

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Kennisnetwerk OBN

**Herstel van heide door middel van
slow release mineralengift**

Resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek



Herstel van heide door middel van slow release mineralengift

Resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek



Radboud Universiteit





STICHTING HET NATIONALE PARK
DE HOGE VELUWE

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Provincie Noord-Brabant



© 2018 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Rapport nr. 2018/OBN222-DZ
Driebergen, 2018

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van BIJ12 en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. De experimenten zijn mede gefinancierd door de provincie Noord-Brabant onder subsidie nummers C2145729/3591327 en C2211146/4236820 en door stichting het Nationale Park De Hoge Veluwe.

Wijze van citeren: Weijters, M., R. Bobbink, E. Verbaarschot, B. van der Riet, J. Vogels, H. Bergsma & H. Siepel (2018). Herstel van heide door middel van slow release mineralengift – resultaten van 3 jaar steenmeelonderzoek. OBN222-DZ. VBNE, Driebergen.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de VBNE onder vermelding van code 2018/OBN222-DZ en het aantal exemplaren.

Oplage 70 exemplaren

Samenstelling M. Weijters, Onderzoekscentrum B-Ware
R. Bobbink, Onderzoekscentrum B-Ware
E. Verbaarschot, Stichting Bargerveen
B. van de Riet, Onderzoekscentrum B-Ware
J. Vogels, Stichting Bargerveen
H. Bergsma, BodemBergsma
H. Siepel, Radboud Universiteit

Foto voorkant Foto: Maaïke Weijters

Druk KNNV Uitgeverij/KNNV Publishing

Productie Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)
Adres : Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen
Telefoon : 0343-745250
E-mail : info@vbne.nl

Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, PAS, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

In het kader van Natura 2000 worden in Europees perspectief zeldzame soorten en vegetatietypen in Nederland beschermd. In dit rapport staan de Habitattypen droge heide (**H4030**) en natte heide (**H4010**) centraal. In het Nederlandse heidelandschap is sprake van groot verlies van biodiversiteit, zowel van planten als van dieren. Eén van de hoofdoorzaken hiervan is de verzurende én vermestende werking van atmosferische stikstofdepositie.

Verwerking is een proces dat van nature optreedt door koolzuur dat geproduceerd wordt in de bodem door plantenwortels en micro-organismen. Hierdoor verweren basische kation-leverende mineralen in alle bodems. Normaal gaat het verweren van kation-leverende mineralen zeer langzaam. Door de zeer hoge verzurende depositie van de afgelopen 5-6 decennia is deze verwerking van mineralen echter veel sneller verlopen. Voor veel bodems in het droge zandlandschap betekent dit dat de voorraad mineralen die basische kationen levert aan het bodemadsorptiecomplex sterk verlaagd is of zelfs bijna helemaal uitgeput. Dat betekent dat er, zelfs bij een sterk verlaagde N-depositie, vaak geen duurzaam herstel meer mogelijk is. Het aanvullen van de voorraad mineralen waaruit basische kationen vrij kunnen komen voor aanvulling van het bodemadsorptiecomplex, lijkt daarmee een noodzakelijke stap voor duurzaam herstel.

In dit rapport zijn de uitkomsten van drie jaar onderzoek naar de effecten van toediening van (minimaal) twee steenmeelsoorten en Dolokal in twee droge heiden (NP de Hoge Veluwe & Strabrechtse Heide) en één natte heide (NP de Hoge Veluwe) beschreven. Hierbij zijn de effecten van steenmeelgift op de bodemchemie, vegetatie en fauna gekwantificeerd.

De resultaten na drie jaar onderzoek zijn positief en zeker hoopgevend, in die zin dat er significante verbetering van de bodembuffering en vermindering van toxisch aluminium is opgetreden. Bij gebruik van Dolokal ligt het risico op negatieve effecten voor de fauna op de loer, waarschijnlijk gestuurd door P-tekorten onder bepaalde omstandigheden. Dit was echter bij de uitgeteste steenmeelsoorten niet het geval. Daarnaast leveren de verschillende geteste steenmeelsoorten elementen in verschillende verhoudingen en hebben ze een andere reactiesnelheid, ook deels per element. Ook zijn de lange termijneffecten van steenmeeltoediening op heidebodems en het voedselweb nog onbekend.

Toch adviseren de auteurs van dit rapport samen met het Deskundigenteam Droog zandlandschap, gezien de zeer ernstige situatie waarin het heidelandschap zich momenteel bevindt, de toediening van steenmeel in droge en natte heide, na vooronderzoek, op te schalen.

Ik wens u veel leesplezier.

Teo Wams

Voorzitter van de OBN Adviescommissie

Inhoudsopgave

Samenvatting en synthese	7
Summary and synthesis	21
1 Inleiding	37
1.1 Context	37
1.2 Focus huidig onderzoek	38
1.3 De projecten	40
1.4 Onderzoeksconsortium	41
1.5 Leeswijzer	41
2 Steenmeel in natuurherstel	43
2.1 Gesteenten leveren nutriënten	43
2.2 Verzuring van minerale bodems	44
2.3 Ervaring met steenmeel buiten de landbouw	46
3 Beschrijving onderzoeksterreinen en opzet experimenten	47
3.1 Opzet praktijkexperimenten	47
4 Resultaten mineralogie	53
4.1 Inleiding	53
4.1.1 Aanpak vaststelling cumulatieve verwerking sinds de laatste ijstijd	53
4.1.2 Welk steenmeel is geschikt voor natuurbeheer?	53
4.2 Methoden	54
4.2.1 Monsternamen en analyse	54
4.2.2 Waarom is voor QEMSCAN gekozen boven klassieke mineraal determinatie en analysemethoden?	55
4.3 Oud Reemsterveld	56
4.3.1 Geologie van het Oud-Reemsterveld	56
4.3.2 Resultaten geochemie en mineralogie	56
4.3.3 Berekening steenmeelsoort en dosering	59
4.4 Deelense Veld	62
4.4.1 Geologie	62
4.4.2 Resultaten geochemie en mineralogie	62
4.4.3 Berekening steenmeelsoort en dosering	65
4.5 Strabrechtse heide	67
4.5.1 Geologie	67
4.5.2 Resultaten Geochemie en Mineralogie	68
4.5.3 Berekening steenmeelsoort en dosering	70

4.6	Dwingelderveld	72
4.6.1	Geologie	72
4.6.2	Resultaten geochemie en mineralogie	73
4.6.3	Berekening steenmeelsoort en dosering	75
4.7	Keuze steenmeel en geologische overweging	77
4.8	Conclusies	78
5	Bodemchemie	81
5.1	Inleiding	81
5.2	Methoden	81
5.2.1	Bemonstering van de bodem	81
5.2.2	Bewerking van de bodemmonsters	81
5.2.3	Analyses	82
5.3	Nulmeting	82
5.4	Bodembuffering	84
5.5	Nutriënten	91
5.6	Conclusies bodemchemische ontwikkelingen na 3 jaar	93
6	Plantchemie	95
6.1	Inleiding	95
6.2	Methoden	95
6.3	Ca, Mg en K in de planten	95
6.4	N- en P-gehalten in de planten	100
6.5	Schapezuring	100
6.6	Al, Fe, Zn en Si in de planten	102
6.7	Verhoudingen van elementen in de plant	104
6.8	Conclusies plantenmateriaal	105
7	Vegetatieopnamen	107
7.1	Methoden	107
7.2	Algemene vegetatiebeschrijving van de drie terreinen	107
7.3	Vegetatiebedekking	109
7.4	Soortenrijkdom van de vegetatie	112
7.5	Soortgroepen	114
7.6	Effecten van begrazing op de Strabrechtse heide	117
7.7	Conclusies effecten van steenmeel en Dolokal op vegetatie en soortensamenstelling	120

8	Effecten van N depositie op vuurvliners en de bufferende effecten van steenmeel	121
8.1	Inleiding	121
8.2	Methoden	122
8.3	Resultaten	125
8.3.1	Kweek van Kleine en Bruine vuurvliners	125
8.3.2	N-toevoeging	125
8.3.3	Toevoeging van Dolokal	128
8.3.4	Resultaten Biolit en Lurgi	129
8.4	Conclusies	132
9	Faunabemonsteringen	134
9.1	Inleiding	134
9.2	Methoden	134
9.2.1	Strabrechtse heide	134
9.2.2	Het Nationale Park de Hoge Veluwe	134
9.2.3	Analyse methodiek	135
9.3	Samenstelling van de loopkevergemeenschap	136
9.3.1	Interactie tussen begrazing en behandelingen op loopkever samenstelling	137
9.4	Effecten van behandelingen op activiteit en soortenrijkdom loopkevers	141
9.4.1	Totale loopkevergemeenschap	141
9.4.2	Verschillen uitgesplitst over trofische groepen	142
9.4.3	Verschillen uitgesplitst over habitatvoorkeur	143
9.5	Interactie met begrazing	145
9.5.1	Verschillen uitgesplitst over habitatvoorkeur	145
9.5.2	Verschillen uitgesplitst over trofische groepen	146
9.5.3	Verschillen uitgesplitst over habitatvoorkeur	148
9.6	Pissebedden	150
9.7	Rupsen en overige vegetatiebewonende fauna	152
9.7.1	Behandelingseffecten	152
9.7.2	Verschillen tussen begraasde en onbegraasde proefvlakken	154
9.8	Nationaal Park de Hoge Veluwe: Tweevleugeligen	155
9.8.1	Droge heide	156
9.8.2	Droge heide	156
9.9	Conclusies	157
10	Referenties	161
	Bijlagen	167

Samenvatting en synthese

Inleiding

In het Nederlandse heidelandschap is sprake van verlies van biodiversiteit, zowel van planten als van dieren (Bobbink & Hettelingh, 2011; Van der Zee et al., 2017; Halmann et al., 2017). Een van de oorzaken hiervan is de verzurende én vermistende werking van de atmosferische stikstofdepositie.

Een belangrijke component van het soortenverlies is de steeds doorgaande bodemverzuring, waarbij de zuurlast uit het verleden én de huidige (te) hoge zuurlast voor veranderingen in de bodem (Bergsma et al., 2018) en daarmee de voedselketen hebben gezorgd (Vogels et al., 2017). Verzuring van de (heide)bodem leidt tot een afname van beschikbare basische kationen, een toename in de beschikbare aluminiumconcentratie in de bodem en een verstoorde NH_4/NO_3 -ratio, waarbij ook interactie met vermisting bestaat (o.a. Bobbink et al., 2017). Dit is een van de verklaringen voor het verlies van plantensoorten kenmerkend van iets meer gebufferde condities, zoals Valkruid (*Arnica montana*) en Hondsviooltje (*Viola canina*). Verlies van deze soorten uit de heide tast de diversiteit van het landschap aan (De Graaf et al., 2009; Van der Zee et al., 2017).

Ook op de fauna werken de effecten van bodemverzuring door. Fosfaat blijkt minder makkelijk opneembaar te zijn onder zeer zure bodemcondities (Vogels et al., 2017, Siepel et al., 2018). Als gevolg van verstoorde P-opname en de toegenomen N-toevoer, verandert de N:P verhouding in de vegetatie. Hierdoor neemt de hoeveelheid insecten af, en daarmee ook de voedselbasis voor grotere soorten als Korhoen (Vogels, 2013). Daarnaast neemt door het verdwijnen van kruiden ook het bloemaanbod af en wordt minder divers. Er zijn zelfs signalen dat sommige terreindelen in de Veluwe zo sterk verzuurd zijn dat de beschikbare hoeveelheid calcium zo laag is dat huisjesslakken zijn verdwenen waardoor de eieren en jongen van de Koolmees zich slecht ontwikkelen (Van den Burg, 2017; Graveland & Drent, 1997).

Daarnaast zijn er signalen dat door de verzurende depositie uit de lucht de voorraad aan mineralen met basische kationen in delen van Nederland nagenoeg uitgeput is (Bergsma et al., 2018). In dat geval kan het systeem zichzelf zelfs bij sterk afgenomen zuurlast niet meer van nature via verwerking van deze mineralen herstellen. Dit alles in een setting waarbij de verzurende depositie in natuurgebieden door met name gereduceerd stikstof (ammoniak en ammonium) sinds 2005 niet meer substantieel afneemt en vaak zelfs toeneemt in het midden en oosten van Nederland en dus blijft accumuleren (Lolkema et al., 2015).

Traditionele bestrijding van verzuring

Regelmatig worden de negatieve effecten van verzuring bestreden met het toedienen van gemalen kalk (CaCO_3) of dolomiet (CaMgCO_3 ; "Dolokal"). Met deze maatregelen wordt de beschikbaarheid van Ca, of Ca en Mg in het geval van Dolokal, snel verhoogd in de bodem aangezien kalk of dolomiet snel verweren (=oplossen) onder zure omstandigheden. Dit is uitermate succesvol om de bodem weer geschikt te maken voor plantensoorten die gevoelig zijn voor de negatieve effecten van bodemverzuring – namelijk lage Ca-concentraties maar hoge Al-concentraties -, maar blijkt zeker niet altijd tot het gewenste systeemherstel te leiden.

Recent is aangetoond dat het toedienen van Dolokal na pluggen van zure, droge vergraste heide tot negatieve effecten op de fauna heeft geleid (Vogels et al., 2016; 2017). Hiervoor kunnen twee mogelijke oorzaken worden genoemd, namelijk 1) verstoorde element-ratio's waardoor de fauna onvoldoende andere voedingsstoffen of sporenelementen kan opnemen; 2) fosfaatlimitatie doordat het weinige beschikbare fosfaat in de bodem wordt gebonden aan de toegediende

bufferstoffen of aan Al- of Fe-complexen die bij hogere pH worden gevormd uit het opgeloste Al en Fe bij lage pH (Haynes, 1982). Daarnaast bestaat de angst dat met het toedienen van (hoge dosis) kalk of dolomiet de mineralisatie van organisch materiaal wordt versneld, waardoor er meer voedingsstoffen beschikbaar komen met mogelijke verzuuring van de vegetatie tot gevolg. Verder wordt met het toedienen van kalk of dolomiet de verloren fractie van bodemmineralen, die basische kationen leveren uit verwerking, niet aangevuld en wordt de beschikbaarheid van kalium, fosfor en sporenelementen daarmee ook niet verbeterd (Bergsma et al., 2018).

Samengevat zijn er dus meerdere kanttekeningen te plaatsen aangaande de duurzaamheid van kalk- of dolomiet toediening als breed inzetbare herstelmaatregel voor verzuurde (ongeplagde) heide.

Steenmeeladditie als mogelijk alternatief

Toediening van steenmeel (gemalen silicaatmineralen) kan in potentie een geschikte herstelmaatregel zijn voor herstel van verzuurde heidebodems. Doordat in het steenmeel mineralen aanwezig zijn die bij verwerking basische kationen leveren, kan het buffercomplex geleidelijk worden opgeladen. Daarnaast kan een steenmeel gekozen worden dat kationen en sporenelementen levert in een (bij benadering) "natuurlijke" verhouding, zoals aanwezig is in het moedermateriaal. Hierdoor worden in ieder geval geen negatieve of zelfs positieve effecten op de fauna verwacht en doordat er geen snelle of te sterke pH-stijgingen optreden, is het risico op verzuuring van de vegetatie verwaarloosbaar. Met het toedienen van steenmeel wordt daarnaast het zelfherstellend vermogen van de bodem gerestaureerd, waardoor de bodem ook op lange termijn verlies van kationen door natuurlijke processen en antropogene verzuring kan aanvullen. Sinds de laatste ijstijd is er in het Deelensche veld en Dwingelderveld tussen de 10 en 30 ton aan mineralen per hectare verdwenen uit de bovenste 15cm van de bodemlaag, in het Oud Reemsterveld rond de 50 ton/ha en op Strabrecht zelfs tussen de 60 en 90 ton/ha (Hoofdstuk 4). De vraag is welk gedeelte hiervan door natuurlijke processen is verweerd, en welk gedeelte versneld is verweerd door antropogene invloed. Op basis van metingen in het Nationaal Park (NP) de Hoge Veluwe is berekend dat de recente verwerkingssnelheid in de 20^e eeuw 100 maal hoger is dan het langjarig gemiddelde (Bergsma et al., 2018).

Met de in deze experimenten toegediende mineralengiften is gepoogd om in ieder geval een aanzienlijk deel van de door antropogene invloeden veroorzaakte verliezen aan te vullen. Uit o.a. Carson et al. (2007) is gebleken dat het veranderen van de mineralogie van graslandbodems kan leiden tot een verandering in de structuur van het bodemleven, en daarmee de stoffenkringloop. Omdat dit onwenselijk werd geacht, is gezocht naar stoffen die zo goed mogelijk zouden kunnen aansluiten bij de oorspronkelijke mineralogie van de onderzoeksterreinen. Gekeken naar het meer vulkanische achterland van de Rijn en het meer metamorfe achterland van de Maas, werd ervan uitgegaan dat het vulkanische Lurgi (Soilfeed) qua accessorische mineralen (amfibool, biotiet) beter bij de mineralen van Midden en Noord-Nederland zou passen en Biolit (met chloriet en muscoviet) beter bij de zuidelijke sedimenten. Uit de mineralogische analyses kwam echter naar voren dat de verschillen tussen noord en zuid niet zozeer in de mineralen amfibool, biotiet, muscoviet en chlorite zit maar in de voor de bodemvruchtbaarheid oninteressante mineralen als stauroliet, kyaniet en toermalijn. Wel is geconstateerd dat de noordelijke sedimenten allen rijker zijn aan de eerstgenoemde vier mineralen. Als we kijken naar de bulkmineralen (kaliveldspaat en albiet) past Lurgi (Soilfeed) het beste als aanvulling van de verweerde mineralen van zowel noordelijke als zuidelijke zandgronden.

In het in deze rapportage beschreven onderzoek is getracht antwoord te krijgen op de vraag of de toediening van steenmeel een geschikte herstelmaatregel kan zijn voor verzuurde, ongeplagde droge en natte heideterreinen. Het lange termijn doel van deze maatregel is het herstellen van het aangetaste heide-ecosysteem zodat kenmerkende flora en fauna zich kunnen handhaven en/of uitbreiden.

Steenmeel-additie zou, om dit te bereiken, tot de volgende resultaten moeten leiden:

- opladen buffercomplex om verdere verzuring van de bodem tegen te gaan en de concentratie beschikbaar aluminium en ammonium te verlagen zodat plantensoorten van het wat meer gebufferd heidemilieu weer ontwikkelingsmogelijkheden hebben in de herstelde heide;
- verbeteren voedselkwaliteit van de vegetatie door zowel Ca, Mg als K en eventueel P toe te dienen in een "natuurlijke" verhouding;
- voorraad aanleggen van mineralen die voor een lange periode (> 25 jaar) basische kationen kunnen leveren en zuur kunnen neutraliseren.

En dit alles zonder dat er:

- verruiging van de vegetatie optreedt als gevolg van versnelde afbraak van organisch materiaal;
- negatieve effecten optreden op de fauna door verstoorde element-ratio's en/of P-gebrek;
- andere, onvoorziene negatieve effecten van de steenmeeltoepassingen optreden.

In dit rapport zijn de uitkomsten van drie jaar onderzoek naar de effecten van toediening van (minimaal) twee steenmeelsoorten en Dolokal in twee droge heiden (NP de Hoge Veluwe & Strabrechtse Heide) en één natte heide (NP de Hoge Veluwe) beschreven. In deze synthese worden de gevolgen van zowel Dolokal toediening als de twee getoetste steenmelen in het licht van de juist genoemde zes doelstellingen geëvalueerd en bediscussieerd. De effecten van de verschillende steenmelen op bovengenoemde factoren zijn weergegeven in Tabel S.1.



Foto S.1. Verschillende opgebrachte bufferstoffen in het experiment op Strabrecht. Van links naar rechts: Dolokal, Biolit (fijne maling), Biolit (grovere maling), Lurgi en Lavagruis.

Experimenten

In de winter van 2014/2015 zijn drie experimenten met elk vijf herhalingen ("replica's") ingezet met als doel de effectiviteit van verschillende gemalen gesteente uit te testen als maatregel voor bufferherstel van heide (Foto S.1). De experimenten in het NP de Hoge Veluwe zijn gefinancierd door VBNE/OBN met cofinanciering van Stichting Het Nationale Park de Hoge Veluwe en het experiment op Strabrecht is gesubsidieerd door de Provincie Noord-Brabant (C2145729/3591327).

Tabel S.1. Effectmatrix.

	NP Hoge Veluwe						Strabrecht begraasde proefvlakken					
	Droge heide			Natte heide			Droge heide			Droge heide		
	Dolokal (5% Mg) 4 ton/ha	Lurgi 10 ton/ha	Biolit 10 ton/ha	Dolokal (5% Mg) 4 ton/ha	Lurgi 10 ton/ha	Biolit 10 ton/ha	Dolokal (15% Mg) 4 ton/ha	Lurgi 10 ton/ha	Biolit 10 ton/ha	Dolokal (15% Mg) 4 ton/ha	Lurgi 10 ton/ha	Biolit 10 ton/ha
<i>Bodem en plantchemie</i>												
pH	++	.	.	++	.	.	+	.	.	+	.	.
Basische kationen in bodem	+++ (Ca & Mg)*	++ (Ca & Mg)	+	+++ (Ca & Mg) + (Mg en Ca)	+	+	+++ (Ca & Mg)*	+	+	+++ (Ca & Mg)*	+	+
Basische kationen in heide	.	.	.	- (K)	.	.	+	.	.	+	.	.
Basische kationen in gras	+	+	+	+	+	+	+	- (Mg)	+	+	+	- (Mg)
Aluminium in bodem	.	.	.	--	.	.	---	.	.	---	.	.
P-beschikbaarheid in bodem	.	.	.	-	.	.	.	.	.	.	.	.
P beschikbaarheid in plant	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
K/Element ratio's in heide	.	.	.	- (K/Mg & K/Ca)	.	.	- (K/Mg & K/Ca)	+	+	- (K/Mg & K/Ca)	+	+
K/Element ratio's in gras	- (K/Mg & K/Ca)	- (K/Mg & K/Ca)	- (K/Mg & K/Ca)	.	.	.	- (K/Mg & K/Ca)	- (K/Ca)	- (K/Mg & K/Ca)	- (K/Mg & K/Ca)	- (K/Mg & K/Ca)	- (K/Mg & K/Ca)
<i>Ontwikkeling vegetatie</i>												
Dominantie heide	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dominantie grassen	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Soorten van meer gebufferd milieu	+	+	+	.	.	.	.	.	.	+	+	.
Structuurverandering	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+++ (begrazing)	+++ (begrazing)	+++ (begrazing)
<i>Loopkevers</i>												
Soorten Duijn, akker en open zand	x	x	x	x	x	x	x	x	x	+	+	.
Soorten Heide en Hoogveen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	.	.	-
Rupsen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	.	.	.
<i>Diptera</i>												
Herbivore Diptera	.	.	.	.	.	.	.	.	.	x	x	x
Detritivore Diptera	.	.	.	---	.	.	---	.	.	x	x	x
Carnivore Diptera	.	.	.	.	.	.	.	.	.	x	x	x

x = niet gemeten
***** = sterker dan gewenst
+++ = zeer sterke toename
++ = sterke toename
+ = toename
--- = zeer sterke afname
-- = sterke afname
-- = afname
. = geen verschil
() = afhankelijk van doelstelling
Significant verschil of trend maar onbekend of deze orde van grootte voor ecologische effecten zorgt
Gewenst effect
Ongewenst effect
Afhankelijk van doelstelling

Zo lang de kwaliteit van Biolit niet gegarandeerd is, is gebruik een risico
 () trend, p<0,1

Twee proeflocaties bevinden zich in niet geplagde, droge heide met dominantie van Struikhei en één op een natte heide met codominantie van Gewone dophei en Pijpenstrootje. Deze laatste locatie is ongepland verbrand in het voorjaar van 2014. Met de in deze experimenten toegediende mineralengiften is gepoogd om in ieder geval een aanzienlijk deel van de door antropogene invloeden veroorzaakte verliezen aan te vullen. Omdat er bij aanvang van deze experimenten vrijwel geen ervaring voorhanden was met het gebruik van deze bufferstoffen in heide, werd gekozen voor een conservatieve dosering van 10 ton bufferstof/ha en een wat hogere dosering van Dolokal dan de gebruikelijke 2 ton/ha, namelijk van 4 ton/ha (tabel S.2).

In tabel S.3 is weergegeven welke parameters er werden gemeten in de verschillende meetjaren en experimenten.

Tabel S.2. Toegediende bufferstoffen in de verschillende experimenten

	NP de Hoge Veluwe	NP de Hoge Veluwe	Strabrecht
	Droge heide	Natte heide	Droge heide
	15 m * 15 m OBN	5m * 5 m OBN	10m * 10m Prov. Noord-Brabant
Controle	-	-	-
Biolit 100 µm	10 ton/ha	10 ton/ha	10 ton/ha
Biolit 200 µm			10 ton/ha
Vulkatec/Lavagruis			15 ton/ha
Lurgi/Soilfeed	10 ton/ha	10 ton/ha	10 ton/ha
Dolokal 5% Mg	4 ton/ha	4 ton/ha	-
Dolokal 15% Mg			4 ton/ha

Tabel S.3. Overzicht van de gemeten parameters in de verschillende experimenten in het geval van niet-jaarlijkse metingen is aangegeven in welk meetjaar deze zijn uitgevoerd.

	NP Hoge Veluwe	Strabrecht
Bodemchemie	Organisch stof en massavolume pH, uitwisselbare basische kationen (Ca, K, Mg) en stikstof (NH ₄ en NO ₃) Uitwisselbaar Al Plantbeschikbaar fosfaat Totaal-gehaltes Ca, K, Mg, P CEC en basenverzadiging	Organisch stof en massavolume pH, uitwisselbare basische kationen (Ca, K, Mg) en stikstof (NH ₄ en NO ₃) Uitwisselbaar Al Plantbeschikbaar fosfaat Totaal-gehaltes Ca, K, Mg, P CEC en basenverzadiging
Vegetatie	Plantchemie dominante heide, gras en Schapenzuring Samenstelling vegetatie	Plantchemie dominante heide en gras Samenstelling vegetatie
Fauna	Proef effecten verzuring en steenmeel op Vuurvlinders (2015 + 2016) Effectmeting Diptera (2017)	Faunadichtheid sleepnet Loopkevers (2016)

De verschillende bufferstoffen zijn handmatig opgebracht in januari/maart 2015 en niet in de grond gewerkt (Foto S.2).

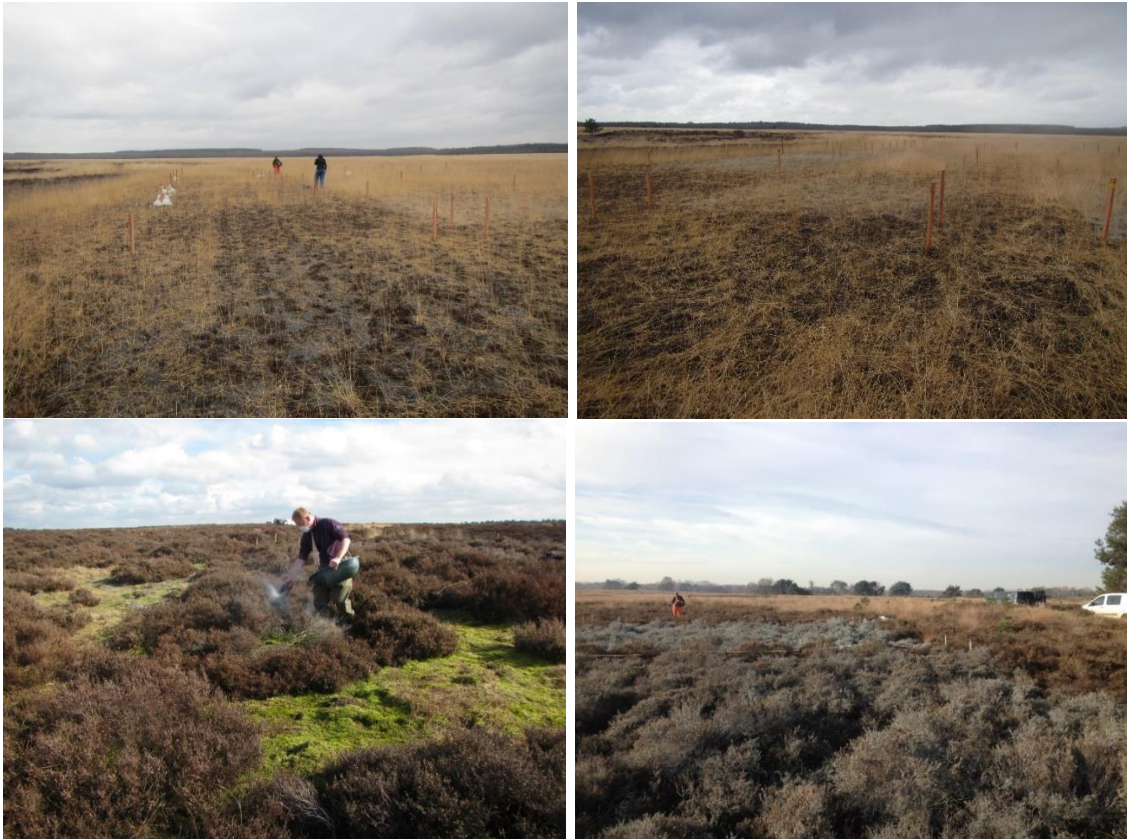


Foto S.2. Steenmeel wordt opgebracht op de natte heide in het NP de Hoge Veluwe (bovenste foto's), op de droge heide in het NP de hoge Veluwe (linksonder) en in de droge heide op Strabrecht (rechtsonder).

Effecten van Dolokal

Voor het verhogen van de basenverzadiging en uitwisselbare concentraties Ca en Mg was de toediening van vier ton Dolokal/ha zoals verwacht werd, de meest reactieve toepassing in alle drie de experimenten. Binnen één jaar na toediening werd een wat hogere bodem-pH gemeten, een hogere basenverzadiging en ook de concentraties uitwisselbaar aluminium namen met het toedienen van Dolokal vrijwel direct af. In het derde onderzoekjaar is de pH in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe met 0,3 eenheden gestegen, in de droge heide op Strabrecht met 0,8 eenheden en in de natte heide op de Veluwe zelfs met 1,1 eenheid. De bodem pH bleef echter in alle locaties binnen de range gemeten in natte en droge heideterreinen (De Graaf et al., 2009).

De concentraties uitwisselbaar calcium namen in de droge heide op Strabrecht en de Veluwe sterk toe, met in het derde effectjaar een verdrievoudiging t.o.v. de controle. In de natte heide was het effect nog groter, hier werden in het derde effectjaar ruim veertien keer hogere uitwisselbare calciumconcentraties in de bodem gemeten vergeleken met de controle. Er werd een toename in de concentratie uitwisselbaar Ca gemeten variërend van 2500 $\mu\text{mol/kg}$ bodem op Strabrecht, 3800 $\mu\text{mol/kg}$ bodem in het NP de Hoge Veluwe en zelfs 6900 $\mu\text{mol/kg}$ bodem in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe. Wat pH en Ca betreft is de natte heide in het NP de Hoge Veluwe na Dolokaltoediening (4 ton/ha) veruit het meest reactief, waarbij de gemeten uitwisselbare calciumconcentraties in het derde effectjaar ook hoger zijn dan die gemeten in referentieterreinen (De Graaf et al., 2009). In geplagde natte en droge heides zorgt een toediening van 2 ton Dolokal/ha (gemeten in o.a. Dorland et al., 2005, De Graaf et al., 1998, Vogels et al., 2016) voor een pH-stijging van 0,3 tot 0,7 eenheden. Dit is gemeten in een situatie met weinig organisch materiaal en een klein kation uitwissel complex (CEC). In de bestaande, niet-geplagde heide met een groot bodemcomplex en relatief veel organisch materiaal (resultierend in een hoge CEC) werd verwacht dat de effecten van Dolokaltoediening op de pH en uitwisselbare concentratie Ca en Mg lager zouden zijn. Daarom is gekozen voor een dosering van 4 ton Dolokal/ha in deze experimenten. In de droge heide in het NP de Hoge Veluwe was het effect

zoals verwacht (groot complex, veel organisch materiaal), in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe was de pH-stijging en toename in van Ca en Mg groter dan verwacht, waarschijnlijk veroorzaakt door het laag organisch stofgehalte en de relatief lage CEC.

Er werden t.o.v. de controle géén significante behandelingseffecten van Dolokal gemeten in de bedekking van heide, grasachtigen, kruiden, (korst)mossen en het percentage kale bodem. Wel werd een interactie met begrazing waar genomen (zie volgende paragraaf over Biolit). In de droge heidevegetatie in het NP de Hoge Veluwe kwamen significant meer soorten vaatplanten voor in de proefvlakken die met Dolokal waren behandeld. Het betreft een paar extra soorten, waaronder naast enkele ruderalen/pioniers, ook enkele soorten uit wat meer gebufferde heide, die wel steeds met een zeer lage bedekking aanwezig waren. Van een verandering in dominantie in de vegetatie was echter op deze termijn totaal geen sprake. Een vergelijkbaar effect werd gevonden in het onlangs afgeronde project "alternatieven voor plaggen" waarin 2 ton Dologran/ha in natte heide is opgebracht zonder plaggen en waar ook na vijf jaar geen verzuivering was opgetreden in de vegetatie (Wallis de Vries et al., 2018). De concentratie van anorganisch N in de bodem werd niet beïnvloed door de behandelingen, noch in het tweede, noch in het derde meetjaar. Dit is een duidelijke indicatie dat het verhogen van de bodembuffering niet heeft geleid tot een versnelde afbraak van organisch materiaal. In de vegetatie werden met name hogere magnesium- en calciumgehalten gemeten in de verzamelde grassen (Pijpenstrootje en Bochtige smele). De nadelen van Dolokaltoediening zijn ook zichtbaar, er werd namelijk geen toename in K-gehalten gemeten in bodem en plantmateriaal en de uitwisselbare Ca en Mg concentraties gemeten in de bodem waren (veel) hoger dan gebruikelijk in natte- en droge heide (De Graaf et al., 2009). Daarnaast namen de K/Mg en K/Ca-ratio's in het verzamelde Dophei-materiaal in de natte heide in het NP de hoge Veluwe af. Ook in de verzamelde grassen (Bochtige smele) in zowel Strabrecht als in het NP de Hoge Veluwe nam de K/Mg en K/Ca-ratio af.

In de natte heide, met relatief weinig organisch materiaal en een wat lage CEC, nam de hoeveelheid gevangen detritivore Diptera af in de met Dolokal behandelde proefvlakken. Dit was waarschijnlijk een gevolg van een versterkte P-limitatie door binding van PO_4 aan de in overmaat in de bodem aanwezige Ca en/of neerslaand Al en Fe als gevolg van de sterk gestegen pH. De voor planten beschikbare P-concentratie gemeten in de bodem verzameld in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe was in de Dolokal-behandeling namelijk lager dan in de controle-proefvlakken. Ook uit het eerder uitgevoerde fosfaattoevoegingsexperiment in vergraste droge heide (Vogels et al., 2016) werd dit effect waargenomen, met vergelijkbare gevolgen voor de fauna. Ook het Vuurvlinder- experiment beschreven in H8 laat zien dat fauna in systemen met (zeer) weinig organisch materiaal en lage CEC zeer gevoelig is voor P-limitatie. Strooisel dat minder P bevat is moeilijker te verteren voor detritivoren. In de verzamelde dominante plantensoorten werden echter geen lagere P-concentraties gemeten vergeleken met de controlebehandeling. Een andere mogelijke verklaring is dat de microbiële activiteit (schimmels en bacteriën) is afgenomen, door ofwel de te sterke verandering in bodem-pH, of door versterkte vastlegging van P. Een versterkte P-vastlegging in de onderzochte voedselarme systemen is waarschijnlijk al snel beperkend voor de groeisnelheid van schimmels en bacteriën in de bodem; waardoor de hoeveelheid voedsel voor detritivoren in de bodem afneemt. Toediening van Dolokal had geen effect op de herbivore- en carnivore Diptera in de proeven in het NP de Hoge Veluwe. In het experiment op Strabrecht werd in de met Dolokal behandelde proefvlakken een effect op de loopkevers gevonden, soorten van Duin, akker en open zand namen toe (voor een verklaring zie Biolit). Dolokaltoediening had op Strabrecht geen effect op de hoeveelheid rupsen en ook niet op loopkevers kenmerkend voor Heide en Hoogveen.

Effecten van Biolit

Het opgebrachte Biolit bevat naast kation leverende mineralen zoals muscoviet ook rond de 10% calcië/dolomiet, waardoor de opgebrachte dosering van 10 ton/ha grofweg overeenkomt met 1 ton Dolokal/ha. In het tweede en derde onderzoekjaar werd in de met Biolit behandelde proefvlakken op Strabrecht en in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe een hogere bodem-pH gemeten vergeleken met de controle-behandeling. De pH-toename lag tussen de 0,2 en 0,3 pH-eenheden in het derde onderzoekjaar, een toename die verwacht kan worden bij een Dolokaltoedieining van rond de 1 ton/ha (Dorland et al., 2004). De pH-stijgingen waren echter duidelijk lager dan gemeten in de met Dolokal behandelde proefvlakken. De concentratie uitwisselbaar Ca gemeten in de bodem nam, vergeleken met de onbehandelde situatie, in zowel de droge als natte heide in het NP de Hoge Veluwe als op Strabrecht toe met 1300 tot 1500 μmol Ca/kg bodem. Deze toenames zijn aanzienlijk lager dan die gemeten in de met Dolokal behandelde proefvlakken. In het verzamelde materiaal van Bochtige smele- en Schapenzuring in de met Biolit behandelde proefvlakken in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werd een hogere calciumconcentratie gemeten. Ook in de droge heide op Strabrecht werd in materiaal van Bochtige smele uit de met Biolit behandelde proefvlakken een hogere calciumconcentratie gemeten in het verzamelde plantenmateriaal vergeleken met de controle. Ook de magnesiumconcentraties namen in zowel de bodem als de planten toe in de met Biolit behandelde proefvlakken. In de bodem waren de toenames in de proefvlakken in de Veluwe (zowel nat als droog) vergelijkbaar met die gemeten in de met Dolokal behandelde proefvlakken (tussen de 1000 en 1500 μmol uitwisselbaar Mg/kg bodem meer t.o.v de controle). Op Strabrecht werd in de Dolokal-behandeling aanzienlijk meer uitwisselbaar Mg gemeten in de bodem vergeleken met de Biolit-behandeling. In het opgebrachte Dolokal op Strabrecht zat ook drie keer meer Mg dan in het materiaal gebruikt in de Veluwe. Ook op Strabrecht nam de concentratie uitwisselbaar Mg toe met zo'n 1000 μmol /kg bodem. De uitwisselbare basische kationen namen dus toe, maar niet zo sterk als in de Dolokal-behandelingen en blijven binnen de range gevonden in droge en natte heide (De Graaf et al, 2009).

In het verzamelde plantenmateriaal werd zowel in het verzamelde Bochtige smele-materiaal als in de verzamelde Struikheide een toename in de magnesiumgehalten gemeten in de met Biolit behandelde proefvlakken. Ook in de Dopheide verzameld in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe werd in de met Biolit behandelde proefvlakken een toename in de Mg-concentraties gemeten. In de kaliumgehalten in bodem- en plant werden na drie onderzoeksjaren nagenoeg geen effecten gemeten in de met Biolit behandelde proefvlakken. De K/Mg en K/Ca-ratio's in het verzamelde plantenmateriaal namen echter wel af door de toename in Ca en Mg. In de bodem werden geen effecten van de Biolit toediening op de fosfaatconcentraties gemeten, geen toename maar ook geen afname. Wel nam de P-concentratie in de Dopheide verzameld in de natte heide en in de Struikheide in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe wat toe. Met het toedienen van het relatief P-rijke Biolit (het opgebrachte Biolit bevat 0,8% P_2O_5 vergeleken met 0,1% in Dolokal, zie Tabel 4.23) wordt dus ook de beschikbaarheid van P verhoogd. Ook zijn er geen signalen van een toename in stikstofbeschikbaarheid of versnelde mineralisatie gemeten. De toename in het P-gehalte met een gelijkblijvend N-gehalte in het verzamelde Dopheimateriaal in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe resulteerde dan ook in een afname in de N/P-ratio (van 22,7 in de controle tot 17,6 in de met Biolit behandelde proefvlakken). In de vegetatiesamenstelling traden vergelijkbare effecten op als in de met Dolokal behandelde proefvlakken, de toename in bodembuffering heeft dus al wat effecten op de vegetatiesamenstelling. Biolit toediening heeft in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe geleid tot een significante toename van herbivore Diptera, en tot een significante positieve trend in carnivore Diptera, mogelijk veroorzaakt door de hogere P-beschikbaarheid (zie o.a. Vogels et al., 2013; Vogels et al., 2017 en Siepel et al., 2018 voor de relatie tussen P-beschikbaarheid en fauna). In de droge heide in het NP de Hoge Veluwe

werden geen significante effecten van Biolit op de dichtheid van Diptera waargenomen.

Op Strabrecht bleken de proefvlakken behandeld met Biolit en Dolokal een grote aantrekkingskracht uit te oefenen op de daar aanwezige koeien (Foto S.3), die deze proefvlakken waarschijnlijk vaker hebben bezocht dan de andere behandelingen. Hierdoor is de vegetatiestructuur en samenstelling veranderd (door vertrapping en liggende koeien) en is de bedekking van heide afgenomen (van 80% naar 40%) en het percentage open bodem evenredig toegenomen. Deze toename in bezoek door runderen in de met Biolit en Dolokal behandelde proefvlakken was ook duidelijk waarneembaar in de loopkevergemeenschap, die een sterkere verschuiving liet zien tussen beide onderzoeksjaren in vergelijking tot alle niet begraasde proefvlakken maar ook met de begraasde proefvlakken behandeld met Lurgi en de begraasde controle. De veranderde vegetatiestructuur verklaart mogelijk ook de significante toename van herbivore loopkevers in de met Biolit behandelde proefvlakken op Strabrecht. Dit effect is verklaarbaar als een toename van fijnbladige grassen en/of toename van zaadproductie van deze soorten, aangezien graszaden de belangrijkste voedselbron voor deze groep zijn. Veel van deze herbivore soorten zijn tevens warmteminnende soorten, die profiteren van het opener worden van de vegetatie. In deze behandelingen namen soorten van open xerotherme bodems (duinen, akkers, open zand) dan ook significant toe. De veranderde element/K-ratio's blijken op dit moment geen negatieve effecten op de fauna te hebben. Er zijn geen aanwijzingen dat het opgebrachte Biolit beter of slechter werkt in de proefvlakken in het NP de Hoge Veluwe of Strabrecht. Bij grootschalige toediening van steenmelen wordt dit toegenomen begrazings- en betredingseffect niet verwacht. De reactie van de runderen op de met steenmeel (of Dolokal) behandelde locaties is echter wel een signaal dat deze dieren hier een verbeterde graasplek vonden.



Foto S.3. Links een niet-behandeld deel van de droge heide op Strabrecht, rechts een proefvlak dat behandeld is met Biolit in 2017. Foto: Bas van de Riet.

Na het inzetten van de experimenten met Biolit bleek dat de kwaliteit van het product, ondanks verscheidene verzoeken, niet gegarandeerd kan worden. Door de samenstelling van de geologische lagen in de mijn waar het product wordt gewonnen, gecombineerd met het huidige productieproces kan (of wil) de fabrikant op dit moment geen constante kwaliteit qua aanwezigheid van calcië e.d. leveren. Totdat er een constantere kwaliteit gegarandeerd kan worden, wordt geadviseerd om voor andere vergelijkbare producten te kiezen zoals Eifelgold. Het Biolit gebruikt in de drie hier beschreven experimenten was echter wel stabiel van samenstelling, waardoor het opgebrachte materiaal in alle drie de proeven vergelijkbaar was.

Effecten van Lurgi (Soilfeed)

In de met Lurgi behandelde proefvlakken werd een hogere uitwisselbare calciumconcentratie gemeten in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe, een toename van 600 $\mu\text{mol/kg}$ bodem t.o.v. de controle. Ook de uitwisselbare kaliumconcentratie nam toe in de natte heide, met 150 $\mu\text{mol/kg}$ bodem. Deze

toenames resulteerden in een hogere basenverzadiging. In de vegetatie nam het gehalte aan Ca en K gemeten in het plantenmateriaal van Bochtige smele uit het NP de Hoge Veluwe toe, en ook in de Dophei verzameld in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe werden hogere K-gehalten gemeten. Opvallend genoeg werden er op zowel Strabrecht als in de natte heide in de Veluwe in de daar verzamelde grassen (Bochtige smele en Pijpenstrootje) lagere Mg-gehalten gemeten in het verzamelde plantenmateriaal. Dit resulteerde in hogere K/Mg en K/Ca-ratio's t.o.v. de controle.

In de vegetatiesamenstelling werd een toename in het aantal vaatplanten gemeten in het NP de Hoge Veluwe (foto S.4). Er zijn geen aanwijzingen gevonden van een verlaagde of verhoogde P-beschikbaarheid of toegenomen mineralisatiesnelheid.



Foto S.4. Met lurgi behandeld proefvlak in de droge heide in het NP De Hoge Veluwe in 2015. Foto: E. Verbaarschot.

Loopkevers bemonsterd op Strabrecht met een voorkeur voor heide-gedomineerde vegetatie namen in de Lurgi-behandelingen significant toe in activiteit, maar alleen in het eerste onderzoeksjaar. In het tweede onderzoeksjaar vertoonde deze groep een afname in de begraasde blokken, het sterkst in de Lurgi behandeling. Dit effect is waarschijnlijk vooral een begrazingseffect en veel minder een direct effect van de behandelingen. In de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werd een significant positief effect van Lurgi toediening op het aantal bemonsterde carnivore tweevleugeligen waargenomen. Trofietoewijzing is gebaseerd op die van de larven van desbetreffende families, dus een eventueel effect dient dus op te hebben getreden via een positief terugkoppelingsmechanisme tussen Lurgi-additie en de dichtheid van prooisorten voor de larven. De belangrijkste soortgroep binnen de carnivore Diptera waren Empididae en de larven van deze familie worden geacht vooral te prederen op andere Diptera larven (Beuk, 2002). Er is echter geen toename in het totaalaantal Diptera waargenomen. Een eenduidige verklaring voor het gevonden effect is daarom niet voorhanden. In de natte heide in het NP de Hoge Veluwe werden geen significante effecten op de Diptera gevonden van Lurgi-toediening. Ook in de herbivore- en detritivore Diptera in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werden geen effecten gemeten in de met Lurgi behandelde proefvlakken.

Het Lurgi lijkt langzamer te verweren dan de andere opgebrachte steenmelen, waar na één à twee jaar significante effecten werden gemeten. In de met Lurgi-behandelde proefvlakken nam bijvoorbeeld de concentratie uitwisselbaar kalium ieder jaar langzaam toe, om in het derde effectjaar voor de meeste significante verschillen te zorgen.

Conclusies

De twee opgebrachte steenmelen hebben voor positieve effecten in de bodem, vegetatiechemie of voor de fauna gezorgd, al is de reactiesnelheid van de steenmelen niet even groot. Dit alles binnen een tijdsbestek van drie jaar, waardoor het toedienen van steenmeel als herstelmaatregel kansrijk is. Op basis van modelberekeningen wordt verwacht dat de meeste kationen bij steenmeeltoediening binnen 10 tot 15 jaar beschikbaar komen (De Vries et al., 2017) en tot een toename van de basenverzadiging tot een waarde rond de 40% tot 50% zal leiden bij een dosering van 10 ton/ha. Hierdoor mag verwacht worden dat de gevonden, eerste positieve signalen, in de loop der tijd versterkt zullen worden.

De positieve, maar ook mogelijk negatieve, kanten van Dolokaltoediening zonder plaggen komen ook naar voren: snel herstel van de bodembuffering, sterke afname van vrij Al en toename van basenverzadiging zijn duidelijk positieve effecten. Soms leidt het echter tot een verlaging van de P-beschikbaarheid of neemt Ca en Mg-beschikbaarheid te sterk toe. Waarschijnlijk als gevolg van deze "shokeffecten" werden in die gevallen negatieve effecten op de fauna gevonden. De mogelijk negatieve effecten van vier ton Dolokal per ha zijn in dit onderzoek alleen in de natte heide-onderzoek locatie vastgesteld, waar sprake is van een lage CEC en relatief weinig organische stof, waarschijnlijk veroorzaakt door de natuurbrand 10 maanden voor de start van het experiment.

Met het toedienen van de twee steenmeelsoorten zijn de negatieve effecten van bodemverzuring verminderd (hogere basenverzadiging, lagere uitwisselbare aluminiumconcentraties) zonder dat er –meetbare- negatieve effecten op de fauna zijn waargenomen. Het toedienen van Biolit veroorzaakte verschoven K-element ratio's in bodem en plant, hoewel niet zo sterk als met Dolokal. Er zijn echter geen duidelijke drempelwaardes bekend van dergelijke ratio's voor de fauna, waardoor het niet mogelijk is om aan te geven of deze waargenomen verschuivingen effect zullen hebben op de fauna.

In geen van de steenmeeltoedieningen werden negatieve effecten op de P-beschikbaarheid waargenomen, en met de toediening van Biolit zelfs een positief effect. In het kader van de verstoorde N- en P-verhoudingen in bijvoorbeeld in het verleden geplagde heide biedt dit kansen (zie o.a. Vogels et al., 2013b; 2017). Biolit bevat echter nagenoeg geen kalium-leverende mineralen. Dit in tegenstelling tot Lurgi, dat inderdaad wel kalium ging leveren, maar de positieve effecten van Lurgi werden pas in het derde groeiseizoen echt zichtbaar en dan met name in het NP de Hoge Veluwe (zowel droog als nat). Lurgi werd ook geselecteerd als best passend steenmeel voor de midden- en noordelijke zandregio's.

Het ideale steenmeel dat zowel Ca, K als Mg en indien nodig P levert, is in deze experimenten dan ook niet gevonden en bestaat mogelijk niet. In een ideale situatie zou het voor heideherstel geschikte steenmeel de eigenschappen van Biolit en Lurgi moeten hebben (Ca, Mg, K en P leverend, subtiele pH-stijging). Dit betekent ook dat het raadzaam is om per situatie te bepalen welke steenmeelsoort het meest geschikt is om de beoogde doelstellingen te behalen. Daarbij dient de lokale verzuringsituatie, waarbij wordt gekeken naar de combinatie van tekorten aan basische kationen (Ca, Mg en/of K) en P en te hoge aluminiumconcentraties, als basis. De vraag of het toegepaste steenmeel mineralogisch lijkt op het moedermateriaal blijkt, gezien de gelimiteerde keuze in steenmeelsoorten en hun eigenschappen, minder belangrijk te zijn. Mogelijk moeten twee of drie soorten steenmeel (inclusief dolomiet) worden gecombineerd om tot het gewenste effect te kunnen komen, waarbij zeker ook rekening gehouden moet worden met de bodem-

CEC en de fractie organisch materiaal die de effectiviteit sterk lijken te beïnvloeden.

Kennisvragen

Op basis van deze drie jaren onderzoek zijn de volgende vragen opgebleven of gerezen:

- Wat is de ontwikkeling van de bodembuffering door de opgebrachte steenmelen op (middel)lange termijn: zal het bodemadsorptiecomplex inderdaad verder opladen in de loop der tijd en wat zal de maximale basenbezetting worden? Wordt de bodem en daarmee het heidesysteem voldoende opgeladen met deze doseringen? Of kan de bodembuffering "doorschieten" waarbij de buffering te hoog wordt en niet langer kenmerkend voor het heidelandschap?
- Zal met toenemende tijd de kalium/element-verhouding in bodem en plant in de proefvlakken met een kalium-arm steenmeel verder "scheeflopen", met op lange termijn toch mogelijke negatieve effecten op de fauna?
- Zal op langere termijn ook in de proefvlakken met een hoge CEC en veel organisch materiaal P-gebrek optreden voor de fauna als gevolg van het langzaam meer beschikbaar komen van bufferstoffen die P kunnen binden? Of komt er juist meer P beschikbaar doordat de bodem-pH toeneemt richting de range van minder sterke lange termijn bodem P-binding (pH-range van 4-5)? Komt er met het toedienen van P-rijk steenmeel ook meer P-beschikbaar in de bodem? Heeft dit mogelijk positieve effecten op de fauna?
- Wat zijn de effecten van steenmeeltoediening op het bodemleven (bacteriën, schimmels en mesofauna, mycorrhiza 's) en daarmee de stoffenkringloop in het systeem? Deze effecten zijn in deze studie niet meegenomen.
- Wat is het effect van steenmeeltoediening op de bodemopbouw en humusvorming?
- Hoe reageert steenmeel als maatregel op geplagde of gehopperde heide? Kan het een eventuele kalkgift (om de ammoniumpiek te remmen) vervangen, zeker met soms gevonden negatieve effecten van bekalking na plaggen van de droge hei op de fauna?
- Heeft het toedienen van de steenmelen verdere positieve (of negatieve) effecten op de vegetatieontwikkeling gehad, in de vorm van meer bloei (kaliumtoediening leidt vaak tot een hogere bloembezetting) of een hogere biomassa-productie? Nemen bloembezoekers zoals wilde bijen als gevolg hiervan toe in de met steenmeel behandelde heide?
- Zullen er in de loop ter tijd weer meer doelsoorten in de met steenmeel behandelde proefvlakken terugkomen, of zal (voor planten) het maken van vestigingsplaatsen en (voor planten en dieren) herintroductie nodig zijn om ook deze kenmerkende diversiteit terug te krijgen in het systeem?

Toepassingsadvies

De resultaten na drie jaar onderzoek zijn positief en hoopgevend, in die zin dat er zeker verbetering van de bodembuffering is opgetreden, er hier en daar wat soorten van het licht gebufferd milieu in de proefvlakken zijn verschenen en er geen verzuivering van de vegetatie optrad.

Wel is het spanningsveld met het toedienen van te reactieve bufferstoffen in bodems met een klein kation uitwissel complex (CEC) en weinig organisch materiaal zichtbaar. Hier ligt het risico op negatieve effecten voor de fauna op de loer, waarschijnlijk voornamelijk gestuurd door ernstige P-tekorten in bepaalde omstandigheden (bijv. na plaggen in Zuid-Nederland met zijn zeer P-arme mineralen). Daarnaast leveren de verschillende geteste steenmeelsoorten elementen in verschillende verhoudingen en hebben ze een andere reactiesnelheid, ook deels per element. Ook de lange termijn-effecten van steenmeeltoediening op heidebodems en het voedselweb zijn nog onbekend.

Toch adviseren we, gezien de zeer ernstige situatie waarin het heidelandschap zich momenteel bevindt (zie o.a. Bobbink et al., 2017; van der Zee et al., 2017 & Bergsma et al., 2018) de toediening van steenmeel op te schalen. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruiken van 10 – 20 ton Lurgi (Soilfeed)/ha afhankelijk

van de zuurgraad en de minerale verwerkingssnelheden in de bodem. Afhankelijk van de urgentie kunnen deze steenmeelgiften aangevuld worden met een sneller-werkend steenmeel, zoals fijngemalen Eifelgold, of bijvoorbeeld met een lage dosering (1 ton/ha) dolomiet. Ook de combinatie van Biolit (relatief snelwerkend Ca, Mg en P leverend) met een kaliumrijk steenmeel zoals Lurgi (Soilfeed) kan overwogen worden, mits de kwaliteit van Biolit gegarandeerd is.

Bij toediening dienen de volgende aandachtspunten meegenomen te worden:

- de resultaten van steenmeel als antiverzuringmaatregel zijn op relatief korte termijn (< 3 jaar) positief, maar een langdurige werking kan op dit moment nog niet gegarandeerd worden;
- is er sprake van een lage CEC/weinig organisch materiaal (bijvoorbeeld na plaggen), wees dan bewust dat de effecten groter zijn dan in systemen met een groter buffercomplex;
- er zijn nog geen ervaringen met steenmeeltoediening na plaggen, chopperen of maaien in het heidelandschap. Het is dan ook nog niet duidelijk of het optreden van een ammoniumpiek wordt voorkomen door steenmeeltoediening in dit soort zure situaties;
- uit andere studies is gebleken dat met een aluminium-rijk steenmeel zoals Eifelgold, in het eerste jaar na toediening veel beschikbaar aluminium in de bodem aanwezig is (o.a. in de momenteel lopende bos-experimenten). Ook in het hier beschreven heide-experiment werd na het eerste jaar na toediening een toename in aluminium en nikkel gemeten. Na één jaar waren deze waarden echter weer terug op hun oude niveau. Wanneer wordt gekozen om na steenmeeltoediening planten te herintroduceren, wordt geadviseerd te wachten totdat de bodemcondities geschikt zijn voor de doelvegetatie. Omdat steenmeel relatief langzaam werkt, kan dat enkele jaren duren;
- wanneer er in het verleden bekalkt is, en daarmee de buffering en Ca-concentraties van de bodem zijn hersteld, kan overwogen worden een kaliumrijk steenmeel zoals Lurgi (Soilfeed) toe te dienen om ook de element-ratio's en sporenelementen in de bodem te herstellen;
- wanneer er sprake is van tekorten aan zowel Ca, Mg als K is het op basis van de nu beschikbare kennis noodzakelijk om verschillende producten te mengen. Het steenmeel dat alle drie deze elementen in voldoende mate bevat is momenteel nog niet beschikbaar. Met het mengen van verschillende producten is momenteel nog geen ervaring. Wel is er recentelijk een experiment gestart waarbij steenmeel (20 ton Eifelgold/ha gecombineerd met 1 ton Dolokal/ha) en P-toediening op in het verleden geplagde droge heide al of niet wordt gecombineerd;
- wanneer de doelstelling is om op korte termijn restpopulaties van verzuringgevoelige planten voor uitsterven te behoeden, moeten snelwerkende producten gekozen worden zoals Biolit of Dolokal, eventueel aangevuld met langzaam-werkende producten;
- om steenmeeltoediening tot een breed inzetbare herstelmaatregel te kunnen ontwikkelen is het van groot belang dat de toedieningen die worden ingezet worden geregistreerd en gemonitord en dat de bekomen kennis wordt verzameld, samengevoegd en uitgedragen!

Summary and synthesis

Introduction

A loss of biodiversity, both plants and animals, has been observed in the Dutch heathlands (Bobbink & Hettelingh, 2011; Van der Zee et al., 2017; Halmann et al., 2017). One of the reasons for this loss is the acidifying *and* eutrophying effect of the atmospheric nitrogen deposition.

A main cause of the loss of species is the continuing acidification of the soil, in which the acid load from the past *and* the present – as the acid load by N deposition is still too high – has led to changes in the soil (Bergsma et al., 2018) and with that, changes in the food chain (Vogels et al., 2017). The acidification of the (heathland) soil results in a decline of the available base cations (Ca, K, Mg), an increase in the available aluminium concentration in the soil and a disrupted NH₄/NO₃-ratio, in which an interaction with eutrophication also exists (among others, Bobbink et al., 2017). This is one explanation for the loss of plant species that are characteristic of somewhat more buffered conditions, such as Mountain arnica (*Arnica montana*) and the Heath violet (*Viola canina*). The loss of species like these from the heathland landscape negatively influences the diversity of the landscape (De Graaf et al., 2009; Van der Zee et al., 2017).

The effects of soil acidification on the fauna are also evident. The absorption of phosphate is more difficult under extremely acidic soil conditions (Vogels et al., 2017, Siepel et al., 2018). The N:P ratio in the vegetation changes as a result of the disrupted P-absorption and the increased N-supply. This leads to a reduction in the number of insects, and with that a reduction in the basic food supply for larger species, such as Black grouse (Vogels, 2013). In addition, as the herbs slowly disappear, the number of flowers also reduces and becomes less diverse. There are even signs that the acidification of some areas in the Veluwe is so high that the available amount of calcium is so low that gastropods have disappeared, as a result of which the eggs and young of the Great tit develop poorly (Van den Burg, 2017; Graveland & Drent, 1997).

There are also indications that the amount of minerals with base cations is virtually depleted in parts of the Netherlands as a result of the acidifying deposition from the atmosphere (Bergsma et al., 2018). Under these circumstances, the natural recovery of the soil through the weathering of these minerals is not possible, not even if the acidic load will be sharply reduced in future. All this in a setting in which the acidifying deposition in nature areas – mainly as reduced nitrogen (ammonia and ammonium) – has not substantially declined since 2005 and often even increases in the central and eastern parts of the Netherlands and therefore continues to accumulate (Lolkema et al., 2015).

Traditional method for counteracting acidification

The negative effects of acidification are regularly counteracted by means of applying agricultural lime (CaCO₃) or dolomite (CaMgCO₃; “Dolokal”). These measures quickly increase the availability of Ca, or Ca and Mg in the case of Dolokal, in the soil seeing that lime or dolomite quickly dissolve under acidic circumstances. This is a proven successful way to make the soil suitable once again for plant species that are sensitive to the negative effects of soil acidification – namely low Ca-concentrations but high Al-concentrations –, but is found to not always lead to the desired system recovery.

It was recently found that the application of Dolokal after sod cutting of acidic, dry grass encroached heathland has had negative effects on the fauna (Vogels et al., 2016; 2017). There are two possible reasons for this, namely 1) disrupted element ratios as a result of which the fauna cannot take up sufficient amounts of other nutrients or trace elements; 2) phosphate limitation because the small amount of phosphate that is available in the soil is bound to the buffer agents applied or to Al- or Fe-complexes that are formed from dissolved Al at a low pH and from dissolved Fe at an even lower pH (Haynes, 1982). There is also concern that the application of (a high dose of) lime or dolomite will accelerate the mineralisation of organic material, resulting in more nutrients becoming available and the possible increase of unwanted ruderals. Furthermore, the lost fraction of soil minerals, which supply base cations through weathering, is not supplemented with the application of lime or dolomite and so the availability of potassium, phosphorus, and trace elements does not improve either (Bergsma et al., 2018).

In summary, there are quite a few things to say about the sustainability of the use of lime or dolomite as a widely applicable restoration measure for acidified (non sod-cut) heathland.

Addition of Rock powder possible alternative

The application of rock powder (ground silicate rocks) may potentially be a suitable restoration measure for the recovery of acidified heath soils. Because the rock powder contains minerals that supply base cations through weathering, the buffer complex can be gradually recharged. In addition, one may opt for a type of rock powder that supplies cations and trace elements in a (roughly) "natural" ratio, as it occurs in the parent material. It is expected there will be no negative or even positive effects on the fauna and as there are no rapid or steep pH increases, the risk of the vegetation being overrun with unwanted ruderals is negligible. In addition, the application of rock powder restores the self-recovery capability of the soil, enabling the soil to supplement the loss of cations through natural processes and anthropogenic acidification in the long term as well. Since the last ice age, between 10 and 30 tons of minerals per hectare have disappeared from the top 15 cm of the soil in the Deelensche veld and Dwingelderveld, around 50 tons/hectare in the Oud Reemsterveld and no less than between 60 and 90 tons/hectare in Strabrecht (Chapter 4). The question is which portion of the erosion can be attributed to natural processes and which part to anthropogenic influences. Based on measurements in the National Park (NP) de Hoge Veluwe, it has been calculated that the recent erosion speed at this location in the 20th century might be 100 times higher than the long-term average (Bergsma et al., 2018).

The doses of minerals applied in these experiments are an effort to supply a considerable part of the losses caused by anthropogenic influences. It is evident from Carson et al. (2007), among others, that changing the mineralogy of grassland soils can result in a change in the structure of the soil life and with that, the biogeochemical cycles. As this was deemed undesirable rock powder that matched the original mineralogy of the research plots as much as possible were searched for. In view of the more volcanic hinterland of the Rhine and the more metamorphic hinterland of the Meuse, it was assumed that the volcanic Lurgi (Soilfeed) would be a good fit in terms of accessory minerals (amphibole, biotite) for the minerals of the central and northern regions of the Netherlands and that Biolit (with chlorite and muscovite) was the better choice for the southern sediments. However, the mineralogical analyses showed that the differences between north and south do not so much concern the minerals amphibole, biotite, muscovite and chlorite, but rather minerals such as staurolite, kyanite and tourmaline, which are not interesting in terms of soil fertility. It has been found that all of the northern sediments are richer in the first four minerals mentioned above. If we consider the bulk minerals (alkali feldspar and albite), then Lurgi (Soilfeed) is

the best option for supplementing the eroded minerals of both the northern and the southern sandy grounds.

The study described in this report is an attempt to find an answer to the question whether or not the application of rock powder could be a suitable restoration measure for acidified, non sod-cut dry and wet heathlands. The long-term objective of this measure is to restore the affected heath-ecosystem so that the characteristic flora and fauna can maintain itself and/or expand.

To achieve this, the addition of rock powder should lead to the following results:

- the recharging of the buffer complex to prevent the further acidification of the soil and to reduce the concentration of available aluminium and ammonium so that the plant species native to the somewhat more buffered heath environment once again have the possibility to develop in the restored heathland;
- improving the food quality of the vegetation by applying both Ca, Mg as well as K and perhaps P in a "natural" ratio;
- creating a stock of minerals that can supply base cations for a prolonged period (> 25 years) and neutralise acid inputs.

All this without the following:

- increase in number of ruderals in the vegetation as a result of the accelerated degradation of organic material;
- negative effects on the fauna due to disrupted element ratios and/or lack of P;
- other, unforeseen negative effects of the application of rock powder.

This report describes the results of three years of research into the effects of the application of (at least) two types of rock powder and Dolokal in two dry heath areas (NP de Hoge Veluwe & Strabrechtse Heide: both Natura-2000 sites) and one wet heath area (NP de Hoge Veluwe). The results of applying both the Dolokal as well as the two tested types of rock powder are evaluated and discussed in this synthesis in relation to the six objectives described above. The effects of the various types of rock powder on the factors above are shown in Table S.1.



Photo S.1. Various buffer agents used in the experiment in Strabrecht. From left to right: Dolokal, Biolit (fine grind), Biolit (coarser grind), Lurgi and Lavagruis.

Experiments

Three experiments, each with five replicates per treatment, were started in the winter of 2014/2015 with an aim to test the effectiveness of various types of rock powder as a measure to restore the buffer capacity of the heathland (Photo S.1). The experiments in the NP de Hoge Veluwe were financed by VBNE/OBN with the co-financing of the Nationale Park de Hoge Veluwe Foundation, while the experiment in Strabrecht was subsidised by the Province of Noord-Brabant (C2145729/3591327).

Table S.1. Effects matrix.

x = not measured
 * = stronger than desired
 +++ = very high increase
 ++ = high increase
 + = increase
 - = decrease
 -- = strong decrease
 --- = very strong decrease
 . = no difference
 () trend, p<0.1
 The quality of Biolift is not guaranteed and so its use remains risky.

+++ = very strong decrease
 -- = strong decrease
 - = decrease
 . = no difference

Significant difference or trend but it is unknown whether or not the extent has any ecological effect
 Desired effect
 Undesired effect
 Dependent upon objective

	National Park Hoge Veluwe						Strabrecht grazed test fields		
	Dry heathland			Wet heathland			Dry heathland		
	Dolikal (5% Mg) 4 tons/ha	Biolift 10 tons/ha	Lurgi 10 tons/ha	Dolikal (5% Mg) 4 tons/ha	Biolift 10 tons/ha	Lurgi 10 tons/ha	Dolikal (15% Mg) 4 tons/ha	Biolift 10 tons/ha	Lurgi 10 tons/ha
<i>Soil and plant chemistry</i>									
pH	++	.	.	++	.	.	+	.	.
Base cations in soil	+++ (Ca & Mg)*	++ (Ca & Mg)	.	+++ (Ca & Mg) + (Mg en Ca)	+(Ca, Mg en K) + (Mg)	+(Ca & K) + (K)	+++ (Ca & Mg)* + (Mg)	+(Mg)	.
Base cations in heathland	.	.	.	-(K)	.	+(K)	+(Mg)	.	.
Base cations in grass	+(Ca & Mg)	+(Ca & Mg)	+(Ca)	+(Ca)	.	-(Mg)	+(Ca & Mg)	+(Mg)	-(Mg)
Aluminium in soil	.	.	.	---	-	-	---	-	.
P-availability in soil	.	.	.	-	.	.	.	.	.
P-availability in plant	.	.	.	.	+	.	.	.	.
K/Elementratios in heathland	.	.	.	.	.	.	.	.	.
K/Elementratios in grass	-(K/Mg & K/Ca)	-(K/Mg & K/Ca)	-(K/Ca)	-(K/Mg & K/Ca)	-(K/Mg)	+(K/Mg & K/Ca) -(K/Ca)	-(K/Mg)	-(K/Mg)	.
<i>Development vegetation</i>									
Dominant heather	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Dominant grass	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Species more buffered environment	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Changes in structure	+	+	.	.	.	.	+++ (grazing)	+++ (grazing)	+(begrazing)
<i>Ground beetles</i>									
Species Dune, fields and open sand	X	X	X	X	X	X	+	+	.
Species Heathland and Bog	X	X	X	X	X	X	.	.	-
Gaterpillars	X	X	X	X	X	X	.	.	.
<i>Diptera</i>									
Herbivorous Diptera	.	.	.	.	+	.	.	X	X
Detritivorous Diptera	.	.	.	---	.	.	.	X	X
Carnivorous Diptera	.	.	+	.	(+)	.	X	X	X

Two experimental sites are located in non sod-cut dry lowland heathland dominated by Common heather and one location in wet lowland heathland that is co-dominated by Cross-leaved heath and Purple moor-grass. The latter location unintentionally burned in the spring of 2014.

The doses of minerals applied in these experiments are intended to supply a considerable portion of the losses caused by anthropogenic influences. Because of the lack of experience with the use of rock powder in heathlands at the start of the experiments, it was opted to use a conservative dose of 10 tons buffer agent/ha and a dose of Dolokal somewhat higher than the customary 2 tons/ha, namely 4 tons/ha (table S.2).

Table S.3 shows which parameters were measured in the various experiments and years of measurements.

Table S.2. Buffer agents used in the various experiments

	NP de Hoge Veluwe	NP de Hoge Veluwe	Strabrecht
	Dry heath	Wet heath	Dry heath
	15 m * 15 m OBN	5m * 5 m OBN	10m * 10m Prov. Noord-Brabant
Control	-	-	-
Biolit 100 µm	10 ton/ha	10 ton/ha	10 ton/ha
Biolit 200 µm			10 ton/ha
Vulkatec/Lavagruis			15 ton/ha
Lurgi/Soilfeed	10 ton/ha	10 ton/ha	10 ton/ha
Dolokal 5% Mg	4 ton/ha	4 ton/ha	-
Dolokal 15% Mg			4 ton/ha

Table S.3. Overview of the measured parameters in the various experiments; should the measurements not be yearly, then the appropriate measuring year is specified.

	NP Hoge Veluwe	Strabrecht
Soil chemistry	Organic material and mass volume pH, exchangeable base cations (Ca, K, Mg) and nitrogen (NH ₄ and NO ₃) Exchangeable Al Phosphorus available to plant Total-contents Ca, K, Mg, P CEC and base saturation	Organic material and mass volume pH, exchangeable base cations (Ca, K, Mg) and nitrogen (NH ₄ and NO ₃) Exchangeable Al Phosphorus available to plant Total-contents Ca, K, Mg, P CEC and base saturation
Vegetation	Plant chemistry heather, grass and Sheep's sorrel Composition of vegetation	Plant chemistry heather and grass Composition of vegetation
Fauna	Experiment effects of acidification and rock powder on Small coppers (2015 + 2016) Effect measurement Diptera (2017)	Fauna density drag net Ground beetles (2016)

The various buffer agents were applied manually in January/March 2015 and were not incorporated into the soil (Photo S.2).



Photo S.2. Rock powder application on the wet heath in the NP de Hoge Veluwe (top photo's), on the dry heath in the NP de Hoge Veluwe (bottom left) and on the dry heath in Strabrecht (bottom right).

Effects of Dolokal

The application of four tons of Dolokal per hectare for the purpose of increasing the base saturation and the exchangeable concentrations of Ca and Mg was, as could be expected, the most reactive application in all three experiments. A somewhat higher soil pH could be measured within one year after the application, along with a higher base saturation. The concentrations of exchangeable aluminium also declined virtually immediately after the use of Dolokal. The pH in the dry heath in the NP de Hoge Veluwe increased by 0.3 units in the third year of the study, by 0.8 units in the dry heath in Strabrecht and even by 1.1 units in the wet heath in the Veluwe. However, the soil pH in all of the locations remained within the range measured in wet and dry heathlands (De Graaf et al., 2009).

The concentrations of exchangeable calcium in the dry heath in Strabrecht and the Veluwe showed a strong increase, with a three-fold increase compared to the control in the third effect year. The effect in the wet heath was even larger: the concentrations of exchangeable calcium in the soil proved to be more than fourteen times higher in the third effect year compared to the control. The increase in the concentration of exchangeable Ca that was measured varied from 2500 $\mu\text{mol/kg}$ dry soil in Strabrecht to 3800 $\mu\text{mol/kg}$ dry soil in the NP de Hoge Veluwe to no less than 6900 $\mu\text{mol/kg}$ dry soil in the wet heath in the NP de Hoge Veluwe. In terms of pH and Ca, the wet heath in the NP de Hoge Veluwe is by far the most reactive following the application of Dolokal (4 tons/ha), in which the concentrations of exchangeable calcium measured in the third effect year also exceed those measured in reference vegetation (De Graaf et al., 2009). The application of 2 tons Dolokal/ha in sodcut wet and dry heathlands (measured in Dorland et al., 2005, De Graaf et al., 1998, Vogels et al., 2016, among others) results in a pH-increase of

0.3 to 0.7 units. This was measured in a situation with little organic material and a minor cation exchange complex (CEC). Expectations were that the effects of the application of Dolokal on the pH and the concentration of exchangeable Ca and Mg would be lower in the existing, non-sodcut heath with a larger soil complex and a relatively large amount of organic material (resulting in a high CEC). Which is why a dose of 4 tons Dolokal/ha was used in these experiments. The effect was as to be expected in the dry heath in the NP de Hoge Veluwe (large complex, ample organic material); the pH-increase and the increase in Ca and Mg was higher than expected in the wet heath in the NP de Hoge Veluwe, which was probably caused by the relatively low organic matter content and the relatively low CEC.

Compared to the control, no significant effects of the treatment with Dolokal were measured in the cover of heather, grassy species, herbs, lichen/mosses and the percentage of bare soil. An interaction with grazing, on the other hand, was observed (see the next paragraph regarding Biolit). Significantly more species of vascular plants were found in the test fields in the dry heath vegetation in the NP de Hoge Veluwe that had been treated with Dolokal. In addition to a few ruderals/pioneers, this concerns a few species from the somewhat more buffered heath that were present in an extremely low cover. There was no change whatsoever in dominance in the vegetation within the experimental period of 3 years. A comparable effect was found in the recently completed project "alternatives for sod-cutting" in which 2 tons Dologran/ha was applied in wet heath without sod-cutting and in which the vegetation showed no signs of encroachment of unwanted ruderals even after five years (Wallis de Vries et al., 2018). The concentration of inorganic N in the soil was not influenced by the treatments, not in the second nor in the third measuring year. This is a clear sign that improving the buffer capacity of the soil did not lead to an accelerated degradation of organic material. Higher magnesium and calcium concentrations in particular were measured in the grasses (Purple moor-grass and Wavy hair-grass) collected from the vegetation. The disadvantages of the use of Dolokal were also visible, as the soil and plant material showed no increase in the K concentrations and the concentrations of exchangeable Ca and Mg measured in the soil were (much) higher than customary in wet and dry heath (De Graaf et al., 2009). In addition, the K/Mg ratios and the K/Ca ratios in the Cross-leaved heath material collected from the wet heath in the NP de Hoge Veluwe decreased. The K/Mg and the K/Ca ratio also decreased in the grasses collected (Wavy hair-grass) in both Strabrecht as well as in the NP de Hoge Veluwe.

In the wet heath, with relatively little organic material and a somewhat low CEC, the amount of detritus related Diptera was found to have decreased in the test plots treated with Dolokal. This was likely a consequence of an even greater shortage of P as PO_4 binds to the Ca that is present in the soil in excess and/or precipitated Al and Fe as a result of the highly increased pH. In line with this expectation soil P concentrations from the wet heath experiment were lower in the Dolokal treatment than in the control plots. This effect, with comparable consequences for the fauna, was also observed in previous experiments involving the application of phosphate and Dolokal after sod cutting in grassy dry heath (Vogels et al., 2016). The Small Copper experiment described in chapter 8 shows that the fauna in systems with (very) little organic material and a low CEC is extremely sensitive to a limitation of P. Decomposing plant material that contains less P is more difficult for detritivores to consume. However, no lower P concentrations were measured in the dominant plant species after Dolokal addition compared to the control treatment. Another possible explanation is that the microbial activity (fungi and bacteria) has declined, either as a result of the change in the soil pH or the increased P fixation in soil. An increased P fixation in the nutrient-poor systems that were studied will most likely quickly be a limiting factor

for the growth rate of fungi and bacteria in the soil; the amount of food for the detritivores in the soil then declines as well. The application of Dolokal had no effect on the herbivore- and carnivore Diptera in the experiments in the NP de Hoge Veluwe. The test plots that were treated with Dolokal in the experiment in Strabrecht showed an effect on the ground beetles, as dune, field and open sand species increased (see Biolit for an explanation). The application of Dolokal in Strabrecht did not influence the number of caterpillars, nor did it have an effect on the ground beetles characteristic of heathland and raised bog.

Effects of Biolit

In addition to minerals that supply cations, such as muscovite, the Biolit used also contains around 10% calcite/dolomite, and so the dose of 10 tons/ha used roughly corresponds to 1 ton Dolokal/ha. The test plots that were treated with Biolit in Strabrecht and in the wet heath in the NP de Hoge Veluwe showed a higher soil pH compared to the control plots in the second and third research year. The observed pH increase was between 0.2 and 0.3 pH-units in the third year of research, which is an increase that can be expected with a Dolokal application of around 1 ton/ha (Dorland et al., 2004). However, the increases in pH were clearly lower than those measured in the test plots treated with Dolokal. Compared to the untreated situation, the concentration of exchangeable Ca in the soil increased in both the dry and the wet heath in the NP de Hoge Veluwe as well as in Strabrecht by 1300 to 1500 $\mu\text{mol Ca/kg}$ dry soil. These increases are considerably lower than those measured in the test plots treated with Dolokal. A higher calcium concentration was measured in the Wavy hair-grass and Sheep's sorrel material collected from the dry heath test plots in the NP de Hoge Veluwe that had been treated with Biolit. The plant material collected (Wavy hair-grass) from the test plots in the dry heath in Strabrecht that were treated with Biolit also showed a higher calcium concentration compared to the control. The magnesium concentrations, both in the soil and in the plant material, also increased in the test plots treated with Biolit. The increases in the soil in the test plots in the Veluwe (both wet and dry) were comparable to those measured in the test plots treated with Dolokal (between 1000 and 1500 μmol exchangeable Mg/kg dry soil more compared to the control). The Dolokal-treated plots in Strabrecht had considerably more exchangeable Mg in the soil compared to those treated with Biolit. The amount of Mg in the Dolokal used in Strabrecht was three times higher than the material use in the Veluwe. The concentration of exchangeable Mg also increased in Strabrecht by approx. 1000 $\mu\text{mol/kg}$ dry soil. The exchangeable base cations therefore increased, but not as strongly as in the Dolokal-treatments and they remain within the range found in dry and wet heath (De Graaf et al, 2009).

The plant material collected from the test plots treated with Biolit showed an increase in the magnesium levels. This applies to the plant material of Wavy hair-grass as well as that of Common heather. An increase in the Mg concentrations was also found in the Cross-leaved heather collected from the Biolit-treated test plots in the wet heath in the NP de Hoge Veluwe. After three years since application, virtually no effects were found on the potassium-levels in the soil and plant material taken from the test plots treated with Biolit. However, the K/Mg and K/Ca-ratios in the plant material collected did decrease as a result of the increase of Ca and Mg. There were no effects on the phosphate-concentrations in the soil following the application of Biolit, no increase and no decrease. The P-concentration in the Cross-leaved heather collected from the wet heath and in the Common heather from the dry heath in the NP de Hoge Veluwe increased somewhat. And so applying the relatively P-rich Biolit (the Biolit used contains 0.8% P_2O_5 compared to 0.1% in Dolokal, see Table 4.23) also increases the availability of P. There were also no signs of an increase in the nitrogen availability or an accelerated mineralisation. The increase in the P level combined with an unaltered N-level in the Cross-leaved

heather material collected in the wet heath in the NP de Hoge Veluwe therefore resulted in a decrease in the N/P-ratio (from 22.7 in the control to 17.6 in the test plots treated with Biolit). The effects on the composition of the vegetation were comparable to those in the test plots treated with Dolokal, and so the increase in the buffering capacity of the soil already has some influence on the vegetation composition. The application of Biolit in the wet heath in the NP de Hoge Veluwe has led to a significant increase of herbivore Diptera and to a significant positive trend in carnivore Diptera, possibly caused by the higher P-availability (see, among others, Vogels et al., 2013; Vogels et al., 2017 and Siepel et al., 2018 for the relationship between P-availability and fauna). No significant effects of Biolit on the density of Diptera were found in the dry heath in the NP de Hoge Veluwe.

The plots in Strabrecht that were treated with Biolit and Dolokal proved to be very attractive to the cows in the area (Photo S.3) and they probably visited these test plots more often than is the case with the other treatments. The structure and composition of the vegetation changed as a result (because of trampling and cows lying down) and the cover percentage of heath decreased (from 80% to 40%), while the percentage of open soil increased proportionally. This increase in visits by cattle in the test plots treated with Biolit and Dolokal was also evident in the ground beetle community, which showed a stronger shift between both research years compared to all of the ungrazed test plots, but also to the grazed test plots treated with Lurgi and the grazed control. The change in the vegetation structure possibly explains the significant increase of herbivore ground beetles in the test plots in Strabrecht treated with Biolit. An explanation for this effect is an increase of fine-leaved grasses and/or an increase in the seed production of these species, seeing that grass seeds are the most important source of food for this group. Many of these herbivore species are also heat-loving species that benefit from the vegetation becoming more open. Not surprisingly, species common to open xerotherm soils (dunes, fields, open sand) increased significantly during these treatments. The changed element/K-ratios are not found to have any negative effects on the fauna at this time. There are no indications that the applied Biolit works better or more poorly in the test plots in the NP de Hoge Veluwe or Strabrecht. The increased effect of trampling/grazing is not expected if rock powders are applied on a large-scale. However, the reaction of the cattle to the locations treated with rock powder (or Dolokal) is a sign that these animals have found an improved grazing spot.



Photo S.3. An untreated part of the dry heath in Strabrecht is shown on the left; on the right a test plot that has been treated with Biolit in 2017. Photo: Bas van de Riet

It was found after having started the experiments with Biolit that the quality of the product, despite repeated requests, could not be guaranteed. Because of the composition of the geological layers in the mine where the product is won, combined with the current production process, the manufacturer cannot (or will not) supply constant quality in terms of the presence of calcite and the like at this

time. It is recommended to opt for other comparable products, such as Eifelgold, until a more constant quality can be guaranteed. The Biolit used in the three experiments described here was, however, of a stable composition, and so the material used in all three tests was comparable.

Effects of Lurgi (Soilfeed)

A higher concentration of exchangeable calcium was measured in the test plots in the wet heath in the NP de Hoge Veluwe that had been treated with Lurgi, namely an increase of 600 $\mu\text{mol/kg}$ dry soil compared to the control. The concentration of exchangeable potassium in the wet heath also increased, by 150 $\mu\text{mol/kg}$ dry soil. These increases resulted in a higher base saturation. The level of Ca and K in the vegetation measured in the plant material of Wavy hair-grass from the NP de Hoge Veluwe increased, and higher K-levels were also measured in the Cross-leaved heather collected in the wet heath in the NP de Hoge Veluwe. Strikingly, lower Mg-levels were measured in the plant material (Wavy hair-grass and Purple moor-grass) collected in both Strabrecht as well as in the wet heath in the Veluwe. This resulted in higher K/Mg and K/Ca-ratios compared to the control.

An increase in the number of vascular plants was measured in the composition of the vegetation in the NP de Hoge Veluwe (photo S.4). There were no indications of a decreased or increased P-availability or an increase in the mineralisation rate.



Photo S.4. Test plot in the dry heath in the NP de Hoge Veluwe treated with Lurgi in 2015.
Photo: E. Verbaarschot.

Ground beetles with a preference for heath-dominated vegetation that were sampled in Strabrecht showed a significant increase in activity in the treatments with Lurgi, but only in the first year of research. In the second year of research, this group demonstrated a decrease in the grazed sections, particularly in the treatment with Lurgi. This effect probably mainly concerns an effect of grazing rather than a direct effect of the treatments. A significant positive effect of the

application of Lurgi on the number of sampled carnivore flies was found in the dry heath of the NP de Hoge Veluwe. The extent of the presence of food is based on the larvae of the families concerned, and so an effect, if any, will have had to occurred via a positive feedback-mechanism between the addition of Lurgi and the density of the species that serve as prey for the larvae. The most important species group within the carnivore Diptera were Empididae and the larvae of this family are deemed to mainly prey on other Diptera larvae (Beuk, 2002). However, no increase in the total number of Diptera was observed. There is therefore no univocal explanation for the effect that was found. No significant effects of the application of Lurgi on the Diptera were found in the wet heath in the NP de Hoge Veluwe. Concerning the herbivore and detritivore Diptera in the dry heath in the NP de Hoge Veluwe, there were also no measurable effects in the test plots treated with Lurgi.

The Lurgi seems to weather more slowly than the other types of rock powder used, where significant effects were measured after one or two years. In the test plots treated with Lurgi, for example, the concentration of exchangeable potassium increased slowly with each year, with the most significant differences in the third effect year.

Conclusions

The two types of rock powder used led to positive effects in the soil, on the chemistry of the vegetation or for the fauna, although the reaction time of the rock powders is not the same. All this within a period of time of three years, making the application of rock powder a potentially successful restoration measure. Based on modelled measurements, it is expected that most of the cations will become available within 10 to 15 years after the application of rock powder (De Vries et al., 2017) and that, using a dose of 10 tons/ha, the base saturation will increase to a value of around 40% to 50%. And so it can be expected that the initial positive signs that were found will only increase in the course of time.

The positive, but also the possibly negative effects of the application of Dolokal without sod cutting also become evident: the quick recovery of the buffering capacity of the soil, a significant decrease in available Al and an increased base saturation are clearly positive effects. However, the application sometimes results in a decrease in the P-availability or the availability of Ca and Mg increases too steeply. The negative effects on the fauna found in these cases were most probably a consequence of these "shock effects". The possibly negative effects of four tons of Dolokal per ha were only established in the wet heath research location in this study, where a low CEC and relatively little organic material is found, probably caused by the fire 10 months prior to the start of the experiment.

The negative effects of soil acidification decreased (higher base saturation, lower concentrations of exchangeable aluminium) with the application of two types of rock powder without any – measurable – negative effects on the fauna being observed. The use of Biolit caused shifted K-element ratios in the soil and plants, although not as evidently as Dolokal. However, clear threshold values for the fauna with respect to ratios of this kind have not been documented, and so it is not possible to indicate whether or not the shifts as observed will have an effect on the fauna.

No negative effects on the P-availability were observed in any of the rock powder applications and the application of Biolit even showed a positive effect. This offers opportunities within the framework of the disrupted N- and P-ratios in, for example, the heathlands that were sod-cut in the past (see, among others, Vogels et al., 2013b; 2017). Biolit contains virtually no minerals that supply potassium. The latter contrary to Lurgi, which did proceed to supply potassium. However, the positive effects of Lurgi did not become significant until the third growth season, mainly in

the NP de Hoge Veluwe (both dry and wet heath). Lurgi was also chosen as most suitable rock powder for the centrally located and northern sand regions. The ideal rock powder, one that supplies Ca, K and Mg, as well as P if necessary, was not found in these experiments and may possibly not exist. The rock powder most suitable for the restoration of heathlands should, ideally, have the features of Biolit and Lurgi (supplier of Ca, Mg, K and P, subtle pH increase). This also means that it is advisable to determine per situation which rock powder type is most suitable for achieving the intended goals. The local acidification situation, in which the combination of shortages of base cations (Ca, Mg and/or K) and P and too high aluminium concentrations are considered, should serve as a basis in this respect. In view of the limited choice in types of rock powder and their characteristics, the question whether the rock powder applied is mineralogically similar to the parent material appears to be less important. It may be necessary to combine two or three types of rock powder (including dolomite) to be able to come to the desired effect. The CEC of the soil and the fraction of organic material seems to strongly influence the effect rate of rock powder addition, so these factors certainly should also be taken into account.

Knowledge questions

Based on these three years of research, the following questions were raised or remain open:

- After the application of the rock powders, how does the buffering capacity of the soil develop in the (medium) long term: will the soil absorption complex continue to recharge in the course of time and what will be the maximum level of bases? Is the soil, and with that the heathland system, sufficiently recharged with these doses? Or can the buffering capacity of the soil "shoot past the objective", in which the capacity becomes too high and no longer characteristic of the heath landscape?
- Will the potassium/element ratio in the soil and plants in the test plots with a potassium-poor rock powder continue to "go awry" as time passes, perhaps leading to negative effects on the fauna in the long term?
- Will a P shortage for the fauna occur within the long term in the test plots with a high CEC and ample organic material as buffers that can bind P gradually become more available? Or can one expect more P to become available because the soil pH increases towards the range of less long-term P fixation in the soil (pH-range of 4-5)? Will the application of P-rich rock powder lead to a higher availability of P in the soil? Will this possibly have positive effects on the fauna?
- What are the effects of the application of rock powder on the soil life (bacteria, fungi and meso-fauna, mycorrhizas) and with that, on the biogeochemical cycles in the system? These effects were not considered in this study.
- What is the effect of the application of rock powder on the soil structure and generation of humus?
- How does rock powder respond as a measure on sodcut or chopped heathland? Can it replace an addition of lime (to control the peak in ammonium), certainly in view of the occasional negative effects for the fauna after the addition of lime on sodcut dry heath?
- Did the application of rock powder have any further positive (or negative) effects on the development of the vegetation, in terms of more flowering (the application of potassium often results in plants with more flowers) or a higher biomass production? Do the heathlands that have been treated with rock powder attract more visitors to the flowers, such as wild bees?
- Will more of the target species return in the course of time to the test plots that have been treated with rock powder, or will it be necessary to create

bare soil (for plants) and to reintroduce species (plants and animals) in order to restore this characteristic diversity in the system?

Application recommendations

The results after three years of experimenting are positive and give reason to be hopeful, in the sense that the buffering capacity of the soil showed improvement, a number of species of the slightly buffered environment have appeared in the test plots and the vegetation showed no signs of an increase in ruderals.

There is however some tension to be observed with the application of highly reactive buffer agents (lime or dolomite) in soils with a minor cation exchange complex (CEC) and little organic material. Here lies a risk of negative effects for the fauna, probably mainly as a result of severe P-shortages under certain circumstances (in sodcut-dry heath in the southern region of the Netherlands, for example, with its extremely P-poor minerals). In addition, the various types of rock powder tested supply elements in varying ratios and their reaction times differ, per element as well. The long-term effects of the application of rock powder on heathlands and the food cycle are as yet unknown.

Still, in view of the extremely severe situation in which the heath landscape currently finds itself (see, among others, Bobbink et al., 2017; van der Zee et al., 2017 & Bergsma et al., 2018) we recommend that the application of rock powder can be upscaled. One may consider in this respect using 10 – 20 tons Lurgi (Soilfeed)/ha, depending upon the acidity and the rate of mineral weathering in the soil. Depending upon the urgency, these rock powder additions can be supplemented with a faster-acting rock powder, such as finely ground Eifelgold, or dolomite in a low dose (1 ton/ha). The combination of Biolit (relatively fast-acting supplier of Ca, Mg and P) with a potassium-rich rock powder, such as Lurgi (Soilfeed) can also be considered, provided that the quality of Biolit is guaranteed.

The following points of interest should be taken into account with respect to applications:

- the results of using rock powder as an anti-acidification measure are positive within the relatively short term (< 3 years), but a long-term positive effect cannot be guaranteed at this time;
- does the situation involve a low CEC/little organic material (after sod-cutting, for example), then be aware that the effects are greater compared to those in systems with a greater buffer complex;
- there is no experience as yet with the application of rock powder in the heath landscape following sodcutting, choppering or mowing. It is therefore not clear whether the occurrence of an ammonium peak is prevented in this type of acid situations as a result of the application of rock powder;
- it is evident from other studies that the use of an aluminium-rich rock powder such as Eifelgold results in ample available aluminium in the soil in the first year after the application (measured in the experiments currently underway in forests). The heath experiment described above also showed an increase in aluminium and nickel in the first year following the application. However, these values returned to their initial level after one year. If one opts to reintroduce plants following the application of rock powder, then it is recommended to wait until the soil conditions are suitable for the target vegetation. As rock powder works relatively slow, this may take a few years;
- if lime was added to the soil in the past, restoring the buffering capacity and the Ca-concentrations in the soil, then one could consider the option of applying a potassium-rich rock powder such as Lurgi (Soilfeed) so as to also restore the element-ratios and trace elements in the soil;
- based on the knowledge that is currently available, it is necessary to mix various products if there are shortages of both Ca and Mg as well as K. The rock powder that contains sufficient amounts of all three of these elements

is not yet available. Experience with combining and mixing different products is as yet lacking. There is one experiment that recently got underway in which rock powder (20 tons Eifelgold/ha combined with 1 ton Dolokal/ha) and the application of P is combined on dry heath that had been sodcut in the past;

- if the object is to preserve the remaining populations of acidification-sensitive plants from extinction within the short term, then one must opt for fast-acting products, such as Biolit or Dolokal, possibly supplemented by slow-acting products;
- in order to develop rock powder into a widely applicable restoration measure, it is very important that the applications used are recorded and monitored and that the knowledge acquired in this way is collected, combined and shared!

1 Inleiding

1.1 Context

Heidevelden hebben gedurende lange tijd deel uitgemaakt van het West-Europese landschap. De term heide wordt veelal gebruikt voor vegetatie die gedomineerd wordt door dwergstruiken uit de familie van de heide-achtigen (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; Smits & Noordijk 2013). Dwergstruikheiden komen op verschillende delen van de wereld voor, veel in de bergen, maar zijn - of waren - ook wijdverspreid 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. Heiden van het Europese laagland komen zowel bij droge als natte condities voor, ieder met zijn eigen karakteristiek. Sinds het eind van de negentiende eeuw tot 1960 is het oppervlak aan heiden in Nederland met ca. 95% gedaald. Vanwege hun kenmerkende waarden aan flora en fauna zijn de overgebleven heidevelden 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 ook het geval in het Nederlandse heidelandschap (Vogels *et al.*, 2016). Zowel herstel van de kwaliteit van bestaande heiden 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 en met de nieuwe Wet natuurbescherming een wettelijke taak en internationale verplichting. De kwaliteit van bestaande heideterreinen in Noordwest-Europa staat al sinds het midden van de 20ste eeuw onder hoge druk: verzuring en vermesting vormen in de laatste 5-6 decennia een grote bedreiging voor de kwaliteit van nog bestaande droge en natte heide (H4030 & 4010), met verdroging voor de natte heide als extra bedreiging.

Er bestaat een aantal mechanismen waarmee in bodems de toevoer van verzurende stoffen gebufferd en/of geneutraliseerd wordt. Hoe deze buffering plaatsvindt, is afhankelijk van het uitgangsmateriaal (het type bodem) en de al of niet aanwezige toestroom van grondwater. In het droge zandlandschap is het laatste niet van belang, en aangezien de droge binnenlandse zandgronden geen kalk bevatten, zijn de volgende buffermechanismen bepalend voor het verloop van verzuring.

Een belangrijk buffermechanisme in kalkloze zandgronden is dat van de kationenuitwisseling door het bodemadsorptiecomplex. Dit complex bestaat uit kleimineralen en/of organische bestanddelen die aan de buitenkant negatief geladen zijn, waardoor basische kationen aan dit complex zwak geadsorbeerd zijn. Wanneer er extra zuur (H^+) in de bodem komt, dan kunnen de waterstofionen de kationen van het complex verdringen, waarbij deze kationen in de bodemoplossing terechtkomen. De waterstofionen zelf zijn dan aan het complex geadsorbeerd en niet meer in oplossing, waardoor de pH niet verandert (=buffering). Kationenuitwisseling is een snellopend bufferproces, maar de capaciteit is tamelijk beperkt. Door verdringing met waterstofionen wordt de capaciteit steeds verder verlaagd. Men hanteert in relatie hiermee de term 'basenverzadiging' om aan te geven hoeveel procent van het adsorptiecomplex van de bodem bezet is met zogenoemde basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+).

Een reactie die veel langzamer verloopt is de neutralisatie van zuur door de verwerking van silicaatmineralen. Primaire silicaatmineralen worden afgebroken waarbij zich bij een $\text{pH} > 4,5$ secundaire silicaten vormen (zie kader). Dit proces verloopt in het algemeen langzaam tot zeer langzaam, afhankelijk van het moedermateriaal, maar kan in hoge mate versneld worden door extra toevoer van zuur. Door de lage verwerkingssnelheid draagt dit mechanisme normaliter maar in geringe mate bij aan de actuele buffering in de bodem, maar is essentieel voor het "opladen" van het adsorptiecomplex met basische kationen en dus herstel van buffercapaciteit via het kationuitwisselingscomplex.

Onder een pH van 4,5 vindt het hierboven genoemde proces van vorming van secundaire aluminosilicaten niet meer plaats maar wordt vrij Al^{3+} gevormd. Net als H^+ kan ook Al^{3+} gebonden worden aan het bodemcomplex, maar dit proces kan de toename in Al^{3+} in de bodemoplossing niet verhinderen. Belangrijk om te weten is dat (opgelost) Al^{3+} toxisch is voor veel planten en diersoorten. In dit verband is het zinvol nog iets te zeggen over de ijzerbufferrange. Bij zeer lage pH-waarden van $< 3,0$ gaan ijzerverbindingen een dominerende rol gaan spelen bij de bodembuffering en kan er (zeer) veel Fe^{3+} in oplossing komt (o.a. Verstraten *et al.*, 1989). Dit laatste proces komt in Nederland nog weinig voor, maar was bijvoorbeeld prominent aanwezig in de jaren tachtig/negentig van de vorige eeuw in de extreem belaste "zwarte driehoek" van Europa.

1.2 Focus huidig onderzoek

Het herstellen van de natuurlijke (zeer zwakke tot zwakke) buffercapaciteit van West-Europese heidebodems is een essentiële maatregel om de biodiversiteit van droge heideterreinen te herstellen. Een kansrijke, tot nu toe relatief weinig onderzochte aanpak is om de gevolgen van bodemverzuring tegen te gaan door het verhogen van het zuurbufferend kapitaal (verhogen van de fractie aan mineralen met basische kationen in de bodem). In de laatste 10-25 jaar werd het aanvullen van de bufferende bodemmineralen uitgevoerd door het opbrengen van kalk of Dolokal (gemalen dolomiet). Dit bleek zeker succesvol te zijn, met name in combinatie met kleinschalig plaggen (De Graaf *et al.*, 1998; Bobbink *et al.*, 2004; Dorland *et al.*, 2004, 2005) en is na 25 jaar nog terug te zien in de bodem en de vegetatiesamenstelling (van der Zee *et al.*, 2017). Een nadeel van hoge Dolokalgift (> 3 ton/ha) is echter dat het, naast het relatief eenzijdig aanvullen van de kationen Ca en Mg in de bodem, ook een (sterk) effect kan hebben op de bodem-pH, en dus niet geschikt lijkt te zijn voor toepassing in situaties met veel organische stof in de bodem. De verhoging van de bodem-pH heeft namelijk als risico dat de afbraak van opgebouwd organisch materiaal versneld wordt. Hierdoor kunnen te veel nutriënten tegelijkertijd in het systeem beschikbaar komen met verrijking van de vegetatie tot gevolg. In de PAS-herstelstrategieën is daarom aanbevolen om bufferherstel door middel van Dolokal alleen na volledige of gedeeltelijke verwijdering van organisch materiaal (plaggen/chopperen) uit te voeren. Het verwijderen van het organische materiaal voordat Dolokal wordt opgebracht heeft echter ook negatieve gevolgen voor veel karakteristieke soorten van het heidelandschap (fauna, maar ook veel vochtminnende mossoorten), waardoor het zeker niet wenselijk is om het gehele areaal aan heidebodems te plaggen. Voor bufferherstel van heidebodems met behoud van organische stof is daarom een andere strategie nodig. Het opbrengen van (de juiste soort) steenmeel is een kansrijk alternatief aangezien door deze toepassing de pH van de bodem veel minder en heel geleidelijk stijgt. Ook heeft steenmeel de potentie om tot een bufferherstel te komen dat meer "systeem eigen" is. Door de juiste soort steenmeel op te brengen, d.w.z. steenmeel dat mineralogisch en chemisch zo veel mogelijk aansluit op het moedermateriaal van het terrein, wordt zo veel mogelijk geprobeerd om de oorspronkelijke mineralenvoorraad – met basische kationen! – te herstellen, met een geleidelijke en kleinere pH-stijging van de bodem, zodat het ook kan worden uitgevoerd zonder te plaggen of chopperen.

Kader: De minerale motor van de bodem

Vrijwel alle kationen in de bodem komen oorspronkelijk vrij door verwerking, een proces waarbij mineralen reageren met zuur. Een voorbeeld hiervan is de verwerking van kaliveldspaat tot het secundaire kleimineraal kaolien, kiezelzuur en kaliumionen:



Dit is ook het basale proces dat de zuurgraad in de bodem stabiel houdt in wisselwerking met het kationuitwisselingscomplex (de aan de humus en klei geadsorbeerde kationen). Verwerking is een relatief langzaam proces: is het aanbod van zuur te hoog, dan houdt de verwerking geen gelijke tred met het vrijkomen van basische kationen van het complex en verzuurt de bodem. Bij sterke verzuring kan het bij verwerking vrijgekomen aluminium geen nieuwe kleimineralen vormen en wordt het als Al^{3+} gebonden aan het kationuitwisselingscomplex.

Mineralen zoals kaliveldspaat, albiet en muscoviet zijn de belangrijkste verweerbare mineralen met basische kationen (K, Ca, Mg en Na) in de Nederlandse zandbodems. Het zeer resistente kwarts (SiO_2) bevat geen van deze elementen, maar maakt wel 80 – 90 % van de Nederlandse minerale zandbodems uit. Op sommige plekken zoals Strabrecht is dit zelfs meer dan 95 %. Dit laat al zien waarom zandbodems gevoelig tot zeer gevoelig zijn voor verzuring.

Verwerking is een proces dat van nature optreedt door koolzuur dat geproduceerd wordt in de bodem door plantenwortels en micro-organismen. Alle bodems verouderen en hun mineralen verwerken. Normaal gaat dit met een tempo van ongeveer 2,5 kg/ha/jaar. Door de zeer hoge verzurende depositie van de afgelopen eeuw is dit echter regionaal opgelopen tot ongeveer 250 kg/ha/jaar. Hierdoor heeft in korte tijd een significante reductie plaatsgevonden van 10-50% van het aan mineralen gerelateerde vermogen om basische kationen te leveren voor het herstel van het bodemadsorptiecomplex (Bergsma *et al.*, 2016). Voor veel bodems in het droger zandlandschap betekent dit dat onder de huidige N-depositie geen duurzaam herstel mogelijk is zonder aanvulling van mineralen.

Er is vooralsnog geen kennis beschikbaar over de effecten van het toedienen van steenmeel in habitattypen van het Pleistocene heidelandschap, zoals droge heide (H4030) en natte heide (H4010) en hoe dit in de praktijk het beste uitgevoerd kan worden. Uit eerder onderzoek, voornamelijk in productiebos en op landbouwgronden, blijkt dat het zeer belangrijk is om de juiste soort steenmeel toe te dienen aan de bodem (Bakken *et al.*, 2000; Aarnio *et al.*, 2003; Ramezani *et al.*, 2012). Welke steenmeel-soort het meest effectief is, hangt namelijk sterk af van het bodemsubstraat, de mineralogische samenstelling van het steenmeel zelf en de manier waarop het steenmeel in de bodem chemisch en biologisch verweert. Verwerking van steenmeel gaat sneller als het de nutriënten bevat waar een ecosysteem te kort aan heeft, waarschijnlijk door biologische processen (Bennett 2001, Uroz 2012).

Voordat het toedienen van steenmeel op praktijkschaal kan worden toegepast is het dan ook essentieel meer inzicht te verkrijgen in de wisselwerking tussen bodemsubstraat en verschillende steenmeelsoorten op heideterreinen en de effecten hiervan op de vegetatiesamenstelling, zowel positief als mogelijk negatief. Daarnaast is er nog weinig bekend over de effecten van het toedienen van bufferstoffen op de fauna-ontwikkeling en hoe dit in de praktijk gekwantificeerd kan worden. Bekend is dat onder invloed van verzuring de kwaliteit van de vegetatie (zowel binnen een soort als gestuurd door de vegetatiesamenstelling), maar ook de afbreekbaarheid van organisch materiaal, sterk af kan nemen (Roem & Berendse 2000; Vogels *et al.*, 2011; Bobbink *et al.*, 2012; Vogels *et al.*, 2013). Uit deze eerdere onderzoeken komt een beeld naar voren dat sterk zure (of verzuurde) heidebodems hoofdzakelijk vanuit afbraak van detritus gestuurd worden en een faunagemeenschap kent die hoofdzakelijk uit detritivoren en daarop prederende

carnivoren bestaat (Vogels, ongepubliceerde gegevens). De totale hoeveelheid biomassa aan fauna in heidevegetaties lijkt eveneens gestuurd te zijn door processen van verzuring, waarbij verzuring van de bodem leidt tot een afname in plantkwaliteit (nutriëntenonbalans), en de verlaagde plantkwaliteit vervolgens leidt tot een afname in totale biomassa aan fauna. Dit proces van "faunistische verarming" kan op haar beurt een verklaring zijn voor de afname van grotere gewervelde soorten die afhankelijk zijn van deze fauna als voedselbron (Vogels, 2013).

Bij een toenemende buffercapaciteit en verhoging van de bodem-pH door toediening van steenmeel wordt verwacht dat dit het proces kan omkeren. Het kan op termijn leiden tot een hogere turnover van biomassa en/of toename van dichtheden herbivore fauna. Eveneens zou dit kunnen leiden tot een hogere biomassa/dichtheid van detritivoren (als gevolg van een versnelling van de strooisel afbraak). Indirect kan als gevolg van beide processen, ook een toename van predatoren (individuen en biomassa) optreden (Chen & Wise, 1999). Bovendien kan het zorgen voor een relatieve toename van de herbivore fauna door een verbetering van de plantkwaliteit onder minder zure omstandigheden, uitgedrukt in verbeterde N:P; en N:element ratio's en/of verbeterde aminozuursamenstelling (Siepel *et al.*, 2009). Met de resultaten van deze studies wordt geprobeerd een solide basis te ontwikkelen voor het gebruik van steenmeel als praktijkgerichte maatregel om de negatieve effecten van bodemverzuring door atmosferische N-depositie in droge en natte heidesystemen te bestrijden.

1.3 De projecten

Deze gezamenlijke rapportage behandelt de resultaten verkregen uit twee projecten in de periode juni 2014 tot april 2018. Het betreft het project "Herstel van heide door middel van slow release mineralengift, OBN-2014-58-DZ" en het project "Ontwikkeling praktijkgerichte maatregelen voor het herstel van droge heide in de provincie Noord-Brabant - Effectiviteit van slow-release mineralengiften op de kwaliteit van bodem, vegetatie en fauna".

Het OBN-project "Herstel van heide door middel van slow release mineralengift, OBN-2014-58-DZ" is gestart in het najaar van 2014 en eindigt april 2018. De in dit experiment onderzochte Dolokalbehandeling is gefinancierd door Stichting het Nationale Park De Hoge Veluwe. Het project "Ontwikkeling praktijkgerichte maatregelen voor het herstel van droge heide in de provincie Noord-Brabant - Effectiviteit van slow-release mineralengiften op de kwaliteit van bodem, vegetatie en fauna" is gestart in juni 2014 en loopt na verlenging tot augustus 2020 en wordt uitgevoerd in opdracht van de provincie Noord-Brabant binnen de subsidieregeling natuur Noord-Brabant Natura2000/PAS. Voor de eerste fase van dit door Brabant gefinancierde project is in 2017 een rapportage verschenen (Weijters *et al.*, 2017).

De bedoeling van de in deze rapportage beschreven experimenten is om de volgende vragen te beantwoorden:

- In welke mate zijn mineralen met basische kationen door antropogene effecten afgenomen?
- Kan de mineralenbalans van bodems, zonder eerst te plaggen, in verarmde heiden hersteld worden door een eenmalige slowrelease mineralengift?
- Wat is het effect van de slow release mineralengift op de vegetatie (chemie en soortenrijkdom)?
- Wat is het effect van de slowrelease mineralengift op de voedselkwaliteit van planten en leidt dit tot herstel van (karakteristieke) insectenfauna?
- Hoe verhouden het effect van verschillende vormen van slowrelease mineralen zich tot elkaar en tot een regulier bekalkingsproduct, namelijk Dolokal?

1.4 Onderzoeksc consortium

Het in deze rapportage beschreven onderzoek is uitgevoerd door een onderzoeksc consortium, bestaand uit Onderzoeksc centrum B-WARE, Stichting Bargerveen, BodemBergsma, Nationaal Park De Hoge Veluwe en Staatsbosbeer-Zuid waarbij Onderzoeksc centrum B-WARE is opgetreden als hoofdaannemer. Projectleider van beide projecten is Dr. Roland Bobbink (B-WARE), ondersteund door Maaïke Weijters (B-WARE). Joost Vogels (Stichting Bargerveen) heeft de faunacomponent voor zijn rekening genomen, samen met Henk Siepel (WUR en Radboud Universiteit). Huig Bergsma (BodemBergsma) is een van de weinige Nederlandse specialisten op het gebied van steenmeel en bodem mineralogie. Het Nationaal Park De Hoge Veluwe heeft haar terrein beschikbaar gesteld en de Dolokalbehandeling in de twee experimenten in het NP De Hoge Veluwe gefinancierd. Vanuit Staatsbosbeheer wordt het project ondersteund door Japs Smits, waarbij Staatsbosbeheer de Strabrechtse heide beschikbaar heeft gesteld voor deze experimenten.

1.5 Leeswijzer

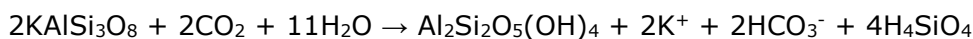
In deze rapportage zijn de resultaten van twee projecten samengevoegd. Wanneer mogelijk zijn de gebruikte methodes en gevonden resultaten van beide projecten samen beschreven. In sommige gevallen was dat niet mogelijk door een verschillende aanpak.

In deze rapportage is eerst ingegaan op de achtergrond en probleemstelling (Hoofdstuk 1). In het tweede hoofdstuk is de potentie van steenmeel in natuurherstel beschreven. In het derde hoofdstuk volgt een korte samenvatting van de proefopzet van beide experimenten, met als focus de overeenkomsten en verschillen en een overzicht van de gebruikte materialen en methodes. In het vierde hoofdstuk zijn de resultaten van het mineralogisch vooronderzoek beschreven. Dit is tevens de verantwoording voor de gekozen soorten steenmeel en doseringen in de experimenten. Vervolgens is ingegaan op de resultaten van de behandelingen na drie groeiseizoenen op de bodemchemie (Hoofdstuk 5), plantchemie (Hoofdstuk 6), vegetatiesamenstelling (Hoofdstuk 7) en fauna (Hoofdstuk 8 en 9). Er is geen afsluitend synthesehoofdstuk in het rapport geplaatst, de synthese staat aan het begin van het rapport als een zelfstandig leesbare samenvatting.

2 Steenmeel in natuurherstel

2.1 Gesteenten leveren nutriënten

Gesteentevormende mineralen staan mede aan de basis van alles wat leeft op aarde. Alle nutriënten voor mens, plant en dier behalve koolstof, zuurstof, stikstof en waterstof zijn afkomstig uit gesteenten. Nutriënten komen vrij uit gesteenten bij een gefaseerd proces genaamd verwerking. Door fysieke en biologische processen (krimp en uitzetting, worteldruk, water) worden gesteenten eerst gebroken en verkleind tot zand en silt. Vervolgens worden de nutriënten voor de planten vrijgemaakt uit dit zand en silt door anorganische en organische chemische afbraak ofwel verwerking. De chemische verwerking is het beste uit te leggen door het zand en silt te beschouwen als basen die in staat zijn zuur te neutraliseren. Het zuur is afkomstig van neerslag (CO₂, NO₂ en SO₂) en van plantenwortels, schimmels en bacteriën. In onderstaande chemische vergelijking is de verwerking weergegeven voor het bodemmineraal kaliveldspaat en koolzuur waarbij het secundaire kleimineraal kaolien, kiezelzuur en kaliumionen worden gevormd.



Dit proces verloopt eenmalig en onomkeerbaar. Meestal wordt geen kaolien gevormd maar daarop lijkende primitieve kleiachtige mineralen zoals allofaan, imogoliet of halloysiet. Het gevolg is dat bodems in gebieden met meer neerslag dan evapotranspiratie met verloop van tijd steeds meer van de aanwezige kationen (Ca, Mg & K) verliezen door uitspoeling naar het diepere grondwater. In de natte tropen verloopt dit proces snel (de ferralsolen zijn bekend om hun onvruchtbaarheid). In gebieden met een gematigd klimaat verloopt dit proces zonder antropogene verzurende depositie veel langzamer.

Definities van 'mineralen' en 'nutriënten'

De term 'mineraal' heeft in de bodemkunde of geologie een andere betekenis dan in de fysiologie. In dit rapport wordt de term 'mineralen' volgens de bodemkundige/geologische definitie gebruikt, in de betekenis van vaste kristallijne en soms ook amorfe door geologische processen gevormde verbindingen, zoals veldspaat of het fosfaatmineraal apatiet. De term 'nutriënten' reserveren we voor anorganische plantenvoedingsstoffen.

Verzurende en zure depositie

Recent onderzoek (Bergsma *et al.*, 2018) laat echter zien dat de verzurende depositie van de afgelopen decennia dit proces in Nederland ongeveer twee ordes van grootte heeft versneld met als gevolg een significante afname van het zelf Herstellend vermogen van met name de zandbodems. In de afgelopen eeuw heeft de mensheid 20-50% van de totale atmosferische zuurbelasting geproduceerd sinds de laatste ijstijd 11.700 jaar geleden (Mol *et al.*, 2003). Dit betekent niet alleen dat de voorraad bufferende mineralen in de bodem is afgenomen, maar ook dat de levering van nutriënten vanuit deze bodemmineralen significant achteruit is gegaan (Michalopoulos & Liodakis 2012). Deze effecten zijn het grootst op bodems met een arme mineralogie (zandbodems), waar zich het grootste deel van de Nederlandse restanten van het heidelandschap bevindt. De natuurlijke nutriëntlevering vanuit de bodem zal, zonder extra maatregelen, om twee redenen het niveau van voor de Tweede Wereldoorlog niet meer halen:

- 1) Omdat de voorraad aan bodemmineralen met basische kationen meetbaar achteruitgegaan is, en daarmee de natuurlijke aanvulling van kationen.

- 2) Omdat bij aanhoudende verhoogde stikstofdepositie deze kationen versneld blijven uitspoelen (Bobbink *et al.*, 2017).

Mineralogie bepaalt regionale vruchtbaarheid

De mineralogie van de bodem is bepalend voor de vruchtbaarheid. Het meest bekende voorbeeld zijn de vruchtbare kleigronden vergeleken met de arme zandgronden. Ook binnen zandgronden komen verschillen voor, bepaald door de mineralogie van het achterland. Volgens Crommelin (1965) zijn de Nederlandse zandgronden mineralogisch ruwweg op te delen in drie zones:

- Noord (boven de Overijsselse Vecht) een zone met glaciaal beïnvloede afzettingen relatief rijk aan granaat.
- Midden gedomineerd door metamorfe en vulkanische mineralen uit de Alpen en Eifel zoals epidoot, amfibool, pyroxenen.
- Zuid (onder de grote rivieren) wordt bepaald door afwisselend Rijn- en Maassedimenten met meer toermalijn en stabiele metamorfe mineralen zoals andalusiet, sillimaniet, stauroliet.

De mineralogie in het zuiden van Nederland wordt gekenmerkt door een mineralogisch inherent lagere vruchtbaarheid. De mineralen andalusiet, sillimaniet en stauroliet zijn (vrijwel) basische kationloze aluminosilicaten en verweren bijna niet.

Uit de huidige onderzoeken (data BodemBergsma) blijkt dat het verschil vruchtbaarheid tussen Noord en Zuid in grote lijnen klopt. Vooral in de mineralen biotiet, muscoviet, chloriet en epidoot is het zuiden armer. Er is echter geen opmerkelijk verschil in de verhoudingen tussen bijvoorbeeld biotiet en muscoviet die op een meer vulkanisch of metamorf achterland zou moeten duiden. Amfibool echter komt in tegenstelling tot Crommelins bevindingen vaak meer voor in het zuiden dan bijvoorbeeld op de Sallandse Heuvelrug en de Veluwe (regio midden).

2.2 Verzuring van minerale bodems

Bovenstaand proces van chemische verwerking is ook het proces dat de bodem-pH in kalkloze gronden op lange termijn gezien stabiel houdt. Dit gebeurt in twee etappes:

- Uitwisseling van zuur (H_3O^+) met kationen uitwisselbaar gebonden aan klei en organische stof, het zogenoemde bodemadsorptiecomplex;
- Aanvulling van de uitwisselbaar gebonden kationen door verwerking van silicaatmineralen;

Het bodemadsorptiecomplex, ook wel kationenuitwisselingscomplex genoemd, dient hierbij als kanarie in de kolenmijn. Is de toevoer van verzurende depositie groter dan de bodemmineralogie door verwerking en de toevoer van basische kationen uit de lucht kan neutraliseren, dan vullen de uitwisselingsplekken van het aanwezige bodemadsorptiecomplex zich steeds meer met protonen. Wanneer het bodemadsorptiecomplex tenslotte min of meer verzadigd is met protonen (basenverzadiging <15-20%), daalt de bodem-pH vervolgens sterk (Bobbink *et al.*, 2017). Bij een te lage pH worden bij verwerking van aluminosilicaten geen protokleien zoals allofaan ($Al_2O_3 \cdot (SiO_2)_{1.3-2} \cdot (2.5-3)H_2O$) gevormd maar blijft het aluminium in oplossing. Dit wordt het aluminiumbufferingstraject genoemd. In een mineralogisch rijke bodem treedt in eerste instantie geen verandering van de basenbezetting op terwijl de mineralogie wel meetbaar kan worden aangetast (Lafleur *et al.*, 2013)

Verwerking

Bodemmineralen hebben zeer verschillende verwerkingssnelheden. Hierdoor leidt de verwerking van de mineralen met verloop van tijd tot verandering van de chemische en mineralogische samenstelling in de bodem. Mineralen die vrijwel niet verweren zoals kwarts (SiO_2), zirkoon (ZrO_2) en ilmeniet (TiO_2) nemen procentueel toe, mineralen die langzaam verweren zoals kaliveldspaat en albiet ($NaAlSi_3O_8$) lijken

relatief niet af te nemen of nemen relatief langzaam af. Snel verwerende mineralen als chloriet ($(\text{Fe,Mg})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), amfibool ($\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5(\text{Al,Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) en biotiet ($\text{K}(\text{Mg,Fe}^{2+})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$) verdwijnen vrijwel geheel. De snelst verwerende carbonaatmineralen kalk (CaCO_3) en dolomiet ($(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$) komen in de meeste Nederlandse zandbodems van nature niet voor of zijn geheel verdwenen. Zoals uit de molecuulformule blijkt, bevatten de snel verwerende mineralen essentiële nutriënten (Mg, Fe, Ca en K) maar zijn zij ook de belangrijkste bron van sporennutriënten.

Historische verwerking: verweringsprofielen

Verwerking in een bodem vindt plaats van boven naar beneden omdat de verzurende depositie van boven komt en de meeste zuurproducerende biologische activiteit plaatsvindt in de toplaag. In een boorkern tot in de moederhorizont kan op die manier de voortgang van de verwerking in de bodem bepaald worden. Hoewel niet in alle gevallen, kan het sediment op het diepste punt van de boorkern meestal als moedersediment van de minerale toplaag beschouwd worden. Waar men rekening mee moet houden is dat:

- Verzuring ook op grotere diepte een rol kan spelen
- Dichtheden en volumes veranderen door uitspoeling enerzijds en opbouw van organische stof anderzijds
- De onderkant en bovenkant van een profiel tot dezelfde geologische en mineralogische eenheid behoren

Het eerste punt is in de praktijk lastig te omzeilen, men kan er wel van uitgaan dat de meeste verwerking in de top heeft plaatsgevonden waardoor de bepaling een redelijke schatting oplevert. Men moet er wel rekening mee houden dat dit doorgaans een onderschatting van de werkelijke verwerking is. Het tweede punt wordt omzeild door het te bestuderen snel verwerende element (Ca, Mg, Na) te vergelijken met een niet of zeer langzaam verwerend element (Zr, Ti, Si). Zo'n rekenmethode wordt een verweringsindex genoemd. Een verweringsindex geeft de totale verwerking aan van de bodem vanaf het moment van ontstaan of vanaf het begin van een periode van significante verwerking (tijdens ijstijden vindt vrijwel geen verwerking plaats). Door de totale hoeveelheid uitgespoelde kationen te delen door de periode van verwerking kan een langetermijnverweringsnelheid berekend worden.

Meestal worden hiervoor zirkoon (Zr) en titanium (Ti) gebruikt omdat deze maar in een zeer beperkt aantal en tegen verwerking resistente mineralen voorkomen. Silicium (Si) daarentegen komt, behalve in kwarts, ook in veel matig tot snel verwerende mineralen voor. Bestaat een bodem uit grote hoeveelheden snel verweerbare silicaatmineralen dan is SiO_2 een minder goede keus. Op de huidige onderzoekslocaties (Hoge Veluwe, Strabrechtse Heide) bestaat de mineralogie voor meer dan 85% uit kwarts waardoor SiO_2 wel geschikt is voor bepaling van de verwerking. De meeste verwerkingsonderzoeken tot nu hebben plaatsgevonden in in-situ of regionaal gevormde bodems met een duidelijk herleidbare mineralogie en een continu profiel (o.a. Egli *et al.*, 2001, Starr & Lindroos 2006). Geologisch gezien kan de Strabrechtse Heide qua continuïteit hiermee vergeleken worden gezien de dikke laag homogeen dekzand die daar is afgezet door de aanwezigheid van de Roerdalslenk. Op de Hoge Veluwe zijn door geomorfologische processen en antropogene invloeden veel complexere profielen ontstaan waarvan minder makkelijk vast te stellen is hoeveel verwerking in welke periode heeft plaatsgevonden. Op sommige plaatsen is nauwkeurig of globaal bekend gedurende welke periode verwerking heeft plaatsgevonden. Op deze plekken is af te leiden hoeveel de antropogene verzuring heeft bijgedragen aan de verwerking van de bodemmineralen (Bergsma *et al.*, 2016).

2.3 Ervaring met steenmeel buiten de landbouw

Steenmeel van silicaatgesteenten wordt nog maar sinds kort en op experimentele schaal ingezet tegen de gevolgen van bodemverzuring in natuurgebieden. Buiten de landbouw zijn wel experimenten met minerale bodemverbeteringen uitgevoerd maar dan met name gericht op bosbouwkundige percelen of houtproductie. Sommigen daarvan richten zich met name op de levering van nutriënten P, K, Mg (Aarnio *et al.*, 1995, 2003; Moilanen *et al.*, 2005), anderen op algemene bodemverbetering (Stenicka & Narovec 1994, von Wilpert & Lukes 2000; Hartmann & Keplin 2003; Kunes *et al.*, 2004). Ook zijn kolomproeven met kalk en silicaatsteenmeel (Eifelgold) uitgevoerd door Hildebrand en Schack-Kirchner 2000. Veldproeven met dit onderwerp zijn uitgevoerd door von Wilper & Lukes (2000). In deze studie werden 10 ton dolomiet en 10 ton fonoliet vergeleken. Beide behandelingen vertoonden significante langdurige verbeteringen qua pH en uitwisselbaar calcium.

In het algemeen laten de resultaten van de steenmeelproeven in de bosbouw zien dat silicaatmineralen (biotiet, 6% K 1200 kg/ha) langzamer maar wel langduriger werken dan kunstmest (KCl, 140 kg/ha) (Aarnio *et al.*, 2003; Moilanen *et al.*, 2005) met een gematigder pH-stijging (Aarnio *et al.*, 2003). In beide studies wordt kalium als biotiet in dezelfde orde van grootte toegediend als kalium uit KCl. Verschillende auteurs observeren dat bodemverbetering met silicaatmineralen tot vrijwel geen mineralisatie van organische stof leidt (Hildebrand & Schack-Kirchner 2000). Daarnaast wordt vrijwel geen verhoogde uitspoeling van stikstof gemeten (Aarnio *et al.*, 2003; Hildebrand & Schack-Kirchner 2000; von Wilpert & Lukes 2000). Koňasová *et al.*, (2012) concluderen in een 15-jarig onderzoek dat steenmeel, in dit geval een amfibolietmeel, na plantgat bemesting lang werkzaam is. Van het amfibolietmeel werd 2kg per plant aangebracht van de dolomiet 1 kg per plant. Opvallend was dat op lange termijn de totale overleving van de bomen bij de dolomiet lager was dan bij de amfiboliet. Over het algemeen wordt in bosbouwkundige veldexperimenten het steenmeel oppervlakkig aangebracht maar bij jonge aanplant wordt aangeraden het steenmeel snel na aanplant rond het boompje of zelfs in het plantgat aan te brengen (Kunes *et al.*, 2004).

Opvallend is dat het toedienen van steenmeel wordt gezien als een vorm van 'langzame' bemesting terwijl het eigenlijk het toedienen van 'snelwerkende' mineralen is als je het vergelijkt met wat er al in de bodem aan mineralen aanwezig is. Het besef dat bomen groeien in het tempo dat de mineralen nutriënten kunnen leveren neemt toe (Vadeboncoeur *et al.*, 2014) en ook het besef dat nieuwe aanplant de verwerking van mineralen versnelt (Lafleur *et al.*, 2013). Ook zijn er sterke aanwijzingen dat in gebieden met een lange historie van hoge verzurende depositie de bodemmineralogie geen houtproductie meer aan kan zonder verdere verzuring (o.a. Bobbink & Hetteling 2011; Stendahl *et al.*, 2013). Verhoudingsgewijs gaat het in het heidelandschap over kleinere nutriëntenvoorraden, maar het is raadzaam om inzicht te krijgen in de veranderingen in de nutriëntenvoorraden als gevolg van begrazing, maaien en vooral plaggen, dat heel veel nutriënten uit het systeem verwijdert. Biomassaverwijdering zorgt elke keer dat de bodemmineralogie een (licht) versnelde verwerking doormaakt om de uitwisselbare en organisch gebonden voorraad aan kationen weer op peil te brengen.

3 Beschrijving onderzoeksterreinen en opzet experimenten

3.1 Opzet praktijkexperimenten

Na het bepalen van de proeflocaties is de mineralogie in kaart gebracht, en op basis hiervan zijn de soorten steenmeel gekozen en de doseringen bepaald. Bij de keuze van de soorten steenmeel is rekening gehouden dat deze geen hoge concentraties mogelijk schadelijke stoffen bevatten, zoals nikkel of zink. De resultaten van het mineralogische onderzoek en verantwoording van de gekozen steenmeelsoorten is beschreven in Hoofdstuk 4. De samenstelling van de geselecteerde steenmeelsoorten is weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Samenstelling van de geselecteerde soorten steenmeel en Dolokal, gehalten in mmol/kg droog materiaal gemeten door middel van een magnetrondestructie. Op de Veluwe is geen Biolit200 en geen Lavagruis opgebracht.

Table 3.1. Content of the added rock powder, in mmol/kg dry material after microwave digestion. At the Veluwe sites no Biolit 200 or Lavagruis were added.

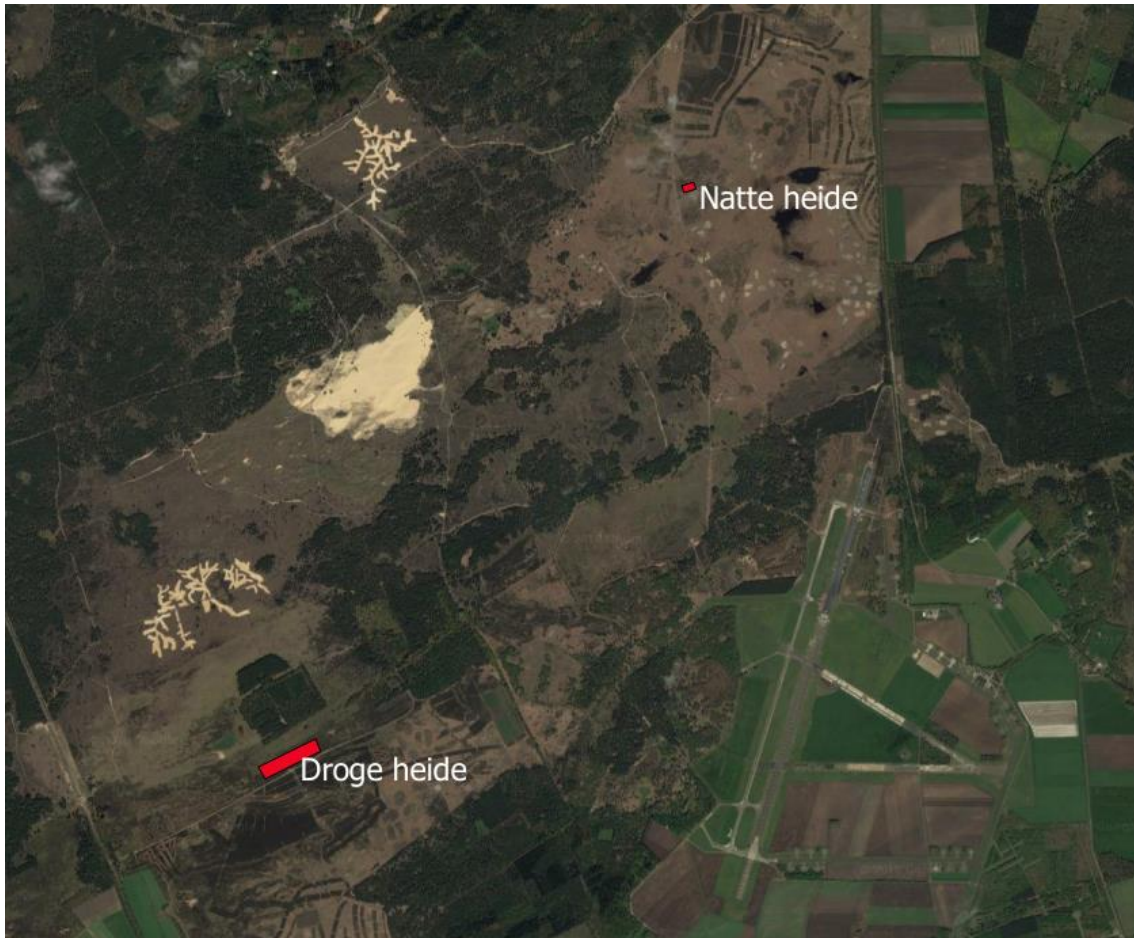
	mmol/kg droog materiaal	Dolokal	Biolit 100	Biolit 200	Lavagruis	Lurgi
Al	NP Hoge Veluwe	42	865			1391
	Strabrecht	42	926	1068	1407	1497
Ca	NP Hoge Veluwe	6944	657			206
	Strabrecht	5129	684	718	262	276
K	NP Hoge Veluwe	0,2	75			503
	Strabrecht	2,5	54	44	567	324
Mg	NP Hoge Veluwe	1545	961			195
	Strabrecht	4653	1022	1100	636	178
P	NP Hoge Veluwe	3,3	88,7			18,9
	Strabrecht	2,9	93,7	109	70,0	21,0
Mn	NP Hoge Veluwe	5,1	19,2			5,1
	Strabrecht	10,5	19,9	20,9	6,6	5,3

Beide dealexperimenten in het OBN-project werden uitgevoerd in het Nationale Park (NP) de Hoge Veluwe. In de heide zijn vijf blokken met ieder vier proefvelden van 5m bij 5m uitgezet in de natte heide en van 15m bij 15m in de droge heide. Na overleg met de beheerders van het NP en twee verkennende veldbezoeken zijn de volgende locaties (Figuur 3.1) geselecteerd:

- Oud-Reemsterveld (droge heide)
- Deelense veld (natte heide)

De geselecteerde locatie van het droge heide-experiment ligt in het noordelijke deel van het Oud-Reemsterveld, net ten zuiden van het bosje van Staf (52.058826,

5.821048). Deze locatie met droge heidevegetatie is al jarenlang niet geplagd (zeker sinds eind jaren zestig van de vorige eeuw, waarschijnlijk al langer).



Figuur 3.1. Ligging van de OBN-experimenten in de droge heide en natte heide in het NP de Hoge Veluwe. Op beide locaties liggen vijfproefblokken bestaande uit vier behandelingen (Controle, Dolokal, Biolit en Lurgi, n=5). Op de droge locatie zijn de proefvlakken ieder 15m bij 15m groot, in de natte heide 5m bij 5m.

Figure 3.1. Experimental sites at the NP Hoge Veluwe. Both sites contain five blocks with four treatments (Control, dolokal, Biolit and Lurgi, n=5). At the dry heathland experiment the experimental plots are 15m by 15m, at the wet site the plots are 5m by 5m.

Voor het experiment in natte heide is gekozen voor een locatie op het Deelense veld, na uitgebreid overleg met de beheerders van het NP en Jaap Bouwman van de Unie van Bosgroepen. Het betreft een locatie net ten zuiden van de Wolfskuilen bij de Heiweg (52.089160, 5.861354). De heide wordt daar gekenmerkt door een co-dominante begroeiing van Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en Gewone Dophei (*Erica tetralix*). In februari en maart 2015 was de situatie grotendeels plas-dras, met lokaal wat plekken met iets hogere of lagere grondwaterstand. De natte situatie met een schijngrondwaterlaag wordt hier in het Deelense veld veroorzaakt door een zeer moeilijk doorlatend laagje in de bodem, bestaande uit een zogenaamde placic B-horizont. Voor details hierover wordt verwezen naar Jansen *et al.*, (2014). De locatie is weliswaar begin jaren tachtig geplagd, maar sindsdien is er al wel weer een redelijke laag organisch materiaal opgebouwd. Door de weggevallen inwaai van fijn stof uit de stuifzanden en de voortgeschreden atmosferische depositie van (eerst) S en N-verbindingen is de lichtgebufferde situatie op het Deelense veld vaak verdwenen. De vegetatie kan duidelijk worden toegerekend aan het habitatype natte heide (H4010). Zoals een groot deel van het Deelense veld, is de vegetatie in het droge voorjaar van 2014 (Pasen) afgebrand. Al met al is de geselecteerde locatie één van de weinige, redelijk toegankelijke plekken in het NP de Hoge Veluwe met "zure vochtige" heide waar het experiment kon worden uitgezet in een situatie met codominantie van Pijpenstrootje en heide. Aanvullende informatie over de proeflocaties is weergegeven in Bijlage 1.

De derde experimentele locatie ligt op de Strabrechtse heide. Hier zijn na een eerste bijeenkomst van het consortium en een verkennend veldbezoek op 23-07-2014 verschillende potentiële locaties geselecteerd met droge heidevegetatie met een intacte organische laag, aangezien alle locaties al zeker 50 jaar niet geplagd zijn.

Vervolgens zijn in de droge heide op deze geselecteerde locaties vijf proefblokken ingericht, ieder bestaande uit zes proefvlakken (Figuur 3.2). Ieder proefvlak is 10m bij 10m groot. De proefblokken op Strabrecht liggen deels binnen de begrazingseenheid (blokken 1, 2 en 3) en deels daarbuiten (blokken 4 en 5). In eerste instantie was het de bedoeling om alle blokken bij elkaar binnen de begrazingseenheid te plaatsen, maar doordat de beoogde locatie voor twee proefblokken (te) recent geplagd bleek te zijn, is uitgeweken naar de huidige plek en liggen de blokken verspreid in het terrein.



Figuur 3.2. Locatie van de vijf proef-blokken van het Noord-Brabantse experiment op Strabrecht. Ieder blok bestaat uit de zes behandelingen (Controle, Dolokal, Biolit100, Biolit200, Lurgi en Lavagruis), de proefvlakken zijn steeds 10m bij 10m groot. De blokken 1, 2 en 3 liggen binnen de begrazingseenheid, de blokken 4 en 5 daarbuiten.

Figure 3.2. Location of the five blocks at Strabrecht (n=5). Each block contains of six plots 10m by 10m (Control, Dolokal, Biolit100, Biolit200, Lurgi and Lavagruis). The first three blocks are situated in a cattle grazed part of Strabrecht (n=3), two blocks are placed in a non grazed part (n=2).

Voordat de behandelingen zijn opgebracht is de bodemchemie gemeten in alle proefvelden van de drie experimenten, (de zogenaamde nulmeting). Vervolgens zijn de behandelingen per toeval aan de proefvlakken toegewezen.

Op de proefvlakken zijn de volgende behandelingen opgebracht:

	NP Hoge Veluwe	NP Hoge Veluwe	Strabrecht
	Droge heide	Natte heide	Droge heide
	15 m * 15 m, OBN	5 m * 5 m, OBN	10 m * 10 m, Prov. Noord-Brabant
Controle	-	-	-
Biolit 100 µm	10 ton/ha	10 ton/ha	10 ton/ha
Biolit 200 µm	-	-	10 ton/ha
Vulkatec/Lavagruis	-	-	15 ton/ha
Lurgi/Portanef 500 µm	10 ton/ha	10 ton/ha	10 ton/ha
Dolokal 5% Mg	4 ton/ha	4 ton/ha	-
Dolokal 15% Mg	-	-	4 ton/ha

Het steenmeel is op 24 en 25 februari 2015 op de droge locatie op de Veluwe (Figuur 3.3) en op 4 maart 2015 op de natte proeflocatie in de Veluwe (Figuur 3.4). Op Strabrecht is het steenmeel op 24 en 25 november 2014 opgebracht (Figuur 3.5). Al het steenmeel is handmatig opgebracht en niet in de bodem gewerkt (dus niet geharkt of geschoffeld).



Figuur 3.3. Opbrengen van steenmeel op de droge proeflocatie op de Veluwe (Oud-Reemsterveld).

Figure 3.3. Addition of the rock powder at the dry site at the Veluwe



Figuur 3.4. Proefvlakken op de natte locatie (Deelense Veld) al of niet behandeld met steenmeel.

Figure 3.4. Experimental plots at the wet site at the Veluwe, some treated with rock powder.



Figuur 3.5. Links een proefvlak op Strabrecht vlak na het toedienen van het steenmeel op 24 november 2014. Rechts: het steenmeel wordt handmatig opgebracht.

Figure 3.5. Experimental plot at Strabrecht after rock powder addition (left) and the addition of rock powder by hand at 24th of November 2014 (right).

Na het opbrengen van de behandelingen zijn de ontwikkelingen in de bodemchemie, plantchemie, vegetatie-samenstelling en fauna gevolgd vanaf voorjaar 2015 tot eind 2017. Welke metingen zijn uitgevoerd, staat weergegeven in Tabel 3.2.

In ieder proefvlak werd de samenstelling van de vegetatie beschreven, de bodemchemie gemeten en de chemie van de dominante heide en grassoort bepaald. In de droge proeflocatie van het OBN-experiment werd ook Schapenzuring bemonsterd. In dit project is namelijk naast de veldmetingen ook een kweekproef uitgevoerd met Vuurvlinders (zie H9). Om de gegevens uit de kweekproeven te kunnen relateren aan de veldsituatie werd de waardplant van de vlinders (zuring) in het veld verzameld en de chemische samenstelling gemeten. De methodieken van de verschillende bemonsteringen zijn in ieder betreffend hoofdstuk beschreven.

Tabel 3.2. Uitgevoerde metingen in de experimenten. Wanneer er geen jaartal achter staat, zijn de metingen jaarlijks uitgevoerd. Wanneer er wel een jaartal wordt genoemd, betekent dit dat deze specifieke metingen alleen in de betreffende jaren zijn uitgevoerd.

Table 3.2. Measurements taken in the experimental plots. When no year is mentioned, the measurements were taken every year.

	NP Hoge Veluwe	Strabrecht
Bodemchemie	Organisch stof en massavolume pH, uitwisselbare basische kationen (Ca, K, Mg) en stikstof (NH ₄ en NO ₃) Uitwisselbaar Al Plantbeschikbaar fosfaat Totaal-gehaltes Ca, K, Mg, P CEC en basenverzadiging	Organisch stof en massavolume pH, uitwisselbare basische kationen (Ca, K, Mg) en stikstof (NH ₄ en NO ₃) Uitwisselbaar Al Plantbeschikbaar fosfaat Totaal-gehaltes Ca, K, Mg, P CEC en basenverzadiging
Vegetatie	Plantchemie heide, gras en schapenzuring Samenstelling vegetatie	Plantchemie Struikheide en Pijpenstrootje Samenstelling vegetatie
Fauna	Proef effecten verzuring en steenmeel op Vuurvlinders (2015 + 2016) Effectmeting Diptera (2017)	Faunadichtheid sleepnet Loopkevers (2016)

4 Resultaten mineralogie

4.1 Inleiding

4.1.1 Aanpak vaststelling cumulatieve verwerking sinds de laatste ijstijd

Om een indruk te krijgen wat de verzuring voor gevolgen heeft gehad voor de mineralogie in de onderzoeksgebieden zijn monsters genomen bij de proefvlakken in de voor het onderzoek geselecteerde heidegebieden. Om een meer volledig beeld voor het Nederlandse zandgebied te verkrijgen zijn ook in Drenthe, onderdeel van het noordelijke zandgebied, monsters genomen. In elk gebied (NP Hoge Veluwe Gelderland, Dwingelderveld Drenthe, Strabrechtse Heide Noord-Brabant) zijn profielopnamen gestoken met een guts tot ongeveer 80 centimeter diep waarna om de 5 cm een chemische scan werd uitgevoerd met een portable of hand-held XRF (HH-XRF). De metingen met de XRF zijn indicatief en bedoeld om patronen in de profielen naar voren te halen. Er worden in het rapport geen tabellen van gegeven. Voor het deel van het profiel waar de verwerking over wordt berekend is het van belang dat er geen chemische discontinuïteit wordt waargenomen. In dat geval wordt aangenomen dat top en onderkant van het (deel) profiel dezelfde geologische oorsprong hebben. Dergelijke continue (deel)profielen zijn geschikt om de mate van minerale verwerking te bepalen. Deze monsters van de top en onderkant van een verweringsprofiel zijn vervolgens mineralogisch (QEMSCAN), bulkchemisch (lab-XRF) en op sporenelementen (ICP-MS) geanalyseerd. Door vergelijking van de chemische- en mineralogische analyses en data van verzurende depositie uit de literatuur is geschat wat de antropogene bijdrage aan de verwerking van de bodem mineralen is geweest. Aan de hand van de chemische en kwantitatieve minerale verschillen tussen top- en onderlaag in de bodem is een theoretisch steenmeel uitgerekend. Aan de hand van dit theoretisch bepaalde steenmeel is voor de gebieden het NP Hoge Veluwe en Strabrechtse Heide een zo goed mogelijk passend steenmeel uitgezocht. Bij deze selectie zijn, in nauwe samenwerking met de mijnindustrie en mineraalhandel, ook niet commercieel verkrijgbare steenmeelsoorten betrokken.

4.1.2 Welk steenmeel is geschikt voor natuurbeheer?

Steenmeel voor natuurbeheer moet aan andere eisen voldoen dan steenmeel voor de landbouw. Waar in de landbouw gekeken wordt naar snelle levering van nutriënten vanuit het steenmeel is het voor natuurbeheer vooral van belang dat het steenmeel vooral lang blijft werken en geen heftige responsen veroorzaakt (zoals bij hoge kalkgiften). Kortwerkende steenmeelsoorten (die bijvoorbeeld een groot aandeel zeoliet bevatten) worden in het onderzoek niet meegenomen, omdat deze zeer snel uitgewerkt raken en we langdurig herstel nastreven. Ook dient het steenmeel de nutriëntenbalans zo breed mogelijk te herstellen en geen nieuwe onbalans te veroorzaken. Dit sluit toepassing van monomineraal steenmeel zoals duniet uit.

Daarnaast is het voor natuurbeheer van belang dat het steenmeel goed toegediend kan worden. Steenmeel voor de landbouw is zeer fijn ($<65\mu\text{m}$) en gevoelig voor verstuiving. Daarom wordt steenmeel in de landbouw opgebracht met een kalkstrooier met zijflappen. Op vrijwel alle natuurterreinen is het onmogelijk om met dergelijke machines te werken. Andere verspreidingstechnieken hebben het nadeel dat het steenmeel misschien niet gelijkmatig verdeeld wordt waardoor er een risico is op de vorming van een harde laag. Het is daarom zinvol om te zoeken naar steenmeelsoorten die minder stuifgevoelig zijn (grofkorreliger) maar toch reactief genoeg om de bodem meetbaar te verbeteren.

4.2 Methoden

4.2.1 Monsternamen en analyse

Monsternamen

De monsters voor de mineralogische bepaling werden genomen met een guts van 1 m lengte. Voor monsternamen werd 0.25 m² oppervlakkige begroeiing weggehaald. Om samendrukken van het profiel of verlies van het onderste monstermateriaal te voorkomen werd het profiel waar nodig in twee keer gestoken. Het profiel werd schoongemaakt met een monsternamemes en vervolgens werd per 5 cm materiaal verzameld in 60 ml polypropylene monsterpotjes met schroefdop. Tijdens het veldwerk werden van gutsprofiel en omgeving foto's gemaakt. De monsters werden vervolgens 48 uur gedroogd bij 60°C.

Verkenninganalyse boorkern

De gedroogde monsters werden handmatig gemalen om de aggregaten los te maken en vervolgens gezeefd over 2 mm. Van het gezeefde materiaal werd ± 6 gram van de < 400µm fractie overgebracht in een 2,5 cm Ø sample cup met 6.0 µ polypropylene venster. Meting van de bulkchemie werd uitgevoerd met een Niton XL3t GOLDD+ met de volgende filterinstellingen:

- Main range (Fe, Zr, Sr, Rb) 30 seconden
- Low range (Ti, Ca, K) 30 seconden
- High range (Ba) 30 seconden
- Light range (Al, Si) 90 seconden

De HH-XRF meet met deze instellingen 34 elementen maar alleen de hierboven genoemde elementen zijn gebruikt voor het onderzoek. De Niton XL3t GOLDD+ wordt in het mineralogisch onderzoek ingezet om een eerste indruk te krijgen van de algemene chemie en geochemische processen die zich in het profiel hebben afgespeeld. Voor de calibratie werden aan het begin en eind van de meetdag standaarden gemeten. Voor de monsters van de Strabrechtse Heide waren dit Pure SiO₂, ISE 921, ISE 951, ISE 952, ISE 964, ISE 965, ISE 958, ISE989, en ISE 998. Voor alle andere monsters zijn Pure SiO₂, NIST 2780, NIST 2702, SARM46, ISE 952 en ISE 998 gebruikt. Van alle monstercupjes zijn foto's gemaakt voor in het archief. De metingen met de HH-XRF zijn indicatief, er worden om die reden geen tabellen van gerapporteerd.

Vervolganalyses bulk-, sporenelementen en mineralogie

Voor zowel een nauwkeuriger en uitgebreider chemische analyse als de mineralogische bepaling werden aan de hand van de diepteprofielen deelmonsters geselecteerd voor vervolganalyse. Per profiel zijn meestal drie monsters geselecteerd. Voor de Strabrechtse Heide zijn dit 1 uit de A/E-horizont, 1 uit de B-horizont en 1 uit de C-horizont. Bij de Strabrechtse Heide is elke kern afzonderlijk gemeten. Voor de Hoge Veluwe, waar met het oog en met de HH-XRF geen duidelijke inspoelingshorizont werd waargenomen werden voor de plots op de droge (Oud Reemsterveld) en natte heide (Deelense Veld) de A/E-horizont, de C-horizont en de onderliggende mineraal afwijkende laag (C2-horizont) geanalyseerd. Van een selectie van 3 van de 6 de boorkernen van het Oud Reemsterveld met de langste en duidelijkste verweringsprofielen van A/E tot C en 3 van de 3 boorkernen van het Deelense Veld zijn van A/E-horizont en C-horizont over 15 cm mengmonsters gemaakt. De C2 horizont is voor het Oud Reemsterveld en het Deelense veld afkomstig uit 1 kern. Van 1 boorkern het Dwingelderveld zijn respectievelijk een mengmonster van de E- en van de C- horizont gemaakt. Er is afgeweken van de aanpak in Brabant om extra analyses te kunnen uitvoeren om inzicht te krijgen in de verdeling van kationen tussen de uitwisselbare fractie en de organische stof enerzijds en de silicaatmineralen anderzijds. Hiervoor is een extra extractie met Na-pyrosfosfaat uitgevoerd en geanalyseerd op de ICP-MS (Bijlage 2). Hierdoor wordt vermeden dat bij hoge opbouw van organische stof in de toplaag een deel van de organisch gebonden en uitwisselbare kalium, calcium en magnesium ten onrechte bij de niet verweerde mineralen zou worden opgeteld. Het nadeel van de

pyrofosfaat extractie methode is dat de detectielimiet van Ca erg hoog ligt (500 ppm) en dat deze daardoor onbruikbaar is. Voor de overige elementen lijkt er geen duidelijke correlatie te bestaan tussen gehalte aan organische stof (LOI) en de extraheerbare fractie. Alleen voor ijzer is de extraheerbare fractie in de toplaag groter dan onderin het profiel, maar dat geldt ook voor het totaalgehalte. Bij Aluminium is dit omgekeerd. Vooralsnog lijkt de pyrofosfaat loging geen significante bijdrage te leveren aan het scherp krijgen van de verwerking in de bodem aan de hand van totaalgehalten.

Voor de chemische analyse van hoofd- en sporenelementen werden de (samengestelde) monsters deels gemalen tot doorval 95% op 74µm. Vervolgens werden voor alle monsters de volgende analyses uitgevoerd:

- ICP-MS na totaalontsluiting met HCl, HNO₃, HClO₄ en HF.
- XRF whole rock analysis in lithiumboraatparel

Het overige deel wordt zonder malen gezeefd op 200µm en mineralogisch geanalyseerd op de QEMSCAN. QEMSCAN is een techniek waarbij op een geprepareerd slijpplaatje de chemie van elke korrel apart per µm² gemeten wordt. Mineralen worden gedetermineerd door de chemische bepaling met een database te vergelijken. De voordelen van deze techniek t.o.v. klassieke mineraal determinatie zijn dat er meer korrels (30.000 i.p.v 100-200) gemeten worden, dat de gehele fractie van 0-200 µm geanalyseerd wordt en dat geen mineralen verdwijnen door de voorbehandeling met zuur.

4.2.2 Waarom is voor QEMSCAN gekozen boven klassieke mineraal determinatie en analysemethoden?

Problemen bij de bepaling van de mineralogie van de bodemmineralen.

De minerale fractie verantwoordelijk voor de levering van essentiële sporennutriënten en enkele hoofdnutriënten (P, Mg, Ca) in zandbodems is slechts 1,5 tot 2,0 % groot. Dit is de fractie die naar verwachting het meest heeft geleden onder de verzuring. Chemische en mineralogische analyse van deze fractie is niet eenvoudig. Hieronder wordt ingegaan op een aantal klassieke benaderingen en één nieuwe analysetechniek voor zware mineraalanalyse en waarom er door ons voor wordt gekozen van de klassieke methoden af te wijken.

Zware mineraalscheiding

Mineralogische analyse van zanden vond vroeger plaats door achtereenvolgens zeven, spoelen met zuur, zware mineraalscheiding en optische determinatie met een lichtmicroscop. Deze werkwijze is arbeidsintensief en zeer gevoelig voor variatie door verschil in zeeffractie, gebruikte scheidingsvloeistof en de kundigheid van de mineraloog. Deze methoden werden vooral gebruikt om de oorsprong van de geologische formaties te kunnen reconstrueren. Verschillen in werkwijzen leiden vaak tot verschillen in inzichten. Nadeel van deze methode met betrekking tot vruchtbaarheidsvraagstukken is dat glimmers, apatiet (Ca₅(PO₄)₃OH) en klei bij het scheidingsproces verloren gaan. Deze methode is daarom niet geschikt om een totaalbeeld van de voor de vruchtbaarheid bepalende mineralogie te krijgen.

XRD

Röntgendiffractie is een snelle methode om een goede indruk te krijgen van de mineralogie van een bodem. Voorwaarde is wel dat er meer dan 0,5% van een mineraal op gewichtsbasis aanwezig moet zijn en dat dit mineraal ook goed kristallijn moet zijn. In een zandbodem is de totale zware mineraalfraction 1,5-2,0% en deze bestaat uit meer dan 10 verschillende mineralen. Van deze mineralen komen er slechts 2 of 3 boven de 0,5% en in het geval van metamorfe mineralen en kleien zijn deze niet altijd even goed kristallijn. Zonder mineraalconcentratie is XRD dus niet bruikbaar voor de bepaling van de zware mineralen.

QEMSCAN

Voor een goede analyse van de bodemmineralogie is er dus een techniek nodig die een groter oplossend vermogen heeft dan XRD en die de samenstelling van het

monster niet beïnvloedt qua korrelgrootte en zware mineraal-samenstelling. Om deze reden is er gekozen om gebruiken te maken van een relatief nieuwe techniek genaamd QEMSCAN waarmee onder een scanning electronenmicroscop een chemische opname wordt gemaakt van ongeveer 30.000 korreltjes van alle korrelgrootte verdelingen. Dit is een techniek die tot nu toe vooral wordt toegepast in de metallurgie (microveldjes in legeringen etc.) en in de exploratiegeochemie (goud in sedimenten).

4.3 Oud Reemsterveld

4.3.1 Geologie van het Oud-Reemsterveld

De proefvelden op het Oud-Reemsterveld zijn gelegen midden op de stuwwal van Oud Reemst. Afgaande op van Doesburg *et al.*, (2009) lag dit gebied aan de rand van of is dit gebied onderdeel van zandverstuivingen geweest. De stuifzandlaag is te herkennen aan een abrupte overgang in chemie (zie bijvoorbeeld REE 1 in Figuur 4.2) en is op de proeflocaties tussen de 40 cm en 80 cm dik. De profielen hebben over het algemeen een donkerkleuring tot grotere diepte zonder duidelijk herkenbare inspoelings- en uitspoelingslagen. De stuwwal van Oud Reemst is mogelijk grotendeels vruchtbaar geweest omdat hij grotendeels uit bruine zanden bestaat. Van de gestuwde zanden zijn de zogenaamde bruine zanden, gestuwd materiaal van Rijn en Maas, het meest vruchtbaar (Breman *et al*, jaartal *onbekend*). De monsters hebben onderin de hoogste K-waarden van de Hoge Veluwe dat misschien bevestigt dat het een relatief goed landbouwgebied was.

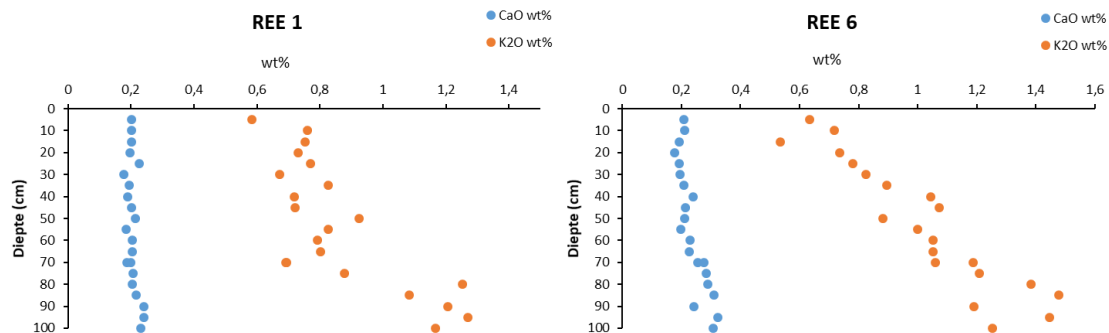
4.3.2 Resultaten geochemie en mineralogie

Monsternamen zijn uitgevoerd op 19 en 20 januari 2015 (Nationaal Park De Hoge Veluwe, droge heide 6 profielen, Figuur 4.1). Metingen met de Niton HH-XRF zijn uitgevoerd eind februari tot half maart. De elementen Al, Si, K, Ca, Fe, Ti, Sr, Rb, Zr en Ba zijn gebruikt voor de interpretatie. De elementen Mg, P en S zijn gemeten maar gaven geen stabiele waarden. Cd, As, Pb, Zn en Mn kwamen een enkele keer (Cd) tot regelmatig (Pb) boven de detectielimiet. Het verloop van de verweringsprofielen op het Oud-Reemsterveld ter plekke van de proeflocatie is op te delen aan de hand van twee profielen (Figuur 4.2, waaruit alle andere profielen qua verloop tussen liggen: 1). Een profiel met de diepte langzaam toenemend K₂O gehalte van ongeveer 0,60% naar 0,90% tot op 65-80 cm, met daaronder een scherpe overgang naar ongeveer 1,30%. Als voorbeeld is het verweringsprofiel van K₂O van REE 1 gegeven in Figuur 4.2. En een profiel met de diepte continu toenemend K₂O-gehalte van ongeveer 0,60% naar 1,40%, als voorbeeld is het verweringsprofiel van REE 6 gegeven in Figuur 4.2.



Figuur 4.1. Monsternamen punten op het Oud-Reemsterveld.

Figure 4.1. Sample locations Oud-Reemsterveld.



Figuur 4.2. Verloop van de concentraties van CaO & K₂O in profiel REE 1 (links) en REE 6 (rechts) (HH-XRF) met de diepte.

Figure 4.2. CaO and K₂O concentrations in soil profile REE 1 (left) and REE 6 (right) measured with HH-XRF.

Een vergelijkbaar maar extremer patroon is te zien voor de profielen van titanium. De sprong die de titanium waarden van minder dan 1000 mg/kg naar 1500 mg/kg en hoger op respectievelijk 80 cm (REE1) en 40 cm (REE6) diepte maken, duidt zeer waarschijnlijk op een grens met een eenheid met een andere mineralogie, waarschijnlijk stuwalsediment. Titanium is een element dat goed wordt ingebouwd in mineralen als biotiet, amfibool en augiet. Het verloop van de verschillende boorkernprofielen wordt dus hoofdzakelijk bepaald door de diepte waarop de tweede minerale eenheid begint.

Van profielen REE 1, 4 en 5, waar de tweede minerale eenheid het diepst begint, zijn van top en onderkant van de mineralogische eenheid mengmonsters gemaakt voor verdere analyse. Van profiel REE 4 is een monster genomen van de onderste 20 cm (Tabel 4.1). Voor de vervolganalyses zijn samengestelde monsters gemaakt van top- en onderlaag van wat verondersteld werd dezelfde geologische laag te zijn. Van REE (Oud-Reemsterveld) en DEE (Deelense Veld) zijn ook analyses gemaakt van de daaronder liggende laag (C2-horizont) die in chemische trend en/of veldwaarneming sterk afwijken.

Op het Oud-Reemsterveld is geen duidelijke inspoelingslaag vast te stellen. In het K₂O profiel op het Oud-Reemsterveld is zelfs op 75 cm bij de overgang naar de andere mineralogische eenheid nog niet zeker dat een stabiele waarde voor kalium is bereikt. Op het Oud-Reemsterveld is de stuifzandafzetting naar verwachting jong en heeft zich geen inspoelingshorizont kunnen vormen. Doordat de (ver)zure(nde) depositie in de afgelopen decennia zeer ernstig was, heeft de bodemmineralogie het inkomend zuur kinetisch niet snel genoeg kunnen neutraliseren waardoor het aluminium geen protokleien heeft gevormd en naar grotere diepte is getransporteerd.

Tabel 4.1. Boorkernen met diepte-interval uit het Oud Reemsterveld waaruit mengmonsters zijn gemaakt.

Table 4.1. Core samples used for composite samples of Oud Reemsterveld.

Oud Reemsterveld						
Locatie	Kern nr	Diepte (cm-mv)	Kern nr	Diepte (cm-mv)	Kern nr	Diepte (cm-mv)
REE	1,4,5	5-15	1,4,5	35-50	4	80-100

Goethiet, ilmeniet en zirkoon komen in elk monster tussen 0,01 en 0,1% voor maar zijn voor de overzichtelijkheid en het feit dat ze niet bijdragen aan de bodemvruchtbaarheid uit de tabel gelaten. Orthopyroxen, amfibool en apatiet komen sporadisch voor in zeer lage percentages. Vergeleken met de Strabrechtse heide is het Oud-Reemsterveld rijk aan mineralen met in de top ongeveer 17 x zoveel verweerbare mineralen en in de basis ongeveer 4 x zoveel. De mineralogische analyses (Tabel 4.2) laten voor de proeflocatie op het Oud-Reemsterveld twee duidelijk te onderscheiden sedimenten zien: een basis met

daarin relatief hoge gehalten aan bladspijters (chloriet, muscoviet en biotiet) en daarboven een laag met opvallend minder bladspijters. Dat deze verschillen niet door verweering veroorzaakt zijn, wordt getoond door de vrij abrupte toename van titanium in het profiel. Het verschil in chloriet en glimmer gehalte is kenmerkend voor een niet of wel door wind getransporteerd sediment (Koster 1978). Bij transport door wind vindt er een korrelgroottescheiding plaats waarbij de fijne en grove fracties afnemen. Vandaar dat een dekzand of stuifzand armer is aan bladspijters (chloriet, muscoviet, biotiet) maar minder arm aan massievere mineralen als epidoot en granaat. Voor de berekening van de minerale depletie wordt gebruik gemaakt van de analyses van de drie kernen waar de C2-horizont het diepst lag REE1, 4 en 5. Bij de hoofd- en sporenelementen valt op dat Fe, Cr en Pb in de A/E- horizont aangerijkt zijn ten opzichte van de C-horizont. Cr en Pb zijn waarschijnlijk van luchtdepositie afkomstig.

Zo ver bekend is dit de eerste keer dat QEMSCAN wordt ingezet op onderzoek aan zandbodems. De grote voordelen van deze techniek zijn dat:

- 1) de gehele fijne fractie geanalyseerd wordt (bij optische determinatie > 50 µm),
- 2) geen mineralen verloren gaan door spoelen met zuur (zoals bij optische determinatie), en 3) de detectiegrens erg laag is (i.t.t. XRD).

Wat het onderzoek lastig maakt is dat veel van de verweerbare mineralen al in aangetaste vorm zijn (muscoviet gedetermineerd als verweerde aluminosilicaat), nog niet volkomen ontwikkeld zijn (klei gedetermineerd als zeoliet) of dat zich nieuwe mineralen vormen die mogelijk nog nooit in deze situatie gemeten zijn ($Al_2Fe_ySiO_x$, gedetermineerd als amfibool maar mogelijk het op kaolien lijkende berthierien).

Tabel 4.2. Analyseresultaten hoofdelementen XRF en ICP-MS gemiddeld per horizont met concentraties uitgedrukt in gewichtspercentages oxiden. LOI staat voor gloeiverlies (inclusief zwavel).

Table 4.2. XRF and ICP-MS results, average per horizon, concentrations in percentage by weight of oxides. LOI = loss of ignition (sulphur included).

Oud Reemsterveld													
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO*	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	LOI	Total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
REE A	89.7	2.5	0.98	0.006	0.02	0.13	0.45	0.91	0.09	0.06	<d.l.	6.0	101
REE C	91.4	3.27	0.82	0.008	0.08	0.18	0.47	0.97	0.1	0.05	<d.l.	3.0	100
REEC2	91.4	3.76	1.02	0.006	0.15	0.10	0.36	1.22	0.2	0.04	0.02	1.0	99

Tabel 4.3. Analyseresultaten relevante sporenelementen ICP-MS gemiddeld per horizont met concentraties uitgedrukt in milligrammen per kilogram.

Table 4.3. ICP-MS results, average per horizon, concentrations in mg/kg.

Oud Reemsterveld									
	Ba	Mn	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Mo	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
REE A	214	71	0.9	43	13	10.2	5.9	3.7	7
REE C	217	76	0.9	15	17.3	7.2	6.6	0.5	12
REE C2	306	83	4.5	129	8.7	9.2	18.3	1.2	16

Tabel 4.4. Analyseresultaten QEMSCAN met concentraties uitgedrukt in gewichtsprocenten. n.d. = not detected.

Table 4.4. QEMSCAN results, concentrations in percentage by weight. n.d. = not detected.

Oud Reemsterveld												
	Kwarts	K-Veldspaat (K)	Plagioklaas (Na, Ca)	Muscoviet (K)	Biotiet (K,Mg)	Granaat (Ca)	Chloriet (Mg)	Epidoot (Ca)	Si-Al Clay	Al ₂ SiO ₅	Staurolite	Chromiet
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
REE A	88.3	6.2	3.4	0.19	0.03	0.07	0.02	0.07	0.50	0.00	0.00	n.d.
REE C	85.8	7.2	3.9	0.30	0.06	0.33	0.04	0.14	1.03	0.00	0.00	n.d.
REE C2	76.2	11.9	4.3	1.95	0.28	0.56	0.46	0.27	2.46	0.08	0.02	0.003

4.3.3 Berekening steenmeelsoort en dosering

Mineralogische benadering

In het ideale geval wordt de bodem mineraal aangevuld met exact dezelfde mineralen als degene die eruit verdwenen zijn. Het is mogelijk om vast te stellen welke mineralen er verdwenen zijn maar het is onmogelijk om een gesteente te vinden dat dit compleet aanvult. Allereerst omdat het aantal mineralen per gesteente (4-10) veel lager is dan het aantal mineralen in een bodem (20-24), maar vooral omdat een bodem een verzameling is van verweringsmateriaal van alle gesteenten uit het achterland van de rivier, wind of gletsjer waarmee het getransporteerd is. De gemiddelde mineralogische samenstelling van de A/E-horizon en de C-horizon van de proeflocaties op het Oud-Reemsterveld is gegeven in tabel 4.5 samen met een berekende theoretische mineraalsamenstelling (volgens Olsson & Melkerud, 2000) die nodig is om het verschil tussen deze twee horizonten aan te vullen. Van deze mineraalsamenstelling zou 3% moeten worden toegevoegd. Dat is $0.15\text{m} \times 10.000\text{m}^2 \times 1.3 \text{ ton/m}^3 \times 3\% = 59 \text{ ton/hectare}$ om de bovenste 15 cm te herstellen (Box 4.1).

Het theoretisch berekende steenmeel heeft de samenstelling van een sterk verweerde granaat en muscoviet houdende gneiss maar dan zonder kwarts. Gneiss is een vrij veel voorkomend gesteente waarvan de bodemverbeterende waarde onderzocht is (Priyono & Gilkes 2008). Gneizen zijn metamorfe zure gesteenten

met sterk variërende samenstelling en bevatten tussen de 30-70% kwarts.

Box 4.1. Berekeningen mineralogie

In tabel 4.5 zijn mineraalsamenstellingen berekend waarmee je de toplaag mineralogisch zou kunnen aanvullen tot het niveau dat de bijbehorende onverweerde C-horizont heeft. Allereerst wordt het verschil per verweerbaar mineraal tussen de C-horizont en de A/E-horizont berekend. Het mineraalgehalte uit de A/E-horizont wordt daarvoor per mineraal eerst genormaliseerd op het meeste inerte mineraal uit de C-horizont (in dit geval kwarts, zie Olsson en Melkerud 2000). Vervolgens worden alle verschillen berekend, bij elkaar opgeteld en op 100% genormaliseerd.

Vergelijking 1 Berekening steenmeel mengsel:

$$M_x = (M_{x \text{ C-horizont}} - M_{x \text{ A/E-horizont}}) / (\sum M_{k...p \text{ A/E-horizont}} - M_{k...p \text{ C-horizont}}) \times 100$$

(M_x = %mineraal x, x = verweerbaar mineraal, k...p = alle verweerbare mineralen zoals kaliveldspaat t/m plagioklaas).

Vervolgens wordt de ontbrekende fractie in een matrix berekend met onderstaande formule.

Vergelijking 2: Berekening dosis:

$$X M_{\text{steenmeel}} + (1-X)M_{\text{A/E-horizont}} = M_{\text{C-horizont}}$$

Waarbij X tussen 0 en 1 ligt en in theorie voor elk mineraal van het berekende mengsel gelijk is. Dit is echter een benadering en lastig kloppend te krijgen omdat mineralen niet congruent oplossen, d.w.z. secundaire mineralen vormen die niet in de balans zitten. Aan de hand daarvan zijn doseringen berekend voor de aanvulling van 0-15 cm -mv van één hectare met een aangenomen dichtheid van 1,3 kg/dm³.

Vanwege hun relatief lage gehalte aan snel verwerende mineralen worden gneizen niet commercieel aangeboden als bodemverbeteraar. In het geval een kwartshoudend gesteente gebruikt zou worden voor bodemverbetering wordt het aantal toe te passen tonnen dat eerder voor de mineralogische berekening genoemd is navenant verhoogd. In de praktijk lukt het niet om een steenmeel te vinden dat exact voldoet aan de (verweerde) mineralogie van de toplaag en wordt gekozen voor andere steenmeelsoorten dan gneiss zonder kwarts.

Tabel 4.5. Gemiddelde mineralogische samenstelling van de <200 µm fractie van de A-horizon en de C-horizon van de proeflocaties en een berekende theoretische steenmeelsamenstelling die het verschil tussen beide zou kunnen opvullen.

Table 4.5. Average mineralogical composition of the <200 µm fraction of the A-horizon and C-horizon, and a theoretical calculated composition of rock powder.

Mineralogie	Oud Reemsterveld A-horizon	Oud Reemsterveld C-horizon	Steenmeel
Kwarts %	88.3	85.8	
K-Veldspaat %	6.2	7.2	40.7
Plagioklaas %	3.4	4.0	22.3
Muscoviet %	0.2	0.3	3.8
Biotiet %	0.03	0.06	1.3
Granaat %	0.07	0.3	9.0
Hornblende %	0.01	0.02	0.4
Epidoot %	0.07	0.14	2.6
Chloriet %	0.02	0.04	1.0
Klei %	0.5	1.0	18.9

Chemische benadering

Een tweede benadering om tot een dosering van steenmeel te komen is door de chemische verschillen tussen A-horizon en C-horizon om te rekenen naar een chemische samenstelling die een fictief steenmeel vertegenwoordigt dat de tekorten perfect zou aanvullen. Een dergelijk steenmeel is berekend aan de hand van de laboratoriumanalyses. De resultaten van deze berekening staan in tabel 4.6.

Tabel 4.6. Resultaten van de berekening van een perfect aanvullend steenmeel voor de gemiddelde en gecorrigeerde waarden voor de A- en C- horizon van de gestoken profielen. Berekeningen uitgevoerd met XRF analyses behalve * met ICP-MS.

Table 4.6. Results of a calculated composition of rock powder based on the average and corrected values of the A- and C-horizon. Calculations executed with XRF-analysis, * with ICP-MS.

Chemie Hoofdelementen	Oud Reemsterveld A-horizon	Oud reemsterveld C-horizon	steenmeel
SiO ₂ %	89.67	91.39	50.6
Al ₂ O ₃ %	2.50	3.27	38.8
Fe ₂ O ₃ %	0.98	0.82	0.3
CaO %*	0.13	0.18	2.5
MgO %	0.02	0.08	2.9
K ₂ O %	0.91	0.97	3.7
Na ₂ O %	0.45	0.47	1.4
Totaal	94.75	97.24	100

SiO₂ is niet nodig om de chemie aan te vullen maar is toegevoegd om tot een realistische samenstelling voor een gesteente te komen. Van deze mineraalsamenstelling zou 2.7% moeten worden toegevoegd. Dat is $0.15\text{m} \times 10.000\text{m}^2 \times 1.3\text{ ton/m}^3 \times 2.7\% = 53\text{ ton/hectare}$ om de bovenste 15 cm te

herstellen tot het niveau van de C-horizont. Dit is minder dan de berekende hoeveelheid volgens de mineralogische benadering. Dit kan deels verklaard worden doordat de QEMSCAN (mineralogie) uitgevoerd is op een deel van het monster (<221 µm) en dus niet voor de hele minerale bodem telt. Ook is het waarschijnlijk dat basische kationen in de organische stof zitten waardoor de werkelijk door verwerking verdwenen mineralen worden onderschat.

4.4 Deelense Veld

4.4.1 Geologie

De proefvelden van het habitatype natte heide van het Deelense Veld liggen op een reliëfarme afspoelingswaaier met een intact dun pakket dekzand (cultuurhistorische waardenkaart Ede, Kaartbijlage 1 Aardkunde). De afspoelingswaaier is gevormd in het eerste deel van het Weichselien als gevolg van het 's zomers opdoeien van het bovenste laagje stuwalsediment van de stuwwal ten oosten van het Deelense veld. Wanneer het water niet door het sediment kon weglopen gleed het met sediment en al de helling af (solifluctie). Dit mechanisme zorgt er voor dat vooral de fijnkorreliger en kleiiger materialen de helling afgleden en mogelijk de ondoorlatende laag hebben gevormd waarop de huidige schijngrondwaterspiegel rust. De dekzanden zijn afgezet in de tweede helft einde Weichselien. Op de dekzanden is de afgelopen eeuwen een dun laagje stuifzand afgezet. Het grondwater staat hier enkele tientallen meters diep. Slecht- of ondoorlatende lagen zoals een B-horizont of ijzerbandjes en kleilaagjes (leem) gevormd op een sedimentologische/mineralogische overgang zorgen voor schijngrondwaterspiegels waardoor vennetjes en natte vegetatie aanwezig zijn (Jansen *et al.*, 2013). De proeflocatie ligt vlak ten zuiden van de Wolfskuilen, een depressie waarvan de naam doet vermoeden dat hier in het verleden ijzeroer is afgegraven. Ten zuiden loopt een deels ingestoven erosiegeul die van Berg en Dal naar de IJzeren man loopt.

4.4.2 Resultaten geochemie en mineralogie

Analyseresultaten verweringsprofiel, bulkchemie, sporenelementen en mineralogie

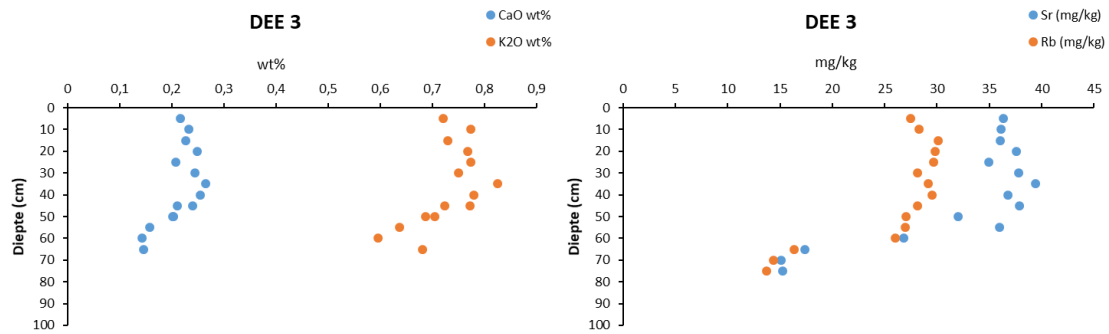


Figuur 4.3. Monsternamen op het Deelense Veld.

Figure 4.3. Sample locations Deelense Veld.

Monsternamen is uitgevoerd op 3 maart 2015 (NP Hoge Veluwe, natte heide, 3 profielen, Figuur 4.3). Door de aanhoudend natte weersomstandigheden konden op de natte heide geen profielen dieper dan 55-75 cm gestoken worden. Metingen met de Niton HH-XRF zijn uitgevoerd eind februari tot half maart. Al, Si, K, Ca, Fe, Ti, Sr, Rb, Zr en Ba zijn gebruikt voor de interpretatie. Mg, P en S zijn gemeten maar gaven geen stabiele waarden. Cd, Mo, As, Pb, Zn en Mn kwamen een enkele keer (Mn) tot regelmatig (Pb) boven de detectielimiet.

In de drie profielen gestoken op het Deelse Veld laten Ca en K geen duidelijk verweringspatroon zien (Figuur 4.4). In DEE 3, het enige profiel dat tot 75 cm is gestoken laten K en Ca een sterke afname zien rond 60 cm die samenvalt met een donkere verkleuring in de guts (Figuur 4.5). Ook Rb en Sr laten op 50 cm diepte een overgang zien die wijst op een sediment met een andere mineralogie (Figuur 4.4). Beide elementen nemen af terwijl de Rb/Sr ratio toeneemt, wat duidt op een meer gevorderde staat van vertering waarbij Ca-houdende mineralen als epidoot en granaat naar verhouding sneller verdwenen zijn. Dit is een normale volgorde van vertering, anders dan de versnelde afbraak van kaliveldspaat en muscoviet die in de laatste 74 jaar heeft plaatsgevonden (Bergsma *et al.*, 2016). Van DEE 1,2 en 3 zijn van top en onderkant van de verteringssequentie mengmonsters gemaakt, van profiel 3 zijn de onderste 15 cm apart bemonsterd voor verdere analyse.



Figuur 4.4. Verloop K₂O en CaO in % profiel DEE 3 (links) en verloop Sr en Rb in mg/kg in profiel DEE 3 (rechts).

Figure 4.4. Percentage K₂O and CaO in soil profile DEE 3 (left) and concentration Sr and Rb in soil profile DEE 3 (right) in mg/kg.



Figuur 4.5. Gutsprofiel DEE 3. Links is de huidige toplaag van het stuiwzand. Rechts een overstoven horizont van het onderliggend dekzand.

Figure 4.5. Soil profile DEE 3. Toplayer on the leftside.

Voor vervolganalyses zijn samengestelde monsters gemaakt van de toplaag (A) en de onderlaag (C) van wat verondersteld werd dezelfde geologische laag te zijn. Van DEE (Deelse Veld) zijn ook analyses gemaakt van de daaronder liggende laag (C2) op grond van de sterk afwijkende chemische trend en veldwaarneming (Tabel 4.7).

Tabel 4.7. Boorkernen en diepte interval waaruit mengmonsters zijn gemaakt.

Table 4.7. Core samples used for composite samples.

Deelense Veld						
Locatie	Kern nr	Diepte (cm-mv)	Kern nr	Diepte (cm-mv)	Kern nr	Diepte (cm-mv)
DEE	1,2,3	5-15	1,2,3	35-50	3	55-65

Goethiet, ilmeniet en zirkoon komen in elk monster tussen 0,01 en 0,1% voor maar zijn voor de overzichtelijkheid en het feit dat ze niet bijdragen aan de bodemvruchtbaarheid uit de tabel gelaten. Orthopyroxeen, amfibool en apatiet komen sporadisch voor in zeer lage percentages. Kenmerkend voor natte natuurgebieden zijn de wat hogere percentages van pyriet op het Deelense Veld, duidend op wat sterkere reducerende omstandigheden. Wat verder opvalt is dat de diepere laag C2 mineralogisch zeer sterk op de A en C horizont lijkt maar dan een wat verder verweerde versie. Dit past in het geologische beeld waarbij een dunne laag stuifzand op een ouder dekzand met ongestoord profiel is afgezet. Het stuifzand lijkt ook mineralogisch verwant aan het stuifzand op het Oud-Reemsterveld, zij het dat ook dat wat sterker verweerd is. Voor de rest is het zeer opvallend dat de normaal gesproken snel verwerende mineralen epidoot en granaat sinds de afzetting van het stuifzand vrijwel onaangetast blijken. Ditzelfde fenomeen werd ook waargenomen bij de mineralogische verweringsstudie rond het Bommenlijntje (Bergsma *et al.*, 2016). Net als op het Oud-Reemsterveld zijn ook op het Deelense Veld Fe, Cr en Pb in de A/E-horizont aangerijkt ten opzichte van de C-horizon. De aanrijking is alleen een stuk sterker en geldt ook voor Cu, Ni en Co.

Tabel 4.8. Analyseresultaten hoofdelementen XRF gemiddeld per horizont met concentraties uitgedrukt in gewichtspercentages oxiden. LOI staat voor gloeiverlies (inclusief zwavel). Oxiden met * zijn gemeten op ICP-MS.

Table 4.8. XRF results, average per horizon, concentrations in percentage by weight of oxides. LOI = loss of ignition (sulphur included). * measured with ICP-MS.

Deelense Veld														
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO*	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	NiO	Cr ₂ O ₃	LOI	Total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
DEE A	92.3	2.64	0.94	0.007	0.03	0.17	0.44	0.96	0.11	0.04	<d.l.	<d.l.	3.0	101
DEE C	92.4	2.84	0.69	0.007	0.05	0.18	0.45	0.97	0.11	0.04	<d.l.	<d.l.	0.9	99
DEE C2	93.5	2.05	0.84	0.004	0.01	0.08	0.28	0.72	0.07	0.03	0.01	0.03	2.7	100

Tabel 4.9. Analyseresultaten relevante sporenelementen ICP-MS gemiddeld per horizont met concentraties uitgedrukt in milligrammen per kilogram.

Table 4.9. ICP-MS results, average per horizon, concentrations in mg/kg.

Deelense veld									
	Ba	Mn	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Mo	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
DEE A	223	84	1.4	66	50.8	11.7	16.4	5.3	16
DEE C	249	70	1	22	3.3	6.6	7.6	0.5	24
DEE C2	167	62	0.9	170	8.4	4.5	13.4	1.4	5

Tabel 4.10. Analyseresultaten QEMSCAN met concentraties uitgedrukt in gewichtsprocenten. n.d. = not detected.

Table 4.10. QEMSCAN results, concentrations in percentage by weight. n.d. = not detected.

	Kwarts	K-Veldspaat (K)	Plagioklaas (Na, Ca)	Muscoviet (K)	Biotiet (K, Mg)	Granaat (Ca)	Chloriet (Mg)	Epidoot (Ca)	Si-Al Clay	Pyriet	Staurolite	Chromiet
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
DEE A	85.7	6.9	3.8	0.27	0.05	0.45	0.07	0.28	0.98	0.00	0.01	0.03
DEE C	84.5	7.1	4.0	0.24	0.04	0.44	0.09	0.28	1.43	0.01	0.04	0.01
DEE C2	89.0	5.0	3.1	0.17	0.04	0.25	0.05	0.13	0.86	0.01	0.00	n.d.

4.4.3 Berekening steenmeelsoort en dosering

Mineralogische benadering

De mineralogische berekening van de benodigde mineralen om proeflocatie Deelense Veld weer aan te vullen geschiedt analoog aan paragraaf 4.2.3. De gemiddelde mineralogische samenstelling van de A/E-horizon en de C-horizon van de proeflocaties op het Deelense Veld is gegeven in tabel 4.11, samen met een berekende theoretische mineraalsamenstelling (volgens methode Olsson en Melkerud (2000)) die nodig is om het verschil tussen deze twee horizonten aan te vullen. Van deze mineraalsamenstelling zou 1% moeten worden toegevoegd. Dat is $0.15\text{m} \times 10.000\text{m}^2 \times 1.3\text{ ton/m}^3 \times 1\% = 20\text{ ton/hectare}$ om de bovenste 15 cm te herstellen. Let er op dat de berekende hoeveelheden steenmeel sterk afhangen van de dichtheid van de minerale toplaag.

Hoewel de depletie van de toplaag veel minder lijkt dan die van het Bommenlijntje komt het uiteindelijke berekende mineraalverlies met 20 ton per hectare op ongeveer dezelfde orde van grootte neer. Het verschil bij het Bommenlijntje werd sterk uitvergroot doordat er alleen aan de fijne fractie (<221 μm) gemeten is. Deze fractie is op het Deelense veld ongeveer 6 x zo groot maar bevat doordat het een windafzetting is minder fijn (< 100 μm) materiaal (Koster 1979). Het is gezien de leeftijd van de afzetting (vroege middeleeuwen, Koster 1979) waarschijnlijk dat de verwerking die op het Deelense Veld gemeten is hoofdzakelijk van antropogene

oorsprong is. Een factor die de verzuring zou kunnen dempen of meer gelijk over het hele profiel zou kunnen verspreiden is de periodieke hoge waterstand. Het gesteente dat het meest in de buurt komt van de compositie van de verdwenen mineralen is een nefelien-syeniet, een gesteente dat hoofdzakelijk uit K-veldspaat, albiet en nefelien bestaat. Het is echter geen gesteente dat rijk is aan micronutriënten.

Tabel 4.11. Gemiddelde mineralogische samenstelling van de <200 µm fractie van de A-horizon en de C-horizon van de proeflocaties en een berekende theoretische steenmeelsamenstelling die het verschil tussen beide zou kunnen opvullen.

Table 4.11. Average mineralogical composition of the <200 µm fraction of the A-horizon and C-horizon, and a theoretical calculated composition of rock powder.

Mineralogie	Deelensche Veld A-horizon	Deelensche Veld C-horizon	Steenmeel
Kwarts %	85.7	84.6	
K-Veldspaat %	6.9	7.1	24.7
Plagioklaas %	3.8	4.0	25.5
Muscoviet %	0.27	0.24	
Biotiet %	0.05	0.04	
Granaat %	0.45	0.44	
Hornblende %	0.00	0.01	0.9
Epidoot %	0.28	0.28	0.5
Chloriet %	0.07	0.09	2.0
Klei %	1.0	1.4	46.4

Chemische benadering

Een tweede benadering om tot een dosering van steenmeel te komen is door de chemische verschillen tussen E-horizon en C-horizon om te rekenen naar een chemische samenstelling die een fictief steenmeel vertegenwoordigt dat de tekorten perfect zou aanvullen. Een dergelijk steenmeel is berekend aan de hand van de laboratoriumanalyses (hoofdelementen XRF behalve CaO van ICP-MS). De resultaten van deze berekening staan in tabel 4.12. SiO₂ is niet nodig om de chemie aan te vullen maar is toegevoegd om tot een realistische samenstelling voor een gesteente te komen. Van deze mineraalsamenstelling zou 0.6 % moeten worden toegevoegd. Dat is $0.15\text{m} \times 10.000\text{m}^2 \times 1.6\text{ ton/m}^3 \times 0.6\% = 12$ ton/hectare om de bovenste 15 cm te herstellen tot het niveau van de C-horizon. De chemische verschillen tussen de basische kationen van de top en onderkant van de gemeten kern zijn zo klein, dat ze nauwelijks significant te noemen zijn. De resultaten suggereren verwering, maar in dit geval zijn veel meer metingen nodig om een statistisch significant resultaat te krijgen. In dit geval lijkt de QEMSCAN met een hoger oplossend vermogen meer betrouwbaar. Het sediment lijkt zeer veel op de toplaag van het Oud-Reemsterveld alleen met een veel minder duidelijk ontwikkelde verwering. Mogelijk hangt dit samen met de lange periodes dat de grond verzadigd is met water. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat deze stuifzandafzetting van recenter datum is.

Tabel 4.12. Resultaten van de berekening van een perfect aanvullend steenmeel voor de gemiddelde en gecorrigeerde waarden voor de E- en C- horizon van de gestoken profielen. Berekeningen uitgevoerd met XRF analyses behalve * met ICP-MS.

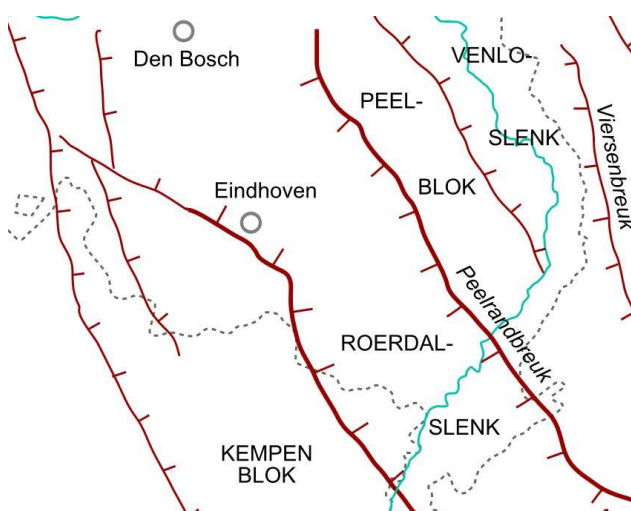
Table 4.12. Results of a calculated composition of rock powder based on the average and corrected values of the A- and C-horizon. Calculations executed with XRF-analysis, * with ICP-MS.

Chemie Hoofdelementen	Deelensche Veld E-horizon	Deelensche Veld C-horizon	steenmeel
SiO ₂ %	92.3	92.4	51.9
Al ₂ O ₃ %	2.64	2.84	38.3
Fe ₂ O ₃ %	0.94	0.69	
CaO %*	0.17	0.18	1.9
MgO %	0.03	0.05	3.8
K ₂ O %	0.96	0.97	2.1
Na ₂ O %	0.44	0.45	2.0
Totaal	97.6	97.7	100

4.5 Strabrechtse heide

4.5.1 Geologie

Nederland is op te delen in drie duidelijk herkenbare mineraalprovincies: Noord, Midden en Zuid. Binnen de Nederlandse mineraalprovincies heeft het zuiden het laagste aandeel zware mineralen in de dekzanden. De mineralogie van de zware mineralen wordt gedomineerd door epidoot/saussuriet en metamorfe mineralen (toermalijn, andalusiet, stauroliet) met weinig of geen granaat, amfibool en pyroxeen. Dit is kenmerkend voor de oud- en midden-pleistocene afzettingen van de Maas. In de zuidelijke mineraalprovincie heeft het oostelijk deel weer een relatief hoger aandeel aan granaat en amfibool (Crommelin 1965).

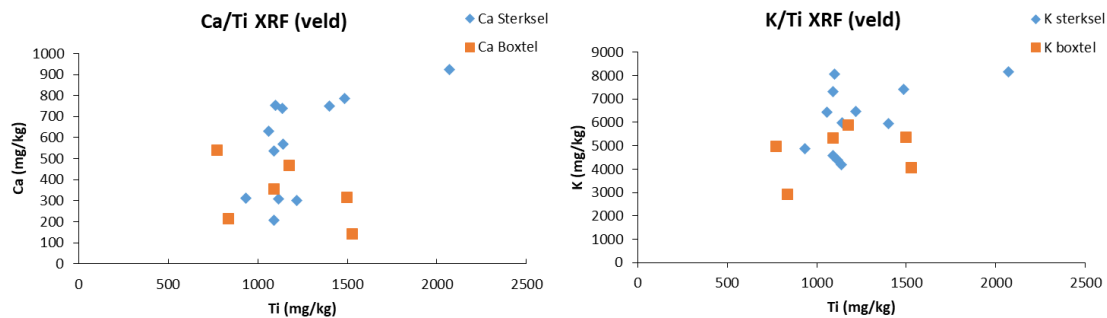


Figuur 4.6. Topografie breuklijnsysteem rond Strabrechtse Heide.

Figure 4.6. System of fault lines near Strabrechtse heide.

De Strabrechtse heide bevindt zich in de Roerdalslenk, ingesloten door de Feldbiss breuk in het zuidwesten en de Peelbreuk in het noordoosten (Figuur 4.6). Door de tektonische daling van het bekken bevinden zich hier de dikste fijnkorrelige afzettingen van de formatie van Boxtel (Schokker *et al.*, 2007). De formatie van

Boxtel bestaat voor het merendeel uit eolische afzettingen en is op de Strabrechtse Heide 21-23 meter dik (Dinoloket, de Strabrechtse heide bevindt zich tussen boorkernen 51E0053, 51F0079 en 51G00325). Op de top ligt het laagpakket van Wierden, een dekzand uit het laat Weichselien (11.000-150.000 jaar geleden). De formatie van Boxtel is goed gesorteerd, matig fijn zand/silt met vrijwel geen klei of (fijn) grind. Lokaal komen dunne laagjes leem en veen voor. Vergeleken met de onderliggende fluviatiele Sterksel afzettingen uit het Maasgebied die grofkorreliger zijn, is de Boxtel formatie arm aan veldspaten, plagioklaas en glimmers (Schokker *et al.* 2007) hetgeen zichtbaar is in de lagere calcium- en kaliumgehalten in de boorkernen van beide formaties (Figuur 4.7).



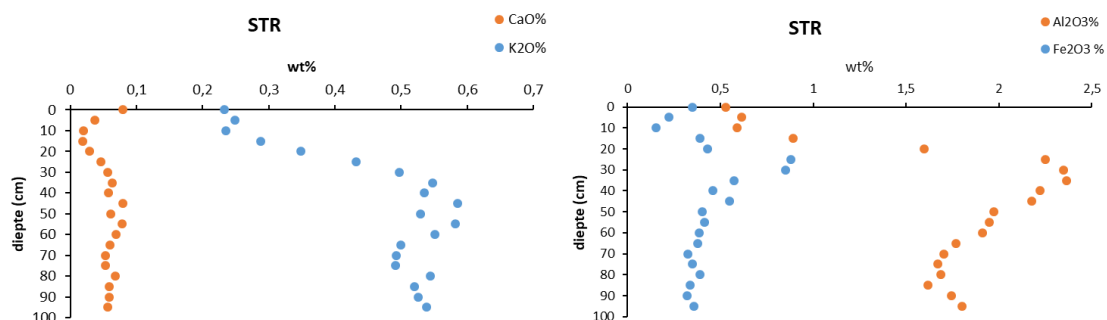
Figuur 4.7. Metingen profiel Sterksel en Boxtel met HH-XRF, links de Ca- en Ti- gehalten in mg/kg en rechts de K- en Ti- gehalten in mg/kg.

Figure 4.7. Soil profile of Sterksel and Boxtel (HH-XRF). Left: concentration Ca and Ti in mg/kg, right: concentration K and Ti in mg/kg.

Mineralogisch zijn de afzettingen van Boxtel en Sterksel goed te onderscheiden. Sterksel is afgezet in het vroeg-midden Pleistoceen en bestaat uit sedimenten uit zowel het Maas- als het Rijn- stroomgebied waardoor het een duidelijk hoger gehalte aan verweerbare zware mineralen bevat. Boxtel bestaat voor een deel uit fluviatiel-eolisch sediment afkomstig uit het zuid-westen, een deel eolisch materiaal uit het noordwesten en een deel her opgewerkt lokaal sediment (Schokker *et al.*, 2007).

4.5.2 Resultaten Geochemie en Mineralogie

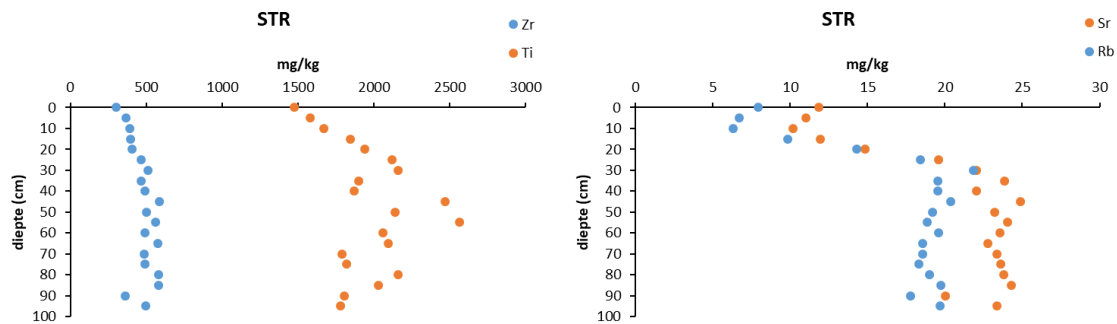
De monsternamen zijn uitgevoerd op 19 augustus 2014. Er zijn op de 5 locaties van de toekomstige blokken monsters genomen met een guts tot een diepte van 1 m (Stra 1a t/m. Stra 5a). De meetresultaten van de Niton HH-XRF van Al, Si, K, Ca, Fe, Ti, Sr, Rb, Zr en Ba zijn gebruikt voor interpretatie. Mg, P en S zijn gemeten maar gaven geen stabiele waarden. Cd, Mo, As, Pb, en Zn kwamen een enkele keer (Mo) tot regelmatig (Pb) boven de detectielimiet. Lood (Pb) en zink (Zn) zijn vooral aangetroffen in de A-horizont. Alle profielen leken zeer sterk op elkaar met zeer lage gehalten aan alkali- (K, Rb), aardalkalimetalen (Ca, Sr, Ba), ijzer en aluminium in de bovenste 25 cm van de bodem. Dieper dan 30 cm neemt het gehalte van kalium en calcium toe, en ook dat van ijzer en aluminium door inspoeling van boven af. Dieper in het profiel nemen ijzer en aluminium weer iets af en bereiken Ca en K constante waarden. Als voorbeeld zijn de gemiddelde gehalten aan K, Ca, Al en Fe weergegeven in Figuur 4.8.



Figuur 4.8. Gemiddeld verloop van de concentraties van CaO & K2O (links) en Al₂O₃ & Fe₂O₃ (rechts) (HH-XRF) met de diepte van de bodem.

Figure 4.8. Percentage K₂O and CaO (left) and Al₂O₃ & Fe₂O₃ measured with HH-XRF.

De algehele indruk is van een goed gevormde podzol in een mineralogisch zeer arme bodem. Opvallend is dat de gemiddelde metingen van Ti en Zr een geleidelijke afname van af de top tot 30 cm laten zien die sterk lijkt op verwerking. Ti vertoont daarnaast op grotere diepte een zeer grote variatie die met geen ander gemeten element overeenkomt. Sr en Rb (Figuur 4.9) vertonen een verweringspatroon dat overeenkomt met Ca en K. Anders dan bij de Hoge Veluwe wel voorkomt is hier geen omslag in Rb/Sr ratio die duidt op een andere mineralogie (meer glimmers zoals biotiet en muscoviet). Noch de chemische analyse, noch de waarnemingen in het veld suggereren een discontinuïteit in de mineralogische samenstelling van de bodem. Daaruit volgt dat aangenomen kan worden dat de C-horizon beschouwd kan worden als het moedermateriaal waar de huidige toplaag uit is voortgekomen.



Figuur 4.9. Verloop van de concentraties van Zr & Ti (links) en Sr & Rb (rechts) (HH-XRF) met de diepte van de bodem.

Figure 4.9. Concentration Zr and Ti (left) and Sr and RB (right) in mg/kg, measured with HH-XRF.

Aan de hand van de profielen zijn deelmonsters gekozen en ingezet voor verdere analyse op hoofd- en sporenelementen en mineralogie. Deelmonsters zijn genomen van de meest uitgeloopte laag (E-horizon), de inspoelingslaag met hoog Al_2O_3 en Fe_2O_3 (B-horizont) en de laag waar het uitgangsmateriaal zit (C-horizont). Analyseresultaten worden gegeven in tabellen 4.13 t/m 4.15.

In tabel 4.13 is de verwerking van alle basische kationen (Ca, K, Mg, Na) maar ook Al en Fe, uit de E-horizont goed zichtbaar. Fe en Al slaan samen met P neer in de B-horizont.

Tabel 4.13. Analyseresultaten hoofdelementen XRF gemiddeld per horizont met concentraties uitgedrukt in gewichtspercentages oxiden. LOI staat voor gloeiverlies (inclusief zwavel). Oxiden met * zijn gemeten op ICP-MS.

Table 4.13. XRF results, average per horizon, concentrations in percentage by weight of oxides. LOI = loss of ignition (sulphur included). * measured with ICP-MS.

Strabrecht													
Horizont	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO*	Na ₂ O*	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	SO ₃ *	Total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
E	94.0	0.76	0.14	0.003	0.01	0.03	0.08	0.17	0.17	0.01	4.3	0.27	99.5
B	90.6	2.39	1.03	0.006	0.04	0.06	0.17	0.51	0.19	0.03	5.3	0.20	100.2
C	95.2	2.62	0.38	0.006	0.06	0.06	0.18	0.58	0.15	0.01	0.7	0.11	99.9

Bij de sporenelementen (Tabel 4.14) is de verwerking goed zichtbaar bij Ba en Co. Zn, Cu en in mindere mate Mn en Ni volgen de trend van Fe en Al. Opvallend is dat deze elementen in de E-horizont in relatief hoge concentraties aanwezig zijn vergeleken met de C-horizont en kijkend naar de zware verwerking van de veldspaten en plagioklazen. Dit is in overeenstemming met de hoge Pb en Zn gehalten gemeten met HH XRF in de A-horizont. Mogelijk komt dit door de

aanwezigheid van de zinkindustrie te Budel. De opvallende aanrijking van Mo komt mogelijk door de biologische concentratie door opname en fixatie in zure bodem.

Tabel 4.14. Analyseresultaten relevante sporenelementen ICP-MS gemiddeld per horizont met concentraties uitgedrukt in milligrammen per kilogram.

Table 4.14. ICP-MS results, average per horizon, concentrations in mg/kg.

Strabrecht								
HOR	Mn	Ni	Mo	Zn	Zr	Ba	Co	Cu
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
E	44	2.1	0.7	5.6	15.2	61	0.3	2.2
B	53	3.2	0.4	10.2	14.0	126	0.7	11.3
C	39	2.8	0.3	6.8	18.6	134	0.8	3.7

Tabel 4.15. Analyseresultaten QEMSCAN met concentraties uitgedrukt in gewichtsprocenten. n.d. = not detected.

Table 4.15. QEMSCAN results, concentrations in percentage by weight. n.d. = not detected.

Strabrecht																
HOR	Kwarts	K-Veldsp.	Na-Plagioklaas	Sillimaniet	Muscoviet	Klei	Chloriet	Epidoot	Al ₂ Fe ₃ SiO _x	Toermalijn	Zirkoon	Rutiel	Ilmeniet	Fe(OH)3	Chromiet	Totaal
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
E	99.3	0.32	0.11	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.03	0.06	0.00	0.01	100
B	95.8	1.83	0.56	0.06	0.48	0.07	0.02	0.07	0.51	0.19	0.09	0.04	0.11	0.13	0.02	100
C	96.2	2.18	0.66	0.02	0.39	0.09	0.01	0.08	0.06	0.06	0.05	0.03	0.09	0.01	0.00	100

De analyses laten duidelijk een sediment zien afkomstig uit een arm, metamorf achterland. Magmatische mineralen als pyroxeen, Ca-rijke plagioklaas en biotiet ontbreken. Het sediment is zo sterk verweerd dat zelfs K-veldspaat, dat in mineraal rijkere sedimenten tijdens verwerking vrijwel gelijk blijft, voor 85 % verdwenen is. Hetzelfde geldt voor Na-rijke plagioklaas (albiet). Ook het resistente muscoviet is gedecimeerd, epidoot en chloriet zijn geheel verdwenen. Nog opvallender is dat normaal gesproken immobiele mineralen als ilmeniet (FeTiO₂) en zirkoon (ZrSiO₄) verschijnselen van uit- en inspoeling vertonen. Dit is weinig waargenomen en dan nog in de tropen of bij fluctuerende redoxpotentialen. Wat een aanwijzing voor verwerking is, is dat ilmeniet sterker verweerd is dan rutiel. Rutiel wordt vaak gevormd na verwerking van ilmeniet.

4.5.3 Berekening steenmeelsoort en dosering

Mineralogische benadering

De gemiddelde mineralogische samenstelling van de E-horizont en de C-horizont van de proeflocaties op de Strabrechtse Heide is gegeven in tabel 4.16, samen met

een berekende theoretische mineraalsamenstelling die nodig is om het verschil tussen deze twee horizonten aan te vullen. De berekening van de verweerde mineralen is uitgevoerd analoog aan de methode gegeven door Olsson en Melkerud (2000). Van deze mineraalsamenstelling zou 3% moeten worden toegevoegd. Dat is $0.15\text{m} \times 10.000\text{m}^2 \times 1.3 \text{ ton/m}^3 \times 3.1\% = 60 \text{ ton/hectare}$ om de bovenste 15 cm te herstellen (Box 4.1).

Tabel 4.16. Gemiddelde mineralogische samenstelling van de <200 µm fractie van de E-horizon en de C-horizon van de proeflocaties en een berekende theoretische steenmeelsamenstelling die het verschil tussen beide zou kunnen opvullen.

Table 4.16. Average mineralogical composition of the <200 µm fraction of the E-horizon and C-horizon, and a theoretical calculated composition of rock powder.

Mineralogie	Strabrecht	Strabrecht	Steenmeel
	E-horizon	C-horizon	
Kwarts (%)	99.29	96.24	0.00
K-Veldspaat (%)	0.32	2.18	61.00
Plagioklaas (%)	0.11	0.66	18.00
Sillimaniet (%)	0.01	0.02	0.20
Muscoviet (%)	0.04	0.39	11.20
Klei (%)	0.02	0.09	2.40
Chloriet (%)	0.00	0.02	0.47
Epidoot (%)	0.00	0.08	1.45
Al ₂ Fe _y SiO _x (%)	0.01	0.06	1.55
Toermalijn (%)	0.02	0.06	1.40
Zirkoon (%)	0.05	0.05	0.10
Rutiel (%)	0.03	0.03	0.03
Ilmeniet (%)	0.07	0.09	0.70

Het theoretisch berekende steenmeel heeft de samenstelling van een sterk muscoviet houdende gneiss maar dan zonder kwarts. Gneiss is een vrij veel voorkomend gesteente waarvan de bodemverbeterende waarde onderzocht is (Priyono & Gilkes 2008). Vergelijkende metingen aan een in de Tweede Wereldoorlog gegraven kuil in Nationaal Park De Hoge Veluwe laten zien dat de door mensen veroorzaakte versnelde verwerking minimaal 300 kg per jaar per hectare heeft bedragen. Sinds de Tweede Wereldoorlog komt dat minimaal neer op ongeveer 20-25 ton per hectare (Bergsma *et al.* 2016). Omdat het grootste deel van de verwerking voor de rekening van K komt zou een aanvullend gesteentemeel 10% K₂O (= ongeveer 60% K-veldspaat) moeten bevatten. Op dit moment is ca. 5% de hoogste concentratie K₂O die verkrijgbaar is in steenmeelproducten. Uitgaande van bovenstaande aannames en bevindingen lijkt een steenmeeldosering van 10 ton per hectare een verdedigbaar uitgangspunt. Daarbij is ook gekozen voor een relatief conservatieve dosering omdat er nagenoeg geen ervaringen met steenmeeltoediening op bestaande ongeplagde heide is.

Chemische benadering

Een tweede benadering om tot een dosering van steenmeel te komen is door de chemische verschillen tussen E-horizont en C-horizont om te rekenen naar een chemische samenstelling die een fictief steenmeel vertegenwoordigt dat de tekorten perfect zou aanvullen. Een dergelijk steenmeel is berekend aan de hand van de HH-XRF database gecorrigeerd met de laboratorium analyses (K en Al gecorrigeerd met de XRF, Ca en Fe zowel met de ICP-MS- als de XRF-analyses). De resultaten van

deze berekening staan in tabel 4.17. SiO₂ is niet nodig om de chemie aan te vullen maar is toegevoegd om tot een realistische samenstelling van silicaatmineralen voor een gesteente te komen. Van deze mineraalsamenstelling zou 4.5 % moeten worden toegevoegd. Dat is 0.15m x 10.000m² x 1.3 ton/m³ x 4.5% = 88 ton/hectare om de bovenste 15 cm te herstellen tot het niveau van de C-horizon.

Tabel 4.17. Resultaten van de berekening van een perfect aanvullend steenmeel voor de gemiddelde en gecorrigeerde waarden voor de E- en C- horizon van de gestoken profielen. Berekeningen uitgevoerd met XRF analyses behalve * met ICP-MS.

Table 4.17. Results of a calculated composition of rock powder based on the average and corrected values of the A- and C-horizon. Calculations executed with XRF-analysis, * with ICP-MS.

Chemie Hoofdelementen	Strabrecht E-horizon	Strabrecht C-horizon	steenmeel
SiO ₂ %	94.00	95.2	51.2
Al ₂ O ₃ %	0.51	1.89	30.0
Fe ₂ O ₃ %	0.09	0.40	6.8
CaO %	0.01	0.06	1.1
MgO %	0.01	0.06	1.1
K ₂ O %	0.19	0.53	7.5
Na ₂ O %	0.03	0.13	2.2
Totaal	94.9	98.3	100.0

4.6 Dwingelderveld

4.6.1 Geologie

Het Dwingelderveld is lang geleden gevormd onder invloed van wisselende klimatologische omstandigheden, zoals onder meer de voorlaatste IJstijd. Hierdoor ontstond een bodem met veel stenen, rotsblokken, grint en zand. Het Scandinavische ijs dat Nederland voor een deel bedekte, maalde dat bodemmateriaal fijn tot keileem dat in grote delen van het Dwingelderveld is terug te vinden, variërend van vlak aan de oppervlakte tot enkele meters daaronder. Veel van het keileem dat aan het eind van het Saalien werd afgezet, is verdwenen door de afvoer met smeltwaterbeekjes en -riviertjes. Boven de keileemlaag ligt nu een pakket dek- en stuifzanden. De monsters zijn gestoken (Figuur 4.10) op respectievelijk duinvaaggronden (DWI 1 en DWI 2) en een dekzand op een grondmorene (DWI 3).

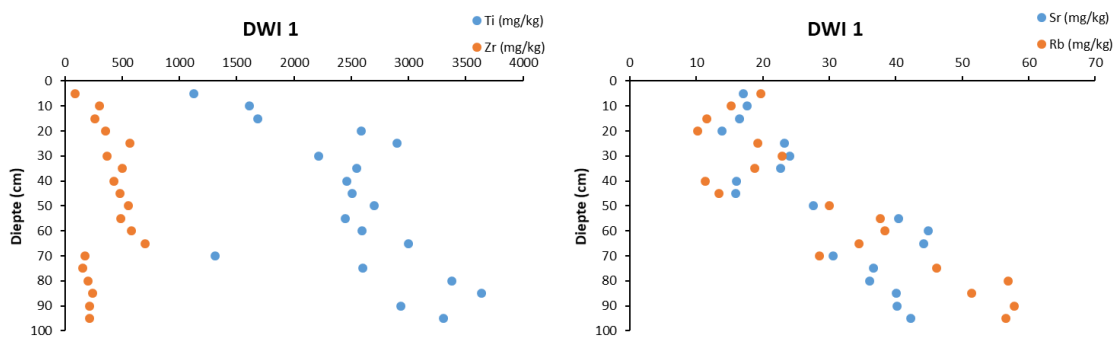


Figuur 4.10. Monsternamenpunten Dwingelderveld.

Figure 4.10. Sample locations Dwingelderveld.

4.6.2 Resultaten geochemie en mineralogie

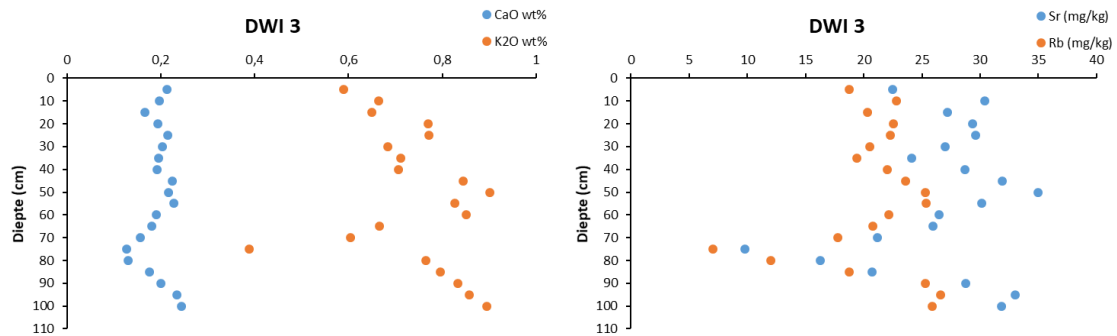
Monsternamen op het Dwingelderveld is uitgevoerd op 6 januari 2015 (3 profielen, Figuur 4.10). Metingen met de Niton HH-XRF zijn uitgevoerd eind februari tot half maart. Al, Si, K, Ca, Fe, Ti, Sr, Rb, Zr en Ba zijn gebruikt voor de interpretatie. Mg, P en S zijn gemeten maar gaven geen stabiele waarden. Cd, Mo, Pb, Zn kwamen een enkele keer (Mo, Cd) tot regelmatig (Pb) boven de detectielimiet. In tegenstelling tot de andere profielen zijn de drie profielen van het Dwingelderveld gestoken op een onderlinge afstand van ongeveer 1 kilometer. Geen van drieën bevatten ze een ongestoord profiel over de volle 1 meter. De drie profielen laten alle drie een beginnende inspoelingslaag op 20-30 cm zien. Ze laten ook alle drie een scherpe overgang op 70-75 cm diepte zien. Bij DWI 1 betreft het een overgang naar een andere mineralogische eenheid, in Figuur 4.11 is de abrupte afname van Zr en de abrupte omkering van de Rb-Sr verhoudingen de overgang naar een andere mineralogie te zien voor DWI 1. Bij DWI 2 en DWI 3 is het een overstoven/begraven E-horizont (als voorbeeld is DWI 3 gegeven in Figuur 4.12 links).



Figuur 4.11. Abrupte afname van Zr geeft grens mineralogische eenheid aan voor DWI 1 (links) en omkering Rb-Sr ratio geeft grens mineralogische eenheid aan voor DWI 1 (rechts).

Figure 4.11. Mineralogical border in DWI 1 shown by decline in concentration Zr (left) and Rb-Sr ratio (right).

Bij DWI 3 laat de Sr/Rb geochemie zien (Figuur 4.12 rechts) dat het opliggende stuifzand zeer waarschijnlijk mineralogisch verwant is aan het onderliggende materiaal (dekzand). Het verweringsprofiel van DWI 3 (0-60 cm – mv) is gebruikt voor het maken van mengmonsters voor verdere analyses (Tabel 4.18).



Figuur 4.12. Kalium laat verwerkingprofiel op overstoven E-horizont zien (links) en Sr en Rb tonen stuifzand op E-horizont van onderliggend dekzand (rechts).

Figure 4.12. Weathering profile in E-horizon shown by percentage K (left) and concentration Sr and Rb in E-horizon in mg/kg (right).

Tabel 4.18. Boorkernen en diepte interval waaruit mengmonsters zijn gemaakt.

Table 4.18. Core samples used for composite samples.

Dwingelderveld						
Locatie	Kern nr	Diepte (cm-mv)	Kern nr	Diepte (cm-mv)	Kern nr	Diepte (cm-mv)
DWI	3	0-20	3	40-60		

De chemie van de hoofdelementen (Tabel 4.19) is beduidend rijker dan die van Brabant en net iets minder rijk dan die van de Hoge Veluwe. Opvallend zijn ook hier de hogere concentraties aan Fe en zware metalen in de toplaag van DWI 3.

Tabel 4.20. Analyseresultaten hoofdelementen XRF gemiddeld per horizont met concentraties uitgedrukt in gewichtspercentages oxiden. LOI staat voor gloeiverlies (inclusief zwavel). Oxiden met * zijn gemeten op ICP-MS.

Table 4.20. XRF results, average per horizon, concentrations in percentage by weight of oxides. LOI = loss of ignition (sulphur included). * measured with ICP-MS.

Dwingelderveld												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO*	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
DWI A	89.3	1.89	1.17	0.007	< 0.01	0.10	0.29	0.7	0.08	0.05	6.4	100
DWI C	94.4	2.11	0.75	0.003	0.01	0.13	0.3	0.79	0.08	0.04	1.4	100

Tabel 4.20. Analyseresultaten relevante sporenelementen ICP-MS gemiddeld per horizont met concentraties uitgedrukt in milligrammen per kilogram.

Table 4.20. ICP-MS results, average per horizon, concentrations in mg/kg.

Dwingelderveld									
	Ba	Mn	Co	Cr	Cu	Pb	Ni	Mo	Zn
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
DWI A	154	80	1.1	82	15.8	6.5	18.7	4.3	14
DWI C	174	50	0.7	9	7.5	4.3	4.2	0.5	28

Tabel 4.21. Analyseresultaten QEMSCAN met concentraties uitgedrukt in gewichtsprocenten. n.d. = not detected.

Table 4.21. QEMSCAN results, concentrations in percentage by weight. n.d. = not detected.

Dwingelderveld												
	Kwarts	K-Veldspaat (K)	Plagioklaas (Na, Ca)	Muscoviet (K)	Biotiet (K,Mg)	Granaat (Ca)	Chloriet (Mg)	Epidoot (Ca)	Si-Al Clay	Al ₂ SiO ₅	Staurolite	Chromiet
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
DWI A	90.7	4.8	2.5	0.13	0.03	0.16	0.01	0.07	0.44	0.01	0.02	n.d.
DWI C	88.6	5.6	2.7	0.13	0.04	0.23	0.01	0.12	0.77	0.00	0.03	n.d.

Goethiet, ilmeniet en zirkoon komen in elk monster tussen 0,01 en 0,1% voor maar zijn voor de overzichtelijkheid en het feit dat ze niet bijdragen aan de bodemvruchtbaarheid uit de tabel gelaten. Orthopyroxeen, amfibool en apatiet komen sporadisch voor in zeer lage percentages. De bulkchemische en de mineralogische analyses voor het Dwingelderveld komen goed overeen in die zin dat ook het gehalte aan verweerbare mineralen hier veel meer is dan in Noord Brabant, maar minder dan op de Hoge Veluwe. Een duidelijk verschil in mineralogische samenstelling die de verschillende 'mineraalprovincies' kenmerkt zoals gesuggereerd door Crommelin (1965) is in de huidige dataset niet waargenomen.

4.6.3 Berekening steenmeelsoort en dosering

Mineralogische benadering

De mineralogische berekening van de benodigde mineralen om het Dwingelderveld weer aan te vullen geschiedt analoog aan paragraaf 4.2.3. De gemiddelde mineralogische samenstelling van de A/E-horizon en de C-horizon van de proeflocaties op het Dwingelderveld is gegeven in tabel 4.22, samen met een berekende theoretische mineraalsamenstelling (volgens methode Olsson en Melkerud (2000)) die nodig is om het verschil tussen deze twee horizonten aan te vullen. Van deze mineraalsamenstelling zou 1,7 % moeten worden toegevoegd. Dat is $0.15\text{m} \times 10.000\text{m}^2 \times 1.3 \text{ ton/m}^3 \times 1,7 \% = 33 \text{ ton/hectare}$ om de bovenste 15

cm te herstellen. Let er op dat de berekende hoeveelheden steenmeel sterk afhangen van de dichtheid van de minerale toplaag.

Chemische benadering

Een tweede benadering om tot een dosering van steenmeel te komen is door de chemische verschillen tussen E-horizon en C-horizon om te rekenen naar een chemische samenstelling die een fictief steenmeel vertegenwoordigt dat de tekorten perfect zou aanvullen. Een dergelijk steenmeel is berekend aan de hand van de laboratorium analyses (hoofdelementen XRF behalve CaO van ICP-MS). De resultaten van deze berekening staan in tabel 4.22. SiO₂ is niet nodig om de chemie aan te vullen maar is toegevoegd om tot een realistische samenstelling voor een gesteente te komen. Van deze mineraalsamenstelling zou 0.5% moeten worden toegevoegd. Dat is $0.15\text{m} \times 10.000\text{m}^2 \times 1.3 \text{ ton/m}^3 \times 0.5\% = 10$ ton/hectare om de bovenste 15 cm te herstellen tot het niveau van de C-horizon. Net als bij het Deelense veld is de totale verwerende hoeveelheid mineralen laag. Mogelijk komt dit hier ook omdat de opvallende stuifzanden ver na het eind van de laatste ijstijd zijn afgezet.

Tabel 4.22. Gemiddelde mineralogische samenstelling van de <200 µm fractie van de A/E-horizon en de C-horizon van de proeflocaties en een berekende theoretische steenmeelsamenstelling die het verschil tussen beide zou kunnen opvullen.

Table 4.22. Average mineralogical composition of the <200 µm fraction of the A/E-horizon and C-horizon, and a theoretical calculated composition of rock powder.

Mineralogie	Dwingelder veld A/E-horizon	Dwingelder Veld C-horizon	Steenmeel
Kwarts %	90.71	88.62	
K-Veldspaat %	4.82	5.57	52.6
Plagioklaas %	2.47	2.70	17.5
Muscoviet %	0.13	0.13	0.0
Biotiet %	0.03	0.04	0.7
Granaat %	0.16	0.23	4.5
Hornblende %	0.00	0.00	0.1
Epidoot %	0.07	0.12	3.2
Chloriet %	0.01	0.01	0.2
Klei %	0.44	0.77	21.1

Tabel 4.23. Resultaten van de berekening van een perfect aanvullend steenmeel voor de gemiddelde en gecorrigeerde waarden voor de E- en C- horizon van de gestoken profielen. Berekeningen uitgevoerd met XRF analyses behalve * met ICP-MS.

Table 4.23. Results of a calculated composition of rock powder based on the average and corrected values of the A- and C-horizon. Calculations executed with XRF-analysis, * with ICP-MS.

Chemie Hoofdelementen	Dwingelder Veld E-horizon	Dwingelder Veld C-horizon	steenmeel
SiO ₂ %	89.3	94.4	60
Al ₂ O ₃ %	1.89	2.11	22.8
Fe ₂ O ₃ %	1.17	0.75	
CaO %*	0.1	0.13	5.0
MgO %	0	0.01	2.1
K ₂ O %	0.7	0.79	10.2
Na ₂ O %	0.29	0.3	
Totaal	97.6	97.7	100.1

4.7 Keuze steenmeel en geologische overweging

Geologische overwegingen

Wat betreft het soort steenmeel is ook uitgegaan van het herkomstgebied van de sedimenten waarbij de sedimenten van de Hoge Veluwe hoofdzakelijk zijn aangevoerd met de Rijn en een groter aandeel amfibolen en pyroxenen bevatten (Crommelin, 1964) dan het zand van de Strabrechtse Heide, wat is aangevoerd vanuit een mineralogisch arm, door metamorfe gesteenten gedomineerd stroomgebied van de Maas.

In onderstaande tabel 4.24 is de mineralogie van de Hoge Veluwe, Strabrecht en het Dwingelderveld weergegeven samen met de steenmeelsoorten die in het NP de Hoge Veluwe en Strabrecht zijn toegepast. Lurgi (tegenwoordig Soilfeed genoemd) heeft een uitgesproken vulkanisch karakter dat meer met de mineralogie van het Rijn-achterland (Eifel) overeenkomt, terwijl Biolit een metamorfe diabaas is met een groot aandeel chloriet. Chloriet is meer kenmerkend voor metamorfe gesteenten. Deze tabel laat ook zien dat het vinden van een exact passend steenmeel niet eenvoudig is. Gesteenten met granaat bestaan bijvoorbeeld wel maar worden nog niet toegepast als bodemverbeteraar.

Tabel 4.24. Chemische samenstelling van toegepaste steenmeel soorten zoals gemeten in het kader van dit project (o.d = onder detectielimiet).

Table 4.24. Chemical composition of rock powder used in the different experiments (o.d. = below detectionlimit).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Totaal
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Lurgi/Portanef	47.0	18.4	9.6	0.3	3.5	7.1	5.7	5.2	2.2	0.2	1.3	100.3
Dolokal high Mg	2.6	0.8	0.8	0.1	19.9	30.2	o.d.	o.d.	0.0	0.1	45.3	99.8
Dolokal low Mg	6.8	1.0	0.5	0.0	6.9	41.9	o.d.	0.0	0.0	0.1	41.6	98.9
Vulkatec	43.3	14.1	11.3	0.2	9.5	11.6	3.0	3.4	2.9	0.6	0.3	100.4
Biolit	52.5	14.9	9.6	0.1	4.5	4.0	3.4	2.0	2.0	0.8	6.9	100.6

Lurgi en **Biolit** zijn geselecteerd omdat ze, afgaande op de informatie die bekend was bij aanvang van het project, een brede nutriëntensamenstelling, weinig gebiedsvreemde mineralen (alleen de veldspaatvervangers) en lage concentraties

aan zware metalen hebben. Lurgi is één van de weinige bekende steenmeelsoorten met een bewezen kaliumleverend vermogen maar niet commercieel verkrijgbaar en toekomstige levering kan niet gegarandeerd worden. Daarom is ook **Lavagruis/Vulcatec** lavazand geselecteerd omdat het een breed soort steenmeel is met relatief hoog kaliumgehalte (Tabel 4.24) dat toegepast kan worden in het geval Lurgi niet verkrijgbaar is. Lavagruis lavazand is een echte lava in die zin dat het een groot aandeel glas en olivijn bevat en daardoor verder afstaat van de bodemmineralogie dan Lurgi of Biolit. Van Biolit is naast een fijne ($< 100\mu$) ook een grovere maling ($< 200\mu$) in het experiment op Strabrecht opgenomen. Meestal geldt dat een fijnere maling sneller werkt. Uitgaande dat een snelle werking (zoals in de landbouw gewenst is) voor natuurgebieden niet altijd noodzakelijk is, is gekeken of hier ruimte voor optimalisatie is. Maalkosten maken meer dan de helft van de productprijs van steenmeel uit en stijgen exponentieel met de gewenste fijnheid. Een grover steenzand product bevat altijd een fijn deel (10-20% steenmeelkwaliteit), de kosten van een grover product kunnen echter zoveel lager liggen dat het de moeite is om voor hetzelfde geld meer op te brengen met een vergelijkbare korte termijn werking maar een veel betere lange termijn werking.

De chemie van de hoofdelementen is gegeven in Tabel 4.25.

Omdat steenmeel een natuurproduct is en in samenstelling kan variëren zijn representatieve monsters genomen van het op Strabrecht gebruikte materiaal en opgestuurd naar het laboratorium. De door B-WARE uitgevoerde metingen van de opgebrachte steenmelen van de aparte terreinen (Tabel 3.1) geeft ook aan dat er weinig variatie in samenstelling is op basis van een magnetron destructie. Na analyse van het steenmeel Biolit bleek dat de geleverde kwaliteit afweek van wat op het informatieblad van de leverancier aangegeven stond. Daarnaast was het gehalte kwarts en carbonaatmineralen hoog. Biolit bevat dus een aanzienlijk deel niet reactief materiaal (kwarts) en een deel dolomiet waarvoor ook andere, goedkopere, producten in de markt zijn.

4.8 Conclusies

- De chemische en mineralogische analyses bevestigen dat de drie onderzochte locaties (Hoge Veluwe, Strabrechtse Heide en Dwingelderveld) duidelijk te onderscheiden zijn op basis van chemie en mineralogie. Het mineralogisch verschil is het duidelijkst tussen de Hoge Veluwe en Dwingelderveld enerzijds en Strabrecht anderzijds. Het verschil tussen de Hoge Veluwe en Dwingelderveld zit hem voornamelijk in de lagere concentraties mineralen maar niet in de kenmerkende aanwezigheid van een bepaald mineraal. Strabrecht is mineralogisch gezien verreweg het armste gebied.
- Kaliveldspaat en albiet zijn de belangrijkste dragers van de minerale buffercapaciteit in de bodem. Op de Strabrechtse Heide droeg ook muscoviet significant bij aan de neutralisatie. De voorraad van juist genoemde mineralen is op deze locatie vrijwel uitgeput.
- In de profielen kunnen chemisch en mineralogisch worden onderscheiden:
 - Stuifzand op respectievelijk een dekzand (Deelense Veld) en een stuwwal (Oud-Reemsterveld).
 - Een duidelijk ontwikkelde podsol in een dekzand op de Strabrechtse Heide in een ongestoord profiel.
 - Tweemaal stuif/dekzanden op een onderliggend dekzand met vergelijkbare geochemie en een stuifzand/dekzand op keileem met sterk afwijkende geochemie (Dwingelderveld).

Tabel 4.25. Mineralogische samenstelling van de C-horizont op Strabrecht, de Hoge Veluwe en het DwingelderVeld. Daarnaast de mineralogische analyse van de steenmeelsoorten Biolite en Soilfeed (voorheen Lurgi). De sedimenten zijn gemeten met de QEMSCAN, de steenmeelsoorten zijn gemeten met de XRD. Dolokal is niet mineralogisch gemeten omdat daar de mineralogie algemeen van bekend is (Calciet en Dolomiet).

Table 4.25. Mineralogical composition of the C-horizon in Strabrecht, de Hoge Veluwe and Dwingelderveld, measured with QEMSCAN. Mineralogical analysis of rock powders Biolite and Soilfeed, measured with XRD.

	Strabrecht	Oud-Reemsterveld	Deelense Veld	Dwingelder Veld	Biolite	Lurgi/Portanef	Vulcatec
Kwarts %	96.24	85.8	84.5	88.6	17.5		
Kaliveldspaat %	2.18	7.2	7.1	5.6	3.4	19.10	
Plagioklaas %	0.66	3.9	4.0	2.7	29.3	38.24	7.3
Sillimaniet/Kyaniet %	0.02	0.00	0.00	0.00			
Biotiet %	0.00	0.06	0.04	0.04		15.00	2.8
Muscoviet %	0.39	0.30	0.24	0.13	10.2		
Klei %	0.09	1.03	1.43	0.77			
Chloriet %	0.02	0.04	0.09	0.01	23.3		
Epidoot %	0.08	0.14	0.28	0.12			
Amfibool %	0.06	0.017	0.011	0.004		17.25	
Toermalijn %	0.06						
Zirkoon %	0.05	0.05	0.14	0.03			
Orthopyroxeen %	0.00	0.00	0.00				
Clinopyroxeen %							48.3
Granaat %	0.00	0.33	0.44	0.23			
Olivijn %							5.0
Rutiel %	0.04	0.06	0.06	0.01			
Ilmeniet %	0.09	0.01	0.18	0.06			
Veldspaatvervangers %	0.00				0.30	10.00	25
Hematiet %		0.00	0.00	0.00			4.2
Dolomiet %					9.0		
Calciet %		0.00	0.01	0.00	0.4		
Apatiet %		0.00	0.00	0.00	1.4		
Pyriet %		0.00	0.01	0.00			
Amorf %					5.5		7.4

- De aan de hand van chemie en mineralogie berekende verweerde hoeveelheden mineralen lopen uiteen (Tabel 4.26). De belangrijkste redenen hiervoor zijn waarschijnlijk:
 - 1) dat het organisch stof in de A/E/horizont bijdraagt aan de met de XRF gemeten totaalgehalten van Ca, Mg, Al en K, terwijl de QEMSCAN alleen de mineralen detecteert en
 - 2) dat voor de QEMSCAN alleen de fractie onder 225 µm gebruikt is. Hierdoor vertalen kleine meetafwijkingen zich al gauw in tonnen mineralen.
- Strabrecht laat de sterkste verwerking in de toplaag zien. Dit laat zich verklaren door de ouderdom van dit ongestoorde profiel en door de hogere totale zuurlast sinds 1945 aan S- en N-verbindingen. Hoewel mineralogisch sterk verwant laat het Deelense Veld een duidelijk lagere verwerking zien dan het Oud-Reemsterveld. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door de plaatselijke hydrologische omstandigheden.
- Door de hoge verzurende depositie van de afgelopen 5-6 decennia worden in de jongere stuifzandlagen geen duidelijke inspoelingslagen meer gevormd. Het aluminium spoelt uit naar diepere lagen. Hierdoor wordt de dieper liggende mineralogie niet meer beschermd en is ook de verwerking van kaliummineralen tot op grotere diepte zichtbaar (REE1).
- Aangezien de stuifzanden in de (vroege) Middeleeuwen gevormd zijn kan aangenomen worden dat van de totale zuurlast die deze bodemlaag heeft ontvangen ongeveer 90% antropogeen is. Dat zou betekenen dat de verwerking op de locaties van de Hoge Veluwe hoofdzakelijk van antropogene oorsprong is.
- Lurgi (Soilfeed) en Biolit zijn gekozen omdat ze als gesteenten meer mineralen bevatten die in de Nederlandse bodem voorkomen dan andere steenmeelsoorten. Met name Lurgi vult het tekort breed aan.
- Vulkatec is gekozen omdat het (naast Lurgi) een van de weinige gesteenten is met een hoog kaliumgehalte.
- Gekeken naar het meer vulkanische achterland van de Rijn en het meer metamorfe achterland van de Maas, past het vulkanische Lurgi qua accessorische mineralen (amfibool, biotiet) beter bij de mineralen van Midden en Noord-Nederland en Biolit (met chloriet en muscoviet) beter bij de zuidelijke sedimenten. Als we kijken naar de bulkmineralen (kaliveldspaat en albiet) past Lurgi (Soilfeed) het beste als aanvulling van de verweerde mineralen.

Tabel 4.26. Berekende mineraaldepletie per hectare over 15 cm diepte volgens twee rekenmethoden.

Table 4.26. Calculated mineral depletion per hectare.

Berekende aanvulling mineralogie A/E-horizont tot niveau C-horizont (ton/ha)		
Gebied	Mineralogisch	Chemisch
Strabrecht	60	88
Oud-Reemsterveld	59	53
Deelensche Veld	20	12
Dwingelder Veld	33	10

5 Bodemchemie

5.1 Inleiding

De bodem is bemonsterd voordat de behandelingen zijn opgebracht (de zogenaamde nulmeting), en vervolgens jaarlijks. De bovenste bodemlaag is steeds verzameld (0-10 cm). Op de Strabrechtse heide liggen drie series van proefvlakken in een voor vee (Schotse hooglanders; schapen) toegankelijk terreingedeelte, terwijl de overige twee series van proefvlakken buiten de begrazingszone zijn gelegen. Omdat de invloed van de grazers op de vegetatiedynamiek groot lijkt te zijn, worden in dit rapport alleen de resultaten van de drie series binnen de begrazingszone gepresenteerd.

5.2 Methoden

5.2.1 Bemonstering van de bodem

De bodem werd verzameld op een diepte van 0-10 cm onder maaiveld. Van alle behandelingen en replica's werden 3 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 demi-waterextractie (nitraat) en zoutextractie (ammonium).
- Extractie met Strontium (OBN-heideherstel)
- 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 gehydroliseerd 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.

5.2.2 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, Strontiumextractie 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 werd 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.

5.2.3 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 Bran+Luebbe auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens en hydrazinesulfaat. Chloride (Cl⁻) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Technicon auto-analyser 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.

Statistische analyses

Verschillen tussen behandelingen in bodem- en plantchemie werden getoetst door een One-Way ANOVA in SPSS24.

5.3 Nulmeting

In het najaar van 2014 en de winter 2014-2015 werd een nulmeting uitgevoerd waarbij de bodemchemie van alle proefvlakken is gekwantificeerd voordat er steenmeel of Dolokal is opgebracht.

Er werden, zoals verwacht, verschillen gevonden tussen de terreinen, maar niet binnen de terreinen (Tabel 5.1).

Tabel 5.1. Gemiddelde en SE gemeten in de bodem (0-10 cm) van drie proeflocaties tijdens de nulmeting (najaar 2014-winter 2014/2015). *: Basenverzadiging geschat op basis van zoutextractie. Al, Ca, K en Mg als uitwisselbare kationen gemeten in het zoutextract (0,2M NaCl), PO4 gemeten in het demiwaterextract.

Table 5.1. Averages measured pre-treatment in the soil (0-10 cm) samples in the three experimental sites. *=basesaturation based on NaCl-extraction. Al, Ca, K and Mg measured as exchangeable kations in the NaCl-extraction, PO4 measured with demiwater extraction.

		NP De Hoge Veluwe				Strabrecht	
		Droge heide		Natte heide		Droge heide	
		<i>gemiddelde</i>	<i>st fout</i>	<i>gemiddelde</i>	<i>st fout</i>	<i>gemiddelde</i>	<i>st fout</i>
Organische stof	%	12,4	0,5	6,5	0,3	7,7	0,3
CEC	µeq/kg bodem	42805	1550	25989	959	34335	1661
pH-H2O		4,25	0,03	4,6	0,02	3,82	0,04
pH-NaCl		3,11	0,02	3,4	0,02	3,08	0,02
Al	µmol/kg bodem	2435	106	982	57	1422	85
Ca	µmol/kg bodem	2001	179	1913	412	1555	121
K	µmol/kg bodem	504	46	546	51	215	31
Mg	µmol/kg bodem	1052	95	1114	178	459	38
Basische kationen	µeq/kg bodem	6061	468	6032	1076	4241	323
Basenverzadiging	%	21,3	1,2	24,6	2,4	16,6*	1,1
PO4	µmol/kg bodem	16,9	4,1	1	0,3	0,9	0,1

De toplaag van de bodem van de droge proeflocatie in het NP de Hoge Veluwe bevatte het meeste organische materiaal (12,4%), terwijl de bodem van de natte proeflocatie in hetzelfde terrein wat minder organisch (6,5%) was. Dit komt waarschijnlijk door de grote natuurbrand op Pasen 2014 die tot aan dit terreingedeelte heeft gewoed, en mogelijk door plagwerkzaamheden in het (verre) verleden.

De proeflocatie op Strabrecht bevat gemiddeld 7,7% organisch materiaal in de bovenste 10 cm van de bodem. De lagere fractie organisch stof in de natte heide en de droge heide op Strabrecht resulteerde ook in een lagere Cation Exchange Capacity (CEC) in deze terreinen. In de droge heide op het NP de Hoge Veluwe was de CEC rond de 43000 µeq/kg bodem, in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe rond de 26000 µeq/kg bodem en op Strabrecht was de CEC rond de 34000 µeq/kg bodem. Verder bleken de proeflocaties in het NP de Hoge Veluwe minder zuur te zijn dan de proeflocatie op Strabrecht, met een hogere pH_NaCl (3,1 tot 3,4 in NP de Hoge Veluwe en 3,0 op Strabrecht), wat hogere basenverzadiging (rond de 20% in NP de Hoge Veluwe tegen 16 % op Strabrecht) en hogere concentraties uitwisselbaar kalium (rond de 500 µmol/kg bodem op NP de Hoge Veluwe tegen 200 µmol/kg bodem op Strabrecht) en magnesium (rond de 1000 µmol/kg bodem op NP de Hoge Veluwe tegen 500 µmol/kg bodem op Strabrecht). De bodem van de droge proeflocatie in het NP de Hoge Veluwe bevatte daarnaast wel duidelijk hogere concentraties uitwisselbaar aluminium vergeleken met Strabrecht, terwijl deze juist lager was in de bodem van de natte locatie in het NP de Hoge Veluwe.

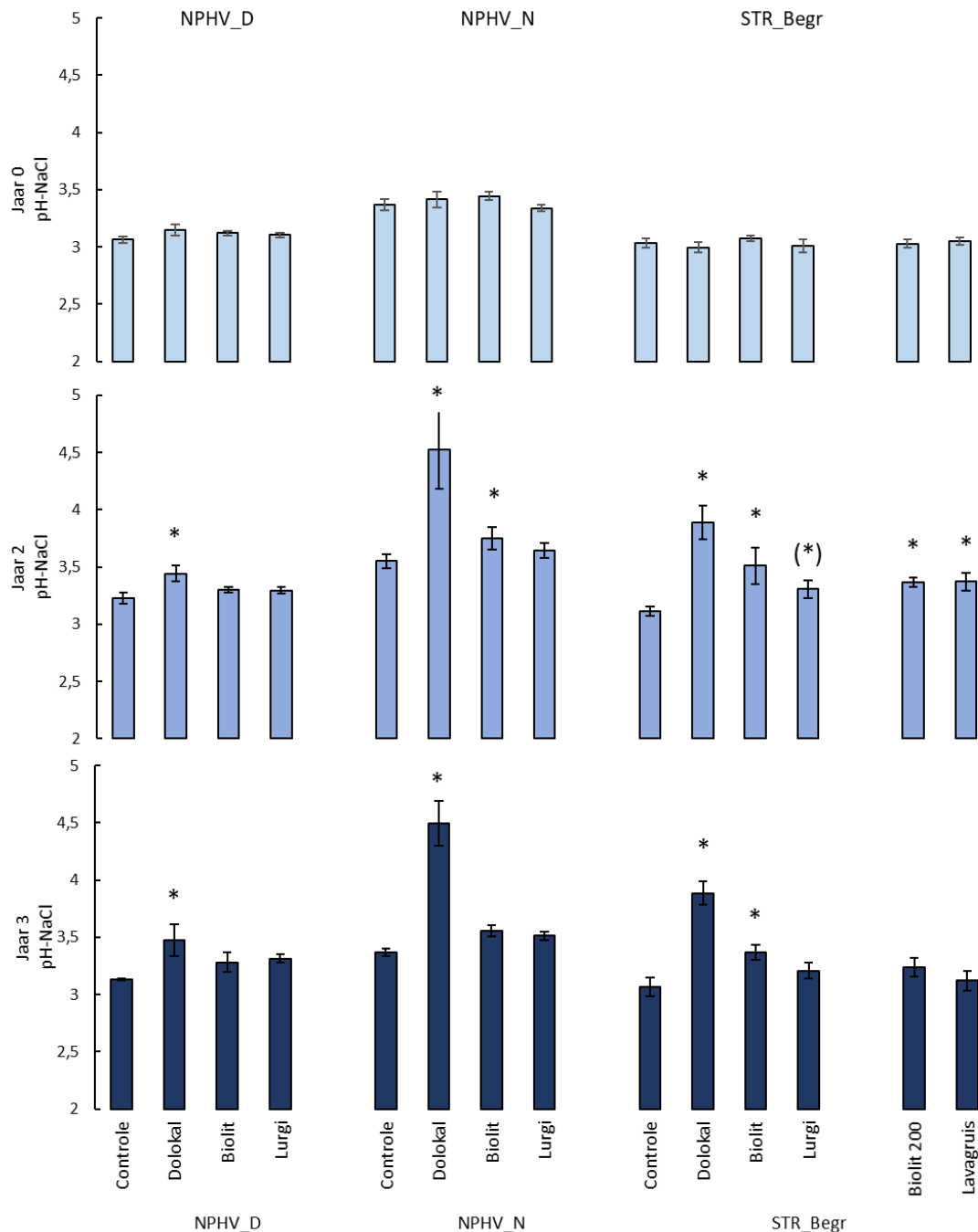
In de natte heide proefvelden is de ammonium-, nitraat- en fosfaatconcentratie erg laag, waarschijnlijk veroorzaakt door de brand in 2014, ruim een half jaar voor de nulmeting. De in de bodem van de drie onderzoeklocaties gemeten buffering-gerelateerde parameters maken duidelijk dat de abiotiek van de drie onderzoeklocaties behoort tot die van zure (of verzuurde) droge en natte heide (De Graaf et al., 2009).

5.4 Bodembuffering

Met het toedienen van 4 ton Dolokal/ha is de bodem pH in alle terreinen gestegen in zowel het tweede als derde meetjaar (Figuur 5.1).

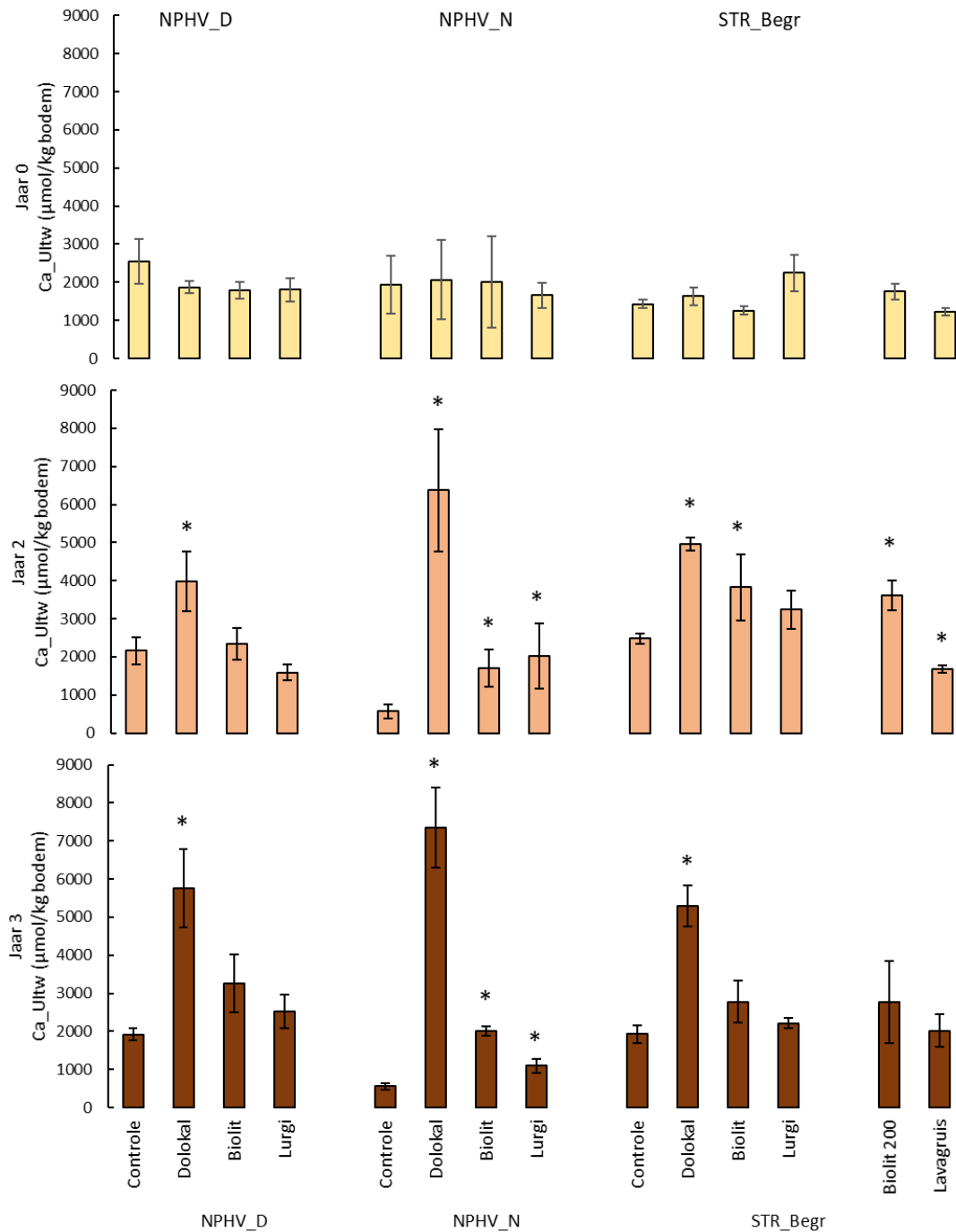
Figuur 5.1. pH-NaCl ($\bar{x} \pm$ standaard fout) in de nulmeting (jaar 0), na twee en na drie effectjaren in de droge proef in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, n=5), de natte proeflocatie in het NP De Hoge Veluwe (NPHV_N, midden, n=5) en in de begraasde proefvlakken in de droge heide op Strabrecht (STR_Begr, rechts, n=3). *=significant verschil ($p < 0,05$) en (*)=trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar.

Figure 5.1. pH-NaCl of the topsoil ($\bar{x} \pm$ SE) Pre-treatment (jaar 0) and after two (jaar 2) and three years (jaar 3) at the dry site at NP de Hoge Veluwe (left, n=5), the wet site at the NP de Hoge Veluwe (center, n=5) and the grazed plots in Strabrecht (right, n=3). *=significant ($p < 0,05$) (*)=trend ($0,05 < p < 0,1$) difference compared to control of the same year.



In het NP de Hoge Veluwe steeg de pH-NaCl in de droge heide met 0,3 en in de natte heide met 1,1 vergeleken met de controle-proefvlakken. Op Strabrecht steeg de pH in de met Dolokal behandelde proefvlakken met 0,8 vergeleken met de

controle-proefvlakken. Hier werd ook een hogere pH gemeten in de met Biolit-100 behandelde proefvlakken. In het tweede effectjaar (2016) werd ook een significante pH-toename gemeten op Strabrecht in de met Biolit-100, -200 en Lavagruis behandelde proefvlakken. Ook in het derde effectjaar lijkt de pH gemeten in deze met steenmeel behandelde proefvlakken wat hoger te zijn vergeleken met de controle, maar dit is alleen in de met Biolit-100 behandelde proefvlakken op Strabrecht significant.



Figuur 5.2. Uitwisselbare concentratie calcium ($\bar{x} \pm$ standaard fout, in $\mu\text{mol/kg}$ bodem) in de nulmeting (jaar 0), na twee en na drie effectjaren in de droge proef in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, $n=5$), de natte proeflocatie in het NP De Hoge Veluwe (NPHV_N, midden, $n=5$) en in de begraaide proefvlakken in de droge heide op Strabrecht (STR_Begr, rechts, $n=3$). * = significant verschil ($p < 0,05$) en (*) = trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar.

Figure 5.2. Exchangeable concentration calcium measured in the topsoil ($\bar{x} \pm$ SE in $\mu\text{mol/kg}$ soil) Pre-treatment (jaar 0) and after two (jaar 2) and three years (jaar 3) at the dry site at NP de Hoge Veluwe (left, $n=5$), the wet site at the NP de Hoge Veluwe (center, $n=5$) and the grazed plots in Strabrecht (right, $n=3$). * = significant ($p < 0,05$) (*) = trend ($0,05 < p > 0,1$) difference compared to control of the same year.

Het toedienen van de steenmelen leidde tot een significante toename in de concentratie uitwisselbaar calcium van de bovenste bodemlaag. Het relatief grote uitwisselcomplex in de droge proeflocatie in het NP de Hoge Veluwe laadt ieder jaar iets meer op, waarbij de concentratie uitwisselbaar calcium in de met Dolokal behandelde proefvlakken na twee- en drie jaar verdrievoudigd is (2000 μmol uitwisselbaar Ca/kg bodem in de controle tot 6000 μmol uitwisselbaar Ca/kg bodem) vergeleken met de controle proefvlakken (Figuur 5.2). In het relatief kleinere adsorptiecomplex van de natte heide in het NP de Hoge Veluwe nam de concentratie uitwisselbaar calcium relatief nog duidelijker toe in het tweede en derde jaar, deze verdertienvoudigde (van 550 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ bodem in de controle tot 7350 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ bodem) in de Dolokal behandeling. Hier werd in het tweede en derde jaar ook een significante toename in de concentratie uitwisselbaar calcium gemeten in de met Biolit en Lurgi behandelde proefvelden.

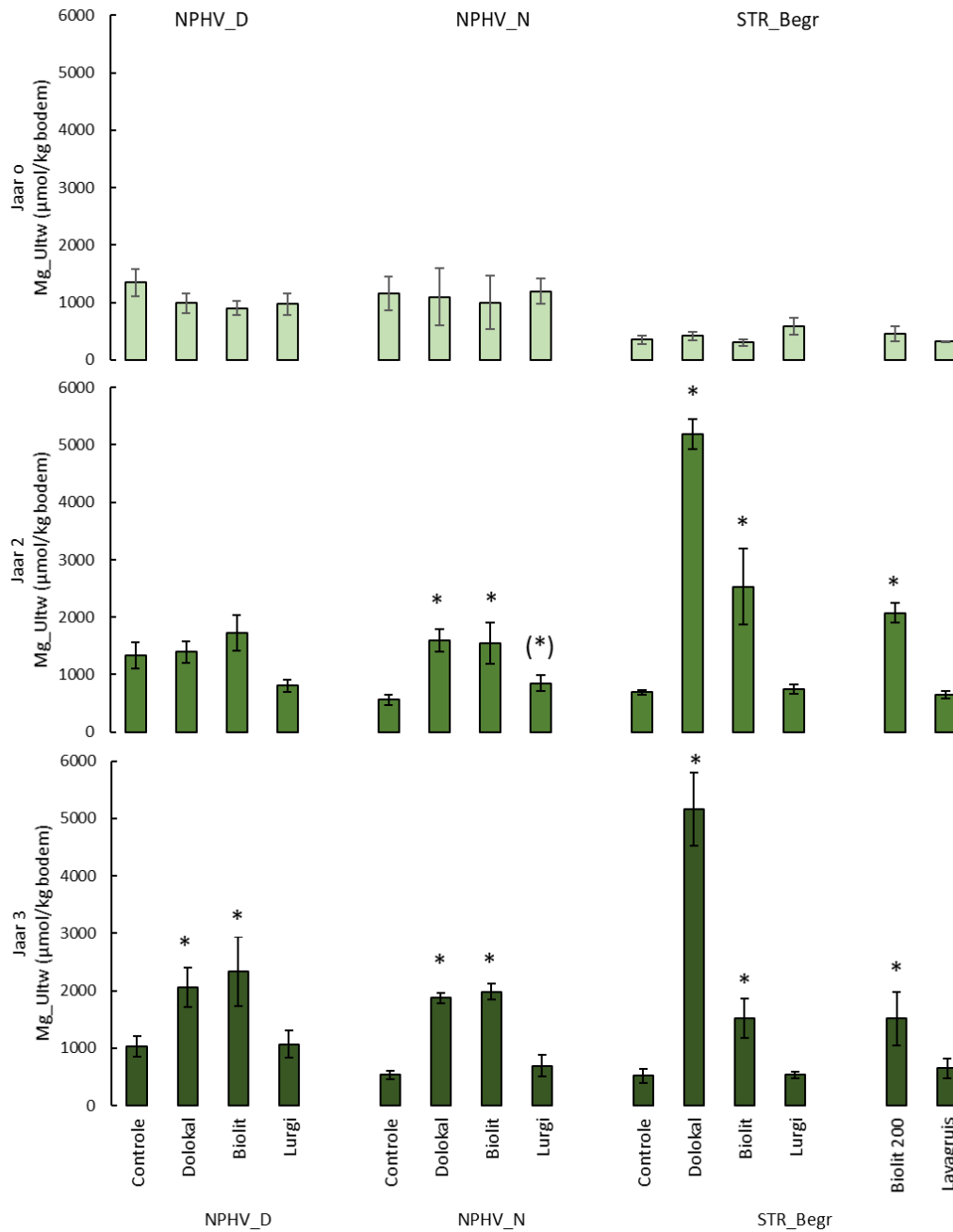
In de met Biolit behandelde proefvlakken in de natte heide werd in 2017 een bijna vier keer hogere uitwisselbare calciumconcentratie gemeten (rond de 2000 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ bodem) en ook in de met Lurgi behandelde proefvlakken verdubbelde de uitwisselbare calciumconcentratie (naar 1100 μmol uitwisselbaar Ca/kg bodem) vergeleken met de controle-proefvlakken in de natte heide. Op Strabrecht nam de concentratie uitwisselbaar calcium in het tweede jaar in alle behandelde proefvlakken toe, maar in het derde jaar was deze toename alleen nog significant in de met Dolokal en Biolit-100 behandelde proefvlakken.

Gelet op de duidelijk veel lagere magnesiumconcentratie in de bodem van de droge heide op Strabrecht, vergeleken met de waarden in het NP de Hoge Veluwe, is daar Dolokal toegediend met 15 % Mg, terwijl dat op de Veluwe 5 % was (Tabel 3.1 samenstellingen steenmelen). Dit verschil was ook duidelijk terug te zien in de uitwisselbare magnesiumconcentratie die tienvoudig is toegenomen van 520 μmol Mg/kg bodem in de controle tot 5200 μmol Mg/kg bodem in de met Dolokal behandelde proefvlakken op Strabrecht. In het NP de Hoge Veluwe leidde de Dolokalbehandeling in het derde jaar tot een verdubbeling in de droge proeflocatie en een verdrievoudiging van de uitwisselbare magnesiumconcentratie gemeten in de natte proeflocatie vergeleken met de controle-proefvlakken (Figuur 5.3) met uitwisselbare magnesiumconcentraties rond de 2000 $\mu\text{mol}/\text{kg}$ bodem in zowel de droge proeflocatie als de natte proeflocatie. De effecten gemeten de met Biolit behandelde proefvlakken in het derde jaar zijn in de droge- en natte proeflocatie op de Veluwe vergelijkbaar met de Dolokal-behandeling en ook op Strabrecht nam de concentratie uitwisselbaar magnesium toe in de met Biolit 100- en 200 behandelde proefvlakken, hier werd een drie keer hogere concentratie gemeten vergeleken met de controle proefvlakken. Ook in het toegediende Biolit zat redelijk wat magnesium, een vergelijkbare hoeveelheid als de 5% Dolokalbehandeling (Tabel 3.1).

Eén van de belangrijkste verschillen in samenstelling tussen Dolokal en enkele steenmeelsoorten is dat het steenmeel silicaat mineralen bevat die bij verwerking kalium leveren. Dit is essentieel, omdat in veel verzuurde zandbodems in Nederland vrijwel geen kaliumleverende mineralen meer aanwezig zijn (Bergsma *et al.*, 2016) en zo het kationenuitwisselingscomplex tenslotte uitgeput zal raken (Bobbink *et al.*, 2017). De steenmeelsoorten Lurgi en Lavagruis zijn daarom in dit experiment geselecteerd vanwege de hoge concentratie kaliumleverende mineralen, waarbij Lurgi wat samenstelling het beste aansluit op de noordelijke en midden-zandregio's en Lavagruis beter past bij de zuidelijke zandregio (Zie H4 mineralogie). Dolokal bevat nagenoeg geen kalium, en in het toegediende Biolit zat een vergelijkbare hoeveelheid kalium als magnesium.

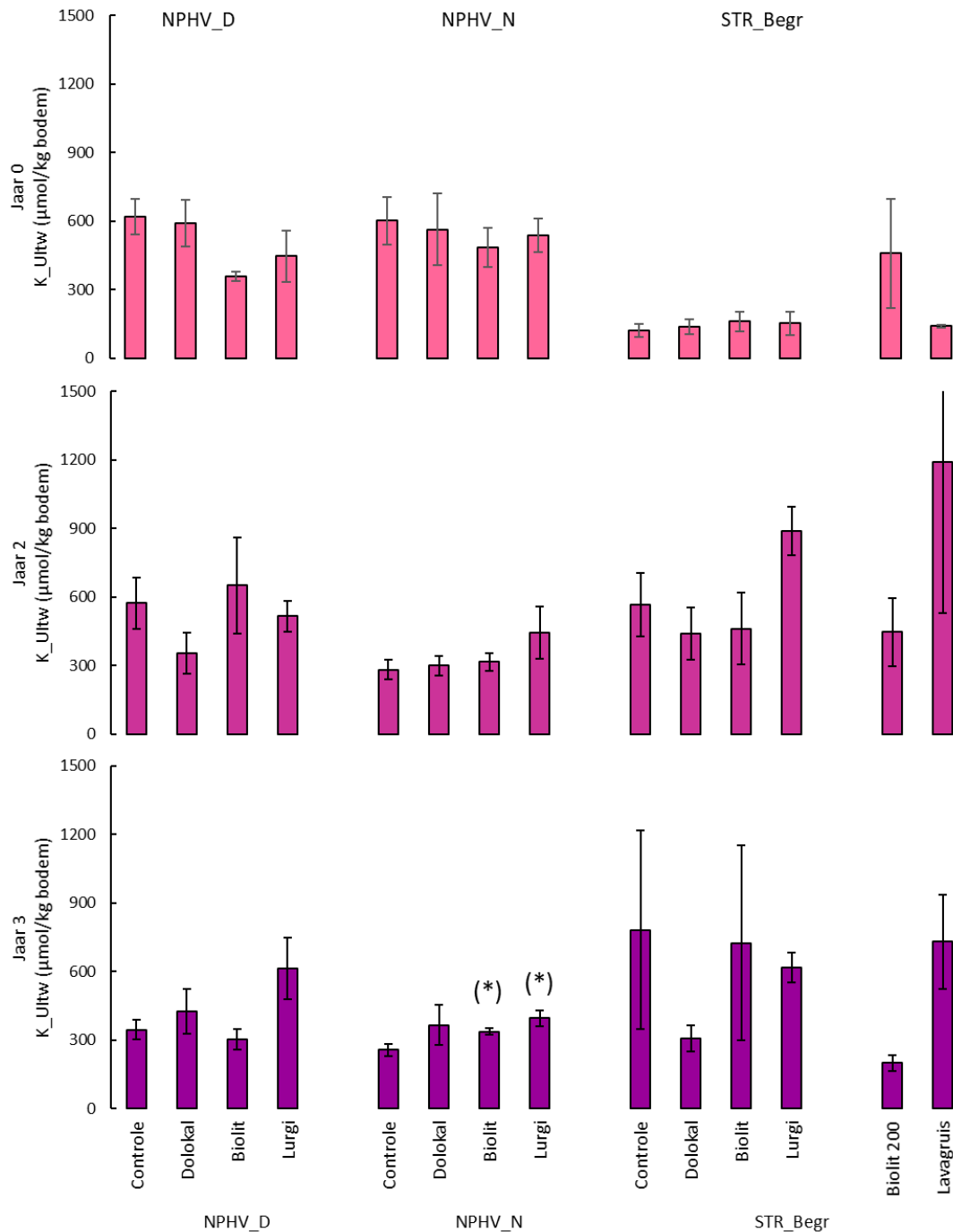
De toegediende steenmeelsoorten lijken kalium te leveren, al zijn de gemeten verschillen in concentraties tussen de behandelingen (nog) klein. Met name in het NP de Hoge Veluwe lijkt het toegediende Lurgi tot een verdubbeling van de concentratie uitwisselbaar kalium te leiden in zowel de droge als de natte proeflocatie. Deze verschillen zijn echter na drie effectjaren (net) niet significant. In de begraasde proefvlakken op Strabrecht zijn de effecten van de behandelingen op

de uitwisselbare kaliumconcentraties minder duidelijk, deels door de relatief grote variatie in de dataset in jaar 3 en het lage aantal replica's (n=3). Hoewel niet significant zijn er ook hier signalen dat het toegediende Lurgi en Lavagruis voor een toename in de uitwisselbare kaliumconcentratie in de bodem heeft gezorgd (Figuur 5.4).



Figuur 5.3. Uitwisselbare concentratie magnesium ($\bar{x} \pm$ standaard fout, in $\mu\text{mol/kg}$ bodem) in de nulmeting (jaar 0), na twee en na drie effectjaren in de droge proef in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, n=5), de natte proeflocatie in het NP De Hoge Veluwe (NPHV_N, midden, n=5) en in de begraasde proefvlakken in de droge heide op Strabrecht (STR_Begr, rechts, n=3). *==significant verschil ($p < 0,05$) en (*)=trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar.

Figure 5.3. Exchangeable concentration magnesium measured in the topsoil ($\bar{x} \pm$ SE in $\mu\text{mol/kg}$ soil) Pre-treatment (jaar 0) and after two (jaar 2) and three years (jaar 3) at the dry site at NP de Hoge Veluwe (left, n=5), the wet site at the NP de Hoge Veluwe (center, n=5) and the grazed plots in Strabrecht (right, n=3). *==significant ($p < 0,05$) (*)=trend ($0,05 < p < 0,1$) difference compared to control of the same year.



Figuur 5.4. Uitwisselbare concentratie kalium ($\bar{x} \pm$ standaard fout, in $\mu\text{mol}/\text{kg}$ bodem) in de nulmeting (jaar 0), na twee en na drie effectjaren in de droge proef in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, $n=5$), de natte proeflocatie in het NP De Hoge Veluwe (NPHV_N, midden, $n=5$) en in de begraasde proefvlakken in de droge heide op Strabrecht (STR_Begr, rechts, $n=3$). *=significant verschil ($p<0,05$) en (*)=trend ($0,05<p<0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar.

Figure 5.4. Exchangeable concentration potassium measured in the topsoil ($\bar{x} \pm$ SE in $\mu\text{mol}/\text{kg}$ soil) Pre-treatment (jaar 0) and after two (jaar 2) and three years (jaar 3) at the dry site at NP de Hoge Veluwe (left, $n=5$), the wet site at the NP de Hoge Veluwe (center, $n=5$) and the grazed plots in Strabrecht (right, $n=3$). *=significant ($p<0,05$) (*)=trend ($0,05<p>0,1$) difference compared to control of the same year.

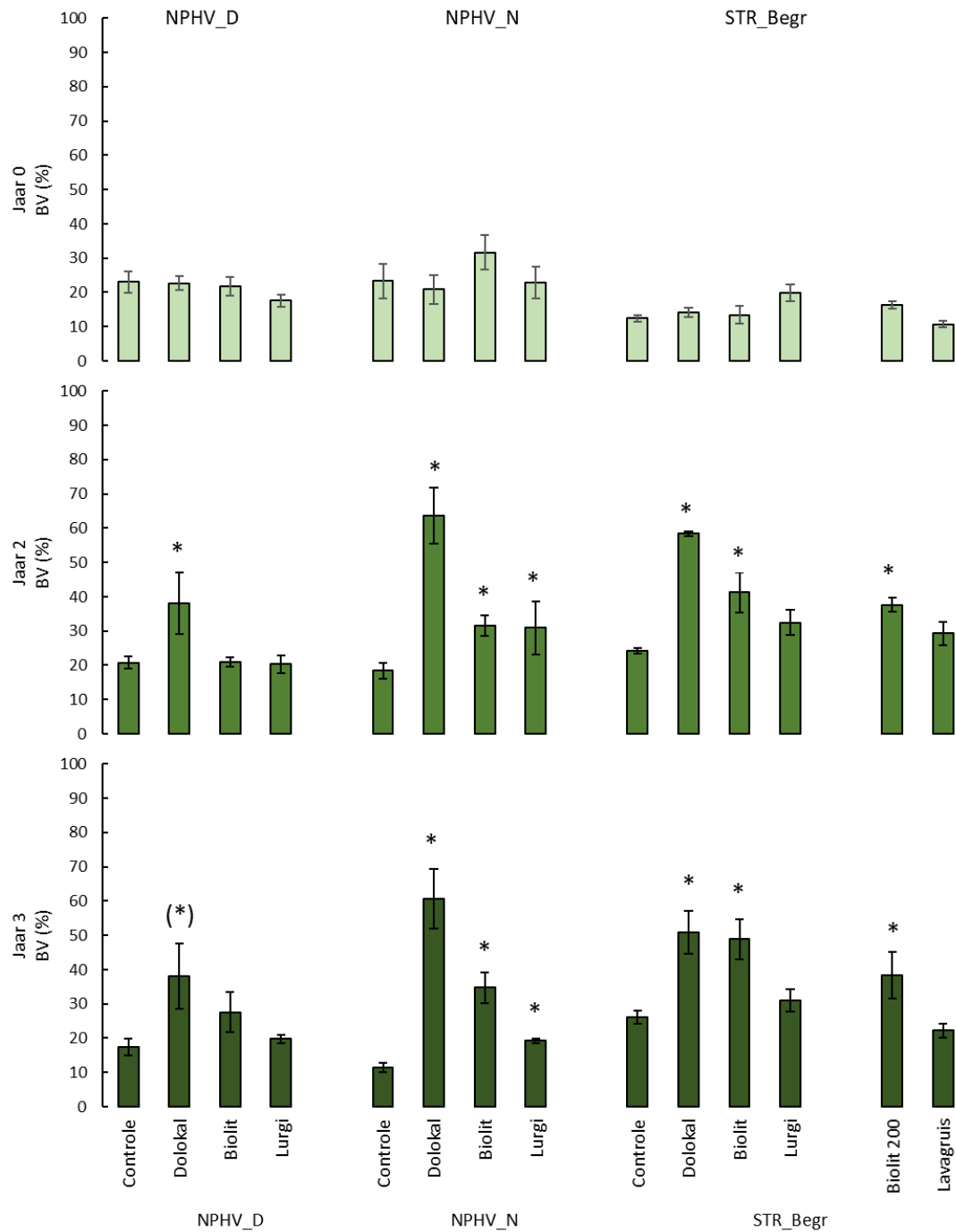
Daarnaast zijn er geen significante dalingen in de uitwisselbare kaliumconcentraties gemeten. Door het toedienen van een overmaat aan calcium met bijvoorbeeld Dolokal zou het kunnen gebeuren dat het nog aan het complex aanwezige kalium wordt verdrongen door de tweewaardige ionen en het kalium vervolgens uitspoelt. Voor dit proces zijn echter geen aanwijzingen gevonden in de experimenten op de Hoge Veluwe. In de proeflocatie op Strabrecht is het nu nog niet mogelijk hier een

uitspraak over te doen gelet op de relatief grote spreiding en het lage aantal replica's.

De behandeling met Dolokal of steenmeel hebben in de bovenlaag van de bodem ook geleid tot veranderingen in de basenverzadiging. In het droge heide-experiment in het NP de Hoge Veluwe heeft alleen het toedienen van Dolokal voor een significante verhoging van de basenverzadiging gezorgd, van 20% in de controle naar 40% in de Dolokalbehandeling in het derde effectjaar (Figuur 5.5). In de natte heide in het NP de Hoge Veluwe heeft het toedienen van Dolokal voor een vervijfvoudiging in de basenverzadiging gezorgd, van 11% in de controle naar 60% in de Dolokalbehandeling. Ook op Strabrecht heeft het toedienen van Dolokal tot een verdubbeling van de basenverzadiging geleid in het derde effectjaar. Het toegediende Biolit heeft in de natte proeflocatie in het NP de Hoge Veluwe en in de droge heide op Strabrecht ook tot een toename in de basenverzadiging geleid, maar minder groot dan met Dolokal. Een verdrievoudiging in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe (een basenverzadiging van 35% t.o.v. 11%) en op Strabrecht is de basenverzadiging gemeten in de Biolit-behandeling vergelijkbaar met die in de Dolokalbehandeling. In de natte heide-proef in het NP de Hoge Veluwe heeft ook het opgebrachte Lurgi tot een toename in basenverzadiging geleid, van 11% in de controle naar 19% in de met Lurgi behandelde proefvlakken.

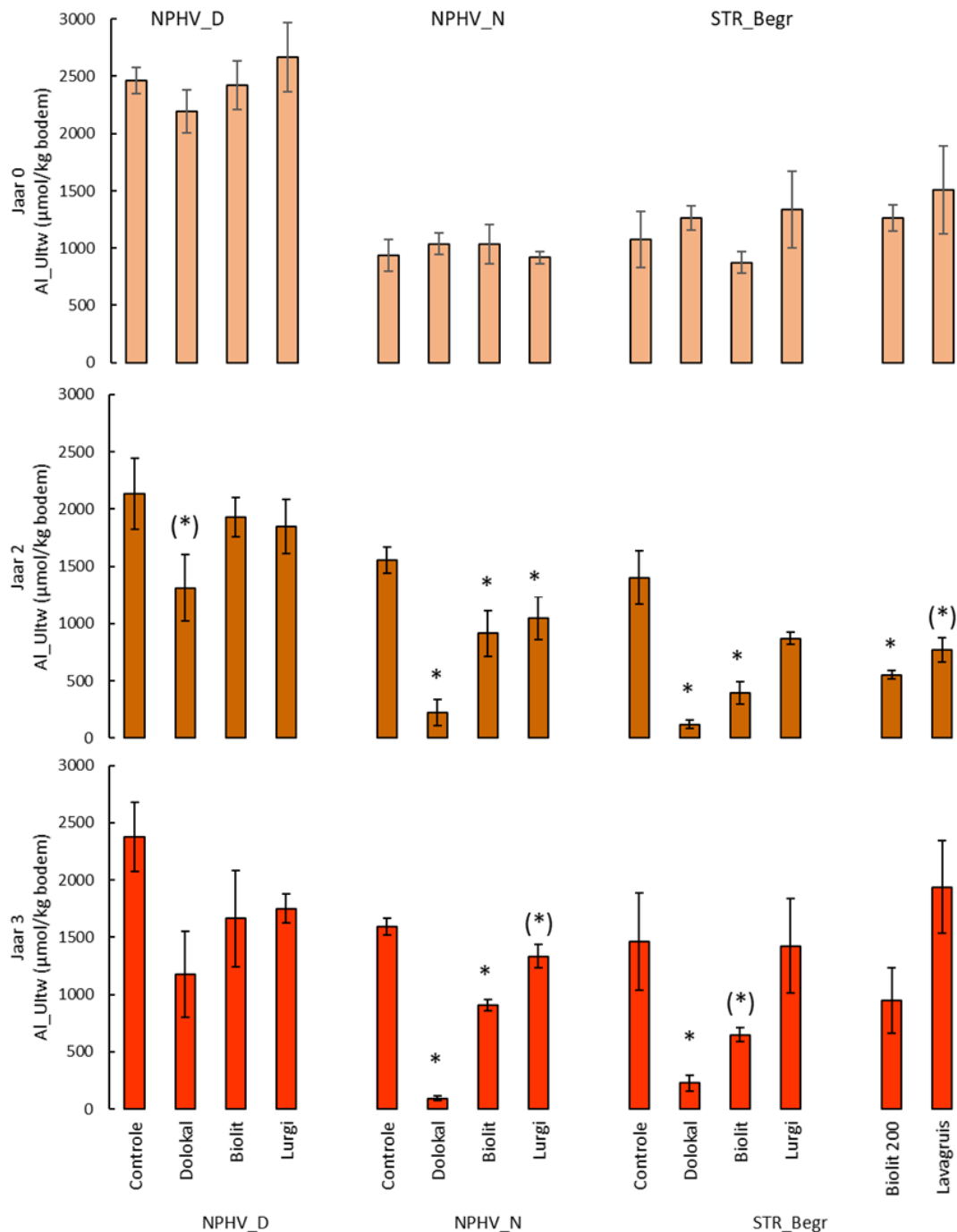
In zure, of verzuurde bodems is de concentratie uitwisselbaar aluminium hoog, met allerlei negatieve gevolgen van dien. Naast de verhoging van de basische kationen is bij antiverzuringmaatregelen met slow-release mineralen ook het verlagen van de aluminiumconcentratie essentieel. Wanneer het bodemabsorptiecomplex voldoende is opgeladen, worden er geen silicaten gebruikt voor de neutralisatie van zuren en komt er niet meer aluminium beschikbaar. Met name bij toediening van Dolokal- en Biolitwaren de effecten zichtbaar, en dan vooral in de natte heide op in het NP de Hoge Veluwe en op Strabrecht. In zowel Strabrecht als in de natte proef op in het NP de Hoge Veluwe daalde de concentratie uitwisselbaar aluminium van concentraties rond de 1500 $\mu\text{mol/kg}$ bodem in de controle naar concentraties tussen de 100 en 200 $\mu\text{mol/kg}$ bodem in de met Dolokal behandelde proefvlakken (Figuur 5.6).

In de met Biolit behandelde proefvlakken in deze terreinen verminderde de aluminiumconcentratie tot 960 $\mu\text{mol/kg}$ bodem (Veluwe-nat) en 650 $\mu\text{mol/kg}$ bodem (Strabrecht). In de natte proef in het NP de hoge Veluwe zorgde het opgebrachte Lurgi eveneens voor een afname in de uitwisselbare aluminiumconcentratie, hoewel deze afname niet groot was (1300 $\mu\text{mol/kg}$ bodem in de Lurgi-vlakken t.o.v. 1600 $\mu\text{mol/kg}$ bodem in de controle).



Figuur 5.5. Basenverzadiging ($\bar{x} \pm$ standaard fout, in %) in de nulmeting (jaar 0), na twee en na drie effectjaren in de droge proef in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, n=5), de natte proeflocatie in het NP De Hoge Veluwe (NPHV_N, midden, n=5) en in de begraasde proefvlakken in de droge heide op Strabrecht (STR_Begr, rechts, n=3). *=significant verschil ($p < 0,05$) en (*)=trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar.

Figure 5.5. Basesaturation measured in the topsoil ($\bar{x} \pm$ SE in %) Pre-treatment (jaar 0) and after two (jaar 2) and three years (jaar 3) at the dry site at NP de Hoge Veluwe (left, n=5), the wet site at the NP de Hoge Veluwe (center, n=5) and the grazed plots in Strabrecht (right, n=3). *=significant ($p < 0,05$) (*)=trend ($0,05 < p < 0,1$) difference compared to control of the same year.



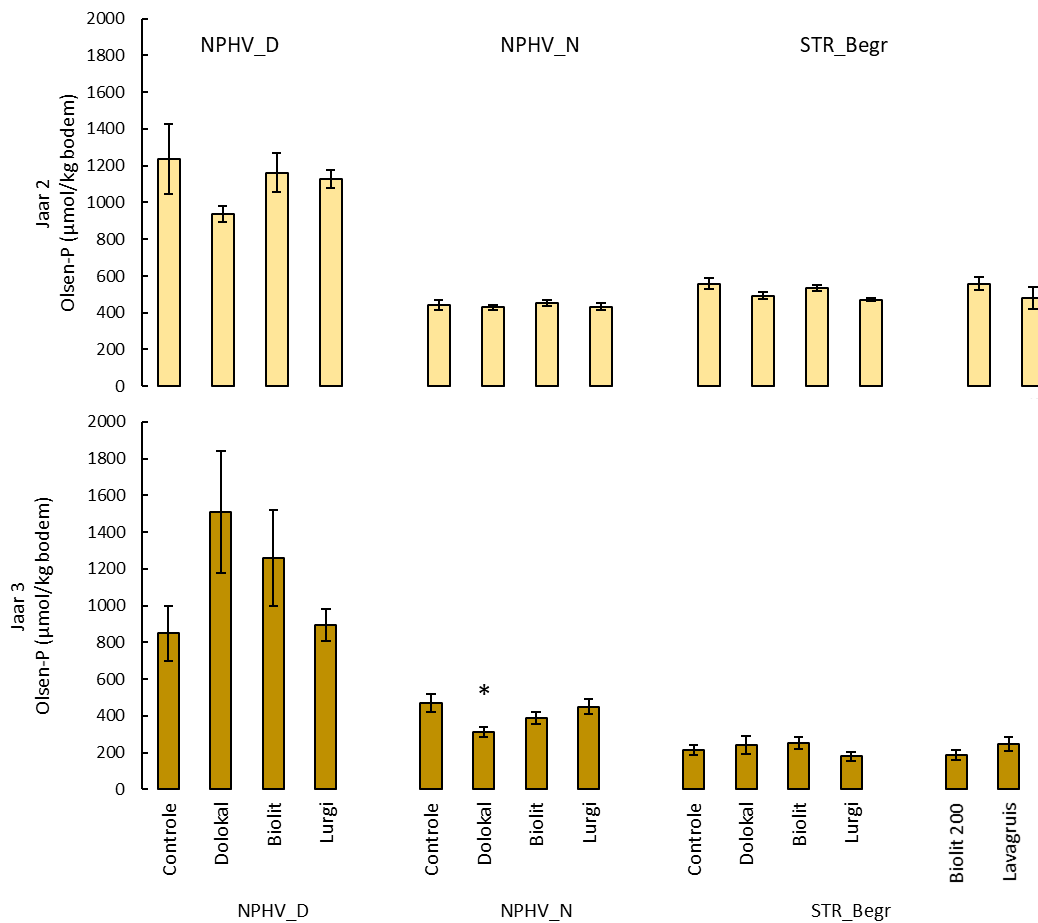
Figuur 5.6. Uitwisselbare concentratie aluminium ($\bar{x} \pm$ standaard fout, in $\mu\text{mol/kg}$ bodem) in de nulmeting (jaar 0), na twee en na drie effectjaren in de droge proef in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, $n=5$), de natte proeflocatie in het NP De Hoge Veluwe (NPHV_N, midden, $n=5$) en in de begraasde proefvlakken in de droge heide op Strabrecht (STR_Begr, rechts, $n=3$). * = significant verschil ($p < 0,05$) en (*) = trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar.

Figure 5.6. Exchangeable concentration aluminum measured in the topsoil ($\bar{x} \pm$ SE in $\mu\text{mol/kg}$ soil) Pre-treatment (jaar 0) and after two (jaar 2) and three years (jaar 3) at the dry site at NP de Hoge Veluwe (left, $n=5$), the wet site at the NP de Hoge Veluwe (center, $n=5$) and the grazed plots in Strabrecht (right, $n=3$). * = significant ($p < 0,05$) (*) = trend ($0,05 < p > 0,1$) difference compared to control of the same year.

5.5 Nutriënten

Met het toedienen van bufferstoffen als antiverzuringmaatregel op niet-geplagde, organische heidebodems bestaan er zorgen omtrent het vrijkomen van nutriënten (P en N). Na drie jaar zijn er nauwelijks veranderingen waargenomen in de hoeveelheid voor planten beschikbaar P in de bodem (Olsen-P is niet gemeten in de

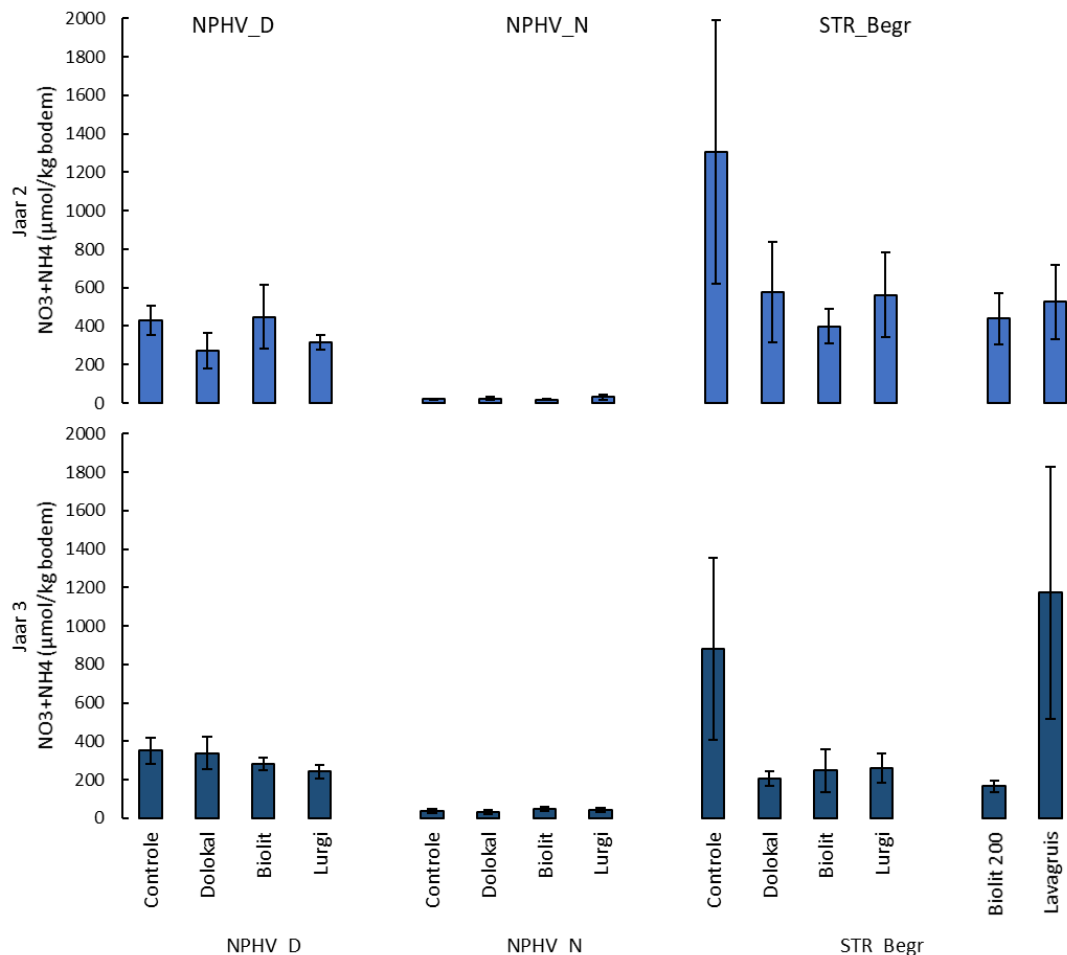
nulmeting). Alleen na het toedienen van Dolokal was in het NP De Hoge Veluwe de voor planten beschikbare fosfaatconcentratie (Olsen-P) met 312 $\mu\text{mol/kg}$ bodem lager dan in de controle proefvlakken (470 $\mu\text{mol/kg}$ bodem) (Figuur 5.7). In de overige behandelingen werd er in geen van de drie terreinen of onderzoek jaren een effect op de voor planten beschikbare concentratie P aan getroffen (Figuur 5.7).



Figuur 5.7. Voor plantenbeschikbare fosfaatconcentratie, gemeten als Olsen-P ($\bar{x} \pm$ standaard fout, in $\mu\text{mol/kg}$ bodem) in de nulmeting (jaar 0), na twee en na drie effectjaren in de droge proef in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, $n=5$), de natte proeflocatie in het NP De Hoge Veluwe (NPHV_N, midden, $n=5$) en in de begraaide proefvlakken in de droge heide op Strabrecht (STR_Begr, rechts, $n=3$). *=significant verschil ($p<0,05$) en (*)=trend ($0,05<p<0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar.

Figure 5.7. Plant available phosphorus, measured as Olsen-P in the topsoil ($\bar{x} \pm$ SE in $\mu\text{mol/kg}$ soil) Pre-treatment (jaar 0) and after two (jaar 2) and three years (jaar 3) at the dry site at NP de Hoge Veluwe (left, $n=5$), the wet site at the NP de Hoge Veluwe (center, $n=5$) and the grazed plots in Strabrecht (right, $n=3$). *=significant ($p<0,05$) (*)=trend ($0,05<p<0,1$) difference compared to control of the same year.

De concentratie van anorganisch N in de bodem werd niet beïnvloed door de behandelingen, noch in het tweede, noch in het derde meetjaar. Dit is een duidelijke indicatie dat het verhogen van de bodembuffering niet heeft geleid een versnelde afbraak van organisch materiaal leiden, resulterend in een hogere stikstofbeschikbaarheid (Figuur 5.8). Verder valt op dat de concentratie stikstof op Strabrecht zeer hoog is, in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe intermediair en in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe laag. Dat laatste is waarschijnlijk het gevolg van de paasbrand in 2014.



Figuur 5.8. Anorganisch N (NO₃+NH₄) ($\bar{x} \pm$ standaard fout, in $\mu\text{mol/kg}$ bodem, na twee en na drie effectjaren in de droge proef in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, n=5), de natte proeflocatie in het NP De Hoge Veluwe (NPHV_N, midden, n=5) en in de begraaide proefvlakken in de droge heide op Strabrecht (STR_Begr, rechts, n=3). *=significant verschil ($p < 0,05$) en (*)=trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar.

Figure 5.8. NO₃+NH₄ ($\bar{x} \pm$ SE in $\mu\text{mol/kg}$ soil) after two (jaar 2) and three years (jaar 3) at the dry site at NP de Hoge Veluwe (left, n=5), the wet site at the NP de Hoge Veluwe (center, n=5) and the grazed plots in Strabrecht (right, n=3). *=significant ($p < 0,05$) (*)=trend ($0,05 < p > 0,1$) difference compared to control of the same year.

5.6 Conclusies bodemchemische ontwikkelingen na 3 jaar

De opgebrachte steenmelen dragen allen bij aan het verbeteren van de bodembuffering.

- Het opgebracht Dolokal is het meest reactief in de bodem, gevolgd door Biolit dat ook 5-10% dolomiet bevat. Ook het opbrengen van Lurgi begint echter al tot significante effecten in de bodemchemie te leiden.
- De kalium-leverende werking van Lurgi begint pas na twee effectjaren zichtbaar te worden.
- De fractie organische stof en CEC van de terreinen lijkt de werkingsnelheid te beïnvloeden. Hoe lager de CEC (Natte heide locatie in het NP de Hoge veluwe) hoe sneller er verschillen in de bodemchemie zijn gemeten als gevolg van de behandelingen. In de droge heide in het NP de Hoge veluwe is de CEC het hoogst en worden de minste effecten van de behandelingen op de bodemchemie gemeten.

6 Plantchemie

6.1 Inleiding

Naast bodemmateriaal is er ook plantenmateriaal verzameld in de proefvlakken, zowel in 2015, 2016 als in 2017. Dit plantenmateriaal is chemisch geanalyseerd (Bijlage 4) waarbij de gehalten aan elementen bepaald zijn. In de droge heide is steeds materiaal van Bochtige smele en Struikheide verzameld (current year shoots), waarbij in het NP de Hoge Veluwe ook Schapenzuring is meegenomen als belangrijke waardplant van beide vuurvlindersoorten (zie ook Hoofdstuk 8). In de natte heide is materiaal van Gewone dopheide (current year shoots) en Pijpenstrootje verzameld en geanalyseerd.

6.2 Methoden

Van ieder proefvlak is een vegetatiemonster genomen. De verzamelde vegetatiemonsters zijn gedroogd in een stoof bij 60°C en vervolgens fijngemalen. 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.

Van het resterende plantmateriaal werd per monster nauwkeurig 200 mg afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3 , 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H_2O_2 30%) toegevoegd en de vaatjes werden geplaatst in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruëerd 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. De plantmonsters zijn geanalyseerd op dezelfde elementen als bij de bodemdestructie, aangevuld met enkele extra metalen zoals Arseen, Boor en Kobalt.

Statistische analyses

Verschillen tussen behandelingen in bodem- en plantchemie werden getoetst door een One-Way ANOVA in SPSS24.

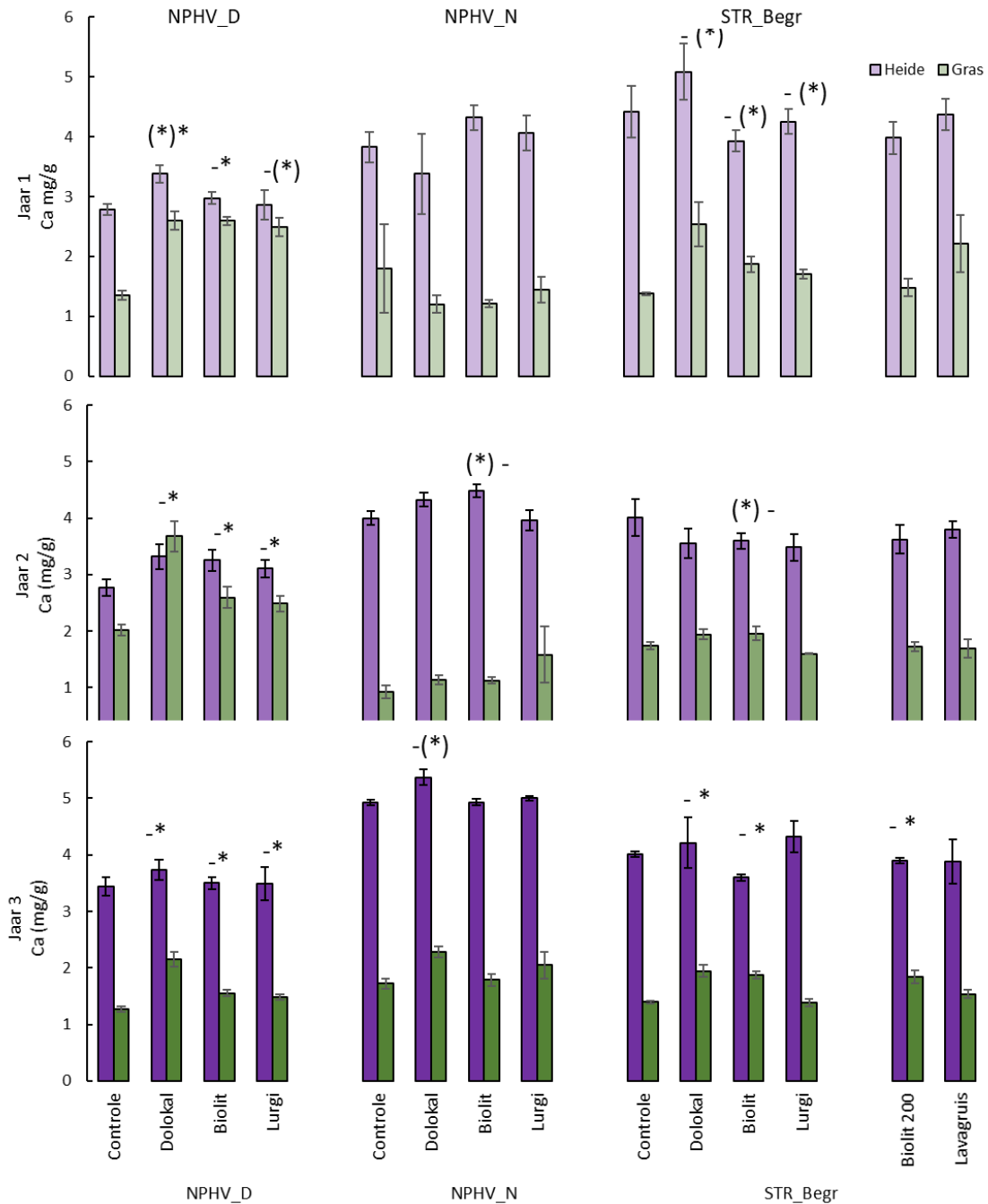
6.3 Ca, Mg en K in de planten

Het opbrengen van de steenmelen heeft in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe en op Strabrecht tot een toename in de calciumgehalten in het plantenmateriaal van Bochtige smele geleid (Figuur 6.1). In de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werd in de met Dolokal behandelde proefvlakken in het verzamelde materiaal van Bochtige smele in de met Dolokal behandelde proefvlakken een verdubbeling van het Ca-gehalte gemeten van 1 mg/g naar 2 mg/g. Ook op Strabrecht was het effect in de met Dolokal behandelde proefvlakken het grootste, een toename van 1,4 mg/g in de Bochtige smele verzameld in de controle tot 1,9 in de met Dolokal behandelde proefvlakken. In het NP de Hoge Veluwe werd in het plantenmateriaal van Bochtige smele verzameld in de droge heideproefvelden ook in de met Biolit en Lurgi behandelde proefvlakken een hogere Ca-concentratie gemeten, maar het effect was hier minder groot vergeleken met de Dolokal-behandeling. Ook op Strabrecht werd in het materiaal van Bochtige smele

na Biolit100 of -200 gift een toename in het Ca-gehalte gevonden, en net als in het NP de Hoge Veluwe was deze toename minder groot dan de toename in de Dolokal-behandeling. In de Struikheide werden zowel in het NP de Hoge Veluwe als op Strabrecht in het derde effectjaar geen veranderingen in het Ca-gehalte gemeten. In de natte proeflocatie in het NP de Hoge Veluwe werden vrijwel geen veranderingen in het Ca-gehalte vastgesteld, alleen in Bochtige smele werd in het derde effectjaar een kleine verhoging van de calciumconcentratie gemeten na Dolokal behandeling.

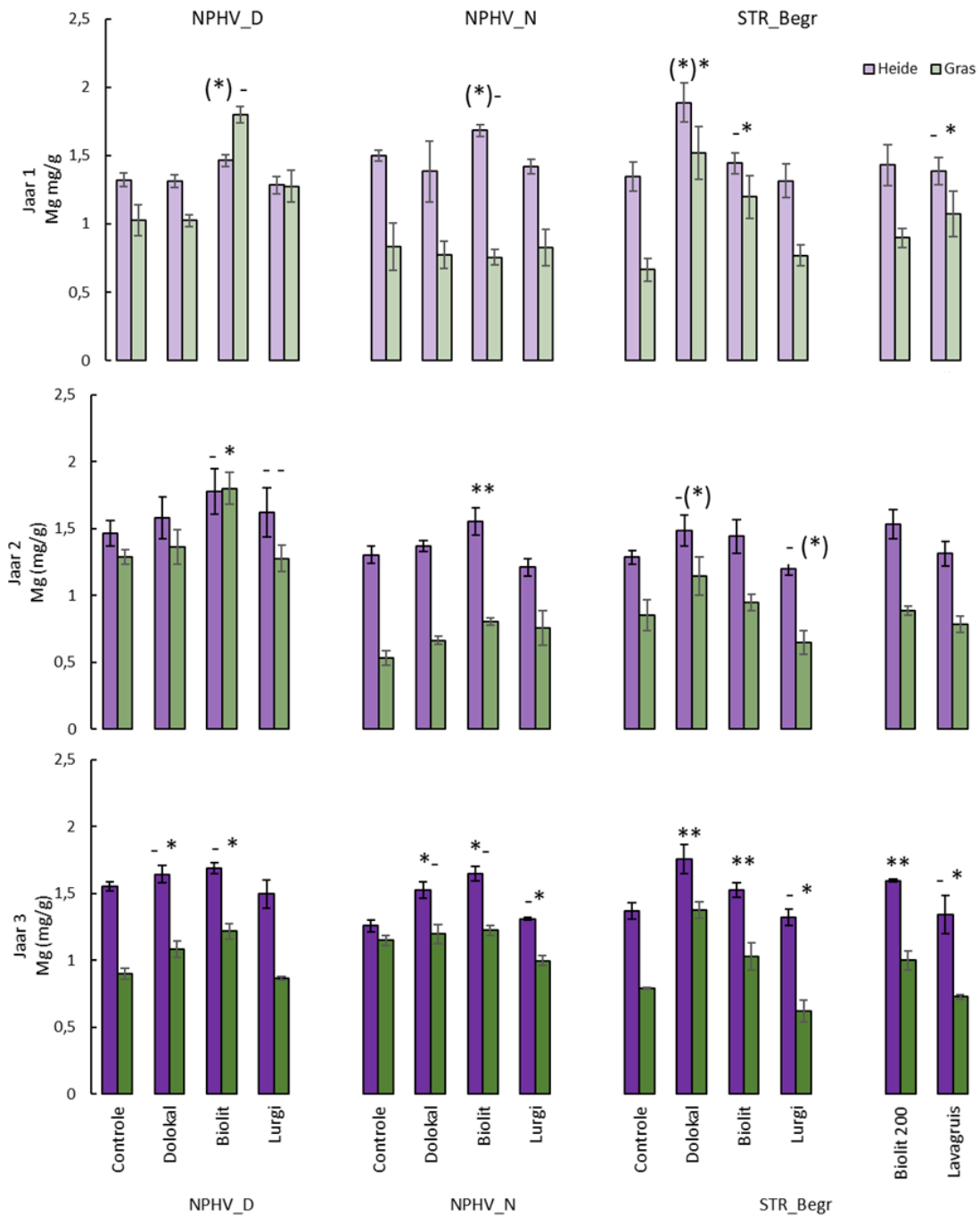
In het verzamelde plantenmateriaal van Struikheide van de droge heide het NP de Hoge Veluwe werd geen effect van de addities op de magnesiumgehaltenes gemeten (Figuur 6.2). Wel werd er in het materiaal van Bochtige smele in met name het derde effectjaar een toename in de magnesiumgehaltenes gemeten in de met Dolokal en Biolit behandelde proefvlakken, waarbij de reactie van Biolit en Dolokal vergelijkbaar was. Het opgebrachte Dolokal bevatte in het NP de Hoge Veluwe 5% magnesium, een vergelijkbare hoeveelheid als in het opgebrachte Biolit. In de Struikheide verzameld op Strabrecht werd daarentegen wel een toename in het magnesiumgehalte gemeten in de met Dolokal en Biolit100 en -200 behandelde proefvlakken: 1,76 mg/g in de met Dolokal behandelde proefvlakken, 1,52 mg/g in de met Biolit100 behandelde proefvlakken en 1,6 mg/g in de met Biolit200 behandelde proefvlakken tegen 1,37 mg/g in de onbehandelde controle. Deze effecten waren vooral zichtbaar in het derde effectjaar. In het plantenmateriaal van Bochtige smele verzameld op Strabrecht werden ook in de met Dolokal behandelde proefvlakken hogere concentraties magnesium gemeten (1,38 mg/g) vergeleken met de controle (0,8 mg/g), net als in de met Biolit100 behandelde proefvlakken (1,03 mg/g). Het is hierbij van belang om te vermelden dat het op Strabrecht opgebrachte Dolokal 15% magnesium bevatte. In de natte heide in het NP de Hoge Veluwe werd in het Dopheide-materiaal na Dolokalgift of Biolit gift een hogere Mg-concentratie gemeten van rond de 1,5 mg/g tegen 1,3 mg/g in de controle. In het daar verzamelde plantenmateriaal van Pijpenstrootje werd bij zowel Dolokal als Biolit geen effect gemeten. In de met Lavagruis en Lurgi behandelde proefvelden in alle drie de experimenten werd in het derde effectjaar juist een kleine, maar significante, afname in het magnesiumgehalte in de daar verzamelde grassen (Pijpenstrootje in de natte heide, Bochtige smele in de droge heide) gemeten. In het materiaal van Pijpenstrootje verzameld werd in de met Lurgi behandelde proefvlakken in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe 1,0 mg Mg/g gemeten tegen 1,15 mg/g in de controle-proefvlakken. Op Strabrecht werd in het spuitmateriaal van Bochtige smele in de Lurgi-behandeling 0,62 mg Mg/g gemeten, 0,73 mg/g in de Lavagruisbehandeling tegen 0,8 mg/g in de controle.

In het verzamelde plantenmateriaal zijn er weinig behandelingseffecten in het kaliumgehalte van het verzamelde plantenmateriaal gemeten (Figuur 6.3). In de natte proef in het NP de Hoge Veluwe werd in het materiaal van Dopheide verzameld in de controle 4 mg K/g gemeten tegen 4,8 mg K/g in de met Lurgi behandelde proefvlakken. In de met Dolokal behandelde proefvelden in de natte heide werd alleen in het derde effectjaar een lager kaliumgehalte gemeten in het verzamelde Dopheide-materiaal in de met Dolokal behandelde proefvlakken: 3,5 mg/g tegen 4,0 mg/g in de controle.



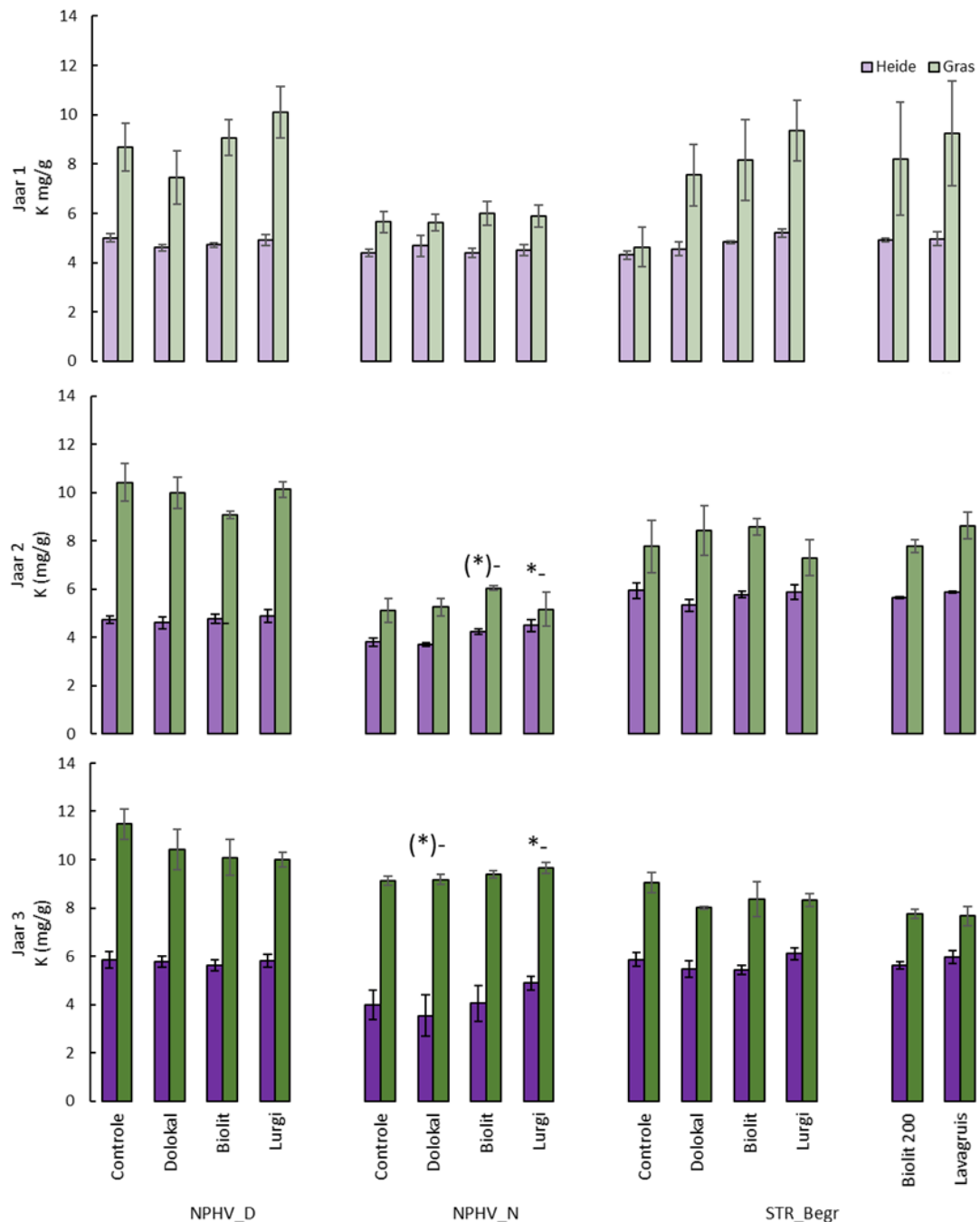
Figuur 6.1. Ca-concentratie in mg/g drooggewicht gemeten in struikheide (paars), Bochtige smele (groen) in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, n=5), Dopheide (paars) en Pijpenstrootje (groen) in de natte heide op de Veluwe (NPHV_N, n=5, midden) en Struikheide (paars) en Bochtige smele (groen) in de begraaasde droge heide proefvlakken op Strabrecht (STR_B, rechts, n=3). $\bar{x} \pm$ standaardfout. *=significant verschil ($p < 0,05$) en (*)=trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar. -=geen verschil.

Figure 6.1. Ca concentration in mg/g dry weight measured in the dominant heather (purple), grass (green) sampled at the dry site at the Veluwe (left, n=5), the wet site at the Veluwe (middle, n=5) and the grazed plots at Strabrecht (right, n=3). $\bar{x} \pm$ Standard error. *=significant ($p < 0,05$) (*)=trend ($0,05 < p < 0,1$) difference compared to control of the same year. -=no difference.



Figuur 6.2. Mg concentratie in mg/g drooggewicht gemeten in struikheide (paars), Bochtige smele (groen) in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, n=5), Dopheide (paars) en Pijpenstrootje (groen) in de natte heide op de Veluwe (NPHV_N, n=5, midden) en Struikheide (paars) en Bochtige smele (groen) in de begraasde droge heide proefvlakken op Strabrecht (STR_B, rechts, n=3). $\bar{x} \pm$ standaardfout. *=significant verschil ($p < 0,05$) en (*) =trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar. --=geen verschil.

Figure 6.2. Mg concentration in mg/g dry weight measured in the dominant heather (purple), grass (green) and Rumex (yellow) sampled at the dry site at the Veluwe (left, n=5), the wet site at the Veluwe (middle, n=5) and the grazed plots at Strabrecht (right, n=3). $\bar{x} \pm$ Standard error. *=significant ($p < 0,05$) (*) =trend ($0,05 < p < 0,1$) difference compared to control of the same year. --=no difference.



Figuur 6.3. K-concentratie in mg/g droog gewicht gemeten in struikheide (paars), Bochtige smele (groen) in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, n=5), Dopheide (paars) en Pijpenstrootje (groen) in de natte heide op de Veluwe (NPHV_N, n=5, midden) en Struikheide (paars) en Bochtige smele (groen) in de begraasde droge heide proefvlakken op Strabrecht (STR_B, rechts, n=3). $\bar{x} \pm$ standaardfout. *=significant verschil ($p < 0,05$) en (*) =trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar. -=geen verschil.

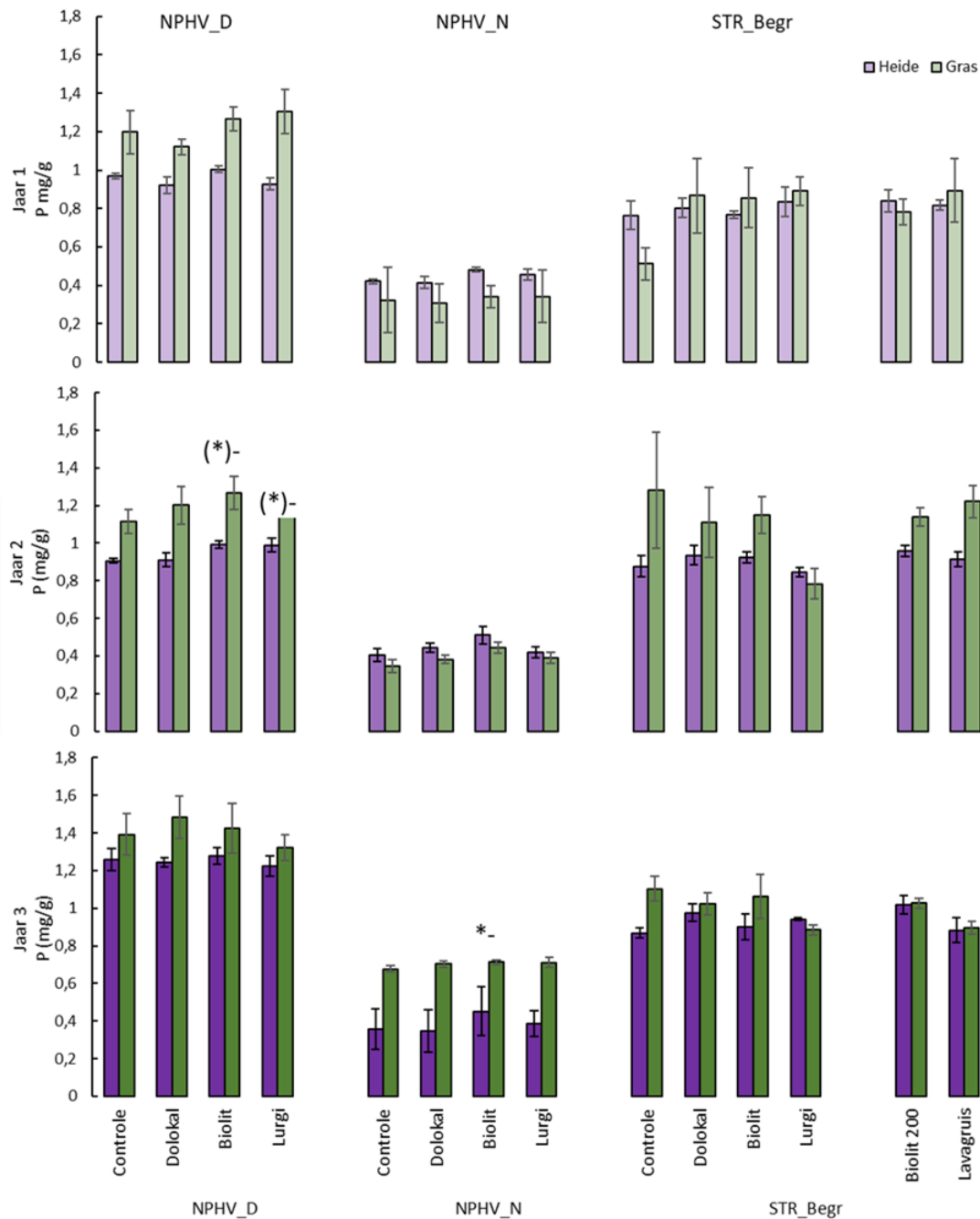
Figure 6.3. K concentration in mg/g dry weight measured in the dominant heather (purple), grass (green) sampled at the dry site at the Veluwe (left, n=5), the wet site at the Veluwe (middle, n=5) and the grazed plots at Strabrecht (right, n=3). $\bar{x} \pm$ Standard error. *=significant ($p < 0,05$) (*) =trend ($0,05 < p < 0,1$) difference compared to control of the same year. -=no difference.

6.4 N- en P-gehalten in de planten

Het stikstofgehalte van het verzamelde plantenmateriaal werd niet beïnvloed door de verschillende behandelingen, noch in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe en Strabrecht, noch in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe. Kortom, wat N betreft was er geen enkele indicatie voor verhoogde N-beschikbaarheid (Bijlage 4). De opgebrachte steenmelen Biolit en Lavagruis bevatten relatief veel P, in de opgebrachte doseringen is er met Biolit 35 Kg/P per hectare opgebracht en met Lavagruis 52,5 kg P/ha (vergelijkbaar met de P-bemesting in het plag-experiment in het NP de Hoge Veluwe, Vogels *et al.*, 2016). Lurgi bevat aanzienlijk minder P, hiermee is 10,5 kg P/ha opgebracht. In het tweede onderzoek jaar werd in plantenmateriaal van Struikheide verzameld in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe een kleine toename in het P-gehalte gemeten in de planten verzameld in de met Biolit en Lurgi behandelde proefvlakken. Na drie effectjaren is een kleine toename in het P-gehalte gemeten in het verzamelde Dopheide-materiaal in de natte proef in het NP de Hoge Veluwe, en dan alleen in de met Biolit behandelde proefvlakken. Hier werd in de Dopheide verzameld in de controle 0,35 mg P/g gemeten tegen 0,45 mg P/g in de met Biolit behandelde proefvlakken (Figuur 6.4). Met het toedienen van de steenmelen aan de bodem kunnen verschillende processen beïnvloed worden. De hoeveelheid beschikbaar P voor de vegetatie kan afnemen omdat dit bindt aan het toegediende calcium, hiervoor zijn geen aanwijzingen gevonden.

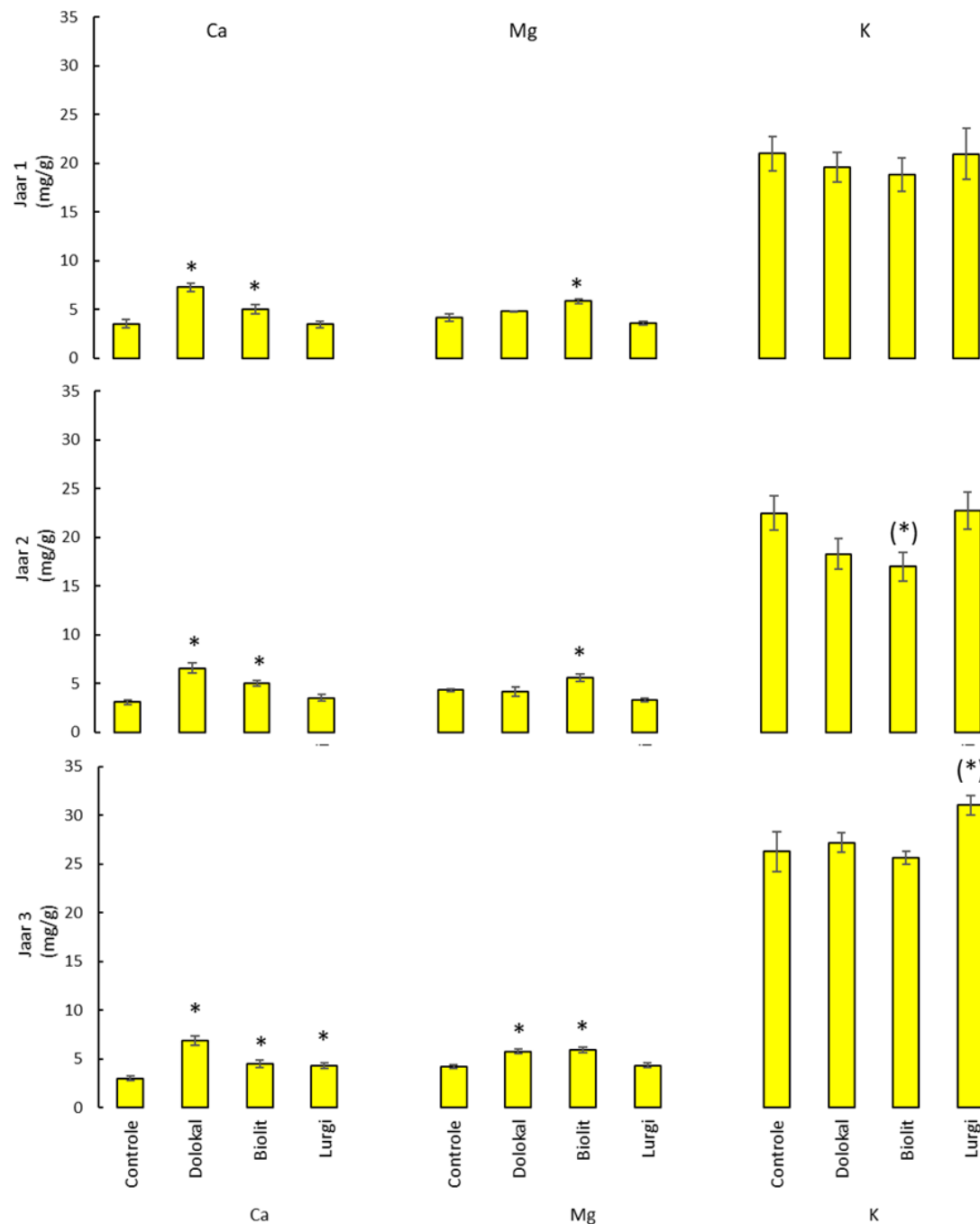
6.5 Schapenzuring

In de droge heide in het NP de Hoge Veluwe is ook materiaal van Schapenzuring verzameld (Figuur 6.5). De concentratie Ca en Mg gemeten in het verzamelde plantmateriaal was hoger in de met Biolit en Dolokal behandelde proefvlakken vergeleken met de controle. In het derde onderzoeksjaar werd in plantmateriaal uit de met Dolokal-behandelde proefvlakken een dubbele Ca-concentratie gemeten vergeleken met materiaal uit de controle (3,0 tegen 6,9 mg/g). De magnesiumgehalten namen in zowel de Biolit als Dolokalbehandeling toe van 4,2 in plantenmateriaal uit de controle tot waardes rond de 6 mg/g in de met Biolit en Dolokal behandelde vlakken. In plantenmateriaal uit de met Lurgi behandelde proefvlakken nam de concentratie Ca en K in het derde effectjaar toe vergeleken met de controle. In de met Biolit-behandelde proefvlakken werd in het tweede jaar juist een lagere kaliumconcentratie in het verzamelde schapenzuringmateriaal gemeten, in het derde jaar was deze daling niet (meer) significant.



Figuur 6.4. P-concentratie in mg/g droog gewicht gemeten in struikheide (paars), Bochtige smele (groen) in het NP de Hoge Veluwe (NPHV_D, links, n=5), Dopheide (paars) en Pijpenstrootje (groen) in de natte heide op de Veluwe (NPHV_N, n=5, midden) en Struikheide (paars) en Bochtige smele (groen) in de begraasde droge heide proefvlakken op Strabrecht (STR_B, rechts, n=3). $\bar{x} \pm$ standaardfout. *=significant verschil ($p < 0,05$) en (*) =trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar. -=geen verschil.

Figure 6.4. P concentration in mg/g dry weight measured in the dominant heather (purple), grass (green) and Rumex (yellow) sampled at the dry site at the Veluwe (left, n=5), the wet site at the Veluwe (middle, n=5) and the grazed plots at Strabrecht (right, n=3). $\bar{x} \pm$ Standard error. *=significant ($p < 0,05$) (*) =trend ($0,05 < p < 0,1$) difference compared to control of the same year. -=no difference.



Figuur 6.5. Concentraties Ca, Mg en K in mg/g droge stof gemeten in schapenzuringmateriaal verzameld in droge heide in het NP de Hoge Veluwe. $\bar{x} \pm$ standaardfout (n=5). *=significant verschil ($p < 0,05$) en (*) =trend ($0,05 < p < 0,1$) t.o.v. controle-behandeling binnen hetzelfde jaar. -=geen verschil.

Figure 6.5. Concentrations Ca, Mg en K in mg/g dry weight in Rumex sampled in the dry heath in Np Hoge Veluwe. $\bar{x} \pm$ Standard error (n=5). *=significant ($p < 0,05$) (*) =trend ($0,05 < p < 0,1$) difference compared to control of the same year. -=no difference.

6.6 Al, Fe, Zn en Si in de planten

In het eerste groeiseizoen bleek de concentratie Al en Fe sterk toe te zijn genomen in het verzamelde heidemateriaal in de Veluwe en in de verzamelde struikheide en Bochtige smele in Strabrecht verzameld in de behandelde proefvlakken (Tabel 6.1). In het tweede groeiseizoen was van deze toenames echter niets meer zichtbaar. In het tweede groeiseizoen werd in plantenmateriaal van Schapenzuring in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe in de behandelde proefvlakken een verhoogde Zn-concentratie gemeten vergeleken met de controle. Ook dit effect was een jaar later niet meer zichtbaar. In het verzamelde materiaal van Pijpenstrootje in de natte

heide-proef werd in het derde groeiseizoen een verlaagde Zn-concentratie gemeten in alle behandelde proefvlakken vergeleken met de niet-behandelde controle. In het verzamelde materiaal van Bochtige smele in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werd in het derde onderzoeksjaar juist een toename in de Zn-concentratie gemeten in de met Dolokal en Lurgi behandelde proefvlakken. Veranderingen in de Zink-concentraties werden dus alleen in het verzamelde materiaal van grassen en Schapenzuring aangetroffen en niet in de heideplanten. Op Strabrecht blijkt de concentratie silicium gemeten in materiaal van Bochtige smele in alle behandelde proefvlakken te zijn toegenomen in het tweede en derde effectjaar. In de niet-begraasde proefvlakken op Strabrecht was deze toename ook te zien (Bijlage 4). Ook in het verzamelde plantenmateriaal van Bochtige smele in de Dolokal behandeling in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werd in het derde jaar een hogere Si-concentratie gemeten.

Tabel 6.1. Gemiddelde concentraties Al, Fe, Si en Zn in het verzamelde plantenmateriaal. Gemiddelde (n=5 op de Veluwe en n=3 op Strabrecht). In vet weergegeven wanneer er sprake was van een trend of een significant verschil (0,05<p<0,1).

Table 6.1. Average concentration Al, Fe, Si and Zn measured in the samples plantmaterial (n=5 at Veluwe sites and n=3 at Strabrecht). In Bold (near) significant differences (0,05<p<0,1).

NPHV_D		Struikheide				Bochtige smele				Schapenzuring			
		Al	Fe	Si	Zn	Al	Fe	Si	Zn	Al	Fe	Si	Zn
		mg/g				mg/g				mg/g			
Jaar 1	Controle	0,04	0,09	0,29	0,03	0,06	0,08	0,52	0,04	0,19	0,14	0,18	0,08
	Dolokal	0,05	0,14	0,35	0,03	0,05	0,11	0,68	0,05	0,15	0,12	0,23	0,06
	Biolit	0,13	0,32	0,31	0,03	0,12	0,18	0,70	0,05	0,26	0,37	0,26	0,06
	Lurgi	0,10	0,10	0,30	0,03	0,12	0,18	0,93	0,06	0,26	0,14	0,26	0,06
Jaar 2	Controle	0,08	0,10	0,33	0,02	0,11	0,16	0,67	0,05	0,25	0,18	0,39	0,06
	Dolokal	0,09	0,11	0,32	0,03	0,14	0,20	0,82	0,06	0,26	0,16	0,29	0,05
	Biolit	0,10	0,13	0,34	0,03	0,12	0,18	0,70	0,05	0,27	0,18	0,42	0,05
	Lurgi	0,08	0,10	0,37	0,02	0,12	0,18	0,93	0,06	0,31	0,18	0,57	0,06
Jaar 3	Controle	0,03	0,07	0,43	0,03	0,07	0,08	0,49	0,04	0,19	0,14	0,39	0,07
	Dolokal	0,03	0,06	0,48	0,03	0,10	0,09	0,60	0,05	0,18	0,13	0,41	0,06
	Biolit	0,03	0,06	0,44	0,03	0,10	0,09	0,55	0,05	0,18	0,14	0,40	0,06
	Lurgi	0,03	0,09	0,44	0,03	0,09	0,08	0,56	0,05	0,20	0,14	0,43	0,07

NPHV_N		Dopheide				Pijenstrootje			
		Al	Fe	Si	Zn	Al	Fe	Si	Zn
		mg/g				mg/g			
Jaar 1	Controle	0,04	0,06	0,13	0,03	0,07	0,07	0,32	0,04
	Dolokal	0,04	0,07	0,19	0,03	0,06	0,08	0,36	0,04
	Biolit	0,14	0,25	0,20	0,03	0,08	0,15	0,35	0,05
	Lurgi	0,06	0,07	0,17	0,03	0,08	0,08	0,43	0,05
Jaar 2	Controle	0,08	0,08	0,14	0,03	0,10	0,13	0,46	0,03
	Dolokal	0,08	0,08	0,15	0,02	0,11	0,11	0,46	0,03
	Biolit	0,09	0,10	0,17	0,03	0,10	0,12	0,46	0,03
	Lurgi	0,10	0,10	0,16	0,03	0,11	0,10	0,43	0,03
Jaar 3	Controle	0,08	0,17	0,42	0,03	0,22	0,26	0,50	0,07
	Dolokal	0,08	0,12	0,41	0,03	0,22	0,22	0,57	0,06
	Biolit	0,08	0,12	0,41	0,03	0,20	0,19	0,54	0,06
	Lurgi	0,08	0,12	0,41	0,03	0,24	0,22	0,59	0,06

STR_B		Struikheide				Bochtige smele			
		Al	Fe	Si	Zn	Al	Fe	Si	Zn
		mg/g				mg/g			
Jaar 1	Controle	0,07	0,09	0,24	0,04	0,10	0,11	0,35	0,06
	Dolokal	0,08	0,16	0,34	0,04	0,10	0,16	0,62	0,07
	Biolit 100	0,24	0,51	0,25	0,04	0,27	0,42	0,66	0,06
	Lurgi	0,12	0,10	0,26	0,04	0,25	0,15	0,58	0,06
	Biolit 200	0,17	0,34	0,25	0,04	0,20	0,38	0,52	0,05
	Lavagruis	0,25	0,16	0,28	0,04	0,79	0,37	0,50	0,08
Jaar 2	Controle	0,04	0,07	0,34	0,03	0,11	0,27	0,64	0,08
	Dolokal	0,04	0,07	0,34	0,03	0,11	0,31	0,91	0,08
	Biolit 100	0,04	0,10	0,33	0,03	0,13	0,28	0,92	0,07
	Lurgi	0,04	0,06	0,40	0,03	0,12	0,23	0,85	0,06
	Biolit 200	0,04	0,07	0,29	0,03	0,11	0,22	0,78	0,05
	Lavagruis	0,05	0,08	0,29	0,03	0,15	0,41	0,89	0,05
Jaar 3	Controle	0,05	0,07	0,40	0,04	0,09	0,07	0,48	0,06
	Dolokal	0,03	0,06	0,44	0,04	0,14	0,08	0,60	0,07
	Biolit 100	0,04	0,06	0,43	0,03	0,15	0,09	0,56	0,07
	Lurgi	0,03	0,05	0,45	0,04	0,13	0,07	0,63	0,06
	Biolit 200	0,03	0,05	0,42	0,03	0,12	0,07	0,57	0,06
	Lavagruis	0,04	0,08	0,44	0,04	0,12	0,07	0,63	0,05

6.7 Verhoudingen van elementen in de plant

Met het veranderen van de gehalten aan elementen in de vegetatie, veranderen ook de verhoudingen waarin deze in het plantenmateriaal aanwezig zijn. Dit kan weer gevolgen hebben voor de voedselkwaliteit van de vegetatie voor de fauna.

Met het toedienen van de verschillende steenmelen veranderde de verhoudingen tussen Ca, K en Mg in de plant (Tabel 6.2). In de struikheide in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werden geen verschillen in de verhoudingen van Ca, K en Mg in de plant aangetroffen. In de struikheide verzameld op Strabrecht werden na drie effectjaren wel verschillen in de verhoudingen gevonden. Hier werd in de met Dolokal en Biolit behandelde proefvlakken een lagere K/Mg-ratio gemeten. In de verzamelde Bochtige smele in het NP de Hoge Veluwe en Strabrecht en Schapenzuring in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werden lagere K/Ca en K/Mg ratio's gemeten in de proefvlakken waar Biolit en Dolokal is toegevoegd. Opvallend is dat in de Bochtige smele verzameld in de met Lurgi behandelde proefvlakken in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe ook een lagere K/Ca-ratio werd gemeten vergeleken met de controle. In de Dopheide verzameld in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe werd in het derde effectjaar een lagere K/Ca en K/Mg ratio gemeten in de met Dolokal en Biolit behandelde proefvlakken en een hogere K/Ca en K/Mg ratio in de met Lurgi behandelde proefvlakken. In het hier verzamelde pijpenstrootje werd in het derde effectjaar ook in de met Lurgi behandelde proefvlakken een verhoogde K/Mg-ratio gemeten.

Tabel 6.2. Gemeten verhoudingen tussen K, Mg en Ca in het verzamelde plantenmateriaal. Gemiddelde (n=5 op de Veluwe en n=3 op Strabrecht). In vet weergegeven wanneer er sprake was van een trend of een significant verschil (0,05<p<0,1).

Table 6.2. Ratio between Ca, K and Mg measured in the samples plantmaterial (n=5 at Veluwe sites and n=3 at Strabrecht). In Bold (near) significant differences (0,05<p<0,1).

NPHV_D		Struikheide		Bochtige smele		Schapenzuring	
		K/Mg	K/Ca	K/Mg	K/Ca	K/Mg	K/Ca
		mg/g		mg/g		mg/g	
Jaar 3	Controle	3,76	1,70	12,75	9,05	6,23	8,69
	Dolokal	3,51	1,54	9,60	4,85	4,69	3,97
	Biolit	3,32	1,60	8,29	6,51	4,34	5,70
	Lurgi	3,88	1,66	11,56	6,73	7,12	7,17
NPHV_N		Dopheide		Pijpenstrootje			
		K/Mg	K/Ca	K/Mg	K/Ca		
		mg/g		mg/g			
Jaar 3	Controle	3,17	0,81	7,94	5,31		
	Dolokal	2,32	0,66	7,67	4,03		
	Biolit	2,45	0,82	7,68	5,26		
	Lurgi	3,73	0,97	9,68	4,71		
STR_B		Struikheide		Bochtige smele			
		K/Mg	K/Ca	K/Mg	K/Ca		
		mg/g		mg/g			
Jaar 3	Controle	4,28	1,46	11,43	6,48		
	Dolokal	3,11	1,30	5,83	4,12		
	Biolit 100	3,56	1,51	8,13	4,46		
	Lurgi	4,63	1,41	13,40	5,99		
	Biolit 200	3,52	1,44	7,75	4,21		
	Lavagruis	4,46	1,54	10,53	4,99		

6.8 Conclusies plantenmateriaal

- In het struiheidemateriaal verzameld op Strabrecht werd een hogere Ca en Mg-concentratie gemeten in de met Dolokal en Biolit behandelde proefvlakken.
- In de droge heide zijn na drie jaar geen verandering in de chemische samenstelling van de Struikheide gemeten verzameld in het NP de Hoge Veluwe, ondanks de duidelijk hogere beschikbaarheid van met name calcium en magnesium in de bodem (Figuur 5.1 en 5.2).
- In de verzamelde Bochtige smele in Strabrecht en de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werd een hogere Ca en Mg concentratie gemeten in de met Dolokal en Biolit behandelde proefvlakken. In de Bochtige smele en Schapenzuring in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe werd ook in de met Lurgi behandelde proefvlakken een toename in de Ca en Mg-gehaltenes gevonden, op Strabrecht was dit niet het geval.
- Na drie effectjaren zijn in de Dopheide verzameld in de natte locatie in het NP de Hoge Veluwe hogere gehaltenes aan magnesium gemeten in de met Dolokal en Biolit behandelde proefvlakken vergeleken met de planten verzameld in de controle.
- Kalium nam toe in de Schapenzuring verzameld in de droge heide in het NP de Hoge Veluwe en Dopheide in de natte heide in de met Lurgi behandelde proefvlakken. In de Dopheide verzameld in de Dolokal proefvlakken in de natte heide werd een iets lager kaliumgehalte gemeten vergeleken met de planten verzameld in de controle proefvlakken. In de Strabrechtse heide werd geen effect op de kaliumgehaltenes in de vegetatie gemeten in de Lurgi of Lavagruis-behandelingen.
- De verhouding tussen K/Ca en K/Mg in de verzamelde planten neemt in het algemeen af met het toedienen van Ca en Mg leverende steenmelen zoals Dolokal en Biolit. De toename van de K/Ca of K/Mg ratio's na toediening van Lurgi is alleen gemeten in de proefvlakken in het NP de Hoge Veluwe.
- In de Bochtige smele verzameld in de begraasde proefvlakken op Strabrecht werden hogere siliciumconcentraties gemeten. Dat zou een reactie van het gras kunnen zijn op een toegenomen vraat (Hartley and DeGabriel 2016), maar ook in de niet begraasde proefvlakken werd een dergelijke toename gemeten. Mogelijk neemt ook hier de vraat toe door kleinere grazers (konijnen, roodwild), maar de toename in silicium kan ook simpelweg een gevolg zijn van de hogere siliciumconcentraties gemeten in de bodem. In de met Dolokal, Lavagruis en Lurgi behandelde proefvlakken werd op Strabrecht een hogere uitwisselbare siliciumconcentratie gemeten (Bijlage 3).
- Een groot deel van de in jaar één en jaar twee gemeten effecten op de concentraties Fe, Al en Zn is in jaar drie nagenoeg verdwenen. Dit lijkt een korte termijneffect.
- Er zijn geen veranderingen in de N-gehaltenes gemeten in de vegetatie, het toedienen van Biolit in de natte proef op de Veluwe heeft tot een kleine toename in de P-gehaltenes geleid gemeten in de Dopheide in de natte heide in het NP de Hoge Veluwe, maar alleen in het derde effectjaar.
- Dat er geen effecten in de chemie in de struikheide verzameld in het NP de Hoge Veluwe is gemeten, betekent echter niet dat de planten niet reageren op de opgebrachte bufferstoffen. Factoren als meer groei en hogere biomassa, meer bloemen of een betere weerbaarheid zijn niet gemeten in dit experiment.

7 Vegetatieopnamen

7.1 Methoden

De vegetatie is in ieder proefvlak beschreven met behulp van de Braun Blanquet methodiek, een meter vanaf de rand van de proefvlakken. Van alle proefvlakken zijn in drie opeenvolgende jaren in de periode juli-augustus vegetatieopnamen gemaakt volgens de methode van Braun-Blanquet. Uitzondering zijn de opnamen in de droge heide in NP de Hoge Veluwe, in 2016 zijn deze op verzoek van de beheerder uitgesteld tot de eerste week van oktober. Alle soorten waren in dat jaar goed herkenbaar en de abundantie was goed in te schatten, zodat alle jaren goed te vergelijken zijn. De gehele set van de vegetatieopnamen 2015-2017 is opgenomen in bijlage 5.

Statistische analyses

Verschillen tussen behandelingen in vegetatiesamenstelling werden getoetst door een One-Way ANOVA in SPSS24.

7.2 Algemene vegetatiebeschrijving van de drie terreinen

De resultaten van de vegetatieopnamen op de droge en natte heide in NP de Hoge Veluwe (n=5) worden allereerst vergeleken met de opnamen gemaakt in het begraasde deel van de Strabrechtse heide (n=3). In paragraaf 7.6 wordt een vergelijking gemaakt tussen de begraasde (n=3) en onbegraasde proefvlakken (n=2) op de Strabrechtse heide.

De droge heide in NP de Hoge Veluwe en bij Strabrecht lijken qua vegetatie sterk op elkaar door het abundant voorkomen van algemene droge heidesoorten. Struikhei (*Calluna vulgaris*) was in beide gebieden in alle proefvlakken de dominante en aspect bepalende soort (Figuur 7.1). Bochtige smele (*Deschampsia cespitosa*), Fijn schapegras (*Festuca filiformis*) en Pilzegge (*Carex pilulifera*) waren de meest voorkomende grasachtigen (grassen, zeggen en russen). Opvallende verschillen tussen beide gebieden waren het aandeel grasachtigen in de vegetatie en het percentage kale bodem (tabel 7.1). Op de Veluwe was het percentage grasachtigen gemiddeld wat groter (20-30%) en het oppervlak aan kale bodem kleiner (1-3%). In Strabrecht zagen we juist een lagere grasbedekking (3-10%) en gemiddeld wat meer open bodem (2-8%). De proefvlakken in het begraasde deel op de Strabrechtse Heide lieten over de jaren een toename zien van het percentage kale bodem tot 15%, omdat het integraal begraasd wordt door Schotse hooglanders en Heideschappen (zie ook kader/paragraaf 7.4). Gewone veldbies (*Luzula campestris*) en Liggend walstro (*Galium saxatile*) kwamen in de droge heide in NP de Hoge Veluwe regelmatig voor, maar op de Strabrechtse heide ontbraken deze in (bijna) alle proefvlakken. De moslaag is in beide terreinen goed ontwikkeld (>85% bedekking). Op de Veluwe was Heideklauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*) dominant en Gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) en Bronsmos (*Pleurozium schreberi*) waren hier abundant. Op de Strabrechtse heide hadden, naast Heideklauwtjesmos, Grijs kronkelsteeltje (*Campylopus introflexus*) en Gewoon dikkopmos (*Brachytecium rutabulum*) ook een redelijke bedekking. De vegetatie van de natte heide in NP de Hoge Veluwe onderscheidde zich duidelijk van de droge heide door de aanwezigheid van Gewone dophei (*Erica tetralix*) en Gewone veenbies (*Trichophorum cespitosum* subsp. *germanicum*) (Figuur 7.2). Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) had een veel hoger bedekkingspercentage (tot

>50%) dan op de droge heide (2-3% in Strabrecht en NP de Hoge Veluwe) (bijlage 5). Daarnaast troffen we ook Struikhei (*C. vulgaris*), Pilzegge (*Carex pilulifera*) en Schapenzuring (*Rumex acetosella*) frequent aan. In een enkel proefvlak s Klein warkruid (*Cuscuta epithymum*) aangetroffen (Rode Lijst kwetsbaar; Typische soort N2000 voor Stuifzandheiden met Struikhei), parasiterend op Gewone dophei en Struikheide. De moslaag liet over de jaren grote verschillen zien en met name in 2016 was deze mogelijk door langdurige inundatie slecht ontwikkeld en daardoor lastig op soort te determineren. Gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) en/of Grijs kronkelsteeltje (*Campylopus introflexus*) zijn het meest voorkomend en daarnaast wordt frequent Zandhaarmos (*Polytrichum piliferum*) gevonden.



Figuur 7.1. De vegetatie op de droge heide wordt gedomineerd door Struikheide (boven); op de natte heide staat Dophei en Pijpenstrootje, soms met wat Struikheide (onder). Beide foto's in NP de Hoge Veluwe; tevens zijn de pyramidevallen te zien die zijn gebruikt om de fauna (Diptera) te vangen.

Figure 7.1. The vegetation of the dry heathland is dominated by *Calluna vulgaris* (above); in the wet heathland *Erica tetralix* and *Molinia caerulea*, sometimes in a mix with *C. vulgaris* (below). Both pictures are taken in NP de Hoge Veluwe; both show the pyramid traps that were used for monitoring Diptera populations.

7.3 Vegetatiebedekking

In NP de Hoge Veluwe had zowel in de droge als de natte heide de toepassing van steenmeel en Dolokal geen effect op de bedekking van de vegetatie. In de bedekking door heidesoorten (figuur 7.2), grasachtigen, kruiden, mossen en kale bodemde waren geen verschillen zien tussen de permanente proefvlakken waar steenmeel is toegepast en de controles (tabel 7.1). Op de droge heide in NP de Hoge Veluwe was de bedekking door Struikheide en grasachtigen over de jaren overal vrij constant met 70-80%, respectievelijk 20-30% bedekking. In de natte heide was in alle behandelingen een min of meer gelijke toename te zien in de heidebedekking (Dopheide en Struikheide) van 40-50% naar 60-70%; tegelijk neemt het aandeel grasachtigen (m.n. Pijpenstrootje) af van 50-60% in 2015 tot 25-40% in 2017. Dit is waarschijnlijk een effect van herstel van de bovengrondse vegetatie na de brand op Pasen 2014.

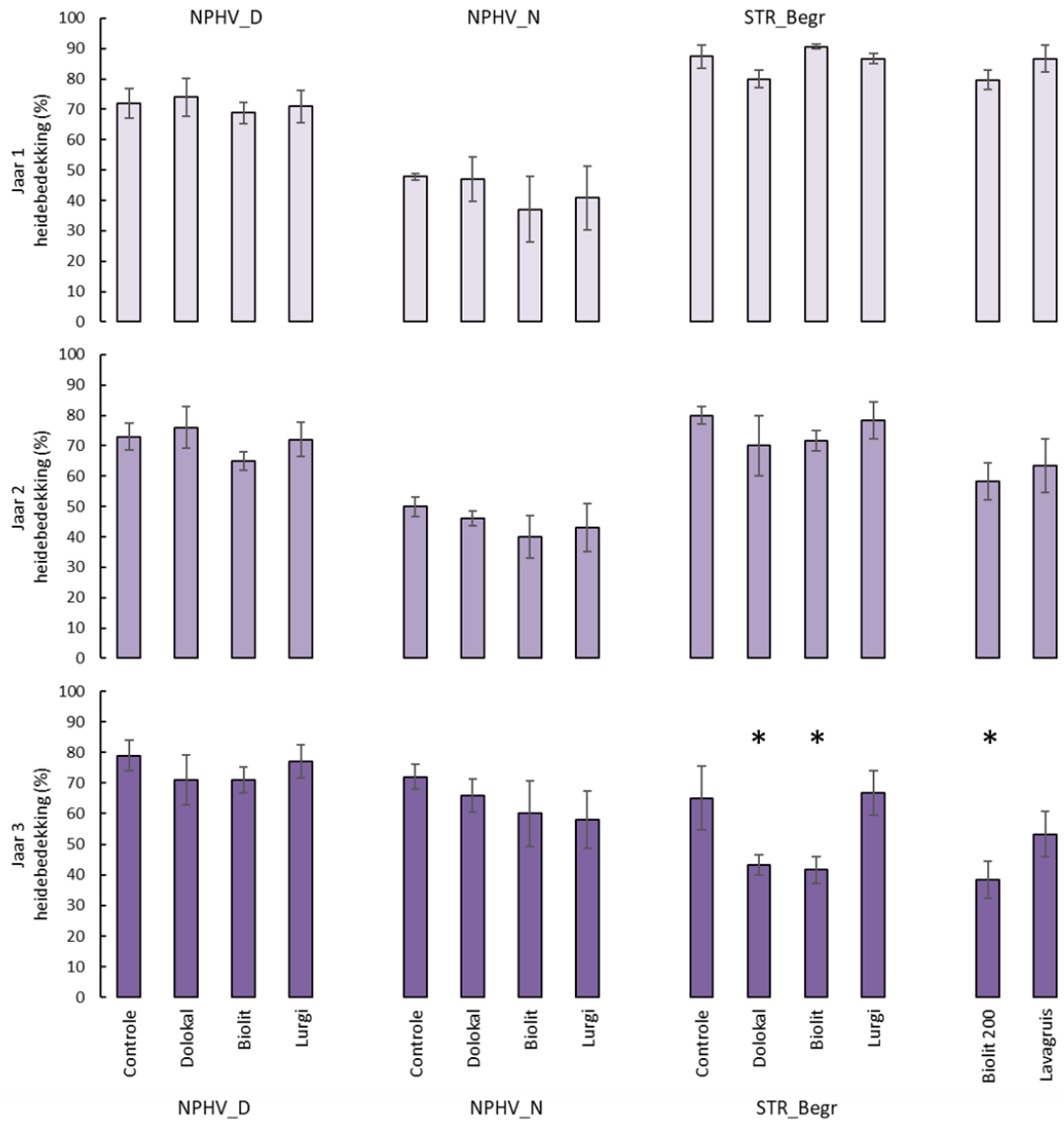
Op de Strabrechtse heide waren drie jaar na de start van het experiment duidelijke effecten te zien in de vegetatie. In het derde jaar was in de proefvlakken waar Dolokal, Biolit 100 en Biolit 200 zijn toegediend de bedekking door Struikheide significant lager (~40%) dan in de controle (65%) (figuur 7.2). De Schotse hooglanders en schapen hadden duidelijk een grotere voorkeur om te grazen in het gebied waar de proefvlakken zijn uitgelegd dan in de omgeving (foto 7.1). De vegetatie werd meer afgegraasd en, met name de oude *Calluna*-struiken, werden vertrapt. Het vee graasde echter niet strikt in de kwadraten waar steenmeel was toegediend, ook in de controlevlakken was de heidebedekking in de loop van de jaren afgenomen van bijna 90% in 2015 tot gemiddeld 65% in 2017.

Het aandeel grasachtigen was drie jaar na toediening van steenmeel niet significant toegenomen (figuur 7.3). Op de Strabrechtse heide en in mindere mate in NP de Hoge Veluwe leek de grasbedekking iets hoger in de behandeling met Dolokal en Biolit, maar door de variatie verschilt dit niet significant van de controle. De afname van de heidebedekking in Strabrecht heeft (tot nu toe) niet geleid tot toename van grassoorten, maar deze zouden ook kunnen worden afgegraasd. Het percentage kale bodem is in alle behandelingen wel toegenomen van 2-4% in 2015 tot 20-30% in 2-17 (tabel 7.1).



Foto 7.1. In het begraasde deel van de Strabrechtse heide zijn in 2017 significante effecten van steenmeel waargenomen op de heidebedekking. Als voorbeeld een proefvlak met Biolit 200 (rechts), waar de bedekking significant lager is dan buiten het proefvlak, waar geen steenmeel is toegediend.

Foto 7.1. Significant effects of rock powder on the cover of heather species was found in Strabrechtse heide (grazed area) in 2017. For example, a plot where Biolit 200 was applied (right) shows significant less *Calluna* cover than outside the plot, which was not treated.



Figuur 7.2. Ontwikkeling van de bedekking van heidesoorten ($\bar{x} \pm$ standaardfout) in de drie jaren na de toediening van de verschillende behandelingen. Biolit 200 en lavagruis zijn alleen toegepast op de Strabrechtse heide. * = significant verschil ten opzichte van controle ($p < 0,05$), (*) = $0,10 < p < 0,05$.

Figure 7.2. Trends in cover percentage of heather ($\bar{x} \pm$ SE) during three years after application of the different treatments. Biolit 200 and Lavagruis were only applied on Strabrechtse heide. * = significant difference compared to control ($p < 0,05$), (*) = $0,10 < p < 0,05$.

Tabel 7.1. Bedekking ($\bar{x} \pm$ standaardfout; n=5) van heide, grasachtigen, kruiden, mossen & korstmossen en kale bodem in de proefvakken in NP de Hoge Veluwe (droge en natte heide) en op de Strabrechtse heide (droge heide) in de drie groeiseizoenen na het opbrengen van de steenmeelsoorten en Dolokal. * = significant verschil ten opzichte van controle ($p < 0,05$), (* = $0,10 < p < 0,05$).

Table 7.1. Cover percentage ($\bar{x} \pm$ SE) of heather species, graminoids, herbs, bryofytes & lichens and bare soil in the permanent plots in NP de Hoge Veluwe (dry and wet heathland) at the Strabrechtse heide (dry heathland) in the three growing seasons after application of several types of rock powder or Dolokal. * = significant difference compared to control ($p < 0,05$), (* = $0,10 < p < 0,05$).

Droge heide - NP de Hoge Veluwe

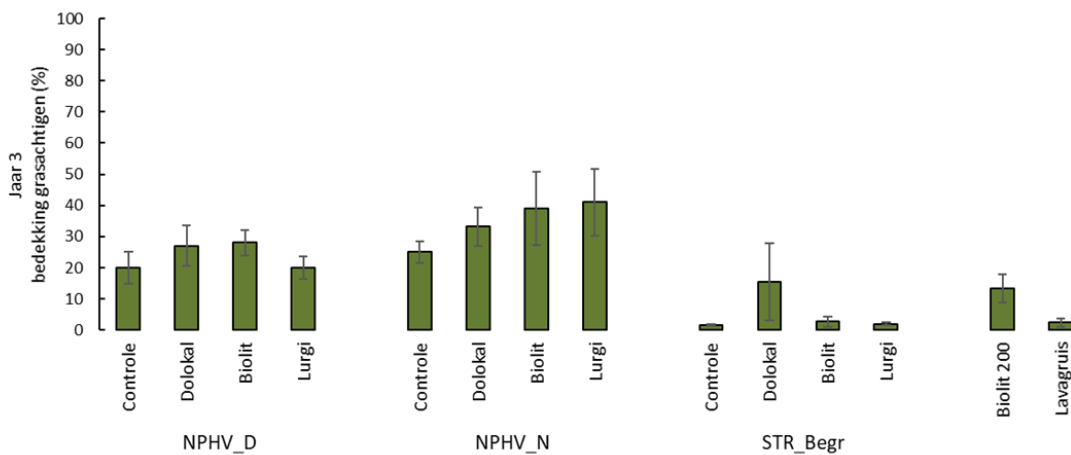
Behandeling	Jaar	Totale bedekking	Heide	Grassen	Kruidlaag	Moslaag	Kale bodem
Controle	2015	98,0 (\pm 0,2)	71,8 (\pm 3,6)	21,3 (\pm 3,5)	91,0 (\pm 1,7)	93,4 (\pm 1,2)	2,0 (\pm 0,5)
Dolokal	2015	97,4 (\pm 0,5)	74,0 (\pm 5,3)	20,0 (\pm 5,3)	89,4 (\pm 1,8)	93,4 (\pm 1,0)	2,6 (\pm 0,5)
Biolit	2015	97,4 (\pm 0,0)	68,8 (\pm 0,0)	30,0 (\pm 0,0)	91,0 (\pm 0,0)	94,4 (\pm 0,0)	2,2 (\pm 0,0)
Lurgi	2015	97,8 (\pm 0,8)	71,0 (\pm 4,4)	20,6 (\pm 3,0)	91,2 (\pm 1,0)	93,6 (\pm 1,0)	2,2 (\pm 0,8)
Controle	2016	98,2 (\pm 0,0)	73,0 (\pm 3,2)	23,0 (\pm 2,2)	91,0 (\pm 1,2)	94,0 (\pm 1,0)	1,8 (\pm 0,0)
Dolokal	2016	98,2 (\pm 0,0)	76,0 (\pm 5,6)	22,0 (\pm 4,8)	93,0 (\pm 1,2)	93,0 (\pm 1,2)	1,8 (\pm 0,0)
Biolit	2016	99,0 (\pm 0,0)	65,0 (\pm 0,0)	35,0 (\pm 0,0)	93,0 (\pm 0,0)	94,0 (\pm 0,0)	1,0 (\pm 0,0)
Lurgi	2016	99,0 (\pm 0,0)	72,0 (\pm 4,8)	24,0 (\pm 5,2)	92,0 (\pm 0,0)	93,0 (\pm 1,7)	1,0 (\pm 0,8)
Controle	2017	99,0 (\pm 0,8)	79,0 (\pm 4,3)	20,0 (\pm 4,1)	95,0 (\pm 2,0)	93,8 (\pm 1,7)	1,8 (\pm 0,8)
Dolokal	2017	98,2 (\pm 0,2)	71,0 (\pm 5,4)	27,0 (\pm 3,5)	94,0 (\pm 0,0)	94,6 (\pm 1,7)	1,8 (\pm 0,2)
Biolit	2017	98,2 (\pm 0,0)	71,0 (\pm 0,0)	28,0 (\pm 0,0)	93,0 (\pm 0,0)	93,8 (\pm 0,0)	1,8 (\pm 0,0)
Lurgi	2017	99,2 (\pm 0,0)	77,0 (\pm 0,0)	20,0 (\pm 0,0)	95,0 (\pm 0,0)	96,2 (\pm 0,0)	0,8 (\pm 0,0)

Natte heide - NP de Hoge Veluwe

Behandeling	Jaar	Totale bedekking	Heide	Grassen	Kruidlaag	Moslaag	Kale bodem
Controle	2015	83,4 (\pm 5,3)	47,8 (\pm 2,4)	52,0 (\pm 5,1)	72,0 (\pm 4,5)	31,0 (\pm 2,9)	19,6 (\pm 5,3)
Dolokal	2015	79,0 (\pm 5,5)	47,0 (\pm 6,9)	50,0 (\pm 9,8)	72,0 (\pm 4,4)	26,8 (\pm 6,3)	22,0 (\pm 5,1)
Biolit	2015	85,0 (\pm 3,0)	37,0 (\pm 8,0)	61,0 (\pm 8,0)	77,0 (\pm 2,0)	41,0 (\pm 9,3)	17,0 (\pm 3,0)
Lurgi	2015	90,0 (\pm 2,7)	40,8 (\pm 4,1)	59,0 (\pm 3,5)	79,0 (\pm 3,0)	48,0 (\pm 11)	11,0 (\pm 2,7)
Controle	2016	79,0 (\pm 1,0)	50,0 (\pm 5,5)	44,0 (\pm 6,2)	72,0 (\pm 2,5)	27,0 (\pm 16)	21,0 (\pm 0,9)
Dolokal	2016	79,0 (\pm 2,0)	46,0 (\pm 11)	46,0 (\pm 12)	75,0 (\pm 3,1)	19,0 (\pm 4,9)	21,0 (\pm 2,0)
Biolit	2016	81,6 (\pm 5,6)	40,0 (\pm 9,4)	56,0 (\pm 11)	77,0 (\pm 7,1)	40,0 (\pm 14)	19,0 (\pm 5,6)
Lurgi	2016	87,0 (\pm 0,0)	43,0 (\pm 0,0)	57,0 (\pm 0,0)	82,0 (\pm 0,0)	43,0 (\pm 0,0)	13,0 (\pm 0,0)
Controle	2017	87,4 (\pm 0,0)	72,0 (\pm 0,0)	25,0 (\pm 0,0)	83,0 (\pm 0,0)	54,4 (\pm 0,0)	11,6 (\pm 0,0)
Dolokal	2017	91,4 (\pm 0,0)	65,8 (\pm 0,0)	33,2 (\pm 0,0)	88,0 (\pm 0,0)	44,8 (\pm 0,0)	8,2 (\pm 0,0)
Biolit	2017	95,0 (\pm 0,0)	60,0 (\pm 0,0)	39,0 (\pm 0,0)	92,4 (\pm 0,0)	52,0 (\pm 0,0)	4,2 (\pm 0,0)
Lurgi	2017	92,0 (\pm 0,0)	58,0 (\pm 0,0)	41,0 (\pm 0,0)	87,8 (\pm 0,0)	48,6 (\pm 0,0)	8,0 (\pm 0,0)

Droge heide - Strabrechtse heide (begraasd)

Behandeling	Jaar	Totale bedekking	Heide	Grassen	Kruidlaag	Moslaag	Kale bodem
Controle	2015	98,3 (\pm 0,3)	87,3 (\pm 3,7)	9,7 (\pm 5,4)	90,7 (\pm 0,7)	94,3 (\pm 2,3)	1,7 (\pm 0,3)
Dolokal	2015	96,7 (\pm 0,9)	80,0 (\pm 2,9)	11,7 (\pm 4,4)	83,7 (\pm 3,2)	89,0 (\pm 4,6)	4,3 (\pm 0,7)
Biolit	2015	95,7 (\pm 1,9)	90,7 (\pm 0,7)	3,7 (\pm 0,7)	91,3 (\pm 0,7)	86,7 (\pm 8,3)	4,3 (\pm 1,9)
Lurgi	2015	97,0 (\pm 1,0)	86,7 (\pm 1,7)	9,3 (\pm 5,4)	90,3 (\pm 0,3)	91,7 (\pm 3,3)	2,3 (\pm 0,3)
Biolit 200	2015	95,3 (\pm 1,5)	79,7 (\pm 3,2)	11,0 (\pm 4,0)	85,3 (\pm 2,9)	87,3 (\pm 3,7)	4,0 (\pm 1,5)
Lavagruis	2015	97,0 (\pm 1,0)	86,7 (\pm 4,4)	4,0 (\pm 1,5)	89,0 (\pm 3,8)	91,7 (\pm 3,3)	3,0 (\pm 1,0)
Controle	2016	92,7 (\pm 2,7)	80,0 (\pm 2,9)	6,3 (\pm 4,4)	85,0 (\pm 0,0)	88,3 (\pm 4,4)	7,3 (\pm 2,7)
Dolokal	2016	86,7 (\pm 3,3)	70,0 (\pm 10)	9,3 (\pm 7,8)	75,0 (\pm 2,9)	78,3 (\pm 4,4)	13,3 (\pm 3,3)
Biolit	2016	88,3 (\pm 1,7)	71,7 (\pm 3,3)	3,0 (\pm 1,0)	75,0 (\pm 5,8)	80,0 (\pm 0,0)	11,7 (\pm 1,7)
Lurgi	2016	90,0 (\pm 0,0)	78,3 (\pm 6,0)	6,0 (\pm 4,5)	85,0 (\pm 2,9)	88,3 (\pm 4,4)	7,3 (\pm 2,7)
Biolit 200	2016	88,3 (\pm 3,3)	58,3 (\pm 6,0)	10,0 (\pm 2,9)	75,0 (\pm 7,6)	85,0 (\pm 5,0)	11,7 (\pm 3,3)
Lavagruis	2016	85,0 (\pm 5,8)	63,3 (\pm 8,8)	3,3 (\pm 1,2)	73,3 (\pm 3,3)	83,3 (\pm 6,0)	15,0 (\pm 5,8)
Controle	2017	73,3 (\pm 9,3)	65,0 (\pm 10)	1,7 (\pm 0,3)	68,3 (\pm 9,3)	38,3 (\pm 4,4)	25,0 (\pm 7,6)
Dolokal	2017	66,7 (\pm 9,3)	43,3 (\pm 3,3)*	15,3 (\pm 12)	61,7 (\pm 9,3)	38,3 (\pm 4,4)	33,3 (\pm 9,3)
Biolit	2017	63,3 (\pm 7,3)	41,7 (\pm 4,4)*	2,7 (\pm 1,7)	56,7 (\pm 8,8)	36,7 (\pm 4,4)	33,3 (\pm 4,4)
Lurgi	2017	75,0 (\pm 8,7)	66,7 (\pm 7,3)	2,0 (\pm 0,6)	68,3 (\pm 7,3)	43,3 (\pm 6,0)	25,0 (\pm 8,7)
Biolit 200	2017	73,3 (\pm 6,0)	38,3 (\pm 6,0)*	13,3 (\pm 4,4)	66,7 (\pm 3,3)	43,3 (\pm 3,3)	21,7 (\pm 6,7)
Lavagruis	2017	70,0 (\pm 0,0)	53,3 (\pm 7,3)	2,3 (\pm 1,3)	63,3 (\pm 1,7)	51,7 (\pm 4,4)	28,3 (\pm 1,7)



Figuur 7.3. Bedekking van grasachtigen ($\bar{x} \pm$ standaardfout) in het derde jaar (2017) na de toediening van de verschillende behandelingen. Dit betreft de grassen (Poaceae), cypergrassen (Cyperaceae) en russen (Juncaceae).

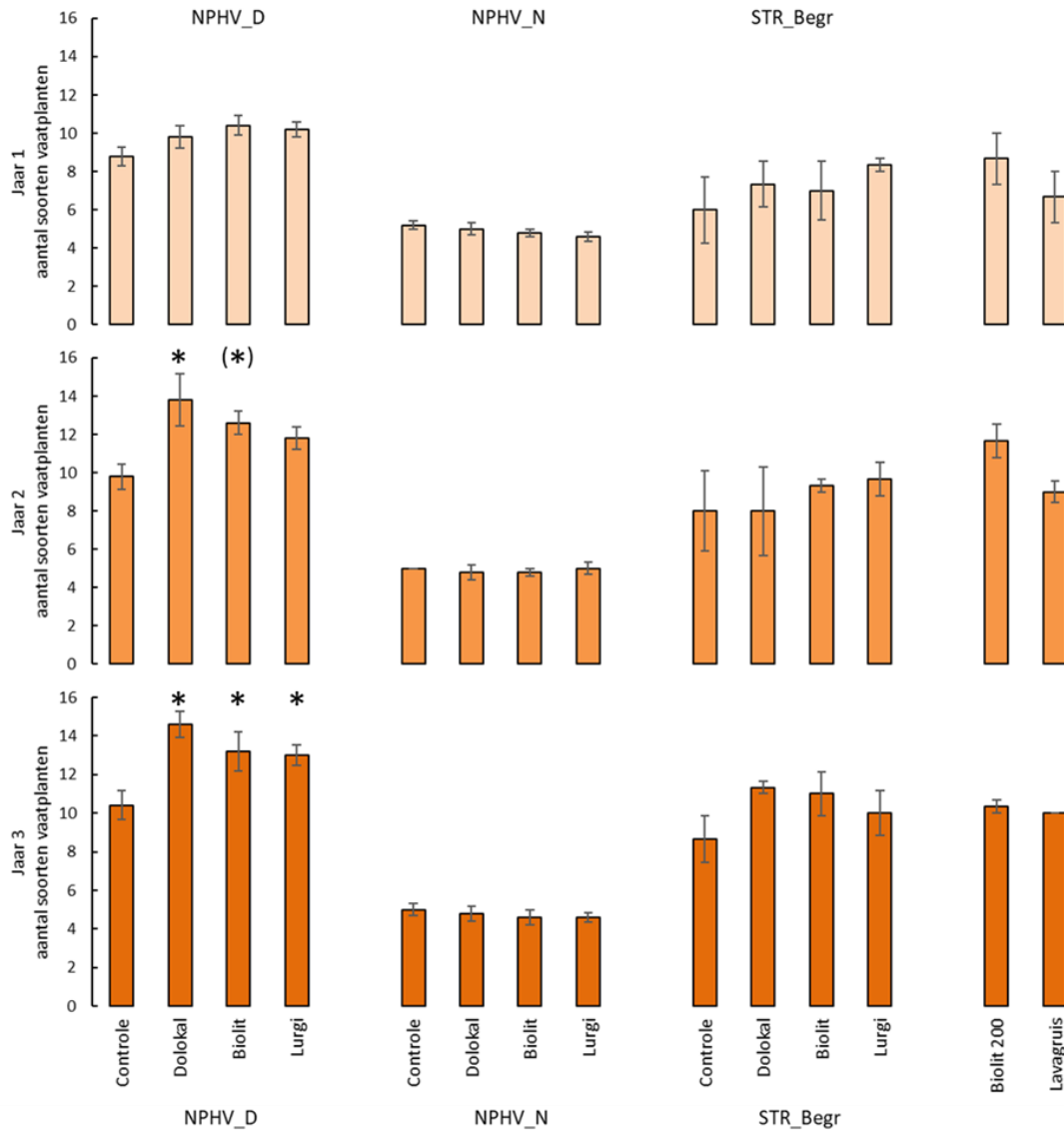
Figure 7.3. Cover percentage of graminoids ($\bar{x} \pm$ SE) in the third year (2017) after application of the different treatments. It includes grasses (Poaceae), sedges (Cyperaceae) and rushes (Juncaceae).

7.4 Soortenrijkdom van de vegetatie

De soortenrijkdom is uitgedrukt als het aantal soorten vaatplanten en (korst)mossen per oppervlakte-eenheid. In de proefvlakken op de droge heide van NP de Hoge Veluwe en in Strabrecht kwamen gemiddeld circa 10 soorten vaatplanten en 5-9 soorten mossen en korstmossen voor in een proefvlak van 10 x 10 m, respectievelijk 8 x 8 m. Op de natte heide was de proefvlakgrootte een kleiner (4,5 x 4,5 m). Hier werden gemiddeld bijna 5 soorten vaatplanten aangetroffen en 1-2 soorten mossen (tabel 7.2).

Op de droge heide in NP de Hoge Veluwe heeft toediening van steenmeel en Dolokal een significante toename veroorzaakt in het aantal vaatplanten (figuur 7.3; tabel 7.2). Sinds het tweede onderzoeksjaar leidde toediening van Dolokal en Biolit reeds tot een vergroting van de soortenrijkdom aan vaatplanten en in het derde jaar heeft ook de behandeling met Lurgi geleid tot een toename van het aantal vaatplanten van 10 naar 13-15 soorten. Het gaat om graslandsoorten als Gewone paardenbloem (*Taraxacum officinalis* s.l.), Gewone hoornbloem (*Cerastium fontanum*) en om ruderalen en pioniers, zoals Canadese fijnstraal (*Conyza canadensis*), Zachte ooievaarsbek (*Geranium molle*) en Jacobskruiskruid (*Jacobaea vulgaris*). Er werden steeds slechts weinig exemplaren aangetroffen per proefvlak. In drie proefvlakken werd sinds 2017 nieuwvestiging waargenomen van Mannetjesereprijs (*Veronica officinalis*), tweemaal in een met Dolokal en eenmaal in een met Biolit behandeld proefvlak.

Op de Strabrechtse heide en in het experiment in de natte heide in NP de Hoge Veluwe werden tussen de behandelingen geen significante verschillen gevonden in soortenrijkdom. Hier zijn de aantallen (korst)mossen noch de aantallen vaatplanten per proefvlak veranderd door toediening van steenmeel of Dolokal. De Dolokalbehandeling in de natte heide liet in het derde jaar een lichte trend zien in het gemiddelde aantal mossoorten, maar het verschil is (nog niet) significant.



Figuur. 7.4. Aantal soorten vaatplanten per behandeling ($\bar{x} \pm \text{standaardfout}$) in 2015, 2016 en 2017. Biolit 200 en lavagruis zijn alleen toegepast op de Strabrechtse heide. * = significant verschil ($p < 0,05$), (*) = trend ($0,10 < p < 0,05$).

Figure 7.4. Number of vascular plant species per behandeling ($\bar{x} \pm \text{SE}$) in 2015, 2016 and 2017. Biolit 200 and lavagruis were only applied at Strabrechtse Heide. * = significant difference compared to control ($p < 0,05$), (*) = trend ($0,10 < p < 0,05$).

Tabel 7.2. Ontwikkeling van de soortenrijkdom ($\bar{x} \pm$ standaardfout) van vaatplanten en (korst)mossen per behandeling in de jaren 2015, 2016 en 2017. Biolit 200 en lavagruis zijn alleen toegepast op de Strabrechtse heide. * = significant verschil ($p < 0,05$), # = trend ($0,10 < p < 0,05$).

Table 7.2. Trend in species richness ($\bar{x} \pm$ SE) for vascular plants and bryophytes + lichens per treatment and per year. Biolit 200 and Lavagruis were only applied at Strabrechtse heide. * = significant difference ($p < 0,05$), (#) = trend ($0,10 < p < 0,05$).

Behandeling	Jaar	Droge heide - NP de Hoge Veluwe		Natte heide - NP de Hoge Veluwe		Droge heide - Strabrecht (begrasd)	
		vaatplanten	(korst)mossen	vaatplanten	(korst)mossen	vaatplanten	(korst)mossen
Controle	2015	8,8 (\pm 0,5)	4,8 (\pm 0,4)	5,2 (\pm 0,2)	2,0 (\pm 0,3)	6,0 (\pm 1,7)	8,7 (\pm 0,9)
Dolokal	2015	9,8 (\pm 0,6)	6,4 (\pm 0,4)	5,0 (\pm 0,3)	1,8 (\pm 0,4)	7,3 (\pm 1,2)	8,0 (\pm 0,0)
Biolit	2015	10,4 (\pm 0,5)	6,2 (\pm 0,6)	4,8 (\pm 0,2)	2,0 (\pm 0,4)	7,0 (\pm 1,5)	10,3 (\pm 1,8)
Lurgi	2015	10,2 (\pm 0,4)	5,4 (\pm 0,5)	4,6 (\pm 0,2)	3,0 (\pm 0,3)	8,3 (\pm 0,3)	9,3 (\pm 0,9)
Biolit 200	2015	-	-	-	-	8,7 (\pm 1,3)	9,0 (\pm 0,0)
Lavagruis	2015	-	-	-	-	6,7 (\pm 1,3)	8,7 (\pm 0,3)
Controle	2016	9,8 (\pm 0,7)	5,2 (\pm 1,0)	5,0 (\pm 0,0)	1,6 (\pm 0,4)	8,0 (\pm 2,1)	6,3 (\pm 0,9)
Dolokal	2016	13,8 (\pm 1,4)*	4,8 (\pm 0,6)	4,8 (\pm 0,4)	2,4 (\pm 0,7)	8,0 (\pm 2,3)	6,3 (\pm 0,3)
Biolit	2016	12,6 (\pm 0,6)#	6,6 (\pm 1,5)	4,8 (\pm 0,2)	1,6 (\pm 0,2)	9,3 (\pm 0,3)	5,3 (\pm 0,3)
Lurgi	2016	11,8 (\pm 0,6)	4,2 (\pm 0,4)	5,0 (\pm 0,3)	1,8 (\pm 0,4)	9,7 (\pm 0,9)	6,3 (\pm 0,3)
Biolit 200	2016	-	-	-	-	11,7 (\pm 0,9)	6,3 (\pm 0,3)
Lavagruis	2016	-	-	-	-	9,0 (\pm 0,6)	5,0 (\pm 0,0)
Controle	2017	10,4 (\pm 0,7)	4,6 (\pm 0,5)	5,0 (\pm 0,3)	1,2 (\pm 0,2)	8,7 (\pm 1,2)	4,7 (\pm 0,7)
Dolokal	2017	14,6 (\pm 0,7)*	4,4 (\pm 0,6)	4,8 (\pm 0,4)	2,6 (\pm 0,5)#	11,3 (\pm 0,3)	3,3 (\pm 0,3)
Biolit	2017	13,2 (\pm 1,0)*	5,8 (\pm 0,7)	4,6 (\pm 0,4)	1,4 (\pm 0,2)	11,0 (\pm 1,2)	3,3 (\pm 0,3)
Lurgi	2017	13,0 (\pm 0,5)*	4,2 (\pm 0,7)	4,6 (\pm 0,2)	1,2 (\pm 0,2)	10,0 (\pm 1,2)	4,3 (\pm 0,9)
Biolit 200	2017	-	-	-	-	10,3 (\pm 0,3)	4,0 (\pm 0,6)
Lavagruis	2017	-	-	-	-	10,0 (\pm 0,0)	4,0 (\pm 0,6)

7.5 Soortgroepen

Naast verschuivingen in soortenrijkdom kunnen veranderingen in de vegetatie ook tot uitdrukking komen in verschuivingen in soortensamenstelling. De vaatplanten die zijn aangetroffen in de opnamen zijn ingedeeld in een aantal soortsgroepen, te weten algemene soorten van heiden, soorten kenmerkend voor meer gebufferde condities, graslandsoorten, zaailingen van bomen of struiken en ruderaal soorten en pioniers (voor indeling per soort zie bijlage 5).

In beide gebieden met droge heide waren alle soortgroepen vertegenwoordigd (figuur 7.6). Algemene heidesoorten zijn vanzelfsprekend het meest aangetroffen en soorten van overige soortgroepen waren veel minder aanwezig. Het aantal soorten van wat meer gebufferde omstandigheden was op de Strabrechtse heide beperkt tot Vroege haver (*Aira praecox*), Gewoon biggekruid (*Hypochaeris radicata*) en Gewone veldbies; in NP de Hoge Veluwe is daarnaast Liggend walstro (*Galium saxatile*) abundant. Stijf havikskruid (*H. laevigatum*) is in 2017 verschenen in een met Biolit- en een Dolokal behandeld proefvlak, en Muizenootje (*Hieracium pilosella*) in een Biolit proefvlak en een controlevlak. In 2016 zijn Tandjesgras (*Danthonia decumbens*) en Tormentil (*Potentilla erecta*) aangetroffen in een Dolokal-behandeld proefvlak op de Veluwe, maar die soorten zijn in 2017 niet meer waargenomen. In 2017 zijn in twee Dolokalproefvlakken Mannetjeserepijs gevonden (figuur 7.5; zie ook paragraaf 7.3).

Typische graslandplanten die in de proefvlakken zijn aangetroffen waren Gewoon struisgras en Fioringras (*Agrostis capillaris*, *A. stolonifera*), Gewone paardenbloem (*Taraxacum officinale* s.l.) en in NP de Hoge Veluwe ook onder meer Gewone hoornbloem (*Cerastium fontanum* subsp. *vulgare*) (figuur 7.5), Witte klaver (*Trifolium repens*), Veldzuring (*Rumex acetosa*) en Vogelmuur (*Stellaria media*). In de droge heide in NP de Hoge Veluwe stonden significant meer graslandsoorten in de proefvlakken die met Dolokal zijn behandeld dan in de controle (figuur 7.6). Verder werden enkele zaailingen van houtige gewassen gevonden, zoals Grove den (*Pinus sylvestris*), Sporkehout (*Rhamnus frangula*), Zomereik (*Quercus robur*) en Prunus (*Prunus* sp.).

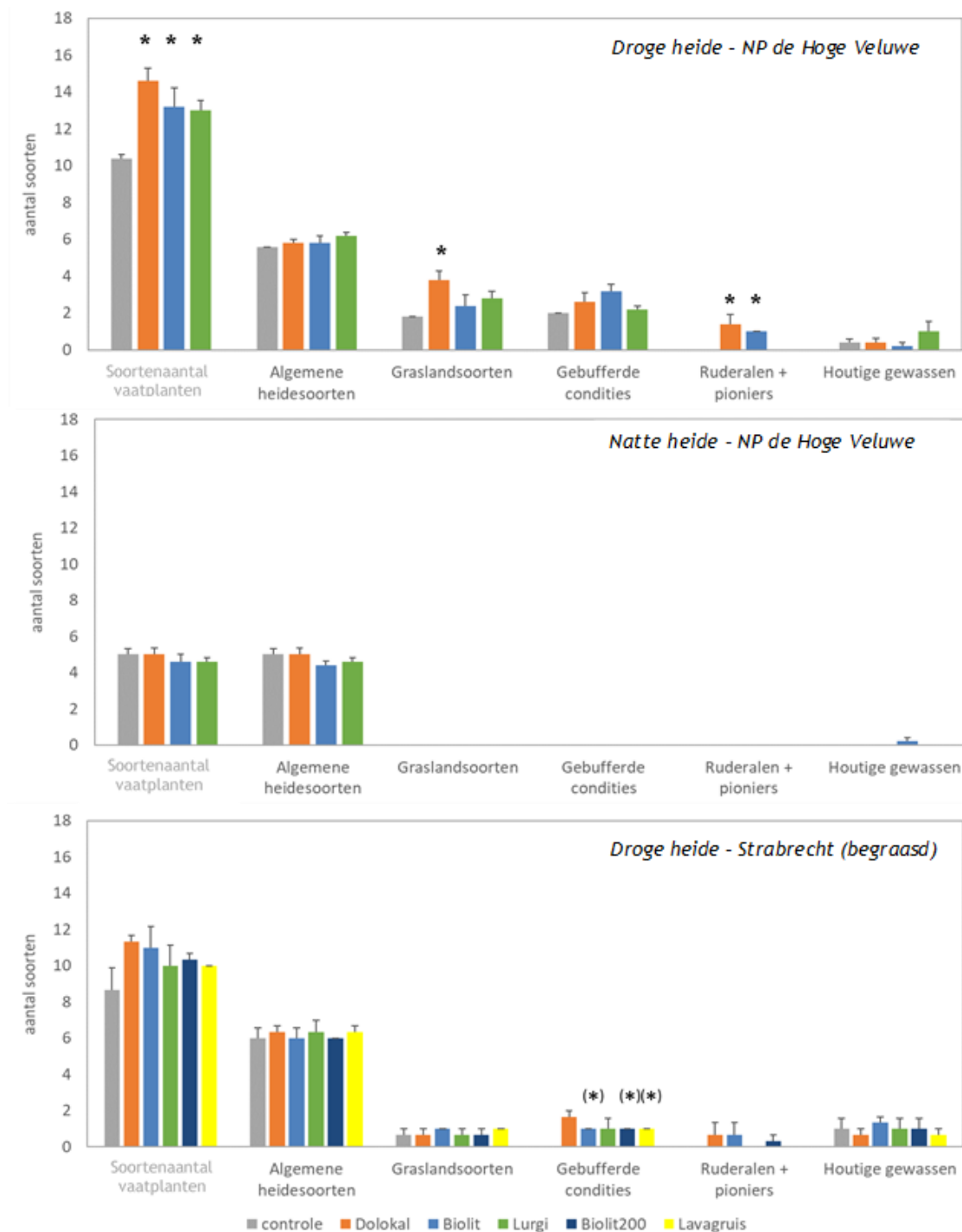


Figuur 7.5. In PQ C3 in NP de Hoge Veluwe, behandeld met Dolokal, zijn in 2017 vertegenwoordigers aangetroffen van (a.) 'soorten van meer gebufferde condities', zoals Gewone veldbies, Liggend walstro en Mannetjesereprijs (nieuwe vestiging); en (b.) de soortgroep 'graslandplanten', waaronder Gewone hoornbloem, welke significant meer soorten telde in de Dolokalbehandeling.

Figure 7.5. In PQ C3 in NP de Hoge Veluwe, treated with Dolokal, different representatives of (a.) the species group 'species of buffered conditions' were found, e.g. *Luzula campestris*, *Galium saxatile* and *Veronica officinalis* (newly found in 2017); and (b.) the species group 'grassland species', e.g. *Cerastium fontanum*, which counted significantly more species in Dolokal-treated plots.

Qua ruderalen en pioniers (figuur 7.5) werden in 2016 in Strabrecht relatief veel soorten en aantallen waargenomen, waaronder Waterpeper (*Persicaria hydropiper*), een éénjarige soort die normaal gesproken op natte, stikstofrijke standplaatsen voorkomt. In 2017 werden hiervan slechts enkele individuen, en slechts enkele andere ruderaal soorten, zoals Speerdistel (*Cirsium vulgare*) en Pitrus (*Juncus effusus*). Mogelijk heeft het uitzonderlijk droge voorjaar de overlevingskansen van pas gekiemde eenjarige soorten negatief beïnvloedt. In de proefvlakken in droge heide in NP de Hoge Veluwe kwamen drie soorten ruderalen en pioniers voor, namelijk Jacobskruiskruid (*Jacobaea vulgaris*) en daarnaast Harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*), Canadese fijnstraal (*Conyza canadensis*), Grote brandnetel (*Urtica dioica*), Melkdistel (*Sonchus* sp.) en Akkerereprijs (*Veronica agrestis*). Behalve het significante effect van dolokal, biolit en lurgi op het totale aantal soorten vaatplanten (figuur 7.6, zie ook paragraaf 7.3) waren in 2017, drie jaar na toedienen van de steenmeelsoorten en Dolokal, in de droge heide in NP de Hoge Veluwe significante effecten zichtbaar op het aantal graslandsoorten in de Dolokal-

behandeling, zoals Gewone hoornbloem, Gewone paardenbloem en Vogelmuur (*Stellaria media*). Eveneens werden hier meer ruderalen en pioniers in de Dolokal en Biolit-behandeling aangetroffen, m.n. Jacobskruiskruid en bijvoorbeeld Harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*) en Melkdistel (figuur 7.7).



Figuur 7.6. Totaal aantal soorten vaatplanten en de verdeling over verschillende soortgroepen in 2017 ($\bar{x} \pm$ standaardfout).

Figure 7.6. Species richness of vascular plants, and the distribution of the species over different species groups in 2017 (common heathland species, grassland species, species of more buffered conditions, ruderal and pioneer species and woody species ($\bar{x} \pm$ standaardfout).

In de begraaide proefvlakken op de Strabrechtse heide lijkt een trend aanwezig dat het aantal soorten van gebufferde omstandigheden iets groter was in de Dolokal, Biolit 100 en 200 en Lavagruis behandelde proefvlakken dan in de controle (figuur 7.6). Het ging om soorten als Gewone veldbies, Vroege haver en Gewoon biggenkruid (*Hypochaeris radicata*). Voor het heide-ecosysteem was dit echter van weinig betekenis, omdat het ging om een zeer laag aantal (per soort 1-2

exemplaren per proefvlak) met een zeer lage bedekking (gemiddelde werkelijke bedekking van 1%).

Op de natte heide kwamen bijna alleen maar algemene heidesoorten voor en andere soortgroepen ontbreken nagenoeg. Blauwe zegge (*Carex panicea*) (kenmerkend voor meer gebufferde condities) zijn slechts in één enkel proefvlak aangetroffen in 2015 en 2016. Twee jaar na behandeling met steenmeel en Dolokal zijn geen significante verschillen gevonden in de verdeling van soortgroepen.



Figuur 7.7. Voorbeelden van vertegenwoordigers van de soortgroepen 'ruderalen soorten en pioniers' (Akkerdistel, Melkdistel, Waterpeper, Canadese fijnstraal) en 'graslandplanten' (Paardenbloem) die zijn aangetroffen in de proefvlakken op de droge heide in 2016 en 2017.
Figure 7.7. Examples of species representative for the species group 'ruderal & pioneer species' (Creeping thistle, Sowthistle, Water pepper, Canadian horseweed) and 'grassland species' (Dandelion) that were found in the permanent quadrats in 2016 & 2017.

7.6 Effecten van begrazing op de Strabrechtse heide

Op de Strabrechtse heide zijn de 5 replica's van de proefvlakken verspreid over een deelgebied dat integraal begraaasd wordt door Schotse hooglanders en heideschape (n=3) en een deelgebied dat onbegraaasd is (n=2). In het veld zijn een aantal duidelijke verschillen waargenomen tussen beide deelgebieden, die kunnen worden toegeschreven zijn aan de aanwezigheid van grazers (Figuur 7.8).



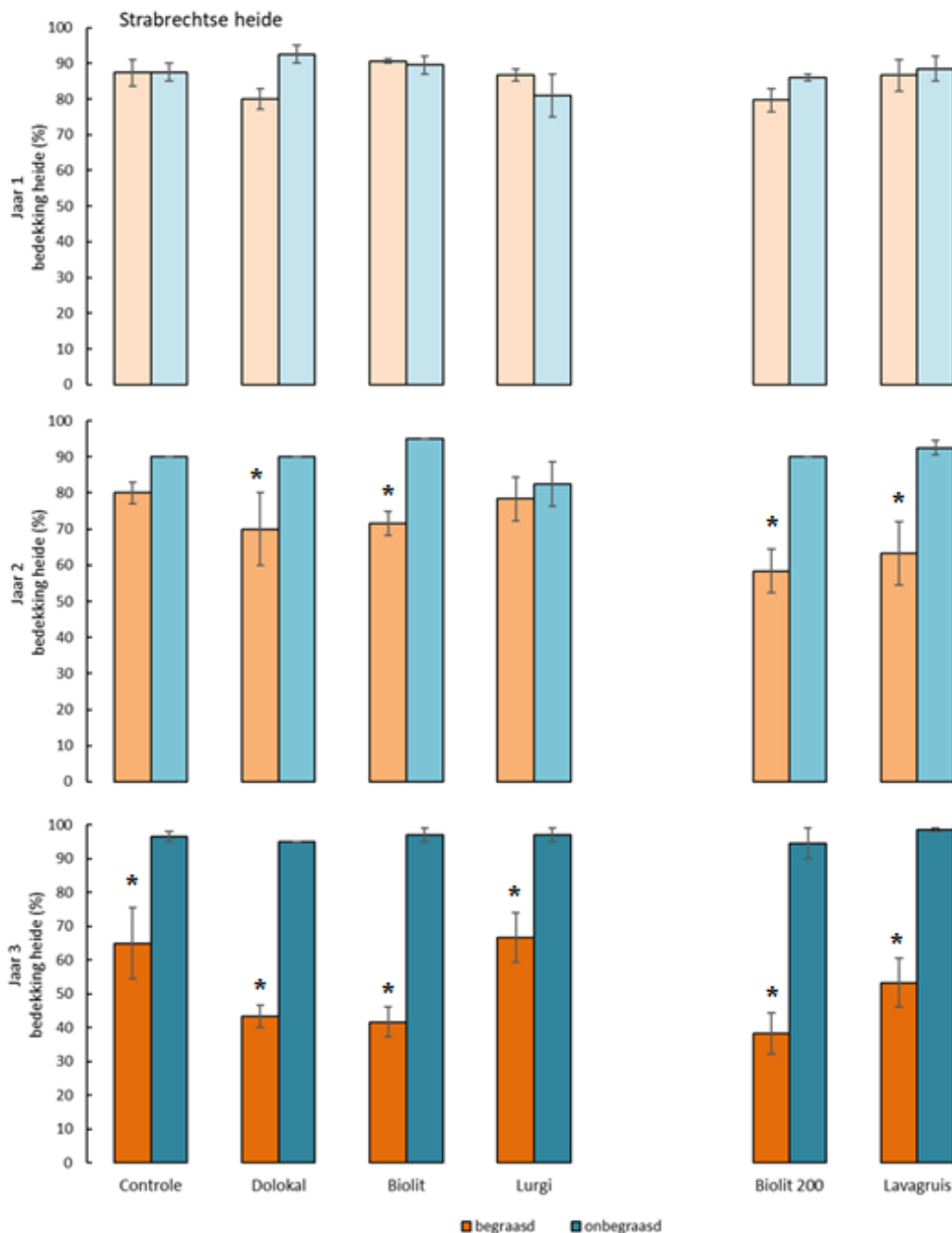
Figuur 7.8. Op de Strabrechtse heide wordt een deel van de heide begraaasd door Schotse hooglanders en schape (augustus 2016).

Figure 7.8. Some parts at the Strabrechtse heide are grazed by Highland cattle and sheep. Picture taken in August 2016.

In de proefvlakken in het begraaasde deel zijn met name in de oude struikheivegetatie duidelijke sporen van vertrapping te zien en verspreid over de

proefvlakken is ontlasting van Schotse hooglanders en schapen gevonden. We kunnen daaruit afleiden dat de dieren regelmatig door de proefvlakken lopen. In het veld bestond de indruk dat de grazers een voorkeur hadden voor de vegetatie in de proefvlakken. Naast toename van structuurverschillen in de vegetatie biedt de toename van de hoeveelheid open bodem meer kiemingsmogelijkheden. Via de vacht en/of de ontlasting worden door het vee plantezaden aangevoerd van ruderaal soorten en graslandsoorten (o.a. vanuit drinkplaatsen).

In 2017 zijn de volgende begrazingseffecten duidelijk zichtbaar in de vegetatie: 1) de heidebedekking is door begrazing sterk afgenomen in vergelijking met de opnamen in jaar 1 én in vergelijking met de situatie in het onbegraasd deel in Strabrecht (figuur 7.9).

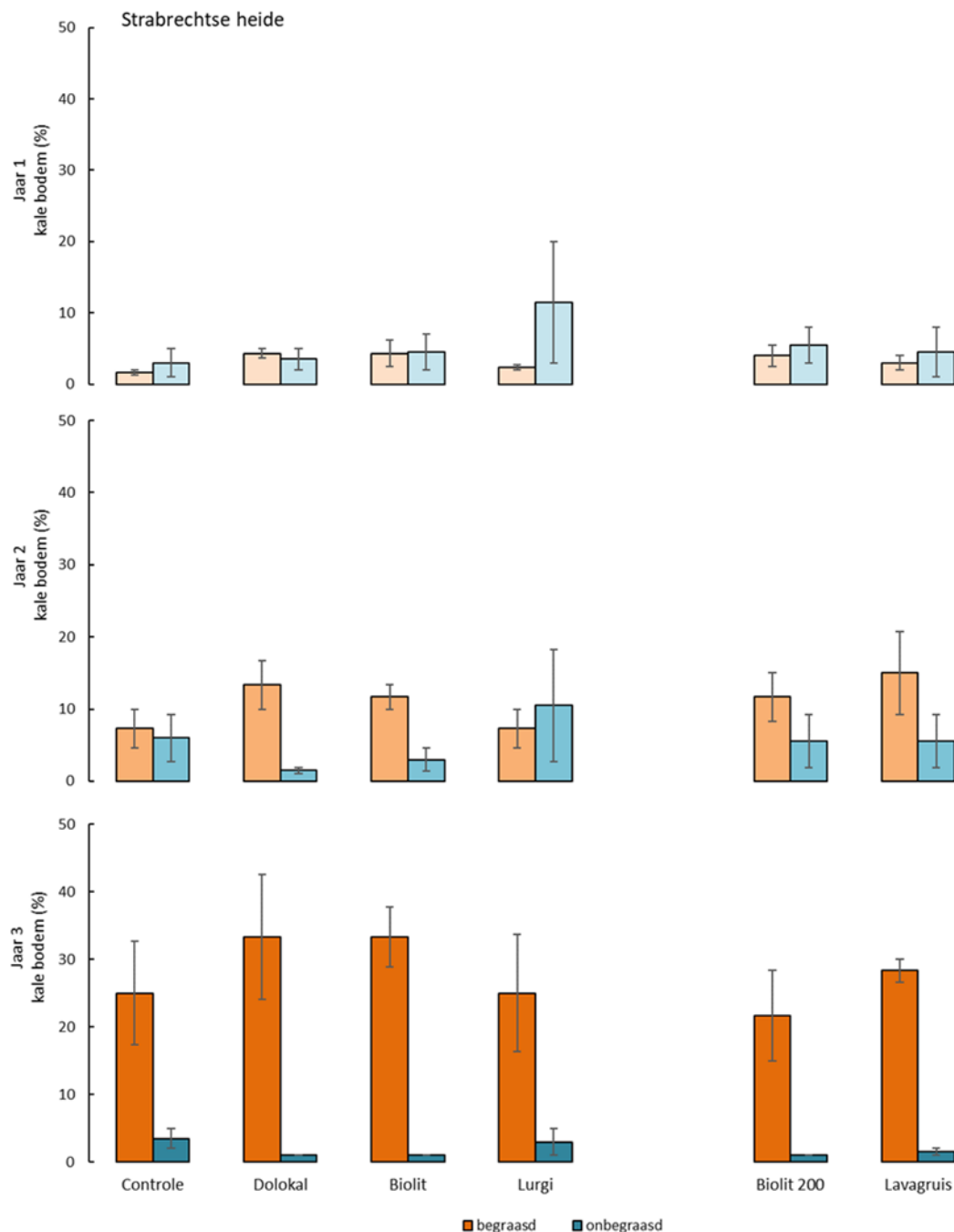


Figuur 7.9. De ontwikkeling van de heidebedekking ($\bar{x} \pm \text{standaardfout}$) in de drie jaar na toediening van steenmeel en Dolokal in de proefvlakken in Strabrechtse die begraasd worden door Schotse hooglanders en heideschapen (oranje, $n = 3$) en onbegraasd zijn (blauw, $n = 2$). * = significant begrazingseffect binnen behandeling.

Figure 7.9. Trend in the cover percentage ($\bar{x} \pm \text{SE}$) of heather (*Calluna vulgaris*) in the three years after the plots were treated with rock powder and Dolokal at the Strabrechtse heide. Orange bars indicate sites grazed by Highland cattle and Heath sheep ($n=3$), blue bars indicate the ungrazed site ($n = 2$). * = significant grazing effect within treatment.

De proefvlakken die behandeld zijn met Dolokal, Biolit of lavagruis laten de sterkste afname zien van 80-90% naar 40-50% bedekking. De (korst-)mosbedekking laat een vergelijkbaar patroon zien met afnamen van 90% naar 40%.

- 2) het percentage kale bodem (figuur 7.10) is onder invloed van begrazing in drie jaar tijd sterk toegenomen van gemiddeld 5% tot 25-30% in alle behandelingen in 2017. Dit is complementair aan het verdwijnen van Stuikhei en mossen.



Figuur 7.10. De ontwikkeling van het percentage kale bodem ($\bar{x} \pm \text{standaardfout}$) in de drie jaar na toediening van steenmeel en Dolokal in de proefvlakken in Strabrechtse die begraaasd worden door Schotse hooglanders en heideschappen (oranje, $n = 3$) en onbegraaasd zijn (blauw, $n = 2$). * = significant begrazingseffect binnen behandeling.

Figure 7.10. Trend in the cover percentage ($\bar{x} \pm \text{SE}$) of bare soil in the three years after the plots were treated with rock powder and Dolokal at the Strabrechtse heide. Orange bars indicate sites grazed by Highland cattle and Heath sheep ($n=3$), blue bars indicate the ungrazed site ($n = 2$). * = significant grazing effect within treatment.

Overigens lijkt de bedekking door grasachtigen niet sterk gewijzigd over de tijd en zijn geen duidelijke verschillen in de grasbedekking tussen begraaasde en onbegraaasde proefvlakken. In 2016 was het aantal ruderalen en pioniersoorten was

in begraasde delen duidelijk groter, met soorten als Brandnetel (*Urtica dioica*) en Waterpeper, maar in 2017 was dit verschil veel minder duidelijk. Om deze observaties te kunnen onderbouwen zou uitbreiding van onderzoek noodzakelijk zijn met een groter aantal proefvlakken in zowel de begraasde als onbegraasde terreindelen.

7.7 Conclusies effecten van steenmeel en Dolokal op vegetatie en soortensamenstelling

- In NP de Hoge Veluwe zijn gedurende drie jaar na toedienen van steenmeel of Dolokal op de droge heide en de natte heide geen significante effecten gevonden op de bedekking van heide, grasachtigen, kruiden, mossen en kale bodem.
- In NP de Hoge Veluwe leidt toedienen van steenmeel of Dolokal na drie jaar tot een significante toename van het aantal soorten vaatplanten. De graslandsoorten en ruderalen en pioniers hebben meer soorten in de proefvlakken waar Dolokal, respectievelijk Dolokal of Biolit, is toegepast. De aantallen en bedekkingen van deze soorten zijn echter heel laag.
- Mannetjesereprijs (*Veronica officinalis*), een relatief algemene soort van wat meer gebufferde condities, heeft zich in het derde jaar nieuw gevestigd in een aantal behandelde proefvlakken op de droge heide in NP de Hoge Veluwe. Dit geeft een indicatie dat de bodemcondities na toediening van steenmeel zijn verbeterd voor soorten van meer gebufferde condities.
- Op de Strabrechtse heide is in het derde jaar na toediening van de steenmeelsoorten een sterk effect van begrazing te zien op de heidebedekking: de behandelingen met Dolokal, Biolit 100 en Biolit 200 leiden tot een significante afname van de bedekking door struikheide (*Calluna vulgaris*) ten opzichte van de controle-vlakken in het begraasde deel. In het begraasde deel werden meer ruderale en pioniersoorten aangetroffen, die vermoedelijk aan de vacht en met ontlasting worden geïntroduceerd.

De grazers op de Strabrechtse heide hebben duidelijk een voorkeur om te grazen in de met steenmeel behandelde proefvlakken. De vegetatieontwikkeling en -structuur worden daardoor sterk beïnvloed. Wanneer steenmeel en/of Dolokal op grote schaal in een gebied toegepast zouden worden zal de graasdruk over een veel groter gebied worden verspreid. Begrazingseffecten zullen dan vermoedelijk veel kleiner zijn.

8 Effecten van N depositie op vuurvinders en de bufferende effecten van steenmeel

8.1 Inleiding

N depositie heeft een zestal verschillende effectroutes voor de fauna: 1. chemische stress, vooral in aquatische systemen, 2. gematigd microklimaat door verhoogde plantaardige productie, 3. afname van reproductiemogelijkheden door gebrek aan open grond voor grondbroeders, 4. afname van voedselplanten door concurrentie met vooral grassen en struiken, 5. afname van de kwaliteit van de voedselplanten en tenslotte 6. afname van prooien (en verschuiving van de grootteverdeling naar kleiner) voor insecteneters (Nijssen *et al.*, 2017). Voor de onderzochte soorten de kleine vuurvinder (*Lycaena phlaeas* (Linnaeus 1761)) en de bruine vuurvinder (*Lycaena tityrus* (Poda 1761)) betekent dat mogelijk een grotere mortaliteit tijdens de diapause, door een extra sterfte door bv. beschimmeling in het vochtiger microklimaat (route 2), afname van de voedselplanten Schapenzuring (*Rumex acetosella*) en Veldzuring (*Rumex acetosa*) door vergrassing met Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*) of Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) (route 4), of afname van de kwaliteit van deze voedselplanten (route 5).

Mogelijke effecten van route 4 (verdwijnen voedselplanten) komen naar voren in de veldproeven, effecten van de routes 2 (microklimaat) en 5 (voedselplantkwaliteit) zijn onderzocht in experimenten in kas en lab.

Wat betreft het microklimaat wordt het effect van verhoogde luchtvochtigheid gemeten op de overleving van rupsen die in diapause zijn, waarbij wordt verondersteld dat hoe hoger de luchtvochtigheid is, hoe hoger ook de mortaliteit onder de rupsen zal zijn.

Betreffende de voedselplantkwaliteit kunnen twee effecten van N-depositie worden onderkend: 1. verhoging van het N-niveau in de plant; Fischer & Fiedler (2000) laten een verhoogde mortaliteit zien van de bruine vuurvinder bij verhoogde concentraties N in de voedselplanten, terwijl het algemene beeld doorgans is dat herbivoren beter functioneren op verhoogde N-gehalten in de voedselplant (o.a. Bink & Siepel 1996 bij de argusvlinder). Onze hypothese is hier dat we een betere overleving en een hoger popgewicht verwachten bij hogere N-gehalten in de voedselplant, of desnoods geen direct effect, maar zeker geen negatief effect.

Een tweede effect van N-depositie op de voedselplantkwaliteit loopt via de route van bodemverzuring door N-depositie, waarbij bij pH-waarden lager dan 4,5 steeds meer Al beschikbaar komt en dus ook meer wordt opgenomen in de voedselplanten. Ten eerste zal in veldsituaties worden onderzocht of inderdaad een verhoogd Al-gehalte wordt gevonden in Schapenzuring en/of Veldzuring, vervolgens zal in een experimentele situatie de bodem zodanig worden verzuurd dat de gekweekte voedselplanten vergelijkbare hoeveelheden Al in hun bladeren opnemen en deze worden aangeboden aan de rupsen van beide vuurvinders. De hypothese is dan dat met toenemende Al-gehalten de popgewichten zullen afnemen en de mortaliteit zal toenemen. Aangezien de mogelijkheid bestaat dat effecten niet zichtbaar worden in de eerste generatie zullen de dieren, waar mogelijk, worden doorgeweekt onder dezelfde omstandigheden naar een tweede generatie om te onderzoeken of er maternale effecten (bv. deficiënties) een rol zouden kunnen spelen.

Voor het opheffen van de verzurende werking van N-depositie wordt in het veld gebruik gemaakt van bekalking (bv. Dolokal) of nu via experimentele toediening van steenmeel (Biolit, Lavagruis of Lurgi, zie voor samenstelling hoofdstuk 5 van dit rapport). In een eerder experiment is door Vogels *et al.*, (2016) gevonden dat bekalking na pluggen van vergraste heide mogelijk negatieve effecten heeft voor de fauna, hetzij door verdringing van andere op te nemen elementen, hetzij door andere nog onbekende oorzaken. Hier zullen we bekalkingsexperimenten uitvoeren op dezelfde manier als de verzuringsexperimenten, met dien verstande dat dan een met de veldsituatie vergelijkbare hoeveelheid kalk aan het substraat wordt toegevoegd, waarmee de verzurende component wordt gebufferd. Deze bufferende stoffen wordt toegediend in de vorm van Dolokal, Biolit of Lurgi. We verwachten een opheffing van het mogelijk negatieve effect van verzuring en geen negatieve effecten van toediening van de bufferstoffen, dus vergelijkbare popgewichten, overleving en ontwikkelingsduur als in een onbehandelde situatie.

8.2 Methoden

Om voldoende rupsen te hebben voor het uitvoeren van de reeks experimenten werd van beide vlinders een continue kweek opgezet. Uitgangsmateriaal werd gevangen op de zuidelijke Veluwe op diverse locaties. Volwassen dieren werden gehouden in grote vliegkooien (ca. 1 m³), voorzien van voedselplanten waarop de eieren kunnen worden afgezet en voorzien van kunstbloemen met kunstnectar (tabel 8.1).

Tabel 8.1. Samenstelling van de kunstnectar.

Table 8.1. Composition artificial nectar.

	Molgewicht	mMol/l	mg/l
Sucrose	342,30	547,000	187238,1
glucose	180,60	282,000	50929,2
fructose	180,16	316,000	56930,6
alanine	89,09	0,718	64,0
asparagine	132,12	0,421	55,6
glutaminezuur	147,13	0,326	48,0
glutamine	146,14	0,931	136,1
glycine	75,07	2,371	178,0
proline	115,13	2,230	256,7
serine	105,09	1,370	144,0
arginine	174,20	0,201	35,0
threonine	119,12	0,672	80,0
tyrosine	181,19	0,221	40,0
valine	117,15	0,137	16,0

Voorts is per vliegkooi een aantal sponsjes toegevoegd met water, zijn de kooien voorzien van een hoogtezon en extra bouwlamp, waardoor de dagtemperatuur rond de 25 °C is en de nachttemperatuur ca. 20 °C. Het lichtregime was 16 uur licht en 8 uur donker, waardoor wordt voorkomen dat de dieren in een diapause gaan in het najaar als de dagen gaan korten. De voedselplanten werden regelmatig vervangen en geplaatst in kleinere kooitjes, waar de rupsen zich konden ontwikkelen, of konden worden geselecteerd voor de experimenten.

Voor het beantwoorden van de vraag welke effecten N-depositie heeft op beide vuurvlindersoorten en wat de effecten zijn van mitigerende maatregelen zoals toediening van steenmeel, is voor beide soorten vuurvlinders een continue kweek gemaakt. In eerste instantie is gewerkt met planten uit het veld (NP de Hoge Veluwe), maar al snel bleken daar diverse problemen mee te ontstaan door een lange naleverperiode vanuit de wortelstok van deze meerjarige planten en door het naar binnen slepen van predatoren met de voedselplanten (zweefvliegjarven die de eieren predeerden). Om deze niet-gewenste effecten te voorkomen is gewerkt met een kunstmatig medium van zilverzand. Als voedselplanten is gebruik gemaakt van Veldzuring of Schapenzuring, beide opgekweekt uit gestandaardiseerd zaad (via

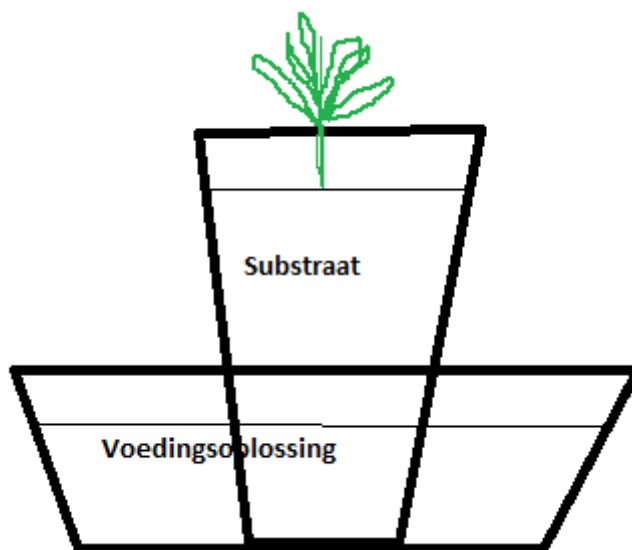
botanische tuinen) op een standaard voedingsoplossing overeenkomstig de schrale voedingscondities in heidebodems (Tabel 8.2).

Tabel 8.2. Samenstelling voedingsoplossing.

Table 8.2. Composition nutrient solution.

Voedingsoplossing (standaard):	mmol	mg/l
K_2SO_4	1	164
$CaCl_2 \cdot H_2O$	0,1	12,8
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,4	92
FeNaEDTA	0,075	27,8
H_3BO_3	0,046	2,8
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0,00032	0,07
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	0,0091	1,14
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	0,0001	0,02
$ZnSO_4$	0,00076	0,12
NH_4NO_3	0,214	17
KH_2PO_4	3	408

De proefopstelling ziet er in alle experimenten uit als volgt: pot met inhoud van ca. 0,75 l, onderin gaten, over de gaten een fijn gaasje of glasvezelfiltreerpapier geplaatst in een schaal ca. 2-3 cm hoog, met substraat: 800 g zilverzand (korrelgrootte ca. 80-100 μm) per pot (Figuur 8.1).



Figuur 8.1. Proefopstelling.

Figure 8.1. Experimental setup.

De voedingsoplossing werd de eerste keer op het substraat geschonken, zodat hele substraat vochtig was, daarna werd het niveau in schaal op peil gehouden door 2-3 daagse giften. Bij voedingslimiterende experimenten is dan alleen demiwater extra toegevoegd. Voor de experimenten met verhoogde N gehalten zijn de voedingsoplossingen aangepast voor vijf verschillen N-niveaus: 0,5, 1, 2, 4 en 8 maal de hoeveelheid NH_4NO_3 . Dus 8,5 mg/l, 17 mg/l, 34 mg/l, 68 mg/l en 136 mg/l.

Voor elk experiment zijn 60 kleine rupsen (max. 4 mm.) betrokken uit de continue kweek en op afzonderlijke planten in kleine doorluchtbare cups ingezet, zodat de rupsen niet van plant kunnen wisselen. Elk N-gehalte heeft daarmee 12 rupsen.

Geregistreerd zijn: gewicht rups begin experiment (in mg), popgewicht einde experiment (in mg), duur van de ontwikkeling tot pop (in dg). De poppen zijn daarna individueel gevolgd en succesvol ontpoppen en eventuele bijzonderheden van de vlinders (kleuring, misvorming vleugels e.d.) zijn genoteerd. Bij beëindiging van het experiment zijn van de individuele planten de N- en P-gehalten bepaald. De planten zijn hiervoor gedroogd bij 70°C, gemalen en ca. 1 g blad is gebruikt voor elementanalyses.

Voor de experimenten met verschillen in pH is dezelfde opstelling gebruikt als hierboven, maar is het substraat aangevuld met 10% Al₂O₃, overeenkomstig met het Al-gehalte in de heidebodems. Voordat de planten werden gepoot in het substraat is het substraat eerst verzuurd tot een pH van ongeveer 4, door het te spoelen met zoutzuur. Aanvankelijk is hiervoor ook verdund zwavelzuur gebruikt, maar in het waterverzadigde substraat (dus anaeroob) ontstond hieruit sulfide, dat een negatieve werking heeft op de groei van de voedselplanten. Een reeks van pH= 3,5, 4,0, 4,5, 5,0 en 5,5 is gemaakt door het toevoegen van aangezuurde (met azijnzuur) standaardvoedingsoplossing met genoemde pH-waarden. Deze aangezuurde standaardvoedingsoplossingen zijn gedurende het gehele experiment gebruikt. De pH van het substraat is regelmatig gecontroleerd en bleef op niveau. Bij beëindiging van het experiment zijn van de individuele planten de Al-, N- en P-gehalten bepaald, zoals zojuist beschreven.

Voor elk experiment zijn 60 kleine rupsen (max. 4 mm.) betrokken uit de continue kweek en op afzonderlijke planten in kleine doorluchtbare cups ingezet, zodat de rupsen niet van plant kunnen wisselen. Elke pH heeft daarmee 12 rupsen.

Voor het onderzoek naar eventuele maternale effecten zijn de volwassen vlinders per pH niveaugroep doorgekweekt en zijn de rupsen daarvan nogmaals op dezelfde planten gezet in een herhaling van het experiment.

Voor het onderzoeken van de bufferende werking van Dolokal, Biolit of Lurgi is hetzelfde protocol gevolgd als hierboven bij de pH-reeks (met ook zelfde pH-reeks), met dien verstande dat na de initiële spoeling om tot een basis pH van 4 te komen aan het substraat een hoeveelheid van 4 g Dolokal, of 10 g Biolit, of 10 g Lurgi (hoeveelheden overeenkomend met in het veld gegeven hoeveelheden).

Voedingsoplossingen zijn toegevoegd, aangezuurd (met azijnzuur) in de genoemde reeks van pH =3,5, 4,0, 4,5, 5,0 en 5,5. Per pH zijn weer 12 rupsen ingezet op evenzovele planten.

In alle gevallen zijn als effectparameters gemeten: ontwikkelingsduur, gewicht ingezette rups en popgewicht. De poppen zijn daarna individueel gevolgd en succesvol ontpoppen en eventuele bijzonderheden van de vlinders (kleuring, misvorming vleugels e.d.) zijn genoteerd.

Voor de bepaling van Al-gehalten bij verschillende pH in veldsituaties zijn op diverse locaties pH-metingen uitgevoerd en is plantenmateriaal van Schapenzuring en Veldzuring verzameld in de maanden mei en juni 2015. De bladeren van de planten zijn gedroogd bij 70 °C, en 1 g gemalen blad is gebruikt voor elementanalyses.

Voor de bepaling van de rupsenmortaliteit bij verhoogde luchtvochtigheid is gebruik gemaakt van 3^e stadium rupsen uit de continue kweek, deze rupsen zijn ondergebracht in een buitenkas, waar ze het natuurlijke korten der dagen ondergingen met ook bij het seizoen passende temperaturen om ze in diapause te krijgen. Eenmaal in diapause zijn de rupsen overgebracht naar een laboratoriumopstelling met een korte dag (8 uur licht en 16 uur donker) bij 6 °C. De rupsen zijn overgebracht in afgesloten bakken met een door zoutoplossingen geregelde relatieve luchtvochtigheid: een basisoplossing van 500g NaOH en 550 g gedestilleerd water is gemaakt waar verschillende hoeveelheden water aan toe zijn gevoegd om te komen tot de gewenste vier niveaus van relatieve luchtvochtigheid: 36 g water bij 100g basisoplossing (30% rel. luchtvochtigheid), 70,5 g (50%), 131,8g (70%) en 373,2 (90%) (Madge 1961). Waarden zijn continue gecontroleerd met kleine luchtvochtigheidsmeters in de bakken. Rupsen zijn na 6 weken gecontroleerd op overleven.

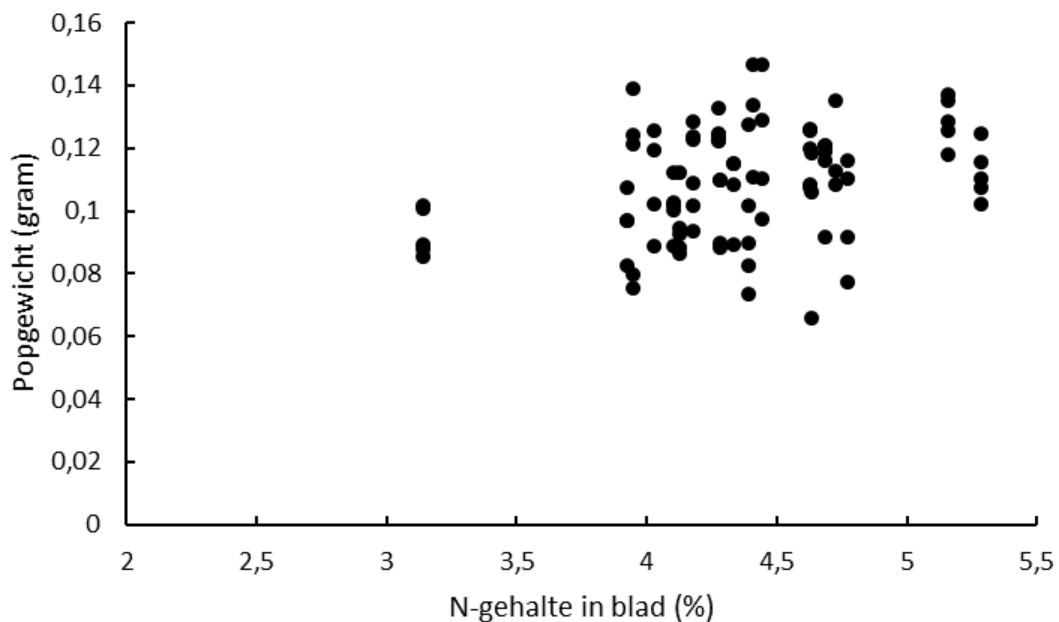
8.3 Resultaten

8.3.1 Kweek van Kleine en Bruine vuurvliinder

De kweek van de Kleine vuurvliinder verliep voorspoedig, er was een continue populatie van enkele tientallen vlinders aanwezig. De eiproductie was goed en er konden met regelmaat voldoende rupsen uit de kweek worden betrokken voor de experimenten. De kweek van de Bruine vuurvliinder bleek problematischer. Volwassen dieren gevangen eind juli en begin augustus 2015 (zelfde periode als bij de Kleine vuurvliinder) bleken een goede eiproductie te hebben en er konden voldoende rupsen uit worden betrokken om een experiment in te zetten. Helaas bleken de rupsen in de loop van het experiment onder condities van lange dag en hoge temperatuur toch in diapause te gaan, evenals de rupsen in de kweekpopulatie. Het experiment is afgebroken en de rupsen zijn verder onder normale buitentemperaturen en daglengte in diapause gehouden. Begin januari 2016 is besloten de kweek opnieuw op te starten door de diapause te breken. Een zeer kleine hoeveelheid rupsen heeft de winter overleefd en is verpopt, de sex-ratio was nogal biased en de ontpopping zodanig vertraagd bij de vrouwtjes dat de mannetjes al waren overleden voor de vrouwtjes ontpopten.

8.3.2 N-toevoeging

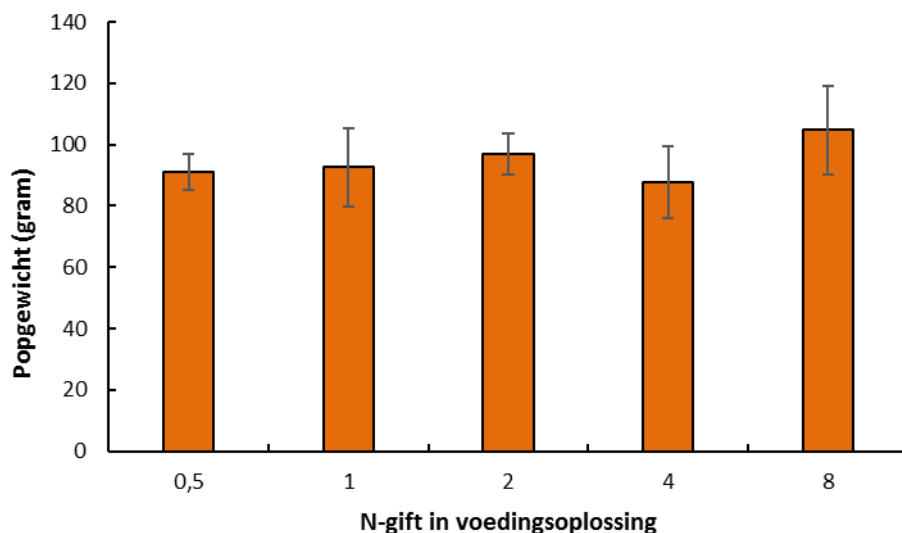
Bij de Bruine vuurvliinder is er een significant positieve correlatie tussen N gehalte van het blad en het popgewicht ($r = 0,33$, $p < 0,01$, Figuur 8.2).



Figuur 8.2. Popgewichten (in g) van de Bruine vuurvliinder uitgezet tegen het N-gehalte in het blad (percentage van het drooggewicht).

Figure 8.2. Weight of *Lycaena tityrus* butterfly pupa's (in g) and N-concentration in leaves (%).

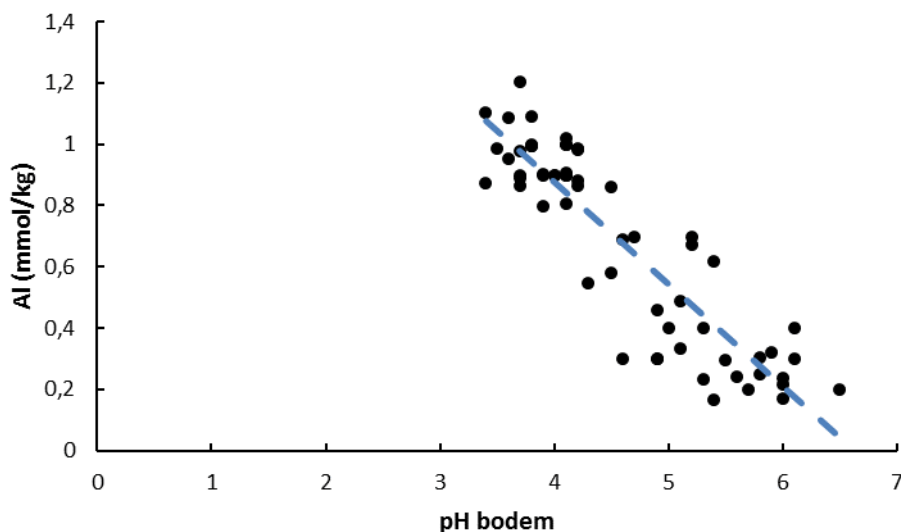
In Figuur 8.3 staan de popgewichten van de Kleine vuurvliinder uitgezet van de verschillende N-gehalten in de voedingsoplossing. Er is geen negatief verband met N-gift, de trend lijkt eerder positief, zoals ook is gevonden bij de data van de Bruine vuurvliinder.



Figuur 8.3. Popgewichten van de Kleine vuurvlinder bij verschillende N-giften in de voedingsoplossing.

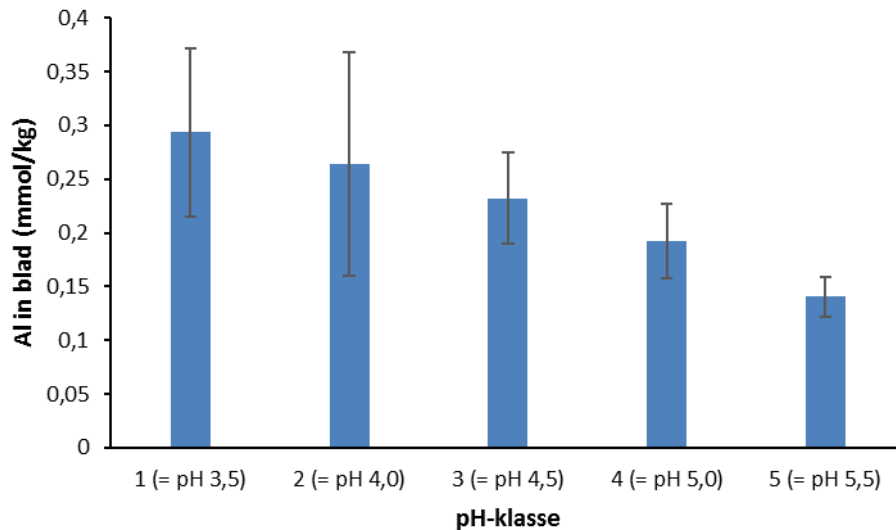
Figure 8.3. Weight of *Lycaena phlaeas* butterfly pupa's (in g) and N-concentration in the nutrient solution.

Onder veldcondities blijkt Veldzuring aanzienlijke hoeveelheden aan Al op te nemen (Figuur 8.3). Deze concentraties zijn omgekeerd evenredig met de pH van de bodem ($F_{1, 58}=249.7$; $p=0.000$; $R^2=0.858$) (Figuur 8.3). Het is in de experimentele opzet gelukt ook de Al-gehalten in de bladeren van *Rumex acetosa* te manipuleren, door de planten op substraten met verschillende pH te zetten (Figuur 8.4). De totale concentraties zijn wel veel lager dan in het veld, mogelijk door de kortere duur van blootstelling in de experimenten.



Figuur 8.4. Al-gehalten (in mmol/kg drooggewicht) in bladeren van Veldzuring bij verschillende pH-waarden van de bodem.

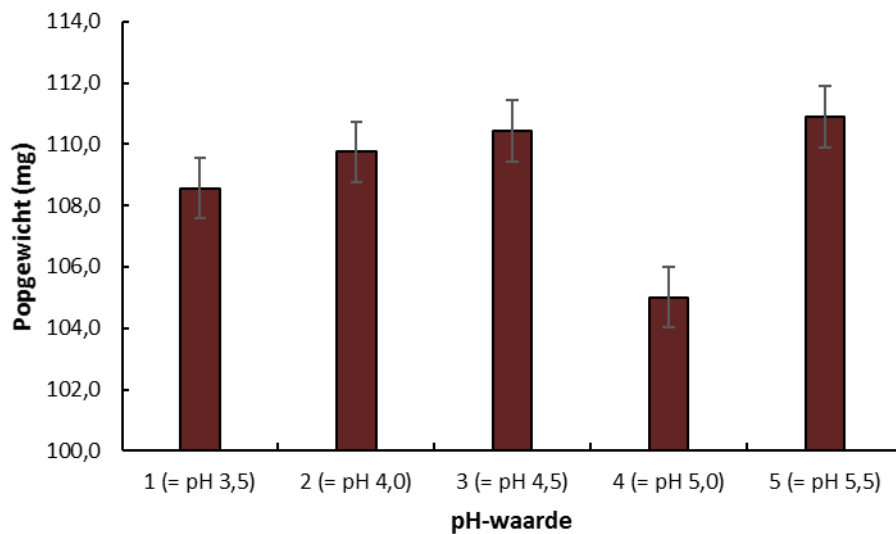
Figure 8.4. Al concentrations (mmol/kg dry weight) measured in *Rumex* at different pH-levels in the soil.



Figuur 8.5. Al-gehalten in mmol/kg in bladeren van Veldzuring bij de verschillende pH-classes in de experimenten (1= pH 3,5, 2= pH 4,0, 3= pH 4,5, 4= pH 5,0 en 5= pH 5,5).

Figure 8.5. Al concentrations (mmol/kg dry weight) measured in Rumex at different pH-levels (1= pH 3,5, 2= pH 4,0, 3= pH 4,5, 4= pH 5,0 en 5= pH 5,5).

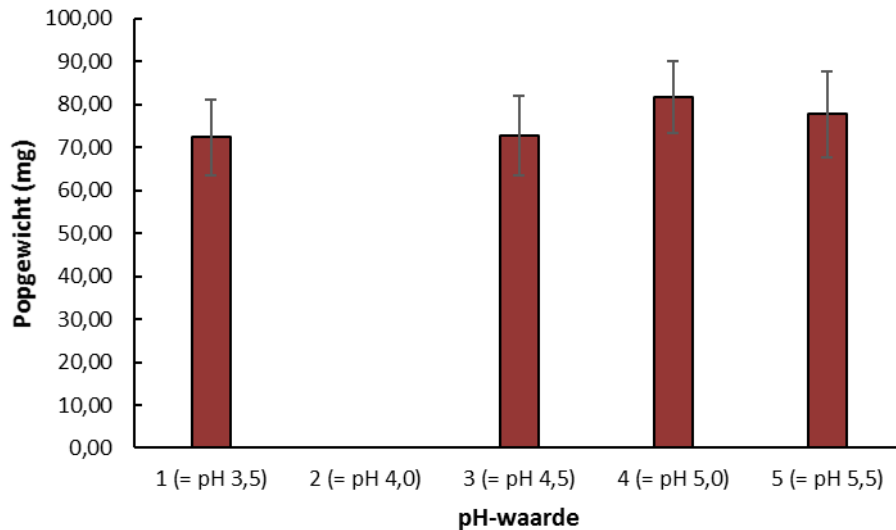
De rupsen van de Kleine vuurvliinder bleken geen hinder te ondervinden van de verhoogde concentraties Al in de voedselplanten, zoals blijkt uit Figuur 8.5: het gemiddelde popgewicht ligt tussen ca. 105 en 110 mg voor de verschillende pH groepen, waarbij geen verschil kan worden aangetoond.



Figuur 8.6. Poggewicht (mg) van Kleine vuurvinders (1e generatie) opgekweekt op Veldzuring bij verschillende pH-waarden.

Figure 8.6. Weight of *Lycaena phlaeas* butterfly pupa's (in mg) (1e generation) bred on Rumex at different pH-levels.

Ook bij doorkweken naar een 2^e generatie per pH-groep, om de mogelijkheden van maternale effecten of deficiënties te onderzoeken, is geen verschil tussen de popgewichten tussen de verschillende pH groepen waarneembaar. Door toeval bleek de pH-groep 4 te bestaan uit louter mannetjes, deze groep kon dus niet worden doorgeweekt. De popgewichten zijn over de hele reeks lager, mogelijk door slechtere conditie van de voedselplanten in het algemeen.



Figuur 8.7. Popgewicht (mg) van Kleine vuurvlinders (2e generatie) opgekweekt op Veldzuring bij verschillende pH-waarden. N.B. De dieren van pH-groep 4.0 uit de eerste generatie bleken allen mannelijk, er is hier geen 2e generatie.

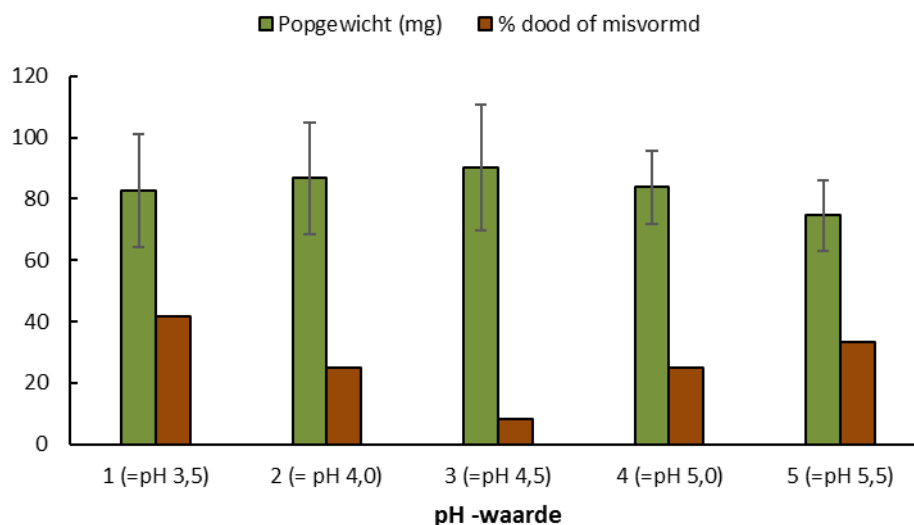
Figure 8.7. Weight of *Lycaena phlaeas* butterfly poppies (in mg) (2e generation) bred on *Rumex* at different pH-levels.

8.3.3 Toevoeging van Dolokal

Dolokal is toegevoegd in de basisopstelling van 5 verschillende pH-groepen (3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 5,5). De toevoeging van Dolokal resulteerde in een gemeten pH in deze groepen van resp. 6,5, 6,18, 6,16, 6,29 en 6,39. Deze pH-stijging is veel hoger dan bij toediening van Dolokal in de veldproeven, daar bleef de pH-water onder de 5 in de droge heide-experimenten (Bijlage 3).

De initieel aangebrachte verzuring en de verzuring met de toegevoegde voedingsoplossing worden dus geheel gebufferd in de experimenten.

Merkwaardigerwijs is alleen in dit experiment daadwerkelijk sterfte en misvorming gevonden (linker kolom per pH groep in Figuur 8.8) tot 33% van het totaal bij de pH-groep 3,5. Het percentage sterfte en misvorming (misvormde vleugels waardoor vliegen niet mogelijk is en dus reproductie ook niet) is omgekeerd evenredig aan het ook in Figuur 8.7 weergegeven popgewicht (rechterkolom per pH groep). Zowel bij lage als bij hoge pH-groepen is een lager popgewicht gevonden en een hoger percentage sterfte en misvorming. Mogelijk kunnen elementanalyses van de voedselplanten hier uitsluitsel geven over de achterliggende oorzaak.

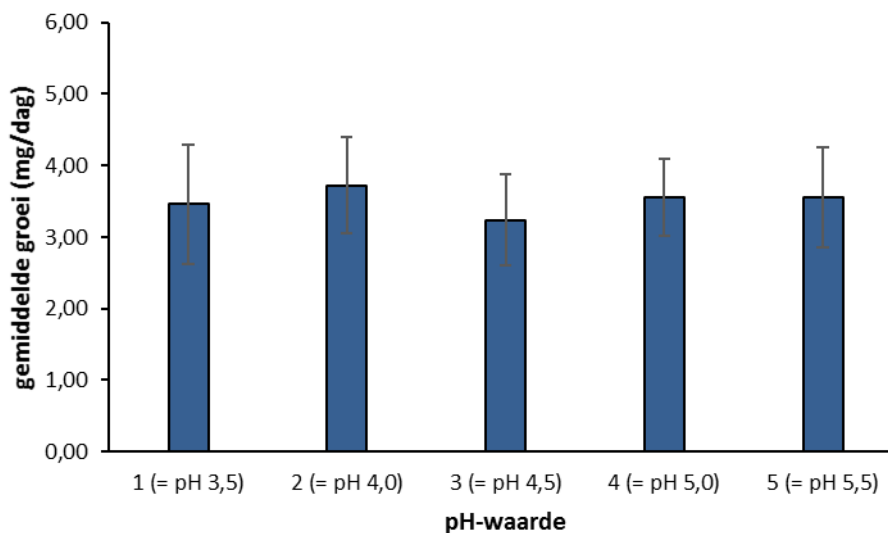


Figuur 8.8. Percentage sterfte en misvorming en gemiddeld popgewicht per pH-groep bij de Kleine vuurvlinder.

Figure 8.8. Mortality (%) and malformation and average pupa weight per pH-class of *Lycaena phlaeas*

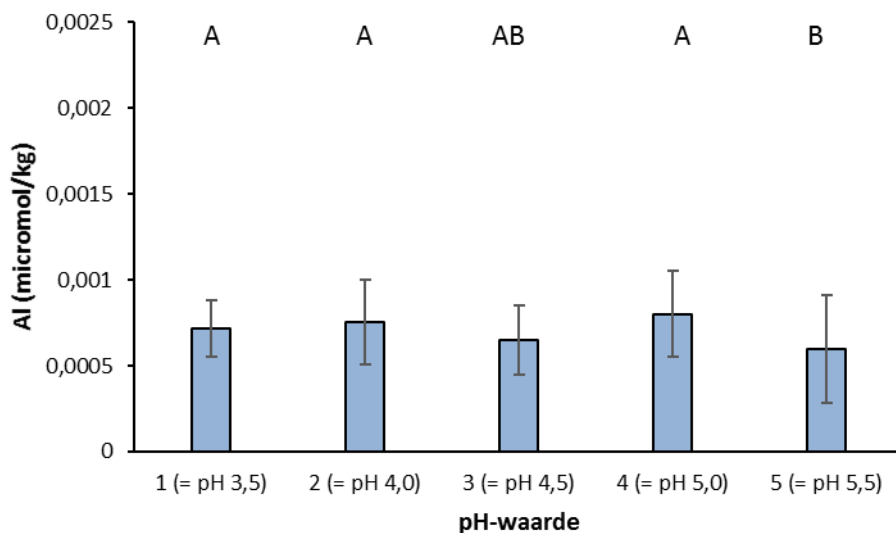
8.3.4 Resultaten Biolit en Lurgi

Biolit en Lurgi zijn in afzonderlijke experimenten toegevoegd in de basisopstelling van 5 verschillende pH-groepen (3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 5,5). De toevoeging van deze steenmeelbuffers resulteerde in een gelijkmatige pH op alle oorspronkelijk pH-groepen, waardoor de buffering als zodanig dus goed werkte. In Figuur 8.9 wordt de dagelijkse groei van de rupsen van Kleine vuurvlieder gegeven. Er blijkt geen significant verschil tussen de pH-groepen. In Figuur 8.10 worden kleine verschillen waargenomen in de Al-concentraties in het blad van de waardplant *Rumex acetosa*, deze geven echter geen duidelijke trend aan. Ook Lurgi geeft geen verschil te zien over de pH-groepen in de dagelijkse groei van de rupsen (Figuur 8.11), maar geeft wel een trend in minder Al in de bladeren van de waardplant bij hogere pH-groepen, waaruit we kunnen concluderen dat de buffering meer tijd heeft gekost. Interessant wordt echter de vergelijking van de experimenten met verschillende bufferstoffen onderling (Figuur 8.13). Hoewel er geen significante verschillen per bufferstof (of zonder) zijn tussen de pH-groepen, blijkt de toevoeging van om het even welke bufferstof wel een effect te hebben op de dagelijkse groeisnelheid van de rupsen; het kost de rupsen kennelijk meer moeite te groeien in de aanwezigheid van een bufferstof. In Figuur 8.14 wordt voor alle waardplanten in de gebufferde en ongebufferde experimenten het P-gehalte van het blad aangegeven. Zonder uitzondering is het P-gehalte van de ongebufferde experimenten hoger dan die van de gebufferde experimenten. De kleine verschillen (al dan niet significant) tussen de pH-groepen en bufferstoffen, wordt niet teruggevonden in de dagelijkse groeisnelheid van de rupsen, mogelijk gaat het hier om een drempelwaarde die wel of niet wordt overschreden, waardoor de rupsen langer doen over hun ontwikkeling.

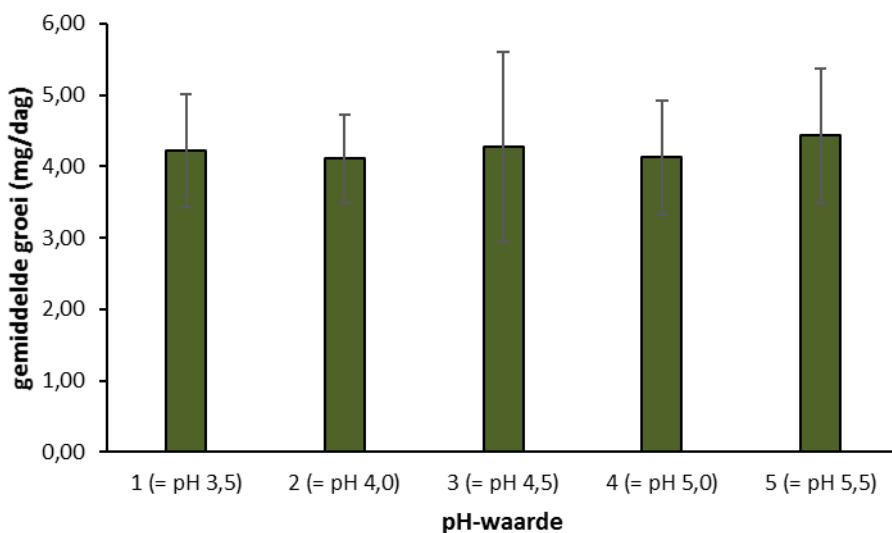


Figuur 8.9. De gemiddelde groei van de rupsen van Kleine vuurvlieder per dag in het experiment met Biolit als bufferstof.

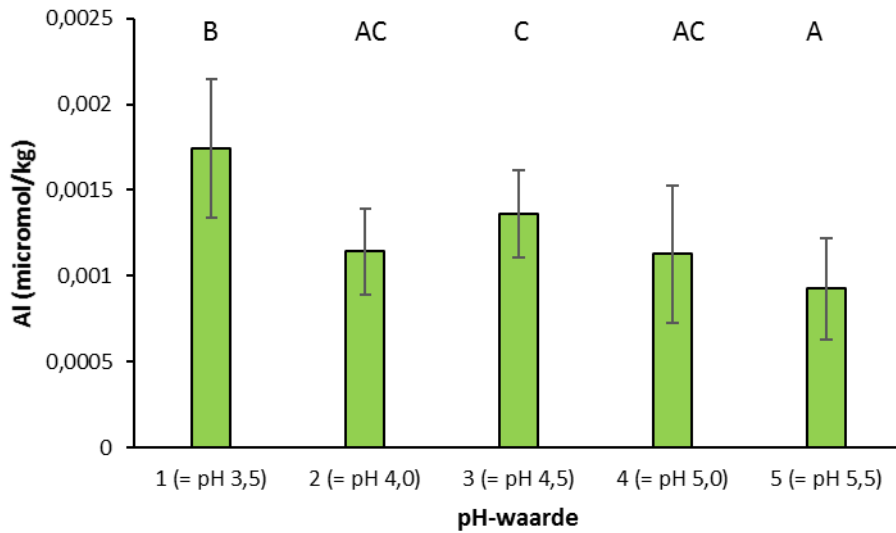
Figure 8.9. Average growth per day of *Lycaena phlaeas* caterpillars at different pH-levels with Biolit.



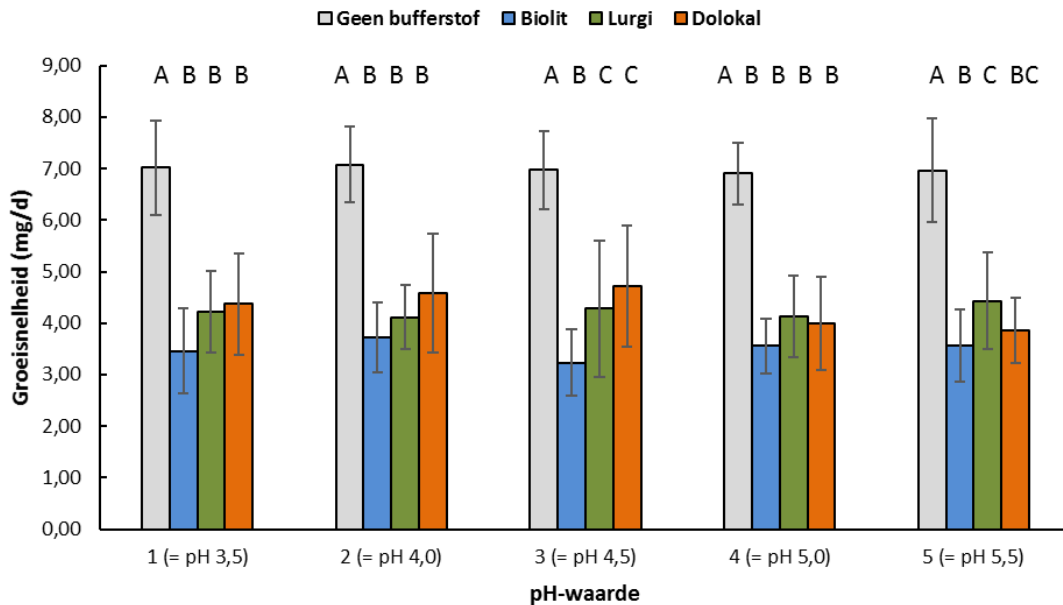
Figuur 8.10. Al-concentraties in het blad van Veldzuring in het experiment met Biolit als bufferstof. Verschillende letters geven significante verschillen weer tussen groepen.
 Figure 8.10. Al concentrations in Rumex at different pH-levels with Biolit. Different letters represent significant different groups.



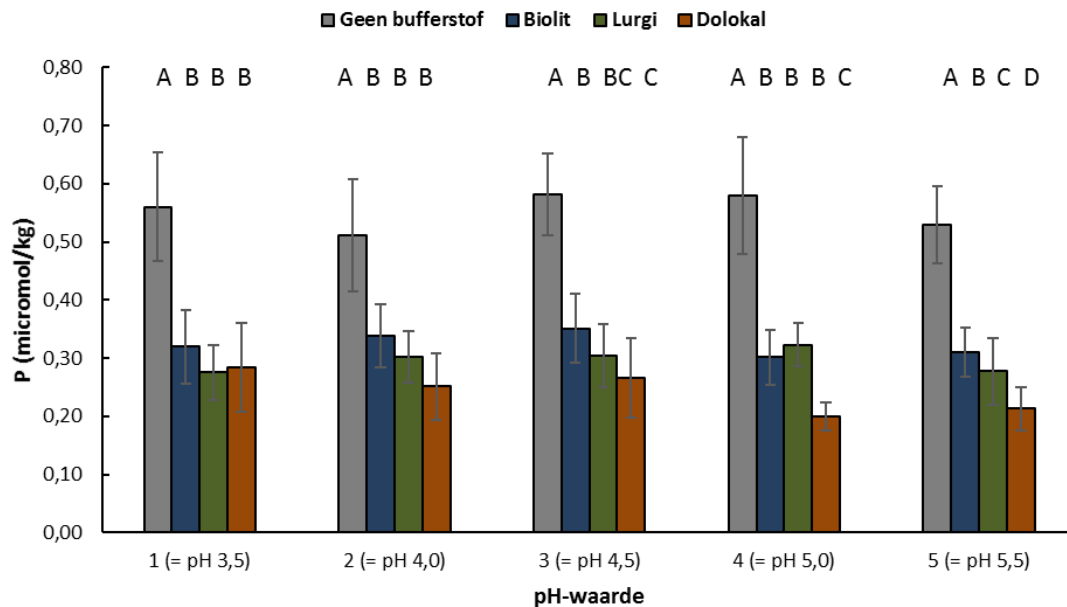
Figuur 8.11. De gemiddelde groei van de rupsen van Kleine vuurvliinder per dag in het experiment met Lurgi als bufferstof.
 Figure 8.11. Average growth per day of Lycaena phlaeas caterpillars at different pH-levels with Lurgi.



Figuur 8.12. Al-concentraties in het blad van Veldzuring in het experiment met Lurgi als bufferstof. Verschillende letters geven significante verschillen weer tussen groepen.
 Figure 8.12. Al concentrations in Rumex at different pH-levels with Biolit. Different letters represent significant different groups.



Figuur 8.13. Vergelijking van de dagelijkse groeisnelheid van Kleine vuurvlieder in de experimenten met de vijf verschillende pH groepen, zonder en met bufferen met resp. Biolit, Lurgi en Dolokal als toegevoegde bufferstof. Verschillende letters geven significante verschillen weer tussen groepen
 Figure 8.13. Average growth per day of Lycaena phlaeas caterpillars per treatment. Different letters represent significant different groups.



Figuur 8.14. Vergelijking van de P-gehalten in Veldzuring in de experimenten met de vijf verschillende pH groepen, zonder of met bufferen met resp. Biolit, Lurgi en Dolokal als toegevoegde bufferstof. Verschillende letters geven significante verschillen weer tussen groepen

Figure 8.14. P concentrations in Rumex per treatment. Different letters represent significant different groups.

8.4 Conclusies

De experimenten met de Bruine vuurvliinder hebben vertraging opgelopen door het onverwacht in diapause gaan van deze dieren. We kunnen concluderen dat het directe effect van N-toevoeging aan de voedselplant in elk geval geen negatief effect heeft op de overleving van beide vuurvliindersoorten, sterker het lijkt er eerder op dat de soorten vitaler zijn bij een hoger N-gehalte in het blad (significant bij Bruine vuurvliinder, nog te meten in Kleine vuurvliinder).

Voor de Kleine vuurvliinder kunnen we concluderen dat experimentele verzuring en daarmee gepaard gaande matige verhoging van de Al-concentratie in het blad van veldzuring, de voedselplant, geen negatieve gevolgen heeft voor de vitaliteit van de vlinders, ook het doorkweken op dezelfde pH groep heeft geen negatieve effecten aan het licht gebracht die in verband zijn te brengen met oplopende vergiftigingsverschijnselen of gebrek verschijnselen. De aluminiumconcentraties in deze kweekproef waren echter lager dan die gemeten in het veld (H5 en Bijlage 3 Bodemchemie).

Alle experimenten hebben zeer lage mortaliteit van rupsen en het betreft dan doorgaans een enkel ongelukje waarbij de rups is beschadigd, of is ontsnapt (max 1-2 per groep van 60). De enige daadwerkelijke mortaliteit in de experimenten is gevonden in de experimenten met toevoeging van Dolokal. Naast directe mortaliteit zijn hier ook frequent misvormingen van de vleugels gevonden, waardoor de vlinder niet kan vliegen, dus ook niet kan paren of eieren af kan zetten. In dit geval zijn mortaliteit en deze misvormingen samengenomen als zijnde niet vitaal en tot reproductie in staat. Bij Biolit en Lurgi als bufferstoffen zijn minder afwijkingen en dode dieren aangetroffen, maar in alle gevallen blijkt de toevoeging van een bufferstof in de experimentele situatie te leiden tot een lagere dagelijkse groeisnelheid. De verklaring voor de waarnemingen is nog hypothetisch, variërend van mogelijke tekorten aan andere tweewaardige kationen (veelal sporenelementen zoals Mn, Co, Vd) tot mogelijk een tekort aan fosfaat. Fosfaat wordt in kleine hoeveelheden toegevoegd in de voedingsoplossing en mogelijk is bij de hogere pH groepen zoveel Ca aanwezig dat het meeste fosfaat wordt ingevangen in $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ -complexen, waardoor een fosfaat tekort op zou kunnen treden in de voedselplant met als gevolg de waargenomen mortaliteit en misvormingen. Uit de plantanalyses

blijkt dat de P-gehalten in de bladeren van de ongebufferde planten significant hoger zijn dan bij toevoeging van bufferstoffen. Bij de lage pH-waarden is veel Al vrijgemaakt uit het toegevoegde Al_2O_3 en kan dan aan fosfaat zijn gaan binden als AlPO_4 , waardoor eveneens een fosfaattekort in de plant kan ontstaan. Er zijn geen duidbare verschillen gevonden in gehalten van tweewaardige kationen in de waardplanten.

In de veldexperimenten werden echter geen verlagingen in de P-concentraties gemeten, zowel in de bodem als in de plantchemie (H5 en H6), waardoor de hier gevonden resultaten zich moeilijk laten vertalen naar de veldsituatie. Daarnaast is de P-concentratie in de bodem van het kweek-experiment extreem laag vergeleken met de veldsituatie, waardoor een eventuele verlaging van de beschikbare P-concentratie direct grote gevolgen kan hebben voor de P-concentraties gemeten in de vegetatie. Een laatste mogelijke verklaring voor de verlaging van de beschikbare P-gehalten in het kweekexperiment na toedienen van de steenmelen en Dolokal kan gezocht worden in het veranderen van de CEC van de bodem (de Cation-exchange Capacity). Het in het experiment gebruikte zilverzand bevat nagenoeg geen geladen bodemdeeltjes en geen organisch materiaal waar kationen en voedingsstoffen aan kunnen binden, oftewel, alle opgebrachte voedingsstoffen zijn direct beschikbaar voor de Zuring. Met het toedienen van de steenmelen en Dolokal wordt niet alleen de hoeveelheid mineralen en voedingsstoffen in de bodem veranderd, maar ook het aantal bindingsplaatsen wordt zeer sterk verhoogd. Mogelijk is de al zeer lage beschikbare P-concentratie gebonden aan de ingebrachte vrije bindingsplaatsen waardoor het niet meer beschikbaar is voor de plant (Zie ook Vogels *et al.*, 2017). In de veldsituatie waar sprake is van een bodem met een intacte organische laag zal dit effect niet optreden.

9 Faunabemonsteringen

9.1 Inleiding

In 2015 en 2016 zijn op alle proefvlakken op de Strabrechtse heide bemonsteringen uitgevoerd van Loopkevers, Pissebedden en Miljoenpoten (potvallen) en zijn totaal-monsters van in de vegetatie aanwezige fauna uitgevoerd (sleepnetbemonsteringen). De bemonsteringsperiode vond plaats tussen 16 april en 30 september in 2015 en 1 mei en 4 oktober in 2016, in totaal 8 leegrondes per bemonsteringsjaar voor de potvallen. Sleepnetmonsters zijn uitgevoerd op twee momenten tijdens de leegronden van de potvallen, in het voorjaar (mei) en najaar (september). De ongewervelden zijn dus direct in de twee daaropvolgende seizoenen na steenmeeltoediening bemonsterd. Grote effecten op bodemactieve arthropoden zijn in deze periode nog niet te verwachten. Wel is het mogelijk dat de laag steenmeel/Dolokal een negatief effect heeft op de mobiliteit van deze groepen, of dat dit, deels vrij fijne materiaal, negatieve effecten heeft op de gezondheid van de individuele arthropoden, bijvoorbeeld door een mogelijke schadelijke invloed het tracheeënstelsel van deze organismen, als de fijnste deeltjes deze kunnen binnendringen. Wanneer toediening van steenmeel heeft geleid tot snelle veranderingen in het systeem functioneren (snelle toename strooiselafbraak, grote veranderingen in plantkwaliteit), dan is dit naar verwachting eveneens meetbaar in de fauna. De resultaten van de faunabemonsteringen zijn dan ook gericht op deze vragen: heeft toediening van steenmeel negatieve gevolgen op ongewervelden, en heeft het geleid tot snelle veranderingen in systeem functioneren?

In 2017 zijn in de experimenten in het Nationale Park Hoge Veluwe op beperktere schaal dan bij de experimenten op Strabrechtse Heide effectmetingen op fauna uitgevoerd. Hier zijn effecten op trofische groepen geëvalueerd door middel van een gestandaardiseerde bemonstering van tweevleugeligen (Diptera), zoals eerder uitgevoerd in vergelijkbare studies in droge en natte heide (zie Vogels *et al.* 2011, Wallis de Vries *et al.* 2014, Wallis de Vries *et al.* 2018).

9.2 Methoden

9.2.1 Strabrechtse heide

In ieder blok van elk zes behandelingen zijn in iedere behandeling 3 potvallen ingegraven en gevuld met een laagje 4% formaldehyde oplossing als conserveringsmiddel. Om bijvangst van gewervelden (muizen, reptielen en amfibieën) te beperken en om overmatige verdamping tegen te gaan zijn alle potvallen met een dakje afgeschermd. Van elke leegronde zijn alle gevangen loopkevers en pissebedden in het determinatielab tot op slotniveau gedetermineerd. Van de sleepnetmonsters zijn alle ongewervelden uitgesorteerd en opgesplitst in rupsen en overige ongewervelde soortgroepen. Deze verzamelde individuen zijn vervolgens voor 24 uur in een droogstoof op 60°C geplaatst en vervolgens gewogen. Het zo verkregen totale drooggewicht van rupsen en overige ongewervelde fauna per behandeling is als responsvariabele gebruikt in de verder analyses.

9.2.2 Het Nationale Park de Hoge Veluwe

In 2017 zijn alle plots bemonsterd op tweevleugeligen (Diptera). Diptera werden door middel van emergentievallen bemonsterd (Figuur 9.1) en bemonstering vond plaats tussen 18-05 en 28-09-2017. Emergentievallen bestaan uit een kegelvormig metalen frame en zijn bekleed met donker materiaal. Boven in de val is een

opening met daarop een vangbeker geplaatst. De vangbeker is van transparant materiaal, waardoor de enige lichtbron binnenin de kegel vanuit deze richting komt. Alle fauna die zich in het vangoppervlak van de kegelval bevindt of gedurende de vangperiode uitsluit wordt door deze lichtbron naar de vangbeker aangetrokken en valt vervolgens in de vangbeker. De vangbeker is gevuld met een 4% formaldehyde oplossing om de monsters te conserveren. Bij iedere verversingsronde zijn de kegelvallen verplaatst om effecten van uitdroging op de vangsten beperkt te houden. De Diptera in de monsters zijn met behulp van een stereomicroscop uitgesorteerd en tot op familieniveau gedetermineerd.

9.2.3 Analyse methodiek

De vangsten van alle loopkevers eerst zijn geanalyseerd op verschillen in de samenstelling van de gehele gemeenschap met behulp van NMDS-ordinatie, om na te gaan of er duidelijke patronen in verschillende behandelingsblokken waarneembaar waren, en of er duidelijke verschuivingen in de gemeenschap voor verschillende behandelingen optraden. Site scores van de NMDS-ordinatie zijn gebruikt om verschuivingen tussen de beide onderzoeksjaren verder te exploreren; waarbij de totale verschuiving is gedefinieerd als de euclidische afstand tussen beide punten:

$$\text{Verschuiving} = \sqrt{(\text{NMDS1}_{2015} - \text{NMDS1}_{2016})^2 + (\text{NMDS2}_{2015} - \text{NMDS2}_{2016})^2}$$

De richting en mate waarin de punten verschuiven over de beide assen zijn verkregen door het verschil tussen de plaatsing op de as tussen 2016 en 2015 te berekenen; voor beide assen afzonderlijk:

$$\text{Richting}_{\text{NMDS}(1,2)} = \text{NMDS}_{2016(1,2)} - \text{NMDS}_{2015(1,2)}$$

Vervolgens is nagegaan of er significante verschillen in activiteiten van loopkevers (Activity-density) en/of soortenrijkdom van loopkevers zijn opgetreden als gevolg van de ingezette behandelingen. Dit is uitgevoerd op basis van de totale gemeenschap, maar ook uitgesplitst op basis van overeenkomsten in habitatbinding en voedingsstrategie. Behandelingseffecten op Loopkevers, biomassa van vegetatiebewonende fauna en pissebedden zijn getoetst op significantie door deze per jaar afzonderlijk te vergelijken met de controle, door middel van het fitten van Generalized Linear Models met een poisson verdeling of quasipoissonverdeling indien sprake was van sterke overdispersie (dispersiecoëfficiënt >2.5). Alle analyses zijn uitgevoerd met het software programma R (R Core Team, 2017). Voor ordinatie is gebruik gemaakt van het package Vegan (Oksanen *et al.*, 2017). De in de NPHV-experimenten bemonsterde Diptera families werden toegewezen aan een trofische groep volgens Beuk (2002). Effecten van beheer en/of bekalking zijn geëvalueerd door de numerieke respons van de trofische groepen als geheel te analyseren. Tussen natte heide en droge heide bleken grote verschillen in abundantie van Diptera te bestaan. In droge heide was de abundantie gemiddeld 1.5 keer zo hoog als in natte heide. Ook bleek in veel gevallen de respons van de trofische groepen verschillend te zijn tussen de proefvlakken in droge en natte heide. Om deze reden zijn beide experimenten afzonderlijk van elkaar getoetst op significante behandelingseffecten.

Data analyse van Diptera is uitgevoerd met het statistisch softwarepakket R (R Core Team, 2017), met behulp van het package lme4 (Bates *et al.*, 2017) voor statistische toetsen. Effecten van experimentele behandelingen zijn eerst getoetst door middel van een poisson GLM. In bijna alle gevallen was sprake van een significante overdispersie (dispersie parameter > 2.5) bij poisson GLM. In die gevallen zijn effecten daarom vervolgens getoetst door middel van een GLM met negatieve binomial distributie om hier voor te compenseren. Nadeel van een negatieve binomial distributie is dat deze methode leidt tot een verlaging van de statistische power van de test, omdat een vrijheidsgraad verloren gaat bij het vaststellen van de dispersieparameter (Zuur *et al.*, 2013).



Figuur 9.1. Emergentievallen in het droge heide experiment. Uitgeslopen Diptera worden opgevangen in de vangpot die bovenop de val geplaatst is.

Figure 9.1. Emergence traps situated in the dry heath experiment. Emerged Diptera are trapped in a jar that is placed at the pinnacle of the trap.

9.3 Samenstelling van de loopkevergemeenschap

In 2015 zijn 1517 individuen bemonsterd in de onderzoekslocaties, verdeeld over 43 soorten. 24 soorten zijn te beschouwen als karakteristiek voor heide, inclusief soorten die aan duinen, schraalgraslanden en extensieve akkers geassocieerd worden (9 soorten). In 2016 zijn iets meer individuen en soorten bemonsterd: 1600 individuen verdeeld over 45 soorten. De vangsten werden gedomineerd door 10 soorten (met meer dan 100 individuen in de vallen aangetroffen). Dit zijn in aflopende aantallen: *Calathus melanocephalus*, *Dyschirius globosus*, *Carabus arcensis*, *Poecilus lepidus*, *Syntomus foveatus*, *Carabus problematicus*, *Carabus clatratus*, *Poecilus versicolor*, *Nebria salina* en *Calathus erratus*. Codominant (tussen 30 en 100 individuen) waren *Leistus ferrugineus*, *Amara lunicollis*,

Oxypselaphus obscurus, *Carabus nitens*, *Bradycellus ruficollis*, *Carabus nemoralis* en *Pterostichus diligens*. Van deze groep zijn *C. arcensis*, *C. clatratus*, *C. nitens*, *B. ruficollis*, *N. salina*, *P. diligens* en *P. lepidus* te beschouwen als karakteristieke soorten van heidelandschappen, waarbij *N. salina* meer typisch voorkomt in extensieve cultuurlanden zoals akkers en graslanden. Behalve *C. clatratus*, *C. nitens* en *N. salina* zijn deze soorten te beschouwen als gematigd eurytoop tot zeer eurytoop, wat wil zeggen dat zij ook in andere habitattypen dan heidevegetaties zijn aan te treffen. *C. clatratus* is een soort die landelijk en internationaal gezien zeer zeldzaam is en sterk achteruitgegaan (Turin, 2000). Op de Strabrechtse heide is de soort echter zeker niet zeldzaam en is de populatie waarschijnlijk groot en stabiel. Opvallend is dat deze amfibische soort doorgaans sterk aan aquatische en vochtige milieus gebonden is, maar op Strabrechtse heide regelmatig in droge heide aangetroffen wordt. De huidige vanglocaties zijn hiervan een goed voorbeeld. Dit sterkt het vermoeden dat op de Strabrechtse Heide de soort in één grote metapopulatie voorkomt, en vaak migreert tussen vochtige terreindelen, en wellicht ook in droge heide foerageert.

Zeldzaam in de vangpotten aangetroffen stenotope heidekarakteristieke soorten zijn *Cymindis humeralis*, een sterk aan droge en open half grazige heide en schraalgraslanden gebonden soort en *Harpalus distinguendis*, een xerofiele soort van heide, schraalgraslanden en extensieve cultuurlanden. Beide soorten hebben een gedeeltelijk tot nagenoeg volledig herbivore voedselstrategie.

De verschillende behandelingen hebben in de onderzoeksperiode niet geleid tot duidelijk verschillende samenstellingen van de loopkevergemeenschap (Bijlage 6.1). Te zien is dat de monsterpunten behorende bij verschillende behandelingen in de biplot door elkaar heen verspreid in het diagram liggen. De ellipsen die de buitenste begrenzingen van de verschillende behandelingen weergeven vertonen dan ook grote overlap. Wel zijn er twee clusters van groepen onderscheidbaar, die hoofdzakelijk van elkaar worden gescheiden op de 1e ordinatie as. Nadere analyse brengt aan het licht dat dit onderscheid sterk verband houdt met de ligging van de proefvlakken, meer specifiek; of ze al dan niet in het integraal begraasde deel van de Strabrechtse Heide gelegen zijn. Dit onderscheid is weergegeven in Figuur 9.2, waar in beide plots duidelijk is dat er sprake is van twee onderscheidbare groepen met vergelijkbare gemeenschappen.

9.3.1 Interactie tussen begrazing en behandelingen op loopkever samenstelling

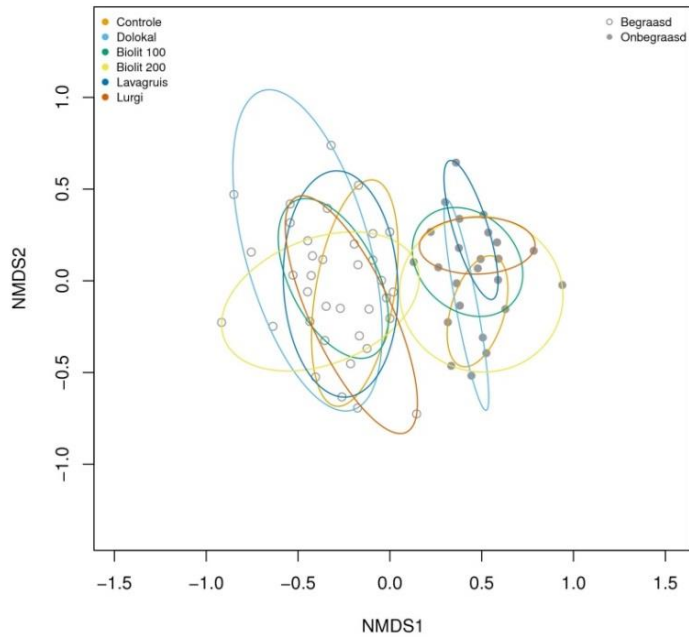
De onderste ordinatieplot in Figuur 9.2 geeft door middel van pijlen weer hoe de loopkeversamenstelling in dezelfde behandelingen verschoven is tussen beide jaren. Korte pijlen indiceren dat de samenstelling tussen beide jaren sterk vergelijkbaar zijn tussen beide jaren, lange pijlen indiceren een grotere mate van dissimilariteit in de samenstelling tussen beide monsterjaren. Wanneer verschillende pijlen van eenzelfde behandeling dezelfde richting op wijzen, indiceert dit een consistente trend in de verschuiving van de loopkeversamenstelling, de lengte van de pijlen is te beschouwen als de mate waarin de verschuiving optreedt. Uit deze ordinatieplot zijn eveneens duidelijke verschillen waarneembaar in de verschuivingen tussen de jaren in begraasde en onbegraasde plots, in interactie met de verschillende behandelingen, met name over de 2e as. Zo lijkt de verschuiving in de begraasde proefvlakken doorgaans hoger te zijn dan in de onbegraasde proefvlakken, en is de richting waarin de proefvlakken verschuiven eveneens verschillend tussen de begraasde en onbegraasde proefvlakken. Dit verschil lijkt het grootst te zijn in de met Dolokal behandelde proefvlakken, waar zowel de magnitude van verschuiving als de richting van de pijlen het sterkst van elkaar verschilt tussen de begraasde en onbegraasde proefvlakken. In Figuur 9.3 is een overzicht gegeven van de gemiddelde verschuiving en gemiddelde richting en mate van verschuiving over de beide ordinatie assen. Ten opzichte van de controle behandeling blijkt de Dolokal behandeling een significant grotere verschuiving in samenstelling te hebben gekend tussen beide onderzoeksjaren. Dit is zowel significant als naar de totale dataset gekeken wordt ($n=5$; $t=2.23$; $p=0.036$) als

wanneer naar enkel de begraasde proefvlakken gekeken wordt ($n=3$; $t=2.19$; $p=0.049$).

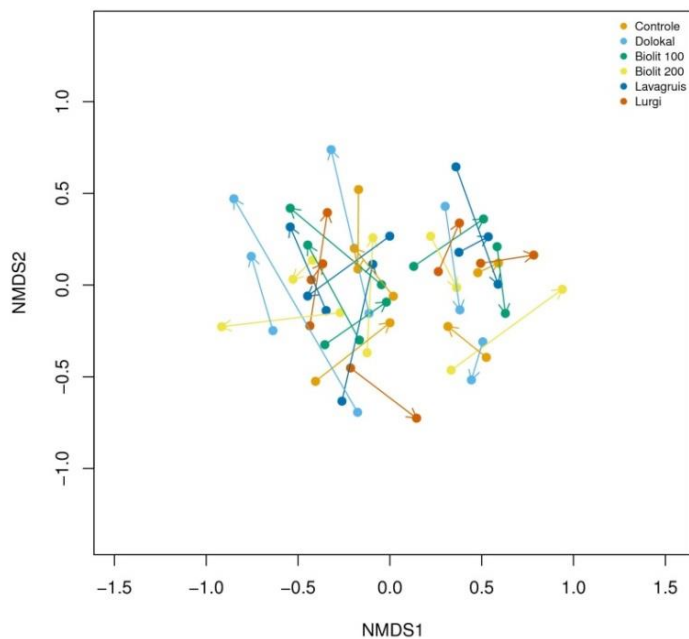
Bij de onbegraasde proefvlakken is geen significant verschil in de mate van verschuiving tussen Dolokal en controle gevonden, wat een sterke indicatie is dat er een interactie bestaat tussen begrazing en de experimentele behandelingen. Over alle proefvlakken is verder op te merken dat de verschuiving in samenstelling wat sterker was in de Dolokal, Biolit (100 μm en 200 μm) en Lavagruis ten opzichte van controle, maar deze verschillen zijn afgezien van Dolokal niet significant.

Er zijn geen significante verschillen gevonden in de mate en richting waarin de monsterpunten verschuiven over de assen, noch voor het totaal ($n=5$) noch voor de begraasde proefvlakken ($n=2$). Het lage aantal replica's maakt een statistische vergelijking tussen de begraasde en onbegraasde proefvlakken niet mogelijk. Hier zijn echter wel opvallende verschillen waarneembaar. Wanneer gekeken wordt in welke richting de monsterpunten verschuiven in het ordinatiediagram, valt op dat de verschuiving over de tweede ordinatie as het sterkst is (Figuur 9.3: onderste grafieken), en met name voor Dolokal in zowel de mate als de richting en sterk verschilt tussen de begraasde en onbegraasde onderzoeksvlakken. In mindere mate geldt dit ook voor Biolit 100 μm en Lavagruis, maar de range van de error bars geven voor deze behandelingen aan dat er grotere interne variatie bestaat binnen de behandelingen. Van de eerste as kan eveneens opgemerkt worden dat de richting waarin de monsterpunten verschuiven tussen de begraasde en onbegraasde proefvlakken tegengesteld aan elkaar zijn voor de behandelingen Dolokal, Biolit (100 μm en 200 μm) en Lavagruis, maar de mate waarin deze verschuiving optreedt is ten opzichte van de tweede as beduidend lager.

Behandelingen: begraasd vs onbegraasd

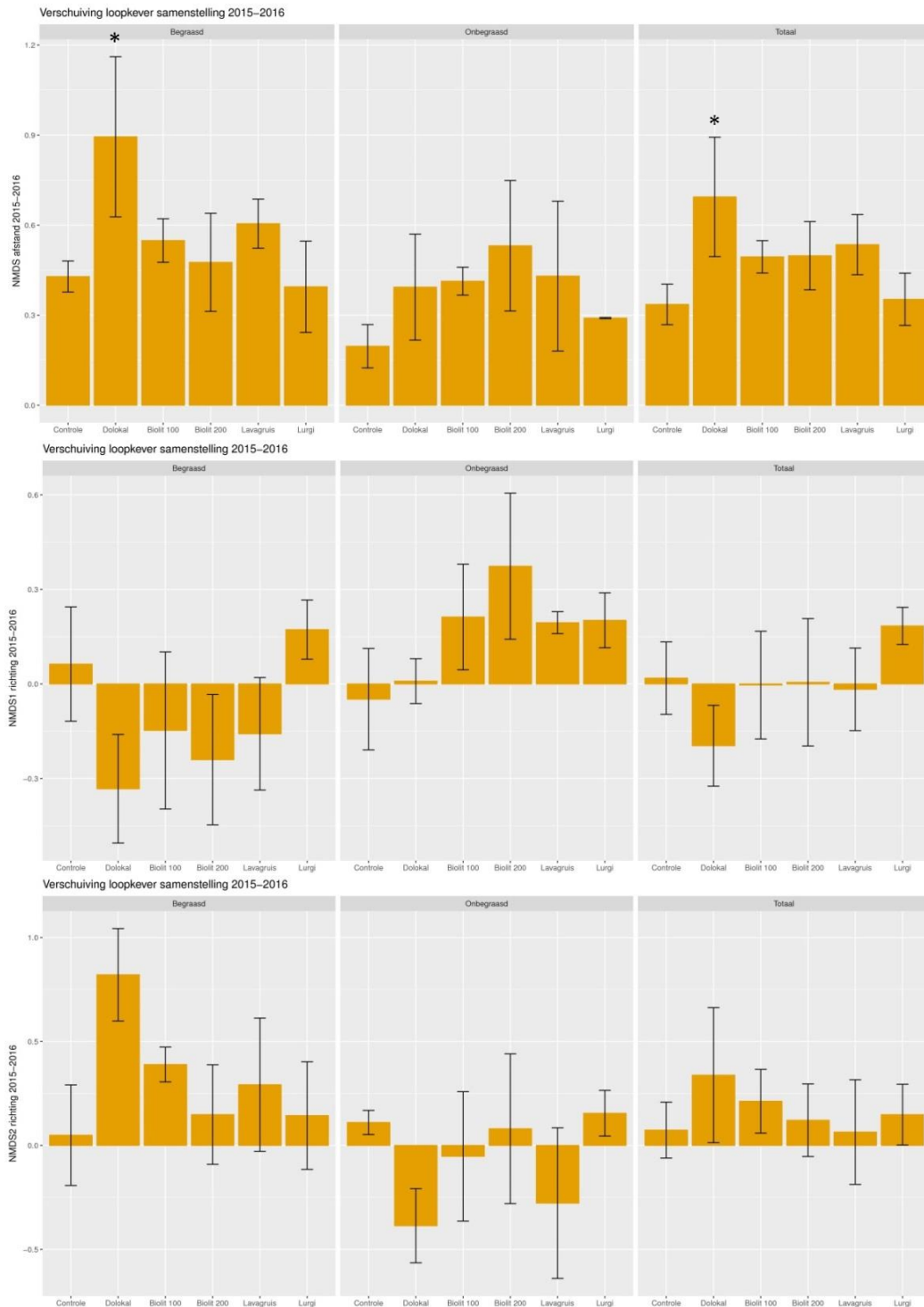


Verschuiving 2015 – 2016



Figuur 9.2. NMDS plot van de loopkevervangsten uit 2015 en 2016 van alle onderzoeksplots. Boven: plaatsing van de monsterpunten in het ordinatiediagram, uitgesplitst over proefvlakken die in het begraasde deel gelegen zijn en proefvlakken die buiten de begrazingseenheid gelegen zijn. Ellipsen geven de plaatsingsrange van de verschillende behandelingen weer. Onder: verschuivingen in het ordinatiediagram van verschillende monsterpunten tussen 2015 en 2016. Pijlen geven de verschuiving weer van 2015 naar 2016. Kleuren van de pijlen en ellipsen corresponderen met de verschillende behandelingen (zie legenda).

Figure 9.2. NMDS plot of trapped species of Carabid beetles in 2015 and 2016 in treatments. Top diagram: location of all plots in the ordination diagram, subdivided between plots situated in grazed and ungrazed dry heathland. Ellipses envelop treatment groups. Bottom diagram: shifts of plot placement between 2015 and 2016 sampling. Arrows indicate the shift between 2015 and 2016. Colors of the arrows and ellipses correspond with treatments (see legend).



Figuur 9.3. Vergelijking van de verschuiving in soortensamenstelling tussen de verschillende behandelingen, uitgesplitst over begraasde proefvlakken (linker grafieken, n=3), onbegaasde proefvlakken (middelste grafieken, n=2) en alle proefvlakken samen (rechter grafieken, n=5). Boven: verschuiving tussen beide jaren, midden: verschuiving over de 1e as van de NMDS ordinatie. Onder: verschuiving over de 2e as van de NMDS ordinatie. Let op verschillen in schaal tussen de assen. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

Figure 9.3. Comparison of species composition shift between treatments, subdivided between grazed (left graphs; n=3), ungrazed (center graphs; n=2) and all blocks (right graphs; n=5). Top graph: shift between both years over both NMDS ordination axes combined, middle graph; shift over 1st NMDS ordination axis, bottom graph: shift over 2nd NMDS ordination axis. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

Aangezien er op basis van deze analyse een interacterend effect van begrazing met de behandelingen op de samenstelling van de loopkevergemeenschap lijkt op te treden, en er over het algemeen sterkere verschuivingen optreden in de begraasde onderzoeksvlakken dan in de onbegaasde onderzoeksvlakken, zullen de verdere analyses van de loopkever gegevens zowel voor de totale dataset als voor de

begraasde onderzoeksvlakken afzonderlijk worden uitgevoerd. De resultaten met betrekking tot de onbegrasde onderzoeksvlakken zijn raadpleegbaar in bijlage 6.3.

9.4 Effecten van behandelingen op activiteit en soortenrijkdom loopkevers

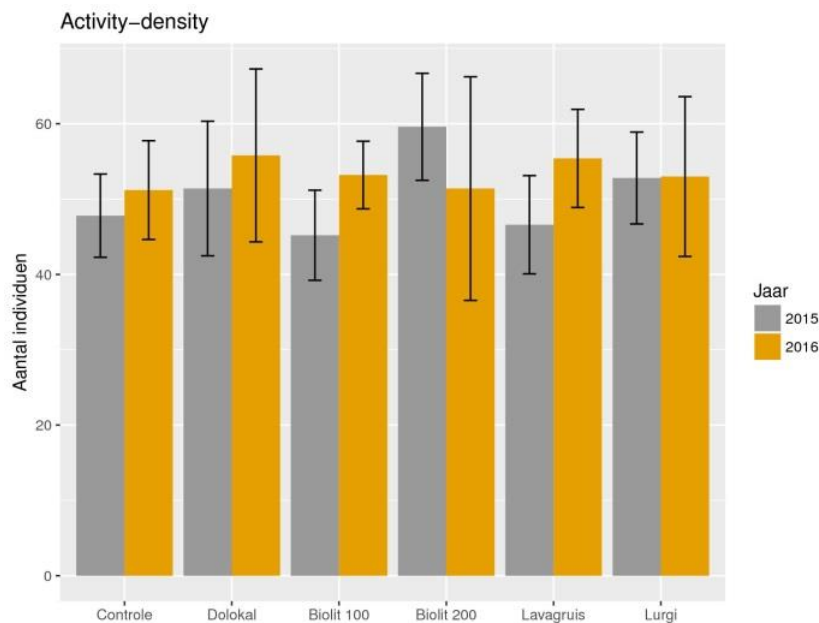
9.4.1 Totale loopkevergemeenschap

Activity-density

De Activity-density (hierna: AD) van loopkevers verschilde niet tussen controle en de verschillende steenmeel/dolokal behandelingen, in geen van beide monsterjaren (Figuur 9.4). De gemiddelde AD was het hoogst in 2015 in de Biolit 200 μm behandeling, maar dit verschil was niet significant. In geen van de behandelingen is de gemiddelde AD duidelijk lager dan in controle.

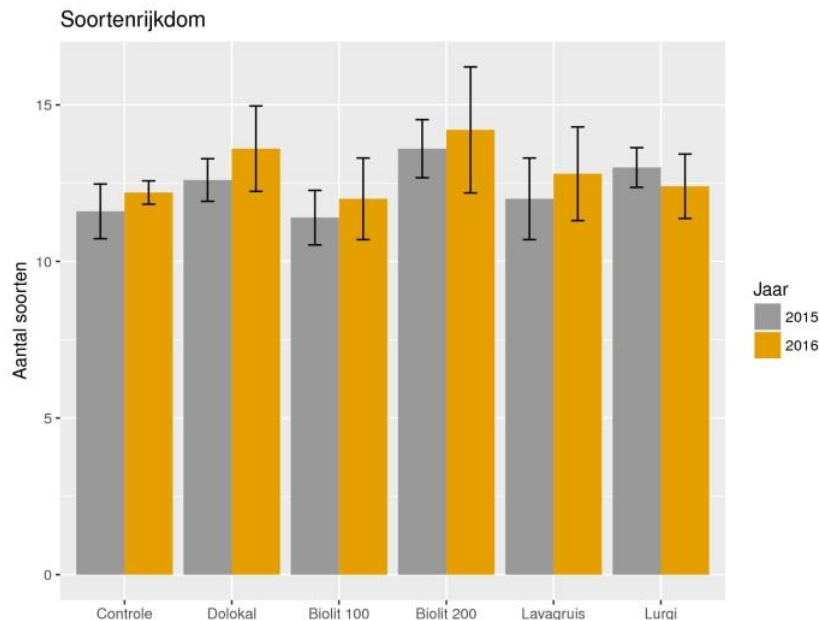
Soortenrijkdom

De soortenrijkdom van loopkevers verschilde niet tussen controle en de verschillende steenmeel/dolokal behandelingen, in geen van beide monsterjaren (Figuur 9.5). De gemiddelde Soortenrijkdom was het hoogst in zowel 2015 als 2016 in de Dolokal en Biolit 200 μm behandelingen, maar deze verschillen waren niet significant ten opzichte van de Controle. In geen van de behandelingen is de gemiddelde soortenrijkdom duidelijk lager dan in de controle.



Figuur 9.4. Gemiddelde activity-density van alle loopkevers in de verschillende behandelingen, uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

Figure 9.4. Mean activity-density of all carabid beetles in different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.



Figuur 9.5. Gemiddelde soortenrijkdom van alle loopkevers in de verschillende behandelingen, uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

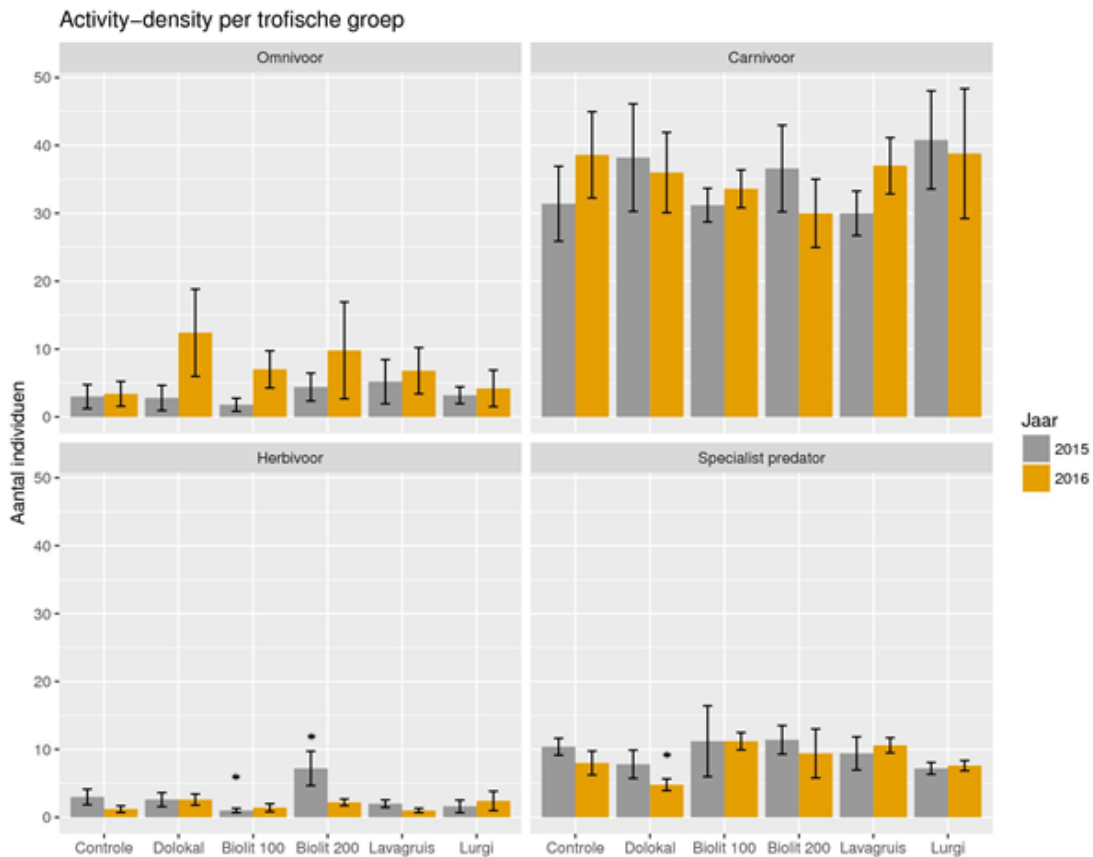
Figure 9.5. Mean species richness of all carabid beetles in different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

9.4.2 Verschillen uitgesplitst over trofische groepen

De bemonsterde loopkevers zijn onderverdeeld in omnivore, carnivore, herbivore en specialistisch predatore soorten (Figuur 9.6 en Bijlage B6.2) en vervolgens afzonderlijk getoetst op significante effecten van de behandelingen ten opzichte van controle.

Activity-density

Significante behandelingseffecten in AD zijn gevonden bij herbivore loopkevers in het eerste onderzoeksjaar, en bij specialistisch predatore soorten in het tweede onderzoeksjaar. Deze was bij herbivore loopkevers significant hoger dan Controle in de Biolit 200 μm behandeling (Poisson GLM: $z=2.85$, $p=0.004$), en significant lager in de Biolit 100 μm behandeling (Poisson GLM: $z=-2.13$, $p=0.033$). In het tweede onderzoeksjaar was de AD van herbivore loopkevers in alle behandelingen laag en niet significant verschillend van controle. Opgemerkt moet worden dat de gemiddelde AD van deze groep zeer laag is in alle behandelingen. Specialistisch predatore soorten kenden een significant lagere AD in het tweede onderzoeksjaar in de Dolokal behandelingen ten opzichte van controle (Poisson GLM: $z=-1.98$, $p<0.048$). Omnivore loopkevers vertoonden een gemiddeld hogere activiteit in het tweede onderzoeksjaar in de Biolit 100 en Biolit 200 behandelingen ten opzichte van controle, maar dit verschil was niet significant. De AD van carnivore soorten varieerde meer tussen de behandelingen, maar niet consistent tussen beide jaren en niet significant ten opzichte van controle.



Figuur 9.6. Gemiddelde activity-density van loopkevers verdeeld over trofische groepen in de verschillende behandelingen, uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

Figure 9.6. Mean activity-density of carabid beetles subdivided by trophic rank, in the different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

Soortenrijkdom

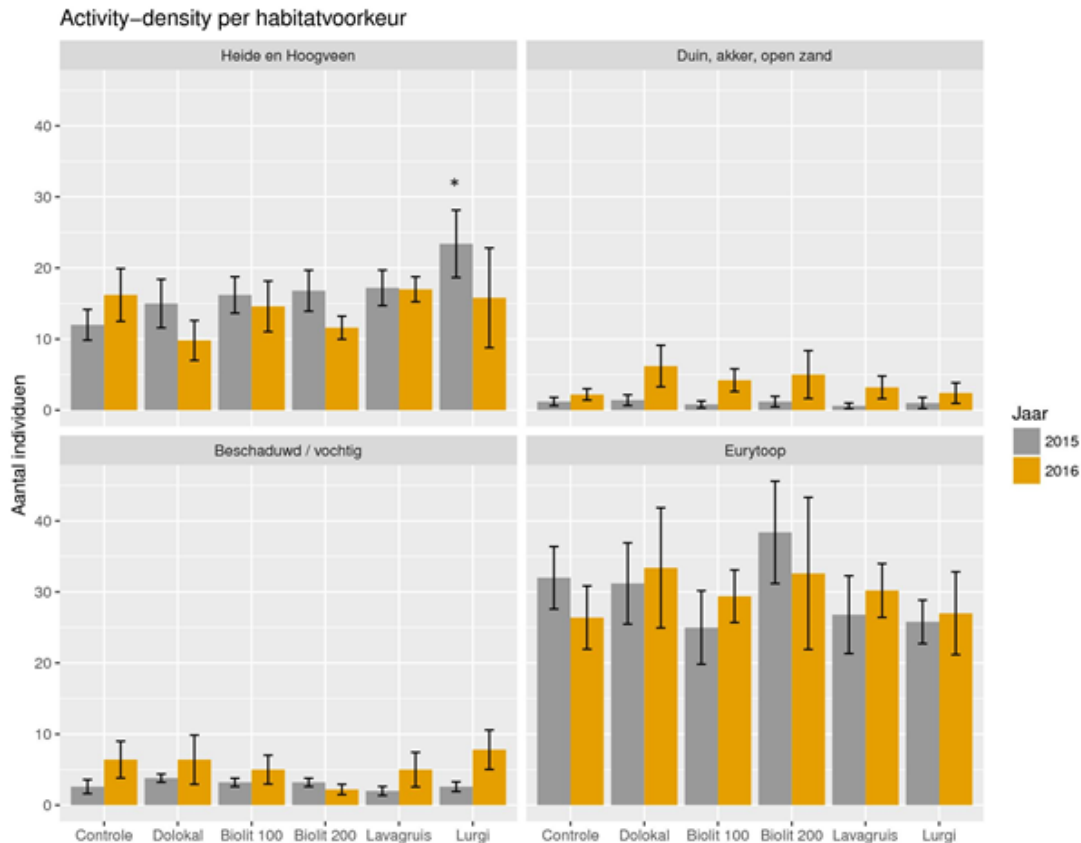
In geen van beide jaren zijn significante behandelingseffecten gevonden in soortenrijkdom van de verschillende trofische groepen (Figuur bijlage B6.2). Het aantal carnivore soorten was in het tweede onderzoeksjaar in de Biolit 100 μm behandeling gemiddeld wat lager dan in de controle, maar niet significant verschillend.

9.4.3 Verschillen uitgesplitst over habitatvoorkeur

De bemonsterde loopkevers zijn onderverdeeld op basis van habitatvoorkeur zoals beschreven in Turin (2000) (Figuur 9.7 en Bijlage B6.3) en vervolgens afzonderlijk getoetst op significante effecten van de behandelingen ten opzichte van controle.

Activity density

De AD van loopkeverssoorten die als karakteristiek van heide en hoogvenen beschouwd worden, is in het eerste monsterjaar significant hoger ten opzichte van controle in de Lurgi behandelingen (quasipoisson GLM: $z=2.50$, $p=0.020$). In het tweede onderzoeksjaar was dit effect echter niet meer aanwezig. In het tweede onderzoeksjaar was de AD in de Dolokal en Biolit 200 μm behandelingen lager dan in de controle behandelingen, maar dit verschil was niet significant. Soorten van Duin, akkers en open zand namen opvallend toe in het tweede onderzoeksjaar, met name in de Dolokal en Biolit 100 en 200 μm behandelingen, maar verschilden in het tweede onderzoeksjaar niet significant ten opzichte van de controle, door de nog steeds vrij lage gemeten AD in combinatie met de hoge interne variatie tussen verschillende proefvlakken. De AD van soorten van beschaduwde en/of vochtige habitats was in alle proefvlakken laag en werd niet significant door de behandelingen beïnvloed. De AD van eurytope soorten werd eveneens niet significant beïnvloed door de behandelingen ten opzichte van controle.



Figuur 9.7. Gemiddelde activity-density van loopkevers verdeeld over habitatvoorkeur in de verschillende behandelingen, uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

Figure 9.7. Mean activity-density of carabid beetles subdivided by habitat preference, in the different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

Soortenrijkdom

Voor geen van de op habitatvoorkeur gebaseerde groepen werd een significant behandelingseffect van de toegediende steenmelen ten opzichte van controle gevonden. Niet significante verschillen ten opzichte van controle (Figuur bijlage B6.3) zijn voor soorten van heide en hoogveen in het tweede onderzoeksjaar voor biolit 100 μm , soorten van duin, akker en open zand in de Dolokal behandeling en eurytope soorten in Biolit 100 en 200 μm behandelingen. Deze verschillen zijn in alle gevallen minimaal en betreffen vaak een gemiddelde toename van 1-2 soorten als gevolg van een behandeling. Wat opvalt is dat deze kleine verschuivingen in soortenrijkdom allemaal in het tweede onderzoeksjaar optreden, en niet in het eerste onderzoeksjaar.

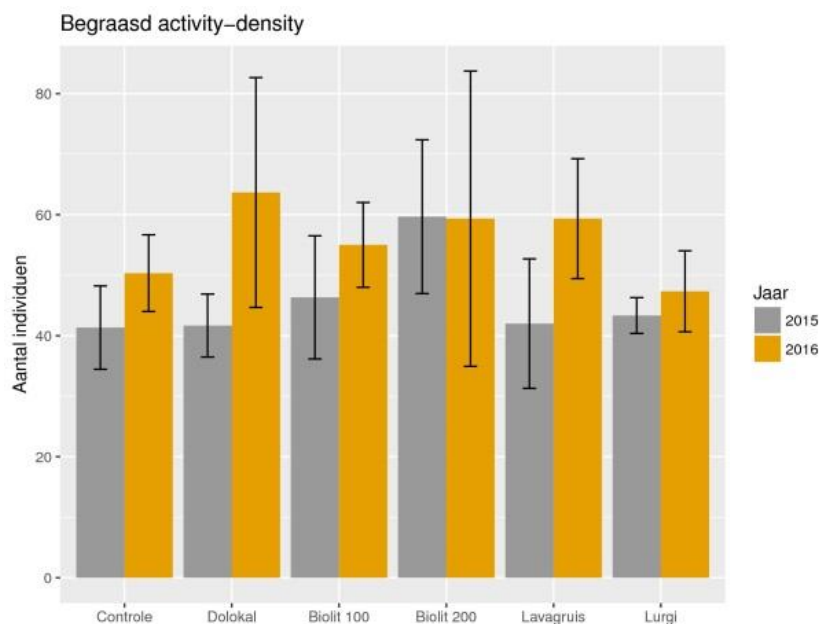
9.5 Interactie met begrazing

Aangezien in de ordinatie analyse positionele trends zijn gevonden in de verschuivingen in samenstelling tussen onderzoeksvlakken in begraasde en niet begraasde terreindelen, zijn de analyses eveneens uitgevoerd op de onderzoeksvlakken die in begrazing zijn opgenomen (n=3). Voor de niet-begraasde onderzoeksvlakken was een zinnige statistische analyse niet mogelijk en hier niet in detail beschreven. Wanneer relevant wordt in de tekst verwezen naar verschillen, voor overzichtsfiguren wordt verwezen naar bijlage 6.3.

9.5.1 Verschillen uitgesplitst over habitatvoorkeur

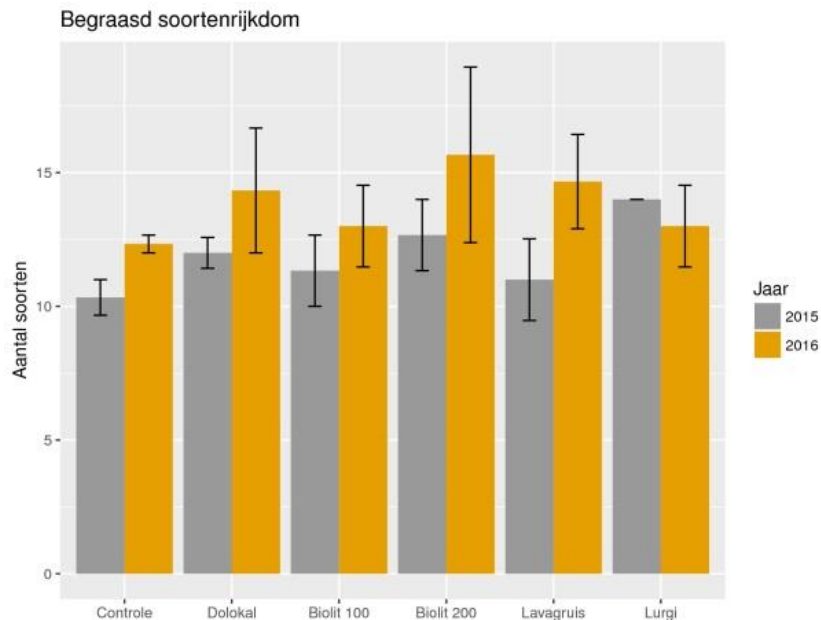
Activity-density

De AD van loopkevers verschilde niet tussen controle en de verschillende steenmeel/dolokal behandelingen in de begraasde vlakken, in geen van beide monsterjaren (Figuur 9.8). De gemiddelde AD was in de Dolokal, Biolit 100 en 200 μm wat hoger dan controle, maar deze verschillen waren niet significant. In geen van de behandelingen is de gemiddelde AD duidelijk lager dan in controle.



Figuur 9.8. Gemiddelde activity-density van alle loopkevers in de behandelingen van enkel de begraasde proefvlakken (n=3), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure 9.8. Mean activity-density of all carabid beetles in grazed blocks only (n=3), in the different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.



Figuur 9.9. Gemiddelde soortenrijkdom van alle loopkevers in de behandelingen van enkel de begraasde proefvlakken (n=3), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure 9.9. Mean species richness of all carabid beetles in grazed blocks only (n=3), in the different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

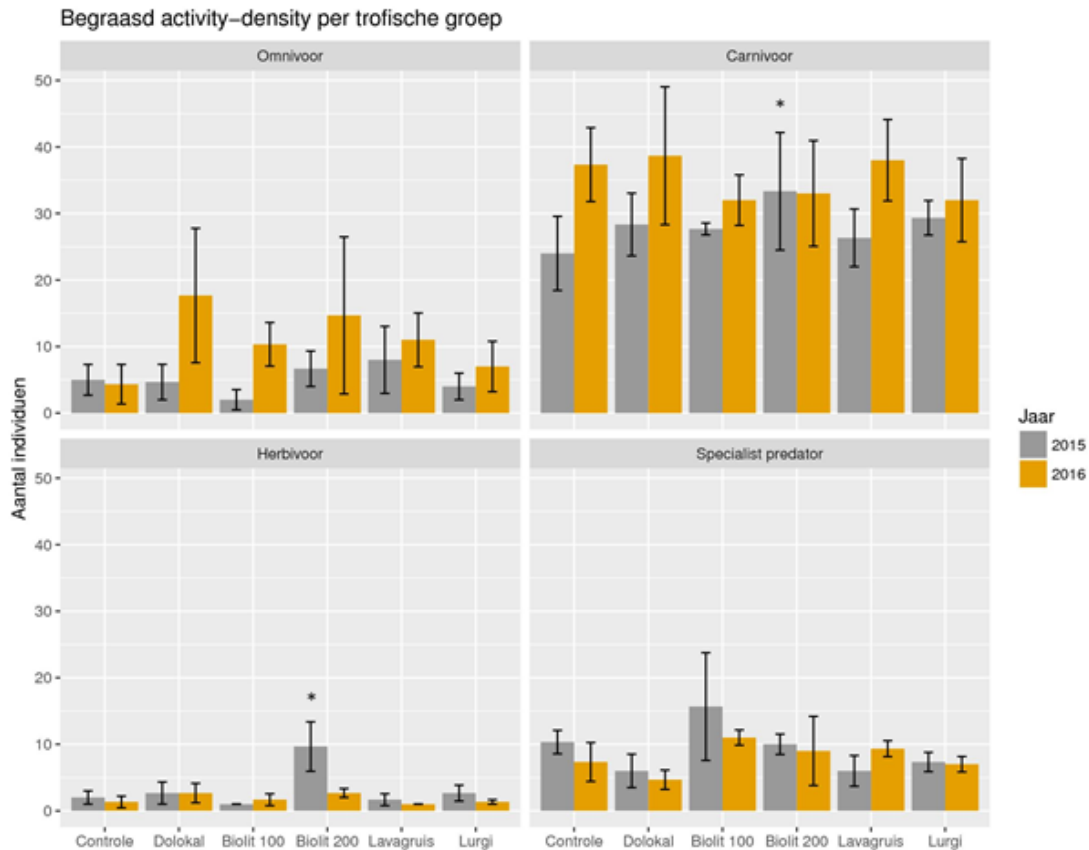
Soortenrijkdom

De soortenrijkdom van loopkevers verschilde niet tussen controle en de verschillende steenmeel/dolokal behandelingen in de begraasde vlakken, in geen van beide monsterjaren (Figuur 9.9). De gemiddelde soortenrijkdom was het hoogst in 2016 in de Dolokal en Biolit 200 μm behandelingen, maar deze verschillen waren niet significant ten opzichte van de Controle. In geen van de behandelingen of onderzoeksjaren is de gemiddelde soortenrijkdom duidelijk lager dan in de controle.

9.5.2 Verschillen uitgesplitst over trofische groepen

Activity density

De gemiddelde AD van omnivore loopkevers was in het tweede onderzoeksjaar in de begraasde proefvlakken wat hoger ten opzichte van controle in de Dolokal en Biolit 200 μm behandelingen, maar niet significant verschillend (Figuur 9.10). Carnivore loopkevers kenden een significant hogere AD in de biolit 200 μm behandeling, maar alleen in het eerste onderzoeksjaar (Poisson GLM: $z=2.13$; $p=0.034$). Ook moet opgemerkt worden dat de verschillen in AD van carnivore loopkevers in de controle plot vrij sterk verschilde tussen beide onderzoeksjaren. De AD van herbivore loopkevers was eveneens hoger in de Biolit 200 μm behandeling, maar alleen in het eerste onderzoeksjaar. Specialistisch predatore soorten verschilden niet significant ten opzichte van controle in AD in geen van de behandelingen.

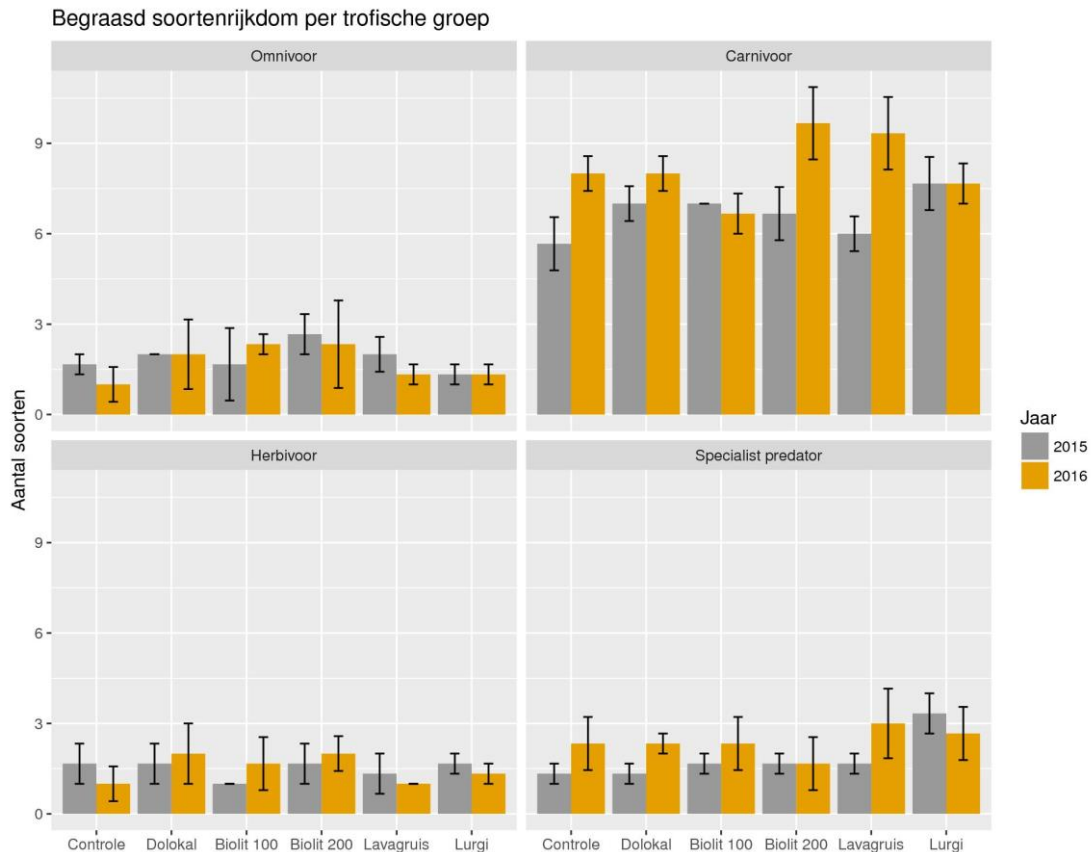


Figuur 9.10. Gemiddelde activity-density van loopkevers verdeeld over trofische groepen in de verschillende behandelingen van enkel de begraasde proefvlakken (n=3), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

Figure 9.10. Mean activity-density of all carabid beetles subdivided by trophic rank in grazed blocks only (n=3), in the different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

Soortenrijkdom

In geen van beide onderzoeksjaren zijn significante behandelingseffecten gevonden op de soortenrijkdom van de verschillende trofische groepen in de begraasde proefvlakken (Figuur 9.11). De soortenrijkdom van carnivore loopkevers was wat hoger in het tweede onderzoeksjaar in de Biolit 200 μ m en Lavagruis behandelingen, maar verschilde niet significant ten opzichte van controle.



Figuur 9.11. Gemiddelde soortenrijkdom van loopkevers verdeeld over trofische groepen in de verschillende behandelingen van enkel de begraasde proefvlakken (n=3), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure 9.11. Mean species richness of all carabid beetles subdivided by trophic rank in grazed blocks only (n=3), in the different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

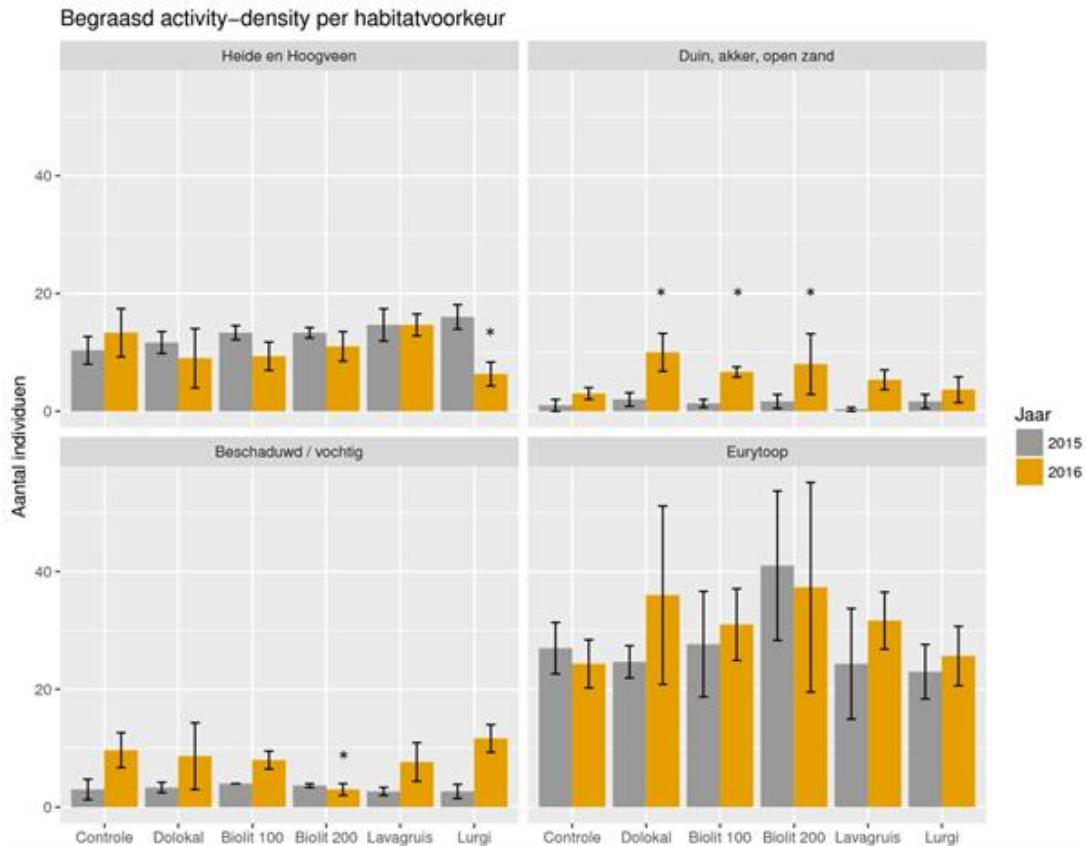
9.5.3 Verschillen uitgesplitst over habitatvoorkeur

Activity-density

De AD van karakteristieke loopkevers van heide en hoogveen was in het tweede onderzoeksjaar in de Lurgi-behandelingen in de begraasde proefvlakken significant lager dan in de controle (Figuur 9.12: Poisson GLM; $z=-2.67$, $p=0.008$).

Opmerkelijk genoeg was deze in het eerste onderzoeksjaar nog near-significant hoger in dezelfde behandeling (poisson GLM: $z=1.898$; $p=0.058$) ten opzichte van controle. In de niet- begraasde proefvlakken is de AD van heidekarakteristieke loopkevers eveneens hoger in de Lurgi behandelingen ten opzichte van de controle, en daar zijn met name lagere AD's gevonden bij de Dolokal en Biolit 200 μm behandelingen (Figuur bijlage B6.8). In de begraasde onderzoeksvlakken is de AD van heidekarakteristieke loopkevers in deze behandelingen ook wat lager ten opzichte van controle, maar niet significant verschillend. Soorten van Duinen, akkers en open zand hebben in de Dolokal, Biolit 100 en 200 μm significant hogere AD ten opzichte van controle in het tweede onderzoeksjaar (Poisson GLM: resp. voor Dolokal; Biolit 100; Biolit200; $z=1.989$; 2,509; 3.168 ; $p=0.047$;0.012;0.002). Dit in contrast met de niet begraasde onderzoeksvlakken, waar de AD van deze groep loopkevers in beide onderzoeksjaren zeer laag was (Figuur bijlage B6.8).

Soorten van beschaduwde en vochtige terreinen namen kenden een significant lagere AD in de Biolit 200 μm behandeling ten opzichte van controle in het tweede onderzoeksjaar (Poisson GLM: $z= -3.07$; $p=0.002$), Eurytope soorten verschilden niet significant tussen de controle en behandelingen de onderzoeksjaren, daar waar de gemiddelde AD hoger is voor deze groepen (Dolokal, Biolit 200 μm), is de spreiding tussen de verschillende replica's eveneens hoog.

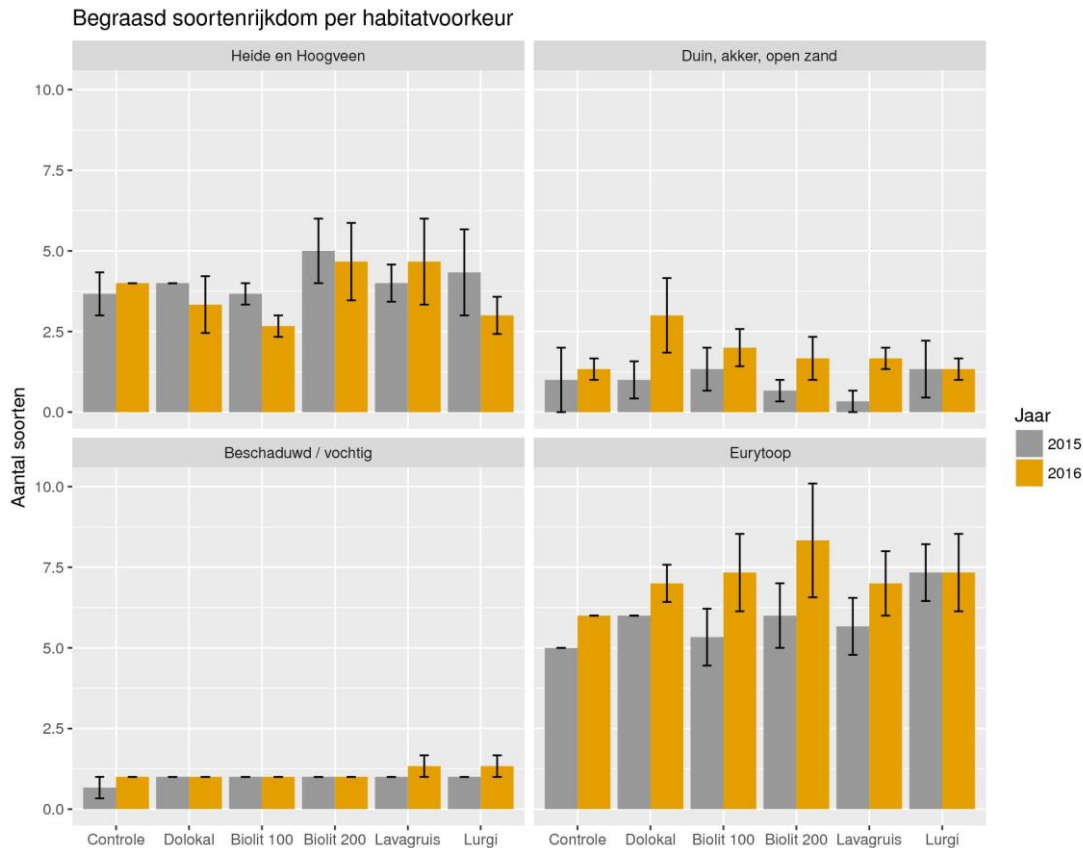


Figuur 9.12. Gemiddelde activity-density van loopkevers verdeeld over habitatvoorkeur in de verschillende behandelingen van enkel de begraasde proefvlakken (n=3), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

Figure 9.12. Mean activity-density of all carabid beetles subdivided by habitat preference in grazed blocks only (n=3), in the different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

Soortenrijkdom

In geen van beide onderzoeksjaren zijn significante behandelingseffecten gevonden op de soortenrijkdom van de verschillende habitatvoorkeur groepen in de begraasde proefvlakken (Figuur 9.13). Min of meer in lijn met verschillen in AD (Figuur 9.13) van soorten van duin, akker en open zand, is de soortenrijkdom van deze groep wat hoger in de Dolokal behandelingen dan controle in het tweede onderzoeksjaar, maar niet significant verschillend. Van de onbegraasde proefvlakken (Figuur bijlage B6.9) is op te merken dat de soortenrijkdom van heide karakteristieke soorten in de Biolit 100, 200 en Lavagruis behandelingen in het tweede onderzoeksjaar gemiddeld wat lager is dan controle, en van eurytope soorten wat hoger, maar gezien het lage aantal replica's (n=2) is dit niet zinvol te toetsen op significantie.

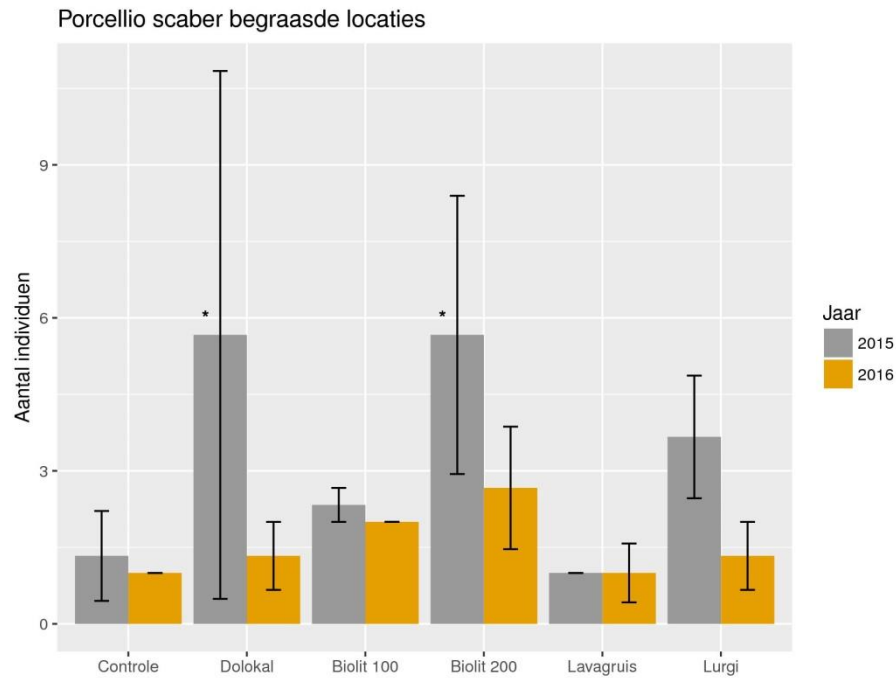


Figuur 9.13. Gemiddelde soortenrijkdom van loopkevers verdeeld over habitatvoorkeur in de verschillende behandelingen van enkel de begraasde proefvlakken (n=3), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

Figure 9.13. Mean species richness of all carabid beetles subdivided by habitat preference in grazed blocks only (n=3), in the different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

9.6 Pissebedden

In de potvallen is slechts 1 soort aangetroffen, de zeer algemene en zeer eurytope soort *Porcellio scaber*. Deze soort is erg tolerant tegen droogte en heeft van de Nederlandse landpissebedden de breedste ecologische amplitude met betrekking tot onder meer vocht- en kalkgehalte (Berg *et al.*, 2008). Toch lijkt deze soort op de Strabrechtse Heide echt aan de grenzen van haar ecologische niche te leven, gezien het lage aantal vangsten in de potvallen (2015: 59, 2018: 28; totaal: 87 exemplaren). In de niet begraasde proefvlakken is zij zelfs in het geheel niet aangetroffen. Met weglating van deze proefvlakken in de analyses (een Figuur met de totale proefopzet als dataset is raadpleegbaar in bijlage B6.10) bleek de soort in 2015 in significant hogere aantallen bemonsterd in de Dolokal en Biolit 200 μm behandelingen ten opzichte van controle (Figuur 9.14: Poisson GLM: $z = 1.976$; $p = 0.0482$ voor beide behandelingen), maar in beide behandelingen is de spreiding erg hoog, wat dit weliswaar significante effect enigszins triviaal maakt. Het aantal bemonsterde individuen in de Biolit 100 μm en Lurgi behandelingen was in 2015 eveneens hoger dan controle, maar niet significant verschillend. In 2016 waren er geen significante verschillen meer in aantal aangetroffen individuen tussen controle en de behandelingen, zij het dat deze in de Biolit 200 μm behandeling nog wat hoger was dan in de controle.



Figuur 9.14. Gemiddeld aantal bemonsterde individuen van *Porcellio scaber* in de verschillende behandelingen van enkel de begraasde proefvlakken (n=3), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

Figure 9.14. Mean number of trapped *Porcellio scaber* individuals in different treatments in the grazed blocks only, in the different treatments per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E. * significantly different from control.

9.7 Rupsen en overige vegetatiebewonende fauna

De totale vangsthoeveelheid en bijgevolg totale biomassa die in de sleepnetten is aangetroffen bleek sterk te verschillen tussen de verschillende bemonsteringsmomenten (Tabel 9.1). Gemiddeld is in de sleepnetten 0.20 gram rupsen en 0.07 gram overige ongewervelden aangetroffen, maar de gemiddelden per bemonsteringsronden maken duidelijk dat er grote verschillen zijn tussen de bemonsteringsperioden (voorjaar versus najaar), maar ook tussen de bemonsteringsjaren (2015 vs. 2016). Met name de biomassa van rupsen verschilt sterk, met een tienmaal hogere gemiddelde biomassa in het voorjaar van 2016 ten opzichte van het voorjaar van 2015. Dit enorme verschil is toe te schrijven aan het feit dat 2016 een uitzonderlijk goed jaar bleek te zijn voor de Bruine metaalvlinder (*Rhagades pruni*), een soort die als rups met name Struikhei (*Calluna vulgaris*) als waardplant heeft. *Rhagades pruni* kent, net als de heidekever (*Lochmaea suturalis*), grote fluctuaties in dichtheden tussen verschillende jaren. Voor de analyse is gekozen om voor zowel rupsen als overige fauna de bemonsteringsperioden afzonderlijk van elkaar te analyseren.

Tabel 9.1. Overzicht van gemiddelde biomassa (± 1 S.E.) van rupsen en overige fauna in de sleepnetten, over alle bemonsteringen (Totaal) en van alle bemonsteringsmomenten afzonderlijk.

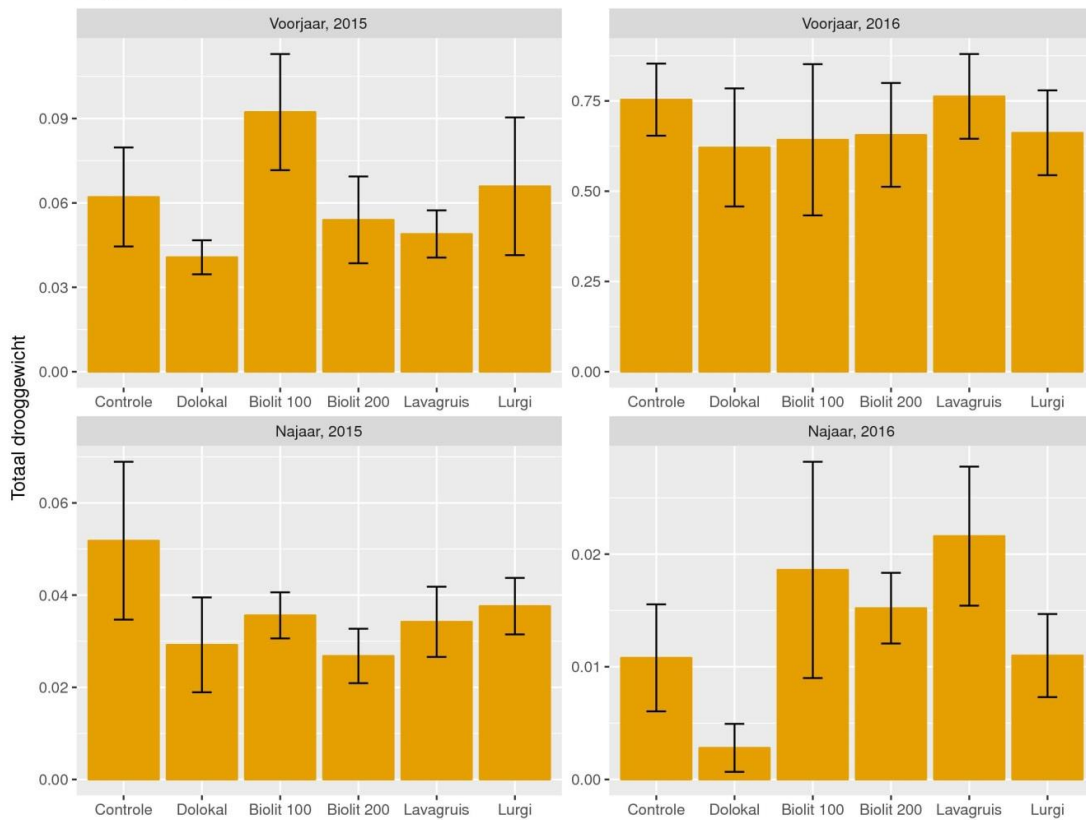
Table 9.1. Summary of mean biomass (± 1 S.E.) of caterpillars and other fauna in sweep nets over all sampling events (Totaal) and separated by sampling event. Voorjaar = Spring, Najaar = Autumn, Gemiddelde = Mean, Rupsen = Caterpillars, Overige fauna = Other fauna.

		Gemiddelde	SE
Rupsen	Totaal	0.198	0.029
	Voorjaar 2015	0.061	0.007
	Voorjaar 2016	0.683	0.055
	Najaar 2015	0.036	0.004
	Najaar 2016	0.013	0.002
Overige fauna	Totaal	0.068	0.004
	Voorjaar 2015	0.058	0.004
	Voorjaar 2016	0.035	0.003
	Najaar 2015	0.124	0.007
	Najaar 2016	0.054	0.005

9.7.1 Behandelingseffecten

De biomassa van rupsen (Figuur 9.15) en overige fauna (Figuur 9.16) die in de sleepnetten is aangetroffen verschilde niet significant tussen de verschillende behandelingen en de controle. Gemiddeld genomen lijkt er bij de rupsen in het voorjaar van 2016 sprake te zijn van wat lagere biomassa bij de Dolokal en Biolit 100 en 200 μm behandelingen, maar de spreiding is in deze behandelingen ook hoger dan bij de controle behandeling en Lavagruis en Lurgi behandelingen. In het najaar van 2015 is de rupsen biomassa gemiddeld wat hoger dan in de andere behandelingen, maar niet significant verschillend (near-significant in de Biolit 200 μm behandeling; $p=0.08$). In het najaar van 2016 is de totale biomassa van rupsen gemiddeld erg laag, verschillen in biomassa worden hier erg sterk uitvergroot door verschillen in aantallen bemonsterde rupsen (1 versus enkele). Voor de overige groepen is het beeld nagenoeg hetzelfde: doorgaans wat lagere biomassa in de Dolokal en Biolit 100 en 200 μm behandelingen, maar ook een grotere spreiding bij deze behandelingen.

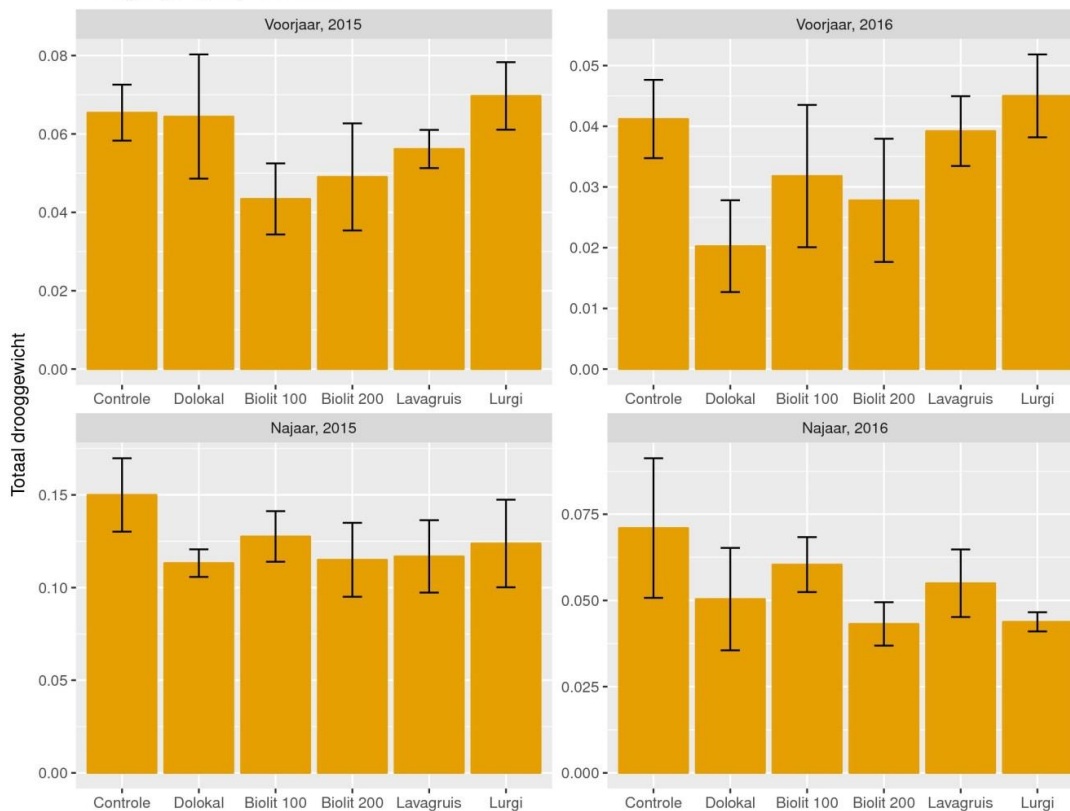
Rupsen biomassa



Figuur 9.15. Gemiddelde biomassa van rupsen in sleepnetmonsters in de verschillende behandelingen (n=5), per bemonsteringsmoment (voorjaar/najaar, 2015/2016). Let op de verschillen in schaal van de y-as per grafiek. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure 9.15. Mean biomass of caterpillars in sweep net samples in different treatments (n=5) per sampling event (spring, autumn, 2015, 2016). Note that y-axes differ in scale. Error bars indicate ± 1 S.E. For Dutch-English translations, see the Table 9.1 caption.

Overige groepen, biomassa



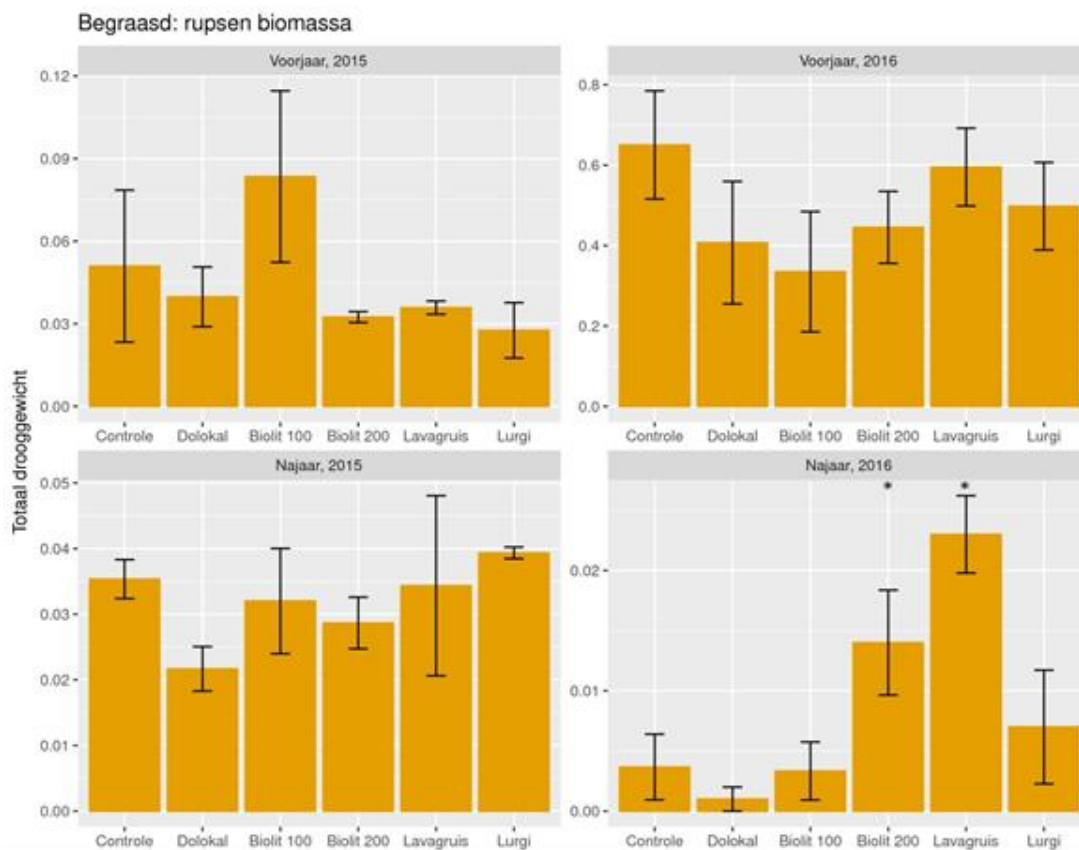
Figuur 9.16. Gemiddelde biomassa van overige ongewervelde groepen in sleepnetmonsters in de verschillende behandelingen (n=5), per bemonsteringsmoment (voorjaar/najaar, 2015/2016). Let op de verschillen in schaal van de y-as per grafiek. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure 9.16. Mean biomass of other invertebrates in sweep net samples in different treatments (n=5) per sampling event (spring, autumn, 2015, 2016). Note that y-axes differ in scale. Error bars indicate ± 1 S.E. For Dutch-English translations, see the Table 9.1 caption.

9.7.2 Verschillen tussen begraasde en onbegraasde proefvlakken

De wat grotere spreiding en doorgaans wat lagere gemiddelde dichtheden in de Dolokal en Biolit behandelingen geven aanleiding om aan te nemen dat er net als bij de loopkevers en pissebedden een interactie bestaat tussen begrazing en deze behandelingen. Om deze reden zijn de gegevens eveneens uitgesplitst in de begraasde (n=3; figuren in dit hoofdstuk) en onbegraasde proefvlakken (n=2; figuren raadpleegbaar in bijlage 6.5), om zodoende inzicht te krijgen in het (interacterende) effect van begrazing op de uitkomsten.

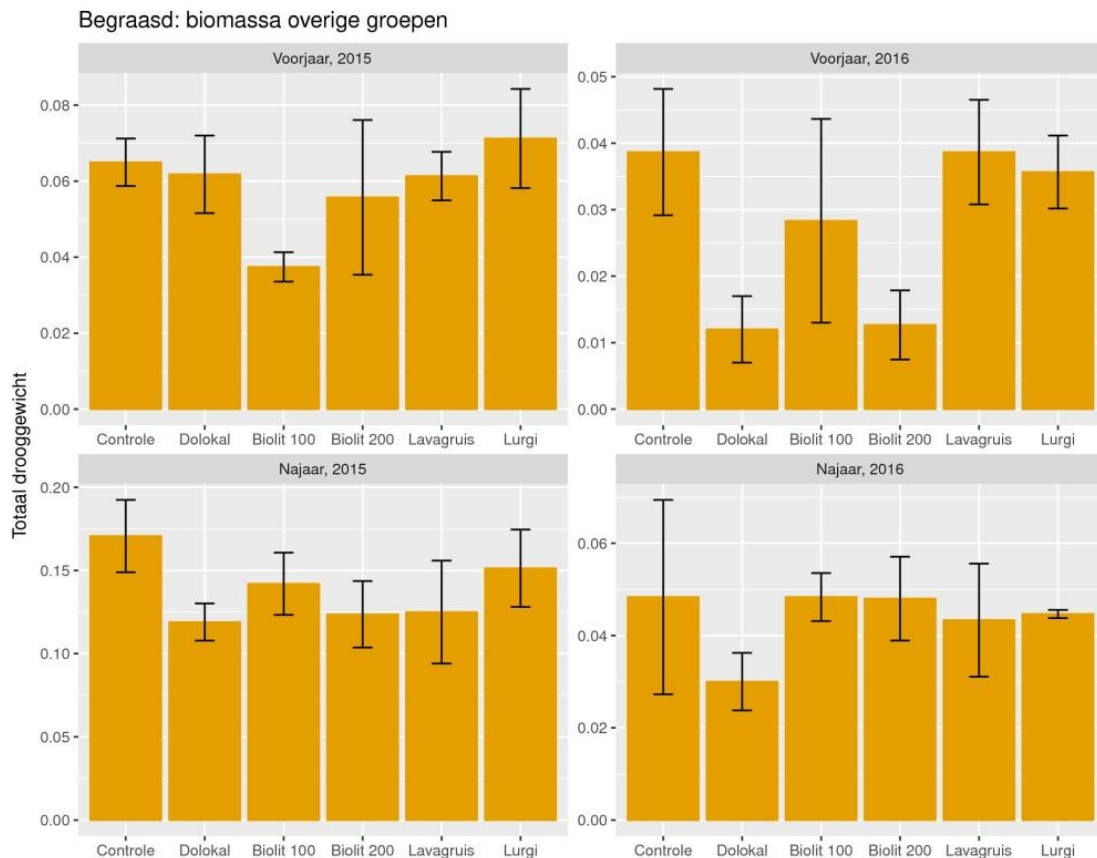
De biomassa van rupsen lijkt uit deze analyse inderdaad mede te worden beïnvloed door begrazing. In de begraasde proefvlakken (Figuur 9.17) is in het voorjaar van 2016 een lagere biomassa van rupsen in de Dolokal en Biolit 100 en 200 μm behandelingen, in de onbegraasde proefvlakken (Figuur bijlage B6.11) is dit niet het geval; hier is de biomassa gemiddeld even hoog of zelfs wat hoger. Overigens moet vermeld worden dat voor het voorjaar van 2016 geen significante behandelingseffecten voor de begraasde behandelingen zijn gevonden. In het najaar van 2016 is de biomassa van rupsen wel significant hoger in de Biolit 200 μm en Lavagruis (Biolit 200 μm : $t=2.21$, $p=0.047$; Lavagruis: $t=4.13$, $p=0.001$) behandelingen, maar aan dit effect moet gezien de algeheel erg lage dichtheden en bijgevolg ook biomassa in deze bemonsteringsronde, weinig waarde worden gehecht, zeker wanneer naar de effecten in de onbegraasde proefvlakken wordt gekeken (Figuur bijlage B6.11; in het geheel niet consistent).



Figuur 9.17. Gemiddelde biomassa van rupsen in sleepnetmonsters in de verschillende behandelingen van enkel de begraasde proefvlakken (n=3), per bemonsteringsmoment (voorjaar/najaar, 2015/2016). Let op de verschillen in schaal van de y-as per grafiek. Error bars geven ± 1 S.E. weer. *: significant verschillend ten opzichte van controle.

Figure 9.17. Mean biomass of caterpillars in sweep net samples in different treatments of grazed blocks (n=3) only per sampling event (spring, autumn, 2015, 2016). Note that y-axes differ in scale. Error bars indicate ± 1 S.E. *: significantly different from control. For Dutch-English translations, see the Table 9.1 caption.

De biomassa van overige ongewervelden laat een minder consistent beeld zien dan rupsen en is voor zowel de begraasde (Figuur 9.18) als onbegraasde proefvlakken (Figuur bijlage B6.12) nergens significant afwijkend ten opzichte van de controle. Toch is ook hier op te merken dat als de gemiddelde biomassa lager is dan die van de controle, dit meestal in de begraasde proefvlakken optreedt, en wel bij de Dolokal en Biolit 100 en 200 μm behandelingen. Voor het voorjaar van 2016 zijn deze verschillen near-significant verschillend ten opzichte van controle bij de Dolokal ($t=-1.86$, $p=0.09$) en Biolit 200 μm ($t=-2.03$; $p=0.07$) behandelingen. In de onbegraasde proefvlakken zijn er doorgaans geen duidelijke toe- of afnamen ten opzichte van controle waargenomen, behalve bij de najaarsbemonstering van 2016; waar deze gemiddeld lager zijn in de Lurgi en Biolit 200 μm behandelingen. In de najaarsbemonstering van 2015 was dit verschil met controle echter nauwelijks aanwezig.



Figuur 9.18. Gemiddelde biomassa van overige ongewervelde groepen in sleepnetmonsters in de verschillende behandelingen van enkel de begraasde proefvlakken (n=3), per bemonsteringsmoment (voorjaar/najaar, 2015/2016). Let op de verschillen in schaal van de y-as per grafiek. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

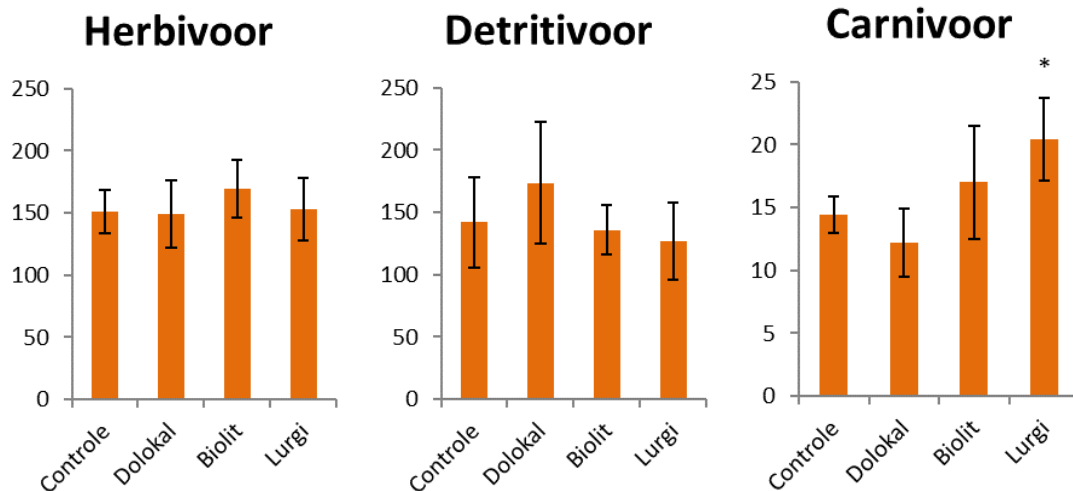
Figure 9.18. Mean biomass of other invertebrates in sweep net samples in different treatments of grazed blocks (n=3) only per sampling event (spring, autumn, 2015, 2016). Note that y-axes differ in scale. Error bars indicate ± 1 S.E. For Dutch-English translations, see the Table 9.1 caption.

9.8 Nationaal Park de Hoge Veluwe: Tweevleugeligen

In totaal zijn 12037 individuen bemonsterd, verdeeld over 38 families (voor een totaal overzicht, zie Bijlage tabel B6.1 en B6.2). Het totaal aantal bemonsterde individuen in de droge heide proef was met 7576 individuen beduidend hoger dan in de natte heide proef (totaal 4461 individuen). Mogelijk is dit het gevolg van historisch plagbeheer in de natte heide proef, of een gevolg van verschillen in vegetatiesamenstelling en/of -bedekking. De families die in de hoogste aantallen zijn aangetroffen zijn voor de groep van herbivoren de galmuggen (Cecidomiidae; 4859 individuen), bij detritivoren de rouwmuggen (Sciaridae; 3584 individuen) en bij de carnivoren de dansvliegen (Empididae; 230 individuen).

9.8.1 Droge heide

Bij carnivore Diptera werd een significant effect bij Lurgi-behandeling gevonden bij poisson GLM (Figuur 9.19: poisson GLM: $Z=2.263$, $p=0.024$). De mate van overdispersie was echter relatief hoog, en op de grens van significante overdispersie (dispersie parameter=2.49), waardoor dit weliswaar significante effect met enige reserve moet worden beoordeeld. Het gemiddeld aantal herbivoren en detritivoren in de verschillende behandelingen week nauwelijks af van het gemiddelde in de controle behandelingen, dus geconcludeerd mag worden dat de toediening van steenmeel noch kalk een effect heeft gehad op deze groepen over de onderzochte periode.

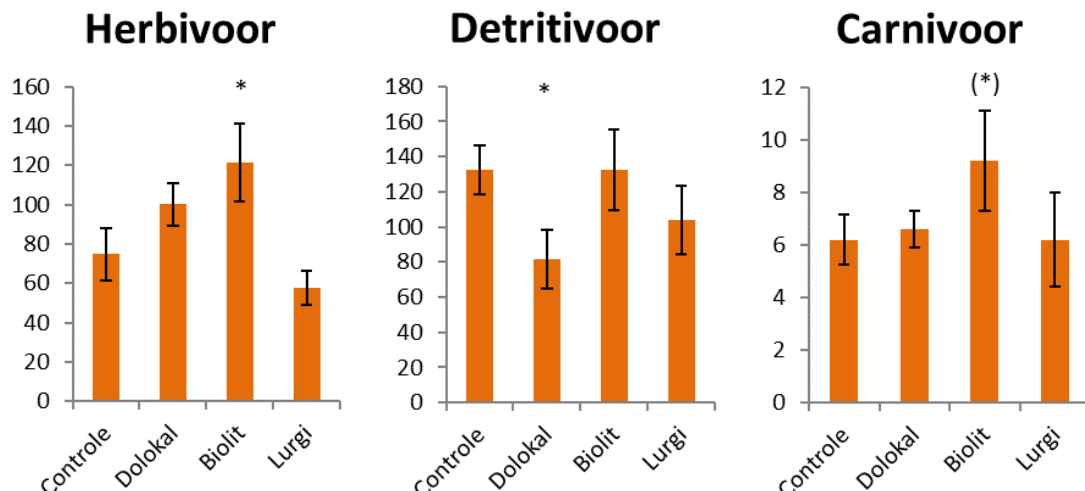


Figuur 9.19. Gemiddeld (± 1 S.E.) aantal bemonsterde Diptera in het droge heide experiment ($n=5$) in de vier behandelingen, onderverdeeld over trofische groepen. *: significant verschil ($p<0.05$) ten opzichte van controle.

Figure 9.19. Mean (± 1 S.E.) number of trapped Diptera at the dry heath experiment ($n=5$) in the four different treatments, classified by trophic status. *: significantly different from control ($p<0.05$).

9.8.2 Droge heide

In de natte heide proef werd een significant positief effect van Biolit toediening ten opzichte van controle gevonden bij herbivore Diptera (Figuur 9.20: negative binomial GLM: $Z=2.48$, $p<0.05$). Bij carnivore Diptera was een positieve trend waarneembaar (poisson GLM: $Z=1.70$; $p=0.09$), maar de variatie in de respons was hier relatief hoog. Dolokal additie had een significant negatief effect (Negative binomial GLM: $Z=-2.18$, $p<0.05$) op het aantal bemonsterde detritivore individuen. Het effect van steenmeel op herbivoren is echter ook niet als eenduidig positief te beschouwen, aangezien er bij de Lurgi-behandelingen geen significante toename in dichtheden is gevonden.



Figuur 9.20. Gemiddeld (± 1 S.E.) aantal bemonsterde Diptera in het natte heide experiment (n=5) in de vier behandelingen, onderverdeeld over trofische groepen. *: significant verschil (P<0.05) ten opzichte van controle. (*): significante trend (p<0.1).

Figure 9.20. Mean (± 1 S.E.) number of trapped Diptera at the wet heath experiment (n=5) in the four different treatments, classified by trophic status. *: significantly different from control (p<0.05). (*): near-significant trend (p<0.1).

9.9 Conclusies

Per soortgroep

Loopkevers (Strabrechtse Heide)

- De samenstelling van de loopkevergemeenschap verschilde niet tussen de verschillende behandelingen en evenmin tussen de controle behandeling en steenmeelbehandelingen.
- Wel was een duidelijk verschil in algehele soortensamenstelling van de loopkevergemeenschap waarneembaar tussen proefvlakken gelegen in het integraal begraasde deel van de Strabrechtse heide en proefvelden gelegen in het niet in begrazing opgenomen deel van de Strabrechtse heide.
- De verschuiving in de loopkevergemeenschap tussen beide onderzoeksjaren was gemiddeld wat hoger in de steenmeel behandelde onderzoeksvlakken
- Deze verschuiving was in de begraasde proefvlakken groter dan in de niet begraasde proefvlakken;
 - o De verschuivingsrichting in samenstelling van de begraasde en onbegraasde proefvlakken was tegenovergesteld aan elkaar;
 - o De verschuiving in de Dolokal behandeling in de begraasde proefvlakken was significant groter dan de controle behandeling in dezelfde proefvlakken
- Als gevolg van de verschillende samenstelling en/of ontwikkelingsrichting van de loopkeversamenstelling tussen begraasde en onbegraasde proefvlakken zijn behandelingseffecten moeilijk statistisch interpreteerbaar, doordat deze verschillen leiden tot een verhoging in de spreiding van de toetsingsvariabelen.
 - o De behandelingen leidden niet tot significante verschillen in activiteit of soortenrijkdom ten opzichte van controle; noch in de totale proefopzet als enkel de begraasde proefvlakken
 - o Herbivore en specialistisch carnivore loopkevers werden significant beïnvloed door toevoeging van dolokal, biolit 100 en/of 200, zowel positief (herbivoren: biolit 200) als negatief (herbivoren: biolit 100; specialisten: Dolokal). Het gebrek aan consistentie van de ontwikkeling (het is onlogisch dat Biolit 100 en 200 μm verschillende ontwikkelingsrichtingen tot effect hebben) maakt deze effecten moeilijk interpreteerbaar.
 - o Loopkevers met een voorkeur voor heide-gedomineerde vegetatie namen in de Lurgi-behandelingen significant toe in activiteit, maar alleen in het eerste onderzoeksjaar.
 - o Soortenrijkdom is zijn voor geen van de onderzochte respons parameters (totaal aantal soorten, uitgesplitst over trofie, uitgesplitst over habitatvoorkeur) significant beïnvloed als gevolg van de behandelingen.
- Analyse van enkel de begraasde proefvlakken bracht aan het licht dat effecten in interactie met begrazing op lijken te treden
 - o Carnivore en herbivore soorten namen significant in activiteit toe in de biolit 200 μm behandelingen, maar alleen in het eerste onderzoeksjaar;
 - o Omnivoren namen in de Biolit 100 en 200, Dolokal en Lavagruis behandelingen gemiddeld toe in activiteit ten opzichte van controle, maar dit verschil was niet significant.
 - o De activiteit van soorten met een voorkeur voor meer open vegetatietypen (duin, akker, open zand) nam in 2016 significant toe in de Dolokal en Biolit 100 en 200 μm behandelingen, terwijl die van soorten van heidevegetaties afnam (niet significant voor Dolokal, Biolit 100 en 200 μm , wel significant bij Lurgi).
- Op basis van deze totaalanalyse van de loopkever gegevens kan voorzichtig worden geconcludeerd dat de toevoegingen van de verschillende steenmelen niet

leiden tot een acute verandering van de omgevingscondities voor verschillende soorten loopkevers.

- Mogelijk heeft toediening van Biolit een klein positief effect gehad op de voedselkwaliteit van planten, gezien de significante toename van herbivore loopkevers. Dit effect is echter ook verklaarbaar als een toename van fijnbladige grassen en/of toename van zaadproductie van deze soorten, aangezien graszaden de belangrijkste voedselbron voor deze groep zijn.
- Uit de analyse van habitatvoorkeur komt eerder een beeld naar voren dat Dolokal en Biolit toevoeging heeft geleid tot een toename van de graasdruk in deze behandelingen, met tot gevolg het openbreken van de struiklaag en ontstaan een graziger, opener en warmer microklimaat.

Pissebedden (Strabrechtse Heide)

- Pissebedden zijn enkel in de begraasde proefvlakken aangetroffen, en altijd in lage aantallen, bestaande uit slechts 1 soort: *Porcellio scaber*.
- Hier namen zij significant toe ten opzichte van controle in de Dolokal en Biolit 200 µm behandeling, maar alleen in het eerste onderzoeksjaar.
- Deze toename is enerzijds te verklaren door een toename van biologisch beschikbaar calcium in deze proefvlakken, waar deze soortgroep voor de opbouw van het exoskelet een hoge vraag naar heeft, maar kan anderzijds ook verklaard worden door een kortstondige toename van microbiële afbraak van het strooisel, wat heeft geleid tot een verhoogde voedselkwaliteit van dit strooisel voor de pissebedden (meer microbiële massa in het voedsel van deze detritivore soort).

Rupsen en overige vegetatie bewonende fauna (Strabrechtse Heide)

- Er zijn voor geen significante effecten van de behandelingen ten opzichte van controle gevonden op de biomassa van rupsen en/of overige ongewervelden
- Ook voor deze soortgroep is een verschil tussen de respons in de begraasde en niet begraasde proefvlakken waargenomen.
 - De biomassa van rupsen en/of overige ongewervelden was in het voorjaar van 2016 wat lager in de begraasde Dolokal, Biolit 100 en 200 behandelingen, maar dit effect was niet significant voor rupsen en enkel near-significant voor dolokal en biolit 200 voor overige ongewervelden. In dezelfde periode was er geen enkele aanwijzing op significante behandelingseffecten in de niet-begraasde proefvlakken.
 - Dit effect lijkt eveneens niet zozeer een effect van veranderende plantkwaliteit, maar eerder een effect van toegenomen begrazing: een afname van hogere struikachtige vegetatie leidt tot een afname van de totale hoeveelheid fauna in de sleepnetten.

Diptera (NPHV)

- Effecten van de experimentele toediening van steenmeel en dolokal op trofische structuur van in de bodem en vegetatie aanwezige tweevleugeligen zijn niet eenduidig hetzelfde tussen de natte proef en droge proef.
- In het experiment in droge heide was geen positief noch negatief effect op herbivoren en detritivoren opgetreden.
- Er is een significant positief effect van Lurgi toediening op het aantal bemonsterde carnivore tweevleugeligen in de droge heide proef. Trofie toewijzing is gebaseerd op die van de larven van desbetreffende families, dus een eventueel effect dient dus op te hebben getreden via een positief terugkoppelingsmechanisme tussen lurgi-additie en de dichtheid van proisoorten voor de larven. De belangrijkste soortgroep binnen de carnivore diptera waren Empididae en de larven van deze familie worden geacht vooral te prederen op andere diptera larven (Beuk, 2002). Er is echter geen toename in totaal aantal Diptera. Een eenduidige verklaring voor het gevonden effect is daarom niet voorhanden.
- In de natte heide proef zijn wel duidelijke effecten opgetreden als gevolg van experimentele toediening van steenmeel en/of dolokal. Biolit toediening heeft hier geleid tot een significante toename van herbivore Diptera, en tot een significante positieve trend in carnivore Diptera. Dolokal additie heeft echter een

significant negatief effect op de detritivore groep binnen de tweevleugeligen, en de effectgrootte was groot.

Algemeen

Strabrechtse Heide proef

- Er zijn in de eerste twee jaar na toediening geen duidelijke en consistent negatieve effecten van de verschillende toegediende steenmelen en/of dolokal voor de fauna gevonden.
 - Het toevoegen van bufferstoffen door middel van dolokal en/of steenmeel heeft geen duidelijk direct negatief effect op de onderzochte fauna groepen op de korte termijn
- Begrazing lijkt een belangrijke bijkomende sturende rol te spelen in de ontwikkelingsrichting van de behandelingen.
 - Significante (positieve dan wel negatieve) effecten op de onderzochte faunagroepen treden hoofdzakelijk op in interactie met begrazing; met name bij Dolokal en de steenmelen Biolit 100 en 200 µm.
 - Deze effecten lijken het beste geïnterpreteerd te worden als een primair effect van begrazing op de onderzochte soortgroep, welke door de toevoeging van het desbetreffende type van steenmeel al dan niet is gestimuleerd. Meer concreet: toevoeging van Dolokal, Biolit 100 en/of 200 µm heeft een aantrekkelijk effect gehad op grazers, wat tot een hogere graasdruk in deze behandelingsvlakken heeft geleid, welke vervolgens invloed heeft gehad op de onderzochte faunagroepen.

Hoge Veluwe proef

- Drie jaar na toediening hebben er alleen in de natte heide proef over alle trofische niveaus significante verschuivingen voorgedaan als gevolg van de behandelingen.
- Vermoed wordt dat dit verschil verband houdt met verschillen in bodemtoestand. De droge heide proef is uitgezet in oude heide op een bodem met een dikke strooisel- en humuslaag. In de natte heide was het organisch stof gehalte beduidend lager dan in de droge heide (vermoed wordt dat hier in het verleden plagbeheer heeft plaatsgevonden). De natte heide proef is in bodemchemie beduidend armer van aard dan de droge heide proef. Als gevolg hiervan treden effecten op hogere trofische niveaus eerder op dan in de droge heide proef, waar het hoog organisch stofgehalte een dempend effect uitoefent op de experimentele behandelingen.
- Deze verklaring wordt gesteund door eerdere onderzoeksresultaten naar toediening van bufferstoffen in droge en natte heide waarbij voorafgaand plagbeheer werd toegepast. Zo had bekalking in een proef met P-additie en bekalking in het nationale park de Hoge Veluwe duidelijke negatieve effecten op plantkwaliteit en op loopkeveractiviteit (Vogels *et al.*, 2016, Vogels *et al.*, 2017). Onderzoek in Noord-Brabantse heideterreinen naar alternatieven voor plagbeheer in natte heide lieten doorgaans ook sterkere effecten van bekalking zien in combinatie met drukbegrazing en/of plaggen op de korte en middellange termijn (Wallis de Vries *et al.*, 2018), al waren de significante effecten van bekalking in deze proeven positief op dichtheden van zowel herbivoren en detritivore diptera, en alleen op de korte termijn. Mogelijk zijn verschillen in dosering tussen deze en de hier beschreven experiment (2 ton vs. 4 ton/ha) verantwoordelijk voor dit verschil in respons.
- Geconcludeerd kan worden dat negatieve effecten van dolokal toediening kunnen optreden bij relatief hoge dosering en onder sterk voedselarme situaties (vaak geïnitieerd door maatregelen als plaggen en/of chopperen). Korte termijn effecten van steenmeeltoediening zijn eveneens alleen duidelijk meetbaar onder sterk voedselarme condities, maar deze effecten zijn in tegenstelling tot hoog dosering dolokal positief.

Middellange termijn effecten

- Effecten op fauna zijn in veel gevallen nog niet eenduidig en lijken vaak ook voor een groot deel bepaald door het successiestadium waarin de vegetatie verkeert. Significante effecten zijn veelal gevonden in pioniersituaties, in latere successiestadia met gesloten vegetatiedek zijn over het algemeen geen duidelijke significante effecten waarneembaar op de korte termijn. Gezien de relatief langzame werkingsduur van toediening van bufferstof leverende mineralen (steenmeel) is voor de Strabrechtse heide proef een tweede onderzoeksfase aangevraagd en toegekend. Fauna onderzoek wordt in 2018 en 2019 uitgevoerd. Ten dele is de werkwijze aangepast om de koppeling met het OBN gefinancierde project in het nationale park de Hoge Veluwe te verbeteren. In het vervolgonderzoek worden emergentievallen toegepast om de effecten op trofische niveaus uiteen te rafelen. Op deze wijze kunnen resultaten met betrekking tot het effect op trofische groepen (Diptera) in beide gebieden met elkaar worden vergeleken.
- Het verdient sterk de aanbeveling om de experimenten in het nationale park de Hoge Veluwe eveneens langer te volgen. In ieder geval is het raadzaam om de Diptera bemonstering te herhalen. Aanbevolen wordt om de onderzoeksinspanningen met betrekking tot de fauna is voor dit experiment uit te breiden.

10 Referenties

- Aarnio T., J. Derome and E.J. Martikainen (1995). Availability and mobility of nutrients in acid forest soil treated with fast and slow-release nutrients *Plant and Soil* 168-169:523--531
- Aarnio, T., M. Rätty & P.J. Martikainen (2003). Long-term availability of nutrients in forest soil derived from fast- and slow-release fertilizers *Plant and Soil* 252: 227–239, 2003. Kluwer Academic Publishers.
- Bain, D.C. D.M.L. Duthie & C.M. Thomson (1995). Rates and processes of mineral weathering in soils developed on greywackes and shales in the southern uplands of Scotland. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 1069-1074, 1995.
- Bakken, A.K. H. Gautneb, T. Sveistrup & K. Myhr (2000). Crushed rocks and mine tailings applied as K fertilizers on grassland *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56: 53–57. Kluwer Academic Publishers.
- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker & S. Walker (2017). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. R package version 1.1-14.
- Bennett, P. C., J. R. Rogers, W. J. Choi (2001). *Silicates, Silicate Weathering, and Microbial Ecology*
- Berg, M. P., M. Soesbergen, D. Tempelman & H. Wijnhoven (2008). *Verspreidingsatlas Nederlandse landpissebedden, duizendpoten en miljoenpoten (Isopoda, Chilopoda, Diplopoda)*. EIS-Nederland, Leiden & Vrije Universiteit-Afdeling Dierecologie, Amsterdam.
- Bergsma, H., J. Vogels, M. Weijters, R. Bobbink, A. Jansen & L. Krul (2016). Tandrot in de bodem. *Bodem nummer 1*, februari 2016.
- Bergsma, H., J. Vogels, A. van den Burg & R. Bobbink (2018). Is de bodemverzuring in Nederland onomkeerbaar? *Vakblad Natuur Bos Landschap* 144
- Beuk, P. L. T. (2002). *Checklist of the Diptera of the Netherlands*. KNNV Uitgeverij, Utrecht.
- Bink, F.A. & Siepel H. (1996). Nitrogen and phosphorus in *Molinia caerulea* (Gramineae) and its impact on the larval development in the butterfly-species *Lasiommata megera* (Lepidoptera: Satyridae). *Entomologia Generalis* 20: 271-280.
- 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 & Hettelingh JP (eds.) (2011). Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Report Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), De Bilt, The Netherlands.
- Bobbink, R., D. Bal, H.F. van Dobben, A.J.M. Jansen, M. Nijssen, H. Siepel, J.H.J. Schaminée, N.A.C. Smits & W. de Vries (2012). De effecten van stikstofdepositie op de structuur en het functioneren van ecosystemen. In: *Herstelstrategieën stikstofgevoelige habitats: Ecologische onderbouwing van de Programmatische*

- Aanpak Stikstof (PAS). Deel I: Algemene inleiding op herstelstrategieën: beleid, kennis en maatregelen. Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag, pp.41-82.
- Bobbink, R., Bergsma, H.L.T., Den Ouden, J & Weijters, M.J. (2017). Bodemverzuring in het droog zandlandschap. na het zuur geen zoet? Landschap, special issue Droog zandlandschap.
- Carson, J.K., D. Rooney, D.B. Gleeson & N. Clipson (2007). Altering the mineral composition of soil causes a shift in microbial community structure. *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 61, Issue 3, Pages 414–423
- Chen, B. R. & D. H. Wise (1999). Bottom-up limitation of predaceous arthropods in a detritus-based terrestrial food web. *Ecology* 80:761-772.
- Crommelin, R. D. (1965). Sediment-petrologie en herkomst van Jong-Pleistoceen dekzand in Nederland. *Boor Spade* 14:138-150.
- 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., R. Bobbink, N.A.C. Smits, R. van Diggelen & J.G.M. Roelofs (2009). Biodiversity, vegetation gradients and key geochemical processes in the heathland landscape. *Biological Conservation* 142: 2191-2201.
- De Smidt (1975). Nederlandse heidevegetaties. Dissertatie Universiteit Utrecht
- Doesburg J.W. de Kort & J. Schreurs (2009). Een middeleeuwse nederzetting in het Oud Reemsterzand. Waardstellend onderzoek in het Park de Hoge veluwe in november 2009
- Dorland, E., (2004). Ecological restoration of wet heaths and matgrass swards. Bottlenecks and Solutions. Thesis, Utrecht University, Utrecht, The Netherlands.
- Dorland, E., Hart, M.A.C., Vergeer, M.L. & Bobbink, R. (2005a). Assessing the success of wet heath restoration by combined sod cutting and liming. *Applied Vegetation Science*, 8, 209-218.
- Dorland, E., Van den Berg, L. J. L., Brouwer, E. , Roelofs, J. G. M., Bobbink, R. (2005b). Catchment liming to restore degraded, acidified heathlands and moorland pools. *Restoration Ecology*, 13, 302-311.
- Egli, K., Fanger, U., Alvarez, P.J., Siegrist, H., van der Meer, J.R. & Zehnder A.J. (2001). Enrichment and characterization of an anammox bacterium from a rotating biological contactor treating ammonium-rich leachate. *Archives of Microbiology* 175(3): 198-207.
- Fischer, K. & Fiedler, K. (2000). Sex-related differences in reaction norms in the butterfly *Lycaena tityrus* (Lepidoptera: Lycaenidae). *OIKOS* Volume 90, Issue 2, Pages 372-380.
- Graveland, J. & Drent, R. H. (1997). Calcium availability limits breeding success of passerines on poor soils. *Journal of Animal Ecology*, 66 (2) p. 279-288
- Gimingham, C.H. (1972). *Ecology of heathlands*. Chapman & Hall. London.
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N. & Schwan, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12(10): e0185809.
- Hartmann, R. & Keplin, B. (2003). Nutrition and early growth of *Pinus sylvestris* L. on extensively meliorated sandy mine spoil soils. *FORSTWISSENSCHAFTLICHES CENTRALBLATT* 122 (4): 205-218

- Hartley, S. E. and DeGabriel, J. L. (2016). The ecology of herbivore-induced silicon defences in grasses. *Funct Ecol*, 30: 1311–1322. doi:10.1111/1365-2435.12706
- Haynes, R.J. (1982). Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant Soil* 68: 289
- Hildebrand E.E. & H. Schack-Kirchner (2000). Initial effects of lime and rock powder application on soil solution chemistry in a dystric cambisol – results of model experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56: 69–78.
- Insam H. & A. Palojarvi (1995). Effects of forest fertilization on nitrogen leaching and soil microbial properties in the Northern Calcareous Alps of Austria *Plant and Soil* 168-169: 75-81
- Jansen, A.J.M., J.H. Bouwman & J. Sevink (2013). Waterlandschap Hoge Veluwe. Visie op de natte gebieden in het Nationale Park de Hoge Veluwe. Rapport Unie van Bosgroepen, Ede.
- Jin-Ling Yang, Gan-Lin Zhang, Lai-Ming Huang, Philip C. Brookes (2013). Estimating soil acidification rate at watershed scale based on the stoichiometric relations between silicon and base cations. *Chemical Geology* 337–338 (2013) 30–37
- Koňasová, T., I. Kuneš, M. Baláš, K. Millerová, V. Balcar, O. Špulák, M. Drury (2012). Influence of limestone and amphibolite application on growth of Norway spruce plantation under harsh mountain conditions. *JOURNAL OF FOREST SCIENCE*, 58, 2012 (11): 492–502
- Koster, E. A. (1975). De stuifzanden van de Veluwe; een fysisch geografische studie. Dissertatie, Universiteit van Amsterdam.
- Kunes I, Bal V, Cizek M (2004). Influence of amphibolite powder and Silvamix fertiliser on Norway spruce plantation in conditions of air polluted mountains. *Journal of forest science* 50 (8) 366-373
- Lafleur, B., D. Paré, Y. Claveau, É. Thiffault, N. Bélanger (2013). Influence of afforestation on soil: The case of mineral weathering. *Geoderma* 202–203 (2013) 18–29
- Langan S.J., Sverdup, H.U., & Coull, M. (1995). The calculation of base cation release from the chemical weathering of Scottish soils using the profile model. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 2497-2502, 1995.
- Lolkema, D.E., Noordijk, H., Stolk, A.P., Hoogerbrugge, R., van Zanten, M.C., van Pul, W.A.J., (2015). The measuring ammonia in nature (MAN) network in The Netherlands. *Biogeosciences* 12: 5133- 5142.
- Madge, D.S. (1961). The control of relative humidity with aqueous solutions of sodium hydroxide. *Entomologia* Volume 4, Issue 2, Pages 143-147.
- Michalopoulos C., & S. Liodakis (2012). Soil Depletion of Ca, Mg and K Due to Vicinal Intensive Hog Farming Operation Located in East Mediterranean. *Water Air Soil Pollut* (2012) 223:4565–4575
- Moilanen, M., Pietiläinen, P. & Issakainen, J. (2005). Long-term effects of apatite and biotite on the nutrient status and stand growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on drained peatlands. *Suo - Mires and Peat* 56(3): 115-128
- Mol, G., S.P. Vriend, P.F.M. van Gaans (2003). Feldspar weathering as the key to understanding soil acidification monitoring data; a study of acid sandy soils in the Netherlands *Chemical Geology* 202 417– 441
- Nilsson J. (1988). Critical Loads for Sulphur and Nitrogen. *Air Pollution and Ecosystems* 1988, pp 85-91

- Nijssen, M.E., M.F. Wallis De Vries & H. Siepel (2017). Pathways for the effects of increased nitrogen deposition on fauna. *Biological Conservation*
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, M. Friendly, R. Kindt, P. Legendre, D. McGlenn, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. M. Solymos, H. H. Stevens, E. Szoecs & H. Wagner. (2017). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.4-2.
- Olsson M.T. & Melkerud P.-A. (2000). Weathering in three podzolized pedons on glacial deposits in northern Sweden and central Finland. *Geoderma* 94: 149–161.
- Pierson-Wickmann a, A.C., L. Aquilina , C. Martin L. Ruiz , J. Molénat, A. Jaffrézic , C. Gascuel-Oudou (2009). High chemical weathering rates in first-order granitic catchments induced by agricultural stress. *Chemical Geology* 265, 369–380.
- Priyono J. & R. J. Gilkes (2008). High-Energy Milling Improves the effectiveness of Silicate Rock Fertilizers: A Glasshouse Assessment *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39: 358–369, 2008
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing* versie 3.3.2.
- Ramezani A., A. S. Dahlin, C. D. Campbell, S. Hillier, B. Mannerstedt-Fogelfors, I. Öborn (2012). Addition of a volcanic rockdust to soils has no observable effects on plant yield and nutrient status or on soil microbial activity. *Plant Soil*
- Roem, W. J. & F. Berendse (2000). Soil acidity and nutrient supply ratio as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities. *Biological conservation* 92:151-161.
- Schokker, J., P. Clevering, A. S. Murray, J. Wallinga, Wim E. Westerhoff (2005). An OSL dated Middle and Late Quaternary sedimentary record in the Roer Valley Graben (southeastern Netherlands) *Quaternary Science Reviews* Volume 24, Issues 20–21, Pages 2243–2264
- Siepel, H., H. Siebel, T. Verstrael, A. Van den Burg & J. Vogels (2009). Herstel van lange termijn effecten van verzuring en vermessing in het droog zandlandschap. *De Levende Natuur* 110:124-129.
- Siepel, H., J. Vogels, R. Bobbink, R.J. Bijlsma, E. Jongejans, R. de Waal & M. Weijters (2018). Continuous and cumulative acidification and N deposition induce P limitation for the micro-arthropod soil fauna on mineral-poor dry heathlands. *Soil Biology and Biochemistry* 119 (2018). - ISSN 0038-0717 - p. 128 - 134.
- Smits, J. & J. Noordijk (2013). *Heidebeheer, moderne methoden in een eeuwenoud landschap*. KNNV Uitgeverij, Zeist.
- Starr M.& A. Lindroos (2006). Changes in the rate of release of Ca and Mg and normative mineralogy due to weathering along a 5300-year chronosequence of boreal forest soils. *Geoderma* 133 (2006) 269–280
- Stendahl, J., C. Akselsson, P. Melkerud, S. Belyazid (2013). Pedon-scale silicate weathering: comparison of the PROFILE model and the depletion method at 16 forest sites in Sweden *Geoderma* 211–212 (2013) 65–74
- Stenicka, S. & Narovec, V. (1994): The effect of amphibolite rock meal from stone mine at Markovice village on selected physical and chemical properties of podsolc forest soils in the laboratory test. *Zprávy lesnického výzkumu*, 39, (3): p. 13 - 16.
- Turin, H. (2000). *De Nederlandse loopkevers. Verspreiding en oecologie (Coleoptera: Carabidae)*. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & EIS-Nederland, Leiden.
- Urbasek, F. & J. Chalupsky (1992). Effects of artificial acidification and liming on biomass and on the activity of digestive enzymes in Enchytraeidae (Oligochaeta): Results of an ongoing study. *Biol Fertil Soils* 14: 67

- Uroz, S., M. P. Turpault, C. Delaruelle, L. Mareschal, J.-C. Pierrat c d & P. Frey-Klett (2012). Minerals Affect the Specific Diversity of Forest Soil Bacterial Communities *Geomicrobiology Journal*, 29:88–98
- Vadeboncoeur, M.A., Hamburg, S.P., Yanai, R.D. & Blum, J.D. (2014). Rates of sustainable forest harvest depend on rotation length and weathering of soil minerals. *Forest Ecology and Management*, 318, pp. 194-205
- Van den Burg, A. (2017). Rammelende eieren en brekebenen bij de koolmees: verzuring terug bij af? *Vakblad Natuur Bos Landschap* (14):136
- Van der Zee, F., Bobbink, R., Loeb, R., Wallis De Vrie M., Oostermeijer, G., De Graaf, M. (2017). Actieplan herstel heischrale graslanden. Hoe behouden we heischrale graslanden in nederland? Wageningen Environmental Research, Wageningen 2017
- Verstraten, J.M., T. Tietema & J.C.R. Dopheide (1989). Bodemverzuring: principes en voorbeelden. *K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift XXIII*: 251-254.
- 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. (2013). Voedsel van korhoenkuikens onder het vergrootglas - De relatie tussen plantkwaliteit en dichtheid van ongewervelde fauna op de Sallandse Heuvelrug. *Stichting Bargerveen, Nijmegen*, 34 pag.
- Vogels, J. J., N. R. Webb & H. H. Siepel. (2013). Impact of changed plant stoichiometric quality on heathland fauna composition. in H. H. Siepel, W. J. M. Heijman, N. R. Webb, and W. H. Diemont, editors. *Economy and ecology of heathlands*. KNNV publishing, Zeist.
- Vogels, J.J., R. Bobbink, M. Weijters & R-J. Bijlsma (2016). Monitoring OBN onderzoek "fosfaattoevoeging heide".
- Vogels, J. J., E. Verbaarschot, R. Bobbink, V. de Jong & M. Scherpenisse (2017). Monitoring steenmeeltoepassing ten behoeve van herstel biodiversiteit - Voortgangsrapportage. *Stichting Bargerveen - iov Stichting Het Nationale Park de Hoge Veluwe*, 37 pag.
- Vogels, J.J., Verberk, W.C.E.P., Lamers, L.P.M., Siepel, H., Can changes in soil biochemistry and plant stoichiometry explain loss of animal diversity of heathlands? *Biological conservation*, in press.
- Von Mersi & Schinner (1991). An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodinitrotetrazolium chloride (1991). *Biology and Fertility of Soils* 11(3):216-220.
- Von Mersi, Kuhnert-Finkernagel R, Schinner F. (1992). The influence of rock powders on microbial activity of three forest soils. *Zeitschrift fuer Pflanzenernahrung und Bodenkunde* (155) p 29-33
- Vries, W. de, R. Bobbink, A. de Jong & M.J. Weijters (2017). Herstel van droge loofbossen - OBN tussenrapport 2017. *Driebergen. VBNE*.
- Wallis de Vries, M. F., R. Bobbink, E. Brouwer, K. Huskens, E. Verbaarschot, R. Versluijs & J. J. Vogels (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*, 178 pag.
- Wallis de Vries, M., K. Huskens, J. J. Vogels, R. Versluijs, R. Loeb, E. Brouwer & R. Bobbink (2018). Alternatieven voor plaggen van natte heide - Effecten op middellange termijn. *VBNE, Driebergen*, pag.

Weijters, M, Bergsma, H., Vogels, J., Siepel, H en Bobbink, R., (2015 a). Herstel van heide door middel van slow release mineralengift. Tussenrapportage 2015. VBNE

Weijters, M, Bobbink, R., Vogels, J., en Bergsma, H. (2015 b). Ontwikkeling praktijkgerichte maatregelen voor het herstel van droge heide in de provincie Noord-Brabant. Tussenrapportage 2015. Onderzoekcentrum B-WARE

Weijters, M, Bergsma, H., Vogels, J., Siepel, H en Bobbink, R., (2017). Herstel van heide door middel van steenmeelgift. Gecombineerde rapportage Provincie Noord-Brabant en OBN April 2017

Wilpert K von. and M. Lukes (2003). Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulfate in a spruce stand on an acidified glacial loam
Nutrient Cycling in Agroecosystems 65: 115–127

Zuur, A. F., J. M. Hilbe & E. N. Ieno (2013). A beginner's guide to GLM and GLMM with R - A frequentist and Bayesian perspective for ecologists. Highland Statistics, Newburgh.

Bijlage 1: Beschrijving experimenten

Proeflocatie NP de Hoge Veluwe

De proef ligt in zowel droge heide (Genisto-Callunetum) als in vochtige heide (Ericetum tetralicis). In beide situaties zijn 5 blokken ("randomized block design") van 4 proefvlakken uitgezet (Figuur B1.1). De aanvullende Dolokalbehandeling is door Stichting het NP de Hoge Veluwe gefinancierd.



Figuur B1.1. Weergave van proefopzet (één blok) in de droge heide van 15m bij 15m, in de natte heide zijn de proefvlakken 5m bij 5m.

Figure B1.1. Experimental setup of one block in the dry site at the NP Hoge Veluwe. At the wet site the plotsize is 5m by 5m.

Er is gekozen voor vijf replica's per behandeling om de resultaten statistisch goed te kunnen onderbouwen en geschikt te maken voor wetenschappelijke publicatie en "evidence-based" interpretatie van de effectiviteit. Dit betekent dat in beide deelexperimenten 15 proefvlakken (in 5 blokken) zijn uitgezet en gevolgd. De volgende behandelingen worden uitgetest (Tabel B1.1).

Tabel B1.1. Toegediende soorten steenmeel en de hoeveelheden per proefvlak.

Table B1.1. Added treatments and the amount (kg) per plot.

	<i>Droog</i>	<i>Nat</i>
	<i>Kg per proefvlak</i>	<i>Kg per proefvlak</i>
Dolokal, 4 ton /ha	90 kilo	10 kilo
Biolit 100 mu; 10 ton/ha	225 kilo	25 kilo
Lurgi 500 mu 10 ton/ha	225 kilo	25 kilo
Controle, geen toevoegingen		

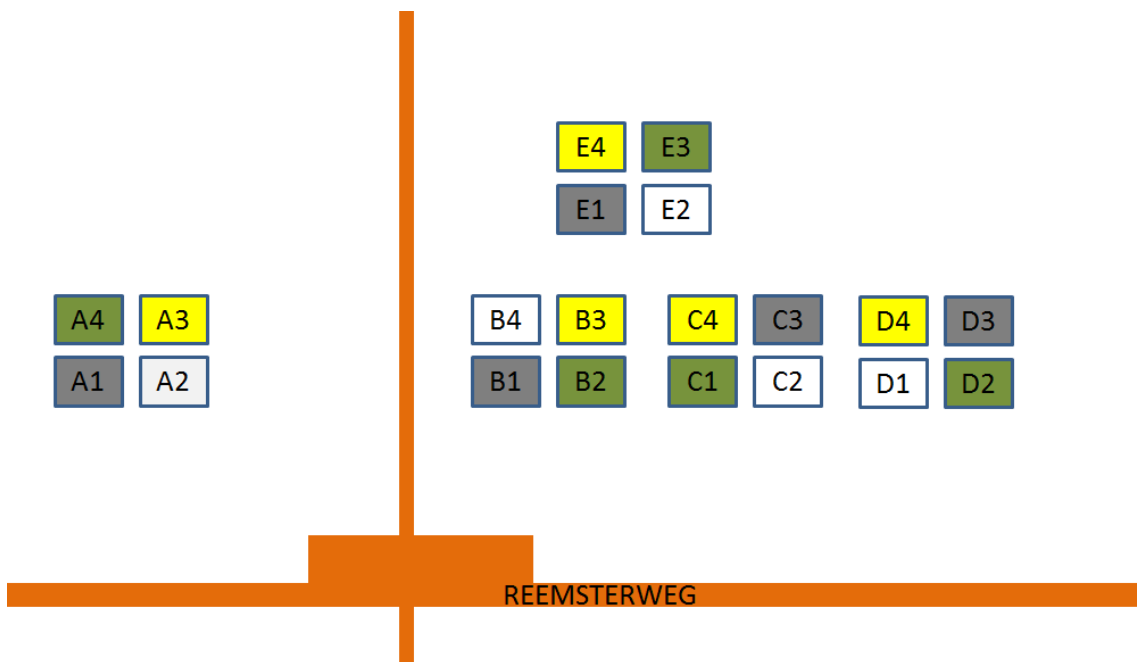
Op 3-2-2015 is in het Nationaal park de Hoge veluwe gestart met het uitzetten van de droge proeflocatie. Tevens is op dat moment de nulbemonstering van bodem en plant-chemie uitgevoerd. Op 24 en 25 februari 2015 is het steenmeel opgebracht. De locatie van de droge proef is weergegeven in Figuur B1.2.



Figuur B1.2. Locatie droge proef in het NP Hoge Veluwe.

Figure B1.2. Dry site at the Veluwe

De proefopzet is weergegeven in Figuur B1.3 Waarbij de kleuren van de vlakken overeenkomen met die in Tabel B1.1.



Figuur B1.3. Indeling van de droge proef. De kleuren komen overeen met de hoeveelheden en kleuren gebruikt in Tabel B1.1.

Figure B1.3. Dry site experiment. The colors match the colors and treatments listed in table B1.1.

Op 3 en 4 maart is de natte locatie ingericht en is het steenmeel opgebracht. Het kiezen van deze locatie bleek moeilijk, aangezien de doelstelling een niet geplagde natte heidevegetatie was, maar ook een locatie waar er in ieder geval een co-dominantie van heide en molinia aanwezig was. Uiteindelijk is, in overleg met Jaap Bouwmeester van de Unie van Bosgroepen en Henk Siepel (WUR-Alterra) gekozen voor het terrein net ten zuiden van de Wolfskuilen (Figuur B1.4). Dit terrein is weliswaar rond 1980 geplagd en in Pasen 2014 gebrand, maar dit was een van de weinige toegankelijke plekken in het NP de Hoge Veluwe waar natte heide co-dominant met Molinia aanwezig was (Figuur B1.5) en met een voldoende groot oppervlak om de proefblokken te kunnen plaatsen. De proefindeling is weergegeven in figuur B1.6.



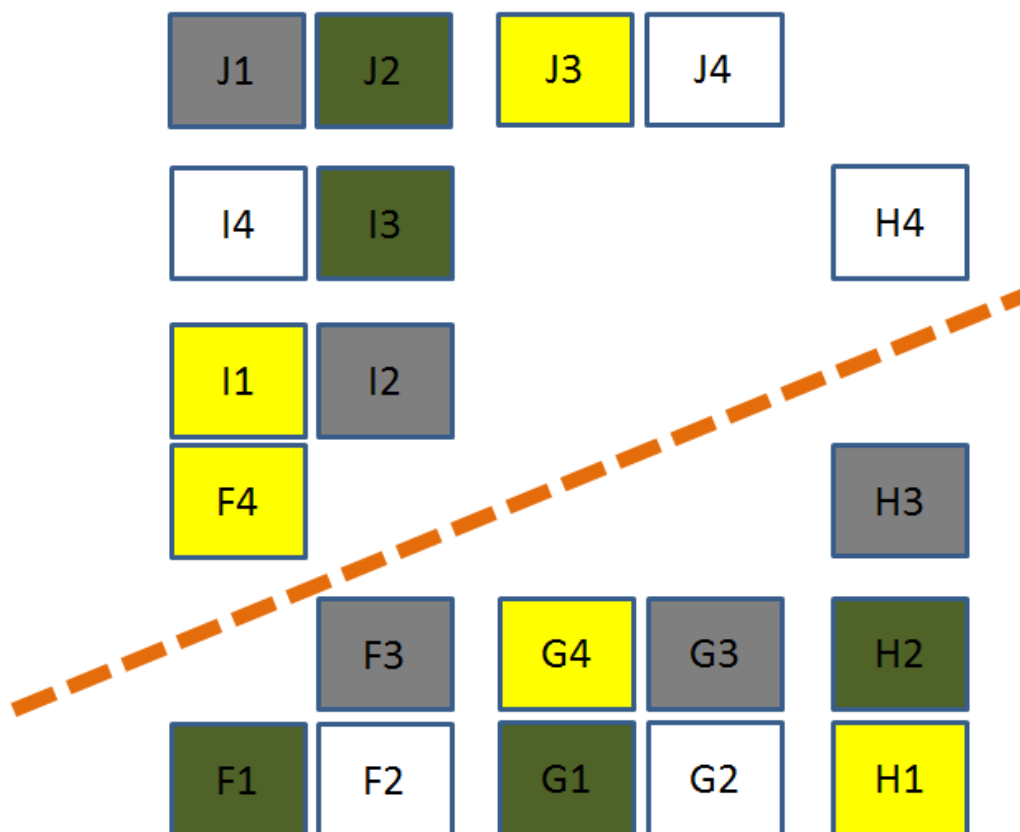
Figuur B1.4. Globale ligging natte proeflocatie langs de Heiweg, net ten zuiden van de Wolfskuilen.

Figure B1.4. Location of the wet site at the NP Hoge Veluwe.



Figuur B1.5. Foto van de vegetatie bij aanvang van het experiment in de natte heide op de Veluwe.

Figure B1.5. Vegetation at the start of the experiment at the wet site at the Veluwe.



Heiweg

Figuur B1.6. Indeling van de natte proef. De kleuren komen overeen met de hoeveelheden en kleuren gebruikt in Tabel B1.1. De oranje stippellijn is een paadje.

Figure B1.6. Wet site experiment. The colors match the colors and treatments listed in table B1.1.

Proeflocatie Strabrecht

Als eerste is op basis van bestaande gegevens onderzocht welke vier soorten steenmeel potentieel het meest geschikt zijn voor toepassing in droge heideterreinen (zie Hoofdstuk 2 en 4). Steenmeel is er namelijk in verschillende samenstellingen, met verschillende verhoudingen tussen Ca, Mg, K en Na. Vervolgens is een veldproef ingezet in de Strabrechtse heide. Van dit terrein is vooraf de mineralogische uitgangssituatie onderzocht.



Figuur B1.6. Opzet van de proef op Strabrecht. In het terrein zijn 5 van deze blokken ingezet. De behandelingen werden per toeval over de proefvelden verdeeld. Ieder proefveld is 10 m bij 10 m groot.

Figure B1.6. Experimental design at Strabrecht, At the site five of these blocks were installed. Each plot is 10m by 10m.

Door in het terrein de vier potentieel meest effectieve soorten steenmeel toe te passen, kan de best werkende steenmeelsoort voor deze bodem worden gevonden. Daarnaast wordt het toedienen van steenmeel vergeleken met het toedienen van dolokal en een onbehandelde controle. In het terrein zijn per behandeling 5 replica's van 10 m x 10 m ingericht en de behandelingen zijn per toeval over deze proefvelden verdeeld (Figuur B1.7), zodat de resultaten statistisch getoetst kunnen worden. Het is de bedoeling dat de resultaten geschikt zijn voor publicatie in wetenschappelijke Nederlandstalige vaktijdschriften, en dat de eventuele aanbevelingen "evidence-based" zijn. In het terrein liggen vijf blokken met ieder zes proefvelden (Figuur B1.8).

Na een eerste bijeenkomst van het consortium en een verkennend veldbezoek op 23-07-2014 zijn verschillende potentiële locaties geselecteerd met droge heidevegetatie met een intact organische laag, aangezien alle locaties al zeker 50 jaar niet geplagd zijn. Vervolgens zijn op 04-11-2014 de blokken definitief gekozen en de hoekpunten van alle proefvelden ingemeten (Figuur B1.8). Vervolgens zijn door Staatsbosbeheer hoekpalen geplaatst om de proefvelden permanent te markeren. Ook is op dat moment de nulbemonstering van de bodem - dus voor de steenmeelbehandelingen - uitgevoerd, door in ieder proefveld een mengmonster van drie gutssteken te verzamelen.

Daarna is op 24 en 25 november 2014 het steenmeel en Dolokal op de proefvlakken aangebracht. Dit is, vanwege de hoge heidevegetatie, het relatief kleine oppervlak en doordat de verschillende behandelingen dicht bij elkaar liggen, met de hand uitgevoerd. De toegekende behandelingen en doseringen zijn weergegeven in Tabel B1.2 en de figuren B1.9 en B1.10. In H4 is weergegeven waarop de gekozen steenmeelsoorten en doseringen zijn gebaseerd. De volgende

behandelingen zijn toegepast, Biolit in een fijne fractie (100 μm), Biolit in een grovere fractie (200 μm), Lavagruis (een grove variant van Eifelgold), Lurgi en Dolokal (Tabel B1.2).



Figuur B1.8. Ligging experimentele blokken in de Strabrechtse heide.

Figure B1.8: Experimental site at Strabrecht.

Tabel B1.2. Toegediende behandelingen in het experiment.

Table B1.2: Additions at the experiment at Strabrecht

Biolit < 100 μm (10 ton/hectare)

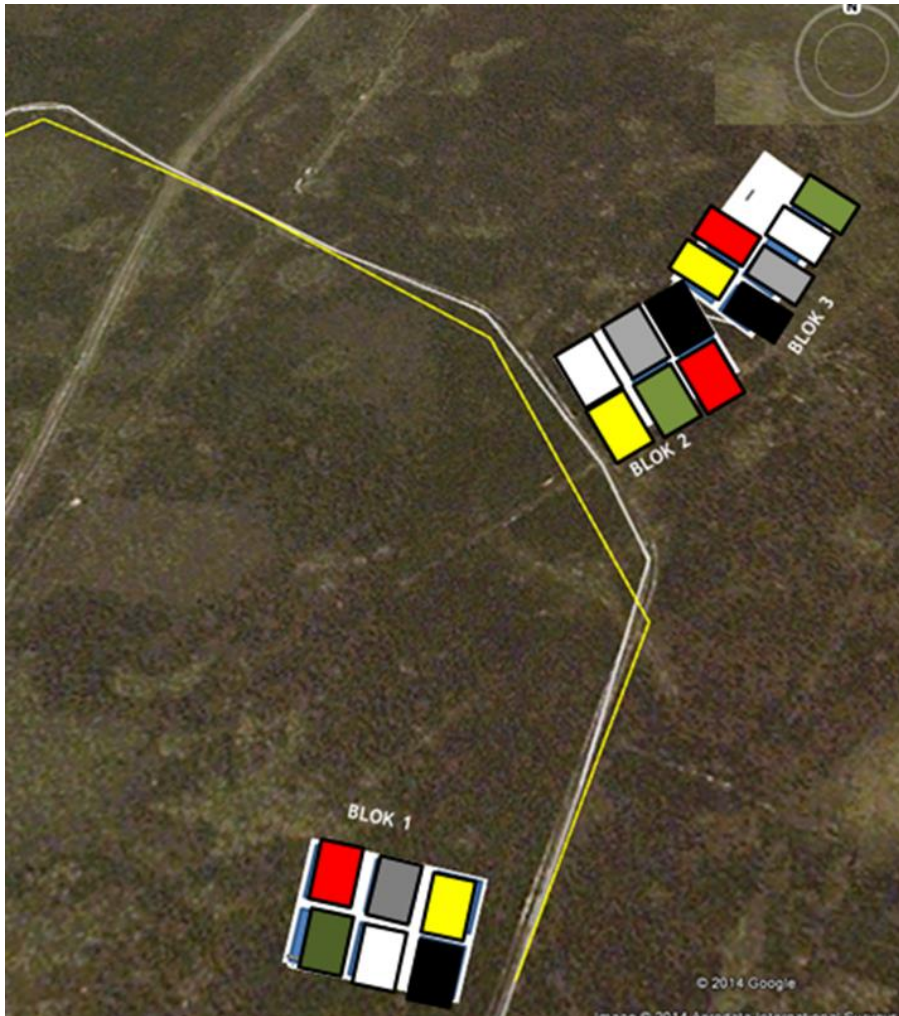
Biolit < 200 μm (10 ton/hectare)

Vulcatec lavagruis (15 ton/hectare)

Lurgi/Portanef (10 ton/hectare)

Dolokal (4 ton/hectare)

Controle (onbehandeld)



Figuur B1.9. Ligging van de behandelingen in de blokken 1 t/m 3. De kleuren komen overeen met de behandelingen uit tabel B1.2.

Figure B1.9. Treatments at Strabrecht with cattle grazing. Colors match the colors in Table B1.2.



Figuur B1.10. Ligging van de behandelingen in de blokken 4 en 5. De kleuren komen overeen met de behandelingen uit tabel 3.2.

Figure B1.10. Treatmentst at Stravbrecht without cattle grazing. Colors match the colors in Table B1.2.

Bijlage 2: Mineralogie

Tabel B2.1. Analyseresultaten extractie met Na-pyrofosfaat.

Table B2.1. Results Na-pyrophosphate extraction.

	Al (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Mg (mg/kg)	K (mg/kg)	K (mg/kg)	LOI %
Analysis Method	XRF	PYRO- MS	XRF	PYRO- MS	XRF	PYRO- MS	XRF	PYRO- MS	XRF
REE top	12503	450	6855	1020	121	20	7554	110	6.0 2
REE bottom	16354	1020	5735	730	482	20	8052	110	2.9 5
DEE top	13203	760	6575	790	181	30	7969	160	3.0 4
DEE bottom	14204	910	4826	300	302	30	8052	120	0.8 9
DWI top	9452	470	8184	910	54	30	5811	140	6.3 8
DWI bottom	10553	1060	5246	510	60	40	6226	150	1.3 6

Bijlage 3: Bodemchemie

Bijlage 3.1: Bodemchemie NP de Hoge Veluwe – Droge heide

code	beh	cm	diepte	tijd	kg d/v	% MV	% OS	μmol/kg Olsen-P	Destructie (mmol/kg)												Zoutextract 0,2M NaCl (μmol/kg)												μeq/kg BC
									Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	pH NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4		
A1	dolokal	0-10	t=0	0,8	9				47	6	23	5	4	0	5	7	14	0	3,3	2059	1341	22	696	732	28	9	84	42	38	230	341	4805	
A2	controle	0-10	t=0	0,7	16				48	3	29	4	3	0	6	11	12	0	3,2	2834	1113	53	553	485	16	11	104	39	44	97	514	3817	
A3	biolit	0-10	t=0	0,9	10				33	3	23	3	3	0	5	7	10	0	3,1	2784	1099	13	343	485	41	15	80	36	45	160	253	3369	
A4	lurgi	0-10	t=0	0,8	14				47	4	24	4	4	0	6	9	13	0	3,1	2344	2331	34	421	1639	62	16	110	45	71	64	629	7142	
B1	dolokal	0-10	t=0	0,8	12				36	4	20	3	2	0	5	7	12	0	3,0	2905	2093	18	338	1091	8	14	118	39	49	55	511	5952	
B2	lurgi	0-10	t=0	0,7	14				49	4	32	4	3	0	7	10	12	0	3,1	3228	1739	64	303	582	11	10	131	102	40	109	311	4666	
B3	biolit	0-10	t=0	0,9	10				38	3	21	3	3	0	5	7	10	0	3,2	1960	2279	35	316	1174	93	24	91	44	52	133	286	6365	
B4	controle	0-10	t=0	0,7	15				48	4	23	4	3	0	6	10	13	0	3,0	2277	4673	10	526	1784	20	25	126	39	75	197	292	12183	
C1	lurgi	0-10	t=0	0,8	14				48	4	30	4	4	0	7	15	16	0	3,0	3520	1715	41	859	940	36	14	111	51	70	256	520	6088	
C2	controle	0-10	t=0	0,7	16				34	3	21	3	3	0	5	9	16	0	3,0	2578	2123	24	428	1237	21	10	125	61	69	116	448	6339	
C3	dolokal	0-10	t=0	1,0	9				36	2	21	4	2	0	4	4	16	0	3,1	2142	1901	17	426	583	34	12	108	35	30	137	246	5236	
C4	biolit	0-10	t=0	0,8	11				40	3	25	3	3	0	6	8	15	0	3,1	2551	1456	10	326	750	17	12	90	33	35	202	256	4313	
D1	controle	0-10	t=0	0,9	11				35	3	14	4	3	0	4	5	19	0	3,1	2468	2535	50	867	1387	24	11	112	51	73	121	645	8190	
D2	lurgi	0-10	t=0	0,8	10				37	6	23	4	4	0	7	10	19	0	3,1	1930	2447	17	438	1078	17	32	98	39	56	104	612	6848	
D3	dolokal	0-10	t=0	0,9	10				43	3	22	4	3	0	6	9	16	0	3,2	2078	1703	36	569	943	18	13	84	39	46	49	766	5488	
D4	biolit	0-10	t=0	0,7	14				46	4	21	4	3	0	7	12	13	0	3,1	2916	2047	47	432	1041	24	23	106	44	63	253	394	6001	
E1	dolokal	0-10	t=0	0,8	13				37	5	21	4	4	0	7	10	16	0	3,2	1782	2280	6	922	1597	10	84	96	38	51	178	661	8001	
E2	controle	0-10	t=0	0,8	15				41	4	21	4	4	0	7	14	16	0	3,1	2157	2312	33	723	1833	27	24	110	51	70	185	605	7903	
E3	lurgi	0-10	t=0	0,9	12				40	4	23	4	3	0	6	10	17	0	3,1	2302	768	10	211	614	7	10	48	35	37	99	298	2571	
E4	biolit	0-10	t=0	0,8	11				45	6	28	5	5	0	9	14	14	0	3,1	1882	2064	16	375	1056	36	27	79	38	50	112	403	5934	

code	beh	cm	diepte	tijd	Waterextract (μmol/kg)																%	%	%	%	
					pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	PO4	K					Na	Cl	BV	N	C	C/N
A1	dolokal	0-10	t=0	4,5	39	33	12	229	17	1	105	20	58	45	1	235	54	16	123	220	106	21	0,3	6,5	20
A2	controle	0-10	t=0	4,2	53	26	12	73	5	0	109	9	52	36	1	87	24	5	98	73	31	11	0,4	8,5	20
A3	biolit	0-10	t=0	4,2	36	29	16	88	7	1	105	19	54	35	1	116	38	14	94	78	22	16	0,2	4,5	21
A4	lurgi	0-10	t=0	4,3	88	31	10	61	7	1	139	5	74	43	1	56	110	2	130	63	40	19	0,3	6,6	24
B1	dolokal	0-10	t=0	4,4	76	32	5	33	5	0	74	4	42	36	1	22	20	2	75	56	17	20	0,3	6,9	25
B2	lurgi	0-10	t=0	4,1	75	83	19	58	13	1	155	8	81	74	2	30	59	3	198	59	62	13	0,4	8,7	21
B3	biolit	0-10	t=0	4,3	40	33	20	50	10	1	105	26	47	31	1	92	7	21	104	58	13	27	0,3	7,5	22
B4	controle	0-10	t=0	4,1	57	41	15	85	12	1	145	27	68	42	1	116	48	23	137	71	128	22	0,4	8,2	23
C1	lurgi	0-10	t=0	4,1	49	37	15	161	8	1	114	8	72	49	1	192	77	4	106	128	16	17	0,5	10,1	21
C2	controle	0-10	t=0	4,1	167	38	21	99	9	0	162	5	77	45	1	34	89	2	150	80	46	25	0,3	7,0	21
C3	dolokal	0-10	t=0	4,1	60	29	14	95	7	1	73	25	51	32	1	103	22	23	69	79	20	18	0,2	5,8	25
C4	biolit	0-10	t=0	4,2	73	24	14	60	8	1	111	18	41	33	1	135	27	13	93	62	-3	27	0,4	8,9	23
D1	controle	0-10	t=0	4,3	40	27	13	118	5	1	67	3	58	35	1	48	62	1	53	93	13	28	0,2	6,1	27
D2	lurgi	0-10	t=0	4,3	89	21	17	64	5	0	73	39	43	34	1	64	70	33	56	62	79	24	0,4	8,1	18
D3	dolokal	0-10	t=0	4,5	34	11	10	81	3	0	61	19	49	33	1	33	110	14	55	65	0	27	0,3	6,5	23
D4	biolit	0-10	t=0	4,1	32	45	9	96	14	1	134	22	62	44	1	222	47	15	136	79	34	15	0,4	9,4	24
E1	dolokal	0-10	t=0	4,4	28	145	14	198	27	1	633	81	96	43	1	145	93	75	634	138	423	27	0,4	7,3	21
E2	controle	0-10	t=0	4,3	51	27	15	116	8	1	118	21	63	46	1	70	76	14	110	91	101	28	0,4	9,1	21
E3	lurgi	0-10	t=0	4,2	42	28	11	49	6	1	84	12	40	35	1	102	24	8	87	63	22	15	0,3	7,2	23
E4	biolit	0-10	t=0	4,2	56	67	13	121	18	1	104	58	74	45	2	87	151	50	90	97	34	25	0,4	8,4	19

code	beh	cm	diepte	tijd	kg d/v	% MV	% OS	μmol/kg Olsen-P	Destructie (mmol/kg)												Zoutextract 0,2M NaCl (μmol/kg)												μeq/kg BC
									Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	pH NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4		
A1	dolokal	0-10	t=1	0,7	14	1015			56	14	28	4	5	0	7	15	11	0	3,5	1359	6900	17	295	2092	115	7	221	178	57	172	242	18280	
A2	controle	0-10	t=1	0,9	10	787			48	5	27	4	4	0	4	9	14	0	3,1	2745	1142	23	213	645	33	4	69	90	40	147	353	3786	
A3	biolit	0-10	t=1	0,8	10	1306			44	12	31	5	12	0	8	15	14	0	3,3	896	5863	7	401	4920	41	29	140	156	60	501	361	21966	
A4	lurgi	0-10	t=1	0,8	14	1281			43	7	26	4	5	0	7	14	17	0	3,1	2339	1765	8	339	971	43	10	74	124	39	328	225	5811	
B1	dolokal	0-10	t=1	0,7	12	1056			50	6	33	3	4	0	6	15	14	0	3,2	2539	2485	11	209	1285	10	5	90	178	42	76	455	7750	
B2	lurgi	0-10	t=1	0,7	15	1072			66	7	34	6	6	0	8	15	13	0	3,3	2361	2557	47	2656	1214	35	7	110	1405	50	206	412	10197	
B3	biolit	0-10	t=1	0,6	23	1420			46	9	28	4	6	0	7	16	15	0	3,1	2398	6115	19	437	3248	124	39	167	191	62	367	466	19163	
B4	controle	0-10	t=1	0,6	19	1088			46	6	27	5	5	0	6	16	14	0	3,0	3206	2300	43	460	1322	25	6	129	167	67	132	849	7703	
C1	lurgi	0-10	t=1	0,7	14	1181			60	6	36	6	6	0	7	16	16	0	3,2	2937	2408	36	647	1172	53	12	133	696	52	269	518	7807	
C2	controle	0-10	t=1	0,6	21	1396			44	8	25	5	5	0	7	20	14	0	3,0	3095	2479	15	542	1421	28	15	137	155	63	291	1045	8344	
C3	dolokal	0-10	t=1	0,7	16	1265			44	9	25	5	4	0	6	15	13	0	3,0	2077	6265	17	363	1597	78	22	176	311	47	710	376	16087	
C4	biolit	0-10	t=1	0,8	13	927																											

code	beh	cm		Waterextract (μmol/kg)																	%				
		diepte	tijd	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	PO4	K	Na	Cl	BV	N	C	C/N
A1	dolokal	0-10	t=1	4,4	56	142	14	190	75	2	239	6	81	180	2	197	31	3	232	143	330	54	0,3	7,6	22
A2	controle	0-10	t=1	4,2	49	35	12	49	15	1	105	6	40	94	1	197	104	5	113	37	145	11	0,2	4,4	23
A3	bioliet	0-10	t=1	4,1	42	57	9	158	45	1	203	16	61	170	2	258	80	9	181	102	64	24	0,2	4,8	19
A4	lurgi	0-10	t=1	4,3	66	37	21	126	18	1	361	11	67	151	1	266	82	7	359	94	55	21	0,3	5,8	21
B1	dolokal	0-10	t=1	4,3	56	34	15	101	16	0	233	4	67	246	1	102	119	2	246	76	40	27	0,4	8,0	23
B2	lurgi	0-10	t=1	4,9	132	27	24	364	5	0	681	12	99	1940	1	175	70	8	660	282	74	24	0,4	8,4	22
B3	bioliet	0-10	t=1	4,8	76	237	24	149	279	7	267	18	151	475	2	342	103	16	303	121	59	38	0,3	6,6	23
B4	controle	0-10	t=1	4,1	132	43	23	140	18	2	213	3	95	214	2	83	289	2	226	111	79	14	0,4	8,2	22
C1	lurgi	0-10	t=1	4,2	77	44	21	147	15	0	554	9	101	854	1	274	53	6	597	116	63	20	0,4	7,6	21
C2	controle	0-10	t=1	4,1	61	41	30	162	18	1	156	15	92	205	1	204	286	12	185	129	56	18	0,4	8,5	21
C3	dolokal	0-10	t=1	4,0	70	128	14	163	60	2	235	6	85	307	2	409	126	5	236	126	37	27	0,3	6,7	22
C4	bioliet	0-10	t=1	4,0	63	93	19	182	72	3	207	5	69	152	2	460	129	3	216	148	24	14	0,2	5,1	22
D1	controle	0-10	t=1	4,1	59	48	11	69	17	0	167	11	45	134	2	191	66	7	203	45	12	19	0,3	7,1	21
D2	lurgi	0-10	t=1	4,2	133	39	19	159	18	1	456	12	74	476	1	332	127	11	462	120	15	20	0,2	4,7	21
D3	dolokal	0-10	t=1	4,6	79	266	19	291	111	1	226	28	115	224	2	382	102	24	227	237	25	46	0,3	6,7	24
D4	bioliet	0-10	t=1	4,0	49	46	13	91	27	1	184	16	50	115	1	311	46	17	182	67	4	11	0,2	4,3	21
E1	dolokal	0-10	t=1	4,5	91	43	24	106	16	1	201	9	102	225	1	56	204	6	214	80	26	39	0,2	5,9	25
E2	controle	0-10	t=1	4,2	41	40	13	121	17	1	95	5	70	113	1	135	131	3	101	87	2	18	0,3	5,0	20
E3	lurgi	0-10	t=1	4,7	62	30	19	214	8	0	611	34	73	1609	1	280	64	28	628	171	21	34	0,2	5,4	23
E4	bioliet	0-10	t=1	4,4	44	54	21	77	43	1	148	43	77	241	1	103	85	44	159	57	12	52	0,2	4,8	21

code	beh	cm		kg d/l v	%	μmol/kg	Destructie (mmol/kg)															Zoutextract 0,2M NaCl (μmol/kg)												μeq/kg
		diepte	tijd				MV	OS	Olsen-P	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	pH	NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4		BC
A1	dolokal	0-10	t=2	0,8	12	1052	41	6	23	4	3	0	5	11	27	0	3,3	1402	5166	26	697	2006	16	11	166	211	50	104	524	15040				
A2	controle	0-10	t=2	0,9	10	1194	41	3	27	3	3	0	5	8	20	0	3,4	1445	2170	13	812	1351	68	22	109	103	42	227	305	7853				
A3	bioliet	0-10	t=2	0,8	14	1541	43	3	21	4	3	0	6	10	27	0	3,3	2065	1612	6	635	1378	18	24	115	107	48	182	350	6615				
A4	lurgi	0-10	t=2	1,0	10	974	35	2	16	3	2	0	4	5	23	0	3,4	1567	827	5	383	557	45	7	66	176	36	126	202	3151				
B1	dolokal	0-10	t=2	0,8	13	889	39	6	19	3	3	0	5	9	26	0	3,5	905	3757	5	307	1472	5	4	104	116	32	12	139	10765				
B2	lurgi	0-10	t=2	0,8	10	1229	39	5	19	5	2	0	5	10	23	0	3,3	2000	1961	13	533	1123	19	12	103	217	45	103	238	6700				
B3	bioliet	0-10	t=2	0,8	13	1260	49	8	22	5	4	0	6	12	25	0	3,3	1935	3727	14	1463	2849	39	36	174	160	78	282	775	14616				
B4	controle	0-10	t=2	0,7	16	1962	48	5	23	5	4	0	7	14	26	0	3,1	3296	3041	27	623	1833	10	15	150	159	93	20	400	10371				
C1	lurgi	0-10	t=2	0,9	11	1124	44	3	21	4	2	0	4	9	22	0	3,2	2668	2034	15	765	823	17	21	130	290	58	101	273	6480				
C2	controle	0-10	t=2	0,9	11	1149	34	2	16	3	2	0	4	9	22	0	3,3	1939	2459	191	803	1556	40	14	128	129	71	116	426	8833				
C3	dolokal	0-10	t=2	0,9	9	1015	40	5	27	3	3	0	4	8	21	0	3,3	2268	2161	8	226	945	12	13	142	109	23	49	189	6438				
C4	bioliet	0-10	t=2	0,9	8	992	39	4	28	3	5	0	5	7	20	0	3,4	1340	2564	10	362	1854	34	11	115	105	34	53	165	9199				
D1	controle	0-10	t=2	0,9	9	892	36	2	18	3	2	0	4	7	22	0	3,3	1994	849	6	309	457	12	7	56	67	28	69	342	2922				
D2	lurgi	0-10	t=2	0,9	11	1226	40	6	22	4	4	0	6	11	24	0	3,4	1264	1449	8	500	593	24	9	60	98	26	33	274	4582				
D3	dolokal	0-10	t=2	1,0	9	803	32	8	19	2	3	0	4	5	18	0	3,7	547	6315	6	328	1505	6	6	131	180	24	11	169	15968				
D4	bioliet	0-10	t=2	0,8	11	1066	36	5	17	3	4	0	5	9	21	0	3,3	1909	2394	9	303	1577	21	14	104	119	34	28	202	8245				
E1	dolokal	0-10	t=2	0,9	9	931	34	4	19	3	3	0	4	6	18	0	3,4	1436	2492	7	212	1056	5	7	90	100	34	17	145	7308				
E2	controle	0-10	t=2	1,0	10	990	34	2	16	3	2	0	4	6	21	0	3,2	1991	2265	12	318	1458	13	21	109	123	54	31	207	7765				
E3	lurgi	0-10	t=2	1,0	9	1078	36	2	19	3	2	0	4	7	17	0	3,2	1730	1690	6	401	937	17	14	71	148	43	79	156	5655				
E4	bioliet	0-10	t=2	1,0	9	956	37	2	19	3	2	0	4	6	19	0	3,3	2398	1405	17	496	977	13	8	85	118	25	19	179	5261				

code	beh	cm		Waterextract (μmol/kg)																	%				
		diepte	tijd	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	PO4	K	Na	Cl	BV	N	C	C/N
A1	dolokal	0-10	t=2	4,2	50	157	16	1222	64	1	0	17	70	179	4	69	160	6	351	###	###	24	0,3	6,9	22
A2	controle	0-10	t=2	4,0	97	52	15	938	43	1	0	41	56	104	1	190	60	20	278	785	###	27	0,3	5,7	20
A3	bioliet	0-10	t=2	4,1	45	23	10	438	13	0	0	26	49	83	1	58	69	9	299	435	543	17	0,3	6,9	22
A4	lurgi	0-10	t=2	4,1	40	19	6	294	5	0	0	16	29	93	0	83	46	6	297	279	372	17	0,1	3,6	27
B1	dolokal	0-10	t=2	4,4	48	63	6	103	17	0	0	7	34	134	1	12	12	2	260	77	190	36	0,2	4,7	26
B2	lurgi	0-10	t=2	4,3	54	16	10	95	3	0	15	15	43	173	0	27	41	4	363	65	187	15	0,3	5,9	22
B3	bioliet	0-10	t=2	4,1	86	37	18	322	17	0	0	36	74	130	2	123	158	17	297	296	266	20	0,4	8,6	24
B4	controle	0-10	t=2	4,1	57	34	14	201	11	0	0	24	49	115	2	41	52	8	304	171	264	21	0,3	8,2	25
C1	lurgi	0-10	t=2	4,1	81	24	18	192	7	0	0	18	50	148	1	55	47	7	324	172	248	18	0,2	5,0	24
C2	controle	0-10	t=2	3,9	48	31	11	136	12	0	0	14	50	130	1	43	60	5	241	112	216	21	0,3	6,3	22
C3	dolokal	0-10	t=2	4,1	35	21	11	59	10	0	0	14	45	90	0	31	47	7	183	29	146	37	0,2	5,6	23
C4	bioliet	0-10	t=2	4,1	36	24	10	98	14	0	0	13	45	87	1	26	33	4	171	66	169	25	0,2	4,9	22
D1	controle	0-10	t=2	4,1	46	20	12	75	4	0	0	9	31	91	0	35	76	3	166	44	155	16	0,2	4,8	26
D2	lurgi	0-10	t=2	4,3	40	21	10	138	3	0	0	20	41	107	1	45	59	8	236	101	164	30	0,2	5,3	23
D3	dolokal	0-10	t=2	4,4	103	80	13	79	30	0	0	19	60	182	1	5	26	6	214	50	177	72	0,2	3,7	24
D4	bioliet	0-10	t=2	4,1	57	29																			

Bijlage 3.2: Bodemchemie NP de Hoge Veluwe – Natte heide

code	beh	cm		kg d/l v		% Olsen-P	µmol/kg	Destructie (mmol/kg)												Zoutextract 0,2M NaCl (µmol/kg)										µeq/kg	
		diepte	tijd	MV	OS			Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	pH NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3		NH4	BC
F1	lurgi	0-10	t=0	1,0	7			39	4	17	4	4	0	2	7	13	0	3,4	902	1679	51	364	807	22	1	72	34	26	3	14	4894
F2	controle	0-10	t=0	1,2	4			47	3	22	3	4	0	2	4	13	0	3,5	952	748	43	395	635	15	1	64	24	21	9	73	2922
F3	dolokal	0-10	t=0	1,1	4			41	3	27	3	4	0	2	4	13	0	3,5	1072	943	37	379	642	11	1	46	21	20	1	17	3286
F4	biolit	0-10	t=0	1,0	6			46	5	24	3	5	0	3	7	14	0	3,5	1121	943	28	392	675	10	1	58	26	21	1	15	3344
G1	lurgi	0-10	t=0	1,0	8			46	3	20	4	4	0	3	7	14	0	3,3	967	2796	150	787	2020	34	2	124	35	51	3	137	9187
G2	controle	0-10	t=0	1,1	5			41	3	21	4	4	0	2	4	12	0	3,4	448	4705	21	724	1553	53	1	103	23	33	17	158	12410
G3	dolokal	0-10	t=0	1,1	7			41	3	21	3	4	0	2	4	12	0	3,4	1139	939	30	493	822	16	1	75	25	25	4	164	3688
G4	biolit	0-10	t=0	0,9	7			39	8	15	4	5	0	4	18	13	0	3,4	408	6782	24	825	2827	159	2	186	53	75	6	188	18041
H1	biolit	0-10	t=0	1,1	6			31	2	14	3	3	0	2	3	11	0	3,4	1144	451	19	381	481	8	1	59	23	17	2	101	2145
H2	lurgi	0-10	t=0	1,1	5			38	3	13	4	3	0	2	6	15	0	3,3	850	1142	30	448	1151	13	2	78	31	29	2	214	4332
H3	dolokal	0-10	t=0	1,0	7			47	3	17	4	4	0	2	5	16	0	3,4	974	1489	12	411	519	9	1	69	23	19	5	103	4317
H4	controle	0-10	t=0	1,1	8			42	3	12	4	3	0	2	5	13	0	3,2	977	1932	190	941	1995	26	5	109	38	57	11	38	7743
I1	biolit	0-10	t=0	1,0	10			46	4	22	4	4	0	2	5	15	0	3,6	1427	1104	21	383	355	6	1	52	25	13	3	17	3331
I2	dolokal	0-10	t=0	1,1	6			38	4	14	3	3	0	2	5	13	0	3,6	1272	729	11	356	417	7	1	54	20	15	4	33	2586
I3	lurgi	0-10	t=0	1,0	6			42	3	17	3	3	0	2	5	12	0	3,3	1091	869	141	485	903	5	2	68	36	28	14	37	3611
I4	controle	0-10	t=0	1,0	8			45	6	15	5	4	0	3	8	14	0	3,3	1016	1919	140	543	1229	34	2	90	38	36	3	49	6153
J1	dolokal	0-10	t=0	1,0	7			43	5	21	4	4	0	3	7	13	0	3,2	732	6190	265	1182	3082	43	9	144	35	79	5	75	17825
J2	lurgi	0-10	t=0	1,1	6			45	6	18	4	4	0	2	6	13	0	3,4	778	1776	92	596	1091	14	5	86	33	28	10	32	5836
J3	biolit	0-10	t=0	1,1	5			40	3	12	4	3	0	2	5	16	0	3,4	1071	771	57	438	669	13	2	73	30	21	3	49	3086
J4	controle	0-10	t=0	1,1	7			44	6	14	4	4	0	2	7	15	0	3,4	1291	345	18	404	401	5	2	73	31	19	7	41	1900

code	beh	cm		Waterextract (µmol/kg)																% BV	% N	% C	% C/N		
		diepte	tijd	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	PO4	K					Na	Cl
F1	lurgi	0-10	t=0	4,8	55	25	15	93	9	1	165	2	33	52	1	23	22	1	131	71	164	40	0,1	3,4	29
F2	controle	0-10	t=0	4,7	45	187	23	231	14	1	234	3	36	38	1	14	6	0	264	185	278	25	0,1	2,0	26
F3	dolokal	0-10	t=0	4,7	31	207	18	147	14	2	185	2	36	39	1	22	5	0	160	111	88	32	0,1	3,2	28
F4	biolit	0-10	t=0	4,7	34	535	19	91	18	4	173	4	28	43	0	83	71	2	163	74	0	32	0,2	5,3	26
G1	lurgi	0-10	t=0	4,5	46	44	20	214	10	1	166	3	46	45	1	100	95	1	136	160	75	25	0,2	4,8	28
G2	controle	0-10	t=0	4,7	36	53	20	200	6	1	155	6	30	31	1	16	0	3	125	151	22	34	0,1	2,9	27
G3	dolokal	0-10	t=0	4,6	38	32	18	199	6	0	139	2	31	36	15	41	37	0	106	153	80	29	0,1	3,3	29
G4	biolit	0-10	t=0	4,6	28	353	15	158	27	4	188	4	56	59	1	107	102	1	149	128	182	29	0,3	7,2	27
H1	biolit	0-10	t=0	4,6	38	23	17	125	7	1	108	3	29	35	1	35	28	1	74	92	231	43	0,1	2,0	28
H2	lurgi	0-10	t=0	4,6	26	495	13	155	14	1	174	3	26	51	1	15	54	0	150	117	338	18	0,1	3,8	29
H3	dolokal	0-10	t=0	4,6	37	53	13	147	6	3	138	1	37	33	1	19	9	0	103	107	205	12	0,1	3,4	29
H4	controle	0-10	t=0	4,5	42	61	22	252	8	0	235	2	44	39	1	4	7	0	202	194	322	13	0,1	3,7	29
I1	biolit	0-10	t=0	4,6	24	53	11	172	9	1	176	3	24	37	1	22	19	0	128	136	164	15	0,1	2,9	29
I2	dolokal	0-10	t=0	4,6	28	56	12	131	10	1	142	2	27	30	1	2	4	0	103	100	147	12	0,1	3,8	30
I3	lurgi	0-10	t=0	4,5	25	43	10	158	8	1	194	2	31	44	1	10	9	0	153	120	262	16	0,1	3,8	31
I4	controle	0-10	t=0	4,5	28	25	14	100	7	0	148	1	37	39	0	0	7	0	124	87	198	33	0,2	5,4	29
J1	dolokal	0-10	t=0	4,5	26	168	32	127	10	3	175	4	31	39	1	0	3	1	149	93	263	19	0,2	5,0	31
J2	lurgi	0-10	t=0	4,5	15	621	9	181	28	3	203	9	47	35	0	2	11	6	176	133	336	14	0,1	3,3	31
J3	biolit	0-10	t=0	4,6	33	19	10	130	7	0	132	3	31	32	1	7	10	2	121	97	265	40	0,1	3,7	33
J4	controle	0-10	t=0	4,5	40	651	11	120	31	0	147	3	35	43	0	4	2	1	117	87	177	10	0,1	4,1	31

code	beh	cm		kg d/l v		% Olsen-P	µmol/kg	Destructie (mmol/kg)												Zoutextract 0,2M NaCl (µmol/kg)										µeq/kg	
		diepte	tijd	MV	OS			Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	pH NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3		NH4	BC
F1	lurgi	0-10	t=1	0,8	12	341		49	6	16	7	5	0	3	6	12	0	3,50	1138	3925	27	922	1200	19	2	89	971	24	2,4	14,5	11172
F2	controle	0-10	t=1	1,1	4	269		51	5	19	4	6	0	2	4	10	0	3,68	1411	329	8	209	294	3	4	47	26	7	1,7	8,2	1456
F3	dolokal	0-10	t=1	0,9	13	393		38	10	19	3	5	0	3	6	11	0	3,62	1657	458	6	259	416	3	0	51	33	9	1,5	14,6	2008
F4	biolit	0-10	t=1	0,7	10	465		47	14	34	5	18	0	5	9	11	0	4,42	127	8715	4	387	2388	6	1	155	112	8	2,1	17,1	22592
G1	lurgi	0-10	t=1	0,8	13	420		38	5	19	4	4	0	3	8	14	0	3,38	2128	804	28	359	829	3	2	143	231	19	1,5	24,7	3626
G2	controle	0-10	t=1	0,9	7	303		32	3	15	3	3	0	3	5	11	0	3,35	1794	564	20	371	600	8	1	56	42	18	3,8	38,4	2699
G3	dolokal	0-10	t=1	0,9	6	247		35	5	16	3	3	0	2	5	12	0	3,71	795	1952	7	287	765	3	1	93	59	11	0,8	12,1	5720
G4	biolit	0-10	t=1	0,8	10	345		42	8	18	4	8	0	3	6	13	0	3,41	1042	1944	7	361	1561	12	2	91	71	22	1,1	14,4	7370
H1	biolit	0-10	t=1	0,8	10	409		39	6	17	4	9	0	3	7	13	0	3,85	264	6111	6	465	5023	59	2	141	116	18	1,3	17,7	22734
H2	lurgi	0-10	t=1	0,9	10	388		39	5	12	4	4	0	3	8	13	0	3,37	1146	1950	29	757	1411	16	2	95	620	35	1,6	35,8	7477
H3	dolokal	0-10	t=1	1,0	6	293		36	10	13	4	5	0	3	6	13	0	3,60	856	1937	3	259	1054	5	1	85	57	16	1,9	18,5	6242
H4	controle	0-10	t=1	0,7	17	430		34	6	12	3	4	0	4	13	11	0	3,23	1947	1743	108	635	1773	15	3	129	73	46	7,6	69,7	7668
I1	biolit	0-10	t=1	0,9	7	290		35	7	19	4	7	0	3	5	10	0	3,48	1169	1608	8	298	1853</								

code	beh	cm		Waterextract (µmol/kg)																%					
		diepte	tijd	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	PO4	K	Na	Cl	BV	N	C	C/N
F1	lurgi	0-10	t=1	5,1	25	22	10	80	3	0	365	2	31	916	0	5	5	3	367	49	8	24	0,1	3,4	27
F2	controle	0-10	t=1	4,8	51	25	13	125	9	0	128	1	37	38	1	2	4	1	129	86	22	25	0,1	1,7	20
F3	dolokal	0-10	t=1	5,5	38	162	13	159	74	0	186	1	79	136	1	4	7	1	190	118	17	68	0,1	3,1	27
F4	biolit	0-10	t=1	5,1	73	61	16	140	57	1	155	1	51	218	1	9	10	1	162	110	37	21	0,2	6,4	28
G1	lurgi	0-10	t=1	4,9	72	30	33	118	10	0	531	2	100	482	1	1	6	1	511	84	76	15	0,1	3,5	25
G2	controle	0-10	t=1	5,3	27	62	12	159	19	0	279	1	63	82	1	3	4	1	282	120	38	20	0,1	2,6	24
G3	dolokal	0-10	t=1	5,7	69	195	12	213	113	0	190	0	119	115	0	3	4	1	199	174	40	50	0,1	3,0	26
G4	biolit	0-10	t=1	4,7	74	33	14	133	26	0	173	1	58	91	1	0	4	1	231	106	64	29	0,1	3,0	26
H1	biolit	0-10	t=1	4,9	53	124	23	153	70	1	206	1	77	136	1	8	6	1	197	111	71	86	0,1	2,6	25
H2	lurgi	0-10	t=1	5,1	63	25	14	112	6	0	408	1	70	505	1	5	6	1	415	82	55	27	0,2	4,1	27
H3	dolokal	0-10	t=1	5,4	33	133	9	125	83	0	153	1	74	154	1	27	28	1	166	94	45	50	0,1	3,0	25
H4	controle	0-10	t=1	4,6	80	26	19	137	16	0	185	3	64	71	1	5	9	2	217	101	50	17	0,2	4,6	27
I1	biolit	0-10	t=1	5,1	23	23	5	64	8	0	138	1	28	96	0	2	5	1	139	41	9	34	0,1	3,2	26
I2	dolokal	0-10	t=1	6,3	43	1478	4	329	566	1	331	2	123	166	0	8	22	1	369	244	28	95	0,1	3,9	27
I3	lurgi	0-10	t=1	5,1	83	24	25	130	7	0	345	1	52	484	0	2	5	1	436	107	117	25	0,1	3,2	26
I4	controle	0-10	t=1	4,6	85	33	24	140	18	1	159	1	41	76	1	4	8	1	164	101	99	19	0,1	3,0	24
J1	dolokal	0-10	t=1	6,0	15	521	7	307	270	0	759	2	167	190	1	13	9	1	775	254	193	87	0,2	5,7	27
J2	lurgi	0-10	t=1	4,8	121	29	25	206	12	0	638	1	159	1132	1	1	5	1	662	167	244	15	0,2	5,4	27
J3	biolit	0-10	t=1	5,2	29	70	10	176	100	1	176	1	111	190	1	2	4	0	195	136	117	20	0,1	3,2	25
J4	controle	0-10	t=1	4,4	198	59	25	172	27	2	212	1	79	89	1	6	22	1	224	131	98	25	0,2	5,1	28

code	beh	cm		kg d/l v	% MV	% OS	µmol/kg Olsen-P	Destructie (mmol/kg)										Zoutextract 0,2M NaCl (µmol/kg)										µeq/kg		
		diepte	tijd					Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	pH	NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	BC
F1	lurgi	0-10	t=2	1,1	5	383	36	2	15	3	3	0	2	3	15	0	3,8	1095	1125	15	294	597	3	1	63	74	15	9	16	3738
F2	controle	0-10	t=2	1,2	4	415	50	3	23	3	4	0	2	3	15	0	3,8	1455	301	27	213	315	1	1	36	31	8	2	13	1445
F3	dolokal	0-10	t=2	1,1	5	390	36	24	19	3	10	0	2	3	15	0	5,8	7	12002	3	434	2224	4	3	173	55	1	5	51	28885
F4	biolit	0-10	t=2	1,1	5	458	35	3	18	2	3	0	2	2	12	0	3,8	902	1093	52	249	1143	4	0	45	39	13	2	12	4720
G1	lurgi	0-10	t=2	1,0	5	422	37	2	14	3	2	0	2	4	17	0	3,8	357	5450	114	889	1382	7	1	142	247	25	3	66	14553
G2	controle	0-10	t=2	1,0	5	504	38	1	23	3	3	0	2	2	15	0	3,5	1510	405	109	239	464	3	0	34	34	16	2	22	1975
G3	dolokal	0-10	t=2	1,1	4	446	38	2	21	2	3	0	2	2	14	0	3,9	659	2323	6	190	979	4	1	72	41	8	2	17	6794
G4	biolit	0-10	t=2	0,9	6	394	40	2	16	3	3	0	2	3	18	0	3,5	1250	924	42	269	985	3	1	66	45	15	2	20	4088
H1	biolit	0-10	t=2	0,9	6	472	36	4	15	3	5	0	2	4	18	0	3,8	644	2266	12	256	1624	12	1	75	50	14	1	17	8036
H2	lurgi	0-10	t=2	0,9	7	497	34	2	9	4	2	0	3	6	22	0	3,5	1190	971	87	334	821	3	2	76	122	20	1	29	3917
H3	dolokal	0-10	t=2	1,0	5	463	53	8	20	5	5	0	3	7	27	0	4,0	265	4486	13	236	1523	4	1	111	51	14	2	14	12253
H4	controle	0-10	t=2	1,0	6	362	36	4	8	3	2	0	2	4	15	0	3,5	1430	470	70	246	604	3	1	64	34	17	2	22	2395
I1	biolit	0-10	t=2	0,9	6	498	41	7	21	4	9	0	3	6	18	0	4,1	339	3395	36	438	2930	31	1	91	86	14	1	6	13090
I2	dolokal	0-10	t=2	1,0	6	408	42	7	19	2	4	0	2	3	17	0	4,6	119	6259	9	281	1622	4	0	122	59	7	1	5	16041
I3	lurgi	0-10	t=2	1,0	6	441	39	3	13	3	3	0	2	4	18	0	3,6	1094	1434	7	279	838	3	2	69	147	19	1	10	4822
I4	controle	0-10	t=2	0,9	7	511	37	3	25	3	3	0	2	5	18	0	3,5	1367	1294	226	449	872	3	2	81	46	26	3	24	4781
J1	dolokal	0-10	t=2	1,0	5	446	37	6	18	3	3	0	2	2	16	0	4,5	66	6796	10	358	1651	4	1	130	80	8	1	14	17250
J2	lurgi	0-10	t=2	0,9	7	424	45	6	13	5	3	0	3	4	19	0	3,6	1499	1182	37	428	611	4	1	57	200	20	1	14	4014
J3	biolit	0-10	t=2	1,0	6	447	35	2	12	3	2	0	2	3	17	0	3,6	1440	850	76	369	1038	2	1	74	49	17	1	23	4145
J4	controle	0-10	t=2	0,9	9	424	37	2	12	2	2	0	2	4	16	0	3,5	1997	397	47	264	568	3	1	65	51	18	1	14	2194

code	beh	cm		Waterextract (µmol/kg)																%					
		diepte	tijd	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	PO4	K	Na	Cl	BV	N	C	C/N
F1	lurgi	0-10	t=2	4,8	36	19	16	53	3	0	44	3	27	85	0	3	4	1	341	21	149	21	0,1	3,0	26
F2	controle	0-10	t=2	4,3	84	25	22	90	20	0	0	1	34	42	1	2	4	1	170	57	140	15	0,1	2,6	24
F3	dolokal	0-10	t=2	5,3	20	90	8	99	39	0	0	1	27	57	0	2	4	1	177	68	155	94	0,1	2,6	30
F4	biolit	0-10	t=2	4,6	29	22	15	73	13	0	0	2	25	49	0	1	5	1	137	38	128	33	0,1	2,0	31
G1	lurgi	0-10	t=2	4,7	50	15	19	75	3	0	61	1	41	128	0	1	7	1	353	37	158	24	0,1	3,0	29
G2	controle	0-10	t=2	4,3	46	11	19	55	6	0	0	2	20	41	0	2	6	1	117	23	116	19	0,1	2,6	30
G3	dolokal	0-10	t=2	4,8	33	40	14	85	22	0	0	2	36	51	0	2	5	1	147	53	123	50	0,1	2,5	31
G4	biolit	0-10	t=2	4,4	52	16	15	73	11	0	0	4	44	54	0	3	9	2	179	37	133	30	0,1	2,9	32
H1	biolit	0-10	t=2	4,5	40	19	15	59	16	0	0	1	33	48	0	2	4	1	139	22	120	34	0,1	3,3	31
H2	lurgi	0-10	t=2	4,6	43	17	13	66	3	0	58	2	35	116	0	4	6	1	345	30	159	22	0,1	4,3	31
H3	dolokal	0-10	t=2	4,7	28	35	11	38	19	0	0	2	33	58	0	1	4	1	135	8	121	48	0,1	3,0	29
H4	controle	0-10	t=2	4,2	29	12	8	48	6	0	0	1	31	44	0	1	5	1	127	12	123	26	0,1	3,1	26
I1	biolit	0-10	t=2	5,0	25	42	11	110	52	0	0	3	41	125	0	1	4	1	179	70	150	39	0,1	4,2	30
I2	dolokal	0-10	t=2	4,8	25	64	9	104	26	0	0	1	34	68	0	2	4	0	144	49	128	63	0,1	3,0	33
I3	lurgi	0-10	t=2	4,8	33	11	16	57	2	0	49	2	33	118	0	5	9	1	331	22	149	26	0,1	3,6	31
I4	controle	0-10	t=2	4,2	40	29	17	89	9	0	0	1	40	55	1	8	6	1	181	48	158	20	0,1	3,5	36
J1	dolokal	0-10	t=2	4,9	23	70	8	68	33	0	0	2	32	73	0	1	4	0	111	33	116	64	0,1	2,4	33

code	beh	cm		kg d/l v	%	µmol/kg	Destructie (mmol/kg)										Zoutextract 0,2M NaCl (µmol/kg)										µeq/kg			
		diepte	tijd				MV	OS	Olsen-P	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Zn	pH NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P		S	Si	Zn	NO3	NH4	BC
F1	lurgi	0-10	t=3	0,7	8	514	46	12	22	8	7	0	4	13	13	0	3,5	1349	1314	90	438	999	3	2	54	169	23	25	23	5064
F2	controle	0-10	t=3	0,8	4	451	38	4	20	4	4	0	3	7	11	0	3,5	1339	730	9	220	475	1	1	43	70	10	0	26	2629
F3	dolokal	0-10	t=3	0,8	12	367	37	3	25	3	4	0	2	4	12	0	4,7	106	7358	3	417	2112	7	1	61	104	6	0	12	19357
F4	biolit	0-10	t=3	0,7	12	478	40	6	22	3	6	0	2	6	12	0	3,4	1070	2015	225	375	2020	7	2	54	105	27	47	49	8445
G1	lurgi	0-10	t=3	0,7	8	477	42	4	17	4	4	0	4	11	12	0	3,6	1175	1563	42	471	823	2	2	80	128	16	42	36	5244
G2	controle	0-10	t=3	0,8	7	613	38	4	22	4	5	0	3	8	13	0	3,4	1774	409	45	267	493	2	1	51	91	12	2	44	2071
G3	dolokal	0-10	t=3	0,7	8	323	31	5	15	2	3	0	2	4	10	0	4,4	88	6583	5	315	1878	7	1	64	97	6	3	19	17237
G4	biolit	0-10	t=3	0,8	12	374	34	3	14	3	4	0	2	5	11	0	3,6	764	2377	5	361	2092	15	2	76	97	14	11	33	9298
H1	biolit	0-10	t=3	0,7	9	432	35	4	14	3	5	0	3	7	12	0	3,6	933	1621	13	298	1755	3	2	69	89	15	8	32	7049
H2	lurgi	0-10	t=3	0,7	7	319	31	3	12	4	3	0	2	6	13	0	3,4	1202	829	4	271	547	1	2	55	104	12	11	21	3022
H3	dolokal	0-10	t=3	0,9	5	294	33	4	11	3	3	0	2	4	13	0	4,1	141	5047	4	200	1614	4	2	51	89	8	3	19	13521
H4	controle	0-10	t=3	0,8	10	322	31	1	9	3	2	0	2	3	13	0	3,4	1521	341	5	178	321	1	1	48	84	9	2	21	1503
I1	biolit	0-10	t=3	0,7	14	367	29	4	14	3	5	0	2	6	13	0	3,7	859	2182	21	345	2454	5	2	69	94	16	5	22	9616
I2	dolokal	0-10	t=3	0,7	5	213	35	41	20	4	10	0	3	8	13	0	4,1	118	6510	3	224	1791	2	1	52	99	7	7	28	16824
I3	lurgi	0-10	t=3	0,7	8	504	42	11	17	7	6	0	4	12	13	0	3,6	1592	925	17	377	650	1	1	53	119	13	8	9	3528
I4	controle	0-10	t=3	0,7	5	447	31	1	15	3	2	0	2	4	9	0	3,3	1614	505	34	313	604	1	2	58	73	20	6	18	2531
J1	dolokal	0-10	t=3	0,7	12	362	32	4	17	3	3	0	2	4	11	0	5,2	20	11273	7	679	1973	2	2	83	128	2	20	57	27171
J2	lurgi	0-10	t=3	0,7	6	441	32	2	11	5	2	0	2	7	9	0	3,4	1360	841	46	423	460	1	2	57	97	11	5	26	3025
J3	biolit	0-10	t=3	0,8	9	294	30	2	9	3	3	0	2	4	12	0	3,5	906	1843	43	310	1610	2	2	65	80	14	7	28	7215
J4	controle	0-10	t=3	0,7	11	521	35	1	12	3	2	0	3	7	11	0	3,3	1713	783	87	310	790	2	3	75	85	21	41	30	3457

code	beh	cm		Waterextract (µmol/kg)										%	%	%									
		diepte	tijd	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S				Si	Zn	NO3	NH4	PO4	K	Na	Cl	BV	N	C	C/N
F1	lurgi	0-10	t=3	4,8	27	20	12	44	0	0	244	1	15	156	0	3	5	2	246	39	22	19			
F2	controle	0-10	t=3	4,6	45	31	20	67	3	0	109	0	17	89	0	2	7	1	101	73	30	13			
F3	dolokal	0-10	t=3	4,8	33	68	11	66	21	0	112	0	22	112	1	3	2	1	100	69	20	68			
F4	biolit	0-10	t=3	4,8	34	33	12	48	8	0	108	1	17	101	1	2	2	1	87	44	19	36			
G1	lurgi	0-10	t=3	4,8	42	21	11	52	0	0	251	1	31	155	0	3	4	1	246	44	5	20			
G2	controle	0-10	t=3	4,6	39	22	15	66	0	0	120	0	15	97	0	1	5	1	114	68	9	15			
G3	dolokal	0-10	t=3	5,1	26	194	9	65	96	0	167	1	41	111	1	4	4	0	165	62	10	38			
G4	biolit	0-10	t=3	4,8	27	33	7	75	10	0	142	1	34	115	1	1	2	1	131	79	14	47			
H1	biolit	0-10	t=3	4,9	38	35	11	46	6	0	128	1	20	105	1	4	9	0	117	43	27	40			
H2	lurgi	0-10	t=3	5,0	22	16	7	41	0	0	264	1	22	122	0	1	0	0	262	37	95	21			
H3	dolokal	0-10	t=3	4,9	32	57	8	27	19	0	97	0	14	104	0	2	5	0	96	30	13	48			
H4	controle	0-10	t=3	4,7	46	22	9	59	1	0	82	2	17	89	0	1	4	1	61	56	4	8			
I1	biolit	0-10	t=3	4,9	28	28	7	55	9	0	96	1	25	111	0	2	6	0	171	52	19	30			
I2	dolokal	0-10	t=3	5,3	59	54	9	53	14	0	99	0	15	104	0	2	5	0	82	48	20	61			
I3	lurgi	0-10	t=3	5,1	27	18	13	30	0	0	215	1	15	144	0	4	4	0	212	37	6	19			
I4	controle	0-10	t=3	4,5	26	20	9	51	0	0	95	0	19	91	0	1	6	0	85	48	0	12			
J1	dolokal	0-10	t=3	5,7	37	141	13	80	30	0	98	1	32	142	1	6	9	1	90	87	6	88			
J2	lurgi	0-10	t=3	4,9	30	19	11	56	0	0	233	1	28	131	0	5	4	0	234	54	30	17			
J3	biolit	0-10	t=3	4,8	27	28	8	56	4	0	98	1	30	95	1	3	7	0	91	56	35	21			
J4	controle	0-10	t=3	4,4	67	26	9	62	0	0	155	1	27	106	1	3	6	0	150	64	36	8			

Bijlage 3.3: Bodemchemie Strabrechtse heide

code	beh	cm	diepte	tijd	kg d/l v			Destructie (mmol/kg)										Zoutextract 0,2M NaCl (μmol/kg)													μeq/kg			
					MV	OS	Olsen-P	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	pH	NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	BC		
1A	Lavagruis	0-10	t=0	1,1	7	293	26	8	9	1	1	0	2	4	16	0	3,0	2195	1141	7	149	310	4	1	31	32	84	3	0	3052				
1B	Biolit 100	0-10	t=0	1,1	8	236	16	13	6	1	1	0	2	4	13	0	3,1	874	1431	7	233	419	5	1	29	52	47	3	41	3932				
1C	Controle	0-10	t=0	1,1	7	295	21	9	10	1	1	0	2	5	11	0	3,0	1517	1524	4	179	485	5	1	36	37	96	3	17	4197				
1D	Dolokal	0-10	t=0	1,1	7	240	17	6	7	1	1	0	2	4	10	0	2,9	1328	1854	4	163	481	8	1	45	36	79	3	112	4834				
1E	Lurgi	0-10	t=0	1,0	9	276	19	9	7	1	1	0	2	5	10	0	3,0	1085	3076	4	253	835	14	1	61	36	105	4	105	8074				
1F	Biolit 200	0-10	t=0	1,1	8	259	16	8	7	1	1	0	2	4	11	0	3,0	1110	2058	21	305	709	16	6	62	40	107	5	476	5839				
2A	Controle	0-10	t=0	1,2	5	219	15	6	7	1	1	0	1	4	12	0	3,0	1052	1557	5	98	268	4	1	44	40	38	36	51	3749				
2B	Biolit 100	0-10	t=0	0,9	11	297	15	6	8	1	1	0	2	5	14	0	3,1	712	1302	5	85	230	3	2	36	59	48	20	35	3149				
2C	Dolokal	0-10	t=0	1,0	9	318	25	10	10	1	1	0	3	6	20	0	3,0	1411	1886	4	176	501	5	2	49	37	83	64	145	4950				
2D	Lurgi	0-10	t=0	1,1	10	278	25	6	10	1	1	0	2	5	21	0	3,0	1997	2250	15	96	616	10	7	50	40	118	5	49	5829				
2E	Lavagruis	0-10	t=0	1,2	5	196	12	6	6	1	1	0	1	3	13	0	3,1	874	1400	17	141	344	5	1	35	46	42	6	38	3629				
2F	Biolit 200	0-10	t=0	1,1	9	250	25	6	7	1	1	0	2	5	23	0	3,0	1489	1866	11	144	386	5	3	60	48	74	76	158	4648				
3A	Biolit 100	0-10	t=0	1,2	5	156	16	5	6	1	1	0	1	3	15	0	3,0	1036	1040	8	165	267	5	1	68	29	41	15	105	2780				
3B	Lavagruis	0-10	t=0	1,3	7	298	26	4	13	1	1	0	2	4	13	0	3,1	1453	1118	4	131	300	4	1	42	30	45	3	0	2966				
3C	Biolit 200	0-10	t=0	1,1	6	248	16	4	8	2	1	0	2	4	14	0	3,1	1192	1356	5	928	275	6	2	33	28	40	25	37	4190				
3D	Dolokal	0-10	t=0	1,2	6	221	16	6	7	1	1	0	2	3	14	0	3,1	1052	1151	5	73	267	4	2	34	26	37	31	92	2911				
3E	Controle	0-10	t=0	1,2	5	206	13	6	6	1	1	0	1	3	12	0	3,1	661	1210	3	86	294	5	2	27	22	38	2	0	3093				
3F	Lurgi	0-10	t=0	1,1	8	269	19	7	8	1	1	0	2	4	17	0	3,1	928	1414	4	108	308	5	1	30	29	45	1	0	3553				
4A	Dolokal	0-10	t=0	1,0	11	328	32	12	11	1	1	0	2	4	16	0	3,2	1776	938	4	263	399	5	1	36	19	47	70	439	2938				
4B	Controle	0-10	t=0	1,1	8	477	42	4	27	3	3	0	3	5	12	0	3,1	1608	1657	12	243	702	5	2	78	46	89	23	442	4959				
4C	Biolit 100	0-10	t=0	1,1	8	320	24	4	9	1	1	0	2	4	18	0	3,1	1302	1796	4	213	617	6	1	45	46	64	41	104	5039				
4D	Biolit 200	0-10	t=0	1,0	10	368	28	9	13	1	1	0	3	5	16	0	3,1	1798	1342	8	252	470	4	1	42	50	73	61	344	3877				
4E	Lurgi	0-10	t=0	1,2	6	332	34	7	12	2	1	0	3	4	19	0	3,1	1687	1200	8	84	275	3	0	26	25	41	17	32	3034				
4F	Lavagruis	0-10	t=0	1,0	11	370	32	6	13	2	1	0	3	6	15	0	3,1	1416	4102	29	586	1179	12	2	82	48	116	6	288	11148				
5A	Lurgi	0-10	t=0	1,1	6	298	48	6	17	1	2	0	3	4	13	0	3,1	1885	761	5	87	283	3	0	27	16	38	14	71	2174				
5B	Biolit 200	0-10	t=0	1,1	8	385	61	5	30	3	3	0	3	6	17	0	3,2	2224	964	8	234	395	7	1	44	18	52	37	177	2952				
5C	Dolokal	0-10	t=0	1,0	8	405	52	10	15	2	2	0	4	5	21	0	3,2	2449	1380	14	275	580	4	2	52	26	63	70	241	4196				
5D	Biolit 100	0-10	t=0	1,1	7	202	21	11	6	1	1	0	2	3	19	0	3,2	1021	1390	10	323	534	6	1	36	24	56	17	203	4172				
5E	Controle	0-10	t=0	1,1	8	326	35	8	10	2	1	0	3	3	16	0	3,2	1826	1430	8	201	530	5	2	39	19	57	22	171	4121				
5F	Lavagruis	0-10	t=0	1,0	9	256	40	5	10	1	1	0	3	4	15	0	3,3	1717	1051	7	169	493	4	1	35	23	58	22	102	3256				

code	beh	cm	diepte	tijd	Waterextract (μmol/kg)																	% BV			
					pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	PO4	K	Na	Cl	N	C	C/N
1A	Lavagruis	0-10	t=0	4,2	35	55	6	25	8	0	28	2	17	46	1	0	1	1	29	25	54	9	0,2	4,7	26
1B	Biolit 100	0-10	t=0	4,3	52	74	4	30	10	0	15	1	9	30	0	2	1	1	12	26	32	16	0,1	3,0	26
1C	Controle	0-10	t=0	4,0	29	54	10	32	7	0	48	2	18	45	1	1	3	1	40	26	53	13	0,2	4,6	28
1D	Dolokal	0-10	t=0	3,9	34	85	6	99	12	0	47	2	19	38	1	1	2	1	46	59	173	13	0,1	3,9	32
1E	Lurgi	0-10	t=0	3,9	67	115	5	312	21	0	79	2	19	44	1	0	2	1	79	254	524	25	0,2	5,0	28
1F	Biolit 200	0-10	t=0	4,0	22	30	7	27	4	0	0	2	16	38	1	12	35	1	0	25	44	18	0,1	3,4	27
2A	Controle	0-10	t=0	4,0	13	49	3	25	6	0	17	2	12	39	0	19	2	1	31	24	46	11	0,1	3,1	28
2B	Biolit 100	0-10	t=0	3,9	23	46	8	27	5	1	4	3	18	46	1	27	17	1	7	26	49	16	0,2	4,3	26
2C	Dolokal	0-10	t=0	3,9	60	45	6	45	7	1	15	3	23	41	1	56	14	1	9	27	52	17	0,2	6,2	29
2D	Lurgi	0-10	t=0	3,8	24	46	11	24	7	1	39	2	26	44	1	4	2	2	20	26	58	19	0,2	5,1	29
2E	Lavagruis	0-10	t=0	4,0	26	25	4	17	3	0	24	2	14	32	1	2	3	1	9	24	32	12	0,1	2,9	29
2F	Biolit 200	0-10	t=0	3,7	19	152	7	48	21	1	61	1	58	46	1	61	34	1	53	28	87	16	0,1	3,8	26
3A	Biolit 100	0-10	t=0	3,9	48	23	4	38	3	1	5	1	14	31	1	10	1	1	0	24	43	8	0,1	2,6	32
3B	Lavagruis	0-10	t=0	3,9	42	26	5	9	3	1	11	0	19	34	1	4	1	1	12	24	28	12	0,1	3,3	29
3C	Biolit 200	0-10	t=0	4,3	5	8	1	143	1	0	0	1	9	27	0	15	4	1	0	85	16	15	0,1	4,0	32
3D	Dolokal	0-10	t=0	3,6	33	30	6	12	5	1	16	2	21	32	1	36	11	1	17	24	41	12	0,1	3,3	30
3E	Controle	0-10	t=0	3,6	48	59	2	11	7	0	0	1	10	28	1	0	0	1	0	23	19	14	0,1	3,3	33
3F	Lurgi	0-10	t=0	3,8	120	22	5	18	3	1	5	2	13	33	1	2	2	1	0	25	29	16	0,1	3,6	29
4A	Dolokal	0-10	t=0	3,8	22	92	4	44	13	0	91	1	31	26	0	22	86	0	122	29	89	14	0,2	5,1	32
4B	Controle	0-10	t=0	3,7	230	34	16	33	5	2	25	1	33	39	1	52	37	1	17	26	56	22	0,1	3,3	24
4C	Biolit 100	0-10	t=0	3,7	43	47	8	39	6	0	53	2	22	53	1	25	32	1	58	26	56	21	0,1	3,8	32
4D	Biolit 200	0-10	t=0	3,7	258	34	18	75	6	1	140	3	35	44	1	53	90	2	124	42	124	18	0,2	5,4	29
4E	Lurgi	0-10	t=0	3,7	20	39	5	17	6	0	0	1	13	20	0	25	13	1	63	25	72	13	0,1	3,5	30
4F	Lavagruis	0-10	t=0	3,7	18	52	5	24	7	0	42	1	15	31	0	0	3	1	32	26	53	40	0,2	4,9	29
5A	Lurgi	0-10	t=0	3,6	58	36	10	23	7	0	11	1	16	24	1	14	25	1	4	25	42	10	0,1	3,1	28
5B	Biolit 200	0-10	t=0	3,3	78	113	10	44	15	0	65	0	20	24	1	22	16	0	55	26	73	22	0,2	4,6	29
5C	Dolokal	0-10	t=0	3,5	59	12																			

code	beh	cm	diepte	tijd	kg d/l v	MV	OS	Olsen-P	Destructie (mmol/kg)													Zoutextract 0,2M NaCl (µmol/kg)											µeq/kg
									Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	pH	NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO3	NH4		BC
1A	Lavagruis	0-10	t=1	1,0	12	357	35	4	13	2	2	0	2	5	7	0	3,1	735	2239	7	676	666	11	8	70	259	88	5	495	6486			
1B	Biolit 100	0-10	t=1	0,8	13	426	31	16	23	4	10	0	6	19	10	1	3,1	811	2456	4	202	1387	16	4	66	63	76	8	678	7887			
1C	Controle	0-10	t=1	0,9	12	543	27	8	20	3	3	0	4	14	10	0	3,0	1183	3603	9	385	1066	30	3	92	57	119	10	366	9724			
1D	Dolokal	0-10	t=1	0,9	12	470	32	10	23	3	7	0	4	13	9	1	3,2	578	4738	9	362	3936	7	3	105	109	113	161	911	17709			
1E	Lurgi	0-10	t=1	1,0	13	514	21	5	13	2	2	0	3	8	8	0	3,0	1468	3564	25	456	832	27	5	87	652	113	3	253	9250			
1F	Biolit 200	0-10	t=1	1,1	9	602	22	13	16	8	6	0	4	12	10	0	3,8	91	2160	3	979	14	15	67	72	31	467	4497	6279				
2A	Controle	0-10	t=1	1,1	7	500	30	6	19	3	2	0	4	12	7	0	2,8	1456	3288	13	402	1058	43	3	89	44	99	24	159	9095			
2B	Biolit 100	0-10	t=1	1,2	7	261	11	2	5	1	1	0	1	3	7	0	3,0	1011	1084	3	94	345	4	3	48	25	37	24	77	2951			
2C	Dolokal	0-10	t=1	1,0	9	565	23	15	12	3	7	0	3	13	8	0	3,1	1010	1951	4	194	861	5	4	61	64	56	117	156	5818			
2D	Lurgi	0-10	t=1	1,2	9	370	29	6	20	2	2	0	4	12	11	0	2,9	1635	2196	8	142	652	9	8	75	173	103	48	119	5838			
2E	Lavagruis	0-10	t=1	0,9	14	496	35	6	18	4	3	0	4	11	10	0	2,9	1959	2291	11	518	527	9	6	98	515	81	186	264	6155			
2F	Biolit 200	0-10	t=1	1,0	10	460	41	6	18	4	3	0	4	11	11	0	2,8	1746	6543	29	502	2330	41	4	179	149	171	721	1408	18247			
3A	Biolit 100	0-10	t=1	1,0	17	506	25	6	15	3	3	0	4	10	6	0	2,7	1922	5669	14	302	1834	13	9	149	111	166	331	363	15307			
3B	Lavagruis	0-10	t=1	0,9	15	426	44	8	18	11	7	0	4	10	10	0	3,1	1250	4001	9	827	1211	10	9	113	1544	95	21	89	11250			
3C	Biolit 200	0-10	t=1	1,1	9	409	30	4	14	5	2	0	2	7	7	0	3,6	161	3393	16	1865	23	4	340	166	37	25	8884	10517				
3D	Dolokal	0-10	t=1	0,9	13	561	36	11	21	3	7	0	5	14	10	0	3,9	64	11103	4	334	10849	19	3	213	148	41	126	330	44237			
3E	Controle	0-10	t=1	1,1	8	358	13	3	8	3	1	0	2	4	5	0	3,2	759	1843	5	601	523	14	3	54	26	43	3	54	5333			
3F	Lurgi	0-10	t=1	1,2	7	306	7	1	4	1	0	0	1	2	12	0	3,1	716	1433	4	322	363	8	3	36	264	47	1	22	3914			
4A	Dolokal	0-10	t=1	0,9	14	584	50	13	34	4	10	0	6	18	14	1	3,2	1157	4509	10	184	3756	10	2	127	101	84	151	723	16714			
4B	Controle	0-10	t=1	0,9	7	860	56	9	43	6	6	0	7	25	15	1	3,0	3196	1045	159	274	402	17	3	134	59	66	201	729	3167			
4C	Biolit 100	0-10	t=1	1,1	10	336	17	2	7	2	1	0	2	4	7	0	3,3	574	4316	4	226	2330	33	2	81	73	55	12	244	13517			
4D	Biolit 200	0-10	t=1	0,9	11	652	46	2	30	3	2	0	5	13	13	0	2,9	2565	889	8	196	551	8	1	62	51	88	18	498	3076			
4E	Lurgi	0-10	t=1	1,0	9	433	31	7	18	5	3	0	4	11	12	0	3,0	1376	2166	9	213	528	7	2	82	293	72	228	296	5602			
4F	Lavagruis	0-10	t=1	1,0	11	530	41	4	23	1	2	0	3	7	11	0	3,0	2332	1759	16	300	513	7	4	93	549	77	95	356	4845			
5A	Lurgi	0-10	t=1	1,0	9	530	65	7	22	5	4	0	5	10	13	0	3,1	2038	1668	19	478	391	9	2	63	902	72	76	342	4596			
5B	Biolit 200	0-10	t=1	0,9	11	533	36	5	26	2	5	0	4	8	12	0	2,9	1966	3862	163	410	1916	26	6	105	100	142	106	451	11965			
5C	Dolokal	0-10	t=1	0,8	10	431	29	9	15	2	6	0	3	8	11	0	3,6	145	6758	6	390	5922	12	3	136	68	60	191	498	25750			
5D	Biolit 100	0-10	t=1	1,0	9	432	28	7	17	2	5	0	3	8	10	0	3,1	971	1420	3	188	945	8	1	48	32	51	27	211	4918			
5E	Controle	0-10	t=1	0,9	8	553	26	4	18	2	2	0	3	9	11	0	3,0	1396	1708	6	247	675	5	1	56	30	79	6	277	5012			
5F	Lavagruis	0-10	t=1	1,1	5	279	19	5	12	2	25	0	2	4	11	0	3,1	1078	915	11	424	402	4	0	45	155	44	19	338	3058			

code	beh	cm	diepte	tijd	Waterextract (µmol/kg)																	% BV	% N	% C	% C/N
					pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si	Zn	NO3	NH4	PO4	K	Na					Cl
1A	Lavagruis	0-10	t=1	4,7	54	31	9	201	4	0	514	3	45	810	1	7	44	1	494	155	33	52	0,2	6,7	44
1B	Biolit 100	0-10	t=1	5,1	18	36	8	76	21	0	112	3	34	185	1	29	135	2	102	55	102	57	0,3	8,0	30
1C	Controle	0-10	t=1	4,4	19	21	8	84	4	0	68	2	20	48	1	13	31	1	75	59	44	56	0,2	6,5	32
1D	Dolokal	0-10	t=1	4,4	39	30	18	116	19	0	105	6	59	167	1	218	336	3	121	90	44	79	0,2	5,4	33
1E	Lurgi	0-10	t=1	4,7	17	11	7	48	2	0	198	3	23	461	0	8	27	3	225	35	33	52	0,1	4,7	33
1F	Biolit 200	0-10	t=1	4,7	14	27	7	279	6	0	28	2	30	73	1	847	644	1	44	239	7	67	0,1	4,3	29
2A	Controle	0-10	t=1	4,3	9	19	5	78	3	0	53	3	14	41	0	53	9	1	68	61	0	47	0,1	4,0	30
2B	Biolit 100	0-10	t=1	4,7	13	26	4	96	16	0	47	7	16	85	0	26	14	6	44	71	4	31	0,1	2,8	41
2C	Dolokal	0-10	t=1	4,2	24	73	9	158	61	1	78	4	33	97	1	310	45	2	98	135	18	47	0,2	5,6	30
2D	Lurgi	0-10	t=1	4,4	25	17	11	22	4	0	190	4	21	141	1	43	9	2	194	30	19	38	0,1	3,0	36
2E	Lavagruis	0-10	t=1	4,6	28	29	10	53	4	0	396	5	37	622	1	109	8	3	425	38	2	36	0,2	5,8	33
2F	Biolit 200	0-10	t=1	4,1	28	47	7	123	29	0	95	3	32	85	1	421	287	2	106	99	10	60	0,1	4,3	30
3A	Biolit 100	0-10	t=1	4,0	33	58	8	62	21	2	90	3	29	78	1	269	120	1	81	44	5	53	0,2	5,5	37
3B	Lavagruis	0-10	t=1	4,9	21	14	7	50	2	0	388	17	30	1054	1	97	8	15	430	35	0	61	0,1	4,9	33
3C	Biolit 200	0-10	t=1	5,0	33	18	14	92	2	0	9	7	91	87	1	50	623	6	17	67	31	60	0,1	4,5	31
3D	Dolokal	0-10	t=1	4,4	29	49	8	122	33	0	641	3	32	102	1	195	76	2	761	97	230	98	0,2	7,3	33
3E	Controle	0-10	t=1	4,7	8	23	4	56	2	0	24	3	12	42	0	9	12	2	12	35	162	51	0,1	3,8	39
3F	Lurgi	0-10	t=1	5,3	7	32	2	40	2	0	134	2	10	335	0	3	5	1	122	26	20	45	0,1	1,9	32
4A	Dolokal	0-10	t=1	4,5	48	37	17	50	19	0	59	2	41	90	1	113	220	1	69	38	17	72	0,2	6,5	27
4B	Controle	0-10	t=1	4,0	53	79	23	165	27	0	179	3	48	67	5	287	132	1	207	138	36	17	0,3	6,5	25
4C	Biolit 100	0-10	t=1	4,7	13	15	5	43	5	0	57	2	15	51	1	37	39	1	109	33	37	78	0,1	4,7	41
4D	Biolit 200	0-10	t=1	4,4	28	22	11	34	3	0	79	2	27	66	1	23	104	1	79	32	25	19	0,2	7,1	32
4E	Lurgi	0-10	t=1	4,5	25	86	10	47	25	0	273	2	29	223	1	142	74	0	269	32	1	41	0,1	3,7	28
4F	Lavagruis	0-10	t=1	5,0	27	10	12	40	1	0	438	6	33	965	1	131	24	5	436	32	12	30	0,2	5,1	32
5A	Lurgi	0-10	t=1	5,0	15	29	5	52	3	0	318	3	19	636	0	69	5	1	334	48	3	32	0,2	4,7	30
5B	Biolit 200	0-10	t=1	4,3	23	2																			

code	beh	cm	diepte	tijd	kg d/l v	MV	OS	Olsen-P	µmol/kg	Destructie (mmol/kg)											Zoutextract 0,2M NaCl (µmol/kg)											µeq/kg
										Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	pH	NaCl	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn		NO3	NH4	BC
1A	Lavagruis	0-10	t=2	1,0	7	446			22	4	14	5	0	2	3	14	0	3,4	829	1575	4		651	16	1	73	776	49	14	782	4453	
1B	Biolit 100	0-10	t=2	0,9	8	521			26	9	18	2	10	0	3	5	11	0	3,8	202	5550	5	774	3869	74	2	139	151	55	76	493	19612
1C	Controle	0-10	t=2	1,0	8	610			21	4	12	1	1	0	2	6	10	0	3,2	1197	2333	9	749	745	15	2	75	54	105	38	1073	6905
1D	Dolokal	0-10	t=2	1,1	9	525			16	8	8	1	6	0	2	5	8	0	3,7	184	4854	6	642	4674	17	5	120	95	43	120	904	19698
1E	Lurgi	0-10	t=2	1,0	10	484			21	5	9	1	1	0	2	5	9	0	3,2	982	3474	21	817	891	28	3	100	1326	103	39	892	9546
1F	Biolit 200	0-10	t=2	1,0	9	607			20	7	11	1	6	0	3	5	8	0	3,4	509	4172	4	726	2396	56	15	93	77	87	74	480	13863
2A	Controle	0-10	t=2	1,0	11	556			23	3	9	1	1	0	2	4	7	0	3,1	1863	2750	6	655	724	16	5	83	50	115	135	2435	7603
2B	Biolit 100	0-10	t=2	1,1	7	568			14	4	8	1	3	0	2	5	8	0	3,3	530	2843	4	275	1830	29	27	70	49	92	57	290	9620
2C	Dolokal	0-10	t=2	1,0	9	459			16	12	8	1	9	0	2	4	9	0	3,8	107	5291	3	429	5382	11	11	115	71	38	173	278	21775
2D	Lurgi	0-10	t=2	1,0	9	465			26	5	9	2	1	0	2	5	11	0	3,3	807	3974	4	753	736	16	4	97	1558	81	91	432	10173
2E	Lavagruis	0-10	t=2	1,0	8	402			23	3	9	2	3	0	2	4	10	0	3,2	922	1569	3	382	531	11	5	62	586	44	82	181	4583
2F	Biolit 200	0-10	t=2	1,1	7	488			33	6	15	2	7	0	3	4	11	0	3,4	526	3822	8	398	2024	40	7	92	95	47	149	417	12091
3A	Biolit 100	0-10	t=2	1,1	7	515			22	6	14	1	7	0	3	4	10	0	3,4	449	3072	2	336	1901	33	13	70	52	51	71	213	10283
3B	Lavagruis	0-10	t=2	1,1	7	594			26	4	9	7	7	0	3	4	10	0	3,5	557	1886	6	2002	770	18	5	63	477	39	54	467	7314
3C	Biolit 200	0-10	t=2	1,0	8	581			20	5	11	1	4	0	3	5	11	0	3,3	624	2860	3	216	1805	25	10	69	47	52	55	141	9545
3D	Dolokal	0-10	t=2	1,1	7	492			31	12	17	1	11	0	2	4	13	0	4,2	66	4742	3	250	5494	11	2	125	76	13	39	212	20721
3E	Controle	0-10	t=2	1,1	8	506			17	3	9	1	1	0	2	5	10	0	3,1	1138	2348	4	296	604	16	7	68	39	72	60	176	6199
3F	Lurgi	0-10	t=2	1,1	6	465			43	3	24	4	4	0	2	4	14	0	3,5	823	2284	5	1099	616	10	1	55	385	47	26	209	6898
4A	Dolokal	0-10	t=2	1,0	8	485			22	7	12	1	6	0	2	5	15	0	3,7	213	3903	4	305	4147	7	3	97	84	37	64	209	16406
4B	Controle	0-10	t=2	0,9	10	690			42	3	23	3	3	0	3	7	17	0	3,2	1807	1756	22	381	771	8	3	88	46	83	51	629	5435
4C	Biolit 100	0-10	t=2	1,0	8	486			27	7	17	1	8	0	3	5	11	0	3,5	536	2721	4	261	1951	40	2	62	80	48	39	270	9604
4D	Biolit 200	0-10	t=2	0,9	11	614			39	7	24	2	7	0	4	8	14	0	3,2	1404	2586	6	294	1550	32	5	88	83	84	78	788	8566
4E	Lurgi	0-10	t=2	1,0	6	449			34	4	12	5	4	0	2	4	16	0	3,4	738	1899	10	350	559	8	2	50	644	43	54	350	5266
4F	Lavagruis	0-10	t=2	0,9	10	550			38	6	16	6	5	0	3	6	14	0	3,3	1142	1491	5	503	595	7	4	70	881	53	18	328	4676
5A	Lurgi	0-10	t=2	1,1	6	395			20	2	7	1	1	0	2	3	10	0	3,4	663	2171	4	402	701	14	1	47	665	48	26	265	6147
5B	Biolit 200	0-10	t=2	1,0	10	667			55	3	18	2	4	0	3	5	16	0	3,3	1898	1880	5	259	1456	10	2	62	47	54	41	423	6932
5C	Dolokal	0-10	t=2	1,0	8	536			36	5	13	2	5	0	3	5	16	0	3,5	606	2485	6	306	2735	5	1	69	53	47	33	393	10745
5D	Biolit 100	0-10	t=2	1,0	9	494			24	5	13	1	6	0	2	4	11	0	3,3	772	2894	5	268	2128	25	5	84	76	74	51	499	10311
5E	Controle	0-10	t=2	1,0	8	539			43	2	12	1	1	0	3	4	12	0	3,2	2288	1388	9	368	710	11	5	65	37	63	88	447	4565
5F	Lavagruis	0-10	t=2	1,0	9	520			40	3	13	3	3	0	3	5	11	0	3,3	1339	2341	8	564	1170	9	1	72	463	73	47	509	7586

code	beh	cm	diepte	tijd	Waterextract (µmol/kg)											%	%	%	%							
					pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S	Si					Zn	NO3	NH4	PO4	K	Na	Cl	BV	N	C	C/N
1A	Lavagruis	0-10	t=2		3,8	30	39	7		25	0	457	4	56	353	1	7	366	2	815		4004	30	0,1	4,2	33
1B	Biolit 100	0-10	t=2		4,7	26	34	10	143	22	0	0	10	44	131	1	62	107	7	89	127	148	53	0,1	2,6	34
1C	Controle	0-10	t=2		4,4	20	9	8	89	2	0	0	5	35	48	0	27	114	2	69	57	130	25	0,1	2,3	30
1D	Dolokal	0-10	t=2		4,4	34	25	10	140	22	0	0	16	44	87	0	90	218	9	76	108	137	59	0,1	2,3	41
1E	Lurgi	0-10	t=2		4,1	22	12	5	41	2	0	0	8	30	165	0	18	48	3	172	12	123	25	0,1	4,2	32
1F	Biolit 200	0-10	t=2		3,9	25	24	6	106	9	0	0	42	33	68	1	63	88	33	58	71	117	41	0,1	4,5	38
2A	Controle	0-10	t=2		3,9	43	13	9	56	2	0	0	6	32	43	0	84	222	2	37	28	137	26	0,2	5,3	34
2B	Biolit 100	0-10	t=2		3,8	20	23	5	83	12	0	0	45	26	46	1	58	50	33	118	50	138	34	0,1	3,1	31
2C	Dolokal	0-10	t=2		4,5	23	56	6	121	85	0	0	21	39	68	1	156	46	13	46	87	123	57	0,1	3,7	35
2D	Lurgi	0-10	t=2		4,3	17	14	6	83	3	0	17	8	31	357	0	72	44	4	271	51	143	34	0,1	4,7	31
2E	Lavagruis	0-10	t=2		4,3	22	14	11	41	2	0	65	13	32	235	0	64	10	5	315	12	134	23	0,1	2,0	33
2F	Biolit 200	0-10	t=2		4,3	41	36	11	122	30	0	0	26	38	104	1	95	94	20	72	87	134	35	0,1	3,1	32
3A	Biolit 100	0-10	t=2		3,7	71	34	5	112	26	0	0	56	30	55	1	64	14	47	67	75	125	37	0,1	3,9	38
3B	Lavagruis	0-10	t=2		4,4	19	11	7	161	2	0	0	38	33	302	0	48	60	24	158	110	129	35	0,1	3,3	32
3C	Biolit 200	0-10	t=2		4,2	24	27	6	80	17	0	0	21	39	49	1	35	13	12	92	64	145	37	0,1	3,9	36
3D	Dolokal	0-10	t=2		4,2	42	40	9	43	73	0	0	4	43	68	0	24	44	2	66	47	123	59	0,1	4,2	31
3E	Controle	0-10	t=2		3,6	16	11	4	48	3	0	0	8	21	37	0	44	24	3	52	45	102	23	0,1	2,0	39
3F	Lurgi	0-10	t=2		4,6	32	7	12	111	2	0	0	5	28	145	0	26	24	3	112	70	117	38	0,1	4,6	37
4A	Dolokal	0-10	t=2		3,9	35	24	8	80	42	0	0	4	48	87	0	50	108	2	66	58	140	48	0,2	4,9	31
4B	Controle	0-10	t=2		3,7	34	16	12	67	4	0	0	3	37	43	0	23	87	1	70	54	143	17	0,1	4,5	32
4C	Biolit 100	0-10	t=2		3,8	20	29	6	47	12	1	0	13	33	88	1	24	58	9	81	40	142	36	0,1	4,6	33
4D	Biolit 200	0-10	t=2		3,6	31	9	9	35	5	0	0	10	39	77	0	45	132	6	67	39	128	20	0,1	4,4	35
4E	Lurgi	0-10	t=2		4,6	34	13	4	28	2	0	0	10	19	223	0	36	22	6	100	31	103	34	0,1	2,6	35
4F	Lavagruis	0-10	t=2		4,5	28	22	11	46	5	1	689	13	41	3											

Bijlage 4: Plantchemie

Bijlage 4.1: Plantchemie (mg/g) NP de Hoge Veluwe – Droge heide

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
A	t=0		Liggend walstro	29	454	0,1	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	14,1	2,9	0,6	0,0	0,4	0,0	2,7	0,0	2,3	0,2	0,0	0,1
B	t=0		Liggend walstro	30	459	0,1	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	13,5	2,5	0,5	0,0	0,4	0,0	2,4	0,0	2,2	0,1	0,0	0,1	
C	t=0		Liggend walstro	31	455	0,1	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	14,4	2,4	0,5	0,0	0,3	0,0	2,5	0,0	2,4	0,1	0,0	0,1	
D	t=0		Liggend walstro	30	451	0,1	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	15,2	2,8	0,5	0,0	0,4	0,0	3,1	0,0	2,3	0,1	0,0	0,1	
E	t=0		Liggend walstro	33	451	0,1	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	14,4	2,8	0,7	0,0	0,4	0,0	3,2	0,0	2,5	0,2	0,0	0,1	
A	t=0		Struikheide	12	509	0,1	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,0	1,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,8	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0	
B	t=0		Struikheide	12	507	0,1	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,0	1,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,7	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0	
C	t=0		Struikheide	12	503	0,1	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,9	0,9	0,2	0,0	0,3	0,0	0,7	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0	
D	t=0		Struikheide	13	509	0,1	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,0	1,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,8	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0	
E	t=0		Struikheide	13	511	0,1	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,8	1,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,8	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0	

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
A1	t=1	dolokal	Struikhei	15	494	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	4,7	1,4	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0	
A2	t=1	controle	Struikhei	14	494	0,1	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,6	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0	
A3	t=1	biolit	Struikhei	15	487	0,1	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	4,8	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0	
A4	t=1	lurgi	Struikhei	16	491	0,1	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0	
A1	t=1	dolokal	Bochtige Smele	15	447	0,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,1	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,2	0,5	0,0	0,0	
A2	t=1	controle	Bochtige Smele	17	454	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,3	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0	
A3	t=1	biolit	Bochtige Smele	21	449	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,7	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,5	0,5	0,0	0,0	
A4	t=1	lurgi	Bochtige Smele	13	434	0,2	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,7	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,2	0,6	0,0	0,0	
A1	t=1	dolokal	Schapenzuring	40	415	0,2	0,0	0,0	8,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	22,2	5,0	0,5	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	2,5	0,2	0,0	0,1	
A2	t=1	controle	Schapenzuring	39	414	0,3	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	22,7	4,4	0,7	0,0	0,1	0,1	2,9	0,0	2,4	0,2	0,0	0,1	
A3	t=1	biolit	Schapenzuring	31	438	0,2	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	17,7	5,0	0,8	0,0	0,1	0,1	2,0	0,0	1,8	0,2	0,0	0,1	
A4	t=1	lurgi	Schapenzuring	46	437	0,2	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	24,6	3,1	0,4	0,0	0,2	0,0	3,1	0,0	2,6	0,2	0,0	0,1	
B1	t=1	dolokal	Struikhei	15	503	0,1	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,6	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0	
B2	t=1	lurgi	Struikhei	15	504	0,3	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,0	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0	
B3	t=1	biolit	Struikhei	16	502	0,1	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	4,4	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0	
B4	t=1	controle	Struikhei	16	506	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,0	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0	
B1	t=1	dolokal	Bochtige Smele	14	460	0,1	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,1	0,7	0,0	0,0	
B2	t=1	lurgi	Bochtige Smele	19	457	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,4	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,3	0,5	0,0	0,0	
B3	t=1	biolit	Bochtige Smele	22	459	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,8	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,4	1,3	0,0	0,0	
B4	t=1	controle	Bochtige Smele	18	463	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,9	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,3	0,5	0,0	0,0	
B1	t=1	dolokal	Schapenzuring	34	432	0,2	0,0	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	16,2	4,7	0,3	0,0	0,2	0,0	2,3	0,0	2,0	0,3	0,0	0,1	
B2	t=1	lurgi	Schapenzuring	26	446	0,4	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	12,3	3,9	0,3	0,0	0,8	0,0	1,8	0,0	1,5	0,2	0,0	0,1	
B3	t=1	biolit	Schapenzuring	39	425	0,3	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	18,1	6,0	0,5	0,0	1,3	0,0	2,4	0,0	2,3	0,3	0,0	0,1	
B4	t=1	controle	Schapenzuring	34	438	0,2	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	15,0	4,7	0,7	0,0	0,4	0,0	2,2	0,0	2,1	0,2	0,0	0,1	
C1	t=1	lurgi	Struikhei	14	518	0,1	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,9	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0	
C2	t=1	controle	Struikhei	15	512	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,3	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0	
C3	t=1	dolokal	Struikhei	17	505	0,1	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0	
C4	t=1	biolit	Struikhei	16	502	0,2	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	4,9	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,4	0,4	0,0	0,0	
C1	t=1	lurgi	Bochtige Smele	14	456	0,2	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	7,9	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,2	0,8	0,0	0,0	
C2	t=1	controle	Bochtige Smele	22	459	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,6	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,4	0,5	0,0	0,0	
C3	t=1	dolokal	Bochtige Smele	17	458	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,8	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1	
C4	t=1	biolit	Bochtige Smele	18	452	0,2	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,6	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,5	0,6	0,0	0,1	
C1	t=1	lurgi	Schapenzuring	35	428	0,2	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	26,0	3,3	0,6	0,0	0,3	0,0	2,6	0,0	2,1	0,3	0,0	0,0	
C2	t=1	controle	Schapenzuring	33	417	0,2	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	19,3	2,9	0,4	0,0	0,3	0,0	2,4	0,0	2,1	0,2	0,0	0,1	
C3	t=1	dolokal	Schapenzuring	32	431	0,2	0,0	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	18,4	4,7	0,4	0,0	0,2	0,0	1,9	0,0	2,0	0,2	0,0	0,1	
C4	t=1	biolit	Schapenzuring	27	436	0,5	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	13,4	6,4	1,0	0,0	0,6	0,0	2,0	0,0	2,0	0,3	0,0	0,1	
D1	t=1	controle	Struikhei	16	504	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,4	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0	
D2	t=1	lurgi	Struikhei	15	500	0,1	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,1	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,				

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
A1	t=2	dolokal	Struikhei	17	635	0,1	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,2	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0
A2	t=2	controle	Struikhei	12	467	0,1	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,0	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0
A3	t=2	biolit	Struikhei	11	428	0,1	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	4,3	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0
A4	t=2	lurgi	Struikhei	10	446	0,1	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0
A1	t=2	dolokal	Bochtige Smele	23	439	0,2	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	11,9	1,1	0,1	0,0	0,0	0,1	1,5	0,0	1,5	0,8	0,0	0,1
A2	t=2	controle	Bochtige Smele	19	385	0,2	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	10,5	1,3	0,3	0,0	0,0	0,1	1,2	0,0	1,4	0,6	0,0	0,1
A3	t=2	biolit	Bochtige Smele	19	489	0,2	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	9,0	1,5	0,3	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	1,1	0,6	0,0	0,1
A4	t=2	lurgi	Bochtige Smele	19	487	0,2	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	9,7	1,2	0,4	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,4	1,0	0,0	0,1
A1	t=2	dolokal	Schapenzuring	25	380	0,2	0,0	0,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	18,2	3,4	0,1	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	1,5	0,2	0,0	0,0
A2	t=2	controle	Schapenzuring	36	494	0,3	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	18,2	4,3	0,6	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	2,0	0,5	0,0	0,1
A3	t=2	biolit	Schapenzuring	24	379	0,3	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	15,3	5,1	0,4	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	1,7	0,4	0,0	0,0
A4	t=2	lurgi	Schapenzuring	41	490	0,2	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	24,0	3,2	0,3	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	2,2	0,9	0,0	0,1
B1	t=2	dolokal	Struikhei	12	450	0,1	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,9	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,0	0,4	0,0	0,0
B2	t=2	lurgi	Struikhei	14	434	0,1	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,4	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
B3	t=2	biolit	Struikhei	13	505	0,1	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,0	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
B4	t=2	controle	Struikhei	12	475	0,1	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	1,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
B1	t=2	dolokal	Bochtige Smele	16	432	0,2	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,0	1,5	0,1	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	1,3	0,8	0,0	0,1
B2	t=2	lurgi	Bochtige Smele	15	371	0,2	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	10,0	1,1	0,4	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,2	0,8	0,0	0,1
B3	t=2	biolit	Bochtige Smele	17	419	0,1	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,6	2,2	0,5	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,6	0,8	0,0	0,1
B4	t=2	controle	Bochtige Smele	22	473	0,1	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	11,7	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,5	0,8	0,0	0,1
B1	t=2	dolokal	Schapenzuring	31	400	0,3	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	17,9	3,3	0,1	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	2,1	0,4	0,0	0,0
B2	t=2	lurgi	Schapenzuring	34	461	0,4	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	16,8	3,8	0,5	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	2,2	0,8	0,0	0,1
B3	t=2	biolit	Schapenzuring	43	419	0,2	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	17,4	5,3	0,4	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	2,5	0,8	0,0	0,1
B4	t=2	controle	Schapenzuring	36	403	0,3	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	26,2	3,9	0,6	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	2,6	0,5	0,0	0,1
C1	t=2	lurgi	Struikhei	13	475	0,1	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,1	1,5	0,2	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
C2	t=2	controle	Struikhei	14	510	0,1	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,0	1,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0
C3	t=2	dolokal	Struikhei	12	497	0,1	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,8	2,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,1	0,3	0,0	0,0
C4	t=2	biolit	Struikhei	18	578	0,1	0,0	0,1	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,4	2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0
C1	t=2	lurgi	Bochtige Smele	17	388	0,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	11,0	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,7	1,1	0,0	0,1
C2	t=2	controle	Bochtige Smele	16	428	0,1	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	10,9	1,1	0,3	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,5	0,7	0,0	0,0
C3	t=2	dolokal	Bochtige Smele	12	401	0,1	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,6	1,2	0,1	0,0	0,0	0,1	1,0	0,0	1,3	0,7	0,0	0,1
C4	t=2	biolit	Bochtige Smele	17	489	0,1	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,1	2,0	0,6	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,3	0,8	0,0	0,0
C1	t=2	lurgi	Schapenzuring	29	405	0,4	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	25,3	2,8	0,4	0,0	0,4	0,0	2,0	0,0	2,2	0,4	0,0	0,0
C2	t=2	controle	Schapenzuring	30	381	0,2	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	26,0	4,1	0,8	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0	2,2	0,4	0,0	0,1
C3	t=2	dolokal	Schapenzuring	24	413	0,4	0,0	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	12,8	5,9	0,4	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,7	0,3	0,0	0,1
C4	t=2	biolit	Schapenzuring	30	429	0,2	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	21,2	6,9	1,2	0,0	0,3	0,0	1,8	0,0	2,0	0,4	0,0	0,0
D1	t=2	controle	Struikhei	12	434	0,1	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,8	1,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,1	0,3	0,0	0,0
D2	t=2	lurgi	Struikhei	10	454	0,1	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,9	2,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0
D3	t=2	dolokal	Struikhei	11	491	0,1	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,3	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0
D4	t=2	biolit	Struikhei	13	507	0,1	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,6	2,1	0,4	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0
D1	t=2	controle	Bochtige Smele	14	392	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	7,4	1,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,1	0,6	0,0	0,0
D2	t=2	lurgi	Bochtige Smele	14	391	0,1	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	10,7	1,6	0,9	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,3	0,9	0,0	0,1
D3	t=2	dolokal	Bochtige Smele	14	382	0,1	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	11,3	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,2	1,0	0,0	0,1
D4	t=2	biolit	Bochtige Smele	16	456	0,1	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,1	1,7	0,4	0,0	0,0	0,1	1,5	0,0	1,4	0,6	0,0	0,0
D1	t=2	controle	Schapenzuring	39	392	0,2	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	18,3	4,6	1,1	0,0	0,2	0,0	2,8	0,0	1,8	0,3	0,0	0,1
D2	t=2	lurgi	Schapenzuring	32	364	0,2	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	20,0	3,8	0,8	0,0	0,5	0,0	3,4	0,0	2,5	0,5	0,0	0,1
D3	t=2	dolokal	Schapenzuring	41	404	0,2	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	20,4	3,8	0,2	0,0	0,2	0,0	3,1	0,0	3,1	0,2	0,0	0,1
D4	t=2	biolit	Schapenzuring	26	358	0,4	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	12,6	5,7	0,7	0,0	0,3	0,0	2,2	0,0	2,0	0,3	0,0	0,1
E1	t=2	dolokal	Struikhei	12	511	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,8	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,1	0,3	0,0	0,0
E2	t=2	controle	Struikhei	11	428	0,1	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0
E3	t=2	lurgi	Struikhei	14	491	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,3	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
E4	t=2	biolit	Struikhei	0	1444	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	1,6	0,2	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,1	0,3	0,0	0,0
E1	t=2	dolokal	Bochtige Smele	13	391	0,1	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,2	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,2	0,8	0,0	0,0
E2	t=2	controle	Bochtige Smele	18	445	0,1	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	11,5	1,4	0,5	0,0								

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
A3	t=3	biolit	Bochtige Smele	21	439	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,9	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,4	0,5	0,0	0,0
B3	t=3	biolit	Bochtige Smele	26	438	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	12,9	1,4	0,3	0,0	0,1	0,0	1,9	0,0	1,8	0,5	0,0	0,1
C4	t=3	biolit	Bochtige Smele	20	444	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,5	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,4	0,6	0,0	0,0
D4	t=3	biolit	Bochtige Smele	19	450	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,6	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,4	0,6	0,0	0,0
E4	t=3	biolit	Bochtige Smele	17	446	0,1	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,6	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,3	0,6	0,0	0,0
A2	t=3	controle	Bochtige Smele	24	440	0,1	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	12,8	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	1,5	0,5	0,0	0,0
B4	t=3	controle	Bochtige Smele	20	440	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	13,1	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	1,4	0,5	0,0	0,0
C2	t=3	controle	Bochtige Smele	20	446	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	10,5	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,4	0,5	0,0	0,0
D1	t=3	controle	Bochtige Smele	19	453	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	10,7	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,4	0,5	0,0	0,0
E2	t=3	controle	Bochtige Smele	19	447	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	10,2	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,5	0,5	0,0	0,0
A1	t=3	dolokal	Bochtige Smele	17	432	0,1	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,7	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,5	0,7	0,0	0,1
B1	t=3	dolokal	Bochtige Smele	22	434	0,1	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	13,1	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	1,7	0,5	0,0	0,1
C3	t=3	dolokal	Bochtige Smele	28	449	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,5	0,5	0,0	0,0
D3	t=3	dolokal	Bochtige Smele	20	444	0,1	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,1	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,4	0,7	0,0	0,0
E1	t=3	dolokal	Bochtige Smele	28	450	0,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	11,6	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,7	0,6	0,0	0,1
A4	t=3	lurgi	Bochtige Smele	18	419	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,5	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,4	0,5	0,0	0,0
B2	t=3	lurgi	Bochtige Smele	19	441	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,4	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,4	0,6	0,0	0,1
C1	t=3	lurgi	Bochtige Smele	16	433	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	11,0	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,3	0,6	0,0	0,0
D2	t=3	lurgi	Bochtige Smele	24	459	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	10,2	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,5	0,6	0,0	0,1
E3	t=3	lurgi	Bochtige Smele	20	448	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	10,0	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	1,5	0,6	0,0	0,1
A3	t=3	biolit	Schapenzuring	41	420	0,2	0,0	0,1	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	24,5	5,3	0,6	0,0	0,4	0,0	3,2	0,0	2,5	0,4	0,0	0,1
B3	t=3	biolit	Schapenzuring	49	415	0,1	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	26,1	5,5	0,5	0,0	0,4	0,0	3,5	0,0	2,8	0,4	0,0	0,1
C4	t=3	biolit	Schapenzuring	39	410	0,2	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	27,9	6,5	0,7	0,0	0,4	0,0	2,9	0,0	2,6	0,4	0,0	0,1
D4	t=3	biolit	Schapenzuring	46	416	0,1	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	23,8	6,7	0,8	0,0	0,5	0,0	3,7	0,0	2,9	0,4	0,0	0,1
E4	t=3	biolit	Schapenzuring	40	416	0,3	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	25,9	5,5	0,7	0,0	0,2	0,0	3,4	0,0	2,6	0,4	0,0	0,1
A2	t=3	controle	Schapenzuring	47	412	0,2	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	30,8	4,6	0,7	0,0	0,8	0,0	3,8	0,0	3,0	0,4	0,0	0,1
B4	t=3	dolokal	Schapenzuring	42	413	0,2	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	25,8	4,8	1,0	0,0	0,3	0,0	3,1	0,0	2,3	0,4	0,0	0,1
C2	t=3	controle	Schapenzuring	49	417	0,1	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	29,7	3,9	0,8	0,0	0,2	0,0	3,3	0,0	2,9	0,4	0,0	0,1
D1	t=3	controle	Schapenzuring	43	426	0,2	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	19,3	3,7	0,5	0,0	0,1	0,0	2,6	0,0	2,0	0,3	0,0	0,1
E2	t=3	controle	Schapenzuring	42	418	0,1	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	25,8	4,1	1,0	0,0	0,2	0,0	3,3	0,0	2,2	0,4	0,0	0,1
A1	t=3	dolokal	Schapenzuring	40	414	0,2	0,0	0,0	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	29,9	5,8	0,5	0,0	0,4	0,0	3,6	0,0	2,7	0,4	0,0	0,1
B1	t=3	dolokal	Schapenzuring	38	413	0,3	0,0	0,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	25,8	6,2	0,4	0,0	0,2	0,0	3,1	0,0	2,4	0,4	0,0	0,1
C3	t=3	dolokal	Schapenzuring	42	413	0,2	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	26,1	6,2	0,4	0,0	0,3	0,0	2,8	0,0	2,6	0,5	0,0	0,1
D3	t=3	dolokal	Schapenzuring	45	419	0,2	0,0	0,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	24,9	5,9	0,2	0,0	0,5	0,0	3,2	0,0	2,8	0,4	0,0	0,1
E1	t=3	dolokal	Schapenzuring	44	415	0,1	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	29,4	5,0	0,4	0,0	0,5	0,0	3,7	0,0	2,7	0,4	0,0	0,1
A4	t=3	lurgi	Schapenzuring	44	412	0,2	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	33,8	5,4	0,7	0,0	0,9	0,0	3,9	0,0	2,8	0,4	0,0	0,1
B2	t=3	lurgi	Schapenzuring	41	413	0,2	0,0	0,1	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	32,9	4,2	0,7	0,0	1,3	0,0	3,1	0,0	2,8	0,4	0,0	0,1
C1	t=3	lurgi	Schapenzuring	45	418	0,2	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	29,7	4,0	0,7	0,0	0,5	0,0	3,7	0,0	2,9	0,5	0,0	0,1
D2	t=3	lurgi	Schapenzuring	49	421	0,2	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	28,2	4,3	0,6	0,0	0,9	0,0	4,0	0,0	3,1	0,5	0,0	0,1
E3	t=3	lurgi	Schapenzuring	47	422	0,2	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	30,6	3,9	0,7	0,0	0,8	0,0	3,7	0,0	2,9	0,4	0,0	0,1
A3	t=3	biolit	Struikhei	15	496	0,0	0,0	0,1	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,7	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,5	0,5	0,0	0,0
B3	t=3	biolit	Struikhei	17	490	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,4	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,6	0,5	0,0	0,0
C4	t=3	biolit	Struikhei	16	491	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,4	0,4	0,0	0,0
D4	t=3	biolit	Struikhei	15	485	0,0	0,0	0,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,7	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,5	0,4	0,0	0,0
E4	t=3	biolit	Struikhei	16	490	0,0	0,0	0,1	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,4	0,4	0,0	0,0
A2	t=3	controle	Struikhei	15	496	0,0	0,0	0,1	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,6	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,4	0,5	0,0	0,0
B4	t=3	controle	Struikhei	17	494	0,0	0,0	0,1	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,1	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,6	0,5	0,0	0,0
C2	t=3	controle	Struikhei	17	495	0,0	0,0	0,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,7	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,6	0,4	0,0	0,0
D1	t=3	controle	Struikhei	16	480	0,0	0,0	0,1	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,1	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,5	0,4	0,0	0,0
E2	t=3	controle	Struikhei	16	494	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
A1	t=3	dolokal	Struikhei	16	490	0,1	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,3	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,6	0,5	0,0	0,0
B1	t=3	dolokal	Struikhei	16	496	0,0	0,0	0,1	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,2	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,5	0,5	0,0	0,0
C3	t=3	dolokal	Struikhei	16	489	0,0	0,0	0,1	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,6	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,5	0,5	0,0	0,0
D3	t=3	dolokal	Struikhei	16	484	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,9	1,4	0									

Bijlage 4.2: Plantchemie (mg/g) NP de Hoge Veluwe – Natte heide

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
F	t=0		dophei	13	521	0,1	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,3	1,8	0,6	0,0	0,3	0,0	0,6	0,0	1,7	0,2	0,0	0,0
G	t=0		dophei	13	522	0,1	0,0	0,0	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,4	1,8	0,6	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0	1,8	0,2	0,0	0,0
H	t=0		dophei	14	526	0,1	0,0	0,0	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,3	1,9	0,8	0,0	0,3	0,0	0,7	0,0	1,7	0,1	0,0	0,1
I	t=0		dophei	13	517	0,1	0,0	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,1	1,7	0,8	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0	1,9	0,2	0,0	0,0
J	t=0		dophei	14	520	0,1	0,0	0,0	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,3	1,7	0,9	0,0	0,2	0,0	0,7	0,0	1,9	0,2	0,0	0,0

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
F4	t=1	biolit	Dophei	9	533	0,2	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	4,5	1,7	0,2	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	1,5	0,3	0,0	0,0
G4	t=1	biolit	Dophei	11	526	0,1	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,9	1,8	0,3	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0
H1	t=1	biolit	Dophei	12	542	0,3	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	4,2	1,7	0,3	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0
I1	t=1	biolit	Dophei	10	544	0,2	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	5,1	1,5	0,2	0,0	0,4	0,0	0,5	0,0	1,5	0,2	0,0	0,0
J3	t=1	biolit	Dophei	12	553	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	1,7	0,4	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0
F2	t=1	controle	Dophei	10	550	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,4	0,3	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	1,3	0,1	0,0	0,0
G2	t=1	controle	Dophei	10	544	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	1,4	0,2	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	1,3	0,1	0,0	0,0
H4	t=1	controle	Dophei	10	541	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	1,5	0,3	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0
I4	t=1	controle	Dophei	11	544	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	1,5	0,2	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0	1,5	0,1	0,0	0,0
J4	t=1	controle	Dophei	11	546	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,3	1,6	0,3	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0
F3	t=1	dolokal	Dophei	12	551	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,3	1,6	0,3	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	1,4	0,2	0,0	0,0
G3	t=1	dolokal	Dophei	12	549	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,5	0,3	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0
H3	t=1	dolokal	Dophei	13	548	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,7	0,4	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	1,5	0,2	0,0	0,0
I2	t=1	dolokal	Dophei	10	546	0,1	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,5	1,5	0,2	0,0	0,7	0,0	0,4	0,0	1,5	0,2	0,0	0,0
J1	t=1	dolokal	Dophei	13	813	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,2	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,8	0,2	0,0	0,1
F1	t=1	lurgi	Dophei	10	550	0,1	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	1,3	0,3	0,0	0,9	0,0	0,4	0,0	1,7	0,2	0,0	0,0
G1	t=1	lurgi	Dophei	11	545	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	1,3	0,2	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	1,2	0,1	0,0	0,0
H2	t=1	lurgi	Dophei	11	542	0,1	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,4	1,5	0,3	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0
I3	t=1	lurgi	Dophei	11	550	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	1,5	0,2	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	1,5	0,2	0,0	0,0
J2	t=1	lurgi	Dophei	18	817	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	1,5	0,2	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	1,5	0,1	0,0	0,0
F4	t=1	biolit	Pijpenstrootje	6	461	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,9	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,6	0,3	0,0	0,0
G4	t=1	biolit	Pijpenstrootje	8	461	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,5	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,8	0,3	0,0	0,1
H1	t=1	biolit	Pijpenstrootje	10	461	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,6	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,0	0,4	0,0	0,1
I1	t=1	biolit	Pijpenstrootje	7	453	0,1	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	6,4	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,7	0,4	0,0	0,0
J3	t=1	biolit	Pijpenstrootje	7	458	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,3	0,0	0,0
F2	t=1	controle	Pijpenstrootje	11	466	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,5	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,0	0,3	0,0	0,0
G2	t=1	controle	Pijpenstrootje	10	459	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,6	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,9	0,3	0,0	0,0
H4	t=1	controle	Pijpenstrootje	8	462	0,1	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,7	0,4	0,0	0,0
I4	t=1	controle	Pijpenstrootje	8	455	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,6	0,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,9	0,5	0,0	0,1
J4	t=1	controle	Pijpenstrootje	11	466	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,6	1,5	0,2	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	1,6	0,1	0,0	0,0
F3	t=1	dolokal	Pijpenstrootje	6	463	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,3	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,6	0,3	0,0	0,0
G3	t=1	dolokal	Pijpenstrootje	9	459	0,1	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,7	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,9	0,4	0,0	0,0
H3	t=1	dolokal	Pijpenstrootje	11	460	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,6	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,8	0,3	0,0	0,0
I2	t=1	dolokal	Pijpenstrootje	7	441	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0
J1	t=1	dolokal	Pijpenstrootje	6	452	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,8	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,4	0,0	0,1
F1	t=1	lurgi	Pijpenstrootje	10	443	0,1	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,9	1,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0	0,7	0,0	0,1
G1	t=1	lurgi	Pijpenstrootje	10	462	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,1	1,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,0	0,5	0,0	0,0
H2	t=1	lurgi	Pijpenstrootje	8	446	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,4	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,8	0,4	0,0	0,1
I3	t=1	lurgi	Pijpenstrootje	6	462	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,3	0,0	0,0
J2	t=1	lurgi	Pijpenstrootje	8	462	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,3	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,8	0,3	0,0	0,0

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
F4	t=2	biolit	Dophei	8	435	0,1	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,6	1,5	0,3	0,0	0,4	0,0	0,5	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0
G4	t=2	biolit	Dophei	12	613	0,1	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,9	1,7	0,2	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0	1,4	0,2	0,0	0,0
H1	t=2	biolit	Dophei	10	501	0,1	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,1	1,8	0,5	0,0	0,4	0,0	0,6	0,0	1,4	0,2	0,0	0,0
I1	t=2	biolit	Dophei	8	427	0,1	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	1,6	0,3	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0
J3	t=2	biolit	Dophei	11	577	0,1	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,3	1,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	1,4	0,2	0,0	0,0
J3	t=2	controle	Dophei	11	517	0,1	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	1,4	0,3	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0
G2	t=2	controle	Dophei	9	511	0,1	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,6	1,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	1,1	0,1	0,0	0,0
H4	t=2	controle	Dophei	9	456	0,1	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,6	1,3	0,3	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	1,2	0,1	0,0	0,0
I4	t=2	controle	Dophei	8	515	0,2	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,3	1,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0
J4	t=2	controle	Dophei	11	606	0,1	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,5	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,1	0,1	0,0	0,0
F3	t=2	dolokal	Dophei	8	438	0,1	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,6	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,1	0,1	0,0	0,0
G3	t=2	dolokal	Dophei	9	445	0,1	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,6	1,5	0,1	0,0	0,0	0,1	0,5	0,0	1,4	0,2	0,0	0,0
H3	t=2	dolokal	Dophei	13	656	0,1	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,9	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0
I2	t=2	dolokal	Dophei	9	504	0,1	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,8	1,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	1,4	0,1	0,0	0,0
F1	t=2	lurgi	Dophei	8	417	0,1	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,0	1,2	0,2	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	1,4	0,2	0,0	0,0
G1	t=2	lurgi	Dophei	9	462	0,1	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,8	1,3	0,3	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0
H2	t=2	lurgi	Dophei	10	481	0,1	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,6	1,3	0,3	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	1,2	0,1	0,0	0,0
I3	t=2	lurgi	Dophei	9	514	0,1	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	1,0	0,2	0,0	0,3	0,1	0,4	0,0	1,3	0,1	0,0	0,0
J2	t=2	lurgi	Dophei	9	542	0,1	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,5	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0
F4	t=2	biolit	Pijpenstrootje	7	364	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,8	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,5	0,0	0,0
G4	t=2	biolit	Pijpenstrootje	8	375	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,2	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,9	0,4	0,0	0,0
H1	t=2	biolit	Pijpenstrootje	7	413	0,1	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,8	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0
I1	t=2	biolit	Pijpenstrootje	9	440	0,1	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,2	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,0	0,6	0,0	0,0
J3	t=2	biolit	Pijpenstrootje	7	380	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,1	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,9	0,4	0,0	0,0
F2	t=2	controle	Pijpenstrootje	7	370	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,1	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,5	0,0	0,0
G2	t=2	controle	Pijpenstrootje	8	385	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	6,6	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,9	0,5	0,0	0,0
H4	t=2	controle	Pijpenstrootje	6	404	0,1	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,6	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,6	0,4	0,0	0,0
I4	t=2	controle	Pijpenstrootje	6	398	0,1	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,2	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,4	0,0	0,0
J4	t=2	controle	Pijpenstrootje	8	456	0,1	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,0	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,4	0,0	0,0
F3	t=2	dolokal	Pijpenstrootje	8	442	0,2	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,3	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0
G3	t=2	dolokal	Pijpenstrootje	6	368	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,3	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,8	0,5	0,0	0,0
H3	t=2	dolokal	Pijpenstrootje	10	514	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,4	0,0	0,0
I2	t=2	dolokal	Pijpenstrootje	8	455	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,5	0,0	0,0
J1	t=2	dolokal	Pijpenstrootje	10	459	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,8	0,5	0,0	0,0
F1	t=2	lurgi	Pijpenstrootje	8	416	0,1	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	2,9	1,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	1,1	0,2	0,0	0,0
G1	t=2	lurgi	Pijpenstrootje	7	328	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0	0,5	0,0	0,0
H2	t=2	lurgi	Pijpenstrootje	8	407	0,1	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,5	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,9	0,5	0,0	0,0
I3	t=2	lurgi	Pijpenstrootje	6	433	0,1	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,7	0,5	0,0	0,0
J2	t=2	lurgi	Pijpenstrootje	6	356	0,1	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,8	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,5	0,0	0,0

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
F4	t=3	biolit	Dophei	7	528	0,1	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,1	1,6	0,2	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	1,6	0,4	0,0	0,0
G4	t=3	biolit	Dophei	8	530	0,1	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,7	1,6	0,2	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0
H1	t=3	biolit	Dophei	8	525	0,1	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	3,8	1,7	0,3	0,0	0,3	0,0	0,5	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
I1	t=3	biolit	Dophei	8	531	0,1	0,0	0,1	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,4	1,7	0,3	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	1,7	0,4	0,0	0,0
J3	t=3	biolit	Dophei	9	534	0,1	0,0	0,1	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	1,7	0,3	0,0	0,4	0,0	0,5	0,0	1,5	0,4	0,0	0,0
F2	t=3	controle	Dophei	8	519	0,1	0,0	0,1	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,7	1,2	0,3	0,0	0,8	0,0	0,3	0,0	1,4	0,5	0,0	0,0
G2	t=3	controle	Dophei	8	534	0,1	0,0	0,1	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,1	1,2	0,2	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0
H4	t=3	controle	Dophei	10	517	0,1	0,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	3,6	1,3	0,2	0,0	0,6	0,0	0,4	0,0	1,4	0,4	0,0	0,0
I4	t=3	controle	Dophei	8	525	0,1	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,2	0,3	0,0	0,6	0,0	0,3	0,0	1,6	0,4	0,0	0,0
J4	t=3	controle	Dophei	7	526	0,1	0,0	0,0	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	3,9	1,3	0,2	0,0	0,7	0,0	0,4	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
F3	t=3	dolokal	Dophei	7	523	0,1	0,0	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,6	1,5	0,1	0,0	0,5	0,0	0,3	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
G3	t=3	dolokal	Dophei	8	529	0,1	0,0	0,1	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	3,8	1,5	0,1	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
H3	t=3	dolokal	Dophei	8	520	0,1	0,0	0,1	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,1	1,6	0,1	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0
I2	t=3	dolokal	Dophei	8	512	0,1	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,4	1,5	0,1	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
J1	t=3	dolokal	Dophei	8	527	0,1	0,0	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,9	1,6	0,1	0,0	0,4	0,0	0,3	0,0	1,6	0,4	0,0	0,0
F1	t=3	lurgi	Dophei	8	522	0,1	0,0	0,1	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	4,7	1,1	0,2	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0	1,6	0,4	0,0	0,0
G1	t=3	lurgi	Dophei	8	522	0,1	0,0	0,1	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,3	1,2	0,2	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
H2	t=3	lurgi	Dophei	8	531	0,1	0,0	0,1	4,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,4	1,5	0,2	0,0	0,6	0,0	0,4	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
I3	t=3	lurgi	Dophei	8	528	0,1	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,6	1,3	0,2	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	1,6	0,4	0,0	0,0
J2	t=3	lurgi	Dophei	8	538	0,1	0,0	0,1	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,4	1,5	0,2	0,0	0,5	0,0	0,4	0,0	1,7	0,4	0,0	0,0
F4	t=3	biolit	Pijpenstrootje	12	443	0,2	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	9,7	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,3	0,6	0,0	0,1
G4	t=3	biolit	Pijpenstrootje	16	452	0,2	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,8	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
H1	t=3	biolit	Pijpenstrootje	14	447	0,2	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,4	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,3	0,5	0,0	0,1
I1	t=3	biolit	Pijpenstrootje	12	442	0,2	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,4	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,3	0,6	0,0	0,1
J3	t=3	biolit	Pijpenstrootje	15	446	0,2	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,7	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
F2	t=3	controle	Pijpenstrootje	15	448	0,3	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	8,7	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
G2	t=3	controle	Pijpenstrootje	12	449	0,2	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	9,1	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
H4	t=3	controle	Pijpenstrootje	15	443	0,2	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,7	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,4	0,4	0,0	0,1
I4	t=3	controle	Pijpenstrootje	13	449	0,2	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,6	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,3	0,5	0,0	0,1
J4	t=3	controle	Pijpenstrootje	15	446	0,2	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	9,5	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
F3	t=3	dolokal	Pijpenstrootje	13	445	0,3	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	9,4	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,3	0,8	0,0	0,1
G3	t=3	dolokal	Pijpenstrootje	16	447	0,2	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,5	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
H3	t=3	dolokal	Pijpenstrootje	13	445	0,2	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,9	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
I2	t=3	dolokal	Pijpenstrootje	14	444	0,2	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,4	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,3	0,5	0,0	0,1
J1	t=3	dolokal	Pijpenstrootje	13	439	0,2	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,7	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,2	0,5	0,0	0,1
F1	t=3	lurgi	Pijpenstrootje	12	440	0,3	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	9,0	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,3	0,8	0,0	0,1
G1	t=3	lurgi	Pijpenstrootje	14	447	0,2	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	10,2	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
H2	t=3	lurgi	Pijpenstrootje	13	444	0,3	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,5	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,3	0,6	0,0	0,1
I3	t=3	lurgi	Pijpenstrootje	13	442	0,2	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,6	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	0,6	0,0	0,1
J2	t=3	lurgi	Pijpenstrootje	13	441	0,2	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	10,0	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,3	0,5	0,0	0,1

Bijlage 4.3: Plantchemie (mg/g) Strabrechtse heide

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
1	t=0		Bochtige smele	9	454	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,6	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,7	0,0	0,0
2	t=0		Bochtige smele	13	461	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,1	0,9	0,0	0,0
3	t=0		Bochtige smele	11	455	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,2	1,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,8	0,7	0,0	0,0
5	t=0		Bochtige smele	8	451	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	1,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,6	0,7	0,0	0,1
1	t=0		Struikheide	9	500	0,2	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	2,7	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,5	0,0	0,0
2	t=0		Struikheide	11	511	0,2	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	3,7	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0	0,6	0,0	0,0
3	t=0		Struikheide	10	512	0,1	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	3,3	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,9	0,5	0,0	0,0
4	t=0		Struikheide	12	505	0,1	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	3,7	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,1	0,6	0,0	0,0
5	t=0		Struikheide	13	513	0,1	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,3	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
1B	t=1	Biolit 100	Bochtige smele	18	440	0,4	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	5,4	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,2	1,1	0,0	0,1
2B	t=1	Biolit 100	Bochtige smele	15	444	0,2	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	7,9	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,0	0,5	0,0	0,1
3A	t=1	Biolit 100	Bochtige smele	26	459	0,2	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	11,1	1,5	0,3	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,4	0,4	0,0	0,1
4C	t=1	Biolit 100	Bochtige smele	20	457	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	8,4	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,1	0,3	0,0	0,0
5D	t=1	Biolit 100	Bochtige smele	20	449	0,4	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	12,0	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
1F	t=1	Biolit 200	Bochtige smele	14	438	0,3	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	5,0	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,0	0,6	0,0	0,1
2F	t=1	Biolit 200	Bochtige smele	17	447	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	12,7	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,6	0,0	0,0
3C	t=1	Biolit 200	Bochtige smele	13	453	0,2	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	6,9	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,9	0,3	0,0	0,0
4D	t=1	Biolit 200	Bochtige smele	17	451	0,1	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	6,8	0,9	0,2	0,0	1,0	0,0	0,7	0,0	1,0	0,3	0,0	0,1
5B	t=1	Biolit 200	Bochtige smele	22	447	0,6	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	11,0	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	1,3	0,4	0,0	0,1
1C	t=1	Controle	Bochtige smele	12	448	0,2	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,5	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,9	0,5	0,0	0,1
2A	t=1	Controle	Bochtige smele	19	450	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,2	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,0	0,4	0,0	0,1
3E	t=1	Controle	Bochtige smele	11	459	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,7	0,2	0,0	0,1
4B	t=1	Controle	Bochtige smele	13	453	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,5	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,9	0,3	0,0	0,0
5E	t=1	Controle	Bochtige smele	19	458	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	11,1	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,3	0,3	0,0	0,1
1D	t=1	Dolokal	Bochtige smele	23	441	0,1	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,7	1,8	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,3	0,8	0,3	0,1
2C	t=1	Dolokal	Bochtige smele	15	447	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,5	1,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,1	0,7	0,0	0,1
3D	t=1	Dolokal	Bochtige smele	14	457	0,1	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,4	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,0	0,4	0,0	0,1
4A	t=1	Dolokal	Bochtige smele	19	452	0,1	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,4	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,0	0,5	0,0	0,1
5C	t=1	Dolokal	Bochtige smele	21	456	0,1	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,9	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,3	0,4	0,0	0,1
1A	t=1	Lavagruis	Bochtige smele	14	421	1,7	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	7,7	1,4	0,3	0,0	0,5	0,0	0,7	0,0	1,0	0,6	0,0	0,1
2E	t=1	Lavagruis	Bochtige smele	14	445	0,3	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	6,6	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,9	0,5	0,0	0,0
3B	t=1	Lavagruis	Bochtige smele	24	454	0,4	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	13,5	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,5	0,4	0,0	0,1
4F	t=1	Lavagruis	Bochtige smele	18	447	0,8	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	11,5	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,1	0,5	0,0	0,0
5F	t=1	Lavagruis	Bochtige smele	26	432	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	20,0	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,5	0,7	0,0	0,1
1E	t=1	Lurgi	Bochtige smele	17	440	0,3	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,2	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,1	0,6	0,0	0,1
2D	t=1	Lurgi	Bochtige smele	17	438	0,2	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	11,5	0,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,2	0,7	0,0	0,1
3F	t=1	Lurgi	Bochtige smele	17	455	0,3	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,3	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,2	0,4	0,0	0,1
4E	t=1	Lurgi	Bochtige smele	20	455	0,9	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,5	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,1	0,3	0,0	0,0
5A	t=1	Lurgi	Bochtige smele	14	399	2,8	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	7,7	0,9	0,2	0,0	1,3	0,1	0,9	0,0	1,1	0,9	0,0	0,1
1B	t=1	Biolit 100	Struikheide	14	489	0,3	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	4,9	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0
2B	t=1	Biolit 100	Struikheide	15	502	0,1	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	4,7	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0
3A	t=1	Biolit 100	Struikheide	14	500	0,3	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	4,8	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,2	0,2	0,0	0,0
4C	t=1	Biolit 100	Struikheide	15	502	0,3	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	5,8	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
5D	t=1	Biolit 100	Struikheide	14	494	0,6	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	6,1	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0
1F	t=1	Biolit 200	Struikheide	15	491	0,2	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	5,0	1,5	0,2	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
2F	t=1	Biolit 200	Struikheide	17	497	0,1	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	4,9	1,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,1	0,2	0,0	0,0
3C	t=1	Biolit 200	Struikheide	15	494	0,2	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	4,7	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
4D	t=1	Biolit 200	Struikheide	14	495	0,4	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	5,8	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	0,5	0,0	0,0
5B	t=1	Biolit 200	Struikheide	12	502	0,4	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	4,8	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0
1C	t=1	Controle	Struikheide	13	495	0,1	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,1	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,1	0,3	0,0	0,0
2A	t=1	Controle	Struikheide	13	504	0,1	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,1	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0
3E	t=1	Controle	Struikheide	15	499	0,1	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,3	0,2	0,0	0,0
4																											

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
1B	t=2	Biolit 100	Bochtige smele	18	404	0,1	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	9,2	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,9	0,8	0,0	0,1
2B	t=2	Biolit 100	Bochtige smele	18	462	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,1	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,9	0,0	0,1
3A	t=2	Biolit 100	Bochtige smele	18	454	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,4	1,1	0,3	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,4	1,1	0,0	0,1
4C	t=2	Biolit 100	Bochtige smele	13	468	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	4,8	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,9	0,8	0,0	0,0
5D	t=2	Biolit 100	Bochtige smele	16	461	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	7,3	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,1	0,7	0,0	0,1
1F	t=2	Biolit 200	Bochtige smele	18	458	0,1	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,3	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,5	0,8	0,0	0,1
2F	t=2	Biolit 200	Bochtige smele	16	459	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	7,4	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	1,3	0,7	0,0	0,1
3C	t=2	Biolit 200	Bochtige smele	16	462	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	7,6	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,4	0,8	0,0	0,0
4D	t=2	Biolit 200	Bochtige smele	13	471	0,2	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	4,0	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0	0,8	0,0	0,1
5B	t=2	Biolit 200	Bochtige smele	11	463	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	5,8	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,8	0,5	0,0	0,0
1C	t=2	Controle	Bochtige smele	25	459	0,1	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	9,7	0,9	0,4	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	1,6	0,7	0,0	0,1
2A	t=2	Controle	Bochtige smele	17	469	0,1	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	6,0	0,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,2	0,5	0,0	0,1
3E	t=2	Controle	Bochtige smele	14	464	0,1	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,6	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	1,1	0,7	0,0	0,1
4B	t=2	Controle	Bochtige smele	17	468	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	6,9	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,2	0,8	0,0	0,1
5E	t=2	Controle	Bochtige smele	12	466	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,9	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,9	0,5	0,0	0,1
1D	t=2	Dolokal	Bochtige smele	21	451	0,1	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	9,2	1,4	0,4	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,5	0,9	0,0	0,1
2C	t=2	Dolokal	Bochtige smele	20	453	0,1	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	9,7	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,6	0,9	0,0	0,1
3D	t=2	Dolokal	Bochtige smele	16	457	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	6,4	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,3	0,9	0,0	0,1
4A	t=2	Dolokal	Bochtige smele	15	460	0,1	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,7	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	1,2	0,9	0,0	0,1
5C	t=2	Dolokal	Bochtige smele	15	458	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,0	0,7	0,0	0,0
1A	t=2	Lavagruis	Bochtige smele	25	447	0,3	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	9,7	0,9	0,6	0,0	0,0	0,1	1,3	0,0	2,1	0,8	0,0	0,1
2E	t=2	Lavagruis	Bochtige smele	15	455	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,2	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	1,3	1,0	0,0	0,0
3B	t=2	Lavagruis	Bochtige smele	15	456	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,0	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,2	0,9	0,0	0,0
4F	t=2	Lavagruis	Bochtige smele	12	463	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	5,5	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,9	0,8	0,0	0,0
5F	t=2	Lavagruis	Bochtige smele	15	458	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	6,9	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,0	0,7	0,0	0,0
1E	t=2	Lurgi	Bochtige smele	17	452	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	8,0	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,4	0,9	0,0	0,1
2D	t=2	Lurgi	Bochtige smele	18	451	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	8,1	0,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,5	0,8	0,0	0,1
3F	t=2	Lurgi	Bochtige smele	15	462	0,1	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,8	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,9	0,9	0,0	0,0
4E	t=2	Lurgi	Bochtige smele	12	462	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	4,2	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	1,0	0,9	0,0	0,1
5A	t=2	Lurgi	Bochtige smele	12	463	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	3,4	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,8	0,8	0,0	0,0
1B	t=2	Biolit 100	Struikheide	15	506	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,5	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,5	0,3	0,0	0,0
2B	t=2	Biolit 100	Struikheide	17	499	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,9	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,5	0,4	0,0	0,0
3A	t=2	Biolit 100	Struikheide	16	512	0,0	0,0	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,9	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0
4C	t=2	Biolit 100	Struikheide	14	510	0,0	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,2	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0
5D	t=2	Biolit 100	Struikheide	14	507	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,8	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
1F	t=2	Biolit 200	Struikheide	15	508	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,6	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0
2F	t=2	Biolit 200	Struikheide	15	501	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,6	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0
3C	t=2	Biolit 200	Struikheide	15	495	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,7	1,7	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,5	0,3	0,0	0,0
4D	t=2	Biolit 200	Struikheide	14	507	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
5B	t=2	Biolit 200	Struikheide	14	511	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,1	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
1C	t=2	Controle	Struikheide	14	511	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,2	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
2A	t=2	Controle	Struikheide	17	497	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,3	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0
3E	t=2	Controle	Struikheide	15	500	0,0	0,0	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,3	1,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
4B	t=2	Controle	Struikheide	15	506	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,8	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
5E	t=2	Controle	Struikheide	14	506	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,3	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,2	0,3	0,0	0,0
1D	t=2	Dolokal	Struikheide	14	501	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,5	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,4	0,4	0,0	0,0
2C	t=2	Dolokal	Struikheide	17	500	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,6	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,5	0,3	0,0	0,0
3D	t=2	Dolokal	Struikheide	14	495	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
4A	t=2	Dolokal	Struikheide	14	509	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,0	1,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
5C	t=2	Dolokal	Struikheide	14	506	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,7	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0
1A	t=2	Lavagruis	Struikheide	15	507	0,1	0,0	0,1	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,9	1,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0
2E	t=2	Lavagruis	Struikheide	15	502	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,0	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,4	0,3	0,0	0,0
3B	t=2	Lavagruis	Struikheide	15	499	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,8	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,5	0,3	0,0	0,0
4F	t=2	Lavagruis	Struikheide	15	513																						

code	tijd	beh	Plant	N	C	Al	As	B	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S	Si	Sr	Zn
1B	t=3	Biolit 100	Bochtige smele	22	450	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,9	0,9	0,2	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,4	0,7	0,0	0,1
2B	t=3	Biolit 100	Bochtige smele	24	455	0,2	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,4	0,9	0,2	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
3A	t=3	Biolit 100	Bochtige smele	24	450	0,1	0,0	0,1	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,8	1,2	0,3	0,0	0,1	0,0	1,3	0,0	1,5	0,5	0,0	0,1
4C	t=3	Biolit 100	Bochtige smele	16	459	0,1	0,0	0,1	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,8	0,7	0,1	0,0	0,1	0,0	0,7	0,0	1,0	0,5	0,0	0,0
5D	t=3	Biolit 100	Bochtige smele	18	452	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,9	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,1	0,6	0,0	0,1
1F	t=3	Biolit 200	Bochtige smele	22	448	0,1	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,2	1,1	0,4	0,0	0,1	0,0	1,1	0,0	1,5	0,6	0,0	0,1
2F	t=3	Biolit 200	Bochtige smele	23	459	0,1	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,7	0,9	0,2	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,2	0,5	0,0	0,0
3C	t=3	Biolit 200	Bochtige smele	17	455	0,1	0,0	0,1	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,5	1,0	0,2	0,0	0,2	0,0	1,0	0,0	1,1	0,6	0,0	0,1
4D	t=3	Biolit 200	Bochtige smele	17	451	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,0	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	1,0	0,7	0,0	0,0
5B	t=3	Biolit 200	Bochtige smele	20	457	0,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,7	0,9	0,1	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	1,2	0,6	0,0	0,1
1C	t=3	Controle	Bochtige smele	20	450	0,1	0,0	0,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,1	0,8	0,1	0,0	0,1	0,0	1,2	0,0	1,4	0,5	0,0	0,1
2A	t=3	Controle	Bochtige smele	21	454	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,7	0,8	0,2	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,1	0,5	0,0	0,0
3E	t=3	Controle	Bochtige smele	23	456	0,1	0,0	0,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,3	0,8	0,2	0,0	0,1	0,0	1,1	0,0	1,1	0,5	0,0	0,0
4B	t=3	Controle	Bochtige smele	18	458	0,0	0,0	0,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,5	0,7	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	1,2	0,5	0,0	0,1
5E	t=3	Controle	Bochtige smele	17	455	0,1	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,2	0,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,7	0,0	1,1	0,6	0,0	0,0
1D	t=3	Dolokal	Bochtige smele	19	453	0,1	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,1	1,4	0,1	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,4	0,6	0,0	0,1
2C	t=3	Dolokal	Bochtige smele	21	442	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,9	1,3	0,1	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,2	0,6	0,0	0,1
3D	t=3	Dolokal	Bochtige smele	21	459	0,2	0,0	0,1	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,0	1,5	0,1	0,0	0,1	0,0	1,1	0,0	1,4	0,6	0,0	0,1
4A	t=3	Dolokal	Bochtige smele	22	459	0,1	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,3	1,4	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,4	0,6	0,0	0,1
5C	t=3	Dolokal	Bochtige smele	20	449	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	9,8	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,1	0,5	0,0	0,1
1A	t=3	Lavagruis	Bochtige smele	24	446	0,1	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,4	0,8	0,2	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	1,5	0,7	0,0	0,1
2E	t=3	Lavagruis	Bochtige smele	24	454	0,1	0,0	0,1	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,2	0,7	0,2	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	1,3	0,6	0,0	0,1
3B	t=3	Lavagruis	Bochtige smele	20	449	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,4	0,7	0,2	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	1,2	0,6	0,0	0,0
4F	t=3	Lavagruis	Bochtige smele	17	456	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,8	0,6	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	0,9	0,6	0,0	0,0
5F	t=3	Lavagruis	Bochtige smele	19	456	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,5	0,6	0,1	0,0	0,1	0,0	0,7	0,0	1,1	0,7	0,0	0,1
1E	t=3	Lurgi	Bochtige smele	23	449	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,4	0,5	0,3	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	1,3	0,7	0,0	0,1
2D	t=3	Lurgi	Bochtige smele	22	453	0,2	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,8	0,7	0,1	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	1,4	0,7	0,0	0,1
3F	t=3	Lurgi	Bochtige smele	22	455	0,1	0,0	0,1	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,7	0,7	0,1	0,0	0,2	0,0	0,9	0,0	1,2	0,6	0,0	0,1
4E	t=3	Lurgi	Bochtige smele	18	456	0,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,5	0,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,7	0,0	1,0	0,7	0,0	0,1
5A	t=3	Lurgi	Bochtige smele	16	454	0,1	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,2	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,5	0,0	1,0	0,7	0,0	0,1
1B	t=3	Biolit 100	Struikheide	16	483	0,0	0,0	0,1	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,7	1,6	0,1	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
2B	t=3	Biolit 100	Struikheide	16	484	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,1	1,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0
3A	t=3	Biolit 100	Struikheide	16	490	0,0	0,0	0,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,5	1,4	0,1	0,0	0,2	0,0	0,9	0,0	1,2	0,5	0,0	0,0
4C	t=3	Biolit 100	Struikheide	15	498	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	1,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0
5D	t=3	Biolit 100	Struikheide	14	494	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	1,7	0,1	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,2	0,5	0,0	0,0
1F	t=3	Biolit 200	Struikheide	16	491	0,0	0,0	0,1	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,6	1,6	0,1	0,0	0,1	0,0	1,0	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
2F	t=3	Biolit 200	Struikheide	14	482	0,0	0,0	0,1	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,9	1,6	0,2	0,0	0,2	0,0	1,1	0,0	1,3	0,5	0,0	0,0
3C	t=3	Biolit 200	Struikheide	16	491	0,0	0,0	0,1	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,4	1,6	0,1	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0
4D	t=3	Biolit 200	Struikheide	15	497	0,0	0,0	0,2	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	1,6	0,1	0,0	0,3	0,0	0,9	0,0	1,2	0,5	0,0	0,0
5B	t=3	Biolit 200	Struikheide	14	493	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	1,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	1,1	0,5	0,0	0,0
1C	t=3	Controle	Struikheide	17	488	0,1	0,0	0,1	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,4	1,2	0,2	0,0	0,2	0,0	0,9	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
2A	t=3	Controle	Struikheide	15	488	0,1	0,0	0,1	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,4	1,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0
3E	t=3	Controle	Struikheide	16	493	0,0	0,0	0,1	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	1,4	0,1	0,0	0,2	0,0	0,9	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0
4B	t=3	Controle	Struikheide	17	501	0,0	0,0	0,1	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,4	1,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0
5E	t=3	Controle	Struikheide	15	486	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	1,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,8	0,0	1,1	0,5	0,0	0,0
1D	t=3	Dolokal	Struikheide	15	496	0,0	0,0	0,1	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,8	1,6	0,1	0,0	0,2	0,0	0,9	0,0	1,1	0,4	0,0	0,0
2C	t=3	Dolokal	Struikheide	14	486	0,0	0,0	0,1	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,9	1,7	0,1	0,0	0,1	0,0	1,1	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
3D	t=3	Dolokal	Struikheide	15	491	0,0	0,0	0,1	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,7	2,0	0,1	0,0	0,2	0,0	1,0	0,0	1,2	0,5	0,0	0,0
4A	t=3	Dolokal	Struikheide	14	504	0,0	0,0	0,1	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,3	1,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,6	0,0	1,0	0,4	0,0	0,0
5C	t=3	Dolokal	Struikheide	15	495	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,1	1,6	0,0	0,0	0,2	0,0	0,8	0,0	1,2	0,5	0,0	0,0
1A	t=3	Lavagruis	Struikheide	14	484	0,0	0,0	0,1	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	6,5	1,1	0,1	0,0	0,3	0,0	0,8	0,0	1,2	0,4	0,0	0,0
2E	t=3	Lavagruis	Struikheide	15	491	0,0	0,0	0,1	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	1,5	0,1	0,0	0,2	0,0	0,9	0,0	1,2	0,5	0,0	0,0
3B	t=3	Lavagruis	Struikheide	15	486	0,0	0,0	0,1	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	5,9	1,5	0,1	0,0	0,2	0,0	1,0	0,0	1,3	0,4	0,0	0,0
4F	t=3	Lavagruis	Struikheide	15	501																						

Bijlage 5.6: Vegetatieopnamen 2017 (NP de Hoge Veluwe – Natte heide): kopgegevens, soorten en gemiddelde werkelijke bedekking (%) op basis van Braun Blanquetopnamen (aangepast door Barkman, Doing & Segal)

NATTE HEIDE - NP/PH POnr (4,5 x 4,5 m)	2017		2017		2017		2017		2017		2017		2017		2017		2017		2017		2017		2017		
	F4	G4	H1	I1	J3	F2	G2	H4	I4	J4	F3	G3	H3	I2	J1	F1	G1	H2	I3	J2	F4	G4	H1	I1	J3
Treatment	biolitt	biolitt	biolitt	biolitt	biolitt	controle	controle	controle	controle	controle	dotokal	dotokal	dolokal	dolokal	dolokal	lurgi	lurgi	lurgi	lurgi	lurgi	F4	G4	H1	I1	J3
Totale bedekking	90	98	98	90	99	92	85	85	80	95	90	90	92	95	90	70	100	100	95	95					
Kale bodem	8	1	1	10	1	8	10	15	20	5	8	10	8	5	10	30	0	0	5	5					
Moslaag	50	50	70	50	40	80	65	60	12	55	80	35	85	12	12	65	55	90	20	13					
Kruidlaag	85	98	95	85	99	80	80	80	80	95	80	90	85	95	90	60	99	90	95	95					
Strooisellaag	3	10	5	3	25	5	2	5	8	15	5	5	2	3	2	2	15	5	5	10					
Grassen (incl. Cyperaceae)	15	75	35	15	55	15	20	25	30	35	15	51	40	35	25	10	75	35	35	50					
Heide	80	25	70	80	45	80	80	75	60	65	80	49	60	65	75	75	25	75	65	50					
Gemiddelde hoogte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
Soortenaantal mossen	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4	3	3	1	2	2	1	1	1	1					
Soortenaantal vaatplanten	4	4	5	6	4	4	5	5	6	5	6	4	4	5	5	5	4	4	5						
Algemene heidesoorten	4	4	5	5	4	4	5	5	6	5	6	4	4	5	5	5	4	4	5						
Graslandssoorten	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Gebufferde condities	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Ruderalen + pioniers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
Houtige gewassen	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Calluna vulgaris</i>	Struikheide	38	8	38	68	8	38	8	38	8	38	8	38	38	38	38	2	18	38	38					
<i>Carex arenaria</i>	Zandzegge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Carex piluifera</i>	Pilzegge	18	8	4	18	4	4	4	8	4	18	38	38	38	38	18	3	4	8	4					
<i>Cuscuta epithymum</i>	Klein warkruid	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Deschampsia flexuosa</i>	Bochtige smele	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Erica tetralix</i>	Dopheide	38	18	38	18	38	38	68	38	68	38	38	38	38	38	38	18	38	38	38					
<i>Festuca filiformis</i>	Fijn schapengras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Genista anglica</i>	Stekelbrem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Juncus squarrosus</i>	Trekruis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Molinia caerulea</i>	Pijpenstrootje	8	68	68	18	68	18	18	38	68	18	18	18	8	8	8	68	68	18	38					
<i>Rumex acetosella</i>	Schapenzuring	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Trichophorum cesp. subsp. germ.</i>	Gewone veenbies	0	0	0	2	0	1	2	2	2	2	1	0	0	2	1	1	0	0	1					
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Blauwe bosbes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Aira praecox</i>	Vroege haver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Carex panicea</i>	Blauwe zegge	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Danthonia decumbens</i>	Tandjesgras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Galium saxatile</i>	Liggend walstro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Hieracium laevigatum</i>	Stijf havigskruid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Hieracium pilosella</i>	Muizenoor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewoon biggenkruid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Luzula campestris</i>	Gewone veldbies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Veronica officinalis</i>	Mannetje's ereprijs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Achillea millefolium</i>	Duizendblad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Agrostis capillaris</i>	Gewoon struisgras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Cerastium fontanum</i>	Gewone hoornbloem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Holcus lanatus</i>	Gestreepte wibol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Leontodon autumnalis</i>	Vertakte leeuwendaal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Rumex acetosa</i>	Veldzuring	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Stellaria media</i>	Vogelmuur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Taraxacum officinalis</i> s.l.	Gewone paardebloem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Trifolium repens</i>	Witte klaver	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Betula species (juv)</i>	Berk (G)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Pinus species (juv)</i>	Grove den	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Quercus robur (juv)</i>	Zomereik	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Rhamnus frangula (juv)</i>	Sporkehout	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Rubus fruticosus</i> ag.	Braam	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Salix species (juv)</i>	Wilig (G)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Sorbus aucuparia</i>	Lijsterbes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Cirsium vulgare</i>	Speerdistel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Coryza canadensis</i>	Canadese fijnstraal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Epilobium hirsutum</i>	Harig wilgeroosje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Juncus effusus</i>	Pitrus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Persicaria hydropiper</i>	Waterpeper	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Senecio jacobaea</i>	Jakobskruid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Sonchus species</i>	Melkdistel (G)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Urtica dioica</i>	Grote brandnetel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
<i>Veronica agrestis</i>	Akkerereprijs	0	0																						

Bijlage 5.10: Indeling in soortgroepen (vaatplanten in vegetatieopnamen 2015-2017)

Algemene heidesoorten

<i>Calluna vulgaris</i>	Struikhei
<i>Carex arenaria</i>	Zandzegge
<i>Carex pilulifera</i>	Pilzegge
<i>Cuscuta epithymum</i>	Klein warkruid
<i>Deschampsia flexuosa</i>	Bochtige smele
<i>Erica tetralix</i>	Gewone dophei
<i>Festuca filiformis</i>	Fijn schapengras
<i>Genista anglica</i>	Stekelbrem
<i>Juncus squarrosus</i>	Trekrus
<i>Molinia caerulea</i>	Pijpenstrootje
<i>Rumex acetosella</i>	Schapenzuring
<i>Spergularia rubra</i>	Rode schijnspurrie
<i>Trichophorum cespitosum s. germanicum</i>	Veenbies
<i>Vaccinium myrtillus</i>	Blauwe bosbes

Soorten van gebufferde condities

<i>Aira praecox</i>	Vroege haver
<i>Carex panicea</i>	Blauwe zegge
<i>Danthonia decumbens</i>	Tandjesgras
<i>Galium saxatile</i>	Liggend walstro
<i>Hieracium laevigatum</i>	Stijf havikskruid
<i>Hieracium pilosella</i>	Muizenoor
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewoon biggenkruid
<i>Luzula campestris</i>	Gewone veldbies
<i>Potentilla erecta</i>	Tormentil
<i>Veronica officinalis</i>	Mannetjesereprijs

Houtige gewassen

<i>Betula species (juv)</i>	Ruwe berk
<i>Pinus sylvestris (juv)</i>	Grove den
<i>Prunus species (juv)</i>	Prunus (G)
<i>Quercus robur (juv)</i>	Zomereik
<i>Rhamnus frangula (juv)</i>	Sporkehout
<i>Rubus fruticosus ag.</i>	Braam species
<i>Salix species (juv)</i>	Wilg species
<i>Sorbus aucuparia</i>	Wilde lijsterbes

Ruderalen & pioniersoorten

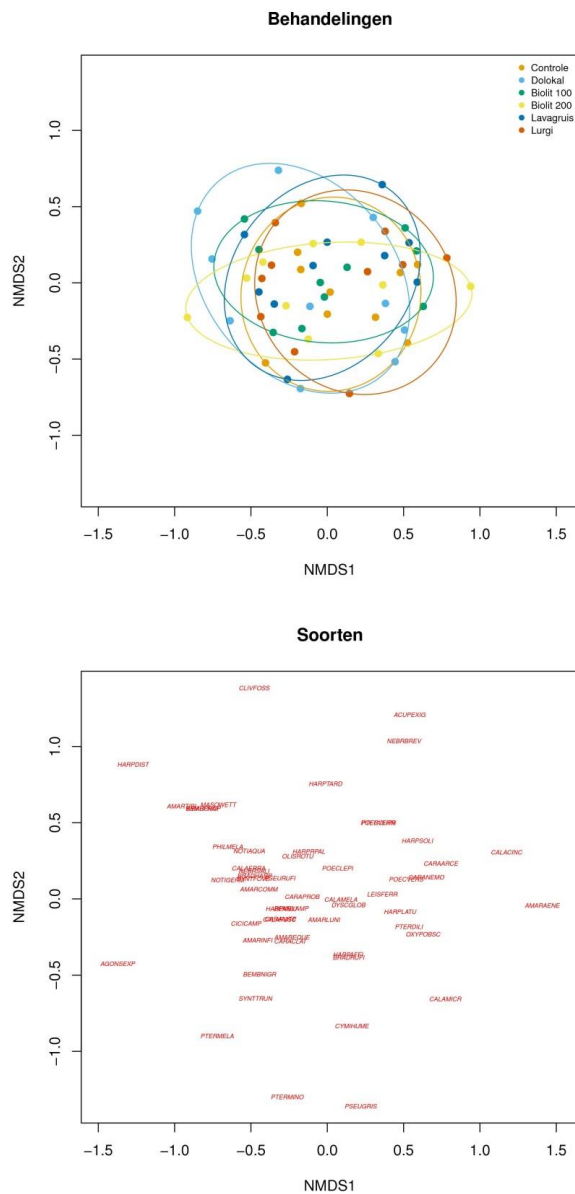
<i>Chamerion angustifolium (zaailing)</i>	Wilgenroosje
<i>Cirsium vulgare</i>	Speerdistel
<i>Conyza canadensis</i>	Canadese fijnstraal
<i>Epilobium hirsutum</i>	Harig wilgenroosje
<i>Epilobium montanum</i>	Bergbasterdwederik
<i>Juncus effusus</i>	Pitrus
<i>Persicaria hydropiper</i>	Waterpeper
<i>Sagina procumbens</i>	Liggende vetmuur
<i>Senecio jacobaea</i>	Jacobskruid
<i>Sonchus species</i>	Melkdistel species
<i>Urtica dioica</i>	Grote brandnetel
<i>Veronica agrestis</i>	Akkerereprijs

Graslandplanten

<i>Achillea millefolium</i>	Gewoon duizendblad
<i>Agrostis capillaris</i>	Gewoon struisgras
<i>Agrostis stolonifera</i>	Fioringras
<i>Cerastium fontanum</i>	Gewone hoornbloem
<i>Holcus lanatus</i>	Gestreepte witbol
<i>Leontodon autumnalis</i>	Vertakte leeuwentand
<i>Rumex acetosa</i>	Veldzuring
<i>Stellaria media</i>	Vogelmuur
<i>Taraxacum species</i>	Paardenbloem species
<i>Trifolium repens</i>	Witte klaver

Bijlage 6: Fauna

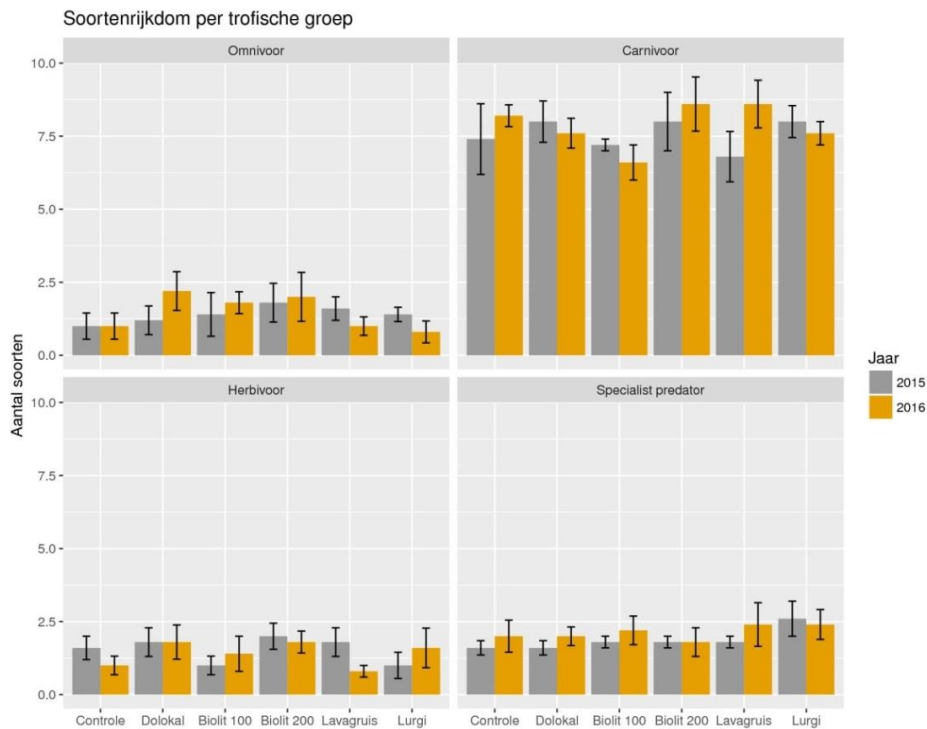
Bijlage 6.1: NMDS ordinatie op basis van alle loopkevervangsten, zonder onderverdeling tussen wel en niet begraasde proefblokken



Figuur B6.1. NMDS plot van de loopkevervangsten uit 2015 en 2016 van alle onderzoeksplots afzonderlijk. Boven: plaatsing van de monsterpunten in het ordinatiediagram. Ellipsen geven de plaatsingsrange van de verschillende behandelingen weer. Onder: plaatsing van de soorten in hetzelfde ordinatiediagram. Voor een overzicht van gebruikte soortafkortingen, zie tabel B6.1.

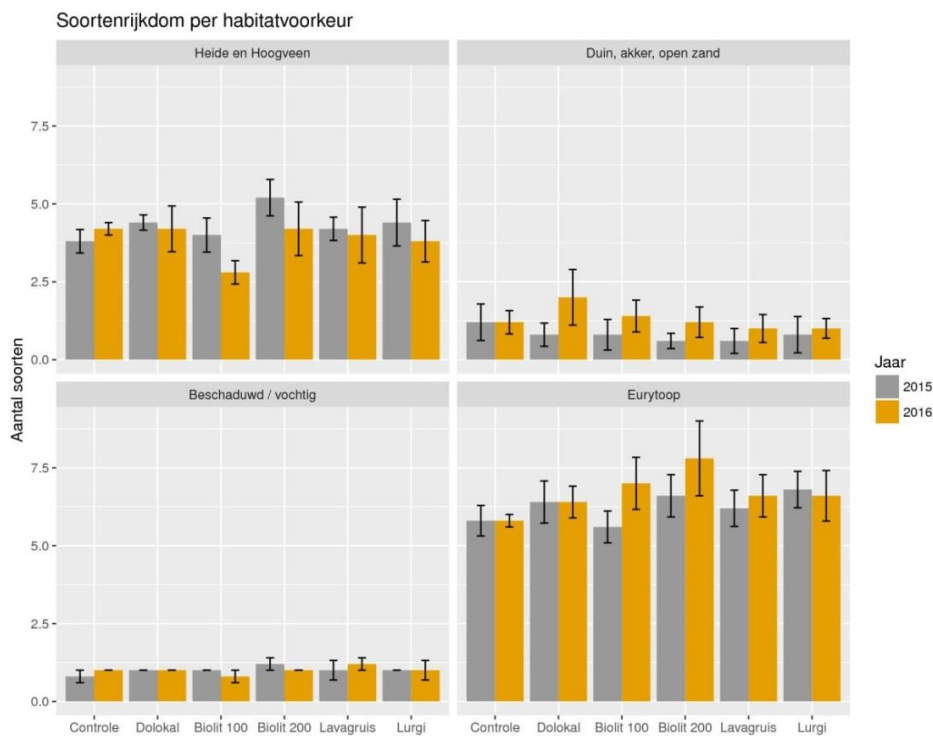
Figure B6.1. NMDS ordination plot based on Carabid beetles trapped in all separate treatment plots. Top: placement of sampling sites (treatments) in the ordination diagram. Ellipses envelop treatment groups. Bottom diagram: placement of species in the ordination diagram. For an overview of species abbreviations, see table B6.1.

Bijlage 6.2: Overzichtsgrafieken van loopkever SR trofie en habitatvoorkeur in alle proefvlakken



Figuur B6.2. Gemiddelde soortenrijkdom van loopkevers verdeeld over trofische groepen in de verschillende behandelingen, uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

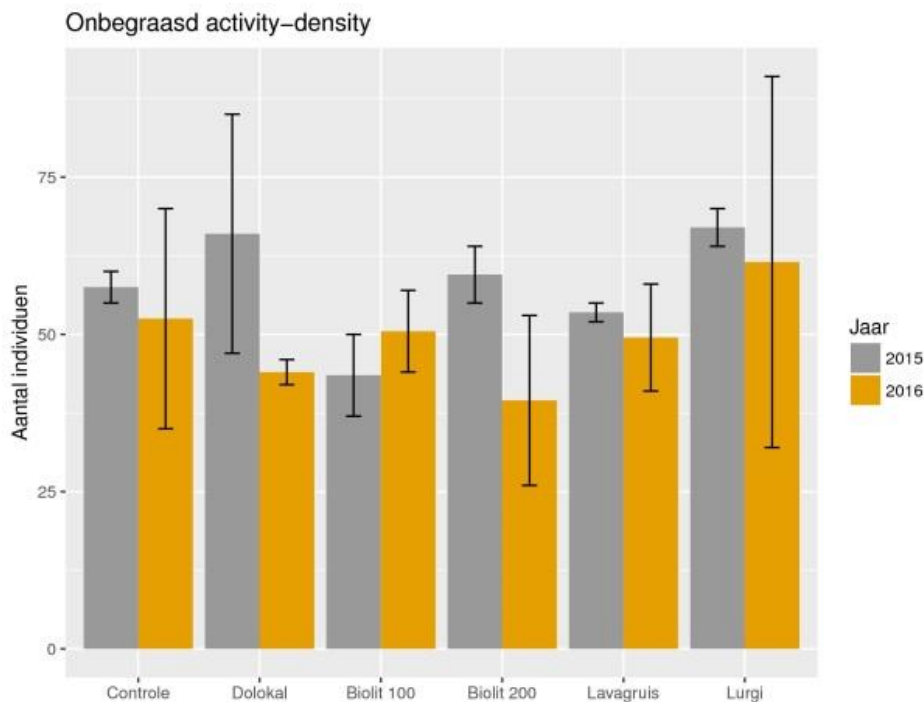
Figure B6.2. Mean species richness of carabid beetles subdivided by trophic rank in different treatments, per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E.



Figuur B6.3. Gemiddelde soortenrijkdom van loopkevers verdeeld over habitatvoorkeur in de verschillende behandelingen, uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

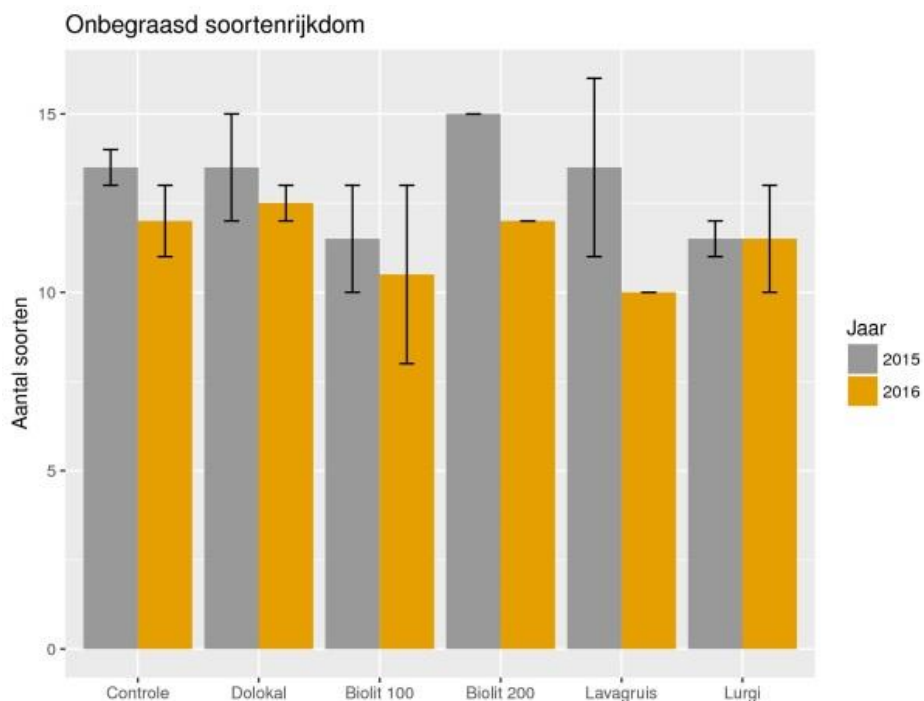
Figure B6.3. Mean species richness of carabid beetles subdivided by habitat preference in different treatments, per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E.

Bijlage 6.3: Overzicht loopkever activiteit (AD) en SR in de onbegraasde proefvlakken (n=2)



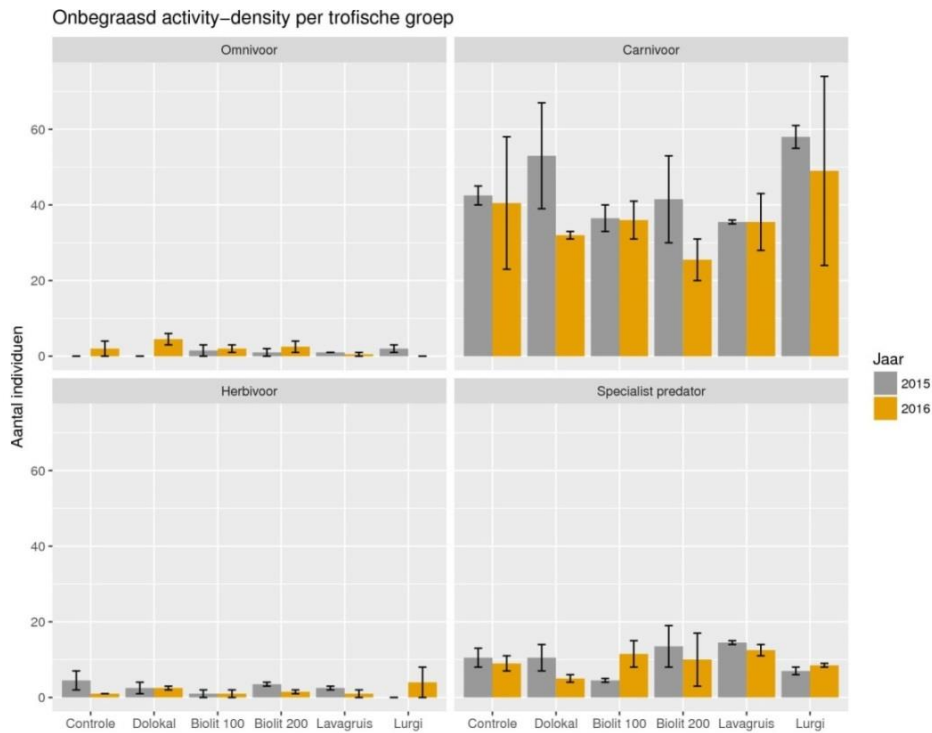
Figuur B6.4. Gemiddelde activity-density van alle loopkevers in de behandelingen van enkel de onbegraasde proefvlakken (n=2), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure B6.4. Mean activity-density of all carabid beetles in ungrazed treatment blocks (n=2), per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E.



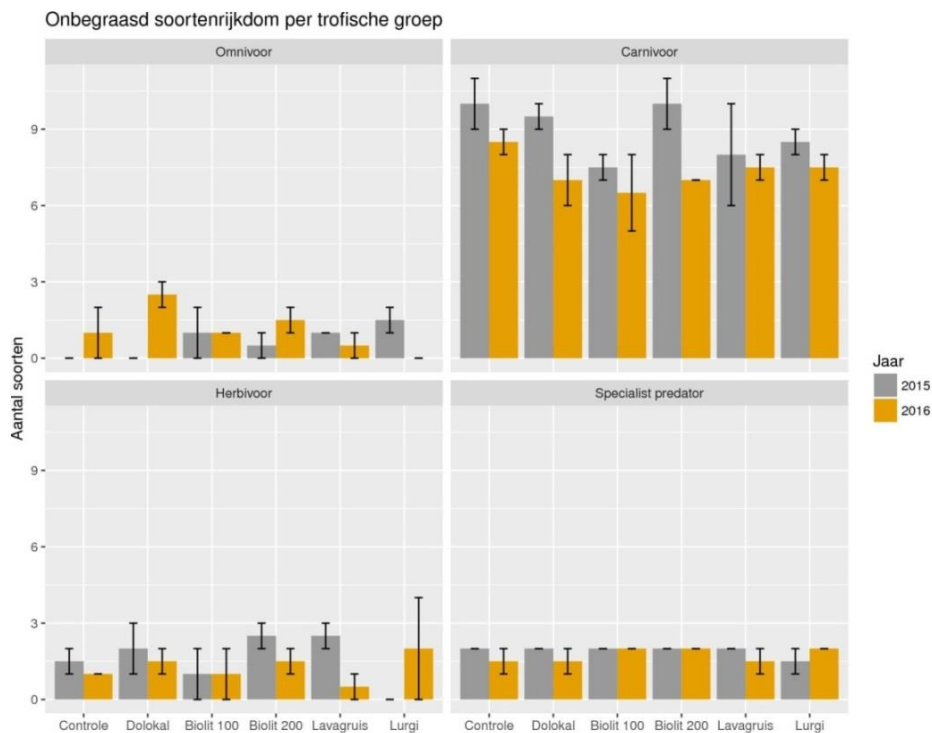
Figuur B6.5. Gemiddelde soortenrijkdom van alle loopkevers in de behandelingen van enkel de onbegraasde proefvlakken (n=2), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure B6.5. Mean species richness of all carabid beetles in ungrazed treatment blocks (n=2), per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E.



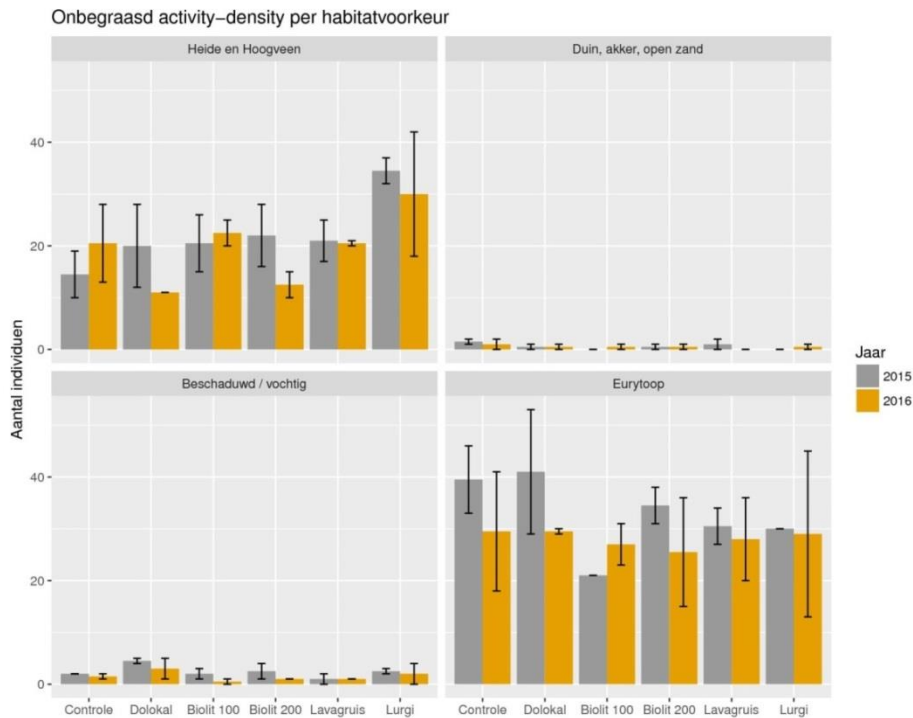
Figuur B6.6. Gemiddelde activity-density van loopkevers verdeeld over trofische groepen in de verschillende behandelingen van enkel de onbegraasde proefvlakken (n=2), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure B6.6. Mean activity-density of carabid beetles subdivided by trophic rank in different treatments in the ungrazed treatment blocks (n=2), per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E.



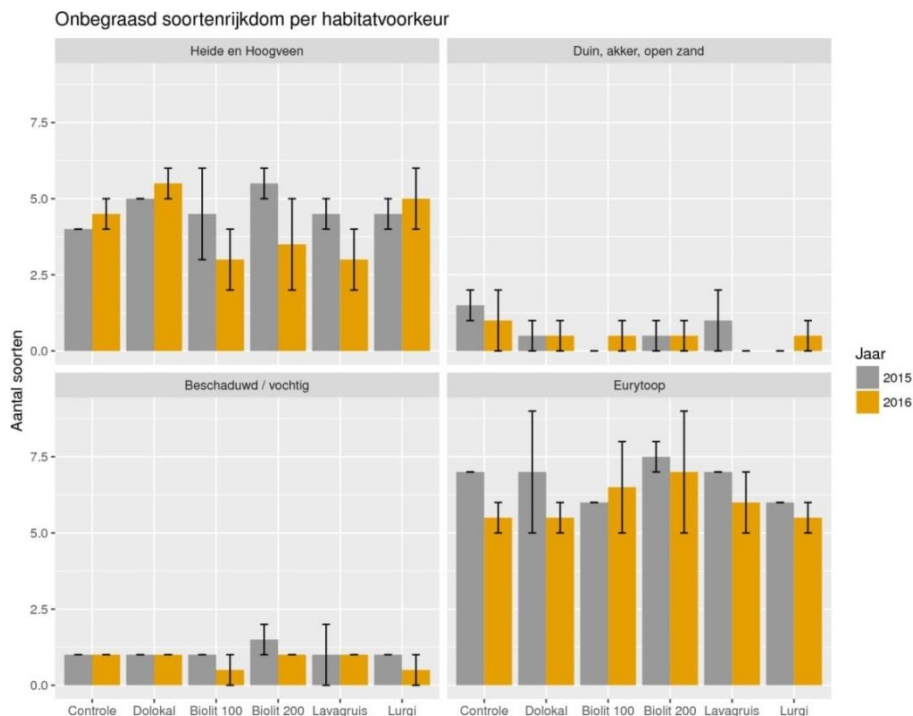
Figuur B6.7. Gemiddelde soortenrijkdom van loopkevers verdeeld over trofische groepen in de verschillende behandelingen van enkel de onbegraasde proefvlakken (n=2), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure B6.7. Mean species richness of carabid beetles subdivided by trophic rank in different treatments in the ungrazed treatment blocks (n=2), per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E.



Figuur B6.8. Gemiddelde activity-density van loopkevers verdeeld over habitatvoorkeur in de verschillende behandelingen van enkel de onbegraasde proefvlakken (n=2), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

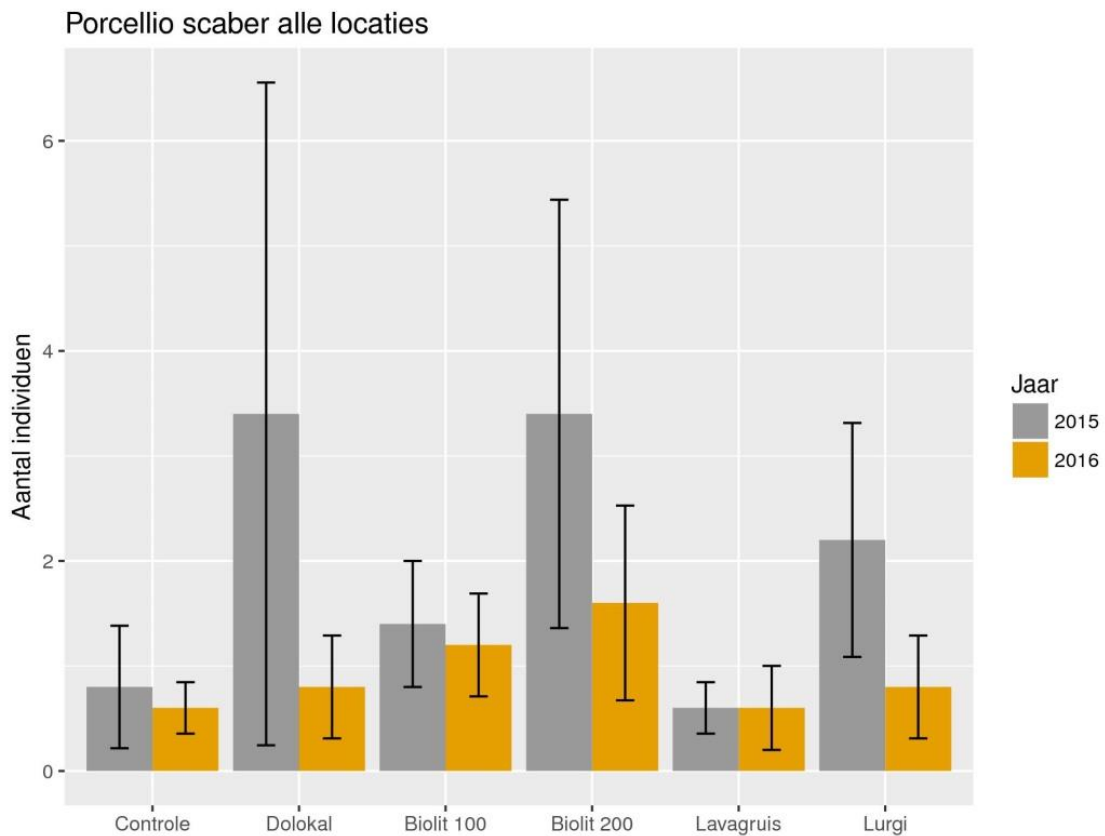
Figure B6.8. Mean activity-density of carabid beetles subdivided by habitat preference in different treatments in the ungrazed treatment blocks (n=2), per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E.



Figuur B6.9. Gemiddelde soortenrijkdom van loopkevers verdeeld over habitatvoorkeur in de verschillende behandelingen van enkel de onbegraasde proefvlakken (n=2), uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure B6.9. Mean species richness of carabid beetles subdivided by habitat preference in different treatments in the ungrazed treatment blocks (n=2), per sampling year. Error bars indicate ± 1 S.E.

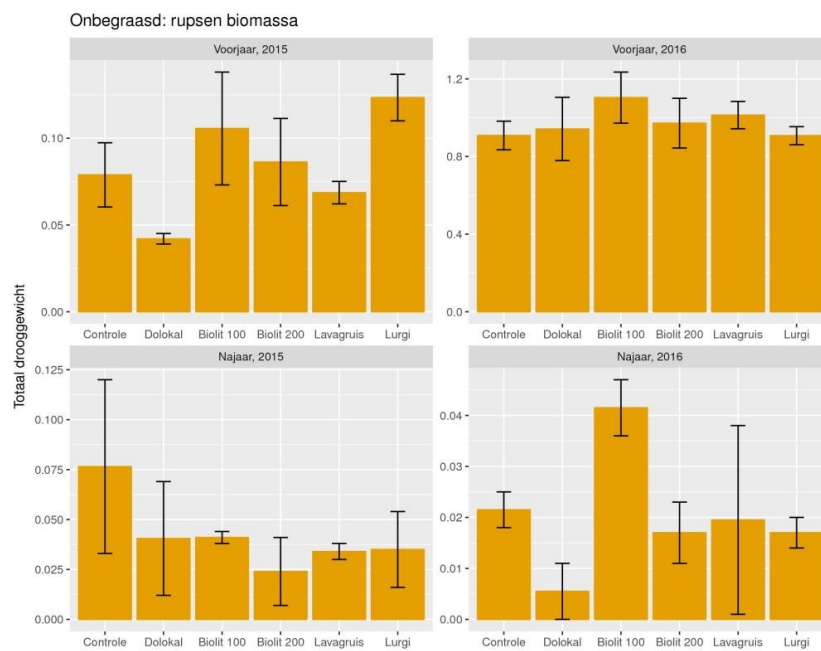
Bijlage 6.4: Overzicht van *Porcellio scaber* vangsten in alle locaties



Figuur B6.10. Aantal bemonsterde individuen van *Porcellio scaber* in de verschillende behandelingen van alle proefvlakken, uitgesplitst over beide bemonsteringsjaren. Error bars geven ± 1 S.E. weer. N.B. In de onbegraasde locaties ($n=2$) is *P. scaber* in geen van beide onderzoeksjaren aangetroffen, waardoor de spreiding in de data (S.E. bars) sterk toeneemt.

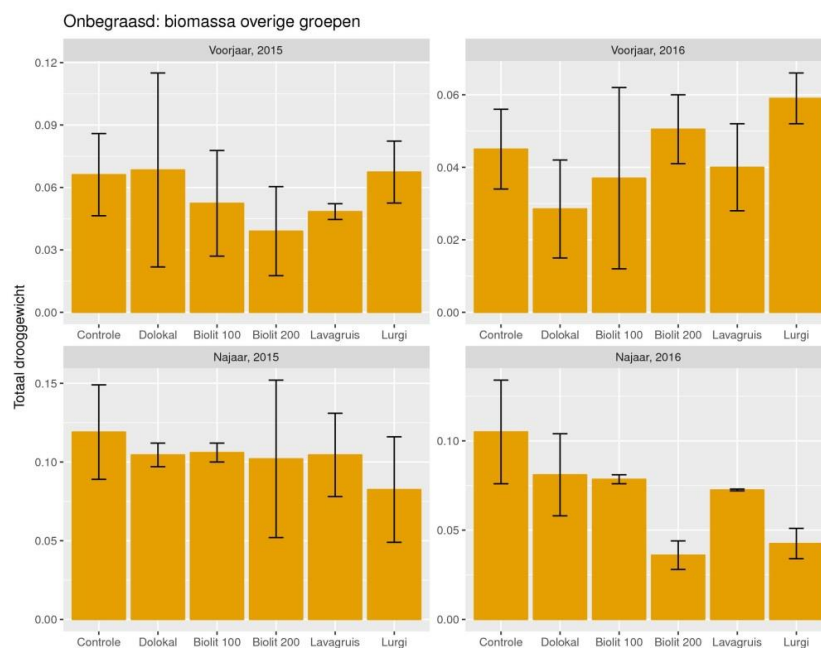
Figure B6.10. Mean number of trapped *Porcellio scaber* individuals in different treatments in all blocks ($n=5$), in the different treatments per sampling year. In ungrazed blocks ($n=2$), no individuals were found in either sampling year, resulting in a strong increase in S.E. bars. Error bars indicate ± 1 S.E.

Bijlage 6.5: Biomassa van rupsen in de onbegraasde proefvlakken (n=2)



Figuur B6.11. Gemiddelde biomassa van rupsen in sleepnetmonsters in de verschillende behandelingen van enkel de onbegraasde proefvlakken (n=2), per bemonsteringsmoment (voorjaar/najaar, 2015/2016). Let op de verschillen in schaal van de y-as per grafiek. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure B6.11. Mean caterpillar biomass (mg) in sweep net samples in different treatments in the ungrazed blocks (n=2), per sampling event (spring, autumn, 2015, 2016). Note that y-axes differ in scale. Error bars indicate ± 1 S.E. For Dutch-English translations, see the Table 9.1 caption.



Figuur B6.12. Gemiddelde biomassa van overige ongewervelde groepen in sleepnetmonsters in de verschillende behandelingen van enkel de onbegraasde proefvlakken (n=2), per bemonsteringsmoment (voorjaar/najaar, 2015/2016). Let op de verschillen in schaal van de y-as per grafiek. Error bars geven ± 1 S.E. weer.

Figure B6.12. Mean biomass of other invertebrates in sweep net samples in the ungrazed blocks (n=2), per sampling event (spring, autumn, 2015, 2016). Note that y-axes differ in scale. Error bars indicate ± 1 S.E. For Dutch-English translations, see the Table 9.1 caption.

Bijlage 6.7: Overzicht bemonsterde Diptera families in OBN experimenten

Tabel B6.1. Overzichtstabel van alle bemonsterde Diptera families in het droge heide experiment.

Table B6.1: Overview table of all trapped Diptera families in the dry heath experiment.

Droge Heide				plotcode -->																treatment -->															
Total	Feeding guild	Suborder	Family	A3	B3	C4	D4	E4	A2	B4	C2	D1	E2	A1	B1	C3	D3	E1	A4	B2	C1	D2	E3												
				Biolt	Biolt	Biolt	Biolt	Biolt	Control	Control	Control	Control	Control	Dolokal	Dolokal	Dolokal	Dolokal	Dolokal	Lurgi	Lurgi	Lurgi	Lurgi	Lurgi												
12	Phy	Brachyera	Agromyzidae	0	0	0	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	1											
1	Phy	Brachyera	Anthomyiidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
5	Phy	Brachyera	Anthomyiidae	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0											
2	unk	Brachyera	Brachycera - Acalyptraat indet	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0											
10	Zoo	Brachyera	Carnidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3											
494	mixed	Brachyera	Chloropidae	17	35	13	19	19	16	52	37	12	29	25	9	7	22	22	22	24	41	49	24												
44	Sap	Brachyera	Chyromyidae	4	0	0	8	7	0	0	0	0	0	0	1	5	6	12	0	1	0	0	0												
2	Sap	Brachyera	Diastatidae	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
77	Zoo	Brachyera	Dolichopodidae	3	3	10	4	4	3	0	1	2	7	6	2	1	2	3	5	5	7	5	4												
139	Sap	Brachyera	Drosophilidae	8	3	4	21	3	7	3	11	7	2	9	10	4	2	17	3	7	8	4	6												
200	Zoo	Brachyera	Empididae	20	3	11	2	13	9	10	12	17	3	12	10	1	8	5	14	22	7	16	5												
22	Sap	Brachyera	Ephydriidae	0	0	0	2	1	1	0	1	0	0	1	15	0	0	0	0	0	1	0	0												
12	Sap	Brachyera	Fanniidae	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0												
5	Sap	Brachyera	Fanniidae/Muscidae	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
6	Zoo	Brachyera	Hybotidae	1	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0												
2	Sap	Brachyera	Lauxaniidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0												
2	Sap	Brachyera	Lonchopteridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0												
94	Sap	Brachyera	Muscidae	1	0	1	0	0	0	0	7	0	7	1	72	0	0	12	1	0	1	2	0												
337	Sap	Brachyera	Phoridae	19	19	6	11	14	16	19	16	15	11	18	15	17	43	12	31	9	16	12	18												
7	Zoo	Brachyera	Pipunculidae	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	0	1	0												
10	Sap	Brachyera	Sepsidae	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0												
245	Sap	Brachyera	Sphaeroceridae	5	9	3	4	4	8	3	116	1	7	10	6	2	10	6	15	10	7	15	4												
9	Zoo	Brachyera	Tachinidae	0	0	1	0	0	0	1	0	0	3	2	1	1	1	1	1	0	0	0	0												
1	Phy	Brachyera	Tephritidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
7	Sap	Brachyera	Trixoscelididae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
1	Sap	Brachyera	Ulididae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0												
3095	Phy	Nematocera	Cecidomyiidae	175	193	100	139	234	110	143	213	136	150	139	112	158	246	90	101	217	196	149	94												
37	mixed	Nematocera	Ceratopogonidae	0	1	21	1	0	1	0	0	1	1	2	0	1	2	0	1	5	1	0	0												
1	Zoo	Nematocera	Chaoboridae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
716	mixed	Nematocera	Chironomidae	93	10	17	44	100	56	17	8	58	3	34	75	5	12	2	8	91	11	58	14												
10	Zoo	Nematocera	Keroplattidae subfam. Keroplattinae	2	1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0												
2	mixed	Nematocera	Limoniidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0												
50	Sap	Nematocera	Mycetophilidae	6	1	3	1	2	2	0	0	1	0	1	2	5	6	3	8	6	2	0	0												
33	Sap	Nematocera	Psychodidae	0	7	2	1	0	1	3	3	0	2	0	0	0	6	2	2	1	1	1	1												
6	Sap	Nematocera	Scatopsidae	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
1879	Sap	Nematocera	Sciariidae	153	76	63	100	96	78	69	126	73	77	108	244	70	38	73	36	66	200	106	21												
1	Phy	Nematocera	Tipulidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0												
		Phytophagous individuals		177	193	100	141	236	110	144	215	137	150	139	112	158	246	90	101	218	200	151	95												
		Phytophagous families		2	1	2	3	1	2	3	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2												
		Saprophagous individuals		202	121	82	148	127	115	97	287	97	114	149	366	103	111	138	97	103	238	139	56												
		Saprophagous families		7	8	7	8	7	9	5	10	5	8	8	9	6	7	10	7	10	9	6	8												
		Zoophagous individuals		29	8	25	6	17	14	12	13	20	13	21	13	4	12	11	21	31	15	23	12												
		Zoophagous families		6	4	5	2	3	3	2	3	5	4	3	4	4	5	4	5	3	4	3	3												
		Mixed families individuals		110	46	51	64	110	73	69	45	70	33	60	86	12	35	26	35	116	50	107	38												
		Mixed families families		2	3	3	3	2	3	2	2	2	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2												

Tabel B6.2: Overzichtstabel van alle bemonsterde Diptera families in het natte heide experiment.

Table B6.2: Overview table of all trapped Diptera families in the wet heath experiment.

Natte Heide				Plotcode -->																Treatment -->															
Total	Feeding guild	Suborder	Family	F4	G4	H1	I1	J3	F2	G2	H4	I4	J4	F3	G3	H3	I2	J1	F1	G1	H2	I3	J2												
				Biolt	Biolt	Biolt	Biolt	Biolt	Control	Control	Control	Control	Control	Dolokal	Dolokal	Dolokal	Dolokal	Dolokal	Lurgi	Lurgi	Lurgi	Lurgi	Lurgi												
3	Phy	Brachyera	Agromyzidae	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0												
1	Phy	Brachyera	Anthomyiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
1	Phy	Brachyera	Anthomyiidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0												
1		Brachyera	Brachycera - Acalyptraat indet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0												
3	Zoo	Brachyera	Carnidae	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0												
13	mixed	Brachyera	Chloropidae	2	0	0	0	0	1	2	0	1	0	2	1	0	0	0	0	1	2	0	1												
31	Zoo	Brachyera	Dolichopodidae	0	4	1	0	8	2	1	2	2	0	1	0	0	1	0	3	2	0	0	4												
65	Sap	Brachyera	Drosophilidae	11	1	4	9	0	3	0	1	5	0	4	1	3	0	2	13	0	1	4	3												
30	Zoo	Brachyera	Empididae	2	1	1	1	0	3	1	2	0	1	0	1	3	6	4	2	0	1	0	0												
16	Sap	Brachyera	Ephydriidae	0	0	2	0	2	1	1	1	2	1	1	0	2	0	0	1	1	0	1	0												
12	Zoo	Brachyera	Hybotidae	0	1	2	1	1	2	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0												
1	Sap	Brachyera	Lonchopteridae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
36	Sap	Brachyera	Muscidae	2	1	1	0	1	3	3	3	2	4	1	1	2	0	3	7	0	1	1	0												
336	Sap	Brachyera	Phoridae	13	17	21	14	6	17	15	35	37	31	10	14	9	10	12	22	14	13	17	9												
2	Zoo	Brachyera	Pipunculidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0												
3	Sap	Brachyera	Sepsidae	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0												
37	Sap	Brachyera	Sphaeroceridae	2	3	1	1	0	1	2	1	0	2	0	1	6	2	1	3	7	2	1	1												
12	Zoo	Brachyera	Tachinidae	1	2	0	0	1	1	0	2	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0												
2	Zoo	Brachyera	Therevidae	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0												
1764	Phy	Nematocera	Cecidomyiidae	84	161	152	63	145	90	49	62	119	52	107	121	122	71	78	58	89	45	59	37												
31	mixed	Nematocera	Ceratopogonidae	2	1	4	2	1	0	2	1	1	4	1	6	0	0	0	3	0	0	1	0												
254	mixed	Nematocera	Chironomidae	8	8	6	2	0	14	11	16	34	6	17	7	11	8	17	12	6	12	24	35												
1	mixed	Nematocera	Culicidae	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0												
48	Zoo	Nematocera	Keroplattidae subfam. Keroplattinae	2	1	7	2	4	3	0	1	0	6	1	7	3	2	0	3	1	5	0	0												
1																																			

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:

- is een onafhankelijk en innovatief platform waarin beheer, beleid en wetenschap op het gebied van natuurherstel en -beheer samenwerken;
- ontwikkelt en verspreidt kennis met als doel het structureel herstel en beheer van natuurkwaliteit.



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

Vereniging van bos- en natuurterreineigenaren (VBNE)

Princenhof Park 9
3972 NG Driebergen
0343-745250

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

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