

Praktijkproef heideontwikkeling op voormalige landbouwgrond in het Noordenveld



Resultaten 2011-2014

provincie **D**renthe



Weijters, M., Van der Bij, A.,
Bobbink, R., Van Diggelen, R.,
Harris, J., Pawlett, M., Frouz, J.,
Vliegenthart, A., Vermeulen, R.



Nationaal Park
Dwingelderveld



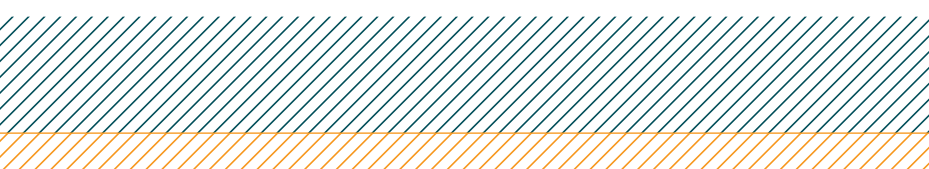
Praktijkproef heideontwikkeling op voormalige landbouwgrond in het Noorderenveld

Resultaten 2011-2014

Weijters, M., Van der Bij, A., Bobbink, R.,
Van Diggelen, R., Harris, J., Pawlett, M.,
Frouz, J., Vliegthart, A., Vermeulen, R.



Nationaal Park
Dwingelderveld



provincie Drenthe



ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn



Universiteit
Antwerpen

Cranfield
UNIVERSITY



Stichting Willem Beijerinck Biologisch Station



Het onderzoek en deze publicatie zijn tot stand gekomen met een financiële bijdrage door LIFE, het Europese financieringsinstrument voor de instandhouding van Natura-2000 gebieden.

Daarnaast is een financiële bijdrage ontvangen bij de uitvoering en begeleiding van deze proef vanuit het OBN, het kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de VBNE onder vermelding van code 2015/OBN Praktijkproef Dwingelderveld en het aantal exemplaren.

Adres: Princenhof Park 9, 3972 NG Driebergen

Telefoon: 0343-745256

E-mail: info@vbne.nl

Prepress: Docucentrum, Provincie Drenthe

Druk: Koninklijke van Gorcum, Assen.

Oplage: 400 ex.

Niets uit dit rapport mag worden gereproduceerd, opnieuw vastgelegd, vermenigvuldigd of uitgegeven door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische of elektromagnetische weg of op welke andere wijze dan ook zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

© B-WARE Research Centre, Nijmegen, 2015

ISBN: 978 90 712 4600 5

Inhoud

1.	Inleiding	12
1.1	Achtergrond	12
1.2	Heides: een grote variatie	12
1.3	Heideherstel op voormalige landbouwgrond	15
1.4	Het project “Praktijkproef heideherstel op voormalige landbouwgrond”	19
1.5	Onderzoeksconsortium	20
1.6	Leeswijzer	20
2.	Het Dwingelderveld en het Noordenveld	21
2.1	Het Dwingelderveld	21
2.2	De landbouwenclave “Het Noordenveld”	23
2.3	Het Life+-project: ecologisch herstel van het Noordenveld	24
3.	Experimentele opzet en methodiek	26
3.1	Experimentele inrichting natte en droge proeflocaties	26
3.2	Veranderingen in- en om de proefvlakken	30
3.3	Uitgevoerde metingen	34
3.4	Methode	35
4.	Bodemchemie	46
4.1	Bodemchemie van de uitgangssituatie	46
4.2	Bodemchemie 2011-2014	51
4.3	Samenvatting resultaten	61
5.	Vegetatie	63
5.1	Bronpopulaties in de goed ontwikkelde natte- en droge heide in het Dwingelderveld	64
5.2	Bedekking	65
5.3	Productiviteit	77

5.4	Mogelijkheden voor kieming	78
5.5	N/P-ratio's	79
5.6	Richting ontwikkeling	80
5.7	Samenvatting resultaten	84
6.	Bodemmicroorganismen	85
6.1	Inleiding	85
6.2	Microbiële biomassa	85
6.3	PLFA-analyse	87
6.4	Multiple Substrate Induced Respiration (MSIR) Functional Profiles	92
6.5	Samenvatting resultaten	93
7.	Micro- en mesofauna bodem	94
7.1	Inleiding	94
7.2	Nulmetingen	95
7.3	Nematoden effectmeting	96
7.4	Mesofauna effect meting	98
7.5	Macrofauna effect meting	99
7.6	Afbraakcapaciteit	101
7.7	Samenvatting resultaten	103
8.	Fauna	105
8.1	Insectenfauna	105
8.2	Resultaat dagvlinders	105
8.3	Resultaat Libellen	109
8.4	Resultaat Sprinkhanen	110
8.5	loopkevers	114
8.6	Samenvatting resultaten	120
9.	Synthese	122
9.1	Inleiding	122
9.2	Bodemchemie	123
9.3	Vegetatie	124
9.4	Microbiële gemeenschap	125
9.5	Functionele bodemfauna	126
9.6	Insecten: loopkevers, sprinkhanen en vlinders	127
9.7	Conclusies	127
9.8	Aanbevelingen	128
10.	Literatuur	129
11.	Bijlagen	141



Jonge struikheide op het Noordenveld

Samenvatting



Aanleiding

Sinds het begin van de vorige eeuw tot 1960 is het oppervlak aan heides in Nederland met ca. 95% gedaald. Zowel herstel van de kwaliteit van bestaande heides als ook het vergroten van het oppervlak (goed ontwikkelde) heide binnen het Nederlandse natuurnetwerk en Natura 2000-gebieden zijn daarmee een expliciet beleidsdoel. Dit betreft zowel natte heide (H4010) als droge heide (H4030). Een groot deel van de beoogde uitbreiding moet worden gerealiseerd op uit productie genomen landbouwgronden en over de effectiviteit daarvan is nog weinig bekend. Studies naar en analyses van knelpunten en mogelijke oplossingen daarvan bij omvorming van landbouwgronden naar heides zijn daarmee van groot nationaal en internationaal belang.

Vanuit in het verleden uitgevoerde projecten op voormalige landbouwgrond zijn een aantal serieuze bottlenecks bekend bij de omvorming van landbouwgronden naar schrale natuurdoeltypen zoals heide, zowel op abiotisch als biotisch vlak. Naast hydrologische knelpunten (ontwatering van voormalige landbouwgronden), spelen een te hoge bodem pH en buffering (landbouwgronden werden bekalkt), een te hoge beschikbaarheid van nutriënten (bemesting met N en P), het afwezig zijn van kenmerkende plant- en diersoorten en de aanwezigheid van een bodemgemeenschap -en daarmee de stoffenkringloop- die wat samenstelling kenmerkend voor is voor landbouw.

Praktijkproef

Het Dwingelderveld (Drenthe) is het grootste natte heidegebied van continentaal West-Europa en aangewezen als Natura 2000-gebied. In het hart van het Dwingelderveld bevond zich na ontginning van de heide een ruim 180 ha grote landbouwenclave, het Noordenveld. In maart 2011 is gestart met het omvormen van deze landbouwenclave tot natuurgebied door het afvoeren van de met nutriënten verrijkte bovenlaag van de oorspronkelijke slenken en het dichtmaken van de sloten. Deze werkzaamheden zijn in de loop van het voorjaar van 2013 afgerond. Als laatste is in september 2013 ook leiding 20 – de hoofdafvoersloot - dichtgeschoven met het oorspronkelijke materiaal, waarmee de herinrichtingsoperatie voor het grootste deel is voltooid. Hiermee is de bodem in het Noordenveld door ontgronden voedselarm gemaakt en de hydrologie (deels) hersteld.

Na de bovengenoemde aanpassingen spelen vervolgens twee andere grote knelpunten een rol bij het herstel van heide op voormalige landbouwgronden in het Dwingelderveld. Dit zijn de veranderde zuurgraad en het gebrek aan kenmerkende biota. Om hiervoor oplossingen te vinden is een grootschalig veldexperiment

opgezet in een deel van het Noordenveld, bestaande uit twee deel-experimenten (ontwikkeling van natte heide en ontwikkeling van droge heide). In ieder deel-experiment zijn twee inrichtingsvarianten getoetst, een variant waarbij de zuurgraad wordt beïnvloed door te bekalken of zwavel op te brengen, en een variant waarbij het aanvoeren van biota (alleen planten of planten + bodemorganismen) wordt beïnvloed. De twee inrichtingsvarianten zijn gecombineerd toegepast, waardoor de proefopzet volledig factorieel is, en 3 x 3 behandelingen zijn opgezet (Figuur 3.2). Iedere behandeling bestaat steeds uit drie replica's. De proefvlakken zijn ieder 22 x 22 m groot in het natte gedeelte, en 15 x 15 m in het droge deel (Figuur 3.3). Alle behandelingen zijn per toeval over de proefvlakken verdeeld (Zie bijlage 1 voor het complete schema van alle proefvlakken).

Daarnaast is gekeken naar de manier waarop planten en dieren de proefvlakken koloniseren en of de ontwikkeling van fauna en vegetatie op een positieve manier wordt gestimuleerd door vers plantmateriaal (maaisel) of plagsel (de vegetatie met een 5-6 cm dik laagje bodem) van niet-vergraste natte- of droge heide op de kale bodem aan te brengen. Voordeel van het aanbrengen van plagsel is dat er zo, naast plantenzaden, ook bodemleven (micro-organismen, mesofauna) uit de heide op de afgegraven grond terecht kan komen.

Het onderzoek wordt uitgevoerd door een internationaal consortium bestaande uit Onderzoekcentrum B-WARE, Universiteit Antwerpen, Cranfield University, Institute of Soil Biology en De Vlinderstichting i.s.m. het WBBS. De opdrachtgever van dit onderzoek is de Bestuurscommissie Dwingelderveld, ingesteld door de Provincie Drenthe. Het project is mogelijk gemaakt met co-financiering van LIFE+ en van het kennisnetwerk OBN.

Methode

Bij aanvang van de proef in het najaar van 2011 zijn de bodemchemie, bodem-micro-organismen en de bodem micro- en mesofauna in kaart gebracht om een goed beeld van de uitgangssituatie te verkrijgen. Direct daarna zijn de behandelingen toegediend. Na het toedienen van de behandelingen is de toestand van de bodem twee keer per jaar gemeten (pH-buffering en voedselrijkdom), jaarlijks is de vegetatiesamenstelling beschreven en is de fauna (loopkevers, dagvlinders, libellen, sprinkhanen) in en rondom de proefvelden bemonsterd. Het bodemleven is in 2013 nogmaals bemonsterd. Deze rapportage geeft een beeld van de ontwikkeling van de proefvelden vanaf het najaar van 2011 tot het najaar van 2014.

Gevlekte orchis is een soort van de natte heide in het Dwingelderveld



Resultaten

Na ontgronden is zowel in de droge als natte proef een voedselarme situatie ontstaan, zowel wat P als N betreft. De bodem-pH was bij aanvang van de droge proef gemiddeld 5,5, en steeg in de bekalkte proefvlakken tot 6,5, om in 2014 op 5,8 uit te komen. Ook in de controle-proefvlakken is de pH gestegen gedurende de looptijd van de proef, tot maximale waarden rond de 6 met in 2014 een waarde van 5,7. Dit zijn relatief hoge waarden voor heide. Het verzuren heeft er voor gezorgd dat de bodem-pH gedurende de proef constant rond de 5,5 bleef, met in 2014 een daling tot 4,9. In de natte proef is het pH-patroon vergelijkbaar met de droge proef. Vanaf 2013 beïnvloedt het natter worden van de proef de pH, waardoor er nauwelijks nog verschillen tussen de behandelingen worden gemeten. Het toedienen van biota (plagsel of vers maaisel) heeft zowel in de droge als de natte proef niet of vrijwel niet geleid tot verschillen in bodemchemie van de behandelde proefvelden.

Bij aanvang van de proef werden in de proefvelden 10 tot 20 keer lagere microbiële biomassa's gemeten vergeleken met bestaande natte en droge heide in het Dwingelderveld. In de droge proef heeft het toedienen van plagsel tot een hogere microbiële biomassa geleid. Ook de samenstelling van het bodemleven (gemeten

als PLFA-profielen) gaat steeds meer op die van een bestaande heide lijken. In de natte proef nam tussen 2011 en 2013 de relatieve aanwezigheid van schimmels toe en die van bacteriën af. Daarnaast zorgde het toedienen van Dolokal in de natte proef voor een afname in de schimmel/bacterie-ratio. In de droge proef heeft het toedienen van plagsel tot een toename van de hoeveelheid schimmels gezorgd, met een hogere schimmel/bacterie-ratio tot gevolg.

Bij aanvang van de proef, direct na het ontgronden, waren de dichtheden van mesofauna en nematoden 10 tot 100 keer kleiner dan normaal gemeten in heide of grasland. De bacterie- en plantenetende nematoden waren de meest aanwezige groepen nematoden in de bodem. Dit komt overeen met agrarisch grasland en laat duidelijk de historie van de proefvlakken zien. Ook in 2013 waren de bacterie-etende nematoden nog steeds de dominante groep. De samenstelling van de nematoden in zowel aantallen als dichtheden lijkt in 2013 in de natte proef sterk op de bestaande natte heide. In de droge proef is dit (nog) niet het geval. In de droge proef werd wel een hoge dichtheid van Oribatide mijten gevonden wat als een indicator van een stabiele heide habitat wordt geïnterpreteerd.

Het toedienen van plagsel heeft in de niet-bekalkte proefvlakken (controle + verzuuring) tot een hogere dichtheid van mesofauna geleid en een hogere dichtheid in Oribatide mijten. Deze resultaten suggereren een positief effect van het opbrengen van plagsel op het herstel van de bodemmesofauna.

De ontwikkeling van de vegetatie richting goed ontwikkelde droge of natte heide wordt het meest gestimuleerd door toediening van plagsel, ook voor enkele Rode lijst-soorten lijkt dit meer effect te hebben. De effecten van vers maaisel verschillen tot nu toe weinig van niets doen, al vestigen zich wel enkele doelsoorten (o.a. Klokjesgentiaan, *Gentiana pneumonanthe*). Het lijkt er op dat de met plagsel behandelde proefvelden zich duidelijk richting heidevegetatie ontwikkelen, terwijl de ontwikkeling bij toediening van maaisel of niets doen meer in de richting van schraal grasland lijkt te gaan. De effecten van de pH-behandelingen op de vegetatiesamenstelling zijn tot nu toe gering, wel lijkt bekalking de vestiging van meer algemene graslandsoorten te versnellen. Door het afsluiten van leiding 20 in de nazomer van 2013 is de natte proef sindsdien duidelijk nog natter geworden waarbij de hydrologie van een deel van de proefvlakken in de range van de Sphagnum variant van de natte heide valt. Door de vernatting neemt de bedekking van mos toe in de proefvlakken, en verdwijnen heidesoorten zoals Struikhei (*Calluna vulgaris*). Het is op dit moment nauwelijks mogelijk in te schatten hoe de vegetatie zich verder zal gaan ontwikkelen in de natte proef.

Klokjesgentiaan



Conclusies en aanbevelingen

Het verdient aanbeveling de praktijkproef in zowel de droge als de natte situatie in de komende jaren voort te zetten, zodat ook de effecten van de uitgevoerde maatregelen op de wat langere termijn (5-6 jaar) duidelijk worden. Daarnaast zijn de proefvelden nog volop in ontwikkeling en is het nog niet duidelijk in welke richting bodemleven en vegetatie zich zullen (blijven) ontwikkelen. Voortzetting van deze proef biedt een unieke kans om in de toekomst “evidence based” uitspraken te kunnen doen over effectiviteit van verschillende (combinaties van) maatregelen voor het ontwikkelen van goed functionerende droge en natte heide op voormalige landbouwgrond.

Hoewel het te vroeg is om al definitieve uitspraken te doen met betrekking tot effectieve maatregelen, lijkt – althans op vrij korte termijn – het gebruik van plagsel van niet-vergraste natte of droge heide een kansrijke maatregel te zijn om na diep plaggen of ontgronden een relatief snelle en positieve ontwikkeling richting heidesysteem te krijgen, zowel van vegetatie als bodemleven.

Summary



Restoration of dry and wet heathland on former agricultural land: a field trial.

Heathland restoration remains an urgent topic as the area of lowland heathland has declined severely in the Atlantic regions of North-West Europe. In the framework of LIFE, NATURA2000 and O+BN a field trial has been set up in the central part of the Dwingelderveld National Park, Drenthe, The Netherlands. The Dwingelderveld National Park (ca. 3800 ha) contains the largest area of wet lowland heathland (H4010) in North-West Europe, besides dry heaths (H4030), species-rich *Nardus* grasslands (H6230), moorland pools and forest vegetation. After reclamation in the 1930s a large agricultural area of around 220 ha, called the Noordenveld, was present in the center of the National Park. This agricultural area, with its deep drainage ditches, had a major impact on the hydrology of the whole National Park. The restoration of the agricultural area started with the removal of the nutrient-rich topsoil (166 ha, over 640.000 m³ of soil) in the period 2011-2013 to obtain nutrient-poor soil conditions. Furthermore, the original heathland hydrology has been restored by closing the ditches and, finally, the main drainage canal in autumn 2013. This LIFE project created a major opportunity to study both the constraints and the opportunities for restoring dry and wet heathland on former agricultural land.

Field trial

In autumn 2011 a field trial was set up in the former Noordenveld just after topsoil removal (30-40 cm), both under wet and dry conditions. Aim of the experiment is to quantify which (combination of) measures are needed to create suitable abiotic and biotic conditions for the recovery of characteristic wet and dry heathland communities on former nutrient-rich agricultural land. After removal of the nutrient-rich topsoil and the hydrological measures two main constraints are still present for a full recovery of heathlands, c.f. a too high pH of the subsoil because of the long-term agricultural liming and the absence of many characteristic biota (plant species and soil organisms). Therefore, experimental manipulation of the soil acidity by acidification with elementary sulphur or by liming with dolomite has been applied. These measures are combined with the addition of fresh plant material ("green hay") or with the spreading of sods – heathland vegetation with 5-6 cm of the topsoil - from well-developed wet or dry heathland of the National Park, resulting in a full factorial experimental design (3 x 3 treatments; randomized block design, n=3; Figure 3.3). The area of the wet heathland experiment covers over 13.000 m² (plot size 22 x 22 m) and of the dry heathland experiment over 6.000 m² (plot size 15 x 15 m).



Begrazing in het heringerichte Noordenveld

The research was carried out by an international combine of institutes, viz. B-WARE Research Centre (The Netherlands), Antwerp University (Belgium), Cranfield University (UK), Institute of Soil Biology (Czech Republic), Dutch Butterfly Conservation (The Netherlands) and Foundation WBBS (The Netherlands). This project was funded by the Province of Drenthe, LIFE and OBN, the national research programme for ecological restoration in The Netherlands.

Methods

Soil chemistry and the composition of soil microbial, micro-faunal (nematodes) and meso-faunal community were quantified immediately after the setup of the experimental plots, just before the treatments started (October 2011). All treatments were applied in November – early December of 2011, except for the addition of green hay, because of a too low seed content in that time of the year. Therefore, green hay of both wet and dry heath vegetation was added in September 2012. In the experimental period (autumn 2011 to autumn 2014) soil chemistry (twice a year), vegetation composition and the invertebrate community (carabids, butterflies, dragon-flies and grasshoppers) were followed yearly, whereas the soil microbial and faunal community developments were measured again in autumn 2013, two years after the start of the trial.

Results

The concentrations of available phosphorus and nitrogen were low at the start of the experiment and they remained low and appropriate for heathland development during the experimental period of 3 years. The addition of sulphur or dolomite influenced soil pH in the plots both under dry and wet conditions. It increased with 0.3-0.5 units in the limed plots, and became ca. 0.3 units lower in the plots with sulphur addition. Remarkably, an additional decline of the soil pH was observed in the last autumn (2014), especially in the dry part of the experiment. The changes in the concentrations of exchangeable base cations in the soil were, in general, in line with the changes in soil pH. Furthermore, these effects became less clear in the wet part of the experiment in the last year, possibly related with an increase in the water table in that period. Finally, the additions of both green hay and sod material did not lead to any changes in soil chemistry.

Microbial biomass was at the start of the experiment, just after the removal of 30-40 cm top soil, 10 to 20 times lower than in the soil of intact dry or wet heathlands of the Dwingelderveld area. The addition of sod material resulted in a clear

increase in microbial biomass within 2 years, especially under dry conditions. The composition of the microbial community, based upon PLFA profiling, started to develop in the direction of the surrounding intact wet and dry heaths. This development was especially clear after addition of sod material to the plots. The soil fungal to bacterial ratio increased significantly within 2 years after the addition of sods, but the relative changes between the two groups were not completely identical in the dry and the wet treatments. In most treatments the addition of sulphur or dolomite caused hardly any change in the microbial community, except for the dolomite treatment in the wet part of the experiment. Here we found a significant decline in the fungal to bacterial ratio.

At the start of the experiment the densities of nematodes and mesofauna were in all plots 10-100 times lower than normal in heathland or grassland. The bacterivore and herbivore nematodes were the most frequent functional groups in the soil, consistent with the former history of the area, namely agricultural used grassland. After two years bacterivore nematodes were still the dominant group in all treatments, although the composition and the density of the nematode community in the wet heathland soil was much more similar to that of an undisturbed situation. This was not the case in the dry experiment. Mesofauna density was much higher here, especially the density of Oribatid mites -typical for well-developed dry heathlands- increased highly in the first two years. Finally, a significant higher density of Oribatid mites was observed in the plots with sod material application, but only in those without addition of dolomite. This suggests that after topsoil removal soil organisms can invade and establish from added sod material.

The cover of dwarf shrubs, the number of characteristic heathland species and of some endangered Red-List plant species was enhanced in both wet and dry situation by the addition of sod material from intact heathland. The addition of green hay on the contrary did not affect the vegetation composition, except for the establishment of some typical heathland species, such as *Gentiana pneumonanthe*. The vegetation of the plots treated with sod material developed in the direction of a dwarf-shrub dominated vegetation ("a heath"), whereas the plots with green hay addition or without addition of biota evolved in the direction of a grass-dominated situation. However, the vegetation of the experimental is certainly not fully closed, and the coming 3-5 years should make the final course of the development of the treatments clear. Furthermore, the number of plant species and the composition of the vegetation was hardly influenced by the treatments which influenced the pH of the soil, although the addition of dolomite tended to increase the establishment of general grassland plants. Finally, the conditions in the wet part of the experiment changed in the last year of this experimental period, the plots became wetter, leading to a tendency of decreasing cover of dry heathland species, and an increase of wet heath and moorland pool species.

Kleine vuurvlieder



Concluding remarks

The present research project on experimental restoration measures covered only the first 3 years after topsoil removal. Despite obvious changes in many parameters it is clear that both the vegetation and the soil community are certainly not fully developed and need several years to reach a more stable state of ecosystem structure and functioning. It is therefore highly recommended to continue this field experiment for another 3-5 years to reveal the longer-term development of the system. A continuation of this experiment will offer a unique possibility to come to "evidence-based" conclusions on the efficiency of restoration measures to reach a well-functioning wet or dry heathland system on former agricultural land. Despite this obvious and unavoidable shortcoming, the data suggest that the use of sod material of intact heathland seems to be the most promising restoration measure to get a relatively quick development towards a wet or dry heathland ecosystem after topsoil removal both in terms of vegetation composition and of soil community functioning.

1. Inleiding



1.1 Achtergrond

Heidevelden hebben gedurende lange tijd deel uitgemaakt van het West-Europese landschap. De term heide wordt veelal gebruikt voor vegetaties die gedomineerd worden door dwergstruiken uit de familie van de heideachtigen (*Ericaceae*). Naast deze dwergstruiken komen nog verspreid gras- en kruidsoorten voor met een vaak rijke groei aan mossen en korstmossen (o.a. Gimingham 1972; De Smidt 1975). Dwergstruikheiden komen op verschillende delen van de wereld voor, veel in de bergen, maar zijn - of waren - ook wijd verspreid in de Atlantische en subatlantische delen van Europa, van Zuidwest Noorwegen tot in Portugal. In het laagland van Europa is natuurlijke heide beperkt tot de nauwe zone nabij de kust. De uitgestrekte laaglandheiden zijn ontstaan door menselijke invloed en al eeuwenlang aanwezig in het Pleistocene zandlandschap van Nederland. Heides van het Europese laagland komen zowel bij droge als natte condities voor, ieder met zijn eigen karakteristiek. Sinds het begin van de vorige eeuw tot 1960 is het oppervlak aan heides in Nederland met ca. 95% gedaald. Vanwege hun kenmerkende waarden aan flora en fauna zijn de overgebleven heides vrijwel allemaal aangewezen als natuurgebied.

De huidige staat van instandhouding van (voorheen) voedselarme habitats is in de meeste West-Europese landen niet al te gunstig, en dit is zeker het geval voor heides (<http://bd.eionet.europa.eu/article17/habitatsummary>). Ook in Nederland is dit zo. Zowel herstel van de kwaliteit van bestaande heides als ook het vergroten van het oppervlak (goed ontwikkelde) heide binnen het Nederlandse natuurnetwerk (voorheen EHS) en Natura 2000-gebieden zijn daarmee een expliciet beleidsdoel. Dit betreft zowel natte heide (H4010) als droge heide (H4030). Onder meer in het kader van EGM en OBN zijn (en worden) herstelmaatregelen tegen verzuring, vermesting en verdroging ontwikkeld voor bestaande heides en is al veel kennis aanwezig. Een groot deel van de beoogde uitbreiding moet worden gerealiseerd op uit productie genomen landbouwgronden en over de effectiviteit daarvan is nog minder bekend. Studies naar en analyses van knelpunten en mogelijke oplossingen daarvan bij omvorming van landbouwgronden naar heides zijn daarmee van groot nationaal en internationaal belang.

1.2 Heides: een grote variatie

Ook in Nederland was heide heel gewoon, tot aan het eind van de negentiende eeuw kwamen overal op de pleistocene zandgronden van Zuid-, Midden- en

Oost-Nederland heides en hoogvenen voor. Sindsdien is door ontginning tot landbouwgrond, bebossing of afgraven ca. 95 % van deze systemen verdwenen (o.a. De Smidt 1975; Smits & Noordijk, 2013). Gelukkig is nog een deel van de uitgestrekte heides gespaard gebleven, en vormt nu een belangrijk onderdeel van het Nederlandse natuurnetwerk en van veel Natura 2000-gebieden in het droge en natte zandlandschap. Zoals bijna alle open landschappen, uitgezonderd hoogveen, zijn ook heides half natuurlijk. Ze zijn in het verleden ontstaan onder invloed van landgebruik van de mens, door boskap en beweiding met landbouwhuisdieren. Dit betekent dat menselijk ingrijpen zoals begrazing, branden, maaien of plaggen in deze half-natuurlijke vegetaties altijd nodig is en zal zijn. Binnenlandse laaglandheides worden op droge plaatsen gedomineerd door Struikheide (*Calluna vulgaris*), terwijl op vochtige en natte standplaatsen Gewone dopheide (*Erica tetralix*) het meest voorkomt.

Natte heide

De natte heidevegetaties van het Europese laagland worden gedomineerd door Gewone dopheide. In het algemeen zijn deze natte heides – ook wel vochtige heides genoemd - wat soortenrijker dan droge heides, met soorten als Ronde zonnedauw (*Drosera intermedia*), Trekrus (*Juncus squarrosus*) en Veenbies (*Trichophorum cespitosum*). In goed ontwikkelde vorm worden ook plantensoorten als Beenbreek (*Narthecium ossifragum*), Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*), Moeraswolfsklauw (*Lycopodium inundatum*) en Snelviezen (*Rhynchospora* spp.) gevonden, naast kenmerkende veenmossen en levermossen. Op de pleistocene zandgronden komen twee natte-heide associaties voor, de associatie van Gewone dopheide (ERICETUM TETRALICIS) en de associatie van Moeraswolfsklauw en Snelviezen (LYCOPODIO-RHYNCHOSPORETUM), die vooral in pionier situaties zoals plagplekken of karresporen voorkomt. De associatie van Gewone dopheide, zeg maar de kenmerkende natte heide, kan worden aangetroffen in 4 subtypen, naast de typische vorm. Het veenmosrijke subtype is kenmerkend voor de meest natte situaties, terwijl het orchideerijke subtype wat meer gekenmerkt is door wat hogere basenbezetting in de bodem, door meer leem of meer invloed van licht gebufferd grondwater. Dit laatste subtype is de meest soortenrijke vorm, met veel bedreigde plantensoorten die ook in natte heischrale graslanden of blauwgraslanden kunnen voorkomen (Schaminée et al., 1995; Weeda et al., 2001). Naast deze natte heides op minerale gronden, bestaat er ook een hoogveen- en laagveenvorm van natte heide. Opmerkelijk genoeg behoren alle genoemde vormen van natte heide uit het zandlandschap tot één habitatype (H4010) (Janssen & Schaminée 2003).



Beenbreek

De beschikbaarheid van nutriënten (N, P) in de bodem is laag, terwijl in de wintermaanden het grondwater veelal tot op of juist boven het maaiveld staat (of stond). De bodem is zuur tot matig zuur, met een pH-H₂O van de bodem tussen 4,0 – 5,5 (Runhaar et al., 2009) en behoort meestal tot het veldpodsoltype. In de zomermaanden zakt onder normale omstandigheden het grondwater tot ca. 0,5-0,7 (1)m diepte weg. Tegenwoordig zijn natte heidevegetaties beperkt tot natuurterreinen en zowel in nationaal als internationaal verband ernstig bedreigd. Vele natte heidevegetaties, die oorspronkelijk gedomineerd werden door Gewone dopheide, zijn in de laatste decennia veranderd in dichte bestanden met vrijwel alleen nog Pijpenstootje (*Molinia caerulea*). Hierbij zijn ook bijna altijd alle zeldzame plantensoorten – en veel diersoorten - uit de vegetatie verdwenen. Het moge duidelijk zijn dat deze achteruitgang veroorzaakt wordt door dalende grondwaterinvloed of/en door N-verrijking uit de atmosfeer (Roelofs et al., 1996; Bobbink & Lamers 2002).

Droge heide

Het grootste deel van de droge heide in de pleistocene zandstreken van Nederland behoort tot één gemeenschap, en wel tot de associatie van Struikheide en Stekelbrem (GENISTO ANGLICAE-CALLUNETUM). Struikheide is de dominante

dwergstruik in deze heides, maar vooral in Noord Nederland en hoog op de Veluwe kan lokaal ook Kraaiheide (*Empetrum nigrum*) een hoge bedekking hebben. Ook gewone dopheide komt frequent voor. Naast de dwergstruiken komen ook bijna altijd meerdere grasachtigen, met name Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*), Fijn schapengras (*Festuca filiformis*), Pijpenstrootje en – minder vaak - Pilzegge (*Carex pilulifera*) voor. Droge heides zijn verder relatief soortenarm, met kenmerkende planten als Kruiptrem (*Genista pilosa*), Stekelbrem (*Genista anglica*), Klein warkruid (*Cuscuta epithymum*), en, zeer zelden Kleine wolfsklauw (*Diphasiastrum tristachyum*). Er is vaak een dik mosdek aanwezig, bestaande uit slaap- en topkapselmossen, en, vooral vroeger, met veel korstmossoorten. Er bestaan 4 subtypen van binnenlandse droge heide: de typische vorm (*typicum*), een subtype met veel korstmossen (vaak op stuifzand), een levermosrijke droge heide op Noordhellingen met Kraaiheide en een kruidenrijke heide op wat meer gebufferde bodem (Stortelder et al., 1999). Veel soorten uit het heischrale grasland komen - of tegenwoordig kwamen – in dit subtype voor, zoals Valkruid (*Arnica montana*), Tandjesgras (*Danthonia decumbens*), Rozenkransje (*Antennaria dioica*) en Tormentil (*Potentilla erecta*). Tot in het midden van de vorige eeuw was er nog een grote verscheidenheid in de droge heides, echter in de tweede helft van de twintigste eeuw is er een grote verarming van de droge heide opgetreden, ondanks hun ligging in natuurterreinen (o.a. Bobbink & Lamers 1999; Weeda et al., 2002). Genoemde droge heides behoren tot het Natura 2000-habitatype H4030 (droge Europese heide), al hoewel struikheidevegetaties op binnenlandse stuifzanden, met hun vele korstmossen, tot een ander habitatype worden gerekend, hoewel er nauwelijks floristische verschillen zijn (Janssen & Schaminée 2003).

Ook droge heides zijn arm tot zeer arm aan nutriënten (N, P), en de bodem is droog tot licht vochtig, maar staat niet onder invloed van grondwater. De pH-H₂O van de bodem is iets zuurder dan die in de natte heide (4,0 – 5,0; Runhaar et al., 2009) en vaak vindt de buffering plaats door de verwerking van aluminiumhydroxiden (aluminiumbufferrange). Het is daarbij zeer waarschijnlijk dat tot medio vorige eeuw veel meer droge heides voorkwamen met een buffering door kationenuitwisseling (Roelofs et al., 1996; Bobbink et al., 1998). Kenmerkende bodemtypen van droge heide zijn verschillende podsolvormen, zoals moder- en haarpodsolen. De interne kwaliteit van droge heides is in de laatste 4-5 decennia hard achter uitgegaan, er is vergrassing opgetreden, veel kruiden zijn verdwenen en ook de kenmerkende fauna zoals heidevlinders doen het slecht ondanks verwoede beheerinspanningen (Siepel et al., 2009; Vogels et al., 2011; Wallis de Vries et al., 2003). Deze geleidelijke achteruitgang van droge heides wordt, met hoge mate van zekerheid, veroorzaakt door de decennia lange hoge toevoer van eerst S- en nu N-verbindingen uit de atmosfeer (o.a. Heil & Diemont 1983; Bobbink & Lamers 2001) in combinatie met soms negatieve bijwerkingen van (noodzakelijke) herstelmaatregelen (Vogels et al., 2011). Dus ook voor deze droge heidevelden is

Figuur 1.1 Beeld van natte (links, foto B. Luijks) en droge binnenlandse heide (rechts, foto J. Smits), de doelhabitats van deze studie.

Figure 1.1. Wet (left) and dry (right) heathland, the target communities of this study.



uitbreiding van cruciaal belang, naast interne kwaliteitsverbetering en verdergaande brongerichte maatregelen.



Kruipbrem

1.3 Heideherstel op voormalige landbouwgrond

Naast het verbeteren van de kwaliteit van nog aanwezige heideterreinen heeft Nederland zich ten doel gesteld de oppervlakte met natte en droge heides in de komende jaren significant te vergroten. Daarvoor is de uitbreiding van veel bestaande natuurterreinen – of Natura 2000-gebieden - in de laatste twee decennia met omliggende agrarische gronden een uitgelezen kans. Echter een snelle ontwikkeling van doelvegetaties van het heidelandschap blijft vaak uit op voor natuur ingerichte voormalige landbouwgrond, en de oplossing van de knelpunten hierbij is dus essentieel.

1.3.1 Knelpunten

Vanuit in het verleden uitgevoerde projecten op voormalige landbouwgrond zijn een aantal serieuze bottlenecks bekend bij de omvorming van landbouwgronden naar schrale natuurdoeltypen zoals heide, zowel op abiotisch als biotisch vlak:

1. Waterstanden zijn in landbouwgebied meestal veel lager dan benodigd voor de vochtige en natte doelvegetaties;
2. Op voorheen zure gronden is de pH vaak sterk verhoogd middels bekalking teneinde de landbouwkundige productiviteit te optimaliseren;
3. Vrijwel altijd is er in voormalige landbouwgronden sprake van te hoge bodemvruchtbaarheid (N en met name P) als gevolg van de langjarige en hoge bemestinggiften in Nederland;
4. Kenmerkende flora en fauna van de doelhabitats ontbreken nu meestal vrijwel volledig in het zeer intensief gebruikte agrarisch gebied;
5. De voor de omzetting van dode organische stof belangrijke bodemgemeenschappen hebben een sterk andere samenstelling in productieve landbouwgebieden dan in laagproductieve natuurgebieden.

1.3.2 Op weg naar nieuwe methoden van herstel

Uit veel projecten is bekend dat verschraving via alleen beheer (maaïen met afvoeren of begrazing) niet voldoende is om langdurig landbouwkundig gebruikte zandgronden terug om te vormen in goed ontwikkelde natte en droge heide, althans niet binnen een tijdsduur van enkele decennia (van Dijk 1986; Klooker et al., 1999; Verhagen et al., 2003; De Levende Natuur 2009 - themanummer ontgroningen; Loeb et al., 2013). Rigoreuzere maatregelen zoals diep plaggen c.q. ontgronden of anderszins lijken essentieel om de gewenste voedselarme omstandigheden voor heides binnen korte tijd te creëren.

Voedselrijkdom

Door vroegere bemesting – die zeer hoog is in Nederland - zijn voormalige landbouwgebieden vrijwel altijd veel voedselrijker dan geschikt is voor droge of natte heide (o.a. Verhagen et al., 2001; Lamers et al., 2009; Van Mullekom et al., 2013). Het betreft hier zowel stikstof als fosfaat waarbij met name fosfaat een groot en langdurig probleem vormt. Als gevolg van denitrificatie en/of uitspoeling vermindert de hoeveelheid beschikbare stikstof in de loop van de tijd, hoewel dit deels weer teniet wordt gedaan door atmosferische depositie van N. De hoeveelheid fosfaat in de bodem vermindert niet op deze manier. P-verbindingen zijn zeer immobiel in de bodem en wanneer er niet actief wordt ingegrepen blijft de fosfaatbeschikbaarheid in voormalige landbouwgronden lange tijd zeer hoog, zeker meerdere decennia tot mogelijk zelfs enkele eeuwen (Smolders et al., 2006).

De eerste studies naar de effecten van ontgroning ten behoeve van de omvorming van landbouwgrond tot heide (o.a. Aerts et al., 1995; Klooker et al., 1999; Verhagen

et al., 2003) bevestigen een sterke verlaging van de nutriëntenbeschikbaarheid. Tezamen met studies over abiotische kenmerken van diverse habitattypen uit het heidelandschap (o.a. Bobbink 2008; de Graaf et al., 2009), allerlei lokale rapporten en beschikbare bodemchemische databases (B-WARE, Universiteit Antwerpen) is ondertussen veel kennis over de abiotische verschillen tussen landbouwgrond en heides beschikbaar. Ontgronding is geschikt gebleken om de bodemvruchtbaarheid van landbouwgronden te verlagen naar waardes die vergelijkbaar zijn aan die van bestaande heides. De hogere pH blijft echter ook na ontgronden bestaan, mogelijk leidt dit tot een verhoogde mineralisatiesnelheid, een hogere nutriëntenbeschikbaarheid en een van beoogde heide begroeiingen conform de beschreven habitattypen afwijkende vegetatie. Overigens biedt dit gegeven ook de mogelijkheid om meer gebufferde systemen als doel te kiezen, zoals bijvoorbeeld de ernstig onder verzuringsdruk staande heischrale graslanden, een prioritair Natura 2000-habitat (Loeb et al., 2013).

Zuurgraad

Vrijwel alle Nederlandse landbouwpercelen, zeker in het zandlandschap, zijn regelmatig bekalkt om de productiviteit te vergroten. Dit heeft in het geval van voormalige heides en andere zure systemen geleid tot een pH die gemiddeld 1-2 eenheden hoger ligt dan de uitgangssituatie (Klooker et al., 1999). Hierdoor ligt de pH(H₂O) van voormalige landbouwgronden buiten het optimale bereik voor droge en natte heides, respectievelijk 4,0-5,5 en 4,0-5,0 (Runhaar et al., 2009). In Engeland is experimenteel geprobeerd de zuurgraad van voormalige landbouwgronden te verhogen door de toevoeging van diverse materialen. Het betrof hier versnipperd naaldhout, strooisel van Adelaarsvaren en verschillende hoeveelheden elementair Zwavel (Owen et al., 1999). Onder andere door de relatief korte duur van dit experiment kon niet veel meer worden geconcludeerd dan dat de toevoeging van elementair zwavel het meest effectief was om de bodem-pH te verlagen. Het effect op de mate van vestiging van Struikheide (*Calluna vulgaris*) leek in de eerste jaren betrekkelijk beperkt (Owen & Marrs 2000) maar eigen waarnemingen in 2006 (pers. waarn. R. van Diggelen) suggereerden een positief effect van zwaveltoediening op langere termijn. Helaas zijn na de initiële fase in dit project geen metingen meer uitgevoerd, zodat er weinig tot niets bekend is over de snelheid van verzuring, stabiliteit van de verlaagde pH, de snelheid van vestiging van doelsoorten, etc. Op dit gebied bestaat een duidelijke *kennislacune*.



Struikheide

Aanwezigheid van doelsoorten

Zowel in het geval van verschrallingsbeheer in een voormalig intensief gebruikt landbouwgebied als bij het compleet verwijderen van de toplaag in een dergelijk gebied geldt dat doelsoorten van de te ontwikkelen heidetypen geheel of vrijwel geheel afwezig zijn, zowel bovengronds als ondergronds. Typische vegetatie en fauna worden op zijn best nog in slotkanten en in wegbermen aangetroffen, maar ontbreken geheel in de percelen zelf (Grootjans et al., 1992). Ook de zaadvoorraad en de bodemgemeenschap bestaan uit geheel andere soorten dan in het doelsysteem (Bekker et al., 1997; Verhagen et al., 2003). Dit geldt zowel voor agrarisch gebruikte graslanden en akkers als, en in nog sterkere mate, voor ontgronde gebieden. In het tweede geval bestaan zowel de zaadbank als de bodemgemeenschap uit zeer weinig individuen en soorten (Klooker et al., 1999; Frouz et al., 2009).

Zonder menselijk ingrijpen wordt de soortensamenstelling van de zich ontwikkelende gemeenschap vooral bepaald door de dispersiecapaciteit van potentiële soorten. Zeker in de eerste jaren na ontgronding bestaan zowel de vegetatie als ook bepaalde bodemgemeenschappen (zie later) voornamelijk uit algemene en/of zich gemakkelijk verbreidende soorten (Verhagen et al., 2001; Kirmer et al., 2008; Smits et al., 2008; Srinivasan 2014). Pas na langere tijd neemt het aantal doel- en gespecialiseerde soorten (enigszins) toe. Een studie naar de successie van de bodem-



Kolenveen – Het Dwingelderveld heeft een grote diversiteit aan heidelandschappen

gemeenschap bij een zich vanaf kaal zand ontwikkelende heide liet zien dat de kolonisatie van mijten lang duurde: pas in proefvlakken die al meerdere decennia oud waren werden gespecialiseerde soorten aangetroffen (Srinivasan 2014). Ook lijkt het waarschijnlijk dat er sprake is van een zgn. “prioriteits effect”: de soorten die het eerste aankomen vermeerderen zich snel en de gemeenschap wordt steeds resistenter tegenover de vestiging van nieuwkomers (Körner et al., 2008). In het geval van planten komt dit bijvoorbeeld tot uiting door het vormen van een gesloten vegetatie waarin kieming en vestiging van nieuwe soorten nauwelijks meer mogelijk is (Williams 1963; Verkaar & Schenkeveld 1984; Hautier et al., 2009).

Voor dit knelpunt zijn in het laatste decennium meer radicale hersteltechnieken ontwikkeld. Getracht wordt vegetaties zich sneller te laten ontwikkelen door het inbrengen van zaden of vegetatieve delen van doelsoorten. Een praktische techniek is het opbrengen van “vers maaisel” van een vegetatie met rijpe zaden dat direct na het maaien naar een natuurontwikkelingsgebied wordt getransporteerd en daar uitgestrooid. In verschillende droge en natte graslanden is duidelijk geworden dat deze methode leidt tot een toename in soortenrijkdom maar tegelijk is er wel variatie in succes tussen diverse studies (o.a. Hölzel et al., 2003; Smits et al., 2008; Kiehl et al., 2010 & Van Noordwijk et al., 2013). Deels kan dit te maken hebben met verschillen in kwaliteit (kiemkracht) van de zaden in diverse gebieden en jaren, met het tijdstip van oogsten (niet alle zaden zijn op hetzelfde moment rijp), verschillen tussen soorten en tussen habitats (Klimkowska et al., 2009). Als vuistregel geldt: hoe korter de transportweg en hoe sneller het maaisel wordt opgebracht, hoe groter de kans op succes. Er is echter nauwelijks onderzoek verricht in hoeverre deze technieken geschikt zijn om heides te herstellen en voor welke soorten de techniek effectief is en voor welke niet. Hier is sprake van een *kennislacune*.

Samenstelling bodemgemeenschap

Er zijn duidelijke aanwijzingen dat op voormalige landbouwgrond het aanwezige bodemvoedselweb een groot knelpunt kan vormen. Deze gemeenschap speelt

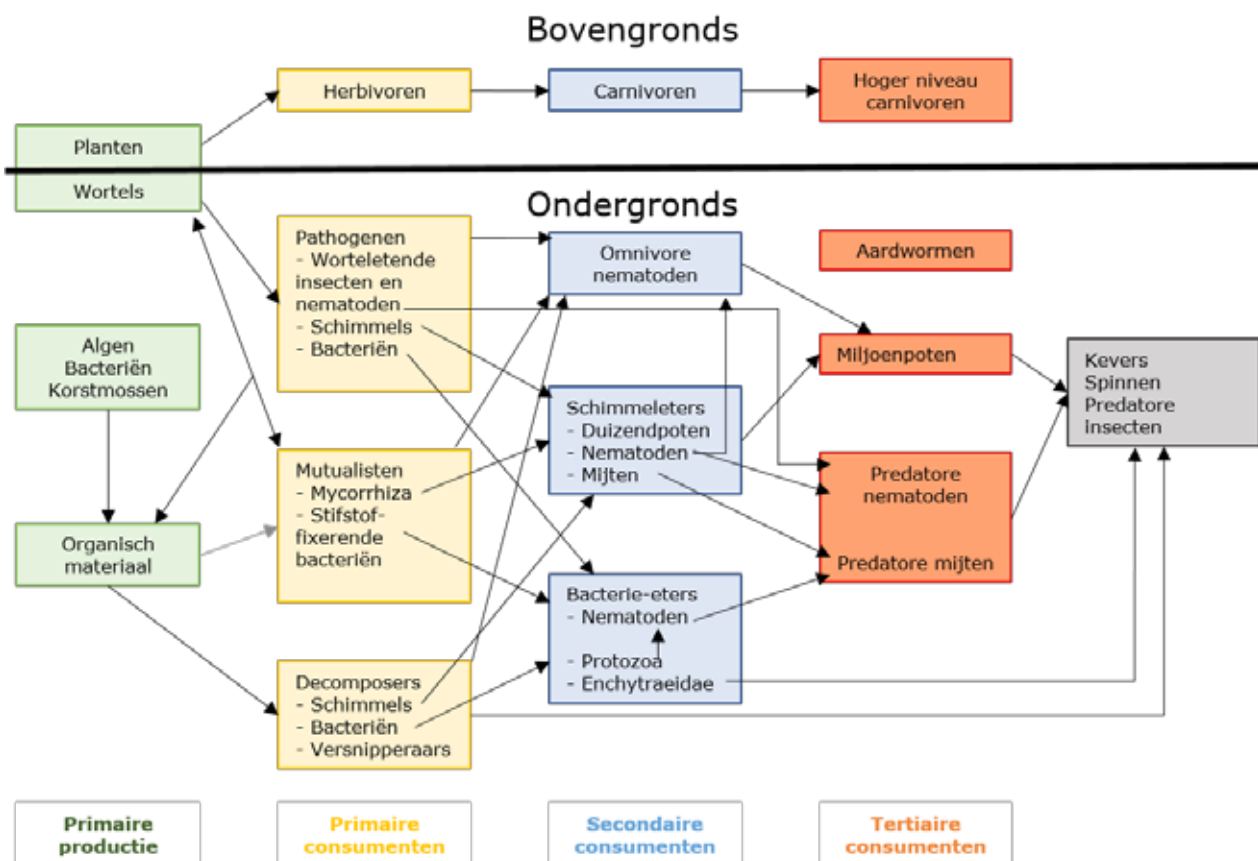
een essentiële rol in het functioneren van de bovengrondse gemeenschap (Wardle et al., 2004) en omvat het meest complexe systeem op aarde (Figuur 1.2), met 5000 tot 10000 verschillende soorten waarvan vele flexibel zijn in de rol die ze vervullen en in hun dieet. De basale functies zoals de afbraak van organisch materiaal worden vervuld door micro-organismen (bacteriën en schimmels). De hogere trofische niveaus kunnen zich zowel voeden met organisch materiaal als met de organismen van de onderliggende trofische niveaus, dit kan de snelheid van bodemprocessen zowel stimuleren als remmen. Deze interacties zijn echter zeer moeilijk te kwantificeren, waardoor de invloed op het functioneren van de gehele bodemgemeenschap niet eenvoudig te bepalen is.

De bodemgemeenschap speelt een essentiële rol in het beschikbaar maken van nutriënten. Enerzijds kunnen er samenwerkingsverbanden worden gevormd tussen planten en microben waardoor het nutriëntenaanbod voor planten wordt vergroot. Mycorrhiza-vormende schimmels vergroten bijvoorbeeld de beschikbaarheid van fosfaat voor de planten waarmee zij een verbinding aangaan, terwijl stikstoffixerende bacteriën hun gastheren voorzien van stikstof. Daarnaast zorgt de bodemgemeenschap voor de afbraak van dood plantenmateriaal, waardoor nutriënten weer beschikbaar komen. De samenstelling van de bodemgemeenschap beïnvloedt de afbraaksnelheid van organisch materiaal en daarmee de stofkringloop.

In agrarische en andere voedselrijke systemen wordt de gemeenschap gedomineerd door bacteriën die zorgen voor een snelle afbraak en nutriëntencyclus, waarin verder de microfauna (nematoden en protozoa) en de aardwormen de belangrijkste

Figuur 1.2 Schematisch overzicht van het bodemvoedselweb (naar Bardgett 2005).

Figure 1.2 Schematic overview of the soil food web (after Bardgett 2005).



groepen zijn. In voedselarme systemen zoals heides domineren schimmels en micro-arthropoden (mijten en springstaarten) de bodemgemeenschap. De afbraak door schimmels verloopt langzamer en bovendien slaan schimmels veel nutriënten op in hun hyfen, wat leidt tot tragere cycli.

Recent onderzoek heeft laten zien dat de bodemgemeenschap die op omgevormde voormalige landbouwgronden aanwezig is, nog het meest lijkt op die van intensief

gebruikte landbouwgronden (Frouz et al., 2009, Van Diggelen et al., 2009). Dit betekent hoogstwaarschijnlijk dat veel processen in de bodem van niet-ontgronde voormalige landbouwgronden anders verlopen dan in ongestoorde heides en heischrale graslanden. Na ontgronden kan ook hier sprake zijn van een prioriteits-effect en zou de initiële samenstelling van de bodemgemeenschap effect kunnen hebben op de verdere ontwikkeling van het systeem.

Niet alleen nutriëntencycli kunnen anders verlopen, voor sommige met name zeldzamere plantensoorten kan de aanwezigheid van bepaalde mycorrhizavormende schimmels een voorwaarde zijn voor hun vestiging (Harris 2009). Verder geldt ook hier dat de opbouw van een bodemgemeenschap vermoedelijk vooral gestuurd wordt vanuit de verspreidingscapaciteiten van soorten, waarbij zeker in het begin vooral algemene en zich gemakkelijk verspreidende soorten de overhand zullen hebben. Een mogelijkheid om een ontwikkeling in de gewenste richting van voedselarme habitats te versnellen is wellicht het inbrengen van de karakteristieke bodemorganismen door natuurontwikkelingsgebieden te 'enten' met bodemmateriaal (plagsel) uit goed ontwikkelde heides. In hoeverre dit werkt is onvoldoende bekend. Ook dit is een *kennislacune*.

De bovengenoemde abiotische en biotische knelpunten zouden mogelijk kunnen worden opgelost door na ontgroning actief in te grijpen in de bodembuffering, de beschikbaarheid van zaden, van bodemfauna en van micro-organismen. Hiermee is echter weinig ervaring, laat staan dat er reeds goed ontwikkelde herstelstrategieën zijn ontwikkeld om natte en droge heide te ontwikkelen op voormalige landbouwgrond. Voor zover één of meer van de bovengenoemde parameters in een omvormingsproject wordt gemanipuleerd zijn de resultaten meestal niet eenduidig en veelal matig gedocumenteerd. Het onderzoeksproject "Praktijkproef heideherstel op voormalige landbouwgrond" beoogt middels experimenteel onderzoek op praktijkschaal aan de noodzakelijke kennisontwikkeling op dit vlak bij te dragen.

1.4 Het project "Praktijkproef heideherstel op voormalige landbouwgrond"

Het project Praktijkproef heideherstel op voormalige landbouwgrond in het Noordenveld (Dwingeloo) is in september 2011 gestart en had een looptijd tot eind december 2014. Het project is gefinancierd door de Provincie Drenthe, O+BN en LIFE+. Het onderzoek richt zich op een analyse van de mogelijkheden om, na ontgroning, de omvorming van landbouwgronden naar heide te versnellen door actieve manipulatie van bodemchemie (via bekalking of verzuring) al of niet in combinatie met toevoer van biota (vegetatie of plagsel). Het betreft hierbij zowel het habitatype droge heide (H4030) als natte heide (H4010) en de voor deze typen kenmerkende soorten. De volgende kennisvragen worden onderzocht in dit project:

1. In hoeverre kan de pH snel worden veranderd in de gewenste richting door de additie van bepaalde materialen? Blijft dit stabiel gedurende een aantal jaren of neemt het effect af met de tijd?
2. Wat is het effect van de pH-veranderingen op de beschikbaarheid van nutriënten?
3. Wat is het effect van de pH-veranderingen op de samenstelling van micro- en mesofauna en -flora?
4. Leidt het inbrengen van heidemaaisel en/of -plagsel tot verschil in samenstelling van micro-, meso-, macrofauna en -flora? Zo ja, in hoeverre is die identiek aan de samenstelling van de bodemgemeenschap in goed ontwikkelde heide?
5. Bestaat er een relatie tussen de snelheid en volledigheid (voorkomen en bedekking van kenmerkende soorten) van vegetatieherstel en de samenstelling van de bodemgemeenschappen?

6. In hoeverre wordt de ontwikkeling in de richting van doelvegetaties versneld ten gevolge van manipulaties van de pH en hoe volledig is dit herstel?
7. Hoe snel wordt het gebied van het onderzoek gekoloniseerd door diverse groepen van geleedpotigen en in welke eigenschappen verschillen goede en slechte kolonistoren?

1.5 Onderzoeksc consortium

Het in dit rapport beschreven onderzoek is uitgevoerd door een onderzoeksc consortium, bestaand uit Onderzoeksc centrum B-WARE, Universiteit Antwerpen, de Vlinderstichting, de stichting Willem Beijerinck Biologisch Station (WBBS), Cranfield University in Engeland en het Tsjechische Institute for Soil Biology (ISB).

Onderzoeksc centrum B-WARE is opgetreden als hoofdaannemer en heeft de technisch-organisatorische leiding van het project verzorgd. Daarnaast leverde B-WARE (dr. Roland Bobbink en drs. Maaike Weijters) de expertise op het gebied van bodemchemische processen. Vanuit de Ecosystem Management Research Group van de Universiteit van Antwerpen voerden prof. dr. Rudy van Diggelen en drs. Arrie van der Bij het vegetatiedeel van het onderzoek uit. Voor De Vlinderstichting werkte ir. Albert Vliegthart mee, samen met ir. Kim Huskens en in samenwerking met dr. RikJan Vermeulen van de stichting Willem Beijerinck Biologisch Station (WBBS). De Vlinderstichting was verantwoordelijk voor het onderzoek aan de dagvlinders, libellen, en sprinkhanen en het WBBS voor het onderzoek aan loopkevers. Het onderzoek van de bodemmicrobiologie werd uitgevoerd door de Engelse Cranfield University (prof. dr. Jim Harris en dr. Mark Pawlett), terwijl het Institute of Soil Biology (dr. Jan Frouz) het determineren en de ecologische interpretatie van de bodemmicro- en mesofauna verzorgde. Tenslotte is de wetenschappelijke coördinatie door de Universiteit Antwerpen en onderzoeksc centrum B-WARE gezamenlijk uitgevoerd.

1.6 Leeswijzer

In dit eindrapport van het juist genoemde project worden de uitkomsten van het onderzoek van de periode september 2011 tot eind 2014 beschreven. Na een korte inleiding over de ecologie van natte en droge heide en de knelpunten bij de ontwikkeling van heides op voormalige landbouwgrond komen in hoofdstuk 1 de kennisvragen en het onderzoeksc consortium aan de orde. In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van het Dwingelderveld en het Noordenveld, terwijl tevens de uitvoering van het gehele herstelproject van het Noordenveld en omgeving aan bod komt. De opzet van het experiment, het uitzetten van de proefvelden, de behandelingen en het tijdsverloop wordt beschreven in hoofdstuk 3. Tevens komt de gebruikte methodiek in dit hoofdstuk aan de orde, in de zelfde volgorde als in de daarop volgende hoofdstukken met de verschillende aspecten van het onderzoek. Zo worden achtereenvolgend de volgende onderdelen besproken: bodemchemie (Hoofdstuk 4), vegetatie (Hoofdstuk 5), bodemmicrobiologie (Hoofdstuk 6), functionele micro- en mesofauna van de bodem (Hoofdstuk 7) en de ontwikkeling van enkele groepen van ongewervelden (loopkevers, vlinders en sprinkhanen) in en om de praktijkproef.

In hoofdstuk 9 wordt als slot een synthese van het geheel gegeven plus de voorlopige conclusies van het experiment op praktijkschaal, waarna het rapport wordt besloten met de lijst van gebruikte literatuur en bijlagen.

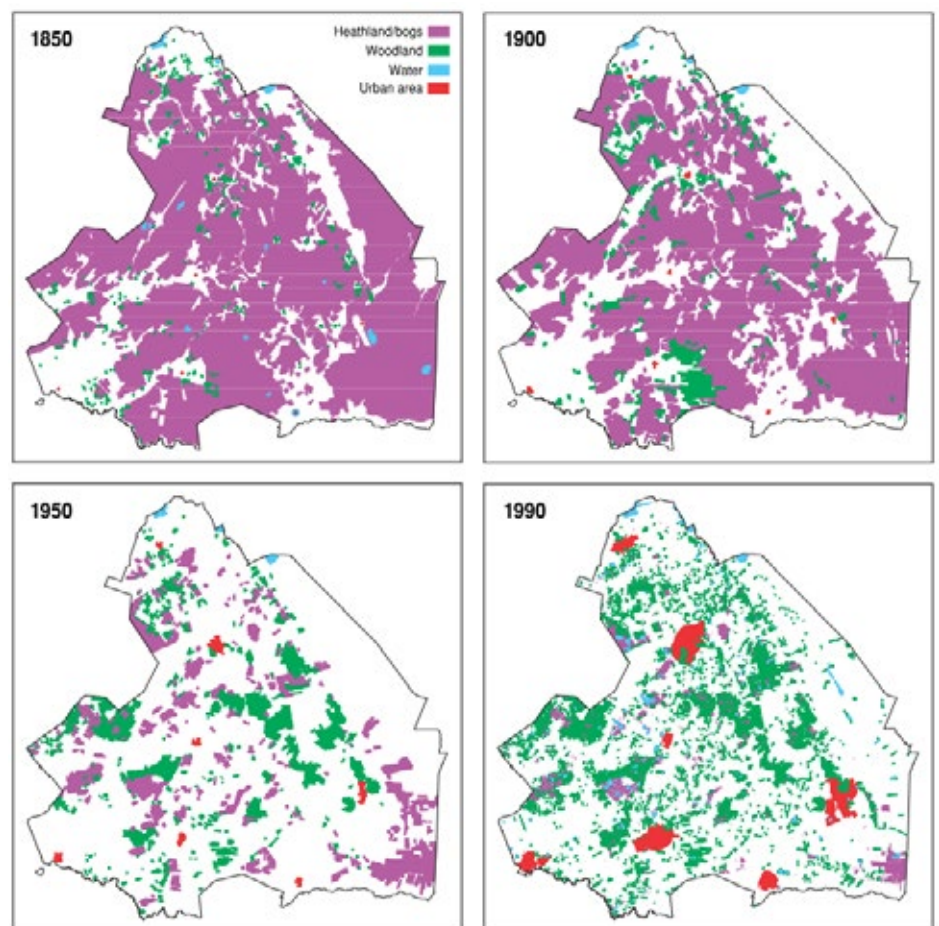


2. Het Dwingelderveld en het Noordenveld



2.1 Het Dwingelderveld

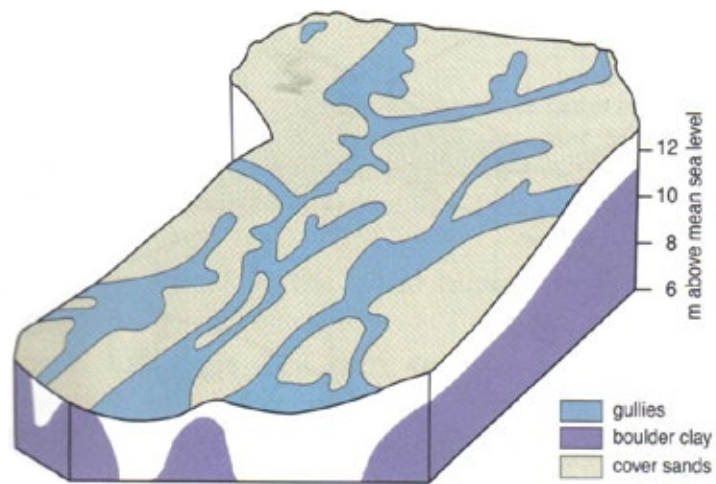
Vanaf de middeleeuwen tot ca. 1900 was het landschap van Drenthe, zoals bijna alle zandstreken in Nederland, zeer open. De provincie was grotendeels bedekt met heides en hoogvenen maar daar kwam vooral in de eerste helft van de 20e eeuw verandering in. Grote oppervlaktes werden in landbouwgrond en in mindere mate in bos omgezet (Figuur 2.1). Op dit moment zijn nog weinig restanten over van de oorspronkelijke begroeiing en beheer, al is Drenthe de provincie in Nederland met relatief de meeste heides. Kwaliteitsverbetering van de bestaande restanten en vergroting van de oppervlakte van deze open habitats zijn dan ook een nadrukkelijk doel in het natuurbeleid van de provincie (en in Nederland!).



Figuur 2.1. Landgebruik in Drenthe (Werkgroep Florakartering Drenthe 1999).

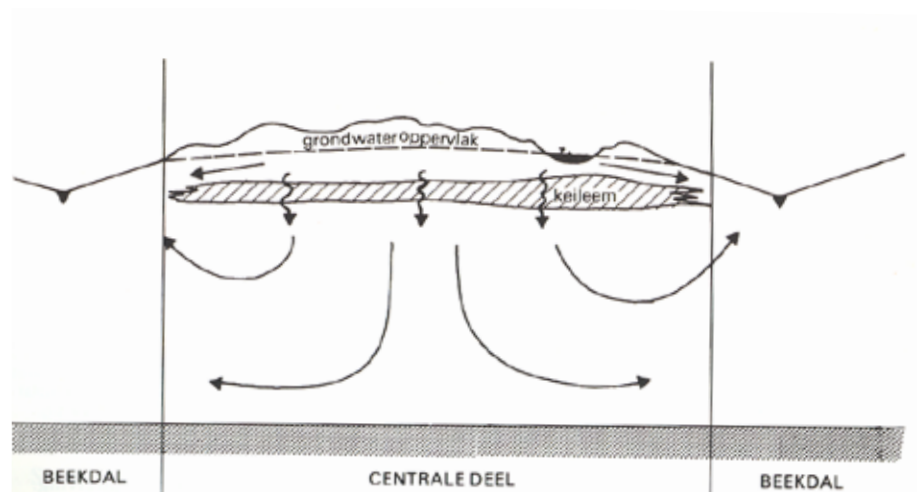
Figure 2.1 Changes in land cover from 1850 to 1990 in the province Drenthe, The Netherlands (Werkgroep Florakartering Drenthe 1999).

Het grootste heiderestant van Drenthe betreft het Nationale Park Dwingelderveld. Dit gebied is bijna 4000 ha groot en is het grootste natte heidelandschap van het Europese vasteland en is daarmee van bovennationaal belang (o.a. Everts et al., 2005)! Het Dwingelderveld is eigenlijk een inzigggebied bestaande uit keileem, zwak hellend van het noordoosten (ca. 15 m boven NAP) tot net iets meer dan 9 m in het zuiden. Aan de noordwest- en zuidoostzijde wordt dit plateau begrensd door beekdalen (Oude Vaart en Ruiner Aa). Door de hoogtegradiënt stroomt het water voor het overgrote deel via slenken over de keileem van Noordoost naar Zuidwest, waar het tenslotte door de Ruiner Aa wordt afgevoerd (Figuur 2.2). Een belangrijke reden voor die natte omstandigheden, terwijl het toch een inzigggebied is, is dat het gebied bestaat uit een grondmorene van keileem die slecht waterdoorlatend is. Hierdoor is een afwisselend patroon ontstaan van slenken met hoogveentjes, vennen en natte heide en daartussen drogere dekzandruggen die voornamelijk met droge heide zijn begroeid (Bakker et al., 1986; Jansen et al., 2000).



Figuur 2.2 Geomorfologie van het Dwingelderveld (uit Grootjans et al. 1998) (boven) en dwarsdoorsnede door het Dwingelderveld van beekdal tot beekdal (onder).

Figure 2.2 Geomorphology of the Dwingelderveld area (from Grootjans et al. 1998) (top) and cross section through the area (bottom).



Tot het begin van de twintigste eeuw was het Dwingelderveld nog een volledig open landschap, bestaande uit uitgestrekte natte heides, al of niet uitgeveende hoogveentjes en droge heide op de ruggen (Figuur 2.3). Het is algemeen aanvaard dat toen vooral de volgende heidetypen aanwezig waren, de typische vorm van de associatie van Gewone dophei kwam zeer veel voor, met daar naast in de natste delen de veenmosrijke variant van deze gemeenschap. Ook het orchideënrijke subtype moet aanwezig zijn geweest, met name op die locaties waar keileem tot in de wortelzone aanwezig was. Op de droge ruggen was de verspreiding van de droge heide (associatie van Struikhei en Stekelbrem) groot, mogelijk met wat heischrale componenten er in of er tussen (Jansen et al., 2000).



Figuur 2.3. Dwingelderveld omstreeks 1903 (www.gisnet.nl).

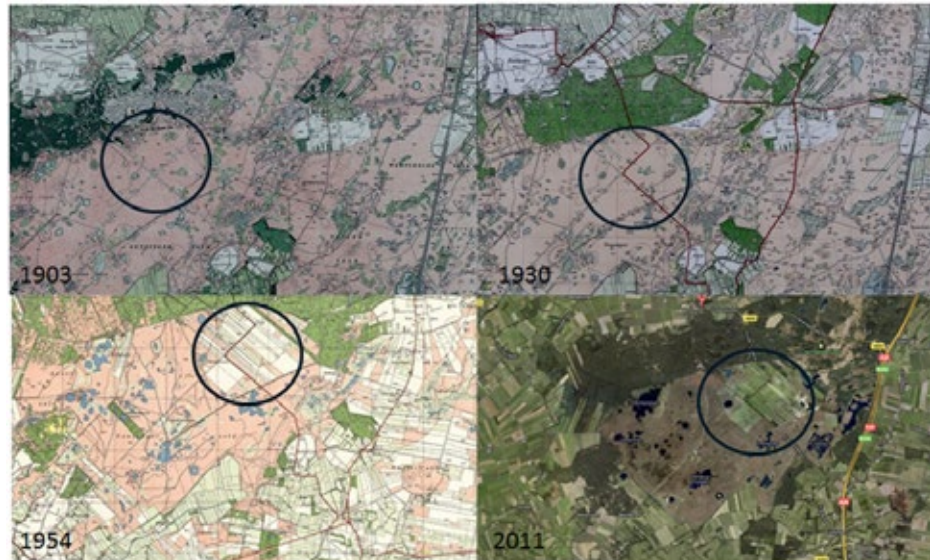
Figure 2.3. Dwingelderveld at 1903.

Ook het Dwingelderveld is vanaf het einde van de negentiende eeuw niet gespaard gebleven van ontginningsactiviteiten. Rond 1880-1910 werden de stuifzanden aan de noordrand van de heide bebost, waardoor de aanvoer van water vanuit dit deelgebied afnam. Verder werd het waterpeil in en om de beken verlaagd, wat ook de hydrologie van het Dwingelderveld zelf sterk beïnvloedde.

2.2 De landbouwenclave “Het Noordenveld”

In de periode 1930-`50 werd het deelgebied “Noordenveld” (bijna 200 ha) in het centrum van het Dwingelderveld omgezet in landbouwgebied, waarbij het gebied `drooggelegd `werd door een netwerk van diepe sloten.

Het Noordenveld is rond 1950 in landbouwkundig gebruik genomen (Figuur 2.4). Het betrof grotendeels grasland, maar in recente jaren werden ook enkele hectares met mais bebouwd. Om landbouw mogelijk te maken werd de waterstand hier sterk verlaagd en het overtollige water via een diepe leiding afgevoerd naar het Zuidwesten. Hoewel deze zogenaamde leiding 20 (Figuur 2.5) min of meer het natuurlijke afwateringspatroon volgde, trad als gevolg van de diepe insnijding ook verdrogings schade in aangrenzende delen op. Vanwege de sterke verdroging staat ca. 50% van het Dwingelderveld op de zogeheten TOP-lijst van de belangrijkste verdroogde gebieden in Nederland, waarvan het Rijk en de provincies hebben afgesproken dat ze voorrang hebben bij de bestrijding van verdroging.



Figuur 2.4. Geschiedenis van het Noordenveld.
 Figure 2.4. History of the Noordenveld.



Figuur 2.5. Diepe ontwateringssloot (leiding 20) in het Noordenveld voor uitvoering van de herinrichting (bron: waterschap Velt en Vecht).

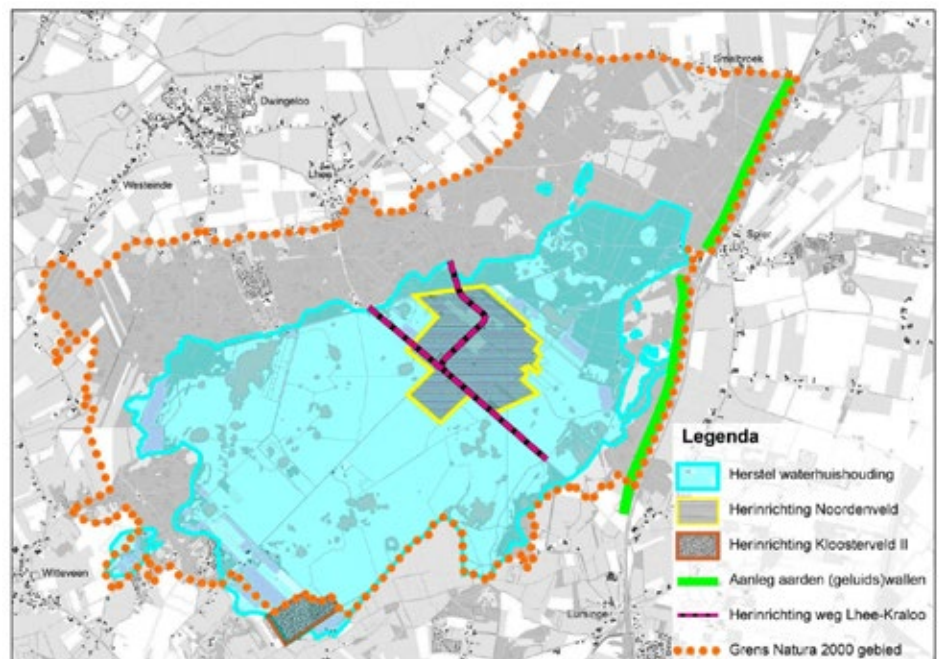
Figure 2.5. Main drainage ditch in the Noordenveld before restoration measures took place.

2.3 Het Life+-project: ecologisch herstel van het Noordenveld

Sinds de jaren 70 van de 20e eeuw verwierven Staatsbosbeheer en de Vereniging Natuurmonumenten percelen in het Noordenveld van landbouwers met als doel deze enclave in bezit te krijgen en vervolgens om te vormen tot heide. De laatste percelen kwamen in het eerste decennium van de 21e eeuw in bezit en rond 2010 werd met financiering vanuit voornamelijk LIFE+ (3,9 miljoen euro) en de provincie Drenthe (4,4 miljoen euro) met de herinrichting van het gebied gestart. Daarnaast hebben de Europese Unie, De gemeente Westerveld en De Wolden, Waterschap Reest en Wieden, Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer en Rijkswaterstaat bijgedragen. Naast het herstel van biodiversiteit van de heide is een tweede expliciet doel van het project het langer vasthouden en meer geleidelijk afgeven van water in natte periodes teneinde overstromingen benedenstrooms (o.a. Meppel) sterk te beperken. Een belangrijk aandeel in de financiering werd daarom verzorgd vanuit het waterbeheer. In 2008 is onder auspiciën van het Overlegorgaan Nationaal Park Dwingelderveld het Inrichtingsplan Nationaal Park Dwingelderveld opgesteld (Figuur 2.6).

Figuur 2.6. Inrichtingsplan Dwingelderveld (bron: http://files.planviewer.nl/ruimtelijkeplannen/16/1690/NL.IMRO.1690.BP00216-0401/t_NL.IMRO.1690.BP00216-0401_3.2.html).

Figure 2.6. Map of the planned restoration measures. (bron: http://files.planviewer.nl/ruimtelijkeplannen/16/1690/NL.IMRO.1690.BP00216-0401/t_NL.IMRO.1690.BP00216-0401_3.2.html).



Het Noordenveld is aan de landbouw onttrokken en overgedragen aan Staatsbosbeheer en Natuurmonumenten. Dat bood - samen met de verwerving van een belangrijk deel van het Kloosterveld aan de zuidkant van het gebied - de kans om de voorgenomen herstelmaatregelen van het watersysteem uit te voeren. Het maakte ook verschillende andere maatregelen mogelijk voor doelen op het gebied van natuur, recreatie, waterbeheer en landschap. De oppervlakte en kwaliteit van natte en droge heide zullen toenemen, overeenkomstig de kerndoelen van het Natura 2000-gebied. De weg Lhee-Kraloo afgesloten voor gemotoriseerd verkeer waardoor deze geen negatieve effecten meer heeft op natuur en natuurbeleving. Door dit te combineren met de aanleg van fiets- en wandelpaden en parkeervoorzieningen is de infrastructuur voor natuurgerichte recreatie verbeterd. De grond die vrijkwam bij de inrichting van het Noordenveld als natuurterrein is gebruikt voor de aanleg van een ecoduct en een aarden wal langs de A28 (Figuur 2.7), waardoor de geluidsbelasting op het Dwingelderveld afneemt. Dit is gunstig voor kwalificerende soorten als zwarte specht en boomleeuwerik.



Figuur 2.7. Geluidswal langs de A28 (foto Albert Henckel) en het nieuwe uitzichtpunt.

Figure 2.7. Structure against traffic noise caused by the highway and the new viewing-point.

Daarnaast is een ecoduct gebouwd om het Dwingelderveld met het Terhorsterzand te verbinden, deze verbinding werd afgesneden door de A28 (Figuur 2.8). Sinds het ecoduct is gerealiseerd, trekken 'nieuwsgierige soorten', zoals konijnen, maar ook hazen en reeën al over het ecoduct. Het ecoduct ligt er ook voor dassen en marterachtigen, en voor soorten die karakteristiek zijn voor heidelandschappen, zoals de heikikker, de adder en de levendbarende hagedis. Verder vormt het ecoduct een onderdeel van de robuuste verbindingzone richting Mantingerzand/ Midden-Drenthe.



Figuur 2.8. Ecoduct over de A28.

Figure 2.8. Fauna crossing over the A28 highway.

In februari 2011 is begonnen met het afvoeren van de voedselrijke bodemlaag in het Noordenveld, dit was in het voorjaar van 2013 gereed. Hierna is begonnen met het hydrologisch herstel van het gebied, door o.a. de diepe waterafvoerende leidingen dicht te storten met keileem en zand. De hoofdleiding 20 is omstreeks augustus/ september 2013 gedicht, waarmee de vernatting van het terrein begon.

3. Experimentele opzet en methodiek



Figuur 3.1. Proefvelden voor ontgronden in 2008 (links), graafmachine tijdens het afgraven van het Noordenveld (midden) en rechts het inzetten van de proefvelden in oktober 2011. Het restant van de bouwvoor is nog goed te zien (donkere plekken).

Figure 3.1. Experimental site before topsoil-removal in 2008 (left), Spowe-shovel during excavation of the Noordenveld (middle) and October 2011: Installation of the experimental plots just after the topsoil removal at the dry experimental site (right). The remnants of the agricultural soil are still visible (the darker areas)

3.1 Experimentele inrichting natte en droge proeflocaties

Door de natte zomer van 2011 duurde het afgraven van de beoogde terreinen in het Noordenveld langer dan oorspronkelijk gepland, maar in oktober 2011 kon worden begonnen met het inmeten van de proefvelden (Figuur 3.1).

De praktijkproef *Heideontwikkeling op voormalige landbouwgrond* bestaat uit twee deel-experimenten (ontwikkeling van natte heide en ontwikkeling van droge heide). In ieder deelexperiment zijn twee inrichtingsvarianten getoetst, een variant waarbij de zuurgraad wordt beïnvloed door te bekalken of zwavel op te brengen, en een variant waarbij het aanvoeren van biota (maaisel of plagsel) wordt beïnvloed. De twee inrichtingsvarianten zijn gecombineerd toegepast, waardoor de proefopzet volledig factorieel is, en 3 x 3 behandelingen zijn opgezet (Figuur 3.2). Iedere behandeling bestaat steeds uit drie replica's, zodat elk deelexperiment uit 27 proefvlakken bestaat, gegroepeerd in drie zogenaamde "randomized" blocks met ieder 9 proefvlakken. De proefvlakken zijn ieder 22 x 22 m groot in het natte gedeelte, en 15 x 15 m in het droge deel (Figuur 3.3). Alle behandelingen zijn per toeval over de proefvlakken verdeeld (Zie bijlage 1 voor het complete schema van alle proefvlakken).

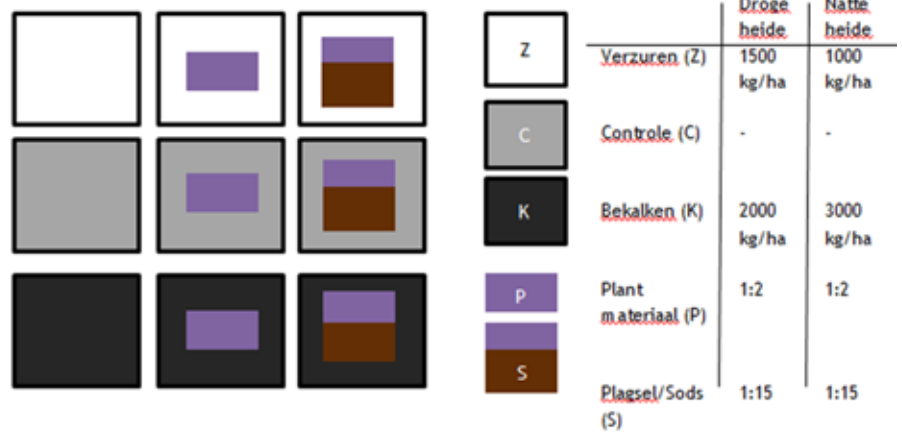
De proefvlakken zijn verzuurd door elementair zwavel (S) toe te voegen, het bekalken is uitgevoerd met Dolokal (Calciummagnesium carbonaat). De hoeveelheid op te brengen kalk en zwavel is geschat door de bodemchemie direct na ontgronden te meten en te vergelijken met waardes gemeten in goed ontwikkelde natte- en droge heide terreinen.

Daarnaast wordt gekeken naar de manier waarop planten en dieren de proefvlakken koloniseren en of de ontwikkeling van de fauna en vegetatie op een positieve manier gestimuleerd wordt door vers plantmateriaal (maaisel) of plagsel (de vegetatie met een 5-6 cm dik laagje bodem) van niet-vergraste natte- of droge heide op de kale bodem aan te brengen. Voordeel van het aanbrengen van plagsel is dat er zo, naast plantenzaden, ook bodemleven (micro-organismen, mesofauna) uit de heide op de afgegraven grond terecht kan komen. Voor de locaties van het opgebrachte materiaal, zie Figuur 3.4.

Figuur 3.2. Indeling van het experiment.

De behandelingen zijn willekeurig over de proefvlakken verdeeld. Zowel het natte als het droge deel van het experiment bestaat uit 27 proefvlakken, doordat er van elke behandeling drie replica's zijn ingezet.

Figure 3.2. Experimental design. The treatments have been randomly appointed to the plots. Both the wet- as the dry- heath experiment consists of 27 plots, resulting in three replicas per treatment. Z=acidification, C=control, K-Liming, P=plant material and S=Sods.



Figuur 3.3. Luchtfoto genomen in mei 2012.

In het blauwe kader het natte heide- deel- experiment, in het bruine kader het droge heide- deel. Duidelijk zichtbaar zijn de proef- velden waar in begin december 2011 plagsel is aangebracht. Maaisel is in september 2012 opgebracht. Inmiddels is ook de voedselrijke grond tussen beide delen van het experiment afgevoerd. Het droge- heide experiment beslaat 6000 m² en het natte heide experiment 13000 m².

Figure 3.3. Aerial picture may 2012. In brown the dry heath experiment and in blue the wet- heath experiment. The plots with sods added in 2011 are clearly visible. The area of the dry- heath experiment is 6000 m² and of the wet heath- experiment 13000 m².

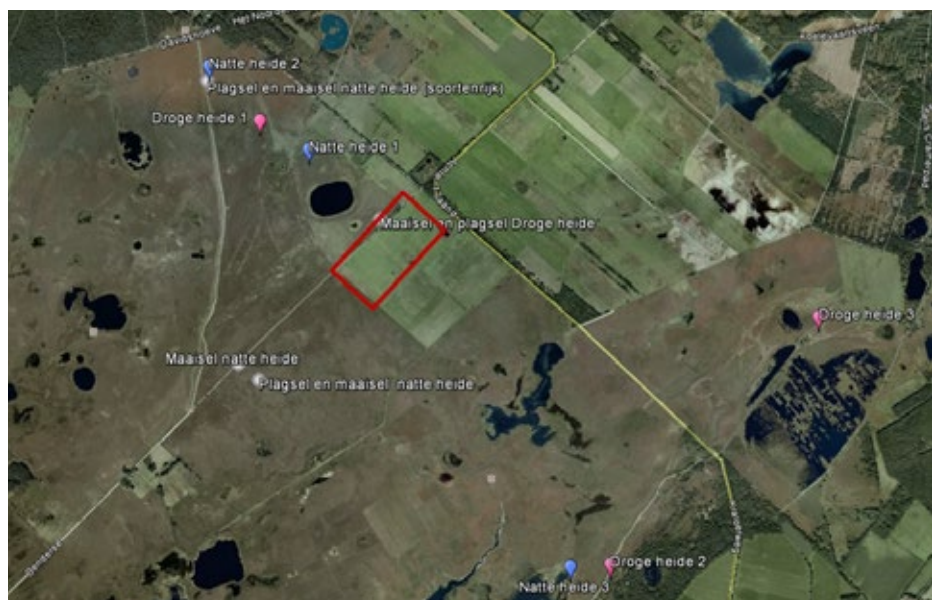
Picture: Topfoto.nl.



De natte proeflocatie ligt gemiddeld ca. 80 cm lager dan de droge proeflocatie, hetgeen ook terug te zien is in de grondwaterstanden (Figuur 3.5). In zowel de natte als de droge proeflocatie is een peilbuis geplaatst, die vanaf juni 2013 zijn gevolgd. De peilbuis in de natte heide- proef staat op een relatief droog deel, waar het water niet boven maaiveld komt. Een deel van de omliggende proefvlakken staat echter een deel van het jaar onder water (20 tot 30 cm).

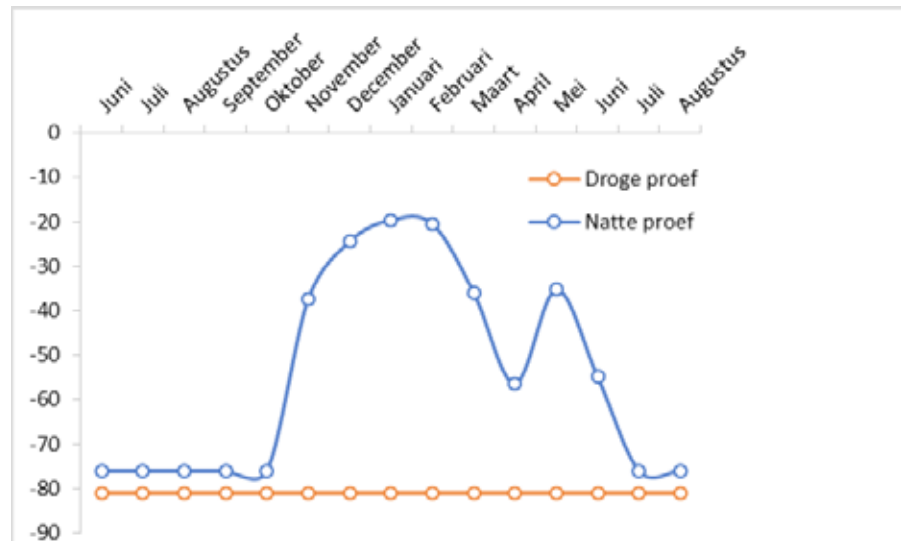
Figuur 3.4. Locaties van het opgebrachte materiaal en de vergelijkingsmonsters in de bestaande natte en droge heide in het Dwingelderveld. Rode vlak geeft globaal de ligging van de proefvlakken weer. Kaart: Google earth.

Figure 3.4. Locations of sods and plant material used in the experiment and the location of the samples taken in the well- developed old wet- and dry heathland in the Dwingelderveld. Red square is the location of the experimental site. Map: Google earth.



Figuur 3.3. Stijghoogtes in cm t.o.v. maaiveld in de natte en droge proeflocatie. Gemeten vanaf juni 2013. De peilbuis op de droge locatie is 80 cm diep, de grondwaterstanden kunnen dus lager zijn dan de hier weergegeven 80 cm onder maaiveld.

Figure 3.3. Groundwater levels in cm below soil surface in the wet and dry location. Measurements started in juni 2013.



Door een goede samenwerking met de terrein beherende organisaties (Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer), Prolander (Jaap van Roon) en Oranjewoud/Anteagroup (René Verhagen, project coördinatie met de aannemer), en een maximale inzet van het projectteam, is het toch gelukt om het experiment bijna volledig in te zetten voor eind december 2011. Na het inmeten van de proefvlakken zijn de experimentele behandelingen toegevend (Tabel 3.1 en Figuur 3.6 tm 3.9).

Figuur 3.6. 17-11-2011. Toedienen van Dolokal op de proefvlakken van de natte proeflocatie.

Figure 3.6. 17-11-2011. Addition of Dolokal (lime) on the plots of the wet experimental site.



Figuur 3.7. 24-11-2011. Toedienen van elementair zwavel op de proefvlakken van de droge locatie.

Figure 3.7. 24-11-2011. Addition of Sulphur at the dry experimental plots.



Figuur 3.8. 15-12-2011. Toedienen van plagsel op de proefvlakken van de droge locatie.

Figure 3.8. 15-12-2011. Addition of sods at the dry experimental site.



Gezien het late tijdstip van oplevering van de proeflocatie en de daarmee samenhangende afwezigheid van zaden in de heidevegetatie werd besloten, in overleg met het OBN-DT Droog- en Nat-zandlandschap en de opdrachtgever, om het opbrengen van maaisel uit te stellen tot september 2012 (Figuur 3.9). In 2013 zijn ook zes monsters verzameld en geanalyseerd in de bestaande natte- en droge heide in het Dwingelderveld om te gebruiken als vergelijking met de metingen in de proefvlakken (Figuur 3.4) .



Figuur 3.9. 13-09-2012. Verzamelen van maaisel (links boven), maaisel uitrijden is maatwerk (rechts boven en links onder) en een proefveld waar maaisel op is aangebracht (rechts onder).

Figure 3.9. 13-09-2012. Collection and addition of hay on the experimental plots.



Tabel 3.1. Uitgevoerde werkzaamheden bij het inzetten van het experiment. De verhoudingen plagsel in 1:15 geeft aan dat plagsel van 1 m² bestaande heide is verspreid over 15m² proefvlakken, hetzelfde geldt voor de verhouding 1:2, waarbij maaisel van 1m² bestaande heide is uitgespreid op 2m² van de proefvelden.

Table 3.1. Summary of the activities at the start of the experiment. The ratio 1:15 for the application of sods means that 1 m² of donor material was spread onto 15m² of experimental site. For the fresh plant material 1m² of old heathland was spread onto 2 m² of experimental site.

Werkzaamheden	Hoeveelheid	Datum
Inrichten proefvlakken		12-10-2011
Bepalen bodemchemie natte proeflocatie om bekalking en verzuring te bepalen		21-10-2011
Bepalen bodemchemie droge proeflocatie om bekalking en verzuring te bepalen		2-11-2011
Bekalken natte proeflocatie	3 ton Dolokal/ha	15-11-2011
Bekalken droge proeflocatie	2 ton Dolokal/ha	15-11-2011
Verzuren natte proeflocatie	1 ton S/ha	17-11-2011
Verzuren droge proeflocatie	1,5 ton S/ha	17-11-2011
Verzamelen plagsel (natte- en droge heide)		13-12-2011
Opbrengen plagsel (natte- en droge heide)	Verhouding 1:15	16-12-2011
Verzamelen en opbrengen maaisel natte proeflocatie	Verhouding 1:2	13-9-2012
Verzamelen en opbrengen maaisel droge proeflocatie	Verhouding 1:2	25-9-2012

3.2 Veranderingen in- en om de proefvlakken

Gedurende de looptijd van het experiment, vanaf november 2011 tot december 2014 zijn er rondom en in de proefvlakken veranderingen opgetreden die van invloed kunnen zijn op de resultaten van het experiment.

3.2.1 Afgraven van het terrein rondom de proefvelden

Om de proef nog in 2011 van start te kunnen laten gaan, zijn de proeflocaties door de aannemer als een van de eerste plekken ontgrond. Dat betekent ook dat de proefvelden, bij aanvang van de proef, omringd werden door agrarisch land. Er ontstond hierdoor een hoogteverschil van ca. 40 cm tussen de afgegraven terreindelen en de nog niet afgegraven stukken (Figuur 3.10). Daarnaast was de afgegraven grond rond de proefvelden verzameld in grote hopen. Hierdoor ontstond, met name in de droge proeflocatie, een “badkuip”, waardoor het regenwater niet weg kon en werd opgestuwd. De proefvelden van de droge locatie werden hierdoor relatief nat. Om dit tegen te gaan is een afvoergoot gegraven tussen de droge- en lager gelegen natte proeflocatie (ook te zien in Figuur 3.10). In oktober 2012 is nagenoeg alle grond rondom de proefvlakken afgevoerd.

Pas in het najaar van 2013 zijn alle werkzaamheden in het Noordenveld afgerond. Tot die tijd is er veel vrachtverkeer in het gebied geweest om alle grond af te voeren. Dit heeft effecten gehad op de fauna (veel verstoring).

Figuur 3.10. 23-03-2012 Luchtfoto van de proeflocaties (blauw omcirkeld de natte locatie en paars de droge). De omliggende stukken zijn nog niet afgegraven, en de afgegraven grond van de proeflocaties ligt in grote bergen naast de site.

Figure 3.10. 23-03-2012. Aerial picture of the experimental site (dry site in purple and wet site in blue). Clearly visible are the still agricultural soils surrounding the experimental plots and the mounds of removed topsoil next to the dry site.



3.2.2 Hydrologische situatie proefvelden natte locatie

Na het dichtn van de laatste grote afwaterende leiding (leiding 20) in de zomer van 2013 zijn de proefvlakken aanzienlijk natter geworden (Figuur 3.3, 3.11 en 3.13). Het verschil tussen de natte en droge proefvlakken is hierdoor groter geworden. In zowel het natte als droge experiment is een peilbuis met diver geplaatst om de grondwaterstanden vast te leggen.

De gevolgen van het vernatten van de proefvelden is terug te zien in de bodemchemie (H4). Een deel van de proefvlakken staat een deel van de tijd onder water, andere proefvlakken zijn continue droog. Hierdoor ontstaat er veel variatie binnen de natte proef.

In de natte proef staat een peilbuis, waar de waterstanden gedurende ruim een jaar gemeten zijn en als zgn. overschrijdingsduurlijnen weergegeven (figuur 3.12). In de figuur staan ook de uitersten aangegeven voor zowel de typische variant van vochtige heides als ook de natte, zure Sphagnum variant die in feite een overgang naar hoogvenen vormt. De figuur laat zien dat de vernatting tot gevolg heeft gehad dat de waterstanden in dit meetpunt nu binnen de range van de Sphagnum variant liggen.

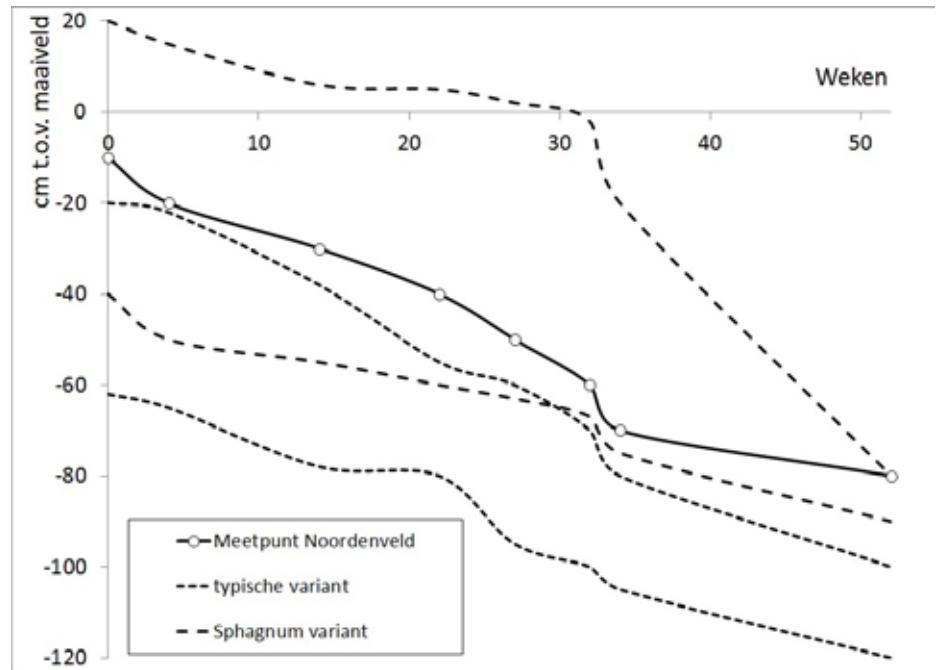
Figuur 3.11. 26-2-2014, in blauw de natte proeflocaties, in paars de droge. Foto: A. Henckel en J. Van Roon.

Figure 3.11. 26-02-2014 Dry site in purple and wet site in blue. Picture: A. Henckel en J. Van Roon.



Figuur 3.12. Overschrijdingsduurlijnen van meetpunt in de natte proeflocatie in vergelijking met duurlijnbundels van natte en vochtige heides zoals bekend uit de literatuur (Everts & De Vries 1991)

Figure 3.12. Hydrology of the wet location.



Figuur 3.13. 18-11-2013 Vernatting van een deel van de proefvelden in het natte experiment.

Figure 3.13. 18-11-2013 Part of the wet experiment has been inundated after the hydrology of the Noordenveld has been restored.



3.2.3 Overige ontwikkelingen

Tijdens het veldbezoek in september 2012 bleek dat een deel van de proefvlakken van het natte heide experiment zonder medeweten van de onderzoekers is geplagd en dus ná inzetten van het de behandelingen. Het gaat om de proefvelden C2, C4 en C6. Hier is een strook van ca. 2 – 2,5 m van de proefvelden geplagd bij het dichten van de voormalige sloot (Figuur 3.14). Het geplagde deel van deze proefvlakken is helaas niet meer bruikbaar voor het experiment.

Figuur 3.14. Geplagde strook van de proefvelden C2, C4 en C6 van het natte heide experiment.

Figure 3.14. Strip of the plots C2, C4 and C6 which has been accidentally sod-cut.



Figuur 3.15. Opgewaaid zand in de proefvlakken in april 2013.

Figure 3.15. Some plots were covered with blown in sand in April 2013.



In april 2013 werd het terrein wederom bezocht. Tijdens dit bezoek bleek een deel van de proefvlakken in het natte heide experiment te zijn bedekt met een laagje zand van ca. 2cm, veroorzaakt door windwerking (Figuur 3.15 en 3.16).

Verder broeden er de laatste jaren geregeld Kraanvogels nabij de proefvlakken en wordt het gebied in de broedperiode afgesloten. Dit bemoeilijkt de inventarisatie van de fauna.



Figuur 3.16. Huidige stand van zaken van de proefvlakken in het natte heide experiment. In geel de delen die zijn bedekt met een laagje zand, gearceerd de abusievelijk afgeplagde strook van de proefvlakken C2, C4 en C6.

Figure 3.16. Disturbances in the wet heathland experiment in 2013. In yellow the area that is covered with sand, the shaded area is the sod-cut strip.



Kraanvogels broeden in de buurt van de proefvlakken (Jurrien Dekker)

3.3 Uitgevoerde metingen

Vanaf de start van het experiment zijn bodemchemie, bodem micro-organismen, bodemmicro en mesofauna, vegetatie en insecten bemonsterd en geïnventariseerd (Tabel 3.2). De uitgebreide methodes van deze bemonsteringen of inventarisaties zijn beschreven in de volgende paragrafen.

Metingen	Datum
Bodemchemie	oktober/november 2011 (t=0) <i>april 2012</i> oktober 2012 <i>april 2013</i> oktober 2013 <i>april 2014</i> oktober 2014
Bodem Micro-organismen	oktober/november 2011 (t=0) november 2013
Bodem micro- en mesofauna	oktober/november 2011 (t=0) november 2013
Vegetatie	juli-augustus 2012 juli-augustus 2013 juli-augustus 2014
Vlinders, Libellen, sprinkhanen	juli-september 2012 juli-september 2013 juli-september 2014
Loopkevers en Spinnen	maart-oktober 2012 maart-oktober 2013 maart-oktober 2014
Referentiemonsters heide (Bodemchemie, Micro-organismen en Biota)	<i>november 2013</i>

Tabel 3.2. Uitgevoerde metingen. *Cursief extra uitgevoerde metingen.*

Table 3.2. Measurements for soil biogeochemistry. In italic additional sampling rounds.



Veenbies

3.4 Methode

3.4.1 Bodemchemie

Bemonstering van de bodem

De bodem werd verzameld op een diepte van 0-10 cm onder maaiveld. Van alle behandelingen en replica's werden 4 deelbodemmonsters verzameld die werden gemengd, verpakt, getransporteerd en gekoeld bewaard. Vervolgens werden de bodemmonsters geanalyseerd.

De volgende parameters werden bepaald aan de bodemmonsters:

- Organisch stofgehalte ("Loss of ignition")
- Massavolume (maat voor de bulk-density)
- Extractie met demiwater en zout (0,2M NaCl) waarbij de pH werd bepaald en een indruk werd verkregen van de basenverzadiging en Cation Exchange capacity van de bodem. Verder werd de concentratie ammonium en nitraat bepaald via deze demiewaterextractie (nitraat) en zoutextractie (ammonium).
- Olsen-extractie als maat voor plantbeschikbaar P. Bij de Olsen-extractie werd de hoeveelheid plantenbeschikbaar-P vrijgemaakt door verdringing van P door bicarbonaat. Tevens werden ijzer- en aluminiumhydroxides gehydrolyseerd waardoor geadsorbeerd P vrijkomt.
- C/N-analyse. Hiermee werd de totaalconcentratie N bepaald en de verhouding tussen C en N, die vaak samenhangt met de afbraaksnelheid van organische stof. Gecombineerd met de gegevens uit de demiwater- en zoutextracties werd tevens de hoeveelheid organisch stikstof rekenkundig bepaald. Daarnaast werd de zogenaamde C:N ratio berekend
- Destructie voor totalen aan elementen P, Al, Fe, S, Si, Na, K, Ca, Mg, Mn, Zn.

Bewerking van de bodemmonsters

Drooggewicht en organisch stofgehalte

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal per monster af te wegen in aluminium bakjes en gedurende minimaal 48 uur te drogen in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal terug gewogen en het vochtverlies berekend. Dit alles werd in duplo uitgevoerd. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal per monster, na het drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien van de monsters werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt in dit type bodems goed overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het bodemmateriaal te bepalen. Dit werd uitgevoerd door het bodemmateriaal na het drogen op 60°C te vermalen. Van het bodemmateriaal werd per monster nauwkeurig 200 mg afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H₂O₂ 30%) toegevoegd en de vaatjes werden geplaatst in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werden de monsters overgegoten in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml door toevoeging van milli-Q water. De destruatens werden vervolgens geanalyseerd op de ICP.

Olsenextractie

Het Olsen-extract werd uitgevoerd ter bepaling van de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfaat. Hiervoor werd 3 gram droog bodemmateriaal met 60 ml Olsen-extract (0,5 M NaHCO₃ bij pH 8,4) gedurende 30 minuten uitgeschud op een schudmachine bij 105 rpm. Het extract werd vervolgens geanalyseerd op de ICP.

Zoutextractie en waterextractie

In de water- en zoutextracten werd de eerst pH van de bodem bepaald. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2M NaCl) of 50 ml demiwater gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons en het filtraat dat gemeten werd op de ICP word aangezuurd en opgeslagen voor analyse. Vervolgens werd de hoeveelheid NO₃, NH₄, Al en Ca bepaald, alsmede de hoeveelheid P en kationen, gemeten in het extract op de ICP en Autoanalyser.

C/N analyse bodemmateriaal

Een deel van het verzamelde bodemmateriaal werd fijngemalen in een kogelmaler, vervolgens werd de totale hoeveelheid koolstof en stikstof bepaald. Hiertoe werd een klein deel (3 mg) van het gemalen bodemmateriaal in een tinnen container geplaatst waarna het in een CNS element analyser (EA NA 1500 en EA100 van Carlo Erba-Thermo Fisher Scientific) werd geanalyseerd.

Analyses

Elementenanalyse (ICP en Autoanalyzers)

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) in oppervlaktewater, bodemvocht en bodemextracten werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; Thermo Electron Corporation, IRIS Intrepid II XDL). De concentraties nitraat (NO₃⁻) en ammonium (NH₄⁺) werden colorimetrisch bepaald met een Braun+Luebbe auto-analyzer III met behulp van resp. salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Chloride (Cl⁻) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Technicon auto-analyzer III systeem met behulp van resp. mercuritiocyanide, en ammoniummolybdaat en ascorbinezuur. Natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald met een Technicon Flame Photometer IV Control.

Statistiek

Verschillen werden getoetst op significantie ($P < 0,05$) door middel van een Mixed Model met de factoren tijd als random factor en de behandelingen als fixed factoren. Voor Post hoc toetsing van significante effecten is gebruik gemaakt van em means-toets. Wanneer een significant tijdseffect werd verwacht is dit getoetst door middel van een general Mixed Model met repeated measures. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van SPSS 20.

3.4.2 Vegetatie

Methode

In elk proefvlak zijn elk jaar drie vegetatieopnames gemaakt. Van het hele proefvlak is een soortenlijst van de waargenomen plantensoorten opgenomen met de Tansley schaal (Tansley, 1946). Bij deze opnames werd een buffer van 2 meter vanaf de rand van het plot aangehouden. Op de diagonaal van ieder proefvlak liggen twee



Kloosterveld - Behalve een grote oppervlakte natte heide is het Dwingelderveld ook rijk aan goed ontwikkelde droge heide

permanente kwadraten van 2 bij 2 meter. Van deze twee permanent kwadraten zijn detailopnames gemaakt met de Londo schaal (Londo, 1976). De volledige schalen volgens Tansley en Londo zijn opgenomen in Bijlage 2.

Zowel in 2010 als in 2013 zijn in de referentiegebieden opnames gemaakt. Van een oppervlak van 1 hectare (100 x 100 m) is een soortenlijst samengesteld volgens de Tansley schaal. In de directe nabijheid van de stukken waar maaisel dan wel plagsel zijn verzameld voor het experiment zijn in ieder referentiegebied 4 detailopnames gemaakt van 2 bij 2 meter volgens de Londoschaal. De detailopnames liggen in een vierkant met een buffer van 2 meter tussen de verschillende opnames.

Analyse

Om te kunnen beoordelen in hoeverre de vegetatie in een bepaald proefvlak overeenkomt met een kenmerkende heidevegetatie is een verzadigingsindex berekend, waarbij de bestaande vegetatie met een doel vegetatie wordt vergeleken (Wolters et al., 2005, Klimkowska et al., 2007). Van de kenmerkende soorten uit de doel vegetatie is een soortenlijst samengesteld gebaseerd op de soortenlijsten van de droge als de natte heide in “De Vegetatie van Nederland” (Schaminee et al., 1996). Aangezien veel karakteristieke en differentiërende soorten van zowel de droge als de natte heide niet waargenomen zijn in de referentiegebieden of in de proefvlakken is de soortenlijst beperkt tot de kenmerkende heidesoorten die zich wel in de referentiegebieden of in de proefvlakken bevonden (tabel 3.3). Voor de droge en natte heide is dezelfde soortenlijst gebruikt omdat de meeste soorten overlap vertonen. Voor de bepaling van de Rode-lijstsoorten is de lijst uit de Staatscourant van 2004 gebruikt.

Om de verzadigingsindex te berekenen is het aantal kenmerkende heidesoorten van de soortenlijst die in het gebied voorkomen bepaald, en gedeeld door het totaal aantal soorten van de soortenlijst:

$$\text{Verzadigingsindex} = \text{aantal kenmerkende soorten per opname} / \text{aantal soorten soortenlijst}$$

De waarden van de verzadigingsindex kunnen tussen 0 en 1 liggen. In gebieden/ proefvlakken met een waarde dicht bij 0 komt een (zeer) klein aantal soorten van de soortenlijst voor, bij hogere waarden vertoont de vegetatie meer overeenkomst met de doelvegetatie. Omdat niet alle soorten van droge of natte heide in één proefvlak of in één referentiegebied voorkomen, is de verzadiging nooit 100 procent. Ook in goed ontwikkelde heiden ontbreken soorten die potentieel wel in het gebied zouden kunnen voorkomen. Deze index dient daarom niet al te absoluut gezien te worden. In dit rapport wordt hij vooral gebruikt om eventuele verschillen tussen de diverse behandelingen te meten in relatie tot de ontwikkeling in de richting van goed ontwikkelde doelgemeenschappen.



Stijve ogentroost

Tabel 3.3. Soortenlijst van kenmerkende heidesoorten die voorkomen in de referentiegebieden en/of de proefvlakken met hun weegfactor.

Table 3.3. Species list of characteristic heathland species that occur in the reference sites and/or the plots with their weighing factor.

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Rodelijst	Weegfactor
Blauwe zegge	<i>Carex panicea</i>		2
Bochtige smele	<i>Deschampsia flexuosa</i>		1
Fijn schapengras	<i>Festuca filiformis</i>		1
Gewone dophei	<i>Erica tetralix</i>		3
Gewone veenbies	<i>Trichophorum cespitosum</i>		2
Gewone veldbies	<i>Luzula campestris</i>		2
Grondster	<i>Illecebrum verticillatum</i>	ja	3
Klein viltkruid	<i>Filago minima</i>	ja	3
Kleine zonnedauw	<i>Drosera intermedia</i>	ja	3
Klokjesgentiaan	<i>Gentiana pneumonanthe</i>	ja	3
Liggende vleugeltjesbloem	<i>Polygala serpyllifolia</i>	ja	3
Moerasstruisgras	<i>Agrostis canina</i>		1
Pijpenstrootje	<i>Molinia caerulea</i>		1
Pilzegge	<i>Carex pilulifera</i>		2
Schapenzuring	<i>Rumex acetosella</i>		1
Stekelbrem	<i>Genista anglica</i>	ja	3
Stijf Havikskruid	<i>Hieracium laevigatum</i>		2
Stijve ogentroost	<i>Euphrasia stricta</i>	ja	3
Struikhei	<i>Calluna vulgaris</i>		3
Tandjesgras	<i>Danthonia decumbens</i>		1
Tormentil	<i>Potentilla erecta</i>		2
Trekrus	<i>Juncus squarrosus</i>		1
Veldbies, sp.	<i>Luzula sp.</i>		2
Witte snavelbies	<i>Rhynchospora alba</i>		2

De verzadigingsindex zegt niets over de natuurbeschermingswaarde van de vegetatie, omdat zowel algemene als rode lijstsoorten hetzelfde worden gewaardeerd. Om een betere inschatting te kunnen maken, is er een weegfactor berekend. Deze weegfactoren zijn opgenomen in tabel 3.3. De soorten zijn opgedeeld in drie categorieën: algemenere soorten hebben een weegfactor 1, minder algemene soorten, zoals verschillende zegges en de meeste kruiden, krijgen een weegfactor 2, terwijl de doelsoorten Struikhei (*Calluna vulgaris*), Gewone dophei (*Erica tetralix*) en de Rode-lijstsoorten een weegfactor 3 krijgen. De weegfactor per opname wordt berekend door de scores van verschillende soorten uit de soortenlijst bij elkaar op te tellen:

Weegfactor = som (weegfactor aanwezige soorten uit soortenlijst)

Naast de aanwezigheid van kenmerkende heidesoorten is ook gekeken naar hun bedekking. Veel soorten komen incidenteel in de proefvlakken voor waardoor deze proefvlakken een hoge verzadigingsindex krijgen, terwijl de bedekking door kenmerkende

heidesoorten nog steeds laag kan zijn. Om ook een kwalitatief goede inschatting te kunnen maken van de ontwikkeling worden de bedekkingen van de kenmerkende heidesoorten uit tabel 3.3 vermenigvuldigt met hun weegfactor en per opname bij elkaar opgeteld:

*Weegfactor x bedekking = som (weegfactor * log(bedekking + 1))*

Het relatieve aandeel van kenmerkende heidesoorten in de totale bedekking wordt weer gegeven door alle gevonden soorten in te delen in 5 categorieën: kenmerkende heidesoorten, agrarische soorten, ruderaal soorten, struiken en bomen en overige. In de laatste categorie zitten enkele soorten die niet in de overige categorieën ondergebracht konden worden, zoals Lisodode (*Typha sp.*). De volledige lijst is opgenomen in Bijlage 5. Per categorie is het relatieve aandeel (percentage) in de totale bedekking berekend.

Voor het maken van een ordinatie van de vegetatiedata is een detrended component analysis (DCA) gebruikt op basis van de opnames van de permanente kwadraten, waarbij bedekkingen worden weergegeven als ordinatie waarden, waardoor soorten met een hoge bedekking het beeld niet teveel beïnvloeden. De ordinatie is gemaakt met Canoco 4.5.

Licht

De beschikbare hoeveelheid licht op de bodem is van groot belang voor kiemplanten, bij een te lage hoeveelheid licht kunnen zij zich niet vestigen. Als grenzen zijn 5 en 30 procent van het invallende licht genomen voor het zogenaamde *lichtcompensatiepunt* respectievelijk het licht *verzadigingspunt*. Vanaf 5 procent van het invallende licht is het voor planten mogelijk om CO₂ vast te leggen door middel van fotosynthese, bij lagere waarden verliezen ze meer energie door ademhaling dan ze vastleggen door fotosynthese. Bij 30 procent van het invallende licht is de lichtintensiteit bereikt waarbij licht niet meer beperkend is voor de fotosynthese. De hoeveelheid licht die op verschillende hoogte voor de vegetatie beschikbaar is, is op 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 en 60 centimeter met een Decagon LP-80 lichtmeter (www.decagon.com) in een zogenaamd lichtprofiel gemeten. Bij elke meting is met een referentie electrode de totale hoeveelheid invallend licht boven de vegetatie gemeten zodat het percentage beschikbaar licht op diverse hoogtes kan worden bepaald. In ieder proefvlak zijn elk jaar 10 lichtprofielen bepaald, deze werden evenredig verdeeld over het hele proefvlak.

In de referentiegebieden zijn in 2013 2 lichtprofielen per detailopname gemeten, in totaal 8 lichtprofielen per referentiegebied.

Biomassa

Methode

De peak standing crop als maat voor de jaarlijkse productiviteit werd bepaald door de vegetatie tot de bodem af te knippen op een van tevoren bepaald oppervlak. In het eerste jaar van het experiment is de biomassa verzameld op een oppervlak van 40 bij 80 cm, in het tweede en derde jaar van het experiment op 40 bij 40 cm. In ieder proefvlak werd er op 2 plekken gemonsterd, direct naast de permanente kwadraten. Ieder jaar werd de vegetatie aan een andere zijde van het permanente kwadraat geknipt. De biomassa werd minimaal 48 uur gedroogd bij 70°C en vervolgens gewogen.

In de referentiegebieden is er in 2013 biomassa verzameld naast iedere detailopname, dus per referentie 4 maal. Omdat zowel Struikhei (*Calluna vulgaris*) als Gewone dophei (*Erica tetralix*) struikjes vormen, bestaat de verzamelde biomassa een voor een aanzienlijk deel uit hout wat gedurende meerdere jaren is gevormd. De peak standing crop is onder zulke omstandigheden niet een goede schatter van de jaarlijkse productie. Daarom zijn het hout en de overige delen (blaadjes, bloemen, kleine takjes) van elkaar gescheiden en apart gewogen. Als schatter voor de jaarlijkse productie werd de totale peak standing crop minus het gewicht van de houtige delen gebruikt. Voor het wegen werd de biomassa minimaal 48 uur gedroogd bij 70°C.

N/P-ratio's

Stikstof (N) en fosfor (P) zijn de twee belangrijkste voedingsstoffen die de groei van planten limiteren. Om te bepalen welke van deze twee beperkend is voor de groei van een bepaalde vegetatie worden zogenaamde N/P-ratio's bepaald waarbij de hoeveelheden stikstof en fosfor in het plantenmateriaal met elkaar vergeleken worden. Voor de interpretatie van de N/P-ratio's zijn de grenzen van Koerselman en Meuleman (1996) aangehouden. N/P-ratio's kleiner dan 14 worden geacht te wijzen op stikstof limitatie, tussen 14 en 16 is er sprake van co-limitatie van stikstof en fosfor en bij waarden hoger dan 16 is de groei van de vegetatie gelimiteerd door fosfor. Voor de herbivore fauna zijn N/P-ratio's lager dan 15 goed, vanaf N/P-ratio's van 20 of hoger begint P limiterend te worden.

Kraloërheide – Karakteristiek voor de droge heide zijn vegetaties met een groot aandeel kraaiheide.



De N/P-ratio's zijn gemeten in het materiaal dat werd verzameld voor het bepalen van de peak standing crop. De N en P gehalten in de vegetatie zijn bepaald door middel van een destructie met een zwavelzuur/saliclylzuurmengsel aan de hand van de methoden beschreven door Novazamsky et al., (1983).

Statistiek

De data zijn getoetst op significante effecten met een Analysis of Variance (ANOVA) met het aantal jaren dat het experiment loopt, de verschillen in pH en het toevoegen van maaisel en plagsel als zogenoemde 'fixed factors' in SPSS 20. Voor het toetsen van individuele verschillen tussen de verschillende behandelingen is een Tukey test gebruikt.

3.4.3 Bodemmicroorganismen

Er zijn per deelproefvlak 10 deelmonsters van de bovenste bodemlaag genomen in de laag 0-5 cm, deze zijn direct na monsternamen gemengd en vervolgens in luchtdichte folie verpakt en gekoeld bewaard. De monsters zijn ongeroerd en met een bekend volume genomen teneinde een nauwkeurige vergelijking van de microbiële activiteit tussen behandelingen mogelijk te maken. In alle 54 plots zijn steeds 3 deelmonsters genomen van 0-5 cm diep met een foliesampeler (Eijkelkamp, Giesbeek). Elk deelmonster bestond uit 5 stekken met een diameter van 3,7 cm. De volgende bepalingen werden uitgevoerd:

- Microbiële biomassa: Gemeten door middel van de fumigation-flush techniek. Geeft de grootte van de koolstofbron weer in de gehele microbiële gemeenschap.
- Samenstelling van de gemeenschap: Vastgesteld door "fenotypische profilering" met gebruik van de fosfolipide fatty acid methode (PLFA).
- Functionele kenmerken van de gemeenschap door middel van "catabolic capability profiling": gemeten door middel van de Multiple Substrate Induced Respiration (MSIR) methode waarmee de metabolische mogelijkheden van de gemeenschap onder verschillende koolstof substraten wordt bepaald.

Microbiële biomassa

De microbiële biomassa werd bepaald met de hulp van de begassingsextractie-methode (Jenkinson en Powlson 1976) met een KEC van 0,45 (Vance et al., 1987; Joergensen 1996). De bemonsterde bodem werd in twee delen gesplitst. Een deel is behandeld met chloroform en het andere deel niet. Beide monsters werden vervolgens geschud met een zoutoplossing en gefilterd. Het verschil tussen de twee monsters is de hoeveelheid koolstof aanwezig in de levende biomassa in de bodem.

Phenotypische analyse van de microbiële gemeenschap via PLFA fingerprinting

De fenotypische analyse van de microbiële bodemgemeenschap werd bepaald met een PLFA-analyse waar gebruik gemaakt werd van een methode die is gemodificeerd door Frostegård et al. (1993). Uit 7 gram gevriesdroogde bodem werden lipiden geëxtraheerd met behulp van de Bligh en Dyer (1959) buffer, met een ratio van 1:2:0,8 (v/v/v) van chloroform, methanol en citraat. De geëxtraheerde lipiden werden gefractioneerd met een zogeheten 'solid phase extraction'. De fractie fosfolipiden werd gescheiden met een zwak alkalisch methanolysis (Dowling et al., 1986). De resulterende FAMES (fatty acid methyl esters) werden geanalyseerd met gas chromatografie (6890N Agilent, USA) met G2070 Chemstation software voor G.C. systemen. FAMES werden gescheiden met een HP-5 (Agilent Technologies)

capillaire kolom (30 cm lengte, 0.32 mm ID, 0.25 µm film) met 5% fenylmethylsiloxaan. De temperatuur werd gestart op 50°C (1 min), verhoogd naar 160°C met 25°C per minuut, gevolgd met 2°C per minuut naar 240°C en met 25°C per minuut naar 310°C (10 min). De injectie temperatuur werd ingesteld op 310°C, de Flame Ionization Detector op 320°C en de He flow op 1 ml per minuut. Van de resulterende FAMES werd het relatieve voorkomen berekend (mol%). De identificatie werd gedaan door het vergelijken van de retentietijd van het monster in vergelijking met die van een standaard mix (bacterial acid methyl ester mix; Supelco), gekoppeld met gas chromatografie en massa spectroscopie (Agilent, USA). Voor de naamgeving van de vetzuren werd die van Tunlid en White (1992) gebruikt.

De mol% van de indicatieve vetzuren werd gebruikt als een indicator voor de aanwezigheid van een groep organismen. Als indicatieve vetzuren werden gebruikt:

- 18:2 ω 6, 9-ectomycorrhiza schimmels (Kaiser et al. 2010; Frostegård en Bååth 1996),
- 16:1 ω 5-*arbusculaire mycorrhiza schimmels (AM)* (Olsen et al. 1999),
- de som van *i15:0*, *ai15:0*, 16:1, *i16:0*, 16:1 ω 9, 16:1 ω 7t, *i17:0*, *ai17:0*, *cyc-17:0*, 17:0 en *cyc-19:0*- totaal bacteriën (Frostegård en Bååth 1996),
- de som van *iso* en *ante-iso* vertakte vetzuren *i15:0*, *ai15:0*, *i16:0*, *ai16:0*, *i17:0*, *ai17:0*- Gram positieve bacteriën (Zelles 1999),
- de som van 16:1, 16:1 ω 9, 16:1 ω 7c, 16:1 ω 7t, 16:1 ω 5, 21:1- Gram negatieve bacteriën (Zelles 1999),
- de ratio van 16:1 ω 7 trans/cis werd gebruikt als een indicator voor microbiële stress,
- en de schimmel/bacterie ratio werd berekend met de marker voor schimmels (18:2 ω 6) gedeeld door het opgetelde mol% van de bacteriële vetzuren (Frostegård en Bååth 1996).

De FAME-ratio van 16:1 ω 7 is door verschillende auteurs (Zelles 1999) gebruikt als stressindicator, maar men moet hier voorzichtig mee zijn zoals Frostegård et al., (2011) in hun kritiek lieten zien, omdat een verschil zowel een verschuiving in soorten als een indicator voor omgevingsstress is. Verder moet opgelet worden met het gebruik van 16:1 ω 5 als kenmerk voor AM-schimmels omdat dit ook wordt gevonden in sommige bacteriesoorten (Frostegård et al., 2011).

Functionele analyse

De functionele karakteristieken werden bepaald met MSIR- (“multiple substrate-induced respiration”) profielen gebaseerd op de methode van Degens en Harris (1997) en verder uitgewerkt door Ritz (et al., 2006). Deze MSIR-methode geeft een beeld van de mogelijkheid van de bodemgemeenschap om op korte termijn een aantal verschillende koolstofbronnen met verschillende complexiteit af te breken. De resultaten van MSIR zijn op een ecologisch relevante manier te interpreteren en bijvoorbeeld indicatief voor bodemverstoring. De CO₂-productie (ademhaling) van de bodemmonsters werd gemeten voor de volgende koolstofsubstraten: D-glucose (75 mM), L-arginine (15 mM), α -ketoglutaarzuur (9 mM), citroenzuur (100 mM) en maleïnezuur (100 mM). Tevens werd de basale boderespiratie zonder toevoeging bepaald. De microbiële respiratiesnelheden werden bepaald over een 4 uur lange incubatieperiode in 25°C.

Statistiek

PLFA en M SIR gegevens werden geanalyseerd door middel van principal component analysis (PCA). De resulterende factor-scores en microbiële biomassa gegevens werden geanalyseerd met een Repeated Measures ANOVA, en vervolgens wanneer van toepassing, met de post-hoc test Fisher Least Significant Difference. De proef is factorieel opgebouwd met drie pH-behandelingen x drie “toedienings”-behandelingen over twee jaar (2011 en 2013). Statistiek werd uitgevoerd met Stasoft, Inc. (2012) STATISTICA versie 11, met een alpha-waarde van 0,05. Data

werden ook vergeleken met de monsters verzameld in de bestaande heide in het Dwingelderveld. P-waardes uit de ANOVA-analyses zijn opgenomen in Bijlage 3.

3.4.4 Bodemmicro- en mesofauna

Om in te schatten welke populaties van de bodemorganismen per behandeling aanwezig zijn, werden monsters van de bodemfauna geanalyseerd. In de proefvlakken werden twee soorten monsters genomen met een foliesampeler (Eijkkamp, Giesbeek) om de samenstelling van de mesofauna en macrofauna in de bodem in kaart te brengen. Voor de mesofauna werden 3 deelmonsters per proefvlak genomen van 0 tot 5 cm diepte, elk deelmonster bestond uit 5 steken met een diameter van 3,7 cm. Voor de macrofauna werden ook 3 x 5 steken van 0 tot 5 cm diepte genomen, maar met een sampler met een diameter van 12 cm. De monsters voor de mesofauna werden gehomogeniseerd, 1 gram van de gemengde bodem werd verdund en gebruikt voor een directe telling van amoebae (protozoa). Verder werd 10 gram van de gemengde bodem blootgelegd op gemodificeerde Baermann trechters (Hanel 1995) om metazoïsche microfauna (nematoden, rotiferen, tardigraden) en enchytraeïden te isoleren. Een Tullgren apparaat werd gebruikt voor de extractie van de overige mesofauna groepen (Figuur 3.17). De macrofauna werd geëxtraheerd met een Kempson apparaat.

De bodemfauna werd gesorteerd in 24 gildes volgens het volgende ad hoc gilden systeem. Een taxonomische groep met een uniforme ecologie werd als een gilde beschouwd: amoebae (Testacea), rotiferen (Rotifera), tardigraden (Tardigrada), potwormen (Enchytraeidae), oribatore mijten (Oribatida), protura (Protura), diplura (Diplura), wortelduizendpoten (Symphyla), weinigpotigen (Pauropoda), duizendpotigen (Chilopoda), miljoenpoten (Diplopoda), terrestrische isopoden (Oniscidea) en springstaarten (Collembola). Andere taxonomische groepen werden gescheiden in verscheidene gildes gebaseerd op hun voedingsgewoonten. Nematoden (Nematoda) werden verdeeld in bacterie-etters, schimmeleeters, wortel en schimmeleeters, plant parasieten, predatoren en omnivoren (Yeates 1998). De aan planten geassocieerde nematoden worden hier wortel en schimmeleeters genoemd (Hanel 2003). Diptera larven werden ingedeeld in microsaprofagen, saprofagen en predatoren volgens Frouz (Frouz 1999). Aardwormen (Lumbricidae) werden verdeeld in twee groepen: epigeïsche soorten die zich in de strooisel laag bevinden en soorten die zich in de minerale grond ophouden. De eerste groep bevat soorten zoals *Dendrodrilus rubidus* en *Dendrobaena octaedra* die bij voorkeur in de strooisel laag leven. De tweede groep bevat endogeïsche soorten en de epigeïsche soort *Lumbricus rubellus*, die zowel in de strooisel laag als in de bovenlaag van de minerale grond leeft (Makulec 2002 en Pizl 1992).

Figuur 3.17. Opzet Tullgren apparaat. In de zwarte emmers bevindt zich het bodemmateriaal, de grote bodemfauna wordt opgevangen in de witte emmers met conserveringsmiddel. Door de warmte van de lichtbron ontstaat een gradiënt van warm en droog aan de bovenzijde, naar vochtig en koel aan de onderzijde van de zwarte emmer. De bodemfauna verplaatst zich naar beneden en kan opgevangen worden.

Figure 3.17. Tullgren setup. In the black buckets the soil material is placed, the large soil fauna is captured in the white buckets with a preservative. The heat of the lamp creates a gradient of hot and dry soil at the top and moist and cold soil at the bottom of the black bucket. The soil-fauna will move downwards and is collected.



Afbraakcapaciteit

Verschillen in de afbraakcapaciteit zijn bepaald door het inbrengen van zogenaamde litterbags in het najaar van 2013. Litterbags zijn zakjes gemaakt van gaas die een standaard hoeveelheid filterpapier (cellulose) bevatten. Deze zakjes zijn ingebracht net onder de wortelzone voor een periode van twee maanden. De resterende hoeveelheid cellulose na twee maanden is een maat voor de decompositiesnelheid van de bodemgemeenschap. Om een indicatie te krijgen hoeveel de verschillende groepen van de bodemgemeenschap bijdragen aan de afbraak van organisch materiaal zijn zakjes met twee verschillende maaswijdtes gaas gebruikt. In de fijnmazige (50 µm) zakjes kunnen alleen bacteriën en schimmels het filterpapier afbreken, in de grofmazige (2 mm met gaten van 8 mm) zakjes kan de hele bodemgemeenschap het filterpapier bereiken. Bij een hogere afbraak in de grofmazige zakjes stimuleert de bodemfauna de afbraakcapaciteit, bij een lagere afbraak is er een remmend effect. Per proefvlak zijn 3 fijnmazige en 3 grofmazige litterbags ingebracht.

De zakjes zijn na twee maanden opgegraven, schoongemaakt en gedroogd bij 105°C, waarna ze gewogen werden. Omdat door wassen het zand niet volledig van het papier gehaald kan worden is het overblijvende filterpapier verast bij 550°C om de fractie zand en filterpapier te kunnen scheiden. Als overgebleven hoeveelheid filterpapier werd het gewichtsverlies tijdens het verassen genomen. Om de afbraaksnelheid te berekenen werd de overgebleven hoeveelheid afgetrokken van het gewicht van het filterpapier voor het inbrengen in de bodem.

Voor de analyse zijn type litterbag, pH en de toevoeging van materiaal opgenomen als fixed factors in een main effects Analysis of Variance (ANOVA).

3.4.5 Vlinders, Libellen, Sprinkhanen en Loopkevers

In de onderzoeksperiode 2012 t/m 2014 is een inventarisatie van vlinders, libellen, sprinkhanen, loopkevers en andere bodem bewonende macrofauna uitgevoerd in het studiegebied van het Noordenveld. De eerste drie groepen werden onderzocht door De Vlinderstichting de loopkevers en overige ongewervelden werden onderzocht door de WBBS.

Het veldwerk van 2012 en 2013 werd uitgesteld vanwege een broedgeval van de kraanvogel in het werkgebied. Verstoring van deze, voor Nederland, zeldzame vogels moest worden voorkomen en daarom kon de inventarisatie in juli pas worden gestart. In 2014 broedde de kraanvogel eveneens in het gebied maar werd de vlinderinventarisatie met toestemming van Ronald Popken in mei gestart.

Dagvlinders en libellen

De methode voor beide groepen is vergelijkbaar. De inventarisatie werd lopend uitgevoerd in het studiegebied en in de directe omgeving. Ieder jaar werden de studieplots ten minste zes maal onderzocht in de periode van juni tot en met september. Plekken met een hoge potentie voor indicatieve soorten werden gelokaliseerd en onderzocht. De studie werd vanaf juli tot september uitgevoerd en alle soorten werden genoteerd met GPS-coördinaten. Voor de analyse zijn aanvullende gegevens gebruikt uit de Nationale Databank Flora en Fauna.

Het voorkomen en de overleving van vlinders hangt samen met een complexiteit aan factoren die invloed hebben op hun levenscyclus en leefomgeving. Specialisten zijn doorgaans honkvast en generalisten veel mobieler (Bops et al., 2006). Direct leefgebied voor dagvlinders ontstaat na afgraving pas na enkele jaren. Daarom is in dit project onderzocht hoe de vlindergemeenschap eruit ziet op de studieplots, het afgegraven deelgebied en de directe omgeving van het Noordenveld/Dwingelderveld. Uiteindelijke doelsoorten in dit project zijn Kommaavlinder en Heivlinder voor droge heide en Gentiaanblauwtje, Aardbeivlinder en Heideblauwtje voor natte heide. De aanwezigheid van deze soorten duiden op een intact en optimaal habitat.

Sprinkhanen

De inventarisatie van sprinkhanen werd van juli tot september uitgevoerd. De meeste soorten zijn gedetermineerd op geluid (een bat-detector werd soms gebruikt) of gevangen met een net. Het slepen met een net was voornamelijk om de doornsprinkhanen te inventariseren omdat deze geen geluid maken. Mogelijk gevangen exemplaren uit de bodemvallen (zie hieronder) werden meegenomen in de analyse. Ieder jaar werden de studieplots ten minste zes maal onderzocht in de periode van juni tot en met september. Daarnaast zijn aanvullende gegevens gebruikt uit de Nationale Databank Flora en Fauna.

Loopkevers en andere bodem bewonende macrofauna

In vier van de zes proefvlakken, vlak A, B (nat), D en F (droog) (Zie bijlage 1) zijn bodemvallen geplaatst om de over de grond bewegende macrofauna te vangen. In het centrum van ieder plot (9 per proefvlak) met verschillende behandeling werd een dergelijke bodem val in gedraaid, in het totaal 36 stuks. Een bodem val bestond uit een plastic beker (doorsnede 10,5 cm) met plastic ring aan de binnerrand, om te voorkomen dat gevangen dieren ontsnappen en een plastic dakje op sateprikkers als bescherming tegen regen. De bodem van de bekertjes waren gevuld met oplossing van 4% formaline als conservatief. Vanaf 2012 tot en met 2014 werden de vallen in 4 perioden van drie weken open gezet gedurende maart tot november. Alle gevangen fauna groter dan 2 mm is bewaard en voor zover mogelijk gedetermineerd tot op de soort, tot dusverre loopkevers en mieren. Om na te gaan welke behandelingen mogelijk effect hebben op de samenstelling van de loopkeverfauna is gebruik gemaakt van NMDS: non-metric multidimensional scaling, met Bray-curtis index voor dissimilariteit. De omgevingsvariabelen (behandelingen) zijn gecorreleerd aan de dissimilariteitsmatrix.



Heideblauwtjes

4. Bodemchemie

Vanaf de start van het experiment is de bodemchemie twee keer per jaar in kaart gebracht. In het voorjaar (april) en najaar (oktober) is de bodem in ieder proefvlak bemonsterd en is de bodem- pH, de concentratie uitwisselbare kationen, de concentratie voor planten beschikbaar fosfaat, de totale concentratie van elementen als zwavel, fosfaat, calcium, ijzer en aluminium gemeten en de C/N-ratio van het bodemmateriaal bepaald (alleen in het najaar). De resultaten van deze bodemchemische metingen zijn in dit hoofdstuk beschreven. De totale bodemchemische dataset is weergegeven in Bijlage 4.

Vanwege de opbouw van de bodemchemische dataset, een 3-jarige tijdserie met twee metingen per jaar, worden de data in dit hoofdstuk op een andere wijze gepresenteerd dan in de volgende hoofdstukken (H5 tm H8). Er is uitgezocht of er een significant effect van zowel de gradiënt in biota (controle, vers plant materiaal en plagsel) als de gradiënt in pH (verzuren, controle en bekalken) is gemeten. Wanneer er alleen een effect van de pH-behandelingen is waargenomen, zijn de biota-behandelingen gemiddeld, waardoor vervolgens negen in plaats van drie replica's ontstaan. De biota-behandeling is bij het presenteren van die specifieke parameter verder genegeerd. Hetzelfde geldt wanneer er wel een effect van de biota-behandeling werd waargenomen maar geen effect van de pH-behandeling.

4.1 Bodemchemie van de uitgangssituatie

4.1.1 Nutriënten

Direct nadat de locaties van de twee deelproeven zijn ontgrond, en de proefvlakken zijn uitgezet, zijn bodemmonsters verzameld (Figuur 4.1). Iedere proef bestaat uit drie blokken, voor de natte proeflocatie zijn dit de blokken A, B en C, voor de droge proeflocatie D, E en F. Voor het weergeven van de uitgangssituatie is het gemiddelde van elke blok met 9 proefvelden bepaald. Voor de precieze proefopzet zie paragraaf 3.1 en Bijlage 1. Per deelexperiment (natte of droge proeflocatie) is getoetst of er significante verschillen zijn tussen de drie blokken.

Figuur 4.1. Situatie van de proefvlakken van de droge proef (links) en de natte proef (rechts) bij aanvang in oktober 2011.

Figure 4.1. Dry (left) and wet (right) experimental site at the start of the experiment in October 2011.



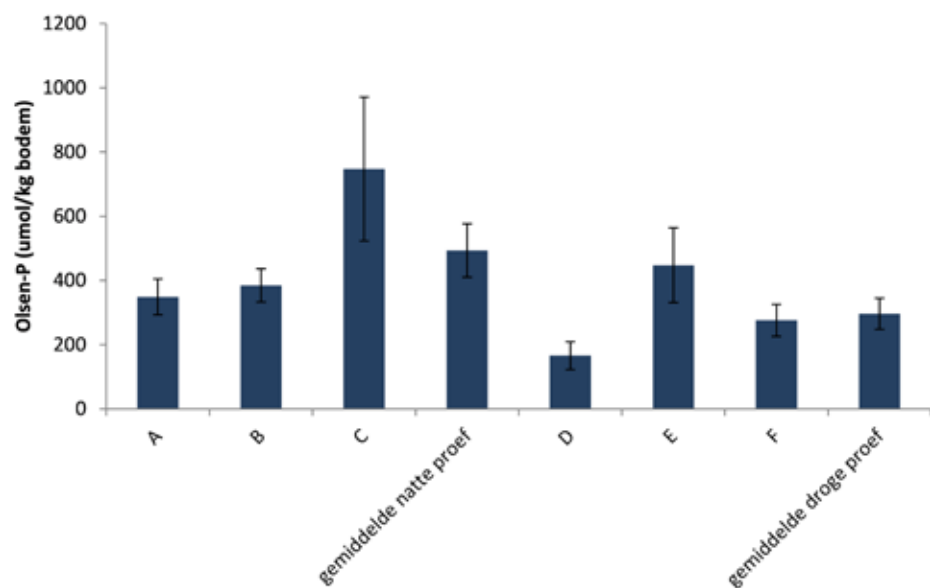


Vochtige heide, dicht in de buurt van de proefvlakken

In de natte proeflocatie werd bij aanvang van de proef een voor planten beschikbare fosfaatconcentratie (Olsen-P) gemeten van gemiddeld 494 $\mu\text{mol/kg}$ droge bodem ($n=27$) en in de droge proeflocatie van gemiddeld 296 $\mu\text{mol/l}$ bodem ($n=27$) (Figuur 4.2). Per deelexperiment zijn geen significante verschillen tussen de blokken gevonden. Wel is de variatie soms relatief hoog (voornamelijk in blok C en E). Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat er soms nog enkele centimeters van de bouwvoor zijn achtergebleven. De voor planten beschikbare fosfaatconcentratie, gemeten in de proeven, liggen aan de bovengrens van de range van waardes gemeten in goed ontwikkelde natte en droge heide in Nederland en Vlaanderen (De Graaf et al., 2009, Herr et al., 2011 en Database B-WARE).

Figuur 4.2. Gemiddelde voor planten beschikbare fosfaat (Olsen-P) concentratie (\pm standaardfout) gemeten bij aanvang van de proef in oktober 2011. De blokken A, B en C liggen in de natte heide proef en de blokken D, E en F in de droge heide proef.

Figure 4.2. Average Plant available phosphorus concentration (\pm Se error). The experimental blocs A, B and C are situated in the wet heathland experimental site, the blocs D, E and F in the dry sites.



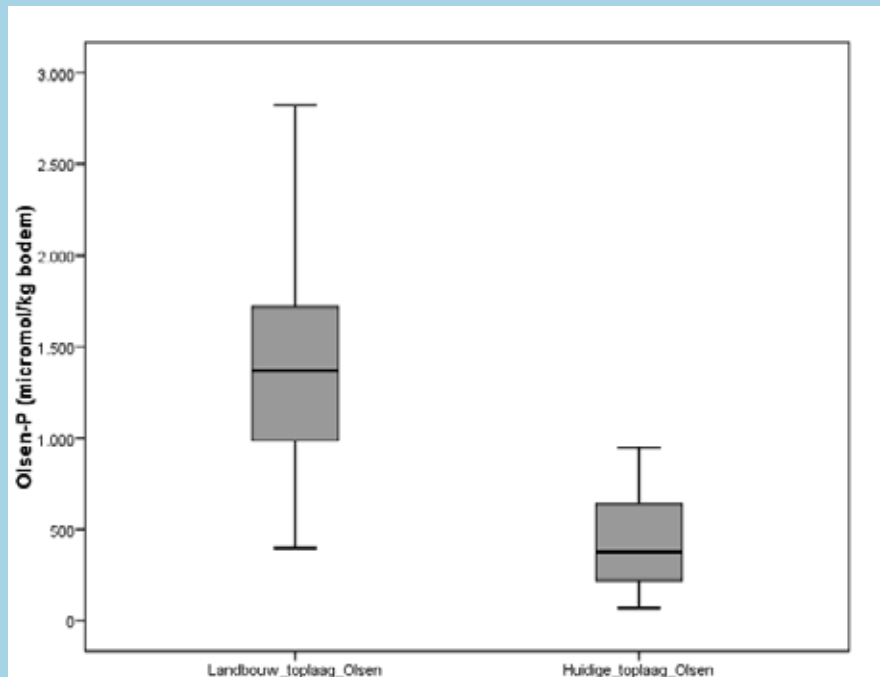
Box 1.

In 2008 is chemie van de bodem in de voormalige landbouwenclave “ het Noordenveld” in kaart gebracht door Onderzoekcentrum B-WARE (Weijters & Bobbink 2008). Vervolgens is, op basis van de diepte van het fosfaatfront, gecombineerd met gegevens over de historie, bodemopbouw en hydrologie, de voedselrijke bodemlaag in met name de lager gelegen delen afgevoerd in de periode 2010 tot 2013. In april 2013 is de toplaag van de bodem (0-10 cm) op 40 plekken in het Noordenveld opnieuw bemonsterd. Deze locaties komen (bij GPS-benadering) overeen met de boorpunten uit het vooronderzoek in 2008. Op deze wijze is het mogelijk een beeld te krijgen van de effectiviteit van de uitgevoerde ontgrondingsmaatregelen op de fosfaatstatus van de bodem.

De toplaag van de bodem bevatte in 2008, voor uitvoering van de maatregelen, gemiddeld 1391 μmol Olsen-P/kg bodem, terwijl dit na het ontgronden nog maar 442 μmol /kg bodem was (Figuur 4.B). Het afvoeren van de voedselrijke bodemlaag in het Noordenveld heeft daarmee voor een significante verlaging van de voor plantenbeschikbare hoeveelheid fosfaat geleid. Op deze wijze is een gunstige Ausgangssituatie voor de ontwikkeling van natte en droge heidevegetaties gecreëerd. Ook de concentraties beschikbaar stikstof zijn voldoende laag geworden (Figuur 4.3).

Figuur 4.B. Boxplot van de voor planten beschikbare concentratie fosfaat, gemeten in de toplaag van de bodem (0-10 cm) voor ontgronden in 2008 en na ontgronden in het Noordenveld. April 2013, n=40.

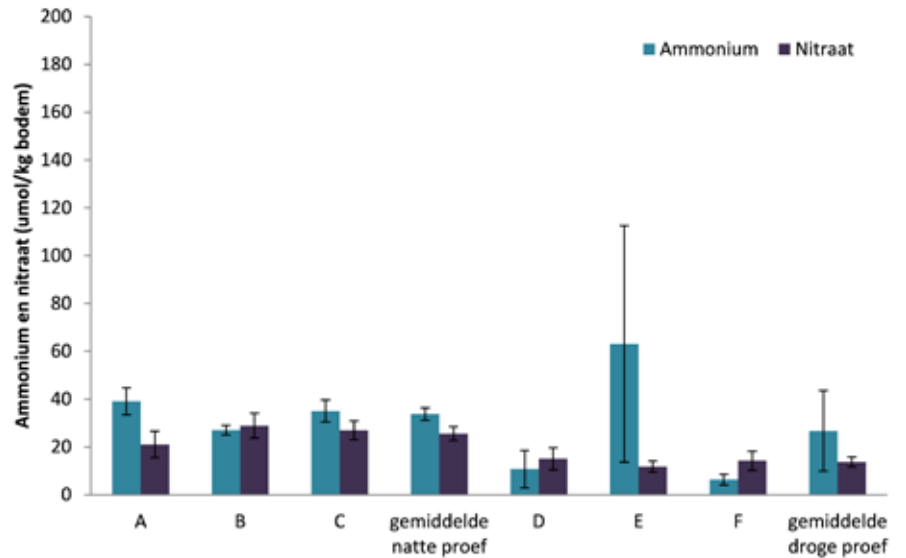
Figure 4.B. Boxplot of the plant available phosphorus (Olsen-P) concentration, measured in the top layer of the soil (0-10 cm) before restoration measures in 2008 and after topsoil removal in the Noordenveld. April 2013, n=40.



De concentratie beschikbaar stikstof, gemeten in het zoutextract als ammonium en nitraat, was bij aanvang van de proef in zowel de natte als droge proeflocatie zeer laag (Figuur 4.3). Per deelexperiment zijn geen significante verschillen tussen de blokken gevonden. In de natte proefvelden werd in oktober 2011 gemiddeld 34 μmol NH_4 /kg bodem (n=27) en 26 μmol NO_3 /kg bodem (n=27) gemeten. In de droge proefvelden was dit 27 μmol NH_4 /kg bodem en 14 μmol NO_3 /kg bodem. In natte- en droge heideterreinen in Nederland worden vaak waarden tussen de 100 en 200 μmol /kg bodem van zowel NH_4 als NO_3 gemeten (De Graaf *et al.*, 2009, database B-WARE). Deze lage stikstofconcentraties bij aanvang van de proef zijn dan ook zeker gunstig voor de ontwikkeling van soortenrijke natte en droge heidevegetaties.

Figuur 4.3. Gemiddelde voor planten beschikbare stikstofconcentratie (ammonium en nitraat) (\pm standaardfout) gemeten bij aanvang van de proef in oktober 2011. De blokken A, B en C liggen in de natte heide proef en de blokken D, E en F in de droge heide proef.

Figure 4.3. Average Plant available nitrogen (ammonium and nitrate) concentration (\pm Se error). The experimental blocs A, B and C are situated in the wet heathland experimental site, the blocs D, E and F in the dry sites.



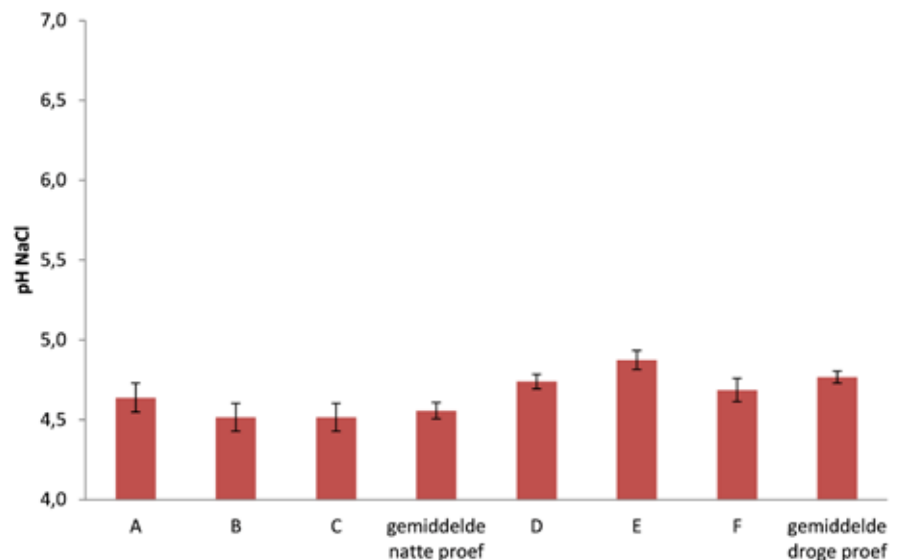
Buffering van de bodem

De pH –NaCl was bij aanvang van de proef in de natte heide proefvelden gemiddeld 4,56 en in de droge proefvelden iets hoger met 4,77 (Figuur 4.4). Per deelexperiment zijn geen significante verschillen tussen de blokken gevonden. In bestaande heideterreinen in Nederland en Vlaanderen worden pH waardes gemeten tussen de 3,5 en 4,5 in droge heide en 3,8 tot 5,5 in natte heide (Database B-Ware, de Graaf et al., 2009, Herr et al., 2011). De gemeten pH-waardes liggen bij aanvang van de proef in het bovenste deel van deze pH-range.

De concentratie uitwisselbare basische kationen (Ca+Mg+K) gemeten in het zoutextract bij aanvang van de proef was gemiddeld in de natte proeflocatie 10482 µeq/kg bodem en 10304 µeq/kg bodem in de droge proeflocatie (Figuur 4.5). Per deelexperiment zijn geen significante verschillen tussen de blokken gevonden. In de huidige goed ontwikkelde natte en droge heideterreinen in Nederland worden concentraties gemeten tussen de 750 en 20000 µeq/kg bodem in natte heide (gemiddeld 3851 µeq/kg bodem) en tussen de 500 en 8000 µeq/kg bodem in droge heide (gemiddeld 1527 µeq/kg bodem). De in de proefblokken gemeten waardes liggen dus binnen de range gemeten in bestaande terreinen, maar zijn aan de gebufferde kant vergeleken met bestaande heideterreinen.

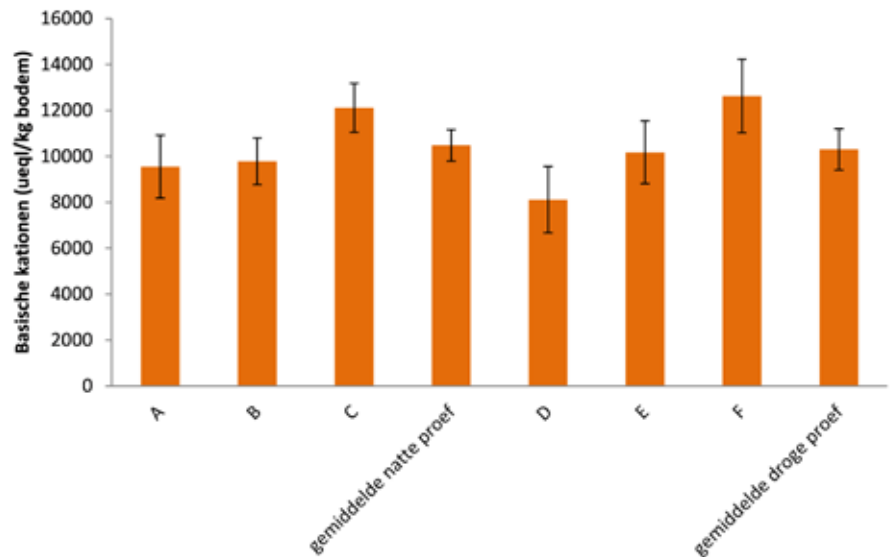
Figuur 4.4. Gemiddelde pH NaCl (\pm standaardfout) gemeten bij aanvang van de proef in oktober 2011. De blokken A, B en C liggen in de natte heide proef en de blokken D, E en F in de droge heide proef.

Figure 4.4. Average pH-NaCl (\pm Se error). The experimental blocs A, B and C are situated in the wet heathland experimental site, the blocs D, E and F in the dry sites.



Figuur 4.5. Gemiddelde concentratie uitwisselbare basische kationen (\pm standaardfout) gemeten bij aanvang van de proef in oktober 2011. De blokken A, B en C liggen in de natte heide proef en de blokken D, E en F in de droge heide proef.

Figure 4.5. Average concentration exchangeable basecations (\pm Se error). The experimental blocs A, B and C are situated in the wet heathland experimental site, the blocs D, E and F in the dry sites.



De basenverzadiging van de bodem is hoog bij aanvang van het experiment met een percentage van boven de 90% in zowel de natte als droge proeflocatie. Er zijn wederom geen significante verschillen gemeten tussen de blokken per proeflocatie. Door de zeer hoge basenverzadiging komt de CEC (Cation Exchange Capacity) vrijwel geheel overeen met de concentratie aan uitwisselbare basische kationen (Tabel 4.1).

	Basenverzadiging (%)		CEC (ueq/kg bodem)		Basische kationen (ueq/kg)	
	Gemiddelde	±Standaardfout	Gemiddelde	±Standaardfout	Gemiddelde	±Standaardfout
A	90,51	2,06	10434	1434	9546	1372
B	89,37	2,19	10998	1208	9785	1008
C	92,17	1,18	13116	1202	12116	1065
Gemiddelde natte proeflocatie	90,69	1,06	11516	748	10482	682
D	95,22	1,00	8416	1436	8111	1445
E	95,83	0,86	10466	1373	10177	1360
F	97,16	0,48	12964	1663	12624	1604
Gemiddelde droge proeflocatie	96,07	0,48	10616	906	10304	894

Tabel 4.1. Gemiddelde basenverzadiging, CEC en concentratie basische kationen (\pm standaardfout) gemeten bij aanvang van de proef in oktober 2011. De blokken A, B en C liggen in de natte heide proef en de blokken D, E en F in de droge heide proef.

Table 4.1. Average percentage of base saturation, CEC and concentration exchangeable basecations (\pm Se error). The experimental blocs A, B and C are situated in the wet heathland experimental site, the blocs D, E and F in the dry sites.

4.2 Bodemchemie 2011-2014

4.2.1 Buffering van de bodem

Bodem-pH

Droge locatie

Het beïnvloeden van de buffering van de bodem via bekalking of toediening van elementair zwavel (“verzuring”), heeft geleid tot een gradiënt in bodem-pH. Het effect van de pH-behandelingen is in de droge proefvelden significant, zowel voor de pH gemeten in het waterextract (Figuur 4.6) als in het zoutextract ($p < 0,05$), waarbij zowel het verzuren als bekalken tot significante verschillen hebben geleid. De gemiddelde ($n=9$) pH-H₂O was bij aanvang van de proef 5,5, en is in de bekalkte proefvlakken geleidelijk gestegen tot waardes rond de 6,5 in het najaar van 2012 en voorjaar van 2013. Daarna is de pH in de bekalkte proefvlakken weer iets gedaald tot 5,8 in het najaar van 2014. Hetzelfde patroon is zichtbaar in de controleproefvlakken, waarbij de pH in het najaar van 2012 en voorjaar van 2013 stijgt tot waardes rond de 6, en daarna weer daalt tot 5,7 in het najaar van 2014. Dit zijn relatief hoge waardes vergeleken met bestaande goed ontwikkelde heide. De pH gemeten in proefvlakken waar zwavel is opgebracht blijft nagenoeg constant vanaf de start van de proef tot het voorjaar van 2014 met waardes rond de 5,5, maar daalt plotseling scherp naar een pH van 4,9 in het najaar van 2014. Deze laatste waarde valt binnen de pH-range gemeten in bestaande droge heide terreinen in Nederland en Vlaanderen. Het toedienen van plagsel of maaisel heeft in de droge proefvlakken niet tot significante verschillen in de bodem-pH geleid, gemeten in zowel het water- als zoutextract.

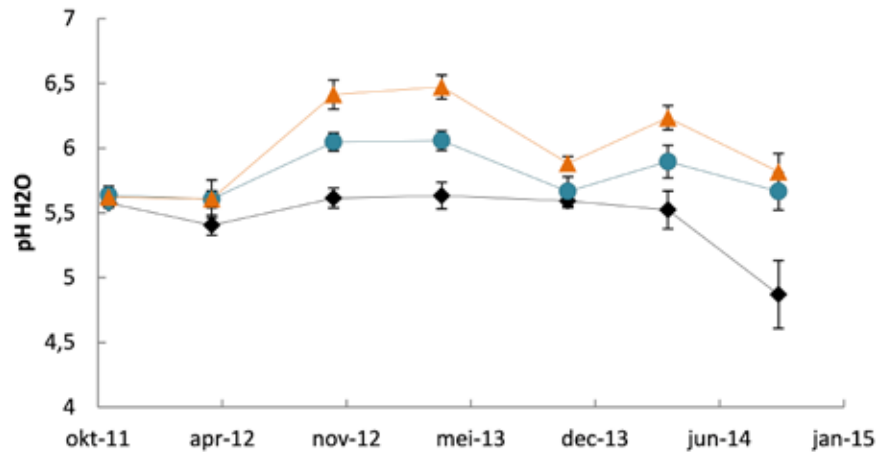
Natte locatie

Ook in de natte proefvlakken is de pH-behandeling significant ($p < 0,05$) in zowel het water- als het zoutextract, maar het lijkt er op dat de effecten van de behandelingen in het najaar van 2014 bijna helemaal verdwenen zijn (Figuur 4.6). Ook in de natte proeflocatie lag de pH-H₂O bij aanvang rond de 5,5, waarna deze steeg tot waardes rond de 6 in de bekalkte proefvelden van het najaar van 2012 tot het voorjaar van 2014. In de controle-proefvlakken blijft de pH rond de 5,5 schommelen, van aanvang van de proef tot het voorjaar van 2014. Ook de proefvlakken waar zwavel is opgebracht laten een zelfde patroon zien, waarbij de pH net iets lager is dan in de controle proefvlakken. In het najaar van 2014 daalt de pH in alle proefvlakken, naar 5,0 in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht, 4,9 in de controle proefvlakken en 5,2 in de bekalkte proefvlakken. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door de vernatting van de proefvelden sinds oktober 2013. Hierdoor zijn er nauwelijks meer verschillen tussen de behandelingen aanwezig. De daling in de pH gemeten in het najaar van 2014 ten opzichte van het voorjaar van 2014 kan veroorzaakt zijn door droogval van de proefvlakken in het najaar (bij bemonstering waren de proefvlakken droog). Na droogval kan de bodem weer oxideren, waarbij zuur vrijkomt.

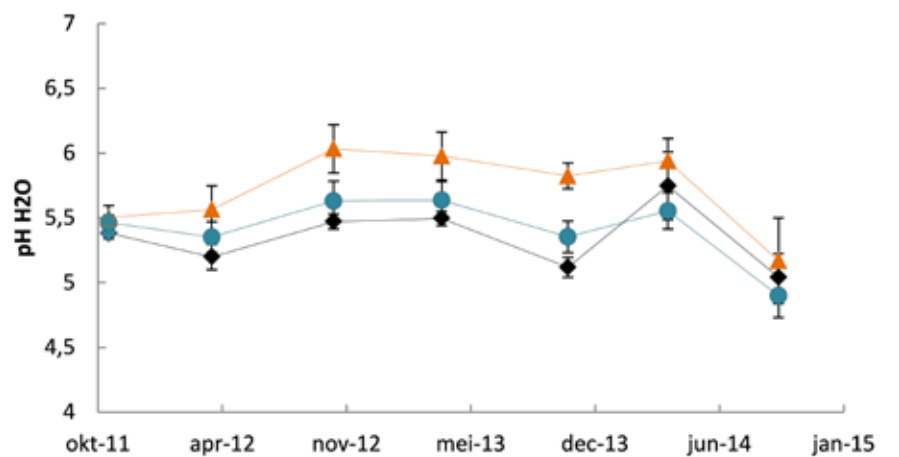


Stekelbrem in het Noordenveld

Droge proef



Natte proef



Figuur 4.6. pH gemeten in het waterextract in de droge proefvelden (bovenste figuur) en de natte proefvelden (onderste figuur) in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht (zwarte ruiten), de controle proefvlakken (blauwe cirkels) en de bekalkte proefvlakken (oranje driehoeken). \pm standaard fout, $n=9$.

Figure 4.6. pH-H₂O in the dry experimental site (top) and wet experimental site (bottom) measured in the acidified plots (black diamonds), control (blue circles) and limed plots (orange triangles). $n=9$, \pm Standard error.

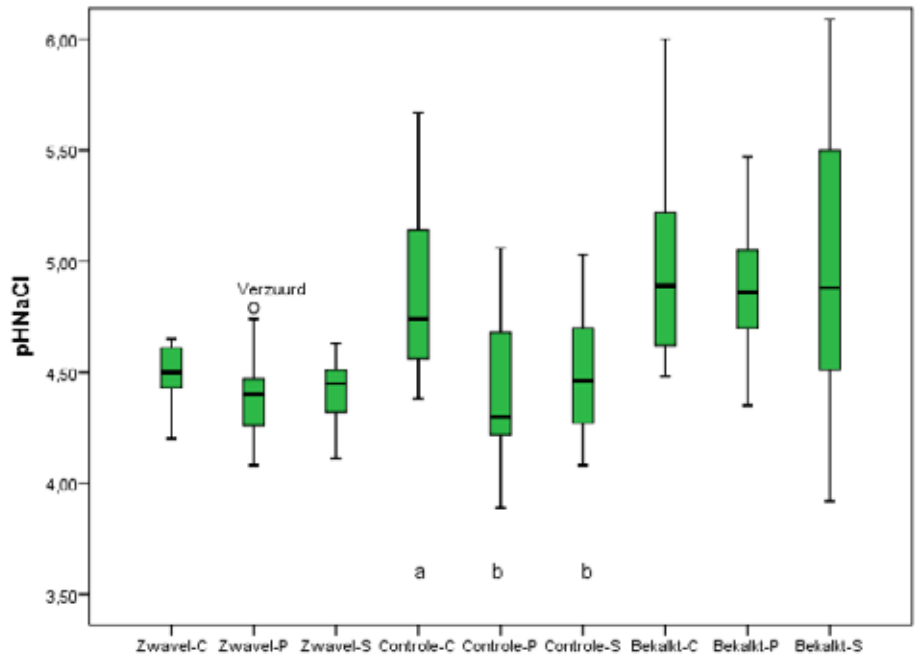
Het opbrengen van bodem- en vers plantmateriaal op de natte proefvelden heeft tevens tot een significant verschil in pH gemeten in het zoutextract geleid t.o.v. de controle behandeling ($p < 0,05$) (Figuur 4.7). De pH gemeten in de proefvlakken waar vers maaisel of plagsel op is aangebracht is duidelijk lager dan in de controle proefvlakken. In de proefvlakken waar de pH niet is gemanipuleerd is een significant ($p < 0,05$) lagere pH-NaCl gemeten in de proefvlakken waar vers plantmateriaal of plagsel is opgebracht vergeleken met de proefvlakken waar geen materiaal is toegediend. Dit kan mogelijk veroorzaakt worden doordat bij de afbraak van het opgebrachte materiaal organische zuren worden geproduceerd of vrijkomen.



Proefvlakken met jonge struikheide

Figuur 4.7. Boxplot van de pH gemeten in de natte proefvelden in het zoutextract tussen het najaar van 2012 en het najaar van 2013. C=Controle, P=Plant materiaal en S=Plagsel (sods). Letters geven homogene groepen $n=3$

Figure 4.7. Boxplot of the pH-NaCl in the wet heathland experiment from autumn of 2012 until spring 2013. C=Control, P=Plant material and S=Sods. Zwavel=Acidified, Controle=Control and Bekalkt=Limed.



Basische kationen

Het toedienen van zwavel heeft (net) geen significant effect op de concentratie basische kationen in de bodem opgeleverd ($p=0.057$ in de droge heide proef en $p=0.117$ in de natte proef t.o.v. de controle behandeling), het bekalken heeft wel geleid tot significant hogere concentraties basische kationen in de bodem ($P<0.05$) (Figuur 4.8). Er werden geen significante verschillen gemeten door de additie van maaisel of plagsel op de concentratie basische kationen (Bijlage 4).

Droge locatie

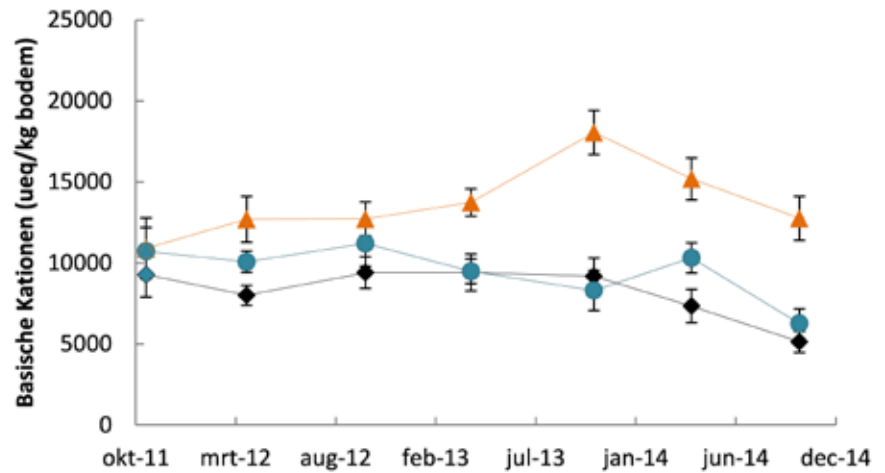
Bij aanvang van de proef is de concentratie basische kationen gemeten in de droge proeflocatie rond de $10000 \mu\text{eq/kg}$ bodem. In de bekalkte proefvlakken stijgt de concentratie geleidelijk tot gemiddeld $18000 \mu\text{eq/kg}$ bodem in het najaar van 2013. In 2014 daalt de concentratie uitwisselbare basische kationen weer tot $12758 \mu\text{eq/kg}$ bodem in het najaar van 2014. In de proefvlakken waar zwavel is opgebracht en de controle proefvlakken daalt de concentratie basische kationen geleidelijk van $10000 \mu\text{eq/kg}$ bodem bij aanvang van de proef tot $5139 \mu\text{eq/kg}$ bodem in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht en $6262 \mu\text{eq/kg}$ bodem in de controle proefvlakken. In de droge heide in het Dwingelderveld werden in 2013 tussen de 1256 en $3919 \mu\text{eq}$ basische kationen/kg bodem gemeten. In goed ontwikkelde droge heide terreinen in Nederland en Vlaanderen worden tegenwoordig concentraties tussen de 75 en $3500 \mu\text{eq}$ basische kationen/kg bodem gemeten (Database B-Ware, de Graaf *et al.*, 2009, Herr *et al.*, 2011). In de droge heide proef worden nog bijna twee keer zoveel basische kationen gemeten dan in bestaande droge heide terreinen.

Natte locatie

Ook in de natte proeflocatie werd bij aanvang van de proef een concentratie uitwisselbare basische kationen van rond de $10000 \mu\text{eq/kg}$ bodem gemeten. In zowel de controle als bekalkte proefvlakken stijgt de concentratie geleidelijk tot maximaal $16900 \mu\text{eq/kg}$ bodem in de controle en $21500 \mu\text{eq/kg}$ bodem in de bekalkte proefvelden in het voorjaar van 2014. Daarna daalt de concentratie in het najaar van 2014 tot $11471 \mu\text{eq/kg}$ bodem in de controle behandeling en $14929 \mu\text{eq/kg}$ bodem in de bekalkte proefvlakken. De concentratie basische kationen in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht stijgt ook van $10000 \mu\text{eq/kg}$ bodem bij aanvang van de proef tot maximaal $13300 \mu\text{eq/kg}$ bodem in het voorjaar van 2014. Deze stijging is veel minder sterk dan in de bekalkte en controle proefvlakken. In het najaar van 2014 werd in de proefvlakken met zwavel een concentratie basische kationen

gemeten van 11733 $\mu\text{eq/kg}$ bodem, nagenoeg gelijk als in de controle proefvlakken. In de bestaande natte heide in het Dwingelderveld werden in 2013 tussen de 4657 en 17609 μeq basische kationen/kg bodem gemeten, waarbij de concentratie van 17609 μeq werd veroorzaakt door een extreem hoge magnesium concentratie. In goed ontwikkelde natte heide terreinen in Nederland en Vlaanderen worden normaal gesproken concentraties tussen de 200 en 8000 $\mu\text{eq/kg}$ bodem gemeten (Database B-Ware, de Graaf et al., 2009, Herr et al., 2011). De natte heide proefvelden zijn beter gebufferd dan de gemiddelde natte heide.

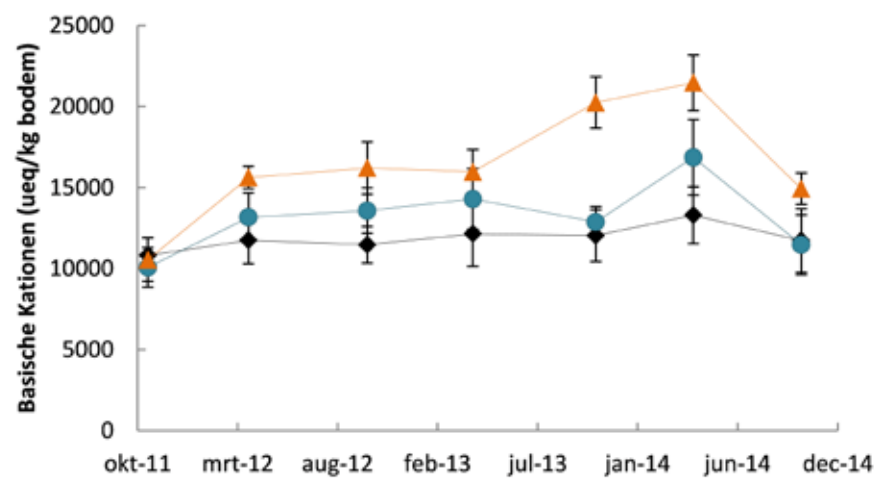
Droge proef



Figuur 4.8. Concentratie uitwisselbare basische kationen (Ca+Mg+K) gemeten in het waterextract in de droge proefvelden (bovenste figuur) en de natte proefvelden (onderste figuur) in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht (zwarte ruiten), de controle proefvlakken (blauwe cirkels) en de bekalkte proefvlakken (oranje driehoeken). \pm standaard fout, n=9.

Figure 4.8. Concentration exchangeable base cations (Ca+Mg+K) in the dry experimental site (top) and wet experimental site (bottom) measured in the acidified plots (black diamonds), control (blue circles) and limed plots (orange triangles). n=9, \pm Standard error.

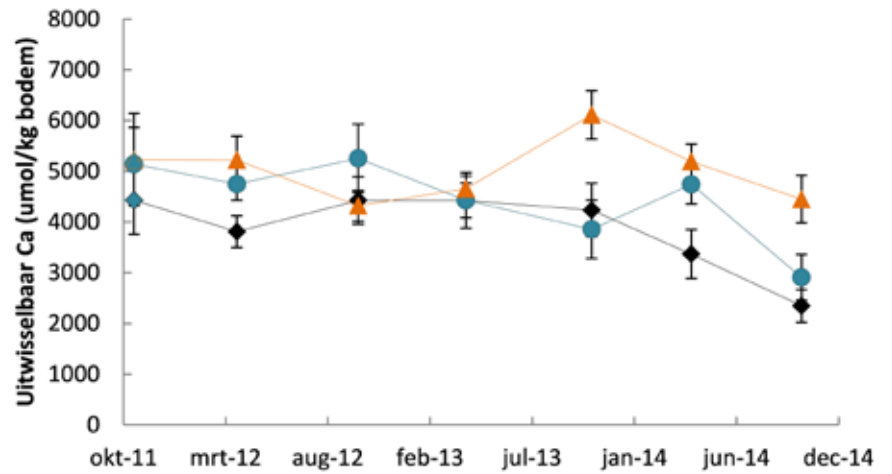
Natte proef



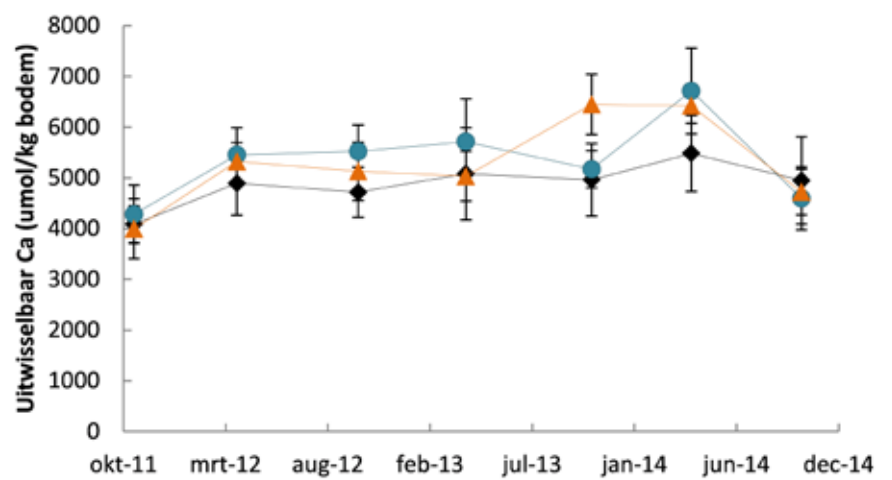
Het bekalken van de bodem heeft in de droge proef een significant effect op de concentratie uitwisselbaar calcium, in de natte heide proef was dit effect niet significant (Figuur 4.9). Daarbij blijkt de concentratie uitwisselbaar calcium gemeten in het zoutextract overeen te komen met de concentraties gemeten in het waterextract. Dit betekent dat het in het zoutextract gemeten calcium (nog) niet gebonden is aan het bodemcomplex maar opgelost is in het bodemwater. De stijging in de concentratie basische kationen wordt in zowel de natte als de droge proef voor een groot deel veroorzaakt door een toename in de concentratie uitwisselbaar magnesium (Figuur 4.10). Het opgebrachte Dolokal bestaat voor 20% uit magnesium. Het is hierbij opvallend dat het opgebrachte magnesium al wél aan het bodemcomplex bindt, en calcium (nog) niet.

Verder blijkt er bij zowel de natte als droge heide proef een significant effect van tijd op te treden waarbij de concentratie basische kationen in de natte proef stijgt in de tijd, maar weer daalt in oktober 2014, en in de droge proef geleidelijk maar wel continue afneemt in de tijd. Het lijkt er daarbij op dat er een verzurend proces plaatsvindt in met name de droge heide proef.

Droge proef



Natte proef



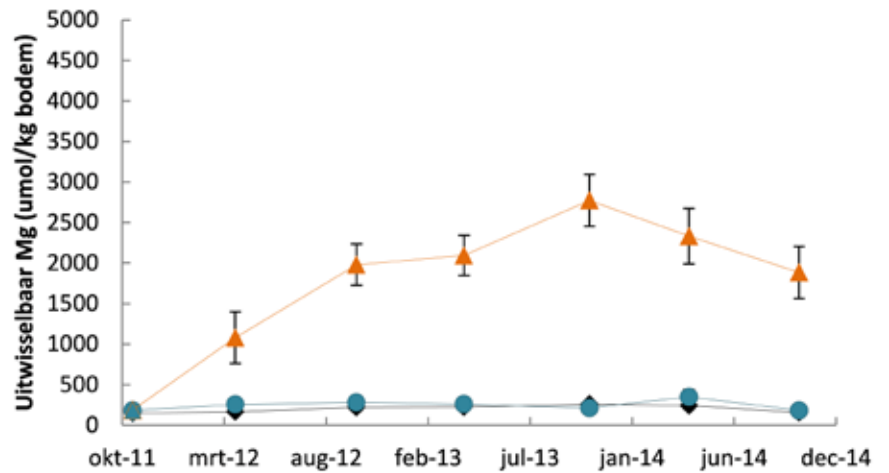
Figuur 4.9. Concentratie uitwisselbaar calcium gemeten in het waterextract in de droge proefvelden (bovenste figuur) en de natte proefvelden (onderste figuur) in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht (zwarte ruiten), de controle proefvlakken (blauwe cirkels) en de bekalkte proefvlakken (oranje driehoeken). \pm standaard fout, $n=9$.

Figure 4.9. Concentration exchangeable calcium in the dry experimental site (top) and wet experimental site (bottom) measured in the acidified plots (black diamonds), control (blue circles) and limed plots (orange triangles). $n=9$, \pm Standard error.

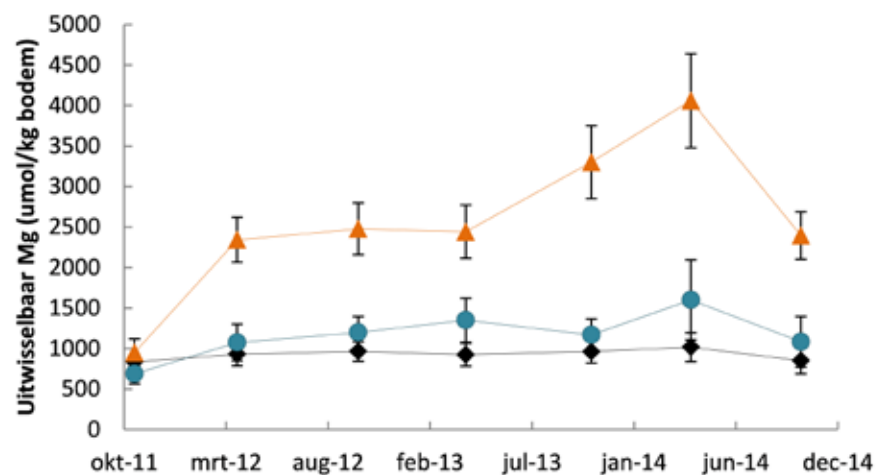


Hondsviooltje

Droge proef



Natte proef

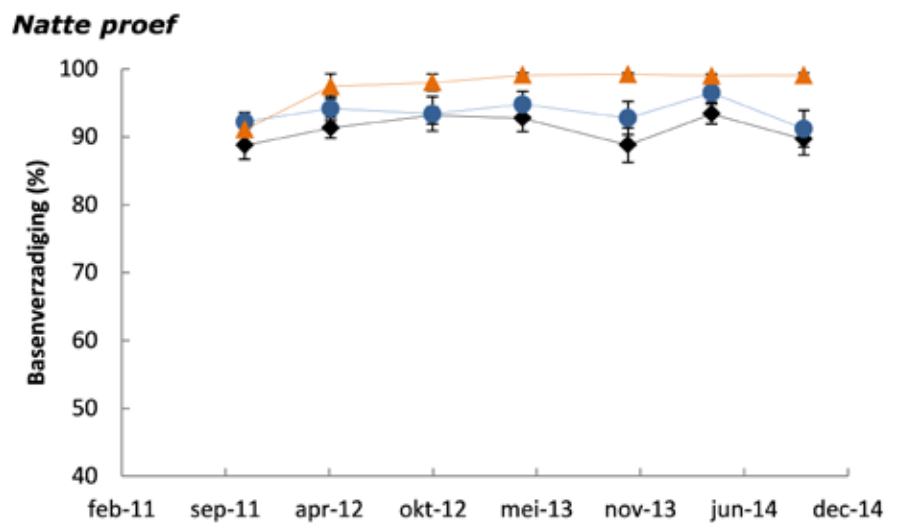
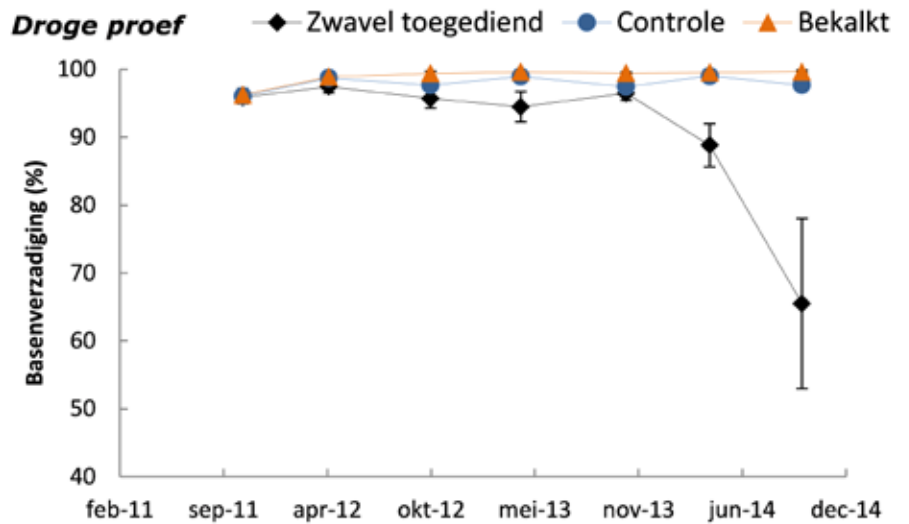


Figuur 4.10. Concentratie uitwisselbaar magnesium gemeten in het waterextract in de droge proefvelden (bovenste figuur) en de natte proefvelden (onderste figuur) in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht (zwarte ruiten), de controle proefvlakken (blauwe cirkels) en de bekalkte proefvlakken (oranje driehoeken). \pm standaard fout, $n=9$.

Figure 4.10. Concentration exchangeable magnesium in the dry experimental site (top) and wet experimental site (bottom) measured in the acidified plots (black diamonds), control (blue circles) and limed plots (orange triangles). $n=9$, \pm Standard error.

De basenverzadiging is in zowel de natte als de droge proefvelden tijdens de eerste drie jaar van het experiment hoog (>90%) en zowel in de droge als natte proef heeft de pH-behandeling tot significante verschillen geleid ($p<0,05$). Bij de meting in oktober 2014 daalt de basenverzadiging gemeten in de verzuurde proefvlakken van de droge heide proef ineens van 89% naar 66% (Figuur 4.11).

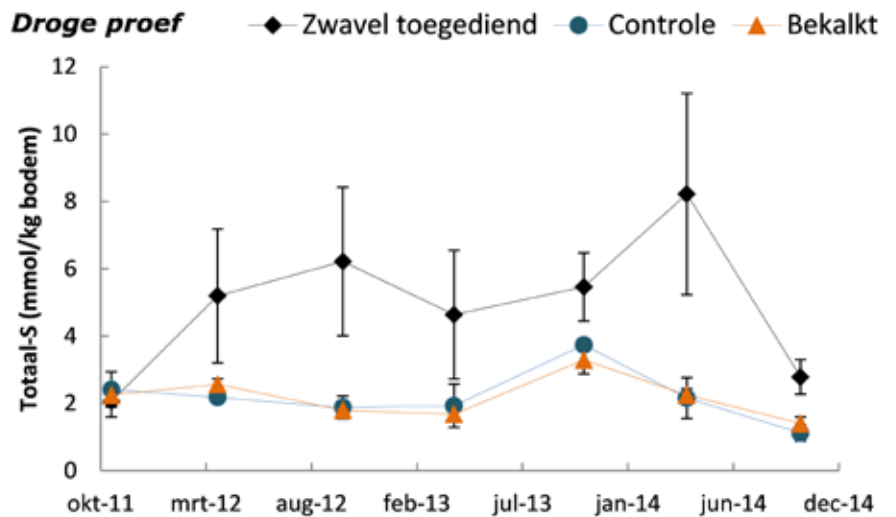




Figuur 4.11. Basenverzadiging gemeten in de droge proefvelden (bovenste figuur) en de natte proefvelden (onderste figuur) in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht (zwarte ruiten), de controle proefvlakken (blauwe cirkels) en de bekalkte proefvlakken (oranje driehoeken). \pm standaard fout, $n=9$.

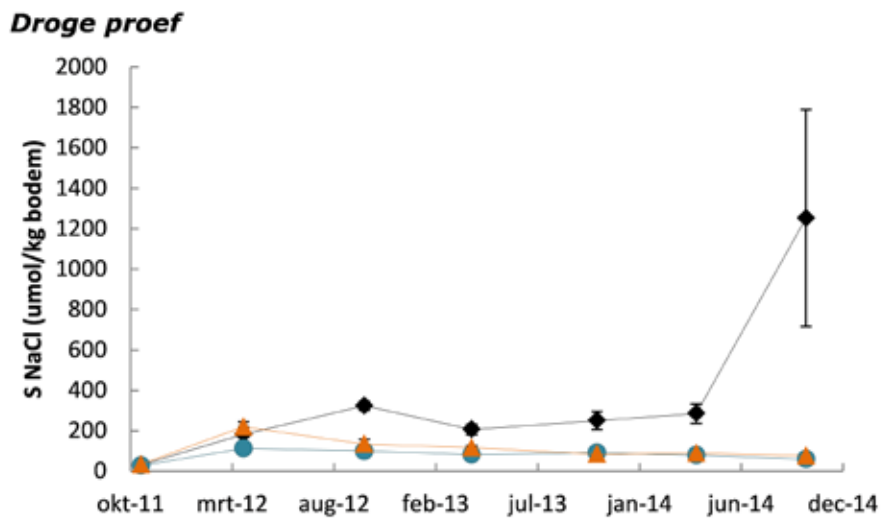
Figure 4.11. Base saturation in the dry experimental site (top) and wet experimental site (bottom) measured in the acidified plots (black diamonds), control (blue circles) and limed plots (orange triangles). $n=9$, \pm Standard error.

In het najaar van 2014 lijkt de opgebrachte zwavel in de droge proefvlakken in oplossing te zijn gegaan (Figuur 4.12). De concentraties totaal zwavel in de bodem blijven, na opbrengen van het zwavel, variëren tussen de 4 en 8 mmol/kg bodem. In het najaar van 2014 daalt de totale concentratie zwavel gemeten in de bodem echter sterk tot concentraties rond de 2 mmol/kg bodem, de zelfde concentratie als bij aanvang van het experiment. Tegelijkertijd is te zien dat de concentratie opgelost zwavel (gemeten in het zoutextract) in het najaar van 2014 sterk stijgt. Bij de omzetting van het elementaire zwavel tot SO_4^{2-} wordt het geoxideerd, hierbij worden o.a. protonen (“zuur”) gevormd. Deze oxidatie van het totale zwavel en de daarbij vrijgekomen protonen zien we terug in de daling in de pH, concentratie basische kationen en basenverzadiging in de droge proefvelden. Dit komt overeen met een studie in Engeland waar een voormalig agrarisch grasland werd diepgeploegd en behandeld met 1,25 ton S per hectare in granulaatvorm. Hier stabiliseerde de bodem pH 2 jaar na het opbrengen van de zwavel. Echter, de waargenomen daling was in Engeland veel groter (van pH 7 naar pH 3,4) dan in het experiment in het Dwingelderveld (Putwain et al., 2007). Hoe de bodem pH in de droge proefvlakken van het Dwingelderveld verder zal ontwikkelen en of deze nog verder zal dalen of zal stabiliseren rond de in 2014 gemeten pH-waarde kan alleen beantwoord worden door ook in de toekomst de bodem-pH te blijven monitoren. In de natte proefvelden zien we dit effect minder duidelijk optreden (bijlage 4), waarschijnlijk doordat de behandelingen hier in het najaar van 2014 door elkaar zijn gaan lopen.



Figuur 4.12. Totaal zwavel (bovenste figuur) en uitwisselbaar zwavel (onderste figuur) gemeten in de droge proef in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht (zwarte ruiten), de controle proefvlakken (blauwe cirkels) en de bekalkte proefvlakken (oranje driehoeken). \pm standaard fout, $n=9$.

Figure 4.12. Elementary S (top) and exchangeable S (bottom) in the dry experimental site, measured in the acidified plots (black diamonds), control (blue circles) and limed plots (orange triangles). $n=9$, \pm Standard error.

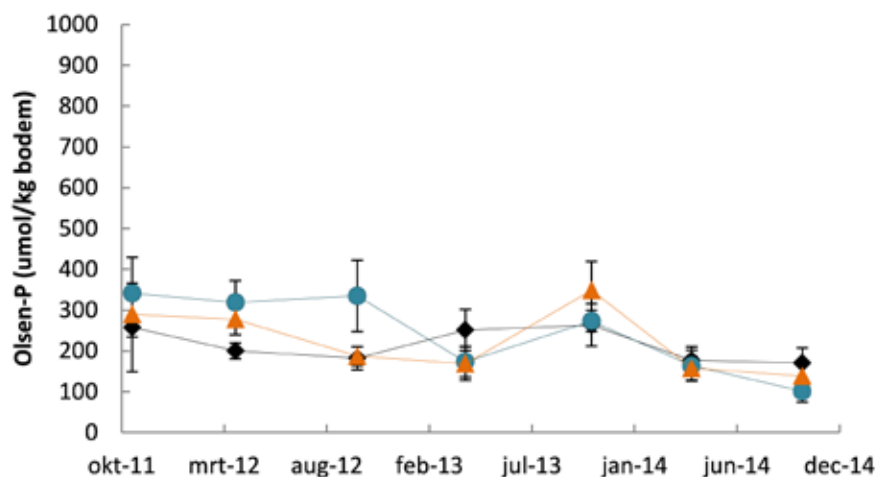


4.2.2 Voedselrijkdom van de bodem

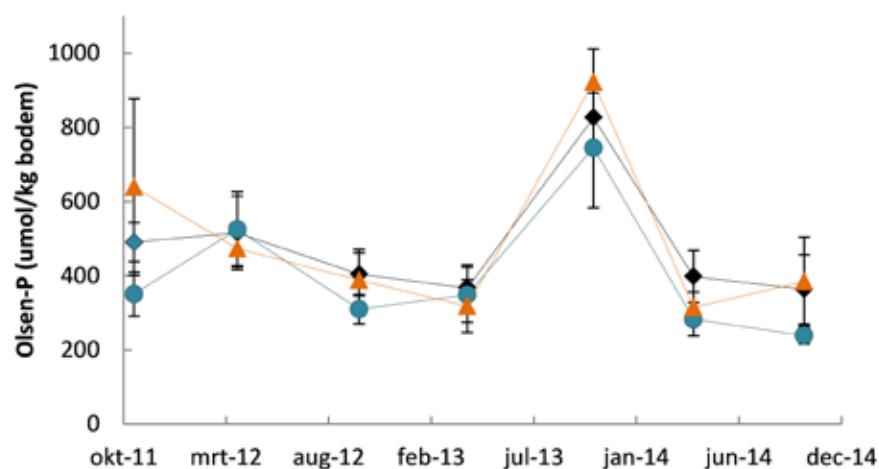
Zowel de natte als de droge proefvelden zijn bij aanvang van het experiment voldoende voedselarm met Olsen-P concentraties onder de $600 \mu\text{mol/kg}$ bodem (Figuur 4.13). De concentratie voor planten beschikbaar fosfaat (Olsen-P) is in het najaar van 2013 echter in de natte heide-proefvelden verhoogd van concentraties rond de $400 \mu\text{mol/kg}$ bodem tot concentraties rond de $800 \mu\text{mol/kg}$ bodem (Figuur 4.13).



Droge proef



Natte proef



Figuur 4.13. Olsen-P concentratie in de droge proefvelden (bovenste figuur) en de natte proefvelden (onderste figuur) in de proefvlakken waar zwavel is opgebracht (zwarte ruiten), de controle proefvlakken (blauwe cirkels) en de bekalkte proefvlakken (oranje driehoeken). \pm standaard fout, $n=9$.

Figure 4.13. Plant available phosphorus (Olsen-P) in the dry experimental site (top) and wet experimental site (bottom) measured in the acidified plots (black diamonds), control (blue circles) and limed plots (orange triangles). $n=9$, \pm Standard error.

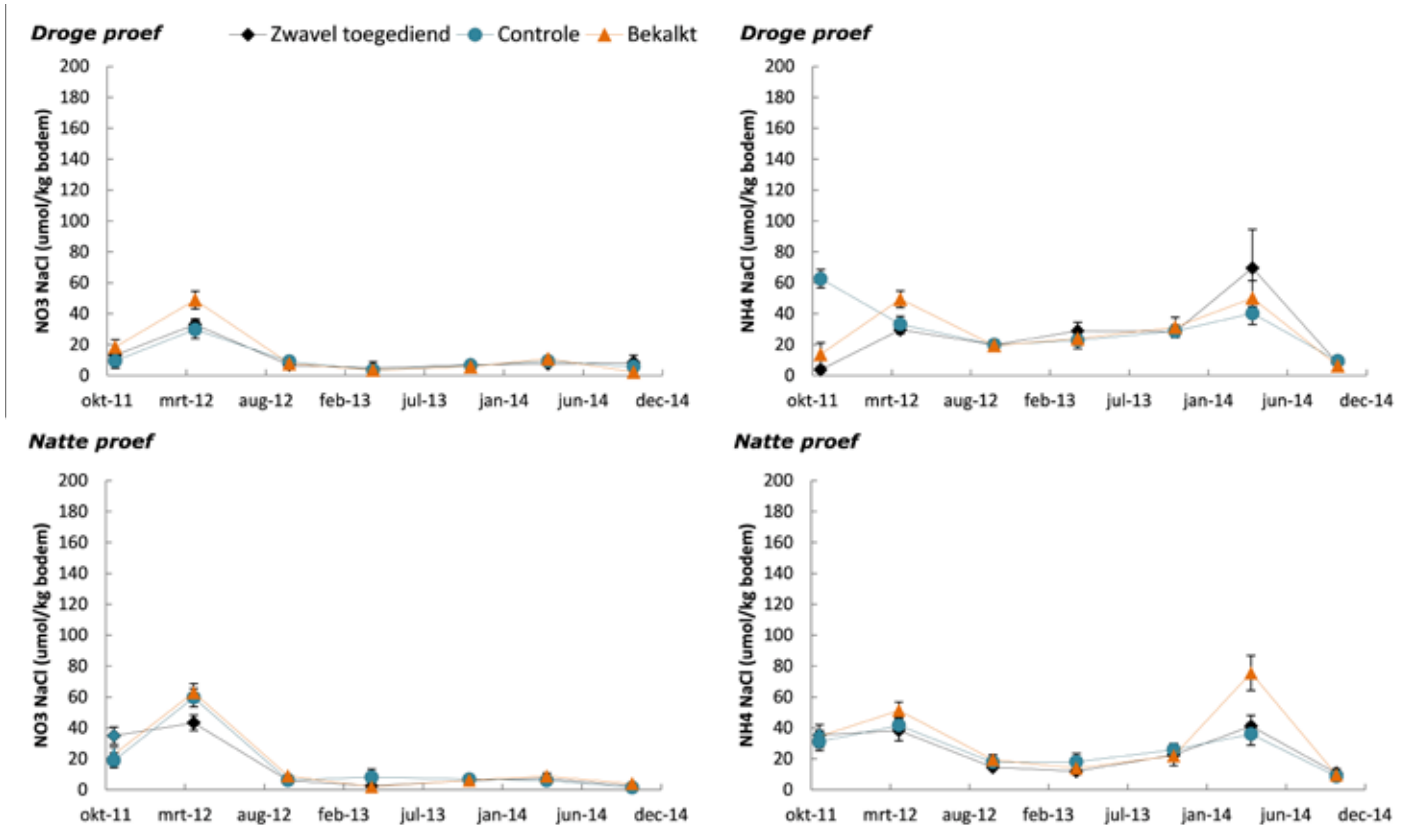
Oorzaak kan de mobilisatie van fosfaat zijn veroorzaakt door de zeer natte situatie van de proefvelden in het najaar van 2013 (Figuur 4.14). Deze verhoogde concentraties zijn echter van tijdelijke aard want in 2014 zijn de Olsen-P concentraties weer terug op het niveau van voor het najaar van 2013. Er is geen enkel effect van de behandelingen gemeten in de Olsen-P concentraties gemeten in de natte- en droge proefvelden. Wel is er een significant tijdseffect in de Olsen-P concentraties gemeten in zowel de droge proefvelden als de natte proefvelden. In de droge proefvelden was de Olsen-P concentratie bij aanvang van het experiment tussen de 250 en 350 $\mu\text{mol/kg}$ bodem, deze is gedaald tot concentraties tussen de 100 en 150 $\mu\text{mol/kg}$ bodem in oktober 2014. In de natte heide proef zijn de Olsen-P concentraties, met uitzondering van de piek in het najaar van 2013, gedaald van concentraties tussen de 350 en 650 $\mu\text{mol/kg}$ bodem bij aanvang tot concentraties variërend van 250 tot 380 $\mu\text{mol/kg}$ bodem in het najaar van 2014. Het bij de vernatting uit de bodem vrijgekomen fosfaat is waarschijnlijk in de waterlaag terecht gekomen, en deels opgenomen door algen (er is FLAB waargenomen). Daarnaast kan een deel van het fosfaat zijn opgenomen door de moslaag.

Het opbrengen van maaisel en plagsel of het bekalken hebben niet geleid tot een toename in de voor planten beschikbare concentratie fosfaat.

< Figuur 4.14. Beeld van de natte proefvelden op 18-11-2013.

< Figure 4.14. Situation of the wet experimental site at 18-11-2013.

De concentratie ammonium en nitraat in de bodem van zowel de droge als de natte heideproef blijft over de gehele looptijd van het experiment laag tot zeer laag (<100 $\mu\text{mol/kg}$ bodem, Figuur 4.15). Bij zowel de natte als droge heideproef treedt er in april 2012 een lichte stijging in de concentratie ammonium en nitraat op. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door versnelde mineralisatie van organisch materiaal dat na het afvoeren van de bodem aan het oppervlak is gekomen. Deze piek verdwijnt weer in de daaropvolgende metingen. In april 2014 is in zowel de natte als droge heideproef een lichte stijging in de concentratie ammonium waargenomen van 20 naar maximaal 60 $\mu\text{mol/kg}$ droge bodem in de droge en natte proef.



Figuur 4.15. Concentratie nitraat (links) en ammonium (rechts) gemeten in de droge heide proef (bovenste figuren) en natte heide proef (onderste figuren) in de bezwavelde proefvlakken (zwarte ruiten), de controle proefvlakken (blauwe cirkels) en de bekalkte proefvlakken (oranje driehoeken). Foutbalken zijn \pm standaard fout, $n=9$.

Figure 4.15. Concentration nitrate (left) and ammonium (right) in the dry (top) and wet (bottom) experiment. Measured in the acidified plots (black diamonds), control (blue circles) and limed plots (orange triangles). $n=9$, \pm Standard error.

De behandelingen hebben geen significant effect op de C/N ratio's gemeten in de bodem van zowel de natte als de droge heide proef (Tabel 4.2). De C/N ratio's gemeten in de droge heide proef variëren van 20 tot 22 bij aanvang van de proef en liggen in het najaar van 2014 tussen de 14 en 16. Deze daling wordt voornamelijk veroorzaakt door een daling in het percentage C in de bodem in oktober 2014. In de natte heide proef variëren de C/N ratio's van 23 tot 25 bij aanvang van de proef tot 21 en 22 in het najaar van 2014. Bij zowel de natte als de droge heide proef treedt er een significante daling in de C/N ratio's op in de tijd. In de monsters genomen in de bestaande heide in het Dwingelderveld werd in de droge heide een C/N ratio van 24,9 gemeten en in de natte heide van 27,22. In de proefvelden zijn de C/N ratio's lager dan gemeten in de bestaande heide. Het % C in de bestaande droge heide was in oktober 2013 4,3% tegen percentages rond de 1% in de proef.

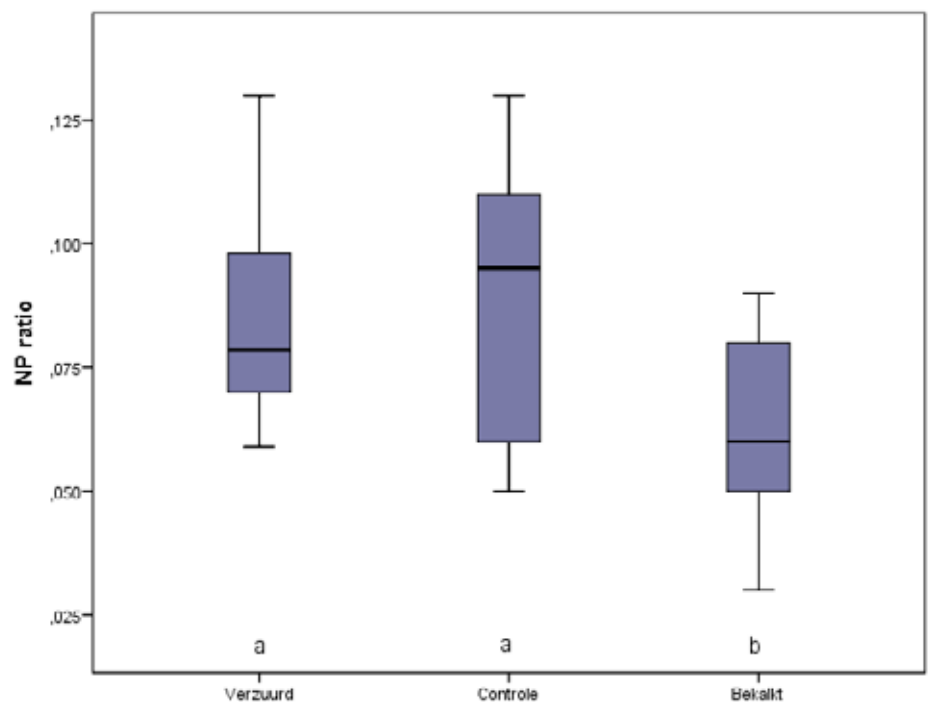
		% C		% N		% P		C/N		N/P	
		gemiddelde	St fout	gemiddelde	St fout			gemiddelde	St fout	gemiddelde	St fout
Droge heide proef	okt-11	1,05	0,15	0,049	0,006	0,77	0,09	20,48	0,64	0,07	0,01
	okt-13	1,22	0,09	0,055	0,003	1,05	0,07	21,43	0,66	0,06	0,01
	okt-14	0,58	0,05	0,038	0,002	0,63	0,03	14,69	0,78	0,06	0,01
	referentie	4,33		0,184		1,01		24,91		0,17	
Natte heide proef	okt-11	1,28	0,13	0,053	0,005	0,63	0,07	23,65	0,48	0,09	0,01
	okt-13	1,17	0,10	0,054	0,004	0,91	0,04	21,42	0,60	0,06	0,01
	okt-14	1,22	0,05	0,056	0,002	0,76	0,03	21,35	0,65	0,08	0,01
	referentie	14,57		0,534		1,84		27,22		0,30	

Tabel 4.2. Gemiddelde C/N ratio's (gram/gram) gemeten in de droge en natte heide proef. n=27.

Table 4.2. Average C/N ratio's (gram/gram) measured in the dry and wet heath experiment. n=27.

In de natte heide proef is dit verschil nog groter met percentages C gemeten in de bestaande heide van 14,6 % tegen percentages rond de 1,2 % in de proef. De bodem van de proefvlakken bevat dus veel minder C dan bestaande heide, zoals verwacht wordt van een bodem waar de organische laag volledig is verwijderd.

In de proefvlakken zijn hogere N/P ratio's gemeten dan in de bestaande heide (respectievelijk 0,6 en 0,7 in de droge en natte proefvlakken tegen 0,17 en 0,3 in de bestaande droge en natte heide). Dit is waarschijnlijk een erfenis uit het landbouwkundige verleden van de proeflocaties. Het opbrengen van Dolokal heeft tot een significant effect geleid in de P gehalten van de bodem en de N/P ratio gemeten in de natte heide proef. In de natte heide proef heeft het opbrengen van Dolokal geleid tot een significante daling van de N/P ratio (Figuur 4.16). In de droge heide proef was dit effect niet zichtbaar.



Figuur 4.16. Boxplots van de N/P ratio's gemeten in de natte heide proef. Verschillende letters geven een significant ($P < 0,05$) verschil weer tussen de behandelingen.

Figure 4.16. Boxplot of the N/P ratio's measured in the wet heathland experimental plots.

4.3 Samenvatting resultaten

Uitgangssituatie (2011):

- De voedselrijkdom (N en P) van zowel de natte als de droge locatie is voldoende laag is voor ontwikkeling van natte en droge heide.
- De proefvlakken zijn bij aanvang van het experiment goed gebufferd, zowel de pH als de concentratie uitwisselbare basische kationen hoog. Dit is terug te zien in de hoge basenverzadiging (>90%).

Effecten behandelingen:

- Het manipuleren van de buffering van de bodem heeft geleid tot een significant verschil in bodem-pH in zowel de natte als de droge proeflocatie.
- Het opbrengen van zwavel lijkt pas in het najaar van 2014 tot echt duidelijke effecten te leiden. In het najaar van 2014 is de zwavel opgebracht in de droge proefvelden in oplossing gegaan. Dit leidt tot een verlaging in de pH in het najaar van 2014 van een pH rond de 5,5 naar een pH rond de 4,8. Het in oplossing gaan van zwavel leidt ook tot een lagere basenverzadiging en een hogere concentratie opgelost zwavel.
- Het toedienen van Dolokal in de proefvelden heeft geleid tot een hogere pH, hogere basenverzadiging en een hogere concentratie uitwisselbare basische kationen in de bodem. Deze hogere concentratie basische kationen wordt voornamelijk veroorzaakt door een toename van het aan het bodemcomplex gebonden magnesium. Calcium is niet of slechts gedeeltelijk aan het adsorptie-complex gebonden.
- In de proefvlakken waar geen zwavel is opgebracht zijn de pH en de buffering van de bodem relatief hoog, vergeleken met bestaande droge en natte heide in noordwest Europa.
- De concentratie voor plantenbeschikbaar fosfaat is in de loop van het experiment afgenomen in zowel de droge als natte locatie met 200 $\mu\text{mol/kg}$ bodem.
- Het opbrengen van maaisel of plagsel heeft niet geleid tot een toename in de concentratie nutriënten (N en P), wel blijkt het opbrengen van maaisel of plagsel in de proefvelden waar geen zwavel of kalk is opgebracht te zorgen voor een lagere pH-NaCl.

Gevolgen vernatting:

- In de natte heide proef lijkt het effect van de pH-behandelingen sterk te zijn afgenomen vanaf het voorjaar van 2014. Mogelijk wordt dit veroorzaakt doordat een deel van de proefvlakken geregeld onder water staat.
- In het najaar van 2013 zijn de proefvelden van het natte experiment voor het eerst zeer nat geworden. Dit heeft geleid tot een piek in de voor plantenbeschikbare fosfaat concentratie, die verdubbelde ten opzichte van de voorgaande metingen. In het voorjaar van 2014 en najaar van 2014 was deze piek verdwenen.

In de periode 2013-2015 stond een fors deel van het Noordenveld onder water, inclusief een deel van de proefvlakken



5. Vegetatie

Zowel droge als natte heide komen voor bij een zeer lage pH, terwijl de landbouwgronden vaak zijn bekalkt en daardoor (te) baserijk zijn. Deze verschillen in zuurtegraad zouden een beperking kunnen vormen voor de ontwikkeling van een kenmerkende heidevegetatie. Naast de abiotische omstandigheden speelt dispersie een belangrijke rol bij de ontwikkeling van de vegetatie. Vaak ontbreken kenmerkende soorten in de zaadbank, terwijl verspreiding vanuit de omgeving meestal langzaam gaat. Om te onderzoeken in hoeverre dispersie een bottleneck vormt voor de ontwikkeling van een kenmerkende heidevegetatie zijn de zaden van de karakteristieke soorten op twee manieren ingebracht. In de eerste plaats is maaisel uit de bestaande heide in het Dwingelderveld verspreid in de proefvlakken, met hierin de op dat moment rijpe zaden. Omdat niet alle plantensoorten tegelijkertijd rijpe zaden hebben, worden met deze methode niet alle soorten verspreid en ontbreken er een aantal die wel in de bestaande heide voorkomen. Als alternatieve techniek is plagsel toegevoegd. Naast alle rijpe zaden uit de vegetatie zelf wordt op deze manier ook een deel van de zaadbank overgebracht, waardoor ook soorten die op het moment van plaggen geen rijpe zaden hebben of op dat moment zelfs helemaal niet bovengronds voorkomen overgebracht kunnen worden. Naast zaden worden ook wortels of zelfs hele planten van de doelvegetatie overgebracht.

De uiteindelijke vraag is of er een manier is om de successie na ontgronden versneld richting droge dan wel natte heide te sturen. Na ontgronden liggen de abiotische condities binnen de range waar de doelvegetaties zich kunnen ontwikkelen (zie H4), maar dit wil niet zeggen dat dit ook daadwerkelijk gebeurt. De volgorde van de vestiging van bepaalde soorten kan een groot effect hebben op de uitkomst van de successie, ook wel het priority effect genoemd. Na het ontgronden vestigen met name ruderaal soorten en mossen zich als eerste omdat ze een langlevende zaadbank hebben dan wel zich goed verspreiden. Wanneer deze soorten zich snel genoeg uitbreiden, kunnen zij een gesloten vegetatie vormen voordat de kenmerkende heidesoorten zich kunnen vestigen, waardoor de ontwikkeling van heide vertraagd of zelfs geheel verhinderd wordt. Om dit te voorkomen is het belangrijk dat in de periode waar de competitie tussen de verschillende soorten nog geen rol speelt ('window of opportunity') kenmerkende heidesoorten in voldoende grote aantallen aanwezig zijn en zich als eerste kunnen vestigen. Door het inbrengen van zaden van heide(soorten) zou zich sneller een dichte heidevegetatie kunnen vormen waarin andere soorten zoals grassen en mossen zich moeilijker kunnen vestigen. De vraag is of de verschillen in pH en het inbrengen van materiaal uit de donorgebieden invloed heeft op zowel de vestiging als het verdere verloop van de competitie tussen algemene soorten als grassen en kenmerkende heidesoorten.

Om bovenstaande vragen te beantwoorden is de ontwikkeling van de vegetatie vanaf het begin van het experiment jaarlijks gemonitord, in 2012, 2013 en 2014. Daarnaast is de samenstelling van de vegetatie van de locaties waar maaisel en plagsel is verzameld in kaart gebracht. De uitgebreide methode is beschreven in H3.

5.1 Bronpopulaties in de goed ontwikkelde natte- en droge heide in het Dwingelderveld

In de bestaande heide in het Dwingelderveld is de soortenrijkdom in tegenstelling tot de verwachting hoger in droge heide dan in de natte heide (Figuur 5.2). Een lijst met de gevonden soorten staat in tabel 5.1. Behalve Gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*) zijn alle soorten uit de opnames in de bestaande natte- en droge heide in het Dwingelderveld opgenomen in de soortenlijst met kenmerkende heidesoorten (Tabel 3.3). De exacte ligging van de beschreven locaties is weergegeven in Figuur 3.4.

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam
Blauwe zegge	<i>Carex panicea</i>
Bochtige smele	<i>Deschampsia flexuosa</i>
Gewone dophei	<i>Erica tetralix</i>
Gewone veenbies	<i>Trichophorum cespitosum</i>
Gewoon struisgras	<i>Agrostis capillaris</i>
Kleine zonnedauw	<i>Drosera intermedia</i>
Klokjesgentiaan	<i>Gentiana pneumonanthe</i>
Pijpenstrootje	<i>Molinia caerulea</i>
Pilzegge	<i>Carex pilulifera</i>
Schapenzuring	<i>Rumex acetosella</i>
Struikhei	<i>Calluna vulgaris</i>
Trekrus	<i>Juncus squarrosus</i>
Witte snavelbies	<i>Rhynchospora alba</i>

Tabel 5.1. Lijst van plantensoorten gevonden in de proefvlakken in de bestaande natte- en droge heide in het Dwingelderveld.

Table 5.1. List of the plant species found in the plots of the existing heathland in the Dwingelderveld.

De goed ontwikkelde natte- en droge heide in het Dwingelderveld is in een climax-fase, wat leidt tot een bedekking rond de 90 procent voor Struikhei (*Calluna vulgaris*) in de droge heide en rond de 70 procent voor Gewone dophei (*Erica tetralix*) in de natte heide (figuur 5.1). Daarnaast is Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) een grote bedekker, met name in de natte heide. In één van de natte heide gebieden kwam Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) voor. Wat opvalt, is dat de bestaande heide in het Dwingelderveld relatief soortenarm is. Een aantal soorten kenmerkend voor een goed ontwikkelde heide komen inderdaad voor, maar een groot deel van de kenmerkende soorten die er potentieel voor zouden kunnen komen ontbreekt.

Witte snavelbies





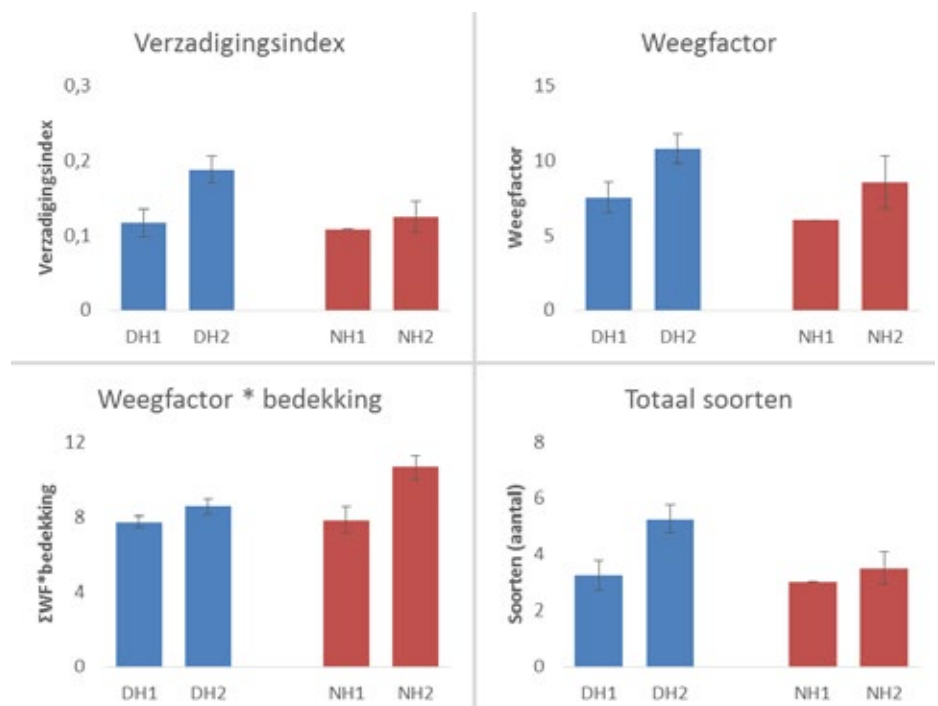
Figuur 5.1. De referentiegebieden voor droge heide (links) en natte heide (rechts). In de droge heide is Struikhei (*Calluna vulgaris*) de grootste bedekker, in de natte heide Gewone dophei (*Erica tetralix*).

Figure 5.1. The reference sites for dry heath (left) and wet heath (right). In the dry heath *Calluna vulgaris* has the highest cover, in the wet heath *Erica tetralix*.

De opnames in de bestaande droge- en natte heide in het Dwingelderveld zijn gemaakt na het winnen van maaisel en plagsel voor het experiment. In de geplagde dan wel gemaaide delen kwamen soorten uit eerdere successie stadia terug, zoals Pilzegge (*Carex pilulifera*) in de droge heide en Witte snavelbies (*Rhynchospora alba*), Blauwe zegge (*Carex panicea*) en Kleine zonnedaauw (*Drosera intermedia*) in de natte heide. Omdat deze soorten tijdens het maaien niet in de vegetatie voorkwamen kunnen er dus ook geen zaden zijn overgebracht met het inbrengen van maaisel. Deze soorten komen dus echter wel voor in de zaadbank en kunnen dus wel met het plagsel zijn overgebracht naar de proefvlakken.

Figuur 5.2. De verzadigingsindex (linksboven), weegfactor (rechtsboven), weegfactor * bedekking (linksonder) en het totaal aantal soorten (rechtsonder) van de referentiegebieden. DH1 en DH2 zijn de referentiegebieden in de droge heide; NH1 en NH2 in de natte heide. Gemiddelde \pm standaarddeviatie. De soortenlijst uit tabel 3.3 is gebruikt voor de berekeningen.

Figure 5.2. The saturation index (top left), weighing factor (top right), weighing factor * cover (bottom left) and the total number of species (bottom right) in the reference sites. DH1 and DH2 are the reference sites in the dry heath; NH1 and NH2 in the wet heath. Average \pm standard deviation. The species list from table 3.3 is used for the calculations.



5.2 Bedekking

In de permanente kwadraten van zowel de droge als de natte proef neemt de totale bedekking (Bijlage 5 en 6), de bedekking door kruiden en de bedekking door mos toe in de eerste drie jaar van het experiment (zie tabel 5.2). De hoeveelheid strooisel neemt ook toe met de tijd, al blijft de bedekking ook na 3 jaar beperkt tot enkele procenten. In de hoeveelheid strooisel zijn pieken te zien van het ingebrachte materiaal uit de bestaande heide. In het eerste jaar is een kleine piek te zien in de bedekking door strooisel in de permanente kwadraten waar plagsel is ingebracht, in de permanente kwadraten waar maaisel is ingebracht is in het

Tabel 5.2. De algemene effecten van tijd, het toevoegen van materiaal uit de referentiegebieden en de verschillen in pH op de bedekking door kruiden, mossen, strooisel en de totale bedekking. Een + geeft een toename aan, een – een afname. Bij o is er geen significant effect, terwijl +/- geeft aan dat de richting van het effect niet duidelijk is. De individuele effecten binnen de behandelingen worden besproken in de tekst.

Table 5.2. The effects of time, the addition of material from the reference sites and the differences in pH on the cover of herbs, mosses, litter and the total cover. A + indicates an increase, a – a decrease. With o there is no significant effect, while +/- indicates that the direction of the effect is unclear. The individual effects within the treatments are discussed in the text.

tweede jaar van het experiment een duidelijke piek te zien. De piek in bedekking door strooisel uit het plagsel dan wel maaisel neemt snel af, en is een jaar na het inbrengen van het materiaal nagenoeg verdwenen. In de droge proef blijven na één jaar nog enkele houtige delen van Struikhei (*Calluna vulgaris*) over, in de natte proef zijn sommige van de grotere plaggen nog duidelijk te herkennen. Door deze pieken is er geen significant effect van het inbrengen van maaisel dan wel plagsel op de bedekking door strooisel.

Bedekking	Droge heide			Natte heide		
	Tijd	Controle/plant /plag	pH	Tijd	Controle/plant /plag	pH
Totaal	+	+	+	+	+	+
Kruid	+	+	+	+	+	+
Mos	+	+	o	+	+	o
Strooisel	-	o	-	+/-	o	+/-

De verschillen in pH hebben een effect op de bedekking van kruiden en strooisel en daarmee op de totale bedekking. De verschillen in de afzonderlijke bedekkingen zijn klein, maar in de totale bedekking is een significante toename te zien met toenemende pH. De verschillende pH behandelingen hebben geen significant effect op de bedekking door mos, alhoewel de bedekking door mos in de droge proef hoger lijkt na bekalken. Verder zijn er met name in de droge proef duidelijke verschillen tussen de jaren waar te nemen in de mosbedekking. Het eerste en het derde jaar waren vrij nat, terwijl het tweede zeer droog was. Dit is weerspiegeld in de bedekking door mos, die in het tweede jaar lager was dan in de andere jaren.

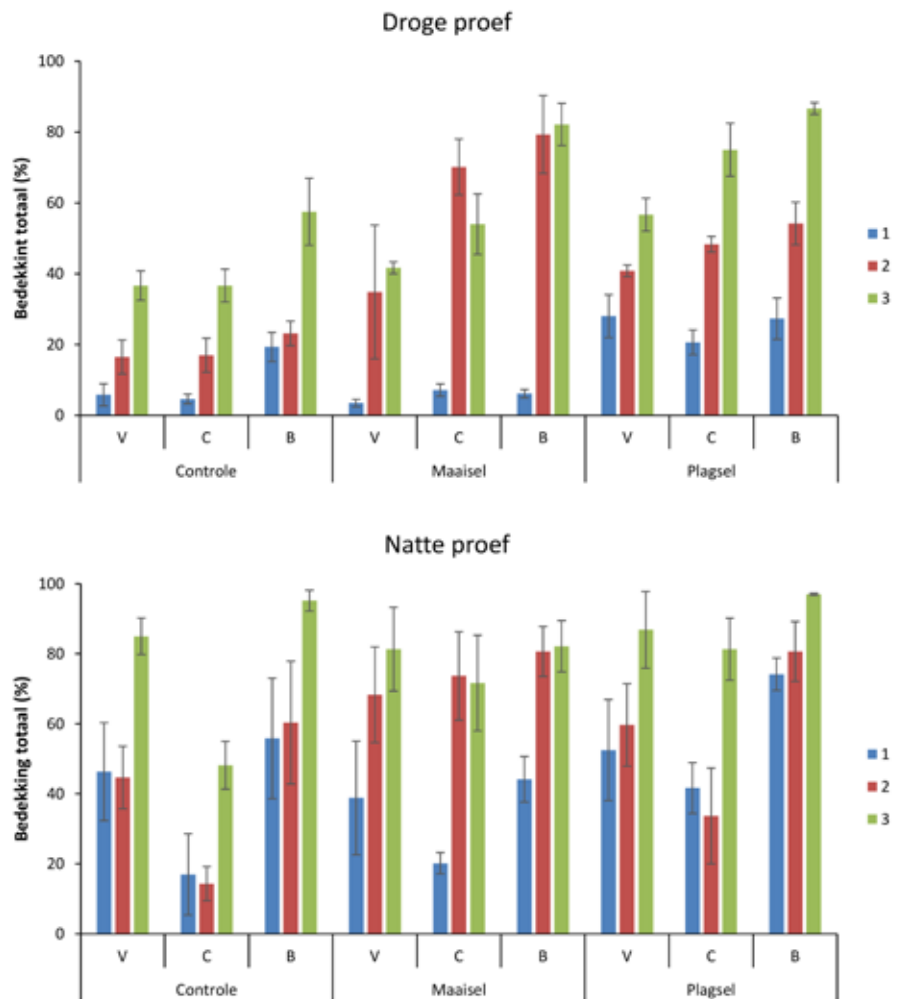


Figuur 5.3. De verschillen in de bedekking door mos in de natte heide tussen jaar 1 (links) en jaar 3 (rechts) van het experiment.

Figure 5.3. Differences in moss cover in the wet heath between year 1 (left) and year 3 (right) of the experiment.

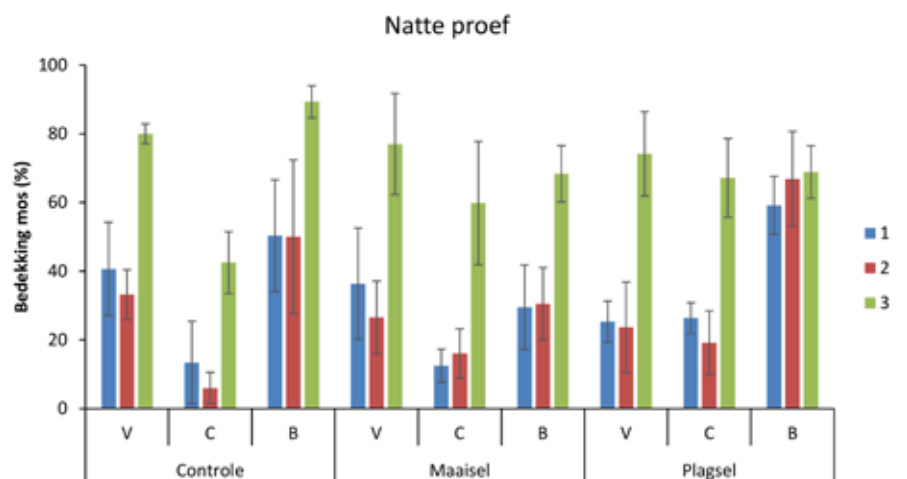
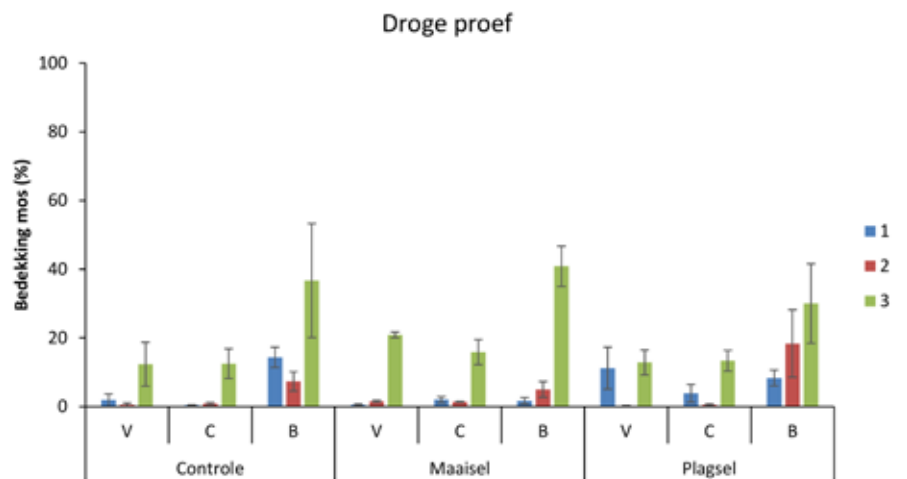
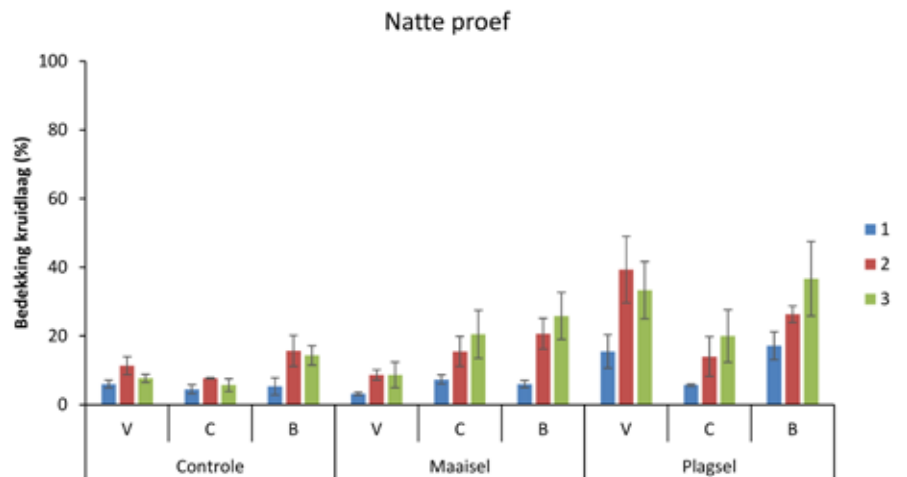
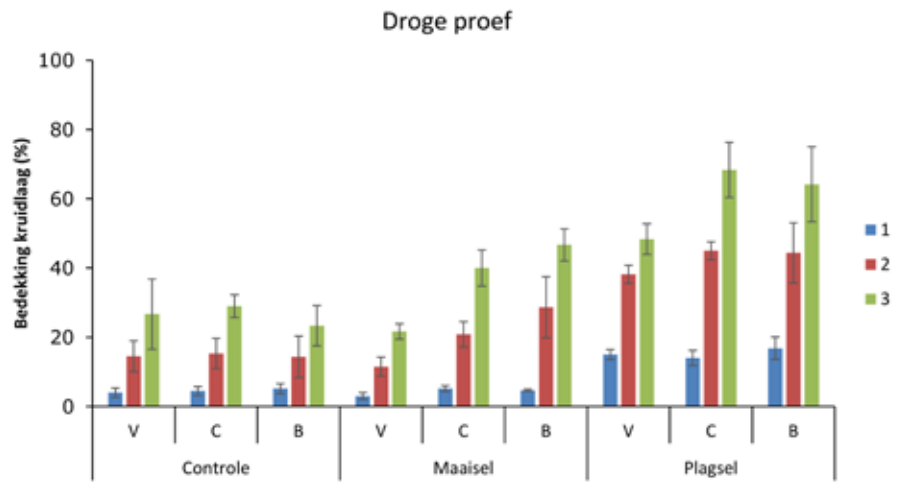
De bedekking door kruiden en mos en daarmee ook de totale bedekking is hoger in de proefvlakken waar plagsel is ingebracht (figuren 5.4, 5.5 en 5.6). Ook met het toevoegen van maaisel neemt de bedekking door mos en met name kruiden toe, al is dit verschil minder duidelijk omdat het maaisel een jaar later is ingebracht. De bedekkingen door kruiden twee jaar na het toedienen van maaisel (jaar 3) en plagsel (jaar 2) is vergelijkbaar en hoger dan de bedekking in de controlevlakken. In de droge proef hebben de verschillen in pH een effect op de bedekking van de kruidlaag na het toedienen van maaisel en plagsel (figuur 5.5). In de controleproefvlakken voor pH en de proefvlakken die bekalkt zijn is een duidelijke toename te zien in de bedekking door kruiden na het inbrengen van maaisel of plagsel, in de permanente kwadraten waar zwavel is opgebracht is de toename kleiner na

het toedienen van plagsel en in het geval van inbrengen van maaisel in de natte proef zelfs nagenoeg afwezig. In de controle kwadraten is voor het inbrengen van materiaal geen invloed van de verschillen in pH op de bedekking door kruiden. Het negatieve effect van het opbrengen van zwavel op de bedekking van de kruidlaag is alleen waar te nemen in de proefvlakken waar materiaal is ingebracht.



Figuur 5.4. De totale bedekking in de permanente kwadraten in de droge proef (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.4. The total cover in the permanent quadrats in the dry site (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.

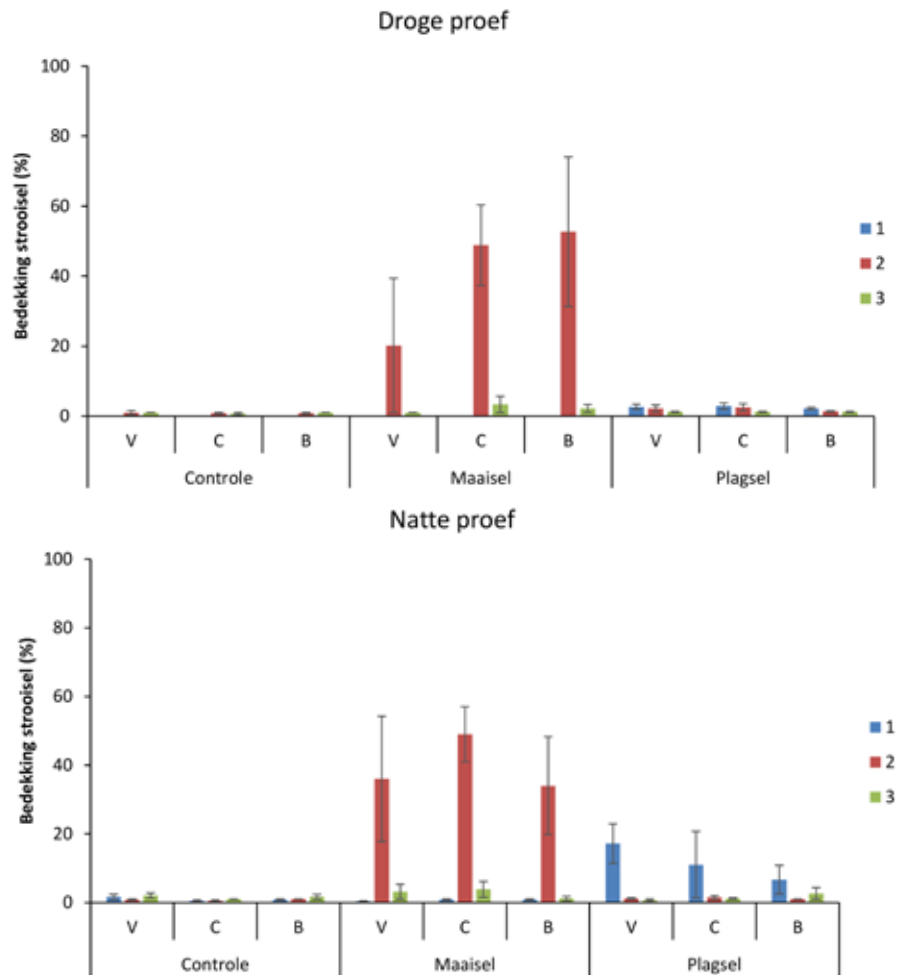


Figuur 5.5. De bedekking van de kruidlaag in de permanente kwadraten in de droge proef (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.5. The cover of the herb layer in the permanent quadrats in the dry site (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.

Figuur 5.6. De bedekking van de moslaag in de permanente kwadraten in de droge proef (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.6. The cover of the moss layer in the permanent quadrats in the dry site (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.



Figuur 5.7. De bedekking van de strooisellaag in de permanente kwadraten in de droge proef (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.7. The cover of the litter layer in the permanent quadrats in the dry site (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.

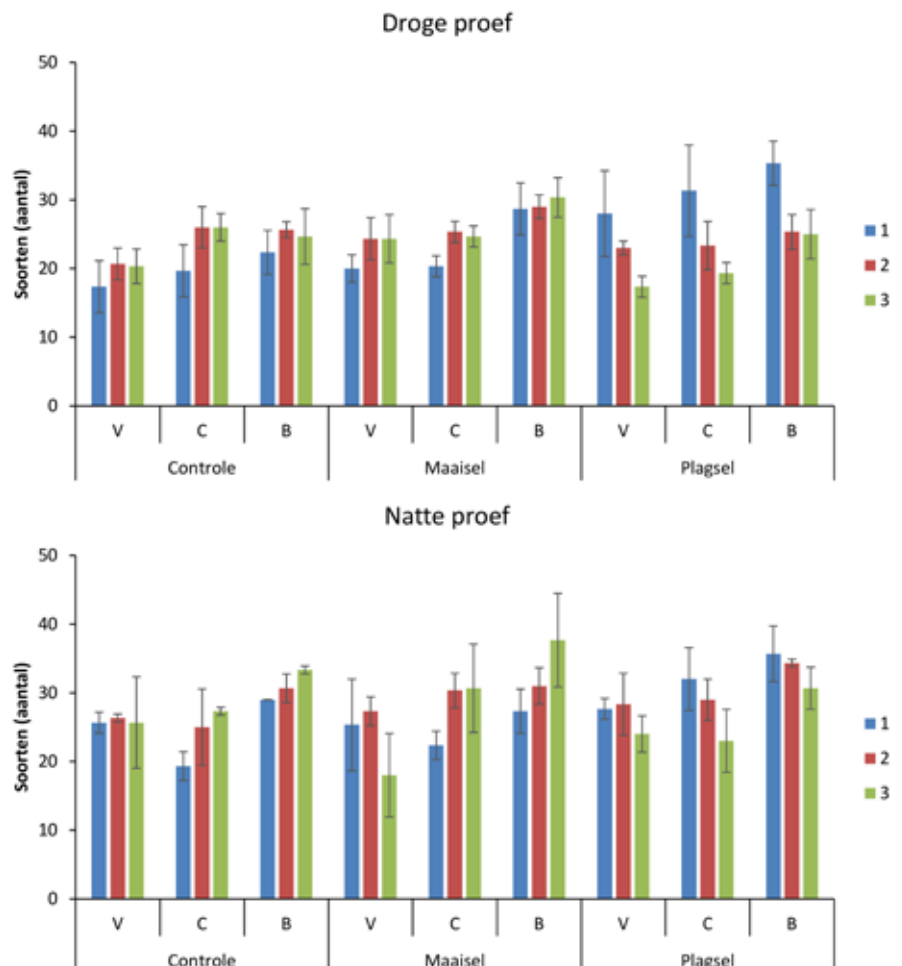
Het totale aantal plantensoorten dat in de permanente kwadraten van het experiment gevonden is verschilt niet tussen de verschillende jaren in zowel de droge als de natte proef ($p = 0,280$ respectievelijk $0,158$). Het toevoegen van maaisel dan wel plagsel heeft alleen significant effect op het totaal aantal soorten in de droge proef (p -waarde van $0,002$), er is geen effect in de natte proef (p -waarde van $0,062$). Met het toevoegen van plagsel is met name in het eerste jaar het totale aantal soorten in de permanente kwadraten van de droge proef hoger (figuur 5.9). De verschillen in pH hebben zowel in de droge als natte proef een effect op het totale aantal soorten (voor beide p -waardes $< 0,001$), het totale aantal soorten is hoger met bekalen. Alle gevonden plantensoorten in de proefvlakken staan vermeld in Bijlage 5. Bijna alle soorten van de soortenlijst kwamen ook voor in een straal van 100 meter op het recent ontgronde terrein. Alleen Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*), Stekelbrem (*Genista anglica*) en Kleine zonnedauw (*Drosera rotundifolia*) zijn alleen in de proefvlakken gevonden en niet in het omliggende terrein. Met het toevoegen van plagsel nemen zowel het totale aantal soorten als de bedekking door de kruidlaag toe. De verschillen in de bedekking zijn echter groter dan de verschillen in het totale aantal soorten. Het toevoegen van plagsel vergroot dus met name het aantal individuen per soort (en daarmee de bedekking), en slechts in beperkte mate het aantal soorten.



*Figuur 5.8. Een controleproefvlak in de droge proef (links) en de natte proef (rechts) in het tweede jaar van het experiment. De meest voorkomende soorten zijn grassen, met regelmatig grote aantallen ruderaal soorten, zoals Bleekgele droogbloem (*Gnaphalium luteoalbum*) in de natte heide.*

*Figure 5.8. A control plot from the dry site (left) and the wet site (right) in the second year of the experiment. The most frequent species are grasses, with occasionally a large number of ruderal species, like *Gnaphalium luteoalbum* in the wet heath.*

Het toevoegen van plagsel leidt tot een omgekeerde ontwikkeling in het totale aantal soorten over de tijd. Waar in de permanente kwadraten van de controle voor het inbrengen van materiaal en degenen waar maaisel is toegevoegd het totale aantal soorten toeneemt over de jaren, is er een afname in het totale aantal soorten in de permanente kwadraten waar plagsel is ingebracht. Het totale aantal soorten is het hoogst direct na het inbrengen van plagsel, op een enkele uitzondering na hoger dan in de andere behandelingen. Dit suggereert dat in de permanente kwadraten waar plagsel is toegevoegd alle soorten meteen in het eerste jaar aanwezig zijn, waarna er vanaf het tweede jaar soorten gaan verdwijnen. In de andere behandelingen is het totale aantal soorten en de totale bedekking door kruiden in het begin lager, waardoor de competitie in deze proefvlakken waarschijnlijk kleiner is en zich daar nog nieuwe soorten kunnen vestigen. In alle proefvlakken neemt het totale aantal ruderaal soorten af gedurende de eerste drie jaar van het experiment, door deze groep soorten is de afname in het totale aantal soorten in de proefvlakken waar plagsel is toegevoegd ook met name te verklaren.



Figuur 5.9. Het totale aantal soorten in de permanente kwadraten van de droge proef (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.9. The total number of species in the permanent quadrats of the dry site (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.

Er zijn grote verschillen tussen de behandelingen in het aantal kenmerkende heidesoorten (Figuur 5.11). In alle behandelingen van zowel de droge als natte proef neemt het aantal kenmerkende soorten toe met de tijd (p-waardes van $<0,001$ respectievelijk $0,030$). Het toevoegen van plagsel resulteert in een hogere verzadigingsindex in zowel de droge als natte proef (beide p-waardes $<0,001$). In het eerste jaar zijn de verschillen het grootst, in het derde jaar worden de verschillen in de verzadigingsindex tussen de verschillende behandelingen kleiner. Als de verzadigingsindex gebaseerd wordt op de soorten in het hele plot in plaats van alleen in de permanente kwadraten zijn de verschillen in kenmerkende soorten na drie jaar nagenoeg verdwenen tussen de behandelingen met plagsel, maaisel en de controles. De verschillen in pH hebben zowel in de droge als de natte proef geen effect op het aantal kenmerkende heidesoorten dat voorkomt (p-waardes van $0,585$ respectievelijk $0,309$).

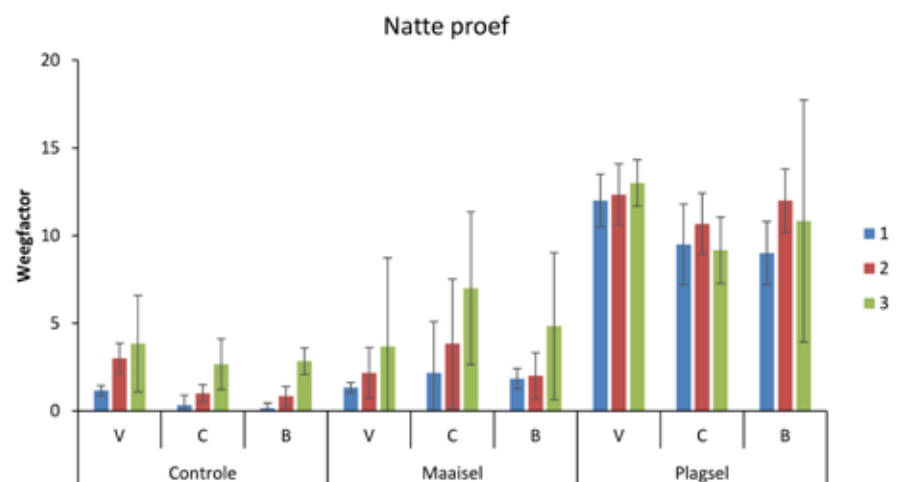
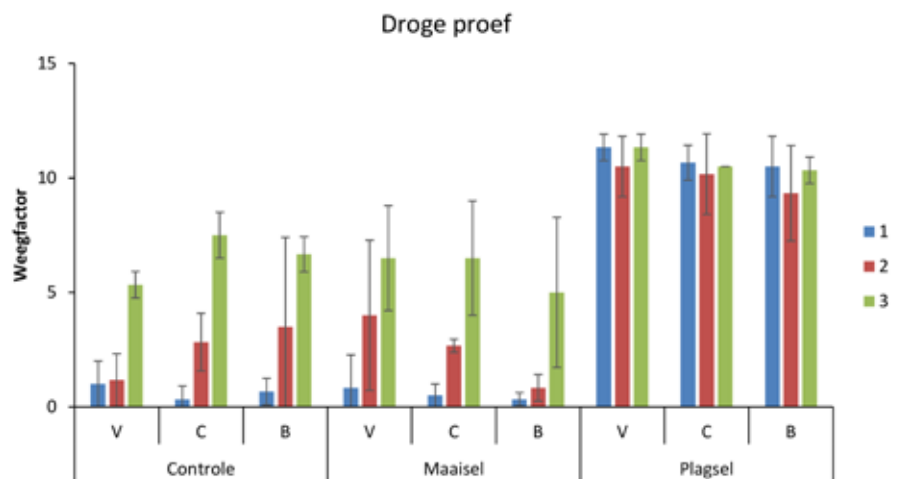
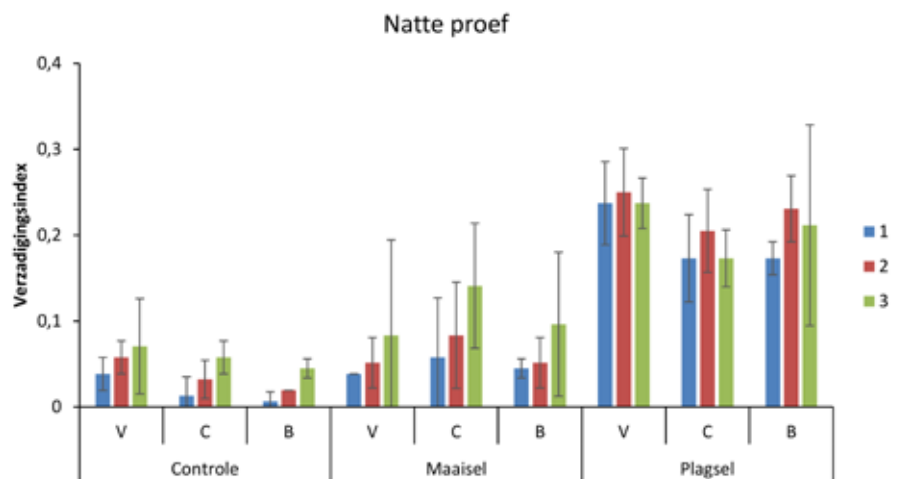
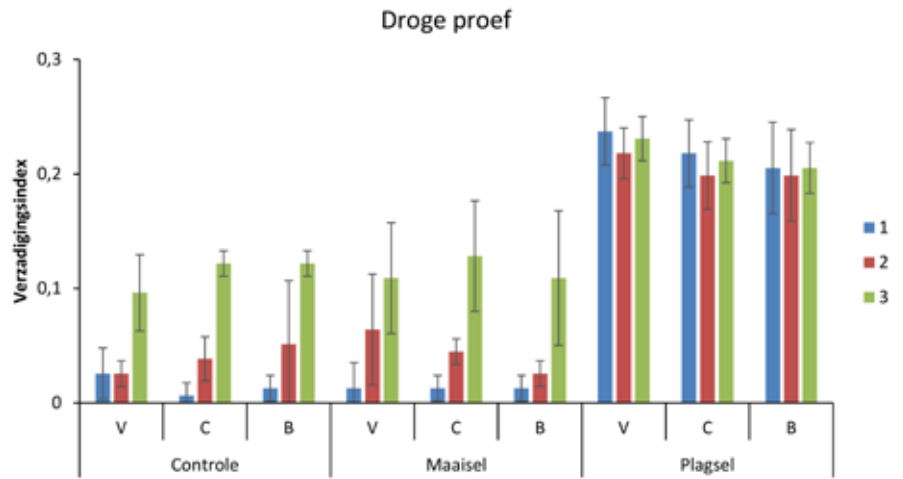
De afname in het totaal aantal soorten na het toedienen van plagsel is niet terug te zien in het aantal kenmerkende soorten, dat over de tijd nagenoeg gelijk blijft. De afname van het totaal aantal soorten is daarmee toe te schrijven aan het verdwijnen van niet-kenmerkende soorten. Voor een analyse van de bedekking van verschillende soortgroepen zie figuren 5.26 en 5.27.



Figuur 5.10. Bloeiende Struikheide (Calluna vulgaris) en Gewone dophei (Erica tetralix) twee jaar na het inbrengen van plagsel in een proefvlak in de natte heide.

Figure 5.10. Flowering Calluna vulgaris and Erica tetralix two years after the addition of sods in a wet heath plot.

De weegfactor op basis van de permanente kwadraten laat hetzelfde patroon zien als de verzadigingsindex (Figuur 5.12). Met het toedienen van plagsel is de weegfactor zowel in de droge als de natte proef hoger dan na toedienen van maaisel en de controle voor deze behandelingen (beide p-waardes $<0,001$). Na het toedienen van plagsel blijft de weegfactor in de tijd constant, in de andere behandelingen neemt de weegfactor toe in zowel de droge als de natte proef (p-waardes van $<0,001$ respectievelijk $0,008$). Verschillen in pH hebben geen invloed op de weegfactor in zowel de droge als de natte proef (p-waardes van $0,399$ respectievelijk $0,397$).



Figuur 5.11. De verzadigingsindex van de permanente kwadraten van de droge proef (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.11. The saturation index of the permanent quadrats of the dry site (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.

Figuur 5.12. De weegfactor van de permanente kwadraten van de droge proef (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.12. The weighing factor of the permanent quadrats of the dry site (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.

Als de bedekking wordt meegenomen in de analyse verandert het beeld. De weegfactor*bedekking neemt toe in alle behandelingen met de tijd en is hoger na het toedienen van plagsel in zowel de droge als de natte proef (alle p-waardes <0,001). De verschillen in pH hebben zowel in de droge als de natte proef geen effect (p-waardes van 0,927 respectievelijk 0,131). In tegenstelling tot de weegfactor en de verzadigingsindex neemt de weegfactor*bedekking toe over de tijd na het toedienen van plagsel, in het derde jaar zijn de verschillen tussen de behandelingen met en zonder plagsel zelfs groter dan in het eerste jaar. In de natte proef lijkt er een positief effect van het opbrengen van zwavel te zijn in combinatie met het inbrengen van plagsel in het derde jaar, dit verschil is echter niet significant door de hoge variatie in de overige pH behandelingen.

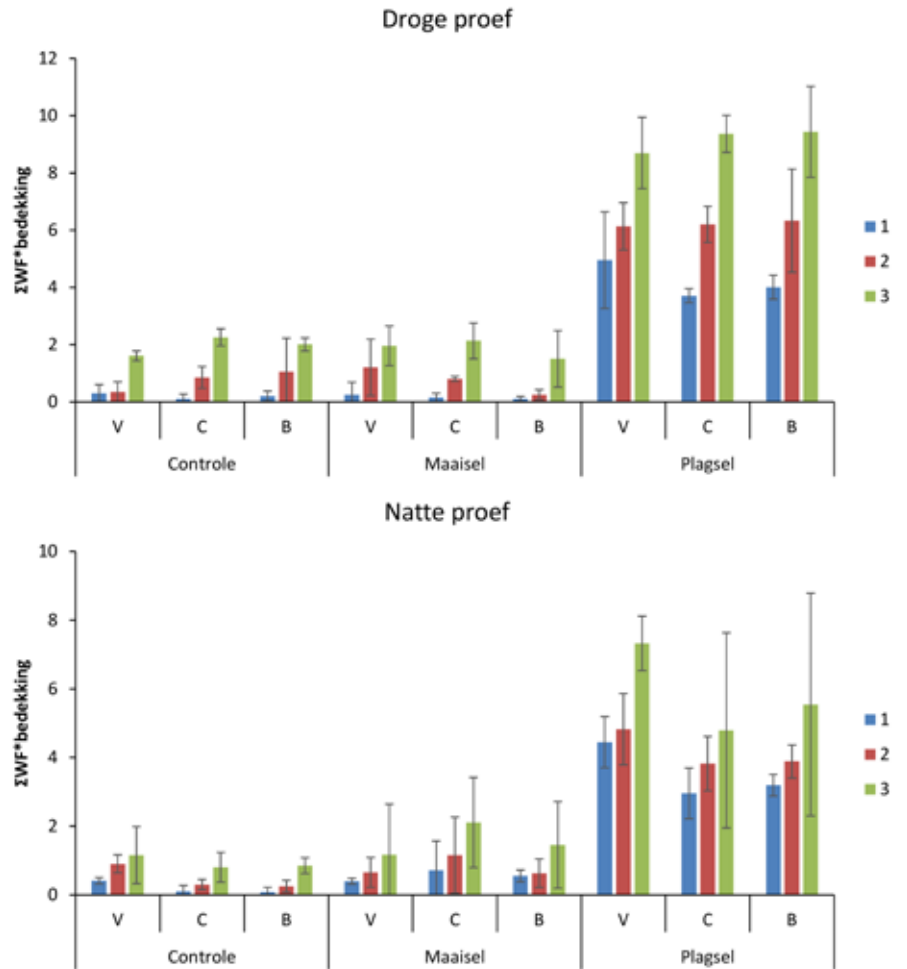
Resumerend kan worden gesteld dat het voorkomen van de kenmerkende heidesoorten met het toedienen van plagsel wordt versneld. De verschillen in soortensamenstelling tussen het wel en niet toedienen van plagsel zijn na 3 jaar verkleind en zullen wellicht in de komende 5 jaar volledig verdwijnen. De verschillen in de abundantie van deze soorten blijven echter constant gedurende de eerste drie jaar, met een duidelijk hogere bedekking van kenmerkende heidesoorten na het toedienen van plagsel ten opzichte van het inbrengen van maaisel en niets doen.



*Figuur 5.13. De ontwikkeling in de bedekking door kenmerkende heidesoorten na het inbrengen van plagsel in de droge proef aan het begin van jaar 2 (boven) en aan het einde van jaar 3 (onder) van het experiment. In jaar 2 zijn met name Schapenzuring (*Rumex acetosella*) en Pilzegge (*Carex pilulifera*) talrijk, in het derde jaar is de bedekking door Struikhei (*Calluna vulgaris*) sterk toegenomen.*

*Figure 5.13. The development in the cover of characteristic heathland species after the addition of sods in the dry site at the beginning of the second year (top) and the end of the third year (bottom) of the experiment. In the second year *Rumex acetosella* and *Carex pilulifera* are particularly abundant, in the third year the cover of common heather (*Calluna vulgaris*) has increased dramatically.*





Figuur 5.14. De weegfactor*bedekking van de permanente kwadraten van de droge proef (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.14. The weighing factor*cover of the permanent quadrats of the dry site (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.



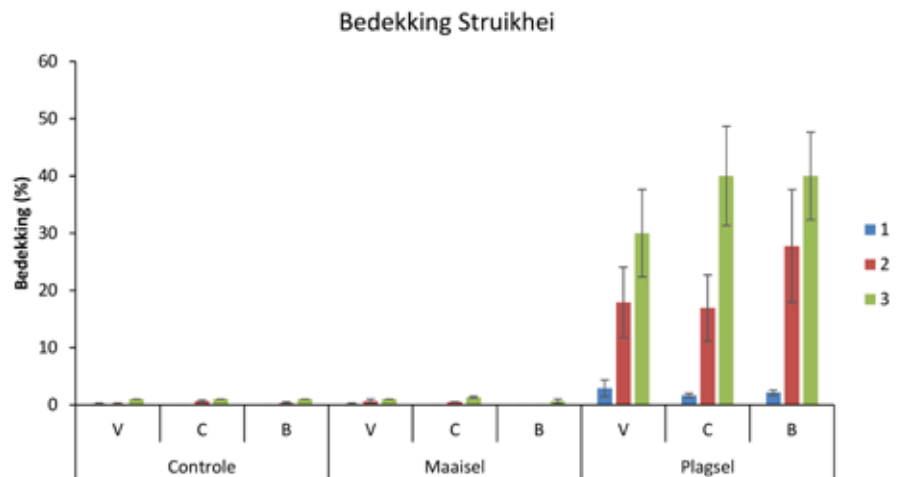
Figuur 5.15. De begroeiing van de plaggen in de natte proef uit het tweede (boven) en derde (beneden) jaar van het experiment. In de eerste twee jaar stonden de kenmerkende heidesoorten bovenop de plaggen, met inbegrip van klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*). In het derde jaar hadden de meeste plaggen geen begroeiing meer en stonden de karakteristieke heidesoorten om de plaggen heen.

Figure 5.15. The vegetation on top of the sods in the wet site from the second (top) and third (bottom) of the experiment. In the first two years the characteristic heathland species were on top of the sods, including the heathland gentian (*Gentiana pneumonanthe*). In the third year most sods had no vegetation on top of them while the characteristic heathland species were located around the sods.

Een groot aandeel van de toename in bedekking van kenmerkende heidesoorten na het inbrengen van plagsel is toe te schrijven aan Struikhei (*Calluna vulgaris*) en Gewone dophei (*Erica tetralix*) (figuren 5.16 en 5.17). Het toedienen van plagsel heeft in de droge proef een positief effect op de bedekking door Struikhei, in de eerste drie jaar van het experiment neemt de bedekking toe tot 40 procent (p-waardes <0,001). De verschillen in pH hebben geen invloed (p-waarde van 0,518). In de natte proef neemt de bedekking van Gewone dophei na het toedienen van plagsel toe met de tijd (p-waardes van 0,043 respectievelijk <0,001), terwijl ook hier de verschillen in pH geen effect hebben (p-waarde van 0,170).

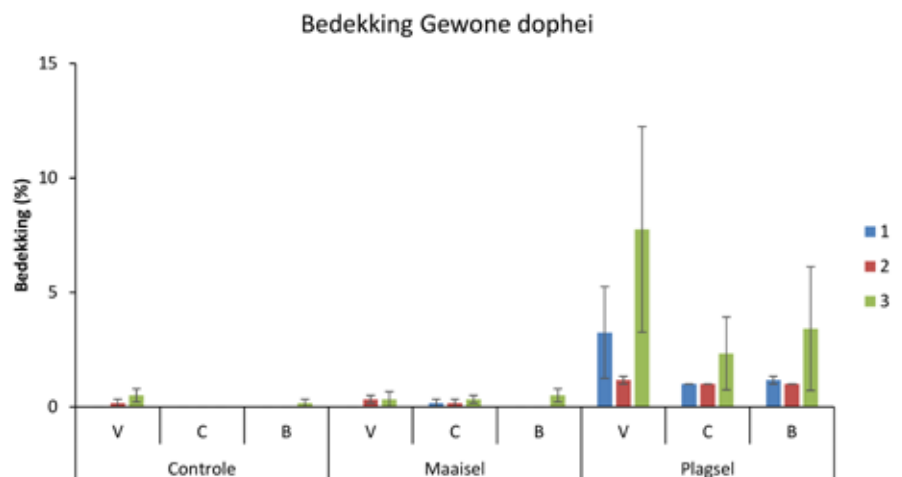
Figuur 5.16. De bedekking van Struikhei (*Calluna vulgaris*) in de permanente kwadraten van de droge proef. De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde ± standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.16. The cover of *Calluna vulgaris* in the permanent quadrats of the dry site. The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average ± standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.



Figuur 5.17. De bedekking van Gewone dophei (*Erica tetralix*) in de permanente kwadraten van de natte proef. De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde ± standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

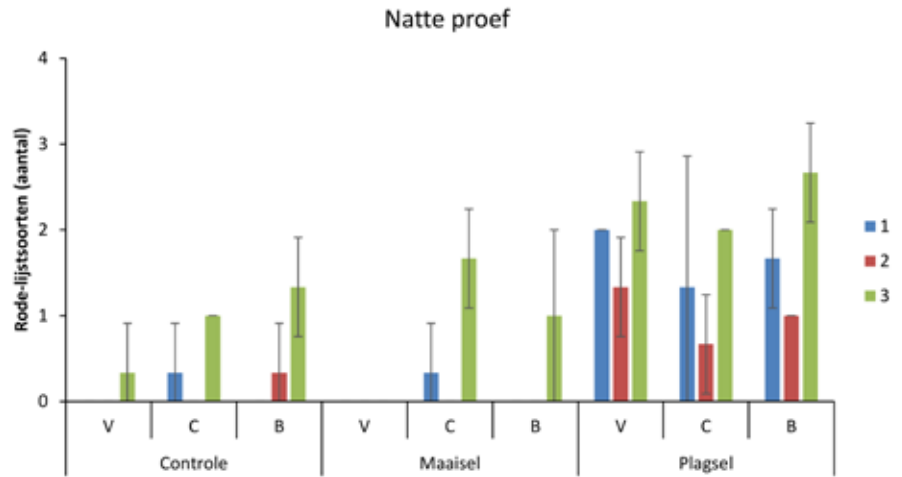
Figure 5.17. The cover of *Erica tetralix* in the permanent quadrats of the wet site. The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average ± standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.



In de natte proef neemt het aantal Rode-lijst soorten toe met de tijd en met het toedienen van plagsel (beide p-waardes <0,001). De verschillen in pH hebben geen effect (p-waarde van 0,272). In de meeste proefvlakken waar plagsel is ingebracht komt vanaf het eerste jaar Kloksesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) voor. Tevens zijn Kleine zonnedauw (*Drosera rotundifolia*) en Stekelbrem (*Genista anglica*) meegekomen met het plagsel. Verder zijn er een aantal Rode-lijst soorten gevonden die kenmerkend zijn voor meer open terrein, zoals Grondster (*Illecebrum verticillatum*), Dwergviltkruid (*Filago minima*) en Stijve ogentroost (*Euphrasia stricta*). In de proefvlakken van de droge proef kwamen nauwelijks Rode-lijst soorten voor, op een incidentele Grondster (*Illecebrum verticillatum*) na.

Figuur 5.18. Het gemiddelde aantal Rode-lijstsoorten in de plots van de natte proef. De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.18. The mean number of red list species in the plots of the wet site. The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.



Niet alleen met plagsel werd Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) overgebracht, ook na het inbrengen van maaisel kwam Klokjesgentiaan in de meeste proefvlakken voor (figuur 5.20). In het eerste jaar werden na het inbrengen van maaisel (jaar 2 van het experiment) nog geen kiemplanten waargenomen, in het tweede jaar werden meerdere bloeiende exemplaren gevonden, met een maximum van 41 exemplaren in een proefvlak. Verder lijkt bekalken in combinatie met het inbrengen van maaisel de meest kansrijke methode om Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) over te brengen. In de proefvlakken waar maaisel is ingebracht in combinatie met zwavel, werd geen enkel exemplaar gevonden.

Ook al bleef het aantal exemplaren Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) constant in de proefvlakken met plagsel, er traden wel verschuivingen in de standplaats op. In het eerste jaar werden de meeste exemplaren aangetroffen bovenop een ingebracht plag, waar ze als het ware gewoon verder groeiden. In het derde jaar waren de meeste plaggen aan de bovenkant kaal, en stonden de Klokjesgentianen (*Gentiana pneumonanthe*) rondom de plaggen. De plaggen lijken een soort 'stepping stones' te zijn, van waaruit deze soort zich kan verspreiden.

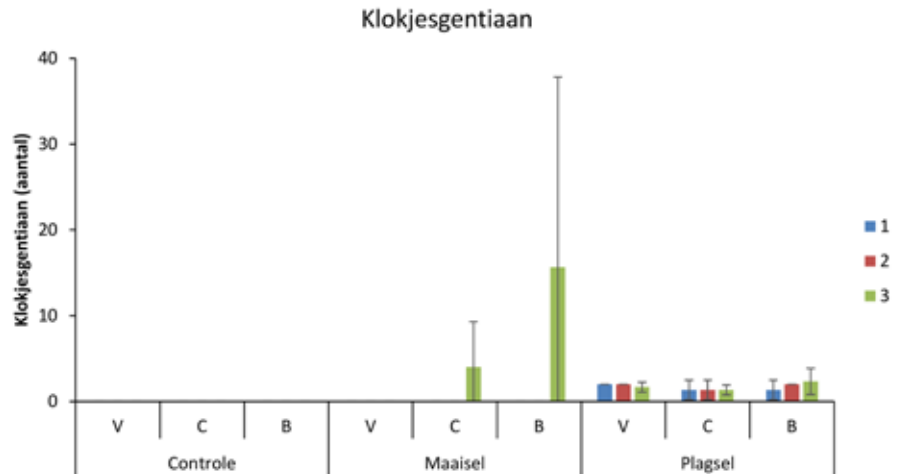
Figuur 5.19. Een aantal Rode-lijstsoorten die in de proefvlakken van de natte proef voorkwamen. Linksboven: Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*); midden boven: Kleine zonnedaauw (*Drosera intermedia*); rechtsboven: Stekelbrem (*Genista anglica*); beneden: Grondster (*Illecebrum verticillatum*).

Figure 5.19. A number of red list species from the plots of the wet site. Top left: heathland gentian (*Gentiana pneumonanthe*); top middle: spoonleaf sundew (*Drosera intermedia*); top right: needle whin (*Genista anglica*); bottom: coral-necklace (*Illecebrum verticillatum*).



Figuur 5.20. Het gemiddeld aantal exemplaren Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) in de plots van de natte proef. De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.20. The average number of heathland gentians (*Gentiana pneumonanthe*) in the plots of the wet site. The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.



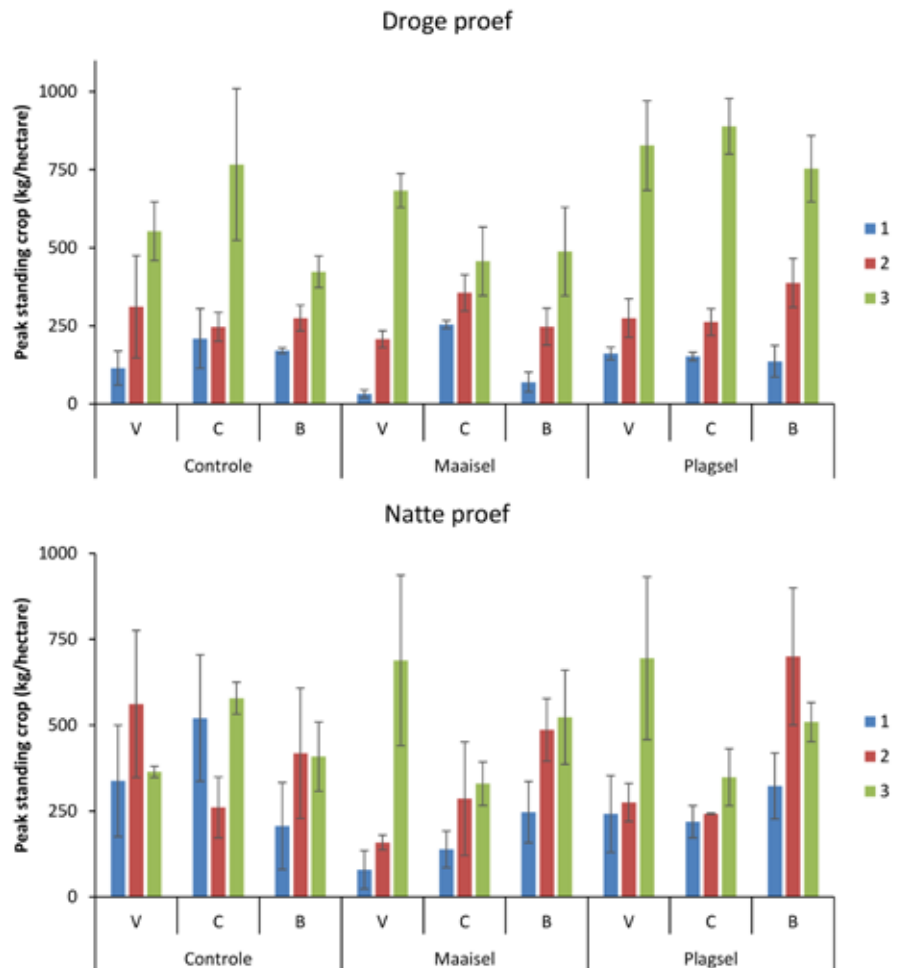
Figuur 5.21. Proefvlak met 41 exemplaren klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) twee jaar na het inbrengen van maaisel.

Figure 5.21. Plot with 41 individuals of heathland gentian (*Gentiana pneumonanthe*) two years after the addition of hay.

5.3 Productiviteit

De peak standing crop neemt in zowel de droge als de natte proef toe met de tijd (beide p-waarden $< 0,001$). Met het inbrengen van plagsel wordt de peak standing crop hoger in de droge proef, in de natte proef is er geen significant effect van maaisel of plagsel meetbaar (p-waarden van 0,020 respectievelijk 0,368). De verschillen in pH hebben geen effect op de peak standing crop in zowel de droge als de natte proef (p-waarden van 0,230 respectievelijk 0,266).

De hoeveelheid biomassa per oppervlakte in de proefvlakken blijft gedurende de eerste drie jaar lager dan de jaarlijkse productiviteit in de bestaande heide in het Dwingelderveld. In het experiment blijft de peak standing crop van de droge proef in alle behandelingen onder de 1000 kilogram per hectare, terwijl in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld jaarlijks 1132 kilogram per hectare wordt geproduceerd. Het grootste deel van de peak standing crop in de bestaande droge heide bestaat uit houtige delen, namelijk 3931 kilogram per hectare. In de proefvlakken van de natte proef blijft de peak standing crop gedurende de eerste drie jaar van het experiment onder de 750 kilogram per hectare, dit is lager dan de jaarlijkse productie van 980 kilogram per hectare in de bestaande natte heide in het Dwingelderveld. Ook hier bestaat het grootste deel van de peak standing crop uit houtige delen, namelijk 2895 kilogram per hectare.



Figuur 5.22. De peak standing crop in de droge- (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.22. The peak standing crop in the dry - (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.

5.4 Mogelijkheden voor kieming

Zowel in de droge als de natte proef is de hoeveelheid beschikbaar licht op de bodem in alle behandelingen boven de 80 procent (Figuur 5.24). Na drie jaar is licht dus nog niet beperkend voor de vestiging van kiemplanten. Ondanks dat de verschillen klein zijn, neemt de beschikbare hoeveelheid licht op de bodem af met de tijd in zowel de droge als de natte heide (beide p-waardes $< 0,001$) en met het toevoegen van plagsel (p-waardes van 0,002 respectievelijk 0,009). De verschillen in pH hebben geen invloed op de beschikbare hoeveelheid licht dat tot de bodem doordringt (p-waardes van 0,624 respectievelijk 0,745). In vergelijking met de referentiegebieden is de beschikbare hoeveelheid licht op de bodem in de proefvlakken hoog. In de bestaande droge heide in het Dwingelderveld bedraagt de beschikbare hoeveelheid licht op de bodem respectievelijk 5,1 en 31 procent, in de natte heide in beide gebieden 20 procent. In alle metingen in de bestaande heide is de beschikbare hoeveelheid licht op de bodem zo laag dat het een beperking voor de vestiging van kiemplanten vormt.

Ondanks dat de gemeten lichtbeschikbaarheid hoog is, lijken er met name in de natte proef wel degelijk barrières voor kieming te zijn. In het derde jaar is de moslaag zowel in dichtheid als hoogte toegenomen. In de meeste gevallen is de moslaag nog zo laag dat het technisch niet mogelijk is om de lichtbeperking onder de moslaag te meten. In enkele gevallen had de moslaag al een hoogte van meer dan 5 centimeter bereikt, en de gemeten lichtintensiteit op de bodem was in deze gevallen minder dan 20 procent van de hoeveelheid invallend licht. In deze gevallen lijkt er wel degelijk een beperking voor de kieming van nieuwe soorten te zijn. In de proefvlakken van de natte proef lijkt de lichtbeschikbaarheid in het derde jaar soms hoger te zijn dan in het tweede jaar, alhoewel deze verschillen meestal niet significant zijn. Dit is mogelijk veroorzaakt door de vernatting die na het tweede jaar optrad. In de meest vernatte proefvlakken lijken minder planten voor te komen, en deze lijken ook kleiner te zijn dan in de droge proefvlakken.

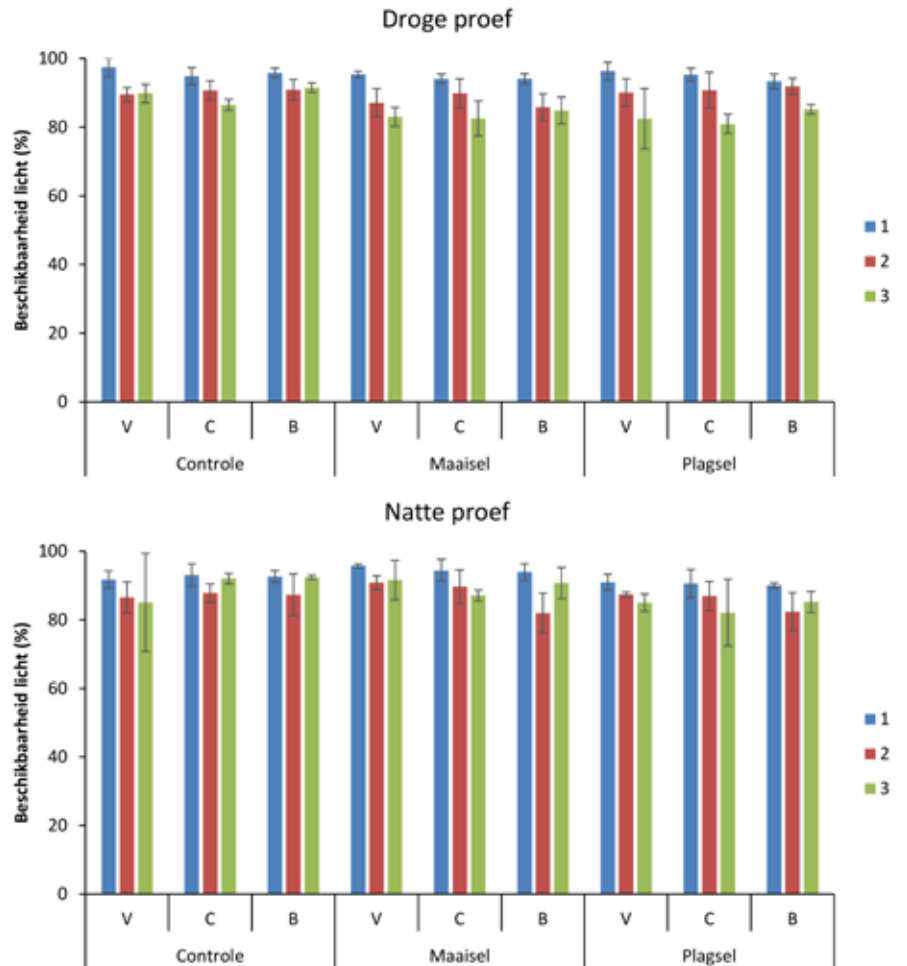


Figuur 5.23. De effecten van de vernatting in de natte proef met boven een toename in Pitrus (*Juncus effusus*), Knolrus (*Juncus bulbosus*) en mossen en onder het afsterven van Struikhei (*Calluna vulgaris*).

Figure 5.23. The effects of waterlogging in the wet site with on top the increase in soft rush (*Juncus effusus*) and bulbous rush (*Juncus bulbosus*) and mosses and at the bottom a dead common heather (*Calluna vulgaris*).

5.5 N/P-ratio's

De N/P-ratio's (Bijlage 8) nemen af met toenemende pH in zowel de droge als de natte proef (p-waardes van 0,001 respectievelijk 0,014). Ook door het toevoegen van maaisel en plagsel worden de N/P-ratio's lager in zowel de droge als natte proef (p-waardes van <0,001 respectievelijk 0,014). Zowel in de droge als in de natte proef zijn geen verschillen in N/P-ratio's tussen de verschillende jaren gevonden (p-waardes van 0,286 respectievelijk 0,731). In de droge proef liggen de N/P-ratio's in alle controleproefvlakken en het proefvlak dat zowel is verzuurd als waar maaisel is ingebracht rond de 15, hetgeen duidt op co-limitatie van stikstof en fosfor. In de andere proefvlakken ligt de N/P ratio lager en wordt de groei van de vegetatie gelimiteerd door de hoeveelheid beschikbaar stikstof. In de bestaande droge en natte heide in het Dwingelderveld liggen de N/P-ratio's in beide gevallen hoger dan 16 (19 respectievelijk 27), hetgeen erop duidt dat de groei van de vegetatie in de bestaande oude heide wordt gelimiteerd door fosfor. In de natte proef leiden de pH behandelingen tot de grootste verschillen. Met bekalken worden de N/P-ratio's lager, en wordt de groei gelimiteerd door stikstof. In de bezwavelde en controle proefvlakken wordt de groei co-gelimitied door



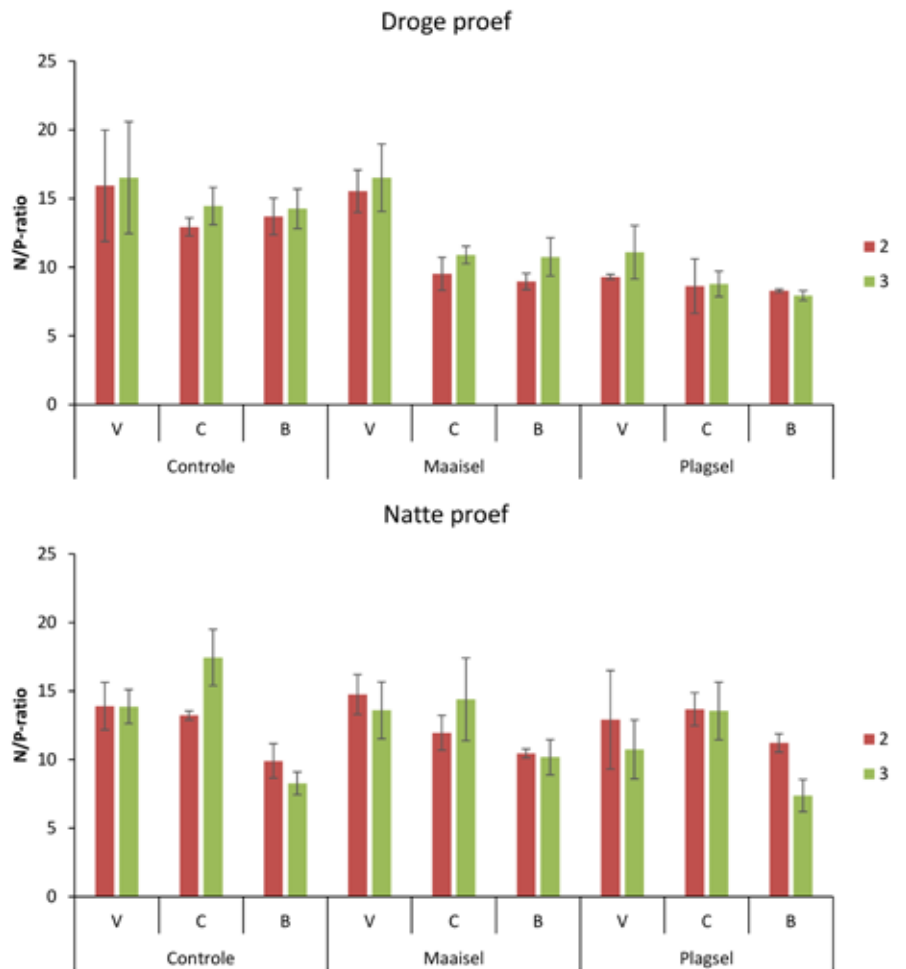
Figuur 5.24. Het percentage van het invallende licht dat beschikbaar is voor kiemplanten in de droge- (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.24. The percentage of the incoming light that is available for seedlings in the dry- (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.

stikstof en fosfor. Het toevoegen van plagsel leidt ook in de natte proef tot lagere N/P-ratio's, maar de verschillen zijn klein in vergelijking met de droge proef. Na het ontgronden is de beschikbaarheid van zowel stikstof als fosfor voor de vegetatie laag. Met het inbrengen van materiaal suggereren de N/P-ratio's dat met name de beschikbaarheid van fosfor wordt verhoogd, waardoor de groei van de vegetatie stikstof gelimiteerd wordt. Door een toename in de beschikbaarheid van stikstof door depositie zou de productiviteit toe kunnen nemen, hetgeen een voordeel voor de grassen ten opzichte van de heide zou betekenen. In de eerste jaren is er echter een nadeel voor de grassen, omdat een snelle groei niet mogelijk is door een beperkte beschikbaarheid van stikstof.

5.6 Richting ontwikkeling

Zowel in de droge als in de natte proef is de relatieve bijdrage aan de totale bedekking door kenmerkende heidesoorten ten opzichte van agrarische en ruderaal soorten veel hoger na het inbrengen van plagsel (figuren 5.26 en 5.27). In de controle proefvlakken en na het toedienen van maaisel blijft het aandeel aan heidesoorten in de totale bedekking over de tijd gelijk, na het inbrengen van plagsel hebben deze soorten in het derde jaar een aandeel van 80 procent in de droge- en in de natte proef van 70 procent. Het aandeel aan de ruderaal soorten neemt in de droge proef in alle proefvlakken met de tijd af, met het inbrengen van plagsel is deze groep in het derde jaar verdwenen. Zonder het toedienen van plagsel verandert het aandeel van de ruderaal soorten in de natte proef niet met de tijd, na het toedienen van plagsel zijn ook hier deze soorten in het derde jaar verdwenen. Zonder het toedienen van plagsel wordt in de droge proef de plaats van ruderaal soorten overgenomen door soorten uit de groep "agrarische soorten". Met het toedienen van plagsel neemt ook het aandeel agrarische soorten met de tijd af. In



Figuur 5.25. De N/P-ratio's in de droge - (boven) en de natte proef (onder). De legenda geeft het aantal jaren dat het experiment loopt weer. Gemiddelde \pm standaard deviatie. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

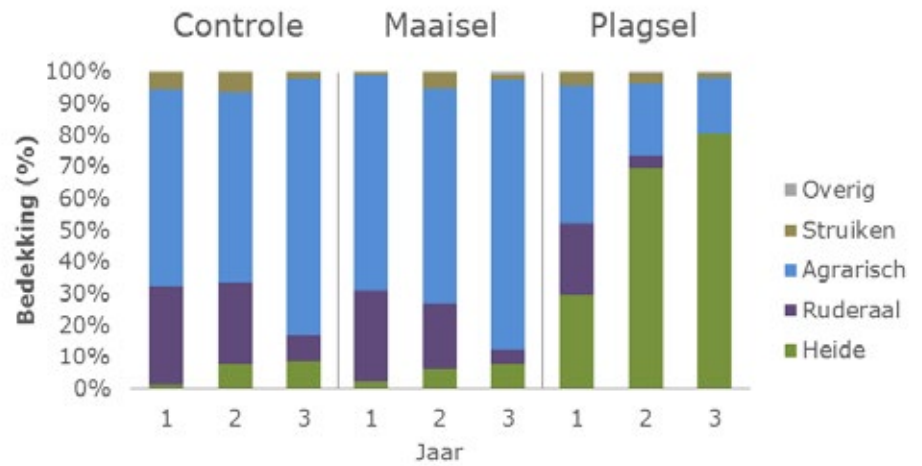
Figure 5.25. The N/P-ratios in the dry - (top) and the wet site (bottom). The legend shows the number of years since the experiment is set up. Average \pm standard deviation. V is acidification, C the control and B is limed.

de natte proef blijft het aandeel agrarische soorten binnen de behandelingen gelijk met de tijd, en neemt het aandeel kenmerkende heidesoorten toe ten koste van het aandeel van de ruderalesoorten. Na het toedienen van plagsel lijken de heidesoorten de concurrentie van de agrarische soorten te winnen in de droge proef omdat het aandeel van deze groep toeneemt ten koste van het aandeel agrarische soorten. In de natte proef kan dit in het derde jaar nog niet geconcludeerd worden, omdat het aandeel van de agrarische soorten constant blijft.

De invloed van pH verschillen op het aandeel van de verschillende groepen soorten lijkt nihil in de droge proef in het derde jaar van het experiment (figuur 5.28). Alleen met bekalken en het toevoegen van maaisel is het aandeel heidesoorten lager. In de natte proef zijn deze verschillen duidelijker na drie jaar (figuur 5.29). Zowel met het toedienen van maaisel als plagsel in combinatie met bekalken is het aandeel van de kenmerkende heidesoorten lager en het aandeel van de ruderalesoorten hoger. In combinatie met het toedienen van plagsel neemt ook het aandeel van de agrarische soorten toe, met het toedienen van maaisel blijft het aandeel van agrarische soorten gelijk. Aangezien de absolute bedekkingen van de kenmerkende heidesoorten niet verschillen tussen de verschillende pH behandelingen (figuur 5.14), kan geconcludeerd worden dat bekalken een positief effect heeft op het aandeel van de agrarische en ruderalesoorten.

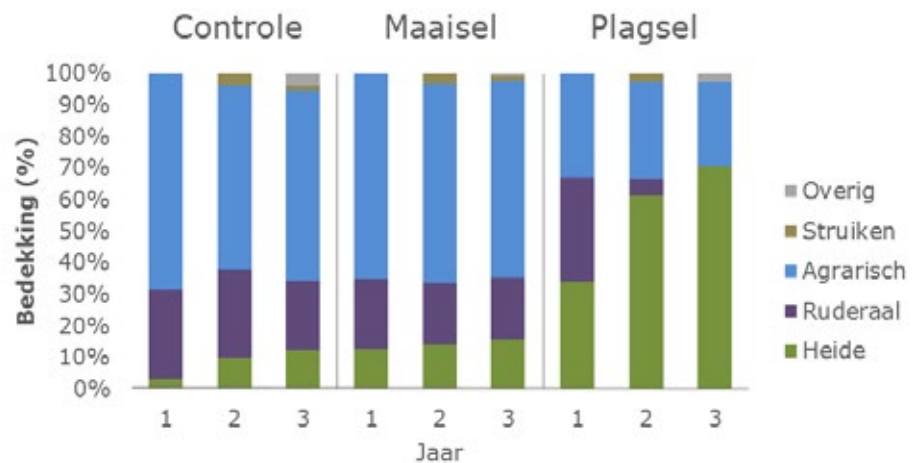
Figuur 5.26. De ontwikkeling van de relatieve bijdrage van de verschillende groepen soorten aan de totale bedekking in de permanente kwadraten van de droge proef gedurende de eerste drie jaar van het experiment.

Figure 5.26. The development in the relative contribution of the different species groups on the total cover in the permanent quadrats in the dry site during the first three years of the experiment.



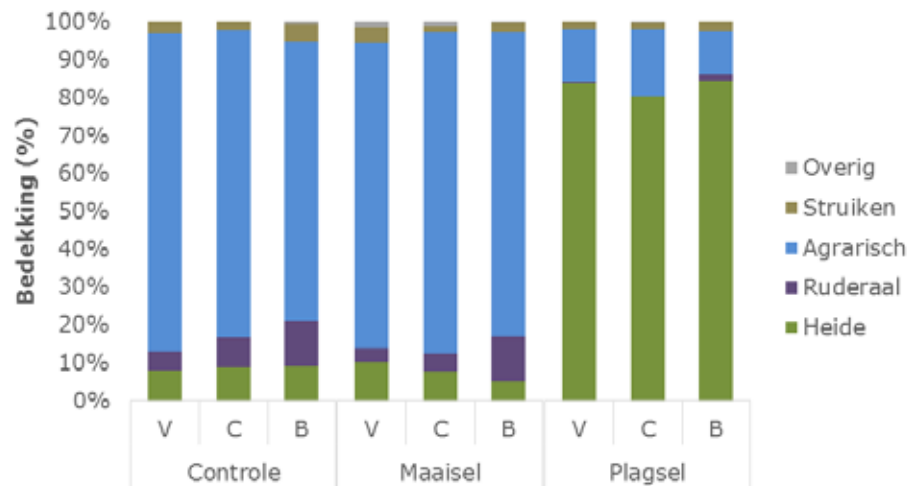
Figuur 5.27. De ontwikkeling van de relatieve bijdrage van de verschillende groepen soorten aan de totale bedekking in de permanente kwadraten van de natte proef gedurende de eerste drie jaar van het experiment.

Figure 5.27. The development in the relative contribution of the different species groups on the total cover in the permanent quadrats in the wet site during the first three years of the experiment.



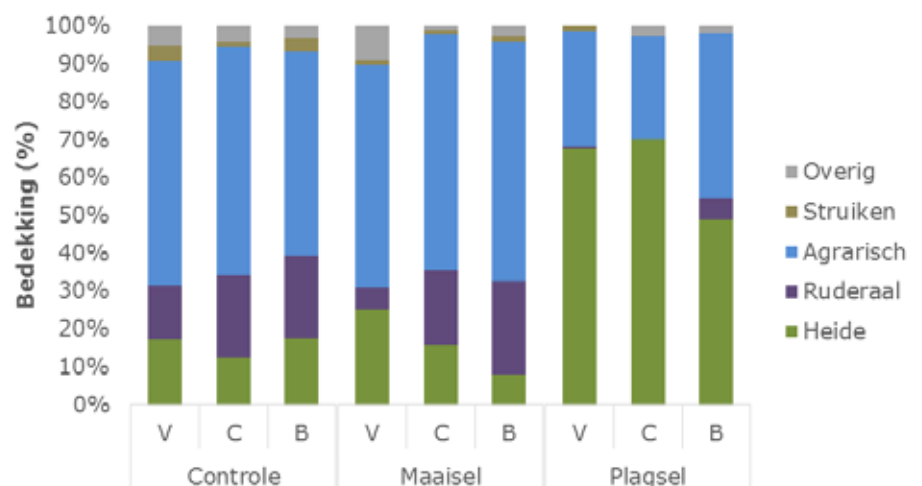
Figuur 5.28. Het effect van de verschillen in pH op de relatieve bijdrage van de verschillende groepen soorten aan de totale bedekking in de permanente kwadraten van de droge proef in het derde jaar van het experiment. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

Figure 5.28. The effect of the differences in pH on the relative contribution of the different species groups on the total cover in the permanent quadrats of the dry site in the third year of the experiment. V is acidification, C is the control and B is limed.



Figuur 5.29. Het effect van de verschillen in pH op de relatieve bijdrage van de verschillende groepen soorten aan de totale bedekking in de permanente kwadraten van de natte proef in het derde jaar van het experiment. V is verzuurd, C is controle en B is bekalkt.

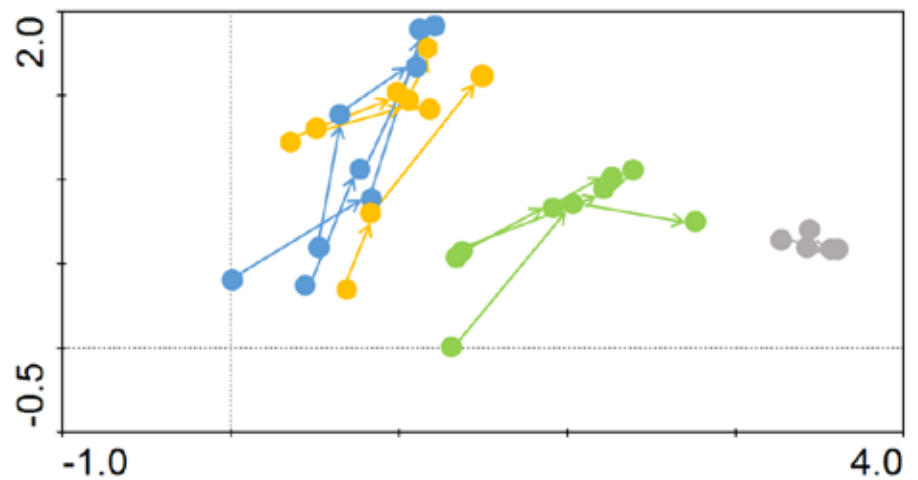
Figure 5.29. The effect of the differences in pH on the relative contribution of the different species groups on the total cover in the permanent quadrats of the wet site in the third year of the experiment. V is acidification, C the control and B is limed.



Ordinatie op basis van de vegetatiesamenstelling in de permanente kwadraten laten zien dat de vegetatiesamenstelling na het toedienen van plagsel de meeste overeenkomsten vertoont met de bestaande heide in het Dwingelderveld in zowel de droge als de natte proef (figuren 5.30 en 5.31). Zowel in de droge als de natte proef zijn er nagenoeg geen verschillen tussen het toedienen van maaisel en de controle. Na het toedienen van plagsel is met name in de droge proef een duidelijke ontwikkeling in de richting van de bestaande heide waar te nemen gedurende de eerste drie jaar van het experiment. In de droge proef ontwikkelen de controleproefvlakken voor het inbrengen van materiaal en de proefvlakken waar maaisel is ingebracht zich allen in dezelfde richting, in de natte proef is er in deze proefvlakken geen consistente ontwikkeling te zien.

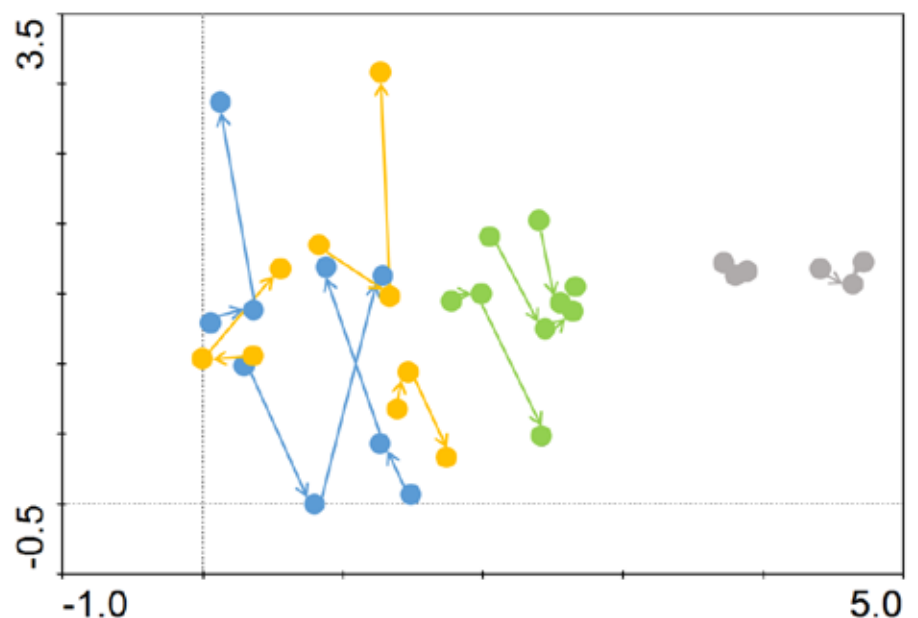
Figuur 5.30. Een ordinatie (DCA) op basis van de opnames van de permanente kwadraten van de droge proef. Blauw: controle; geel: maaisel; groen: plagsel en grijs: bestaande droge heide Dwingelderveld. De lijnen geven de ontwikkeling in de eerste drie jaar van het experiment weer. Alleen de drie controlebehandelingen voor pH zijn opgenomen. De eerste as verklaart 21,1 procent van de variatie, de tweede as 6,4 procent.

Figure 5.30. An ordination (DCA) on the basis of the relevés of the permanent quadrats of the dry site. Blue: control; yellow: hay; green: sods and grey: reference. The lines depict the development in the first three years of the experiment. Only the three control treatments for pH are shown. The first axis explains 21,1 percent of the variance, the second axis 6,4 percent.



Figuur 5.31. Een ordinatie (DCA) op basis van de opnames van de permanente kwadraten van de natte site. Blauw: controle; geel: maaisel; groen: plagsel en grijs: bestaande natte heide in het Dwingelderveld. De lijnen geven de ontwikkeling in de eerste drie jaar van het experiment weer. Alleen de drie controlebehandelingen voor pH zijn opgenomen. De eerste as verklaart 15,5 procent van de variatie, de tweede as 7,1 procent.

Figure 5.31 An ordination (DCA) on the basis of the relevés of the permanent quadrats of the wet site. Blue: control; yellow: hay; green: sods and grey: reference. The lines depict the development in the first three years of the experiment. Only the three control treatments for pH are shown. The first axis explains 15,5 percent of the variance, the second axis 7,1 percent.



5.7 Samenvatting resultaten

- Op korte termijn kan de successie op voormalige landbouwgronden in de richting van droge dan wel natte heide gestuurd worden door het inbrengen van plagsel. Er zijn geen directe effecten van pH gemeten op de vestiging en ontwikkeling van kenmerkende heidesoorten. Er is wel een indirect effect gevonden, na bekalken hebben agrarische en ruderaal soorten een duidelijk voordeel ten opzichte van kenmerkende heidesoorten
- Het opbrengen van plagsel heeft duidelijke positieve effecten op het aantal en de bedekking van kenmerkende heidesoorten
- Met het inbrengen van maaisel en plagsel worden ook voor heide kenmerkende Rode-lijst soorten als Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) overgebracht.
- Met het toevoegen van plagsel neemt de bedekking van kenmerkende heidesoorten toe ten opzichte van agrarische en ruderaal soorten. Bekalken werkt juist in de tegengestelde richting en heeft een positief effect op agrarische en ruderaal soorten.
- Met het toevoegen van plagsel ontwikkelen de proefvlakken zich sneller in de richting van een droge dan wel natte heide en wordt de successie versneld in de gewenste richting.
- In de natte proef zal naar verwachting de opgetreden vernatting een grote rol gaan spelen. Hierdoor verdwijnen veel drogere soorten, waaronder kenmerkende heidesoorten als Struikhei (*Calluna vulgaris*). Door vernatting neemt ook de bedekking door mos toe, wat een beperking kan gaan vormen voor verdere uitbreiding van heidesoorten. In de resultaten van het derde jaar is in een aantal gevallen al een teruggang waar te nemen in zowel de totale bedekking door de kruidlaag als de bedekking door kenmerkende heidesoorten. Het is de vraag hoe dit de competitie tussen agrarische soorten, kenmerkende heidesoorten en op arme grond voorkomende grassen als Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) zal gaan beïnvloeden.

Struikheide op een van de proefvlakken



6. Bodemmicroorganismen

6.1 Inleiding

Landgebruik en beheer hebben een sterk effect op de samenstelling van de micro-bacteriële gemeenschap in de bodem (Ritz et al., 2009). Ook wanneer wordt gekeken naar de effecten van herstelmaatregelen is de micro-bacteriële gemeenschap een goede indicator om het succes van maatregelen in beeld te brengen (Harris 2003, 2009). Om de effecten van verschillende herstelstrategieën in kaart te brengen, wordt gekeken naar de grootte van de gemeenschap, haar samenstelling en activiteit.

Gedurende de looptijd van dit onderzoek is gebruik gemaakt van momenteel gangbare technieken, waarvan enkelen door Cranfield University zelf zijn ontwikkeld. Doelstelling was het vaststellen van de veranderingen in de bodem microbiële gemeenschap in de praktijkproef heideherstel in het Dwingelderveld. De volgende technieken zijn hierbij gebruikt (voor verdere informatie zie de materiaal en methode in H3):

- Microbiële biomassa: Gemeten door middel van de fumigation-flush techniek. Geeft de grootte van de koolstofbron weer van de gehele microbiële gemeenschap.
- Samenstelling van de gemeenschap: Vastgesteld door “fenotypische profilering” met gebruik van de phospho-lipid fatty acid methode (PLFA).
- Functionele kenmerken van de gemeenschap door middel van “catabolic capability profiling”: gemeten door middel van de Multiple Substrate Induced Respiration (MSIR) methode waarmee de metabolische mogelijkheden van de gemeenschap onder verschillende koolstof substraten wordt bepaald.

Het combineren van deze technieken maakt het mogelijk om al in een vroeg stadium kleine verschillen tussen behandelingen waar te nemen in herstelprojecten.

6.2 Microbiële biomassa

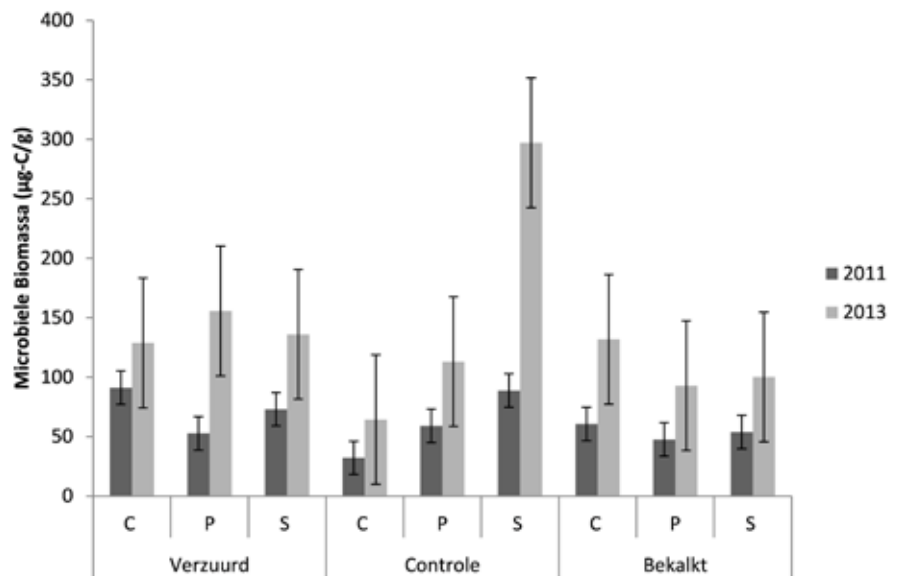
De microbiële biomassa, gemeten in zowel de natte als de droge heide proef, is in 2011 (uitgangssituatie) en 2013 een orde van grootte kleiner dan die gemeten in de bestaande natte- en droge heide in het Dwingelderveld. In de bestaande natte heide in het Dwingelderveld werd in 2013 een biomassa gemeten van $3855 \mu\text{-C/g}$ (\pm SE $1120 \mu\text{-C/g}$), aanzienlijk meer dan in de natte proefvlakken werd gemeten. Hier was de microbiële biomassa in 2013 slechts $233 \mu\text{-C/g}$. In de bestaande droge heide werd een gemiddelde biomassa ($n=3$) van $770 \mu\text{-C/g}$ (\pm SE 250) gemeten, aanzienlijk meer dan in de proefvlakken van het droge experiment met $174 \mu\text{-C/g}$.

In de proefvelden van het natte experiment werden geen significante behandel-effecten gemeten op de microbiële biomassa. Er was geen pH effect en geen effect van het opbrengen van maaisel of plagsel (Figuur 6.1). Wel is er een significante toename in microbiële biomassa in de tijd ($p < 0,01$), waarbij de microbiële biomassa van alle natte proefvelden ($n=27$) gemiddeld steeg van $62 \mu\text{-C/g}$ ($\pm \text{SE } 5$) in 2011 tot $135,5 \mu\text{-C/g}$ ($\pm \text{SE } 18$) in 2013.

In de droge proef is wel een significant behandel-effect gemeten. In de proefvelden waar plagsel is aangebracht werd een significante ($p < 0,05$) toename in microbiële biomassa gemeten, ten opzichte van de metingen uit 2011 (Figuur 6.2). Het manipuleren van de bodem pH heeft niet tot significante verschillen geleid tussen de gegevens uit 2011 en 2013 (Figuur 6.3).

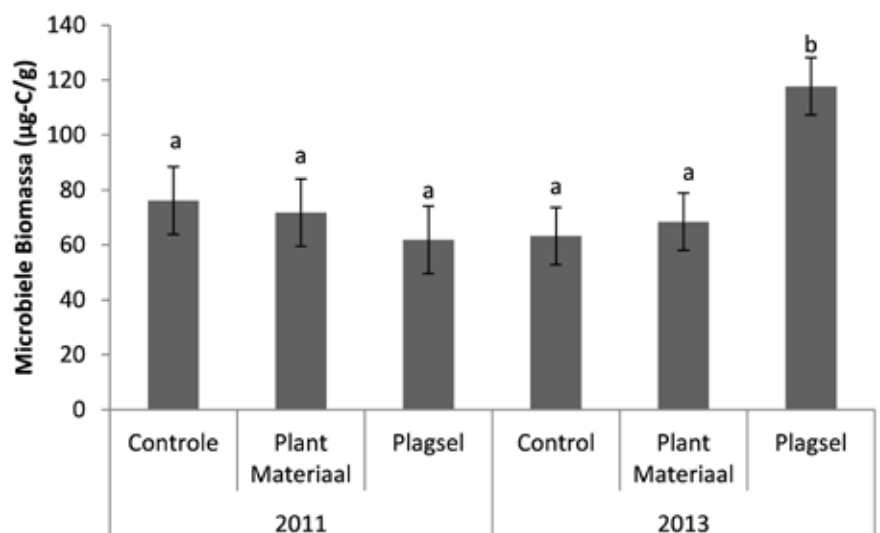
Figuur 6.1. Microbiële biomassa gemeten in de proefvlakken van de natte heide proef. Data zijn gemiddelde \pm Standaard fout ($n=3$). C=Controle, P=plantmateriaal en S=Plagsel met plantmateriaal.

Figure 6.1. Microbial biomass of the wet restored heathlands. Data are means \pm SE ($n=3$). C=Control, PM=Plant Material, S=sods. Verzuurd=Acidified, Controle=Control and Bekalkt=Limed.



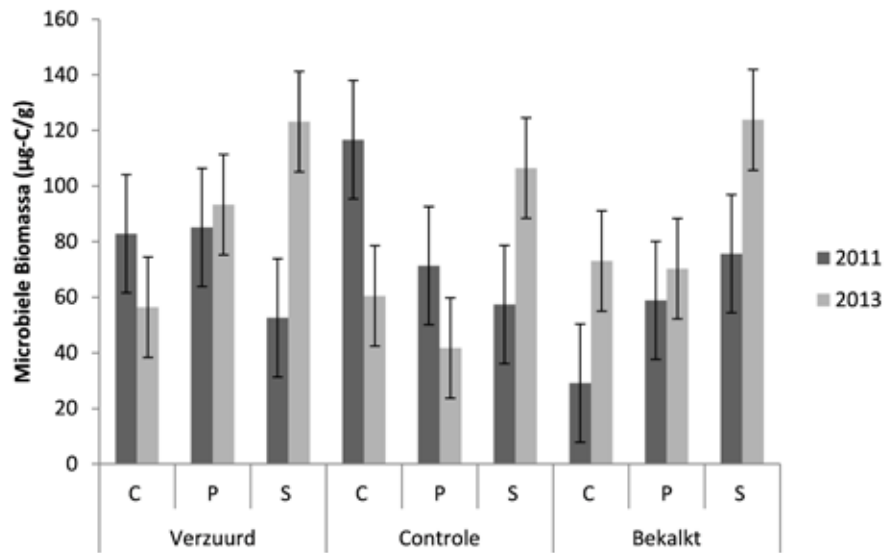
Figuur 6.2. Effect van het opbrengen van plagsel op de microbiële biomassa gemeten in de droge proefvlakken. Data zijn gemiddeld van alle pH-behandelingen \pm Standaard fout ($n=9$). De letters boven de balken geven homogene groepen weer.

Figure 6.2. Effect of sods application on microbial biomass of the dry restored heathlands. Data are means \pm SE ($n=9$). Letters above the bars represent homogenous groupings.



Figuur 6.3. Microbiële biomassa gemeten in de proefvlakken van de droge heide proef. Data zijn gemiddelde \pm Standaard fout ($n=3$). C=Controle, P=plantmateriaal en S=Plagsel met plantmateriaal.

Figure 6.3. Microbial biomass of the dry restored heathlands. Data are means \pm SE ($n=3$). C=Control, PM=Plant Material, S=sods. Verzuurd=Acidified, Controle=Control and Bekalkt=Limed.



6.3 PLFA-analyse

6.3.1 Fenotypische profilering

Natte heide experiment

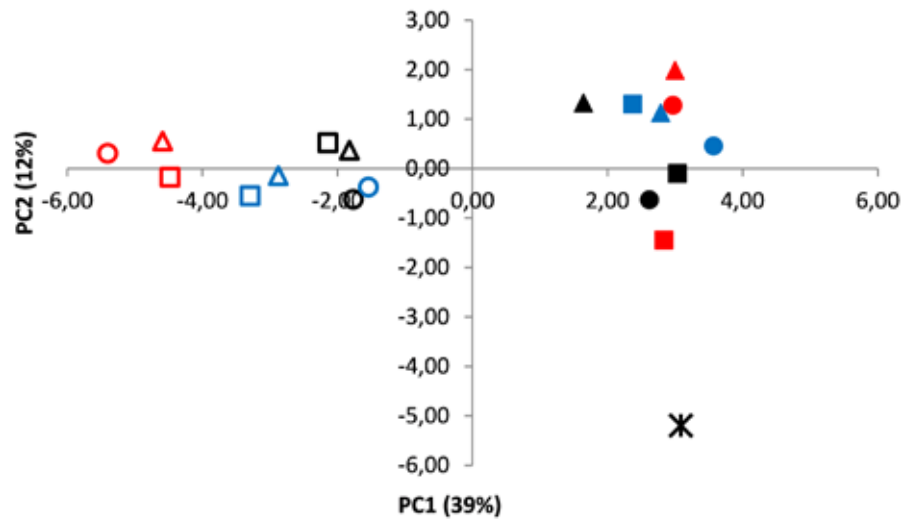
In het natte heide experiment werd een significant ($p < 0,001$) effect in de tijd gemeten en een significant effect van de additie van plantmateriaal en plagsel ($p < 0,01$) op PC1. Het effect van het opbrengen van materiaal (plagsel of maaisel) was niet significant in 2013. In 2013 verschilden de microbiële gemeenschap in de natte proefvlakken en de bestaande natte heide niet van elkaar in PC1, maar PC2 trekt de resultaten van de bestaande natte heide in het Dwingelderveld weg van de resultaten gemeten in de proefvlakken in 2013. Er waren verder geen significante effecten op PC2 (Figuur 6.4).

Droge heide experiment

Net als in de natte proef werd ook in de droge proefvlakken een significant verschil gemeten tussen de resultaten uit 2011 en 2013 op PC1 (Figuur 6.5). Daarnaast blijken de profielen van de microbiële gemeenschap gemeten in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld overeen te komen met die gemeten in de proefvlakken in 2013 op PC1, maar ook hier trekt PC2 de monsters genomen in de bestaande heide weg van die verzameld in de proefvelden. Daarnaast was er een significant ($p < 0,001$) effect van het aanbrengen van plagsel in de PC2 van de droge proef in 2013. De microbiële gemeenschappen gemeten in de proefvlakken waar plagsel op is aangebracht, liggen dicht bij de monsters genomen in de bestaande heide dan die van de andere behandelingen.

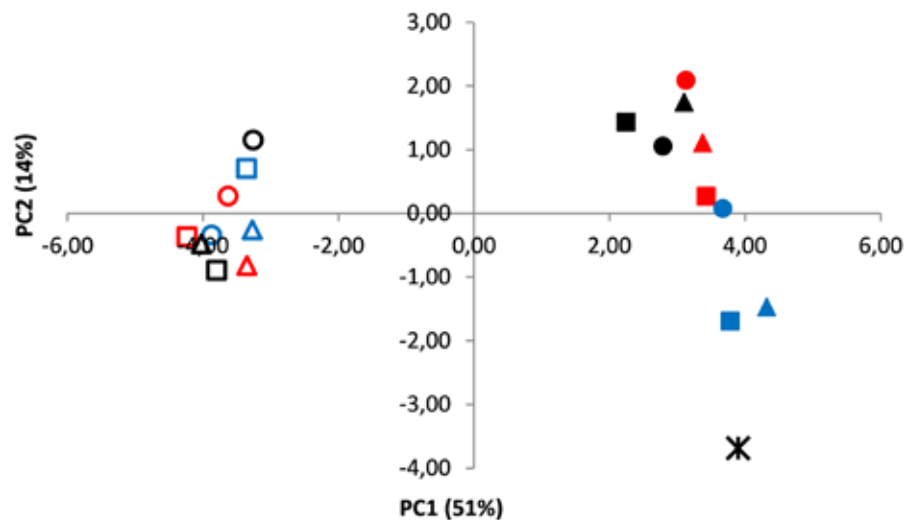
Figuur 6.4. fenotypische profilering (PLFA) van de microbiële bodemgemeenschap in de natte heide proef. Gegevens zijn gemiddeld (n=3). Cirkel=verzuurd, vierkant=controle, driehoekje=bekalkt. Blauw=plagsel, rood=plant materiaal en zwart=controle. Gevulde vormen=2013, leeg=2011. De ster geeft de resultaten gemeten in de bestaande natte heide in het Dwingelderveld weer.

Figure 6.4. Phenotypic (PLFA) profiles of the soil microbial community within the wet heath restoration. Data are means (n=3). Circle=acidic, square=control, triangle=limed. Blue=sods, red=plant material, black=control. Empty shapes are 2011, filled shapes are 2013. The star is the reference.



Figuur 6.5. Fenotypische profilering (PLFA) van de microbiële bodemgemeenschap in de droge heide proef. Gegevens zijn gemiddeld (n=3). Cirkel=verzuurd, vierkant=controle, driehoekje=bekalkt. Blauw=plagsel, rood=plant materiaal en zwart=controle. Gevulde vormen=2013, leeg=2011. De ster geeft de resultaten gemeten in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld weer.

Figure 6.5. Phenotypic (PLFA) profiles of the soil microbial community within the dry heath restoration. Data are means (n=3). Circle=acidic, square=control, triangle=limed. Blue=sods, red=plant material, black=control. Empty shapes are 2011, filled shapes are 2013. The star is the reference.



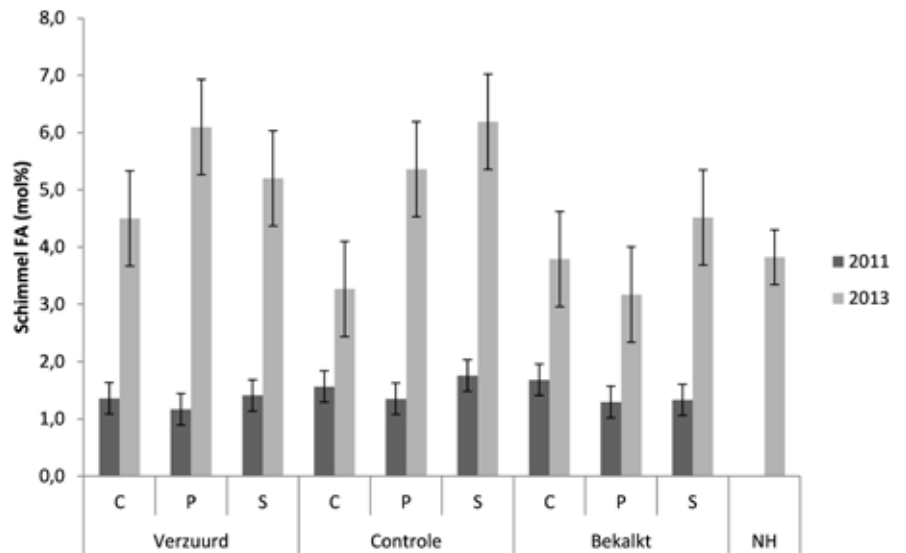
6.3.2 Fatty Acid biomarkers voor schimmels en bacteriën

Natte heide experiment

In de proefvelden van de natte proef verschilden de metingen uit 2011 significant van die uit 2013. Tussen 2011 en 2013 trad er een significante toename op van de aan schimmels gerelateerde vetzuren (Figuur 6.6) en een afname van de aan bacteriën gerelateerde vetzuren (Figuur 6.7). Er was een klein maar significant ($p < 0,05$) effect van bekalken, wanneer de bekalkte bodems gemeten in 2013 werden vergeleken met de controle behandeling. In de bekalkte proefvelden was de schimmel/bacterie-ratio lager dan in de controle (Figuur 6.8). Verder waren er geen significante verschillen tussen de behandelingen zichtbaar (Figuur 6.9).

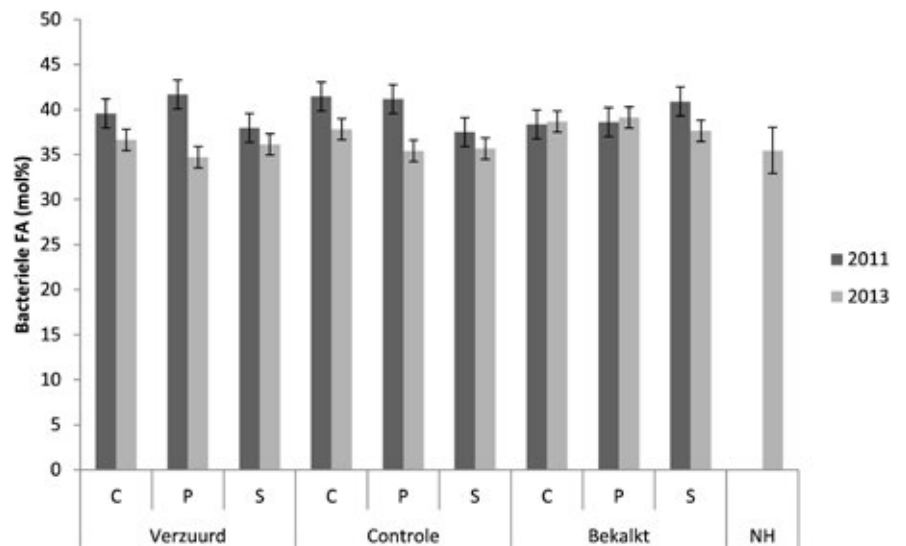
Figuur 6.6. Aanwezigheid van schimmels (18:2ω6, 9 mol%) in de natte heide proef. Gegevens zijn gemiddeld ± Standaard fout (n=3). NH= bestaande natte heide op het Dwingelderveld. C=Controle, P= Plant material en S= Plagsel.

Figure 6.6: Fungal abundance (18:2ω6, 9 mol%) in the wet restored heathlands. Data are means ± SE (n=3). C=Control, PM=Plant Material, S=sods. A=Acidic, C=Control, L=Limed. NH=Reference wet heath.



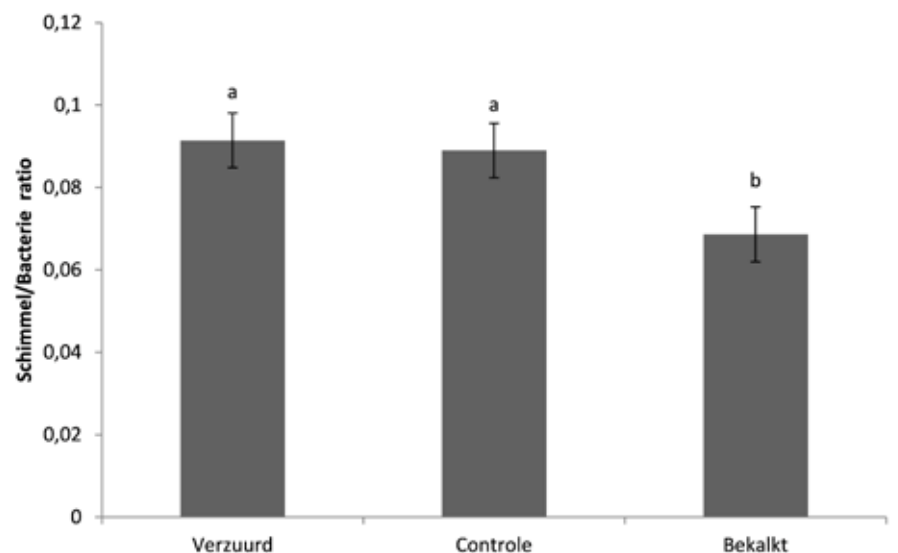
Figuur 6.7. Aanwezigheid van bacteriën (18:2ω6, 9 mol%) in de natte heide proef. Gegevens zijn gemiddeld ± Standaard fout (n=3). NH= bestaande natte heide op het Dwingelderveld. C=Controle, P= Plant material en S= Plagsel.

Figure 6.7: Bacterial abundance (18:2ω6, 9 mol%) in the wet restored heathlands. Data are means ± SE (n=3). C=Control, P=Plant Material, S=sods. NH=Reference wet heath. Verzuurd=Acidified, Controle=Control and Bekalkt=Limed.



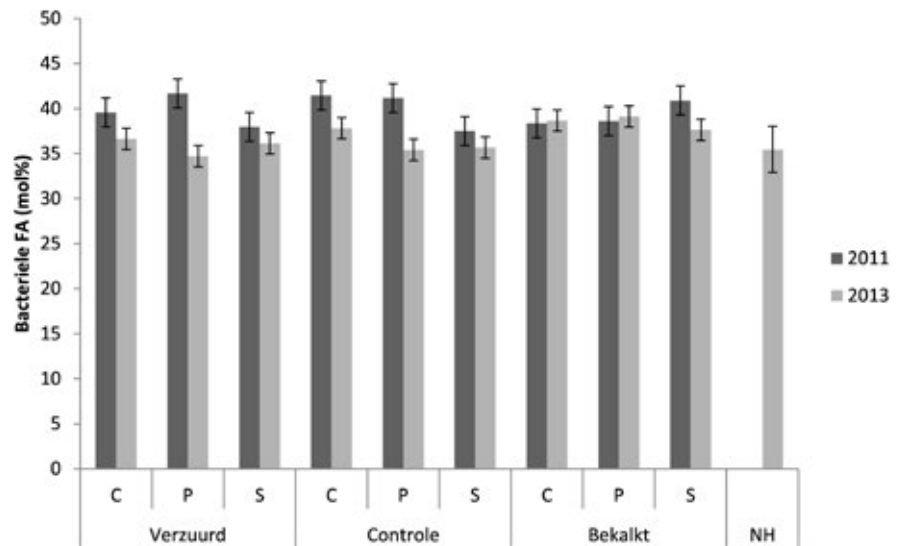
Figuur 6.8. Effect van bekalken op de schimmel/bacterie-ratio in de natte heide proef. Gegevens zijn gemiddelde van de gegevens uit 2013 (± Standaardfout) van alle ‘additie behandelingen’ (controle, plant materiaal en plagsel, n=9). Letters boven de staven geven gelijke groepen weer.

Figure 6.8: Effect of soil liming on the Fungal/Bacterial ratio of the wet heathlands. Data are means (± SE) for 2013 across all “additional treatments” (control, sods and plant material; n=9). Letters above the histograms represent homogenous groups. Verzuurd=Acidified, Controle=Control and Bekalkt=Limed.



Figuur 6.9. Schimmel/bacterie-ratio in de natte heide proef. Gegevens zijn gemiddeld \pm Standaardfout van alle pH-behandelingen (n=9).

Figure 6.9. Effect of sods application on the fungal/bacterial ratio of the wet restored heath. Data are means (\pm SE) across all pH treatments (control, limed and acidic; n=9).

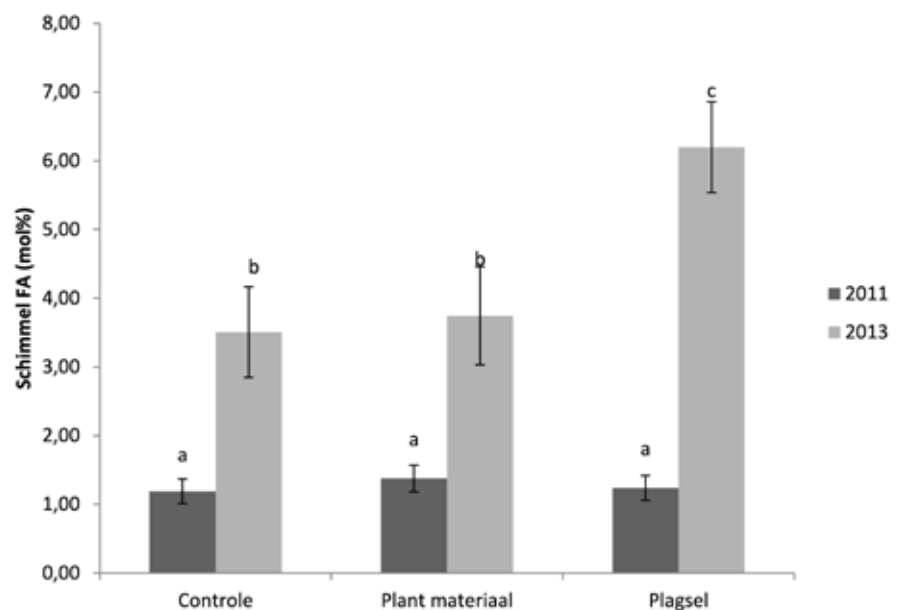


Droge heide experiment

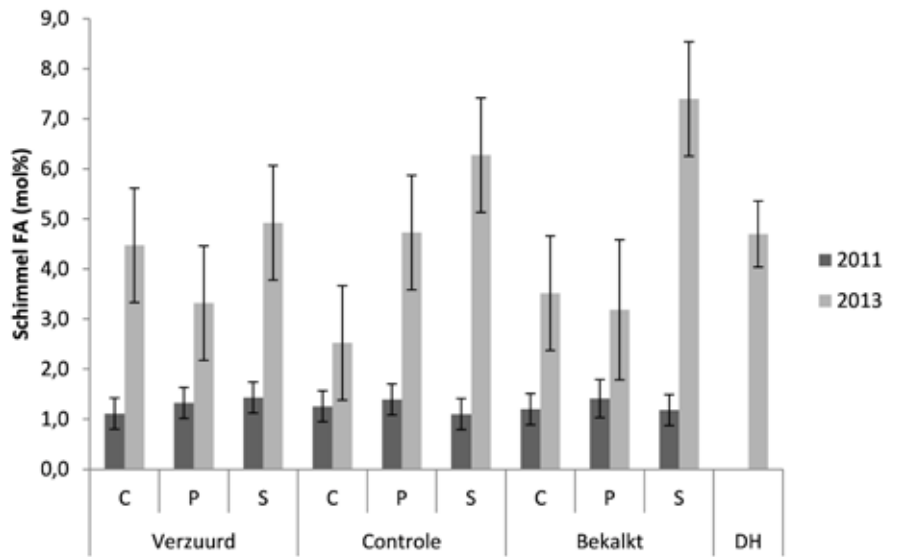
In 2013 werden significant ($p < 0,05$) meer schimmels gemeten in de proefvlakken van de droge proef waar plagsel is opgebracht (Figuur 6.10). Verder zijn er geen significante verschillen tussen de behandelingen gemeten in de hoeveelheid vetzuren van schimmels (Figuur 6.11). De behandelingen hebben geen significant effect op de hoeveelheid bacteriën gemeten in de proefvlakken van de droge heide proef (Figuur 6.12). Toch heeft de toename van de hoeveelheid schimmels in 2013 in de proefvelden waar plagsel is aangebracht, geleid tot een significante toename van de schimmel/bacterie-ratio (Figuur 6.13), maar zonder significante verschillen tussen de behandelingen (Figuur 6.14).

Figuur 6.10. Effect van het opbrengen van plagsel op de relatieve hoeveelheid van de biomarker voor schimmel-vetzuren in de droge heide proef. Gegevens zijn gemiddeld (\pm Standaard fout) van alle pH-behandelingen (controle, bekalken en verzuren; n=9). Letters boven de staven geven homogene groepen weer.

Figure 6.10: Effect of sods application on the relative abundance of the fungal fatty acid biomarker in the dry restored heath. Data are means (\pm SE) across all pH treatments (control, limed and acidic; n=9). Letters above the histograms represent homogenous groups. Controle=Control, Plant materiaal= Plant material and Plagsel= Sods.

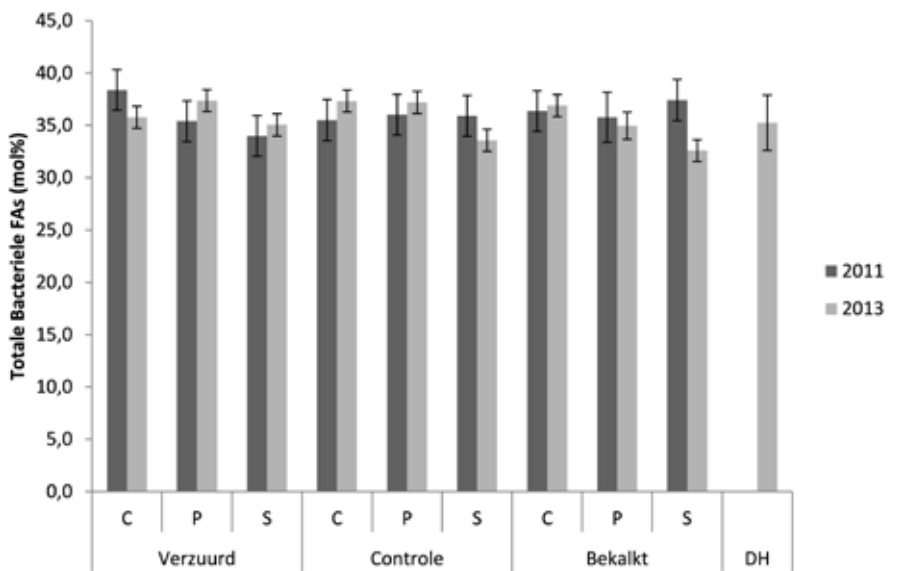


Figuur 6.11. Hoeveelheid schimmels (18:2ω6, 9 mol%) in de droge heide proef. Gegevens zijn gemiddeld ± Standaard fout (n=3). DH= bestaande droge heide op het Dwingelderveld. C=Controle, P= Plant material en S= Plagsel.
 Figure 6.11: Fungal abundance (18:2ω6, 9 mol%) in the dry restored heathlands. Data are means ± SE (n=3). C=Control, P=Plant Material, S=sods. DH=Reference dry heath.



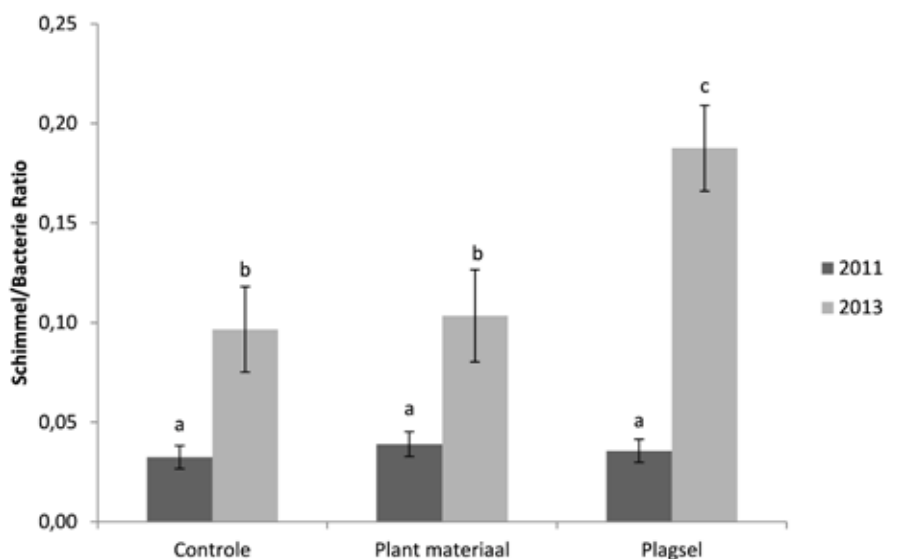
Figuur 6.12. Hoeveelheid bacteriën in de droge heide proef. Data zijn gemiddeld ± Standaardfout. C=Controle, P= Plant materiaal en S=Plagsel. DH= Bestaande droge heide in het Dwingelderveld.

Figure 6.12. Bacterial abundance in the dry restored heathlands. Data are means ± SE (n=3). C=Control, P=Plant Material, S=sods. DH=Reference dry heath.



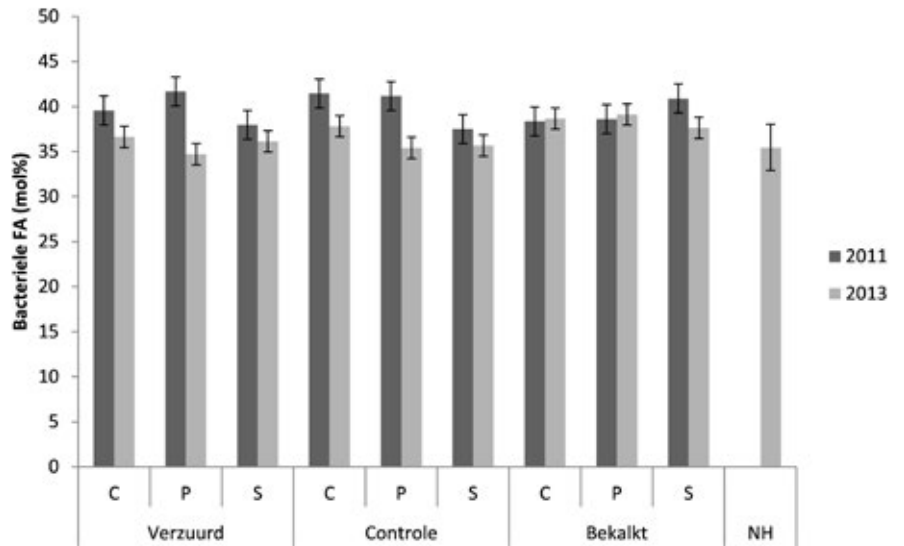
Figuur 6.13. Schimmel/bacterie-ratio in de droge heide proef. Gegevens zijn gemiddeld ± Standaardfout van alle pH-behandelingen (n=9). Letters boven de balken geven homogene groepen weer.

Figure 6.13. Effect of sods application on the fungal/bacterial ratio of the dry restored heath. Data are means (± SE) across all pH treatments (control, limed and acidic; n=9). Letters above the histograms represent homogenous groups.



Figuur 6.14. Schimmel/Bacterie- ratio in de droge heide proef. Data zijn gemiddeld \pm Standaardfout ($n=3$). C=Controle, P= Plant materiaal en S=Plagsel. DH= Bestaande droge heide in het Dwingelderveld.

Figure 6.14. Fungal/bacterial ratio for the dry restored heathlands. Data are means \pm SE ($n=3$). C=Control, P=Plant Material, S=sods. DH=Reference dry heath.

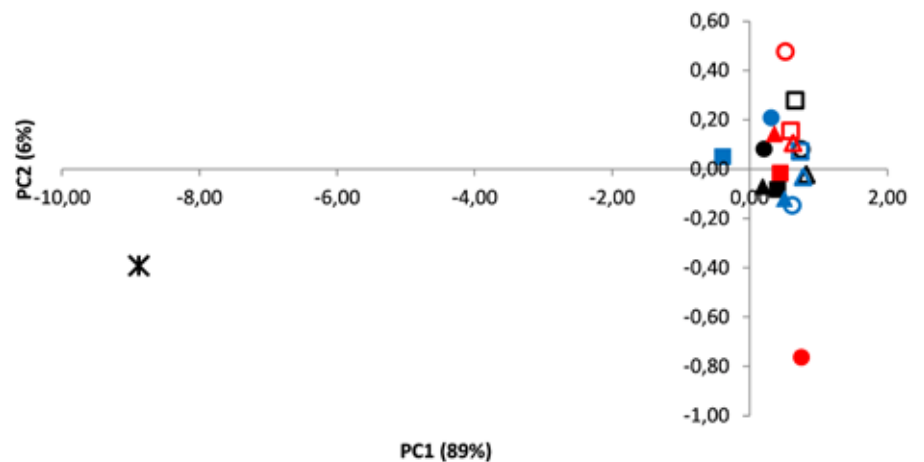


6.4 Multiple Substrate Induced Respiration (MSIR) Functional Profiles

Figuur 6.15. Multiple Substrate Induced respiration profielen van de microbiële bodemgemeenschap in de natte heide proef. Gegevens zijn gemiddeld ($n=3$). Cirkel=verzuurd, vierkant=controle, driehoekje=bekalkt. Blauw=plagsel, rood=plant materiaal en zwart=controle. Gevulde vormen=2013, leeg=2011. De ster geeft de resultaten gemeten in de bestaande natte heide in het Dwingelderveld weer.

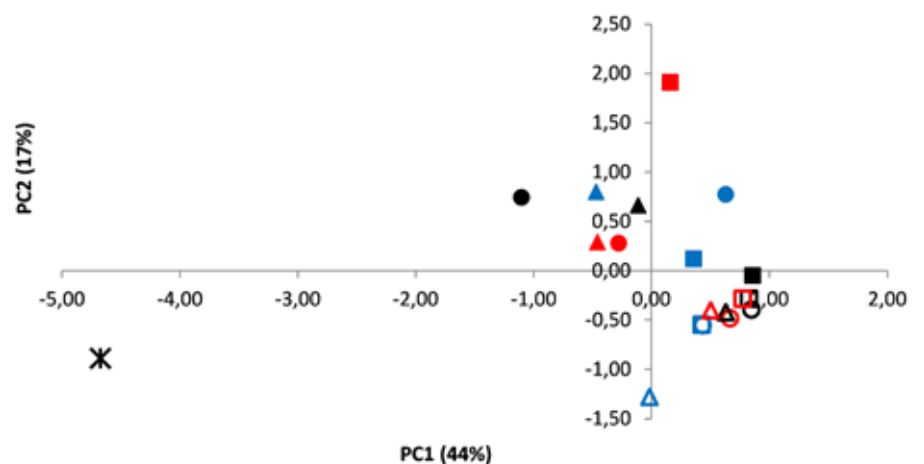
Figure 6.15. Multiple Substrate Induced Respiration functional profiles of the wet heath. Data are means ($n=3$). Circle=acidic, square=control, triangle=limed. Blue=sods, red=plant material, black=control. Empty shapes are 2011, filled shapes are 2013. The star is the reference.

In zowel de droge (Figuur 6.15) als natte heide proef (Figuur 6.16) is tijd de enige significante factor in de MSIR-profielen. PC1 maakt onderscheid tussen de MSIR-profielen van de monsters genomen in de bestaande heide en in de proef. Dit geeft aan dat er meer tijd nodig is voordat de MSIR-profielen van de proefvlakken zich in de richting van de bestaande heide zullen bewegen.



Figuur 6.16. Multiple Substrate Induced respiration profielen van de microbiële bodemgemeenschap in de droge heide proef. Gegevens zijn gemiddeld ($n=3$). Cirkel=verzuurd, vierkant=controle, driehoekje=bekalkt. Blauw=plagsel, rood=plant materiaal en zwart=controle. Gevulde vormen=2013, leeg=2011. De ster geeft de resultaten gemeten in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld weer.

Figure 6.16. Multiple Substrate Induced Respiration functional profiles of the dry heath. Data are means ($n=3$). Circle=acidic, square=control, triangle=limed. Blue=sods, red=plant material, black=control. Empty shapes are 2011, filled shapes are 2013. The star is the reference.



6.5 Samenvatting resultaten

Uitgangssituatie

- In de proefvlakken (zowel nat als droog) is de microbiële biomassa tussen de 10 en 20 keer kleiner dan die in de bestaande heide van het Dwingelderveld.

Microbiële Biomassa

- De microbiële biomassa in zowel de droge- als natte proefvelden is lager dan die in de bestaande droge- en natte heide.
- Tussen 2011 en 2013 nam de microbiële biomassa toe, maar alleen in de natte proef. In de droge proef was deze toename niet zichtbaar. Er waren geen effecten van de behandelingen zichtbaar.
- In de droge proef heeft het toedienen van plagsel geleid tot een toename in de microbiële biomassa. Dit effect was niet zichtbaar in de natte proefvelden.

Fenotypische (PLFA) profielen

- De profielen van zowel het natte als droge experiment lagen in 2013 dichterbij de profielen in de bestaande heide dan in 2011. De proefvlakken gaan steeds meer op de bestaande heide lijken.
- Er waren effecten van de behandelingen zichtbaar:
Het opbrengen van plagsel zorgde er in de droge proef voor dat de profielen dichterbij de profielen van de bestaande heide kwamen te liggen.

Schimmel en bacterie biomarkers

- Tussen 2011 en 2013 nam de relatieve aanwezigheid van schimmels toe en die van bacteriën af in de natte proefvelden. Dit gebeurde bij alle behandelingen.
- In de natte proef zorgde het bekalken daarnaast voor een afname in de schimmel/bacterie-ratio in 2013.
In het droge experiment nam de hoeveelheid aan schimmels gerelateerde biomarkers toe in 2013 in de proefvlakken waar plagsel is opgebracht. Deze toename zorgt ook voor een toename in de schimmel/bacterie-ratio.

Functioneel (MSIR) profiel

- In zowel de natte- als droge proef hebben de behandelingen nauwelijks effect gehad op de MSIR-profielen. De “functional catabolic capabilities” van de proefvlakken (nat en droog) gemeten door middel van MSIR hebben meer tijd nodig om zich te herstellen.

Samenvatting belangrijkste effecten behandelingen:

- In zowel de natte als droge proef beginnen er verschillen op te treden in de microbiële gemeenschappen.
 - In de droge proef heeft het opbrengen van plagsel geleid tot een toename van de microbiële biomassa, een toename in het relatieve aandeel van schimmels in de microbiële bodemgemeenschap, en tot een verschuiving van het fenotypische profiel in de richting van de bestaande droge heide in het Dwingelderveld.
 - In de natte heide proef werden effecten gemeten van het opbrengen van kalk. Het opbrengen van kalk zorgde voor een afname van de schimmel/bacterie-ratio.

7. Micro- en mesofauna bodem

7.1 Inleiding

De bodem fauna speelt een belangrijke rol in veel processen die plaatsvinden in de bodem. Deze processen hebben mogelijk een effect op de vestiging van planten, competitie tussen verschillende plantensoorten en de successie en formatie van specifieke plantengemeenschappen (DeDeyn, 2003, Frouz et al., 2008, Roubickova et al., 2009, Mudrak et al., 2012). De interactie tussen bodem fauna en bodemprocessen bestaat onder andere uit interacties met plantenwortels, herbivorie, veranderingen in bodem structuur en de vorming van bodem horizonten (DeDeyn, 2003, Frouz et al., 2008, Roubickova et al., 2009, Mudrak et al., 2012). Microkosmos proeven suggereren dat het toevoegen van bodem-biota aan de bodem (het “enten” van de bodem), de vestiging van doelsoorten sterk kan verbeteren (Dedeyn, 2003).

Ook zijn de bodem-biota een gevoelige indicator voor het succes van herstel van natuurgebieden. Bodem biota is over het algemeen gebonden aan een vaste standplaats aangezien ze zich slechts zeer langzaam kan verplaatsen. Daarnaast moeten zowel bodem als vegetatie een bepaalde ontwikkeling hebben doorgemaakt voordat een gebied geschikt is voor kolonisatie door bodem biota.

Uit studies in situaties waar heide wordt hersteld door het afvoeren van 30 à 40 cm van de toplaag, blijkt dat de ontwikkeling van de fauna achterblijft bij de ontwikkeling van de vegetatie (Frouz et al., 2009). Het achterblijven van de fauna blijkt sterk gecorreleerd te zijn met het achterblijven van de ontwikkeling van de zogenaamde Oe-horizont. Deze bodemlaag is een organische horizont waarbij het organisch materiaal afkomstig is van intermediaire decompositie (*hemic*). Deze bodemlaag wordt gevormd door fragmenten van heideplanten en de stoffen die door met name Oribatide mijten worden uitgescheiden en is een belangrijke habitat voor bodem fauna. Daarnaast is de Oe-horizont de plek waar mycorrhiza-schimmels foerageren naar voedsel en waar invertebraten overwinteren of nesten maken. Hieruit komt de gedachte voort dat het transporteren van bodem vanuit brongebieden naar herstelde terreinen de vestiging van bodem biota kan versnellen, en daarmee de ontwikkeling van het gehele ecosysteem.

Het doel van het uitgevoerde experiment is om te onderzoeken of het mogelijk is het herstel van de bodem biota te versnellen door bodemmateriaal vanuit goed ontwikkelde brongebieden in te brengen in een situatie waarbij 30 à 40 cm van de bovenste bodemlaag is afgevoerd. Dit werd gedaan door bodemmateriaal uit natte- en droge heide vanuit de omgeving direct na ontgronden op de proefvelden uit te spreiden. Ook wordt onderzocht of het opbrengen van plant materiaal en het opbrengen van zwavel of het bekalken van de bodem effecten hebben op de ontwikkeling. Daarnaast is gekeken of het al dan niet herstellen van de bodem

biota invloed heeft op de ontwikkeling van de vegetatie en de beschikbaarheid van voedingsstoffen in de bodem. Ter vergelijking zijn, naast de proefvlakken, monsters genomen in goed ontwikkelde natte- en droge heidevegetaties in het Dwingelderveld (Zie paragraaf 3.1).

7.2 Nulmetingen

In 2011 zijn metingen verricht voordat er werd bekalkt, zwavel werd opgebracht (verzuurd) en/of plant materiaal en plagsel werd aangebracht. Uit deze pre-treatment-metingen van micro- en mesofauna in de bodem blijkt dat er geen significante verschillen aanwezig zijn tussen de proefvelden bij aanvang van het experiment ($t=0$), zowel in de totale dichtheid van nematoden als in de dichtheid van verschillende trofische groepen van nematoden (Tabel 7.1 en 7.2). Bacterie- en planteneterende nematoden waren duidelijk de meest aanwezige groepen Nematoden. Dit komt overeen met agrarisch grasland en laat duidelijk de historie van het onderzoeksgebied zien (Frouz *et al.*, 2009).

De dichtheid van mesofauna en nematoden is 1 tot 2 ordes van grootte kleiner in de afgegraven proefvelden dan normaliter gemeten in heide of grasland (Van Diggelen *et al.*, 2009). Kortom, zoals te verwachten is, is de dichtheid van de onderzochte micro- en mesofauna sterk verminderd door het afgraven van de bodem. Dit effect is te zien in alle proefvelden.

Tabel 7.1. Gemiddelde en standard-deviatie van de individuele dichtheid van trofische groepen van de Nematoden (aantal individuen per 10 gram bodem) in de verschillende behandelingen. F en p waardes uit One-way Anova om de dichtheid te vergelijken tussen verschillende behandelingen. Na=niet aanwezig.

Table 7.1. Mean and SD of individual trophic group of Nematode density (no ind 10g soil-2) in individual treatments on dry and wet heath, F and p values of one way ANOVA comparing density among treatments.

Voedsel gilde	Behandeling	Droge Heide					Natte heide				
		bacterie eters	Planten eters	Schimmel eter leeder	predators	omnivoren	Bacterie eters	Planten eters	Schimmel eters	predators	omnivoren
Controle	Gemiddelde	0.5	1.0	0.2	0.0	0.7	2.5	3.2	0.0	0.0	1.7
	StDev	1.1	0.8	0.4	0.0	0.7	2.1	2.9	0.0	0.0	2.5
Bekalkt	Gemiddelde	1.5	0.2	0.0	0.0	0.3	3.3	2.0	0.3	0.0	0.7
	StDev	1.8	0.4	0.0	0.0	0.7	4.4	2.5	0.5	0.0	1.1
Verzuurd	Gemiddelde	5.7	2.2	0.3	0.0	0.0	5.0	2.3	0.2	0.0	0.7
	StDev	7.6	4.4	0.5	0.0	0.0	9.8	2.9	0.4	0.0	1.1
Plant materiaal	Gemiddelde	2.5	3.8	1.0	0.0	1.8	1.3	2.2	0.5	0.0	1.0
	StDev	3.4	4.4	1.8	0.0	1.3	1.4	1.6	0.8	0.0	0.8
Plagsel	Gemiddelde	3.2	2.3	0.2	0.0	1.0	1.5	1.2	0.5	0.0	0.5
	StDev	3.5	1.9	0.4	0.0	1.8	1.7	1.1	0.8	0.0	0.8
Bekalkt+ Plant materiaal	Gemiddelde	3.3	1.0	0.2	0.0	0.5	1.8	3.5	0.5	0.0	1.0
	StDev	3.1	1.8	0.4	0.0	0.8	1.6	3.6	1.1	0.0	1.2
Verzuurd+ Plant materiaal	Gemiddelde	5.7	2.8	1.3	0.0	0.3	13.2	2.2	0.2	0.0	1.2
	StDev	6.7	2.7	1.7	0.0	0.5	25.9	2.7	0.4	0.0	0.9
Bekalkt+Plagsel	Gemiddelde	0.8	2.3	0.7	0.0	1.3	1.3	7.2	0.3	0.2	1.3
	StDev	0.4	1.5	1.1	0.0	0.9	1.2	6.6	0.5	0.4	1.6
Verzuurd+ Plagsel	Gemiddelde	2.8	2.8	1.3	0.0	0.2	2.5	7.2	0.3	0.0	0.7
	StDev	3.3	2.0	1.6	0.0	0.4	2.4	7.1	0.7	0.0	0.7
F		1.02	0.97	1.17	na	1.98	0.79	1.56	0.37	1.00	0.42
p		0.434	0.465	0.333	na	0.069	0.610	0.161	0.927	0.44	0.897

Behandeling		Droge heide		Natte heide	
		Colembola	Acari	Colembola	Acari
Controle	Gemiddelde	245	184	0	0
	StDev	87	260	0	0
Bekalkt	Gemiddelde	61	0	61	0
	StDev	87	0	87	0
Verzuurd	Gemiddelde	0	0	123	61
	StDev	0	0	87	87
Plant materiaal	Gemiddelde	245	184	61	0
	StDev	347	150	87	0
Plagsel	Gemiddelde	61	61	0	61
	StDev	87	87	0	87
Bekalkt+ Plant materiaal	Gemiddelde	552	0	123	0
	StDev	397	0	87	0
Verzuurd+ Plant materiaal	Gemiddelde	123	61	0	0
	StDev	87	87	0	0
Bekalkt+Plagsel	Gemiddelde	184	0	61	0
	StDev	260	0	87	0
Verzuurd+ Plagsel	Gemiddelde	0	0	0	184
	StDev	0	0	0	260
F		1.44	1.035.714	1.25	0.840909
p		0.24669	0.446211	0.327593	0.579783

Tabel 7.2. Gemiddelde van de dichtheid van springstaarten (collembola) en mijten (acari) (aantal individuen per m²) in de verschillende behandelingen. F en p waardes uit One-way Anova om de dichtheid te vergelijken tussen verschillende behandelingen.

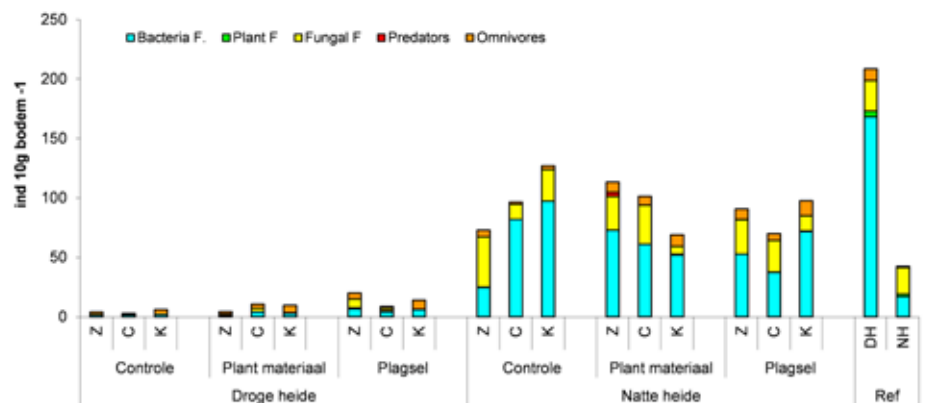
Table 7.2. Mean and sd of collembola and acari density in individual treatments on dry and wet heath, F and p values of one way ANOVA comparing density among treatments.

Figuur 7.1. Aantal individuen Nematoden per 10 gram bodem verdeeld per voedselgroep. Z=verzuurde proefvelden, C= Controle, K= Bekalkt, DH= Bestaande droge heide Dwingelderveld, NH= Bestaande natte heide Dwingelderveld.

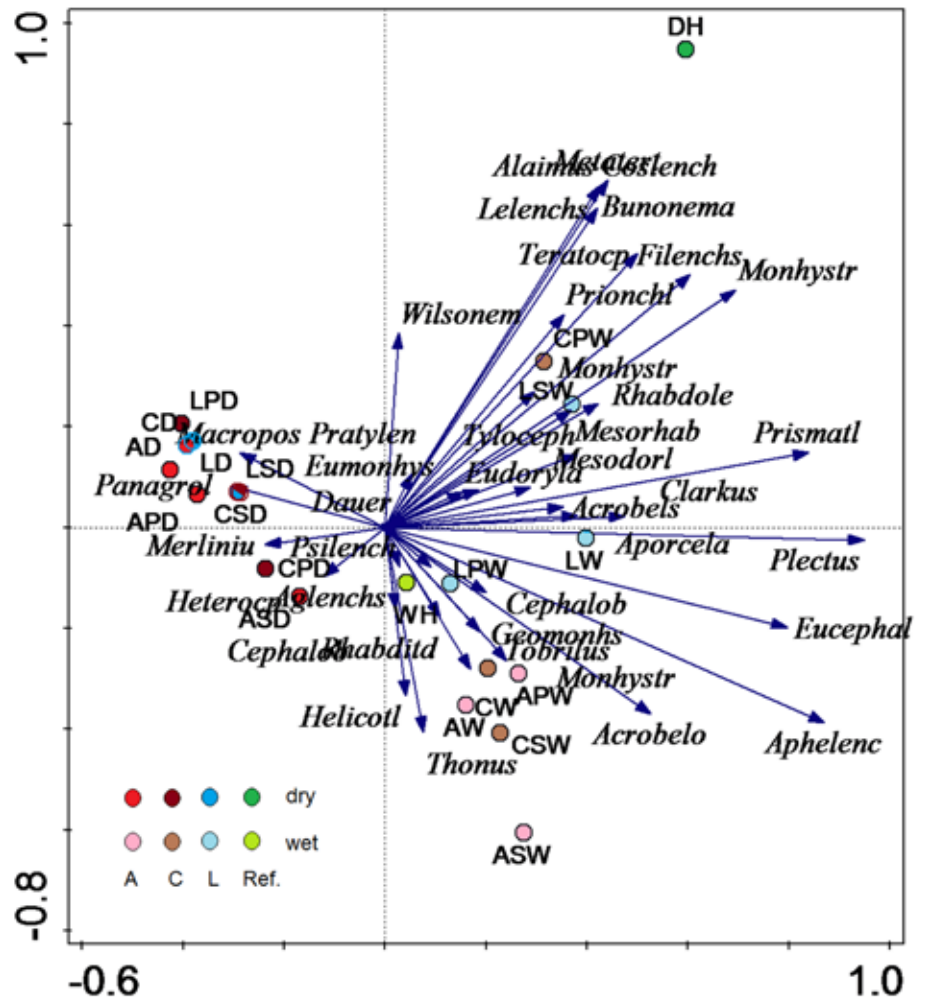
Figure 7.1. Number of individual Nematodes per 10 g soil by feeding group. Z=Acidified, C= Control, K=Limed, DH= Existing Dry heathland in the Dwingelderveld, NH= Existing wet heathland in the Dwingelderveld.

7.3 Nematoden effectmeting

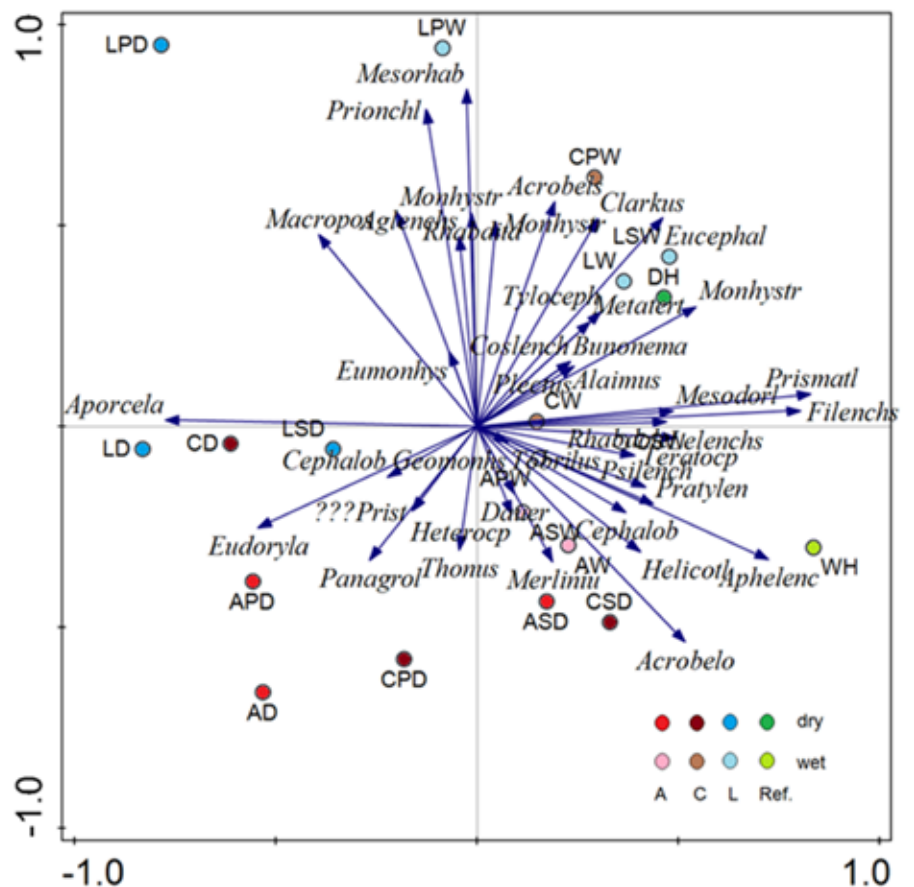
Wanneer goed ontwikkelde droge heide wordt vergeleken met goed ontwikkelde natte heide in het Dwingelderveld blijkt dat de dichtheid van nematoden in de droge heide vele malen hoger is dan in de natte heide. Verder blijkt dat in de proefvelden van de natte proef hogere dichtheden in Nematoden werden gemeten dan in de bestaande natte heide in het Dwingelderveld. In de proefvelden van het droge experiment werden juist veel lagere dichtheden gemeten vergeleken met de bestaande droge heide in het Dwingelderveld (Figuur 7.1).



Daarnaast blijkt dat de samenstelling van de Nematoden in zowel aantallen (Figuur 7.2) als dichtheden (Figuur 7.3) in 2013 in de natte proef sterk lijkt op de bestaande heide. In de droge proef is dit (nog) niet het geval. De dominante voedselgroepen in alle proefvelden waren de bacterie-etende nematoden. Deze resultaten suggereren dat het herstel van de Nematoden-gemeenschap in de natte proefvelden veel sneller verloopt dan in de droge proefvelden.



Figuur 7.2. PCA gebaseerd op nematoden-dominantie. A=Verzuurd, C=Controle, L=Bekalkt, P=Vers maaisel en S=Plagsel. DV=Bestaande heide in het Dwingelderveld.
 Figure 7.2. PCA based on nematoda dominance. P=Plant material and S=Sods, DV=Existing heath in the Dwingelderveld.



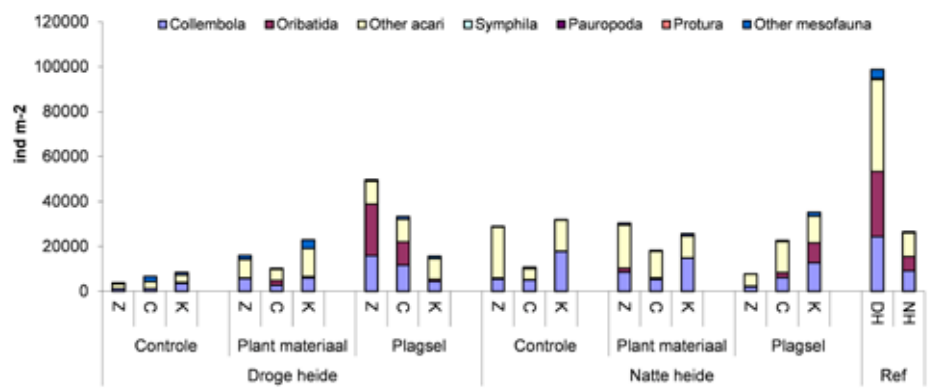
Figuur 7.3. PCA gebaseerd op nematode-dichtheden A=Verzuurd, C=Controle, L=Bekalkt, P=Vers maaisel en S=Plagsel. DV=Bestaande heide in het Dwingelderveld.
 Figure 7.3. PCA based on nematode density=Plant material and S=Sods, DV=Existing heath in the Dwingelderveld.

7.4 Mesofauna effect meting

In tegenstelling tot de nematoden, is de dichtheid van de gemeten mesofauna in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld veel hoger dan in de bestaande natte heide. Ook werd in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld een hoge dichtheid van oribatide mijten gevonden, een indicator van een stabiele habitat. In de proef bleek de dichtheid van mesofauna in het natte experiment behoorlijk overeen te komen met de dichtheid in de bestaande natte heide. In het droge heide experiment was de dichtheid daarentegen veel lager dan in de bestaande heide. Daarnaast werd een effect van de behandelingen gemeten. De proefvlakken die verzuurd zijn en de proefvlakken waar geen pH-behandeling is toegepast bleken, na toedienen van plagsel, de hoogste mesofauna dichtheid te bevatten. Deze twee behandelingen (verzuren + plagsel en controle+ plagsel) hebben daarnaast ook de hoogste dichtheid in Oribatiden (Figuur 7.4, Tabel 7.3). Deze resultaten laten zien dat het opbrengen van plagsel een mogelijk positief resultaat heeft op het herstel van de bodem mesofauna.

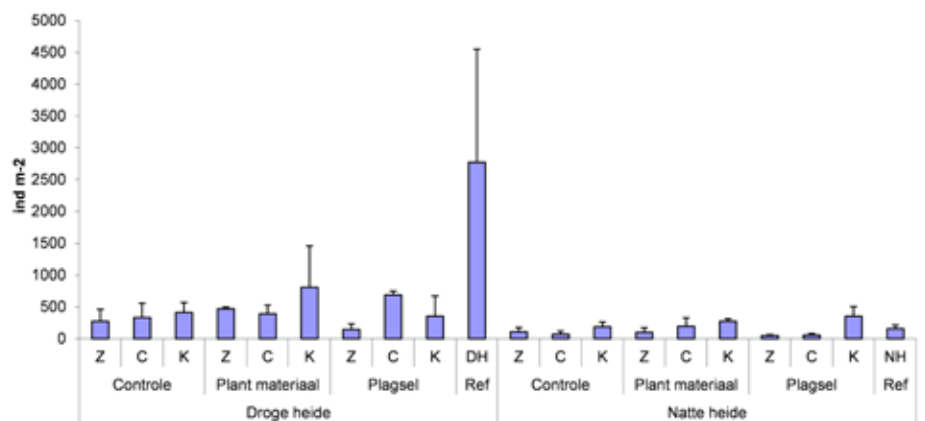
Figuur 7.4. Dichtheden van de belangrijkste mesofauna-groepen per behandeling. Z=verzuurde proefvelden, C= Controle, K= Bekalkt, DH= Bestaande droge heide Dwingelderveld, NH= Bestaande natte heide Dwingelderveld.

Figure 7.4. Mesofauna density. Z=Acidified, C= Control, K=Limed, DH= Existing Dry heathland in the Dwingelderveld, NH= Existing wet heathland in the Dwingelderveld.



Figuur 7.5. Abundantie van bodem macrofauna in de proefvlakken en bestaande heide. Z=Verzuurd, C=Controle en K=Bekalkt. DH= Bestaande droge heide in het Dwingelderveld, NH= bestaande natte heide in het Dwingelderveld.

Figure 7.5. Soil Macrofauna abundance. Z=Acidified, C= Control, K=Limed, DH= Existing Dry heathland in the Dwingelderveld, NH= Existing wet heathland in the Dwingelderveld.



				Collembola	Oribatida	Other acari	Symphyla	Pauropoda	Protura	Other mesofauna
Droge heide	Controle	Z	gemiddelde	1111	111	2000	0	0	0	556
			sd	415	157	816	0	0	0	566
		C	gemiddelde	1222	0	3111	0	0	0	2333
			sd	415	0	2198	0	0	0	816
		K	gemiddelde	3555	444	3333	0	0	0	1111
			sd	2527	415	3808	0	0	0	314
	Plant Materiaal	Z	gemiddelde	5777	111	8333	0	111	0	1667
			sd	4181	157	4640	0	157	0	720
		C	gemiddelde	2778	2111	4888	0	0	0	444
			sd	1930	2983	1396	0	0	0	415
		K	gemiddelde	5999	556	12554	0	0	0	3777
			sd	2176	415	8793	0	0	0	2376
	Plagset	Z	gemiddelde	15887	22887	10332	0	0	0	556
			sd	6978	26707	3065	0	0	0	415
		C	gemiddelde	11666	10332	10110	0	0	0	1222
			sd	6255	13215	9407	0	0	0	314
		K	gemiddelde	4444	889	9221	0	0	111	1000
			sd	2527	1030	6035	0	0	157	720
	Ref	DH	gemiddelde	24442	28886	40996	444	0	0	4000
			sd	17180	12069	20963	628	0	0	3029
Natte heide	Controle	Z	gemiddelde	5444	444	22776	0	0	0	222
			sd	5191	314	27528	0	0	0	157
		C	gemiddelde	5000	222	4888	0	0	0	667
			sd	1088	157	4752	0	0	0	471
		K	gemiddelde	17665	222	13888	0	0	0	111
			sd	9997	157	8739	0	0	0	157
	Plant Materiaal	Z	gemiddelde	8555	1778	19220	0	0	0	889
			sd	3821	2512	21684	0	0	0	1256
		C	gemiddelde	5333	667	11777	0	0	0	444
			sd	2053	471	4988	0	0	0	157
		K	gemiddelde	14776	111	9777	0	0	0	1000
			sd	1851	157	3279	0	0	0	816
	Plagset	Z	gemiddelde	2000	333	5333	0	0	0	111
			sd	272	471	3808	0	0	0	157
		C	gemiddelde	6111	2222	13888	0	0	0	444
			sd	3926	1396	15629	0	0	0	415
		K	gemiddelde	12777	8777	11999	0	0	0	1667
			sd	5887	5810	12347	0	0	0	1188
	Ref	NH	gemiddelde	9110	6333	10666	0	0	0	444
			sd	3652	5095	4222	0	0	0	157

Tabel 7.3. Dichtheden van de dominante groepen mesofauna per behandeling. Z=verzuurde proefvelden, C= Controle, K= Bekalkt

Table 7.3. Density of the dominant groups of soil mesofauna in each treatment. Z=Acidified, C= Control, K=Limed.

7.5 Macrofauna effect meting

Net als bij de Mesofauna werd in de bestaande natte heide een veel lagere dichtheid van Macrofauna gevonden dan in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld. De dichtheid van Macrofauna gemeten in de proefvelden van het natte experiment is vergelijkbaar met die gemeten in de bestaande heide. De dichtheden gemeten in de droge proefvelden zijn echter veel lager in vergelijking met de bestaande droge heide (Figuur 7.5 en tabel 7.4). PCA-analyse gebaseerd op de dichtheid van bodem fauna laat hetzelfde beeld zien (Figuur 7.6). De meeste proefvelden van het natte experiment liggen in de buurt van de bestaande natte heide, terwijl de proefvelden van het droge experiment in de PCA ver van de bestaande heide verwijderd zijn. Enkele van de voor de droge proefvelden kenmerkende soorten zijn soorten als Byrhidea, die een moslaag prefereren (Figuur 7.6). Wanneer wordt gekeken naar dominantie ontstaat een ander patroon. In dat geval komen de bestaande natte en droge heide dicht bij elkaar te liggen, en de bekalkte proefvelden lijken op de bestaande heideterreinen (Figuur 7.7). Dit kan waarschijnlijk verklaard worden in een verschil in mosbedekking in de bekalkte proefvlakken vergeleken met de overige proefvlakken.

individuals m-2	Droge heide proef																			
	Controle						Plant materiaal						Plagsel						Ref	
	Z		C		K		Z		C		K		Z		C		K		DH	
mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	
Earthworm	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0
Aranea	10	14	10	14	10	14	20	28	39	37	10	14	20	28	10	14	39	56	226	184
Pseudoscorpiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14
Diplura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	79	74
Symphyla	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chilopoda	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	20	28	0	0	0	0	10	14	39	37
Aphid	39	37	0	0	0	0	10	14	30	42	0	0	0	0	10	14	0	0	59	42
Psocoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	30	42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heteroptera	0	0	10	14	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	128	181
Thysanoptera	0	0	20	28	0	0	30	42	10	14	30	24	0	0	0	0	0	0	0	0
Carabidae	0	0	10	14	0	0	10	14	39	28	20	14	49	70	69	77	30	24	49	37
Curculionidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	10	14	30	42	0	0
Staphilinidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	28	0	0	0	0	59	64	98	28
Tenebrionidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14
Elateridae	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	157	182
Byrrhidae	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	30	42	10	14	10	14	0	0	10	14
Coccinellidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chrisomelidae	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69	97	0	0	10	14
Lepidoptera	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hymenoptera other	10	14	0	0	0	0	0	0	30	24	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0
Formicidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	157	202
Tipulidae	0	0	0	0	30	42	0	0	0	0	0	0	0	0	39	37	49	50	0	0
Chironomidae	69	97	236	274	177	147	79	91	49	14	580	717	10	14	315	77	59	48	895	803
Ceratopogonidae	0	0	0	0	69	97	20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14
Dolichopodidae + Empididae	10	14	0	0	39	37	187	133	30	24	49	14	20	14	69	28	30	24	49	70
Cyclorrhaphae	39	56	30	42	0	0	30	24	10	14	0	0	0	0	30	24	0	0	0	0
Ephedridae	0	0	0	0	0	0	0	0	20	28	0	0	0	0	30	42	10	14	0	0
Sciaridae	20	28	10	14	10	14	49	37	69	77	20	14	10	14	20	28	10	14	10	14
Mucidae	79	28	0	0	10	14	10	14	10	14	0	0	10	14	0	0	20	14	0	0
Cecidomyidae	0	0	0	0	49	50	0	0	10	14	20	28	0	0	0	0	10	14	777	278
Total macrofauna	275	187	334	224	413	158	472	24	393	137	806	651	148	87	688	61	354	316	2773	1775

individuals m-2	Natte heide proef																			
	Controle						Plant materiaal						Plagsel						Ref	
	Z		C		K		Z		C		K		Z		C		K		NH	
mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD	
Earthworm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14
Aranea	10	14	10	14	0	0	10	14	10	14	0	0	10	14	0	0	0	0	20	14
Pseudoscorpiones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diplura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Symphyla	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chilopoda	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aphid	10	14	0	0	10	14	30	42	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0
Psocoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heteroptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0
Thysanoptera	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	30	42	0	0	0	0	10	14	0	0
Carabidae	20	28	10	14	10	14	20	28	49	37	30	24	0	0	20	28	10	14	0	0
Curculionidae	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	10	14	0	0	10	14
Staphilinidae	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	10	14
Tenebrionidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elateridae	10	14	0	0	0	0	0	0	10	14	20	28	10	14	10	14	10	14	10	14
Byrrhidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coccinellidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0
Chrisomelidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lepidoptera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	10	14
Hymenoptera other	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Formicidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0
Tipulidae	20	14	10	14	30	42	0	0	20	28	10	14	0	0	10	14	0	0	0	0
Chironomidae	20	14	10	14	59	48	0	0	59	48	79	74	30	24	0	0	226	171	20	28
Ceratopogonidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dolichopodidae + Empididae	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	30	24	0	0	0	0	10	14	49	37
Cyclorrhaphae	0	0	0	0	49	14	10	14	10	14	10	14	0	0	0	0	0	0	10	14
Ephedridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sciaridae	0	0	20	14	10	14	20	28	0	0	20	28	0	0	0	0	59	64	0	0
Mucidae	0	0	0	0	0	0	10	14	30	42	0	0	0	0	0	0	20	14	0	0
Cecidomyidae	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	10	14	0	0	0	0	0	0	10	14
Total macrofauna	108	70	69	50	187	77	98	74	197	133	275	37	49	14	59	24	354	150	157	56

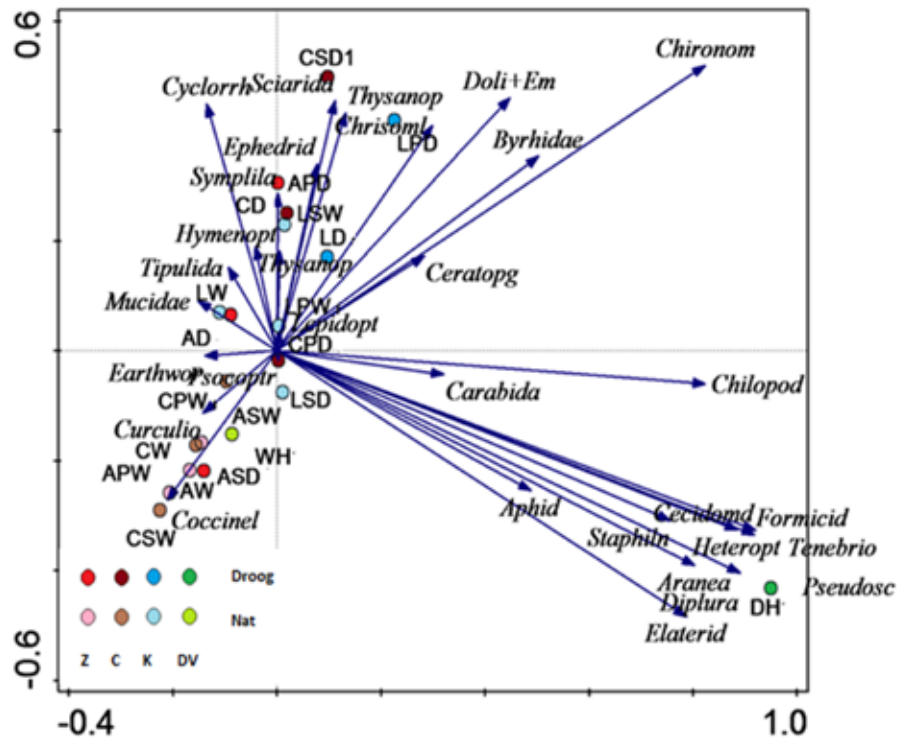
Tabel 7.4. Abundantie van bodem macrofauna in de proefvlakken en bestaande heide.

Z=Verzuurd, C=Controle K=Bekalkt.

Table 7.4. Abundantion of macrofauna. Z=Acidified, C= Control, K=Limed, DH=existing dry heath and NH=existing wet heath.

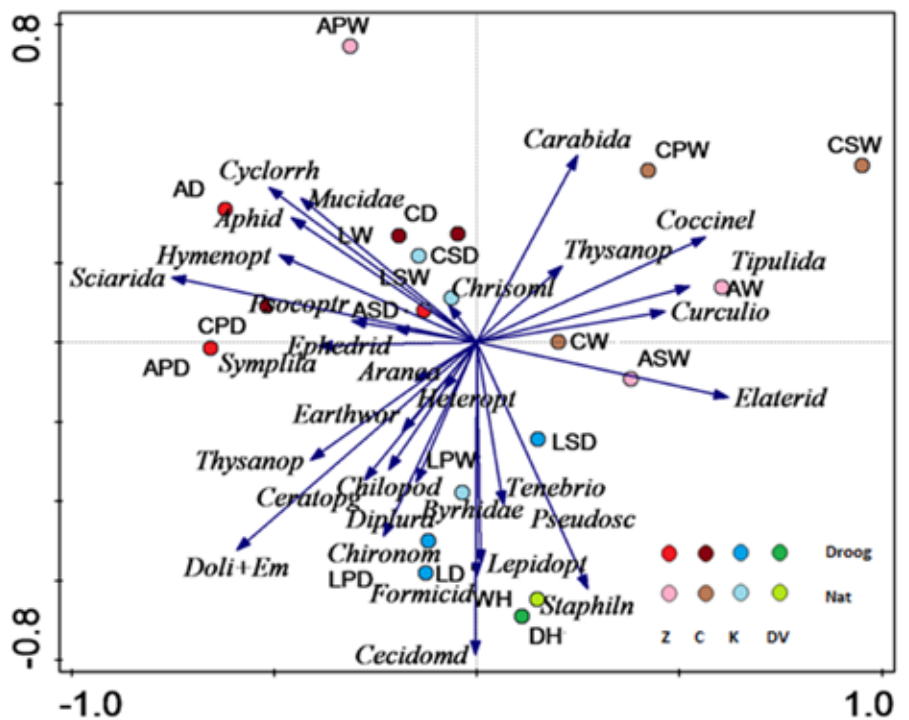
Figuur 7.6. PCA gebaseerd op macrofauna density. Z=Verzuurd, C=Controle, K= Bekalkt, DV=Bestaande heide in het Dwingelderveld.

Figure 7.6. PCA based on macrofauna density. Z=Acidified, C=Control, K=Limed and DV=Existing heath in the Dwingelderveld.



Figuur 7.7. PCA gebaseerd op macrofauna-dominantie. Z=Verzuurd, C=Controle, K= Bekalkt, DV=Bestaande heide in het Dwingelderveld.

Figure 7.7. PCA based on macrofauna-dominance. Z=Acidified, C=Control, K=Limed and DV=Existing heath in the Dwingelderveld.

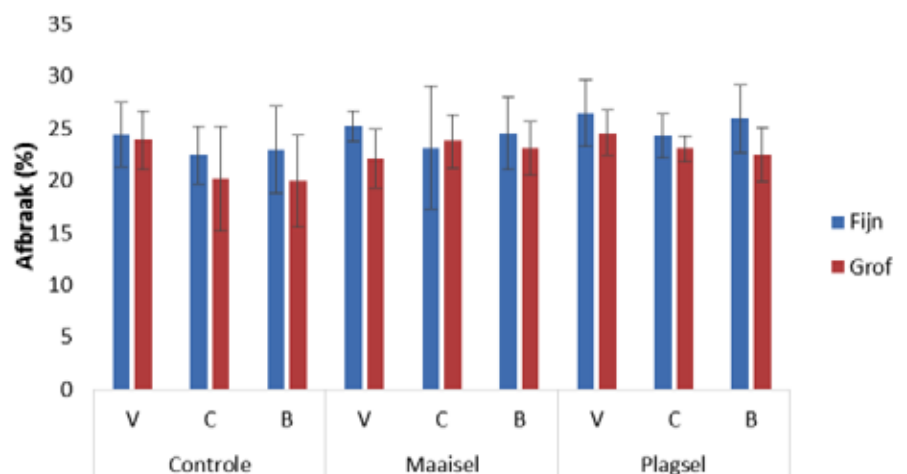


7.6 Afbraakcapaciteit

In de droge proef (Figuur 7.8) beïnvloeden het type litterbag en het toevoegen van materiaal (plagsel of maaisel) de afbraakcapaciteit (p-waardes van 0,002 respectievelijk 0,010), de verschillen in pH behandelingen (toedienen van Dolokal, elementair zwavel of geen van deze twee) hebben net geen significant effect (p-waarde van 0,052) (Bijlage 9). De afbraaksnelheid is gemiddeld hoger in de fijnmazige litterbags, hetgeen duidt op een remming van de microbiële afbraak door de bodemfauna in de grofmazige litterbags. Dit verschil is consistent tussen de verschillende behandelingen, de aanwezige bodemfauna lijkt in de eerste jaren na ontgronden met name te grazen op de microben en de afbraak niet te faciliteren door het versnipperen van het organisch materiaal. De afbraakcapaciteit is

gemiddeld hoger ten opzichte van de controle in de proefvlakken waar plagsel is ingebracht, de proefvlakken met maaisel liggen hier tussenin en verschillen niet van zowel de controle als de proefvlakken met plagsel. Ook in de natte proef is de afbraakcapaciteit (Figuur 7.9) in alle behandelingen hoger in de fijnmazige litterbags (p-waarde kleiner dan 0,001). De pH heeft in de natte proef wel een significant effect op de afbraakcapaciteit (p-waarde van 0,040), met een hogere afbraak in de bekalpte proefvlakken ten opzichte van de controle. De verzuurde proefvlakken hebben een gemiddelde waarde en verschillen niet van zowel de controle als de bekalpte proefvlakken. In de totale analyse is er geen significant effect van het toevoegen van maaisel of plagsel (p-waarde van 0,113). Indien de effecten van de fijn- en grofmazige litterbags apart worden getest, blijkt er wel een significant effect van het toevoegen van materiaal te zijn. In de fijnmazige litterbags is de afbraak na het toevoegen van maaisel hoger ten opzichte van de controle, de proefvlakken met plagsel liggen hier tussenin en verschillen niet van beide andere behandelingen. In de grofmazige litterbags is de afbraak na het toevoegen van maaisel lager dan in de proefvlakken met plagsel, de controle verschilt niet van beide behandelingen. Het toevoegen van maaisel lijkt de microbiële gemeenschap, en daarmee ook de bodemfauna gestimuleerd te hebben, hetgeen leidt tot een hogere afbraakcapaciteit van de microbiële gemeenschap maar ook een sterkere remmende werking door begrazing van de bodemfauna. Dit is echter niet terug te zien in de microbiële biomassa, die niet verschilt tussen de behandelingen in de natte proef.

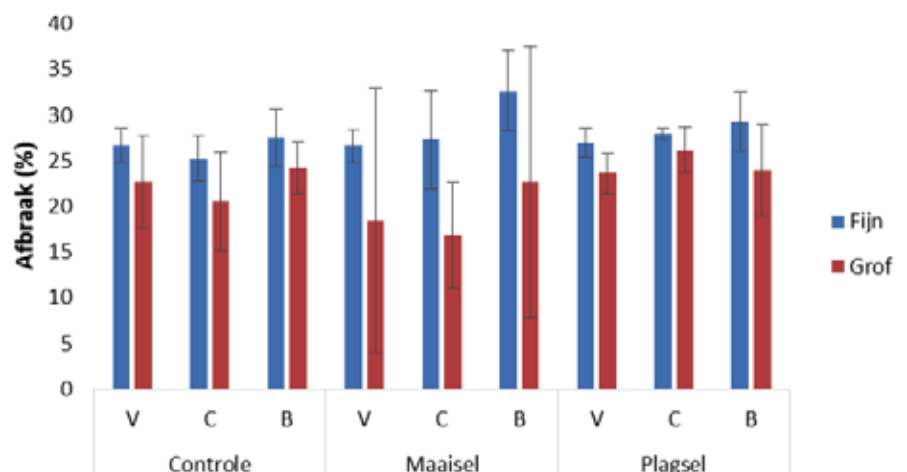
Droge proef



Figuur 7.8. Afbraakcapaciteit in de droge proef in de fijnmazige en grofmazige litterbags.

Figure 7.8. Decomposition in the dry experiment in the fine and coarse litterbags.

Natte proef



Figuur 7.9. Afbraakcapaciteit in de natte proef in de fijnmazige en grofmazige litterbags.

Figure 7.9. Decomposition in the wet experiment in the fine and coarse litterbags.

Groene zandloopkever



7.7 Samenvatting resultaten

Beginsituatie

Uit de pre-treatment-metingen van micro- en mesofauna in de bodem blijkt dat er geen significante verschillen aanwezig zijn tussen de proefvelden bij aanvang van de proef, zowel in de totale dichtheid van nematoden als in de dichtheid van verschillende trofische groepen van nematoden. Bacterie- en plantenetende Nematoden waren duidelijk de meest aanwezige groepen Nematoden. Dit komt overeen met agrarisch grasland en laat duidelijk de historie van het onderzoeksgebied zien.

In de ontgronde delen is de dichtheid van mesofauna en nematoden 10 tot 100 maal kleiner dan normaliter gemeten in heide of grasland. De dichtheid van de onderzochte micro- en mesofauna is sterk verminderd door het afgraven van de bodem. Dit effect is te zien in alle proefvelden.

Nematoden effectmeting

- De dichtheid van nematoden in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld is vele malen hoger dan in de natte heide.
- In de proefvelden van het natte experiment werden hogere dichtheden Nematoden gemeten dan in de bestaande natte heide in het Dwingelderveld. In de proefvelden van het droge experiment werden juist veel lagere dichtheden gemeten vergeleken met de bestaande droge heide in het Dwingelderveld.
- De samenstelling van de Nematoden in zowel aantallen als dichtheden lijkt in 2013 in de natte proef sterk op de bestaande heide. In de droge proef is dit (nog) niet het geval.
- De dominante voedselgroepen in alle proefvelden waren de bacterie-etende nematoden.
- Deze resultaten lijken te suggereren dat het herstel van de Nematodengemeenschap in de natte heide veel sneller verloopt dan in de droge heide. Meer metingen op latere tijdstippen zijn nodig om dit verder te onderbouwen.

Mesofauna effect meting

- In tegenstelling tot de nematoden, is de dichtheid van de mesofauna in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld veel hoger dan in de bestaande natte heide. Ook werd in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld een hoge dichtheid van oribatide mijten gevonden, een indicator van een stabiele heide habitat.

- In de proef bleek de dichtheid van mesofauna in het natte experiment tamelijk goed overeen te komen met die in de bestaande natte heide. In de droge proefvelden was de dichtheid veel lager dan in de bestaande heide.
- Er is een duidelijk effect van inrichtingsbehandelingen. De proefvlakken die verzuurd zijn en de proefvlakken waar geen pH-behandeling is toegepast bleken na toedienen van plagsel de hoogste mesofauna dichtheid te bevatten. Deze twee behandelingen (verzuren + plagsel en controle+ plagsel) hebben daarnaast ook de hoogste dichtheid in Oribatide mijten. Deze resultaten suggereren dat het opbrengen van plagsel een positief resultaat heeft op het herstel van de bodemmesofauna. Vervolgmetingen moeten hier meer duidelijkheid overscheppen.

Macrofauna effect meting

- Net als bij de Mesofauna werd in de bestaande natte heide een veel lagere dichtheid van Macrofauna gevonden dan in de bestaande droge heide in het Dwingelderveld.
- De dichtheid van Macrofauna in de proefvelden van het natte experiment is vergelijkbaar met die in de bestaande heide in het Dwingelderveld. De dichtheden in de droge proefvelden zijn echter veel lager in vergelijking met de bestaande droge heide.

Afbraak capaciteit

- In zowel de droge als de natte proef remt de bodemfauna de afbraak door de microbiële gemeenschap
- In de droge proef leidt het inbrengen van plagsel tot een hogere afbraakcapaciteit, in de natte proef stimuleert het opbrengen van maaisel de afbraak door microben.
- De verschillen in afbraak-capaciteit tussen de pH-behandelingen zijn alleen in de natte proef significant, met een hogere afbraak na bekalking.

8. Fauna



8.1 Insectenfauna

Dagvlinders zijn goede indicatoren van een ontwikkeld habitat. Het voorkomen en de overleving van vlinders hangt af van een complexiteit aan factoren die invloed hebben op de levenscyclus. Overwintering in verschillende levensstadia, vocht, substraat, temperatuursom etc, waardplanten, nectarbronnen, geschikt microklimaat, variatie in vegetatie en bodem zijn factoren die invloed hebben op de overleving van vlinders. Daarnaast hebben verdroging, vermesting, versnippering van het landschap, parasieten, andere soorten en geschikt habitat een belangrijke rol in de kolonisatie, handhaving en uitbreiding van vlinders. Onderzoek naar faunaherstel na beheer en ontgronden is nog weinig bekend. In deze studie is onderzocht welke soorten in de directe omgeving voorkomen om een inschatting te maken of de uiteindelijke doelsoorten van droge- en natte heide zich zullen vestigen binnen het herstelgebied.

Libellen zijn afhankelijk van water en gebruiken het Noordenveld als jachtgebied. Er liggen twee poelen op korte afstand van de proefvlakken. De libellenfauna geeft een indicatie welke soorten zich kunnen vestigen op de uiteindelijke natte heide. Deze groep is meegenomen omdat dit eenvoudig te combineren was met het veldwerk en mogelijk extra informatie zou opleveren. Sprinkhanen zijn goede bodemindicatoren en zijn afhankelijk van de vegetatie en microklimaat. Deze factoren worden door de verschillende behandelingen beïnvloed. Deze mobiele soorten zullen net als kevers het terrein naar verwachting snel koloniseren, waarbij de relatie tussen de sprinkhaangemeenschap en habitat is onderzocht.

Loopkevers zijn goede bodemindicatoren. Deze soorten zijn mobieler dan vlinders en zijn een van de eerste kolonisators van nieuw ontwikkelde gebieden. Om deze goed in beeld te brengen zijn series van potvallen ingegraven. De verkregen resultaten worden in relatie gebracht met de behandelde proefvlakken. Zo kan een relatie tussen deze bodemsoorten worden gelegd met de ontwikkeling van het gebied.

8.2 Resultaat dagvlinders

Het aantal aangetroffen vlinders op de studie plots was laag. Waardoor een relatie met de soorten en de behandelingen niet is aan te tonen. In totaal zijn 21 soorten dagvlinders ($n=246$) vastgesteld in de directe omgeving van het afgegraven deel van het Noordenveld. Dit deel is zwart omkaderd in figuur 1. Hierbinnen ligt goed ontwikkelde natte en droge heide. Een populatie van het heideblauwtje (natte heide) is hier aanwezig. Deze soort is tot binnen het afgegraven deel van het

Noordenveld waargenomen (gele kader in figuur 1). In totaal werden hier 15 soorten (n=85) vastgesteld, waaronder ook het groentje, een karakteristieke heidesoort. Binnen de studieplots (blauwe kaders in figuur 1 met de diverse behandelingen) werden 11 soorten dagvlinders (n=52) vastgesteld. Vanwege de ontwikkeling van vegetatie (en de vernatting) kon het voorkomen van deze vlinders niet worden gecorreleerd aan de verschillende behandelingen, omdat ze vooral over de plots vlogen.

Soort	Wetenschappelijke naam	Habitat	Studieplots	Afgegraven	Directe omgeving
Zwartsprietdikkopje	<i>Thymelicus lineola</i>	Grasland		x	x
Groot dikkopje	<i>Ochlodes sylvanus</i>	Ruigte		x	x
Klein koolwitje	<i>Pieris rapae</i>	Agrarisch	x	x	x
Klein geaderd witje	<i>Pieris napi</i>	Agrarisch	x	x	x
Groot koolwitje	<i>Pieris brassicae</i>	Agrarisch			x
Oranje luzernevlinder	<i>Colias croceus</i>	Trekvlinder	x	x	x
Citroenvlinder	<i>Gonepteryx rhamni</i>	Bosrand	x	x	x
Groentje	<i>Callophrys rubi</i>	Heide		x	x
Kleine vuurvlinder	<i>Lycaena phlaeas</i>	Grasland	x	x	x
Boomblauwtje	<i>Celastrina argioles</i>	Heide/Bosrand			x
Icarusblauwtje	<i>Polyommatus icarus</i>	Grasland		x	x
Heideblauwtje	<i>Plebejus argus</i>	Heide	x	x	x
Atalanta	<i>Vanessa atalanta</i>	Trekvlinder	x	x	x
Distelvlinder	<i>Vanessa cardui</i>	Trekvlinder		x	x
Dagpauwoog	<i>Aglais io</i>	Bosrand	x	x	x
Kleine vos	<i>Aglais urticae</i>	Bosrand	x	x	x
Bruine zandoog	<i>Maniola jurtina</i>	Grasland	x	x	x
Oranje zandoog	<i>Pyronia tithonus</i>	Grasland	x	x	x
Hooibeestje	<i>Coenonympha pamphillus</i>	Grasland		x	x
Koekinkje	<i>Aphantopus hyperanthus</i>	Bosrand			x
Bont zandogje	<i>Pararge aegeria</i>	Bosrand			x
Argusvlinder	<i>Lasiommata megera</i>	Grasland			x
			11	17	22

Tabel 8.1. Overzicht van waargenomen dagvlinders, ingedeeld naar de omgeving in het Noordenveld. Blauw = studieplots met behandelingen, geel = deel van het afgegraven terrein, zwart = directe omgeving met intacte heide

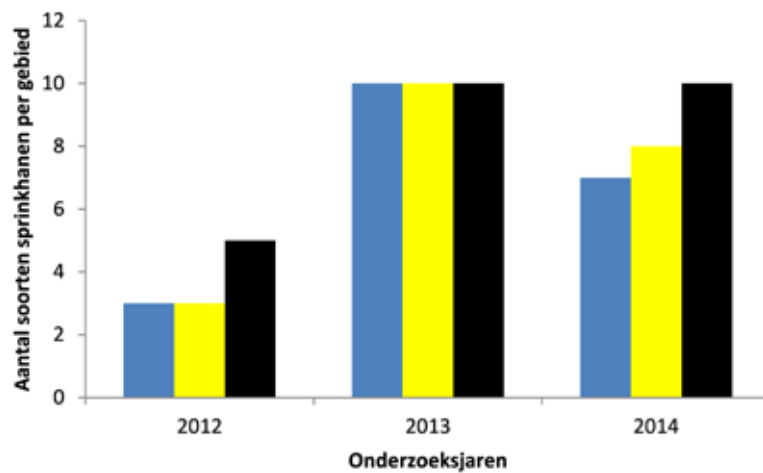
Table 8.1. Overview of recorded butterflies in defined areas. Blue = study plots with treatments, yellow part of reconstructed area, black = direct surroundings including developed heath.



In 2013 werden de meeste vlinders waargenomen binnen het afgegraven deel en op de studieplots. In de directe omgeving werden in 2014 de meeste vlinders waargenomen. De levensgemeenschap dagvlinders is in de tijd toegenomen en duidt op een goede ontwikkeling van de vegetatie. Het aantal heidesoorten is nog laag, maar geeft wel aan dat deze soorten het terrein kunnen bereiken. In 2010 is een inventarisatie van dagvlinders uitgevoerd op het Dwingelder- en Noordenveld. Hierbij is gebruik gemaakt van gridcellen (250m x 250m), die zijn vergeleken met inventarisatiegegevens van dezelfde gridcellen uit 1990 (Lustenhauer, 2011). In het Noordenveld, met toenmalige agrarische grond, zijn 10 soorten dagvlinders vastgesteld. Het Dwingelderveld telt 29 soorten in 2010 (Lustenhauer, 2011).

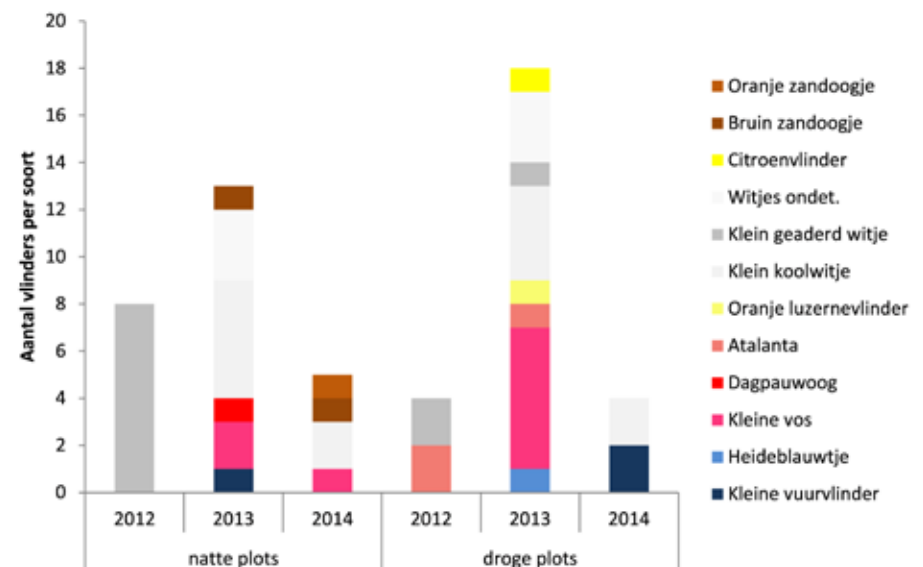
Figuur 8.2. Aantal soorten vlinders per jaar in de drie gebieden. De kleuren refereren naar de kaderkleuren uit figuur 8.1.

Figure 8.2. Total butterfly species in the three areas. The colors referring to the colored squares in figure 8.1.



Figuur 8.3. Overzicht van waargenomen vlinders in de studieplots. De licht kleuren verwijzen naar de witjes, bruine en blauwe kleuren betreffen grasland en heidesoorten.

Figure 8.3. Recorded butterflies in study plots. The light colors referring to the Pieridae, brown and blue colors referring to grassland and heath species.

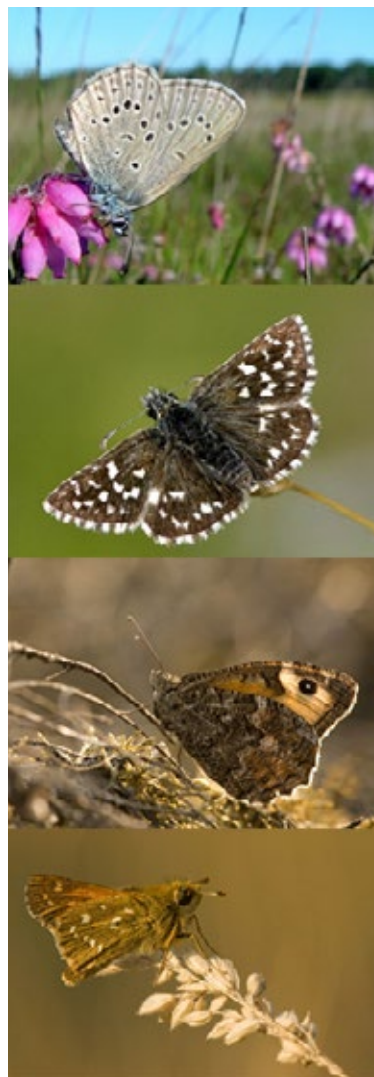


< Figuur 8.1. De blauwe kaders (11 soorten) betreffen de studieplots met behandelingen, het gele kader (15 soorten) omvat het afgegraven terrein, het zwarte kader (21 soorten) is de directe omgeving met daarin aanwezig ontwikkelde natte en droge heide.

< Figure 8.1. Blue square (11 species) concern treated study plots, yellow square (15 species) is part of reconstructed area, black square (21 species) is direct surrounding including developed wet and dry heath.

Deze beperkte dataset is statistisch niet significant te onderbouwen, maar de ontwikkeling van de vlindergemeenschap laat wel zien dat er een langzame verschuiving is van agrarische soorten naar heidesoorten. Er komen ten opzichte van 2012 minder soorten van het agrarisch gebied voor (witjes). Deze soorten planten zich voornamelijk voort bij de agrarische gronden in de omgeving. Geschikte waardplanten (kruisbloemigen) zijn nauwelijks aanwezig op de studieplots, waar deze voor de afgraving veel voorkwamen in het Noordenveld. Het oranje-tipje was een algemeen voorkomende soort in het Noordenveld (Lustenhauer, 2011) en is na de afgraving niet meer in het onderzochte gebied waargenomen. In 2013 werd een heideblauwtje aangetroffen op een van de natte proefvelden en in

2014 werden enkele voorbijvliegende vlinders gezien op het afgegraven deel. Figuur 8.3 laat ook zien dat er relatief minder witjes worden gezien in 2014. Verschillende successiestadia kunnen worden gekoppeld aan vlindergemeenschappen. In dit project is sprake van een ontgroning waarbij een volledige pioniersituatie als uitgangspunt wordt genomen. Hierin ontbreken het eerste jaar nog veel planten en bodemfauna en is de situatie ongeschikt als voortplantingsgebied voor vlinders. Deze successie is gedurende het onderzoek verder ontwikkeld en omvat delen met waardplanten, mieren, verschil in microklimaat etc., maar is nog in een primitief stadium. Voortplanting van dagvlinders is nog niet geconstateerd, maar de vondst van diverse rupsen in de bodemvallen bewijst dat nachtvlinders zich op het terrein hebben voortgeplant. Het heideblauwtje is bijvoorbeeld een soort van jonge, vitale heide en komt voor op de overgangen van nat naar droog. Deze soort neemt juist af na chopperen en plaggen bij heideherstel (Wallis de Vries, et al, 2014). Voor deze soort is de heideontwikkeling waarschijnlijk nog te pril voor een succesvolle vestiging. Door de geringe mobiliteit is aansluiting bij bestaande populaties heel belangrijk (Zollinger et al, 2008). De studieplots liggen in ieder geval binnen bereik van deze soort. Dagvlinders planten zich nog niet voor binnen de studieplots, maar kunnen deze plots wel bereiken vanuit de omgeving. Hierdoor wordt aannemelijk dat de uiteindelijke benoemde doelsoorten, gentiaanblauwtje, aardbeivlinder, kommavlinder en heivlinder, zich in de toekomst hier kunnen vestigen omdat deze kleine populaties in de omgeving hebben en de vereiste waardplanten en externe criteria voor deze doelsoorten zich positief ontwikkelen (figuur 8.4). Het gentiaanblauwtje komt voor op natte heide met een goed ontwikkelde vegetatiestructuur. Hierin is een behoor-



Gentiaanblauwtje
 Afstand tot populatie 700m
 Mobiliteit: honkvast
 Waardplant *G. pneumonanthe* in studieplots

Aardbeivlinder
 Kleine populatie bij Holtveen
 Mobiliteit: honkvast
 Waardplant *potentilla* sp. In studieplots
 Nectar is belangrijk

Heivlinder
 Afstand tot populatie 800m
 Mobiliteit: hoog
 Waardplant *Festuca ovina* in studieplot

Kommavlinder
 Afstand tot populatie 900m
 Mobiliteit: honkvast
 Waardplant *Festuca ovina* in studieplots
 Mozaiek van zand, heide en waardplant nodig

Figuur 8.4. Kenmerken van doelsoorten van droge en natte heide in de directe omgeving van het Noordenveld.

Figure 8.4. Factsheet of target species of dry and wet heathlands in the surroundings of the Noordenveld.

lijke bedekking van dwergstruiken, meestal struikheide, weinig kale grond en een duidelijke kenmerkende strooisellaag. Gewone dopheide wordt vaak als nectarbron gebruikt. Al met al blijken de eitjes van het gentiaanblauwtje juist in de middelste stadia van de heideontwikkeling te worden afgezet; zowel in de open pionierfase als in vergraste heide ontbreken ze (Wallis de Vries, 2003). Zelfs voor een redelijk mobiele soort als de heivlinder heeft langjarig onderzoek aan veranderingen in de verspreiding laten zien dat de achteruitgang al decennialang gedreven werd door een verminderde kolonisatie, vermoedelijk als gevolg van versnippering van heidegebieden (Van Strien et al., 2011). Verder onderzoek is nodig om de snelheid van kolonisatie, en daarmee het succes van ontwikkeling naar droge en natte heide, vast te stellen. Soorten uit de overgangsfase van pionier naar grasland en heide, zoals de kleine vuurvlieder, hooibeestje en bruin zandoogje zijn goede indicatoren hiervoor. Mogelijk zijn er dan ook effecten te meten in de ontwikkeling van vlinders binnen de verschillende behandelingen en vegetatieontwikkelingen van de studiep-lots.

8.3 Resultaat Libellen

De waargenomen libellen (Tabel 8.2) zijn afkomstig uit de nabijgelegen poelen. Een ligt direct tegen de natte proefvlakken aan en de andere ligt op 200 meter van de droge proefvlakken. Door de langdurige inundatie is niet uit te sluiten dat zich hier libellen hebben voortgeplant. Een overzicht wordt gegeven van de soorten die op het afgegraven terrein zijn aangetroffen. Een relatie met de type behandelingen op de proefvlakken is niet relevant.

Soort	Wetenschappelijke naam	Specialisatie	Afgegraven
Paardenbijter	<i>Aeshna mixta</i>	Eurytoop	x
Grote keizerlibel	<i>Anax imperator</i>	Eurytoop	x
Koraaljuffer	<i>Ceriagrion tennelum</i>	Natte heide/veen	x
Watersnuffel	<i>Enallagma cyathigerum</i>	Zure wateren	x
Lantaarntje	<i>Ishnura elegans</i>	Eurytoop	x
Tengere grasjuffer	<i>Ishnura pumilio</i>	Pionier/kwel	x
Zwervende pantserjuffer	<i>Lestes barbarus</i>	Zwerver	x
Tangpantserjuffer	<i>Lestes dryas</i>	Natte heide	x
Gewone pantserjuffer	<i>Lestes sponsa</i>	Zure wateren	x
Viervlek	<i>Libellula quadrimaculata</i>	Zure wateren	x
Gewone oeverlibel	<i>Orthetrum cancellatum</i>	Eurytoop	x
Zwarte heidelibel	<i>Sympetrum danae</i>	Zure wateren	x
Zwervende heidelibel	<i>Sympetrum fonscolombei</i>	Zwerver	x
Bruinrode heidelibel	<i>Sympetrum striolatum</i>	Eurytoop	x
Tengere pantserjuffer	<i>Sympetrum virens</i>	Natte heide /veen	x
Steenrode heidelibel	<i>Sympetrum vulgatum</i>	Eurytoop	x

Tabel 8.2. Overzicht van waargenomen libellen in het afgegraven deel (geel in figuur 8.1).

Table 8.2. Overview of recorded dragonflies in the reconstructed area (yellow square in figure 8.1)

Opvallende soorten zijn de koraaljuffer en tengere pantserjuffer die in de omgeving verbreid voorkomen (Lustenhouwer, 2011). Deze soorten planten zich in natte heideterreinen voor waar veenvorming optreedt. De tengere grasjuffer is een echte soort van pionier gebieden waar het grondwater ijzerrijke kwel bevat. Daarnaast zijn de 'zure vier', watersnuffel, zwarte heidelibel, gewone pantserjuffer en viervlek, aanwezig die duiden op verzuurde omstandigheden, zoals die veel voorkomen in het Dwingelderveld.

8.4 Resultaat Sprinkhanen

Met de ontgroning van centimeters grond ontstond een uitgangssituatie waarbij er vanuit mag worden gegaan dat de sprinkhanen op de grond en hun larven in de ondiepe oppervlakte van de grond geheel verwijderd zijn. Vanaf dit moment zijn in totaal 13 soorten sprinkhanen vastgesteld in het afgegraven deel (gele kaders in figuur 8.5). In 2012 waren nog niet alle soorten aanwezig in de proefvelden, maar in 2013 werden alle vastgestelde soorten over het gehele afgegraven terrein aangetroffen.

In totaal zijn 13 soorten sprinkhanen vastgesteld in de directe omgeving van het afgegraven deel van het Noordenveld. Dit deel is zwart omkaderd in figuur 8.5. Hierbinnen ligt goed ontwikkelde natte en droge heide. Een populatie van de heidesabelsprinkhaan is hier aanwezig. Deze soort is tot binnen het afgegraven deel van het Noordenveld waargenomen (gele kader in figuur 8.5). In totaal werden op de proefvlakken 13 soorten vastgesteld. Binnen de proefvlakken (blauwe kaders in figuur 8.5) met de diverse behandelingen werden 10 soorten sprinkhanen vastgesteld. Opvallend was de snelle vestiging van de doornsprinkhanen, die sneller ging dan bij de veldsprinkhanen. Het aantal waargenomen gewoon doortje en zanddoortje binnen het experiment ligt veel hoger dan de veldsprinkhanen. Vanwege de ontwikkeling en successie is het aantal soorten pas in 2013 gelijk binnen de studieplots en de omgeving.

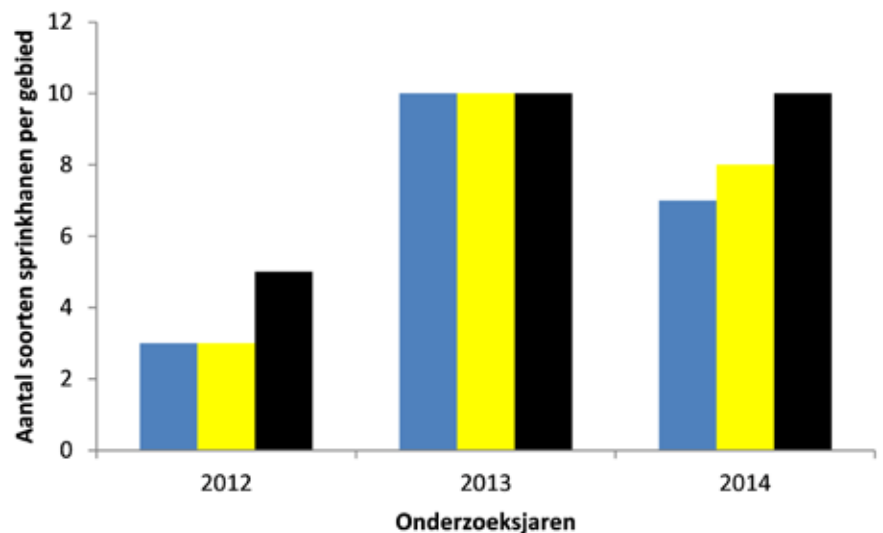
Tabel 8.3. Overzicht van waargenomen sprinkhanen, ingedeeld naar de omgeving in het Noordenveld. Blauw = studieplots met behandelingen, geel = deel van het afgegraven terrein, zwart = directe omgeving met intacte heide.

Table 8.3. Overview of recorded grasshoppers in defined areas. Blue = study plots with treatments, yellow part of reconstructed area, black = direct surroundings including developed heath.

Soort	Wetenschappelijke naam	Habitat	Studieplots	Afgegraven	Directe omgeving
Gewoon doortje	<i>Tetrix undulata</i>	Pionier, open grasland	x	x	x
Zanddoortje	<i>Tetrix ceperoi</i>	Droge zandgronden	x	x	x
Grote groene sabelsprinkhaan	<i>Tettigonia viridissima</i>	Ruigte		x	x
Heidesabelsprinkhaan	<i>Metriopectera brachyptera</i>	Droge heide		x	x
Schavertje	<i>Stenobothrus stigmaticus</i>	Droge zandgronden, droge heide	x	x	x
Kustsprinkhaan	<i>Chorthippus albomarginatus</i>	Droge gronden	x	x	x
Ratelaar	<i>Chorthippus biguttulus</i>	Grasland	x	x	x
Gewoon spitskopje	<i>Conocephalus dorsalis</i>	Nat grasland/ruigte	x	x	x
Snortikker	<i>Chorthippus mollis</i>	Heide/droog grasland	x	x	x
Bruine sprinkhaan	<i>Chorthippus brunneus</i>	Pionier/open grasland		x	x
Knopsrietje	<i>Myrmeleotettix maculatus</i>	Heide/Grasland	x	x	x
Wekkertje	<i>Omocestus viridulus</i>	Grasland	x	x	x
Krasser	<i>Chorthippus parallelus</i>	Grasland	x	x	x
			10	13	13

Figuur 8.5. De blauwe kaders (11 soorten) betreffen de studieplots met behandelingen, het gele kader (15 soorten) omvat het afgegraven terrein, het zwarte kader (21 soorten) is de directe omgeving met daarin aanwezig ontwikkelde natte en droge heide.

Figure 8.5.: Blue square (11 species) concern treated study plots, yellow square (15 species) is part of reconstructed area, black square (21 species) is direct surrounding including developed wet and dry heath.



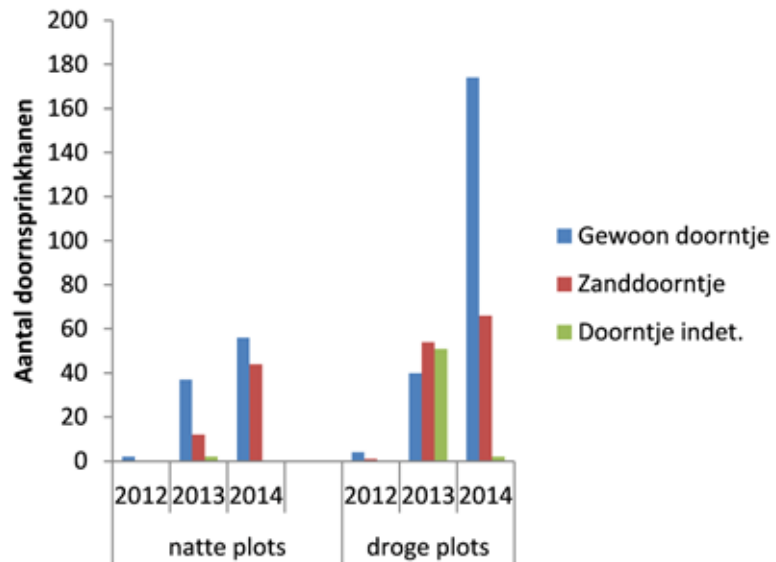
De doortjes koloniseren het studiegebied direct na de ontgraving en lijken hierbij een voorkeur te hebben voor de droge delen (figuur 8.6). Toch is deze binding van soorten van oudere successiestadia zeker niet absoluut en komen deze soorten in pioniersituaties in zowel droge als natte heide voor (Wallis de Vries et al., 2014). Deze groep sprinkhanen is uitgezet tegen de behandelingen in de studieplots (figuur 8.7 en 8.8). Gewoon doortje is in 2014 goed vertegenwoordigd. Dit beeld wordt bevestigd door het onderzoek naar alternatieven voor plaggen (Wallis de Vries et al., 2014), waar deze soort twee jaar na heideherstel door chopperen en plaggen volop aanwezig is.. Toch laat het gewoon doortje nog geen significante voorkeur zien voor een behandeling na totale afgraving van een gebied. Het OBN onderzoek uit 2014 laat zien juist zien dat na bekalking van bestaande heide het aantal individuen lager wordt (Wallis de Vries et al., 2014). Het zanddoortje werd onregelmatiger gevangen maar lijkt het meest voor te komen op de studieplots die bekalkt zijn (figuur 8.8). De overige sprinkhanen volgen een jaar later, waarbij niet duidelijk is of dit nieuwe bezoekers zijn of uitgekomen eitjes. De meeste sprinkhanen komen voor waar de eerste hogere vegetatie zich heeft ontwikkeld. Er is nog geen voorkeur te bepalen tussen de verschillende behandelingen en de ontwikkeling naar droge of natte heide. Soorten als knopsprietje, ratelaar, krasser en heidesabelsprinkhaan zijn soorten van oudere heide en graslanden. De behan-

delingen zullen bij een verdere ontwikkeling een duidelijker effect hebben op de vegetatie, waarbij de relatie tussen sprinkhaansoorten en type behandeling beter te leggen is.

Ecologisch gezien zijn er drie levensgemeenschappen te onderscheiden die zich geheel nieuw weten te vestigen. Het voorkomen van echte heidesoorten, schavertje en snortikker (en heidesabelsprinkhaan), en een aantal soorten van droge heide zoals zanddoortje duidt op een gezonde ontwikkeling van een sprinkhaanfauna die in een heidesysteem thuishoort.

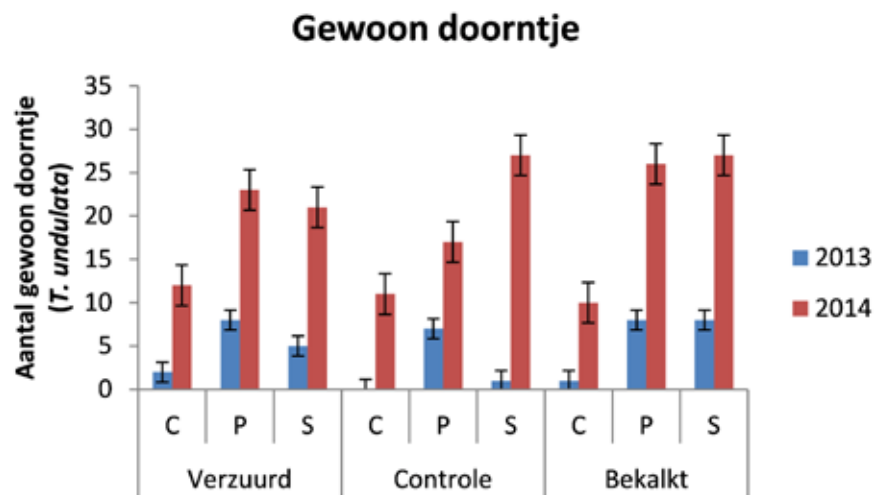
Figuur 8.6. Doortjes waren in grotere aantallen aanwezig dan andere sprinkhaansoorten, waarbij de meeste doortjes in de droge studieplots werden waargenomen.

Figure 8.6. *Tetrix* species were more abundant than other grasshoppers and were observed most in the dry study plots.



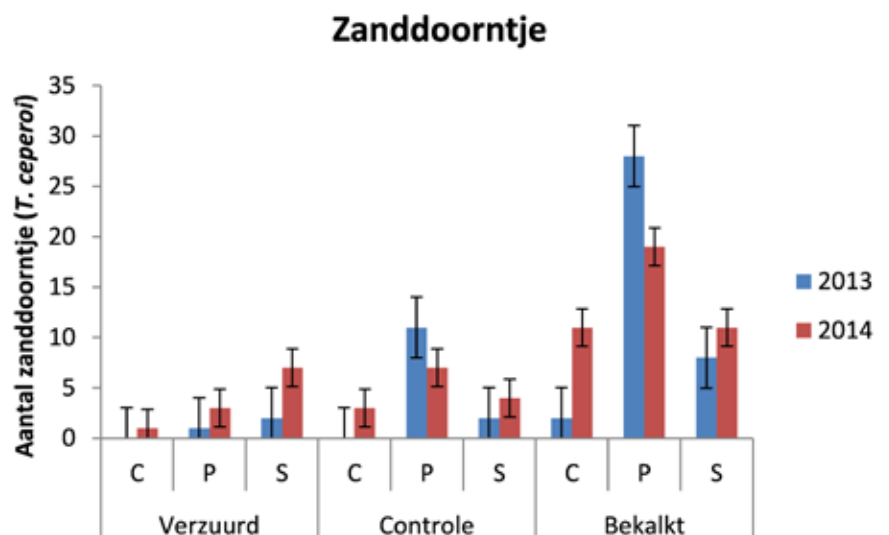
Figuur 8.7. Gemiddeld aantal gewoon doortje ($n=18$, \pm standaard deviatie) op de studieplots in 2013 en 2014.

Figure 8.7. Average number of *Tetrix undulata* ($n=18$) recorded in the study plots in 2013 and 2014.



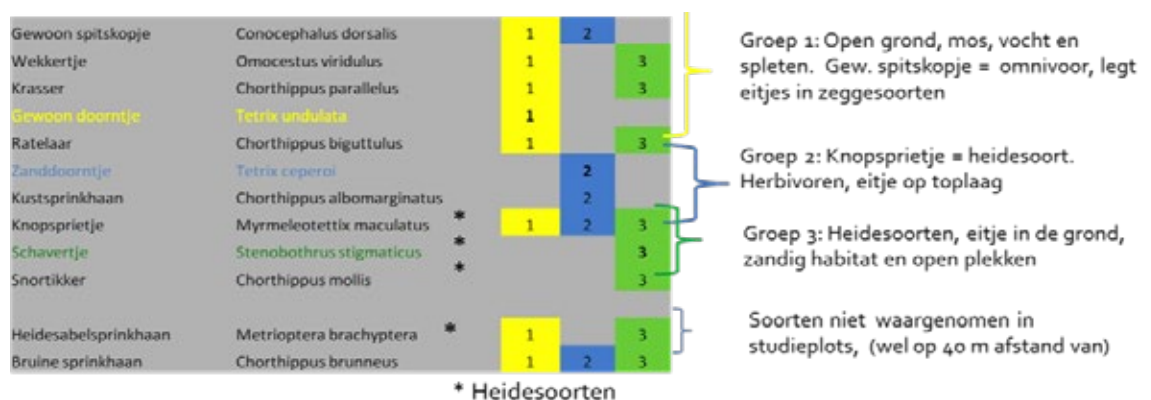
Figuur 8.8. Gemiddeld aantal zanddoortjes ($n=18 \pm$ standaard deviatie) op de studieplots in 2013 en 2014.

Figure 8.8. Average number of *Tetrix ceperoi* recorded ($n=18$) in the study plots in 2013 and 2014.



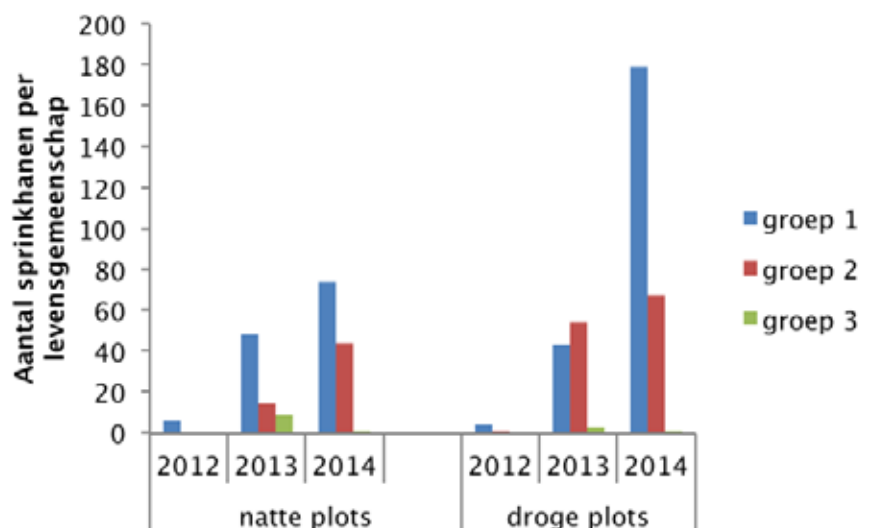
Concrete relaties tussen de soorten en behandelingen kunnen nog niet worden gelegd, de aangetroffen aantallen sprinkhanen (doortjes niet meegenomen) waren daarvoor te laag (resp. n=45 in natte plots en n=13 in droge plots). Het aantal gevonden doornsprinkhanen (n=545) is hoger. Deze familie sprinkhanen lijkt een voorkeur te hebben voor de ontwikkeling naar droge heide, waarbij een mogelijke voorkeur is voor bekalking. Om iets meer te weten over de ontwikkeling van de sprinkhanenfauna worden de waargenomen sprinkhanen in drie levensgemeenschappen ingedeeld (figuur 8.9), waarbij de ontwikkeling in aantallen sprinkhanen word weergegeven per groep in figuur 8.10.

- Groep 1: Vaak algemene soorten die in een milieu voorkomen waarbij droge en open opperlakes aanwezig zijn. De meeste soorten leggen hun eitjes in spleten in de grond. Het gewoon spitskopje, de enige sabelsprinkhaan, legt haar eitjes in zegge vegetaties.
- Groep 2: Sprinkhanen uit een droger milieu. Kustsprinkhaan, Zanddoortje, Knopsrietje en Bruine sprinkhaan worden vaak bij elkaar aangetroffen. De bruine sprinkhaan is niet gevonden binnen de studieplots, maar komt wel voor in de directe omgeving. De eitjes van deze herbivoren worden vaak op de toplaag gelegd.
- Groep 3: soorten uit deze groep horen deels ook in groep 1. Snortikker, Schavertje en Knopsrietje leven vaak bij elkaar in droge en zandige habitat en mogen worden beschouwd als heidesoorten. De eitjes worden in de grond gelegd. De heidesabelsprinkhaan is bij uitstek een heidesoort die alleen in de directe omgeving is aangetroffen.



Figuur 8.9. De gevonden sprinkhaansoorten zijn in drie levensgemeenschappen in te delen met hun karakteristieke eigenschappen. Opvallend zijn de heidesoorten in groep 3.

Figure 8.9. The recorded grasshopper species can be classified in three groups of related species communities, with heath species in group 3.



Figuur 8.10. Aantal sprinkhanen ingedeeld in de drie levensgemeenschappen die zijn gevonden in de natte en droge plots.

Figure 8.10. Number of grasshoppers found in the wet and dry plots, assigned to their defined communities.

8.5 loopkevers

De resultaten van de loopkevervangsten zijn bijgevoegd in Bijlage 10. Vlak voor de ontgronding is, in 2008, een inventarisatie naar loopkevers uitgevoerd in het Dwingelderveld, waarbij ook de graslanden van het Noordenveld zijn bemonsterd (Lustenhouwer, 2009). Er werden destijds 30 soorten loopkevers gevangen, waaronder 7 soorten die door Turin (2000) gekarakteriseerd worden als soorten van heiden en hoogvenen (A1-soorten) en soorten van duinen en vegetaties met buntgras (B1-soorten). Deze soorten waren: *Amara curta* (B1), *Harpalus latus* (A1), *Poecilus lepidus* (A1), *Pterostichus diligens* (A1), *Carabus arvensis* (A1) en *Trichocellus cognatus* (A1). De plaatsen waar deze vallen destijds stonden waren al geruime tijd uit productie genomen en werden al enige tijd begraasd waardoor het gebied al het karakter van schraal grasland aan begon te nemen. Daar dit stuk Noordenveld direct aan de heidenvelden lag, konden goede lopers of vliegende soorten (de 7 soorten hierboven genoemd vallen in een van beide groepen) relatief makkelijk hier komen en wellicht ook overleven. Met de omvorming van het Noordenveld naar een heidegebied wordt echter verwacht dat heide- en schraalgraslandsoorten betere overlevingskansen krijgen en dus in aantal en in aantal soorten zullen toenemen.



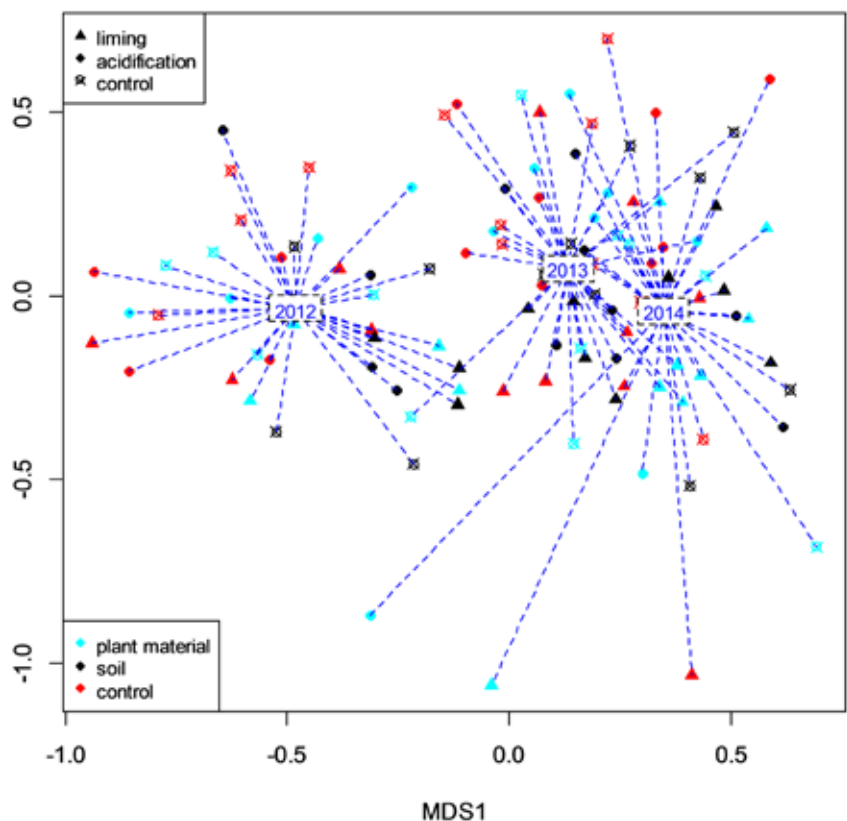
Basterdzandloopkever

Bij het ontgronden wordt de bouwvoor enkele tientallen centimeters verwijderd. Loopkevers leven op de bodem en hun larven in de bovenste lagen van die bodem. Bij de ontgronden wordt daarom waarschijnlijk ook de gehele loopkeverfauna volledig verwijderd. Dat betekent dat na de ontgroning de loopkeverfauna het nieuw ontstane gebied vanuit de omliggende terreinen moet gaan koloniseren. Dat kan lopend gebeuren maar veel soorten kunnen ook, zei het vaak passief, vliegen. Soorten die vliegen kunnen waarschijnlijk korte tijd na de ontgroning worden aangetroffen in het terrein, zei het in lage aantallen. Soorten die lopend de nieuw ontstane gronden moeten bereiken zullen er langer over doen en de grotere soorten (veelal van het geslacht *Carabus*) zullen eerder aanwezig zijn, omdat ze nu eenmaal grotere afstanden in dezelfde tijd kunnen overbruggen (den Boer, 1977). Vermeulen (1995) toonde aan dat middelgrote soorten in begroeide wegbermen zich gemiddeld slechts 25 meter per jaar verplaatsen. Echter op onbegroeide grond zullen zelfs kleine, langzaam lopende soorten, binnen enkele jaren het gehele Noordenveld kunnen bereiken (Persigehl *et al.*, 2004) daar er geen barrières zijn, zoals vegetatie. De goede verbroeders (vliegende soorten) zijn veelal eurytoop. De doelsoorten, de stenotope soorten van heide en schrale terreinen, hebben vaak een minder goed verbroedingsvermogen en zullen zich daarom waarschijnlijk ook in een later stadium later vestigen, indien het habitat geschikt is voor overleven en reproduceren. Stenotope soorten zijn namelijk in meer of mindere mate kritisch ten aanzien van hun leefomgeving. Het habitat en de ontwikkeling daarvan spelen dus een belangrijke rol bij de samenstelling van de loopkeverfauna. Ontgronden van het Noordenveld, waardoor op den duur meer geschikt heidehabitat moet gaan ontstaan, zou de neergaande tendens van het aantal stenotope heidesoorten kunnen tegengaan. Namelijk bij gericht onderzoek op het Dwingelderveld naar loopkevers werd een daling van 93 soorten in 1991 naar 73 soorten in 2008 gevonden. Bossoorten en eurytope leken nog stabiel, maar zowel de hygrofiële (vochtminnende) als xerofiële (droogt minnende) heidesoorten (A1 en B1 soorten) waren afgenomen (Lustenhouwer, 2009). De oorzaak is niet eenduidig aan te duiden. Verdroging, vermesting en successie hebben zeker invloed gehad op deze ontwikkeling. Ook voor dagvlinders was een vergelijkbare tendens waargenomen. Alleen libellen zijn in aantal en aantal soorten op het Dwingelderveld toegenomen. Dit is waarschijnlijk het effect van de vernatting in combinatie met het goede verbroedingsvermogen van libellen (Lustenhouwer, 2011).

Eieren, larven en poppen van loopkevers ontwikkelen zich in de bodem. Hierdoor hebben de fysieke en chemische eigenschappen van die bodem directe invloed op de ontwikkeling van de eieren, larven en poppen. De soort bodem en de kwaliteit

daarvan zijn dus essentieel voor de ontwikkeling van de loopkeverfauna (Thiele, 1977). Daaraan kan het voedselaanbod gekoppeld worden. De aanwezigheid van voedsel is weer afhankelijk van de vegetatieontwikkeling en microklimaat. Nivellering van het microklimaat wordt gezien als één van de belangrijkste bottlenecks in het voorkomen van karakteristieke loopkevers, sprinkhanen en dagvinders van droge heide en stuifzand (van Turnhout *et al*, 2008). De verschillende bodembehandelingen zouden dus met name invloed hebben op het vestigen van loopkeversoorten. D.w.z. dat soorten die eenmaal op de proefvlakken zijn aangekomen hun reproductie-cyclus hier moeten kunnen voltooien om zich als populatie te kunnen vestigen. De jonge stadia van de loopkevers zijn gevoelig voor die behandelingen en de effecten van die behandelingen bepalen dus indirect welke loopkeverfauna hier uiteindelijk zal ontstaan. Deze ontwikkeling wordt duidelijk na meerjarig onderzoek.

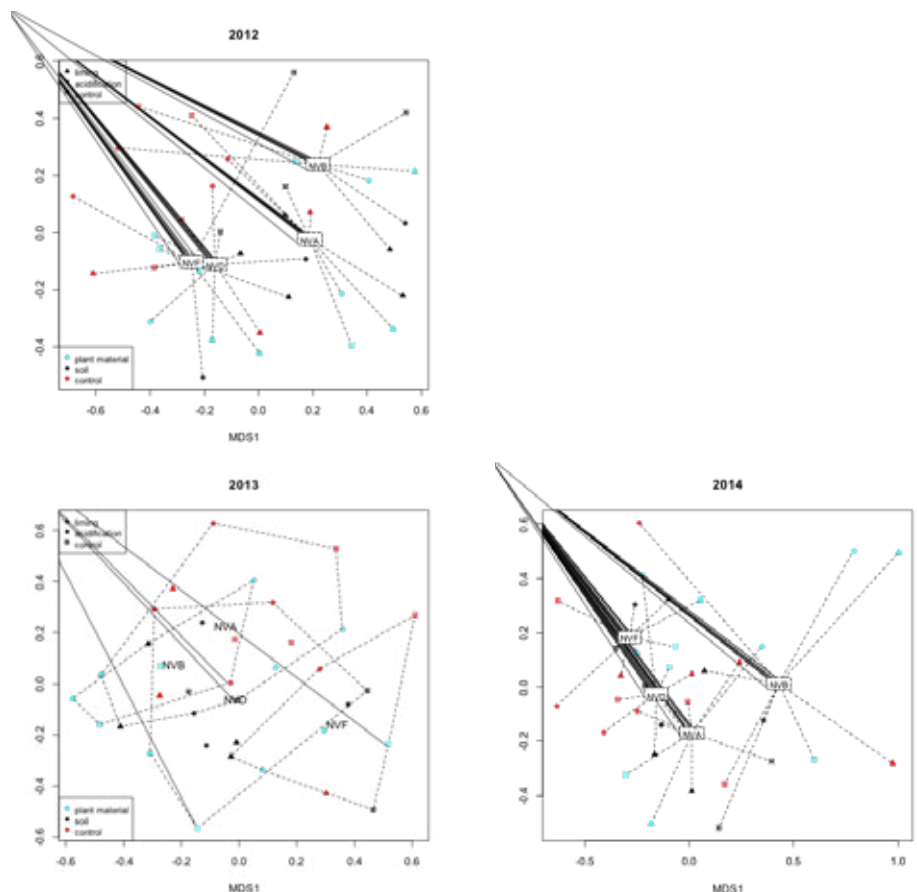
Gedurende het onderzoek is een verschuiving in de loopkevergemeenschap vastgesteld en zijn meer individuen gevangen (fig. 8.11). In 2012 werden vooral eurytope, de goed verbreidende soorten, gevangen, zoals *Bembidion tetracolum*, *Bembidion bruxellense*, *Bembidion quadrimaculatum*, *Amara spreta* en *Nebria brevicollis*. Deze soorten waren waarschijnlijk nog in groten getale aanwezig in het naburige nog te ontgronden terrein dat in 2012 nog het proefgebied deeltelijk omringde en domineerden in dat jaar nog sterk de vangsten. Na 2012 verdwenen ook deze laatste resten en mogelijk daarmee ook deze eurytope, goed verbreidende landbouw soorten. De enkele heidesoorten die in 2012 op de proefvlakken gevangen werden betroffen goede lopers zoals *Carabus arvensis* of goede vliegers, zoals *Agonum sexpunctatum*. In 2013 en 2014 was het aandeel van de eurytope soorten in de vangsten al belangrijk kleiner. Er verschenen meerdere soorten heide-loopkevers, waaronder *C. arvensis*, *Carabus nitens*, *Poecilus lepidus*, *A. sexpunctatum* en *Nebria salina*; de successie naar een stabiele heide lijkt te zijn ingezet. Soorten als *A. Sexpunctatum* en *N. Salina* zijn echter binnen het heischrale milieu pioniersoorten en zullen op den duur als de terreinen meer en meer begroeid raken ook weer in aantal afnemen en vrijwel verdwijnen, totdat er weer geplagd wordt of de terreinen weer worden open getrokken.



Figuur 8.11. Er zijn drie clusters te onderscheiden met verschillende loopkevergemeenschappen die in de drie onderzoek jaren zijn aangetroffen. In 2012 zijn overwegend andere soorten (vooral eurytope) waargenomen dan in 2013 en 2014. Er is geen duidelijke samenhang in de plots met verschillende behandelingen van organisch materiaal.

Figure 8.11. The occurrence of three annual clusters show differences in the ground beetle community. In 2012 more eurytope species were recorded, while 2013 and 2014 more specialist species occurred. No clear relation is found in soil (organic) treatment.

Figuur 8.12 laat zien in hoeverre de verschillende experimenteer gebieden een zelfde dan wel een verschillende loopkeverfauna hebben. Het verschil tussen nat (NVA & NVB) en droog (NVD & NVF) is steeds het grootst. In 2014 verschilt experimenteergebied NVB sterk van de andere drie. NVB kon in 2014 maar ten dele worden bemonsterd vanwege hoge waterstanden in het voorjaar en begin zomer (proefvlakken B6, B9 en B8 stonden geheel onder water, in een aantal andere vlakken werden de vallen er na verloop van tijd uit de grond gedrukt als gevolg van de hoge waterstand). Hierdoor mist er een groot deel van de voorjaarssoorten. Waarschijnlijk wordt het verschil van NVB met de andere gebieden hierdoor voor een belangrijk deel veroorzaakt. Tevens werden in NVB als gevolg van het water dat jaar veel oeversoorten gevangen, w.o. *Agonum marginatum* en *Blethisa multipunctata*. Ook dit verschijnsel zal een verschuiving in het soortenspectrum tot gevolg hebben gehad. Daar in 2014 de situatie verstoord was door wateroverlast, zouden we kunnen stellen dat 2013 relatief de meest stabiele situatie voor loopkevers (en vermoedelijk ook ander bodemfauna) is geweest. Een test op de factoren in 2013 laat zien dat het experimenteergebied het meest verklarend is ($p < 0.001$) voor de verschillen in de loopkeverfauna. Naast de factor nat (NVA en NVB) en droog (NVD en NVF) kan hier ook een immigratie-effect een rol spelen: de verschillende gebieden liggen op verschillende afstand van de oude heide. In de eerste jaren zijn dus de gebieden dichtbij die oude heide gemakkelijker te bereiken voor slecht verbreidende soorten. Ook de pH-manipulatie ($p = 0.014$) als de biota-manipulatie ($p = 0.046$) lijken enig effect hebben op de soortensamenstelling.

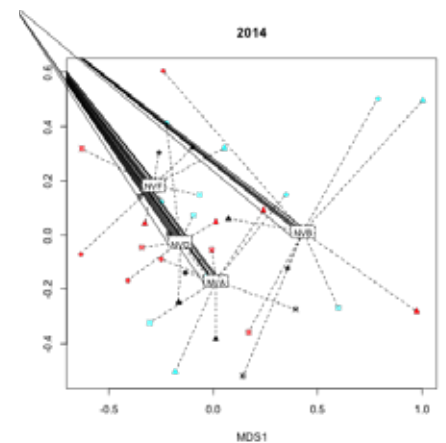
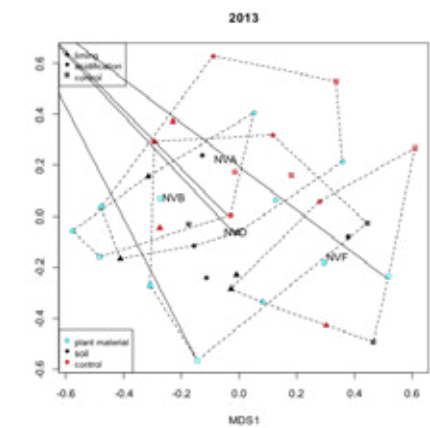
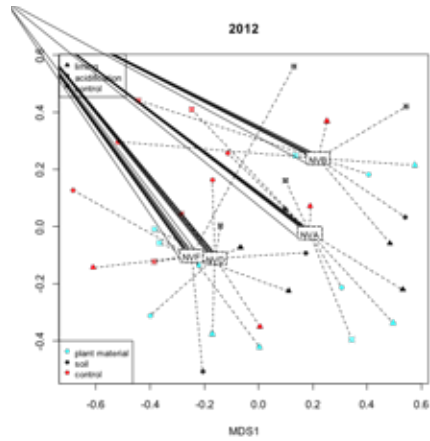


Figuur 8.12. De verschillen in de samenstelling de loopkeverfauna per experimenteergebied (gebied A en B nat en gebied D en F droog) apart weergegeven voor de verschillende jaren. In 2013 is de weergave van de verschillende behandeling binnen het gebied omljnd.

Figure 8.12. The differences in the composition of the ground beetle fauna for the separate experimental areas (areas NVA & NVB wet and areas NVD & NVF dry). For 2013 the separate treatments within an area is entangled.

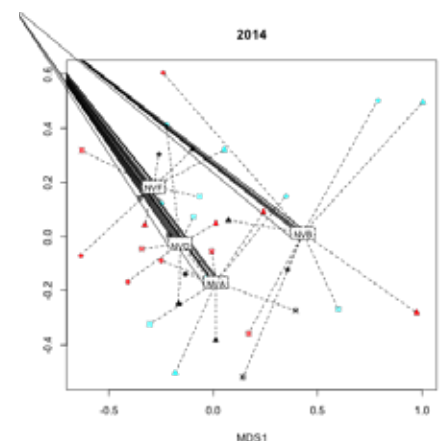
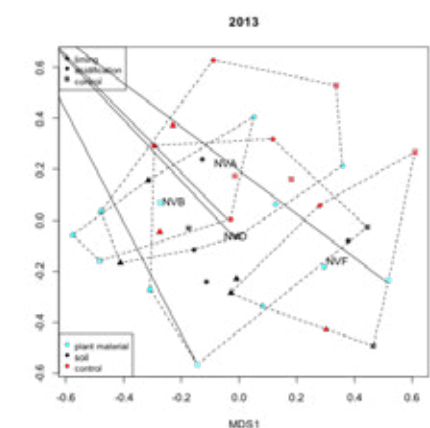
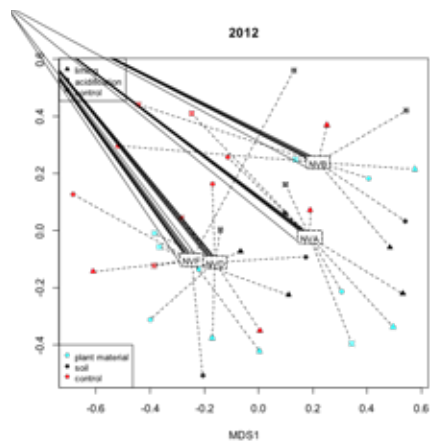
Als we meer op de verschillende behandelingen inzoomen (fig. 8.13), lijkt 2013 het enige jaar waar duidelijk een verschil uitspringt. Hierin wijkt de loopkeverfauna in de plots met bekalking het meeste af van met de soorten in de controleplots en is ook de soortensamenstelling in de zure plots verschillend ten opzichte van de controle en bekalking. In 2014 liggen deze resultaten veel dicht bij elkaar, vermoed-

delijk wederom veroorzaakt door de natte situatie van dat jaar. In het algemeen lijkt beklanking een groter effect te hebben dan de verzuring.



Figuur 8.13. De verschillen in de samenstelling de loopkeverfauna per pH-behandeling (Acid = zuurtoevoeging, Control = geen toevoeging en Lime = kalktoevoeging) apart weergegeven voor de verschillende jaren.

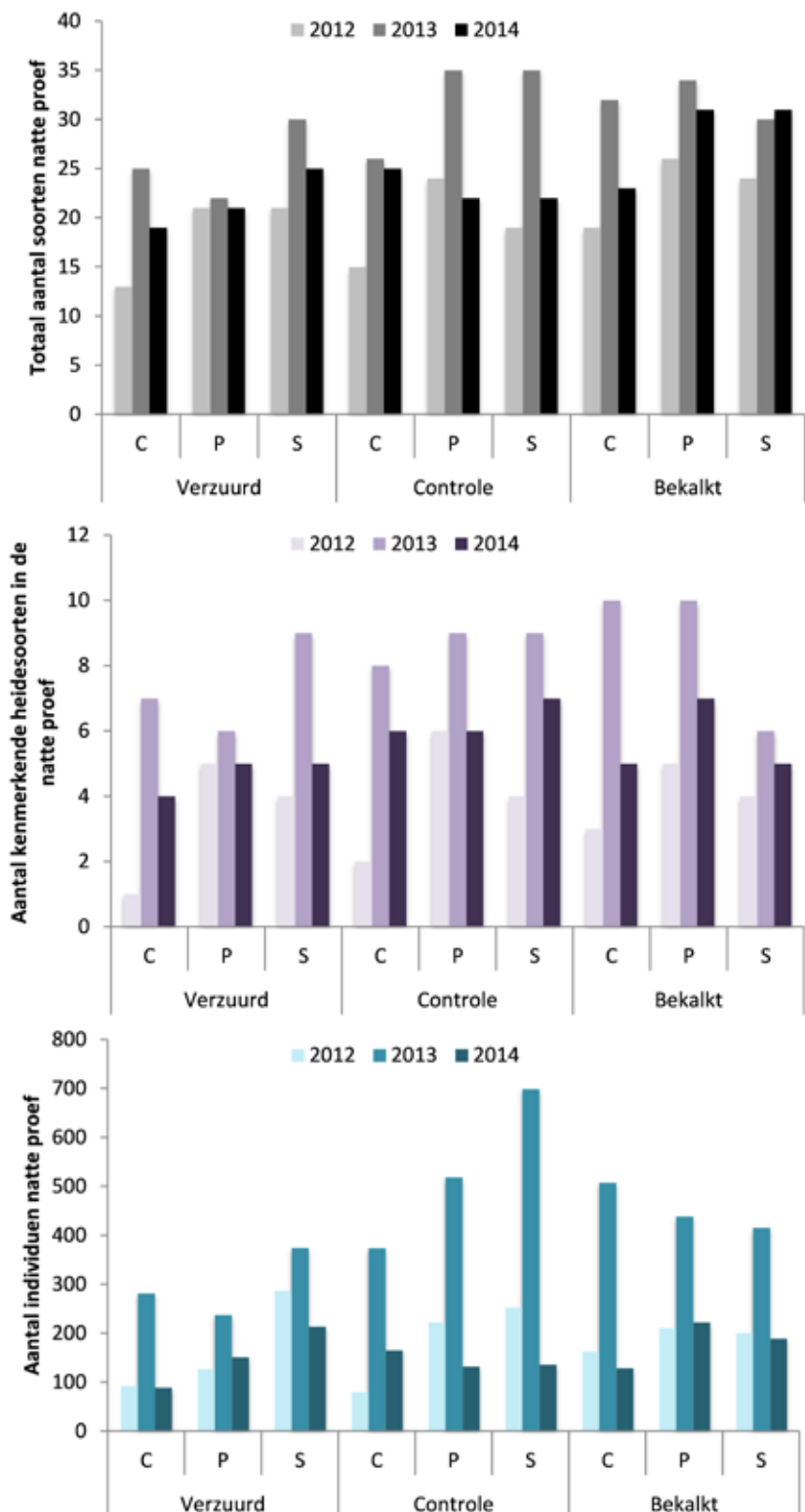
Figure 8.13. The differences in de composition of the ground beetle fauna after the pH-treatments (Acid = acid added, Control = nothing added and Lime = lime added) for the separate years.



Figuur 8.14. De verschillen in de samenstelling de loopkeverfauna per biota-behandeling (Control = geen toevoeging Plant = toevoeging heidemaaisel en Soil = toevoeging heideplag-sel) apart weergegeven voor de verschillende jaren.

Figure 8.14. The differences in de composition of the ground beetle fauna after biota-treatments (Control = nothing added Plant = heathland hay added and Soil = heathland sod cuttings added) for the separate years.

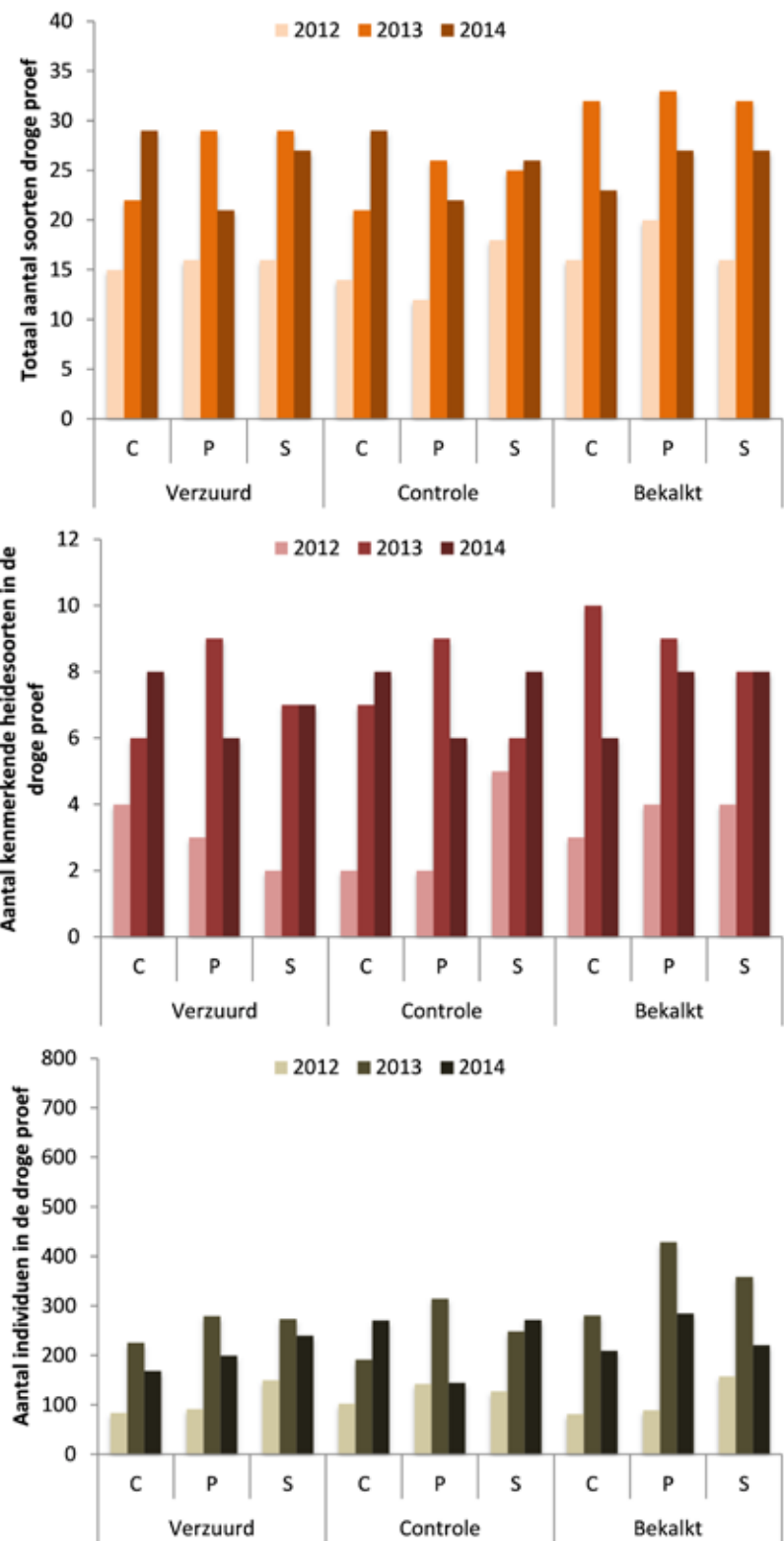
In de experimenteelgebieden zijn verschillende biota-behandeling uitgevoerd. Het opbrengen van organisch materiaal zorgt voor meer structuur en reliëf waardoor een ander microklimaat ontstaat. Dit lijkt een positief effect te hebben onafhankelijk van het type organisch materiaal (fig. 8.14). De behandelingen met biota wijken significant af van de controleplots. ($p < 0.01$ in 2012 en 2014, $p < 0.001$ in 2013). In 2014 is het verschil in loopkeverfauna het kleinst maar dat kan weer te maken hebben met de extreem natte omstandigheden van dat jaar, die de loopkeverfauna als overal factor gelijke heeft beïnvloed.



Figuur 8.15. Overzicht van de gevangen soorten en individuen van de loopkevers per vangstjaar, in de natte natte- (A & B) vanglocaties. Boven het totaal aantal gevangen loopkeversoorten, midden het totaal aantal gevangen loopkeversoorten karakteristiek voor heideachtige terreinen (Classificatie volgens Boeken et al, 2002) en onder het totaal aantal gevangen exemplaren loopkevers. Groepering per verschillende behandeling, de verschillende vangstjaren (2012, 2013 & 2014) zijn binnen de groep van behandeling weergegeven. De behandelingen binnen de biota-gradiënt: C = controle/niks toegevoegd, M = maaisel uitgestrooid en P = plagsel uitgereden.

Figure 8.15. An overview of the caught ground beetles per year for the wet (left, plots A and B) locations. Above the number of ground beetle species caught, in the middle the number of heathland ground beetle species caught (habitat preferences according to Boeken et al, 2002) and below total number of individual ground beetles caught. Grouping per separate treatments, within the groups the catches of the years 2012, 2013 and 2014. The treatments within the biota-gradient: C = Control/nothing added, M = heathland-hay spread and P = heathland sod-cuts spread out.

Gemiddeld door de drie jaren heen zijn de meeste individuen en soorten loopkevers op de natte proefvlakken gevangen met uitzondering van 2014 (Figuur 8.14 en 8.15). Toen werden er meer op het droge stuk gevangen. Aantal individuen: Nat 2012: 1638, 2013:3850 en 2014: 1427 Droog 2012:1030, 2013:2605 en 2014:2013 resp. 2014 lijkt hiermee een afwijkend jaar te zijn. Alle aantallen nemen af terwijl een toename verwacht wordt in verband met kolonisatie, vestiging en vermeerdering via voortplanting van de nieuw ingekomen soorten. Een mogelijke verklaring zou zijn, dat in de eerste helft van 2014 een groot deel van de terreinen



Figuur 8.16. Overzicht van de gevangen soorten en individuen van de loopkevers per vangstjaar, in de droge (D&F) vanglocaties. Boven het totaal aantal gevangen loopkeversoorten, midden het totaal aantal gevangen loopkeversoorten karakteristiek voor heideachtige terreinen (Classificatie volgens Boeken et al, 2002) en onder het totaal aantal gevangen exemplaren loopkevers. Groepering per verschillende behandeling, de verschillende vangstjaren (2012, 2013 & 2014) zijn binnen de groep van behandeling weergegeven. De behandelingen binnen de biota-gradiënt: C = controle/niks toegevoegd, M = maaisel uitgestrooid en P = plagsel uitgereden.

Figure 8.16. An overview of the caught ground beetles per year for the wet (plots D and F) locations. Above the number of ground beetle species caught, in the middle the number of heathland ground beetles species caught (habitat preferences according to Boeken et al, 2002) and below total number of individual ground beetles caught. Grouping per separate treatments, within the groups the catches of the years 2012, 2013 and 2014. The treatments within the biota-gradient: C = Control/nothing added, M = heathland-hay spread and P = heathland sod-cuts spread out.

langdurig onder water stond. Hierdoor waren de omstandigheden voor de overleving van gevestigde loopkevers ongunstig. Uiteraard was dit effect op de lager gelegen onderzoeklocaties (NVA en NVB; nat) sterker dan op de hogere (NVD en NVF droog). Het effect van extreme vernatting heeft op lange termijn gevolgen. Slechts een beperkt aantal, aan deze omstandigheden aangepaste soorten, zullen worden gevonden op deze plekken. Op de natte onderzoekplekken komen al soorten voor die zich hieraan hebben aangepast, namelijk *A. marginatum* en de vrij bijzondere soort *B. multipunctata*. Op het Dwingelderveld komen nog enkele hoogveensoorten voor. Indien op de natte plekken langzaam maar zeker veenmos gaat verschijnen, is de kans groot dat deze soorten, waaronder *Agonum ericeti* en *Anisodactylus nemorivagus* zich daar zullen gaan vestigen. Door extreme vernatting zal dus de loopkeverdiversiteit afnemen maar wordt anderzijds een habitat gecreëerd voor een aantal zeer bijzondere soorten die elders vrijwel niet gevonden worden. Uit de jaren voorafgaand aan het extreme jaar 2014 komt min of meer naar voren dat een matig nat habitat tot meeste soorten en hoogste aantallen individuen zullen leiden, althans op korte termijn.

Uit de resultaten lijkt dat verzuring een negatievere invloed heeft op het voorkomen van loopkevers in het algemeen. Uit fig. 8.15 en 8.16 blijkt dat verzuring in alle jaren relatief de minste soorten, heide soorten en individuen geeft. Behandeling met kalk lijkt wel een iets hogere biodiversiteit aan loopkevers op te leveren maar voor de heidesoorten lijkt dit verschil nihil.

De combinatie van kalk en opbrengen maaisel/plagsel leiden niet automatisch tot de beste ontwikkelingen in de loopkeverfauna. Het bekalken van verzuurde terrestrische heidebiotopen kan leiden tot een afname van het aanbod aan karakteristieke (stenotoop voor het heide-habitat) terrestrische ongewervelde dieren. Karakteristieke loopkeversoorten worden bijvoorbeeld verdrongen door zeer algemene soorten of door andere kevergroepen. Bekalking lijkt met name gunstig voor pioniersoorten van de bodemfauna (van Turnhout et al., 2008). Het opbrengen van maaisel en plagsel lijkt positief te zijn voor de ontwikkeling van de loopkeverfauna. Hierdoor ontstaat op de kale bodem een gunstig microklimaat, waar loopkevers van afhankelijk zijn. Ook kunnen, mits onbeschadigd (Vermeulen et al., 2014), plaggen larven en stenotope heide loopkever soorten met een slecht verspreidingsvermogen herbergen, die zich vanuit het plagsel kunnen verspreiden. Vermalen plagsel uitrijden zal deze vorm van kolonisatie verkleinen.

Wat betreft de macro bodemfauna geeft de huidige onderzoekstermijn nog geen erg duidelijke effecten van de diverse behandelingen, ook al omdat het extreme weer in 2014 de vestiging van soorten negatief heeft beïnvloed. Om na te gaan wat de effecten op de langere termijn van deze behandelingen zou zijn, verdient het de aanbeveling om deze proef nog een aantal jaren door te zetten.

8.6 Samenvatting resultaten

Dagvlinders:

- Het afgegraven deel in het Noordenveld is nog te primitief als geschikt leefgebied voor dagvlinders
- Na 2 jaar lijken minder agrarische soorten aanwezig en meer grasland en heidesoorten
- In het Noordenveld komen meer soorten voor dan voor de nul situatie, toen het gebied nog een agrarische bestemming had.
- Doelsoorten van droge en natte heide zijn in de directe omgeving aanwezig, maar zijn afhankelijk van optimaal habitat. Het zal nog enkele jaren duren voordat deze soorten zich daadwerkelijk op het afgegraven terrein voortplanten.

- De waardplanten van deze doelsoorten zijn in reeds vastgesteld. Sommige soorten hebben een relatie met mieren, het terrein verdient nader onderzoek op de aanwezigheid van deze juiste mieren.
- Onderzoek naar nachtvlinders is aan te bevelen omdat deze zich al voortplanten in het studiegebied.
- Het volgen van de dagvlinderfauna is interessant omdat het terrein zich nu ontwikkelt waarbij de eerste soorten zich hier kunnen gaan voortplanten. Deze resultaten zijn belangrijk als nulmeting.

Sprinkhanen:

- Het schavertje en de snortikker zijn heidesoorten die sinds 2013 op de proefvlakken voorkomen. Zanddoortje en kustsprinkhaan duiden op droge pioniersituaties die vaak kleinschalig gehandhaafd blijven in ontwikkelde droge heide. Alle andere soorten zijn min of meer nog aan elkaar gerelateerd, maar duiden op een ontwikkeling naar droog grasland. De enige echte vochtminnende soort is het gewoon spitskopje. Deze soort werd dan ook vooral op de nattere delen gevonden en kent een grote populatie in de pitrusvegetaties in de omgeving van de proefvlakken.
- Microklimaat, voedselaanbod, vegetatie en bodemstructuur zijn limiterende factoren voor de vestiging van sprinkhanen. De ontwikkeling binnen de studieplots is nog primair, waarbij de ontwikkeling van de sprinkhaanfauna in de komende jaren zich zal uitbreiden en de levensgemeenschappen zich naar vegetatie zullen ontwikkelen.

Loopkevers:

- De vangsten in jaar 1 (2012) wijken af van de 2 jaren daarop, terwijl het verschil tussen 2013 en 2014 duidelijk minder is. Niet alleen de hoeveelheid individuen is toegenomen in 2013 maar ook de soortensamenstelling blijkt te zijn veranderd. De successie naar een stabiele heide-ecotoop lijkt te zijn ingezet. In 2014 zijn met name in de natte proefvelden minder loopkevers gevangen. Waarschijnlijk is dit veroorzaakt door de vernatting van een deel van de proefvelden.
- In 2014 kon maar een deel van de natte proefvelden bemonsterd worden door de hoge waterstanden in het voorjaar en begin zomer. De hoge waterstanden in 2014 zijn ook terug te zien in de gevangen soorten, er zijn in 2014 in de natte proefvelden veel oerversoorten w.o. *Agonum marginatum*, gevangen.
- 2013 was het meest stabiele jaar, een test op de factoren in 2013 laat zien dat locatie het meest verklarend is ($p < 0,001$). Echter ook de pH-manipulatie ($p = 0,014$) en de biota-manipulatie ($p = 0,046$) lijken enig effect te hebben op de soortensamenstelling.
- Uit de eerste resultaten lijkt naar voren te komen dat het uitrijden van maaisel en plagsel een positief resultaat heeft op het vestigen van (heide)soorten. Onafhankelijk hiervan lijkt bekalking een positief effect te hebben op het totale aantal (eurytope) soorten en het totale aantal individuen van die soorten.
- Wanneer de proefvelden van het natte experiment ook in de toekomst (deels) onder water komen te staan, mag men op den duur verwachten dat er alleen nog een beperkt aantal, aan deze omstandigheden aangepaste soorten zullen worden gevonden op deze plekken. Op de natte onderzoekplekken zijn nu al de soorten *Agonum marginatum* en de vrij bijzondere soort *Blethisa multipunctata* aangetroffen. Op den duur is het terrein ook geschikt voor de hoogveensoort *Agonum ericeti*. Wanneer de hydrologie zo blijft in de toekomst zal de biodiversiteit afnemen, tegelijk wordt er wel een habitat gecreëerd voor een aantal zeer bijzondere soorten die elders vrijwel niet gevonden worden.
- Doordat het immigratieproces en daarmee de vestiging van soorten nog in volle gang is en in 2014 ernstig verstoord werd door de inundatie, mag verwacht worden dat op langere termijn de effecten van de behandelingen duidelijker worden. Aanbevolen wordt daarom om nog zeker enkele jaren door te bemonsteren.

9. Synthese



9.1 Inleiding

Heidevelden hebben gedurende lange tijd deel uitgemaakt van het West-Europese landschap. Dwergstruikheiden komen op verschillende delen van de wereld voor, veel in de bergen, maar zijn - of waren - ook wijd verspreid in de Atlantische en subatlantische delen van Europa, van Zuidwest Noorwegen tot in Portugal. De uitgestrekte laaglandheiden zijn ontstaan door menselijke invloed en al eeuwenlang aanwezig in het Pleistocene zandlandschap van Nederland. Heides van het Europese laagland komen zowel bij droge als natte omstandigheden voor, ieder met zijn eigen kenmerkende flora en fauna. Sinds het einde van de negentiende eeuw tot net na de Tweede Wereldoorlog is het oppervlak aan heides in Nederland zeer sterk gedaald. Vanwege hun kenmerkende biodiversiteit zijn de overgebleven heides sindsdien vrijwel allemaal aangewezen als natuurgebied.

De huidige staat van instandhouding van (voorheen) voedselarme habitats zoals heide is in de meeste West-Europese landen niet al te gunstig, en dit is ook het geval in Nederland. Zowel herstel van de kwaliteit van bestaande heides als ook het vergroten van het oppervlak (goed ontwikkelde) heide binnen het Nederlandse natuurnetwerk en Natura 2000-gebieden zijn daarmee een expliciet beleidsdoel. Dit geldt zowel voor natte heide (H4010) als droge heide (H4030). In het kader van EGM en OBN zijn tot nu toe vooral herstelmaatregelen tegen verzuring, vermessing en verdroging ontwikkeld voor bestaande, aangetaste heides en hierover is al veel kennis aanwezig. Een groot deel van de beoogde uitbreiding moet echter worden verwezenlijkt op uit productie genomen landbouwgronden en over de effectiviteit van de daar te nemen inrichtingsmaatregelen is nog slechts weinig bekend. Studies naar en analyses van knelpunten en mogelijke oplossingen daarvan bij omvorming van landbouwgronden naar heides zijn daarmee van groot belang.

Er zijn een aantal knelpunten geïdentificeerd bij de omvorming van voormalige landbouwgrond tot voedselarme natuur na ontgronden of diep plaggen. Het is bekend dat door de ontgroning de beschikbaarheid van N en P snel tot op het niveau van heide kan worden teruggebracht, maar dat de pH van de bodem dan nog wel veel hoger is dan die van droge of natte heide. Ook de verbreiding en vestiging van kenmerkende planten (en dier-)soorten is een belangrijk probleem en het leidt vaak tot een soortenarme vegetatie met weinig doelsoorten. Daarnaast wordt het aanwezige bodemvoedselweb op voormalige landbouwgrond vaak beschouwd als een knelpunt bij ontwikkeling van heide. Bodemfauna en micro-organismen (bacteriën en schimmels) zorgen samen voor de afbraak van organische stof en mineralisatie van plantenvoedingsstoffen. Dit alles betekent hoogstwaarschijnlijk dat veel bodemprocessen in omgevormde landbouwgrond anders verlopen

als in ongestoorde heide. Het project “Praktijkproef heideherstel op voormalige landbouwgrond in het Noordenveld (Dwingeloo)” is opgezet om experimenteel in het veld genoemde knelpunten te overwinnen middels verschillende (combinaties) van maatregelen. De praktijkproef is gestart in najaar 2011 en is tot nu toe tot in het najaar van 2014 gevolgd. Het onderzoek richt zich op een analyse van de mogelijkheden om, na ontgroning, de omvorming van landbouwgronden naar heide te versnellen door actieve manipulatie van bodemchemie (via verzuring via elementair zwavel of bekalking) al dan niet in combinatie met toevoer van biota (vers heidemaaisel of heideplagsel). Zowel onder natte als droge condities is hiervoor een factoriële praktijkproef (3x3 behandelingen; elk met 3 replica's) uitgezet.

9.2 Bodemchemie

De praktijkproef is zowel in het droge als natte gedeelte vrijwel direct gestart (binnen 1-2 maanden) na ontgronden, waarbij tussen de 30-40 cm bovengrond werd afgevoerd. In oktober 2011, voor de start van de behandelingen, is de bodemchemie van de nog geheel kale, vooral minerale bodem gekwantificeerd. Door het ontgronden bleek de voedselrijkdom (N en P) van zowel de natte als de droge locatie voldoende laag voor ontwikkeling van natte en droge heide, terwijl het organische stof gehalte sterk verlaagd was (1-2 %). Zoals verwacht op voormalige landbouwgrond is de bodem in de startsituatie nog goed gebufferd, met relatief hoge pH voor zandgrond in het heidelandschap.

Het manipuleren van de buffering van de bodem via Dolokal of elementair S heeft geleid tot een gradiënt in bodem-pH tussen de verschillende behandelingen in zowel de natte als de droge proeflocatie. Vooral het toedienen van Dolokal (bekalking) heeft een duidelijk hogere pH (ongeveer 0,5 hoger), hogere basenverzadiging en een hogere concentratie uitwisselbare basische kationen in de bodem veroorzaakt. Deze hogere concentratie uitwisselbare basische kationen is voornamelijk veroorzaakt door een toename van het aan het bodemcomplex gebonden magnesium. Calcium is daarentegen heeft zich in deze onderzoeksperiode van 3 jaar slechts in veel mindere mate aan het adsorptiecomplex gebonden.

Het opbrengen van elementair zwavel heeft in de eerste twee en een half jaar nauwelijks geleid tot bodemverzuring, de pH is nauwelijks lager dan de waarde in de onbehandelde proefvelden en ook is de concentratie basische kationen niet beïnvloed door deze behandeling. Dit is in tegenstelling tot een experiment in Engeland, waar toediening van vrijwel dezelfde hoeveelheid elementair S op voormalige landbouwgrond binnen 1-2 jaar de pH met twee eenheden verlaagde (Owen et al., 1999). Mogelijk heeft dit verschil in reactie te maken met het gegeven dat de bodem in het Nederlandse experiment lemiger is en ook een hogere uitgangsbuffering heeft dan in Engeland. Helaas ontbreken metingen daarover in het Engelse experiment. Opmerkelijk genoeg lijkt in het Noordenveldexperiment de toediening van elementair zwavel pas in de loop van het derde jaar tot meer duidelijke effecten te leiden, met name onder droge omstandigheden. Waarschijnlijk is na het voorjaar van 2014 de opgebrachte zwavel meer in oplossing gegaan, waarbij zuur wordt geproduceerd. Dit heeft in het najaar van 2014 geleid tot een verlaging in de pH-H₂O van ca. 5,5 naar een pH van rond de 4,8 in de met elementair S behandelde proefvelden. De behandeling met elementair zwavel heeft in deze periode ook geleid tot een lagere basenverzadiging en een hogere concentratie opgelost zwavel. In de natte heide proef is deze verandering in de loop van 2014 nauwelijks waargenomen, dit heeft mogelijk te maken met het feit dat sinds najaar 2013 de situatie daar veel natter is geworden (afsluiting leiding 20) en ca. de helft van de proefvelden langdurig onder water hebben gestaan. Ook het effect van Dolokaltoediening op de pH van de bodem is in deze periode duidelijk minder groot geworden.

Het opbrengen van vers heidemaaisel of heideplagsel heeft vrijwel niet geleid tot veranderingen in de bodemchemie van de proefvelden. Er is alleen een (niet significante) tendens gevonden dat de kaliumgehalten in de bodem tijdelijk licht verhoogd zijn door toevoer van heideplagsel. Verder is er één interactie gevonden tussen toediening van biota en de bufferingsbehandelingen: in de niet met elementair zwavel of Dolokal behandelde proefvelden zijn in de natte proef de waarden van de bodem-pH(zout) significant lager na toediening van plagsel of vers maaisel, dit wordt mogelijk veroorzaakt door de productie van organische zuren bij de afbraak van organisch materiaal. Dit verschil is – als trend – ook gevonden in de proefvelden die behandeld zijn met zwavel, maar niet in de bekalkte situatie.

Tenslotte nog wat algemene opmerkingen over de bodemchemie, die min of meer onafhankelijk zijn van de uitgevoerde behandelingen. De concentratie voor plantenbeschikbaar fosfaat is in de loop van het experiment afgenomen met 200 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ bodem in zowel de droge als natte locatie en is nu in de range van goed ontwikkelde droge of natte heide (De Graaf et al., 2009). Deze afname komt waarschijnlijk doordat de bedekking van de vegetatie in de proefvelden flink gestegen is, en daarmee ook de opname uit de bodem. De beschikbare concentraties van ammonium en nitraat zijn, na een kleine stijging in het eerste half jaar - constant zeer laag in de bodem, waarbij er wat meer ammonium aanwezig is dan nitraat. Ook in deze parameters zijn er geen significante veranderingen door de verschillende behandelingen. Verder zijn in het najaar van 2013 de proefvelden van het natte experiment voor het eerst zeer nat geworden. Dit heeft geleid tot een piek in de voor plantenbeschikbare fosfaat concentratie, die verdubbelde ten opzichte van de voorgaande metingen. In het voorjaar van 2014 en najaar van 2014 was deze piek verdwenen, waarschijnlijk door uitwisseling naar de waterlaag.



Dopheide

9.3 Vegetatie

In tegenstelling tot de veranderingen in bodemchemie hebben de verschillende pH-behandelingen bij de hier toegepaste doses in de eerste 3 jaar geen effect op vestiging en bedekking van kenmerkende heidesoorten. Bekalken lijkt juist in de tegengestelde richting te werken en heeft een positief effect op meer algemene graslandsoorten en ruderaal soorten.

Op korte termijn (3 jaar) heeft het inbrengen van plagsel van niet-vergraste heide de meest duidelijke positieve effecten op het aantal en de bedekking van kenmerkende heidesoorten. Ook een Rode lijst-soort als Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) kan op deze manier goed worden ingebracht. Wel is het zo dat Klokjesgentiaan nog wat beter wordt overgebracht met vers maaisel van natte heide. Voor andere soorten is het effect van maaiseltoediening zeer beperkt en verschilt nauwelijks van “vrije” successie, of te wel de situatie waar niets is opgebracht. Met het inbrengen van plagsel ontwikkelen de proefvlakken zich veel sneller in de richting van de doelvegetaties, zowel onder natte als droge condities. De bedekking van kenmerkende heidesoorten neemt sterk toe ten koste van algemene graslandsoorten en ruderaal soorten.

Lijkt de situatie na drie jaar met het inbrengen van plagsel zeer bemoedigend, het blijft natuurlijk de vraag hoe de vegetatie zich op langere termijn zal ontwikkelen. In de eerste jaren van successie is het belangrijkste proces dat de vegetatiesamenstelling bepaalt de verbreiding en vestiging van soorten. Concurrentie om licht en nutriënten tussen de verschillende plantensoorten zijn in deze periode relatief beperkt vanwege de nog lage bedekking en productiviteit. Duidelijk is dat er bottlenecks in verbreiding en vestiging bestaan voor kenmerkende heidesoorten maar dat deze succesvol kunnen worden opgeheven met het inbrengen van plagsel. Nu

de vegetatie zo langzamerhand meer gesloten begint te raken is het waarschijnlijk dat concurrentie tussen soorten de komende jaren steeds belangrijker wordt. In de droge proef lijken de doelsoorten na het toevoegen van plagsel vooralsnog de competitie te winnen van niet-doelsoorten zoals agrarische soorten. Het is echter goed mogelijk dat deze relatie verschuift onder invloed van toegenomen stikstofbeschikbaarheid als gevolg van N-depositie, die de laatste jaren in het Dwingelderveld zeker niet meer daalt en weer lijkt toe te nemen (MAN 2014). In vrijwel alle proefvlakken wordt de productiviteit van de vegetatie gedurende de eerste jaren beperkt door de zeer lage beschikbaarheid aan stikstof. Door depositie neemt de hoeveelheid stikstof toe, wat een voordeel zou kunnen betekenen voor sneller groeiende soorten zoals de agrarische soorten. Ook kunnen normaal op de heide voorkomende grassen als Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) of Gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*) gaan domineren. Tegelijkertijd neemt de hoeveelheid fosfor niet toe en lijkt er in veel proefvlakken een tendens te bestaan van een verschuiving van N naar P als beperkend nutriënt. Mogelijk dat een dergelijke verschuiving juist de langzamer groeiende karakteristieke heidesoorten bevoordeelt (Aerts 1989). Tegelijkertijd is het echter zo dat deze verschuiving juist in de proefvlakken met toevoeging van plagsel het kleinst is. In de komende jaren zal duidelijk worden of Struikhei (*Calluna vulgaris*) en gewone dophei (*Erica tetralix*) kunnen domineren of dat toch grassen de overhand zullen krijgen.

In de natte proef zijn in 2014 meer verschuivingen in de soortensamenstelling opgetreden dan in de droge locatie, mogelijk gerelateerd aan de sterk toegenomen vernatting sinds het dichten van leiding 20 in de nazomer van 2013. Meerdere soorten uit droge omstandigheden zijn achteruitgegaan of zelfs verdwenen, waaronder kenmerkende heidesoorten als Struikhei (*Calluna vulgaris*). Ook is de bedekking door mos sterk toegenomen en kan de dichte moslaag in de toekomst een beperking gaan vormen voor verdere uitbreiding van al gevestigde doelsoorten en de vestiging van nieuwe soorten belemmeren. Ook hier zal onderzoek in de komende 3-4 jaren moeten uitwijzen in hoeverre de doelsoorten van natte heide kunnen standhouden of zich zelfs kunnen uitbreiden.

9.4 Microbiële gemeenschap

Gedurende de eerste drie jaar neemt de microbiële biomassa in de bodem sterk toe maar blijft nog steeds 10 tot 20 keer lager dan die in de bodem van bestaande droge- en natte heide in het Dwingelderveld. Ook de samenstelling van de microbiële gemeenschap gaat in toenemende mate op die van bestaande natte en droge heide lijken, waarbij de toevoeging van plagsel die ontwikkeling het meest lijkt te versnellen, vooral in het geval van de droge heide proef. Deze verandering in samenstelling van de microbiële gemeenschap is met name ook zichtbaar in de verhouding tussen schimmels en bacteriën. Zowel in de natte als in de droge heides neemt de schimmel/bacterie-ratio in de loop van de tijd toe. Schimmelgedomineerde gemeenschappen tenderen naar het conserveren van nutriënten en vertragen van de nutriëntenkringlopen terwijl bacterie-gedomineerde gemeenschappen juist tenderen naar een snelle circulatie van nutriënten. Een verschuiving van de schimmel/bacterie-ratio in de richting van schimmels suggereert dat bij gelijk blijven of zelfs bij een toename in de hoeveelheid nutriënten de beschikbaarheid ervan gaat afnemen. Wederom lijkt het opbrengen van plagsel deze verschuiving te versnellen, dit is het meest duidelijk te zien in de droge proef.

De genoemde verschuivingen komen tot op heden niet tot uiting in significante veranderingen in MSIR-profielen. Alle behandelingen lijken nog sterk op elkaar en verschillen behoorlijk van de doelvegetaties. Kennelijk duurt het langere tijd voordat verschuivingen in de microbiële gemeenschap leiden tot duidelijk meetbare verschillen in hun capaciteit om verschillende stoffen af te kunnen

breken. Samenvattend kan geconcludeerd worden dat er al gedurende de eerste 3 jaar van het experiment duidelijke verschuivingen in de microbiële gemeenschap in de richting van natte en droge heides optreden in de diverse proefvelden, waarbij de effecten het grootst zijn na toediening van heideplagsel. Tegelijkertijd is het zo dat deze verschuivingen kwantitatief nog vrij beperkt zijn en niet tot meetbare verschillen in omzettingssnelheid van verschillende substraten door diverse organische groepen heeft geleid. Waarschijnlijk heeft dit te maken met een in vergelijking tot de doelvegetaties (zeer) lage beschikbaarheid aan organische stof en neemt de grootte van de microbiële gemeenschap toe met de toename aan organische stof met de tijd, die echter zeer geleidelijk verloopt in deze heidesystemen tijdens secundaire successie. Tegelijkertijd lijkt ook de chemische samenstelling met betrekking tot N en P van de vegetatie wat te verschuiven. In hoeverre dit effect heeft op de samenstelling en het functioneren van de microbiële gemeenschap is onbekend. Daarmee is ook onbekend of dit in de toekomst zal leiden tot een versnelling dan wel juist een vertraging van de nutriëntenkringloop.

9.5 Functionele bodemfauna

Nematoden

Er zijn duidelijke verschillen in de dichtheden aan nematoden. In goed ontwikkelde bestaande droge heide is de dichtheid vele malen hoger dan in de natte heide, terwijl het in de proefvelden juist omgekeerd is. In het natte heide experiment is de dichtheid aan nematoden zelfs beduidend hoger dan in de bestaande natte heide. Ook de samenstelling van de nematodengemeenschap lijkt in de natte heide proef sterker op die in bestaande heides dan in de droge heide proef. In alle proefvelden, zowel droog als nat, waren de bacterie-etende nematoden de dominante voedselgroep. Dit is in overeenstemming met de dominantie van bacteriën in de microbiële gemeenschap. Wanneer de verschuiving in de richting van schimmels in de laatstgenoemde gemeenschap verdergaat mag verwacht worden dat dit effecten heeft op de nematoden in de vorm van een relatieve toename van de hoeveelheid schimmel-etters. Tegelijk suggereert de samenstelling van bestaande droge en natte heides dat deze verschuiving, zeker bij droge heides, tot nu toe slechts beperkt is. In geen van de experimenten lijkt er binnen 3 jaar een (groot) effect van de biotische behandeling te zijn. Zowel de samenstelling als de grootte van de nematoden gemeenschap blijkt zo goed als niet te veranderen bij diverse behandelingen. De resultaten suggereren dat het herstel van de nematoden-gemeenschap in de natte heide veel sneller verloopt dan in de droge heide. In hoeverre dit effect blijvend is of dat het slechts een eerste, instabiele fase betreft is niet bekend. Tegelijkertijd zijn er geen verschillen tussen de diverse biotische en abiotische behandelingen waar te nemen. Ondanks een ongetwijfeld grotere toevoer van bodemorganismen met plagsel zijn er geen significante verschillen gevonden met de controle behandelingen. Kennelijk wordt de dichtheid aan nematoden in deze onderzoeksperiode door andere factoren bepaald. Welke dit zijn is niet bekend.

Mesofauna

De dichtheid aan mesofauna is in de goed ontwikkelde droge heide veel hoger dan in de natte heide. De hoge dichtheid aan oribatide mijten suggereert bovendien dat dit habitat stabiel is. In de proefvlakken is deze stabiele toestand nog niet bereikt, zeker in de droge heide was de dichtheid in het experiment veel lager dan in de bestaande heide. Het is onbekend hoe lang het duurt voordat de dichtheid aan mesofauna in het droge experiment dat van de ongestoorde heides begint te benaderen. In het natte heide experiment was er geen verschil. Hier kwam de dichtheid in het experiment goed overeen met die in de bestaande natte heide. In tegenstelling tot de nematoden hebben de diverse inrichtingsbehandelingen duidelijk effect op de dichtheid aan mesofauna. Het toedienen van plagsel heeft een duidelijk positief effect op de mesofaunadichtheid, zeker wanneer de pH niet

verhoogd wordt door bekalken. Daarnaast is ook de hoogste dichtheid in oribatide mijten in deze behandelingen aangetroffen. Mogelijk heeft dit met de beschikbaarheid van dood organisch materiaal te maken. In de bekalkte proefvlakken zijn vanwege een hogere decompositiesnelheid zowel minder strooisel als minder schimmels aanwezig. Het opbrengen van plagsel lijkt daarmee een positief effect te hebben op het herstel van de bodemmesofauna, in elk geval op de korte termijn. Vervolgmetingen moeten meer duidelijkheid scheppen op de blijvendheid hiervan en de meer lange termijn ontwikkelingen.

Macrofauna

Net als bij de mesofauna is de dichtheid van de bodemmacrofauna in bestaande natte heide veel lager dan in de bestaande droge heide van het Dwingelderveld. De dichtheid van bodemmacrofauna komt in de proefvelden van de natte heide proef al dicht in de buurt van de dichtheid in de bestaande, natte situatie. Ook is in de natte proef de dichtheid aan bodemmacrofauna hoger in de bekalkte proefvlakken, dan in de overige behandelingen. Onder droge omstandigheden is dit veel minder het geval. De bodemmacrofaunadichtheid is in de proefvelden van het droge experiment duidelijk hoger dan die in de natte situatie, maar nog wel flink lager dan in bestaande droge heide van het Dwingelderveld. Dit suggereert dat ook voor de macrofauna de ontwikkeling nog lang niet is afgelopen.

9.6 Insecten: loopkevers, sprinkhanen en vlinders



De loopkevergemeenschap ontwikkelt zich goed

De loopkever gemeenschap ontwikkelt zich in de richting van goed ontwikkelde natte- en droge heide. Het sinds het najaar van 2013 natter worden van de natte proefvelden zorgt voor een veranderende soortensamenstelling, waarbij er minder soorten loopkevers gevangen worden. De soorten die in de natte proefvelden gevangen worden zijn kenmerkend voor natte habitats. Op de natte onderzoekplekken zijn nu al de soorten *Agonum marginatum* en de vrij bijzondere soort *Blethisa multipunctata* aangetroffen. Op den duur is het terrein ook geschikt voor de hoogveensoort *Agonum ericeti*. Wanneer de hydrologie zo blijft in de toekomst zal de biodiversiteit afnemen, tegelijk wordt er wel een habitat gecreëerd voor een aantal zeer bijzondere soorten die elders vrijwel niet gevonden worden. Uit de resultaten lijkt naar voren te komen dat het uitrijden van heidemaaisel en heideplagsel een positief resultaat heeft op het vestigen van loopkever (heide)soorten. Onafhankelijk hiervan lijkt bekalking een positief effect te hebben op het totale aantal (eurytope) soorten en het totale aantal individuen van die soorten. De resultaten laten zien dat de samenstelling van dagvlinder- en sprinkhanengemeenschappen verschuift in de richting van goed ontwikkelde natte en droge heides. De onderzoeksperiode is echter nog te kort om duidelijke conclusies te kunnen trekken over de kolonisatie van de meest indicatieve soorten en de richting van successie. Doelsoorten van droge en natte heide zijn in de directe omgeving aanwezig, maar zijn afhankelijk van optimaal habitat. Het zal nog enkele jaren duren voordat deze soorten zich daadwerkelijk op het afgegraven terrein voortplanten.

9.7 Conclusies

Deze praktijkproef naar het herstel van droge en natte heide op voormalige landbouwgrond in het Noordenveld (NP Het Dwingelderveld) is direct na ontgronden in het najaar van 2011 opgestart en daarna zijn in drie groeiseizoenen effectmetingen uitgevoerd. De vegetatie, fauna en bodem zijn nog volop in ontwikkeling, dit betekent dat er slechts de eerste conclusies kunnen worden getrokken gelet op de nog korte looptijd van het experiment. Toch kan met dit voorbehoud het volgende gesteld worden:



Het is raadzaam de praktijkproef een aantal jaren voort te zetten

- Na ontgronden is zowel in de droge als natte proef een voedselarme situatie ontstaan, zowel wat P als N betreft; door het afsluiten van leiding 20 in de nazomer van 2013 is de natte proef sindsdien duidelijk nog natter geworden.
- Toediening van Dolokal heeft tot een duidelijke verhoging van de pH geleid, en tot meer buffering van de bodem, de verlaging van de pH door elementair zwavel lijkt pas in het laatste najaar van het experiment te gaan optreden;
- Toediening van biota (plagsel of vers maaisel) heeft niet of vrijwel niet geleid tot verschillen in bodemchemie van de behandelde proefvelden.
- Het bodemleven begint zich langzaam te ontwikkelen in de richting van bestaande droge of natte heide, dit proces wordt voor verschillende aspecten (bacterie/schimmel ratio, mesofauna) versneld door de toediening van heideplagsel.
- De hoogste dichtheid aan oribatide mijten – een kenmerkende bodemgroep voor goed-ontwikkelde heidevegetaties – is gevonden na toediening van heideplagsel, zeker wanneer de pH van de bodem niet verhoogd is door bekalking.
- De ontwikkeling van de vegetatie richting goed ontwikkelde droge of natte heide wordt het meest gestimuleerd door toediening van plagsel, ook voor enkele Rode lijst-soorten. De effecten van vers maaisel verschillen tot nu toe weinig van niets doen, al vestigen zich wel enkele doelsoorten.
- Het lijkt er op dat de met plagsel behandelde proefvelden zich duidelijk richting heidevegetatie ontwikkelen, terwijl de ontwikkeling bij toediening van maaisel of niets doen meer in de richting van schraal grasland lijkt te gaan.
- De effecten van de pH-behandelingen op de vegetatiesamenstelling zijn tot nu toe gering, wel lijkt bekalking de vestiging van meer algemene graslandsoorten te versnellen.
- Het verdient aanbeveling om in voorjaar 2015 te kwantificeren of de door de zwaveltoediening ingezette bodemverzuring zich verder ontwikkelt, indien dit niet het geval is, is het zinnig om een additionele zwavelgift toe te passen.

9.8 Aanbevelingen

Na drie groeiseizoenen is het eigenlijk te vroeg om al gedegen aanbevelingen te geven over de effectiviteit van de uitgevoerde maatregelen voor de ontwikkeling van de doelvegetaties (natte en droge heide) op de voormalige landbouwgrond. Veel processen verlopen (zeer) langzaam tijdens secundaire successie op voorheen kale bodem met laag initieel organisch stof gehalte (1-2 %), en de proefvelden zijn tot nu toe nog volop in ontwikkeling. Onder dit voorbehoud kan wel het volgende aanbevolen worden:

- Het verdient aanbeveling de praktijkproef in zowel de droge als de natte situatie in de komende jaren voort te zetten, zodat ook de effecten van de uitgevoerde maatregelen op de wat langere termijn (5-6 jaar) duidelijk worden. Voortzetting van deze factoriële proef op praktijkschaal biedt een unieke kans om in de toekomst “evidence based” uitspraken te kunnen doen over effectiviteit van verschillende (combinaties van) maatregelen voor het ontwikkelen van goed functionerende droge en natte heide op voormalige landbouwgrond.
- Hoewel het te vroeg is om al definitieve uitspraken te doen met betrekking tot effectieve maatregelen, lijkt – althans op vrij korte termijn – het gebruik van plagsel van niet-vergraste natte of droge heide een kansrijke maatregel te zijn om na diep plagen of ontgronden een relatief snelle en positieve ontwikkeling richting heidesysteem te krijgen.

10. Literatuur



Aerts R., Huiszoon A., Van Oostrum J.H.A., Van De Vijver C.A.D.M., Willems J.H. (1995). The potential for heathland restoration on formerly arable land at a site in Drenthe, The Netherlands. *Journal of Applied Ecology* 32: 4, 827–835.

Bakker, J.P. 1989. Nature management by grazing and cutting. On the ecological significance of grazing and cutting regimes applied to restore former species rich grassland communities in the Netherlands. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 400 p.

Bardgett, R.D. Bowman, W. D., Kaufmann, R. & Schmidt, S. K (2005). A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. : *Trends in Ecology and Evolution*. 20, 11, p. 634-641 8 p.

Bekker, R.M., G.L. Verweij, R.E.N. Smith, R. Reine, J.P. Bakker & S. Schneider, 1997. Soil seed banks in European grasslands: does land use affect regeneration perspectives? *Journal of Applied Ecology* 34: 1293-1310.

Bekker, R., 2008. 20 jaar ontgronden voor natuur op zandgronden. Evaluatie van ontgroningen als maatregel ten behoeve van natuurontwikkeling. Rijksuniversiteit Groningen, Haren.

Bligh EG, Dyer WJ (1959) A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem* 37:911-917

Bobbink R. & Hettelingh J.P. (eds.), 2011. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships, Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), RIVM report 680359002/2011 (244 pp).

Bobbink, R., Tomassen, H., Weijters, M. & Hettelingh, J.-P., 2010. Revisie en update van kritische N-depositiewaarden voor Europese natuur. *De Levende Natuur* 111: 254-258.

Bobbink, R., 2008. Biodiversiteit in natuureservaten. *Landschap* 25:109-115.

Bobbink, R., Brouwer, E., Ten Hoopen, J. & Dorland, E., 2004. Herstelbeheer in het heidelandschap: effectiviteit, knelpunten en duurzaamheid. In: Van Duinen, G-J., Bobbink, R., Van Dam, C., Esselink, H., Hendriks, H., Klein, M., Kooijman,

- A., Roelofs, J. & Siebel, H., Duurzaam natuurherstel voor behoud biodiversiteit. 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het overlevingsplan bos en natuur, Expertisecentrum LNV, Ede, pp. 33-70.
- Bobbink, R., De Graaf, M.C.C., Verheggen, G.M. & Roelofs, J.G.M., 1998. Heeft het heischrale milieu in Nederland nog toekomst? In: Bobbink, R, Roelofs, J.G.M. & Tomassen, H.B.M. (red.): Effectgerichte maatregelen en behoud van biodiversiteit in Nederland. Proc. Symp. K.U. Nijmegen.
- Bobbink, R. and Lamers, L.P.M. (2002). Effects of increased nitrogen deposition. In: Bell, J.N.B. and Treshow, M. (eds.), Air pollution and plant life (2nd edition), John Wiley and Sons, Chichester, pp. 201-235.
- Bobbink, R. & L.P.M. Lamers, 1999. Effecten van stikstofhoudende luchtverontreiniging op vegetaties - een overzicht. Rapport R13 Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.
- Bobbink, R., Hornung, M. and Roelofs, J.G.M. (1998). The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *Journal of Ecology* 86, 717-738.
- Boeken, M., K. Desender, B. Drost, T van Gijzen, B. Koese, J. Muilwijk, H. Turin & R.J. Vermeulen 2002. De loopkevers van Nederland & Vlaanderen (Coleoptera: Carabidae). Stichting Jeugdbondsuitgeverij, Utrecht: 212 pagina s.
- Boer, P.J. den. 1977. Dispersal power and survival. Carabids in a cultivated countryside. Misc. Paper 14 L.H. Wageningen the Netherlands.
- Bos, F., M. Bosveld, D. Groenendijk, C. van Swaay, I. Wynhoff & de Vlinderstichting, 2006. De dagvlinders van Nederland. Verspreiding en bescherming. Nederlandse Fauna 7. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & European Invertebrate Survey – Nederland, Leiden.
- Brienen, R. 1997. Fenologie en zaadproductie van twee bloemrijke hooilanden. Doctoraalverslag. Laboratorium voor Plantenoecologie, RijksUniversiteit Groningen, University of Groningen, Groningen, the Netherlands.
- Decler, K. (red), 2007. Europees beschermde natuur in Vlaanderen en het Belgisch deel van de Noordzee. Habitattypen. Dier- en plantensoorten. Mededelingen van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek INBO.M.2007.01, Brussel, 584 p.
- De Deyn G.B., Raaijmakers C.E., Zoomer H.R., 2003: Soil invertebrate fauna enhance grassland succession and diversity, *Nature* 422 711–713.
- Degens BP, Harris JA (1997) Development of a physiological approach to measuring the catabolic diversity of soil microbial communities. *Soil BiolBiochem* 29(9-10):1309-1320 DOI: 10.1016/S0038-0717(97)00076-X
- De Graaf, M.C.C., Bobbink, R., Smits, N.A.C., Van Diggelen, R., Roelofs, J.G.M. (2009). Biodiversity, vegetation gradients and key biogeochemical processes in the heathland landscape. *Biological Conservation* 142 (2009): 2191–2201
- De Graaf, M.C.C. , Verbeek, P., Robat, S., Bobbink, R., Roelofs, J.G.M., De Goeij, S., Scherpenisse, M., 2004. Lange-termijn effecten van herstelbeheer in heide en heischrale graslanden. Rapport EC-LNV nr. 2004/288-O.

- De Graaf, M.C.C., 2000. Exploring the calcicole-calcifuge gradient in heathlands. Dissertatie KUN, Nijmegen, 175 pp.
- De Graaf, M.C.C., Verbeek, P.J.M., Bobbink, R., Roelofs, J.G.M., 1998. Restoration of species-rich dry heaths: the importance of appropriate soil conditions. *Acta Botanica Neerlandica* 47: 89-111.
- De Graaf, M.C.C., Bobbink, R., Verbeek, P.J.M. & Roelofs, J.G.M., 1997. Aluminium toxicity and tolerance in three heathland species. *Water, Air & Soil Pollution* 98: 229-241.
- De Smidt, J.T. (1975). *Nederlandse heidevegetaties*. Thesis Universiteit Utrecht. 98 pp.
- Dijk, Th.S. van (1986). Changes in the carabid fauna of a previously agricultural field during the first twelve years of impoverishing treatments. *Netherlands Journal of Zoology* 36: 413-437
- Diggelen, van, R., Pawlett, M., Frouz, J., 2009. *Bodembologisch vooronderzoek Noordenveld*. Rapport Stichting WBBS i.s.m. Universiteit Antwerpen, Onderzoeksgroep Ecobe, University of Cranfield, Dept. of Land Management, Charles University Prague, Dept. of Microbiology. 23 pp.
- Dorland, E. (2004) *Ecological restoration of wet heaths and matgrass swards. Bottlenecks and solutions*. Proefschrift Universiteit Utrecht. ISBN: 90-393-3695-4
- Dorland, E., Bobbink, R., Rotthier, S. & Soons, M.B., 2011. Heischrale graslanden: nu en in de toekomst bedreigd door overmaat aan stikstof! *De Levende Natuur*, 112: 220-224.
- De levende Natuur, Januari 2009; 210(1): Themanummer Ontgrondingen
- Dorland E., Van den Berg, L., Bobbink, R., Roelofs, J., 2003. Bekalking bij het herstel van gedegenererde heiden en heischrale graslanden. *De Levende Natuur* 104: 144-148.
- Dorland, E., Bobbink, R., Meeslink, J.H., Verhoeven, J.T.A., 2003. Soil ammonium accumulation after sod cutting hampers the restoration of degraded heathlands. *Journal of Applied Ecology* 40: 804-814.
- Dowling NJE, White DC (1986) Phospholipid ester linked fatty acid biomarkers of acetate-oxidising sulphate reducers and other sulphate forming bacteria. *J Gen Microbiol* 132:1815-1825
- Drees C, Matern A, Vermeulen R & Aßmann T 2007. The influence of habitat quality on populations: a plea for an amended approach in the conservation of *Agonum ericeti*. *Baltic Journal of Coleopterology* 7: 1-8.
- Essen, S.J. van, 1993. Loopkeverinventarisatie Dwingelderveld 1991. Rapport Staatsbosbeheer Drenthe-zuid, Pesse/Biologisch Station, Wijster/Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten, 's-Graveland.
- Everts, H., Baaijens, G.J., Grootjans, A., De Vries, N., Verschoor, A. (2005). Grootchalige landschappen en heidebeheer: Dwingelderveld. *De levende natuur* 106 (5):193-199
- Fottner, S., Härdtle, W., Niemeyer, M., Niemeyer, T., von Oheimb, G. Meyer,

- H. & Mockenhaupt, M. (2007). Impact of sheep grazing on nutrient budgets of dry heathlands. *Applied Vegetation Science* 10:391-398.
- Frostegård A, Bååth E (1996) The use of phospholipid fatty acid analysis to estimate bacterial and fungal biomass in soil. *BiolFertil Soils* 2259-65
- Frostegård Å, Bååth E (2011) Use and misuse of PLFA measurements in soils. *Soil BiolBiochem* 43(8):1621-1625 doi:10.1016/j.soilbio.2010.11.021
- Frostegård A, Bååth E (1993) Phospholipid fatty acid composition, biomass, and activity of microbial communities from two soil types experimentally exposed to different heavy metals. *Appl Environ Microbiol* 59(11):3605-3617
- Frouz, J., Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance, *Agric. Ecosyst. Environ.* 74 (1999) 167–186.
- Frouz, J., 1997: Changes in communities of soil dwelling dipteran larvae during secondary succession in abandoned fields. *Eur. J. Soil Biol.*, 33:(2) 57-65
- Frouz, J., 1997: The effect of vegetation patterns on oviposition habitat preference: a driving mechanisms in terrestrial Chironomid (Diptera: Chironomidae) succession. *Res. Popul. Ecol.* 39(2): 207-213
- Frouz J, Prach K, Pizl V, et al., 2008. Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites *EUROPEAN JOURNAL OF SOIL BIOLOGY* 44(1): 109-121
- Frouz J, Van Diggelen R, Pizl V, et al., 2009. The effect of topsoil removal in restored heathland on soil fauna, topsoil microstructure, and cellulose decomposition: implications for ecosystem restoration *BIODIVERSITY AND CONSERVATION* 18(14): 3963-3978
- Gilbert, J., Gowing, D. & Wallace, H. 2009. Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: Assessment methods and community tolerances. *Biological Conservation* 142: 1074-1083.
- Gimingham, C. H. (1972). *Ecology of heathlands*. London, Chapman and Hall.
- Grootjans, A.P., 1985. Changes of groundwater regime in wet meadows. Proefschrift Rijksuniversiteit
- Ab Grootjans, Rudy van Diggelen, Gert-Jan Baaijens, Jan Bakker, Aat Barendregt, Boudewijn Beltman, Peter Janiesch, André Jansen, Julia Klooker, Rüdiger von Lemm, Rolf Niedringhaus, Karlé Sykora, 1998. Selected restoration objects in The Netherlands and NW Germany: a field guide. *Lab. V. Plantenecologie RU Groningen*, 120 pp.
- Grootjans, A.P., Van Diggelen, R., Everts, F.H., Schipper, P.C., Streefkerk, J., De Vries, N.P.J. & Wierda, A., 1992. Linking ecological patterns to hydrological conditions on various spatial scales: a case study of small stream valleys. In: Vos, C.C. & Opdam, P. (eds.), *Landscape ecology of a stressed environment*, pp. 60-78. Chapman & Hall, London.
- Güsewell, S., Koerselman, W. & Verhoeven, J.T.A., 2003. Biomass N:P ratios as indicators of nutrient limitation for plant populations in wetlands. *Ecological Applications* 13: 372-382.

- Hanel, L., 1995. Secondary successional stages of soil nematodes in cambisols of South Bohemia. *Nematologica* 41: 197–218.
- Hautier, Y., Niklaus, P.A. & Hector, A. 2009. Competition for light causes plant biodiversity loss after eutrophication. *Science* 324: 636-638.
- Harris, J.A. (2003) Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. *European Journal of Soil Science*. 54, 801-808
- Harris, J.A. (2009) "Soil Microbial Communities and Restoration Ecology: Facilitators or Followers?" , *Science*, vol. 325, page 573 – 574.
- Hanel, L., Secondary successional stages of soil nematodes in cambisols of South Bohemia, *Nematologica* 41 (1995) 197–218.
- Hanel, L., Soil nematodes in cambisoil agroecosystem of the Czech Republic, *Biologia* 52 (2003) 205–216.
- Heil, G. W. & Diemont, W. H. (1983). Raised nutrient levels change heathland into grassland. *Vegetatio*, 53, 113 20.
- Hölzel, N., 2005. Seedling recruitment in flood-meadow species: The effects of gaps, litter and vegetation matrix. *Applied Vegetation Science* 8: 115-224
- Hölzel, N, Otte, A., 2003. Restoration of a species-rich flood meadow by topsoil removal and diaspore transfer with plant material. *Applied Vegetation Science* 6: 131-140.
- Janssen, J.A.M. & J.H.J. Schaminée, 2003. *Europese Natuur in Nederland. Habitattypen*. Utrecht.
- Jansen, J.A.M., J.H.J. Schaminée, P.C. Schipper & M.G.C. Schouten. 2000. *Plantengemeenschappen van waterrijke gebieden*. Uit: Weeda, E.J., J.H.J. Schaminée & L. van Duuren (2001). *Atlas van de Plantengemeenschappen van Nederland*. Deel 1. Wateren, moerassen en natte heiden. KNNV Uitgeverij, Utrecht.
- Jenkinson DS, Powlson DS (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil—I. fumigation with chloroform. *Soil BiolBiochem* 8(3):167-177 doi:DOI: 10.1016/0038-0717(76)90001-8
- Joergensen RG (1996) The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the kEC value. *Soil BiolBiochem* 28(1):25-31 doi:DOI: 10.1016/0038-0717(95)00102-6
- Kaiser C, Richter A (2010) Negligible contribution from roots to soil-borne phospholipid fatty acid fungal biomarkers 18:2ω6,9 and 18:1ω9. *Soil BiolBiochem* 42(9):1650-1652 doi:10.1016/j.soilbio.2010.05.019
- Kardol, P., 2007. *Plant and soil community assembly in secondary succession on ex-arable land*. Proefschrift. Wageningen Universiteit, Wageningen.
- Kiehl, K., A. Kirmer, T.W. Donath, L. Rasran & N. Hölzel, 2010. Species introduction in restoration projects – Evaluation of different techniques for the establishment of semi-natural grasslands in Central and Northwestern Europe. *Basic and Applied Ecology* 11: 285-299

- Kiehl, K., Thormann, A., Pfadenhauer, J., 2006. Evaluation of Initial Restoration Measures during the Restoration of Calcareous Grasslands on Former Arable Fields. *Restoration Ecology* 14:148-156
- Kirmer A., Tischew S., Ozinga W. A., von Lampe M., Baasch A. & van Groenendael J. M. (2008): Importance of regional species pools and functional traits in colonization processes: predicting re-colonization after largescale destruction of ecosystems. – *J. Appl. Ecol.* 45: 1523–1530.
- Kleijn, D., Bekker, R.M., Bobbink, R., De Graaf, M.C.C., Roelofs, J.G.M., 2008. In search for key biogeochemical factors affecting plant species persistence in heathland and acidic grasslands: a comparison of common and rare species. *Journal of Applied Ecology* 45: 680-687.
- Kleukers, R.M.J.C., E.J. van Nieukerken, B. Odé, L.P.M. Willemse & W.K.R.E. van Wingerden, 1997. De sprinkhanen en krekels van Nederland (Orthoptera). *Nederlandse Fauna, deel 1. Nationaal Natuurhistorisch Museum, KNNV Uitgeverij & European Invertebrate Survey – Nederland, Leiden.*
- Klimkowska, A., van Diggelen, R., Bakker, J.P., Grootjans, A.P. (2007). Wet meadow restoration in Western Europe: a quantitative assessment of the effectiveness of several techniques. *Biological Conservation* 140: 318-328.
- Klooker J., van Diggelen, R., Bakker J.P (1999). Natuurontwikkeling op minerale gronden. Ontgronden: nieuwe kansen voor bedreigde plantensoorten? Rijksuniversiteit Groningen, Laboratorium voor plantencologie, The Netherlands
- Koerselman and Meuleman 1996 The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *J. Appl. Ecol.* 33, 1441– 1450
- Körner C, Stöcklin J, Reuther-Thiébaud L, Pelaez-Riedl S. Small differences in arrival time influence composition and productivity of plant communities. *New Phytol.* 2008;177:698–705.
- LPM Lamers, ECHET Lucassen, HBM Tomassen, AJP Smolders, JGM Roelofs 2009. ‘Verpitruissing’ bij natuurontwikkeling: voorkomen is beter dan genezen. *De Levende Natuur*, vol. 110, iss. 1, (2009), pp. 43-46
- Lamers, L., Lucassen, E., Smolders, F. & Roelofs, J., 2005. Fosfaat als adder onder het gras bij ontwikkeling van “nieuwe natte natuur”. *H2O* 38: 28-30.
- Lindroth, C.H. 1985/1986 The carabidae (Coleoptera) of Fennoscandia and Denmark.- *Fauna Entomologica Scandinavia* (1 & 2) Leiden.
- Londo, G., 1976. The decimal scale for relevés of permanent quadrats. *Vegetatio*, 33, p.61–64.
- Loeb, R., A. van der Bij, R. Bobbink, J. Frouz, R. van Diggelen 2013. Ontwikkeling van droge heischrale graslanden op voormalige landbouwgronden. Eindrapportage fase 1. Rapport nr. 2013/OBN176-DZ, Den Haag, 2013.
- Lustenhouwer, I., 2009. Loopkeverinventarisatie Dwingelderveld 2008. Stichting Willem Beijerinck Biologisch Station (WBBS), Loon. 100 p.
- Lustenhouwer, I. (2011). Inventarisatie Libellen en Dagvlinders Dwingelderveld 2010. Rapport VS2010.030, De Vlinderstichting, Wageningen.

- Makulec, G., The role of *Lumbricus rubellus* Hoffm. In determining biotic and abiotic properties of peat soils, *Pol. J. Ecol.* 50 (2002) 301–339.
- Mudrak O, Uteseny K , Frouz J 2012. Earthworms drive succession of both plant and Collembola communities in post-mining sites *Applied Soil Ecology* 62: 170–177
- Mullekom, van, M., Lucassen, E., Weijters, M.J., Tomassen, H., Bobbink, R., en Smolders, A., 2013. Van landbouw naar natuur, gericht op zoek naar kansen! *De Levende Natuur* 114 (4).
- Nederlandse Vereniging voor Libellenstudie, 2002. De Nederlandse libellen (Odonata). Nederlandse Fauna, deel 4. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & European Invertebrate Survey-Nederland, Leiden
- Noordwijk, van, C.G.E., M.J. Weijters, N.A.C. Smits, R. Bobbink, A.T. Kuiters, E. Verbaarschot, R. Versluijs, J. Kuper, W. Floor-Zwart, H.P.J. Huiskes, E. Remke & H. Siepel 2013. Uitbreiding en herstel van Zuid-Limburgse hellingschraallanden, Eindrapport 2e fase O+BN onderzoek. Rapport nr. 2013/OBN177-HE, Directie Agro-kennis, Ministerie van Economische Zaken; 167p.
- Novozamsky VJ, Houba G, Van Eck R en Van Vark W (1983) A novel digestion technique for multi-element plant analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 14:239-249
- Olf, H. & Bakker, J.P. (1995) Nutrient dynamics during restoration of fen meadows by hay-making without fertiliser application. in: B.D Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt, & R.A. Robertson, eds. *Restoration of temperate wetlands*. Wiley & Sons, London pp. 143-166.
- Olsson PA, Olsson PA (1999) Signature fatty acids provide tools for determination of the distribution and interactions of mycorrhizal fungi in soil. *FEMS Microbiol Ecol* 29(4):303-310 doi:10.1111/j.1574-6941.1999.tb00621.x
- Owen, K.M. & Marrs, R.H. (2000). Creation of heathland on former arable land at Minsmere, Suffolk; the effect of soil acidification on the establishment of *Calluna* and ruderal species. *Biological conservation*, 93, 9-18.
- Owen, K.M. & Marrs, R.H. (2000). Acidifying arable soils for the restoration of acid grasslands. *Applied vegetation science*, 3. 105-116.
- Pawlett M., Ritz K., Dorey R., Harris J.A. (2012). Impact of zero-valent iron nanoparticles upon soil microbial communities is context dependent. *Environmental Science and Pollution Research* 20 (2) 1041-1049 (IF 2.618).
- Pizl, V., Succession of earthworm population in abandoned fields, *Soil Biol. Biochem.* 24 (1992) 1623–1628.
- Putwain, P., Lewis, S., Haynes, G. 2010. FROM ARABLE FIELDS TO BUTTERFLIES (heathland re-creation at Prees Heath Common Reserve). *Proceedings 7th European Conference on Ecological Restoration Avignon, France, 23-27/08/2010*
- Persigehl, M., S. Lehmann. R. Vermeulen, B. Rosenkranz, B. Falke en T. Assmann 2004 Kolonisation restituierter Sandrasen in Darmstadter Flugzandgebiet und im mittleren Emsland durch Laufkafer. *NNA-Berichte* B04.
- Pywell, R., Warman, L., Walker, K., and Sparks, T., 2011. Reversion of intensive arable land to grass heath and *Calluna* heath: Vegetation aspects. Final report

MAFF project code MAFF project code BD1502 Centre for Ecology and Hydrology,
Monks Wood Abbots Ripton Huntingdon Cambridgeshire

Ritz K, Harris JA, Pawlett M, Stone D (2006) Catabolic profiles as an indicator
of soil microbial functional diversity. Environment Agency Science Report
SCo40063/R

Ritz, K. & Black, H.I.J. & Campbell, C.D. & Harris, J.A. (2009) "Selecting biological
indicators for monitoring soils: A framework for balancing scientific and technical
opinion to assist policy development", Ecological Indicators, 1212 - 1221.

Roelofs, J.G.M., R. Bobbink, E. Brouwer & M.C.C. de Graaf 1996. Restoration
ecology of aquatic and terrestrial vegetation on non-calcareous Sandy soils in the
Netherlands. Acta Botanica Neerlandica 45: 517-541.

Roubickova A, Mudrak O, Frouz J, 2009. Effect of earthworm on growth of late
succession plant species in postmining sites under laboratory and field conditions
BIOLOGY AND FERTILITY OF SOILS 45(7): 769-774

Runhaar, H., M.H. Jalink, H. Hunneman, J.P.M. Witte & S.M. Hennekens 2009.
Ecologische vereisten habitattypen. KWR 09-018, 45 pp.

Schaminée, JHJ, AHF Stortelder & EJ Weeda. 1996. De vegetatie van Nederland.
Deel 3: Graslanden, zomen en droge heiden. Opulus Press, Uppsala.

Schaminée, J.H. J.; Weeda, E.J.; Westhoff, V. (1995). De vegetatie van nederland
: deel 2 : plantengemeenschappen van wateren, moerassen en natte heiden. De
Vegetatie van Nederland, 2. Opulus: Leiden. ISBN 91-8871-604-X. 360 pp.

Schenkeveld, A.J. & Verkaar, H.J., 1984. On the ecology of short-lived forbs in chalk
grasslands. PhD-Thesis, Utrecht University, The Netherlands.

Siepel, H., Siebel, H., Verstrael, T., Van den Burg, A., en Vogels, J. (2009). Herstel
van lange termijn effecten van verzuring en vermessing in het droog zandland-
schap. De Levende Natuur 110: 124-129

Smits, J., Jinze Noordijk, 2013. Heidebeheer, moderne methoden in een eeuwenoud
landschap. Knnv, Uitgeverij ISBN 9789050114622.

Smits, N.A.C., H.P.J. Huiskes, J.H. Willems & R. Bobbink, 2008. Heischraal grasland
op Zuid-Limburgse hellingen: mogelijkheden voor versnelde ontwikkeling? De
Levende Natuur 109 (4): 169-175

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

Srinivasan, V., and P. Kumar (2014) Emergent and divergent resilience
behavior in catastrophic shift systems. Ecological Modelling. DOI: 10.1016/j.
ecolmodel.2013.12.003

Stortelder, A.H.F., J.H.J. Schaminée & P.W.F.M. Hommel 1999. De vegetatie van
Nederland, deel 5. Plantengemeenschappen van ruigten, struwelen en bossen.
Opulus press, Uppsala/Leiden.

- Swertz, C.A., Schaminée, J.H.J., & Dijk, E., 1996. De vegetatie van Nederland Deel 3. Plantengemeenschappen van graslanden, zomen en heiden. Hoofdstuk 19. Nardetea. Opulus Press, Uppsala/Leiden.
- Swift, M.J., Heal, O.W., & Anderson, J.M., 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. University of California Press. Berkeley, California.
- Tansley, A., 1946. *Introduction to plant ecology*, London: Allen & Unwin.
- Thiele, H-U. 1977. Carabid beetles in their environments. A study on habitat selection by adaptations in physiology and behaviour. *Zoophysiology and ecology* 10. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York pp.1-369.
- Turin, H. 2000. De Nederlandse loopkevers, verspreiding en oecologie (Coleoptera: Carabidae). *Nederlandse Fauna* 3. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & European Invertebrate Survey – Nederland, Leiden.
- Tunlid A, White DC (1992) Biochemical analysis of biomass, community structure, nutritional status, and metabolic activity of microbial communities in soil. In Stotzky G, Bollag JM (Eds) *Soil Biochemistry*, Marcel Dekker, New York, pp 229-262
- Turnhout, C. van, E. Brouwer, M. Nijssen, S. Stuijzand, J. Vogels, H. Siepel & H. Esselink (2008). Herstelmaatregelen in heideterreinen; invloed op de fauna - Samenvatting OBN onderzoek en richtlijnen met betrekking tot de fauna. Rapport DK nr. 2008/042-O, Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit i.s.m. Stichting Bargerveen, Afdeling Dierecologie (Radboud Universiteit Nijmegen), BWare, VOFF, Alterra
- Van Strien, A., van Swaay, C. & Kéry, M. (2011). Metapopulation dynamics in the butterfly *Hipparchia semele* changed decades before occupancy declined in the Netherlands. *Ecological Applications* 21, 2510-2520.
- Vance, E.D., Jenkinson DS (1987). An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil BiolBiochem* 19(6):703-707 doi:DOI: 10.1016/0038-0717(87)90052-6
- Van Dam, D., van Dobben, H.F., ter Braak, C.F.J. & de Wit, T., 1986. Air pollution as a possible cause for the decline of some phanerogamic species in The Netherlands. *Vegetatio* 65: 47-52
- Van den Berg, L. J. L., Dorland, E., Vergeer, P., Hart, M. A. C., Bobbink, R., Roelofs, J. G. M., 2005. Decline of acid-sensitive species in heathland can be attributed to ammonium toxicity in combination with low pH. *New Phytologist* 66: 551-564.
- Verhagen, R., J. Klooker, J. P. Bakker and R. van Diggelen (2001) Restoration Success of Low-Production Plant Communities on Former Agricultural Soils after Top-Soil Removal *Applied Vegetation Science* Vol. 4, No. 1 (Jun., 2001), pp. 75-82
- Verhagen, R., R. van Diggelen & J.P. Bakker, 2003. Natuurontwikkeling op minerale gronden. Veranderingen in de vegetatie en abiotische omstandigheden gedurende de eerste tien jaar na ontgronden. Rapport RU Groningen, Laboratorium voor Plantenoecologie, Haren.
- Verhoeven, J.T.A., Koerselman, W. & Meuleman, A.F.M., 1996. Nitrogen- and phosphorus-limited growth in herbaceous, wet vegetation: relationship with atmospheric inputs and management regimes. *Trends in Ecology & Evolution* 11: 494-497.

- Verkaar, H. J. & Schenkeveld, A. D. 1984: On the ecology of short-lived forbs in chalk grasslands: life history characteristics. In: *New Phytologist*. Bd. 98, S. 659–672.
- Vermeulen, H.J.W. 1995. Road-side verges: habitat and corridor for carabid beetles of poor sandy and open areas. *Proefschrift LUW*. pp.1-131
- Vermeulen, H.J.W., A. Woldering en K. Van der Laaken, 2014. De ontwikkeling van de macrofauna in de verbindingszone Dwingelderveld-Terhorsterzand. Monitoring en onderzoek naar het gebruik van ecoduct en verbindingszone door aan de bodem gebonden fauna met nadruk op de fauna uit de heischrale gebieden. Tussenrapportage onderzoeksjaar 2014, stichting WBBS Loon.
- Vogels, J., A. Van den Burg, E. Remke & H. Siepel (2011). Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunagemeenschappen van heideterreinen - Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen (2006-2010). Den Haag, DKI-EL&I: 238.
- Wallis de Vries, M.F. (2003). Beschermingsplan gentiaanblauwtje 2003-2007. Expertisecentrum LNV, Ede
- Wallis de Vries, M.F., Bobbink, R., Brouwer, E., Huskens, K., Verbaarschot, E., Versluijs, R. & Vogels, J.J. (2014). Drukbe grazing en Chopperen als Alternatieven voor Plaggen van Natte Heide: effecten op korte termijn en evaluatie van praktijkervaringen. Rapport OBN191-NZ, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.
- Wardle, D./A., Bardgett, R.D., Klironomos, J.N., Setälä, H., van der Putten, W.H. en Wall, D.H. (2004). Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304:1629-1633
- Weeda, E.J., J.H.J. Schaminée & L. van Duuren (2001). Atlas van de Plantengemeenschappen van Nederland. Deel 1. Wateren, moerassen en natte heiden. KNNV Uitgeverij, Utrecht.
- Weeda, E. J., J.H.J. Schaminée & L. Van Duuren, 2002. Atlas van Plantengemeenschappen in Nederland. Deel 2. Graslanden, zomen en droge heiden. KNNV Uitgeverij, Utrecht, 224 pp.
- Weijters, M.J., & Bobbink, R., 2008. Bodemchemisch vooronderzoek Noordenveld en Kloosterveld (Nationaal Park Dwingelderveld). Onderzoekcentrum B-WARE, rapportnummer 2008.28. In opdracht van Dienst Landelijk Gebied-Regio Noord.
- WILLIAMS, J.T. (1963). Biological Flora of the British Isles. *Journal of Ecology*, 51, 711-725.
- Williams, E.D., 1973. Effects of temperature fluctuation, red and far-red light and nitrate on seed germination. *Journal of Applied Ecology* 20: 923-935.
- Wolters, M., Garbutt, A., Bakker, J.P., 2005. Salt-marsh restoration: evaluating the success of de-embankments in north-west Europe. *Biological Conservation* 123, 249–268.
- Wu, J., Joergensen, R.G., Pommerening, B., Chaussod, R., Brookes, P.C., 1990. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation—extraction—an automated procedure. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 1167– 1169.

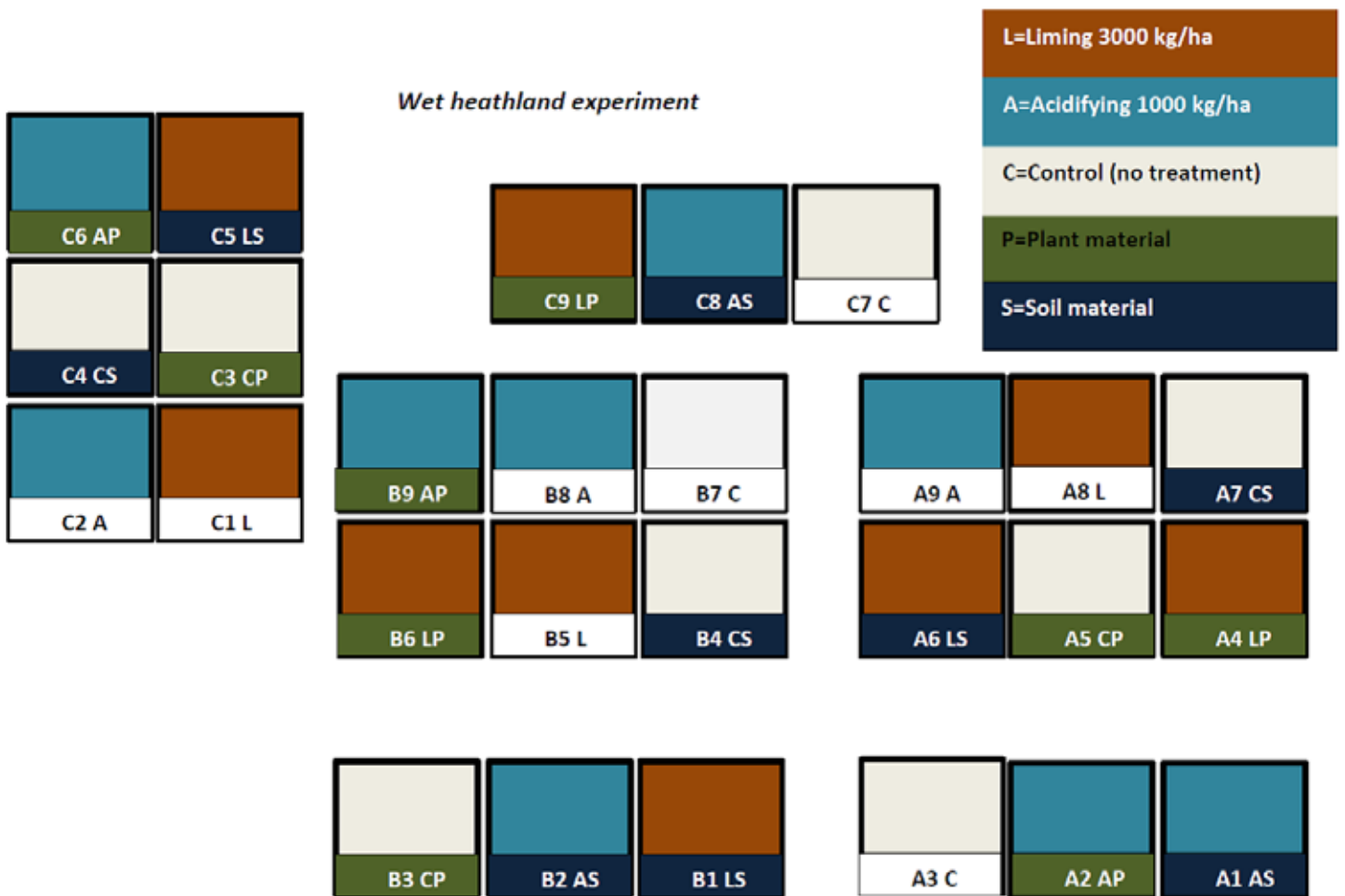
C.W. Yeates, Feeding in free-living soil nematodes a functional approach, in: R.N. Perry, D.J. Wright (Eds.), *The Physiology and Biochemistry of Free-living and Parasitic Nematodes*, CABI publishing, Wallingford, 1998, pp. 245–269.

Zelles L, Zelles L (1999) Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterisation of microbial communities in soil: A review. *BiolFertil Soils* 29:111-129

Zollinger, R., Wallis de Vries, M.F., Reemer M. & A. van Rijsewijk (2008). “Veluwe heide verbonden”; Visie op hoe populaties van entomofauna en herpetofauna zijn te verbinden en te versterken binnen het Veluwe Natura 2000 gebied

11. Bijlagen

Bijlage 1: Schema proefopzet



Indeling van het experiment in de natte situatie. De proefvelden in het natte heide experiment zijn 22m x 22m en liggen in blok A, B, en C (opgedeeld).
 Layout of the experiment in the wet heathland area. The plots size is 22m x 22m and are located in the blocs A, B and C (which is split)

Dry heathland experiment

L=Liming 2000 kg/ha
A=Acidifying 1500 kg/ha
C=Control (no treatment)
P=Plant material
S=Soil material

F9 LP	F8 AS	F7 CS
F6 CP	F5 L	F4 AP
F3 LS	F2 A	F1 C

E9 L	E8 AS	E7 LP	D9 LS	D8 C	D7 AP
E6 A	E5 CP	E4 AP	D6 CP	D5 A	D4 CS
E3 C	E2 CS	E1 LS	D3 L	D2 AS	D1 LP

Indeling van het experiment in de droge situatie. De proefvelden in het droge heide experiment zijn 15m x 15m en liggen in blok D, E en F.

Layout of the experiment in the dry heathland area. The plots size 15m x 15m and are located in the blocs D, E and F.

Verdere bijlagen staan op de CD

