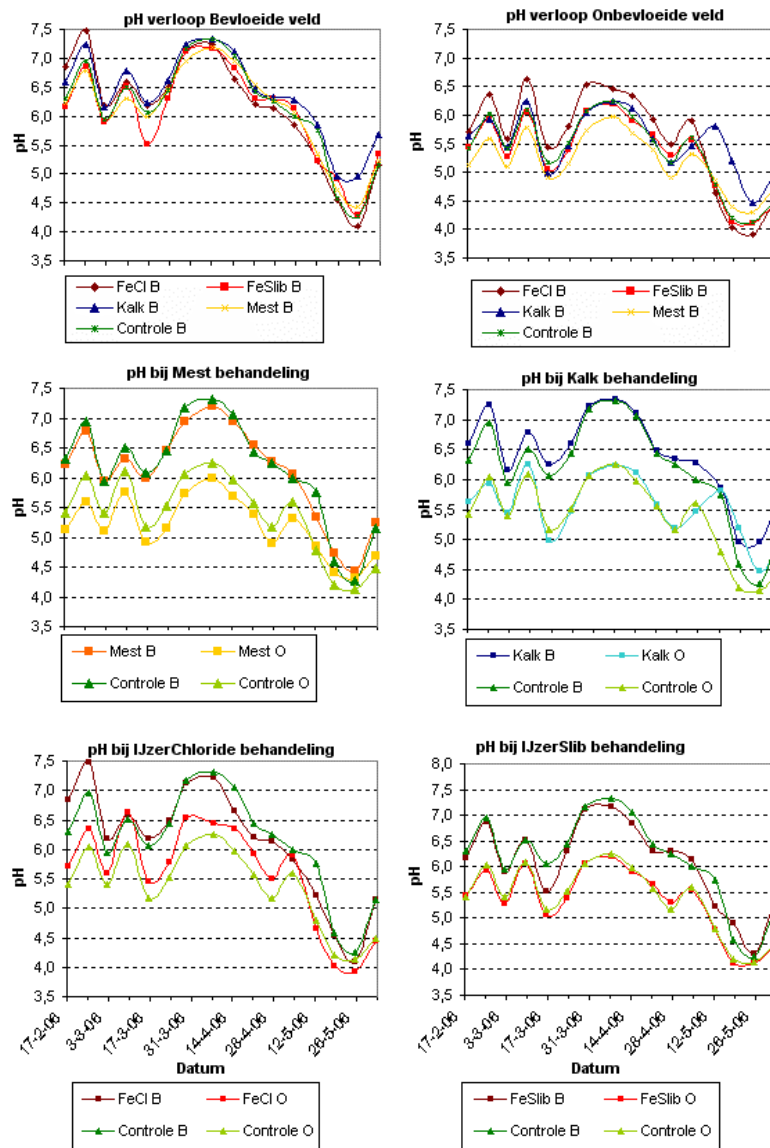
Vanaf mei begint de pH aanzienlijk te dalen. Dit wordt veroorzaakt door een droge, warme periode, waardoor een hoge verdamping is opgetreden. Gedurende de gehele maand mei is er vrij weinig neerslag gevallen. Door de verlaagde grondwaterstand verandert de gereduceerde bodem in een geoxideerd milieu, waarbij H^+ ionen vrij komen en zo bijdragen aan een verhoging van de zuurgraad, die zich voortzet tot het begin van juni. Begin juni is vrij veel neerslag gevallen waardoor de pH weer enigszins stijgt. De pH daling is tussen 4 mei en 18 mei in het referentieveld het kleinst (1,4), gevolgd door het bevloaide veld (1,7). In het onbevloaide veld is de pH in de genoemde periode met bijna 2 eenheden gedaald. Dit geeft aan dat bevloeiing bijdraagt aan een hoger zuurbufferend vermogen van de bodem door de aanvoer van ijzer(hydr)oxiden, waardoor de redoxcapaciteit toeneemt en zuurconsumerende processen worden gestimuleerd. Het gewenste effect is echter (nog) niet bereikt.

Effecten van meststof toevoegingen

Toevoegen van ijzerslib heeft geen effect op de pH van zowel het bevloaide en onbevloaide veld (Figuur 7b). Toevoeging van ijzerchloride heeft in de natte periode in het bevloaide veld een verhogend effect op de pH (februari-begin maart). In het onbevloaide veld zet deze verhoging iets langer door tot half april. Een verklaring is hiervoor moeilijk te geven.

Pas een maand na het toevoegen van kalk (op 28 Maart 2006) blijkt een significant verschil tussen de bevloaide kalk en bevloaide controle behandeling te worden gevonden. Ook in het onbevloaide veld duurt het minstens drie weken voor een significant effect van bekalking op de pH wordt gevonden. Bij de bevloaide versie blijkt dat de zuurgraad van de kalkbehandeling twee weken later significant af wijkt van de zuurgraad bij de controle behandeling dan bij de onbevloaide variant. Dit wordt veroorzaakt door de bevloeiing, waarbij de zuurgraad blijkbaar nog 2 weken langer gebufferd wordt. Dit blijkt ook uit de vergelijking van de onbevloaide met bevloaide controle behandelingen, waar vanaf 12 mei geen significant verschil in zuurgraad optreedt

Toevoeging van dierlijke mest heeft geen significant effect op de pH. In het onbevloeide veld was de pH in de controle zelfs hoger dan in de mest plots, maar dit was ook al het geval voor het toedienen van mest op 28 Maart.



Figuur 7b. Verloop van zuurgraad per behandeling in bevloeiende en onbevloeiende percelen

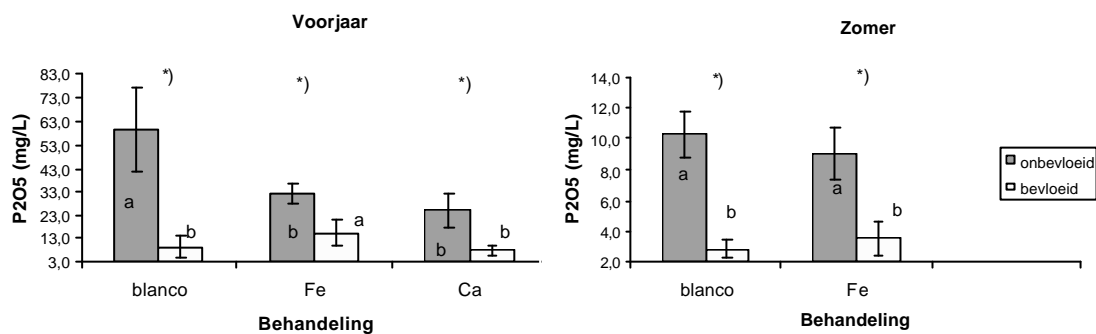
Effecten op beschikbaar fosfaat

In de voorjaarsperiode leidt in het onbevloeide perceel zowel Fe- als Ca-bemesting tot significant lagere P_{water} gehalten (Fig 8a). In het bevloeiende perceel leidt alleen Fe-bemesting tot significant hogere P_{water} gehalten. Bevloeiing leidt zowel bij de blanco als bij de Fe- en Ca-bemesting tot significant lagere P_{water} gehalten. Een verklaring voor het effect van Fe-bemesting in het onbevloeide perceel is dat toevoeging van ijzeroxiden de fosfaatadsorptiecapaciteit verhoogt waardoor meer fosfaat wordt gefixeerd en minder fosfaat in wateroplosbare vorm (P_{water}) beschikbaar blijft. Door bekalking stijgt de pH waardoor ijzeroxiden (waaraan P in de bodem gebonden is) minder makkelijk oplossen en P sterker wordt gefixeerd, zodat weinig wateroplosbaar fosfaat wordt gemeten. Kennelijk heeft bekalking dus indirect via de pH effect op de fosfaatbeschikbaarheid. Het effect van bevloeiing bij blanco, Fe- en Ca-bemesting kan worden verklaard uit de nattere omstandigheden, waardoor reducerende processen

op gang komen en ijzeroxiden en daaraan gebonden P, in oplossing komen. De fosfaatadsorptiecapaciteit daalt dientengevolge, waardoor fosfaat wordt gemobiliseerd en een toename van P_{water} verwacht zou worden. P_{water} wordt door bevloeiing echter verlaagd wat wijst op plantopname, uitspoeling dan wel afvoer via het vloeiwat. Ook in dit geval is sprake van een sterke interactie tussen ijzeraanvoer en terreincondities (droog, nat).

In de zomerperiode leidt Fe-bemesting zowel in het onbevloeide als het bevloeide veld niet tot een effect op het P_{water} gehalte (Fig. 8b). Bevloeiing leidt zowel met als zonder Fe-bemesting tot een zeer sterk significant lager P_{water} gehalte.

Zowel in voorjaar als in zomer worden op het bevloeide veld dus significant lagere P_{water} gehalten gevonden, ongeacht de behandeling. Hieruit kan worden afgeleid dat bevloeiing tot vermindering van makkelijk beschikbaar fosfaat leidt. Opvallend is dat in de zomerperiode bij alle behandelingen aanzienlijk lagere waarden van P_{water} gehalten worden gemeten dan in het voorjaar. Een verklaring hiervoor kan zijn dat in de zomerperiode oxiderende omstandigheden domineren, waardoor ijzeroxiden worden gevormd, de fosfaatadsorptiecapaciteit toeneemt en het evenwicht tussen opgelost en geadsorbeerd fosfaat verschuift naar geadsorbeerd fosfaat.



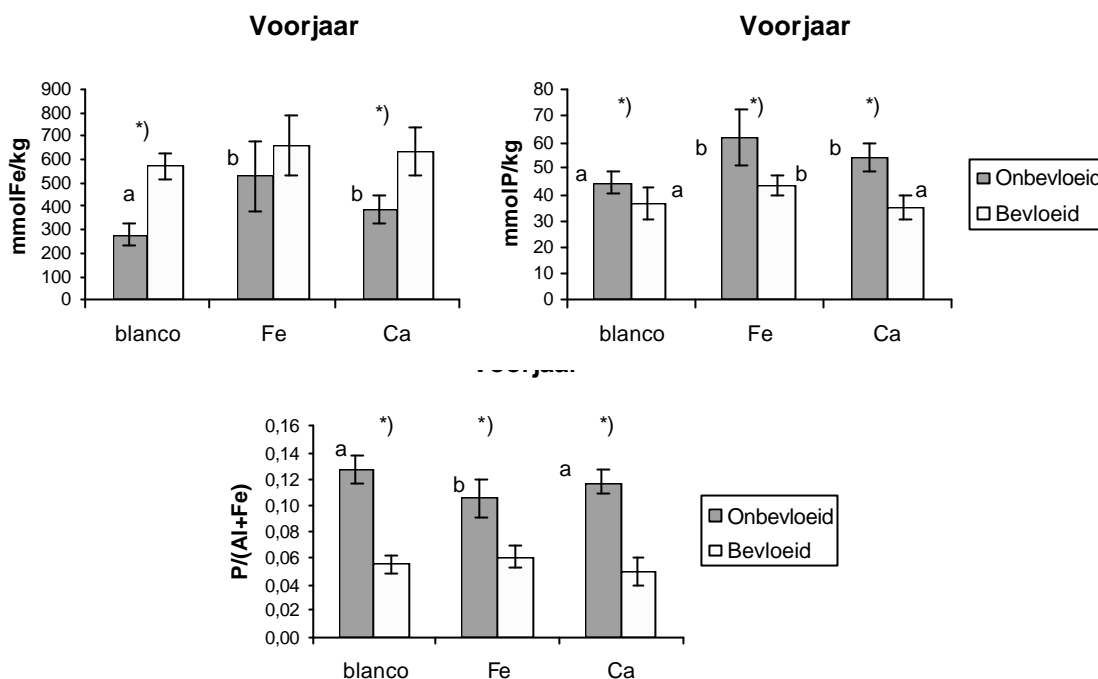
Figuur 8. Effecten van ijzer- en kalkbemesting in bevloeide en onbevloeide percelen op het water oplosbare fosfaat (P_2O_5) in het voorjaar (a) en de zomer (b). Verschillen in letters geven een significant verschil in effect van mestbehandeling aan. Een asterix geeft een significant effect van bevloeiing aan binnen een behandeling.

Effecten op geadsorbeerd fosfaat

In de voorjaarsperiode leidt Fe- en Ca-bemesting in het onbevloeide perceel tot significant hogere Fe-gehalten (Fig 9a). Bij Fe-bemesting is dat duidelijk bij Ca-bemesting kan dit waarschijnlijk worden verklaard via een pH effect op de oplosbaarheid van ijzeroxiden. Op het bevloeide perceel zijn er geen significante verschillen tussen de behandelingen. Bevloeiing leidt bij de blanco en de Ca-bemesting tot significant hogere Fe-gehalten. Bij Fe-bemesting leidt bevloeiing niet tot hogere Fe gehalten, omdat bevloeiing wordt overvleugeld door de Fe-gift

In de voorjaarsperiode leidt Fe-bemesting in het onbevloeide veld tot een significant lagere fosfaatverzadigingsindex (Fig. 9c). In het bevloeide veld is geen effect waarneembaar van Fe-bemesting. Bevloeiing leidt ongeacht de behandeling tot sterk significant lagere waarden van de fosfaatverzadigingsindex ($PSI: P_{\text{ox}}/(Al+Fe)_{\text{ox}}$).

In het voorjaar leidt Fe-bemesting van het onbevloeide perceel tot een verdubbeling van de adsorptiecapaciteit (mmol Fe) en een significante stijging van de hoeveelheid gefixeerd P (Fig 9b). In de PSI komt dat tot uiting in een lichte daling. De P-concentratie in het bodemvocht (P_{water}) daalt (zie fig.8a). Dit gedrag is conform de verwachting zoals beschreven volgens de adsorptie-isotherm. Fe-bemesting leidt tot een versterkte P-fixatie.

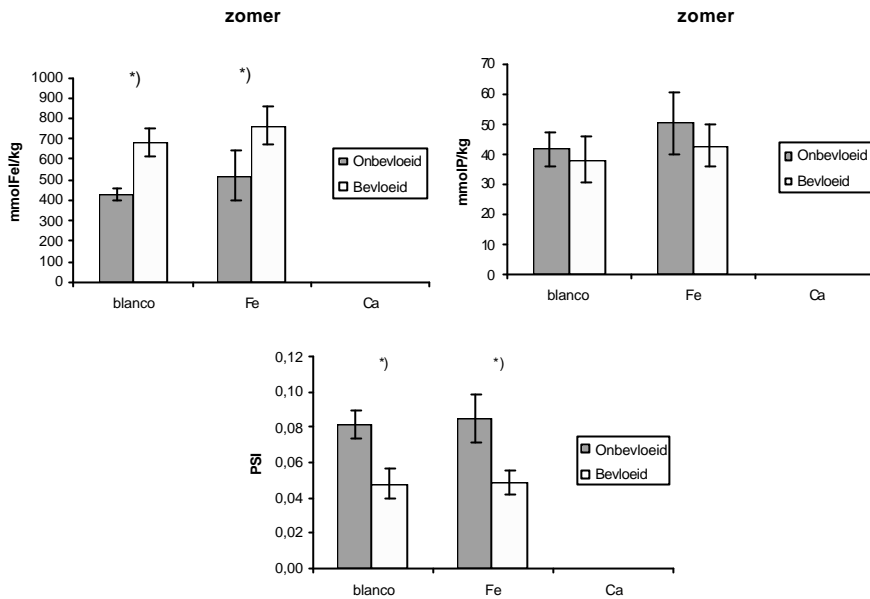


Figuur 9. Effecten van ijzer- en kalkbemesting in bevroede en onbevroede percelen op het met oxalaat extraheerbaar ijzer- (a), en fosfaatgehalte (b) en op de fosfaatverzadigingsindex (PSI) in het voorjaar. Verschillen in letters geven een significant verschil in effect van mestbehandeling aan. Een asterisk geeft een significant effect van bevroeiing aan binnen een behandeling.

Het bevroede blancovlak heeft een significant hoger Fe-gehalte (Fig 9a) dan het onbevroede blancovlak. Dit is mogelijk het gevolg van de bevroeiing en ijzeraanvoer in de voorafgaande periode. Hierdoor is de PSI en het opgelost fosfaat van het bevroede blancovlak ook significant lager. Onder natte omstandigheden (=bevroeiing) zien we een tendens tot een vergelijkbaar effect van Fe-bemesting, maar dit is niet significant. Kennelijk is al zoveel ijzer op het bevroede perceel aanwezig dat Fe-bemesting er niet meer zoveel toe doet. We zien dat er alleen een significant hogere waarde voor gefixeerd P aanwezig is (Fig 9b). Er is een tendens tot iets hogere waarden van de adsorptiecapaciteit en de PSI, maar deze effecten zijn niet significant. Wel is het opgeloste fosfaat significant hoger (Fig 8a). Er is dus geen effect van vernatting: zowel het 'droge' niet bevroede als het 'natte' wel bevroede veld geven hetzelfde effect van Fe-bemesting. Bevroeiing leidt dus door aanvoer van Fe tot een grotere fosfaatadsorptie-capaciteit en een lagere PSI.

Bekalking leidt bij bevroeiing tot significant hogere waarden van Fe en P, maar niet tot een andere PSI waarde.

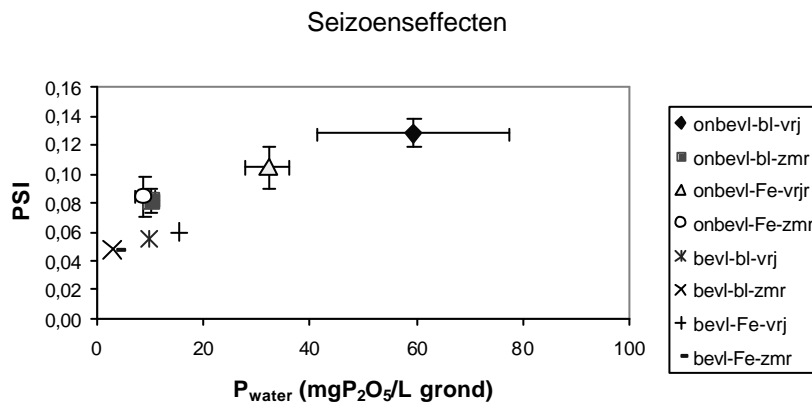
In de zomerperiode is er op het onbevroede perceel een tendens naar hogere waarden van Fe, P en PSI door Fe-bemesting (Fig. 10a, b, c). Er kunnen echter geen significante verschillen worden aangetoond. Het blancovlak van het bevroede perceel heeft hogere Fe gehalten en lagere PSI waarden dan het onbevroede perceel (Fig 10a en c). Dezelfde verschillen tussen het bevroede en onbevroede perceel treden op bij Fe-bemesting. Bevroeiing leidt dus tot een grotere fosfaatadsorptiecapaciteit, wat zich uit in een lagere fosfaatverzadigingsindex (Fig 10c). Het maakt niet uit of het perceel nat (bevroeid) of droger (onbevroeid) is. Wat betekent de vorige zin dan?. Tegelijkertijd werd in Fig 8b een significant lagere fosfaatconcentratie in het bodemvocht waargenomen op het bevroede perceel ongeacht de behandeling. Bevroeiing leidt dus tot P-immobilisatie.



Figuur 10. Effecten van ijzer- en kalkbemesting in bevroede en onbevroede percelen op het met oxalaat extraheerbaar ijzer- (a), en fosfaatgehalte (b) en op de fosfaatverzadigingsindex (PSI) in de zomer. Verschillen in letters geven een significant verschil in effect van behandeling aan. Een asterisk geeft een significant effect van bevroeiing aan binnen een behandeling.

Seizoenseffecten fosfaat

Van de blanco- en Fe-bemestingvlakken zijn de gemiddelde waarden van PSI en P_{water} over zowel het voorjaar als de zomerperiode berekend en getoetst op verschillen. In figuur 11 zijn de waarden van de fosfaatverzadigingsindex (PSI) in relatie tot het wateroplosbaar fosfaatgehalte (P_{water}) weergegeven. De hoogste PSI en P_{water} gehalten komen voor in de onbevroede velden zonder Fe-bemesting. In de zomer zijn op deze velden de PSI en het P_{water} gehalte significant lager. Onder aërobe omstandigheden in de zomer worden door oxiderende processen ijzeroxiden gevormd, waardoor de fosfaatadsorptiecapaciteit toeneemt, waardoor de PSI daalt. In absolute zin blijft het oxalaatextraheerbaar fosfaat onveranderd, maar het P_{water} gehalte daalt. Dit impliceert dat er door aëratie (Fe III -vorming) een verschuiving van het adsorptie-evenwicht optreedt waarbij P sterker wordt gefixeerd. Bij alle behandelingen treedt hetzelfde seizoenseffect op, met dat verschil dat naarmate meer ijzer in het systeem aanwezig is, de PSI lager wordt. Daarom komt de laagste PSI voor op de Fe-bemeste plots van het bevroede perceel. Dit effect is conform de verwachting die op basis van de theorie aanwezig was. Aëratie leidt tot fixatie van fosfaat en vernatting leidt tot mobilisatie. In de zomer is de beschikbaarheid van P lager dan in de winter.



Figuur 11. Seizoenseffecten van de verschillende behandelingen op het wateroplosbare fosfaatgehalte (P_{water}) in relatie tot de fosfaatverzadigingsindex (PSI). Weergegeven zijn gemiddelde waarden en standaardafwijkingen.

4.2.4 Conclusies

- Winterbevloeiing leidt gedurende vrijwel het hele jaar tot een verhoging van de pH in gronden waar de GLG niet dieper wegzakt dan 30 cm beneden maaiveld.
- De pH van bevoeide percelen blijft echter achter bij de pH van de bodem in referentiepercelen die nog door basenrijk kwelwater worden gevoed. Bevloeiing biedt nog onvoldoende compensatie voor de invloed van weggevalen kwelwater.
- Bij bevloeiing wordt via slib aanzienlijk meer ijzer dan calcium aangevoerd.
- Bevloeiing met ijzerhoudend slib heeft alleen in de winter en het voorjaar een pH verhogend effect van de bodem. In de zomer treden juist lagere pH waarden op waardoor bevloeiing met ijzerhoudend slib tot sterkere fluctuaties in pH leidt.
- Toevoeging van kalk zorgt er vooral voor dat de pH in de zomer minder sterk daalt, maar de gehanteerde hoeveelheid kan niet voorkomen dat de pH in de zomer toch daalt.
- Toevoeging van dierlijke mest heeft geen significant effect op de pH of P-beschikbaarheid
- Aanvoer van ijzerhoudend slib via bevloeiing leidt onder droge condities tot verhoging van de fosfaatadsorptiecapaciteit, een daling van de fosfaatverzadigingsindex en een vermindering van beschikbaar fosfaat in de bodem. Onder natte condities blijft het effect afwezig.
- Er treden op onbevoeide terreinen belangrijke seizoenseffecten op waarbij in de zomer de fosfaatadsorptiecapaciteit toeneemt en de fosfaatverzadigingsindex en de fosfaatbeschikbaarheid afnemen. Dit seizoeneffect neemt door bevloeiing af.
- Aanvoer van calcium via bevloeiing beïnvloedt de fosfaatbeschikbaarheid indirect. Via verhoging van de pH wordt de vorming van ijzeroxiden bevorderd, waardoor de fosfaatverzadigingscapaciteit toeneemt en de fosfaatbeschikbaarheid afneemt.

4.3 Invloed op de vegetatie

Naast het onderzoeken van effecten van slibaanvoer op de bodem werd met het bemestingsexperiment ook het effect op de productie van de vegetatie onderzocht (onderzoekslijn 2). De experimentele opzet was daarbij identiek als bij het bodemonderzoek. Bij het vegetatieonderzoek werden echter enkele extra behandelingen onderzocht, nl. het effect van stalmestbemesting en het effect van ijzerchloride bemesting.

4.3.1 Toelichting stalmest- en ijzerchloride bemesting

Stalmestbemesting

Verondersteld wordt dat naarmate meer ijzeroxiden aanwezig zijn (Kemmers et al. 2003c) de redoxcapaciteit van de bodem groter is en de pH hogere waarden kan aannemen. Voor redoxreacties moet er echter ook voldoende makkelijk afbreekbaar organisch materiaal aanwezig zijn. Ijzeroxiden worden dan gereduceerd en lossen daarbij op. De fosfaatadsorptiecapaciteit daalt en de PSI stijgt hierdoor. Dit leidt volgens figuur 4 tot een stijging van de fosfaatconcentratie (P-mobilisatie). Als interessant nevenaspect treedt bij reductie een stijging van de pH op. Stalmestbemesting werd toegepast omdat vermoed werd dat door het sterk veraaide organisch materiaal in de bodem, redoxprocessen moeilijk verlopen, waardoor de pH onvoldoende zou herstellen door bevloeiing. Via stalmest wordt makkelijk oxideerbaar materiaal in de bodem gebracht. De pH stijging bleef echter uit.

Toevoeging van ijzerchloride

Bij de start van het experiment moest een methode worden gevonden om op kunstmatige wijze de effecten van aangevoerd ijzer te kunnen bestuderen. Hiertoe werd bemesting met ijzerchloride (FeCl_3) toegepast. Dit leidt tot de vorming van ijzer(hydr)oxiden en zoutzuur. De zure reactie die hierbij optrad had een desastreus effect op de vegetatie, die door het zuur volledig afstierf. Bodemkundig onderzoek werd daarom niet uitgevoerd op deze plots. Wel bleek de vegetatie zich na een jaar te herstellen, zodat het vegetatie onderzoek alsnog werd uitgevoerd.

4.3.2 Methoden

Analyses

De veranderingen in bovengrondse biomassa werden gemeten in Juni of Juli door in iedere plot een oppervlakte van 20 x 20 cm te knippen en na 24 uur drogen bij 70 graden het drooggewicht te meten. Van het gedroogde materiaal werd het totaalgehalte N, P en K bepaald na destructie met H_2SO_4/H_2O_2 . Uit de totaalgehalten N, P en K werden nutriëntratio's berekend. Een N/P < 14 én N/K < 2,1 werd als indicatief voor stikstofbeperkte productie beschouwd en een N/P > 14 als een fosfaatbeperkte groei. Een N/K > 2,1 werd als indicatief voor K beperking beschouwd. Een N/P > 14 én een K/P > 3,4 wordt indicatief geacht voor fosfaatbeperking (Olde Venterink et al. 2003).

Statistiek

De blanco- en bemestingsvlakken werden zowel in het bevoeide als het onbevoeide perceel in duplo aangelegd met steeds drie herhalingen, zodat per combinatie van hydrologische inrichting en behandeling over (n=6) waarnemingen van de vegetatieproductie kon worden beschikt. De ijzerbemesting was echter gelijkelijk verdeeld over ijzerslib- en ijzerchloride behandeling, zodat voor elke van deze combinaties slechts over (n=3) waarnemingen kon worden beschikt.

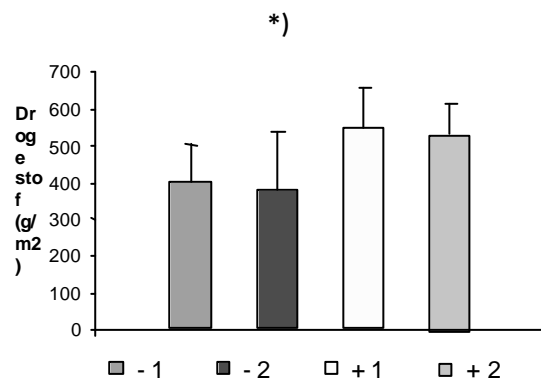
Voor de statistische analyse werd de volgende procedure gevolgd:

- Eerst werden eventuele verschillen (Student t-Test) tussen de duplo's vast gesteld door de vergelijkbare behandelingen in de duplo's te vergelijken. (variantie)
- Vervolgens werden de effecten van de behandelingen geanalyseerd binnen een hydrologische variant (wel vs. geen bevoeiing). Daarbij werden in elk van de duplo's de behandelingen vergeleken met de blanco. Als er in beide duplo's geen tegengesteld effect optrad van een behandeling werden voor verdere statistische verwerking de duplo's bij elkaar gevoegd en beschouwd als individuen uit dezelfde populatie. De verschillen tussen de behandelingen werden als significant beschouwd indien $T_{prob} < 0,05$.
- Vervolgens werd het effect van bevoeiing geanalyseerd. Daarbij werden eerst de effecten vastgesteld in elk van de duplo's. Alleen als er in beide duplo's geen tegengesteld effect optrad, werden de beide duplo's bij elkaar gevoegd voor verdere statistische analyse.

4.3.3 Resultaten en discussie

Droge stofproductie

Er waren geen significante verschillen in droge stofproductie in de duplo's (n=18) van de onbehandelde (niet bemeste) velden van zowel het onbevoeide als het bevoeide perceel (Fig. 12). De gemiddelde productie van de beide blanco's (n=36) in het bevoeide perceel ligt sterk significant hoger dan in het onbevoeide perceel.



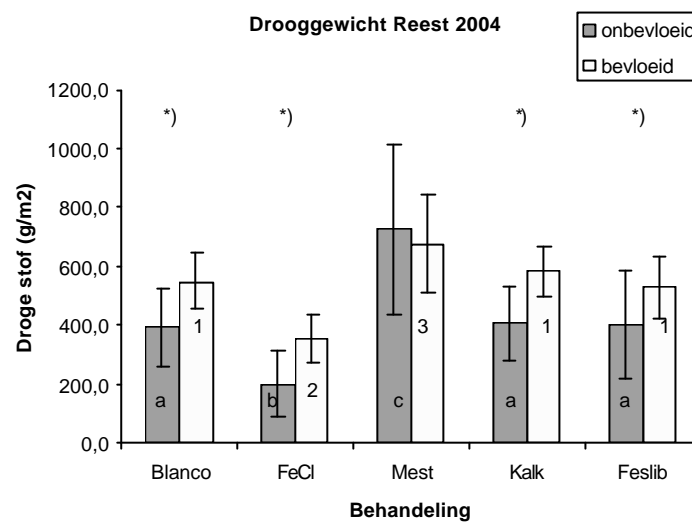
Figuur 12. Droge stofproductie in de beide blanco proefvelden van het onbevoeide (-1 en -2) en bevoeide perceel (+1 en +2). De asterix geeft een significant effect ($T_{prob} < 0,001$) van bevoeiing

De niet bevoeide vegetatie heeft een gemiddelde productie van 390 g.m², terwijl het bevoeide perceel een productie heeft van 540 g.m². Bevloeiing lijkt te leiden tot een hogere productie.

Er bleken geen verschillen ($T_{\text{prob}} < 0,05$) aanwezig te zijn tussen de duplo behandelingen van zowel het bevoeide als het onbevoeide perceel. Hieruit kan worden geconcludeerd dat er geen ruimtelijke verschillen in het spel zijn. De duplo's van de verschillende behandelingen werden vervolgens samengevoegd voor verdere statistische analyse.

Het blijkt (Fig. 13) dat alleen stalmestbemesting tot een significant hogere productie leidt en dat FeCl-bemesting tot een significant lagere productie leidt in zowel het bevoeide als het onbevoeide perceel. Bij alle behandelingen leidt bevloeiing tot een significant hogere productie, behalve bij stalmestbemesting (Fig 13).

Het effect van de FeCl-bemesting wordt verder buiten beschouwing gelaten (zie 4.3.1).

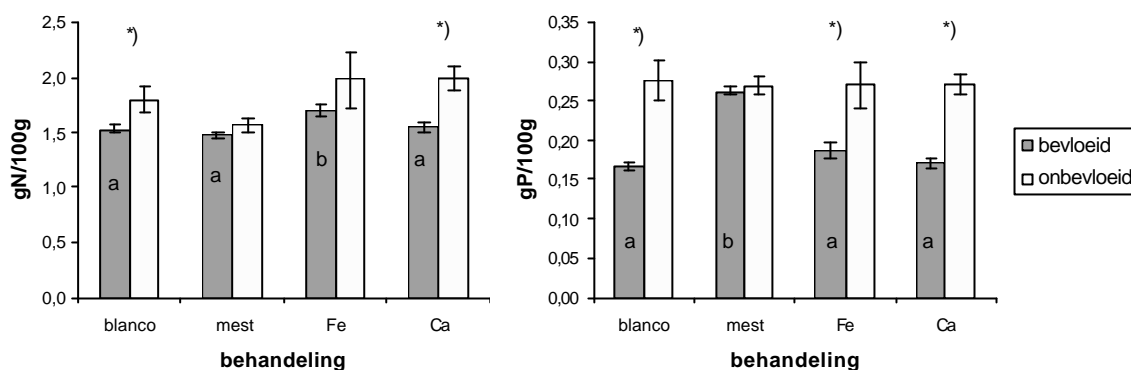


Figuur 13. Effecten van mestbehandelingen en bevloeiing op de productie van de vegetatie. Significante verschillen in effecten van mestbehandeling op onbevoeide percelen zijn aangegeven met verschillende letters en op bevoeide percelen met verschillende getallen. Verschillen in effect van bevloeiing zijn met een asterix aangegeven.

Geconcludeerd kan worden dat onafhankelijk van de mestbehandeling, met uitzondering van stalmestbemesting, bevloeiing tot verhoging van de productie leidt. Kennelijk nivelleert stalmest het effect van bevloeiing.

Elementgehalten in gewas

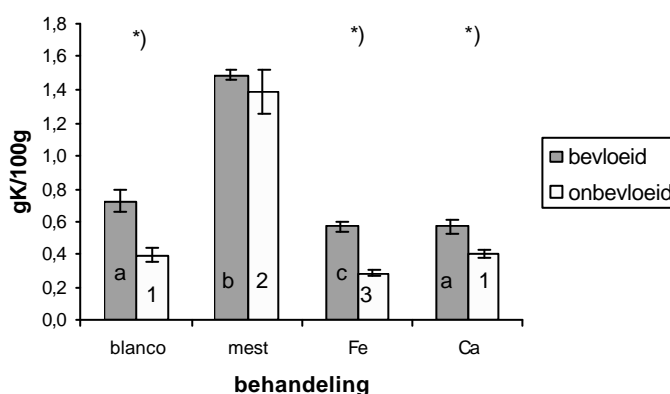
Van de blanco- en bemestingsvlakken werd in duplo ($n=2 \times 5$, 2×5 , 2×3 , resp. 2×5) in het bevoeide en onbevoeide perceel de vegetatie geoogst en de elementgehalten bepaald. In een aantal gevallen bleken er verschillen tussen de duplo's aanwezig. De N en P gehalten van de geoogste vegetatie bleken bij de duplo's van de Fe-bemesting te verschillen. Voor de verdere statistische analyse werden de duplo's samengevoegd.



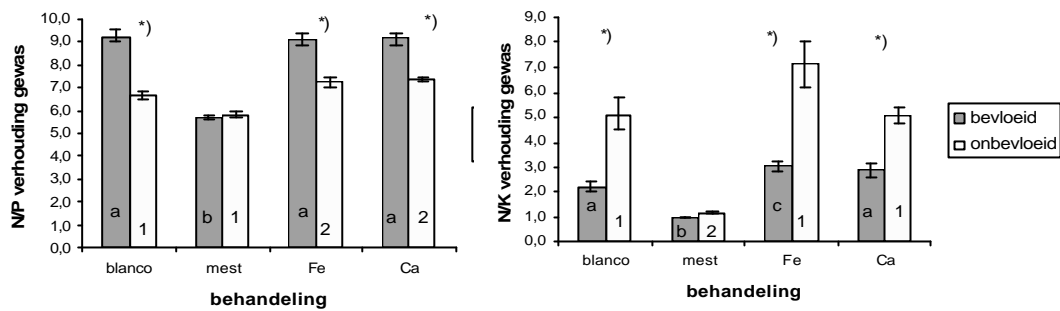
Figuur 14. Effecten van verschillende mestbehandelingen in bevoeide en onbevoeide percelen en effecten van bevoeiing bij verschillende mestbehandelingen op het stikstofgehalte (a) en het fosfaatgehalte (b) in het gewas.

Het blijkt dat in het onbevoeide perceel geen significante effecten konden worden aangetoond van de verschillende mestbehandelingen op het stikstofgehalte van het gewas (Figuur 14a). Wel is er in het bevoeide perceel een significant hoger N-gehalte van het gewas bij Fe-bemesting. Bevloeiing leidt in de blancovlakken en Ca-bemestingvlakken tot een significant lager stikstofgehalte in het gewas. In het onbevoeide perceel heeft geen van de mestbehandelingen geleid tot een significant effect op het fosfaatgehalte van het gewas (Figuur 14b). Bij bevloeiing leidt alleen bemesting met stalmest tot een significant hoger fosfaatgehalte in het gewas. Bevloeiing leidt bij alle mestbehandelingen, met uitzondering van stalmestbemesting, tot een significant lager fosfaatgehalte in het gewas.

In het onbevoeide perceel leidt stalmest tot een significant hoger en Fe-bemesting tot een significant lager kaliumgehalte van het gewas (Figuur 15). In het bevoeide perceel treden dezelfde effecten op. Bevloeiing leidt bij alle mestbehandelingen, behalve bij stalmestbemesting, tot een significant hoger kaliumgehalte (Figuur 15) in het gewas.



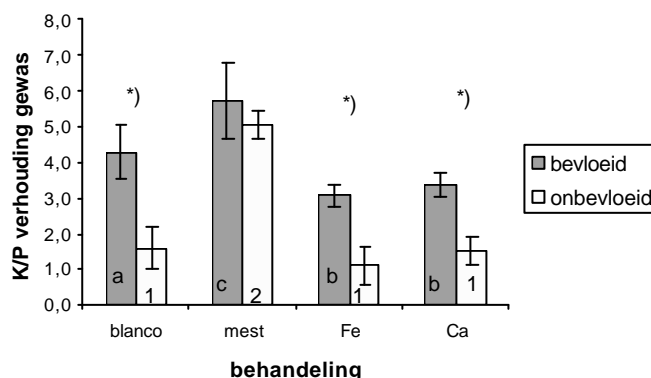
Figuur 15. Effecten van verschillende mestbehandelingen in bevoeide en onbevoeide percelen en effecten van bevoeiing bij verschillende mestbehandelingen op het kaliumgehalte in het gewas.



Figuur 16. Effecten van verschillende mestbehandelingen in bevloeiende en onbevloeiende percelen en effecten van bevloeiing bij verschillende mestbehandelingen op de N/P (a) en de N/K verhouding (b) van het gewas.

In alle behandelingsvlakken is sprake van stikstofgelimiteerde groei, omdat de N/P < 14 is (Figuur 16). In het onbevloeiende perceel leidt zowel Fe- als Ca-bemesting tot significant hogere N/P verhouding (Figuur 16a). In het bevloeiende perceel leidt alleen stalmestbehandeling tot een significante verlaging van de N/P verhouding. Kennelijk leidt Fe- en Ca-bemesting tot een verminderde beschikbaarheid en opname van P, wat overeenstemt met de bevindingen dat deze vormen van bemesting tot een verminderde fosfaatverzadigingsindex en fosfaatbeschikbaarheid leiden. Geconcludeerd kan worden dat Fe- en Ca-bemesting leiden tot verminderde P-opname en dat stalmestbemesting leidt tot een verminderde N-opname of hogere P-opname. Bevloeiing leidt bij alle mestbehandelingen, behalve bij stalmestbehandeling, tot een significante verhoging van de N/P-verhouding. Kennelijk leidt bevloeiing vooral tot een verminderde P-beschikbaarheid en -opname waardoor de N/P verhouding stijgt. Ook dit is in overeenstemming met de eerdere bevindingen dat door bevloeiing de fosfaatadsorptiecapaciteit toeneemt.

In het onbevloeiende perceel is, met uitzondering van de stalmestbehandeling, tevens sprake van kalium beperkte groei, omdat de N/K > 2,1 is (Figuur 16b). Er zijn geen effecten waargenomen van mestbehandeling. Alleen stalmestbehandeling leidde tot een significante verlaging van de N/K verhouding van het gewas. In het bevloeiende perceel leidt stalmest- tot een significant lagere en ijzerbemesting tot een significant hogere N/K ratio. Bevloeiing leidt bij alle mestbehandelingen, behalve bij stalmestbehandeling, tot een verlaging van de N/K verhouding. Bevloeiing werkt in de richting van het opheffen van de kaliumbeperking, waarschijnlijk door de aanvoer van kalium door het bevloeiingswater. (zie tabel 1).



Figuur 17. Effecten van verschillende mestbehandelingen in bevloeiende en onbevloeiende percelen en effecten van bevloeiing bij verschillende mestbehandelingen op de K/P verhouding van de vegetatie

Stalmestbemesting leidt tot een verhoging en Fe- en Ca-bemesting tot een verlaging van de K/P verhouding in het bevoeide perceel. Bij het onbevoeide perceel heeft alleen stalmestbehandeling, een verhogend effect op de K/P verhouding. Bevloeiing leidt bij alle mestbehandelingen, met uitzondering van stalmest, tot een verhoging van de K/P verhouding. Zowel in de blanco- als stalmestbehandeling is bij bevloeiing zelfs sprake van fosfaatbeperking, omdat de ratio boven de kritische grens van 3,4 stijgt.

4.3.4 Conclusies

- Binnen het bevoeide en onbevoeide perceel is de productiviteit van de vegetatie homogeen verdeeld.
- Bevloeiing leidt bij alle behandelingen behalve stalmestbemesting tot i) een significante verhoging van de droge stofproductie, ii) een significant lager fosfaatgehalte in het gewas iii) een significant hoger kaliumgehalte in het gewas
- Bevloeiing leidt bij alle behandelingen behalve stalmestbemesting tot i) een significante verhoging van de N/P-verhouding, ii) tot een verlaging van de N/K verhouding, iii) een verhoging van de K/P verhouding.
- Stalmestbemesting heeft zowel met als zonder bevloeiing een positief effect op de droge stofproductie terwijl bij alle behandelingen behalve stalmest bevloeiing tot een hogere productie leidt. Bevloeiing heft dus het positieve effect van stalmest op de productie op en heeft daarmee overeenkomstige effecten als stalmestbemesting.
- Bevloeiing van Calthions langs de Reest leidt tot een verschuiving van stikstof- en kaliumbeperkte naar fosfaatbeperkte groeiomstandigheden.
- Opheffing van de kaliumbeperking lijkt met de aanvoer van kalium in het bevoeiingswater samen te hangen en de verschuiving naar fosfaatbeperkte groeiomstandigheden met de aanvoer van aan slib gebonden ijzer.

5 Ontwikkelingen in vegetatieparameters

5.1 Methode

Introductie van soorten

In Mei 2002 zijn 384 planten (240 *Silene flos-cuculi* en 144 *Jacobeia aquaticus*) geïntroduceerd in de met kalk, ijzer en stalmest bemeste varianten van het bevoeide en onbevoeide perceel. Zowel in het bevoeide als het niet bevoeide perceel werden per behandeling $3 \times 5 = 15$ juveniele rozetten van ca 2 cm doorsnede in de vegetatie geplant. Van *Jacobeia aquaticus* werden $3 \times 3 = 9$ planten ingezet. Een precieze beschrijving van de proefopzet is beschreven in Bakker et al 2004. Jaarlijks werd het aantal planten per plot geteld in April/Mei en het aantal bloeiende planten in juni/juli.

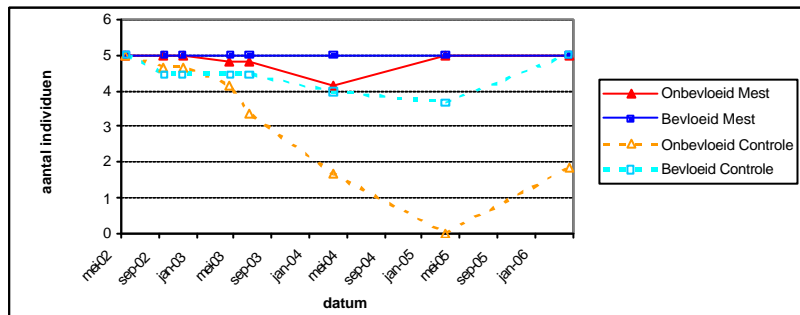
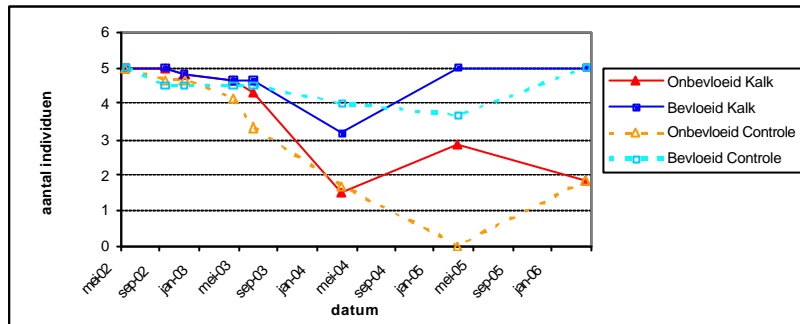
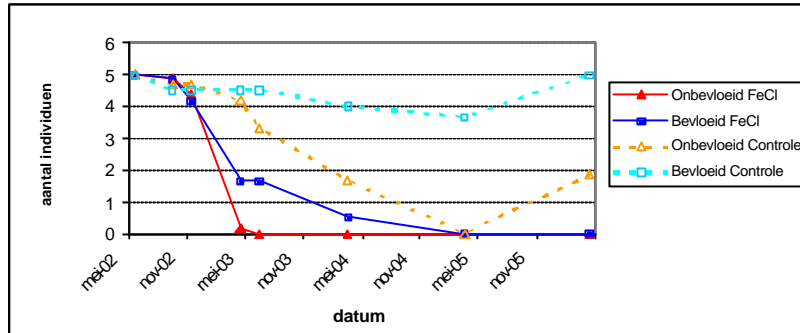
Veranderingen in de vegetatie

De veranderingen in soortensamenstelling van de vegetatie werd beschreven in een 20-tal permanente kwadraten in het bevoeide en het onbevoeide perceel. Tevens werden ieder jaar enige referentieopnamen gemaakt van goed ontwikkelde overstromingsgraslanden in de middenloop van de Reest (bij Haalweide). Van het bevoeide en onbevoeide perceel werd ook ieder jaar in Juni een globale vegetatiekaart gemaakt, waarbij de frequentie van een aantal aandachtsoorten werd geschat met de schaal van Tansly (zie ook Bakker e.a. 2004). Tenslotte werden ook vegetatieopnamen gemaakt van de plots met verschillende toevoegingen van ijzer, kalk en mest in 2006 (Van Dijk & Nijs 2006).

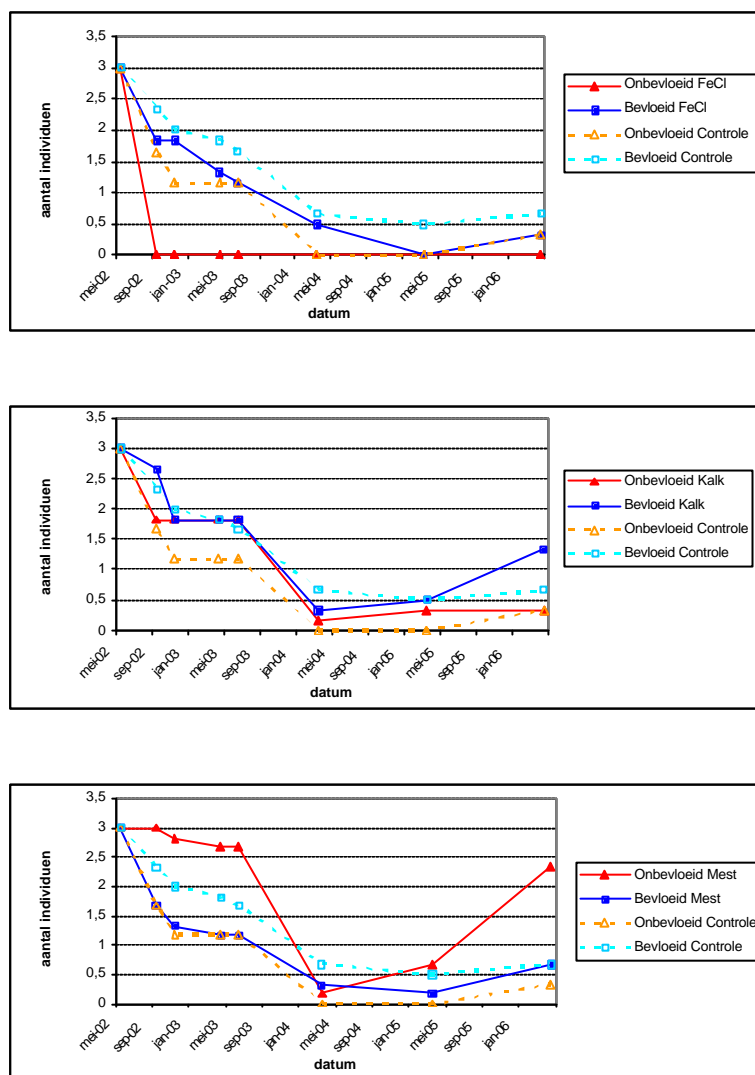
5.2 Resultaten en discussie

Introductie van soorten

Uit de introductieproef met Echte koekoeksbloem in de controleplots komt naar voren dat bevoeiden een positief effect heeft op de overleving tussen 2003 en 2005. In 2006 nemen in sommige plots de aantallen planten sterk toe. Bloeiende planten hebben zaad verspreid, ook in sommige naburige plots en het aantal jonge planten neemt soms explosief toe (soms tot 20-30 individuen per plot). Dit verklaart ook waarom in de onbevoeide controle de planten eerst afnamen tot 2005 om daarna weer toe te nemen. Toevoegen van FeCl had een zeer nadelig effect op de overleving. In 2003 stierven alle geïntroduceerde planten af in de niet bevoeide plots. In de bevoeide plots met ijzerslibbemesting was de overleving hoger, maar ook daar stierven alle resterende planten in 2004 af. Bekalking heeft vrijwel geen effect op de overleving van de Echte Koekoeksbloem in vergelijking met de referentie (Figuur 18). Na 3 jaar zijn alle planten in het niet bevoeide deel verdwenen. In het bevoeide deel bleef na 3 jaar ongeveer de helft van de planten in leven. Bemesten met stalmest heeft een duidelijk positief effect op de overleving van de Echte Koekoeksbloem, zowel in het bevoeide als het onbevoeide deel.



Figuur 18. Overleving van geïntroduceerde planten van Echte Koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*) bij verschillende behandelingen in het bevloaide en onbevloaide perceel van het bevoeiingsexperiment.



Figuur 19. Overleving van geïntroduceerde planten van Water-kruiskruid (*Jacobea aquaticus*) bij verschillende behandelingen in het bevloede en onbevloede perceel van het bevoeiingsexperiment.

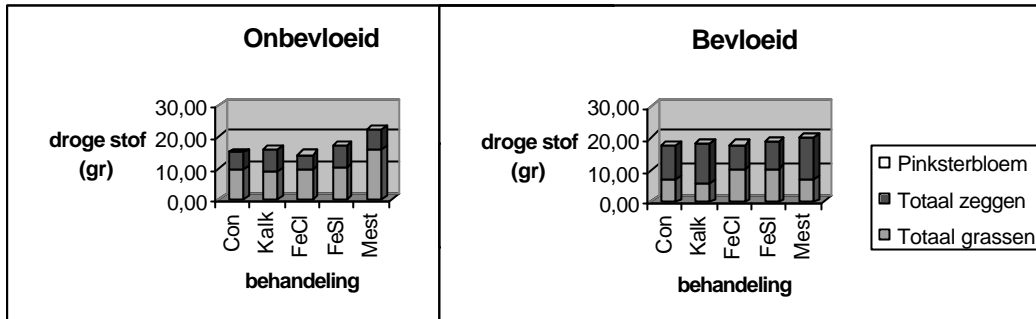
Voor Waterkruiskruid heeft bevoeien in 2003 en 2004 een gering positief effect gehad op de overleving, maar in April 2005 zijn vrijwel alle planten verdwenen, ook in het bevloede deel (Figuur 19). In 2003 is bij Waterkruiskruid een duidelijk positief effect van organische mest te zien. In 2006 nemen de aantallen per plot in de bemeste plots van het niet bevloede veld weer toe, waarschijnlijk door nieuwe vestigingen in 2005. In het bevloede veld is ook te zien dat er nieuwe vestigingen zijn in 2006.

De sterke achteruitgang van Waterkruiskruid in het bevloede veld is opmerkelijk. Vermoedelijk is de gesloten vegetatie van Kleine zeggen die zich als gevolg van het bevoeien heeft ontwikkeld ongunstig voor Waterkruiskruid, die sterke overstromingen nodig heeft en zich als pionier op open plekken tussen Grote zeggen kan vestigen.

Veranderingen in de vegetatie

Uit de vegetatiekarteringen en het permanente kwadraten onderzoek in 2002-2005 komt naar voren dat zich tot 2003 weinig veranderingen in de soortensamenstelling voordoen als gevolg van het bevoeien (Figuur 20). Wel nam in 2003 de (bovengrondse) biomassa van met name zeggen in het bevloede deel duidelijk toe, in

vergelijking met het onbevloeide deel (zie ook Figuur 12). Jaarlijks bemesten met organische mest had een duidelijke verhoging van de biomassa tot gevolg in het niet bevloeide veld. In het bevloeide veld had bemesting met stalmest geen extra toename van biomassa tot gevolg. Bekalking had geen effect op de biomassa, niet in het bevloeide veld en ook niet in het onbevloeide veld.



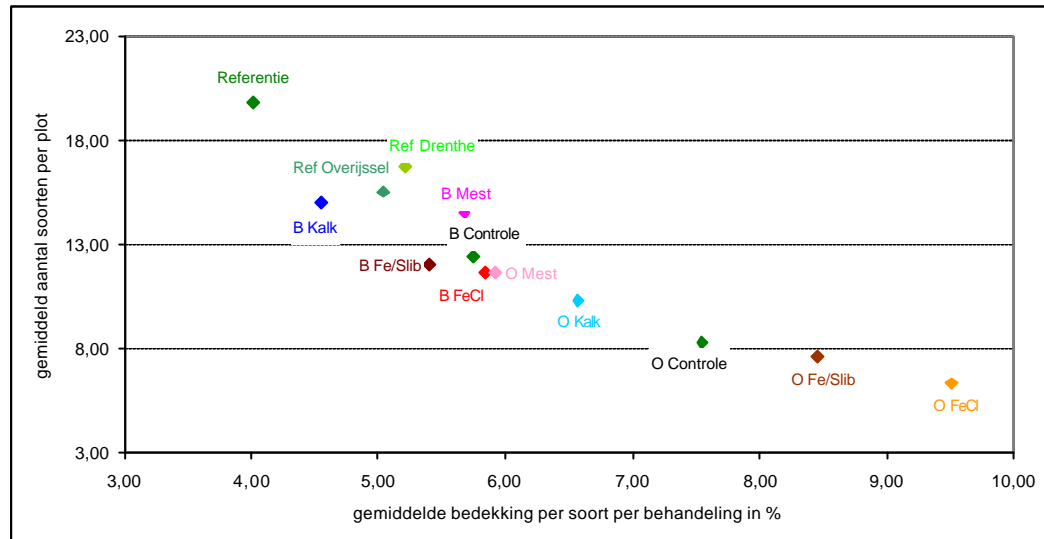
Figuur 20. Bovengrondse biomassa in het onbevloeide en het bevloeide deel van het vloeiveld, gemeten in 2003 bij verschillende behandelingen (bekalking, toevoegen van FeCl, Fe-slib en organische mest).

In 2003 werd een sterke uitbreiding waargenomen van Pinksterbloem (*Cardamine pratensis*) op de plots met kalkbemesting (zie foto 2). In 2004 werd Moeraskartelblad (*Pedicularis palustris*) voor het eerst gevonden in het bevloeide veld. In 2005 bloeiden er 5 exemplaren. De Draadrus (*Juncus filliformis*) breide zich sinds 2003 sterk uit in het bevloeide veld en vormde grote ronde klonen. De Noordse zegge (*Carex aquatilis*) nam ook sterk toe als gevolg van bevoeien. In 2004 werd voor het eerst de Scherpe zegge (*Carex acuta*) met een hoge bedekking gevonden in een permanent kwadraat dichtbij de beek. Waarschijnlijk hebben we hier te maken met een populatie van hybriden tussen de Noordse zegge en de Scherpe zegge. In 2005 trad de kruipende boterbloem (*Ranunculus repens*) sterk op de voorgrond (foto3).



Foto's 2 en 3: Effect van bekalking in 2003: sterke uitbreiding van Pinksterbloem (*Cardamine pratensis*). In 2005 trad Kruipende Boterbloem (*Ranunculus repens*) sterk op de voorgrond.

Om een beeld te krijgen van het effect van de behandelingen op de vegetatie in de proefplots is per behandeling het gemiddelde aantal soorten uitgezet tegen de gemiddelde bedekking per soort per behandeling (Figuur 21). De hypothese hierachter is dat de referentie plots een hoog gemiddeld aantal soorten hebben en een laag gemiddelde bedekking per soort per plot. Een plot met een behandeling die een negatief effect heeft op de vegetatie zou gemiddeld een laag aantal soorten hebben, maar met hoog gemiddelde bedekkingen per soort per plot (enkele dominante soorten).

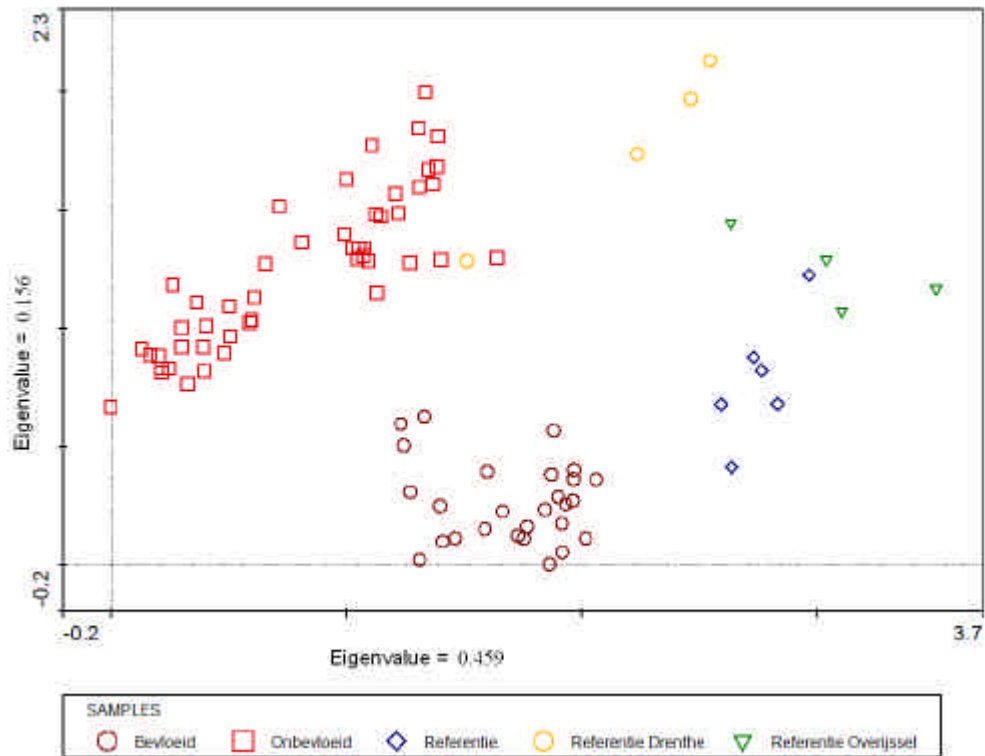


Figuur 21. Het gemiddelde aantal soorten per behandeling uitgezet tegenover de gemiddelde bedekking per behandeling (B = bevloeid, O = Onbevloeid, Ref = Referentie)

Uit figuur 21 komt naar voren dat er een duidelijk verschil zichtbaar is tussen het bevloeide en onbevloeide veld. De behandelingen in het bevloeide veld hebben in vergelijking met het onbevloeide veld een hoger gemiddeld aantal soorten per plot en een lager gemiddelde bedekking per behandeling. Voor het bevloeide en onbevloeide veld geldt dat de behandeling met ijzerchloride een zeer nadelig effect heeft. Ook toevoeging van ijzerhoudend slib lijkt, in mindere mate, negatief te werken op de vegetatiesamenstelling. De toevoegingen van mest en kalk lijken in het bevloeide en onbevloeide veld in vergelijking met de controle plots een positief effect te hebben op het gemiddelde aantal soorten en een negatief effect op de gemiddelde bedekking per soort per plot.

Met behulp van een correspondentie analyse (CANOCO)¹ is gezocht naar overeenkomsten en verschillen tussen onderzoeksplots op basis van soortensamenstelling. Figuur 22 laat de resultaten zien van een detrended correspondentie analyse (DCA). Hieruit is af te leiden dat de onderzoeksplots in het bevloeide perceel op basis van soortensamenstelling duidelijk verschillen van de onderzoeksplots in het onbevloeide veld. De onderzoeksplots in het bevloeide veld scoren laag op de verticale CA-as en hoger op de horizontale CA-as.

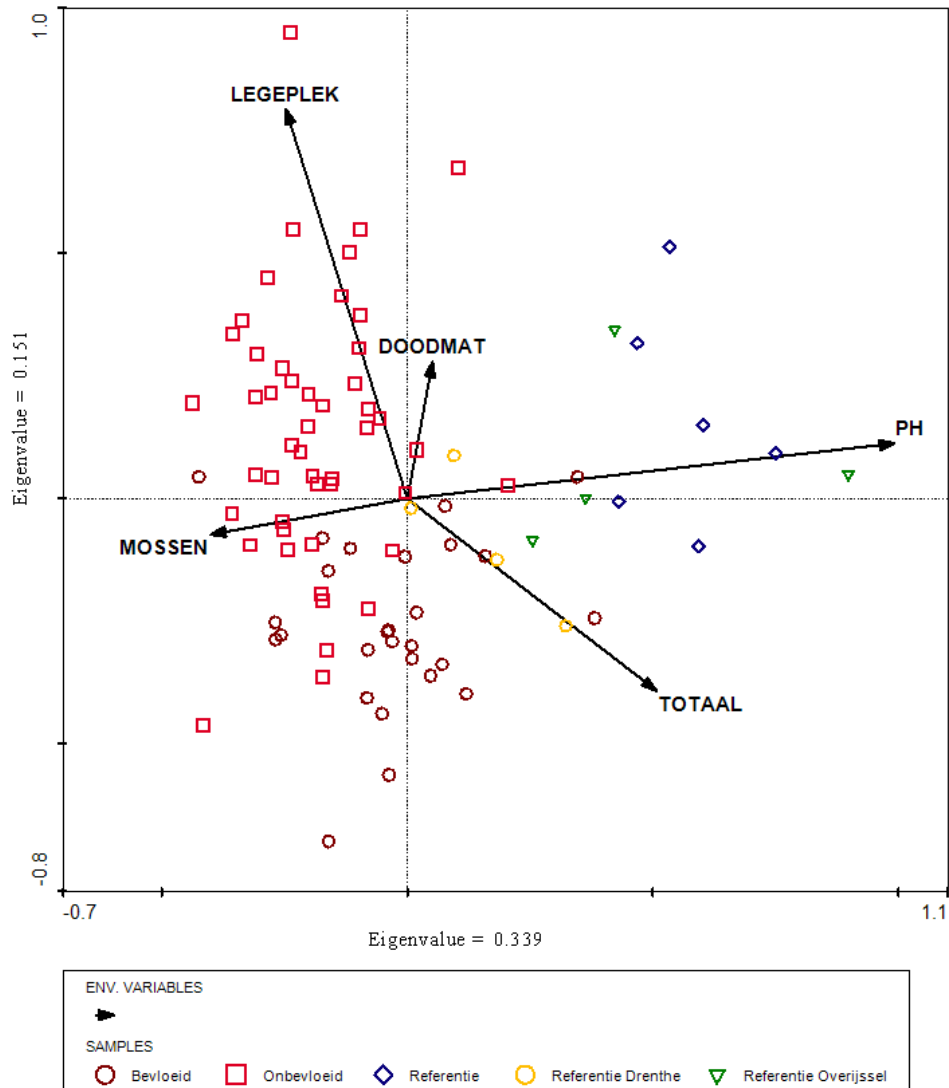
¹ CANOCO is een computerprogramma met een pakket aan statistische analysetechnieken. Correspondentie analyse (CA) is een indirecte gradiëntanalyse, waarbij vegetatieopnamen worden gerangschikt langs een assenstelsel op basis van soortensamenstelling. De assen worden verondersteld milieuvariabelen te vertegenwoordigen die niet zijn gemeten. Soorten worden verondersteld op de milieuvariabelen te reageren volgens een unimodale respons. Detrended correspondentieanalyse (DCA) is vergelijkbare techniek waarmee bepaalde artefacten in CA kunnen worden ondervangen. Een Canonische correspondentie analyse (CCA) is een directe gradiëntanalyse waarbij een veelheid aan gemeten verklarende variabelen in verband worden gebracht met een veelheid aan responsvariabelen (soorten).



Figuur 22. DCA-plot op basis van soortsamenstelling van onderzoeksplots en referenties

Ook is uit figuur 22 af te leiden dat de referentieplots (ruitjes) meer overeenkomst vertonen met plots van het bevoeide veld dan met plots van het onbevoeide veld. De extra opnamen van referentievegetaties elders in Drenthe en Overijssel, dienende als extra referentie (cirkels en driehoeken), lijken op basis van soortsamenstelling meer overeenkomsten met de referentie plots te vertonen dan met de proefvelden. De extra opgenomen referentieplots in Drenthe lijken echter ook overeenkomst te vertonen met het onbevoeide veld. Er is op basis van soortsamenstelling een duidelijk verschil tussen de in Overijssel opgenomen referentie plots en de onderzoeksplots in Drenthe.

Om te onderzoeken of er een correlatie aanwezig is tussen de soortsamenstelling van de plots en de op de plots beschreven variabelen als pH, mosbedekking, bedekking van lege plekken, bedekking dood materiaal en de totale vegetatiebedekking is er een CCA uitgevoerd. Deze variabelen zijn weergegeven met een pijl in het ordiantiediagram. Variabelen met een lange pijl zijn de belangrijkste in de analyse; hoe langer de pijl is hoe zekerder men kan zijn over de covariantie of de gewogen gemiddelden. In figuur 23 wijst de pijl in de richting van de maximale verandering van de variabele, de lengte is evenredig met de mate van verandering in deze richting. Variabelen met lange pijlen zijn sterker gecorreleerd met de ordiantieassen, dan die met korte pijlen, en zijn daarom beter gerelateerd aan het patroon van variatie in soortsamenstelling dat in het ordiantiediagram is weergegeven.



Figuur 23. CCA met de correlatie tussen soortsamenstelling van alle opgenomen plots en enkele variabelen (bedekking mossen, bedekking dood materiaal, bedekking lege plekken, totale bedekking vegetatie en pH)

In figuur 23 is zichtbaar dat met name de pH, de bedekking van lege plekken en de totale vegetatiebedekking correlatie vertonen met de ordinatieassen. Deze variabelen kunnen dus als belangrijkste verklarende factoren voor de ordening van de opnamen worden beschouwd. De bedekking van mossen en de bedekking van dood materiaal lijken minder correlatie te vertonen met de ordinatieassen. Met name de soortsamenstelling van de referentie plots vertoont correlatie met hoge pH waarden. De soortsamenstelling van het onbevoeide veld is gerelateerd met veel kale plekken en vrij veel dood materiaal, terwijl het bevoeide veld juist een hoge vegetatiebedekking vertoont.

5.3 Conclusies

- Het effect van bevoeiing en stalmestbemesting komen sterk overeen en hebben een positief effect op de overleving van geïntroduceerde soorten uit het Dotterbloemhoiland.
- Zonder bevoeiing heeft bekalking een zwak positief en ijzertoevoeging een negatief effect op de overleving van geïntroduceerde soorten uit het Dotterbloemhoiland.

- Bevloeiing stimuleert de ontwikkeling van zeggensoorten ten koste van grasachtigen. Daarnaast lijken Draadrussen en bloemrijke kruiden van bevloeiing te profiteren.
- Referentievegetaties van het Dotterbloemhooiland hebben per oppervlakte-eenheid een hoog gemiddeld aantal soorten met een lage gemiddelde bedekking. Bevloeiing van verzuurde Dotterbloemhooilanden leidt tot een verhoging van het gemiddeld aantal soorten per plot en een verlaging van de gemiddelde bedekking per soort. De toevoegingen van mest en kalk hebben slechts een gering positief effect op deze vegetatieparameters.
- De vegetatie van het bevroede perceel vertoont meer overeenkomst met de vegetatie in referentiegebieden dan de vegetatie van het onbevroede veld.
- De vegetatiesamenstelling in referentiepercelen van het Dotterbloemverbond is vooral gecorreleerd met hoge waarden van de pH.

6 Synthese en conclusies

Doel van bevoeiing

Het doel van het bevoeiingsexperiment was te onderzoeken of de oude praktijk van kunstmatige bevoeiing in aanmerking kan komen als effectgerichte maatregel tegen verdroging en verzuring van Dotterbloemhooilanden zonder dat ongewenste eutrofiering zou optreden. Via bevoeiing zouden bufferende stoffen (kalium, calcium, ijzer) kunnen worden aangevoerd waardoor de zuurgraad en de nutriëntenhuishouding zou kunnen herstellen. Om het effect van bevoeiing te kunnen onderzoeken werd in de middenloop van de Reest een voormalig vloeiveld hersteld en ingericht voor veldexperimenten.

Landschapsecologische setting

De Reest vindt zijn oorsprong in het ontgonnen hoogveengebied ten noordoosten van Dedemsvaart (Bakker et al. 2004). Het onderzoek werd uitgevoerd in de reliëfrijke middenloop van de Reest, gekenmerkt door hoger gelegen dekzandruggen met infiltratie en lager gelegen madelanden met dotterbloemhooilanden. Daarbij oorspronkelijk algemeen voorkomende soorten zijn Dotterbloem (*Caltha palustris*), Waterkruiskruid (*Jacobea aquaticus*), Echte Koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*) en Noordse zegge (*Carex aquatilis*). Plaatselijk komen door lokale kwel ook veel soorten van de Kleine zeggengemeenschappen voor: Snavelzegge (*Carex rostrata*), Draadrus (*Juncus filiformis*), Moeraskartelblad (*Pedicularis palustris*) en Schildereprijs (*Veronica scutellata*).

In de madelanden komt nog slechts plaatselijk kwel voor. Op veel plaatsen wordt door de lage beekpeilen de kwelstroom afgebogen naar de beek, waardoor aanvoer van basen met het kwelwater hier niet langer plaatsvindt. Overstromingen, een alternatieve vorm voor basenaanvoer, komen in dit deel van het beekdal nog slechts sporadisch voor. Natuurlijke overstromingen komen nog wel regelmatig voor in het meer stroomafwaarts gelegen laagveengebied nabij De Wijk (Haalweide, Havixhorst). De vegetatie wordt daar meer gekenmerkt door soorten van de Grote Zeggengemeenschappen. In vroeger tijden werden de madelanden langs de Reest wél door de boeren bewust kunstmatig bevoeid ter bevordering van de grasproductie (Baaijens et al. 2001). Alle hydrologische veranderingen hebben geleid tot een toegenomen infiltratie van regenwater, waardoor de madelanden verdroogd en verzuurd zijn geraakt en waarvan vooral grassen hebben geprofiteerd ten koste van zeggen en de bloemrijke elementen (Dotterbloem, Echte Koekoeksbloem, Waterkruiskruid, Scherpe Boterbloem, Moeraskartelblad). In de huidige situatie (Bakker et al., 2004) zakken de grondwaterstanden rond half maart onder het maaiveld en bereiken in de zomer een diepte van ca. 50 cm-mv. De waterkwaliteit wijst op een mengvorm van grondwater en regenwater.

Tabel 3 geeft voor een aantal bodemvariabelen een vergelijking tussen het verzuurde Dotterbloemhooiland in het vloeiveld en een niet verzuurde referentie aan de overzijde van de Reest waar nog kwel voorkomt. Uit deze vergelijking blijkt dat het vloeiveld aanzienlijk zuurder en calcium- en ijzerarmer is en een hogere fosfaatverzadigingsgraad (PSI) heeft. Uit deze vergelijking kan worden geconcludeerd dat zowel bekalking als ijzeradditie gerechtvaardigde maatregelen blijken om de verschillen te overbruggen.

Tabel 3 Gemiddelde waarden en standaardfouten van bodemvariabelen in het verzuurde Dotterbloem vloeiveld en in een referentie van een niet verzuurd Dotterbloemhooiland. Significante verschillen ($P < 0,01$) zijn met een *) aangegeven

Variabele	Dimensie	Parameter	Vloeivelden (n=6)	Referentie (n=5)
Org stof	%	Gem se	64,9 18	34,8 1
pH-KCl		Gem se	4,1 0,3	5,1* 0,1
Uitw.Ca	cmol+/kg	Gem se	15,3 1,5	29,4* 2,7
Fe _{oxalaat}	mg/kg	Gem se	15749 1073	43921* 3144
P _{oxalaat}	mg/kg	Gem se	1392 92,5	1197 106,3
PSI	mol/mol	Gem se	0,13 0	0,05* 0
N _{tot}	g/kg	Gem se	21,7 3,6	12,5 0,6
P _{tot}	mg/kg	Gem se	2918 537	2644 310,5

Oppervlaktewaterkwaliteit en slibaanvoer

Om de resultaten van het onderzoek te kunnen extrapoleren naar andere beekdalen, is niet alleen de landschapecologische setting en de vegetatiekundige samenstelling van de madelanden van belang, maar ook de kwaliteit van het te gebruiken oppervlaktewater en de slibkwaliteit in vergelijking met de kwaliteit van beken elders. In het onderzoeksgebied bleek het Reestwater vooral zwevend organische stof, stikstof, ijzer en kalium aan te voeren en in minder mate calcium. Door bevloeiing werd $225 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ droge stof naar het perceel aangevoerd over de periode november tot eind maart. Via dit 'slib' werd per hectare 178 kg organische stof, 15,7 kg Fe, 4 kg N, 2,4 kg Ca en 0,55 kg K aangevoerd. Het zwevend organisch stof in vloeiwatervoor is de belangrijkste bron van ijzeraanvoer (dit onderzoek). Stikstof en kalium komen hoofdzakelijk in opgeloste vorm voor als NO_3^- en K^+ ionen. In tegenstelling tot in zandgebieden (o.a. Plateaux; Kemmers et al. 2001, 2003) komen in veengebieden (Westbroek, Zijdebrug, Reest, Ilperveld) vaak hoge kaliumconcentraties in het oppervlaktewater voor. Een verklaring voor deze hoge concentraties is mogelijk de veraarding van veen. Onveraard veen bevat veel kalium wat in verband staat met het ervaringsfeit dat vegetaties van veraarde veengronden vaak door kalium beperkt worden in hun productiviteit (Van Duren and Pegtel, 2000). Door uitspoeling van kalium of zuur (hoog)veenwater kan dit mobiele ion direct of indirect via verwerking van kaliumhoudende mineralen in de zandondergrond, uitspoelen naar het oppervlakte water. Het uitgespoelde kalium komt uiteindelijk via drainage in het beekwater. De hoge ijzergehalten van het zwevend organische stof in de Reest hangen mogelijk eveneens samen met de oorsprong van de Reest in een oorspronkelijk hoogveengebied. Ontginning van het brongebied kan hebben geleid tot een versterkte afvoer van het neerslagoverschot. Het is goed denkbaar dat dit afgevoerde neerslagwater door het zure en organisch stofrijke karakter van het brongebied tot een versterkte belasting van het oppervlaktewater met opgelost organisch stof en ijzer heeft geleid. Onder zure omstandigheden komen ijzeroxiden immers makkelijk in oplossing. Fosfaat bleek niet of nauwelijks door het vloeiwatervoor worden aangevoerd. Uit onderzoek van Runhaar & Jansen (2004) en Sival et al. (in prep.) blijkt dat fosfaat vooral in gehechte vorm aan slib (i.e. leem: deeltjes $< 50 \mu$) voorkomt en via leemafzetting bij natuurlijke overstromingen wordt aangevoerd en

de vegetatie beïnvloedt. Het verschil in bevindingen tussen effecten van overstroming in de middenloop (dit onderzoek) en de benedenloop (Runhaar en Jansen 2004, Sival et al. in prep) lijkt dus samen te hangen met het al dan niet aangevoerd worden van fosfaathoudend leem. Leem wordt bij natuurlijke overstromingen aangevoerd en afgezet. Bij het kunstmatige bevoeiingsexperiment wordt het water eerst opgepompt en door een bezinkingsbassin en aanvoersloot gevoerd, waarvandaan vervolgens het water over het maaiveld stroomt. Het leem is al bezonken en uit het water verdwenen voordat het over het maaiveld vloeit.

Uit eerder onderzoek (Bakker et al. 2004) was reeds gebleken dat de productie van de vegetatie op de blanco percelen van het proefveld door stikstof en kalium werd beperkt. Bevloeiing leidde tot opheffen van de kaliumlimitatie, maar niet van de stikstoflimitatie. Ondanks de aanvoer van veel stikstof door het vloeiwaterveld (dit onderzoek) heeft dit in de onderzoeksperiode niet geleid tot een effect op de productie, waaruit kan worden geconcludeerd dat stikstof vooral in organisch gebonden vorm wordt aangevoerd en dat de periodiek hoge nitraatconcentraties in het Reestwater kennelijk niet tot een negatief effect op de vegetatie leidt.

Sulfaat blijkt in het Reestwater slechts in lage concentraties voor te komen ($< 25 \text{ mg.l}^{-1}$, Bakker et al. 2004, Kemmers et al. 2003). Aanvoer van sulfaathoudend water kan leiden tot interne eutrofiëring door mobilisatie van stikstof en vooral fosfaat in de bodem. Het risico van fosfaatmobilisatie is echter alleen aanwezig indien de verhouding tussen ijzer en sulfaat (Fe/S ratio) zeer laag is. Bodems van Dotterbloemhooilanden zijn over het algemeen veraard (Kemmers en van Delft 2001, 2003) en zeer rijk aan ijzeroxiden ($40\text{-}600 \text{ mMol Fe.kg}^{-1}$). Uit onderzoek van Van Delft et al. (2005) blijkt dat bij dergelijk hoge Fe-gehalten het risico van fosfaatmobilisatie door interne eutrofiëring uiterst gering is.

Het effect van bevloeiing zou daarom moeten worden toegeschreven aan de aanvoer van organische stof, ijzer en kalium. Bij de extrapolatie van de resultaten zou het vloeiwaterveld dus vooral zwevend organische stof, kalium en ijzer moeten bevatten en geen leem of fosfaat. Dit kan worden beïnvloedt door het water eerst door een bezinkingsbassin/ aanvoersloot te leiden. Periodiek hoge nitraatconcentraties lijken niet tot ernstige problemen te leiden. De effecten van de natuurlijke overstromingen met o.a. leemafzetting zijn (o.a. langs de Reest) onderzocht door Runhaar en Jansen (2004) en Sival et al. (in prep). De oppervlaktewaterkwaliteit blijkt, strikt genomen vooral de kaliumhuishouding van vloeivelden te beïnvloeden, afzetting van zwevend organisch stof de ijzerhuishouding en afzetting van mineraal slib de fosforhuishouding.

Effectiviteit van bevloeiing

Uit het onderzoek is gebleken dat bevloeiing een positief effect heeft op de vegetatieontwikkeling: uitbreiding van echte Calthion soorten zoals Echte Koekoeksbloem (*Silene flos cuculi*) en Draadrus (*Juncus filiformis*), vestiging van kleine zeggensoorten, Moeraskartelblad (*Pedicularis palustris*), het verdwijnen van rijke soorten zoals Waterkruiskruid (*Jacobea aquatica*) en stagnatie in de uitbreiding van Liesgras (*Glyceria maxima*) en Pitrus (*Juncus effusus*). Ook de herintroductie van Calthionsoorten (*Caltha palustris*, *Jacobea aquatica*) lijkt door bevloeiing te worden gestimuleerd.

Uit eerder onderzoek op deze locatie van Bakker et al. (2004) werd geconcludeerd dat bevloeiing nauwelijks een aantoonbaar effect heeft op de grondwaterstanden, maar wel een versterking van de grondwaterachtige kwaliteit tot gevolg had.

Omdat tijdens de onderzoeksperiode via het vloeiwaterveld mogelijk te weinig materiaal zou worden aangevoerd werd besloten een bemestingsexperiment uit te voeren, waarbij aanvoer van ijzer en calcium werd gesimuleerd in een bemestingsexperiment. Uit deze bemestingsexperimenten kon worden afgeleid dat bevloeiing leidt tot i) opheffing van de kaliumbeperking door de hoge K^+ concentratie in het oppervlaktewater en ii) buffering van de fosfaatbeschikbaarheid op een lager niveau

door aanvoer van ijzer dat aan zwevend organische stof is gebonden. De bodemzuurgraad blijkt door bevoeiing te dalen (pH stijging!) door een gecombineerd effect van ijzer- en kalkaanvoer in combinatie met periodiek natte (reducerende) terreincondities. Periodieke seizoensschommelingen in pH nemen door bevoeiing toe.

Conclusies

- De bodem van de vloeivelden langs de Reest zijn zuurder, basen- en ijzerarmer dan die van goed ontwikkelde Dotterbloemhooilanden waar nog kwel voorkomt.
- Kunstmatige bevoeiing leidt in de middenloop van de Reest tot aanvoer van zwevend organische stof en een verhoging van de ijzervoorraad in de bodem en daarmee tot een vermindering van de fosfaatbeschikbaarheid. In mindere mate wordt calcium aangevoerd.
- De invloed van bevoeiing op de afname van de fosfaatbeschikbaarheid treedt alleen op indien het vloeislib vooral uit zwevend materiaal met veel organische stof bestaat en weinig leem en zand bevat. Dit kan worden gerealiseerd door vloeewater eerst door een bezinkbassin (aanvoersloot) te leiden, waar mineraal sediment kan bezinken. Via leem wordt (te) veel fosfaat aangevoerd.
- Het oppervlaktewater van de Reest bevat veel opgelost kalium. Het opgeloste kalium komt in de bevoeide bodem waardoor de productie van de vegetatie niet langer door kalium wordt beperkt.
- Winterbevoeiing is een effectieve maatregel voor herstel van verdroogde en verzuurde Dotterbloemgraslanden in madelanden van de middenloop van de Reest waar slechts sporadisch natuurlijke inundaties optreden.
- Verhoging van de zuurbuftercapaciteit en de pH, opheffing van kaliumbeperking en verminderde fosfaatbeschikbaarheid zijn sleutelfactoren voor verdroogde en verzuurde Dotterbloemgraslanden.
- Gunstige effecten van bevoeiing mogen verwacht worden in madelanden van beekdalen die hun oorsprong vinden in veengebieden, die als belangrijke bron van ijzer en kalium fungeren.

7 Literatuur

Baaijens, G.J., F.H. Everts en A.P. Grootjans. 2001. Traditionele bevoeiing van grasland; een studie naar vroegere bevoeiing van reservaten in Pleistoceen Nederland, alsmede enkele boezemlanden. Wageningen, Expertisecentrum LNV. OBN-rapport 18.

Bakker, M., A. Grootjans, A. Boerwinkel & A. Verschoor. 2004. Traditionele bevoeiing als beheersmaatregel; mogelijkheden voor herstel van verzuurde beekdalgraslanden. Groningen. Royal Haskoning. Rapport 24351.

Burny, J. 1999. Bijdrage tot de historische ecologie van de Limburgse Kempen (1910-1950). Natuurhistorisch Genootschap Limburg, reeks 42, afl.1.

Delft, S.P.J. van, Kemmers R.H. & Jongmans A.G., 2005. Pyrietvorming in relatie tot interne eutrofiëring en verzuring. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1161.

Grootjans, A.P., P. Vrieling, M. Bakker, B. Beltman, A.C. Zuidhof & R.H. Kemmers. 2001. Bevoeiing als beheersmaatregel; mogelijkheden voor herstel van verzuurde en verdroogde graslanden. Eindrapport fase 2. Rapport EC-LNV nr. 2001/052 OBN. Ede/Wageningen.

Kemmers, R.H en S.P.J. van Delft, 2001. Bodemkundige aspecten van de uitgangstoestand in het Reestdal en de Westbroekse zode bij bevoeiing als herstelmaatregel voor verzuurde beekdalgraslanden. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-Rapport 196.

Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft, 2003. Bodemkundige aspecten van bevoeiing als herstelmaatregel voor verzuurde beekdalgraslanden in De Plateaux en Zijdebrug. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-Rapport 585.

Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft, F.P. Sival & P.C. Jansen. 2003. Effecten van bevoeiing op de basen- en voedingstoestand van verzuurde en verdroogde beekdalgraslanden; Mogelijkheden van bevoeiing als effectgerichte maatregel. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-Rapport 748.

Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft & P.C.Jansen. (2003) Iron and sulphate as possible key factor in restoration ecology of rich fens in discharge areas. *Wetlands Ecology and Management* (11): 367-381.

Koopmans, G.F., 2004. Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Proefschrift. Wageningen Universiteit, Wageningen.

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

Runhaar J. & P.C. Jansen. 2004. Overstroming en vegetatie; Vergelijkend onderzoek in vijf beekdalallocaties. Wageningen. Alterra. Alterra rapport 1079.

Schwertmann, U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide dese Bodens durch Extraction mit Ammoniumoxalaat-Lösung. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 105: 194-202

Sival, F.P., G.J. Maas & B. Makaske. (in prep). Overstroming en vegetatie: sedimentatie en productiviteit. Alterra rapport. Wageningen.

Van Duren I.C., and D.M. Pegtel. 2000. Nutrient limitation in wet, drained and rewetted fen meadows, evaluation of methods and results. Plant & Soil 220:35-47.

Van Dijk, G. & J. Nijp. 2006. Effecten van herstelmaatregelen op de voorkomende vegetatie en verzuringsprocessen in het aangetaste beekdalsysteem van de Reest. Afstudeerrapport Van Hall Larenstein/Community and Conservation Ecology group Universiteit Groningen.

Van Riemsdijk W. H., Van der Linden A. M. A. and Boumans L. J. M. 1984. Phosphate sorption by soils: III. The P diffusion-precipitation model tested for three acid sandy soils. Soil Science Society of America Journal 48, 545-548.