

Monitoring OBN onderzoek “fosfaattoevoeging heide”

OBN Deskundigenteam Droog zandlandschap

J.J. Vogels
R-J. Bijlsma
R. Bobbink
E. Verbaarschot



ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

© 2017 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Monitoring OBN-14-DZ
Driebergen, 2017

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het Ministerie van Economische Zaken en BIJ12

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Oplage Online gepubliceerd op www.natuurkennis.nl

Samenstelling J. J. Vogels¹, R-J. Bijlsma³, R. Bobbink³ & E. Verbaarschot³

¹Stichting Bargerveen, Nijmegen

²Wageningen Environmental Research (Alterra),
Wageningen

³Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen

Opdrachtgever VBNE

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

Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Monitoring in 2015	5
1.2.1	Heropname vegetatie	5
1.2.2	Plantchemie	5
1.2.3	Loopkever bemonstering	5
2	Onderzoeksgebied en methoden	7
2.1	Ligging proefvlakken	7
2.2	Onderzoeksmethoden	7
2.2.1	Monitoring vegetatie ontwikkeling	7
2.2.2	Bepaling plant chemische samenstelling	8
2.2.3	Loopkever bemonstering	8
2.2.4	Statistiek	8
3	Resultaten	9
3.1	Vegetatieontwikkeling	9
3.1.1	Kruidlaag	9
3.1.2	Moslaag	10
3.2	Plantchemie	12
3.2.1	Fosforgehalte in planten en effect op N:P ratio	12
3.2.2	Calcium-, magnesium- en aluminiumgehalte in planten	12
3.2.3	IJzer-, Mangaangehalte in planten	15
3.3	Respons loopkevers	17
3.3.1	Totalen	17
3.3.2	Trait analyse	17
3.3.3	Habitatspecificiteit	23
4	Conclusies en discussie	27
4.1	Conclusies vegetatieontwikkeling	27
4.1.1	Kruidlaag	27
4.1.2	Moslaag	27
4.2	Conclusies plantchemie	27
4.3	Conclusies loopkever respons	28
4.4	Discussie	28
4.4.1	Vegetatieontwikkeling	28
4.4.2	Plantchemie	29
4.4.3	Loopkever respons	29
5	Literatuur	31

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Met de afronding van het driejarig OBN project OBN 2012-31-DZ "fosfaattoevoeging heide" (<http://www.natuurkennis.nl/publicaties/droog-zandlandschap/>) zijn een aantal fundamentele vragen over de aard en oorzaken van het uitblijven van herstel van soortenrijke droge heide na plagbeheer ten dele beantwoord (Vogels et al., 2016). Samengevat zijn deze:

- A. Herstel van floristisch soortenrijke heide na plagbeheer treedt niet op, doordat:
 1. De basenverzadiging niet hersteld is door enkel plagbeheer (eerdere onderzoeken kwamen ook tot deze conclusie).
 2. Het door verzuring, maar ook door plagbeheer versterkte gebrek aan plant beschikbaar P remt de kieming en vestiging van kritische (met name kruidachtige en/of heischrale) plantensoorten.
- B. Enkel het herstel van basenverzadiging (d.m.v. Dolokal additie) of het verhogen van P-beschikbaarheid heeft een veel kleiner effect op deze vegetatieontwikkeling dan de combinatie van beide behandelingen.
- C. P-bemesting heeft geleid tot een sterke daling van de plant N:P ratio. Uit eerder onderzoek is gebleken dat in Nederland sterk verhoogde N:P ratio's van heidevegetatie een belangrijk knelpunt vormt voor de karakteristieke (herbivore) fauna.
- D. Lab-experimenten tonen aan dat voedsel afkomstig uit P-additie behandelingen over het algemeen positieve effecten laten zien op de fitness van de modelsoort Veldkrekkel (*Gryllus campestris*), maar de effecten waren minder sterk dan eerder onderzoek in de (mineralogisch beduidend armere) Strabrechtse Heide.
- E. Uit dezelfde experimenten bleek dat voedsel uit de bekalkingsbehandelingen juist een sterk negatief effect had op de groei, snelheid van reproductie en totale reproductie. Het achterliggende mechanisme is nog niet eenduidig beantwoord. Een in de planten vastgestelde sterke toename in plant Mg, met uitblijven van een toename in andere metaal-ionen in de plant is een mogelijke oorzaak voor dit opmerkelijke effect. Dit zou indiceren dat naast P, er ook andere (micro)nutriënt gebreken een rol kunnen spelen in de achteruitgang van karakteristieke heidefauna.

Nog korter samengevat kan uit het onderzoek worden geconcludeerd dat de behandelingen op het vlak van bodemchemie en vegetatierespons uiterst succesvol lijken te zijn, maar dat het effect van bekalking op de fauna niet zonder meer als positief is te beoordelen. Toch is daarmee niet zonder meer aangetoond dat Dolokal behandeling na plaggen een negatieve invloed heeft op de respons van heidefauna. In het voorgaande onderzoek is slechts gekeken naar de respons van 1 karakteristieke soort, de Veldkrekkel. Mogelijk hebben andere soortgroepen geen last van de bekalkingsbehandeling, of hebben zij er juist profijt van. Een hoger aandeel van (in de regel veel voedzamere) kruidachtigen in de gecombineerde behandelingen, kan in de veldsituatie mogelijk leiden tot een positieve respons van herbivore soorten. Ook is het niet ondenkbaar dat de negatieve respons van Veldkrekels op de Dolokal behandeling slechts van tijdelijke aard is. Na plaggen moet immers een gehele nieuwe vegetatie, inclusief strooisellaag ontwikkelen, wat onvermijdelijk leidt tot sterke veranderingen in de plant chemische samenstelling van jaar tot jaar in deze periode. Om die redenen is het ook zinvol om het effect van de behandelingen op plantchemie ook in dit onderzoeksjaar te volgen. In het voorgaande onderzoek is het effect van de behandelingen op de plant chemische samenstelling van de kruidachtigen niet geanalyseerd. Nu blijkt dat deze soorten juist een sterke respons laten zien, is het zeker zinvol om ook daar meer gegevens van te verkrijgen. De vegetatieontwikkeling is ook in dit jaar nog volop in beweging, dus daarom is die ontwikkeling ook in dit monitoringsjaar gevolgd.

1.2 Monitoring in 2015

In 2015 kon met een bescheiden budget een aanvullende monitoring uitgevoerd worden. In dit jaar is het volgende onderzoek uitgevoerd:

1. Het uitvoeren van een heropname van de vegetatie;
2. De effecten van de behandelingen op plantchemie van Struikhei, Pijpenstrootje en kruidachtigen;
3. De veldrespons van loopkevers in de experimentele behandelingen.

In deze paragraaf wordt kort ingegaan op de verwachte ontwikkelingen in bovenstaande onderzoeken en wordt verder toegelicht hoe de gegevens geanalyseerd en geïnterpreteerd worden.

1.2.1 Heropname vegetatie

Het beschikbare budget is geheel ingezet voor de heropname en documentatie van vaatplanten en mossen in 2015. Met extra inzet zijn enkele hoofdlijnen van de vegetatieontwikkeling ten opzichte van 2014 beschreven.

1.2.2 Plantchemie

In 2013 en 2014 is gebleken dat P-bemesting na plaggen leidt tot hogere P-gehalten en lagere N/P ratio's in planten. Verder is gebleken dat bekalken leidt tot hogere Mg-gehalten in planten. Onderzocht wordt of deze effecten dit jaar weer vastgesteld worden.

1.2.3 Loopkever bemonstering

Er is gekozen om de veldrespons van loopkevers op de behandelingen te onderzoeken, omdat deze groep goed met 1 methode (potvallen) te bemonsteren is, er veel variatie bestaat in zowel trofisch niveau, grootte, mobiliteit en levenscyclus binnen deze enkele fylogenetische groep en er veel informatie beschikbaar is over deze bovengenoemde variatie in ecologisch relevante eigenschappen. Doel is om na te gaan of de respons van loopkevers in lijn zijn met de resultaten uit het kweek-experiment. Twee contrasterende hoofd hypothesen zijn:

H1:

Dolokal additie heeft ook in het veld een negatief effect op de soortenrijkdom (SR) en Activity-density (AD) van loopkevers. P-additie heeft een positief effect hier op, maar alleen zonder dolokal additie.

H2:

Dolokal en P-additie hebben beide een positief effect op de SR en AD van loopkevers en de combinatie van beide is het meest positief.

Toetsing van deze hypothesen zal plaats vinden door de loopkever gegevens te analyseren op contrasten in respons van soorten met vergelijkbare soorteigenschappen (trofische groep, levenscyclus en mobiliteit) en van soorten met eenzelfde habitatvoorkeur. Voor deze groepen kunnen elk deelvypothesen worden opgesteld, aansluitend op bovenstaande hypothesen:

H1:

- a. Dolokal additie heeft in het veld een sterker negatief effect op de SR en AD van herbivore loopkevers ten opzichte van zoofage loopkevers; P-additie heeft een positiever effect op herbivore loopkevers, maar alleen zonder dolokal additie.
- b. Er zijn geen verschillen in respons tussen winter-, voorjaars-, zomer en najaarsvoortplanters op de SR en AD tussen de P en Dol behandelingen die niet (mede) verklaard kunnen worden door verschillen in trofische groep en/of grootteklassen.
- c. De AD van grotere soorten is sterker negatief in de dolokal behandelingen dan die van kleinere soorten, omdat grotere soorten een hogere mobiliteit en ruimtegebruik kennen en dus sterker kunnen reageren op verschillen in voedselaanbod. In de P behandeling zonder dolokal additie is de AD van grotere soorten sterker positief dan kleinere soorten.

- d. De AD van soorten met vliegvermogen is sterker negatief in de dolokal behandelingen dan die van soorten zonder vliegvermogen, omdat zij een hogere mobiliteit en ruimtegebruik kennen en dus sterker kunnen reageren op verschillen in voedselaanbod. In de P behandeling zonder dolokal additie is de AD van vliegende soorten sterker positief dan soorten zonder vliegvermogen.
- e. De AD en SR van soorten met een voorkeur voor heidevegetaties, stuifduinen en schraalgraslanden is lager in dolokal behandelde plots, en hoger in de met P behandelde plots. De SR van eurytope soorten verschilt niet tussen de verschillende dolokal en P behandelingen, maar de AD van deze soorten is lager in de dolokal behandelingen, en hoger in de P behandelingen.

H2:

- a. Dolokal additie heeft in een sterker positief effect op de SR en AD van herbivore loopkevers ten opzichte van zoofage loopkevers; P-additie heeft een positiever effect op herbivore loopkevers. In de gecombineerde behandeling is de SR en AD van deze groep het hoogst.
- b. Er zijn geen verschillen in respons tussen winter-, voorjaars-, zomer en najaarsvoortplanters op de SR en AD tussen de P en Dol behandelingen die niet (mede) verklaard kunnen worden door verschillen in trofische groep en/of grootteklassen.
- c. De AD van grotere soorten is sterker positief in de dolokal behandelingen dan die van kleinere soorten, doordat grotere soorten een hogere mobiliteit en ruimtegebruik kennen en dus sterker kunnen reageren op verschillen in voedselaanbod. In de P behandeling zonder dolokal additie is de AD van grotere soorten sterker positief dan kleinere soorten, en de AD is het hoogst in de gecombineerde behandeling.
- d. De AD van soorten met vliegvermogen is sterker positief in de dolokal behandelingen dan die van soorten zonder vliegvermogen, omdat zij een hogere mobiliteit en ruimtegebruik kennen en dus sterker kunnen reageren op verschillen in voedselaanbod. In de P behandeling zonder dolokal additie is de AD van vliegende soorten sterker positief dan soorten zonder vliegvermogen, en de AD van vliegende soorten is het hoogst in de gecombineerde behandeling.
- e. De AD en SR van soorten met een voorkeur voor heidevegetaties, stuifduinen en schraalgraslanden is hoger in dolokal behandelde plots en in de met P behandelde plots. AD en SR is het hoogst in de gecombineerde behandeling. De SR van eurytope soorten verschilt niet tussen de verschillende dolokal en P behandelingen, maar de AD van deze soorten is hoger in de dolokal behandelingen en de P behandelingen, en het hoogst in de gecombineerde behandeling.

2 Onderzoeksgebied en methoden

Een uitgebreidere beschrijving van de onderzoeksopzet en behandelmethoden van de proefvlakken is beschreven in de eindrapportage van het voorgaande onderzoeksproject (Vogels et al., 2016). In deze rapportage wordt volstaan met een korte beschrijving van de experimentele opzet, en worden de onderzoeksmethoden van de acties uit het monitoringsjaar beschreven.

2.1 Ligging proefvlakken

Op basis van vooronderzoek met betrekking tot de humusprofielen en ligging en een literatuurstudie ten behoeve van de P-bemestingsgraad zijn in totaal vijf blokken uitgezet. Elk van deze blokken bestaat uit vier deelplots, waarin alle behandelcombinaties (P- Dol -; P+, Dol+, P - Dol- en P+ Dol -) steeds vertegenwoordigd zijn. De ligging en de behandelcombinaties per blok zijn weergegeven in Fig. 2.1.

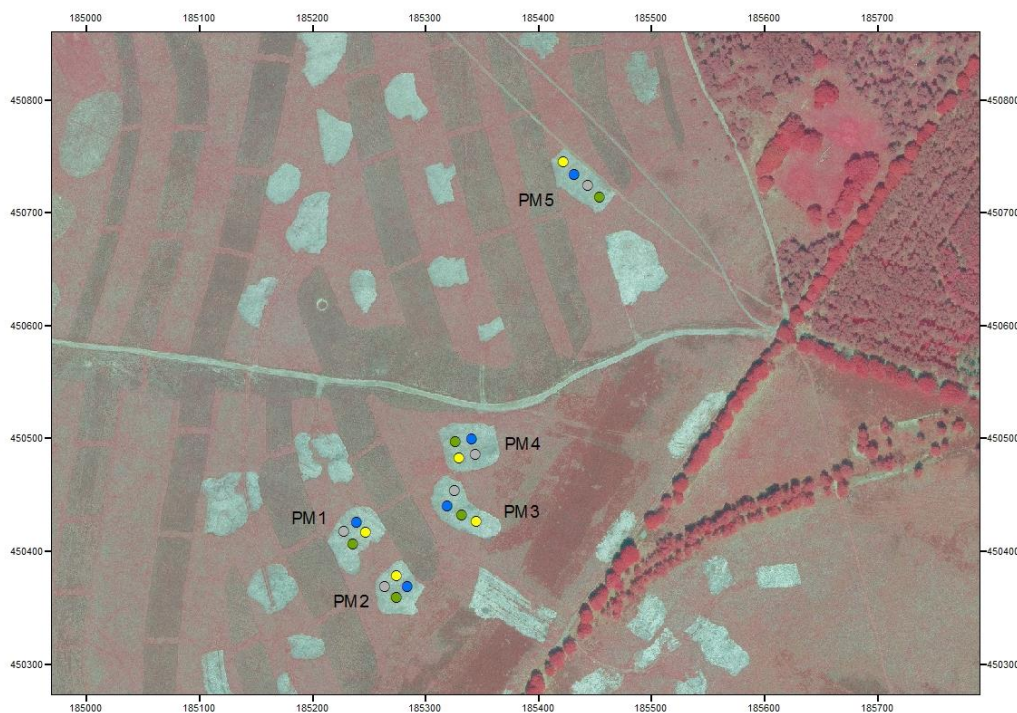


Fig. 2.1. Ligging van de proefvlakken op het Oud Reemsterveld. PM 1 t/m 5: geplagde vlakken waar verschillende behandelcombinaties zijn uitgevoerd. Behandelcombinaties zijn met kleuren aangegeven. Grijs: P - Dol - . Blauw: P + Dol -. Geel: P - Dol +. Groen: P + Dol +.

2.2 Onderzoeksmethoden

2.2.1 Monitoring vegetatie ontwikkeling

In 2014 is de samenstelling van de kruidlaag door J. Vogels beschreven in september, aan het eind van het (tweede) groeiseizoen van het experiment. Vanwege dit late tijdstip konden enkele soortengroepen toen slecht worden onderscheiden (zoals *Agrostis* spp., *Epilobium* spp.) en zijn ongetwijfeld enkele kortlevende soorten gemist in de opnamen. In 2015 is de vegetatie door R.J. Bijlsma in de voorzomer opgenomen (10 en 11 juli). Per behandeling is de totale bedekking van de kruid- en moslaag en van open bodem bepaald. Voor de vegetatieopname is dezelfde schaal gebruikt als in 2014 waarbij bedekkingen >10% geschat zijn op 5%, tussen 1 en 10% op 1% en voor bedekkingen <1% is de abundantie weergegeven met een Tansley-aanduiding (r: zeldzaam, 1-2 exx; u: weinig talrijk, enkele exx; c: talrijk, meerdere exx verspreid over proefvlak; a: abundant, veel exx maar niet bedekkend). Van alle plots zijn foto's gemaakt; veelal ook van soorten binnen de plots.

In 2014 werd de moslaag opgenomen in het najaar (13, 14 en 18 november) en deze periode is ook aangehouden voor 2015 (28, 30 en 31 oktober). Beide opnamen zijn uitgevoerd door R.J. Bijlsma. De werkwijze was gelijk aan die in 2014. Alle bedekkingen zijn geschat in %, beneden 1% (=1.5x1.5 m) op 0.01% (=15x15 cm) nauwkeurig. Van alle plots zijn opnieuw foto's gemaakt; vaak ook detailfoto's van de moslaag. Uit elke plot zijn mossoorten gedocumenteerd met microscopisch gecontroleerd herbariummateriaal, in totaal ruim 70 collecties (herbarium R.J. Bijlsma).

2.2.2 Bepaling plant chemische samenstelling

In september 2015 werden in alle proefvelden Pijpenstrootje en jonge scheuten van Struikhei verzameld en werd een mengsel van kruiden (uitgezonderd de vlinderbloemigen) verzameld. Het verzamelde plantmateriaal werd minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60 °C. Het gedroogde plantmateriaal werd fijngemalen in een kogelmaler en droog opgeslagen.

2.2.2.1 C/N analyse

De totale hoeveelheid koolstof en stikstof werd bepaald middels een C/N analyse. Hiertoe werd een klein deel (3 mg) van het gemalen bodemmateriaal in een tinnen container geplaatst waarna het in een CNS elementen analyser (EA NA 1500 en EA100 van Carlo Erba-Thermo Fisher Scientific) werd geanalyseerd.

2.2.2.2 Destructie

Door het plantmateriaal te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen (C en N uitgezonderd) in het plantmateriaal te bepalen. Dit werd uitgevoerd door gedroogd materiaal te vermalen. Van het plantmateriaal werd per monster nauwkeurig 200 mg afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het materiaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H₂O₂ 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes werden geplaatst in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden 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. Vervolgens werden de destruatens geanalyseerd met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; Thermo Electron Corporation, IRIS Intrepid II XDL) en werden de concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S), silicium (Si) en zink (Zn) in het plantmateriaal bepaald.

2.2.3 Loopkever bemonstering

In alle experimentele blokken zijn in iedere plot potval vangopstellingen van 3 potvallen elk uitgezet. Een potval bestaat uit een ingegraven pot met een laag 4% formaldehyde oplossing en zeep. Boven de potval is een dakje geplaatst om overmatige verdamping en/of vollopen met regenwater te voorkomen en het aantal bijvangsten van gewervelden (muizen, kikkers, hagedissen) beperkt te houden. Potvallen zijn over de periode april tot september iedere drie weken geleegd en ververs. Uit het verzamelde materiaal zijn alle lookevers uitgesorteerd en tot soort gebracht met behulp van Boeken et al. (2002).

2.2.4 Statistiek

Verschillen in plantchemie tussen behandelingen zijn statistisch getest door middel van een two-way Anova met blok als random factor in SPSS.

Loopkever vangsten zijn te beschouwen als "count data" welke zelden een normaal verdeling en homogene variantie laten zien. Verschillen in de respons van loopkevers zijn daarom statistisch getoetst door middel van een Generalized Linear Mixed Model (GLMM) met blok als random factor. Een negative binomial distributie als respons verdeling van de data is gebruikt in de modelberekening, om te corrigeren voor overdispersie van de residual errors. Toetsen zijn uitgevoerd door middel van het package glmmADMB versie 0.8.1 (Skaug et al., 2015) in het statistiek programma R (versie 3.2.0).

3 Resultaten

3.1 Vegetatieontwikkeling

3.1.1 Kruidlaag

In 2015 zijn naast de 27 in 2014 aangetroffen taxa nog 40 nieuwe soorten aangetroffen, waaronder kortlevende en nauwverwante soorten die in 2014 waarschijnlijk zijn gemist in de opnamen (zie § 2.2.1). Een goede vergelijking is daardoor lastig.

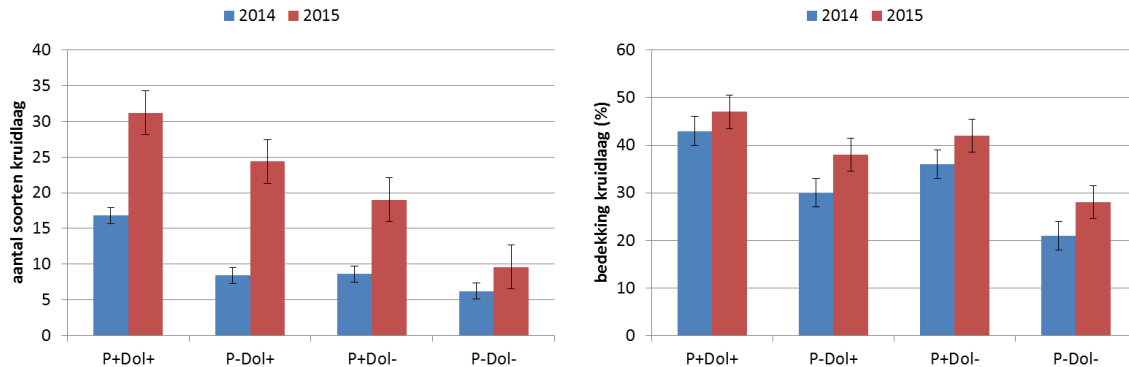


Fig. 3.1. Gemiddeld aantal vaatplanten per behandeling (\pm standaardfout) en gemiddelde bedekking van de kruidlaag per behandeling (\pm standaardfout) in 2014 en 2015.

De contrasten in gemiddeld aantal soorten lijken zich in 2015 te hebben versterkt (Fig. 3.1 links). In 2014 heeft P+Dol+ significant meer soorten dan de overige behandelingen. In 2015 hebben zowel P+Dol+ als P-Dol+ significant meer soorten dan P-Dol-.

Tab. 3.1 geeft een overzicht van opvallend toegenomen en opvallend nieuwe soorten waarvan het voorkomen in plots ten opzichte van 2014 meer dan verdubbeld is of die in 2015 in meer dan twee blokken (PM1-5) nieuw zijn aangetroffen.

Karakteristieke soorten van droge heide en heischraal grasland handhaven zich goed en/of vestigen zich (nieuw) in nieuwe plots ten opzichte van 2014. Tot de eerste categorie behoren Muizenoor (*Hieracium pilosella*), Gewone Veldbies (*Luzula campestris*) en Mannetjesereprijs (*Veronica officinalis*); tot de tweede Klein Warkruid (*Cuscuta epithimum*), Tandjesgras (*Danthonia decumbens*), Bochtige Smele (*Deschampsia flexuosa*), Dwergviltkruid (*Filago minima*), Liggend Walstro (*Galium saxatile*), Stekelbrem (*Genista anglica*), Kruipbrem (*G. pilosa*), Bosdroogbloem (*Gnaphalium sylvaticum*), Gewoon Biggenkruid (*Hypochaeris radicata*), Kleine Leeuwentand (*Leontodon saxatilis*), Veelbloemige Veldbies (*Luzula multiflora*), Tormentil (*Potentilla erecta*) en Rode Schijnspurrie (*Spergularia rubra*). Opvallend is dat ondanks gericht zoeken zwenkgrassen (*Festuca* spp.) afwezig blijken.

Aparte vermelding verdient Echte Guldenroede (*Solidago virgaurea*) in PM3 P+Dol+, een zoomplant met RL-status kwetsbaar die al geruime tijd niet meer op de Hoge Veluwe was waargenomen. Opvallend is dat de totale bedekking van de kruidlaag voor alle behandelingen gemiddeld met ca 5% lijkt te zijn toegenomen (Fig. 3.1 rechts). De bedekking van de kruidlaag wordt vrijwel geheel bepaald door Struikhei (*Calluna vulgaris*) en Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en in mindere mate door Dophei (*Erica tetralix*) en Pilzegge (*Carex pilulifera*). De toename komt geheel voor rekening van gestage uitbreiding van Pijpenstrootje.

Tab. 3.1. Vaatplanten in 2015 met meer dan het dubbele van het aantal plots in 2014 ('opvallend toegenomen') of in 2015 in meer dan twee blokken (PM1-PM5) nieuw verschenen ('opvallend nieuw').

Wetenschappelijke naam	Nederlandse naam	Opvallend toegenomen	Opvallend nieuw
<i>Carex arenaria</i>	Zandzegge		
<i>Cirsium vulgare</i>	Speerdistel		
<i>Corynephorus canescens</i>	Buntgras		
<i>Deschampsia flexuosa</i>	Bochtige Smele		
<i>Galium saxatile</i>	Liggend walstro		
<i>Genista pilosa</i>	Kruipbrem		
<i>Holcus lanatus</i>	Zachte witbol		
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewoon biggenkruid		
<i>Pinus sylvestris</i>	Grove den		
<i>Cerastium fontanum</i>	Gewone hoornbloem		
<i>Chamerion angustifolium</i>	Wilgenroosje		
<i>Cirsium arvense</i>	Akkerdistel		
<i>Cuscuta epithymum</i>	Klein warkruid		
<i>Filago minima</i>	Dwergviltkruid		
<i>Genista anglica</i>	Stekelbrem		
<i>Gnaphalium sylvaticum</i>	Bosdroogbloem		
<i>Populus tremula</i>	Ratelpopulier		
<i>Sencio sylvaticus</i>	Boskruiskruid		
<i>Sonchus asper</i>	Gekroesde melkdistel		
<i>Sorbus aucuparia</i>	Wilde lijsterbes		
<i>Taraxacum officinale</i>	Paardenbloem		

3.1.2 Moslaag

In 2015 zijn naast de 20 in 2014 aangetroffen soorten, 8 nieuwe aangetroffen, alle in slechts één plot en met uitzondering van Gewoon Peermos (*Pohlia nutans*, in P+Dol-), in met dolokal behandelde plots: Gewoon Dikkopmos (*Brachythecium rutabulum*), Netknikmos (*Bryum algovicum*), Gedraaid Knikmos (*B. capillare*), Roestknolknikmos (*B. microerythrocarpum*), Gewoon Klauwtjesmos (*Hypnum cupressiforme*), Spits Smaragdsteeltje (*Pseudocrossidium hornschuchianum*) en Haakmos (*Rhytidadelphus squarrosus*).

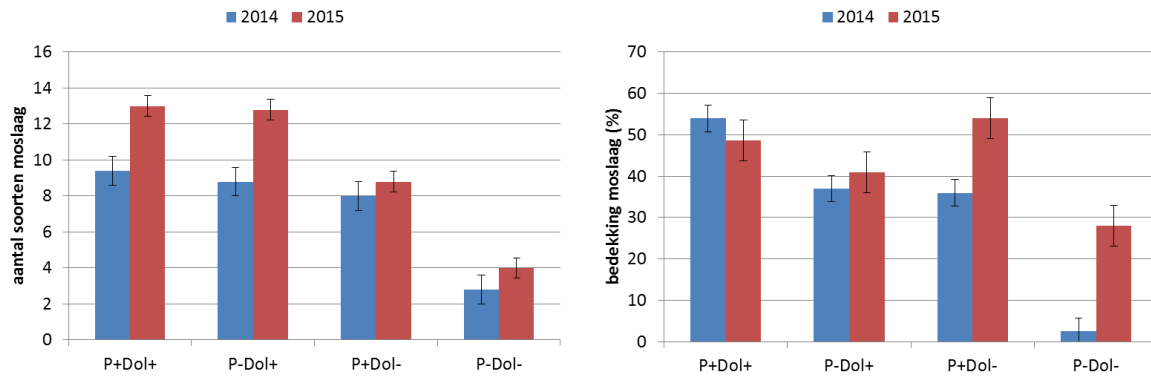


Fig. 3.2. Gemiddeld aantal mossoorten per behandeling (\pm standaardfout) en gemiddelde bedekking van de moslaag per behandeling (\pm standaardfout) in 2014 en 2015.

Het gemiddeld aantal soorten is toegenomen voor alle behandelingen waarbij Dol+ opvallend is uitgelopen op Dol-. Het contrast tussen P-Dol- en de overige behandelingen is gelijk gebleven: het gemiddeld aantal soorten in de niet-bemeste plots blijft steken op vier (Fig. 3.2 links). De ontwikkeling in de bedekking van de moslaag laat een tegengesteld beeld zien (Fig. 3.2 rechts): de bedekking van de mossen is gelijk gebleven of afgenomen voor Dol+, veroorzaakt door een toegenomen bedekking van de kruidlaag bij een vrijwel gesloten totale bedekking. Voor Dol- is de mosbedekking opvallend toegenomen ten koste van het aandeel open bodem, in de controle behandeling (P-Dol-) zelfs spectaculair van vrijwel niets tot bijna 30%. Deze uitbreiding van de moslaag voor P+Dol- en P-Dol- komt geheel voor rekening van Grijs Kronkelsteeltje (*Campylopus introflexus*; Fig. 3.2), deels ten koste van het in 2014 dominerende Breekblaadje (*C. pyriformis*). Ook in de met dolokaal behandelde plots is Grijs Kronkelsteeltje opvallend toegenomen (Fig. 3.3) wat wijst op oppervlakkige verzuring en/of een verhoogd gehalte organische stof.

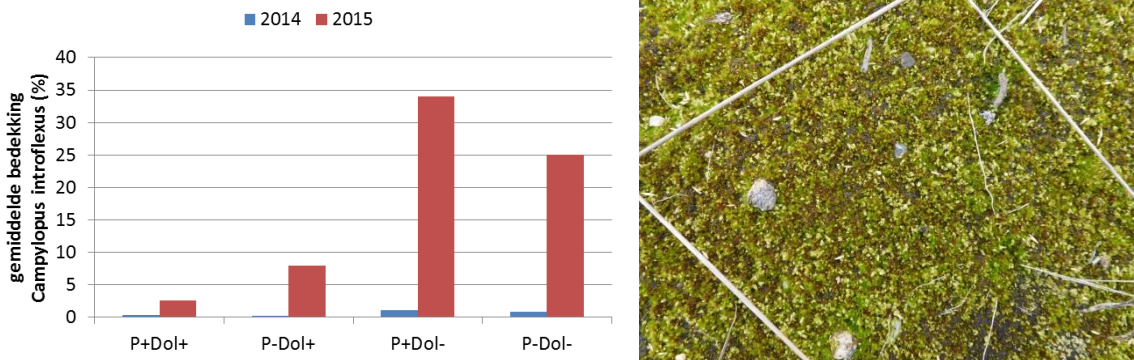


Fig. 3.3. Gemiddelde bedekking van grijs kronkelsteeltje (*Campylopus introflexus*) per behandeling in 2014 en 2015. Rechts: foto van deel van proefvlak PM4 P+ Dol- met gesloten moslaag van grijs kronkelsteeltje.

De alleen in de Dol+ behandelde plots voorkomende uitgesproken nitrofiële soorten Krulmos (*Funaria hygrometrica*), Geelkorrelknikmos (*Bryum barnesii*) en Parapluutjesmos (*Marchantia polymorpha* ssp. *ruderalis*) zijn afgenomen, Krulmos zelfs spectaculair. Purpersteeltje (*Ceratodon purpureus*), in het heidelandschap karakteristiek voor verstoorde minerale bodem met relatief hoge nutriëntenstatus, heeft zich met name in P-Dol+ uitgebreid en is in P+Dol+ nu met gemiddeld 40% de meest bedekkende soort. Haarmossen (*Polytrichum* spp.) weten zich goed te handhaven in lage bedekking. Het in 2014 opvallend aanwezige, heischrale Aardappelknikmos (*Bryum bornholmense*) is in 2015 alleen nog in zeer lage dichtheid aangetroffen, waarschijnlijk inherent aan de strategie van deze pioniersoort met langlevende broedknollen (tubers).

3.2 Plantchemie

3.2.1 Fosforgehalte in planten en effect op N:P ratio

Additie van P heeft een significant effect ($p < 0.05$) op het fosforgehalte gemeten in Struikhei, Pijpenstrootje en kruiden (Fig. 3.4). In de met fosfaat-bemeste proefvlakken is het fosforgehalte in de vegetatie bijna verdubbeld ten opzichte van de controle, zoals ook in 2013 en 2014 gemeten is (Vogels et al., 2016). Bekalken heeft ook een significant effect ($p < 0.05$) op het fosforgehalte in Pijpenstrootje en kruiden: het fosforgehalte in Pijpenstrootje en kruiden is wat hoger dan in Struikhei (10-20%). Fosfaatbemesting of bekalken heeft geen effect op het N gehalte in Struikhei, Pijpenstrootje en kruiden (

Tab. 3.2). In de N/P-ratio's in de vegetatie zijn dezelfde effecten zichtbaar als in het fosforgehalte, dit betekent dat de N/P-ratio geheel door P bepaald wordt (Fig. 3.4). In Struikhei, Pijpenstrootje en kruiden is de N/P ratio gemeten in de P-bemeste proefvlakken significant lager dan in de niet P-bemeste proefvlakken ($p < 0.05$). In de met fosfaat-bemeste proefvlakken is de N/P-ratio in de vegetatie bijna gehalveerd ten opzichte van de controle. Ook in de eerste twee jaar van het experiment is hetzelfde effect op de N/P ratio gemeten in Struikhei en Pijpenstrootje.

Bekalken heeft een significant effect op de N/P ratio in Pijpenstrootje en kruiden. In de bekalkte proefvlakken is de N/P ratio in de vegetatie wat lager dan in de niet bekalkte proefvlakken, in Struikhei is de N/P ratio 18 (P-Dol+) ten opzichte van 20 in de controle (P-Dol-). In Pijpenstrootje en kruiden is het verschil ten opzichte van de controle iets groter met 27 en 29 in de controle en 20 en 15 in de bekalkte behandeling (P-Dol+). Het toedienen van P heeft er toe geleid dat de vegetatie zeer waarschijnlijk van P-gelimiteerd naar N-gelimiteerd is verschoven.

Tab. 3.2. N in mg/g per behandeling per plant ($\bar{x} \pm$ standaardfout).

	Struikhei		Pijpenstrootje		Kruiden	
	gem	st.fout	gem	st.fout	gem	st.fout
P+DOL+	11,0	0,43	9,2	0,86	13,7	1,08
P-DOL+	10,4	0,39	7,3	0,42	13,0	0,42
P+DOL-	9,8	0,48	7,8	0,79	13,3	0,58
P-DOL-	10,1	0,63	8,4	0,50	14,2	0,72

3.2.2 Calcium-, magnesium- en aluminiumgehalte in planten

Het toegediende dolokal bevat calcium en magnesium. In Struikhei is het calciumgehalte in de plant in alle behandelingen hoog (122-141 mmol/kg) en zijn geen significante behandelingseffecten gemeten (Fig. 3.5). Dit beeld komt overeen met de metingen van 2014. Het calciumgehalte in Pijpenstrootje is een stuk lager met 27-46 mmol/kg en er zijn geen significante effecten van bekalken gemeten. P-bemesting heeft een significant effect op het calciumgehalte in Pijpenstrootje ($p < 0,05$), in de P-bemeste proefvelden is het calciumgehalte in de plant hoger dan in de niet P-bemeste proefvelden. In de kruiden is zowel een significant effect van bekalken als P-bemesten te zien, zowel in de P-bemeste als bekalkte behandelingen is het calciumgehalte in de plant hoger. Er is geen significante interactie effect tussen bekalken en P-bemesting gevonden op het calciumgehalte in de planten.

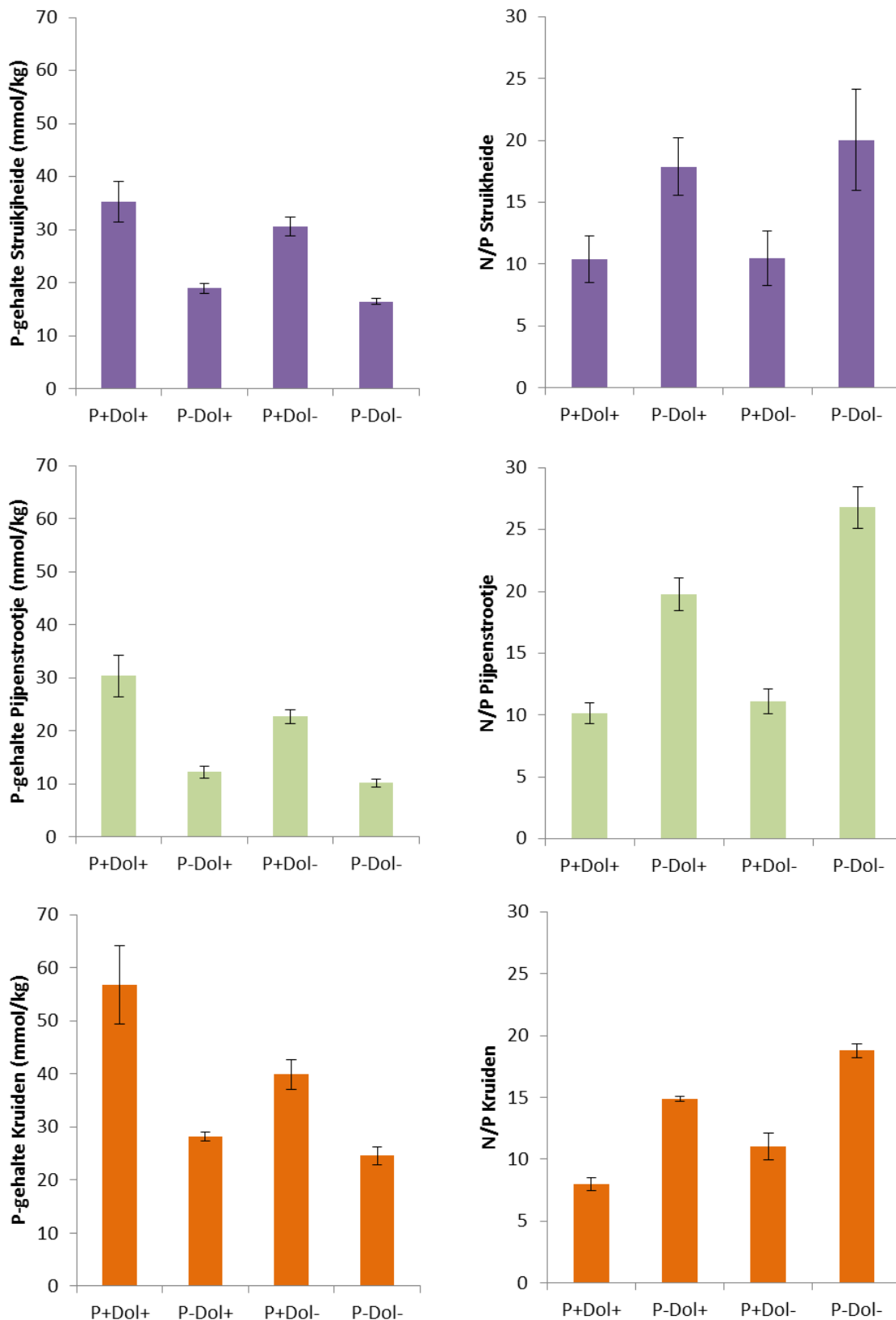


Fig. 3.4. P-gehalte (mmol/kg) en N/P ratio (g/g) in Struikheide, Pijpenstrootje en kruiden ($\bar{x} \pm$ standaardfout). Dol= Dolokal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

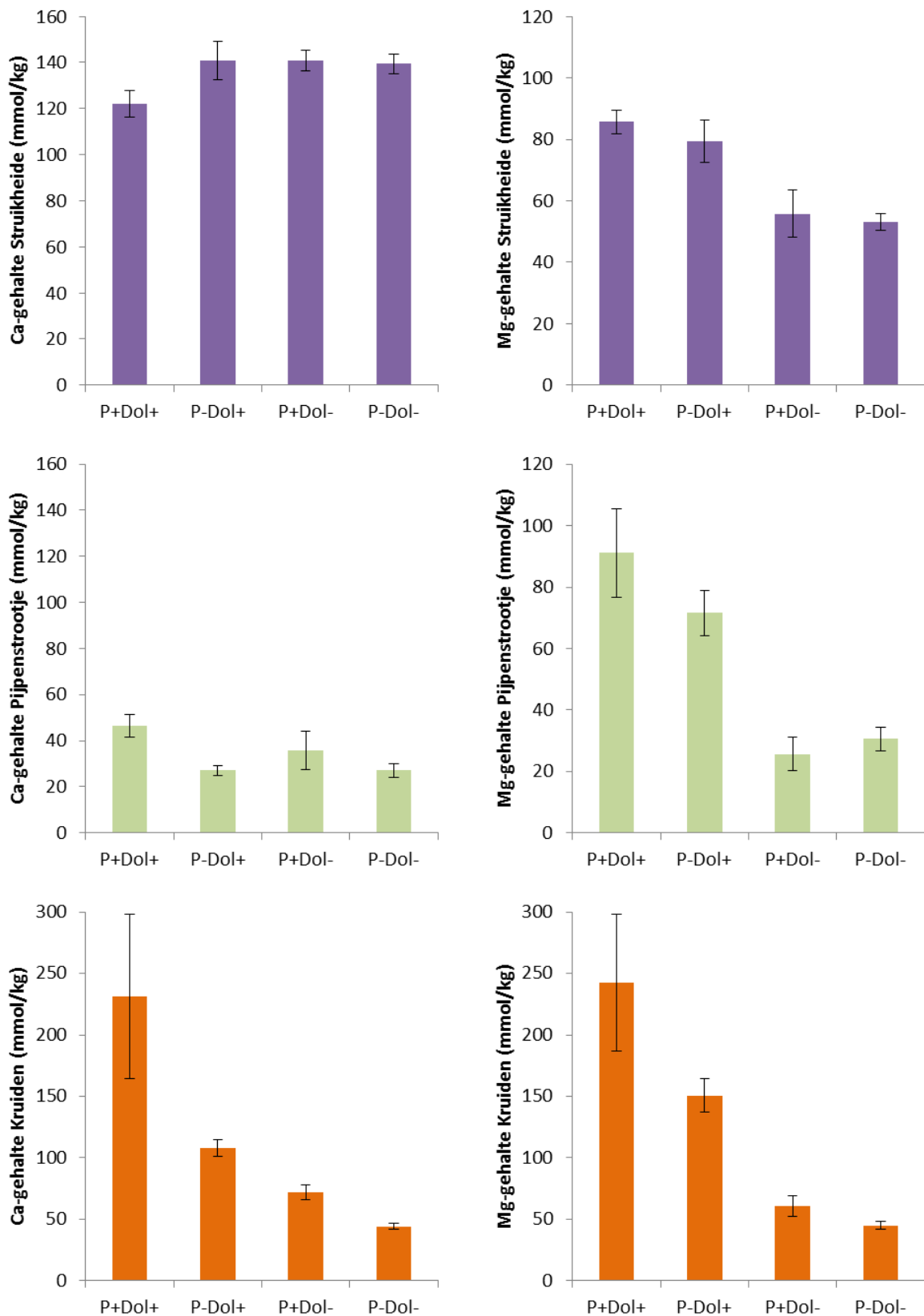


Fig. 3.5. Calcium- en magnesiumgehalte (mmol/kg) in Struikheide, Pijpenstrootje en kruiden ($\bar{x} \pm$ standaardfout). Dol= Dolokal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

Het toegediende dolokal heeft een groter effect op de Mg-gehalten van de vegetatie dan op de Ca-gehalten (Fig. 3.5). Het magnesiumgehalte van Struikhei, Pijpenstrootje en kruiden is significant hoger ($p < 0,05$) in de bekalkte proefvelden dan in de niet bekalkte proefvelden. In Pijpenstrootje en kruiden is het Mg-gehalte in de plant verdrievoudigd in de bekalkte proefvelden (P-Dol+ en P+Dol+) ten opzichte van de niet bekalkte proefvelden (P-Dol- en P+Dol-). In Struikhei is de toename van Mg in de plant veel lager met 53-56 mmol/kg (Dol-) ten opzichte van 79-86 mmol/kg (Dol+). In 2014 werden dezelfde effecten voor Struikhei en Pijpenstrootje waargenomen. Bij het toedienen van dolokal aan de bodem neemt de uitwisselbare aluminiumconcentratie in de bodem af (data bodemchemie 2014: Vogels et al., 2016). Het effect van bekalken is ook in de aluminiumgehalten van de plant te zien (Fig. 3.6). Het aluminiumgehalte in Struikhei en kruiden is significant ($p < 0,05$) lager in de bekalkte proefvelden dan in de niet-bekalkte proefvelden, met 13-16 mmol/kg (P-Dol-) ten opzichte van 5-11 mmol/kg (Dol+). Ook P-bemesting heeft effect op het aluminiumgehalte, in Struikhei en kruiden is het aluminiumgehalte van de plant significant lager in de P-bemeste proefvelden. In Pijpenstrootje zijn geen significante effecten van bekalken of P-bemesting op het aluminiumgehalte van de plant gemeten. Deze was ook in de behandeling zonder P en dolokal additie laag, in tegenstelling tot Struikhei en kruiden.

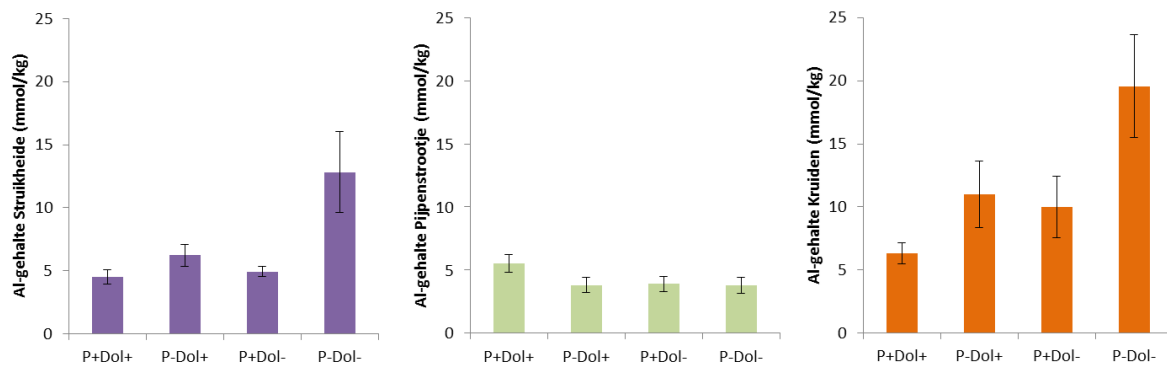


Fig. 3.6. Aluminiumgehalte (mmol/kg) in Struikhei, Pijpenstrootje en kruiden ($\bar{x} \pm$ standaardfout). Dol= Dolokal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

3.2.3 IJzer-, Mangaangehalte in planten

Uit het Fauna-onderzoek zijn in 2014 signalen naar voren gekomen dat het toedienen van dolokal de opname van essentiële macro- of micro elementen verstoort, daarom is er ook gekeken naar ijzer-, mangaan- en zwavelgehalten in planten. Het ijzergehalte in Struikhei en kruiden is significant ($p < 0,05$) lager in de P-bemeste proefvelden dan in de niet-bemeste proefvelden (figuur 4), met 8-10 mmol/kg (P-Dol-) ten opzichte van 2-4 mmol/kg (Dol+). In Pijpenstrootje is een significante interactie gevonden, in de P-bemeste en bekalkte proefvelden (P+Dol+) is het ijzergehalte van de plant significant hoger dan in de P-bemeste proefvelden zonder bekalken (P+Dol-) en de niet-bemeste proefvelden met bekalken (P-Dol+).

Er zijn geen effecten van bekalken of bemesting op het mangaangehalte van Pijpenstrootje of kruiden gemeten. Het mangaangehalte van Struikhei is significant ($p < 0,05$) lager in de bekalkte proefvelden dan in de niet bekalkte proefvelden, met 1,46 mmol/kg (P-Dol-) ten opzichte van 0,65 mmol/kg.

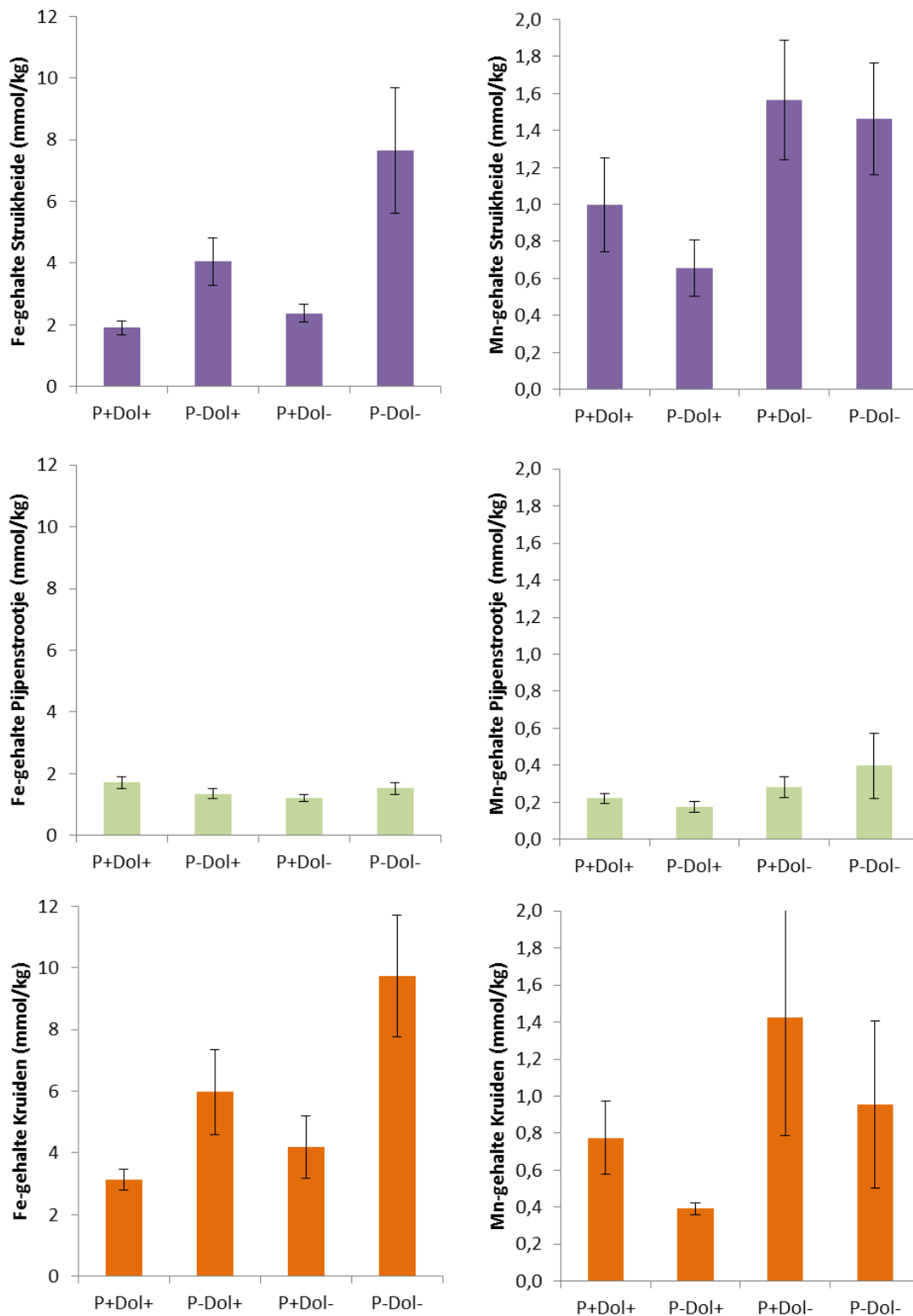


Fig. 3.7. IJzer-, mangaangehalte (mmol/kg) in Struikheide, Pijpenstrootje en kruiden ($\bar{x} \pm$ standaardfout). Dol= Dolokal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

3.3 Respons loopkevers

3.3.1 Totalen

In totaal zijn 4432 individuen bemonsterd, verdeeld over 48 soorten. Er was geen significante interactie tussen P-additie en dolokal additie op de activity density (hierna: AD) en soortenrijkdom (hierna: SR) van loopkevers. P- additie had geen significant effect op de AD noch de SR van loopkevers (Fig. 3.8). Dolokal-additie had een sterk significant negatief effect op de totale AD (GLMM: $z=-4.96$, $p<0.001$), maar niet op de totale SR (al was deze in de Dol+ behandelingen wel iets lager dan in de Dol - behandelingen).

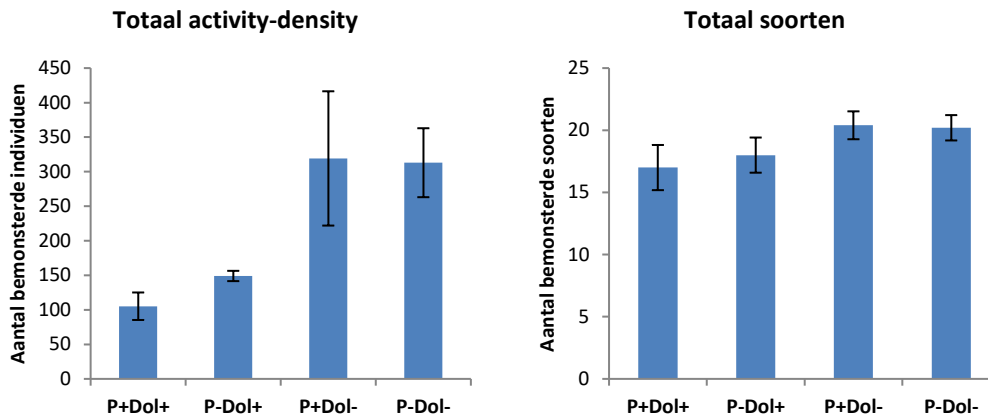


Fig. 3.8. Activity-density en soortenrijkdom ($\bar{x} \pm$ standaardfout) van alle loopkevers in de verschillende behandelingen. Dol= Dolokal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

3.3.2 Trait analyse

De respons van loopkevers is tevens getoetst door soorten te groeperen op basis van overeenkomende soorteigenschappen (trait-groepen). Deze analyse is uitgevoerd op zowel de AD als SR, op basis van verdelingen over trofische groepen, reproductieve periode, grootteklassen en vliegvermogen. In geen van de model-analysen is een significante interactie tussen dolokal- en P-additie gevonden. Wat betreft de SR zijn in geen enkele van de analyses significante effecten van P-additie of dolokal additie aangetoond. In de volgende paragrafen wordt daarom enkel ingegaan op het effect van de behandelingen op de AD van de verschillende trait-groepen, en wordt het effect op SR verder buiten beschouwing gelaten.

De verschillen in respons op dolokal additie tussen de verschillende functionele groepen zijn met elkaar vergeleken door de voor elke trait groep de effectgroottes (\pm 95% betrouwbaarheidsinterval) van dolokal additie uit de modelanalysen grafisch naast elkaar weer te geven. Dit maakt het mogelijk om naast verschillen in significantie (wel of niet beïnvloed door Dolokal) ook uitspraken te kunnen doen over verschillen in de mate van respons (sterker of minder sterk beïnvloed) tussen de verschillende trait groepen.

Uit de eerste analyse resultaten rees het vermoeden dat voor een aantal trait-analysen de uitkomsten sterk bepaald werden door de respons van 1 specifieke soort, *Broscus cephalotes*. Deze soort wijkt in haar levensstrategie sterk af van de overige soorten aangezien deze soort een gravende levenswijze kent in zowel het larvale als het adulte stadium. Door deze aanpassing, gecombineerd met een nachttactieve jaagstrategie, is deze soort vooral te vinden op zeer zandige, open bodems. In deze experimentele opzet was het aandeel kale bodem beduidend hoger in de controle behandelingen ten opzichte van de P en/of Dol behandelingen, en zijn effecten van zowel dolokal additie als P-additie op de activity-density voor deze soort negatief. Dit effect is voor deze soort eerder te zien als een secundair effect van de behandelingen op habitatstructuur (toedienen

van P en/of Dol leidt tot minder open zand, wat leidt tot minder graafmogelijkheden en bijgevolg tot een verminderde AD) dan op de voedselsituatie. Om het effect van deze enkele soort op de modeluitkomsten te bepalen zijn daarom alle analyses ook uitgevoerd met uitsluiting van deze soort. Wanneer de effecten met uitsluiting van *Brosicus cephalotes* anders zijn dan voor de totale dataset wordt dit in de tekst vermeld.

3.3.2.1 Trofische groep

Soorten met een (generalistisch) carnivore levenswijze kenden de hoogste activiteit, soorten met een gemengde strategie (carni-herbivoor) en herbivore soorten zijn in alle gevallen in erg lage aantallen in de monsters aangetroffen (Fig. 3.9). Insectivore soorten waren eveneens minder talrijk, maar waren nog wel beduidend talrijker dan de eerdergenoemde groepen. P-additie had enkel een significant negatief effect op de AD van soorten met een insectivore levenswijze (GLMM: $z=-2.26$, $p<0.05$), naast een sterker negatief effect van dolokaal additie (GLMM: $z=4.16$, $p<0.001$). Dolokaal additie leidde zowel voor herbivore (GLMM: $z=-2.66$, $p<0.01$) soorten als carnivore (GLMM: $z=-4.27$, $p<0.001$) soorten tot een significant lagere AD. Soorten met een gemengde strategie werden niet significant beïnvloed in AD door dolokaal of P additie.

De verschillen in respons tussen de verschillende groepen is weergegeven in Fig. 3.10. Het effect van dolokaal additie op de AD van carnivore en insectivore loopkevers was sterker negatief dan op herbivore loopkevers.

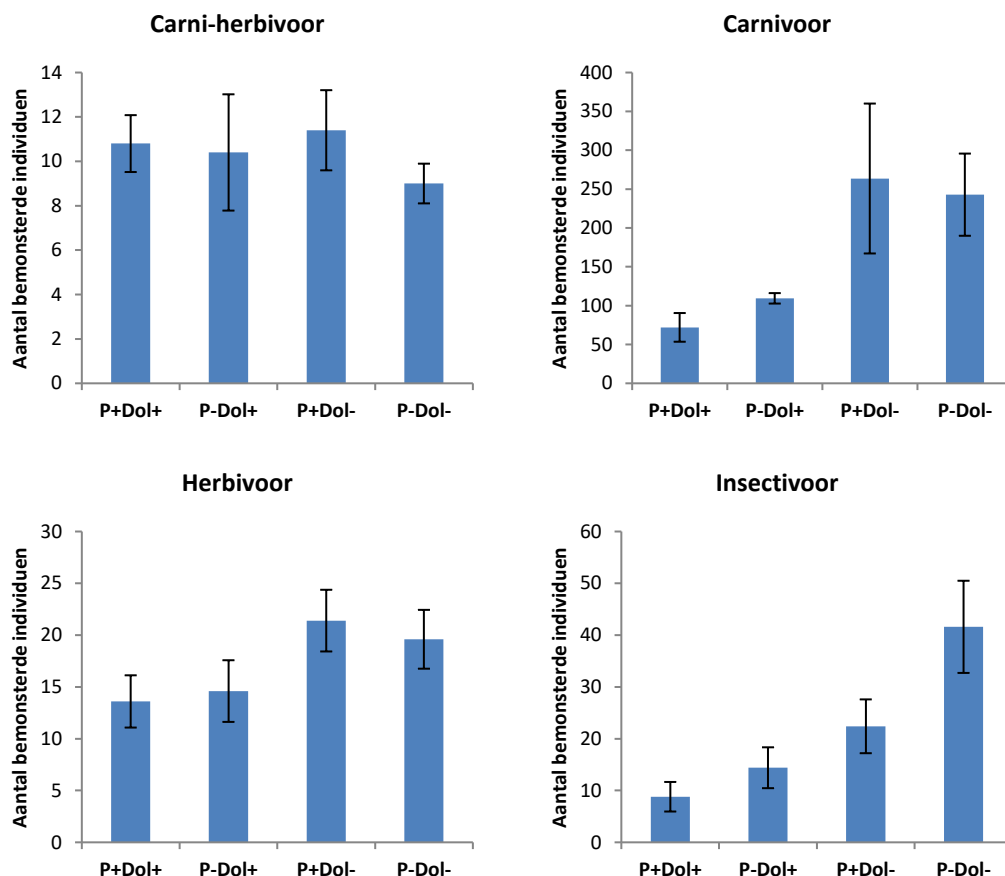


Fig. 3.9. Activity-density ($\bar{x} \pm$ standaardfout) van loopkevers in de verschillende behandelingen verdeeld over trofische groepen. Dol= Dolokaal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

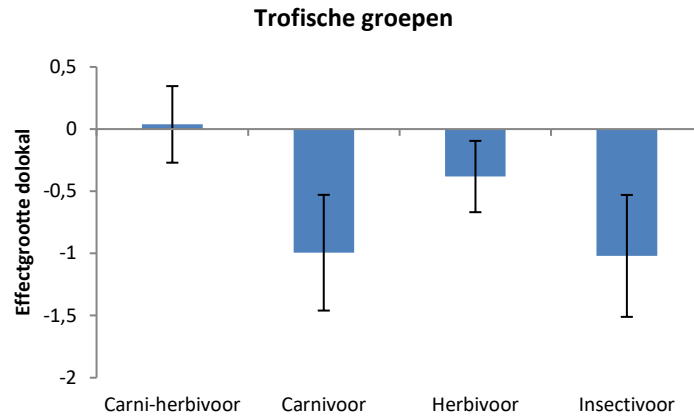


Fig. 3.10. Vergelijking van de effectgroottes (parameter estimate ± 95% CI) van dolokal additie op de activity-density van loopkevers, verdeeld over trofische groepen.

3.3.2.2 Reproductieve periode

De AD van soorten met winterreproductie was overal zeer laag en betrof slecht incidentele vangsten. Ook soorten met hun reproductieve periode in de zomer zijn in relatief lage aantallen aangetroffen. *Broscus cephalotes* is de talrijkst bemonsterde vertegenwoordiger van deze groep. Verreweg de meeste soorten zijn voorjaarsreproduceerders, of afstand gevolgd door soorten met hun reproductieve periode in het najaar.

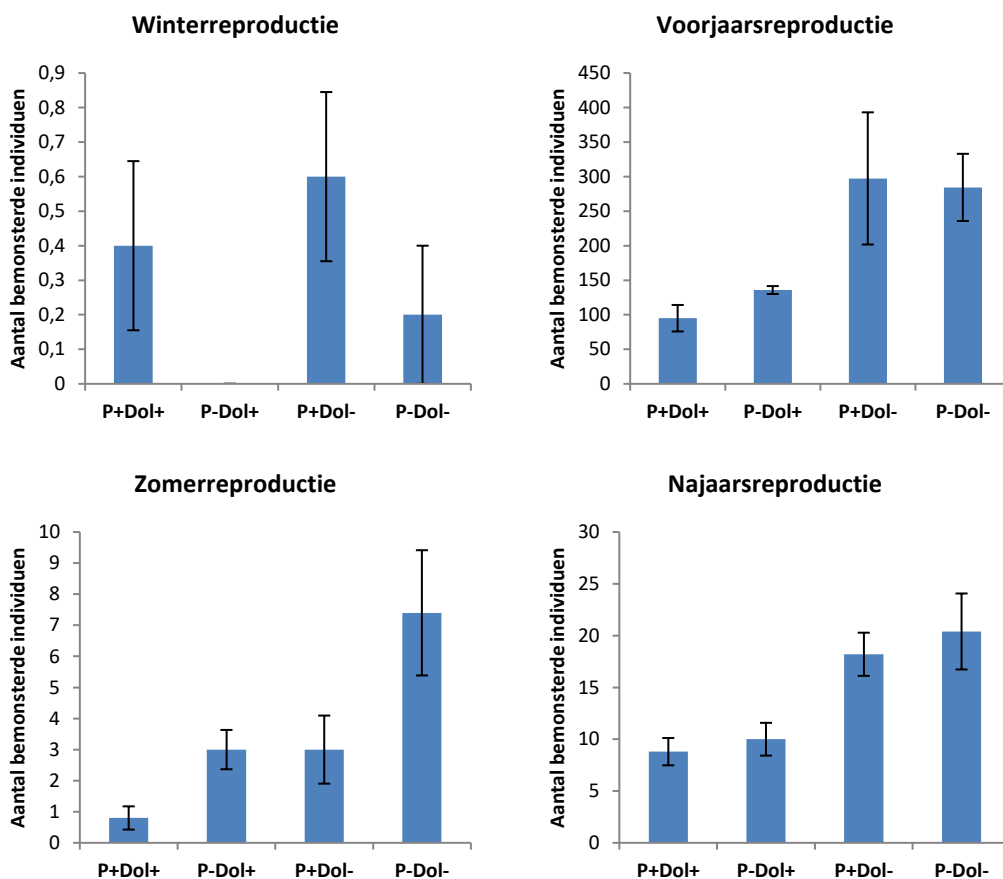


Fig. 3.11. Activity-density ($\bar{x} \pm$ standaardfout) van loopkevers in de verschillende behandelingen verdeeld over groepen met dezelfde reproductieve periode. Dol= Dolokal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

Er was geen significant effect van Dol of P-additie op de AD van winterreproduceerders. Dol-additie had een significant negatief effect op de AD van zowel voorjaars- (GLMM: $z=-4.76$, $p<0.001$) als najaarsreproduceerders (GLMM: $z=-4.77$, $p<0.001$); P-additie had geen significant effect op de AD van deze groepen. Zowel P- als Dol-additie had een negatief effect op de AD van soorten met zomerreproductie (GLMM: P-additie: $z=-3.48$, $p<0.001$; Dol-additie: $z=-3.46$, $p<0.001$). Met omissie van *Broscus cephalotes* uit de dataset was er geen significant effect van Dol en/of P-additie op de AD van de resterende groep zomerreproduceerders.

De verschillen in respons tussen de verschillende groepen is weergegeven in Fig. 3.12. Uit deze figuur is op te maken dat het effect van dolokal additie op de AD van voorjaars- en najaarsreproduceerders van vergelijkbare grootte is.

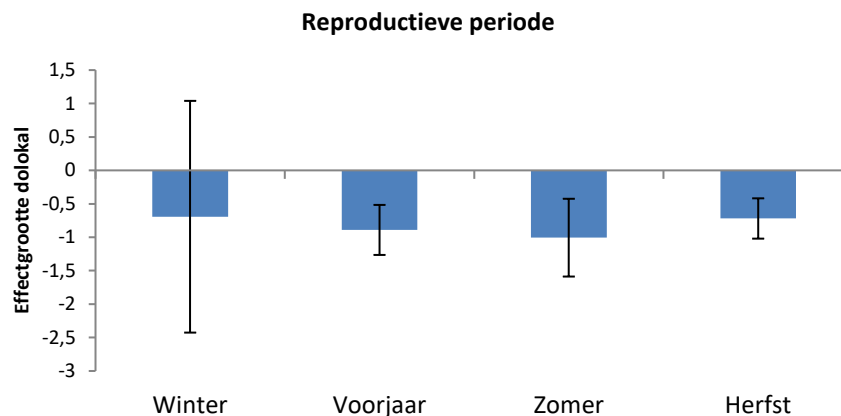


Fig. 3.12. Vergelijking van de effectgroottes (parameter estimate ± 95% CI) van dolokal additie op de activity-density van loopkevers, verdeeld over groepen met dezelfde reproductieve periode.

3.3.2.3 Grootteklassen

Afgezien van de kleinste soorten (grootteklasse 0-2 mm) had Dol-additie een significant negatief effect op de AD van alle grootteklassen (Fig. 3.13; GLMM: $z=-3.06-5.97$; $p<0.05$ en lager). Het aantal vangsten van soorten behorende tot deze kleinste groep was erg laag en varieerde sterk tussen de verschillende blokken (gemiddeld tussen 0.4 en 1.6 individuen per behandelcombinatie over de totale vangperiode). P-additie had enkel een significant negatief effect op de AD van soorten behorende tot grootteklasse 15-20 mm (GLMM: $z=-2.69$; $p<0.01$). Tot deze grootteklasse behoort ook *Broscus cephalotes*. Bij omissie van deze soort uit de analyse was er geen significant effect van P-additie op de AD van de resterende soorten (GLMM: $z=-0.77$ $p=0.44$); het effect van Dol-additie bleef echter wel significant bij omissie van *Broscus cephalotes* en de effectgrootte veranderde eveneens weinig (GLMM: inclusief *Broscus*: $z=-5.97$; exclusief *Broscus*: $z=-5.08$).

De respons op Dol-additie op de AD van de verschillende grootteklassen liet een opvallend patroon zien (Fig. 3.14). Soorten behorende bij de grotere klassen (10-15 en 15-20 mm) kennen een sterkere daling in AD als gevolg van Dol additie dan de soorten behorende bij de kleinere klassen. (3-5 en 6-10). Uitzondering hierop is de respons van de soorten behorende tot grootste klasse (21-30), die vergelijkbaar was met die van de kleinere soorten.

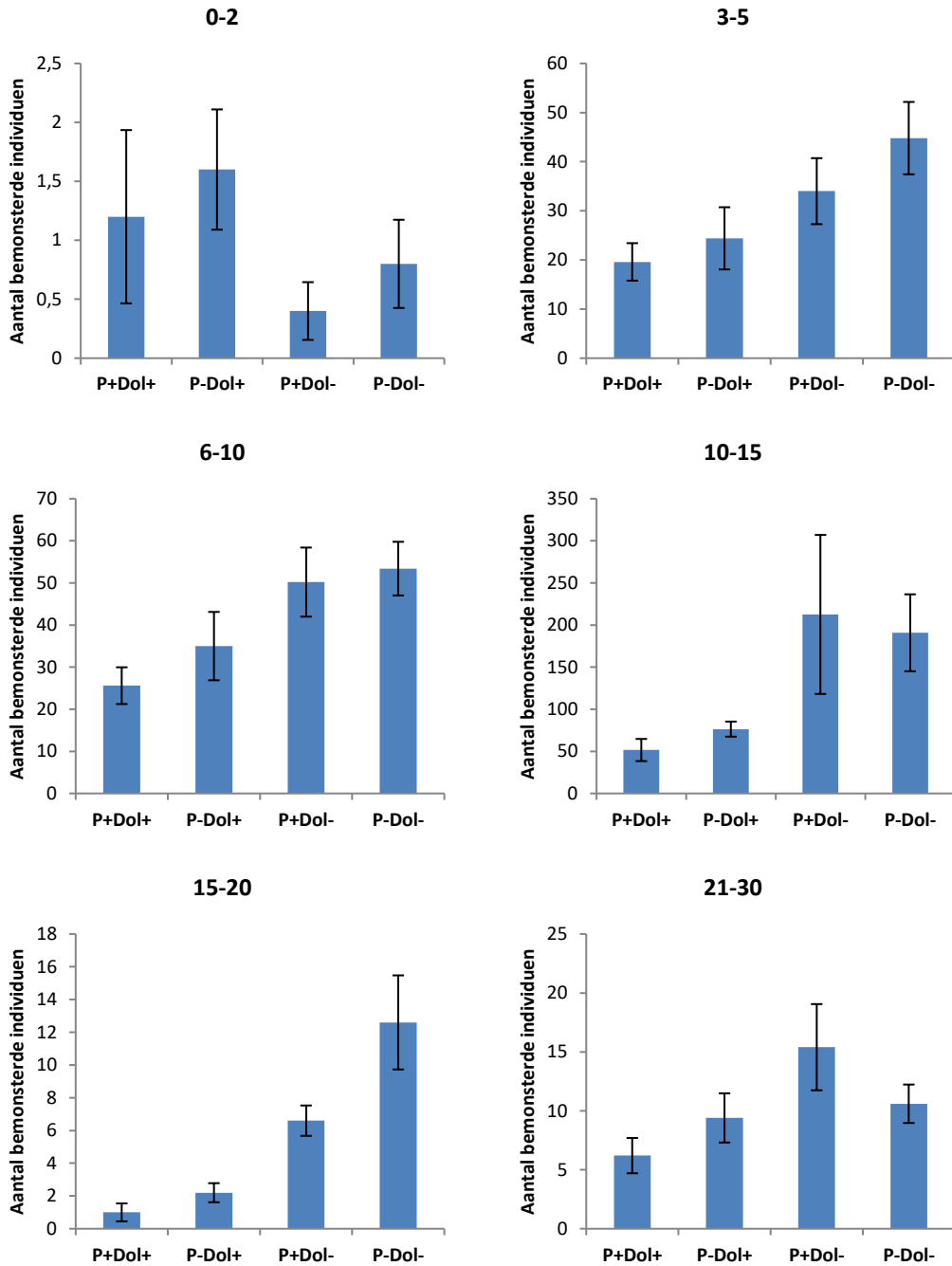


Fig. 3.13. Activity-density ($\bar{x} \pm$ standaardfout) van loopkevers in de verschillende behandelingen verdeeld over grootteklassen (in mm lichaamslengte). Dol= Dolokal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

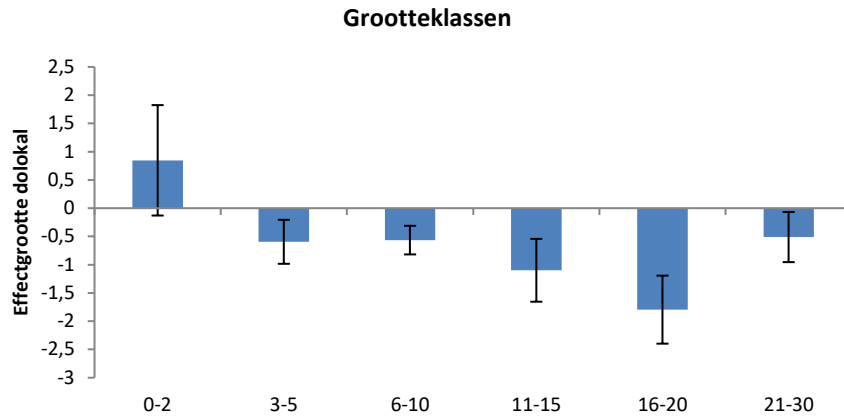


Fig. 3.14. Vergelijking van de effectgroottes (parameter estimate \pm 95% CI) van dolokal additie op de activity-density van loopkevers, verdeeld over grootteklassen.

3.3.2.4 Vliegvermogen

Soorten zonder vliegvermogen waren met gemiddeld 12 tot 27 individuen beduidend minder talrijk aangetroffen in de potvallen dan soorten met vliegvermogen (74-253). Zowel soorten met als zonder vliegvermogen reageerden negatief in AD op dolokal additie (Fig. 3.15; GLMM: zonder vliegvermogen: $z=-2.38$, $p<0.01$; met vliegvermogen: $z=-4.78$, $p<0.001$). P-additie had geen significant effect op de AD van beide soortgroepen. Soorten met vliegvermogen lieten een sterkere negatieve respons zien op dolokal additie dan soorten zonder vliegvermogen (Fig. 3.16).

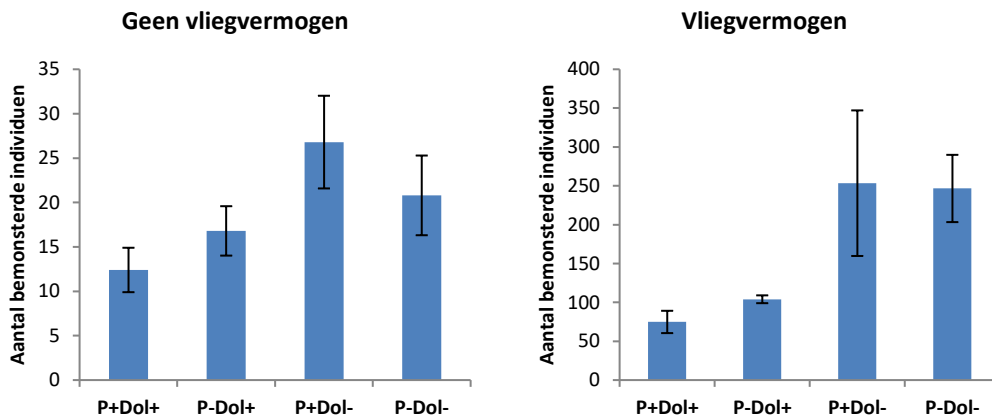


Fig. 3.15. Activity-density ($\bar{x} \pm$ standaardfout) van loopkevers in de verschillende behandelingen verdeeld over groepen met en zonder vliegvermogen. Dol= Dolokal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

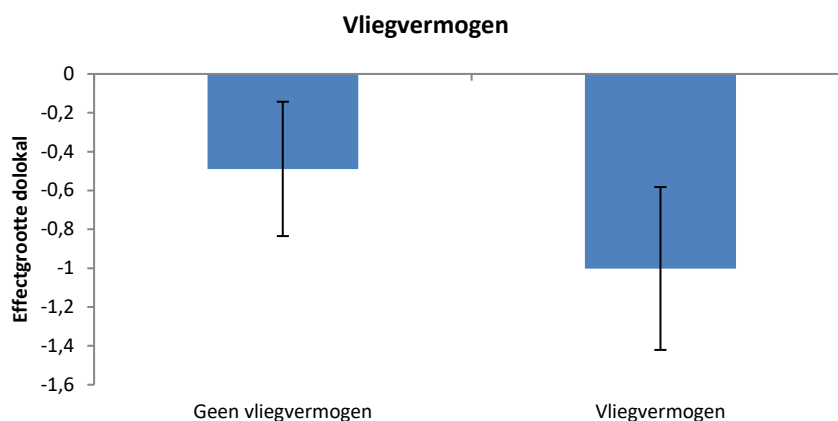


Fig. 3.16. Vergelijking van de effectgroottes (parameter estimate ± 95% CI) van dolokal additie op de activity-density van loopkevers, verdeeld over groepen met en zonder vliegvermogen.

3.3.3 Habitatspecificiteit

3.3.3.1 Habitatbinding

Alle groepen reageerden significant negatief in AD op dolokal additie (Fig. 3.17; GLMM: $z=-2.19$; -4.21; -4.74 en -5.20; $p<0.05$ voor sterk stenotop soorten; $P<0.001$). Sterk stenotop soorten en sterk eurytop soorten reageerden tevens significant negatief in AD op P-additie (GLMM: sterk stenotoop: $z=-2.19$, $p<0.05$; sterk eurytoop: $z=-2.46$, $p<0.05$). Sterk aan één specifiek habitat gebonden soorten (sterk stenotoop) kenden in alle behandelingen een lage activiteit, met gemiddeld 0-1.2 gevangen individuen per behandelingscombinatie. Deze groep bestaat uit totaal 3 soorten: *Calosoma inquisitor*, *Dyschirius angustatus* en *Harpalus distinguendus*. De eerstgenoemde soort betreft een incidentele vangst van een soort met een boombewonende levenswijze. *D. angustatus* is een gravende soort met een voorkeur voor onbegroeide zandige plekken met leem of klei in de ondergrond (Turin, 2000). Deze werd eenmalig aangetroffen in een P-Dol-behandelcombinatie. *H. distinguendus* is een soort van open, zandige xerotherme bodems. Deze soort is enkel aangetroffen in de controle behandelingen. Soorten met een minder sterke habitatbinding kenden een beduidend hogere AD, maar dit betrof hoofdzakelijk 1 soort; *Nebria salina*. Dit is een kenmerkende soort voor open, droge, relatief voedselarme terreinen zoals heide en stuifzanden, maar wordt het meest talrijk in extensief bewerkte cultuurgronden aangetroffen. Voor heidegebieden zijn deze habitats het best vertaalbaar als behorende tot de heischrale graslanden.

De mate van de respons van de verschillende groepen op de dolokal behandelingen is weergegeven in Fig. 3.18. Hieruit is op te maken dat de groepen van soorten met een relatief sterke habitatbinding (sterk en matig stenotoop) een sterkere negatieve respons op de dolokal behandeling lieten zien dan de matig en sterk eurytop soorten.

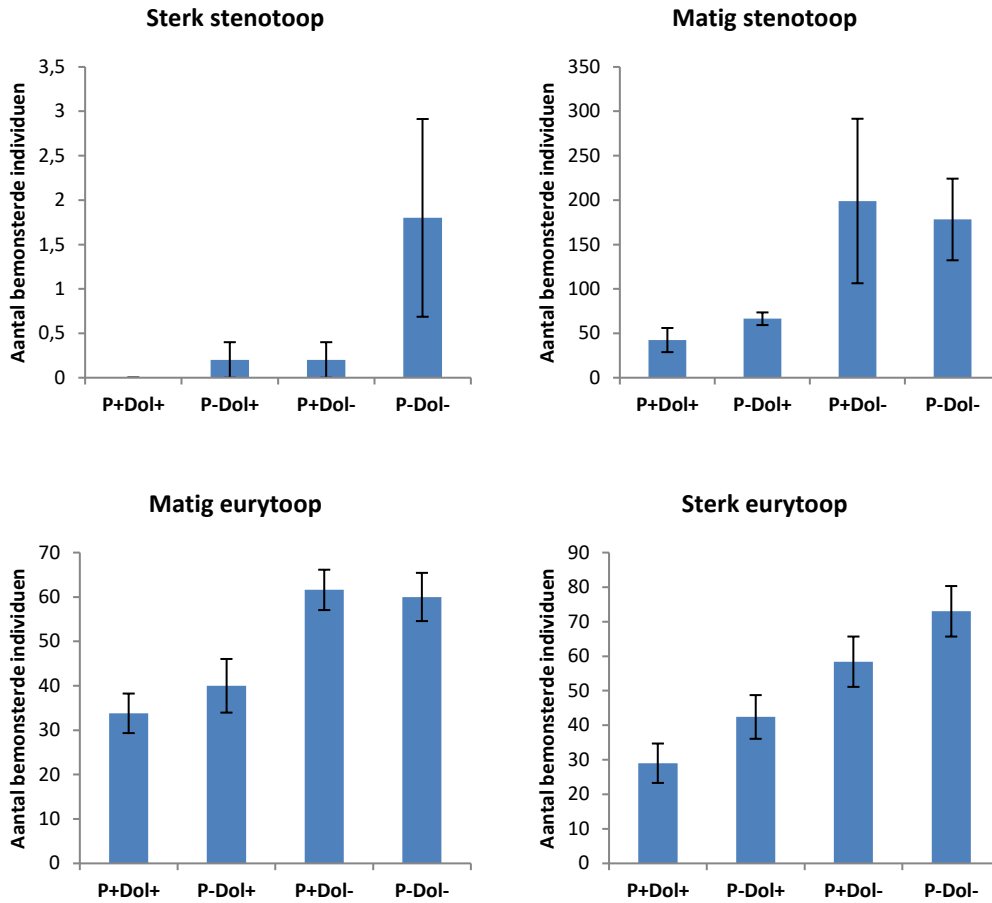


Fig. 3.17. Activity-density ($\bar{x} \pm$ standaardfout) van loopkevers in de verschillende behandelingen verdeeld over groepen met verschillende mate van habitatbinding. Dol= Dolokal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

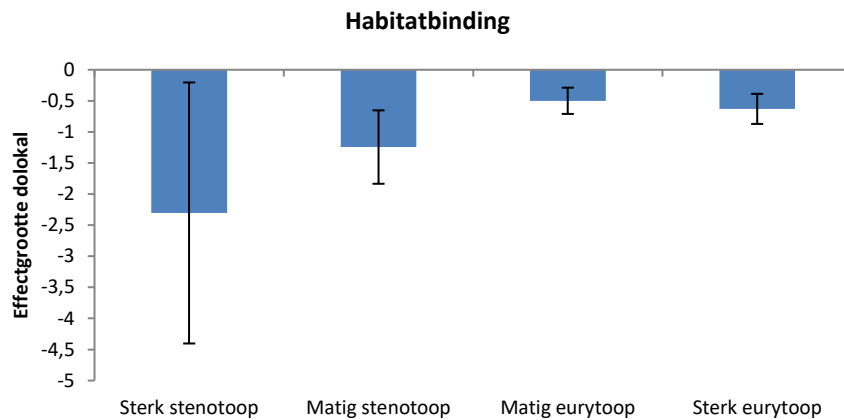


Fig. 3.18. Vergelijking van de effectgroottes (parameter estimate \pm 95% CI) van dolokal additie op de activity-density van loopkevers, verdeeld over groepen met verschillende mate van habitatbinding.

3.3.3.2 Habitatvoorkeur

In de bemonstering zijn, naast soorten met een brede ecologische range (eurytope soorten) met name soorten gevonden met een voorkeur voor heidebegroeiingen, bossen en extensieve cultuurgronden. Dit laatste type is door Turin (2000) vrij ruim omschreven en omvat onder andere extensieve akkers op zandgrond, maar ook langdurig braakliggende akkers, jonge bosbeplantingen en heischrale graslanden.

De AD van alle groepen was significant lager in de met dolokaal behandelde plots (Fig. 3.19; GLMM: $z = -3.53$; -3.87 , -4.27 en -4.51 ; $p < 0.001$). De AD van geen van de groepen werd significant door P-additie beïnvloed. Soorten van extensieve cultuurgronden reageerden sterker negatief op dolokaal additie dan soorten van heide, bossen of eurytope soorten (Fig. 3.20).

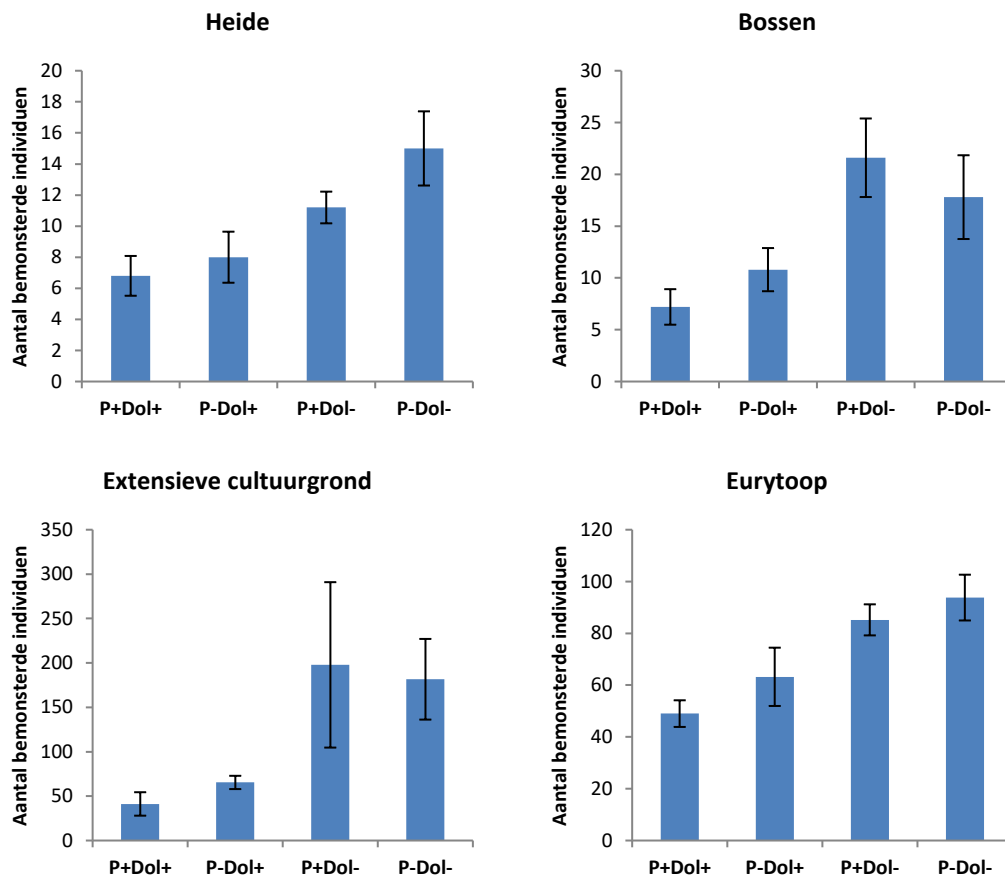


Fig. 3.19. Activity-density ($\bar{x} \pm$ standaardfout) van loopkevers in de verschillende behandelingen verdeeld over groepen met verschillende habitatvoorkeur. Dol= Dolokaal, P= fosfaat; [-]= niet toegediend en [+]= wel toegediend.

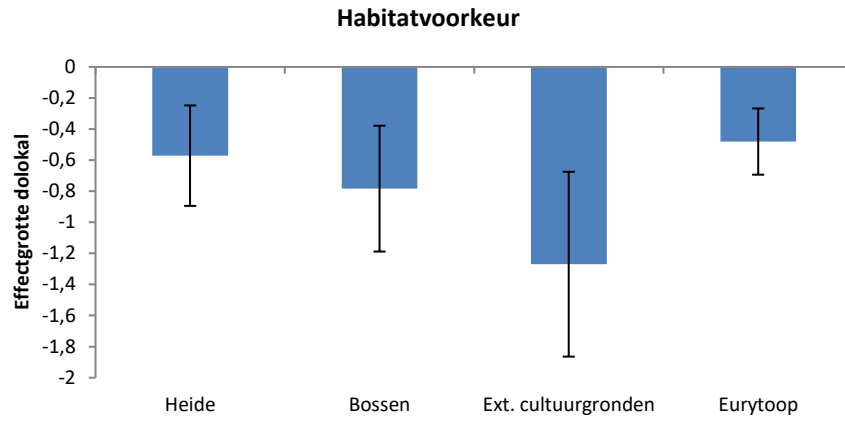


Fig. 3.20. Vergelijking van de effectgroottes (parameter estimate \pm 95% CI) van dolokal additie op de activity-density van loopkevers, verdeeld over groepen met verschillende habitatvoorkeur.

4 Conclusies en discussie

4.1 Conclusies vegetatieontwikkeling

4.1.1 Kruidlaag

- Ten opzichte van 2014 is het aantal soorten voor alle behandelingen flink toegenomen. In totaal zijn 40 nieuwe soorten aangetroffen. Dit verschil zal deels worden veroorzaakt door verschil in opnametijdstip: late najaar in 2014 en voorzomer in 2015.
- De in 2014 gesignaleerde positieve ontwikkeling in vestiging van karakteristieke soorten van droge heide en heischraal grasland zet zich door en heeft zich versterkt door de vestiging van nieuwe soorten uit deze categorie in verschillende blokken, zoals Stekelbrem (*Genista anglica*) en Bosdroogbloem (*Gnaphalium sylvaticum*). Andere soorten uit deze categorie vertonen een opvallende uitbreiding, zoals Liggend Walstro (*Galium saxatile*) en Kruipbrem (*Genista pilosa*).
- De totale bedekking van de kruidlaag neemt voor alle behandelingen slechts weinig toe (ca. 5%) wat geheel voor rekening komt van Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*).

4.1.2 Moslaag

- In alle plots is in het derde seizoen na plaggen in de moslaag nog steeds sprake van dominantie van weinig concurrentiekrachtige topkapselmossen; de voor oudere geplagde heidevegetaties karakteristieke concurrentiekrachtige soorten Heideklauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*) en Gewoon Gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) zijn alleen marginaal aanwezig. De tweedeling in ontwikkeling voor Dol+ en Dol- wordt verder versterkt.
- In de bekalkte plots (Dol+) komt Purpersteeltje (*Ceratodon purpureus*) tot dominantie in de moslaag met vooralsnog een bijdrage van Grofkorrelknikmos (*Bryum dichotomum*) van 1-5%, een soort van droge, minerale, basenrijke standplaatsen.
- De relatief hoge soortendiversiteit als gevolg van bekalking komt door soorten met een zeer lage bedekking. Hoewel deze diversiteit naar verwachting zal afnemen, lijkt de mosontwikkeling voor langere tijd in samenstelling structureel gewijzigd door bekalking.
- In de niet-bekalkte plots (Dol-) is Grijs Kronkelsteeltje (*Campylopus introflexus*) de dominante soort als gevolg van sterke uitbreiding in 2015, deels ten koste van Breekblaadje (*C. pyriformis*); Gewoon Pluisjesmos (*Dicranella heteromalla*) weet zich op de bij het plaggen gespaarde H-lagen goed te handhaven.
- Fosfaatbemesting zonder meer heeft de ontwikkeling van de moslaag versneld maar in samenstelling niet gewijzigd ten opzichte van de ontwikkeling in onbehandelde plagplekken.

4.2 Conclusies plantchemie

- P-bemesting na plaggen leidt tot duidelijk hogere P-gehalten en lagere N/P ratio's in zowel Struikhei, Pijpenstrootje als kruiden.
- Bekalken leidt tot hogere P-gehalten en lagere N/P ratio's in Pijpenstrootje en kruiden.
- Bekalken heeft geen effect op het Ca-gehalte in Struikhei en Pijpenstrootje. In kruiden leidt bekalken tot hogere Ca-gehalten in de plant.
- P-bemesting leidt tot hogere Ca-gehalten in Pijpenstrootje en kruiden.
- Bekalken leidt tot hogere Mg-gehalten in planten. Dit is vooral het geval in Pijpenstrootje en kruiden, het Mg-gehalte is 3x zo hoog na bekalking.
- Bekalken en P-bemesting leiden tot lagere Al-gehalten in Struikhei en kruiden, in Pijpenstrootje zijn deze effecten niet vastgesteld.
- P-bemesting leidt tot lagere Fe-gehalten in Struikhei en kruiden. In Pijpenstrootje is een interactie effect gemeten van P-bemesting en bekalken.
- Het Mn-gehalte van de vegetatie is in Struikhei als gevolg van bekalken significant lager. In Pijpenstrootje en kruiden is geen significant effect van bekalking op het Mn-gehalte gemeten.

4.3 Conclusies loopkever respons

Op basis van de respons van loopkevers kan het volgende worden geconcludeerd:

- P-additie heeft geen positief effect gesorteerd op de diversiteit noch de activiteit van loopkevers.
- P-additie had, naast Dolokal additie, in een aantal gevallen een significant negatief effect op de AD van trait groepen. Dit effect was in nagenoeg alle gevallen herleidbaar tot een sterke afname van de gravende soort *Broscus cephalotes* in alle behandelcombinaties ten opzichte van de controle. Van deze soort is bekend dat deze een sterke voorkeur heeft voor kale, onbegroeide zandige bodems; een situatie die met name in de controle behandelingen van toepassing is, waar de bedekking van vaatplanten en mossen sterk achterblijft.
- P-additie heeft niet geleid tot een (sterker) positief effect op de activiteit en/of soortenrijkdom van herbivore loopkevers.
- Dolokal additie heeft een sterk negatief effect op de activiteit van loopkevers, maar niet op de soortenrijkdom.
- De AD van herbivore soorten was in alle plots relatief laag. Carnivore soorten namen relatief sterker af dan herbivore soorten.
- Soorten met een relatief hoog dispersievermogen (grote soorten en/of soorten met vliegvermogen) namen sterker af in AD dan soorten met een relatief laag dispersevermogen.
- Soorten met een sterke habitatbinding en/of soorten met een voorkeur voor extensief bewerkte cultuurgronden (braak akkers, schraalgraslanden) namen sterker af dan meer eurytope soorten en/of soorten met een voorkeur voor heide of bos.

4.4 Discussie

4.4.1 Vegetatieontwikkeling

De vegetatieopnamen in het monitoringsjaar laten zien dat de vegetatieontwikkeling in de proefvlakken nog verre van compleet is. Het aantal soorten vaatplanten nam toe in alle plots ten opzichte van het voorgaande onderzoeksjaar. De eerder geconstateerde positieve interactie met betrekking tot de behandelingen Dolokal en P was in dit monitoringsjaar niet meer aanwezig. Wel bleef het aantal vaatplanten het hoogst in de gecombineerde behandeling en het laagst in de controle. Bovendien namen karakteristieke soorten van droge heide en heischrale graslanden toe in aantal en bedekking, waardoor de conclusies in de rapportage van het hoofdproject (Vogels et al., 2016) in belangrijke mate hetzelfde blijven. Na plaggen wordt de kieming en vestiging van karakteristieke vaatplanten in droge heide sterk geremd door zowel een te hoge zuurgraad als een te lage beschikbaarheid van fosfaat.

De totale bedekking door vaatplanten bleef echter ook in het monitoringsjaar nog erg laag, waardoor ook na afronding van het monitoringsjaar met voorzichtigheid moet worden omgegaan met de resultaten tot nu toe. Pijpenstrootje lijkt eveneens in de proefvlakken toe te nemen. Het is niet uitgesloten dat in de toekomst hervergrassing door pijpenstrootje op zal treden. Pas als de vegetatiesuccessie in verder gevorderd stadium verkeert kan pas worden vastgesteld hoe veel van de nu in de plots gevestigde soorten stand hebben kunnen houden in de experimenten.

De ontwikkeling van de moslaagbleek eveneens nog sterk in beweging. Daar waar deze in de controle behandelingen nog nauwelijks ontwikkeld was in 2014 bleek deze in het volgende onderzoeksjaar ook hier sterk tot ontwikkeling te komen. In de behandelingen zonder Dolokal (controle en P+Dol-) bleek deze moslaag echter nagenoeg volledig door Grijs kronkelsteeltje (*Campylopus introflexus*) te worden ingenomen, bij de behandelingen met kalk ontwikkelde zich een meer gevarieerder mosflora. Ook hier moet worden opgemerkt dat de huidige mosflora nog hoofdzakelijk bestaat uit pioniersoorten van open bodems, en dat de vestiging van climax-stadium soorten nog op zich laat wachten. Het remmende effect van bekalking op uitbreiding van de

probleemsoort Grijs Kronkelsteeltje is een duidelijke indicatie dat deze soort profiteert van de sterk zure omstandigheden die optreden na plaggen. Of dolokal toediening een effectieve bestrijdende maatregel is tegen dominante uitbreiding kan echter niet op basis van deze resultaten worden gegeven. Immers, ook in de dolokal behandelde plots nam de soort toe ten opzichte van het eerste meetjaar. Als deze trend zich in de toekomst doorzet kan enkel gesproken worden van een vertraging als gevolg van bekalking. Van fosfaatbemesting kan worden opgemerkt dat deze de ontwikkeling van de moslaag sterk versnelt maar niet verandert ten opzichte van de niet P-bemeste zusterbehandelingen.

4.4.2 Plantchemie

Ook in het vervolg monitoringsjaar is het effect van P-bemesting op de vegetatie nog meetbaar in de planten. In alle onderzochte soortgroepen nam het P-gehalte significant toe. In Pijpenstrootje en kruiden had ook dolokal additie een kleiner, maar significant additief effect op het P-gehalte van de plant. Het toedienen van P heeft er toe geleid dat de vegetatie zeer waarschijnlijk van P-gelimiteerd naar N-gelimiteerd is verschoven.

De eerder gemeten effecten van bekalking op gehalten van Ca, Mg (beide hoger), Al, Fe en Mn (allen lager) in struikhei lijken in dit monitoringsjaar weer geleidelijk af te nemen. Er zijn geen significante verschillen meer gevonden in Ca gehalten in Struikhei, maar nog wel in Pijpenstrootje en kruiden. Het Mg gehalte in planten is nog wel sterk verhoogd in de planten, tot wel drie maal zo hoog in Pijpenstrootje en kruiden. De eerder gevonden sterke afname van Mn in planten is in dit jaar enkel nog significant waargenomen bij Struikhei, maar niet meer significant bij Pijpenstrootje of bij kruiden. Opgemerkt moet worden dat er tussen de monsterlocaties sterke verschillen bestonden in de Mn gehalten in de niet bekalkte plots, terwijl deze in de bekalkte plots steevast laag waren. Door de hoge mate van spreiding in Mn gehalten in kruidachtigen (Fig. 3.7) in de niet bekalkte plots zijn de verschillen statistisch niet significant verschillend. Het is echter niet ondenkbaar dat bekalking ook hier in werkelijkheid nog een remmend effect heeft op de Mn opname, gezien het verschil in spreiding tussen de behandelingen. De Al gehalten in de plant zijn in zowel struikhei als kruiden nog steeds sterk verlaagd, dit is als positief te beoordelen aangezien de hogere concentraties Al in de plant eerder toxisch zullen zijn voor herbivoren dan dat de lagere concentraties tot gebreken zullen leiden. Al met al lijkt het er dus op dat de sterke verschuivingen in metaalconcentraties in het monitoringsjaar wat beginnen af te zwakken, maar de effecten van bekalking op metaal concentraties in de plant zijn nog steeds meetbaar aanwezig.

4.4.3 Loopkever respons

In het eerder uitgevoerde onderzoek (Vogels et al., 2016) bleek dat P-additie (en bijgevolg sterke verlaging van plant N:P ratio) niet had geleid tot een sterke toename van het reproductief potentieel van de modelsoort Veldkrekkel. Wel bleek uit deze voedselproeven dat Veldkrekels een significant hogere reproductie per tijdseenheid behaalden. Dit subtielere effect van plantkwaliteit op de fitness van deze soort heeft zich in de veldsituatie niet vertaald in een hogere abundantie of soortenrijkdom van herbivore loopkevers. Dit heeft mogelijk te maken met de vrij specialistische voedingsstrategie van deze groep. Deze soorten zijn met name gespecialiseerd in het eten van zaden, van hoofdzakelijk grasachtigen (Turin, 2000). Op basis van het eerder uitgevoerde onderzoek naar de respons van de Veldkrekkel op de behandelingen en de in dit veldonderzoek vastgestelde respons van loopkevers kan in ieder geval worden geconcludeerd dat voedsellimitatie door te hoge N:P ratio's in de plant niet of slechts beperkt optreedt bij N:P ratio's lager dan 20. Uit een eerder uitgevoerde (correlatieve) studie in twee andere gebieden (Strabrechtse Heide en Dwingelderveld; Vogels et al., 2011, Vogels et al., 2017) werd evenwel een sterke relatie tussen plant N:P ratio en faunistische soortenrijkdom en dichtheden gevonden. De plant N:P ratio's in deze studie waren echter beduidend hoger dan die in het studiegebied van deze experimenten: de meerderheid van de bemonsterde planten kenden in dat onderzoek een N:P ratio tussen 20 en 30. In dit experiment was de N:P ratio van struikhei in de controle behandeling gemiddeld 20 voor zowel het huidige monitoringsjaar als bij het eerder uitgevoerde experimentele onderzoek. Ook is het mogelijk dat het verband tussen plant N:P ratio dat in het eerdere correlatieve onderzoek is

gevonden in werkelijkheid bepaald wordt door een ander onderliggend proces, dat zowel van direct causale invloed is op plant N:P ratio, als op de dichtheid van fauna. Plant N:P ratio werd in deze studie het best verklaard door uitwisselbaar Al in de bodem, wat er op wijst dat de bufferstatus van de bodem voor een deel bepalend is voor de P-gehalten in de plant. Als gevolg van bodemverzuring treedt echter ook uitspoeling van nutriënten plaats. Hoge plant N:P ratio's zijn dan ook in meer of mindere mate gecorreleerd met lage gehalten van elementen zoals K, Mg, Ca en Mn. Voor heidesystemen geldt in de regel dat relatief soortenrijke plantgemeenschappen ook een relatief lage plant N:P ratio hebben. Een hogere floristische diversiteit lijkt op basis van deze onderzoeksgegevens niet direct verantwoordelijk te zijn voor het verschil in soortenrijkdom: de met P behandelde vegetaties waren immers significant soortenrijker dan de niet met P behandelde vegetaties.

Een nadere analyse op basis van soorteigenschappen bracht aan het licht dat zowel herbivore als carnivore soorten negatief reageerden in AD in de dolokal behandelde plots. Opvallend was dat de (generalistisch) carnivore en (specialistisch) insectivore soorten een sterkere negatieve AD-respons lieten zien dan herbivore soorten. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat de groep van herbivore soorten overall een lage AD lieten zien. Er was geen verschil in mate van respons op de behandelingen met betrekking tot de reproductieve periode van soorten; alle groepen reageerden even sterk op dolokal additie. Grotere soorten en soorten met vliegvermogen reageerden relatief sterker negatief in gemeten AD op dolokal additie dan kleinere en/of ongevlugelde soorten. Het afwijkende patroon met betrekking tot de respons van de grootste soorten kan wellicht het gevolg zijn dat deze groep uitsluitend uit ongevlugelde soorten bestond, in tegenstelling tot de soorten in de andere hogere grootteklassen. Opvallend is ook dat de sterkste afname niet bij eurytope soorten gevonden werd, maar juist bij relatief stenotope soorten. De sterkere afname van soorten van schraalgraslanden (extensieve cultuurgronden) is gezien de vegetatieontwikkeling in de met dolokal behandelde plots eveneens zeer opmerkelijk, aangezien deze qua vegetatiesamenstelling meer heischrale soorten bevat dan de niet met dolokal behandelde plots.

Potvalbemonsteringen zijn semi-kwantitatief: het aantal bemonsterde individuen is zowel afhankelijk van de dichtheid van een soort als van de activiteit van de individuen. Dichtheden van loopkevers zijn primair gestuurd door een hoog voedselaanbod, maar de activiteit kan zowel als gevolg van een laag voedselaanbod (meer en actiever zoeken) als een hoog prooiaanbod (aantrekken van veel individuen uit de omgeving), of door andere factoren zoals verschillen in vegetatieweerstand worden beïnvloed. In dit geval is het meest aannemelijke scenario dat de verschillen in gemeten activity-density het gevolg is van verschillen in dichtheid en niet een gevolg van verschillen in vegetatieweerstand. In dat geval zou de AD in alle behandelingen lager moeten zijn t.o.v. de controle, want de bedekking door vaatplanten en mossen is in alle drie deze behandelcombinaties goed vergelijkbaar. Ook is het niet erg aannemelijk dat een hogere AD in de niet met dolokal behandelde plots het gevolg is van een sterk toegenomen fourageer activiteit door relatieve schaarste aan voedselbronnen. In de trait analyse kwam naar voren dat juist de soorten met een goede dispersie potentie het sterkst reageerden op de behandelingen. Deze soorten zijn juist in staat om terreindelen met een hoog voedselaanbod op te zoeken, en hoeven daarom niet hun activiteit aan te passen aan hun voedselbehoefte: zij kunnen immers hun foerageergebieden selecteren. Daarnaast is het gevonden sterke negatieve effect van dolokal additie op de reproductie van de Veldkrekel (Vogels et al., 2016) in lijn met de conclusie dat de afname in AD in de dolokal behandelde plots het gevolg is van een afname in voedselkwaliteit en/of resulterend hieruit: een afname van voedsel- en prooiaanbod voor loopkevers. Uit het faunistische onderdeel van dit monitoringsjaar kan derhalve worden geconcludeerd dat het eerder gevonden negatieve effect van Dolokal additie op de voedselkwaliteit van de Veldkrekel in de veldsituatie nog eens bevestigd wordt.

Het vinden van het causale mechanisme achter dit effect is een volgende logische stap; passende hypothesen zijn in de discussie van het voorliggende onderzoeksrapport (Vogels et al., 2016) al

genoemd, en het zou goed zijn om deze hypothesen in de praktijk te gaan toetsen. Hopelijk kan dit tot aanpassingen in de onderzochte maatregelcombinatie leiden, zodat deze niet alleen in floristisch opzicht positief effect heeft, maar ook leidt tot een verbetering van de habitatkwaliteit van karakteristieke fauna. Of op zijn minst, niet leidt tot een afname van de habitatkwaliteit voor fauna.

5 Literatuur

- Boeken, M., K. Desender, B. Drost, T. van Gijzen, B. Koese, J. Muilwijk, H. Turin & R. Vermeulen 2002. De Loopkevers van Nederland & Vlaanderen - (Coleoptera: Carabidae). Stichting Jeugdbondsuitgeverij, Utrecht.
- Skaug, H., D. Fournier, B. Bolker, A. Magnusson & A. Nielsen. 2015. Generalized Linear Mixed Models using AD Model Builder. R package version 0.8.1.
- Turin, H. 2000. De Nederlandse loopkevers. Verspreiding en oecologie (Coleoptera: Carabidae). Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & EIS-Nederland, Leiden.
- 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). DKI-EL&I, Den Haag, 238 pag.
- Vogels, J. J., W. C. E. P. Verberk, L. P. M. Lamers & H. Siepel 2017. Can changes in soil biochemistry and plant stoichiometry explain loss of animal diversity of heathlands? *Biological conservation* **212, Part B**:432-447.
- Vogels, J. J., M. Weijters, R. J. Bijlsma, R. W. de Waal, R. Bobbink & H. Siepel 2016. Fosfaatvoeging Heide. VBNE, Driebergen, 127 pag.