

# **Herstelexperiment voor elzenbroek door bevoeiing met oppervlaktewater in het Lankheet**

**Vervolgmonitoring 2016**



ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

© 2017 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Monitoring OBN-5-BE  
Driebergen, 2017

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Bij12

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Oplage                    Online gepubliceerd op [www.natuurkennis.nl](http://www.natuurkennis.nl)

Samenstelling        Drs. C.J.S. Aggenbach (Paludosa Research; Universiteit Antwerpen, Vakgroep Ecosysteembeheer)  
                              Msc. L. Norda (Universiteit Antwerpen, Vakgroep Ecosysteembeheer)

Opdrachtgever        VBNE

Productie              Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)  
                              Adres                    : Princenhof Park 9, 3972 NG Driebergen  
                              Telefoon                : 0343-745250  
                              E-mail                    : [info@vbne.nl](mailto:info@vbne.nl)

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding en doel</b>	<b>14</b>
1.1	Herstel van verdroogd elzenbroek door middel van bevoeiing	14
1.2	Vraagstelling voor vervolgmonitoring	14
<b>2</b>	<b>Opzet van het experiment</b>	<b>15</b>
2.1	Onderzoekslocatie	15
2.2	Proefopzet	15
2.3	Waterhuishouding en het functioneren van de bevoeiing	18
<b>3</b>	<b>Methode metingen</b>	<b>24</b>
3.1	Waterstanden	24
3.2	Inmeting maaiveldhoogten	25
3.3	Bodemchemie	26
3.4	Vegetatie	28
3.5	Dataverwerking	28
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>29</b>
4.1	Ontwikkeling organische stoflaag	29
4.1.1	Verschillen en trends	29
4.1.2	Stofbalans	32
4.2	Ontwikkeling basenchemie	32
4.2.1	Verschillen en trends	32
4.2.2	Relatie basenverzadiging en pH	35
4.2.3	Stofbalans	37
4.3	Ontwikkeling nutriënten	42
4.3.1	Verschillen en trends	42
4.3.2	Stofbalans	47
4.3.3	Anorganisch stikstof in 2016	51
4.4	Ontwikkeling vegetatie	52
4.4.1	Vegetatiestructuur	52
4.4.2	Soortensamenstelling	57
<b>5</b>	<b>Discussie en conclusies</b>	<b>72</b>
5.1	Herstel zuurgraad en basenchemie	72
5.2	Beschikbaarheid nutriënten	73
5.3	Ontwikkeling vegetatie	75
<b>6</b>	<b>Literatuur</b>	<b>78</b>



# Samenvatting

## Aanleiding en onderzoeksvragen

Elzenbroekbossen zijn in Nederland sterk in areaal en kwaliteit achteruitgegaan door verdroging, verzuring en eutrofiering. In beekdalgebieden waar het niet mogelijk is om het vereiste waterregime en kwel van basenrijk grondwater te herstellen door aanpak van ontwatering, kan bevloeiing met basenrijk oppervlaktewater een alternatief vormen voor het realiseren van de vereiste abiotische condities. Het herstel van het waterstandsregime en een voldoende hoge pH is met bevloeiing goed mogelijk voor de korte termijn, maar herstel van de zuurbuftercapaciteit vergt een langere termijn. Bevloeiing met oppervlaktewater kan echter ook negatieve effecten hebben door aanvoer van nutriënten en interne eutrofiëring als gevolg van vernatting (omslag naar anaërobie door vernatting) en chemische interacties van het bevloeiingswater met de bodem. Verdroogde bodems kunnen hiervoor gevoelig zijn. Anderzijds kan het bevloeiingswater bij voldoende doorstroming ook veel nutriënten afvoeren en mogelijk daardoor op de langere termijn zorgen voor een lagere beschikbaarheid van nutriënten. Een relatief lage beschikbaarheid van nutriënten is van belang voor de ontwikkeling van karakteristieke elzenbroek ondergroei.

In een veldexperiment op het landgoed Het Lankheet (Overijssel) zijn gedurende de periode 2005-2009 de effecten onderzocht van bevloeiing in de winter en het voorjaar op de abiotische toestand en vegetatie. Het bevloeiingswater bestond uit beekwater dat vooraf werd gezuiverd in zuiveringsmoerassen. In een factoriële experiment is gekeken naar de effecten van 3 en 6 maanden bevloeiën en wel en niet plaggen van de bodem. De evaluatie in 2009 gaf inzicht in de korte-termijneffecten op waterstandsregime, zuurgraad/ basenrijkdom, nutriëntenhuishouding en vegetatie na vier jaren met bevloeiing. Ten einde meer zicht te krijgen op de lange-termijneffecten van bevloeiing, vooral ten aanzien van de ontwikkeling van nutriëntenrijkdom en vegetatie, is in 2016 een nieuwe meetronde uitgevoerd. Met het beschikbare projectbudget was het mogelijk om in 2016 de vegetatie op te nemen en bodemonsters te analyseren op nutriënten- en basenchemie. Het bodemonderzoek was beperkt tot de niet-geplagde delen uit oogpunt van kosten en het geringe herstelperspectief voor elzenbroekvegetatie in de geplagde delen.

Vraagstelling voor dit vervolgonderzoek is:

1. Hoe herstellen de zuurgraad en zuurbuftercapaciteit op de langere termijn bij bevloeiing en hoe worden deze beïnvloed door de bevloeiingsduur?
2. Hoe ontwikkelt de fosfaatvoorraad in de bodem en de beschikbaarheid van anorganisch stikstof en fosfaat zich op de langere termijn bij bevloeiing en hoe wordt dat beïnvloed door de bevloeiingsduur?
3. Hoe ontwikkelt de vegetatie zich op de langere termijn bij bevloeiing en hoe wordt deze beïnvloed door de bevloeiingsduur en wel/ niet plaggen?

## Aanpak monitoring

De oorspronkelijke opzet van het experiment met twee bevloeiingscompartimenten (3 en 6 maanden bevloeiën) werd voortgezet en in elk bevloeiingscompartiment werd het verloop van de waterstand gevolgd. In 2016 werden bodemonsters van de strooisellaag en de bovenste 5 cm van het minerale profiel geanalyseerd op parameters voor organische stof, basenchemie en nutriëntenchemie. Daarbij werden in elk van de twee bevloeiingscompartimenten 6 niet-geplagde plots bemonsterd die ook in 2005 (nulsituatie) en 2009 waren bemonsterd. De vegetatiestructuur en soortensamenstelling werd gevolgd in alle 48 plots (12 opnamen per behandelcombinatie van bevloeiën en bodembehandeling). De effecten van de verschillende behandelingen en trends werden geanalyseerd. Voor bodemchemie werden naast ontwikkeling van de gehalten ook die van de voorraden geanalyseerd.

## Effecten op zuurgraad en basenrijkdom

Het bevoeien met voorgezuiverd beekwater heeft bij beide bevoeiingsduren geleid tot een sterke stijging van de pH en basenverzadiging van de bodemtoplaag en de sterkste stijging trad op bij de langste bevoeiingsduur. Bij beide bevoeiingsduren worden pH-condities bereikt in het hogere deel van de range van het *Gewoon elzenbroek*. De analyse van de stofbalans van uitwisselbaar calcium en magnesium (respectievelijk  $Ca_{\text{exch}}$  en  $Mg_{\text{exch}}$ ) laat zien dat er grote verschillen zijn tussen beide bevoeiingscompartimenten. De netto toename van de basenvoorraad in de bodemtoplaag trad wel op in het compartiment met 6 maanden bevoeien, maar niet met 3 maanden bevoeien. Naast een grotere aanvoer van basen bij 6 maanden bevoeien, werden deze verschillen bepaald door verschillen in de dynamiek van de organische stofvoorraad tussen beide bevoeiingscompartimenten.

Er kon een duidelijke relatie tussen de bodem-pH en de ratio van  $Ca_{\text{exch}}+Mg_{\text{exch}}$  met organische stof ( $(Ca_{\text{exch}}+Mg_{\text{exch}})/SOM$ ) worden vastgesteld. Deze ratio is een bruikbare proxi-variabele voor de basenverzadiging. Bij de aanrijking van de bodem met Ca en Mg trad een gelijktijdige stijging van de pH en basenverzadiging op. Opvallend is dat in de latere jaren bij dezelfde waarde van  $(Ca_{\text{exch}}+Mg_{\text{exch}})/SOM$  een hogere bodem pH werd gemeten dan in 2005. Deze verschuiving in de basenverzadiging-pH relatie werd veroorzaakt door interne alkalinisatie van de bodem als gevolg van het optreden van aerobe afbraak door de vernatting na 2005 en de aanvoer van sulfaathoudend bevoeiingswater. De interne alkalinisatie bevorderde tevens de adsorptie van de aangevoerde basische kationen in de bodemtoplaag.

## Effecten op de nutriëntenhuishouding

### *Fosfaathuishouding*

Uit het bodemchemische onderzoek van de periode 2005-2009 bleek dat een belangrijk deel van de fosfaatvoorraad in de bodemtoplaag in het bevoeiingsexperiment uit aan ijzer- en aluminiumhydroxiden geadsorbeerd fosfaat bestond. Om deze reden heeft de vervolgmonitoring in 2016 zich gericht op de met ammoniumoxalaat extraheerbare fracties van P, Fe en Al (resp.  $P_{\text{oxa}}$ ,  $Fe_{\text{oxa}}$  en  $Al_{\text{oxa}}$ ) en de daaruit afgeleide fosfaatverzadigingsindex ( $PSI = (P_{\text{oxa}}/(Fe_{\text{oxa}}+Al_{\text{oxa}}))$ ). In de strooisellaag en 0-5 cm laag nam het  $P_{\text{oxa}}$ -gehalte af. Het  $Fe_{\text{oxa}}$ -gehalte nam in de strooisellaag sterk toe en in de minerale laag juist af. Gezamenlijk resulteerden veranderingen in de oxalaat extraheerbare gehalten van P, Fe en Al in een sterke verlaging van de PSI in de strooisellaag en een minder sterke verlaging in de onderliggende minerale laag. Hieraan liggen veranderingen in voorraden ten grondslag. Opvallend is dat in de strooisellaag tussen 2005 en 2016 geen netto verandering van de  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad optrad, maar wel een sterke toename van de  $Fe_{\text{oxa}}$  voorraad en deels ook  $Al_{\text{oxa}}$  voorraad. In de onderliggende minerale laag trad wel een afname op van de  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad en namen de  $Fe_{\text{oxa}}$  en deels de  $Al_{\text{oxa}}$  voorraad ook af. In de strooisellaag speelt daarom netto uitloging van geadsorbeerd fosfaat geen rol en in de topplaat van het minerale profiel wel.

De  $Fe_{\text{oxa}}$ -voorraad van de strooisellaag nam het sterkst toe dicht bij de instroompunten, wat duidt op de aanvoer van ijzerhoudend slib via het bevoeiingswater. Met de aanvoer van ijzerhoudend slib zal ook geadsorbeerd fosfaat worden aangevoerd. Mogelijk trad er in de strooisellaag door bevoeiing wel uitloging van geadsorbeerd fosfaat op naar het oppervlaktewater, maar werd een afname van de  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad tegelijk tegengewerkt door aanvoer van ijzerrijkslib waaraan fosfaat is geadsorbeerd. Daarnaast speelt voor de strooisellaag ook een permanente aanvoer van fosfaat door inval van blad en hout een rol. Het aangevoerde ijzer en fosfaat zou daarbij (deels) ook uit de minerale ondergrond kunnen zijn aangevoerd door diffusie en (periodieke) kwel. In de strooisellaag van het compartiment met 3 maanden bevoeien trad in eerste instantie een afname op en daarna een toename van de  $P_{\text{oxa}}$  voorraad. Deze veranderingen traden parallel op met de trends van de organisch-stofvoorraad.

De PSI-waarden van de bodemtoplaag zijn in 2016 laag en zitten in de range waarbij in droge bodems een geringe hoeveelheid van snel desorbeerbare fosfaat wordt gemeten. Daaruit zou kunnen worden afgeleid dat de fosfaatbeschikbaarheid voor planten gering is. Uit het hydrochemische onderzoek uitgevoerd in de periode 2005-2009 bleek echter

dat de ortho-fosfaatconcentraties in het porievocht van de bodemtoplaag na de vernatting hoog waren geworden als gevolg van desorptie van fosfaat. Ook indiceerde extreem hoge P-ortho concentraties in het periodiek stagnerende oppervlaktewater en de tijdelijk massale groei van Klein kroos (*Lemna minor*) gedurende de eerste jaren van het experiment op sterke desorptie van fosfaat uit de bodem. Vergelijking van  $P_{\text{oxa}}$  en  $Fe_{\text{oxa}}$  gehalten met de grenswaarde voor P-limitatie in grondwatergevoede venen laat zien dat de bodemchemische toestand van de bodemtoplaag wat betreft het fosfaatgehalte zich gunstig heeft ontwikkeld, maar wat betreft ijzergehalte ongunstig heeft ontwikkeld. De fosfaatbeschikbaarheid in de strooisellaag is na een aanvankelijke hoge beschikbaarheid in de beginperiode van de bevoeiing vermoedelijk verminderd, maar nalevering vanuit de minerale ondergrond kan nog belangrijke een rol spelen.

#### *Stikstof*

Voor het N-totaal gehalte worden geen significante trends gevonden. Gedurende het experiment vertoonde de C/N-ratio van de toplaag van het minerale profiel een zwakke toename. Een afname van de ratio van het gewichtsverlies na verbranding bij 350°C met het gewichtsverlies na verbranding bij 550°C (lage waarde is een indicator voor minder goede brandbaarheid) duidt op een toegenomen humificatiegraad onder invloed van anaerobe afbraak. De metingen uit 2016 geven aan dat minerale stikstof vooral in de vorm van ammonium aanwezig was in samenhang met de natte, anaerobe condities. Het  $NH_4$ -gehalte was in de strooisellaag duidelijk hoger dan die van de minerale laag. De  $NH_4$ -gehalten waren hoog in vergelijking tot die van natte, schrale vegetatietypen en in de minerale laag vergelijkbaar tot hoog. Door de overwegend hoge  $NH_4$ -gehalten in de strooisellaag en deels ook minerale laag is de beschikbaarheid van minerale stikstof relatief goed.

### **Effecten op de vegetatie**

#### *Ontwikkeling zonder plaggen*

In de niet-geplagde plots trad vestiging van nieuwe plantensoorten op, waaronder ook kenmerkende soorten van het *Gewoon elzenbroek*, toen deze plots in de zomer droogvielen. Elzenzegge (*Carex elongata*) nam af in bedekking, maar juist toe in populatieomvang door verjonging. Recent hebben enkele andere kenmerkende soorten van het *Gewoon elzenbroek* zich uitgebreid en verschenen soorten als Blauw glidkruid (*Scutellaria galericulata*) en Bitterzoet (*Solanum dulcamara*). Een deel van de elzenbroeksoorten bereikte in het bevoeiingscompartiment met 6 maanden bevoeiing een hogere presentie dan bij korter bevoeien. Het herstel van elzenbroeksoorten hangt samen met de vernatting en ook herstel van de basenrijkdom van de bodem. Het sterkere herstel van deze soorten in het compartiment met 6 maanden bevoeien is gecorreleerd aan een sterkere toename van de pH en basenverzadiging van de bodemtoplaag. De aanwezigheid van een dikke strooisellaag in de nulsituatie, die stamde uit de verdroogde verzuurde fase, vormde daarbij geen belemmering. Soorten van droge en vochtige bossen (deels zuurminnend) die in de verdroogde en verzuurde nulsituatie een groot aandeel hadden, zijn sterk achteruitgegaan en vele daarvan zijn verdwenen. Door langdurige inundatie tijdens het groeiseizoen in de eerste jaren van de bevoeiing en de daarmee gepaard gaande eutrofiering van de waterlaag, was de eutrafente waterplant Klein kroos (*Lemna minor*) tijdelijk dominant. Door verbetering van de afwatering in de zomer werd vanaf 2008 weer droogval in de zomer gerealiseerd en nam deze soort snel af. Soorten van voedselrijke moerassen zijn in bedekking toegenomen. Vooral in de lagere delen van het bosperceel nam riet (*Phragmites australis*) geleidelijk toe in bedekking zonder dominant te worden.

De boomlaag is in bedekking en hoogte afgenomen door de vernatting en bevoeiing. Veel van de struiken stierven af, berken gingen dood en de Zwarte elzen verminderde in vitaliteit. Dit leidde tot betere lichtcondities voor de kruidlaag. De moslaag profiteerde hier niet van omdat deze sterk gedecimeerd werd door de langdurige bevoeiingen. In de latere jaren trad door stormen windworp op van elzen, wilgenstruiken en afgestorven berken. Lokaal leidde dit juist tot meer beschaduwing van de kruidlaag, vooral op plekken waar elzenstaken naar de grond waren gebogen. De verslechterde vitaliteit van de boom- en struiklaag zorgde tevens voor een verhoogde input van dood hout naar de strooisellaag.

### *Ontwikkeling met plaggen*

In de geplagde plots ontwikkelden zich nauwelijks elzenbroek-soorten, in eerste instantie omdat hier langdurige inundatie in de zomer optrad. Dit leidde tot een tijdelijke dominantie van Klein kroos (*Lemna minor*). Echter ook toen een deel van de geplagde plots in de zomer droogviel en de bedekking van deze soort afnam, was de ontwikkeling van elzenbroeksoorten veel geringer dan in de niet geplagde delen. De maaiveldverlaging als gevolg van het plaggen maakt voor de zomerperiode net het verschil tussen langdurige inundatie van geplagde plots en geen of nauwelijks inundatie van niet geplagde delen. Elzenzegge (*Carex elongata*) kwam in geplagde plots in 2016 niet meer voor. Later nam riet (*Phragmites australis*) langzaam toe. Wanneer deze ontwikkelingen worden vergeleken met die van de niet-geplagde delen, dan blijkt dat een combinatie van hoge waterstanden boven maaiveld in de winter en het voorjaar én droogval in de zomer essentieel is voor herstel van soorten van het Gewoon elzenbroek. Geconcludeerd kan worden dat de aanvullende maatregel plaggen weinig bijdroeg aan herstel van elzenbroekvegetatie. Omdat herstel van elzenbroeksoorten wel goed optrad zonder plaggen, is plaggen geen zinvolle, aanvullende maatregel bij herstel van het Gewoon elzenbroek vanuit verdroogde en verzuurde bodems door middel van bevoeiing met baserijk oppervlaktewater. Essentieel is dat in de zomer droogval van de bodem optreedt en de baserijkdom van de bodemtoelaag wordt hersteld.

# Summary

## Introduction and research questions

In The Netherlands alder carrs have declined in area and quality due to desiccation, acidification and eutrophication. In brook valleys flooding with surface water could be an alternative measure for restoring a high water level and base rich conditions, when reducing of drainage is not an option. Although flooding with surface water can restore a high soil pH on a short time, restoration of a high base saturation may need more time. Flooding may also have adverse effects by input of nutrients, and internal eutrophication due to rewetting and chemical interaction of the flooding water with the soil. Contrary, flooding water can also leach nutrients from the topsoil when it can pass true an alder carr. A relative low nutrient status is important for well-developed alder carr vegetation.

At the estate *Het Lankheet* (Overijssel, The Netherlands) a field experiment was carried out during the period of 2005-2009 in order to assess the effects of flooding with surface water during winter and spring on the abiotic conditions and vegetation. The flooding water was extracted from a brook, was purified in helophyte filters, and then directed to the experimental area. The experiment had a factorial design with two flooding regimes (3 and 6 months) and two soil treatments (no treatment and sod cutting). The evaluation of this experiment revealed the short time effects on water level regime, soil pH/ base status, nutrient status, and vegetation. In order to have more insight into the mid-term effects, measurements were repeated in 2016. With the available project budget it was possible to record vegetation and carry out soil analyses for nutrient and base chemistry.

Research questions for the follow-up monitoring are how does flooding with surface water affect:

1. soil acidity and base saturation, and how both are affected by duration of flooding?
2. the availability of phosphate and nitrogen, and how both are affected by duration of flooding?
3. the development of vegetation, and how is this affected by duration of flooding?

## Methods

The initial experiment with two flooding compartments (3 and 6 month) was continued. In each compartment phreatic water levels were measured. In 2016 soil samples of the litter layer and the upper 5 cm mineral layer (0-5 cm layer) were analysed for organic matter, base chemistry, and nutrient chemistry. Therefore non sod cut plots were sampled, which were also sampled in 2005 and 2009 (in each flooding compartment 6 plots). Because the evaluation of 2009 indicated poor restoration prospects at the sod cut sides, here no soil sampling was carried out. Vegetation structure and species composition were recorded in all 48 plots (for each combination of flooding duration and soil treatment 12 plots). The effects of the different treatments and trends were analysed. For soil chemistry as well effects on content, as pools were accessed.

## Effects on soil acidity and base status

Flooding with pre-treated brook water caused a rise of soil pH and base saturation of the topsoil for both flooding durations. The strongest effects occurred with longest flooding duration. For both flooding durations pH conditions were established in the higher range of alder carr (*Carici elongatae-Alnemtum*). The pools of exchangeable calcium and magnesium (resp.  $Ca_{exch}$  and  $Mg_{exch}$ ) were very different for both compartments. A net increase of base cations pools occurred with 6 months flooding, but not with 3 months flooding. Besides a stronger input of base cations in the 6 month compartment, these differences in base cation pools were caused by different dynamics of soil organic matter pools.

There was a clear relation between soil pH and the ratio of  $Ca_{exch}+Mg_{exch}$  to soil organic matter ( $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$ ). This ratio can be used as a proxy variable for base saturation. During the enrichment of the soil with Ca and Mg, pH and the base saturation

increased simultaneous. In the later period the base saturation-pH relation shifted, with at the end of the experiment higher pH values with the same values for  $(Ca_{\text{exch}} + Mg_{\text{exch}})/\text{SOM}$ . This shift was caused by alkalinisation due to increased anaerobic decomposition which was stimulated by the combined rewetting and inflow of relatively sulphate rich flooding water. The internal alkalinisation also promoted the adsorption of base cations in the topsoil.

## Effects on nutrient status

### Phosphorous

The evaluation of the monitoring during the period 2005-2009 revealed that a considerable part of the phosphorous pool was bound to iron and aluminium hydroxides. Therefore the monitoring in 2016 focussed on the ammonium oxalate extractable fractions of P, Fe and Al (resp.  $P_{\text{oxa}}$ ,  $Fe_{\text{oxa}}$  en  $Al_{\text{oxa}}$ ), and the phosphate saturation index ( $PSI = (P_{\text{oxa}} / (Fe_{\text{oxa}} + Al_{\text{oxa}}))$ ). In the litter layer and 0-5 cm layer  $P_{\text{oxa}}$  content decreased. The  $Fe_{\text{oxa}}$  content decreased in the litter layer, and increased in the 0-5 cm layer. The combined effect of changes in pools of  $P_{\text{oxa}}$ ,  $Fe_{\text{oxa}}$  and  $Al_{\text{oxa}}$  resulted in a strong decrease of the PSI in the litter layer, and a moderate decrease in the 0-5 cm layer. Although between 2005 and 2016 no net change of  $P_{\text{oxa}}$  pool happened,  $Fe_{\text{oxa}}$  pool and partly  $Al_{\text{oxa}}$  pool increased. In the 0-5 cm layer  $P_{\text{oxa}}$ ,  $Fe_{\text{oxa}}$  and partly  $Al_{\text{oxa}}$  pools decreased. The  $Fe_{\text{oxa}}$  pool in the litter layer increased most strongly close to the inflows of the surface water, which indicate sedimentation of iron rich particles. These particles could also transport adsorbed phosphate. Possibly phosphate leached from the litter layer to the flooding water, but the decline of the  $P_{\text{oxa}}$  pool was counteracted by sedimentation of iron rich particles. Moreover deposition of tree litter (leaves and wood) could have add to input of P. Also input of Fe and P to the litter layer by leaching from the underlying mineral layer could have occurred due to seepage and diffusion. In the litter layer of the compartment with 3 months flooding initially the  $P_{\text{oxa}}$  pool decreased, and later on increased, parallel with the trend of the soil organic matter pool.

The PSI values of the topsoil are in 2016 low, and in a range with low amounts of quickly desorbable phosphate reported for dry soils. This may imply a low availability of phosphate for plants. However, the hydrochemical measurements carried during 2005-2009 revealed increased ortho-phosphate concentrations in topsoil pore water due to strong desorption of phosphate. This was also indicated by extreme high ortho-phosphate concentrations in stagnating surface water and temporary massive presence of *Lemna minor*. When  $P_{\text{oxa}}$  and  $Fe_{\text{oxa}}$  content is compared with a threshold value for P-limitation in groundwater fed fens, phosphate content has developed toward P-limitation. Concluded is that the initial high availability of phosphorous has decreased, but that leaching from the mineral subsoil is may be important for supply of phosphorous to the litter layer.

### Nitrogen

No significant trends were detected for soil total N. During the experiment the topsoil C/N ratio showed a weak increase. An increase of the ratio of loss of ignition at 350°C to the loss of ignition at 550°C indicated an increased humification degree due to anaerobic decomposition. Mineral N is dominated by  $NH_4$ , because of the anaerobic conditions in the wet, organic matter rich soil.  $NH_4$  content is high in comparison to reference values for wet, nutrient poor vegetation. Because of the high  $NH_4$  content, availability of mineral N will be high.

## Effects on vegetation

### Development in plots without sod cutting

In plots without sod cutting new plant species settled, including characteristic species of alder carr (*Carici elongatae-Alenetum*). The typical species *Carex elongata* decreased in cover, but its population size increased due to renewal. Recently other typical species emerged, like *Scutellaria galericulata* and *Solanum dulcamara*. A strong recovery of these species in the compartment with 6 month flooding was correlated with a strong rise of soil pH and base saturation. A thick litter layer in the initial desiccated situation did not hamper this recovery. Species of dry to moist and partly acidic forest, which were abundant before the experiment, declined strongly, and most disappeared. During the

first years of the experiment with long inundation during the summer and strong eutrophication of the surface water layer *Lemna minor* was dominant. Due to improved dry fall during the summer, this species declined and terrestrial species of alder carr and nutrient rich fens increased. In the lower parts *Phragmites australis* increased gradually without getting dominant.

The tree layer decreased in cover due to a lesser vitality because of rewetting and flooding. Many shrubs and birches died of, and *Alnus glutinosa* became less vital. These changes resulted in overall better light conditions for the herb layer. Mosses did not profit from this because these were suppressed by the long inundation. Later less vital willow shrubs and alder trees were pushed down by storms. This resulted locally to poor light conditions for the herb layer, especially where down bended alder survived. The lower vitality of trees and shrubs also resulted in an increased input of dead wood to the litter layer.

#### *Development in plots with sod cutting*

In the sod cut plots initially nearly no species of alder carr developed, due to long inundation during the summer with a dominance of *Lemna minor*. Later on, when the plots fell dry, *L. minor* decreased, the development of alder carr species was limited. When this development is compared with those in the non-sod cut plots, the combination of high water levels above soil level during winter and spring, and dry fall of the soil during the summer is decisive for recovery of alder carr species. Concluded is that sod cutting is not an useful additional measure to flooding for restoration of *Carici elongatae-Alnetum*. Essential is that periodical flooding is alternated with dry fall during summer and the base rich conditions in the top soil are restored.

# 1 Inleiding en doel

## 1.1 Herstel van verdroogd elzenbroek door middel van bevloeiing

Elzenbroekbossen zijn in Nederland sterk in areaal en kwaliteit achteruitgegaan door verdroging, verzuring en eutrofiëring. In beekdalgebieden waar het niet mogelijk is om de grondwaterhuishouding met het vereiste waterregime en kwel van basenrijk grondwater te herstellen door aanpak van ontwatering, kan bevloeiing met basenrijk oppervlaktewater een alternatief vormen voor het realiseren van de vereiste abiotische condities. Herstel van het waterstandsregime en een voldoende hoge pH is met bevloeiing goed mogelijk op een korte termijn. Herstel van de zuurbuffercapaciteit vergt echter een langere termijn. Bevloeiing met oppervlaktewater kan echter ook negatieve effecten hebben door aanvoer van nutriënten en interne eutrofiëring als gevolg van vernatting (omslag naar anaërobie door vernatting) en chemische interacties van het bevloeiingswater met de bodem. Verdroogde bodems kunnen hiervoor gevoelig zijn. Anderzijds kan het bevloeiingswater bij voldoende doorstroming ook veel nutriënten afvoeren en mogelijk daardoor op de langere termijn zorgen voor een lagere beschikbaarheid van nutriënten. Een relatief lage beschikbaarheid van nutriënten is van belang voor de ontwikkeling van karakteristieke elzenbroek ondergroei.

In de periode 2005-2009 zijn de effecten onderzocht van bevloeiing in de winter en het voorjaar op de abiotische toestand en vegetatie in een veldexperiment op het landgoed Het Lankheet (Overijssel). Er werd bevoeit met beekwater dat vooraf werd gezuiverd in zuiveringsmoerassen. In een factoriële experiment is gekeken naar de effecten van 3 en 6 maanden bevoeien, en wel en niet plaggen van de bodem. De evaluatie in 2009 gaf inzicht in de korte-termijneffecten op waterstandsregime, zuurgraad/ basenrijkdom, nutriëntenhuishouding en vegetatie. Ten einde meer zicht te krijgen op de lange-termijneffecten van bevloeiing, vooral ten aanzien van de ontwikkeling van nutriëntenrijkdom en vegetatie, is in 2016 een nieuwe meetronde uitgevoerd. Met het beschikbare budget was het mogelijk om in 2016 de vegetatie op te nemen en bodemonsters te analyseren op nutriënten- en basenchemie. Het bodemonderzoek was beperkt tot de niet-geplagde delen uit oogpunt van kosten en het geringe herstelperspectief voor elzenbroekvegetatie in de geplagde delen.

## 1.2 Vraagstelling voor vervolgmonitoring

Onderzoeksvragen zijn:

1. Hoe herstellen de zuurgraad en zuurbuffercapaciteit op de langere termijn bij bevloeiing en hoe worden deze beïnvloed door de bevloeiingsduur?
2. Hoe ontwikkelt de fosfaatvoorraad in de bodem en de beschikbaarheid van anorganisch stikstof en fosfaat zich op de langere termijn bij bevloeiing en hoe wordt dat beïnvloed door de bevloeiingsduur?
3. Hoe ontwikkelt de vegetatie zich op de langere termijn bij bevloeiing en hoe wordt deze beïnvloed door de bevloeiingsduur en wel/ niet plaggen?

## 2 Opzet van het experiment

### 2.1 Onderzoekslocatie

Op het landgoed het Lankheet, gelegen tussen Eibergen (Ge) en Haaksbergen (Ov), wordt sinds de winter van 2001/2002 verdroogd Elzenbroekbos bevoeid met basenrijk oppervlaktewater van lokale herkomst. In de periode van 2002-2004 zijn de effecten op grondwaterstand, basenchemie van de bodem en vegetatie gevolgd met monitoringonderzoek (Aggenbach et al. 2004). Conclusie van deze monitoring was dat de toenmalige wijze van bevoeien niet leidde tot het noodzakelijke waterregime (te korte periode van bevoeien) en tot onvoldoende herstel van de basenrijkdom. Voor verhoging van de basenverzadiging in de organische stofrijke, sterk uitgeloopte bodem moest namelijk een grote hoeveelheid basische kationen worden aangevoerd via het oppervlaktewater. Verder bleek de lokale toevoer van oppervlaktewater onvoldoende te zijn (geen aanvoer in droge jaren). Het lokale oppervlaktewater van het landgoed is bovendien vervuild met zware metalen als gevolg van chemische processen in het freatisch pakket onder invloed van vermesting van grondwater en verdroging (Aggenbach et al. 2004).

In 2005 werd het bevoeiingssysteem op het landgoed aangepast. Daarbij werd de aanvoer van een grote hoeveelheid gezuiverd oppervlaktewater uit de Buurserbeek mogelijk gemaakt. Voorzuivering van het bevoeiingswater was mogelijk doordat vanaf het voorjaar van 2006 op het landgoed een proef werd gestart met zuivering van vervuild beekwater door middel van zuiveringsmoerassen. De zuiveringsmoerassen waren onderdeel van een grootschalige proef van Plant Research International (PRI) in samenwerking met het waterschap en provincie Overijssel. De hele herinrichting van de waterhuishouding beoogde zowel WB21-doelstellingen (berging en vergroting van de grondwatervoorraad) als ecologische doelstellingen (mogelijkheden voor herstel van Elzenbroekbos en Vogelkers-Essenbos). Met kleine ingrepen kon het gezuiverde water naar bospercelen worden geleid en konden deze percelen voor experimenten met vloeiwatervoorraad worden gebruikt. Eén perceel werd ingericht voor herstel van elzenbroekvegetatie (*Gewoon elzenbroek*) vanuit een sterk verdroogde en verzuurde situatie.

### 2.2 Proefopzet

De proefopzet is als volgt ingericht (Figuur 2-1):

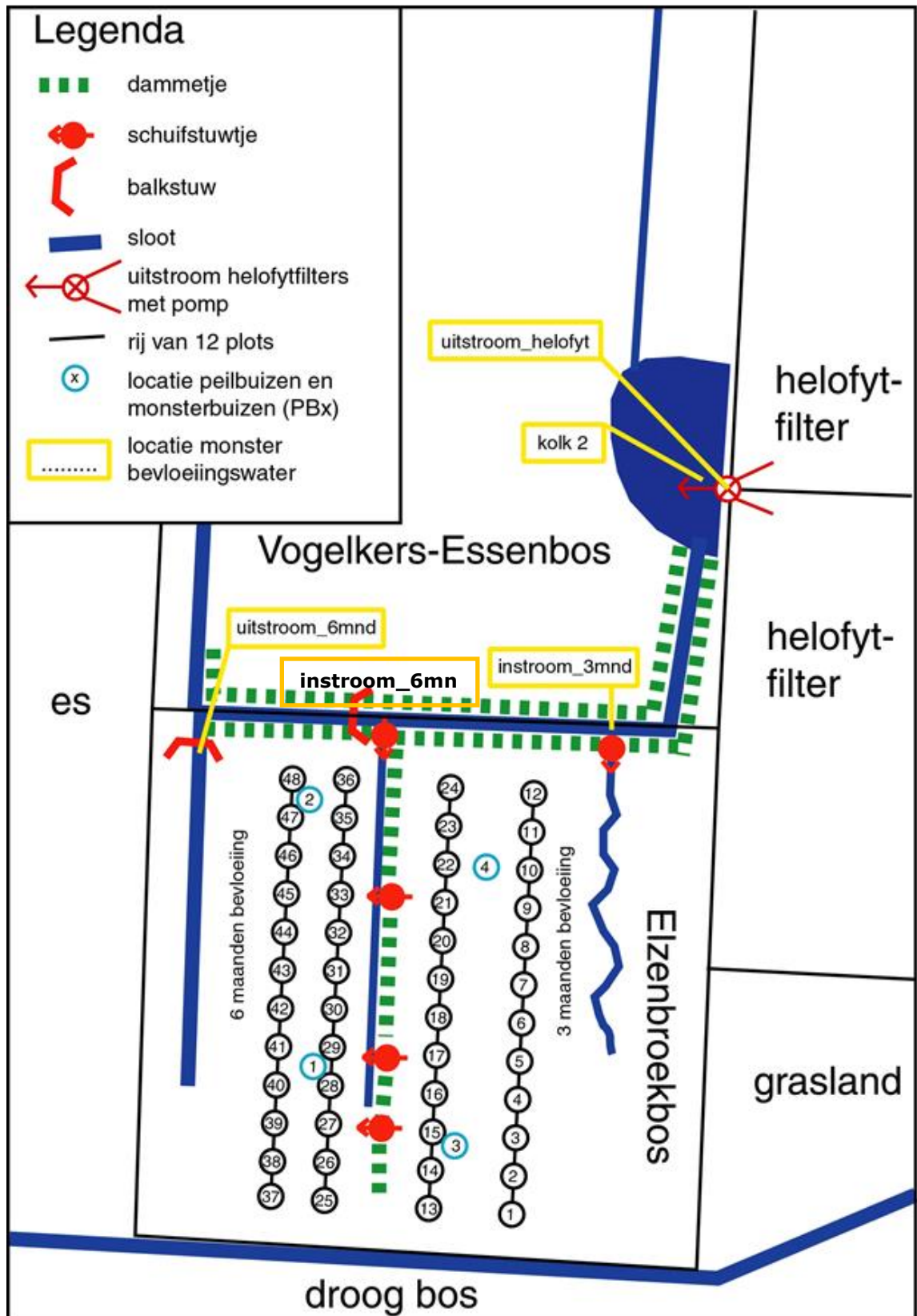
- Er zijn twee compartimenten in het perceel ingericht: één met een lange (6 maanden; november t/m april) en een ander met een korte (3 maanden; februari t/m april) bevoeiingsperiode.
- Binnen elke compartiment is het effect van wel en geen verwijdering van de organische toplaag onderzocht. Voor de vervolgmonitoring in 2016 is de bodemchemische analyse beperkt tot de niet-geplagde plots.
- Voor elke combinatie van bevoeiingsregime en bodembehandeling zijn 12 plots ingericht waarin de vegetatie en bodemchemie wordt gevolgd. Aanvankelijk waren plots gepland met een straal van 1,5 m. Bij plagplots is uiteindelijk in een straal van 1 m de toplaag verwijderd in het najaar van 2005. Daarom bedroeg de straal van vegetatie-opnamen in de plots in 2005 (voor het plaggen) 1,5 m en vanaf 2006 0,75 m. Plagplots waren tot en met het najaar van 2009 afgezet met gaas, zodat aanvoer van drijvend strooisel naar de plagkuilen door bevoeiingswater werd voorkomen. Omdat in de latere jaren het opdrijven van strooisel niet optrad, werd het gaas verwijderd.

- De plots zijn uitgezet in 4 raaien van 12 plots. De plots liggen in het vlakke, lage deel van het bosperceel (niet op oude rabatten en in oude greppels). Er is zoveel mogelijk uitgegaan van vaste afstanden tussen de raaien en tussen de meetpunten (ca. 6 m) binnen de raaien. Verschillen in maaiveldhoogte tussen de plots zijn gering. Plots met en zonder plaggen alterneren in de raaien.



*Foto: De nulsituatie in 2005 van het perceel met het herstelexperiment voor elzenbroekbos. Op de bodem lag veel onverteerd strooisel, de vegetatie had een matige bedekking en hierin kwam regelmatig Gewone braam en Smalle/ Brede Stekelvaren voor. Rechts zijn ook kwijnende planten van Gele lis zichtbaar. Als duidelijk relict van elzenbroek vegetatie kwam ook nog Elzenzegge voor.*

*Photo: Situation of the experimental area in the desiccated situation before flooding. On the soil much less decomposed litter was present. The herb layer had a moderate cover, and regularly present were *Rubus fruticosus s.l.*, *Dryopteris carthusiana+dilatata*. At the right non-vital plants of *Iris pseudacorus* are present. As a relict of wet alder car *Carex elongata* occurred.*



**Figuur 2-1: Inrichting van het experiment en meetnet en ligging stuwen. De plots 12, 24, 36 en 48 liggen aan de noordzijde.**

Figuur 2-1: Construction of the experiment, layout of the measuring points and position of the weir. The plots 12, 24, 36 and 48 lay at the northern edge of the experimental site.

## 2.3 Waterhuishouding en het functioneren van de bevloeiing

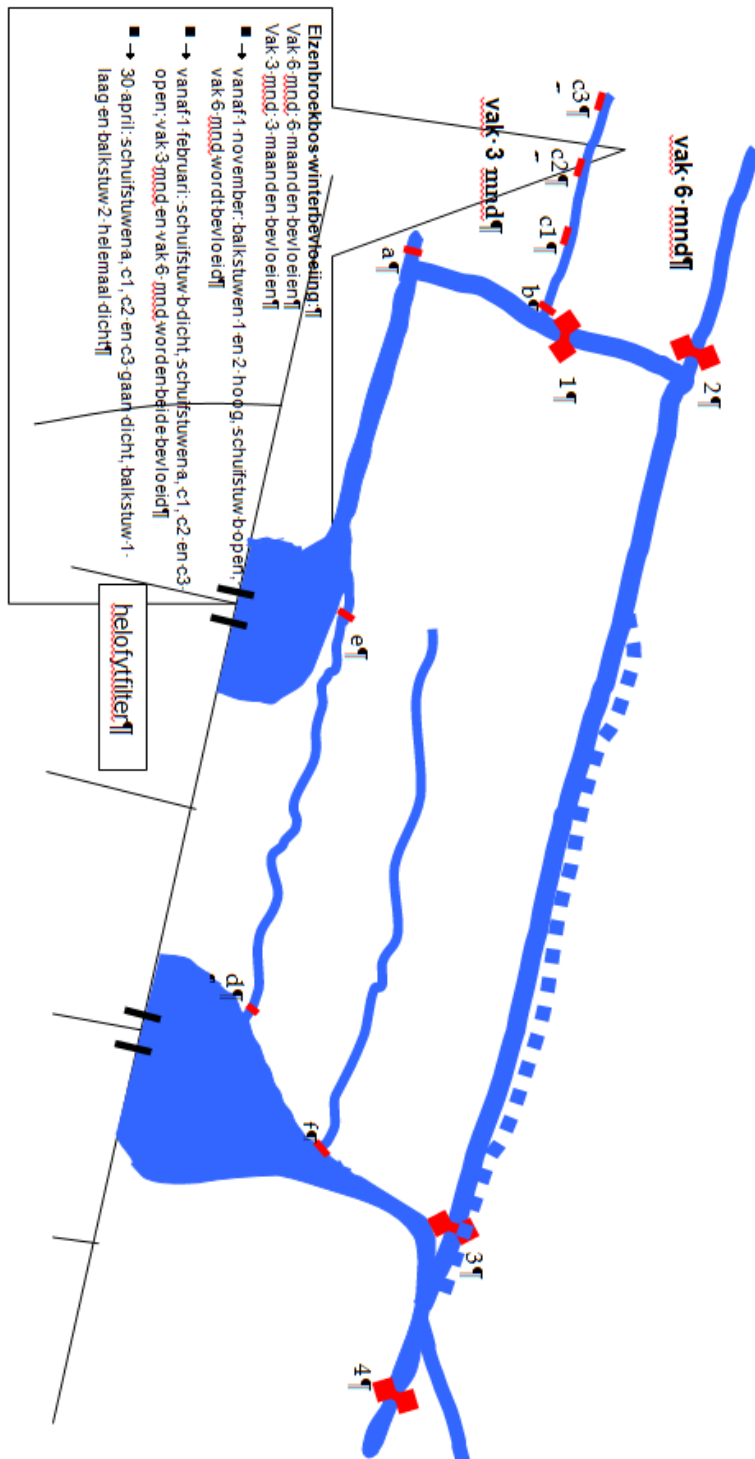
In de nulsituatie (tot 2005) werd het elzenbroekperceel sterk gedraineerd door een landbouwsloot aan de oostzijde (in Figuur 2-1 tussen elzenbroekperceel en helofytfilters/grasland) en door een diepe greppel in het westelijke deel van het elzenbroekperceel. De greppel werd richting het noorden toe dieper.

Figuur 2-2 geeft de huidige inrichting van de waterhuishouding weer. De afvoersloot die aanvankelijk diep was uitgegraven, werd eind 2005 vervangen door een ondiepe sloot en een afvoerbuis ten einde te sterke drainage door deze sloot te voorkomen. Het grondwerk voor de helofytfilters werd in 2005 uitgevoerd. In de winter van 2005/2006 was het nog niet mogelijk om de bevloeiing te realiseren, omdat het opstarten van de helofytfilters langer duurde dan gepland. De inrichting van de schuif- en balkstuwen werd gerealiseerd in het voorjaar van 2006 (figuur 1 en 2). Het scheidingsdammetje tussen de twee bevloeiingscompartimenten was al aanwezig. De dammen langs de doorvoersloot werden speciaal aangelegd. In Figuur 2-1 wordt de regeling van de stuwen t.b.v. de bevloeiing van het 3- en 6-maandscompartiment toegelicht.

De freatische stand in het broekbosperceel werd in de zomer van 2006 sterk verhoogd door het verminderen van de lokale drainage, bevloeiing van de helofytfilters en aanleg van een stuw benedenstrooms in de afvoersloot. Deze stuw (Figuur 2-2, stuw 4) werd aangelegd voor het omleiden van het bevloeiingswater rond een es voor bevloeiing van benedenstrooms gelegen delen. Omdat in de zomer de schuifstuwen a en b en de balkstuw 2 niet constant dicht stonden, stroomde incidenteel oppervlaktewater afkomstig uit de helofytfilters het broekbosperceel in.

De bevloeiingen van het 6-maandscompartiment waren gepland van 1 november t/m 30 april (180 dagen) en die van het 3-maandscompartiment van 1 februari t/m 30 april (89 dagen). Tabel 2-1 geeft de gerealiseerde bevloeiingsperioden en -duren van de twee compartimenten tijdens het experiment weer. Wegens de logistiek en af en toe onvoorziene gebeurtenissen wijken de werkelijk bevloeiingsperioden daar enigszins van af. Hoewel de duur van afzonderlijke bevloeiingsperioden kan afwijken van de geplande duur, evenaart de gemiddelde duur de geplande duur: voor het 3 maandscompartiment 88 d per seizoen (gepland 90 d) en voor het 6 maandscompartiment 182 d (gepland 180 d). In 2006 startte de bevloeiing van het 6-maandscompartiment in het elzenbroekperceel half november wegens problemen in de wateraanvoer elders op het landgoed (doorbraak van een dam). Tijdens de bevloeiing van het 6-maandscompartiment gedurende de winter van 2006 lekte de scheidingsdam tussen de bevloeiingscompartimenten waardoor ook instroom van basenrijk oppervlaktewater in het 3-maandscompartiment optrad. Eind december 2006 werd daarom het scheidingsdammetje met zand verstevigd. Helaas trad kort daarna nog een doorbraak in dit dammetje op aan de zuidzijde van het perceel. Deze doorbraak werd begin februari 2007 gerepareerd. In april 2007 werd het zand van balkstuw 1 aan een zijde weggespoeld waardoor de bevloeiing tijdelijk niet werkte. Dit werd snel gerepareerd. Daarna traden geen problemen meer op met lekkages of stuwen.

Door een gebrekkige afwatering traden in de zomers van 2006 en 2007 zeer hoge waterstanden in het elzenbroekperceel op, met langdurige inundatie van het perceel als gevolg. Omdat voor een goed ontwikkeld elzenbroekbos in de zomer droogval is vereist, is in samenspraak met het landgoed en PRI besloten om de afwatering en ontwatering te verbeteren. Door een creatieve aanpassing benedenstrooms bij stuw 4 (aanleg aquaduct) en de verdieping van de afvoersloot (tussen stuw 2 en 3) in het voorjaar van 2008 konden in de zomers vanaf 2008 lagere zomerstanden met meer droogval worden gerealiseerd. De lokale afwatering van het elzenbroek werd ook verbeterd door het aanbrengen van terugslagkleppen op de stuwen a, b en 2. Deze stuwen konden daardoor in de zomer wel water uit het elzenbroek lozen en hielden tegelijk oppervlaktewater uit de doorvoersloot tegen op momenten met hoge waterstanden door het pompen van water uit de helofytfilters naar de kolk. In de volgende jaren (tot en met 2016) kon de bevloeiing probleemloos worden vervolgd.



**Figuur 2-2: Inrichting van de waterhuishouding en regeling stuwen voor de bevoeiing.**

Figuur 2-2: Design of the water system, and regulation of the weirs for flooding.

**Tabel 2-1: Gerealiseerde duur van de bevoeiingsperioden van het compartiment met 3 maanden en met 6 maanden bevoeiing.**

Tabel 2-1: Realized flooding duration in the compartment with 3 and 6 months of flooding.

Datum	Bevoeiing aan/uit	Duur bevoeiing (d)	
		compartiment 3 maanden	compartiment 6 maanden
20061115	start bevoeiing compartiment 6 maanden		174
20070209	start bevoeiing compartiment 3 maanden	88	
20070508	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
20071104	start bevoeiing compartiment 6 maanden		176
20080126	start bevoeiing compartiment 3 maanden	93	
20080428	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
20081013	start bevoeiing compartiment 6 maanden		205
20090115	start bevoeiing compartiment 3 maanden	111	
20090506	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
20091119	start bevoeiing compartiment 6 maanden		172
20100303	start bevoeiing compartiment 3 maanden	68	
20100510	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
20101107	start bevoeiing compartiment 6 maanden		165
20110204	start bevoeiing compartiment 3 maanden	76	
20110421	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
20111115	start bevoeiing compartiment 6 maanden		177
20120221	start bevoeiing compartiment 3 maanden	79	
20120510	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
20121101	start bevoeiing compartiment 6 maanden		208
20130219	start bevoeiing compartiment 3 maanden	98	
20130528	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
20131118	start bevoeiing compartiment 6 maanden		202
20140225	start bevoeiing compartiment 3 maanden	103	
20140608	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
20141118	start bevoeiing compartiment 6 maanden		163
20150205	start bevoeiing compartiment 3 maanden	84	
20150430	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
20151112	start bevoeiing compartiment 6 maanden		179
20160218	start bevoeiing compartiment 3 maanden	81	
20160509	stoppen bevoeiing beide compartimenten		
	<b>Seizoensgemiddelde</b>	<b>88</b>	<b>182</b>
	<b>Totaal</b>	<b>881</b>	<b>1821</b>



Foto: Een pol van Elzenzegge (*Carex elongata*) tijdens de bevoeiingsperiode.

Photo: A tussock of *Carex elongata* during flooding.

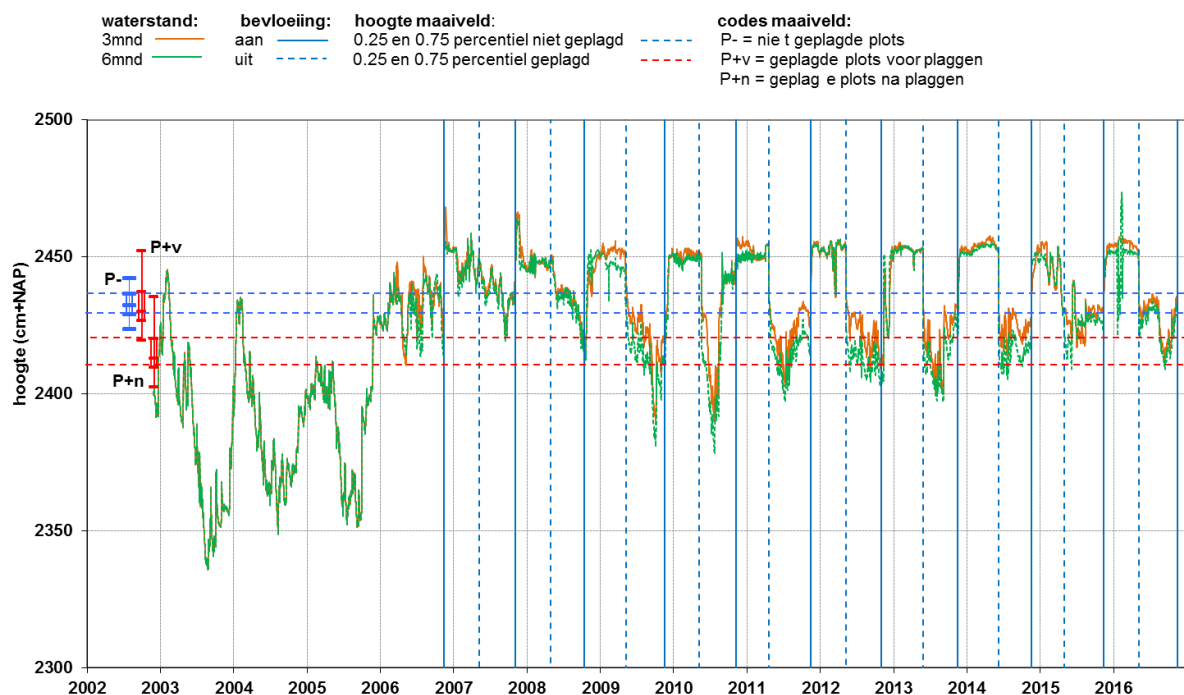
## Gerealiseerd waterstandverloop

In beide bevoeiingscompartimenten is de freatische waterstand gemeten. Deze wordt voor beide compartimenten gezamenlijk weergegeven in Figuur 2-3 en voor de compartimenten afzonderlijk in Figuur 2-4. In deze figuren worden ook de bevoeiingsperioden en de hoogteverdeling van de niet-geplagde en geplagde meetplots weergegeven. Het waterstandsverloop kwam in beide compartimenten sterk met elkaar overeen. Duidelijk waarneembaar is de vernatting als gevolg van de herinrichting van de waterhuishouding en ook de start van de bevoeiing eind 2006. Zowel de winter- als zomerstanden stegen sterk. Het aanzetten van de bevoeiing in het 6 maandscompartiment leidde ook tot een vrijwel even hoge stijging van de waterstand in het 3 maandscompartiment, omdat stijghoogten in het freatische zandpakket onder het 6-maandscompartiment sterk doorwerkten naar die van het 3-maandscompartiment. In het bevoeiingsseizoen 2006/2007 werden nog niet continu hoge waterstanden gerealiseerd, in de jaren erna wel. Een uitzondering daarop is het seizoen van 2015/2016 waarin een scherpe uitzakking en tevens een hoge piek optraden. In de jaren 2007 en 2008 was de zomerstand minder diep dan in andere jaren, wat leidde tot langdurige inundatie gedurende de zomer. Door verbetering van de afwatering gedurende de zomer werden in 2009 en 2010 diepere zomerstanden gerealiseerd waardoor alle plots in de zomer droogvielen. In de periode 2011-2016 werden de zomerstanden geleidelijk weer hoger, waardoor een aanzienlijk deel van de geplagde plots en de laagste niet-geplagde plots ook weer in de zomer ondiep gingen inunderen. Blijkbaar werd de drainagebasis benedenstrooms van het onderzoeksperceel geleidelijk minder diep.



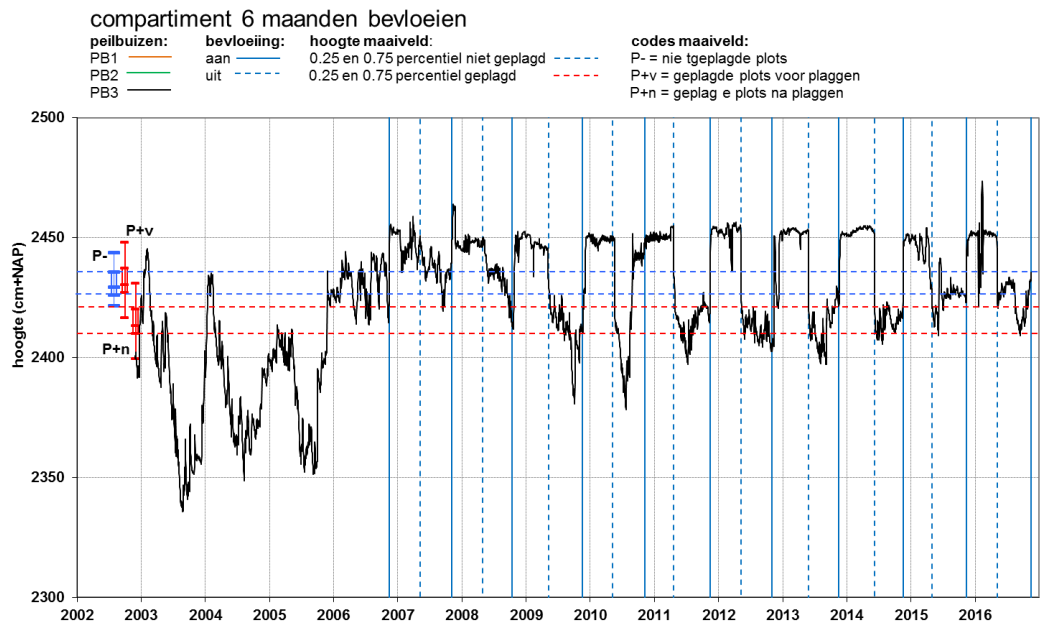
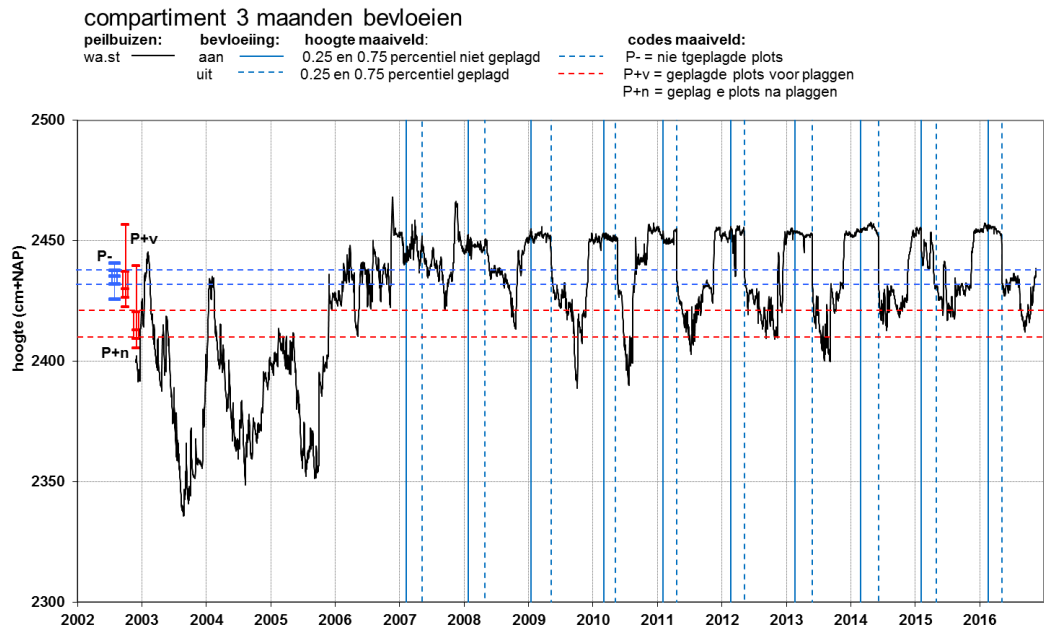
*Foto: Het experimentele elzenbroekbos tijdens bevoeiing in april 2016. Op de voorgrond Wolfspoot, Gele lis en Elzenzegge.*

*Photo: The experimental alder carr during flooding in April 2016. On the foreground Lycopus europeus, Iris pseudacorus and Carex elongata.*



**Figuur 2-3: Het verloop van de freatische waterstand in het compartiment met 3 maanden en 6 maanden bevoeiing. De blauwe verticale lijnen geven het aan- (gesloten lijn) en uitzetten (stippellijn) van de bevoeiing in het 6 maandencompartiment. De Box-Whisker-plots geven de hoogteverdeling van het maaiveld van de meetplots weer: niet geplagde plots (P-, blauw) en geplagde plots (P+, rood). De verticale streep in de box geeft de mediane waarden weer, de boven- en onderkant van de box respectievelijk het 0,25 en 0,75 percentiel van de metingen (tevens weergegeven met horizontale stippellijnen) en de onderste en bovenste whiskers respectievelijk het 0,05 en 0,95 percentiel. Voor de geplagde plots wordt de hoogteverdeling van voor het plaggen (P+v, nulsituatie in 2005) en na het plaggen (P+n, vanaf 2006) weergegeven.**

*Figuur 2-3: Phreatic water level of the compartment with 3 and 6 months flooding. Blue vertical lines indicate start (closed line) and end (dotted line) of flooding periods in the compartment with 6 months of flooding. The Box-Whisker-plots indicate distribution of soil level of the monitoring plots: non-sod cut plots (P-, blue) and sod cut plots (P+, red). For sod cut plots soil levels are indicated before sod cutting (P+v, year 2005), and after sod cutting (P+n, from the year 2016).*



**Figuur 2-4: Het verloop van de freatische waterstand in het compartiment met 3 maanden en 6 maanden bevoeiing. De blauwe verticale lijnen geven het aan- (gesloten lijn) en uitzetten (stippellijn) van de bevoeiing. De Box-Whisker-plots geven de hoogteverdeling van het maaiveld van de meetplots weer: niet geplagde plots (P-, blauw) en geplagde plots (P+, rood). De verticale streep in de box geeft de mediane waarden weer, de boven- en onderkant van de box respectievelijk het 0,25 en 0,75 percentiel van de metingen (tevens weergegeven met horizontale stippellijnen) en de onderste en bovenste whiskers respectievelijk het 0,05 en 0,95 percentiel. Voor de geplagde plots wordt de hoogteverdeling van voor het plaggen (P+v, nulsituatie in 2005) en na het plaggen (P+n, vanaf 2006) weergegeven.**

Figuur 2-4: Phreatic water level of the compartment with 3 and 6 months flooding. Blue vertical lines indicate start (closed line) and end (dotted line) of flooding periods. The Box-Whisker-plots indicate distribution of soil level of the monitoring plots: non-sod cut plots (P-, blue) and sod cut plots (P+, red). For sod cut plots soil levels are indicated before sod cutting (P+v, year 2005), and after sod cutting (P+n, from the year 2016).

## 3 Methode metingen

### 3.1 Waterstanden

#### Metingen waterstanden en correcties voor luchtdruk

Op locatie PB3 stond een peilbuis met een filterdiepte van 200-250 cm onder maaiveld voor het meten van de stijghoogte (Figuur 2-1). Deze buis was al eerder in 2002 geïnstalleerd voor monitoringonderzoek. Op de locaties PB1 t/m PB4 stond een buis met een filterdiepte van 20 cm boven tot 200 cm onder maaiveld voor het meten van freatische standen. Deze peilbuizen zijn in maart 2006 operationeel geworden. Met deze buizen (PB1\_opp, PB2\_opp, PB3\_opp en PB4\_opp) werden zowel de freatische standen als de oppervlaktewaterstanden gemeten. De hoogteligging van de peilbuizen werden in 2006 ingemeten met een waterpastaestel.

De waterstandsmetingen werden verricht met Van Essen drukopnemers (type DIVER en MINI-DIVER) met een frequentie van 1 uur. Een extra BARO-datalogger mat de luchtdruk op het landgoed, zodat de metingen van de dataloggers in de peilbuizen konden worden gecorrigeerd voor luchtdruk. Bij controle van de luchtdrukmetingen van de BARO-logger met die van weerstation Twente bleek de BARO-logger na 2011 sprongen te vertonen in de gemeten luchtdruk. Daarvoor was de BARO-logger ook al onderhevig aan een zwakke, lineaire drift. Daarom is voor de luchtdrukcompensatie na mei 2006 de luchtdrukreeks van weerstation Twente gebuikt.

Periodieke, handmatige metingen werden uitgevoerd ter controle van de metingen van de dataloggers. Gedurende 2006 bleek dat drie van de vijf dataloggers grote meetfouten gaven (PB2\_opp, PB3\_opp, PB4\_opp) en één datalogger kleinere (PB3). De metingen van de drie dataloggers konden achteraf nog gecorrigeerd worden, omdat de afwijking van de waterstand een hoge correlatie had met de temperatuur die de dataloggers maten. Deze drukopnemers werden vervangen door andere. De nieuwe loggers gaven wel betrouwbare metingen. Wel viel de drukopnemer van PB3\_opp in mei 2016 uit. Door slecht en niet functionerende drukopnemers zijn voor afzonderlijke meetreeksen af en toe meethiaten opgetreden.

#### Dataverwerking

Voor dataverwerking zijn de waterstandmetingen met een uurfrequentie omgerekend naar gemiddelde per dag.

Voor elk van bevoeiingscompartimenten werden waterstandreeksen als volgt gereconstrueerd:

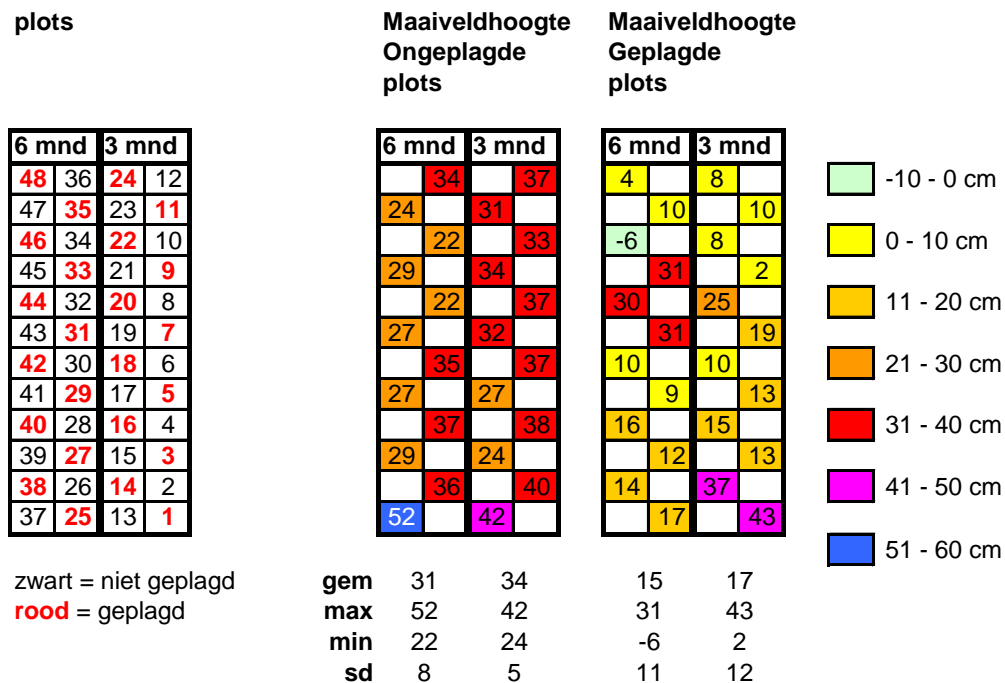
- In de periode voor 27/11/2002 t/m 16/4/2004 waren alleen metingen beschikbaar van peilbuis PB3. Voor de periode 17/4/2004 t/m 22/3/2006 waren helemaal geen waterstand waterstanden beschikbaar. Voor de periode 27/11/2002 t/m 21/3/2006 werd een waterstandreeks voor beide compartimenten gereconstrueerd door 1) metingen van PB3 te gebruiken indien voorhanden; 2) het meethiaat op te vullen met een simulatie van de waterstand op basis van een tijdreeksmodel voor de periode 27/11/2002 t/m 16/4/2004 op basis van metingen van neerslag door weerstation Rekken en van evaporatie door weerstation Hupsel (uitgevoerd met MENYANTHES). Omdat vanaf september 2005 het gebied ging vernatten als gevolg van aanleg van de helofytfilters en verandering van de waterhuishouding, werd voor de periode van 1/10/2005 t/m 21/3/2006 0.35 m opgeteld bovenop de gesimuleerde reeks.

- In de periode vanaf 22/3/2006 werd gebruik gemaakt van de meetlocaties PB1\_opp en PB2\_opp voor het compartiment met 6 maanden bevoeiing en van meetlocaties PB3\_opp en PB4\_opp voor het compartiment met 3 maanden bevoeiing. Omdat binnen de compartimenten de waterstandmetingen van beide meetpunten weinig verschilde en later minder loggers beschikbaar waren, werd voor de waterstandsmetingen vooral gebruikgemaakt van PB2\_opp voor het 6 maandscompartiment en van PB3\_opp voor het 3 maandscompartiment. Meetthiaten werden opgevuld met handmatige metingen en metingen van de andere meetlocatie in het compartiment (resp. PB\_1 en PB\_4).
- Voor het compartiment met 3 maanden bevoeien ontbraken metingen in de perioden vanaf 16/5 2016 door uitval van een drukopnemer. Voor deze periode werd de waterstandsreeks van dit compartiment opgevuld met metingen van PB2\_opp. Daarbij werd de waterstand van deze peilbuis met 0.03 m verhoogd te compensatie voor het eerder gemeten verschil in waterstand tijdens de aansluitende bevoeiingsperiode.

De gecompileerde waterstandsreeksen voor beide bevoeiingscompartimenten worden weergegeven in Figuur 2-3 en Figuur 2-4.

### 3.2 Inmeting maaiveldhoogten

De maaiveldhoogte van de plots zijn ingemeten in 2006 met een waterpasinstrument. Toen waren de plagwerkzaamheden reeds uitgevoerd. Omdat de gemiddelde hoogte van de geplagde plots 17 cm lager was dan het gemiddelde van de niet-geplagde plots, is de maaiveldhoogte van de geplagde plots in de nul-situatie voor het plaggen berekend door voor elke geplagde plot 17 cm op te tellen bij de gemeten maaiveldhoogte. In Figuur 3-1 wordt de relatieve hoogteligging van de plots weergegeven voor de situatie dat de plagplots geplagd zijn.



**Figuur 3-1: De relatieve hoogteligging van het maaiveld (cm) van de plots in het onderzoeksterrein in de situatie na het plaggen van de plagplots. Een hoogte van 0 cm komt overeen met 24.00 m+NAP. De hoogte van de geplagde plots is opgemeten na het plaggen. De plots 12, 24, 36 en 48 liggen aan de noordzijde.**

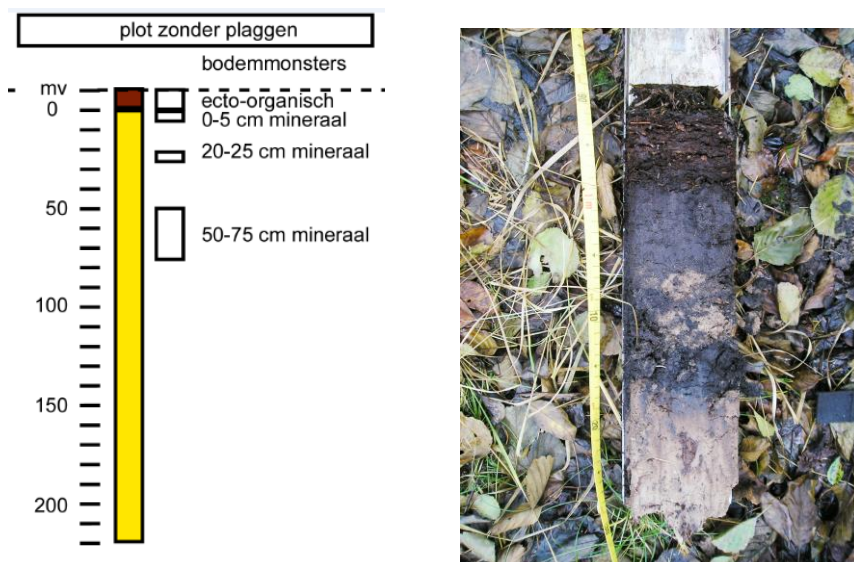
Figuur 3-1 :Relative soil levels (cm) of the plots in the experimental site in the situation after sod cutting of the plots with sod cut treatment. The level of 0 cm correspondence with 24.00 m SL.

### 3.3 Bodemchemie

#### Meetopzet en bemonstering

In Figuur 3-2 worden de bemonsteringsdiepte voor bodem in de niet-geplagde plots weergegeven. In dit rapport worden alleen tijdreeksen van de monsters van de strooisellaag (strooisel bovenop het minerale profiel) en de bovenste 5 cm van het minerale profiel (verder in het rapport aangeduid als '0-5 cm laag'), omdat deze diepte in alle meetjaren voor bodemchemie (2005, 2009 en 2016) zijn bemonsterd. De lagen 20-25 en 50-75 cm werden alleen in 2005 en 2009 bemonsterd en worden in dit rapport alleen gebruikt voor analyse van de relatie van de bodem-pH met de basenverzadiging en voor analyse van stofbalansen.

De bemonstering van de strooisellaag en de 0-5 cm laag heeft plaatsgevonden in 6 van de 12 plots in het compartiment met 3 maanden bevoeien en in 6 van de 12 plots in het compartiment met 3 maanden bevoeien. In al de drie jaren werden steeds dezelfde plots bemonsterd tijdens het najaar. Bij bemonstering werd een mengmonster van drie steken samengesteld. Er werden apart monsters voor chemische analyse en bepaling van de droge bulkdichtheid genomen. Monsters voor bulkdichtheid werden genomen met een steekring. De monsters werden gekoeld naar het lab getransporteerd.



**Figuur 3-2: Links de diepten van de bodemmonsters in plots zonder plaggen. Rechts een voorbeeld van een bodemprofiel met een strooisellaag boven op het minerale profiel uit 2009.**

*Figuur 3-2: Left the depths of the soil samples in plots without sod cutting. Right an example of a soil profile with litter layer on a mineral profile from 2009.*

#### Voorbehandeling bodemmonsters

Dikke takken en levende wortels werden verwijderd uit de veldvochtige monsters. Daarna werden de veldvochtige monsters gehomogeniseerd. Een deel van de monsters werd gedroogd (in 2005 en 2009 60°C en in 2009 40°C) en gebruikt voor het meten van de pH (alleen in 2005 en 2009), oxalaat-extractie en de extractie voor uitwisselbare basen. Een ander deel werd gedroogd bij 105°C en gemalen en gebruikt voor het meten van het organische stofgehalte en de analyse van C en N met pyrolyse. In 2016 werd ook nog een deel van het veldvochtige monster gebruikt voor het meten van de pH, en het NO<sub>3</sub>- en NH<sub>4</sub>gehalten in een 1 M KCl-extract. De volumemonsters voor bulkdichtheid werden gedroogd bij 105°C en daarna gewogen voor de berekening van de droge bulkdichtheid.

## Chemische analyses

In Tabel 3-1 wordt een overzicht gegeven van de bodemchemische en- fysische metingen. Het organisch stofgehalte werd gemeten als gewichtsverlies door verbranden bij 550°C t.o.v. van het drooggewicht bij 105°C (LOI550). Tevens werd het gewichtsverlies bij gloeien op 350°C bepaald (LOI350). Deze meting werd gebruikt voor berekening van de ratio LOI350/LOI550 die gebruikt wordt als een maat voor de brandbaarheid van de organische stof. Deze metingen werden verricht in het Sediment Laboratory van de Vrije Universiteit Amsterdam. De overige analyses werden uitgevoerd in het laboratorium van Giesen & Geurts voor de jaren 2005 en 2009 en in het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem van Wageningen University & Research voor het jaar 2016.

**Tabel 3-1: Overzicht analysemethoden voor de bodemchemische en- fysische metingen.**

*Tabel 3-1: Overview of methods for soil physical and chemical measurements.*

Variabelen	Gemeten in jaren	Voorbehandeling	Extractie	Methode meting
pH_KCl	2005, 2009, 2016		geschut bodemmonster in 1M KCl-oplossing; verhouding grond:extract 1:2.5	pH-electrode
NO <sub>3</sub> en NH <sub>4</sub> in KCl extract	2016			SFA
pH_H <sub>2</sub> O	2005, 2009, 2016	in 2005 en 2009 op gedroogd deelmonster bij 60°C in 2016 op veldvochtig deelmonster	geschut bodemmonster in demiwater; verhouding grond:extract 1:2.5	pH-electrode
Oxalaatextractie Fe, Al en P			extractie met ammoniumoxalaat, analyse	ICP
uitwisselbaar Ca, Mg, CEC		Bascomb-extractie met gebufferde BaCl <sub>2</sub> -oplossing (pH=8.1)	in 2005 en 2009 met AAS; in 2016 met ICP	
organisch stofgehalte		gedroogd deelmonster bij 105°C		thermogravimetrisch met TGA-robot: gloeien bij 350 en 550°C tot snelheid gewichtsverlies klein is; bekening op basis van gewichtsverlies t.o.v. gewicht bij 105°C
C-totaal en N-totaal				pyrolyse met CN-analyser
droog bulkgewicht			drogen bij 105°C	

## Afgeleide variabelen

Op basis van gemeten bulkdichtheden werden voor de gehalten per massa bodem (mmol/kg DW) van diverse chemievariabelen omgerekend naar gehalten per volume-eenheid (mmol/L) en naar voorraden per oppervlakte-eenheid (mol/m<sup>2</sup> of mmol/m<sup>2</sup>) in de strooisellaag en 0-5 cm laag. Bij de berekening van de voorraden werd ook rekening gehouden met de dikte van de bodemlaag. De dikte van de strooisellaag is variabel en werd tijdens de bemonstering voor elk deelmonster opgemeten en per plot gemiddeld.

Voor analyse van de bodemchemische toestand werden ook enkele andere afgeleide variabelen uitgerekend. De berekening daarvan wordt bij de resultaten toegelicht.

### **3.4 Vegetatie**

In de niet-geplagde en geplagde plots werd in de jaren 2005, 2006, 2007, 2008, 2009 en 2016 de vegetatie opgenomen in september of oktober. De plots hadden een straal van 1 m. Zowel de structuur als het voorkomen van plantensoorten werd beschreven. Voor structuurkenmerken (bedekking en hoogte) van de boom-, struiklaag en kruidlaag werd ook rekening gehouden met planten die niet in de plot wortelden. Door de kleine omvang van de plots kunnen de struiken en bomen in de omgeving van de plots, sterk bepalend zijn voor de vegetatiestructuur boven de plots en daarmee ook voor de lichtinval. Voor de boomlaag werd daarom gekeken naar de bedekking en hoogte in een straal van 5 m; voor de struik- en kruidlaag werd de bedekking en hoogte alleen voor de vegetatie boven de plots geschat. De soortensamenstelling van vaatplanten en mossen werd alleen opgenomen voor planten die in de plot wortelen of drijven. De abundantie van de soorten in de plot werd opgenomen met de schaal van Londo.

### **3.5 Dataverwerking**

Voor de analyse van de bodemchemische metingen in de niet geplagde plots was het mogelijk om de effecten van de tijd (nulsituatie in 2005, bevoeide situatie in 2009 en 2016) en bevoeiingsduur (3 en 6 maanden) te analyseren. De resultaten worden gepresenteerd in tabellen en grafieken. ANOVA-toetsen werden gebruikt om de invloed van de factoren tijd en bevoeiingsduur te toetsen. Verschillen van variabelen tussen de jaren werden voor elke combinatie van bodemlaag en bevoeiingsduur getoetst met de Kruskal Wallis test en Mann Whitney U test. Voor stofbalansen van elke bodemlaag werd voor elk plot de verandering berekend tussen 2005-2009 en tussen 2009-2016. Per combinatie van bodemlaag en bevoeiingsduur werd daarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie berekend. Met de Paired Test van Wilcoxon werd bepaald of de veranderingen voor de plotgroep met 3 maanden bevoeien en die van de plotgroep met 6 maanden bevoeien, significant waren. Relaties tussen basenrijkdom en pH werden nader geanalyseerd.

Voor analyse van de vegetatie werden per behandelcombinatie van bevoeien (3 en 6 maanden), bodembehandeling (niet en wel plaggen) de gemiddelde bedekking + standaarddeviatie van elke structuurvariabele berekend. Tevens werden de presentie en de gemiddelde bedekking + standaarddeviatie van elke soort berekend. De trends van structuurvariabelen en soorten in de tijd werden per cluster van ecologische soortgroep geanalyseerd. Hierbij werden de trends en effecten van behandeling visueel beoordeeld en niet statistisch getoetst wegens een beperkt projectbudget.

# 4 Resultaten

## 4.1 Ontwikkeling organische stoflaag

### 4.1.1 Verschillen en trends

In Tabel 4-1 worden de meetwaarden gegeven voor de verschillende combinaties van jaar en bevoeien voor zowel de strooisellaag en de 0-5 cm laag. Met een 2 factor-ANOVA is gekeken naar het effect van de meetjaren en bevoeiingsduur en verschillen tussen de jaren getoetst op significantie. In Figuur 4-2 worden de ontwikkeling van het gehalte en de voorraad organische stof in de tijd weergegeven. Uit het gewichtsverlies bij 350 en 550°C gloeien is de ratio van LOI350/ LOI550 berekend. Deze wordt gebruikt als een maat voor de brandbaarheid van organische stof (beter bij een hogere waarde). Een lagere verbrandbaarheid duidt op een sterkere humificatiegraad.

De factor meetjaar heeft een significant effect op het organische stofgehalte (SOM-gehalte), de ratio van LOI350/ LOI550 van de strooisel- en 0-5 cm laag. In de 0-5 cm laag is dat ook het geval voor de organisch-stofvoorraad (SOM-voorraad) en de C/N-ratio. Bevloeiingsduur heeft alleen een effect op het SOM-gehalte (strooisellaag) en de ratio van LOI350/ LOI 550 (0-5 cm laag). Voor het N-gehalte is geen invloed van meetjaren en bevoeiingsduur vastgesteld.

Bij 6 maanden bevoeien is het SOM-gehalte van beide bodemlagen in 2016 lager dan in 2005 en/of 2009, terwijl er bij 3 maanden bevoeien geen verschillen zijn tussen de jaren. Voor de ratio LOI350/LOI550 zijn de veranderingen in de tijd variabel. Bij 3 maanden bevoeien treedt in de strooisellaag een geringe toename op tussen 2005 en 2009 en bij 6 maanden bevoeien een geringe afname tussen 2009 en 2016. Een toename kan samenhangen met verhoogde input van strooisel en een afname met verhoogde afbraak. Bij beide bevoeiingsduren laag neemt in de 0-5 cm de ratio LOI350/ LOI550 af: eerst zwak tussen 2005 en 2009 en sterker in de periode daarna. In deze bodemlaag treedt een duidelijke neerwaartse trend op, wat duidt op een toegenomen humificatiegraad.

Bij paarsgewijze toetsing op verschillen voor de C/N-ratio worden deze niet significant bevonden. Er is wel voor de 0-5 cm laag bij 6 maanden bevoeiing een tendens naar een toenemende C/N-ratio met de tijd (Kruskal-Wallis test  $p < 0.05$ ). Wanneer de C/N-ratio wordt uitgezet tegen de ratio LOI350/LOI550 blijkt er een negatief verband te zijn tussen beiden (Figuur 4-1). Daarbij valt ook op dat in de 0-5 cm laag gedurende het experiment de kwaliteit van de organische stof verandert richting een geringere verbrandbaarheid bij 350°C (ratio LOI350/ LOI550 wordt lager) en een lager N-gehalte van de organische stof (hogere C/N-ratio).

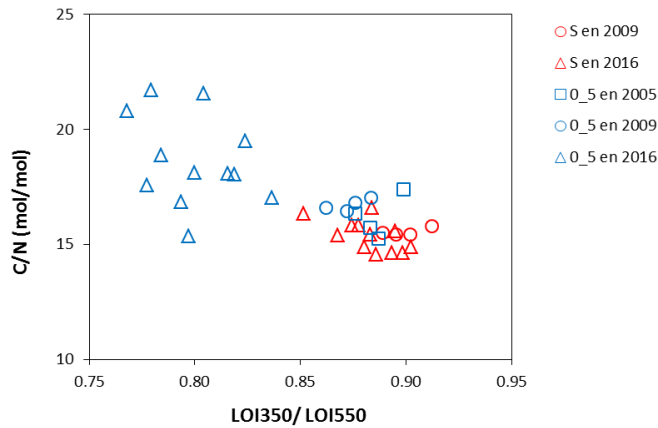
**Tabel 4-1: Variabelen voor organische stof van de strooisellaag en de 0-5 cm laag met gemiddelde en standaarddeviatie voor de combinatie van jaar en bevoeiingsduur. De bovenste tabel bevat de resultaten van de 2-factor-ANOVA (afzonderlijk uitgevoerd voor de strooisel en 0-5 cm laag). De twee tabellen onder bevatten de toetsresultaten voor verschillen tussen jaren die afzonderlijk zijn getoetst voor de bevoeiingsduur van 3 en 6 maanden. Lettercodes geven significante verschillen tussen de jaren aan (paarsgewijze toetsing met de Mann-Whitney toets indien  $p$  Kruskal-Wallis test  $< 0.05$ ).**

Tabel 4-1: Measurements and statistical tests for soil organic matter of the litter layer and the 0-5 cm layer. Average values and standard deviations are given for each combination of year and flooding duration. Upper table shows the results of the 2-factor ANOVA. Tables below show test results for difference between years. Letters indicate significant differences with the Mann-Whitney test when  $p$  Kruskal-Wallis test  $< 0.05$ .

Variabele	Eenheid	Bodem-laag	Jaar		Bevoeiing		Jaar*bevoeiing	
			F	p	F	p	F	p
organische stof (SOM)	% DW	strooisel	12.91	<b>&lt;0.001</b>	6.63	<b>0.015</b>	2.85	0.074
		0-5 cm	4.81	<b>0.015</b>	2.58	0.119	4.74	<b>0.016</b>
ratio LOI350/ LOI550	g/g	strooisel	11.61	<b>&lt;0.001</b>	0.39	0.536	1.09	0.349
		0-5 cm	189.10	<b>&lt;0.001</b>	10.46	<b>0.003</b>	2.09	0.142
N-totaal	% DW	strooisel						
		0-5 cm	3.52	0.058	0.33	0.573	0.63	0.549
C/N	g/g	strooisel						
		0-5 cm	5.78	<b>0.015</b>	3.22	0.094	2.42	0.125

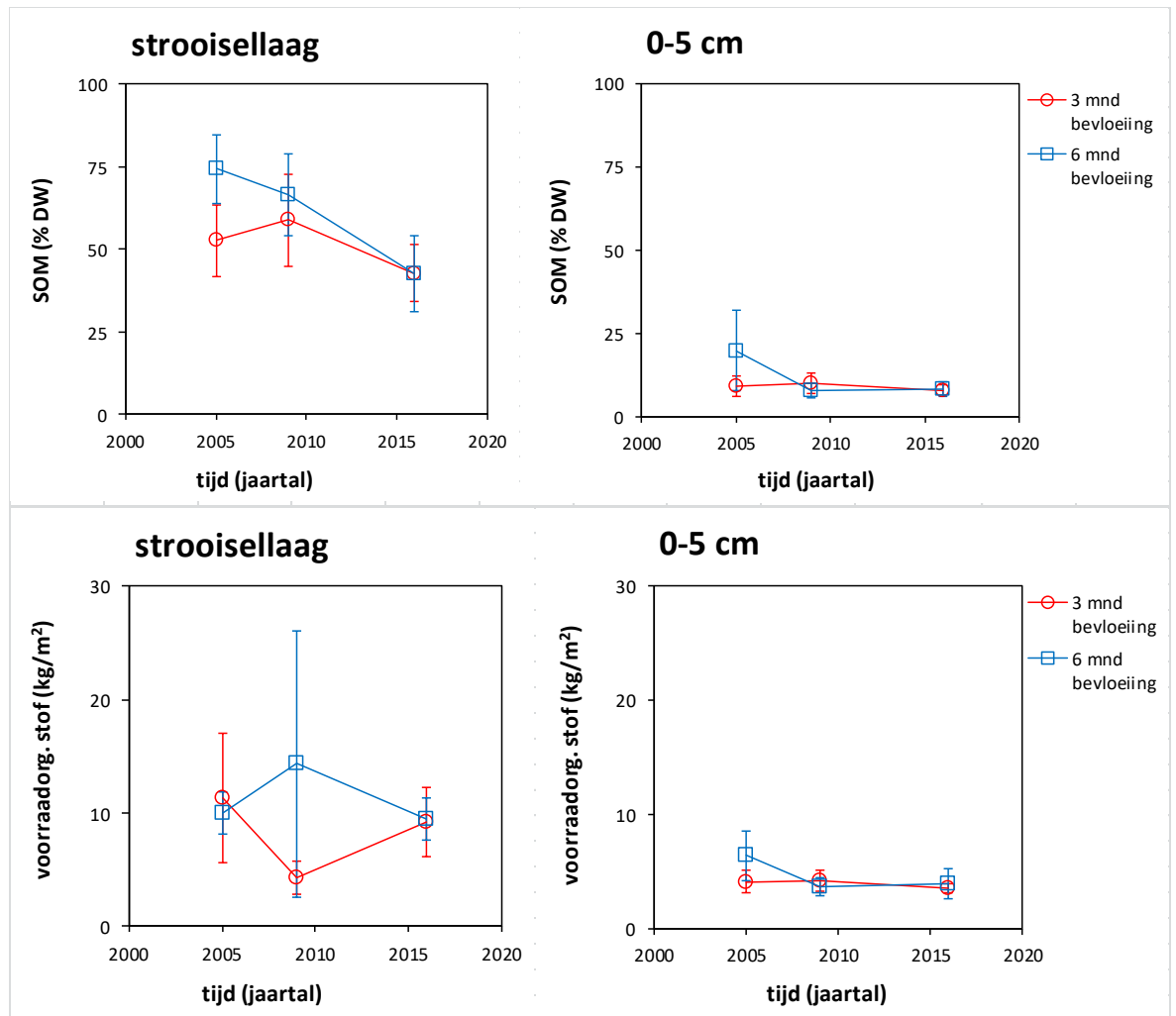
Variabele	Eenheid	Bodem-laag	3 maanden bevoeiing			
			Kruskal-Wallis test	gemiddelde $\pm$ SD		
				p	2005	2009
organische stof (SOM)	% DW	strooisel	0.097	52.6 $\pm$ 10.8	58.7 $\pm$ 13.8	42.7 $\pm$ 8.7
		0-5 cm	0.402	9.1 $\pm$ 3.0	10.1 $\pm$ 3.1	7.9 $\pm$ 1.5
ratio LOI350/ LOI550	g/g	strooisel	<b>0.002</b>	0.86 $\pm$ 0.01 a	0.90 $\pm$ 0.01 b	0.89 $\pm$ 0.01 b
		0-5 cm	<b>0.001</b>	0.89 $\pm$ 0.01 a	0.88 $\pm$ 0.01 b	0.81 $\pm$ 0.02 c
N-totaal	% DW	strooisel	0.181		1.95 $\pm$ 0.42	1.53 $\pm$ 0.29
		0-5 cm	0.721	0.35 $\pm$ 0.16	0.29 $\pm$ 0.12	0.27 $\pm$ 0.06
C/N	g/g	strooisel	0.739		15.7 $\pm$ 0.2	15.4 $\pm$ 0.8
		0-5 cm	0.559	16.6 $\pm$ 1.2	16.9 $\pm$ 0.2	17.5 $\pm$ 1.4

Variabele	Eenheid	Bodem-laag	6 maanden bevoeiing			
			Kruskal-Wallis test	gemiddelde $\pm$ SD		
				p	2005	2009
organische stof (SOM)	% DW	strooisel	<b>0.005</b>	74.2 $\pm$ 10.3 a	66.3 $\pm$ 12.3 a	42.6 $\pm$ 11.4 b
		0-5 cm	<b>0.019</b>	19.8 $\pm$ 12.1 a	7.9 $\pm$ 2.2 b	8.2 $\pm$ 2.3 b
ratio LOI350/ LOI550	g/g	strooisel	<b>0.024</b>	0.87 $\pm$ 0.03 ac	0.90 $\pm$ 0.01 a	0.88 $\pm$ 0.02 bc
		0-5 cm	<b>&lt;0.001</b>	0.88 $\pm$ 0.01 a	0.87 $\pm$ 0.00 b	0.79 $\pm$ 0.02 c
N-totaal	% DW	strooisel	0.182		2.20 $\pm$ 0.58	1.57 $\pm$ 0.44
		0-5 cm	0.063	0.43 $\pm$ 0.04	0.35 $\pm$ 0.05	0.26 $\pm$ 0.09
C/N	g/g	strooisel	0.739		15.4 $\pm$ 0.0	15.4 $\pm$ 0.7
		0-5 cm	<b>0.030</b>	15.8 $\pm$ 0.8 a	16.5 $\pm$ 0.1 a	19.8 $\pm$ 1.8 a



**Figuur 4-1: De relatie tussen de brandbaarheid (ratio LOI350/LOI550) en de C/N ratio van de organische stof met onderscheid voor de meetjaren (2005, 2009, 2016) en bodemlagen (S = strooisel en 0-5 cm laag).**

*Figuur 4-1: The relation between the ratio LOI350/LOI550 and the ratio C/N of soil organic matter. Colours indicate years, and symbols soil layer (S = litter layer; 0-5 = 0-5 cm layer)*



**Figuur 4-2: Trends van het gehalte en de voorraad organische stof van de strooisellaag en de 0-5 cm laag met onderscheid voor bevoeiingsduur. Punten zijn gemiddelde waarden en whiskers geven de standaarddeviatie weer.**

*Figuur 4-2: Trends of soil organic matter content and pool for the litter layer and 0-5 cm layer. Points are average values, whiskers indicate the standard deviation.*

### 4.1.2 Stofbalans

In Figuur 4-6 wordt de balans van de voorraad organische stof (SOM-voorraad) weergegeven voor de verschillende bodemlagen en voor beide bevoeiingscompartimenten. Veranderingen zijn alleen waargenomen in de strooisellaag en de 0-5 cm laag. Bij 3 maanden bevoeien treden alleen significante veranderingen op in de strooisellaag: tussen 2005 en 2009 een sterke afname en tussen 2009 en 2016 een sterke toename. Over de hele monitoringperiode blijft de voorraad hier gelijk. Bij 6 maanden bevoeien treden alleen veranderingen op tussen 2005 en 2009. In de strooisellaag neemt de voorraad sterk toe en in de minerale 0-5 cm laag juist af. Daarna treden geen significante veranderingen meer op. Over de hele monitoringperiode zijn de netto veranderingen niet significant.

## 4.2 Ontwikkeling basenchemie

### 4.2.1 Verschillen en trends

In Tabel 4-2 worden de meetwaarden gegeven voor de verschillende combinaties van jaar en bevoeien voor de strooisellaag en de 0-5 cm laag. Met een 2 factor-ANOVA is gekeken naar het effect van de meetjaren en bevoeiingsduur en verschillen tussen de jaren zijn getoetst op significantie. In Figuur 4-3 wordt de ontwikkeling van zuurgraad en variabelen voor basenrijkdom in de tijd weergegeven. Verder wordt het ruimtelijke patroon van veranderingen geanalyseerd.

De ANOVA geeft een duidelijk effect van meetjaar aan op de meeste variabelen (pH-H<sub>2</sub>O, pH-KCl, ratio  $(Ca_{\text{exch}} + Mg_{\text{exch}})/SOM$ ) in de strooisellaag en de 0-5 cm laag daaronder. De ANOVA duidt alleen op een effect van bevoeiingsduur bij de pH-H<sub>2</sub>O van de strooisellaag. Een interactie-effect van meetjaar en bevoeiing treedt op bij de pH-KCl, ratio  $(Ca_{\text{exch}} + Mg_{\text{exch}})/SOM$  (beide bodemlagen) en de pH-H<sub>2</sub>O (alleen strooisellaag). De algemene tendens is dat vanuit een sterk verzuurde situatie voor de bevoeiing (2005) alle variabelen voor vrijwel alle combinaties van bodemlaag en bevoeiingsduur toenemen. De gemiddelde waarde van de jaren 2009 en 2015 zijn vaak significant hoger t.o.v. het voorgaande meetjaar.

Een opvallend patroon is dat de pH-H<sub>2</sub>O voor beide bodemlagen en beide bevoeiingscompartimenten vanaf 2005 geconvergeerd is naar gelijke waarden. De stijging van de pH-KCl en ratio  $(Ca_{\text{exch}} + Mg_{\text{exch}})/SOM$  verloopt echter voor beide bodemlagen in het compartiment met 3 maanden bevoeien langzamer dan die van het 6-maandscompartiment. De gemiddelde van 3 en 6 maanden bevoeien zijn alleen significant verschillend voor de pH-KCl van de strooisellaag (Mann-Whitney  $p = 0.045$ ) en voor de ratio  $(Ca_{\text{exch}} + Mg_{\text{exch}})/SOM$  van de 0-5 cm laag (Mann-Whitney  $p = 0.013$ ). Beide zijn hoger bij 6 maanden bevoeien. Opvallend is dat het 6-maandscompartiment een gelijke en deels hogere pH en basenverzadiging bereikt als het 3 maandscompartiment, terwijl de pH-KCl en pH-H<sub>2</sub>O in 2005 juist lager waren (Mann-Whitney  $p < 0.05$ ). In 2016 verschilt de ratio  $(Ca_{\text{exch}} + Mg_{\text{exch}})/SOM$  tussen beide bevoeiingsduren echter niet significant (Mann-Whitney toets).

Het ruimtelijke patroon van veranderingen is als volgt (Figuur 4-7). De ratio  $(Ca_{\text{exch}} + Mg_{\text{exch}})/SOM$  neemt in de strooisellaag het sterkst toe in de plots dicht bij de instroompunten van beide compartimenten tussen 2005 en 2009. Later (2009-2016) treedt ook een sterke stijging op in de plots die verder weg liggen. In de 0-5 cm laag neemt de waarde van de ratio  $(Ca_{\text{exch}} + Mg_{\text{exch}})/SOM$  eerst alleen sterk toe in de plots dicht bij het instroompunt van het compartiment met 6 maanden bevoeien. Later volgen ook de andere plots van dit compartiment en het compartiment met 3 maanden bevoeien met een sterke stijging. Voor de pH-H<sub>2</sub>O en pH-KCl treedt de sterkste stijging op in de plots dicht bij het instroompunt van het compartiment met 6 maanden. Dit geldt voor beide bodemlagen. De andere plots hebben een minder sterke stijging.

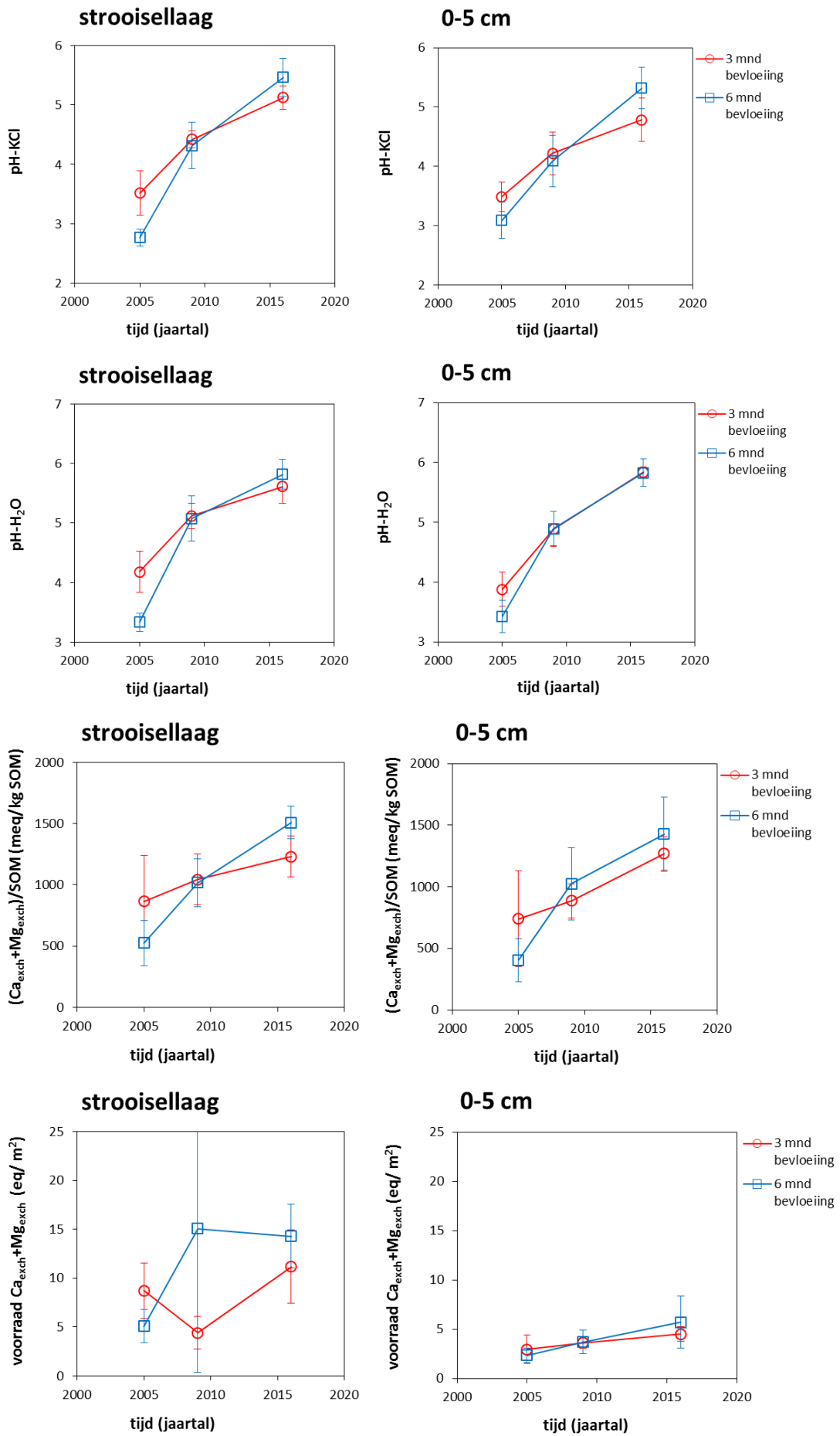
**Tabel 4-2: Variabelen voor zuurgraad en basenrijkdom van de strooisellaag en de 0-5 cm laag met de gemiddelde waarde en de standaarddeviatie voor de combinatie van jaar en bevoeiing. De bovenste tabel bevat de resultaten van de 2-factor-ANOVA (afzonderlijk uitgevoerd voor de strooisel en 0-5 cm laag). De twee tabellen onder bevatten de toetsresultaten voor verschillen tussen jaren die afzonderlijk zijn uitgevoerd voor het compartiment met 3 en 6 maanden bevoeien. Lettercodes geven significante verschillen tussen de jaren aan (paarsgewijze toetsing met de Mann-Whitney toets indien p Kruskal-Wallis test < 0.05 is).**

Tabel 4-2: Measurements and statistical tests for soil pH and base status of the litter layer and the 0-5 cm layer. Average values and standard deviations are given for each combination of year and flooding duration. Upper table shows the results of the 2-factor ANOVA. Tables below show test results for difference between years. Letters indicate significant differences with the Mann-Whitney test when p Kruskal-Wallis test < 0.05.

Variabele	Eenheid	Bodem-laag	Jaar		Bevoeiing		Jaar*bevoeiing	
			F	p	F	p	F	p
pH_KCl		strooisel	176.10	<0.001	3.42	0.074	11.36	<0.001
		0-5 cm	76.38	<0.001	0.00	0.974	5.63	0.008
pH_H2O		strooisel	150.30	<0.001	5.92	0.021	11.35	<0.001
		0-5 cm	222.50	<0.001	3.33	0.078	3.12	0.059
ratio (Ca <sub>exch</sub> +Mg <sub>exch</sub> )/SOM	meq/ kg SOM	strooisel	27.14	<0.001	0.17	0.686	5.69	0.008
		0-5 cm	27.41	<0.001	0.03	0.875	3.55	0.041

Variabele	Eenheid	Bodem-laag	3 maanden bevoeiing			
			Kruskal-Wallis test	gemiddelde ± SD		
			p	2005	2009	2016
pH_KCl		strooisel	<0.001	3.52 ± 0.38 a	4.42 ± 0.14 b	5.12 ± 0.20 c
		0-5 cm	0.002	3.49 ± 0.25 a	4.22 ± 0.36 b	4.78 ± 0.37 c
pH_H2O		strooisel	<0.001	4.18 ± 0.35 a	5.12 ± 0.21 b	5.61 ± 0.28 c
		0-5 cm	<0.001	3.88 ± 0.29 a	4.89 ± 0.30 b	5.84 ± 0.08 c
ratio (Ca <sub>exch</sub> +Mg <sub>exch</sub> )/SOM	meq/ kg SOM	strooisel	0.096	865 ± 376	1045 ± 205	1231 ± 166
		0-5 cm	0.015	741 ± 389 a	887 ± 137 bc	1271 ± 137 c

Variabele	Eenheid	Bodem-laag	6 maanden bevoeiing			
			Kruskal-Wallis test	gemiddelde ± SD		
			p	2005	2009	2016
pH_KCl		strooisel	<0.001	2.76 ± 0.14 a	4.31 ± 0.39 b	5.46 ± 0.32 c
		0-5 cm	<0.001	3.09 ± 0.31 a	4.09 ± 0.43 b	5.32 ± 0.35 c
pH_H2O		strooisel	<0.001	3.33 ± 0.15 a	5.08 ± 0.38 b	5.82 ± 0.25 c
		0-5 cm	<0.001	3.43 ± 0.27 a	4.89 ± 0.29 b	5.83 ± 0.23 c
ratio (Ca <sub>exch</sub> +Mg <sub>exch</sub> )/SOM	meq/ kg SOM	strooisel	<0.001	524 ± 186 a	1016 ± 197 b	1508 ± 135 c
		0-5 cm	0.002	405 ± 173 a	1026 ± 293 bc	1427 ± 301 c



**Figuur 4-3: Trends van de pH-H<sub>2</sub>O, pH-KCl, ratio  $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$  en basenvoorraad  $(Ca_{exch}+Mg_{exch})$  van de strooisellaag en de 0-5 cm laag met onderscheid voor bevoeiingsduur. Punten zijn gemiddelde waarden en whiskers geven de standaarddeviatie weer.**

*Figuur 4-3: Trends of soil pH-H<sub>2</sub>O, pH-KCl, ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM, and base cation pool (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>) for the litter layer and 0-5 cm layer. Points are average values, whiskers indicate the standard deviation.*

#### 4.2.2 Relatie basenverzadiging en pH

Hieronder wordt de onderlinge samenhang van basenverzadiging en pH geanalyseerd. De bodem van het experimentele elzenbroekbos is kalkarm. Daardoor wordt de bodem-pH sterk bepaald door de basenverzadiging. Als maat voor basenverzadiging is de ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM gebruikt (in meq/kg droge stof). Van de uitwisselbare basische kationen Ca, Mg, Na, K worden alleen Ca en Mg gebruikt in deze berekening. Deze twee basen hebben gezamenlijk een groot aandeel in de basenbezetting van de onderzochte bodems (zie tabel 7 in Aggenbach et al. 2011). Bovendien konden in 2016 alleen Ca<sub>exch</sub> en Mg<sub>exch</sub> in de BaCl<sub>2</sub>-extracten worden gemeten (wegens de technische mogelijkheden van het lab). Omdat de kationuitwisselingscapaciteit (CEC) in de zandige bodems hoofdzakelijk door het organische-stofgehalte wordt bepaald, kan deze ratio als proxi-variabele voor basenverzadiging worden gebruikt. Goed gehumificeerde organische stof heeft een ratio van ca. 3000 meq/kg DS (Appelo & Postma 2005; Blume et al. 2010; Van Wesemael 1992). Minder sterk gehumificeerd materiaal, zoals strooisel en weinig veraard veen kan een lagere CEC hebben. Wanneer er van wordt uitgegaan dat de CEC van organische stof weinig verschilt, kan een waarde van (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM rond 3000 meq/kg DS worden opgevat als een hoge basenverzadiging. Echter, uit eerdere analyse van de meetgegevens 2005 en 2009 blijkt dat de CEC van het organische stof variabel is en van strooisellaag naar diepere bodemlagen toeneemt als gevolg van de toenemende humificatiegraad. De gemiddelde CEC-waarden (berekend uit de som van uitwisselbare kationen) van de bemonsterde bodemlagen waren: strooisel: 2305 meq/kg DS; 0-5 cm: 2969 meq/kg DS; 20-25 cm: 3744 meq/kg DS 50-75 cm: 4524 meq/kg DS (zie tabel 7 in Aggenbach et al. 2011). De organische stof in 0-5 cm laag heeft dus een CEC rond de genoemde waarde van 3000 meq/kg DG uit de literatuur. Die van de strooisellaag zit lager en die van de diepere lagen juist hoger.

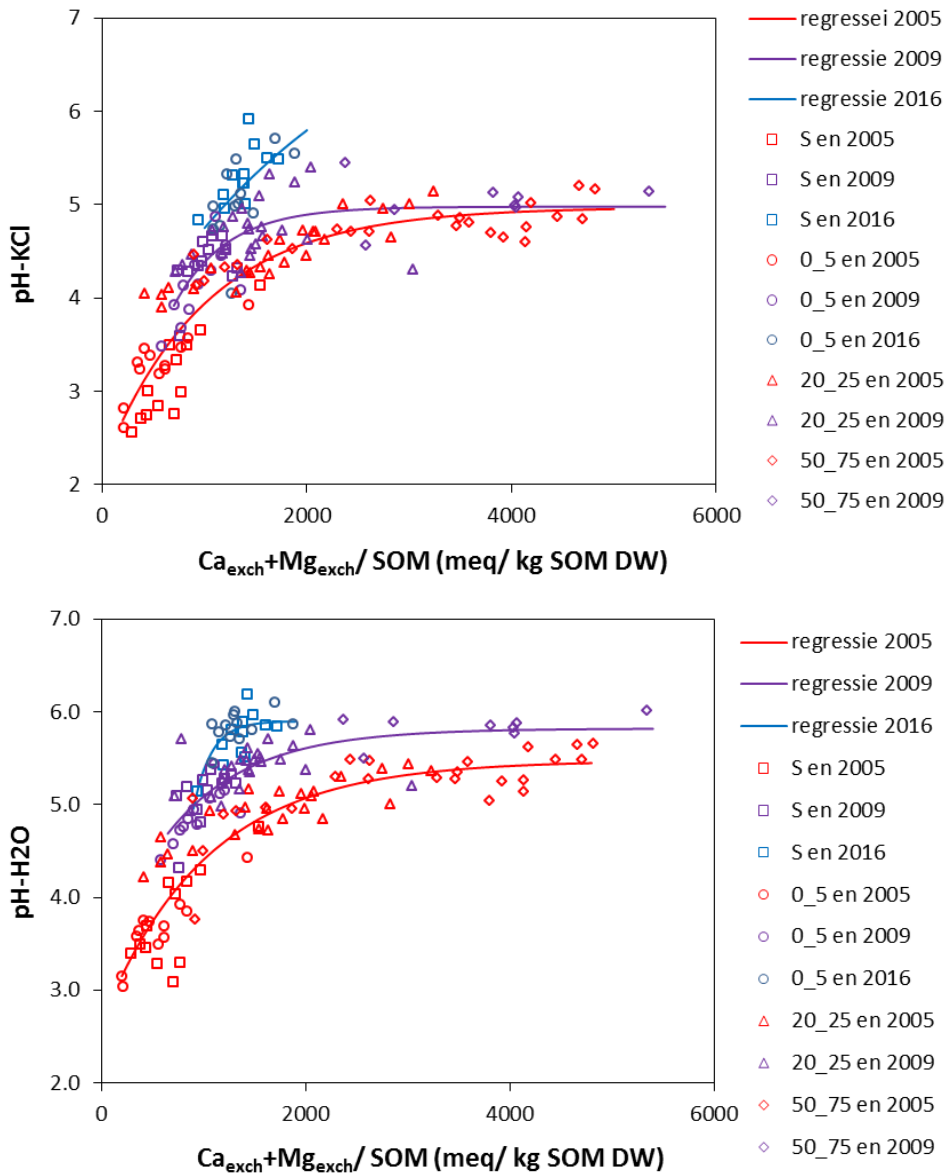
In Figuur 4-4 wordt de relatie van de pH-H<sub>2</sub>O en pH-KCl met de ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM weergegeven. Om een breder bereik van de ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM te bestrijken zijn hierin naast metingen van de strooisellaag en 0-5 cm laag ook metingen van de diepere lagen (20-25 cm en 50-75 cm) uit 2005 en 2009 opgenomen. Per monsterjaar zijn regressievergelijkingen gefit met de exponentiële functie  $pH = a + b \cdot \exp(-ratio/c)$ . De parameter a is de asymptotische waarde waarnaar de pH aan nadert bij een hoge waarde van de ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM. Parameter c is een schaalfactor op de as van de ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM en parameter b bepaalt de steilheid van de curve (een lage waarde geeft sterke toename aan van de pH bij een toenemende ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM). De regressieparameters zijn weergegeven in Tabel 4-3. De regressiemodellen van monsters uit 2016 zijn onbetrouwbaar (meestal een hoge standaarddeviatie van de regressieparameters) als gevolg van het geringe bereik van de meetpunten voor beide variabelen (toen zijn geen diepere, basenrijke monsters genomen en zure, basenarme condities waren verdwenen).

De resultaten zijn als volgt. De pH is hoger naarmate de ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM hoger is. Bij lage waarden van de ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM loopt de pH snel op, terwijl ze bij hogere waarden afvlakt naar een maximale pH-waarde (regressieparameter a). Deze relatie is echter niet voor alle meetjaren exact hetzelfde. Voor de pH-H<sub>2</sub>O ligt de asymptotische waarde van de regressiecurve van 2009 hoger dan die van 2005 (regressieparameter a). Bij de pH-H<sub>2</sub>O in 2009 is de curve steiler dan in 2005 (in 2009 lagere waarde parameter b) en worden hoge pH-waarden bij een toenemende ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM sneller bereikt (in 2009 lagere waarde parameter c). Voor de pH-KCl verschilt de asymptotische pH-waarde van de meetjaren 2005 en 2009 niet. Alhoewel voor de metingen van 2016 geen betrouwbare regressie kon worden berekend voor de pH-H<sub>2</sub>O en pH-KCl, liggen de pH-metingen van dat jaar vaak boven de asymptotische waarde van de regressies voor 2005 en 2009. Al met al zijn de pH-waarden in het matig hoge bereik van de ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM (ca. 1000-2000 meq/kg SOM) in latere meetjaren duidelijk hoger geworden.

De relatie tussen de ratio (Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM en pH laat ook zien dat in 2005 en 2009 de diepere bodemlagen (20-25 en 50-70 cm) hogere waarden hebben voor beide variabelen dan de ondiepe bodemlagen (strooisel en 0-5 cm). In 2009 zijn de verschillen geringer geworden omdat de pH en basenrijkdom van de sterk verzuurde toplaag uit 2005 sterk toeneemt en die van de diepere lagen minder of niet. Daardoor is de oorspronkelijke sterke

verticale stratificatie voor de zuurgraad verdwenen en die voor de ratio  $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$  in minder sterk geworden.

In de tijd vertonen de pH en ratio  $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$  van de strooisellaag en 0-5 cm laag een gezamenlijke stijging (Figuur 4-5). Een bodem met een zure toplaag met een lage basenverzadiging verandert door bevoeiing in een zwak zure bodem met een relatief hoge basenverzadiging. De ratio  $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$  van de strooisellaag bereikt in 2016 daarbij van het compartiment met 6 maanden bevoeiing een waarde die dicht nadert aan de berekende CEC-waarde uit 2005 en 2009 (2305 meq/kg DS) (wat neer komt op een hoge basenverzadiging). De strooisellaag van het 3-maandscompartiment bereikt een minder hoge waarde voor de ratio  $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$  (matige basenverzadiging). De waarden van de 0-5 cm laag van beide bevoeiingscompartimenten is in 2016 nog een stuk lager dan de berekende CEC-waarde uit 2005 en 2009 (2969 meq/kg DS) (wat neer komt op een matig hoge basenverzadiging).

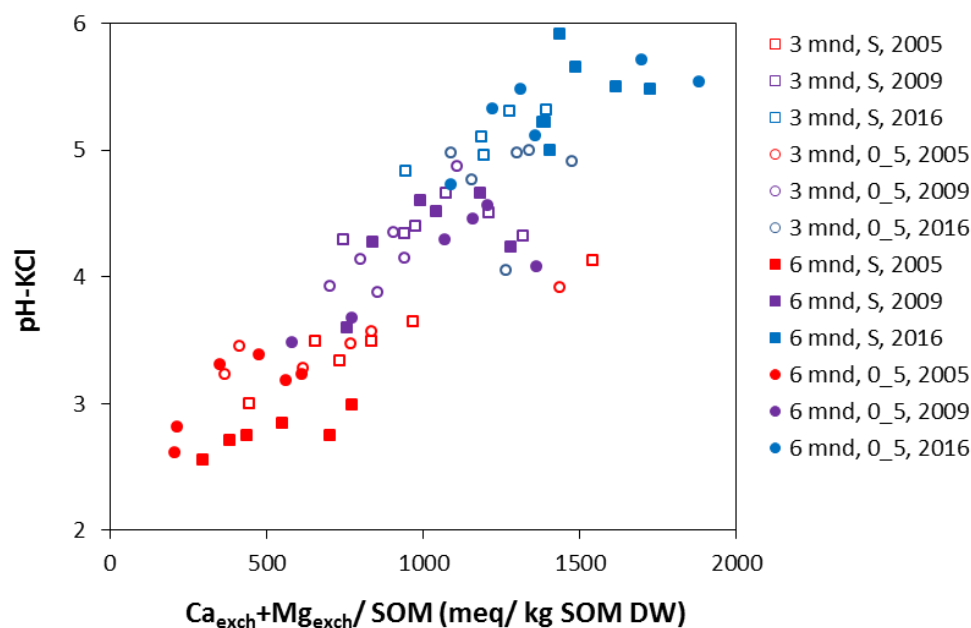


**Figuur 4-4: De relatie van pH-KCl en pH-H2O met de hoeveelheid uitwisselbaar Ca en Mg per organisch stof ( $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$ ) met onderscheid naar meetjaar (2005, 2009 en 2016) en bodemlaag (S = strooisellaag; 0-5 = 0-5 cm laag; 20-25 = 20-25 cm laag; 50-75 = 50-75 cm laag). De lijnen zijn regressies met een exponentiële functie per meetjaar.**

Figuur 4-4: Relationships of soil pH-KCl and pH-H2O with the ratio of exchangeable Ca and Mg to soil organic matter ( $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$ ) for the different years. Symbols indicate soil layer (S = litter layer; 0-5 = 0-5 cm layer; 20-25 = 20-25 cm layer; 50-75 = 50-75 cm layer). Lines are exponential regressions for each year.

**Tabel 4-3: Parameters van de gefitte regressievergelijkingen voor pH op de ratio  $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$  per pH-variabele en meetjaar. De regressiefunctie is  $pH = a + b * \exp(-ratio/c)$ .**

Variabele	Meetjaar	$r_{adj}^2$	parameters (waarde en standaardfout)		
			a	b	c
pH-KCl	2005	0.83	$4.97 \pm 0.10$	$-2.78 \pm 0.17$	$1007 \pm 150$
	2009	0.57	$4.98 \pm 0.09$	$-4.12 \pm 1.38$	$515 \pm 127$
	2016	0.30	$7.68 \pm 11.15$	$-4.56 \pm 8.10$	$2260 \pm 10230$
pH-H2O	2005	0.83	$5.48 \pm 0.10$	$-2.82 \pm 0.17$	$1030 \pm 154$
	2009	0.66	$5.82 \pm 0.10$	$-2.54 \pm 0.50$	$804 \pm 185$
	2016	0.40	$5.90 \pm 0.08$	$-167 \pm 420$	$174 \pm 79$



**Figuur 4-5: Ontwikkeling van de pH-KCl en de ratio  $(Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM$  in de strooisellaag (S) en 0-5 cm laag (0-5) met onderscheid voor bevoeiingsduur (3 en 6 maanden) en meetjaar (2005, 2009 en 2016).**

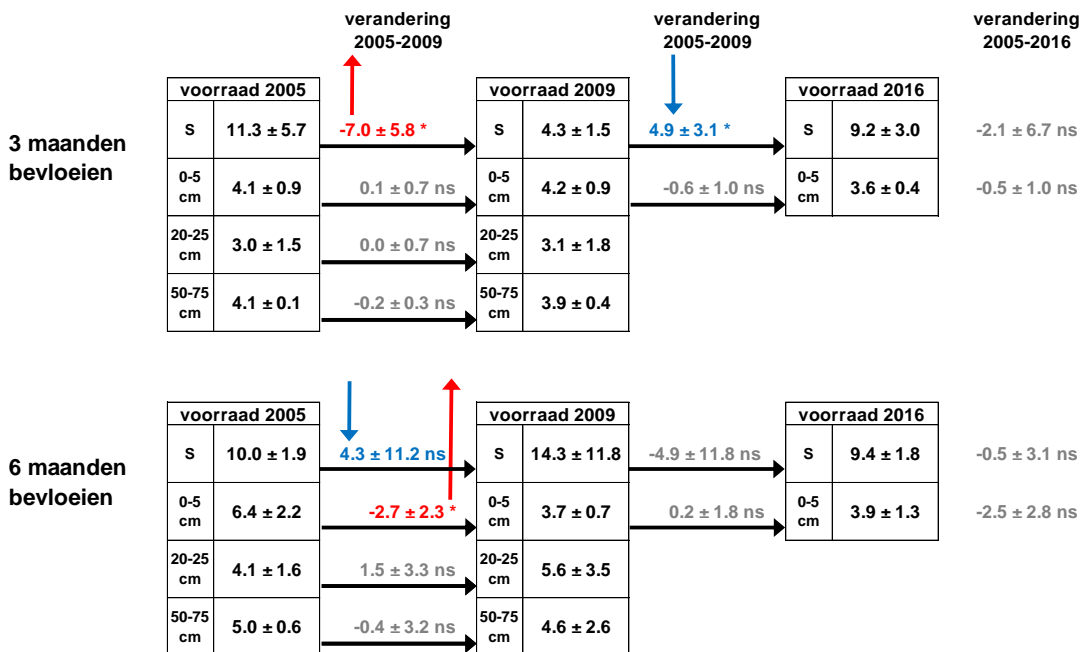
Figuur 4-5: Development of soil pH-KCl and ratio of exchangeable Ca and Mg to soil organic matter  $((Ca_{exch}+Mg_{exch})/SOM)$  in the litter layer (S) and 0-5 cm layer (0-5).

#### 4.2.3 Stofbalans

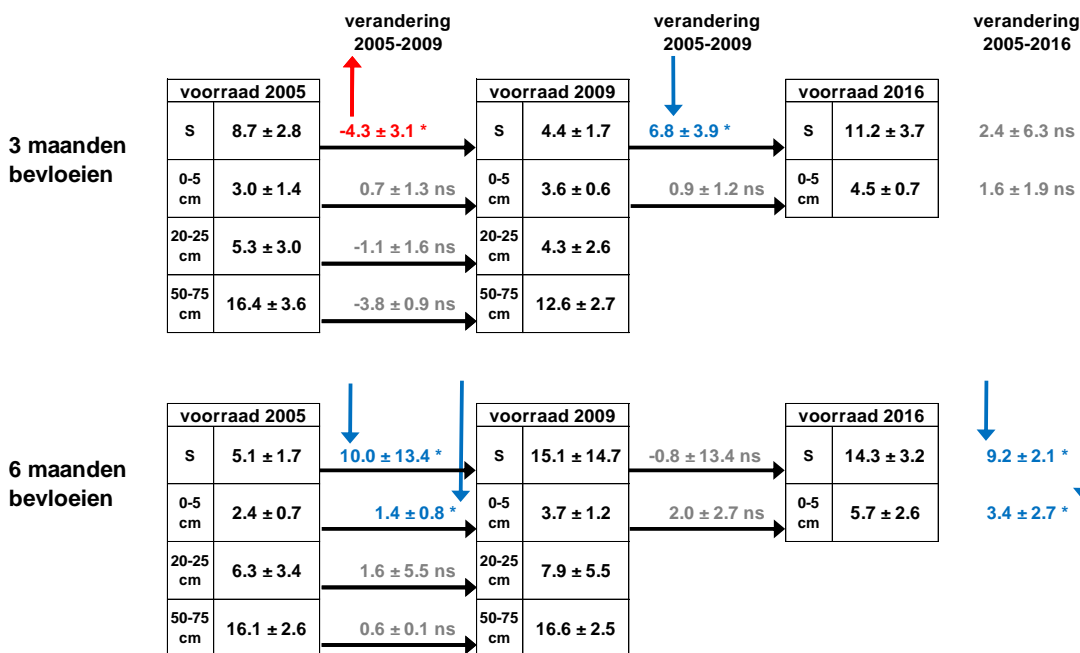
In Figuur 4-6 wordt de balans van de voorraad  $Ca_{exch}+Mg_{exch}$  gegeven ( $\approx$ voorraad basische kationen) weergegeven voor de verschillende bodemlagen en voor beide bevoeiingscompartimenten. Significante veranderingen zijn alleen waargenomen in de strooisellaag en 0-5 cm laag van de bodem. Bij 3 maanden bevoeien treden alleen significante verandering op in de strooisellaag: tussen 2005 en 2009 een sterke afname en tussen 2009 en 2016 een sterke toename. Over de hele monitoringperiode blijft de voorraad hier gelijk. Deze veranderingen lopen parallel aan het verloop van de organisch-stofvoorraad (SOM-voorraad). Bij 6 maanden bevoeien treden in de strooisellaag alleen veranderingen op tussen 2005 en 2009. In de strooisellaag neemt de voorraad sterk toe (factor 3) en in de minerale 0-5 cm laag is deze toename minder sterk. Daarna treden geen significante veranderingen meer op. Over de hele monitoringperiode zijn de veranderingen significant en voor de 0-5 cm laag dan ook sterk (meer dan factor 2). In het compartiment met 6 maanden bevoeien treedt de sterke toename van de basenvoorraad in de strooisellaag gelijktijdig op met de toename van de SOM-voorraad. In de 0-5 cm laag is de toename van de basenvoorraad juist tegengesteld aan de trend van de SOM-voorraad. Over de gehele monitoringperiode leidt 6 maanden bevoeiing in deze bodemlaag wel tot een grotere basenvoorraad en een daarmee samenhangende hogere zuurbuftercapaciteit, terwijl 3 maanden bevoeiing daar niet toe leidt.

Het ruimtelijke patroon van de basenvoorraad laat zien dat deze voor de strooisellaag in beide compartimenten vooral toeneemt in de plots dicht bij het instroompunt (Figuur 4-7). Voor de 0-5 cm laag treedt alleen een stijging in twee plots in het compartiment met 6 maanden bevoeien dichtbij het instroompunt.

**voorraad organische stof (SOM) (kg/ m<sup>2</sup>)**



**voorraad Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub> (eq/ m<sup>2</sup>)**



**Figuur 4-6: Stofbalans van uitwisselbaar calcium en magnesium en organische stof in verschillende lagen van de bodem bij 3 en bij 6 maanden bevoeien. Getallen geven gemiddelde waarde met standaarddeviatie van de gemeten voorraden in meetjaren en van de verandering tussen opeenvolgende meetjaren en tussen 2005/2006 van elke plot. De verandering is getoetst met de Wilcoxon signed ranked test (\*: p<0.05; ns: niet significant). Betekenis kleuren en pijlen: zwarte pijl is deel of hele voorraad is volgende meetjaar aanwezig, rood is netto afname en stof verdwijnt uit de bodemlaag, blauw is netto toename en stof accumuleert in de bodemlaag, grijs getal is een niet-significante verandering.**

*Figuur 4-6: Pool balance of exchangeable calcium and magnesium and soil organic matter in the soil layers. Numbers indicate average values and SD of measured pools and changes in periods. Changes are tested with the Wilcoxon signed ranked test (\*: p<0.05; ns: not significant). Colours: black arrow part or complete pool is present in next year., red is net decrease, blue is increase, grey figure is non-significant change.*

## voorraad Ca+Mg (eq/m<sup>2</sup>)

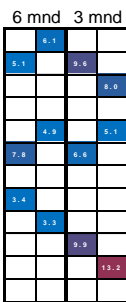
zw art = niet geplagd

blauw = geplagd

6 mnd	3 mnd		
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1

### strooisel laag

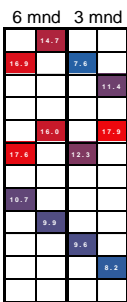
2005



2009

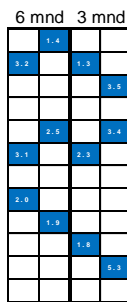


2016

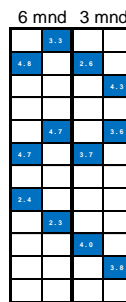


### 0-5 cm laag

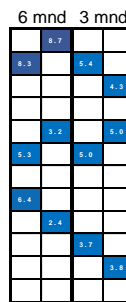
2005



2009



2016



(Ca<sub>exch</sub>+Mg<sub>exch</sub>)/SOM (meq/kg DW)

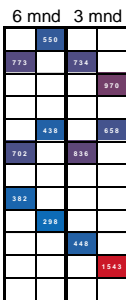
zw art = niet geplagd

blauw = geplagd

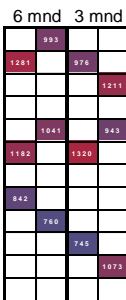
6 mnd	3 mnd		
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1

### strooisel laag

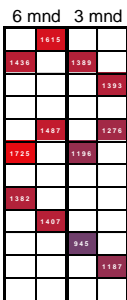
2005



2009

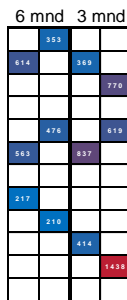


2016

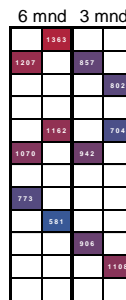


### 0-5 cm laag

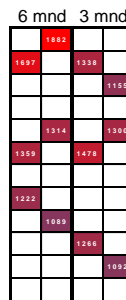
2005



2009



2016



pH-KCl

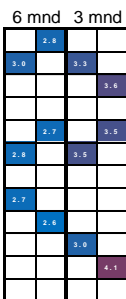
zw art = niet geplagd

blauw = geplagd

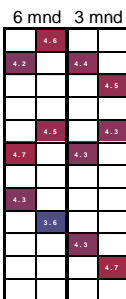
6 mnd	3 mnd		
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1

### strooisel laag

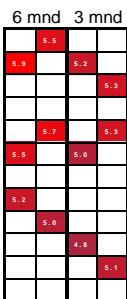
2005



2009

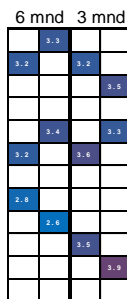


2016

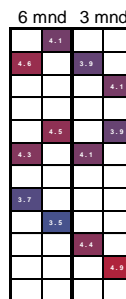


### 0-5 cm laag

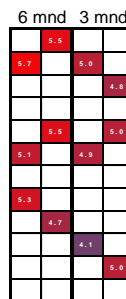
2005



2009



2016



pH-H2O

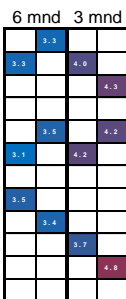
zw art = niet geplagd

blauw = geplagd

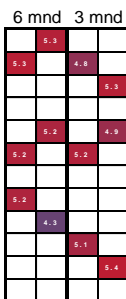
6 mnd	3 mnd		
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1

### strooisel laag

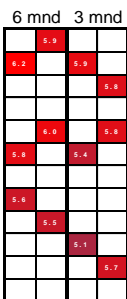
2005



2009

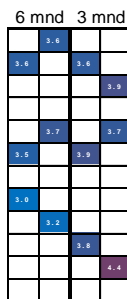


2016

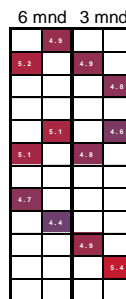


### 0-5 cm laag

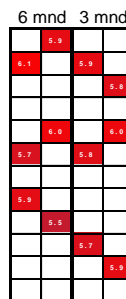
2005



2009



2016





## 4.3 Ontwikkeling nutriënten

### 4.3.1 Verschillen en trends

In Tabel 4-4 worden de gehalten gegeven van N-totaal, P-oxalaat ( $P_{\text{Oxa}}$ ), Fe-oxalaat ( $Fe_{\text{Oxa}}$ ), Al-oxalaat ( $Al_{\text{Oxa}}$ ) en fosfaatverzadigingsindex ( $PSI = P_{\text{Oxa}}/(Fe_{\text{Oxa}}+Al_{\text{Oxa}})$ ) voor de verschillende combinaties van jaar en bevoeien en voor zowel de strooisellaag van de 0-5 cm laag. De gehalten van  $P_{\text{Oxa}}$ ,  $Fe_{\text{Oxa}}$  en  $Al_{\text{Oxa}}$  worden zowel in mmol/kg DW als in mmol/L vergeleken. Met een 2-factor-ANOVA is gekeken naar het effect van de meetjaren en bevoeiingsduur en verschillen tussen de jaren zijn getoetst op significantie. In Figuur 4-8 worden de trends van de PSI in de tijd weergegeven.

De ANOVA laat zien dat meetjaren voor beide bodemlagen een sterk effect hebben op de gehalten van  $P_{\text{Oxa}}$ ,  $Fe_{\text{Oxa}}$  en de PSI. Er is geen effect van meetjaren op N-totaal en  $Al_{\text{Oxa}}$ . Bevoeiingsduur heeft alleen effect op het  $P_{\text{Oxa}}$  en de PSI van de 0-5 cm laag. Er zijn geen interactie-effecten van meetjaar en bevoeiing. De patronen voor  $P_{\text{Oxa}}$  en  $Fe_{\text{Oxa}}$  zijn gelijk voor gehalten in mmol/kg DW en mmol/L.

Het gehalte van  $P_{\text{Oxa}}$  is in 2016 lager dan in 2005 Dit geldt voor beide bodemlagen en beide bevoeiingsduren. Voor  $Fe_{\text{Oxa}}$  geldt dat het gehalte in de strooisellaag in latere jaren vaak hoger is dan voorgaande jaren en in de 0-5 cm laag vaak juist lager. Door deze trends neemt de PSI in de strooisellaag sterk af (ca. factor 3; Figuur 4-8). In de onderliggende bodemlaag neemt de PSI ook af maar minder sterk (ca. factor 2/3) tussen 2009 en 2016, omdat dan de relatieve afname van  $P_{\text{Oxa}}$  sterker is dan die van  $Fe_{\text{Oxa}}$ .

Het ruimtelijke patroon van veranderingen is als volgt (Figuur 4-9). Het  $P_{\text{Oxa}}$ -gehalte van de strooisellaag en 0-5 cm laag daalt min of meer gelijk matig. Het  $Fe_{\text{Oxa}}$ -gehalte van de strooisellaag neemt het sterkst toe in de plots dicht bij de instroompunten van het bevoeiingswater en minder sterk in de plots verder verwijderd. In de 0-5 cm laag treedt de sterkste daling van het  $Fe_{\text{Oxa}}$ -gehalte op in de plots die verst verwijderd liggen van de instroompunten. De verandering van de PSI vertoont geen duidelijk patroon en verschilt op lokale schaal.

Uit recent onderzoek in (voorheen) grondwatergevoede venen blijkt dat boven een P-totaal gehalte van 3.3 mmol/L en boven een Fe-totaal-gehalte van 15 mmol/L fosfaat niet meer limiterend is voor de kruidlaag (Emsens et al. 2017). De gemeten gehalten worden met deze grenswaarden vergeleken (Figuur 4-9). In de strooisellaag zaten de  $P_{\text{Oxa}}$ -waarden in 2005 deels boven en deels onder de grenswaarde van 3.3 mmol/L en vanaf 2009 zaten ze daar grotendeels onder. In de 0-5 cm bodemlaag lagen de waarden in het begin ver boven de grenswaarde, maar daalden deze in 2016 in alle 3 maanden bevoeide plots naar het niveau van de grenswaarde. In de 6 maanden bevoeide plots gold dit voor een deel van de plots.). De  $Fe_{\text{Oxa}}$ -gehalten van de strooisellaag zaten in 2005 vaak onder de grenswaarde van 15 mmol/L en waren in 2016 daar grotendeels daar bovenuit gestegen. In de 0-5 cm laag zaten de gehalten in 2015 juist boven de grenswaarde en zakte in het zuidelijke deel dat het verst van de instroompunten is verwijderd uit onder de grenswaarde.

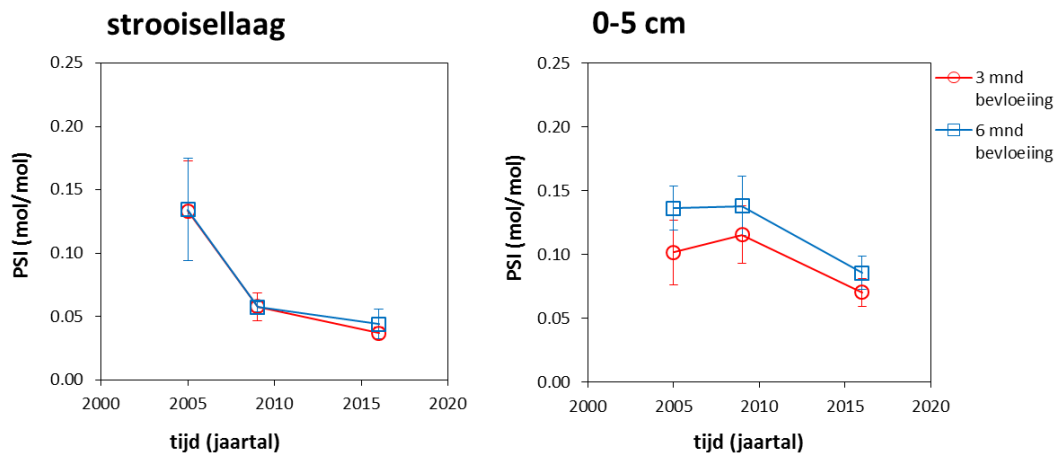
**Tabel 4-4: Variabelen voor nutriëntenrijkdom van de strooisellaag en de 0-5 cm laag met gemiddelde en standaarddeviatie voor de combinatie van jaar en bevloeiing. De bovenste tabel bevat de resultaten van de 2-factor-ANOVA (afzonderlijk uitgevoerd voor de strooisel en 0-5 cm laag). De twee tabellen onder bevatten de testresultaten voor verschillen tussen jaren die afzonderlijk zijn getoetst voor de bevloeiingsduur van 3 en 6 maanden. Lettercodes geven significante verschillen tussen de jaren aan (paarsgewijze toetsing met de Mann-Whitney toets indien  $p$  Kruskal-Wallis test  $< 0.05$ ).**

Tabel 4-4: Measurements and statistical tests for nutrient parameters of the litter layer and the 0-5 cm layer. Average values and standard deviations are given for each combination of year and flooding duration. Upper table shows the results of the 2-factor ANOVA. Tables below show test results for difference between years. Letters indicate significant differences with the Mann-Whitney test when  $p$  Kruskal-Wallis test  $< 0.05$ .

Variabele	Eenheid	Bodem-laag	Jaar		Bevloeiing		Jaar*bevloeiing	
			F	p	F	p	F	p
P-oxalaat	mmol/ kg DW	strooisel	15.30	<b>&lt;0.001</b>	0.81	0.374	0.62	0.547
		0-5 cm	29.27	<b>&lt;0.001</b>	12.58	<b>0.001</b>	2.62	0.089
Fe-oxalaat	mmol/ kg DW	strooisel	42.95	<b>&lt;0.001</b>	0.13	0.717	0.95	0.397
		0-5 cm	11.71	<b>&lt;0.001</b>	0.64	0.428	1.64	0.211
Al-oxalaat	mmol/ kg DW	strooisel	1.60	0.218	0.58	0.452	0.02	0.981
		0-5 cm	1.97	0.157	1.36	0.253	0.02	0.982
P-oxalaat	mmol/ L	strooisel	29.95	<b>&lt;0.001</b>	0.04	0.850	2.13	0.136
		0-5 cm	30.61	<b>&lt;0.001</b>	11.45	<b>0.002</b>	0.14	0.867
Fe-oxalaat	mmol/ L	strooisel	4.73	<b>0.016</b>	0.39	0.535	1.90	0.168
		0-5 cm	9.83	<b>&lt;0.001</b>	3.40	0.075	0.35	0.708
Al-oxalaat	mmol/ L	strooisel	2.01	0.151	0.88	0.357	1.68	0.203
		0-5 cm	0.83	0.445	1.11	0.301	1.61	0.216
PSI ( $P_{oxa}/(Fe_{oxa}+Al_{oxa})$ )	mol/mol	strooisel	50.98	<b>&lt;0.001</b>	0.11	0.738	0.08	0.922
		0-5 cm	21.59	<b>&lt;0.001</b>	13.74	<b>0.001</b>	0.74	0.487

Variabele	Eenheid	Bodem-laag	3 maanden bevloeiing			
			Kruskal-Wallis test	gemiddelde $\pm$ SD		
				p	2005	2009
N-totaal	% DW	strooisel	0.181		1.95 $\pm$ 0.42	1.53 $\pm$ 0.29
		0-5 cm	0.721	0.35 $\pm$ 0.16	0.29 $\pm$ 0.12	0.27 $\pm$ 0.06
P-oxalaat	mmol/ kg DW	strooisel	<b>0.016</b>	8.87 $\pm$ 1.71 a	8.19 $\pm$ 2.42 a	5.40 $\pm$ 1.69 b
		0-5 cm	<b>0.006</b>	6.79 $\pm$ 2.09 a	6.34 $\pm$ 1.17 a	3.20 $\pm$ 0.93 b
Fe-oxalaat	mmol/ kg DW	strooisel	<b>0.003</b>	29.7 $\pm$ 7.3 a	93.3 $\pm$ 22.0 b	91.5 $\pm$ 21.3 b
		0-5 cm	0.069	28.5 $\pm$ 6.7	24.8 $\pm$ 8.1	16.9 $\pm$ 7.6
Al-oxalaat	mmol/ kg DW	strooisel	0.470	41.4 $\pm$ 16.2	52.6 $\pm$ 27.7	54.0 $\pm$ 26.5
		0-5 cm	0.459	40.8 $\pm$ 18.0	32.9 $\pm$ 12.3	29.3 $\pm$ 10.0
P-oxalaat	mmol/ L	strooisel	<b>0.003</b>	3.57 $\pm$ 0.69 a	1.43 $\pm$ 0.67 b	1.25 $\pm$ 0.23 b
		0-5 cm	<b>0.003</b>	6.23 $\pm$ 1.69 a	5.31 $\pm$ 0.49 a	2.82 $\pm$ 0.39 b
Fe-oxalaat	mmol/ L	strooisel	<b>0.025</b>	12.0 $\pm$ 2.8 a	15.8 $\pm$ 5.9 ac	22.2 $\pm$ 7.5 bc
		0-5 cm	<b>0.030</b>	26.1 $\pm$ 4.5 a	20.9 $\pm$ 6.8 ac	15.2 $\pm$ 5.6 bc
Al-oxalaat	mmol/ L	strooisel	0.121	16.4 $\pm$ 5.3	9.3 $\pm$ 5.7	12.2 $\pm$ 3.6
		0-5 cm	0.271	37.0 $\pm$ 14.3	27.0 $\pm$ 6.4	25.6 $\pm$ 3.9
PSI ( $P_{oxa}/(Fe_{oxa}+Al_{oxa})$ )	mol/mol	strooisel	<b>0.001</b>	0.13 $\pm$ 0.04 a	0.06 $\pm$ 0.01 b	0.04 $\pm$ 0.00 c
		0-5 cm	<b>0.008</b>	0.10 $\pm$ 0.03 a	0.12 $\pm$ 0.02 a	0.07 $\pm$ 0.01 b

Variabele	Eenheid	Bodem- laag	6 maanden bevoeiing			
			Kruskal- Wallis test	gemiddelde ± SD		
			p	2005	2009	2016
N-totaal	% DW	strooisel	0.182		2.20 ± 0.58	1.57 ± 0.44
		0-5 cm	0.063	0.43 ± 0.04	0.35 ± 0.05	0.26 ± 0.09
P-oxalaat	mmol/ kg DW	strooisel	<b>0.007</b>	10.09 ± 1.71 a	7.89 ± 0.51 b	6.01 ± 1.52 b
		0-5 cm	<b>0.001</b>	10.32 ± 2.13 a	7.27 ± 1.32 b	4.28 ± 1.32 c
Fe-oxalaat	mmol/ kg DW	strooisel	<b>0.006</b>	42.5 ± 18.2 a	91.0 ± 5.0 b	87.0 ± 17.9 b
		0-5 cm	<b>0.007</b>	32.3 ± 9.8 a	17.5 ± 6.4 b	14.5 ± 5.8 b
Al-oxalaat	mmol/ kg DW	strooisel	0.113	37.4 ± 13.0	46.2 ± 8.0	50.4 ± 8.8
		0-5 cm	0.431	45.2 ± 13.1	37.8 ± 12.8	35.7 ± 12.6
P-oxalaat	mmol/ L	strooisel	<b>0.013</b>	3.03 ± 0.48 a	2.01 ± 1.04 ac	1.33 ± 0.63 bc
		0-5 cm	<b>0.003</b>	7.28 ± 1.09 a	6.83 ± 1.04 a	3.99 ± 1.37 b
Fe-oxalaat	mmol/ L	strooisel	0.082	12.8 ± 6.0	23.0 ± 11.3	18.4 ± 5.0
		0-5 cm	<b>0.024</b>	22.4 ± 3.2 a	16.1 ± 4.3 b	13.9 ± 6.8 b
Al-oxalaat	mmol/ L	strooisel	0.884	11.5 ± 4.5	11.3 ± 4.6	10.8 ± 3.3
		0-5 cm	0.834	32.0 ± 10.1	34.8 ± 8.9	33.2 ± 12.5
PSI (P <sub>oxa</sub> /(Fe <sub>oxa</sub> +Al <sub>oxa</sub> ))	mol/mol	strooisel	<b>0.001</b>	0.13 ± 0.04 a	0.06 ± 0.00 b	0.04 ± 0.01 b
		0-5 cm	<b>0.005</b>	0.14 ± 0.02 a	0.14 ± 0.02 a	0.09 ± 0.01 b



**Figuur 4-8: Trends van de fosfaatverzadigingsindex (PSI) van de strooisellaag en de 0-5 cm laag met onderscheid voor bevoeiingsduur. Punten zijn gemiddelde waarden en whiskers geven de standaarddeviatie weer.**

*Figuur 4-8: Trends of phosphate saturation index (PSI) of the litter layer and 0-5 cm layer for 3 and 6 month flooding. Points are average values, whiskers indicate the standard deviation.*

## P<sub>oxa</sub> (mmol/L)

zw art = niet geplagd

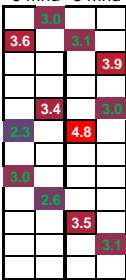
blauw = geplagd

6 mnd	3 mnd		
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1

### strooisel laag

2005

6 mnd 3 mnd



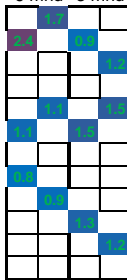
2009

6 mnd 3 mnd



2016

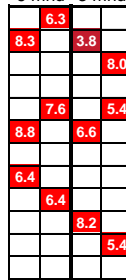
6 mnd 3 mnd



### 0-5 cm laag

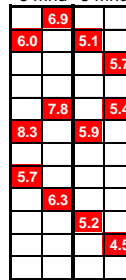
2005

6 mnd 3 mnd



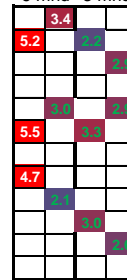
2009

6 mnd 3 mnd



2016

6 mnd 3 mnd



## Fe<sub>oxa</sub> (mmol/L)

zw art = niet geplagd

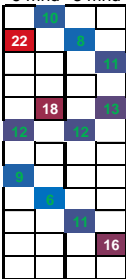
blauw = geplagd

6 mnd	3 mnd		
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1

### strooisel laag

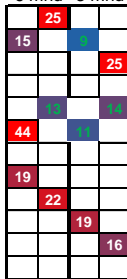
2005

6 mnd 3 mnd



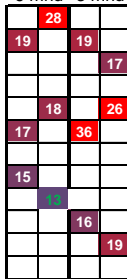
2009

6 mnd 3 mnd



2016

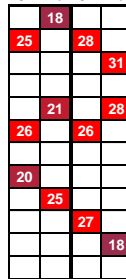
6 mnd 3 mnd



### 0-5 cm laag

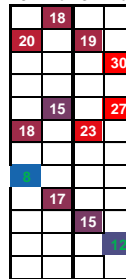
2005

6 mnd 3 mnd



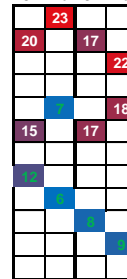
2009

6 mnd 3 mnd



2016

6 mnd 3 mnd



## PSI (mol/mol)

zw art = niet geplagd

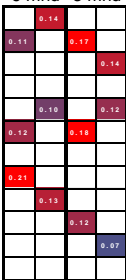
blauw = geplagd

6 mnd	3 mnd		
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1

### strooisel laag

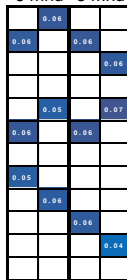
2005

6 mnd 3 mnd



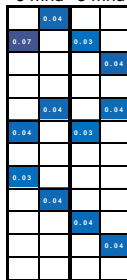
2009

6 mnd 3 mnd



2016

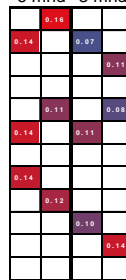
6 mnd 3 mnd



### 0-5 cm laag

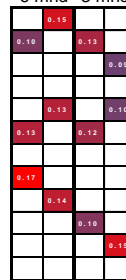
2005

6 mnd 3 mnd



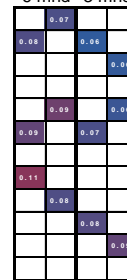
2009

6 mnd 3 mnd



2016

6 mnd 3 mnd



**Figuur 4-9: Ontwikkeling van het ruimtelijke patroon van de gehalten oxalaat-extraheerbaar P en Fe en de fosfaatverzadigingsgraad (PSI) in de strooisellaag en 0-5 cm laag van de bodem bij 3 en bij 6 maanden bevloeiën. De ligging van de plots wordt schematisch weergegeven. De instroompunten van de bevloeiing zitten aan de bovenzijde van het grid. Kleuren: blauw relatief lage en rood relatief hoge waarde. Getallen in groen bij de gehalten P<sub>oxa</sub> en Fe<sub>oxa</sub> zitten respectievelijk onder de grenswaarden 3.3 en 15 mmol/L van Emsens et al. (2017).**

Figuur 4-9: Development of the spatial pattern of the oxalate extractible P and Fe content and the phosphate saturation index (PSI) in the litter layer and 0-5 cm layer for 3 and 6 month flooding. Plots layout is schematic. Inflow point are at the upper part of the grid. Colours: blue = relatively low, red = relatively high value.

### 4.3.2 Stofbalans

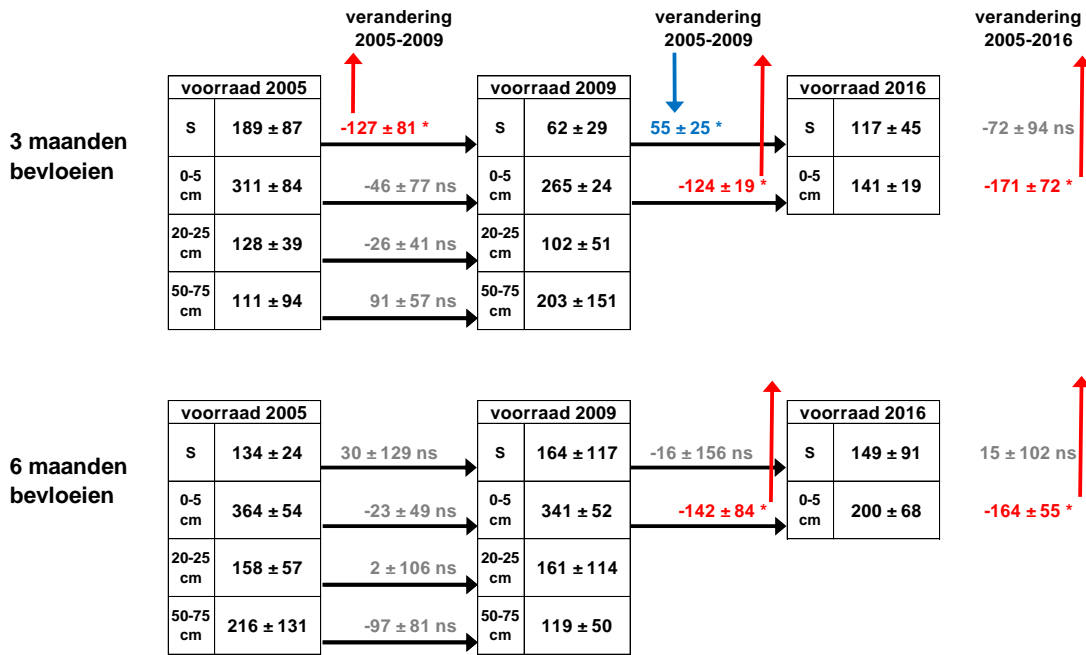
In Figuur 4-10 wordt de balans van de voorraden van P-oxalaat ( $P_{\text{oxa}}$ ), Fe-oxalaat ( $Fe_{\text{oxa}}$ ) en Al-oxalaat ( $Al_{\text{oxa}}$ ) weergegeven voor de verschillende bodemlagen en voor beide bevoeiingscompartimenten. Veranderingen in voorraden treden alleen op in de strooisellaag en 0-5 cm laag en niet in de diepere lagen. Hieronder worden de veranderingen in de stofbalansen tevens gerelateerd aan de trends van de PSI.

Bij 3 maanden bevoeiingsduur zijn de ontwikkelingen als volgt. In de strooisellaag neemt tussen 2005 en 2009 de  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad sterk af en daarna weer minder sterk toe. De  $Al_{\text{oxa}}$ -voorraad vertoont gelijkgerichte trends. De trends van beiden zijn ook positief gecorreleerd met die van de SOM-voorraad. Tussen 2009 en 2016 stijgt de  $Fe_{\text{oxa}}$ -voorraad zeer sterk (factor 3). Voor de hele meetperiode zijn er geen significante netto trends van de  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad en  $Al_{\text{oxa}}$ -voorraad, maar wel een sterke netto toename van de  $Fe_{\text{oxa}}$ -voorraad. Deze trends verklaren de sterke afname van de PSI. De 0-5 cm laag vertoont voor de  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad een duidelijke afname tussen 2009 en 2016 en voor de  $Fe_{\text{oxa}}$ -voorraad voor beide perioden. De  $Al_{\text{oxa}}$ -voorraad neemt juist alleen af tussen 2005 en 2009. Al deze trends in de 0-5 cm laag duiden op oplossing van Fe- en Al-hydroxiden en desorbtië van fosfaat. Omdat de relatieve afname van  $P_{\text{oxa}}$  sterker is dan de van  $Fe_{\text{oxa}}+Al_{\text{oxa}}$ , daalt de PSI. De afname van  $Fe_{\text{oxa}}$  in de 0-5 cm laag is veel geringer dan de toename in de strooisellaag, terwijl dat voor  $P_{\text{oxa}}$  juist andersom is.

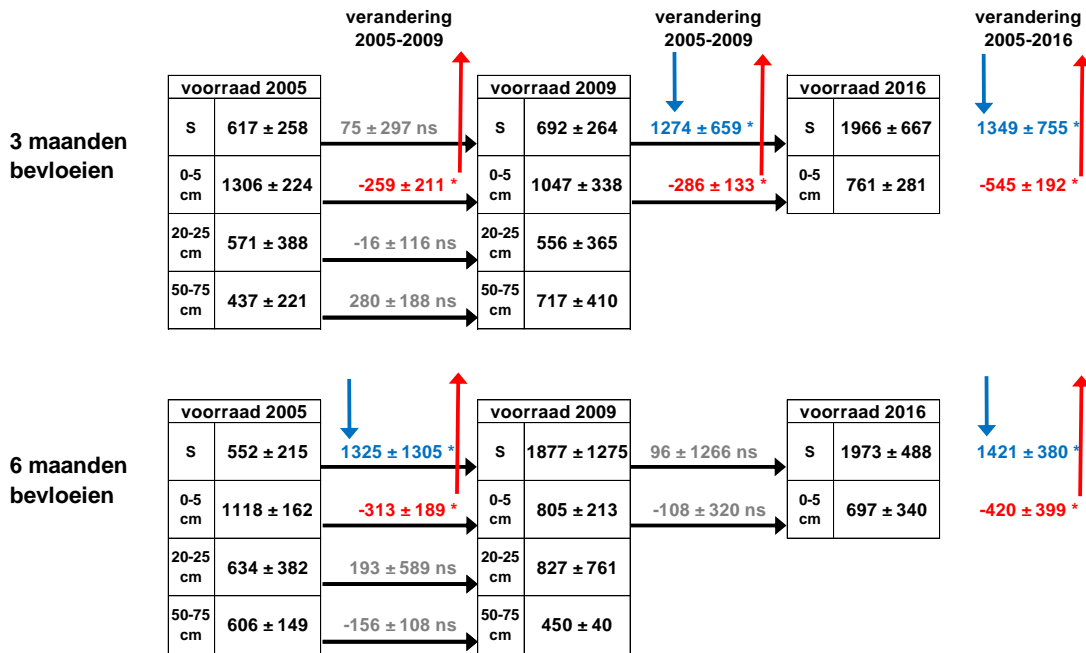
Bij 6 maanden bevoeiingen ontwikkelen de stofvoorraden deels zich anders. De  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad van de strooisellaag vertoont geen significante veranderingen, terwijl de  $Fe_{\text{oxa}}$ -voorraad sterk toeneemt (ca. factor 3) tussen 2005 en 2009. Deze toename treedt gelijktijdig op met een sterke toename van de SOM-voorraad. De  $Al_{\text{oxa}}$ -voorraad van de strooisellaag vertoont voor beide meetintervallen geen significante veranderingen, maar heeft wel een significante toename over de hele periode (ca. factor 2). Door al deze trends neemt de PSI sterk af. De 0-5 cm laag heeft tussen 2009 en 2016 een afname van de  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad en tussen 2005 en 2009 een afname van de  $Fe_{\text{oxa}}$ -voorraad. De  $Al_{\text{oxa}}$ -voorraad verandert in deze laag niet. Ook bij 6 maanden bevoeien worden dus in de minerale laag Fe-hydroxiden opgelost en fosfaat gemobiliseerd. Omdat de relatieve afname van  $P_{\text{oxa}}$  sterker is dan die van  $Fe_{\text{oxa}}+Al_{\text{oxa}}$  daalt de PSI. De afname van  $Fe_{\text{oxa}}$  in de 0-5 cm laag is veel geringer dan de toename in de strooisellaag.

In beide bodemlagen vertonen de veranderingen van de  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad en  $Al_{\text{oxa}}$ -voorraad vertoont geen duidelijk ruimtelijk patroon en heeft dus geen relatie met de ligging ten opzichte van de instroompunten (Figuur 4-11). De verandering van  $Fe_{\text{oxa}}$ -voorraad neemt in de strooisellaag het sterkst toe dichtbij de instroompunten van de bevoeiing in beide compartimenten. In de 0-5 cm laag neemt  $Fe_{\text{oxa}}$  juist het sterkst af in de delen verder verwijderd van de instroompunten.

voorraad P-oxalaat (mmol/ m<sup>2</sup>)



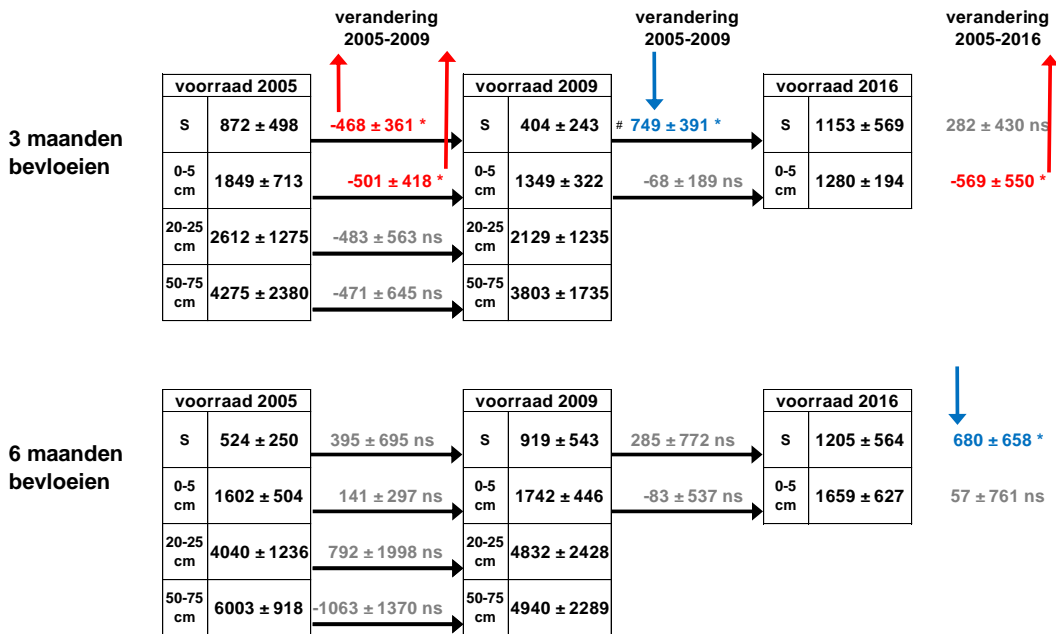
voorraad Fe-oxalaat (mmol/ m<sup>2</sup>)



**Figuur 4-10: Stofbalans van oxalaat-extraheerbaar P, Fe en Al in de strooisellaag en 0-5 cm laag van de bodem bij 3 en bij 6 maanden bevoeien. Getallen geven gemiddelde waarde met standaarddeviatie van de gemeten voorraden in meetjaren en van de verandering van elke plot tussen meetjaren en voor de hele meetperiode. De verandering is getoetst met de Wilcoxon signed ranked test (\*: p<0.05; ns: niet significant). Betekenis kleuren en pijlen: zwarte pijl is deel of hele voorraad is volgende meetjaar aanwezig, rood is netto afname en stof verdwijnt uit de bodemlaag, blauw is netto toename en stof accumuleert in de bodemlaag, grijs getal is een niet-significante verandering.**

Figuur 4-10: Pool balance of oxalate extractible p, Fe and Al in the soil layers. Numbers indicate average values and SD of measured pools and changes in periods. Changes are tested with the Wilcoxon signed ranked test (\*: p<0.05; ns: not significant). Colours: black arrow part or complete pool is present in next year., red is net decrease, blue is increase, grey figure is non-significant change.

voorraad Al-oxalaat (mmol/ m<sup>2</sup>)



Vervolg Figuur 4-10

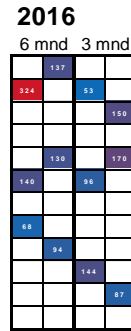
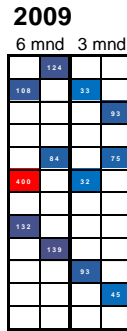
## P-oxalaat (mmol/m<sup>2</sup>)

zw art = niet geplagd

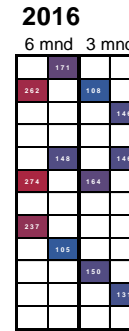
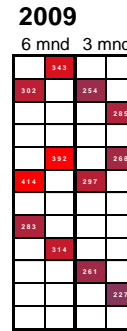
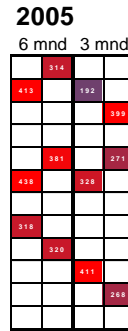
blauw = geplagd

6 mnd	3 mnd
R4	R3 R2 R1
48	36 24 12
47	35 23 11
46	34 22 10
45	33 21 9
44	32 20 8
43	31 19 7
42	30 18 6
41	29 17 5
40	28 16 4
39	27 15 3
38	26 14 2
37	25 13 1

### strooisel laag



### 0-5 cm laag



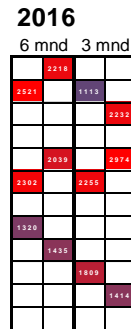
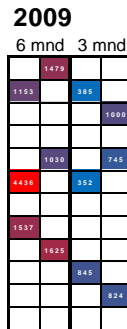
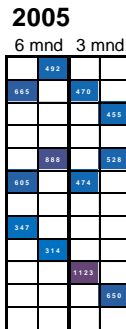
## Fe-oxalaat (mmol/m<sup>2</sup>)

zw art = niet geplagd

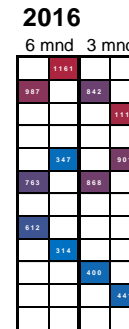
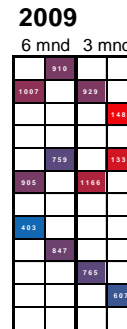
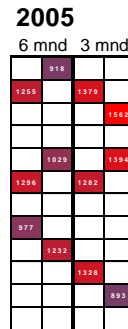
blauw = geplagd

6 mnd	3 mnd
R4	R3 R2 R1
48	36 24 12
47	35 23 11
46	34 22 10
45	33 21 9
44	32 20 8
43	31 19 7
42	30 18 6
41	29 17 5
40	28 16 4
39	27 15 3
38	26 14 2
37	25 13 1

### strooisel laag



### 0-5 cm laag



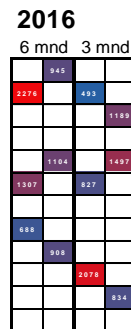
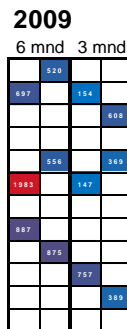
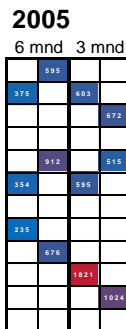
## Al-oxalaat (mmol/m<sup>2</sup>)

zw art = niet geplagd

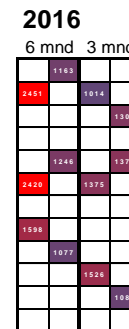
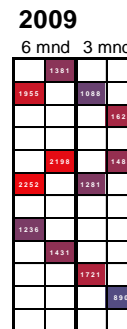
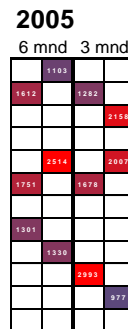
blauw = geplagd

6 mnd	3 mnd
R4	R3 R2 R1
48	36 24 12
47	35 23 11
46	34 22 10
45	33 21 9
44	32 20 8
43	31 19 7
42	30 18 6
41	29 17 5
40	28 16 4
39	27 15 3
38	26 14 2
37	25 13 1

### strooisel laag



### 0-5 cm laag



**Figuur 4-11: Ontwikkeling van het ruimtelijke patroon van de voorraad oxalaat-extraheerbaar P, Fe en Al in de strooisellaag en 0-5 cm laag van de bodem bij 3 en bij 6 maanden bevoeien. De ligging van de plots wordt schematisch weergegeven. De instroompunten van de bevoeiing zitten aan de bovenzijde van het grid. Kleuren: blauw relatief lage en rood relatief hoge waarde.**

Figuur 4-11: Development of the spatial pattern of oxalate extractible P, Fe and Al pool in the litter layer and 0-5 cm layer for 3 and 6 month flooding. Plots layout is schematic. Inflow point are at the upper part of the grid. Colours: blue = relatively low, red = relatively high value.

### 4.3.3 Anorganisch stikstof in 2016

In 2016 is met een KCl-extractie ook het gehalte van NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> in de bodem bepaald met als doel inzicht te krijgen in de beschikbaarheid van minerale stikstof. In Tabel 4-5 staan de resultaten van de statistische testen omtrent het effect van bevoeiingsduur op de verschillende gehalten van NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> en de ratio NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> (mol/mol). Het NH<sub>4</sub>- en NO<sub>3</sub>-gehalte verschilt niet tussen beide bevoeiingsduren. Minerale stikstof is vooral aanwezig in de vorm van NH<sub>4</sub>, hetgeen samenhangt met de overwegend anaerobe toestand van de bodem. De ratio's NH<sub>4</sub>/NO<sub>3</sub> zijn hierdoor hoog. De NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> gehalten in de strooisellaag zijn hoger dan die in de onderliggende 0-5 cm laag.

De NH<sub>4</sub>-gehalten van de strooisellaag liggen meestal in het hoge deel of net boven de range van referentiewaarde van zure kleine zeggen vegetatie (210-1030 µmol/L; Aggenbach et al. 2017). In de 0-5 cm laag bestrijken de meetwaarde grofweg deze hele range van zure kleine zeggen vegetatie.

De ruimtelijke patronen van de gehalten worden weergegeven in Figuur 4-12. Het NH<sub>4</sub>-gehalte van de strooisellaag vertoont geen duidelijk ruimtelijk patroon, terwijl in de 0-5 cm laag hogere waarden voorkomen in het noordelijke, lagere deel van het onderzoeksperceel en dan ook relatief dichtbij de instroompunten. Relatief hoge NO<sub>3</sub>-gehalten in beide bodemlagen komen juist voor in de drogere plots in het zuidelijk deel, het verst verwijderd van de instroompunten. De strooisellaag van de meest droge plot helemaal aan de zuidkant van het compartiment met 3 maanden bevoeien heeft een de hoogste waarde. Deze waarde zit ver boven de range van referentiewaarden van schrale vegetatietypen (Aggenbach et al. 2017).

**Tabel 4-5: Het gehalte van in KCl-oplossing extraheerbaar NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> van de strooisellaag en de 0-5 cm laag met gemiddelde en standaarddeviatie voor de twee bevoeiingsduren bevoeiing. Het effect van bevoeiing is getoetst met een-ANOVA (afzonderlijk uitgevoerd voor de strooisel en 0-5 cm laag). Verschillen tussen de twee bevoeiingsduren zijn ook getest met de Kruskal-Wallis test.**

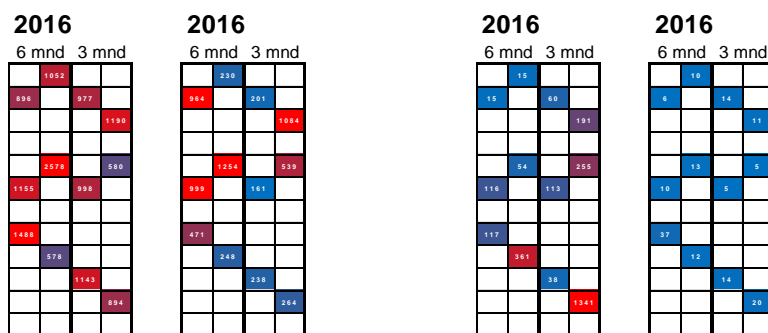
*Tabel 4-5: Measurements and statistical tests for mineral nitrogen parameters of the litter layer and the 0-5 cm layer. Average values and standard deviations are given for each combination of year and flooding duration. The table shows the results of the 2-factor ANOVA.*

Variabele	Eenheid	Bodem-laag	Jaar		Kruskal-Wallis test	3 maanden bevoeiing	6 maanden bevoeiing
			F	p		gemiddelde ± SD	gemiddelde ± SD
					p	2016	2016
NH <sub>4</sub> -KCl	µmol/ kg DW	strooisel	1.21	0.298	0.423	964 ± 218	1291 ± 698
		0-5 cm	1.50	0.249	0.262	414 ± 354	694 ± 434
NO <sub>3</sub> -KCl	µmol/ kg DW	strooisel	1.09	0.322	0.336	333 ± 500	113 ± 130
		0-5 cm	0.42	0.529	1.000	11 ± 6	15 ± 11
NH <sub>4</sub> / NO <sub>3</sub> in KCL-extract	mol/mol	strooisel	3.27	0.101	0.150	11 ± 11	34 ± 29
		0-5 cm	0.45	0.518	0.749	48 ± 45	69 ± 59

## NH<sub>4</sub> in KCl-extract (µmol/kg DW)    NO<sub>3</sub> in KCl-extract (µmol/kg DW)

strooisel laag 0-5 cm laag

strooisel laag 0-5 cm laag



**Figuur 4-12: Het ruimtelijk patroon van in KCl-oplossing extraheerbaar NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> in de strooisellaag en 0-5 cm laag van de bodem bij 3 en bij 6 maanden bevoeien. De ligging van de plots wordt schematisch weergegeven. De instroompunten van de bevoeiing zitten aan de bovenzijde van het grid. Kleuren: blauw relatief lage en rood relatief hoge waarde.**

Figuur 4-12: Development of KCl extractible NH<sub>4</sub> and NO<sub>3</sub> content in the litter layer and 0-5 cm layer for 3 and 6 month flooding. Plots layout is schematic. Inflow point are at the upper part of the grid. Colours: blue = relatively low, red = relatively high value.

## 4.4 Ontwikkeling vegetatie

De ontwikkeling van de vegetatie is in de periode 2005 t/m 2016 gevolgd in alle 48 plots. Dit betreft zowel niet-geplagde als geplagde plots in beide bevoeiingscompartimenten. Per behandelcombinatie wordt de ontwikkeling van vegetatiestructuur en soortensamenstelling besproken.

### 4.4.1 Vegetatiestructuur

In Tabel 4-6 wordt de ontwikkeling van de vegetatielagen weergegeven. Per behandelcombinatie zijn gemiddelde waarden en standaarddeviaties berekend van de structuurvariabelen. In Figuur 4-13 wordt de ontwikkeling van het ruimtelijke patroon van enkele variabelen weer gegeven.

De ontwikkeling van de bedekking van de boom- en struiklaag van de geplagde plots werd nauwelijks door het plagen beïnvloed, omdat de bedekking van deze lagen werd bepaald door bomen en struiken in de omgeving van de plots. De bedekking van de hoogte van de boomlaag daalde vrij sterk vanaf het 2<sup>e</sup> tot 3<sup>e</sup> jaar en leidde in alle behandelcombinaties tot meer lichtinval voor de ondergroei. De vernatting en bevoeiing leidden dus tot een verminderde vitaliteit van de boomlaag die vooral bestaat uit Zwarte els. Tevens stierven berken af. Tijdens het experiment werden de kronen van Zwarte els ook steeds ijler. Blijkbaar verliest de kroon dan ook takken waardoor de boomhoogte lager werd. Door stormen is ook een deel van de elzenstaken sterk naar de grond gebogen. Na 2008 trad een lichte stijging op van de boombedekking, mogelijk als gevolg van lagere zomerstanden vanaf 2009. De bedekking en hoogte van de struiklaag nam in de periode 2005-2008/2009 af. Oorzaak was de sterfte van struiken. Vooral Vuilboom stierf af en daarnaast ook Amerikaans vogelkers en Geoorde wilg. Dit droeg ook bij tot betere lichtcondities voor de kruidlaag. Vanaf 2008/2009 nam de bedekking van de struiklaag weer toe. Dit had te maken met het omvallen en omlaag buigen van overlevende elzen en wilgen over de plots (de bedekking daarvan werd meegeteld als struiklaag). In een deel van de plots zorgde dat voor een sterke toename van de beschaduwing en daardoor voor een afname van de bedekking van de kruidlaag.

In alle behandelingen nam de bedekking van de kruidlaag tussen 2006 en 2007 sterk toe als gevolg van een explosieve toename van *Lemna minor*. Deze soort kon sterk toenemen als gevolg van langdurige inundatie in de zomer. In de periode 2007-2009 hadden alle behandelcombinaties een relatief hoge bedekking van de kruidlaag en in 2016 was die weer veel lager. Bij de niet-geplagde plots trad de daling op tussen 2007 en 2008, wat een gevolg is een afname van *Lemna minor* door een verlaging van de zomergrondwaterstand vanaf 2008. Bij de behandeling niet plagen en 6 maanden bevoeien was de bedekking van de

kruidlaag in 2009 hoog als gevolg van een hoge bedekking van *Rorippa microphylla* + *R. nasturtium-aquaticum*. Daarna daalde de bedekking daar weer. In niet geplagde plots nam de maximale hoogte en de gemiddelde hoogte van de kruidlaag toe door het hoger worden van moerasplanten (vooral door toename en vestiging van *Phragmites australis*). In de geplagde plots nam de hoogte eerst af (effect van plaggen) en weer toe in het laatste jaar door vestiging van moerasplanten.



Foto: Voorbeeld van een grote, lokale veranderingen in vegetatiestructuur in de niet-geplagde plot 19 door het omvallen van een struik van Geoorde wilg. Links de situatie in 2009 en rechts in 2016.

Photo: Example of strong, local changes in vegetation structure in non-sod cut plot 19 by thrown down of a *Salix aurita* shrub. Left in 2009 and right in 2016.

De relatief hoge bedekking van mossen in de nulsituatie werd vooral bepaald door het voorkomen van *Eurhynchium praelongum*. In de geplagde plots daalde de mosbedekking na het plaggen naar 0 %. Door de langdurige inundatie van deze plots duurde het enkele jaren voordat mossen weer terugkeerden. Na verlaging van de zomerwaterstand waren ze in 2009 en 2016 weer sporadisch aanwezig. In die jaren kwamen ze vooral voor op dode takken en stammen die in de plots waren gevallen en dan op de delen die gedurende de zomer uitstaken boven de waterstand. In de niet-geplagde plots daalde de mosbedekking eerst sterk als gevolg van langdurige inundatie door de bevoeiing en daarna t/m 2016 langzaam.

**Tabel 4-6: Ontwikkeling van variabelen voor vegetatiestructuur van de plots per combinatie van bevoeiingsduur en niet/ wel plaggen. Elke combinatie heeft 12 plots waarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie worden gegeven. Betekenis codes behandelingen: bodembehandeling: P- = niet plaggen, P+ = plaggen; bevoeiingsduur: B3 = 3 maanden, B6 = 6 maanden.**

Tabel 4-6: Development of vegetation structure parameters of the plots for each combination of flooding duration and soil treatment. Average values with SD are given. Codes: P- = no sod cutting, P+ = sod cutting; B3 = 3 months flooding, B6 = 6 months flooding.

Variabele	Behandeling	gemiddelde bedekking ± sd (%)					
		2005	2006	2007	2008	2009	2016
Bedekking boomlaag (%)	P-B3	34 ± 13	34 ± 13	30 ± 12	20 ± 9	25 ± 14	25 ± 15
	P-B6	30 ± 7	32 ± 17	29 ± 13	19 ± 10	25 ± 11	31 ± 12
	P+B3	37 ± 12	34 ± 10	30 ± 11	24 ± 9	26 ± 17	26 ± 19
	P+B6	37 ± 8	30 ± 13	28 ± 12	17 ± 8	20 ± 9	28 ± 11
Bedekking struiklaag (%)	P-B3	9.3 ± 8.8	6.8 ± 8.5	5.9 ± 8.6	3.8 ± 7.1	5.5 ± 9.8	24 ± 33
	P-B6	12 ± 10	25 ± 11	14 ± 11	4.1 ± 3.4	8.7 ± 12.4	9 ± 17
	P+B3	7.8 ± 10.1	4.9 ± 6.3	4.7 ± 5.3	2.5 ± 2.0	4.0 ± 8.7	19 ± 28
	P+B6	13 ± 13	13 ± 14	7 ± 12	2.3 ± 3.0	1.4 ± 3.1	9 ± 17
Bedekking kruidlaag (%)	P-B3	19 ± 13	27 ± 11	68 ± 34	45 ± 24	47 ± 25	40 ± 24
	P-B6	26 ± 22	28 ± 23	77 ± 33	38 ± 21	82 ± 10	45 ± 23
	P+B3	35 ± 15	28 ± 42	79 ± 40	86 ± 30	75 ± 34	21 ± 19
	P+B6	41 ± 18	22 ± 37	84 ± 37	90 ± 25	75 ± 30	31 ± 23
Bedekking moslaag (%)	P-B3	19 ± 12	13 ± 25	11 ± 25	11 ± 27	9 ± 23	1.3 ± 1.3
	P-B6	16 ± 10	6 ± 12	8 ± 14	11 ± 21	7 ± 14	4.8 ± 12.7
	P+B3	53 ± 24	0	0	0	0.1 ± 0.3	0.9 ± 0.8
	P+B6	54 ± 19	0	0	0	0.1 ± 0.3	0.4 ± 0.5
Bedekking water (%)	P-B3	0	36 ± 36	62 ± 44	0	0	1 ± 2
	P-B6	0	70 ± 38	73 ± 39	0	0	4 ± 14
	P+B3	0	100 ± 0	100 ± 0	93 ± 23	20 ± 32	39 ± 47
	P+B6	0	100 ± 0	100 ± 0	92 ± 29	1 ± 3	20 ± 39
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	P-B3	14.5 ± 1.2	14.8 ± 0.9	15.0 ± 0.0	12.9 ± 0.3	10.8 ± 1.3	9.6 ± 1.2
	P-B6	14.5 ± 1.2	14.7 ± 0.9	14.7 ± 0.9	12.7 ± 0.9	11.2 ± 1.6	9.9 ± 0.7
	P+B3	14.2 ± 1.9	14.6 ± 1.4	15.0 ± 0.0	13.0 ± 0.0	11.2 ± 1.1	9.6 ± 1.1
	P+B6	14.7 ± 0.9	14.3 ± 1.7	14.7 ± 0.9	12.9 ± 0.3	11.3 ± 1.3	9.2 ± 1.3
Hoogte (hoge) struiklaag (m)	P-B3	4.7 ± 2.1	4.0 ± 2.8	3.6 ± 3.0	3.5 ± 2.4	2.9 ± 0.8	3.8 ± 0.8
	P-B6	4.3 ± 1.4	4.1 ± 1.4	3.9 ± 1.6	3.1 ± 1.2	2.8 ± 1.1	2.9 ± 0.9
	P+B3	5.1 ± 2.0	4.2 ± 2.3	3.2 ± 1.6	2.7 ± 1.5	2.1 ± 0.8	3.8 ± 1.9
	P+B6	3.7 ± 1.9	3.5 ± 1.2	3.6 ± 1.3	3.4 ± 0.5	3.3 ± 0.4	2.6 ± 0.8
Gem. hoogte (hoge) kruidl (cm)	P-B3			94 ± 12	69 ± 38	105 ± 51	122 ± 71
	P-B6			50 ± 23	40 ± 24	81 ± 56	119 ± 65
	P+B3			69 ± 24	78 ± 54	99 ± 47	171 ± 59
	P+B6			93 ± 25	73 ± 39	123 ± 37	122 ± 62
Gem. hoogte lage kruidl. (cm)	P-B3	19 ± 5	34 ± 4	18 ± 18	41 ± 25	14 ± 10	19 ± 15
	P-B6	20 ± 0	26 ± 5	12 ± 11	28 ± 8	22 ± 23	23 ± 11
	P+B3	25 ± 7	25 ± 4	23 ± 7	8.9 ± 4.6	2.2 ± 2.7	15 ± 20
	P+B6	28 ± 3	35 ± 0	27 ± 7	6.9 ± 3.4	4.4 ± 3.3	9 ± 12
Maximale hoogte kruidlaag (cm)	P-B3	55 ± 22	102 ± 36	138 ± 41	134 ± 49	163 ± 54	70
	P-B6	36 ± 9	62 ± 28	93 ± 53	95 ± 44	128 ± 77	100 ± 14
	P+B3	68 ± 17	55 ± 35	78 ± 52	45 ± 51	140 ± 68	110
	P+B6	63 ± 13	57 ± 25	76 ± 71	55 ± 71	100 ± 77	





#### 4.4.2 Soortensamenstelling

De ontwikkeling van de presentie en bedekking van plantensoorten wordt besproken voor diverse relevante ecologische soortgroepen.

##### **Frequentie en bedekking van soorten van elzenbroekbossen** (Tabel 4-7; Figuur 4-14)

Opvallend is dat kiemlingen en juveniele individuen van *Alnus glutinosa* nauwelijks voorkwamen en ook niet uitgroeiden naar grotere exemplaren. Er trad dus geen verjonging op van de Zwarte elzen-populatie. *Carex elongata*, een kenmerkende soorten van het *Carici elongatae-Alnetum* (Gewoon elzenbroek) was in de nulsituatie nog frequent aanwezig in drie van de behandelcombinaties. In de niet-geplagde plots nam de frequentie sterk toe door vestiging van nieuwe planten uit zaad, terwijl de bedekking geen duidelijke trend vertoonde (6 maanden bevoeien) of afnam (3 maanden bevoeien). In de geplagde plots verdween de soort en keerde sporadisch terug in de periode 2007-2009. De algemenere soorten van elzenbroekbossen, *Iris pseudacorus* en *Lysimachia vulgaris*, namen gestaag toe in frequentie en bedekking. In de niet-geplagde plots is deze toename sterker. Bij 6 maanden bevoeien nam de bedekking van *Iris pseudacorus* sterker toe dan bij 3 maanden bevoeien. In de geplagde plots verdwenen *Galium palustre* en *Carex pseudocyperus* eerst. De laatste genoemde soort keerde vanaf 2009 daar weer terug en bereikte in 2016 een matig hoge frequentie. Beide soorten vestigden zich in de niet-geplagde plots (vooral vanaf 2009). *Galium palustre* bereikte in 2016 een (relatief) hoge frequentie bij beide bevoeiingsduren en nam ook toe in bedekking. Late nieuwkomers in alle behandelcombinaties zijn *Scutellaria galericulata* en *Solanum dulcamara*. Beide soorten bereikten daarbij een relatief hoge frequentie in de niet-geplagde plots en *Solanum dulcamara* ook in de geplagde plots. *Rubus idaeus*, een soort die zijn optimum heeft in nutriëntenrijke elzenbroeken met relatief diep uitzakkende zomergrondwaterstanden, kwam in de nulsituatie voor en verdween snel door de vernatting en bevoeiing.



Foto: Links: in 2016 was Bitterzoet een frequente soort geworden. Rechts: Elzenzegge (*Carex elongata*) die veel en vitaal voorkomt in de niet geplagde delen. In het midden van deze foto een geplagde plot zonder begroeiing. In de geplagde plots heeft de soort zich nauwelijks gevestigd en ontbrak daar geheel in 2016.

Photo: Left: in 2016 *Solanum dulcamare* became a frequent species. Right: *Carex elongata* occurs abundant and vital in non-sod cut parts. In the centre of this photo a sod cut plot without vegetation



*Foto: Grote pollen van Elzenzegge (Carex elongata) en linksonder IJle zegge (C. remota) in een niet geplagde plot in 2009.*

*Photo: Large tussocks of Carex elongata and left below C. remota in a non sod-cut plot in 2009.*

**Tabel 4-7: Ontwikkeling van frequentie en bedekking van plantensoorten van elzenbroekbossen per combinatie van bevoeiingsduur en niet/ wel plaggen. Elke combinatie heeft 12 plots waarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie worden gegeven. Betekenis codes behandelingen: bodembehandeling: P- = niet plaggen, P+ = plaggen; bevoeiingsduur: B3 = 3 maanden, B6 = 6 maanden.**

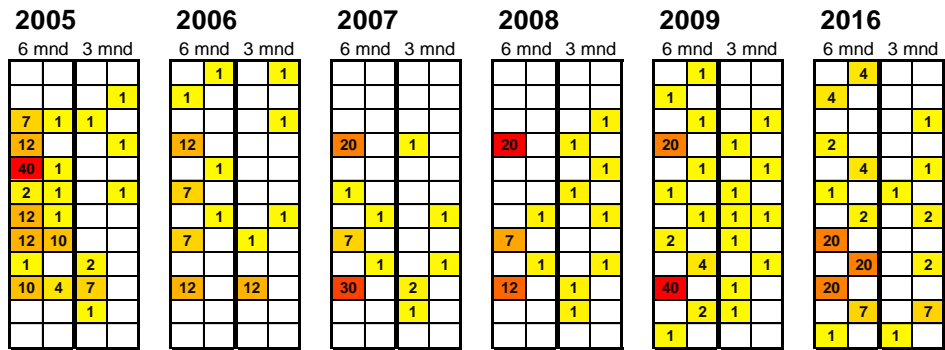
Tabel 4-7: Development of frequency and cover of plant species of alder carr for each combination of flooding duration and soil treatment. Average values with SD are given. Codes: P- = no sod cutting, P+ = sod cutting; B3 = 3 months flooding, B6 = 6 months flooding.

Plantensoort	Behandeling	gemiddelde bedekking ± sd (%)						frequentie (%)					
		2005	2006	2007	2008	2009	2016	2005	2006	2007	2008	2009	2016
Alnus glutinosa kl	P-B3	1.0	1.0			1.0		8	8			8	
	P-B6												
	P+B3	1.0						8					
	P+B6												
Carex elongata	P-B3	7.0	3.2 ± 4.9	1.3 ± 0.5	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	2.1 ± 2.2	8	42	33	58	67	58
	P-B6	5.6 ± 5.4	5.3 ± 4.9	10 ± 12	8.2 ± 8.0	6.3 ± 11.9	7.7 ± 8.1	58	67	50	42	100	92
	P+B3	1.2 ± 0.4		1.0	1.0	1.0 ± 0.0		50		8	8	17	
	P+B6	11 ± 14						58					
Carex pseudocyperus	P-B3				1.0	1.0 ± 0.0	1.3 ± 0.6				8	25	25
	P-B6						4.0					8	8
	P+B3												
	P+B6	1.0						8					
Galium palustre	P-B3			1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	2.5 ± 3.9	9.4 ± 16.8			17	17	67	83
	P-B6				1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	4.8 ± 8.7				17	50	92
	P+B3					1.0	1.0 ± 0.0					8	42
	P+B6	1.0 ± 0.0				1.0	2.1 ± 2.2	17				8	58
Iris pseudacorus	P-B3	1.0	1.0	1.0 ± 0.0	1.3 ± 0.6	5.0 ± 8.4	1.9 ± 1.0	8	8	17	25	42	67
	P-B6	1.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.7 ± 1.2	5.9 ± 10.0	10 ± 16	8	17	17	50	67	92
	P+B3	1.0 ± 0.0			1.0	4.0	2.5 ± 3.0	17			8	8	33
	P+B6	1.0		1.0	1.5 ± 0.7	2.0 ± 1.7	15 ± 11	8		8	17	25	58
Lysimachia vulgaris	P-B3	1.0 ± 0.0	1.1 ± 0.4	1.2 ± 0.4	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	2.0 ± 1.1	25	58	42	42	42	50
	P-B6	1.3 ± 0.5	1.6 ± 1.3	1.2 ± 0.4	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	3.0 ± 2.7	33	42	50	42	50	67
	P+B3	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0	1.5 ± 0.7	25	33	25	17	8	17
	P+B6	1.0 ± 0.0				1.0	1.3 ± 0.6	17				8	25
Rubus idaeus	P-B3	1.5 ± 0.6	1.0					33	8				
	P-B6	1.6 ± 1.3						42					
	P+B3	1.5 ± 0.7						17					
	P+B6	1.5 ± 0.7						17					
Scutellaria galericulata	P-B3					1.0	3.3 ± 4.0					8	58
	P-B6						2.6 ± 2.2					8	58
	P+B3						1.0					8	8
	P+B6					1.0	1.0					8	8
Solanum dulcamara	P-B3					1.0 ± 0.0	3.1 ± 2.4					33	75
	P-B6						9.5 ± 10.1					8	83
	P+B3					2.0	3.0 ± 4.4					8	50
	P+B6						4.6 ± 7.2					8	58

plots  
 zw art = niet geplagd  
 blauw = geplagd

### Carex elongata; bedekking (%)

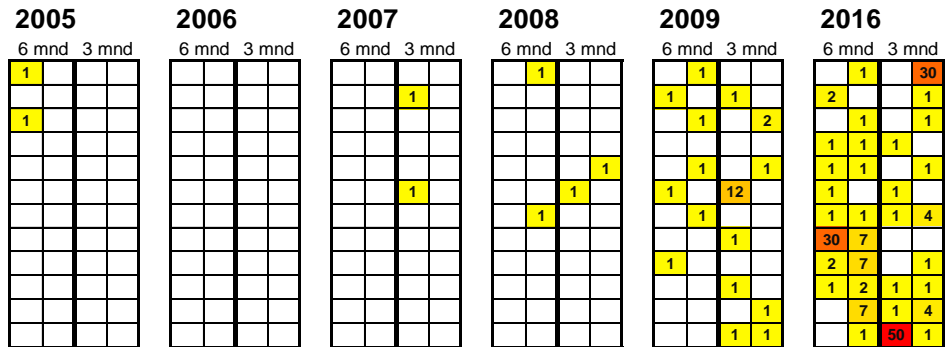
6 mnd		3 mnd	
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1



plots  
 zw art = niet geplagd  
 blauw = geplagd

### Galium palustre; bedekking (%)

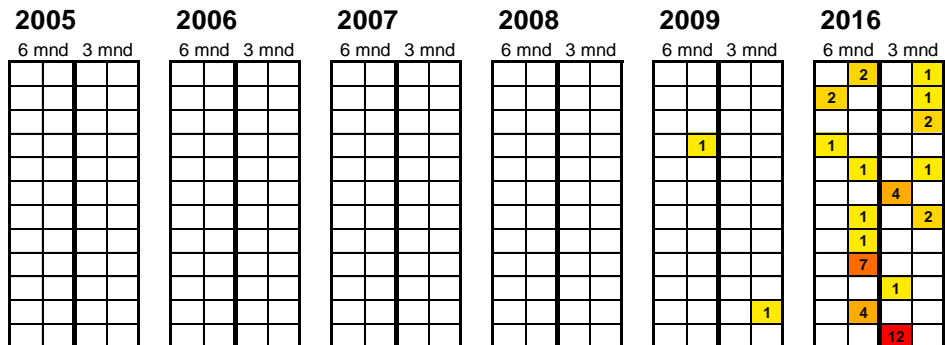
6 mnd		3 mnd	
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1



plots  
 zw art = niet geplagd  
 blauw = geplagd

### Scutellaria galericulata; bedekking (%)

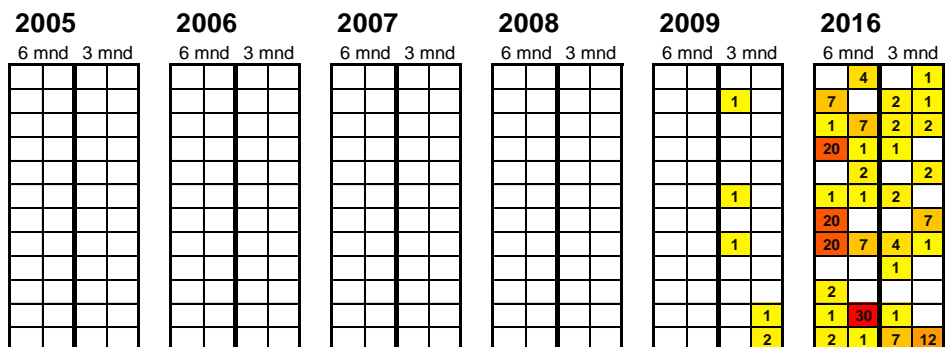
6 mnd		3 mnd	
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1



plots  
 zw art = niet geplagd  
 blauw = geplagd

### Solanum dulcamara; bedekking (%)

6 mnd		3 mnd	
R4	R3	R2	R1
48	36	24	12
47	35	23	11
46	34	22	10
45	33	21	9
44	32	20	8
43	31	19	7
42	30	18	6
41	29	17	5
40	28	16	4
39	27	15	3
38	26	14	2
37	25	13	1

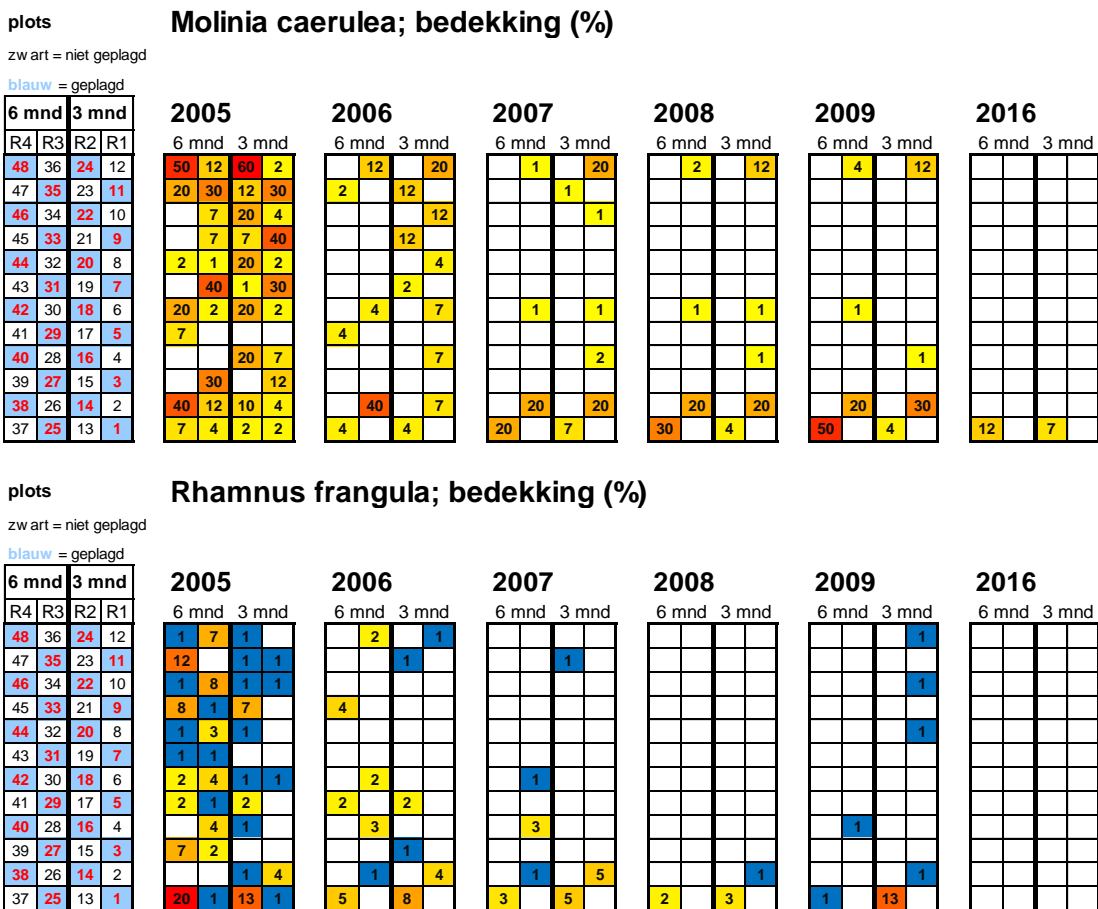


**Figuur 4-14: Het ruimtelijke patroon en ontwikkeling van de bedekking van enkele soorten van het eizenbroek.**

*Figuur 4-14: Development of the spatial pattern of the cover of some plant species of alder carr.*

## Soorten van droge tot vochtige bossen (Tabel 4-8; Figuur 4-15)

De meeste van deze soorten waren in de nulsituatie goed vertegenwoordigd en bestonden voor een deel uit zuurminnende soorten. Deze soorten verdwenen meteen uit de geplagde plots en gingen ook in de niet-geplagde plots achteruit na het starten van de vernatting en bevloeiing. Soorten als *Deschampsia flexuosa*, *Fagus sylvatica*, *Hedera helix*, *Lonicera periclymen*, *Picea abies*, *Prunus serotina*, *Quercus robur* en *Sorbus aucuparia* verdwenen snel. *Rhamnus frangula* verdween door langzaam afsterven pas tussen 2009 en 2016 definitief. *Dryopteris dilatata+carthusiana* die algemeen was in de nulsituatie, ging sterk achteruit, maar handhaafde zich wel in een klein deel van de niet-geplagde plots. *Molinia caerulea* ging eerst achteruit in presentie door langdurige inundatie, had in 2009 tijdelijk een hogere bedekking na verlaging van de zomerwaterstand en in 2016 weer een lagere bedekking. De mossorten *Brachythecium rutabulum* en *Polytrichum formosum* verdwenen snel na start van de bevloeiing, maar keerden in 2009 terug in de niet-geplagde plots nadat de zomerwaterstand was verlaagd. *Brachythecium rutabulum* keerde weer terug in alle behandelcombinaties en was in 2016 ook weer aanwezig in de geplagde plots en dan vooral op dode takken en stammen die in de plots waren gevallen.



**Figuur 4-15: Het ruimtelijke patroon en ontwikkeling van de bedekking van enkele soorten van droge tot vochtige bossen.**

Figuur 4-15: Development of the spatial pattern of the cover of some plant species of dry to moist forest.

**Tabel 4-8: Ontwikkeling van frequentie en bedekking van plantensoorten van droge tot vochtige bossen per combinatie van bevoeiingsduur en niet/ wel plaggen. Elke combinatie heeft 12 plots waarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie worden gegeven. Betekenis codes behandelingen: bodembehandeling: P- = niet plaggen, P+ = plaggen; bevoeiingsduur: B3 = 3 maanden, B6 = 6 maanden.**

Tabel 4-8: Development of frequency and cover of plant species of dry to moist forest for each combination of flooding duration and soil treatment. Average values with SD are given. Codes: P- = no sod cutting, P+ = sod cutting; B3 = 3 months flooding, B6 = 6 months flooding.

Plantensoort	Behandeling	gemiddelde bedekking ± sd (%)						frequentie (%)					
		2005	2006	2007	2008	2009	2016	2005	2006	2007	2008	2009	2016
Deschampsia flexuosa	P-B3	1.0	1.0					8	8				
	P-B6												
	P+B3	1.0						8					
	P+B6												
Dryopteris dilatata+carthusiana	P-B3	9.3 ± 10.3	7.1 ± 6.6	1.0	1.0	1.0	13.0	92	100	8	8	8	8
	P-B6	9.4 ± 7.2	5.2 ± 10.1	1.0 ± 0.0	1.0	2.0		92	75	17	8	8	8
	P+B3	5.5 ± 5.4						92					
	P+B6	11 ± 9						92					
Fagus sylvatica kl	P-B3		1.0						8				
	P-B6												
	P+B3	1.0 ± 0.0						25					
	P+B6	1.0						8					
Hedera helix	P-B3	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0					25	42				
	P-B6	1.0 ± 0.0						17					
	P+B3	1.0 ± 0.0						25					
	P+B6												
Ilex aquifolium	P-B3	1.0						8					
	P-B6												
	P+B3												
	P+B6												
Lonicera periclymenum	P-B3	1.5 ± 0.7	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0				17	17	17			
	P-B6	1.0						8					
	P+B3	1.0 ± 0.0						25					
	P+B6												
Molinia caerulea	P-B3	4.3 ± 3.4	8.7 ± 5.4	7.4 ± 8.8	7.6 ± 8.3	12 ± 13	7.0	83	83	58	42	33	8
	P-B6	8.5 ± 6.1	11 ± 15	11 ± 11	13 ± 14	19 ± 22	12.0	67	50	33	33	33	8
	P+B3	24 ± 16						92					
	P+B6	25 ± 17						75					
Picea abies kl	P-B3	1.0	1.0 ± 0.0	1.0				8	17	8			
	P-B6		1.0						8				
	P+B3	1.0 ± 0.0						25					
	P+B6	1.0						8					
Prunus serotina kl	P-B3	1.5 ± 0.7	1.0 ± 0.0					17	17				
	P-B6	1.0						8					
	P+B3	1.0 ± 0.0						25					
	P+B6	1.0 ± 0.0						17					
Prunus serotina sl	P-B3												
	P-B6	2.5 ± 2.1	2.0					17	8				
	P+B3												
	P+B6												
Pteridium aquilinum	P-B3												8
	P-B6												
	P+B3												
	P+B6												
Quercus robur kl	P-B3	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0				50	50	25	8		
	P-B6	1.0	1.0 ± 0.0	1.0	1.0			8	17	8	8		
	P+B3	1.0 ± 0.0						42					
	P+B6	1.0						8					
Rhamnus frangula	P-B3	4.1 ± 4.5	2.8 ± 2.8	3.7 ± 2.3	2.0 ± 1.4	3.4 ± 5.4		58	50	25	17	42	
	P-B6	6.9 ± 5.4	2.7 ± 1.4	2.0 ± 1.2	2.0	1.0 ± 0.0		92	58	33	8	17	
	P+B3	1.0 ± 0.0						67					
	P+B6	1.2 ± 0.4						75					
Rubus fruticosus ag.	P-B3	2.1 ± 2.1	1.1 ± 0.3	1.0 ± 0.0	1.0	1.0	2.0	75	75	33	8	8	8
	P-B6	1.4 ± 0.5	1.1 ± 0.4	1.0 ± 0.0	1.0	1.0		92	58	25	8	8	8
	P+B3	1.8 ± 1.9						83					
	P+B6	2.9 ± 2.8						75					
Sorbus aucuparia	P-B3	1.0	1.0 ± 0.0					8	17				
	P-B6												
	P+B3	3.3 ± 4.5						33					
	P+B6	1.0						8					
Vaccinium myrtillus	P-B3	1.0 ± 0.0	1.0	1.0	1.0		1.0	17	8	8	8		8
	P-B6	1.0	1.0					8	8				
	P+B3												
	P+B6	1.0						8					
Brachythecium rutabulum	P-B3	2.5 ± 3.0	1.0 ± 0.0			1.8 ± 1.5	1.4 ± 1.0	33	33			33	75
	P-B6	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0			4.3 ± 7.7	1.8 ± 1.9	42	42			50	83
	P+B3	2.0					1.3 ± 0.5	8				67	25
	P+B6						1.0 ± 0.0						
Polytrichum formosum	P-B3	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0			1.0		17	17			8	
	P-B6	2.8 ± 2.9	1.8 ± 1.5			1.0	1.0	33	33			8	8
	P+B3	2.0 ± 0.0						33					
	P+B6	17 ± 10						50					

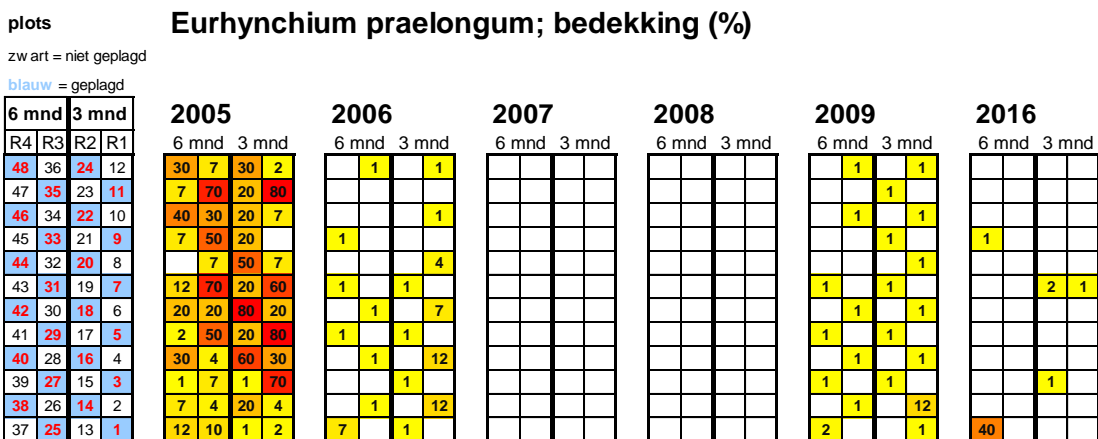
**Soorten van vochtige en/of natte bossen (Tabel 4-9)**

*Athyrium filix-femina*, *Prunus padus* en *Mnium hornum* verdwenen snel na start van de bevoeiing. In niet-geplagde plots nam de bedekking van *Salix aurita* af. *Eurhynchium praelongum* was in de nulsituatie een algemene mossoort met deels ook een vrij hoge bedekking. Deze soort nam snel af na start van het experiment en in de geplagde plots al na 2005. In 2009 keerde de soort weer terug in vooral de niet-geplagde plots (Figuur 4-16). *Carex remota* kwam de hele periode sporadisch voor en was aan het eind toegenomen in presentie. Ze kwam daarbij voor in de zuidelijk gelegen, relatief droge, niet geplagde plots.

**Tabel 4-9: Ontwikkeling van frequentie en bedekking van plantensoorten van vochtige en/of natte bossen per combinatie van bevoeiingsduur en niet/ wel plaggen. Elke combinatie heeft 12 plots waarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie worden gegeven. Betekenis codes behandelingen: P- = niet plaggen, P+ = plaggen; bevoeiingsduur: B3 = 3 maanden, B6 = 6 maanden.**

Tabel 4-9: Development of frequency and cover of plant species of moist to wet forest for each combination of flooding duration and soil treatment. Average values with SD are given. Codes: P- = no sod cutting, P+ = sod cutting; B3 = 3 months flooding, B6 = 6 months flooding.

Plantensoort	Behandeling	gemiddelde bedekking ± sd (%)						frequentie (%)					
		2005	2006	2007	2008	2009	2016	2005	2006	2007	2008	2009	2016
Athyrium filix-femina	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6	1.0 2.0 4.0						8 8 8					
Carex remota	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6	1.0 4.0	1.0 7.0	1.0 7.0	2.0	1.0 2.0	4.0 ± 4.2 3.0 ± 3.5	8 8	8 8	8 8	8 8	8 8	17 25
Prunus padus kl	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6	1.0						8					
Salix aurita	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6	30	16 ± 20 7.0	7.0	1.0	20 1.0	30 1.0	8	17 8	8	8	8 8	8 8
Eurhynchium praelongum	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6	13 ± 10 9.4 ± 8.3 50 ± 28 35 ± 23	4.1 ± 4.6 1.8 ± 2.1			2.0 ± 3.3 1.1 ± 0.3 1.0	1.5 ± 0.7 21 ± 28 1.0	100 100 92 92	83 67			92 75 8	17 17 8
Mnium hornum	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6	2.2 ± 1.6 4.4 ± 6.1 1.5 ± 0.7 1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0 1.2 ± 0.4					42 75 17 25	67 42				



**Figuur 4-16: Het ruimtelijke patroon en ontwikkeling van de bedekking van Eurhynchium praelongum.**

Figuur 4-16: Development of the spatial pattern of the cover of Eurhynchium praelongum.

### Zuur berkenbroek (Tabel 4-10)

Veenmossoorten van berkenbroekbos kwamen sporadisch voor en dan alleen in de hooggelegen plots aan de zuidzijde van het onderzoeksperceel. *Sphagnum fimbriatum* verdween na 2005 en keerde tijdelijk terug in een niet-geplagd plot. *S. palustre* nam af in presentie en had een wisselend voorkomen.

**Tabel 4-10: Ontwikkeling van frequentie en bedekking van plantensoorten van wilgenbroek en zuur berkenbroek per combinatie van bevoeiingsduur en niet/ wel plaggen. Elke combinatie heeft 12 plots waarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie worden gegeven. Betekenis codes behandelingen: bodembehandeling: P- = niet plaggen, P+ = plaggen; bevoeiingsduur: B3 = 3 maanden, B6 = 6 maanden.**

Tabel 4-10: Development of frequency and cover of plant species of wet willow shrub and acidic, wet birch forest for each combination of flooding duration and soil treatment. Average values with SD are given. Codes: P- = no sod cutting, P+ = sod cutting; B3 = 3 months flooding, B6 = 6 months flooding.

Plantensoort	Behandeling	gemiddelde bedekking ± sd (%)						frequentie (%)						
		2005	2006	2007	2008	2009	2016	2005	2006	2007	2008	2009	2016	
Sphagnum fimbriatum	P-B3													
	P-B6													
	P+B3	1.0				4.0		8				8		
	P+B6	2.0						8						
Sphagnum palustre	P-B3	40	80			80		8	8			8		
	P-B6	3.0 ± 3.5	6.5 ± 7.8	12.0	12.0		4.0	25	17	8	8		8	
	P+B3	2.0						8						
	P+B6	60 ± 0	1.0	1.0		1.0		17	8	8		8		

### Voedselrijke watervegetatie (Tabel 4-11)

*Lemna minor* verscheen snel door de vernatting in 2006 en bereikte in 2007 na het eerste bevoeiingsseizoen een hoge presentie en bedekking (Figuur 4-17). In de niet-geplagde plots nam de bedekking sterk af vanaf 2008 toen de zomerwaterstand was verlaagd. In 2016 was de soort qua bedekking niet meer belangrijk. In de geplagde plots daalde bedekking pas sterk na 2009. *Callitriche platycarpa* kwam vanaf 2006 met een lage presentie voor. *Elodea nuttallii* was een nieuwkomer in 2016 en groeide in een geplagde plot met inundatie gedurende de zomer.

**Tabel 4-11: Ontwikkeling van frequentie en bedekking van plantensoorten van voedselrijke watervegetatie per combinatie van bevoeiingsduur en niet/ wel plaggen. Elke combinatie heeft 12 plots waarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie worden gegeven. Betekenis codes behandelingen: bodembehandeling: P- = niet plaggen, P+ = plaggen; bevoeiingsduur: B3 = 3 maanden, B6 = 6 maanden.**

Tabel 4-11: Development of frequency and cover of plant species of eutrophic aquatic vegetation for each combination of flooding duration and soil treatment. Average values with SD are given. Codes: P- = no sod cutting, P+ = sod cutting; B3 = 3 months flooding, B6 = 6 months flooding.

Plantensoort	Behandeling	gemiddelde bedekking ± sd (%)						frequentie (%)					
		2005	2006	2007	2008	2009	2016	2005	2006	2007	2008	2009	2016
Callitriche platycarpa	P-B3												
	P-B6		1.0	1.0 ± 0.0	2.3 ± 2.4	1.0 ± 0.0			8	25	58	50	
	P+B3		1.0	1.0 ± 0.0	1.0		1.0		8	17	8		8
	P+B6		2.0						8				
Elodea nuttallii	P-B3												
	P-B6												
	P+B3												
	P+B6		1.0 ± 0.0			3.3 ± 2.9	1.3 ± 0.5		25			33	33
Lemna minor	P-B3		1.5 ± 1.2	71 ± 31	10 ± 9	3.8 ± 6.6	2.5 ± 2.1		50	83	92	67	17
	P-B6		24 ± 44	71 ± 36	19 ± 16	1.0 ± 0.0	2.0 ± 1.4		33	83	50	17	33
	P+B3		24 ± 44	71 ± 36	78 ± 27	68 ± 35	6.0 ± 8.1		50	100	100	100	50
	P+B6		24 ± 44	82 ± 27	90 ± 0	59 ± 35	14 ± 24		33	92	83	92	67



## Soorten van natte voedselrijke graslanden (Tabel 4-12)

*Juncus effusus* verdween snel uit de geplagde plots en geleidelijk uit niet-geplagde plots. Andere soorten van deze groep verschenen en waren aan het eind met een lage presentie aanwezig. *Cirsium palustre* was daarbij beperkt tot de niet-geplagde plots.

**Tabel 4-12: Ontwikkeling van frequentie en bedekking van plantensoorten van natte voedselrijke graslanden per combinatie van bevoeiingsduur en niet/ wel plaggen. Elke combinatie heeft 12 plots waarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie worden gegeven. Betekenis codes behandelingen: bodembehandeling: P- = niet plaggen, P+ = plaggen; bevoeiingsduur: B3 = 3 maanden, B6 = 6 maanden.**

Tabel 4-12: Development of frequency and cover of plant species of wet eutrophic grasslands for each combination of flooding duration and soil treatment. Average values with SD are given. Codes: P- = no sod cutting, P+ = sod cutting; B3 = 3 months flooding, B6 = 6 months flooding.

Plantensoort	Behandeling	gemiddelde bedekking ± sd (%)						frequentie (%)					
		2005	2006	2007	2008	2009	2016	2005	2006	2007	2008	2009	2016
Agrostis stolonifera	P-B3					1.0	1.3 ± 0.6					8	25
	P-B6		1.0				5.5 ± 2.1		8				17
	P+B3					1.0	1.0					8	8
	P+B6						1.0 ± 0.0						17
Cardamine pratensis	P-B3						1.0						8
	P-B6						1.0						8
	P+B3												8
	P+B6						1.0						8
Cirsium palustre	P-B3				1.0 ± 0.0	1.5 ± 0.6	1.0				17	33	8
	P-B6				1.0	1.0 ± 0.0					8	17	
	P+B3												
	P+B6												
Juncus effusus	P-B3	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0		1.0		17	17	8		8	
	P-B6	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0			17	17	17	17		
	P+B3	1.3 ± 0.6			1.0			25			8		
	P+B6	5.5 ± 6.4						17					
Poa trivialis	P-B3	1.0						8					
	P-B6												
	P+B3												
	P+B6					1.0						8	
Ranunculus repens	P-B3												
	P-B6						4.0						8
	P+B3												
	P+B6												



Foto: Bloeiende Slanke+Witte waterkers (*Rorippa microphylla* + *R. nasturtium-aquaticum*).

Photo: Flowering *Rorippa microphylla* + *R. nasturtium-aquaticum*.

## Voedselrijke moerassen en voedselrijke natte pioniervegetatie (Tabel 4-13)

Een algemene trend van deze soortgroep was het verschijnen van diverse soorten en dan vooral in de niet-geplagde plots. *Lycopus europaeus* bereikte daarbij aan het eind van de monitoringperiode een matig hoge presentie in de niet-geplagde plots en de hoogste bedekking bij 6 maanden bevoeien. *Phragmites australis* was in de nulsituatie al frequent met een lage bedekking aanwezig. De netto trend voor de vier behandelcombinaties was een toename van de presentie en bedekking (Figuur 4-18). In de niet-geplagde plots met 3 maanden bevoeien stegen de presentie en bedekking het snelst en sterkst. De toename van Riet vond vooral plaats in het noordelijke, lagere deel van het onderzoeksperceel. Dit deel is ook het dichtst gelegen bij de instroompunten van het bevoeiingswater. Hier droeg de toename van Riet ook sterk bij aan de bedekking van de kruidlaag. *Rorippa microphylla* + *R. nasturtium-aquaticum* verscheen in 2008 in de niet-geplagde plots en een jaar later in de geplagde plots. In de niet-geplagde plots met 6 maanden bevoeiing had de soort tijdelijk een hoge presentie en bedekking.

**Tabel 4-13: Ontwikkeling van frequentie en bedekking van plantensoorten van voedselrijke moerassen en voedselrijke natte pioniervegetatie per combinatie van bevoeiingsduur en niet/ wel plaggen. Elke combinatie heeft 12 plots waarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie worden gegeven. Betekenis codes behandelingen: bodembehandeling: P- = niet plaggen, P+ = plaggen; bevoeiingsduur: B3 = 3 maanden, B6 = 6 maanden.**

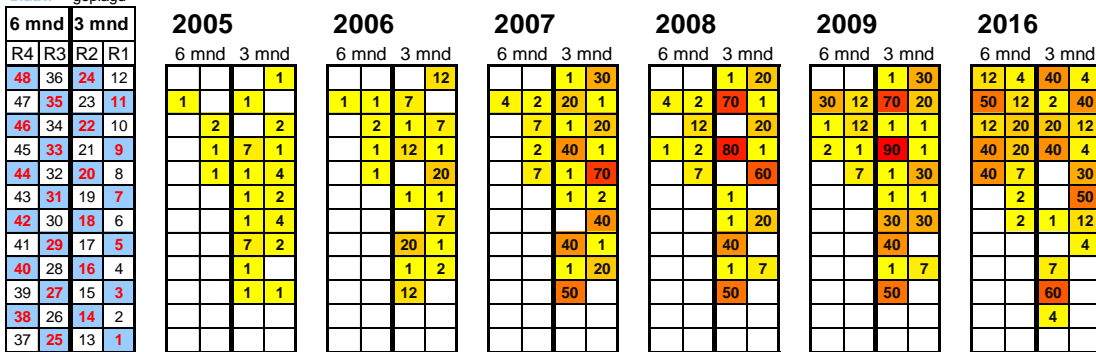
Tabel 4-13: Development of frequency and cover of plant species of eutrophic fens for each combination of flooding duration and soil treatment. Average values with SD are given. Codes: P- = no sod cutting, P+ = sod cutting; B3 = 3 months flooding, B6 = 6 months flooding.

Plantensoort	Behandeling	gemiddelde bedekking ± sd (%)						frequentie (%)					
		2005	2006	2007	2008	2009	2016	2005	2006	2007	2008	2009	2016
Berula erecta	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6				1.0	30	9.5 ± 3.5				8	8	17
Bidens tripartita	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6				1.0 1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0 1.0 ± 0.0				8 25	42 17		
Eupatorium cannabinum	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6		1.0			1.0 ± 0.0			8			17	
Glyceria fluitans	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6		1.0	1.0			1.0		8	8			8
Lycopus europaeus	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6			1.0 1.0 ± 0.0	1.0 4.7 ± 6.4	1.0 ± 0.0 12.0 ± 14.9	2.7 ± 2.2 9.0 ± 7.2			8 33	8 25	75 67 8 8	75 42 8 8
Lythrum salicaria	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6		1.0	1.0 ± 0.0 1.0	1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0 1.0	2.0 2.0		8	17 8	17	17 8	8 8
Myosotis scorpioides	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6					1.0 ± 0.0 1.0	1.0 ± 0.0					17 8	17
Persicaria hydropiper	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6				1.0	1.0 1.0	1.0				8	8 8	8
Phalaris arundinacea	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6					1.0 ± 0.0	31 ± 42					17	17
Phragmites australis	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6	3.1 ± 2.5 1.3 ± 0.6 1.3 ± 0.5 1.0	10 ± 7 1.3 ± 0.6 1.0 ± 0.0 1.0 ± 0.0	33 ± 19 6.0 ± 1.7 1.1 ± 0.4 2.0 ± 0.0	37 ± 27 6.0 ± 4.7 1.0 ± 0.0 2.0 ± 0.0	35 ± 29 13 ± 12 7.0 ± 11.4 4.7 ± 6.4	23 ± 21 21 ± 20 19 ± 19 16 ± 13	75 25 58 8	83 25 42 17	83 25 67 17	83 33 42 17	83 33 67 25	58 50 75 50
Rorippa microphylla + R. nasturtium-aquaticum	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6				3.3 ± 1.5 17 ± 27	3.6 ± 2.5 56 ± 24	3.3 ± 3.2 4.0				33 67	67 92	25 8
Calliergonella cuspidata	P-B3 P-B6 P+B3 P+B6	1.0 ± 0.0 1.0 ± 0.0				15.5 ± 20.5	1.0 1.0 ± 0.0	17 25				17	8 42

plots **Phragmites australis; bedekking (%)**

zw art = niet geplagd

blauw = geplagd



**Figuur 4-18: Het ruimtelijke patroon en ontwikkeling van de bedekking van Phragmites australis.**

Figuur 4-18 : Development of the spatial pattern of the cover of Phragmites australis.



Foto: Lokale, sterke afname van Riet (Phragmites australis) in de niet-geplagde plot 17. Links situatie in 2009 en rechts in 2016.

Photo: Local strong decrease of Phragmites australis in the non-sod cut plot 17. Left situation in 2009 and right in 2016.



Foto: Lokale, sterke toename van Riet (*Phragmites australis*) in de niet-geplagde plot 47. Links situatie in 2009 en rechts in 2016. In 2009 had Elzenzegge (*Carex elongata*) een relatief hoge bedekking en Slanke+Witte waterkers (*Rorippa microphylla* + *R. nasturtium-aquaticum*) een hoge bedekking. In 2016 is ook *Solanum dulcamare* (Bitterzoet) verschenen.

Photo: Local strong increase of *Phragmites australis* in non-sod cut plot 47. Left: situation in 2009 and right situation in 2016. In 2009 *Carex elongata* had a relatively high cover and *Rorippa microphylla* + *R. nasturtium-aquaticum* a high cover. In 2016 *Solanum dulcamare* appeared.

**Soorten van zure kleine zeggenvegetatie en vochtige tot natte zure bossen (Tabel 4-14)**

Van deze groep hebben de meeste soorten een voorkeur voor relatief basenarme, en nutriëntarme omstandigheden. *Agrostis canina*, *Carex curta* en *C. nigra* hadden een (zeer) lage presentie en deels wisselend voorkomen. *Hydrocotyle vulgaris* en *Ranunculus flammula* verschenen in 2008-2009 en namen daarna weer af in presentie. *Juncus bulbosus* verscheen ook en had tijdelijk een matig hoge bedekking in enkele geplagde plots bij 6 maanden bevoeieren. Deze soort kiemde ook regelmatig uit zaad. *Sphagnum flexuosum* verdween direct.

**Tabel 4-14: Ontwikkeling van frequentie en bedekking van plantensoorten van zure kleine zeggenvegetatie en vochtige tot natte zure bossen per combinatie van bevoeiingsduur en niet/ wel plagen. Elke combinatie heeft 12 plots waarvan de gemiddelde waarde en standaarddeviatie worden gegeven. Betekenis codes behandelingen: bodembehandeling: P- = niet plagen, P+ = plagen; bevoeiingsduur: B3 = 3 maanden, B6 = 6 maanden.**

Tabel 4-14: Development of frequency and cover of plant species of acidic small sedge vegetation for each combination of flooding duration and soil treatment. Average values with SD are given. Codes: P- = no sod cutting, P+ = sod cutting; B3 = 3 months flooding, B6 = 6 months flooding.

Plantensoort	Behandeling	gemiddelde bedekking ± sd (%)						frequentie (%)					
		2005	2006	2007	2008	2009	2016	2005	2006	2007	2008	2009	2016
Agrostis canina	P-B3	1.0	1.0 ± 0.0	1.0	1.0	12.0	4.0	8	17	8	8	8	8
	P-B6	1.0	2.0	1.0	20	60	1.0	8	8	8	8	8	8
	P+B3	20					12.0	8					8
	P+B6	5.5 ± 6.4	1.0	1.0				17	8	8			
Carex curta	P-B3		1.0						8				
	P-B6												
	P+B3												
	P+B6												
Carex nigra	P-B3					2.0	4.0					8	8
	P-B6		1.0	1.0		1.0	1.0		8	8		8	8
	P+B3												
	P+B6	1.0					1.0	8					8
Hydrocotyle vulgaris	P-B3			1.0	1.0					8	8		
	P-B6					2.0	1.0					8	8
	P+B3					3.0 ± 1.4	1.0					17	8
	P+B6					4.0 ± 0.0						17	
Juncus bulbosus	P-B3				1.0	1.0						8	8
	P-B6												
	P+B3												
	P+B6		1.0	7.0	40.0 ± 28.3	55.0 ± 49.5	1.0		8	8	17	17	8
Ranunculus flammula	P-B3					1.0						8	25
	P-B6				1.0	1.0 ± 0.0					8	17	
	P+B3			1.0		1.0 ± 0.0				8		25	
	P+B6				1.0 ± 0.0	1.0 ± 0.0	1.0				17	25	8
Sphagnum flexuosum	P-B3	30.0											
	P-B6												
	P+B3							8					
	P+B6												



*Foto: Egelboterbloem (Ranunculus flammula) tijdens een bevoeiingsperiode.*

*Photo: Ranunculus flammula during a flooding period.*

# 5 Discussie en conclusies

## 5.1 Herstel zuurgraad en basenchemie

*Vraag: Hoe herstellen de zuurgraad en zuurbuftercapaciteit op de langere termijn bij bevoeiing en hoe worden deze beïnvloed door de bevoeiingsduur?*

Voor dit onderzoek is nader gekeken naar de effecten van 3 en 6 maanden bevoeien in de winter over een monitoringsperiode van 2005 t/m 2016. De bevoeiing vond plaats in een sterk verdroogd elzenbroek waarvan de bodem sterk was verzuurd en waar op het oude sterk organische bodemprofiel een vrij dikke, slecht verteerde strooisellaag was opgebouwd. In de niet geplagde delen traden de volgende ontwikkelingen op.

Het bevoeien met voorgezuiverd beekwater heeft bij beide bevoeiingsduren geleid tot een sterke stijging van de pH en basenverzadiging van de bodemtoplaag. De stijging was in de strooisellaag sterker dan in de onderliggende humushoudende minerale laag. Hierdoor vlakke de oorspronkelijke, sterke verticale gelaagdheid voor pH en basenverzadiging (bovenin laag en dieper hoger) sterk af. Langer bevoeien leidde tot een sterkere stijging van de pH en basenverzadiging van de bodemtoplaag. In de strooisellaag werd bij langer bevoeien een hoge basenverzadiging bereikt en bij korter bevoeien een matige basenverzadiging. De topplaat van het minerale profiel onder de strooisellaag heeft een matig hoge basenverzadiging bereikt. Omdat het inziigende bevoeiingswater eerst de strooisellaag passeert, is de basenaanrijking in deze laag sterker dan de onderliggende bodemlaag. Bij beide bevoeiingsduren worden pH-condities bereikt in de range van het *Gewoon elzenbroek*. Goed ontwikkelde vormen van het *Gewoon elzenbroek* hebben in de topplaat (0-5 cm) een bodemzuurgraad van pH-KCl 3.5-6.0 en pH-H<sub>2</sub>O 4.5-6.5 (Stordelder et al., 1998). De pH-KCl en pH-H<sub>2</sub>O van de bodemtopplaat bevonden zich in 2016 in de bovenste helft van deze ranges.

De ruimtelijke patronen van pH, basenverzadiging en basenvoorraad laten zien dat de sterkste stijging dicht bij de instroompunten van de bevoeiing plaatsvond. Locaties die verder verwijderd zijn van de instroompunten waren minder sterk verbeterd in basenrijkdom. De mate waarin basenrijk bevoeiingswater over de bodem stroomt, is dus een belangrijke factor voor de verrijking van de bodemtopplaat met basische kationen.

De analyse van de balans van uitwisselbaar calcium en magnesium laat zien dat er grote verschillen zijn tussen beide bevoeiingscompartimenten. De netto toename van de basenvoorraad in de bodemtopplaat trad wel op in het compartiment met 6 maanden bevoeien, maar niet met 3 maanden bevoeien. Daarom is alleen bij 6 maanden bevoeien de zuurbuftercapaciteit van de bodem toegenomen. Naast een grotere aanvoer van basen bij 6 maanden bevoeien, werden deze verschillen bepaald door de dynamiek van de organische stofvoorraad. In het compartiment met 3 maanden bevoeien vond in de strooisellaag eerst (2005-2009) een sterke afbraak plaats die gepaard ging met een verlies van basen. Door afbraak van organische stof ging adsorptiecapaciteit voor uitwisselbare kationen verloren en zodoende was de strooisellaag aanvankelijk niet in staat om een grotere basenvoorraad op te bouwen. Pas later (2009-2016) trad hier gelijktijdig opbouw van organische stof en basenvoorraad op. In het compartiment met 6 maanden bevoeien trad in de strooisellaag geen afbraak op, maar juist sterke opbouw, terwijl tegelijk basen rijkkelijk met het vloeiwater werden aangevoerd. Waarom beide compartimenten zo sterk verschilden in de dynamiek van organisch stof dynamiek van de strooisellaag is onduidelijk. De dynamiek van de strooisellaag werd beïnvloed door de anaerobe afbraak van weinig verteerd bladstrooisel dat in de verzuurde nulsituatie aanwezig was en ook door de sterke input van dood hout als gevolg van verminderde vitaliteit van de elzenopstand en het afsterven van berken en struiken. De onzekerheid in de reactie van verzuurde strooisellagen op bevoeiing met basenrijk oppervlaktewater maakt het lastig om te voorspellen in hoeverre bevoeiing leidt tot een grotere basenvoorraad in strooisellagen die onder droge en zure omstandigheden zijn ontstaan.

In de onderliggende minerale toplaag trad bij beide bevoeiingsduren geen significante veranderingen op in de organische stofvoorraad. Hier was een langere bevoeiingsduur doorslaggevend voor een toename van de basenvoorraad (wel bij 6 en niet bij 3 maanden bevoeiing een significante toename). De relatieve toename van de gemiddelde basenvoorraad bedroeg bij 6 maanden bevoeien ca. een factor 2 en bij 3 maanden ca. een factor 1,5. Langere bevoeiingsduren bieden dus meer zekerheid voor opbouw van zuurbuffercapaciteit in de minerale bodemtoplaag.

Er kon een duidelijke relatie tussen de bodem-pH en de ratio van  $\text{Ca}_{\text{exch}} + \text{Mg}_{\text{exch}}$  met organische stof ( $(\text{Ca}_{\text{exch}} + \text{Mg}_{\text{exch}})/\text{SOM}$ ) worden vastgesteld. Deze ratio is een bruikbare proxi-variabele voor de basenverzadiging. Bij een hogere basenverzadiging is de pH hoger en in de hogere range van de basenverzadiging vakt de pH stijging af. Bij de aanrijking van de bodem met Ca en Mg trad een gelijktijdige stijging van de pH en basenverzadiging op. Opvallend is dat in de latere jaren bij dezelfde waarde van  $(\text{Ca}_{\text{exch}} + \text{Mg}_{\text{exch}})/\text{SOM}$  een hogere bodem pH werd gemeten dan in 2005. Deze verschuiving in de basenverzadiging-pH relatie werd veroorzaakt door interne alkalinisatie van de bodem. Uit de chemische analyses van porievocht uit de bodemtoplaag (periode 2005-2009; zie Aggenbach 2011) blijkt dat door de vernatting en door de aanvoer van sulfaathoudend oppervlaktewater in de sterk organische bodemtoplaag interne alkalinisatie ging optreden. Door anaerobe afbraak van organische stof werd  $\text{HCO}_3^-$  geproduceerd en dit verhoogde de pH snel. In de verdroogde situatie van 2005 was er juist nog geen sprake van sterke anaerobe afbraak. De anaerobe afbraak droeg ook bij aan een gunstig uitwisselingsevenwicht voor adsorptie van  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$  omdat de gevormde  $\text{HCO}_3^-$  de gedesorbeerde  $\text{H}^+$  neutraliseert. Daarmee draagt anaerobe afbraak van de organische stof bij aan een hoge bodem pH en effectieve adsorptie van de aangevoerde basische kationen.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat vernatten en bevoeien met basenrijk oppervlaktewater gedurende winter van verdroogde en sterk verzuurde bodems van elzenbroekbos zorgde voor herstel van relatief basenrijke condities en waarmee de pH-basen condities die horen bij het Gewoon elzenbroek werden gerealiseerd. Een langere bevoeiingsduur zorgt daarbij voor een sneller herstel van de basenrijkdom.

## 5.2 Beschikbaarheid nutriënten

*Vraag: Hoe ontwikkelt de P voorraad in de bodem en de beschikbaarheid van anorganisch N en P zich op de langere termijn bij bevoeiing en hoe wordt dat beïnvloed door de bevoeiingsduur?*

### Fosfaathuishouding

Uit het bodemchemische onderzoek van de periode 2005-2009 blijkt dat een belangrijk deel van de fosfaatvoorraad in de bodemtoplaag in het bevoeiingsexperiment uit geadsorbeerd fosfaat aan ijzer- en aluminiumhydroxiden bestaat (Aggenbach et al. 2011). Om deze reden heeft de vervolgmonitoring in 2016 zich gericht op de met ammoniumoxalaat extraheerbare fracties van P, Fe en Al (resp.  $\text{P}_{\text{oxa}}$ ,  $\text{Fe}_{\text{oxa}}$ ,  $\text{Al}_{\text{oxa}}$ ) en de daaruit afgeleide fosfaatverzadigingsindex ( $\text{PSI} = (\text{P}_{\text{oxa}}/(\text{Fe}_{\text{oxa}} + \text{Al}_{\text{oxa}}))$ ). In de strooisellaag en 0-5 cm laag nam het  $\text{P}_{\text{oxa}}$ -gehalte af. Het  $\text{Fe}_{\text{oxa}}$ -gehalte nam netto in de strooisellaag sterk toe en in de minerale laag juist af. Gezamenlijk resulteerden de veranderingen in de oxalaat extraheerbare gehalten van P, Fe en Al in een duidelijke verlaging van de PSI in de strooisellaag en een verlaging van de PSI in de onderliggende minerale laag. Daarbij worden in 2016 lage PSI-waarden bereikt in de range van 0.04-0.09 (mol/mol). Hieraan liggen veranderingen in voorraden ten grondslag. Opvallend is dat in de strooisellaag tussen 2005 en 2016 geen netto verandering van de  $\text{P}_{\text{oxa}}$ -voorraad optrad, maar wel een sterke toename van de  $\text{Fe}_{\text{oxa}}$  voorraad en deels ook  $\text{Al}_{\text{oxa}}$  voorraad. Dit resulteerde in een sterke afname van de PSI. In de onderliggende minerale laag trad wel een afname op van de  $\text{P}_{\text{oxa}}$ -voorraad en namen de  $\text{Fe}_{\text{oxa}}$  en deels ook de  $\text{Al}_{\text{oxa}}$  voorraad ook af. Dit resulteerde in een minder sterke afname van de PSI. In de strooisellaag speelt dus een netto afname van geadsorbeerd fosfaat voorraad geen rol en in de toplaag van het minerale profiel wel.

De  $\text{Fe}_{\text{oxa}}$ -voorraad van de strooisellaag nam het sterkst toe in beide compartimenten dicht bij de instroompunten. Dit duidt op aanvoer van ijzerhoudend slib via het bevoeiingswater (zie ook Aggenbach et al. 2011). De verandering van de  $\text{Al}_{\text{oxa}}$ -voorraad vertoonde niet zo'n patroon (de toename had een min of meer egaal ruimtelijk patroon). Met de aanvoer van ijzerhoudend slib zal ook geadsorbeerd fosfaat worden aangevoerd. Mogelijk trad er in de strooisellaag door bevoeiing wel uitloging van gedesorbeerd fosfaat op naar het

oppervlaktewater (dit blijkt uit een afname van het  $P_{\text{oxa}}$ -gehalte), maar werd een afname van de  $P_{\text{oxa}}$ -voorraad tegelijk tegengewerkt door aanvoer van slib waaraan fosfaat is geadsorbeerd. Daarnaast speelt voor de strooisellaag ook een permanente aanvoer van fosfaat door inval van blad en hout een rol. De inval van blad kan gedurende het experiment zijn afgenomen door het afsterven van struiken en berken en daarnaast ook een verminderde vitaliteit van de elzenopstand. Echter, dezelfde trends in de struik- en boomlaag hebben ook geleid tot een verhoogde aanvoer van dood hout naar de strooisellaag (dit viel op tijdens veldwerk tijdens in latere jaren). In de minerale laag overheerste de oplossing van hydroxiden en uitloging van geadsorbeerd fosfaat. De gehalten en voorraden van  $P_{\text{oxa}}$  en  $Fe_{\text{oxa}}$  namen hier duidelijk af. Het opgeloste ijzer en fosfaat zou daarbij (deels) ook vanuit de minerale ondergrond, waar  $P_{\text{oxa}}$  en  $Fe_{\text{oxa}}$  afnamen, naar de strooisellaag kunnen zijn getransporteerd. Dit transport zou kunnen zijn opgetreden door periodieke opwaartse stroming (kwel), maar ook door diffusie. Daarnaast kan de afvoer van fosfaat ook optreden door de opname door planten die in de minerale laag wortelen, of kan opgelost fosfaat omlaag zijn getransporteerd met het inzijgende bevoeiingswater. Uit analyse van herhaaldelijk gemeten stijghoogteverschillen in minifilters met verschillende filterdiepten bij de vier locaties voor grondwaterstandsmetingen (Figuur 2-1), blijkt dat op de locaties in het noordelijke deel (peilbuislocaties PB2 en PB4) vaak wegzijging optrad, maar periodiek ook kwel (data niet gepresenteerd). Bij de peilbuislocaties PB1 en PB3 in het noordelijke deel trad het meest frequent kwel op. Aanvoer van Fe en P van onderaf naar de strooisellaag zou dus meer kunnen zijn opgetreden in het zuidelijke deel dat dichter tegen een dekzandrug aanligt en verder verwijderd is van de drainerende door- en afvoersloot zuidelijk van het onderzoeksperceel. In het noordelijk deel was ook de afname van de voorraden en gehalten van  $P_{\text{oxa}}$  en  $Fe_{\text{oxa}}$  in de minerale laag op 0-5 cm diepte relatief hoog.

In de strooisellaag van het compartiment met 3 maanden bevoeien trad in eerste instantie een afname op en daarna een toename van de  $P_{\text{oxa}}$  voorraad. Deze veranderingen traden gelijktijdig met de trends van de organisch-stofvoorraad en ook met de latere toename van de  $Fe_{\text{oxa}}$ -voorraad. De  $P_{\text{oxa}}$  voorraad werd dus mogelijk ook sterk bepaald door de dynamiek van de organische stof in de strooisellaag. Bij de sterke afbraak in de periode 2005 en 2009 vond blijkbaar afvoer van geadsorbeerd fosfaat plaats. Mogelijk hing dit samen met het uiteenvallen van aggregaten van complexen van humus en ijzerhydroxiden. Daarnaast speelden in de periode 2009-2016 vermoedelijk aanvoer van fosfaat via ijzerrijk slib in het bevoeiingswater en opwaartse aanvoer vanuit de minerale ondergrond een rol (zie boven).

De lage PSI-waarden van de bodemtoplaag zitten in de range waarbij in droge bodems een geringe hoeveelheid van snel desorbeerbare fosfaat wordt gemeten en daarmee ook een geringe fosfaatbeschikbaarheid van planten. Het is echter zeer de vraag of de fosfaatbeschikbaarheid gedurende het experiment werkelijk laag was. Uit het hydrochemische onderzoek uitgevoerd in de periode 2005-2009 bleek dat de ortho-fosfaatconcentraties in het porievocht van de bodemtoplaag na de vernatting hoog waren geworden en ter plekke desorbeerde. Ook indiceerde extreem hoge P-ortho concentraties in stagnant oppervlaktewater (dus geïnundeerd maar geen aanvoer van bevoeiingswater) en massale groei van Klein kroos gedurende de eerst jaren van het experiment op sterke desorptie van fosfaat uit de bodem (Aggenbach 2011). Lage PSI-waarden in natte, anaerobe bodems zijn dus geen indicator voor een geringe fosfaatbeschikbaarheid.

Uit recent onderzoek in (voorheen) grondwatergevoede veenbodems blijkt dat boven een P-totaal gehalte van 3.3 mmol/L en boven een Fe-totaal-gehalte van 15 mmol/L, fosfaat niet meer limiterend is voor de kruidlaag (Emsens et al. 2017), zelfs als de ratio van Fe/P hoog is. In natte systemen is boven een bepaald niveau van de fosfaatvoorraad een lage Fe/P-ratio niet meer bepalend voor een geringe P-beschikbaarheid. In de strooisellaag daalden de  $P_{\text{oxa}}$ -gehalten gedurende het experiment onder de grenswaarde van 3.3 mmol/L en in de minerale laag daaronder zakten ze tot het niveau van ca. de grenswaarde. De  $Fe_{\text{oxa}}$ -gehalten van de strooisellaag stegen boven de grenswaarde van 15 mmol/L uit en in 0-5 cm laag daalde ze gedeeltelijk onder het niveau van deze grenswaarde. Deze vergelijking laat zien dat de bodemchemische toestand in de bodemtoplaag wat betreft fosfaatgehalte gunstig heeft ontwikkeld, maar wat betreft ijzergehalte van de strooisellaag ongunstig heeft ontwikkeld. De fosfaatbeschikbaarheid in de strooisellaag is na een aanvankelijke sterke beschikbaarheid in de beginperiode van de bevoeiing vermoedelijk verminderd, maar nalevering vanuit de minerale ondergrond kan nog een belangrijke rol spelen.

## Stikstofhuishouding

Voor het N-totaal gehalte werden geen significante trends gevonden. Daarbij moet worden opgemerkt dat deze variabele in de strooisellaag niet gemeten was in 2005 en in de 0-5 cm laag slechts op twee locaties in 2009 en 2016. Eventuele verschillen in gehalten konden daardoor lastig worden getraceerd. Gezien de grote veranderingen die optraden in de organisch-stofvoorraad van de strooisellaag is te verwachten dat de N-voorraad van deze laag ook sterke veranderingen heeft ondergaan. Gedurende het experiment vertoonde de C/N-ratio van de toplaag van het minerale profiel een zwakke toename. De oorzaak hiervan is onduidelijk en een afname van de ratio van het gewichtsverlies bij 350°C gloeien met het gewichtsverlies bij 550°C gloeien (lage waard is een indicator voor minder goede brandbaarheid) duidt op een toegenomen humificatiegraad door anaerobe afbraak. Bij een toename van de humificatiegraad zou eerder een afname van de C/N ratio worden verwacht.

De metingen uit 2016 geven aan dat minerale stikstof vooral in de vorm van ammonium voorkwam, wat samenhangt met de overwegend zeer natte, anaerobe omstandigheden. Het NH<sub>4</sub>-gehalte was in de strooisellaag duidelijk hoger dan die van de onderliggende minerale laag. De NH<sub>4</sub>-gehalten waren hoog in vergelijking tot die van natte, schrale vegetatietypen en in de minerale laag vergelijkbaar tot hoog (Aggenbach et al 2017). Het NO<sub>3</sub>-gehalte is meestal laag wegens de anaerobe omstandigheden in de natte, sterk organische bodem. Alleen in het meest droge deel van het perceel (één plot) was het gehalte hoog in de strooisellaag als gevolg van N-mineralisatie in de relatief droge strooisellaag. Door de overwegend hoge NH<sub>4</sub>-gehalten in de strooisellaag en deels ook minerale laag is de beschikbaarheid van minerale stikstof relatief goed. Deze hoge gehalten hangen samen met anaerobe afbraak van de organische stof.

## 5.3 Ontwikkeling vegetatie

*Vraag: Hoe ontwikkelt de vegetatie zich op de langere termijn bij bevloeiing en hoe wordt deze beïnvloed door de bevloeiingsduur en wel/ niet plaggen?*

### Ontwikkeling zonder plaggen

In de niet-geplagde plots trad vestiging van nieuwe plantensoorten op, waaronder ook kenmerkende soorten van het *Gewoon elzenbroek*, toen deze plots in de zomer droogvielen. De populatie van *Carex elongata* bestond in de nulsituatie vooral uit oude pollen. Tijdens het experiment nam de soort in niet-geplagde delen wel af in bedekking, maar nam ze in aantal toe door verjonging en nieuwe planten gingen ook bloeien en zaad zetten. De populatie van deze meest kenmerkende soort van het *Gewoon elzenbroek* is dus vitaler geworden. Recent hebben enkele andere kenmerkende soorten van het *elzenbroek* zich uitgebreid en verschenen soorten als *Scutellaria galericulata* en *Solanum dulcamara*. Een deel van de soorten bereikte in het bevloeiingscompartiment met 6 maanden bevloeiing een hogere presentie dan bij korter bevloeien. Ook had *Carex elongata* een hogere bedekking bij 6 maanden bevloeien. Het herstel van elzenbroeksoorten hangt samen met de vernatting en ook herstel van de basenrijkdom van de bodem. Het sterkere herstel van deze soorten in het compartiment met 6 maande bevloeien is gecorreleerd aan een relatief hoge pH en basenverzadiging van de bodemtoplaag. Diverse soorten namen ook pas sterker toe gedurende het experiment toen de waterstanden en daarmee inundatieduur in het groeiseizoen verlaagd werden. De aanwezigheid van een dikke strooisellaag die stamde uit de verdroogde periode, vormde daarbij geen belemmering.

Soorten van droge en vochtige bossen (deels zuurminnend) die in de verdroogde en verzuurde nulsituatie een groot aandeel hadden, zijn sterk achteruitgegaan en vele daarvan zijn verdwenen. Soorten met een optimum in vochtige bossen waaronder *Molinea caerulea* en *Eurhynchium praelongum* zijn ook sterk achteruitgegaan. Door langdurige inundatie tijdens het groeiseizoen in de eerste jaren van de bevloeiing en daarmee gepaard gaande eutrofiering van de waterlaag, was de eutrafente waterplant *Lemna minor* tijdelijk dominant. Door verbetering van de afwatering gedurende de zomer werd vanaf 2008 weer droogval in de zomer gerealiseerd en nam deze soort snel af. Soorten van voedselrijke moerassen zijn in bedekking toegenomen. Daarbij had *Rorippa microphylla* + *R. nasturtium-aquaticum* tijdelijk een hoge bedekking. In vooral de lagere delen van het perceel nam *Phragmites australis* geleidelijk toe in bedekking. Deze trend heeft zich tussen 2009 en 2016 wel voortgezet bij 3 maanden bevloeien, maar niet bij 6 maanden bevloeien. Dit verschil in ontwikkeling heeft geen relatie met verschillen in gemeten nutriëntengehalten in de bodemtoplaag. Riet had in 2016 geen zeer hoge bedekkingen. Zuurminnende soorten

van berkenbroek en zure kleine zeggenvegetatie komen sporadisch voor en dan vooral in het hogere terreindeel waar de invloed van het basenrijke bevoeiingswater relatief gering is.

De boomlaag is in bedekking en hoogte afgenomen door de bevoeiing. Veel van de struiken en Berken gingen dood en de Zwarte elzen verminderde in vitaliteit. Dit leidde tot betere lichtcondities voor de kruidlaag. De moslaag profiteerde hier niet van omdat deze sterk gedecimeerd werd door de langdurige bevoeiingen. In de latere jaren trad regelmatig door stormen windworp op van elzen, wilgenstruiken en afgestorven berken. Lokaal leidde dit tot meer beschaduwing van de kruidlaag, vooral op plekken waar elzenstaken naar de grond waren gebogen. De verslechterde vitaliteit van de boom- en struiklaag zorgde tevens voor een verhoogde input van dood hout naar de strooisellaag.

Samenvattend kan gesteld worden dat in de niet geplagde delen herstel van soorten van het *Gewoon elzenbroek* is gelukt. Een langere bevoeiingsduur bevordert de soorten van het *Gewoon elzenbroek* sterker dan korte. Een deel van begroeiing heeft zich ontwikkeld naar eutroof rietmoeras zonder dat Riet daar is gaan domineren. Deze laatste trend lijkt zich niet bij langdurige, maar wel bij relatief korte bevoeiing langzaam voort te zetten. Door verminderde vitaliteit van bomen en struiken is de vegetatiestructuur meer dynamisch geworden.



Foto: De effecten van sterke vernatting en windworp op de structuur van de vegetatie. Links: omgebogen stammen van Zwarte els. Rechts: afgebroken en omgevallen elzen. De verminderde vitaliteit van bomen zorgt ook voor veel inval van dood hout op de bodem.

Photo: The effects of strong rewetting and thrown down by storms on the vegetation structure. Left: bended trucks of alder. Right: broken trucks and down thrown alder.

### Ontwikkeling bij plaggen

In de geplagde plots ontwikkelden zich nauwelijks elzenbroek-soorten, in eerste instantie omdat hier langdurige inundatie in de zomer optrad. Dit leidde tot een tijdelijke dominantie van *Lemna minor*. Echter ook toen een deel van de geplagde plots in de zomer ging droogvallen en de bedekking van *Lemna minor* afnam, was de ontwikkeling van elzenbroeksoorten veel geringer dan in de niet geplagde delen. *Carex elongata* kwam in geplagde plots in 2016 niet meer voor. Wel hebben *Galium palustre*, *Iris pseudacorus* en *Solonum dulcamare* een matig hoge presentie bereikt en later nam *Phragmites australis* langzaam toe. De matige ontwikkeling van elzenbroeksoorten wordt in belangrijke mate veroorzaakt door langdurige inundatie in het groeiseizoen. De maaiveldverlaging als gevolg van het plaggen maakt voor de zomerperiode net het verschil tussen langdurige inundatie van geplagde plots en geen of nauwelijks inundatie van niet geplagde delen. Door een stijging van de zomergrondwaterstanden tussen 2009 en 2016 is na de aanvankelijk lagere

zomerstanden gedurende 2008 en 2009, het waterstandsregime voor terrestrische plantensoorten weer verslechterd. De spaarzame terugkeer van mossen in geplagde plots, lijkt daarmee in tegenspraak te zijn, maar dit werd voornamelijk veroorzaakt door het invallen van dood hout waarop mossen boven de zomerwaterstand zijn gaan groeien. Uit deze patronen blijkt dat een combinatie van hoge waterstanden boven maaiveld in de winter/ voorjaar én droogval in de zomer essentieel is voor herstel van soorten van het *Gewoon elzenbroek*.

Geconcludeerd kan worden dat de aanvullende maatregel plaggen weinig bijdroeg aan herstel van elzenbroekvegetatie. Gebrekkig herstel werd in belangrijke mate belemmerd door te lange inundatie in het groeiseizoen. Omdat herstel van elzenbroeksoorten wel goed optreedt zonder plaggen, is plaggen geen zinvolle, aanvullende maatregel bij herstel van verdroogde en verzuurde elzenbroek door middel van bevoeiing met baserijk oppervlaktewater. Essentieel is dat in de zomer droogval van de bodem optreedt.



*Foto: Gele lis is door de bevoeiing toegenomen en weer vitaal geworden.*

*Photo: Iris pseudacorus has increased by flooding and became vital.*

## 6 Literatuur

- Aggenbach, C.J.S. (2004). Herstel bevoeiing op landgoed Het Lankheet. Monitoringresultaten oktober 2002-april 2004. KWR 03.077 Kiwa Water Research, Nieuwegein.
- Aggenbach, C.J.S. (2011). Herstelexperiment voor elzenbroek door bevoeiing met oppervlaktewater in 't Lankheet. 2011/OBN148-BE, Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken Landbouw en Innovatie, Den Haag.
- Appelo C.A.J., Postma D. (2005). Geochemistry, groundwater and pollution. CRC Press, Amsterdam.
- Blume H-P, Brümmer GW, Horn R, Kandeler E, Kögel-Knaber I, Kretzschmar R, Stahr K, Wilke B-M (2010) Lehrbuch der Bodenkunde. Spectrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Emsens, J.-W., C.J.S. Aggenbach, A.J.P. Smolders, D. zak, R. van Diggelen (2017). Restoration of endangered plant communities: the ambiguity of iron-phosphorus binding and phosphorus limitation. *Journal of Applied Ecology*.
- Stortelder, A.H.F., P.W.F.M. Hommel & R.W. de Waal (1998). Broekbossen. KNNV Uitgeverij, Utrecht, 216 pp.
- Van Wesemael, B. (1992) Soil organic matter in mediterranean forests and its implications for nutrient cycling and weathering of acid, low-grade metamorphic rocks. In. University of Amsterdam. p 140

vereniging van  
bos- en natuurterreineigenaren



**Kennisnetwerk OBN wordt gecoördineerd door de VBNE en gefinancierd door  
het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en BIJ12**

Princenhof Park 9  
3972 NG Driebergen  
0343-745250

drs. W.A. (Wim) Wiersinga  
Adviseur Plein van de kennis/  
Programmaleider Kennisnetwerk OBN  
0343-745255 / 06-38825303  
w.wiersinga@vbne.nl

M. (Mark) Brunsveld MSc  
Programma-medewerker OBN  
0343-745256 / 06-31978590  
m.brunsveld@vbne.nl

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn



Ministerie van Landbouw,  
Natuur en Voedselkwaliteit

