

Onderzoeksprogramma Levende Duinen



Bart Wouters
Eva Remke


Stichting Bargerveen
/ Voor systeemgericht natuurherstel



Radboud Universiteit Nijmegen

COLOFON

Titel: Onderzoeksprogramma Levende Duinen

Auteurs: Bart Wouters, Eva Remke

Project uitgevoerd in opdracht van Dunea, Provinciaal waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN) en Waternet

Onder begeleiding van Bosgroep Midden Nederland en een begeleidingscommissie vanuit beheerders Dunea, PWN en Waternet

Foto's voorkant: Bart Wouters (achtergrond)
Bart Wouters (Blauwvleugelsprinkhaan)
Herman van Oosten (Duinparelmoervlinder)
Remco Versluijs (Gauwe Klauwier)

Uitgave: Stichting Bargerveen
Afdeling Dierecologie en –ecofysiologie
Radboud Universiteit Nijmegen

Postbus 9010
6500 GL Nijmegen
Telefoon: 024-7410700
Email: b.wouters@science.ru.nl

Stichting Bargerveen, maart 2012

Alles uit dit rapport mag worden overgenomen of geciteerd, mits de bron duidelijk wordt vermeld.



In opdracht van:



Gefinancierd door:



Inhoudsopgave

Dankwoord	7
Samenvatting	9
1. Leeswijzer	13
2. Inleiding	15
2.1 Onderzoekskader	15
2.2 Koppeling VK en OLD	15
3. Microklimaat van duingraslanden op vlakke en glooiende terreindelen	19
3.1 Introductie	19
3.2 Methodiek	20
3.3 Resultaten	23
3.4 Discussie/conclusie	27
3.5 Samenvatting	29
4. Betreding	31
4.1 Introductie	31
4.2 Methodiek	32
4.3 Resultaten	34
4.4 Discussie/conclusie	38
4.5 Samenvatting	40
5. Verstuiving witte duinen	41
5.1 Introductie	41
5.2 Methodiek	42
5.3 Resultaten	44
5.4 Discussie/conclusie	48
5.5 Samenvatting	49
6. Verstuiving duingraslanden	51
6.1 Introductie	51
6.2 Methodiek	52
6.3 Resultaten	57
6.4 Discussie/conclusie	70
6.5 Samenvatting	75
7. Beschikbaarheid van nutriënten door begrazing	77
7.1 Introductie	77
7.2 Methodiek	78
7.3 Resultaten	80
7.4 Discussie/conclusie	94

7.5 Samenvatting	97
8. Referentiegebied kalkrijke duinen	99
8.1 Introductie	99
8.2 Resultaten	105
8.3 Discussie/conclusie	109
8.4 Samenvatting	110
9. Synthese	111
9.1 De rol van “verstoring” in het duinsysteem	111
9.2 Verstuiving	112
9.3 Begrazing	115
10. Aanbevelingen voor beheer	119
11. Kennislacunes	123
12. Referenties	125
Lijst met gebruikte afkortingen en eenheden	129
Bijlage microklimaat van duingraslanden op vlakke en glooiende terreindelen	133
3.1	133
Bijlage betreding	134
4.1	134
4.2	135
Bijlage verstuiving witte duinen	136
5.1	136
Bijlage verstuiving duingraslanden	137
6.1	137
6.2	138
6.3	139
Bijlage beschikbaarheid van nutriënten door begrazing	141
7.1	141
7.2	142
7.3	143
7.4	144
7.5	145
7.6	146
7.7	147
Bijlage Frankrijk	148
8.1	148
8.2	149

Dankwoord

Aan het Onderzoeksprogramma Levende Duinen heeft een groot aantal mensen een bijdrage geleverd. Wij bedanken de contactpersonen bij de opdrachtgevers voor de prettige samenwerking: Antje Ehrenburg en Mark van Til (AWD), Hans Lucas (Dunea), Rienk Slings en Dick Groenendijk (PWN). Voor de begeleiding van het project willen wij graag André Jansen en Gerard Koopmans (Bosgroep midden Nederland) bedanken. Ondersteuning bij het analyse-, veld- en labwerk werd geleverd door Albert Dees, Ankie Brock, Hanne Hetjens, Herman van Oosten, Jan Kuper, Jeroen de Bruijn, Joana Frazao, Joost Vogels, Marijn Nijssen, Marten Geertsma, Remco Versluijs, Sebastian Krosse, Stef Waasdorp, Theo Peeters en Wanda Floor-Zwart.

Samenvatting

Het Nederlandse kustlandschap is de laatste decennia sterk veranderd. Verruiging met hoge grassen en struweel, verdroging en de afname van dynamiek hebben het van oorsprong soortenrijke landschap ernstig aangetast. Als gevolg van deze aantasting is natuurbeheer, gericht op het herstellen van de oorspronkelijke variatie en biodiversiteit, noodzakelijk geworden. In het Onderzoeksprogramma Levende Duinen (OLD) zijn de effecten van de aantasting van het landschap en de effecten van de beheersmaatregelen begrazing en verstuiwing op het systeem, en voornamelijk de entomofauna, onderzocht. Dit is noodzakelijk om grip te krijgen op de oorzaak van de veranderingen en vervolgens het beheer in de toekomst te kunnen optimaliseren. Uit eerder onderzoek (Voorbereidingsplan Kustduinen: VK) zijn een aantal aandachtspunten naar voren gekomen die in dit onderzoek nader onderzocht zijn. Hieronder vallen het onderzoek naar het belang van microklimaat voor voortplanting van sprinkhanen, de effecten van betreding door grote grazers op nestgelegenheid van grondnestelende entomofauna, het belang van overstuiving met duinzand voor fauna, de invloed die begrazing heeft op de bodem, planten en dieren in duingraslanden en het zoeken naar een geschikt referentiegebied in het buitenland.

Microklimaat (hoofdstuk 3)

Een geschikt microklimaat is zeer belangrijk voor de activiteit en ontwikkeling van insecten. Veranderingen van vegetatiesamenstelling of -structuur kunnen grote effecten hebben op microklimaat en kunnen dus ook direct een zeer groot effect hebben op de voortplanting en ontwikkeling van insecten. Door verschillende beheersvormen ontstaan andere typen vegetatie, met gevolgen voor het op deze plekken aanwezige microklimaat. In dit onderzoek is gekeken naar de effecten van verschillende beheersvormen op het ondergrondse microklimaat waarvan sprinkhaaneieren afhankelijk zijn. Hierbij is een ijle vegetatie (ontstaan door verstuiwing), een uitgestoelde vegetatie (een dichte lage grasmat die kan ontstaan door begrazing) en een vergraste vegetatie vergeleken.

Door ecologische kennis over soorten te combineren met de temperatuurmetingen uit het veld kunnen de effecten op verschillende sprinkhanen bepaald worden. Gemiddeld blijkt de ontwikkeling van sprinkhanen in een ijl grasland grofweg één maand korter te zijn dan in een uitgestoeld duingrasland en zelfs anderhalve maand korter dan in een vergraste situatie. Verder blijkt de voor duinen karakteristieke, meest warmtebehoevende, soort (Blauwvleugelsprinkhaan; *Oedipoda caerulescens*) in vergelijking met de andere soorten tot 3 weken langer over de ontwikkeling te doen. Karakteristieke soorten worden dus harder getroffen door verslechtering van het microklimaat.

Hieruit blijkt dat begrazing de microklimaatcondities voor de ontwikkeling van sprinkhanen in duinen kan verbeteren ten opzichte van vergraste situaties. Begrazing is echter niet in staat de microklimaatcondities van een door kleinschalige verstuiwing ontstaan ijl duingrasland te herstellen.

Betreding (hoofdstuk 4)

Om de aantasting van het duinlandschap tegen te gaan wordt begrazingsbeheer momenteel op grote schaal ingezet in de Nederlandse duingebieden. Naast effecten op vegetatie kunnen deze grote grazers door betreding effect hebben op reeds aanwezig open zand of kunnen zij nieuw open zand creëren. Deze plekken met kaal zand en met name de omringende pioniervegetatie zijn belangrijk voor bodembewonende of –nestelende fauna (o.a. loopkevers, bijen, wespen en mieren).

Als reactie op betreding van reeds aanwezig open zand blijken het aantal nesten van grondnestelende fauna gemiddeld een factor drie tot vier maal lager te zijn dan in

vergelijkbare onbegraasde locaties. Het uit betreden nemen van open zandplekken levert gemiddeld significant meer nesten per vierkante meter op. Fauna heeft echter wel tijd nodig (> 3 jaar) om deze plekken opnieuw te koloniseren.

Als grazers echter nieuw zand creëren (bv. terracettes op steile zuidhellingen) kan dit ook nieuwe nestgelegenheid bieden. Gemiddeld worden op terracettes drie of vier maal meer nesten (o.a. bijen, wespen, kevers) aangetroffen dan op begroeide hellingen zonder betreding. De hoogste aantallen grondnestelende fauna worden echter in “natuurlijke” stijlwallen van stuifkuilen aangetroffen.

Naast een versturende werking op grondnestelende fauna, zoals aangetoond bij het reeds aanwezige open zand, kan begrazing ook nieuwe nestgelegenheid creëren (terracettes t.o.v. niet betreden hellingen). Hierbij is niet alleen de intensiteit van de verstoring, maar ook de ruimtelijke en temporele aard ervan en de uitgangspositie van het terrein belangrijk voor de uitkomst.

Verstuiving witte duinen (hoofdstuk 5)

Vergelijkend onderzoek tussen de Nederlandse en Deense duinen heeft uitgewezen dat in intacte meer dynamische witte duinen bladsprietkevers (Scarabaeidae) een zeer belangrijke prooi vormen voor Grauwe klauwieren (*Lanius collurio*: een graadmeter voor een goed functionerend duinsysteem). Waarschijnlijk is door de grote afname aan dynamiek in het Nederlandse duingebied het leefgebied van deze bladsprietkevers achteruit gegaan, en hiermee ook het voedselaanbod voor Grauwe klauwieren.

Deze bladsprietkevers leven van de wortels van Helm (*Ammophila arenaria*). Als Helm overstoven wordt maakt deze telkens nieuwe, verse wortels aan. Zonder overstuiving groeit de Helm minder en krijgt bovendien last van pathogene, waardoor de wortels verhouten. Onder dynamische omstandigheden blijken dan ook tot twee keer meer larven voor te komen dan onder matig dynamische locaties en tot zes keer meer dan onder stabiele locaties.

Door het geschiktere (warmer en droger) microklimaat op de dynamische plekken kunnen de larven zich waarschijnlijk sneller ontwikkelen en hebben daarnaast een kleinere kans op schimmelinfecties. Hiernaast is op de dynamische locaties het verse wortelmateriaal beter verteerbaar en heeft hogere concentraties aan belangrijke mineralen voor ondergrondse herbivoren zoals de larven van de kleine junikever (*Anomala dubia*).

De hierboven beschreven effecten van overstuiving van helmvegetaties kunnen bijdragen aan het hogere aantal adulten kevers dat uitsluipt. Verstuiving kan via een stimulatie van het voedselweb zo mede verklarend zijn voor de hogere aantallen Grauwe klauwieren die voorkomen in de van nature nog stuivende duinen in Denemarken.

Verstuiving duingraslanden (hoofdstuk 6)

In dit onderzoek is gekeken naar het belang van verstuiving vanuit stuifkuilen voor de faunadiversiteit en voedselkwaliteit in duingraslanden.

Variatie in overstuiving van duingraslanden blijkt voor grotere variatie te zorgen in de soortsaamenstelling van diergroepen (kevers, wantsen, vliegen en muggen). De variatie in het terrein levert dus ook een grotere biodiversiteit op en de overstuiving stimuleert de aantallen en diversiteit van karakteristieke duinfauna. De hogere aantallen individuen in de overstoven stukken en de variatie in soorten tussen overstuivingstypes lijkt daarnaast ook soorten als Grauwe klauwieren, Graspiepers (*Anthus pratensis*) en Tapuiten (*Oenanthe oenanthe*) te stimuleren. Hiermee lijkt verstuiving, ook op kleinere schaal in duingraslanden, een onmisbare schakel in het functioneren van een gezond duinsysteem.

Om meer grip te krijgen op de processen verantwoordelijk voor deze effecten van verstuiving zijn ook labexperimenten uitgevoerd. Een mogelijke oorzaak voor de gevonden verschillen zou kunnen voortkomen uit verschillen in plantkwaliteit ontstaan door verstuiving. Ondanks

vergelijkbare trends in effecten van overstuiving op de voedselkwaliteit onder veld- en labcondities, waarbij vaak met enige mate van verstuiving de concentraties aan nutriënten in de plant toenemen, is de doorwerking op herbivoren van deze verschillen nog niet duidelijk. Waar in het veld een aantal groepen lijken te profiteren van de veranderingen die optreden bij lichte of hevige overstuiving, kunnen de veranderingen in nutriëntensamenstelling door overstuiving van grassen de verschillen in prestatie van sprinkhanen onder labcondities nog niet verklaren. In de toekomst zal dus nog meer onderzoek noodzakelijk zijn om de sturende processen van verstuiving, verantwoordelijk voor verschillen in voedselkwaliteit, te achterhalen.

Beschikbaarheid van nutriënten door begrazing (hoofdstuk 7)

Het invoeren van begrazingsbeheer met grote grazers wordt reeds op grote schaal toegepast. Het is zaak de effecten van begrazing op bodem, plant en dier inzichtelijk te maken om op deze wijze het begrazingsbeheer beter te kunnen sturen. Door de relatief kleine omvang van het OLD is het moeilijk algemene uitspraken te doen over de effecten van begrazing op duingraslanden. Hierom is ervoor gekozen de koppeling te maken met het grotere OBN begrazingsonderzoek, in dit onderzoek worden langs de gehele Nederlandse kust (242 monsterlocaties) vergelijkbare metingen verricht.

Uit het OBN onderzoek blijkt, dat de eigenschappen van de bodem zeer sterk bepaald worden door verschillen in duinzone (kalkgehalte en pH) en het organische stofgehalte, en weinig door begrazingsbeheer worden beïnvloed. Begrazing lijkt wel te zorgen voor een hogere bodemdichtheid (vooral bij hoge organische stofgehalten). Ondanks de kleine effecten op de bodem blijkt uit het OLD voor (vaat-)planten toch meer, belangrijke macro-nutriënten beschikbaar te zijn onder begraasde condities. Bij beide analyses betreft het echter een momentopname. Of begrazing leidt tot een hogere of lagere mineralisatiesnelheid in de bodem en daarmee tot een verandering van beschikbaarheid in de loop van de tijd voor planten en dieren moet nog worden uitgezocht.

De bedekking door een strooisellaag neemt significant af door begrazing, terwijl het organische stofgehalte van de minerale bodem toeneemt. Het aandeel ‘vergrassende’ grassen (Duinriet: *Calamagrostis epigejos*, Helm: *Ammophila arenaria*, Zandzegge: *Carex arenaria*) neemt af in het Renodunaal duindistrict, maar niet/ nauwelijks in het Waddendistrict. Binnen het OBN onderzoek verandert de bedekking van kruiden en het aandeel bloeiende planten niet door begrazing, behalve op de Wadden waar ze toenemen bij lage organische stofgehalten.

Binnen het OBN onderzoek lijkt bodemfauna in de eerste plaats beïnvloed te worden door begrazing, en dan pas door duinzone. Taxa die toenemen zijn rupsen en adulte vliegen. Taxa die afnemen zijn duizendpoten, miljoenpoten, pissebedden, regenwormen. Regenwormen, miljoenpoten en pissebedden zijn detritivoren en gaan waarschijnlijk achteruit door een afnemende strooiselbedekking. Deze resultaten zijn vrijwel tegenovergesteld aan de resultaten uit het VK (voorloper OLD) onderzoek en laten dus zien hoe belangrijk een goede steekproef is voor een solide conclusie.

Het blijkt dus dat de algemene regels voortkomend uit het OBN begrazingsonderzoek afhankelijk van de Ausgangssituatie van een terrein kunnen verschillen. Het is dus zaak bij het inzetten van begrazing goed op de hoogte te zijn van de specifieke terreineigenschappen van een gebied en daarvan afhankelijk de juiste conclusies en maatregelen te treffen.

Referentiegebied kalkrijke duinen (hoofdstuk 8)

Bij de interpretatie van de gegevens voortkomend uit het OLD onderzoek is het zeer belangrijk een referentiebeeld te hebben. Zonder een doel en referentie is het moeilijk te weten of de uitkomsten van beheer en herstel succesvol zijn. Voor de fauna van kalkrijke duinen is er tot op heden nog geen goede referentie vastgesteld. Mogelijk zijn de gebieden in

Noord-Frankrijk geschikt. In 2010 is daarom een verkennend veldbezoek gedaan aan twee Noord-Franse gebieden (Cotentin en Picardie). Hierbij zijn op een aantal locaties bodem- en plantmonsters verzameld en geanalyseerd om een eerste indruk te krijgen van de vergelijkbaarheid met ons Nederlandse duinsysteem.

Verschillende Franse terreinen lijken in aanmerking te komen als geschikt referentiegebied. Zowel voor de vergelijking van menselijk gebruik in de duinen als voor begrazing als verstuiving. De Franse terreinen hebben een vergelijkbare of hogere pH en een geringere humusopbouw in de bodem. De voedselkwaliteit van de Franse grassen lijkt hoger te zijn. De stikstofdepositiewaarden lijken in Frankrijk lager dan in Nederland. Dit blijkt overeen te komen met de stikstofwaarden in de planten.

Synthese, beheersaanbevelingen en kennislacunes (hoofdstukken 9, 10 & 11)

In deze laatste drie hoofdstukken wordt de samenhang tussen de verschillende onderzoeksonderwerpen besproken en verduidelijkt met een aantal ondersteunende schema's. Hieruit volgen beheersaanbevelingen voor de optimalisatie van het huidige begrazings- en verstuivingsbeheer in de duinen. De onderwerpen die in dit onderzoek nog niet voldoende beantwoord zijn of als belangrijke kennislacunes uit andere onderzoeken of uit het beheer naar voren komen zijn in het laatste hoofdstuk kort samengevat.

1. Leeswijzer

In dit rapport staan de bevindingen gepresenteerd van drie jaar onderzoek in het kader van het Onderzoeksprogramma Levende Duinen (OLD). In de algemene inleiding wordt het onderzoekskader besproken en de koppeling met het hieraan voorafgaande Voorbereidingsplan Kustduinen (VK). Per onderzoeksthema (microklimaat; betreding; verstuiving in witte duinen en duingraslanden; beschikbaarheid van nutriënten door begrazing en het referentieonderzoek in Frankrijk) wordt een korte inleiding gegeven waarin het ontstaan van het thema, de hypothesen en doelstelling besproken wordt. Vervolgens worden de geanalyseerde resultaten gepresenteerd en besproken in een discussie en conclusie. De samenhang tussen de verschillende hoofdstukken wordt in een synthese besproken waaruit vervolgens concrete aanbevelingen voor het beheer volgen. Tot slot worden de onderzoeksonderwerpen benoemd die met het huidige onderzoek nog niet of niet voldoende beantwoord zijn en in toekomstig onderzoek nog extra aandacht behoeven.

2. Inleiding

2.1 Onderzoekskader

De Nederlandse duingebieden zijn aangewezen als Natura 2000 gebied. Natura 2000 is het netwerk van natuurgebieden in de Europese Unie, dat beschermd wordt op grond van de Vogelrichtlijn (1979) en de Habitatrichtlijn (1992). Deze twee richtlijnen zijn van Europese aard en zijn in Nederland vertaald in de Flora- en Faunawet en in de Natuurbeschermingswet. De in het Onderzoeksprogramma Levende Duinen (OLD) onderzochte helmduinen behoren tot het Natura 2000 habitattype “Witte duinen” (H 2120), de onderzochte duingraslanden behoren tot het prioritair habitattype “Grijze duinen” (H 2130*) en zijn in de “Doing typologie” (Doing, 1988) ingedeeld bij het Zeedorpenlandschap en het Dauwbraamlandschap. Dit laatste habitattype is als prioritair bestempeld omdat de Europese Unie een bijzondere verantwoordelijkheid heeft voor de bescherming ervan doordat een belangrijk deel van de natuurlijke verspreiding binnen de Europese Unie ligt. Hierdoor is de instandhoudingsdoelstelling gericht op uitbreiding van het oppervlakte en het verbeteren van de kwaliteit ervan. Van nature worden veel van deze graslanden in stand gehouden door lichte overstuiving en begrazing door konijnen en in het geval van het Zeedorpenlandschap ook door andere grazers en menselijk gebruik. Nederland heeft binnen Europa een grote verantwoordelijkheid om de “Grijze duinen” in stand te houden, gezien de grote oppervlakte ervan (10.000-100.000ha) en de unieke planten- en diergemeenschappen die hier voor kunnen komen. De instandhoudingsdoelstelling van Natura 2000 habitats is dan ook een belangrijke factor bij het plannen van natuurbeheer in de droge kustduinen. Monitoring en onderzoek geven daarbij belangrijke handvatten om het natuurbeheer te sturen en de effectiviteit van beheermaatregelen te verhogen.

In 2004 is door Stichting Bargerveen een raamwerk opgesteld om onderzoek naar mogelijkheden voor herstel van het ecosysteem kustduinen te structureren. Dit raamwerk is opgedeeld in het Voorbereidingsplan Kustduinen (VK) en het Onderzoeksprogramma Levende Duinen (OLD). Het VK is in 2006 gestart om de effecten van het huidige beheer op diergemeenschappen te evalueren. Met het OLD-deel wordt het verdiepingsonderzoek bedoeld dat na de afronding van het VK is voortgezet. Het doel van dit OLD-deel is om de effecten van zowel de aantastingen als de huidige beheermaatregelen op duinfauna beter te begrijpen. Verder kunnen hiermee beheermaatregelen geoptimaliseerd en nieuwe maatregelen ontwikkeld worden.

1. Bron (03-05-2010): <http://www.synbiosys.alterra.nl/natura2000/gebiedendatabase.aspx?subj=habytypen&groep=2&id=2130#Ken>

2.2 Koppeling VK en OLD

Het OLD is een verdiepingsslag op de resultaten voortkomend uit het VK-deel. Hieronder zijn daarom de belangrijkste resultaten uit het VK overgenomen (Wouters *et al.*, 2009). Uit deze resultaten komen ook meteen enkele kennislacunes naar voren die in het OLD nader onderzocht zijn.

Het blijkt dat de gestelde doelen van beheerders op het gebied van vegetatie en dynamiek van zand zeker niet altijd gehaald worden. Ook op het gebied van fauna zijn er wisselende resultaten van het gevoerde beheer, maar door het ontbreken van een goed referentiebeeld zijn er geen concrete doelsoorten of -gemeenschappen. Het is dus niet mogelijk om de effecten van het beheer hieraan te toetsen. Duidelijk is echter wel dat het huidige gangbare beheer nog steeds noodzakelijk blijft! Bij afwezigheid van beheer zullen namelijk grote stukken duin verder vergrassen en verstruwelen onder invloed van autonome successie, atmosferische

stikstofdepositie etc. Dit zal gepaard gaan met een verdere afname van karakteristieke planten diersoorten. Om het rendement van maatregelen te verhogen en mogelijke negatieve neveneffecten uit te kunnen sluiten zal het huidige beheer geoptimaliseerd moeten worden. Tussen de geëvalueerde gebieden in het VK is het succes van maatregelen wisselend. Dit hangt nauw samen met de grote verschillen (zelfs binnen een “Doing landschapstype”) tussen de gebieden en de terreinen. Op kleine afstand worden grote verschillen gevonden in bodemchemie en geomorfologie. Deze abiotische eigenschappen, de geschiedenis van een gebied en het gebruikte begrazingsregime (soort grazer, periode per jaar en dichtheid), spelen mee in het verklaren van het succes van de maatregel.

Het terugdringen van verruigende grassen en strooisel en het daarmee ruimte bieden voor kruidenrijkere duingraslanden wordt gezien als een positief effect van begrazing in veel van de onderzochte gebieden. Soms wordt ook een stimulatie van de aantallen en soortenrijkdom binnen het voedselweb waargenomen, verwacht wordt dat dit een gevolg is van een groter beschikbaarheid van nutriënten in het systeem. Deze grotere **beschikbaarheid van nutriënten** in de bodem zou namelijk positief doorwerken op de voedselkwaliteit van planten en vervolgens op de herbivore fauna. De ontstane duingraslanden lijken echter vaak in een vernieuwde “steady state” terecht te komen. Hierbij stoelen grassen op glooiende en vlakke delen laag bij de grond uit en vormen hierdoor een dichte mat, dit in tegenstelling tot een ijl open duingrasland waarvan veel karakteristieke soorten afhankelijk lijken te zijn. Deze verdichting van de vegetatiemat heeft grote gevolgen voor het heersende **microklimaat** ondergronds, waarvan veel insecten afhankelijk zijn voor hun ontwikkeling. Hiermee samenhangend komen we dan ook meteen uit bij de problemen die door begrazing niet lijken te worden opgelost of zelfs ontstaan. Maar zelden lijkt begrazing met grote grazers dynamiek van zand te kunnen stimuleren op een wijze dat deze effectief is in het herstellen van de processen behorende bij dit systeem. **Overstuiven** met vers zand van de duingraslanden is een belangrijk onderdeel van dit proces. Bij herstel van verstuiving zouden weer ijle en open duingraslanden kunnen ontstaan. Dit is niet alleen belangrijk voor het heersende microklimaat, zoals hierboven besproken, maar heeft waarschijnlijk ook grote gevolgen voor de voedselkwaliteit van de vegetatie en de mogelijkheid tot voortplanting voor grondnestelende fauna. Verder kan **betreding** door grote grazers, naast een geringe invloed op het ontstaan van open zand en verstuiving, ook een directe verstoring hebben op reeds aanwezig open zand. Door vertrapping en verstoring kunnen grote grazers negatieve invloed uitoefenen op grondnestelende fauna. Ook het terugdringen van verstruweling lijkt niet te lukken met de huidige begrazingsvormen, een verdere toename kan soms echter wel voorkomen worden.

Bovenstaande uitkomsten uit het VK resulteren in vier onderzoeksthema's voor het OLD die nader onderzocht zijn om op die wijze beter grip te krijgen op de achterliggende processen en oorzaken. Kennisontwikkeling omtrent onderstaande thema's helpt beheer in de toekomst beter te sturen en op die wijze een beter rendement uit de maatregel te halen. De volgende vragen worden in het OLD behandeld:

- **Microklimaat:** Welk effect heeft een nieuwe, door begrazing gecreëerde dichtere vegetatiemat op de aanwezige ondergrondse temperatuur en hoe staat dit in verhouding tot een van oorsprong ijle vegetatie? Wat is de betekenis hiervan voor de ontwikkelingssnelheid van ondergronds afgezette eipakketten van sprinkhanen (Bruine sprinkhaan, Knopsrietje en Blauwvleugelsprinkhaan) die van deze habitats afhankelijk zijn voor hun voortplanting?
- **Overstuiving met zand:** Hoe verandert onder labcondities de chemische samenstelling van, voor duingraslanden typische, fijnbladige grassen (*Festuca rubra*) onder verschillende mate van overstuiving met duinzand en wat is het effect van verschillende mate van stikstofdepositie hierop? Zien we een verschil in conditie van herbivoren (*Myrmeleotettix maculatus*) die van de verschillende behandelingen

grassen eten? Kunnen we onder veldcondities vaststellen dat de herbivore diergroepen een vergelijkbare reactie laten zien op verschillen in de mate van overstuiving van planten?

- *Betreding*: Wat is het effect op grondnestelende fauna (bijen, wespen, kevers en mieren) van betreding door grote grazers op reeds aanwezig open zand en op nieuw gecreëerde zandplekken? Levert het meer of minder nestgelegenheid op in verhouding met van nature aanwezige open zandplekken? Treedt bij open zand dat uit betreding wordt genomen herkolonisatie op van soorten die niet in betreden zand voor kunnen komen door een te grote mate van verstoring?
- *Beschikbaarheid van nutriënten*. Hoe beïnvloedt begrazing de chemische samenstelling van bodem en plant in de onderzochte terreinen? Kunnen de gevonden effecten veralgemeniseerd worden of zijn deze locatie specifiek?

3. Microklimaat van duingraslanden op vlakke en glooiende terreindelen

3.1 Introductie

Een geschikt microklimaat is zeer belangrijk voor de activiteit en ontwikkeling van insecten (Stoutjesdijk & Barkman, 1987). Omdat insecten koudbloedig zijn, is een voldoende grote warmtesom essentieel voor het behalen van de juiste lichaamstemperatuur. Hiernaast is een heterogeen fijnkorrelig landschap noodzakelijk. Door de aanwezigheid van temperatuurverschillen op korte afstand van elkaar zijn insecten in staat de juiste lichaamstemperatuur te bereiken voor hun verschillende activiteiten (bv. fourageren, vluchten en voortplanten). De juiste vochtcondities zijn hiernaast ook zeer belangrijk voor het leven van insecten, hun lichaam bestaat voor 50 tot 90% uit water (Stoutjesdijk & Barkman, 1987). Een te lage waterconcentratie in het lichaam kan zorgen voor uitdroging en kan dodelijk zijn. In tegenstelling tot de adulte individuen (die actief kunnen variëren in microklimaatomstandigheden), zijn eieren van insecten afhankelijk van vocht- en temperaturomstandigheden op de plek waar zij zijn afgezet. Hierbij zijn voornamelijk de juiste condities in het voorjaar van belang voor de ontwikkeling van de eieren. Een te lage temperatuursom in deze periode kan leiden tot een vertraging of beëindiging van de ontwikkeling, bij een te hoge temperatuursom kunnen vergelijkbare effecten optreden. Te lage vochtcondities kunnen zorgen voor uitdroging en te vochtige condities voor een verhoogde kans op schimmelinfecties. Veranderingen van vegetatie of structuur kunnen grote effecten hebben op microklimaat en kunnen dus ook direct een zeer groot effect hebben op de voortplanting en ontwikkeling van insecten. Zo toonde Wallis de vries et al. (2006) aan dat vliandereitjes die afhankelijk zijn van een warm en droog microklimaat in het voorjaar negatief beïnvloed worden door een verhoogde atmosferische stikstofdepositie. De verhoogde biomassaproductie in het voorjaar, als gevolg van de verhoogde stikstofinput, zorgt voor een koeler microklimaat.

Insecten hebben zich op allerlei manieren aangepast aan verschillen in microklimaat. Veel insecten die als kenmerkend voor duinen worden omschreven, hebben een voorkeur voor of zijn resistent tegen een droog en warm microklimaat. Juist om deze reden kan vergrassing in de duinen een zeer groot probleem opleveren voor deze karakteristieke fauna. Vergrassing resulteert namelijk in een koeler en vochtiger microklimaat en maakt het landschap homogener. Om de effecten van vergrassing tegen te gaan wordt op grote schaal begrazing met grote grazers ingezet. Door de afname van staande biomassa zou het microklimaat op de bodem weer warmer en droger moeten worden, wat gunstig is voor deze soorten.

Een groep die sterk kan reageren op verschillen in microklimaat zijn de sprinkhanen (Kleukers et al. 1997). Uit het hieraan voorafgaande VK onderzoek bleek dat de vorm van begrazing invloed kan uitoefenen op de soortensamenstelling van de adulte sprinkhanen (Wouters et al. 2009). Uit dat onderzoek blijkt dat alleen in de onderzochte gebieden in Meijndel begrazing leidt tot een toename van bodembewonende sprinkhanen die een hoge warmtesom (extreem microklimaat) nodig hebben, bijv. de Blauwvleugelsprinkhaan (*Oedipoda caerulea*) en het Knosprietje (*Myrmeleotettix maculatus*). De jaarrondbegrazing in dit gebied (Helmduinen) is verantwoordelijk voor een significant lagere vegetatiehoogte in de duingraslanden, wat vervolgens positief werkt op de aantallen adulte thermofiele soorten.

In de adulte levensfase lijkt begrazing dus een positief effect te kunnen hebben op warmte- en droogteminnende sprinkhanen door het ontstaan van een warmer bovengronds microklimaat. Een neveneffect van begrazing is echter dat naast het verlagen van de vegetatiehoogte ook een dichtere, slechter doordringbare vegetatiemat (uitstoelen van grassen) kan ontstaan op vlakke en glooiende terreindelen. De vraag is of het ondergrondse microklimaat (waar de eieren van afhankelijk zijn) dus ook wordt hersteld door begrazing. Op het moment dat grote delen van

het terrein uitstoelen en de heterogeniteit en fijnkorreligheid dus verdwijnt (“golfbanisering”), kan dit grote gevolgen hebben voor de voortplanting van sprinkhanen. Het ondergrondse microklimaat wordt dan namelijk koeler en vochtiger. Hiernaast neemt dan over het algemeen de afwisselingen microklimaat in het terrein af wat ongunstig is voor de soortendiversiteit. Deze nieuwe situatie, die door begrazing kan ontstaan, is waarschijnlijk beter dan de vergraste situatie maar de vraag is of ook de oorspronkelijke condities van ijle duingraslanden (ontstaan door verstuiving) hiermee hersteld worden.

Zoals van Wingerden et al (1991) al aangetoond hebben, is het ondergrondse microklimaat zeer belangrijk voor de ontwikkelingsnelheid van de eieren van sprinkhanen. Omdat veel karakteristieke sprinkhaansoorten gebruik maken van de bodem voor het afzetten van hun eieren zijn dit geschikte modelsoorten om de effecten van vergrassing, begrazing en verstuiving te testen. Karakteristieke soorten zouden bij een koeler en vochtiger microklimaat problemen kunnen krijgen met het voltooien van hun levenscyclus omdat de ei-ontwikkeling vele malen langer duurt. Het huidige onderzoek gaat in op de effecten van verschillende beheersmaatregelen op het ondergrondse microklimaat. Hierbij zal met behulp van dataloggers op 3 cm onder de grond (daar waar sprinkhanen hun eieren afzetten) gekeken worden naar de microklimaatcondities onder verschillende vegetatietypen die ontstaan door verschillen in beheer of ligging. De resultaten zullen gekoppeld worden aan de ontwikkelingssnelheid van sprinkhanen en zo doorvertaald worden naar aanbevelingen voor de planning en evaluatie van herverstuivings- en begrazingsmaatregelen in de toekomst. Op deze wijze wordt meer grip verkregen op de werking van maatregelen en de doorwerkingen daarvan op de ontwikkeling van karakteristieke sprinkhanen uit het duinlandschap.

Hypothesen:

- Begrazing leidt tot een zeer lage, maar wel dichte grasvegetatie. De bodem in deze vegetaties warmt wel meer op dan onder verruigde begroeiingen, maar niet zo goed als in lage, ijle grasvegetaties die bijvoorbeeld door overstuiving ontstaan.
- Onder ijlere vegetaties met hogere ondergrondse temperaturen hebben de eieren van sprinkhanen (Bruine sprinkhaan (*Chorthippus brunneus*), Knopsprietje en Blauwvleugelsprinkhaan) een hogere ontwikkelingssnelheid en dus een betere kans zich in het juiste seizoen tot adult te ontwikkelen.
- Thermofiele sprinkhaansoorten ondervinden meer vertraging in hun ontwikkeling dan minder thermofiele soorten door een verlaging van de ondergrondse temperatuur. Hierdoor ondervinden Blauwvleugelsprinkhanen een grotere vertraging in hun ontwikkeling dan Knopsprietjes. Bruine sprinkhanen worden het minst vertraagd.

Doelstelling:

- Bepalen van de effecten van ondergrondse temperatuurverschillen, ontstaan door verschil in beheer of ligging, op het uitkomen van eitjes van Bruine sprinkhanen, Knopsprietjes en Blauwvleugelsprinkhanen.
- Beheeradvies leveren voor typische duingraslandsoorten (sprinkhanen en andere ongewervelden met vergelijkbare levenscyclus) met focus op de ontwikkelingsfase van de eieren of larven in de bodem.

3.2 Methodiek

Onderzoekslocatie en monsternamen

Vanaf 2009 zijn in de Helmduin (Meijendel) in ijle, begraasde (uitgestoelde) en vergraste duingraslanden (Foto 3.1; bijlage 3.1) ondergrondse dataloggers geplaatst. Deze loggers zijn op 3 cm diepte geplaatst, overeenkomend met de diepte waarop sprinkhaneneieren afgezet

worden. De monsterpunten zijn geselecteerd op basis van vergelijkbare inclinatie en expositie, ook zijn grove structuuroptnamen gemaakt (Tabel 3.1). Vanaf 2010 zijn ook dataloggers op maaiveld geplaatst (Foto 3.2, rechts onder) om de bovengrondse temperatuur te meten.



Foto 3.1: Ijle duingraslandvegetatie (links). Begraasde (uitgestoelde) duingraslandvegetatie (midden). Vergrast duingrasland (rechts).

Tabel 3.1: Grove structuuroptname van de vegetatie op gebruikte onderzoekslocaties.

	Vergrast	Uitgestoeld	Ijl
hoogte (cm)	10 tot 40	1 tot 3	0 tot 2
gras (%)	80 tot 100	20 tot 40	20 tot 25
mos (%)	20 tot 40	70 tot 90	5 tot 15
kruid (%)	0 tot 5	5 tot 10	5 tot 10
zand (%)	0 tot 5	0 tot 5	50 tot 70

De ondergrondse dataloggers (Foto 3.2, links onder) meten de temperatuur op drie cm diepte met behulp van sensoren in de grond (Foto, 3.2 links boven). De dataloggers zijn tussentijds in het veld uit te lezen met behulp van een computer (Foto 3.2, rechts boven). In tabel 3.2 is te zien hoeveel dataloggers op welke locatie en vanaf wanneer hebben gestaan.



Foto 3.2: Plaatsing vocht- en temperatuursensoren in de bodem (links boven). Uitlezen dataloggers m.b.v. de computer (rechts boven). Datalogger met bescherming voor het meten van bodemtemperatuur en -vocht in een ijl duingrasland (links onder). Datalogger voor het meten van het bovengrondse microklimaat (rechts onder).

Tabel 3.2: Schematisch overzicht van de aantallen, locaties en periode vanaf wanneer de onder- en bovengrondse datalogger hebben gemeten

		vergrast	uitgestoeld	ijl
bovengronds	jul-10	1	1	1
	mrt-11	2	2	2
ondergronds	nov-09	1	1	1
	mrt-11	3	3	3

Sprinkhanen kweek

Tijdens het veldseizoen 2010 is een kweekproef van sprinkhanen gestart om eipakketten te verzamelen. Hiervoor werden in het veld verschillende soorten sprinkhanen verzameld (Foto 3.3): Knosprietje (*Myrmeleotettix maculatus*), Blauwvleugelsprinkhaan (*Oedipoda caerulescens*) en Bruine sprinkhaan (*Chorthippus brunneus*).



Foto 3.3: Knosprietje (links), Blauwvleugelsprinkhaan (midden) en Bruine sprinkhaan (rechts)

Onder gecontroleerde omstandigheden werden deze soorten in het lab in gaaskooien geplaatst (Foto 3.4, links). Twee maal per week werd vers voedsel en water aangeboden. Als mogelijk eilegsubstraat werd duinzand aangeboden in kleine bakjes (Foto 3.4, rechts). Alle gelegde eipakketten (Foto 3.4, midden) zijn verzameld en na een periode van 4 weken na het laatst gelegde eipakket overgebracht naar klimaatkasten (5°C) om een winterperiode na te bootsen.

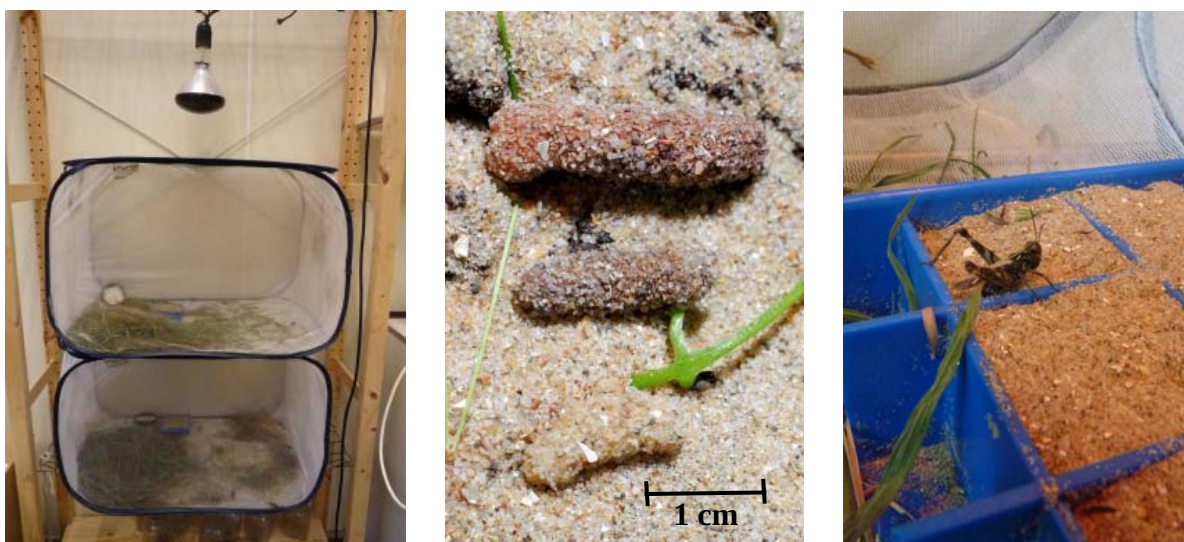


Foto 3.4: Gaaskooien waarin sprinkhanen gekweekt werden (links). Eipakketten in volgorde van boven naar beneden van Blauwvleugelsprinkhaan, Bruine sprinkhaan en Knosprietje (midden). Het afzetten van eitjes door Knosprietje op het aangeboden eilegsubstraat (rechts).

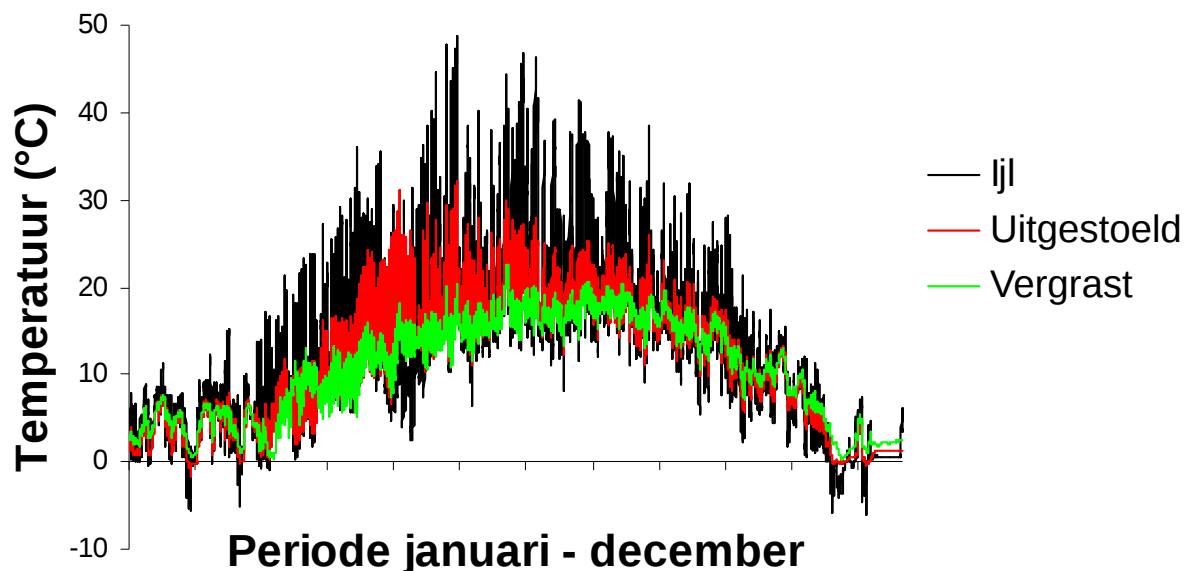
Alle eipakketten verzameld uit het kweekexperiment 2010 zijn na een koude periode van vijf maanden op 5°C vanaf begin mei 2011 ingezet in een temperatuur experiment. Hierbij werd zoveel als mogelijk de behandeling van de pakketten gelijk gehouden aan de methode

beschreven in van Wingerden et al (1991). Van elke soort werden 120 eipakketten evenredig verdeeld over vier temperatuurbehandelingen (16, 18, 20 en 22°C) in klimaatkasten. De pakketten werden per stuk in een pertrischaaftje (doorsnede 5 cm) op vochtig zand geplaatst. Om uitdroging te voorkomen werden 3 kleine afgesloten pertrischaaftjes in een grotere afgesloten pertrischaal (doorsnede 14 cm) gevuld met vochtig zand geplaatst. Gedurende het hele experiment werden de pertrischalen van voldoende vocht voorzien. Per dag is gecontroleerd of er sprinkhaanmiffen uit de pakketten waren geslopen. Hiervan werd de datum en soort genoteerd en het individu uit de pertrischaal verwijderd.

De ontwikkelingstijd van de sprinkhanen vanaf plaatsing in het temperatuurexperiment (dus na de winterbehandeling/diapauze) werd gebruikt om Post Diapause Development (tijd tussen diapauze en uitsluipen) te berekenen. Door de verkregen datapunten van ontwikkelingstijd bij de gemeten temperaturen te verbinden met een trendlijn werd een ontwikkelingscurve met bijbehorende vergelijking verkregen. Deze vergelijking werd in een later stadium gebruikt om het belang van de verschillen in temperatuur (zoals gemeten tussen behandelingen in het veld) te relateren aan ontwikkelingssnelheid van de sprinkhanen. Dit werd gedaan volgens de methode beschreven in van Wingerden et al. (1992).

3.3 Resultaten

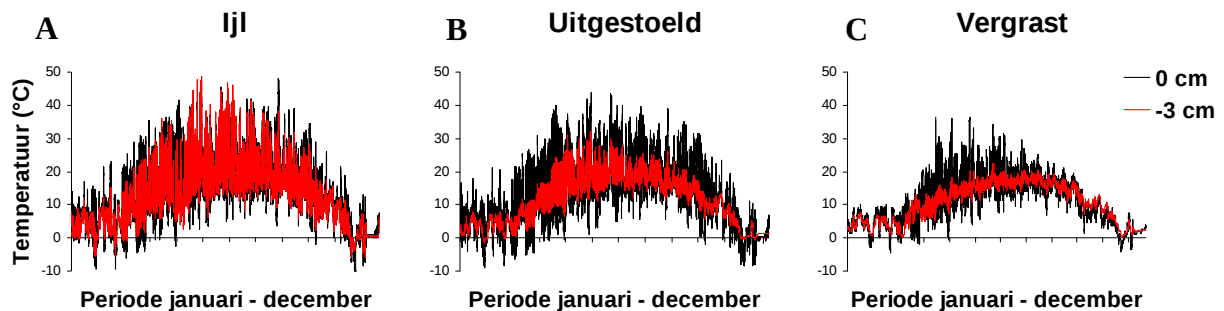
Figuur 3.1 laat het ondergrondse temperatuurverloop van de verschillende typen duingrasland op 3 cm diepte door het jaar heen zien. Duidelijk is te zien dat in een ijle vegetatie (zwarte lijn) de grootste schommelingen in temperatuur optreden. Vooral de temperatuurpieken zijn ten opzichte van een vergraste situatie (groene lijn) vele malen hoger. Een begraasd uitgestoeld grasland (rode lijn) laat een temperatuurschommeling zien die tussen ijl en vergrast in ligt. Vooral in het voorjaar en vroege zomer zijn de verschillen het grootst tussen de vegetaties. Verder is opvallend dat vrijwel alleen in de ijle vegetaties in de winterperiode temperaturen optreden die onder het nulpunt liggen.



Figuur 3.1: Temperatuurverloop in de verschillende typen duingraslanden (ijl, uitgestoeld en vergrast) op 3 cm diepte over de periode van januari tot december.

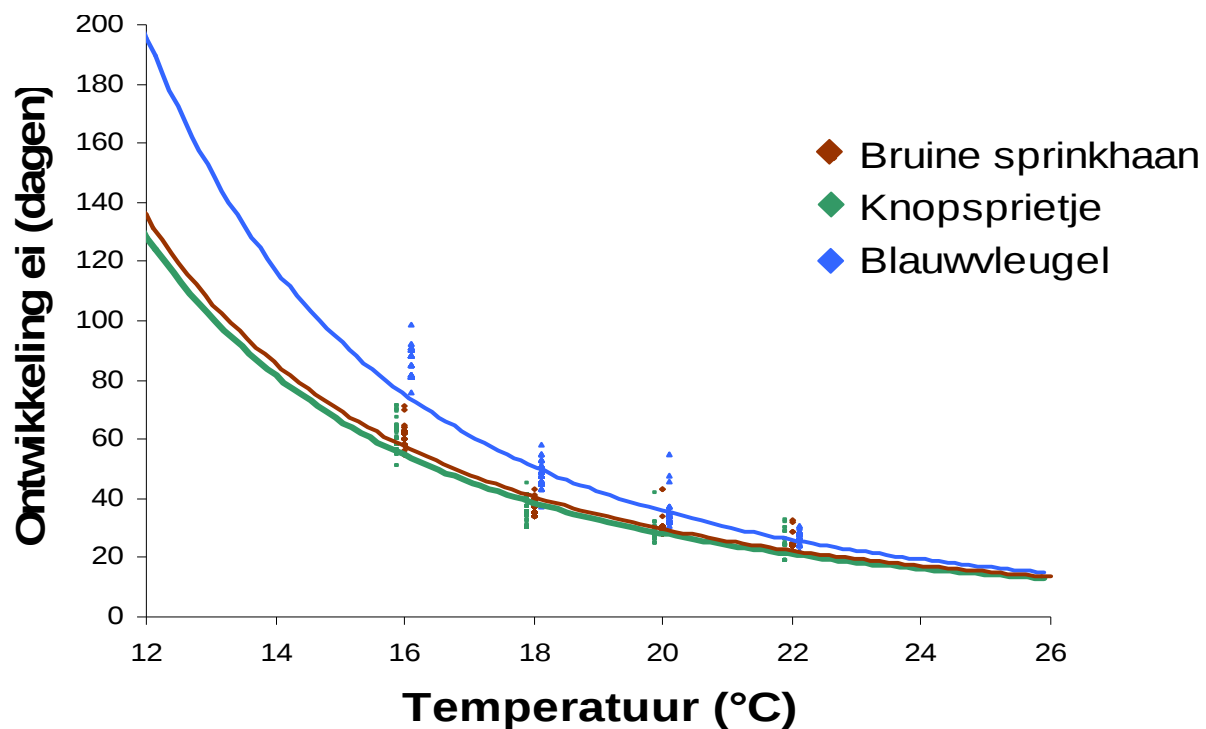
In Figuur 3.2 zijn de verschillen tussen de bovengrondse (0 cm) en ondergrondse (-3 cm) temperaturen te zien bij de verschillende behandelingen. Opvallend is het grote verschil over het gehele jaar in temperatuur tussen bovengronds (0 cm) en ondergronds (-3 cm) in de uitgestoelde situatie (Fig. 3.2 B). In de vergraste situatie (Fig. 3.2 C) is dit verschil in de

warmste periode, het late voorjaar en zomer, vergelijkbaar met uitgestoeld maar neemt vrijwel direct in de herfst met meer dan de helft af en verdwijnt in de winterperiode bijna. Bij het ijle duingrasland (Fig. 3.2 A) is er bijna geen verschil tussen de gemeten boven- en ondergrondse temperatuur. Verder is nog opvallend dat de temperaturen en de amplitudes in en onder ijle vegetaties een half tot één keer hoger zijn dan bij uitgestoeld en vergraste situaties. In de winter treedt bovendien alleen onder ijle vegetaties sterke ondergrondse vorst op.



Figuur 3.2: Vergelijking van het temperatuurverloop in de verschillende typen duingraslanden op 0 en -3 cm diepte gedurende het jaar. Figuur 3.2 A geeft het verschil in onder- en bovengrondse temperatuur in een ijle duingrasland, 3.2 B in een begraasd (uitgestoeld) duingrasland en 3.2 C in een vergrast duingrasland.

Figuur 3.3 laat de datapunten zien die horen bij het aantal dagen dat de eitjes van de Bruine sprinkhaan, Knosprietje en Blauwvleugelsprinkhaan over hun ontwikkeling hebben gedaan bij een constante temperatuur van 16, 18, 20 en 22 °C. Door deze punten is een trendlijn geplott die de relatie tussen het aantal dagen ontwikkeling na diapauze bij verschillende temperaturen beschrijft. De trendlijnen worden door de volgende formules beschreven: Bruine sprinkhaan ($y = 215280x^{-2.9674}$; $R^2 = 0.9489$), Knosprietje ($y = 224900x^{-2.9948}$; $R^2 = 0.9195$), Blauwvleugelsprinkhaan ($y = 735204x^{-3.3214}$; $R^2 = 0.9455$). Voor Knosprietjes en Bruine sprinkhanen is de ontwikkelingscurve nagenoeg gelijk. Bij vergelijkbare temperaturen doen de eitjes van Blauwvleugelsprinkhanen langer over hun ontwikkeling dan de eitjes van Knosprietjes en Bruine sprinkhanen.



Figuur 3.3: Het aantal dagen van ei-ontwikkeling na diapauze voor Bruine sprinkhaan, Knopsprietje en Blauwvleugelsprinkhaan bij verschillende temperaturen zoals gemeten in het temperatuurexperiment wordt weergegeven met de datapunten. De hieruit berekende ontwikkelingscurve wordt beschreven door middel van de trendlijnen voor de verschillende soorten.

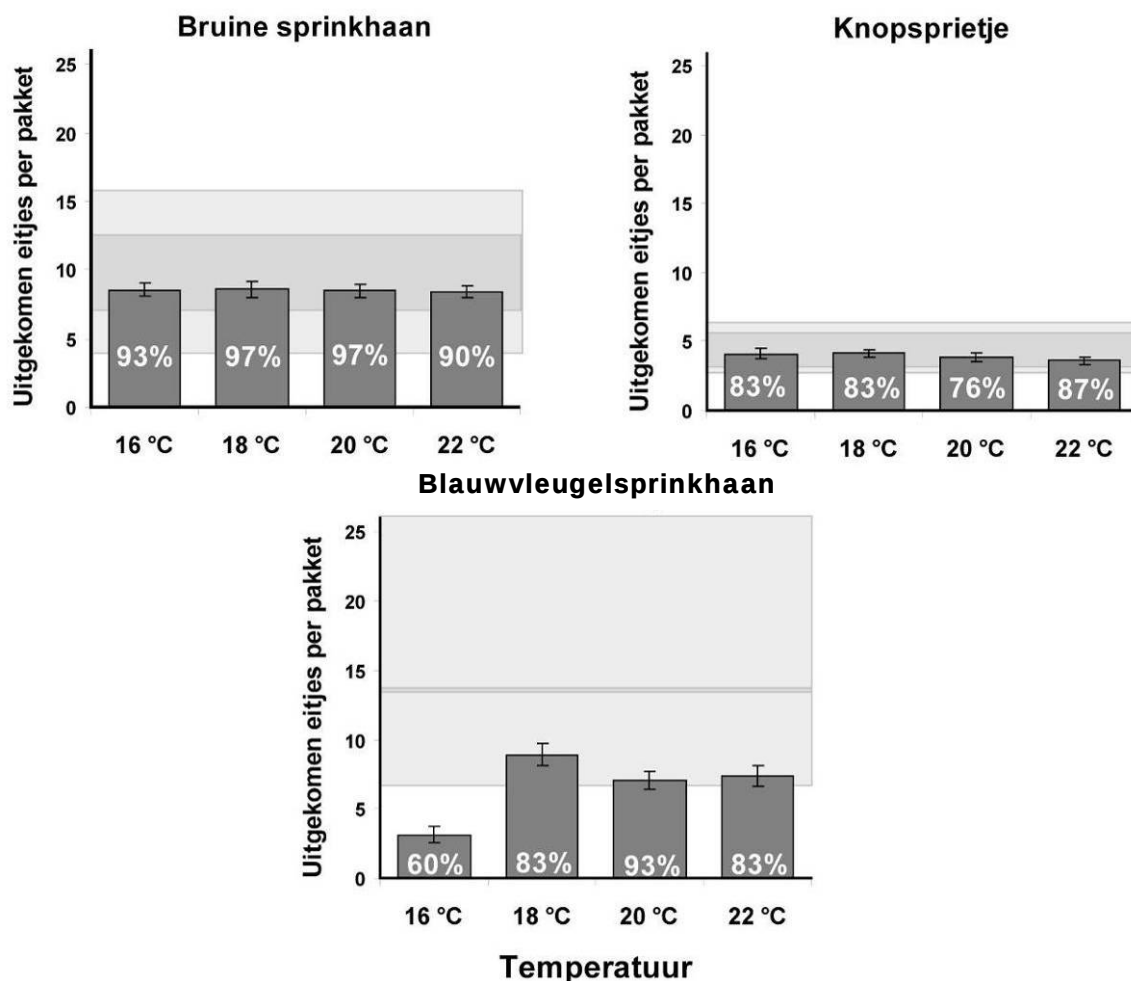
Tabel 3.3 laat de, met behulp van bovenstaande formules, berekende uitkomstdata van Bruine sprinkhanen, Knopsprietjes en Blauwvleugelsprinkhanen zien onder de gemeten veldcondities zoals hierboven beschreven. Hierbij zijn verschillende temperaturen (10, 12.5, 15 en bij Blauwvleugelsprinkhaan ook 17 °C) als minimale ontwikkelingstemperatuur genomen. Dit betekent dat alle temperaturen onder de minimale ontwikkelingstemperatuur niet meegenomen zijn voor de berekening van de uitkomstdatum. De variatie aan minimale ontwikkelingstemperaturen is genomen omdat de werkelijke temperaturen niet uit de literatuur bekend zijn. Bij elk van deze minimale ontwikkelingstemperaturen blijkt de uitkomstdatum in een ijl grasland grofweg een maand eerder te liggen dan in een uitgestoeld duingrasland en zelfs anderhalve maand eerder dan in een vergraste situatie. Tussen soorten kan een verschil in minimale ontwikkelingstemperatuur tot 3 weken verschil opleveren (vergelijking Bruine sprinkhaan 10 °C met Blauwvleugelsprinkhaan 17 °C in de vergraste situatie).

Tabel 3.3: Berekende uitkomstdatum van Bruine sprinkhaan, Knopsprietje en Blauwvleugelsprinkhaan in de verschillende typen duingrasland en bij verschillende minimale ontwikkelingstemperaturen.

	Bruine sprinkhaan			Knopsprietje			Blauwvleugelsprinkhaan			
	10 °C	12.5 °C	15 °C	10 °C	12.5 °C	15 °C	10 °C	12.5 °C	15 °C	17 °C
Ijl	19-mei	21-mei	23-mei	19-mei	20-mei	22-mei	21-mei	23-mei	24-mei	24-mei
Uitgestoeld	13-jun	17-jun	23-jun	12-jun	16-jun	22-jun	21-jun	24-jun	27-jun	30-jun
Vergrast	30-jun	3-jul	9-jul	29-jun	2-jul	8-jul	6-jul	9-jul	13-jul	21-jul

Uitkomstpercentage

In figuur 3.4 is het gemiddeld aantal eitjes weergegeven dat per pakket bij de verschillende temperaturen in de klimaatkasten zijn uitgekomen. Hiernaast is door middel van een donkergrijze arcering van de achtergrond het gemiddeld aantal eitjes per pakket en met de lichtgrijze arcering het maximale en minimale bereik zoals beschreven in de literatuur weergegeven (Ingrisch & Köler, 1998). Bij Blauwvleugelsprinkhanen was slechts één literatuurverwijzing beschikbaar, hierdoor beslaat de donkerdere arcering slechts een waarde. In de staafdiagrammen is per temperatuur aangegeven hoeveel procent van de ingezette eipakketten ook daadwerkelijk één of meer eitjes heeft opgeleverd. Het aantal uitgekomen eitjes van Bruine sprinkhaan en Knopsprietje ligt bij elke temperatuur binnen het donkerdere gearceerde gebied en vertoont tussen temperaturen weinig variatie in uitkomstpercentage. Het gemiddeld aantal uitgekomen eitjes bij Blauwvleugelsprinkhanen ligt bij elke temperatuur ver onder het gemiddelde bekend uit de literatuur. Verder is opvallend dat bij de laagste temperatuur (16 °C) nog maar drie eitjes per pakket uitkomen en dat deze hoeveelheid minder is dan het minimum bekend uit literatuur. Het uitkomstpercentage daalt ook zeer sterk bij deze temperatuur (van 80-90% naar 60%). Geen enkele nimf van de Blauwvleugelsprinkhanen was dan ook levensvatbaar bij 16 °C. Waarschijnlijk is de minimale ontwikkelingstemperatuur van Blauwvleugelsprinkhanen dus hoger dan 16 °C (vandaar ook de berekening voor 17 °C alleen voor Blauwvleugelsprinkhanen in tabel 3.3).



Figuur 3.4: Gemiddeld aantal uitgekomen eitjes per pakket van Bruine sprinkhanen, Knopsprietjes en Blauwvleugelsprinkhanen. De grijze arcering geeft het minimale en maximale aantal eitjes dat volgens de literatuur (Ingrisch & Köler, 1998) uit een eipakket komt. Het donkerdere gearceerde grijze gebied geeft de gemiddelde waarde volgens diezelfde literatuur. De percentages in de balken geven aan hoeveel van de totaal ingezette pakketten eitjes hebben opgeleverd.

3.4 Discussie/conclusie

Vegetatie en bodemtemperatuur

Zoals van Wingerden et al. (1991, 1992) al aangetoond hebben, is de ondergrondse temperatuur de cruciale factor voor het bepalen van de ontwikkelingssnelheid van sprinkhaaneieren. Verschillen in vegetatie boven de eiafzetplaats kunnen van grote invloed zijn op de uitkomstdatum van de eieren (van Wingerden et al., 1992). In de verschillende typen duingrasland (ijl, uitgestoeld en vergrast) zijn bij de ondergrondse temperatuurmetingen grote verschillen aangetroffen. Vergrassing, als gevolg van atmosferische stikstofdepositie, zorgt voor een grote afname in temperatuur ten opzichte van de ijle situatie in de periode (voorjaar) die van belang is voor de ontwikkeling van sprinkhaaneieren (Fig. 3.1). Dit komt overeen met de effecten van verhoogde biomassa-productie in het voorjaar op de ontwikkeling van vlindereitjes, zoals beschreven door Wallis de Vries et al. (2006). Als door begrazing uit een vergrast grasland een uitgestoeld grasland ontstaat, levert dit een grote temperatuurwinst op. Het is echter nog steeds niet vergelijkbaar (lagere temperatuur) met een ijle vegetatie (Fig. 3.1). Ook de fluctuaties kunnen van groot belang zijn voor de groei en ontwikkeling van sprinkhanen. Het is aangetoond dat van bepaalde sprinkhanen tot wel 39 % meer eieren uitkomen onder fluctuerende dan onder constante temperaturen (Stoutjesdijk & Barkman, 1987). Maar ook de fluctuaties richting negatieve temperaturen kunnen zeer belangrijk zijn voor de eieren. Bij sporadisch optredende vorstperiodes hebben schimmels, die de levensvatbaarheid van de eieren aantasten, minder kansen doordat zij geremd worden in hun groei. Bovengronds lijkt begrazing te resulteren in vergelijkbare temperaturen op de bodem als in ijle situaties, hiervan dringt echter relatief weinig door tot 3 cm diepte (Fig. 3.2). Vergraste situaties hebben ook bovengronds een lagere temperatuur op de bodem (Fig. 3.2). Hiermee lijkt (dit type) begrazing dus niet in staat het ondergrondse microklimaat van de ijle situatie te herstellen voor de ontwikkeling van sprinkhaneneieren. Voor adulte sprinkhanen lijken door begrazing meer warme plekken te ontstaan. Een afwisseling van microklimaat door verschillen in vegetatietypen is voor de adulte sprinkhanen, in tegenstelling tot hun eieren, juist zeer belangrijk (Van Wingerden et al., 1991).

Ontwikkeling sprinkhanen

Door de labmetingen aan ontwikkelingssnelheid van eieren van Bruine sprinkhanen, Knopsrietjes en Blauwvleugelsprinkhanen (Fig. 3.3) te combineren met de veldmetingen aan ondergrondse temperaturen worden de effecten van aantasting en beheer duidelijk. Uit de resultaten gepresenteerd in tabel 3.3 blijkt er een verschil van ongeveer anderhalve maand te bestaan tussen de uitkomstdata van sprinkhanen die hun eieren in ijle en vergraste duingraslanden afzetten. Met begrazing kan op een vergrast duingrasland een uitgestoelde vegetatie ontstaan. In deze uitgestoelde situatie wordt ten opzichte van de vergraste situatie de ontwikkelingsduur sterk verkort, met ongeveer een halve maand. Grofweg gelden deze trends voor alle drie de soorten. Vertraging in de ontwikkeling van eieren die ontstaat door een vergraste bovengrondse vegetatie kan grote problemen opleveren voor de mogelijkheid een levenscyclus binnen het geschikte seizoen te kunnen voltooien. Een uitgestoelde situatie, ontstaan door begrazing, kan de kans van ontwikkeling binnen de juiste periode vergroten door het versnellen van de ei-ontwikkeling maar is echter nog niet vergelijkbaar met het ijle duingrasland. Begrazing heeft dus een positief effect op de ontwikkelingssnelheid van deze sprinkhanen. Het blijft echter de vraag of deze verkorting van de ontwikkelingsduur voldoende is om ook onder slechte omstandigheden (weer) te kunnen bijdragen aan een volgende generatie.

Thermofiele soorten

Zoals verwacht blijken de Blauwvleugelsprinkhanen sterker beïnvloed te worden door lagere temperaturen dan de Bruine sprinkhaan en het Knosprietje (Fig. 3.3). Bij een vergelijkbare temperatuur doet de Blauwvleugelsprinkhaan langer over de ontwikkeling. Het is dus te verwachten dat als door aantasting van het habitat de ondergrondse temperatuur wordt verlaagd, de Blauwvleugelsprinkhanen zullen daar het eerste last van ondervinden. Als echter wordt gekeken naar tabel 3.3 blijkt dat bij een vergelijkbare minimale ontwikkelingstemperatuur het verschil tussen de soorten niet zeer groot te zijn. Blauwvleugelsprinkhanen lopen ongeveer een week vertraging op ten opzichte van de andere soorten. Uit resultaten beschreven in figuur 3.4 blijkt het echter zeer waarschijnlijk dat de minimale ontwikkelingstemperatuur tussen de soorten verschilt. Daar waar bij Bruine sprinkhaan en Knosprietje bij 16 °C nog 80-90% van de eipakketten uitkomt met normale aantallen eitjes, komt bij de Blauwvleugelsprinkhanen nog slechts 60% uit met zeer weinig individuen die niet levensvatbaar blijken te zijn. Waarschijnlijk ligt de minimale ontwikkelingstemperatuur van Blauwvleugelsprinkhanen dus hoger dan 16 °C. De andere onderzochte soorten hebben een lagere minimale ontwikkelingstemperatuur. Er zijn soorten bekend met minimale ontwikkelingstemperaturen van rond de 9 °C (*Chorthippus parallelus*; Köhler, 1983) maar ook soorten waarvan deze is berekend op 17 °C (*Chorthippus mollis*; Van Wingerden, 1993). Helaas zijn de minimale ontwikkelingstemperaturen van de hier gebruikte soorten niet bekend, daarom is ervoor gekozen een variatie aan minimale ontwikkelingstemperaturen te laten zien (Tabel 3.3). Hieruit blijkt dat de verschillen tussen soorten veel groter kunnen worden bij verschil in minimale ontwikkelingstemperatuur. Dit verschil kan oplopen tot maximaal drie weken. Hieruit blijkt de grotere gevoeligheid van Blauwvleugelsprinkhanen voor een verlaging van de ondergrondse temperatuur. Tegen de verwachting in blijkt er geen verschil te zijn tussen de ontwikkelingssnelheid van Bruine sprinkhaan en Knosprietje (Fig. 3.3). Uit de resultaten van dit experiment kan niet geconcludeerd worden dat er een verschil in minimale ontwikkelingstemperatuur bestaat tussen deze soorten (Fig. 3.4). Beide kwamen bij alle temperaturen nog in voldoende mate tot ontwikkeling. Uit Kleukers et al. (1997) blijkt echter wel dat Knosprietje in het voorjaar een van de eerst verschijnende veldsprinkhanen is. Om dit te bewerkstelligen is het dus van belang dat deze soort de warmste plekken in het landschap opzoekt. Een verlies van deze warme zandige plekken in het duinlandschap met open vegetatie kan dus mogelijk meer invloed hebben op Knosprietjes dan op Bruine sprinkhanen die bijna overal in Nederland voorkomen en minder van zand bodems afhankelijk zijn.

Doordringbaarheid bodem

Voor alle onderzochte soorten wordt door Kleukers et al. (1997) beschreven dat ze afhankelijk zijn van habitat met schaarse begroeiing en open bodem voor ei-afzet, in welke mate is echter niet bekend. Het is dus maar de vraag of de onderzochte soorten ook daadwerkelijk in staat zijn eieren af te zetten in vergraste of uitgestoelde vegetaties. Over de effecten van de verschillende beheersmethodes (verstuing, begrazing, niets doen) op de doordringbaarheid van de bodem is nog weinig bekend. Hier ligt nog een grote kennislacune voor het optimaliseren van beheer in het duinsysteem. Uit de eerste resultaten van het O+BN Begrazingsproject in de duinen (Van Oosten, 2012) blijkt door begrazing de bodemcompactie toe te kunnen nemen. Wat de doorwerking hiervan is op bodembewonende fauna en predatoren die hiervan afhankelijk zijn voor hun voedsel is nog niet bekend, en verdient de aandacht in toekomstig onderzoek.

3.5 Samenvatting

Een geschikt microklimaat is zeer belangrijk voor de activiteit en ontwikkeling van insecten. In tegenstelling tot de adulte individuen, die vaak actief kunnen variëren in microklimaatomstandigheden, zijn eieren en popstadia van insecten vaak afhankelijk van vocht- en temperatuuromstandigheden op de plek waar zij zijn afgezet. Veranderingen van vegetatiesamenstelling of -structuur kunnen grote effecten hebben op microklimaat en kunnen dus ook direct een zeer groot effect hebben op de voortplanting en ontwikkeling van insecten. Door verschillende beheersvormen ontstaan andere typen vegetatie, met gevolgen voor het op deze plekken aanwezige microklimaat. In dit onderzoek is gekeken naar de effecten van verschillende beheersvormen op het ondergrondse microklimaat waarvan sprinkhaaneieren afhankelijk zijn. Hierbij is een ijle vegetatie (ontstaan door verstuiwing), een uitgestoelde vegetatie (een dichte lage grasmat die kan ontstaan door begrazing) en een vergraste vegetatie vergeleken.

Onder de ijle vegetatie is de temperatuur gemiddeld het hoogste en vinden de grootste schommelingen plaats, de vergraste vegetatie heeft de laagste gemiddelde temperatuur en de schommelingen zijn gedempt, de uitgestoelde begraasde vegetatie ligt qua temperatuur tussen de ijle en vergraste vegetatie in. Vervolgens is bepaald van drie soorten sprinkhanen (Bruine sprinkhaan, Knosprietje en Blauwvleugelsprinkhaan) wat hun ontwikkelingstijd van de eieren is bij verschillende temperaturen. Door deze kennis te combineren met de temperatuurmetingen uit het veld kunnen de effecten op deze sprinkhanen bepaald worden. De berekende ontwikkelingsduur blijkt bij alle soorten in een ijl grasland grofweg één maand korter te zijn dan in een uitgestoeld duingrasland en zelfs anderhalve maand korter dan in een vergraste situatie. Verder blijkt de voor duinen karakteristieke, meest warmtebehoevende, soort (Blauwvleugelsprinkhaan) in vergelijking met de andere soorten tot 3 weken langer over de ontwikkeling te doen. Deze soort wordt dus harder getroffen door verslechtering van het microklimaat.

Hieruit blijkt dat begrazing de microklimaatcondities voor de ontwikkeling van sprinkhanen in duinen kan verbeteren ten opzichte van vergraste situaties. Het blijft echter de vraag of deze verkorting van de ontwikkelingsduur voldoende is om ook onder slechte omstandigheden (weer) te kunnen bijdragen aan een volgende generatie. Begrazing is dus niet in staat de microklimaatcondities van een door kleinschalige verstuiwing ontstaan ijl duingrasland te herstellen.

4. Betreding

4.1 Introductie

Om de aantasting van het duinlandschap tegen te gaan wordt begrazingsbeheer momenteel op grote schaal ingezet in de Nederlandse duingebieden. Dit beheer heeft tot doel: het verwijderen van overvloedige biomassa, herverdelen van nutriënten, het creëren van een gevarieerde vegetatie- en habitatstructuur en het vergroten van het oppervlak open zand. In de duinen zijn plekken met kaal zand en met name de omringende pioniervegetatie belangrijk voor bodembewonende of –nestelende fauna (o.a. loopkevers, bijen, wespen en mieren. Foto 4.1). In terreinen waar begrazing met koeien of paarden is ingezet kan betreding door deze grote grazers tot gevolg hebben dat het oppervlakte kaal zand niet verder afneemt en in sommige gevallen zelfs toeneemt. Voorbeelden van open zand gecreëerd door grazers zijn woelplekken, veepaadjes of het ontstaan van terracettes op steile zuid geëxponeerde hellingen. Het is echter de vraag of het openhouden van bestaande zandplekken of het creëren van nieuw open zand ook functioneel is voor grondnestelende insecten of dat de betreding een te grote verstoring veroorzaakt.



Foto 4.1: Grondnestelende insecten in het duin (links boven: larve van zandloopkever (*Cicindela*), rechts boven: Harkwesp (*Bembix rostrata*), links onder: Spieswesp (*Oxybelus*) en rechts onder: Grijze Spinnendoder (*Pompilus cinereus*)

Zoals al eerder aangetoond door Bonte en Maes (2007) bleek ook tijdens het VK onderzoek betreding door grote grazers negatieve effecten te kunnen hebben op het voorkomen van grondnestelende duinfauna (Wouters et al. 2009). Bij een vergelijking van reeds aanwezig open zand dat wel en niet werd betreden door grote grazers bleek grondnestelende fauna negatieve invloed te ondervinden van het beheer. Zowel mieren, larven van zandloopkevers als bijen en graafwespen kwamen veel minder voor in open zand dat betreden werd in het begraasde terrein van de Helmduinen dan in het onbegraasde Prinsenduin (Meijndel).

Soorten die hier nog wel nestelend aangetroffen werden, zijn vooral spinnendoders die vaak slechts, of zelfs minder dan één dag aan een nest werken. Het is niet bekend of de eieren en larven van soorten zoals spinnendoders overleven en dus de voortplanting succesvol verloopt in het betreden zand. Bonte en Maes (2007) gaven echter ook het belang aan van de ruimtelijke en temporele aard van de verstoring en niet alleen van de intensiteit ervan. Een hevige verstoring buiten een kwetsbare fase in de levenscyclus van een organisme kan onschadelijk zijn, terwijl een constante milde verstoring voor grote problemen kan zorgen. Ook het wegnemen van verstoring (betreding) door het plaatsen van rasters kan mogelijk kansen bieden voor grondnestelende fauna. Aanwijzingen voor het belang van wegnemen van verstoring bleken ook uit de resultaten van het VK onderzoek. Hier werd een raster (exclosure) geplaatst om de voorheen betreden plekken. Deze leken na het zetten van de rasters binnen enkele weken tot maanden geschikt te worden voor verschillende groundbewonende diersoorten. Zij koloniseerden deze plekken opnieuw. De aantallen zijn echter nog niet vergelijkbaar met langdurig onbegraasde terreinen, waar de hoogste dichtheden van deze soorten werden aangetroffen. Binnen het OLD is uitgezocht of meerdere jaren uitrastering de plekken beter geschikt maakt voor grondnestelende fauna.

Hypothesen:

- Betreding creëert open zand en pioniersvegetaties (bv. terracettes), hetgeen nestgelegenheid biedt voor fauna die hiervan voor hun voortplanting afhankelijk zijn.
- Betreding van reeds aanwezig open zand en pioniersvegetaties heeft een versturende invloed op nestelende fauna.
- Het uit betreding nemen van open zand plekken heeft een positieve invloed op grondnestelende fauna. Er vindt herkolonisatie plaats.

Doelstelling:

- Bepalen negatieve en positieve bijeffecten van grote grazers op grondnestelende fauna door betreding.
- Inschatten welke mate van verstoring in tijd en ruimte positief en welke negatief is voor grondnestelende fauna.

4.2 Methodiek

Onderzoekslocatie bestaand open zand

Voor het onderzoek naar de effecten van betreding op reeds aanwezige open zandplekken zijn van juni tot september 2008 en juni tot september 2009 in Meijndel zandplekken bemonsterd op het voorkomen van grondnestelende fauna (bijlage 4.1). Hierbij is zowel gekeken naar zandplekken in het begraasde terrein (Helmduinen) als naar zandplekken in het onbegraasde terrein (Prinsenduinen). Van april tot september 2011 is de bemonstering alleen in het begraasde terrein (Helmduinen) herhaald omdat tussen 2009 en 2011 begrazing is ingezet in het Prinsenduin. Het Prinsenduin was hierdoor niet langer geschikt als referentieterrein voor het de begraasde Helmduinen. In het begraasde terrein van 125 hectaren groot staan sinds de zomer van 1991 Noordse fjordenpaarden en Galloway runderen (0.08 GVE/ha/j).

Onderzoekslocatie nieuw gecreëerd open zand

Voor het onderzoek naar de effecten van het ontstaan van nieuw open zand door betreding zijn van mei tot juni 2011 in het Noord-Hollands duinreservaat zandplekken bemonsterd op het voorkomen van grondnestelende fauna (bijlage 4.2). Hierbij is zowel gekeken naar zuid (-oost) geëxponeerde hellingen met terracettes, begroeide zuid (-oost) geëxponeerde hellingen

zonder betreding en natuurlijke stuifkuilen met steilwanden. In de onderstaande tabel 4.1 staat beschreven hoe de verdeling van monsterlocaties is over de onderzochte terreinen en welke vorm van begrazing aanwezig is.

Tabel 4.1: Verdeling van de verschillende monsterlocaties in het Noord-Hollands duinreservaat. Van de begraasde terreinen is de vorm van begrazing beschreven. Naast terracettes kunnen in de begraasde terreinen zowel stuifkuilen als plekken zonder betreding voorkomen op plekken waar de grazers niet of niet vaak komen.

	Terracettes	Stuifkuil	Zonder betreding	Grazer	GVE/ha/j	Periode
Rellen	x	x		Rund	0.04	Deel jaarrond deel winter
Duivelshoek	x		x	Rund	0.35	Jaarrond
Noorddorpervlak	x	x		Schaap	?	Wisselend
Oceaan	x	x	x	Schaap	?	Wisselend
Infiltratiegebied			x x	-	-	-
Limiet		x		Schaap/geit	0.24	Zomer

Bemonsteringsmethode bestaand open zand

Aan de hand van gekarteerde luchtfoto's is in een begraasd terrein in Meijendel (Helmduinen) vastgesteld waar betreding door grote grazers in de vorm van veepaadjes is opgetreden. Vervolgens zijn langs deze route vijf zandplekken geselecteerd. Deze plekken worden met grote zekerheid regelmatig betreden door de grazers. Aan de hand van formaat, expositie en hellingshoek is geprobeerd vergelijkbare zandplekken in een onbegraasd terrein in Meijendel (Prinsenduinen) te selecteren. Het onbegraasde terrein ligt op enkele honderden meters van het begraasde terrein maar heeft volgens de beheerders een gelijke ontstaans- en beheersgeschiedenis (behalve het huidige begrazingsbeheer in de Helmduinen natuurlijk) als het begraasde terrein.

Binnen de geselecteerde monsterlocaties in het begraasde terrein zijn in het voorjaar van 2008 exclusures (zes bij vier meter) aangebracht (Foto 4.2, links) om op deze wijze ook te kunnen testen wat het effect is van het wegnemen van betreding. Binnen elk van de drie behandelingen ('begraasd', 'uit begrazing genomen (exclosure)' en 'onbegraasd') werd op 5 monsterlocaties een stuk van tien maal één vierkante meter uitgezet (Foto 4.2, rechts). In het totaal dus 50 m² per behandeling. Van elke vierkante meter werd per ronde (vijf rondes in 2008, vier in 2009 en vijf in 2011) het aantal aanwezige nesten geteld. Bij elke telling is bepaald van welk insect of insectengroep het gevonden nest afkomstig is. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen kleinere en grotere graafwespen, spinnendoders en graafbijen, zandloopkevers en mieren.



Foto 4.2: Exclusure (4x6 m) binnen het begraasde terrein van de Helmduinen (links). Omlijning van 2 van de 10 m² op een monsterlocatie binnen de Prinsenduinen (rechts).

Bemonsteringsmethode nieuw gecreëerd open zand

In overleg met de terreinbeheerder zijn vier locaties geselecteerd waar onder invloed van grazers nieuw open zand op zuid (-oost) geëxponeerde hellingen in de vorm van terracettes is ontstaan (Foto 4.3). Vervolgens zijn bij elke monsterlocatie twee referenties gezocht: een in de vorm van een begroeide helling met een vergelijkbare expositie en inclinatie maar zonder betredingssporen van grote grazers en een tweede in de vorm van een “natuurlijke” stuifkuil met steilwand met vergelijkbare expositie (Foto 4.3). Per locatie werd vijf maal één vierkante meter bemonsterd op activiteit van fauna en nesten van grondbestelende fauna. In het totaal zijn tussen mei en juni 2011 vijf bemonsteringsrondes uitgevoerd onder vergelijkbare weercondities (bij voorkeur zonnig en windstil), waarbij alle plots op een dag bezocht werden. Elke vierkante meter werd per ronde door één persoon 10 minuten bemonsterd op activiteit en de aanwezigheid van nesten.

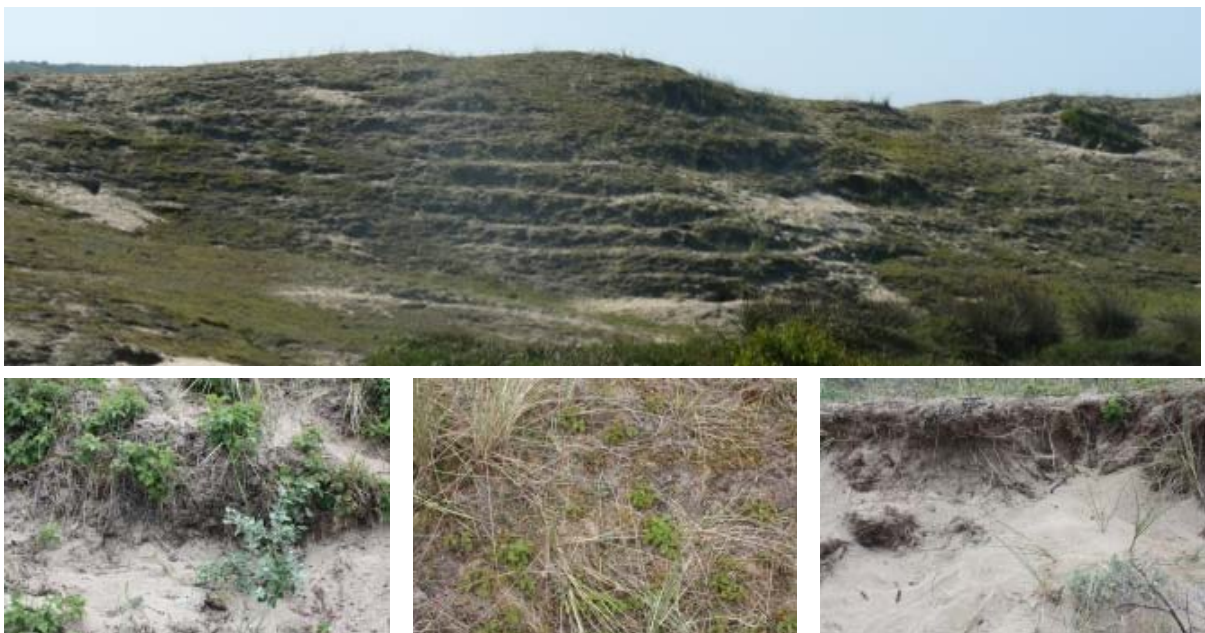
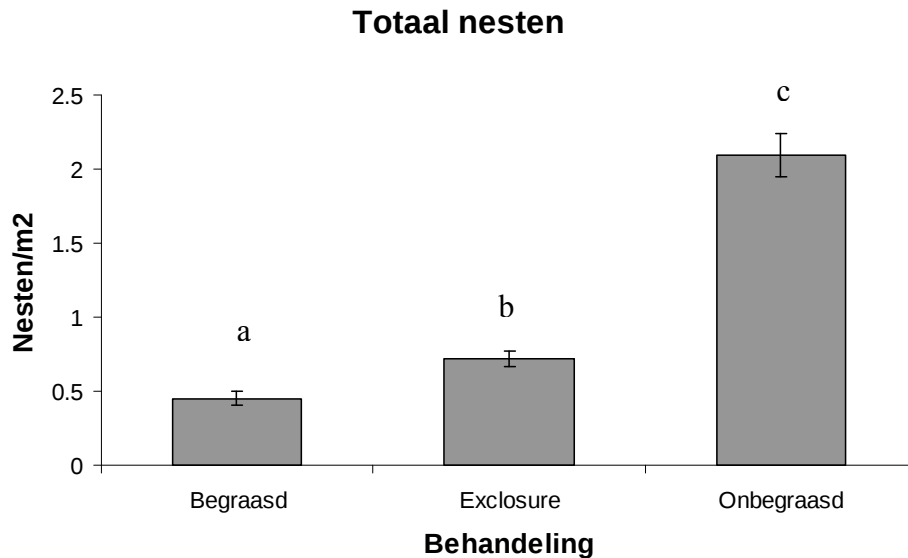


Foto 4.3: Overzichtsfoto van terracettes (Frankrijk) gecreëerd door grote grazers (boven), voorbeeldplot terracette in de Rellen (links onder), voorbeeldplot begroeide onbetreden helling in de Rellen (midden onder) en voorbeeldplot stuifkuil met steilwand in de Rellen (rechts onder)

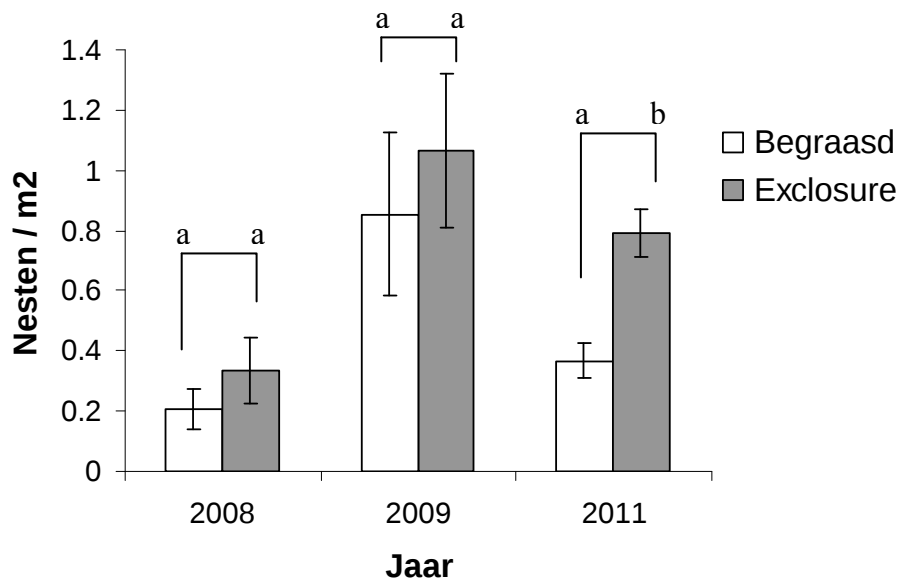
4.3 Resultaten

Bestaand open zand

Het totaal aantal nesten per vierkante meter gemiddeld over alle jaren in de onbegraasde locaties in Meijendel is een factor drie tot vier maal hoger dan in de begraasde en enclosure locaties (Fig. 4.1). Het plaatsen van exclusies in begraasd terrein levert gemiddeld over alle jaren significant meer nesten per vierkante meter op (Fig. 4.1). Ondanks dat er tussen de jaren variatie zit in aantallen nesten (goed of slecht jaar qua weer) lijken binnen één jaar de enclosure locaties altijd meer nesten te bevatten dan de begraasde locaties (Fig. 4.2). Voor 2008 en 2009 is dit verschil echter nog niet significant maar in 2011 worden er significant meer nesten aangetroffen in de enclosure locaties.

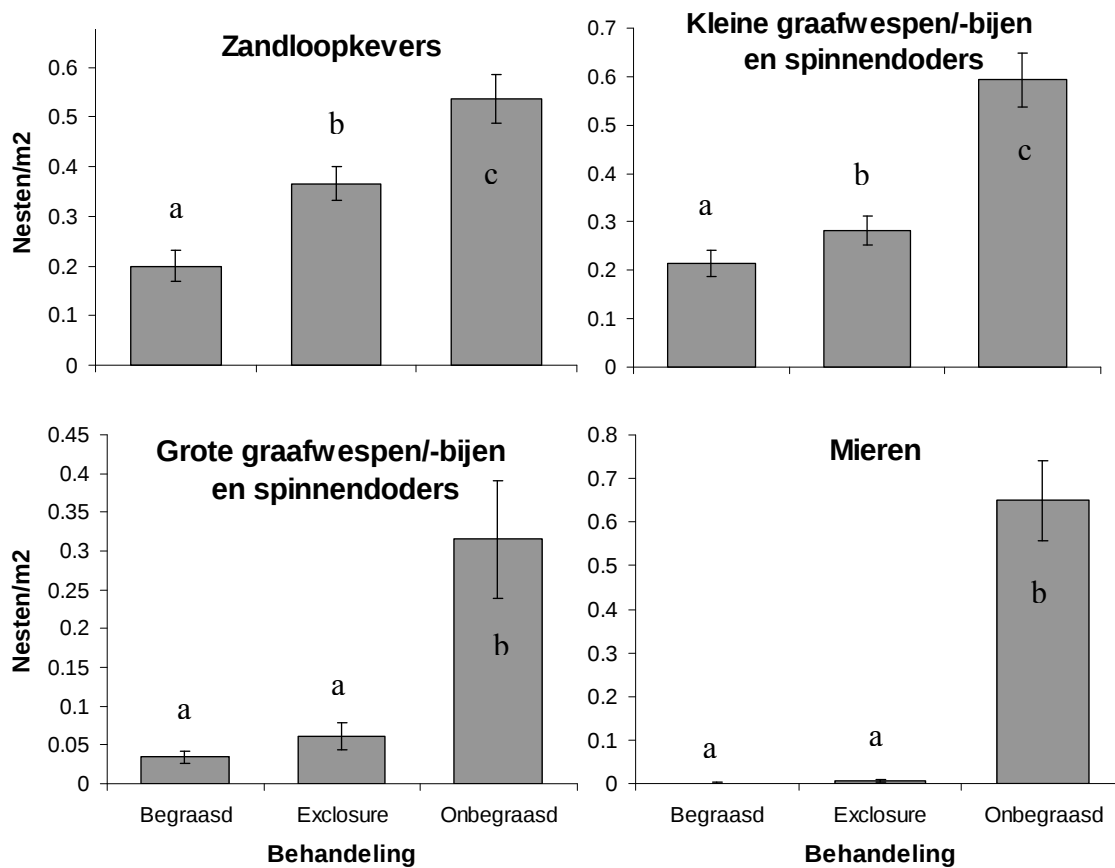


Figuur 4.1: Gemiddeld aantal nesten / m² van het totaal aan soorten per behandeling over alle jaren. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.



Figuur 4.2: Gemiddeld aantal nesten / m² van het totaal aan soorten per behandeling (begraasd en exclosure) in de jaren 2008, 2009 en 2011. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

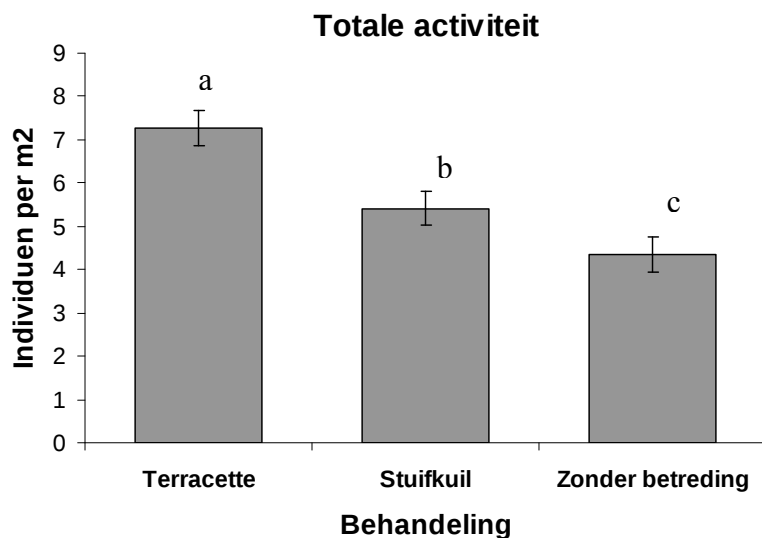
Bij elke afzonderlijke soort en soortgroep worden significant meer nesten per vierkante meter gevonden in het onbegaasde terrein dan in het begraasde terrein of de exclosures (Fig. 4.3). De zandloopkevers en de groep van de kleine graafwespen/-bijen en spinnendoders komen significant vaker voor in de exclosures dan in de begraasde locaties (Figuur 4.3). Voor de groep van de grotere graafwespen/-bijen en spinnendoders en de mieren lijkt deze trend ook aanwezig maar niet significant. Het significante verschil tussen de begraasde en exclosure locaties dat pas in 2011 ontstaat (Fig. 4.2), wordt voor het grootste gedeelte bepaald door de zandloopkevers, gevolgd door de groep van de kleine graafwespen/-bijen en spinnendoder en in mindere maten door de andere twee groepen. In alle andere jaren (2008 en 2009) zijn er nog geen significante verschillen tussen de begraasde en exclosure locaties binnen een soort of groep.



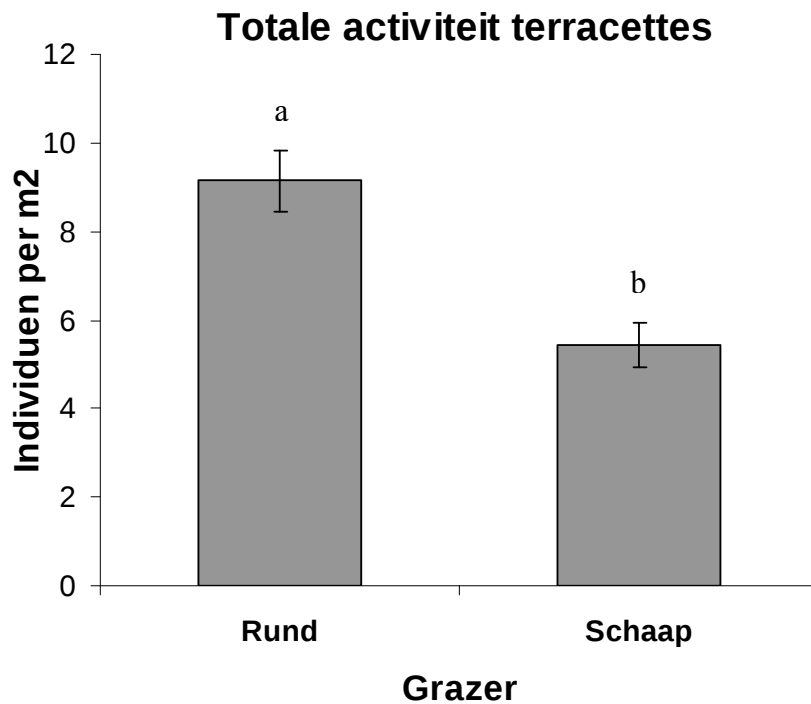
Figuur 4.3: Gemiddeld aantal nesten / m² per soort of soortgroep per behandeling over alle jaren. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Nieuw gecreëerd open zand

Het gemiddeld aantal waargenomen individuen per vierkante meter op terracettes en in steilwanden van stuifkuilen in het Noord-Hollands duinreservaat is significant hoger dan op begroeide hellingen zonder betreding (Fig. 4.4). Op terracettes wordt significant de hoogste activiteit waargenomen van potentieel grondnestelende fauna (Fig. 4.4). Binnen de behandeling terracettes wordt een significant hogere activiteit waargenomen op open zand gecreëerd door runderen dan door schapen (Fig. 4.5).

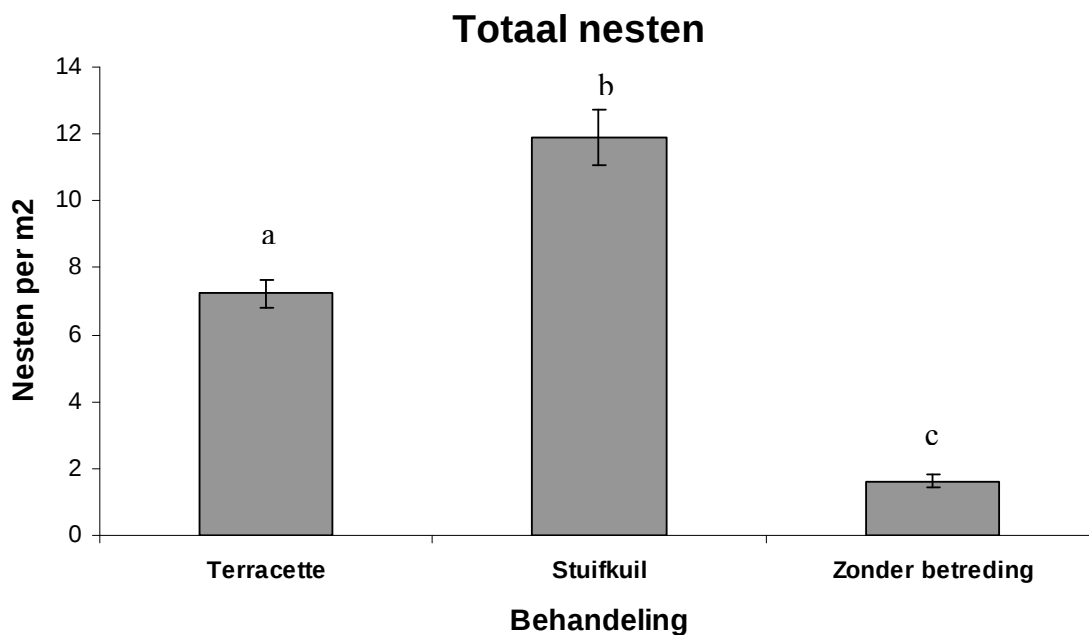


Figuur 4.4: Gemiddeld aantal waargenomen individuen / m² tussen de verschillende behandelingen. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

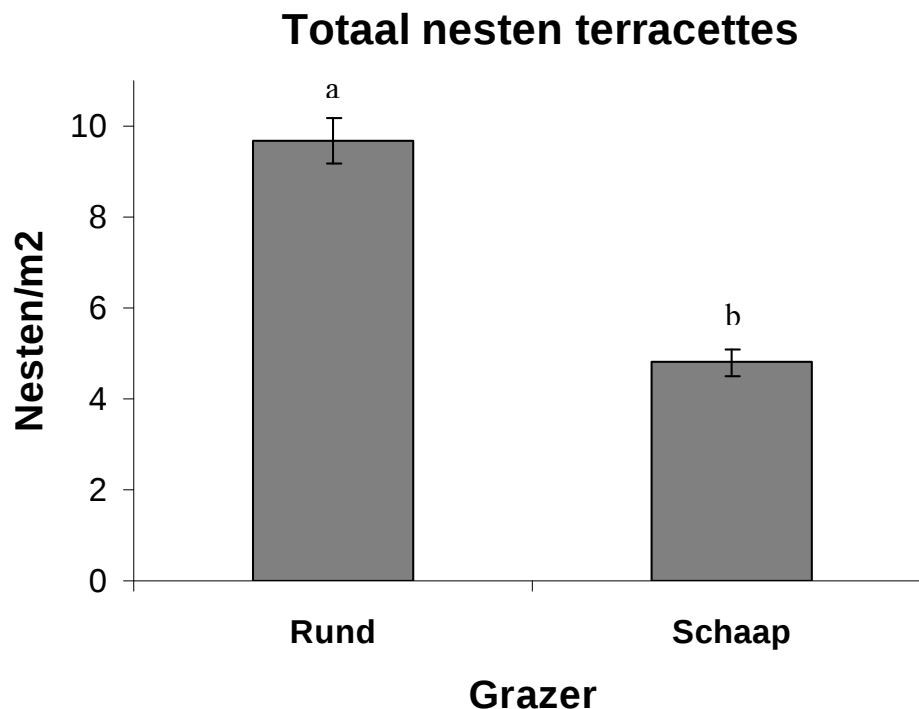


Figuur 4.5: Gemiddeld aantal waargenomen individuen per m² op terracettes waarbij het onderscheid is gemaakt tussen het type grazer waardoor de terracette is ontstaan. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Het gemiddeld aantal nesten per vierkante meter op terracettes en in steilwanden van stuifkuilen is significant hoger dan op hellingen zonder betreding (Fig. 4.6). In steilwanden van stuifkuilen zijn significant het hoogste aantal nesten aanwezig (Fig. 4.6). Van alle soortgroepen behalve mierenleeuwen en spinnen werden de meeste nesten in stuifkuilen aangetroffen. De mierenleeuwen en spinnen hadden de meeste nesten op de terracettes. Binnen de terracettes is een significant hoger aantal nesten aanwezig op open zand gecreëerd door runderen dan door schapen (Fig. 4.7).



Figuur 4.6: Gemiddeld aantal waargenomen nesten per m² tussen de verschillende behandelingen. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.



Figuur 4.7: Gemiddeld aantal nesten per m² op terracettes waarbij het onderscheid is gemaakt tussen het type grazer waardoor de terracette is ontstaan. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

4.4 Discussie/conclusie

Bestaand open zand

Zoals al eerder aangetoond door Bonte en Maes (2007) bleek ook tijdens het VK onderzoek betreding van reeds aanwezig open zand door grote grazers negatieve effecten te kunnen hebben op het voorkomen van grondnestelende duinfauna. Uit dit onderzoek blijkt dat zand dat regelmatig betreden wordt door grote grazers drie tot vier maal minder nesten bevat dan onverstoorde zandplekken met een vergelijkbare ligging (Fig. 4.1). Het verwachte patroon van herkolonisatie van voorheen betreden zandplekken die in 2008 uitgerasterd werden heeft zich doorgezet in 2009 en 2011. Er wordt meer grondnestelende fauna aangetroffen in de exclusies dan in het nog betreden gebied. Het heeft echter drie jaar geduurd voordat het patroon ook daadwerkelijk een significant verschil opleverde. Het lijkt er dus op dat een verstoorde plek tijd nodig heeft om weer geschikter te worden en/of gevonden te worden door grondnestelende fauna. Voor deze herkolonisatie zijn voornamelijk de zandloopkevers en kleinere spinnendoders en graafwespen verantwoordelijk. Het verspreidingsvermogen en de solitaire nestbouw bieden deze soorten de mogelijkheid voor de snellere herkolonisatie. Bij de grotere soorten graafwespen zoals harkwespen (*Bembix rostrata*) en bij mieren treedt deze herkolonisatie nog niet op, beide nestelen vaak in kolonies en zullen zich mede daarom minder snel verspreiden. Bonte (2005) vond een soortgelijk effect voor harkwespen onder invloed van recreatie en betreding door grote grazers. Ook hier waren de aantallen in de onbegraasde referentie vele malen hoger dan in de verstoorde terreinen. Enige mate van verstoring (verstuiving, erosie, konijnenactiviteit) van het duinsysteem is noodzakelijk om nestmogelijkheid voor deze insecten te behouden, de tolerantie tegen verstoring van insecten lijkt echter per soort te verschillen en afhankelijk te zijn van de eigenschappen van die soort (bv. tijd van larvale ontwikkeling, nestdiepte en de mate van broedzorg; Peeters et al., 2004). Bonte en Maes (2007) gaven ook het belang aan van de ruimtelijke en temporele aard van de verstoring en niet alleen van de intensiteit ervan. Een hevige verstoring buiten een kwetsbare

fase in de levenscyclus van een organisme kan onschadelijk zijn, terwijl een constante milde verstoring voor grote problemen kan zorgen. Het belang van de temporele aard van de verstoring blijkt ook uit de gegevens van dit onderzoek. Door de verstoring (betreding) weg te nemen door het plaatsen van rasters blijkt het aantal grondnestelende fauna zich te kunnen uitbreiden.

Nieuw gecreëerd open zand

Naast een mogelijk versturend effect op reeds aanwezig zand kunnen grazers ook nieuw open zand en daarmee nestgelegenheid creëren. Bij het ontstaan van nieuw open zand in de vorm van terracettes blijkt geschikt habitat te ontstaan voor grondnestelende fauna. Zowel het aantal individuen dat wordt waargenomen als het aantal nestplekken neemt toe ten opzichte van vergelijkbare hellingen waar geen nieuw open zand is gecreëerd door grazers (Fig. 4.4 & 4.6). In vergelijking met natuurlijke open zand plekken in stuifkuilen en steilwanden is op terracettes wel meer activiteit waargenomen maar worden minder nesten gevonden. Blijkbaar worden de steilwanden van stuifkuilen voornamelijk gebruikt om te nestelen en worden op terracettes meer levensbehoeftes vervuld. Door de grotere variatie in vegetatie en microhabitat op de terracettes worden deze waarschijnlijk ook gebruikt voor het vergaren van voedsel en als schuilmogelijkheid. Ondanks dat van veel soorten de meeste nesten in de steilwanden van stuifkuilen worden aangetroffen, hebben de mierenleeuwen en spinnen een voorkeur voor terracettes. De grote oppervlakte aan steilwandjes met los zand eronder op terracettes biedt ideale nestmogelijkheden voor mierenleeuwen. De grotere variatie in vegetatie en microhabitat levert een grotere activiteit van andere fauna op, welke vervolgens als voedsel kunnen dienen voor de mierenleeuwen en spinnen. Daar waar de steilwanden van stuifkuilen uitsluitend voor nestgelegenheid lijken te zorgen, leveren de terracettes een gevarieerder habitat. Als gekeken wordt naar het ontstaan van de terracettes, is er een opvallend verschil te zien tussen de typen grazers waardoor de terracettes zijn ontstaan. Zowel de activiteit als het aantal nesten op terracettes ontstaan door runderen is hoger dan op de terracettes ontstaan door betreding van schapen. (Fig. 4.5 & 4.7). Waarschijnlijk wordt door het grotere gewicht en de grotere poten meer nieuw habitat gecreëerd. Daar waar schapen voor een netter (rechter en smaller) loopspoor zorgen ontstaan bij runderen ook erosiesporen en bredere, rommeligere terracettes. De grotere oppervlakte van de terracette en de grotere variatie in structuur lijkt te zorgen voor een geschikter habitat.

Bestaand vs. nieuw gecreëerd open zand

Opvallend is het grote verschil tussen het aantal nesten per vierkante meter dat aangetroffen is op de reeds aanwezige open zandplekken (Fig. 4.1) en op het nieuw gecreëerde zand (Fig. 4.6). Waarschijnlijk worden er veel meer nesten aangetroffen omdat de onderzochte locaties binnen het “nieuw gecreëerde zand” onderzoek op steilere hellingen liggen en meer zuid geëxponeerd zijn. Hierdoor zullen de locaties een warmer en droger microklimaat kennen wat gunstig is voor de ontwikkeling van de larven. Hiernaast is op deze locaties minder open zand aanwezig in de omgeving en zullen de aanwezige insecten zich dus meer concentreren op het weinige wel aanwezige open zand.

De vorm van verstoring

Het is duidelijk dat begrazingsbeheer zowel positieve als negatieve effecten kan hebben. De ruimtelijke en temporele aard van de ingreep zal bepalend zijn voor het effect op grondnestelende fauna. Hoe een soort reageert, zal afhangen van de eisen die de soort stelt aan zijn omgeving en in welke periode deze kwetsbaar is voor verstoring. Het is dus belangrijk om het begrazingsbeheer op zo'n manier in te zetten dat een gradiënt in het landschap ontstaat. Hierdoor ontstaan plekken die in meer en mindere mate verstoord worden en kunnen

verschillende soorten op andere plekken in het landschap overleven. Ideaal gezien ontstaan deze gradiënten op kleine schaal zodat een fijnkorrelig landschap ontstaat. Op deze wijze kunnen soorten hun hele levenscyclus op korte afstand voltooien. Hoe de effecten van grote grazers zich echter verhouden tot de “natuurlijke grazer van het duin” (het konijn), is nog niet onderzocht. Het belang van konijnen bij het ontstaan van geschikt habitat (graafactiviteit en hollen) voor grondnestelende fauna verdient in de toekomst dan ook extra aandacht.

4.5 Samenvatting

Om de aantasting van het duinlandschap tegen te gaan wordt begrazingsbeheer momenteel op grote schaal ingezet in de Nederlandse duingebieden. Naast het verwijderen van staande biomassa is het creëren of open houden van open zand een neven doel. In de duinen zijn de plekken met kaal zand en met name de omringende pioniervegetatie belangrijk voor bodembewonende of –nestelende fauna (o.a. loopkevers, bijen, wespen en mieren).

In terreinen waar begrazing met koeien of paarden is ingezet is gekeken naar de effecten van betreding van reeds aanwezig open zand op de hoeveelheid grondnestelende fauna. Dit is vergeleken met natuurlijke zandplekken en met het uit betreding nemen van deze voorheen belopen plekken door het plaatsen van exclosures. In de onbegraasde locaties is het totaal aantal nesten per vierkante meter gemiddeld een factor drie tot vier maal hoger dan in de begraasde en exclosure locaties. Het plaatsen van exclosures om betreden open zandplekken levert gemiddeld significant meer nesten per vierkante meter op. Dit verschil ontstaat echter pas na 3 jaar, deze plekken hebben dus tijd nodig om geherkoloniseerd te worden. Deze herkolonisatie gebeurt voornamelijk door soorten die kort aan een nest werken en een solitaire nestbouw hebben. Kolonievormende soorten hebben waarschijnlijk langer nodig om de gebieden te herkoloniseren.

Naast het betreden van reeds aanwezig open zand wordt ook soms nieuw open zand gecreëerd. Een voorbeeld hiervan is het ontstaan van looppaadjes op zuid geëxponeerde steile hellingen (terraces). Deze zijn vergeleken met niet betreden hellingen en natuurlijke steilwanden in stuifkuilen op het voorkomen van grondnestelende fauna. Het gemiddeld aantal nesten per vierkante meter op terraces en in steilwanden van stuifkuilen is significant hoger dan op hellingen zonder betreding. In steilwanden van stuifkuilen zijn significant het hoogste aantal nesten aanwezig. Van alle soortgroepen werden de meeste nesten in stuifkuilen aangetroffen, behalve mierenleeuwen en spinnen welke het meeste op de terraces gevonden zijn.

Naast een versturende werking op grondnestelende fauna, zoals aangetoond bij het reeds aanwezige open zand, kan begrazing ook nieuwe nestgelegenheid creëren (terraces t.o.v. niet betreden hellingen). Hierbij is niet alleen de intensiteit van de verstoring, maar ook de ruimtelijke en temporele aard ervan en de uitgangspositie van het terrein belangrijk voor de uitkomst.

5. Verstuiving witte duinen

5.1 Introductie

Vergelijkend onderzoek tussen de Nederlandse en Deense duinen (Van Duinen et al, 2004) heeft uitgewezen dat in intacte meer dynamische Helmduinen (witte duinen h2120) bladsprietkevers (Scarabaeidae) een zeer belangrijke prooi vormen voor Grauwe Klauwieren (*Lanius collurio*: een graadmeter voor een goed functionerend duinsysteem). Een eeuw vastleggingsbeleid in combinatie met atmosferische depositie en het wegvallen van natuurlijke begrazing door konijnen heeft geleid tot een zeer sterke inkrimping van het oppervlakte stuivende delen in het Nederlandse duin (Kooijman et al. 2005; van den Burg et al. 2009). De achteruitgang van habitattypen met stuivend zand kan dan ook mede verantwoordelijk zijn voor het bijna verdwijnen van de Grauwe Klauwier in de Nederlandse duinen.

Het onderzoek door van Duinen et al (2004) gaf duidelijke aanwijzingen voor een relatie tussen de mate van overstuiving van Helm (*Ammophila arenaria*) en het voorkomen van de wortelende bladsprietkeverlarven. In het VK onderzoek zijn de hypothesen voortkomend uit dit onderzoek getoetst (Wouters et al, 2009). Hieruit bleek dat de dichtheden van bladsprietkeverlarven in dynamische Helmvegetaties met meer overstuiving hoger zijn dan in stabielere locaties. De verwachting is dat Helm hier een veel grotere biomassa aan vers, goed verteerbaar wortelmateriaal heeft, waarvan de keverlarven profiteren. Dit wordt bevestigd door Willis (1989), die aantoonde dat Helm in de instuifzone van dynamische duinen een vijf tot vijftien maal grotere biomassa aan vitale wortels heeft dan op meer stabiele locaties. Hiernaast blijkt niet overstoven Helm binnen één groeiseizoen bovendien last van pathogene aaltjes en schimmels te krijgen. Het gevolg hiervan is dat er minder wortelbiomassa wordt gevormd en de wortels verhouten (Van der Putten et al. 1988; De Rooij-van der Goes et al. 1995).

Naast de kwantiteit, kwaliteit en bereikbaarheid van voedsel is microklimaat ook een zeer belangrijke factor voor de ontwikkelingssnelheid van keverlarven, zoals Brussaard (1983) al heeft laten zien voor de driehoornmestkever (*Typhaeus typhoeus*). Uit de diepteverdeling van de aangetroffen Kleine junikeverlarven (*Anomala dubia*) tijdens het VK onderzoek kan opgemaakt worden dat deze over relatief grote afstand kunnen migreren door de bodemlaag. Dit vermogen zouden de larven kunnen gebruiken om te kunnen reageren op vocht- en temperatuurschommelingen. De verwachting is dat de larven op deze wijze optimaal gebruik kunnen maken van verschillen in microklimaat.

Zowel het hogere aantal adulten dat uitsluipt als de mogelijk snellere ontwikkeling in veel met zand overstoven gebieden zorgen voor een beter voedselaanbod voor insectivore dieren. Voorbeelden hiervan zijn de Tapuit (*Oenanthe oenanthe*) en de Grauwe Klauwier. Zij profiteren van de aanwezigheid van een hoger voedselaanbod in duingebieden met actieve verstuiving. Met deze resultaten begrijpen we nu deels de oorzaak-gevolg cascade van de aantasting die heeft geleid tot het verdwijnen van karakteristieke duinfauna in het Nederlandse duinlandschap. Tijdens het huidige onderzoek wordt echter nog verder ingegaan op niet alleen de kwantiteit maar ook de kwaliteit van het voedsel en zal door middel van temperatuur- en vochtmetingen bepaald worden of verschillen in dynamiek ook verschillen in microklimaat opleveren. Deze informatie zou het effect en dus ook het belang van grootschalige verstuiving voor het functioneren van het duinsysteem kunnen verduidelijken.

Hypothesen:

- Overstuiving met vers duinzand zorgt voor de productie van jonge wortels die kwalitatief beter voedsel vormen (lagere C/N verhouding, hogere N, P en K concentraties) voor ondergrondse herbivore bladsprietkeverlarven.

- Dynamische locaties, die overstoven worden met duinzand, hebben in de lente- en zomerperiode een gemiddeld hogere temperatuur en lagere vochtigheid dan stabiele en matig dynamische locaties.

Doelstelling:

- Bepalen van het effect van zandoverstuiving op de aanmaak van jonge wortels door Helm.
- Analyseren van de verschillen in chemische samenstelling tussen jonge verse wortels en oudere verhouten wortels.
- Bepalen van het effect van zandoverstuiving van Helm op het ondergrondse microklimaat, afgelezen aan de temperatuur- en vochtcondities op 20, 40, 60 en 80 cm diepte.
- De opgedane kennis doorvertalen naar adviezen voor verstuivingsmaatregelen in de toekomst.

5.2 Methodiek

Onderzoekslocaties

In en rondom het geredynamiseerde deel van het in 1995 gedempte Van Limburg Stirum kanaal (Amsterdamse waterleidingduinen) zijn stabiele, matig dynamische en dynamische locaties met Helmvegetatie geselecteerd (Foto 5.1; bijlage 5.1). Tabel 5.1 geeft een grove vegetatiesamenstelling van de bemonsterde locaties. De dynamische locaties zijn begroeid met Helm en worden regelmatig overstoven met zand, de matig dynamische locaties zeer dicht begroeid met Helm en hebben in het verleden veel overstuiving gekend maar worden nu niet veel meer overstoven, op de stabiele locaties is wat Helm aanwezig maar wordt zelden tot nooit overstoven met zand.



Foto 5.1: Dynamische Helmvegetatie (links). Matig dynamische Helmvegetatie (midden). Stabiele Helmvegetatie (rechts).

Tabel 5.1: Grove procentuele vegetatiesamenstelling van de bemonsterde dynamische, matig dynamische en stabiele Helmvegetaties

	Dynamisch	Matig dynamisch	Stabiel
Staande biomassa	27	44	41
Mos	0	0	37
Strooisel	3	50	11
Zand	70	6	11

Verzameling velddata

Op alle monsterlocaties zijn dataloggers geplaatst (Foto 5.2, links). Deze dataloggers meten de temperatuur- en vochtcondities van drie typen Helmduinen (stabiel, matig dynamisch en dynamisch) op vier dieptes (20, 40, 60, 80 cm) met behulp van sensoren in de grond (Foto 5.2, midden). De dataloggers zijn tussentijds in het veld uit te lezen met behulp van een computer (Foto 5.2, rechts)



Foto 5.2: Datalogger (links). Sensoren (midden). Uitlezen van dataloggers met behulp van een computer (rechts).

Om zandverplaatsing te meten werden er zowel erosiepinen als stortkokers (Foto 5.3) geplaatst. De erosiepinen bestaan uit een pvc stok met maatverdeling erop die in het zand geplaatst werden. Erosiepinen meten netto verstuiving. De stortkokers bestaan uit een pvc pijp (diameter tien cm) van 80 cm lengte die aan de onderkant gesloten is en boven uitloopt in een trechter (diameter 12,5 cm). De koker wordt ingegraven met de bovenkant gelijk aan het bodemoppervlak. De bovenkant is overspannen met gaas om de inloop van fauna te voorkomen. Deze vallen meten een bruto instuiving en werden regelmatig gecontroleerd en zo nodig geleegd.



Foto 5.3: Een stortkoker in een dynamische helmvegetatie.

Kwaliteit Helmwortels

Eind september 2009 werden Helmwortels verzameld. Op zes locaties per type Helmvegetatie (stabiel, matig dynamisch en dynamisch) werden gaten gegraven (50 x 30 x 50 cm) tussen Helm (Foto 5.4). In deze gaten werden Helmwortels verzameld op twee dieptes (0-25 en 25-50 cm). Waar mogelijk werden verse en verhouten wortels apart verzameld. Alle wortels werden in papieren zakjes meegenomen naar het lab waar ze op 70°C twee dagen in een stoof gedroogd werden, ze werden droog en donker bewaard tot verdere chemische analyse van het wortelmateriaal in 2010.

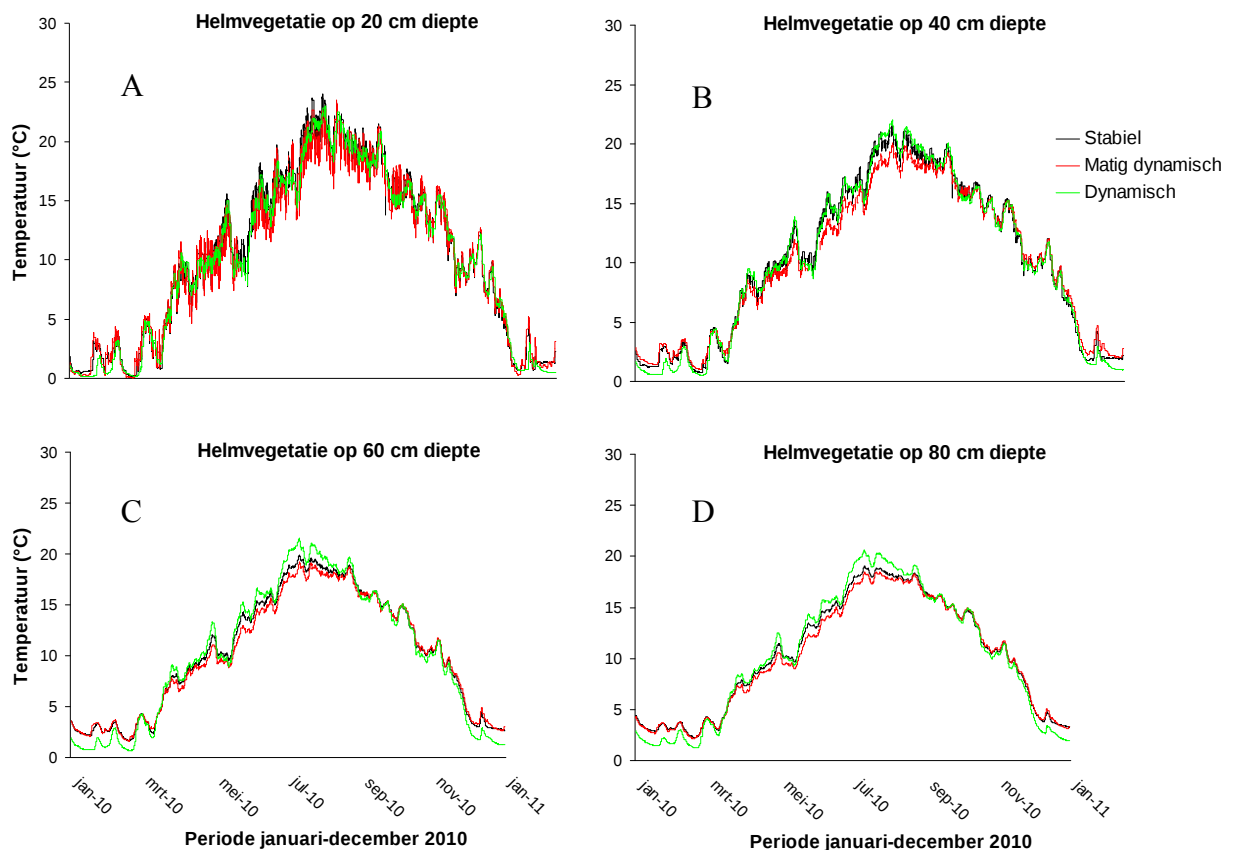


Foto 5.4: Het verzamelen van Helmwortels.

5.3 Resultaten

Microklimaat

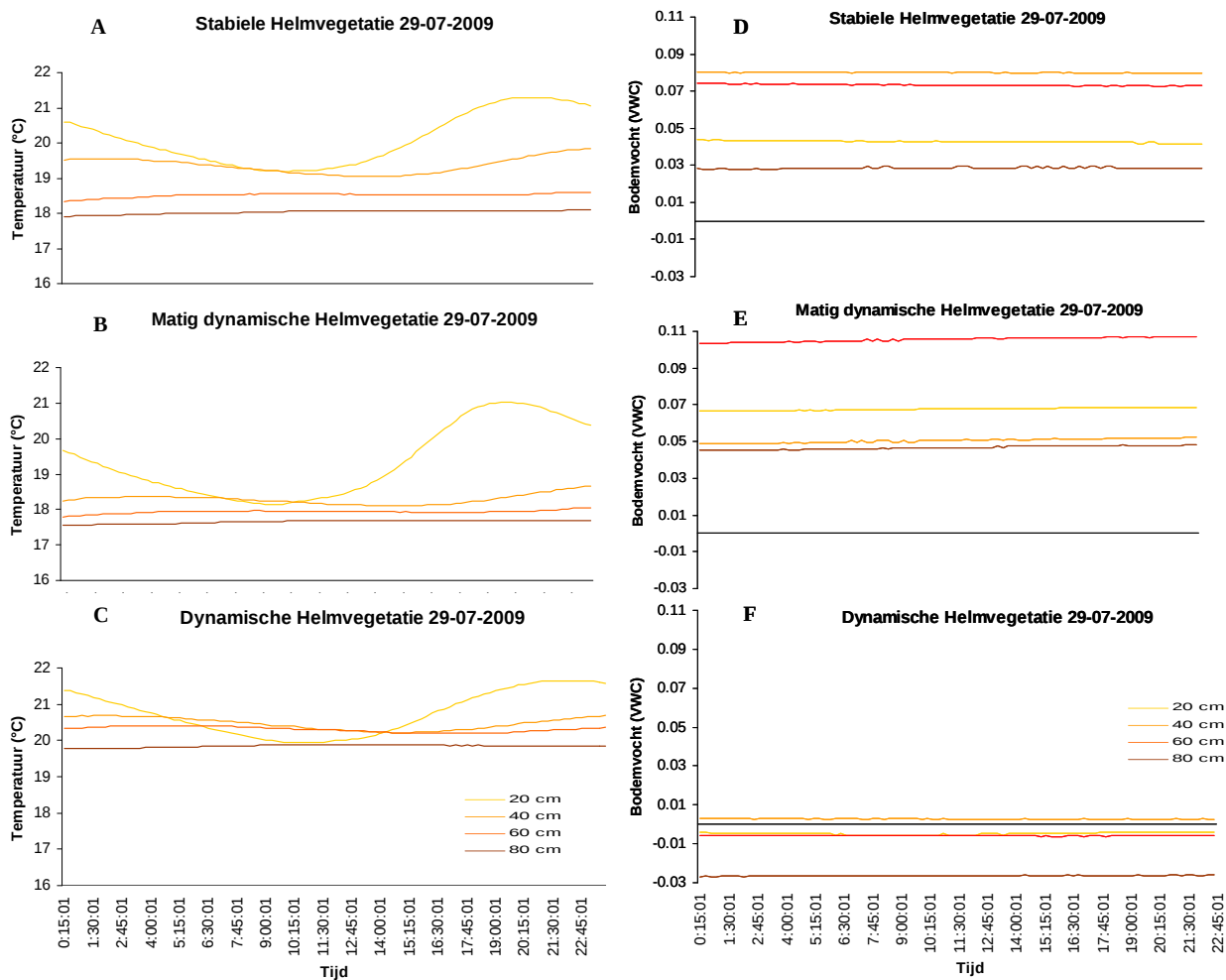
Figuur 5.1 laat het temperatuurverloop zien onder drie verschillende Helmvegetaties op vier verschillende dieptes. Duidelijk is te zien dat de dag-nacht schommeling in temperatuur op 20 cm diepte veel groter is dan op 80 cm diepte. Hoe dieper onder de grond hoe meer demping in temperatuur optreedt en hoe vlakker de lijn loopt (figuur 5.1 A t/m D, diepte 20 t/m 80 cm). Ook is er een duidelijk verschil in temperatuur te zien tussen de dynamische Helmvegetatie enerzijds en de stabiele en matig dynamische Helmvegetatie anderzijds. In de zomerperiode ligt de temperatuur in het dynamische deel duidelijk hoger dan onder de andere vegetaties (figuur 5.1 B, C en D). Dit verschil neemt met dieptes onder 40 cm (B) verder toe (C en D).



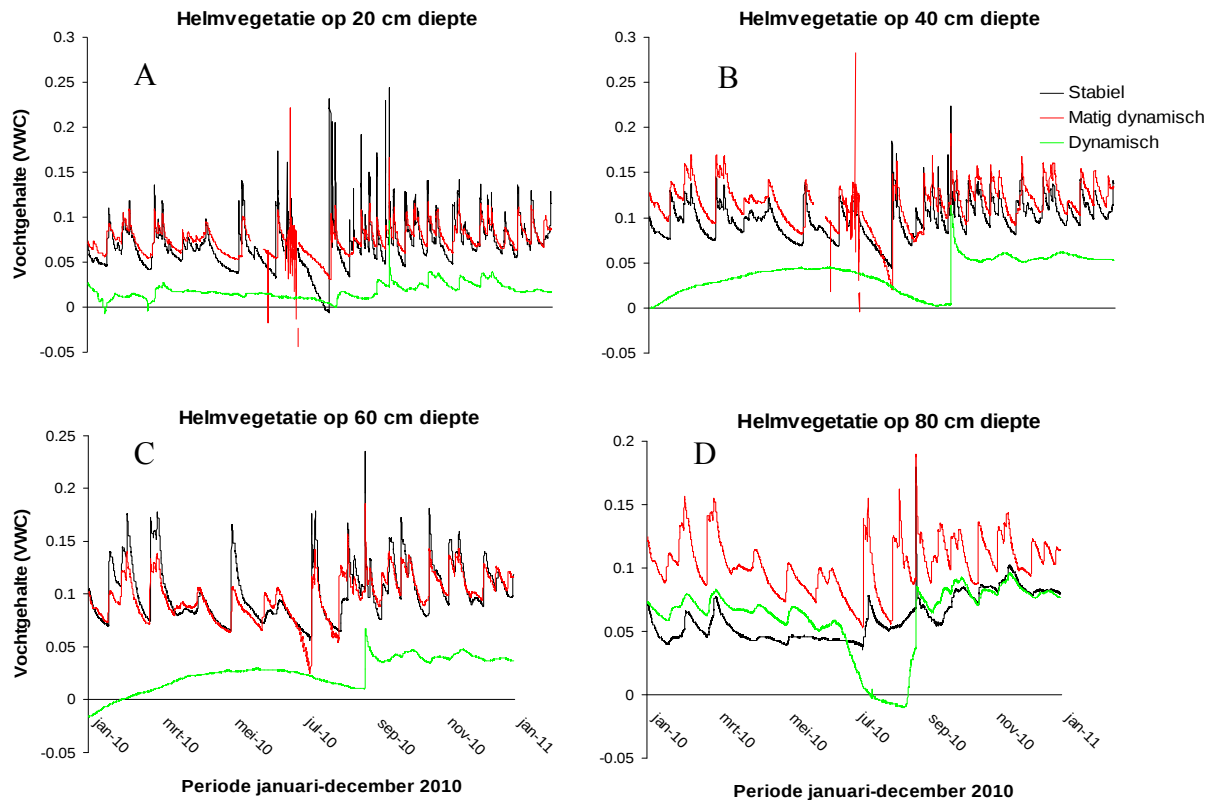
Figuur 5.1: Temperatuurverloop in 2010 onder drie verschillende soorten Helmvegetaties: stabiel zonder verstuiwing, matig dynamisch waarbij sporadisch wordt overstoven met zand en dynamisch waarbij regelmatig wordt overstoven met zand. De hoeveelheid zand per verstuiwingstype is in tabel 5.2 te vinden. Temperatuurmetingen zijn verricht op verschillende dieptes; figuur A op 20 cm, B op 40 cm, C op 60 cm en D op 80 cm diepte.

Duidelijk is te zien dat binnen een dag (zomer) op alle dieptes de temperatuur onder de dynamische Helmvegetatie hoger ligt en het vochtgehalte lager is dan onder de stabiele en matig dynamische vegetaties (Figuur 5.2).

Op alle dieptes (behalve 80 cm) is het bodemvochtgehalte in de dynamische Helmvegetatie door het jaar heen lager dan in stabiele en matig dynamische vegetaties (Figuur 5.3). Opvallend is dat de matig dynamische vegetatie vaak vochtiger is dan de stabiele vegetatie. De dynamische vegetatie schommelt gedurende de looptijd vaak rond de nulwaarde, hetgeen complete droogte betekent. De negatieve waarden in figuur 5.3 moeten dan ook gezien worden als een Volumetric Water Content van 0.



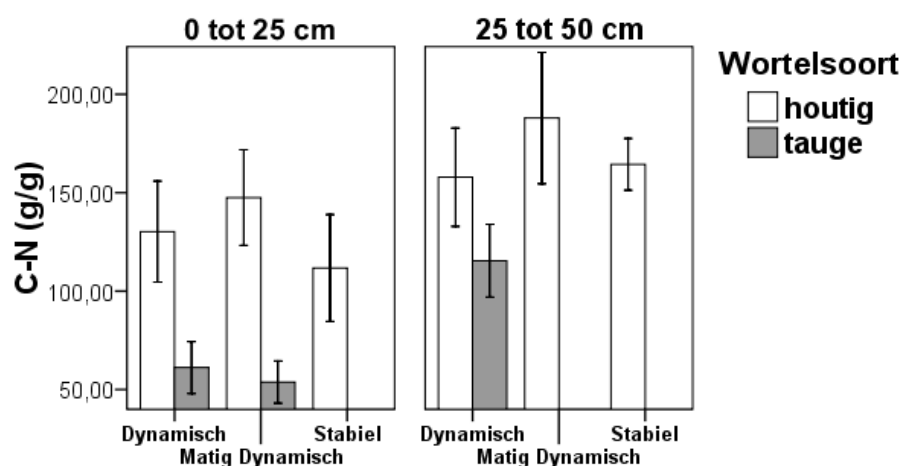
Figuur 5.2: Temperatuur- (in graden Celsius; links, figuur A-C) en vochtverloop (in Volumetric Water Content; rechts, figuur D-E) op 29-07-2009 over een periode van 24 uur onder drie verschillende soorten Helmvegetaties; figuur A en D stabiel zonder verstuiwing, B en E matig dynamisch waarbij sporadisch wordt overstoven met zand en C en F dynamisch waarbij regelmatig wordt overstoven met zand. De hoeveelheid zand per verstuiwingstype is in tabel 5.2 te vinden. Temperatuur- en bodemvochtmetingen zijn verricht op verschillende dieptes (20, 40, 60 en 80 cm).



Figuur 5.3: Bodemvochtgehalte (in Volumetric Water Content) 2010 onder drie verschillende soorten Helmvegetaties: stabiel zonder verstuiwing, matig dynamisch waarbij sporadisch wordt overstoven met zand en dynamisch waarbij regelmatig wordt overstoven met zand. De hoeveelheid zand per verstuiwingstype is in tabel 5.2 te vinden. De vochtgehaltmetingen zijn verricht op verschillende dieptes; figuur A op 20 cm, B op 40 cm, C op 60 cm en D op 80 cm diepte.

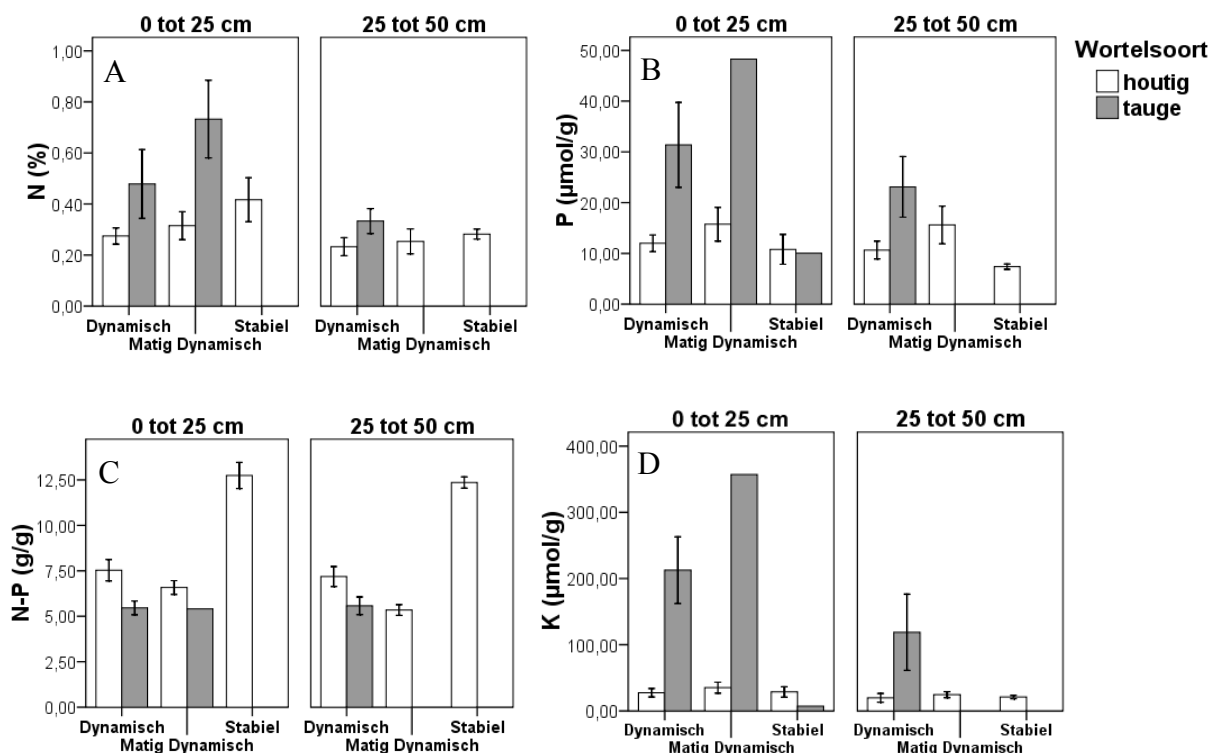
Voedselkwaliteit

Figuur 5.4 laat de C-N ratio van Helmwortels zien op verschillende dieptes in de verschillende klassen. Opvallend is de afwezigheid van verse (taugé) wortels op stabielere locaties en grotere diepte. Naast deze afwezigheid blijkt op de locaties waar dit type wortel wel aanwezig is de C-N ratio lager te zijn dan van de oudere houtige wortels.



Figuur 5.4: C-N gewichtsratio van verse (taugé) en oude (houtig) Helmwortels afkomstig uit verschillende dieptes (0-25 cm en 25-50 cm) en locaties over een gradiënt van veel naar weinig zandverstuiwing (dynamisch, matig dynamisch en stabiel; De hoeveelheid zand per verstuiwingstype is in tabel 5.2 te vinden.). Geen waarde betekent dat er geen taugé wortels te vinden waren. De verschillen tussen en binnen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

In figuur 5.5 zijn op een vergelijkbare wijze als in figuur 5.4 het stikstof percentage (N%; fig. 5.5 A), het totale fosfaatgehalte (5.5 B), de stikstof-fosfaat ratio (5.5 C) en het Kaliumgehalte (5.5 D) weergegeven. Zowel het percentage stikstof als het fosfaat- en kaliumgehalte is in de taugéwortels (op de plekken waar deze in voldoende mate is aangetroffen voor analyse) tussen een 0.5 en 5 maal hoger dan in de verhoude wortels (figuur 5.5 A, B en D). De stikstof-fosfaat ratio is juist lager in de taugé- wortels ten opzichte van de verhoude wortels (figuur 5.5 C).



Figuur 5.5: N percentage (A), P (B), N/P gewichtsratio (C) en K-gehalte (D) van verse (taugé) en oude (houtig) Helmwortels afkomstig uit verschillende dieptes (0-25 cm en 25-50 cm) en locaties over een gradiënt van veel naar weinig zandverstuiving (dynamisch, matig dynamisch en stabiel; De hoeveelheid zand per verstuivingstype is in tabel 5.2 te vinden.). Geen waarde of geen standaard error betekent dat er geen of te weinig taugé wortels te vinden waren. De verschillen tussen en binnen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Overstuiving

In tabel 5.2 is de bruto en netto overstuiving op de verschillende locaties weergegeven. De bruto verstuiving is gemeten in de stortkokers en de netto met erosiepinen. Het bruto zandtransport neemt toe over de klassen van stabiel naar dynamisch. Ook bij de netto verstuiving neemt het afgezette zand toe over de verschillende klassen. De netto afgezette hoeveelheid zand op de matig dynamische klasse was echter te weinig om deze van de stabiele locatie te onderscheiden.

Tabel 5.2: Bruto (cm³) en netto (cm) zandverstuiving per jaar, gemeten op de verschillende monsterlocaties (dynamisch, matig dynamisch en stabiel).

	Bruto (cm ³ /jaar)	Netto (cm/jaar)
Stabiel	0	0
Matig dynamisch	59	0
Dynamisch	14091	34

5.4 Discussie/conclusie

Vorbereidingsplan kustduinen

Onderzoek naar het belang van verstuiving in het duinsysteem staat hoog op de prioriteitenlijst, vooral naar de effecten op flora en fauna (van den Burg, 2009). Het onderzoek naar de doorwerking van verstuiving op het voorkomen van bladsprietkeverlarven maakt daar een belangrijk deel van uit (Wouters et al, 2009). Door inzicht te krijgen in de processen die verantwoordelijk zijn voor het wel of niet voorkomen en het succes van planten- en diersoorten kan toekomstig beheer beter uitgevoerd worden. De resultaten uit het VK onderzoek hebben daar een eerste goede aanzet toe geleverd.

Voedselkwaliteit Helm

Het voorkomen van meer keverlarven bij een hogere mate van overstuiving is al aangetoond in het VK onderzoek (Wouters et al, 2009). Naast het feit dat door de verstuiving meer verse Helmwortels aanwezig zijn (Willis, 1989), blijkt de kwaliteit ervan ook van hoger niveau te zijn. Verse wortels hebben een lagere koolstof-stikstof (C-N) verhouding dan oudere verhoutte wortels (Fig. 5.4). Dit maakt ze beter verteerbaar voor herbivoren. Hiernaast bezitten ze ook een hoger stikstof-, fosfaat- en kaliumgehalte (Fig. 5.5). Dit zijn allemaal essentiële bouwstoffen voor de groei en ontwikkeling van een larve en worden onder andere gebruikt als elementen in DNA/RNA en ATP. Ook de verhouding tussen stikstof en fosfaat (die lager is in verse wortels) is gunstig voor de voedselkwaliteit voor herbivoren (Vogels et al. 2011). Veel herbivore soorten kunnen hun voedselbehoefte namelijk alleen afstemmen op de hoeveelheid opgenomen N (compensatory feeding). Bij een hoge N-P verhouding kunnen zij in de problemen komen door een te lage inname van fosfaat. Berner *et al.* (2005) vonden aanwijzingen voor compensatory feeding bij de sprinkhaansoort *Omocestus viridulus* voor stikstof. Individuen consumeerden meer vegetatie wanneer deze een hoge C-N ratio had. Hiernaast blijkt ook uit deze bemonstering nogmaals dat verse wortels voornamelijk in de meer overstoven delen voorkomen (Fig. 5.5). Taugé wortels kwamen niet op stabiele locaties voor, hier werden alleen houtige wortels aangetroffen. In deze taugé delen met verse celgroei (wortelpunten), zijn de elementen stikstof, fosfaat en kalium altijd in hogere concentraties aanwezig.

Microklimaat

Naast het feit dat dit grotere aanbod van vers wortelmateriaal, de betere bereikbaarheid en verteerbaarheid ervan grote voordelen kan opleveren voor de groei en ontwikkeling van de larven, kan het microklimaat ook een belangrijke rol spelen (Brussaard, 1983). Uit het huidige onderzoek blijken de microklimaatcondities op dynamische locaties gunstiger (warmer en droger) voor de ontwikkeling van larven dan in stabiele en matig dynamische locaties (Fig. 5.1, 5.2 & 5.3). De hogere temperatuur op dynamische plekken kan bijdragen aan een hogere ontwikkelingssnelheid van de larven van de Kleine junikever op die plekken in vergelijking met de stabiele en matig dynamische locaties. Ook een lager vochtgehalte (Fig. 5.2 & 5.3) kan bijdragen aan de hogere aantallen keverlarven op de dynamische plekken doordat een lager vochtgehalte de kans op schimmelinfectie van de larven verlaagt.

*Ecologie *Anomala dubia**

De larven van de kleine junikever beschikken hiernaast ook over het vermogen om te migreren tot één meter diepte (Wouters et al, 2009). Mogelijk gebruiken zij dit vermogen om op zoek te gaan naar de juiste vochtomstandigheden voor hun ontwikkeling. Dit geeft een concurrentievoordeel ten opzichte van soorten die niet over dit vermogen beschikken. Op deze wijze kan de soort er waarschijnlijk actief voor zorgen zich te omringen met een juiste

combinatie van temperatuur, voedsel en vocht om zijn levenscyclus zo snel mogelijk te voltooien. De lagere aantallen van *Anomala dubia* op de stabiele en matig dynamische plekken kan betekenen dat de larven op deze locaties niet de optimale combinatie tussen temperatuur, voedsel en vocht kunnen vinden. Op stabiele locaties, waar het overgrote deel van de wortelbiomassa zich in de bovenste 20 cm bevindt, zal *Anomala dubia* wellicht moeten concurreren om voedsel met de rozenkever (*Phyllopertha horticola*; Wouters et al, 2009). Door deze concurrentie kan de ontwikkelingssnelheid mogelijk verder vertraagd worden.

Voedselweb

Bovenbeschreven effecten van overstuiving van Helmvegetaties kunnen bijdragen aan het hogere aantal adulten kevers dat uitsluispt. Verder kunnen op dynamische plekken larven zich door een warmer en droger microklimaat waarschijnlijk sneller ontwikkelen. Verstuiving kan via een stimulatie van het voedselweb zo mede verklarend zijn voor de hogere aantallen Grauwe Klauwieren die voorkomen in van nature nog stuivende duinen in Denemarken.

5.5 Samenvatting

Vergelijkend onderzoek tussen de Nederlandse en Deense duinen heeft uitgewezen dat in intacte meer dynamische witte duinen bladsprietkevers een zeer belangrijke prooi vormen voor Grauwe klauwieren (een graadmeter voor een goed functionerend duinsysteem). Waarschijnlijk is door de grote afname aan dynamiek in het Nederlandse duingebied het leefgebied van deze bladsprietkevers achteruit gegaan, en hiermee ook het voedselaanbod voor Grauwe klauwieren.

Deze bladsprietkevers leven van de wortels van Helm. Als Helm overstoven wordt maakt deze telkens nieuwe verse wortels aan. Zonder overstuiving groeit de Helm minder en krijgt bovendien last van pathogene, waardoor de wortels verhouten. In dit onderzoek is gekeken naar de leefomstandigheden en het voedselaanbod voor bladsprietkevers in de Nederlandse duinen, hierbij is onderscheid gemaakt tussen dynamische, matig dynamische en stabiele helmvegetaties.

Onder de dynamische helmvegetaties blijken tot twee keer meer larven voor te komen dan onder matig dynamische locaties en tot zes keer meer dan onder stabiele locaties. Het opnieuw redynamiseren van witte duinen waardoor nieuwe helmvegetaties ontstaan die vaak overstoven worden, levert een vergelijkbaar aantal larven op dan op locaties die van nature dynamisch zijn.

Het voorkomen van dit hogere aantal larven op dynamische locaties wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de daar heersende microklimaatomstandigheden en de kwantiteit en kwaliteit van het voedsel. Op de dynamische plekken wordt het ondergronds warmer en blijft het droger. Meer warmte kan zorgen voor een snellere ontwikkeling van de larven en daarnaast verkleint een droger milieu de kans op schimmelinfecties. Hiernaast is op de dynamische locaties meer vers wortelmateriaal aanwezig. Het verse materiaal is verder beter verteerbaar en heeft hogere concentraties aan belangrijke mineralen.

De hierboven beschreven effecten van overstuiving van helmvegetaties kunnen bijdragen aan het hogere aantal adulten kevers dat uitsluispt. Verder kunnen op dynamische plekken larven door een warmer en droger microklimaat waarschijnlijk sneller ontwikkelen. Verstuiving kan via een stimulatie van het voedselweb zo mede verklarend zijn voor de hogere aantallen Grauwe klauwieren die voorkomen in de van nature nog stuivende duinen in Denemarken.

6. Verstuiving duingraslanden

6.1 Introductie

Het is de verwachting dat de processen, zoals deze beschreven staan onder het hoofdstuk verstuiving witte duinen (pag. 34), ook vergelijkbaar in verstuivende duingraslanden doorwerken op boven- en ondergrondse herbivore fauna. Met behulp van aanvullende veldmetingen in duingraslanden is gekeken hoe de herbivore fauna reageert op veranderingen in overstuiving met zand. Hierbij zal gezocht worden naar soorten die voor het voorkomen in hoge aantallen afhankelijk lijken te zijn van verstuiving. Op deze wijze wordt gekeken of de resultaten uit het hoofdstuk “verstuiving witte duinen” tijdens het OLD dan ook geëxtrapoleerd kunnen worden naar herbivore insecten in grijze duinen. Verder is het uitermate belangrijk om ook te begrijpen waarom soorten reageren op verstuiving. Er is dan ook een labexperiment uitgevoerd waarbij onder gestandaardiseerde omstandigheden metingen hebben plaatsgevonden. Hierbij is gekeken naar het effect van verschillende mate van overstuiving op de kwaliteit van grassen. Ook atmosferische stikstofdepositie kan een grote invloed hebben op de groeiwijze van grassen. Er is daarom ook gekeken of de effecten van overstuiving veranderen bij verschillende stikstofdeposities. De terugkoppeling met fauna is gemaakt door sprinkhanen op te kweken op de grassen afkomstig uit de verschillende zand- en stikstofbehandelingen. De chemische samenstelling van de veldgrassen is vergeleken met de labgrassen. Hierbij wordt geprobeerd een doorvertaling te maken van de effecten van de verschillen in voedselkwaliteit op fauna naar de veldsituatie. De sprinkhanen functioneren in dit geval als een modelsoort voor de andere fauna verzameld in de veldbemonsteringen. Met al deze aanvullende metingen in duingraslanden is het de bedoeling op verschillende schaalniveaus en in verschillende habitattypen (duingraslanden & witte duinen) het belang van zandverstuiving voor voedselkwaliteit en de doorwerking daarvan op fauna te doorgronden.

Hypothesen:

- Overstuiving met vers duinzand zorgt voor de productie van jonge wortels en bovengrondse scheuten die kwalitatief beter voedsel vormen (lagere C:N, meer essentiële nutriënten) voor onder- en bovengrondse herbivore insecten.
- In stabiele bodems vindt verwerking van zand en uitspoeling van mineralen plaats. Dit proces wordt versneld door atmosferische depositie van verzurende stoffen. Overstuiving met vers, verweerbaar en basenrijke zand leidt tot een toename van mineralen in de bovenste bodemlaag, waardoor de voedselkwaliteit van planten (met name af te lezen aan minerale bestanddelen) toeneemt.

Doelstelling:

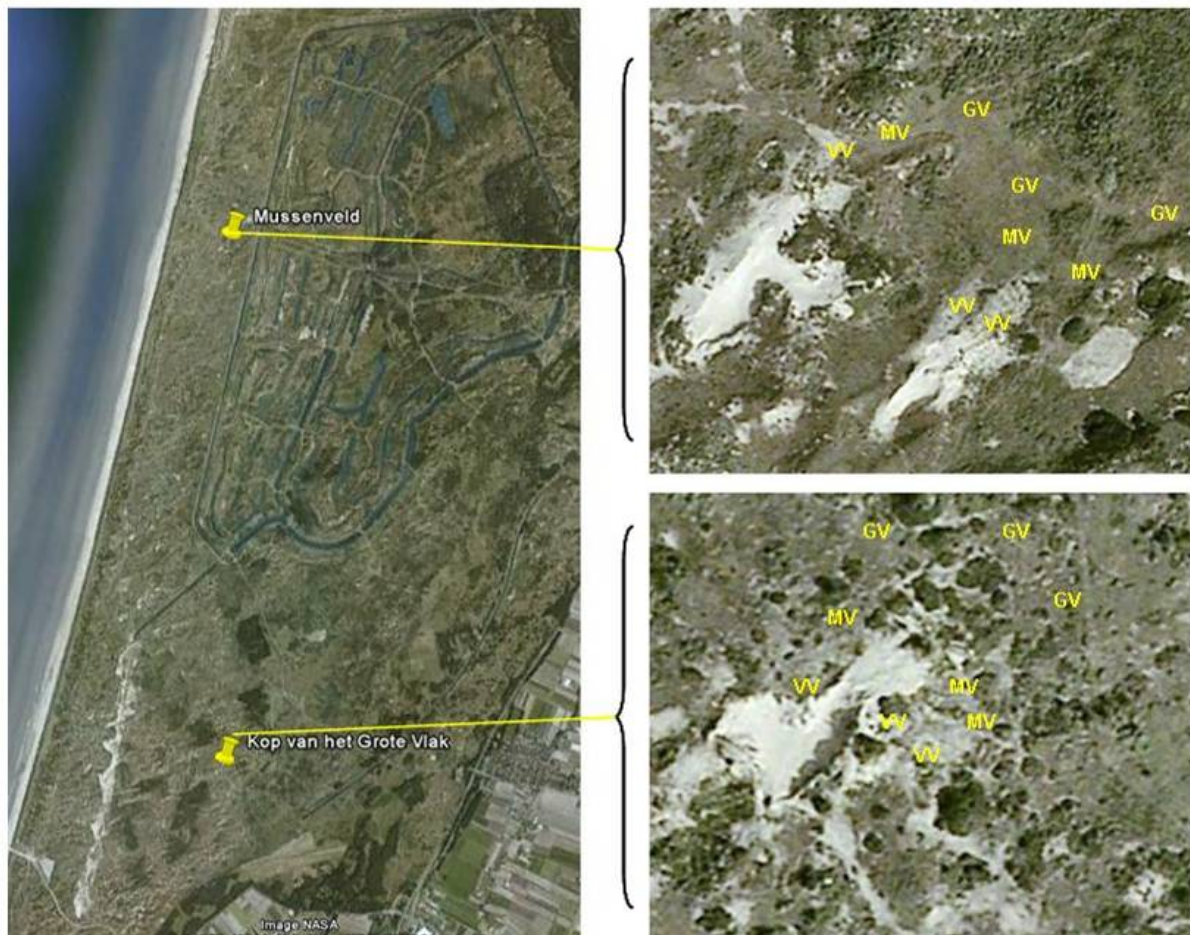
- Inzicht verschaffen in de relatie tussen de mate van overstuiving en de bovengrondse plantkwaliteit, af te lezen aan de aanwezigheid van macronutriënten in het gras zoals N, P, K en C etc.
- Effecten van veranderingen van de hoeveelheid verstuiving op het voorkomen van een aantal herbivore groepen (kevers, wantsen, cicaden, muggen en vliegen, sprinkhanen, vlinders en slakken) analyseren.
- Effecten bepalen van veranderingen van bovengrondse plantkwaliteit van *Festuca rubra*, door verstuiving en stikstofdepositie, op de ontwikkeling van *Myrmeleotettix maculatus*
- Kennis leveren voor het herstellen van duingraslanden met de daarin thuishorende planten- en diersoorten die afhankelijk zijn van overstuiving met vers duinzand.

6.2 Methodiek

Onderzoekslocaties en –methode veldmeting

In 2009 en 2010 hebben er bemonsteringen plaatsgevonden op een gradiënt van afnemende verstuiving achter twee stuifkuilen in de grijze duinen in de Amsterdamse waterleidingduinen (Kop van het Grote Vlak en het Mussenveld). Hierbij is zowel de fauna bemonsterd (plaggen, sleepmonster en piramidevallen; Foto 6.2) als de zandverplaatsing gemeten (knikkerbakken; Foto 6.3) op de gradiënt van verstuiving. In figuur 6.1 is de ligging van de monsterlocaties te zien en de verdeling van de monsterpunten. Deze zijn verdeeld over drie verstuivingstypen (VV: veel verstuiving, MV: matige verstuiving en GV: geen verstuiving). Op elke locatie (Mussenveld en Kop van het Grote Vlak) zijn deze verstuivingstypen (VV, MV en GV) in drievoud bemonsterd. Dus zijn er negen monsterpunten per locatie en in het totaal 18 monsterpunten aanwezig (GPS punten zijn weergegeven in bijlage 6.1).

De hoeveelheid zand die overstoven wordt, is gemeten op zes punten per locatie, in totaal 12 monsterpunten. Foto 6.1 laat de gradiënt van verstuiving gedurende het jaar zien.



Figuur 6.1: Overzicht van de AWD met daarin de onderzoeksgebieden Mussenveld en Kop van het Grote Vlak. Op de uitvergroting zijn de afzonderlijke stuifkuilen zichtbaar met de verdeling van monsterpunten. De monsterpunten zijn onderverdeeld naar verstuivingstype (VV: veel verstuiving, MV: matige verstuiving en GV: geen verstuiving).

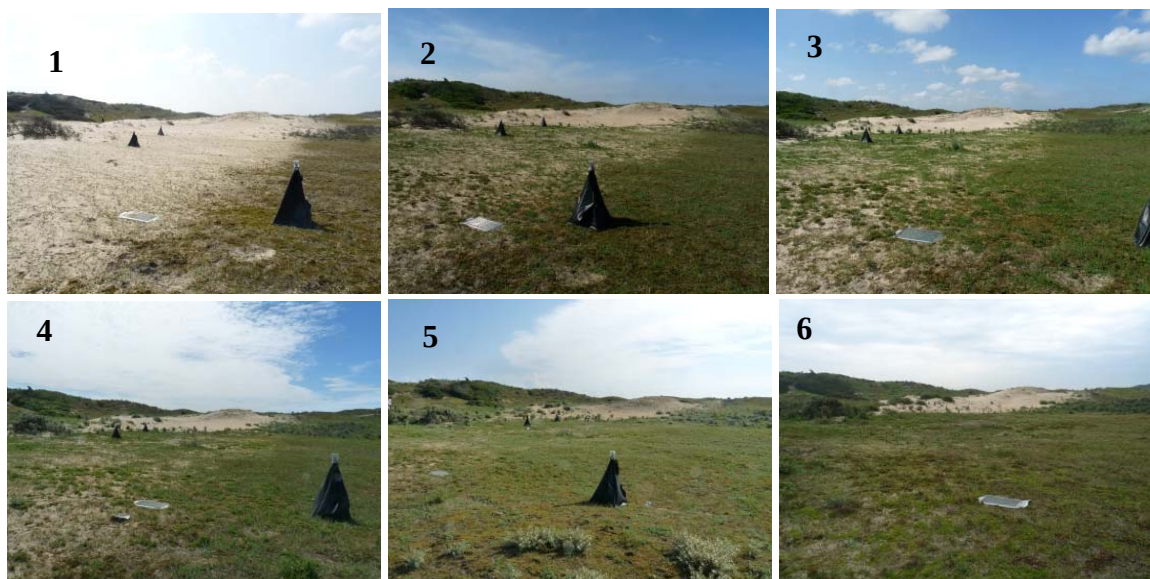


Foto 6.1: De verandering van vegetatie over de gradiënt van verstuiving gedurende het jaar (1 t/m 6: april t/m september). De gradiënt achter een stuifkuil loopt van veel verstuiving (achteraan op de foto's) via matige verstuiving (midden foto's) naar geen overstuiving (voor op de foto's). Op de foto's zijn verder nog piramidevallen (zwarte tent op bijv. foto 1) en knikkerbakken te zien (grijze vierkant op bijv. foto 3).

Faunabemonstering veld

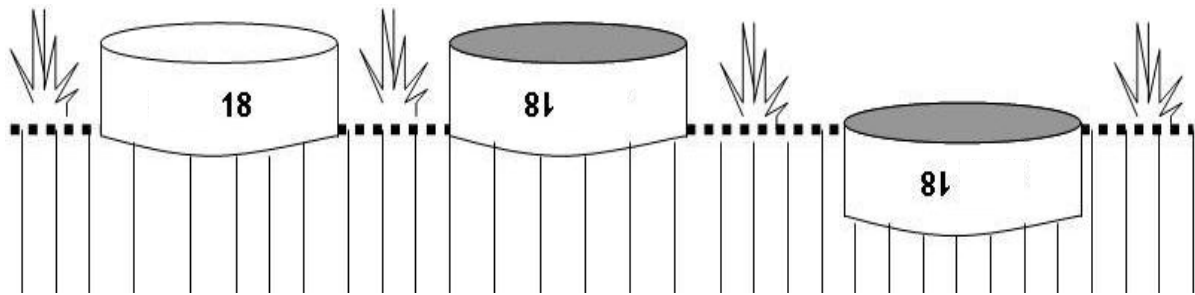
Gedurende de periode van augustus tot oktober 2009 en mei tot september 2010 zijn zeven maal piramidevallen geleegd en sleepmonsters genomen (Foto 6.2). Beide bemonsteringen zijn per locatie in drievoud per verstuivingstype genomen. De piramidevallen hebben zeven maal drie weken gestaan om fauna te verzamelen. Bij elke leging van de piramidevallen zijn sleepmonsters genomen met twee personen op een oppervlakte van vier bij vier meter. Het vlak werd bemonsterd doordat beide personen in tegengestelde richting met een vangnet met een slagbeweging in vier banen van een meter het oppervlakte afliepen. Van beide vangstmethoden is de verzamelde fauna na de vangst overgebracht op 70% alcohol en op het lab tot op orde gescheiden. Hierbij zijn de herbivore ordes gescheiden van de rest groep. Van de verzamelde vangsten zijn de Coleoptera, Heteroptera en Diptera tot op familie en waar kon tot op soort gedetermineerd.



Foto 6.2: Piramideval (links). Taartvormen voor het verzamelen van bodemplaggen (midden). Het nemen van sleepmonster (rechts).

In december 2009 en mei 2010 zijn per locatie op elk van de negen monsterpunten vier plagmonsters genomen. Er is voor deze datums gekozen om de aanwezige insecten in verschillende ontwikkelingsstadia te bemonsteren. Tijdens deze twee bemonsteringen zijn samen 144 plaggen gestoken. De biotische en abiotische omstandigheden van de directe omgeving zijn hierbij vastgelegd (zie veldformulier bijlage 6.2). Elk plagmonster werd genomen door een springvorm (Ø 28 cm) met de bodem omhoog op de vegetatie te plaatsen.

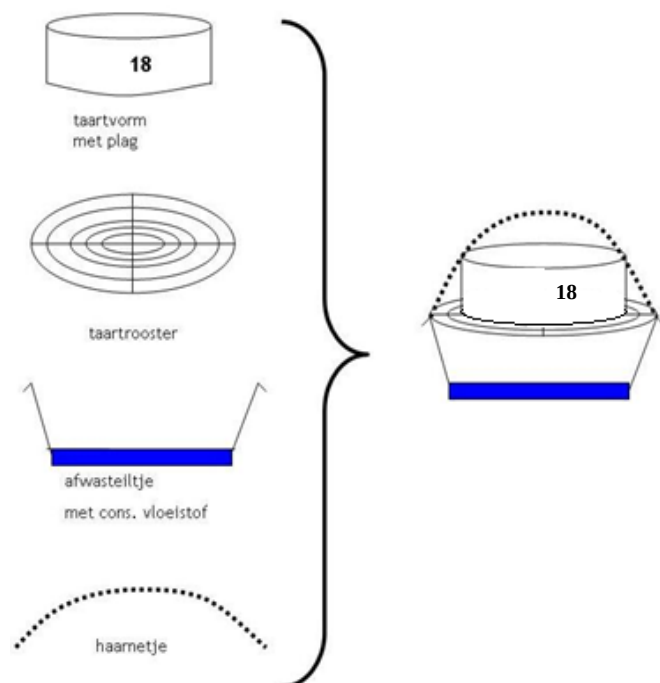
Door de springvorm in de groef te drukken en de spade eronder te steken, kon het monster uit de grond worden gehaald; zie figuur 6.2.



Figuur 6.2: Schematische weergave van het steken van een plagmonster. Na selectie van de locatie werd de springvorm omgekeerd in de grond gestoken.

De plagmonsters zijn met label in een plastic zak naar het lab vervoerd. Hier zijn de plaggen op een wasteil met daarboven een rooster geplaatst, waarna de metalen bodem van de springvorm is verwijderd. Er werd een haarnetje over het geheel gespannen om ontsnapping van fauna te voorkomen (Fig. 6.3).

Boven de plaggen zijn warmtebronnen geplaatst in de vorm van warmtelampen (Fig. 6.3). Hiermee werden de plaggen gedurende drie weken langzaam van boven naar beneden uitgedroogd en werd de aanwezige fauna gedwongen naar beneden te migreren. Onder aangekomen is de fauna opgevangen in de wasteil met conserverende vloeistof en later bewaard in 70% alcohol tot analyse. De verzamelde fauna is op het lab tot op orde gescheiden. Hierbij zijn de herbivore ordes gescheiden van de rest groep, de Coleoptera, Heteroptera en Diptera zijn daarna verder tot op familie en waar kon tot op soort gedetermineerd.



Figuur 6.3: Foto en schematische weergave van de opstelling voor extractie van macrofauna uit de plagmonsters.

Verstuiving veld

In de duingraslanden van de Kop van het Grote Vlak en het Mussenveld zijn knikkerbakken geplaatst (Foto 6.3). Deze vallen zijn opgebouwd uit een opvangbak met daarboven een rooster met knikkers. Inwaaiend zand kan tussen de knikkers door in de opvangbak terecht komen, maar niet meer naar buiten. Knikkerbakken meten dus een bruto verstuiving op een locatie. De knikkerbak werd gelijk aan het bodemoppervlak gelegd zodat zandopbouw naast de knikkerbak als maat voor netto verstuiving kon worden genomen. De vallen werden per 01-10-2009 geplaatst en regelmatig gecontroleerd en zo nodig geleegd.



Figuur 6.3: Knikkerbak voor het meten van verstuiving in duingraslanden.

Methode labexperiment Festuca rubra

In 2010 en 2011 is een labexperiment uitgevoerd om te kijken naar de effecten van stikstofdepositie en overstuiving met zand op plantkwaliteit en de doorwerking daarvan op Knosprietjes (*Myrmeleotettix maculatus*). Hiervoor werd in een kas Rood zwenkgras (*Festuca rubra*) opgekweekt onder drie verschillende stikstofconcentraties en drie hoeveelheden van overstuiving, in het totaal dus negen behandelingen. Alles werd in viervoud gedaan, wat resulteerde in 36 bakken met Rood zwenkgras (Foto 6.4). Het gras werd ingezaaid op “schoon” duinzand, verzameld uit het verstuivende deel van het gedempte van Limburg Stirum kanaal. Wekelijks werden de planten water gegeven en overstoven met hetzelfde zand. De bewatering vond (behalve in de winterperiode) twee maal per week plaats met demiwater (< 1 micro Siemens) verrijkt met zuiver NO_3NH_4 . De hoeveelheid water werd gelijk gehouden aan de gemiddelde wekelijkse neerslag in Nederland (berekend door de jaarlijkse neerslag te delen door 52 weken). De stikstofconcentraties kwamen overeen met 2, 20 en 60 kilogram stikstof per hectare per jaar voor de verschillende behandelingen. Hierbij wordt de concentratie van 2 gezien als een natuurlijke achtergrond depositie, 20 als vergelijkbaar met de Nederlandse depositie (zeker in het recente verleden) en 60 als een extreem hoge depositie. Voor de overstuiving met zand is gekozen voor 0, 5 en 15 cm overstuiving per jaar. Hiervoor werd wekelijks (behalve in de winterperiode) een kleine hoeveelheid zand over de bakken verdeeld.

Gedurende het experiment is in 2010 (juni, augustus en september) en in 2011 (mei en augustus) per bak plantmateriaal verzameld. Van alle bemonsteringen is een CN-analyse uitgevoerd (in 2010 ook N-gehalte in de celwand) en het plantmateriaal uit september 2010 en mei 2011 is gebruikt voor chemische analyse van het totale plantmateriaal. Het plantmateriaal uit de bakken is meteen na het knippen ingevroren. In dezelfde periodes in 2010 (eind juli) en

in 2011 (eind augustus) is ook op de veldlocaties (Kop van het Grote Vlak en het Mussenveld, Amsterdamse waterleidingduinen) plantmateriaal verzameld voor chemische analyse van het totale plantmateriaal en bepaling van het N-gehalte in de celwand (zie bijlage 6.3 voor protocol). Door de afwezigheid van voldoende *F. rubra* in het veld is op deze locaties is een mix van smalbladige grassen verzameld (o.a. *F. rubra*, *Festuca ovina* en *Agrostis spec.*). Dit plantmateriaal is bij terugkomst op het lab ingevroren. Alle plantendelen werden in papieren zakken bewaard en in het lab bij 70°C 48 uur gedroogd, daarna werd het drooggewicht gemeten. Het plantmateriaal is gemalen met een kogelmolen (Kogeltrilmolen MM301, Retsch). Totaal N is gemeten met een “Elemental Analyzer” (EA 1110 Elemental Analyzer, Carlo Erba/ Thermo Fisher Scientific). Voor de bepaling van de concentraties van alle andere elementen in de plant (bv. P, S, K, Al etc.) is 200 mg van het gemalen materiaal in een Milestone magnetron gedestruëerd (type Ethos D, Milestone Inc., Sorisole, Italy) na toevoeging van 4 ml HNO₃ (65 %) en 1 ml H₂O₂ (30 %) (Kingston and Haswell, 1997). De concentraties van de elementen zijn na deze zure destructie met ICP (inductively-coupled plasma emission spectrophotometry: ICP-OES: IRIS Intrepid II XDL, Thermo Fisher Electric, Breda, The Netherlands) geanalyseerd.

Het zand gebruikt voor het experiment is doorgemeten aan het begin en na de laatste plantbemonstering in augustus 2010. In het lab werd deze bodem tot aan het tijdstip van de chemische analyse in een vriezer bewaard. Uit een deel van het gedroogde en gezeefde (2 mm maaswijdte, wortelen en steentjes verwijderd) bodemmateriaal werd de totale hoeveelheid organische massa (LOI – loss on ignition, 550 °C 8 uur) bepaald. Het andere deel werd gemortierd in een kogelmolen (Kogeltrilmolen MM301, Retsch). De totale extraheerbare hoeveelheden van de verschillende elementen (bv. K, P, S, Al etc.) werden met behulp van een zure destructie bepaald. Hiervoor werd 200 mg van het gemalen materiaal in een Milestone magnetron gedestruëerd (type Ethos D, Milestone Inc., Sorisole, Italy) na toevoeging van 4 ml HNO₃ (65 %) en 1 ml H₂O₂ (30 %) (Kingston and Haswell, 1997). De concentraties van de elementen zijn na deze zure destructie met ICP (inductively-coupled plasma emission spectrophotometry: ICP-OES: IRIS Intrepid II XDL, Thermo Fisher Electric, Breda, The Netherlands) geanalyseerd. De concentraties van NO₃⁻ (water extract) en NH₄⁺ (0.2 M NaCl extract) van de verse bodemmonsters werden gemeten met een Auto Analyzer 3 systeem (Bran+Luebbe, Norderstedt, Germany) met de oplossing ‘hydrazine sulphate’ (Technicon, 1969) en ‘salicylate’ (Grasshoff and Johannsen, 1977), respectievelijk.



Foto 6.4: de 36 kweekbakken met rood zwenkgras (*Festuca rubra*) in de kas

Labexperiment Myrmeleotettix maculatus

Eind mei 2010 zijn in de duinen nimfen van knosprietjes verzameld, hierbij werd geprobeerd zoveel mogelijk nimfen van het eerste en tweede stadium te verzamelen. In het totaal zijn 180 sprinkhaannimfen gebruikt bij het experiment, 20 per elk van de negen behandelingen. Elk individu werd apart in een bakje geplaatst in een klimaatruimte waar temperatuur ($\pm 20^{\circ}\text{C}$) en luchtvochtigheid ($\pm 70\%$) constant waren (foto 6.5 links).

De sprinkhanen werden in 2010 twee maal per week gevoerd met *Festuca rubra* (afkomstig van de kweek zoals hierboven beschreven) en van voldoende water voorzien. Iedere week (totale periode ± 3 maanden) werden alle individuen gewogen en werd een foto gemaakt op millimeterpapier om later hun lengte te bepalen (foto 6.5 midden en links).



Foto 6.5: Opstelling van bakjes met sprinkhaannimfen in de klimaatruimte (links), wegen van de sprinkhaannimf op de weegschaal (midden), sprinkhaannimf op millimeterpapier voor bepaling van de lengte (rechts).

Compensatory feeding experiment

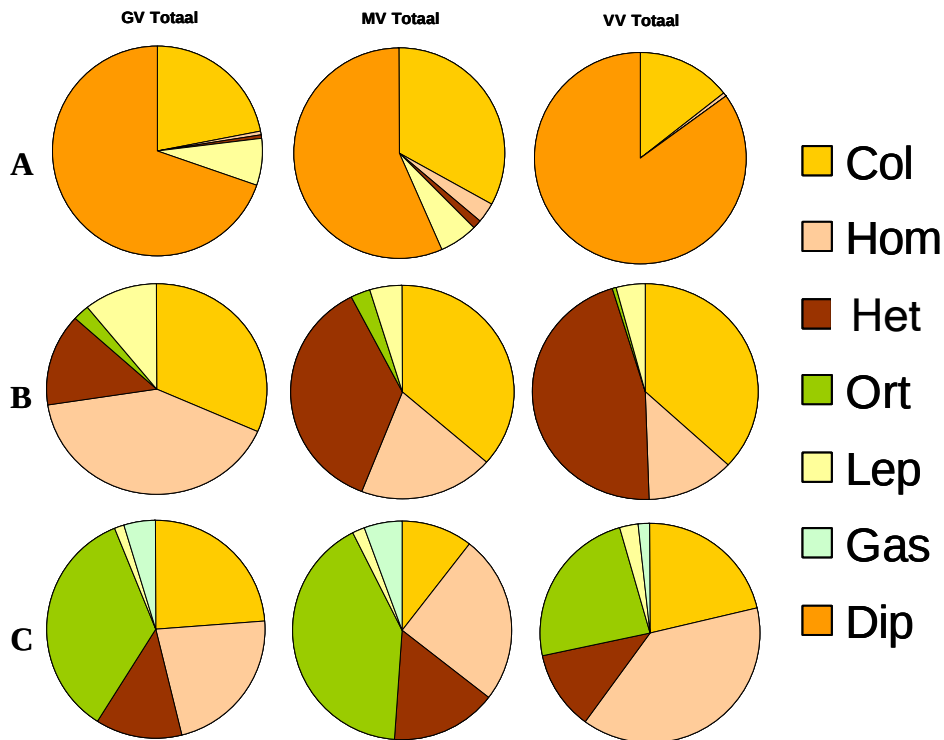
In 2011 werden in mei opnieuw knosprietnimfen verzameld in het veld. Dit maal is een experiment uitgevoerd om de consumptie van grassen door de sprinkhanen te meten. De vier meest extreme behandelingen uit de graskweek (stikstof 2 kg N/ha/jaar met 0 cm en 15 cm zand overstuiving; stikstof 60 kg N/ha/jaar met 0 cm en 15 cm zand overstuiving) werden gebruikt voor dit experiment. Per behandeling werden 10 sprinkhanen (vergelijkbare huisvesting als in 2010) voor twee weken gevoerd met deze grassen. Aan het begin en eind van de twee weken werd het gewicht van de sprinkhanen bepaald. Om de dag werd nieuw voer aangeboden aan de sprinkhanen. Van elke voeding is het versgewicht bepaald, het resterende deel van de vorige voeding werd gedroogd en later gewogen. Door de vers-droog ratio van het aangeboden gras te bepalen kon berekend worden welk deel van het voedsel geconsumeerd was. Van de aangeboden behandelingen werden tegelijk chemische bepalingen van de grassen verricht.

6.3 Resultaten

Faunabemonstering veld

Figuur 6.4 geeft een overzicht van de verhoudingen van aangetroffen individuen per orde, opgedeeld naar bemonsteringsmethode en verstuiwingstype. Deze figuren zijn gebruikt om een keuze te maken welke groepen verder uitgewerkt zullen worden. Op basis van het grote aandeel in de totale bemonstering is besloten bij de plaggen (figuur 6.4 A) de Diptera (vliegen

en muggen) en Coleoptera (kevers) tot op familie en waar kon tot op soort uit te werken. Uit de piramidevallen (Fig. 6.4 B) zijn de Coleoptera en de Heteroptera (wantsen) op hetzelfde niveau uitgewerkt. Omdat de vangsten van de sleepnetten in mindere mate dan de plaggen of piramidevallen iets zeggen over de fauna van exact die locatie, zijn deze tot op heden niet verder uitgewerkt.

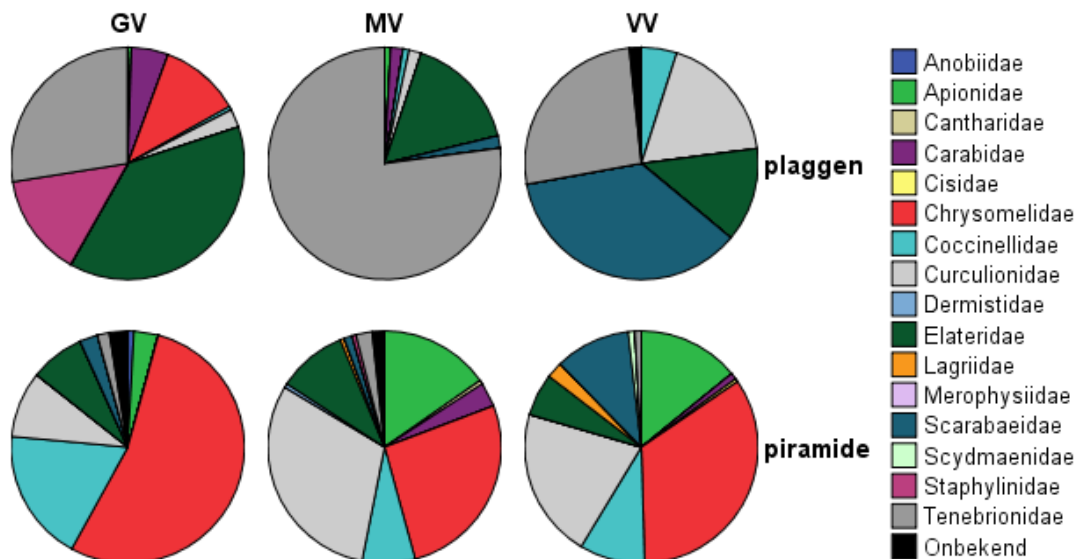


Figuur 6.4: Taartdiagrammen van de verdeling van individuen over de ordes per verstuiwingstype (Geen Verstuiwing, Matige Verstuiwing en Veel Verstuiwing) en de verschillende bemonsteringsmethoden (plaggen A, piramidevallen B en sleepnetten C). De volgende ordes komen aan bod: Coleoptera (kevers), Homoptera (cicaden), Heteroptera (wantsen), Lepidoptera (vlinders), Diptera (vliegen en muggen), Orthoptera (sprinkhanen) en Gastropoda (slakken).

Figuur 6.5 laat de taartdiagrammen zien van de keverfamilies aangetroffen in de plaggen en piramidevallen. Bij de plaggen is de verhouding tussen aantallen individuen 178:116:61 (GV:MV:VV), bij de piramidevallen is de verhouding van het aantal gevangen individuen precies andersom 119:164:220 (GV:MV:VV). Duidelijk is te zien dat de verschillende methoden andere groepen vangen. Bij de plaggen worden de Scarabaeidae (bladspruitkevers) bijna alleen aangetroffen in de veel verstoven stukken. Het aandeel Tenebrionidae (zwartlijven) is verreweg het grootst in de matig verstoven stukken. De Elateridae (kniptorren) hebben juist weer een groter aandeel in de niet overstoven stukken, hiernaast zijn de groepen Chrysomelidae (Bladhaantjes) en Staphylinidae (Kortschildkevers) bij de andere behandelingen afwezig.

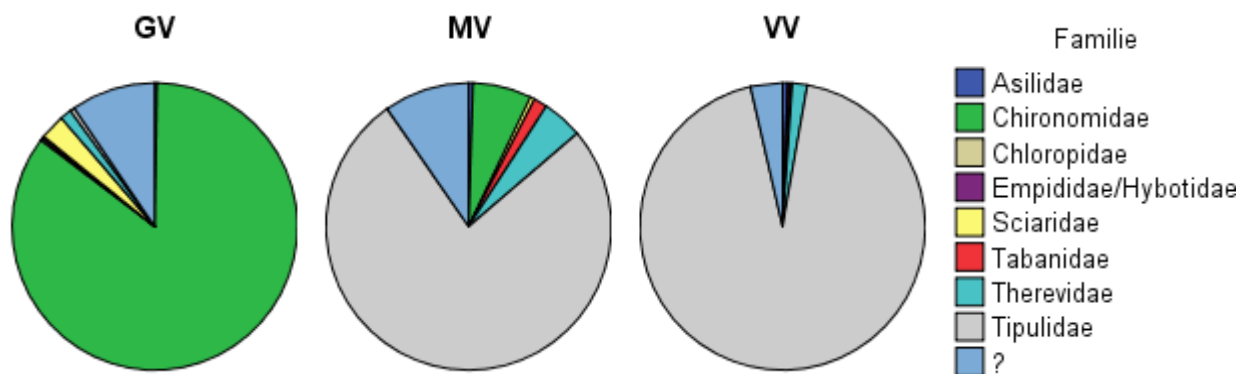
Bij de piramidevallen zijn de figuren van de matig en veel overstoven stukken vrijwel gelijk. In de niet overstoven stukken zijn wat minder Curculionidae (snuitkevers) aanwezig maar wel meer Coccinellidae (Lieveheersbeestjes) en Chrysomelidae.

Als gekeken wordt naar de voedselgilden (data niet weergegeven) blijkt bij elk verstuiwingstype 90-95% van de dieren herbivoor te zijn. De andere 5-10% zijn carnivoor, fungivoor, omnivoor of onbekend. Er is bij de kevers dus geen verschil in voedselgilden aangetroffen tussen de verschillende verstuiwingstypes.

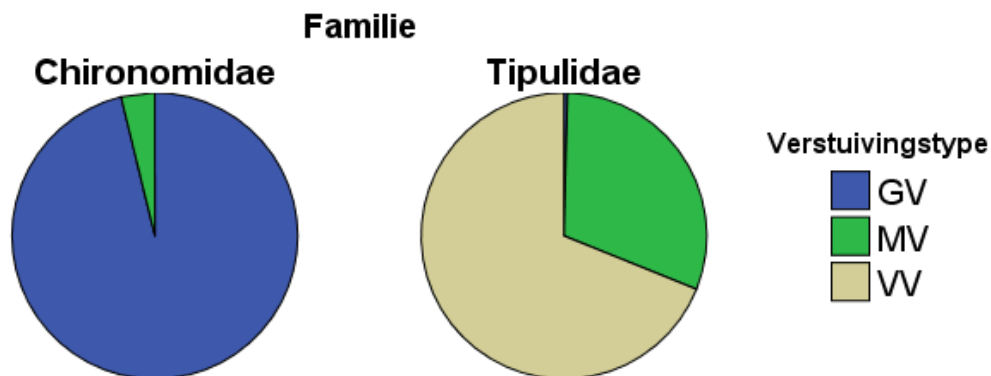


Figuur 6.5: Taartdiagrammen van de verdeling van individuen over de keverfamilies per verstuivingstype (Geen Verstuiving, Matige Verstuiving en Veel Verstuiving) en de verschillende bemonsteringsmethoden (plaggen, piramidevallen). De volgende families komen aan bod: Anobiidae (Klopkevers), Apionidae (onderfamilie snuitkevers), Cantharidae (Weekschildkevers), Carabidae (Loopkevers), Cisidae (Boomzwamkevers), Chrysomelidae (Bladhaantjes), Coccinellidae (Lieveheersbeestjes), Curculionidae (Snuitkevers), Dermistidae (Spekkevers), Elateridae (Kniptorren), Lagriidae (Wolkevers), Merophysiidae (onderfamilie zwamkevers), Scarabaeidae (Bladsprietkevers), Scydmaenidae (Mierenkevertjes), Staphylinidae (Kortschildkevers), Tenebrionidae (Zwartlijven) en onbekend.

Figuur 6.6 laat de taartdiagrammen zien van de verdeling van dipterafamilies uit de plaggen. De verhoudingen tussen het aantal individuen is 387:196:360 (GV:MV:VV). De twee grootste groepen zijn de Chironomidae (Dansmuggen) en Tipulidae (Langpootmuggen). Opvallend is het grote aandeel aan Chironomidae (329 individuen) in de niet overstoven stukken en het afwezig zijn van deze groep in de veel overstoven stukken. Het overgrote deel van de aangetroffen Chironomiden behoort tot de soort *Bryophaenocladius nidorum*, een detrivore terrestrische soort die als larve tussen de mosrijke duingraslanden leeft. Bij de Tipulidae zien we precies het omgekeerde, er worden 337 individuen aangetroffen in het veel overstoven deel. De aangetroffen individuen van de Tipulidae behoren voornamelijk tot de soort *Nephrotoma submaculosa*, een herbivore soort die als larve in zandige bodems van graswortels leeft. Dit is nog duidelijker te zien in figuur 6.7, waar enkel deze twee families afgebeeld zijn.

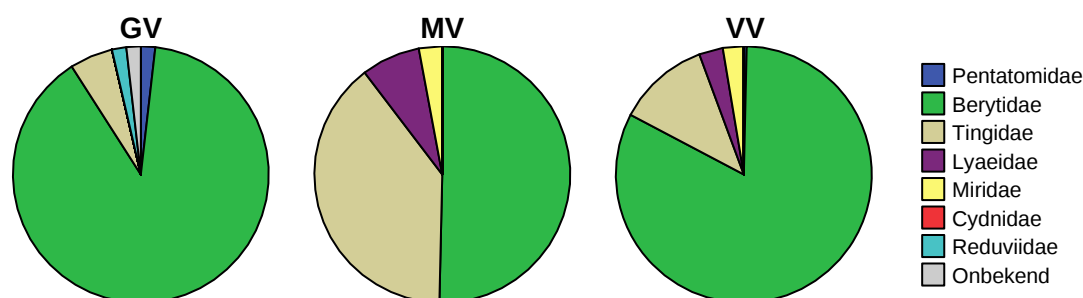


Figuur 6.6: Taartdiagrammen van de verdeling van individuen over de dipterafamilies per verstuivingstype (Geen Verstuiving, Matige Verstuiving en Veel Verstuiving) in de plaggen. De volgende families komen aan bod: Asilidae (Roofvliegen), Chironomidae (Dansmuggen), Chloropidae (Halmvliegen), Empididae/Hybotidae (Dansvliegen), Sciaridae (Rouwmuggen), Tabanidae (Dazen), Therevidae (Viltvliegen), Tipulidae (Langpootmuggen) en ? betekent onbekend.



Figuur 6.7: Taartdiagrammen van de verdeling van individuen over twee dipterafamilies (Chironomidae, Tipulidae) per verstuijvingstype (Geen Verstuifing, Matige Verstuifing en Veel Verstuifing) in de plaggen.

Figuur 6.8 laat de taartdiagrammen zien van de verdeling van wantsenfamilies uit de plaggen. De verhoudingen tussen het aantal individuen is 55:135:266 (GV:MV:VV). Ondanks dat er geen groot verschil in verhoudingen zit tussen de gebieden zonder verstuifing en de gebieden met veel overstuifing, zijn er in aantallen wel degelijk grote verschillen. Er komen voornamelijk hoge aantallen Berytidae (steltwantsen) en Tingidae (netwantsen) voor in de gebieden met matig of veel overstuifing. De familie van de Berytidae wordt hier vertegenwoordigd door de soort *Gampsocoris punctipus*, een duinsoort met als waardplant *Ononis repens* (kruipend stalkruid). De familie van de Tingidae wordt hier vertegenwoordigd door de soort *Dictyla echii*, een duinsoort die leeft van *Echium vulgare* (slangenkruid) en andere soorten uit de *Boraginaceae* familie (ruwbladigen).



Figuur 6.8: Taartdiagrammen van de verdeling van individuen over de wantsenfamilies per verstuijvingstype (Geen Verstuifing, Matige Verstuifing en Veel Verstuifing) in de piramidevallen. De volgende families komen aan bod: pentatomidae (schildwantsen), Berytidae (steltwantsen), Tingidae (netwantsen), Lygaeidae (bodewantsen), Miridae (blindwantsen), Cydnidae (doornwantsen), Reduviidae (roofwantsen), onbekend.

Verstuifing veld

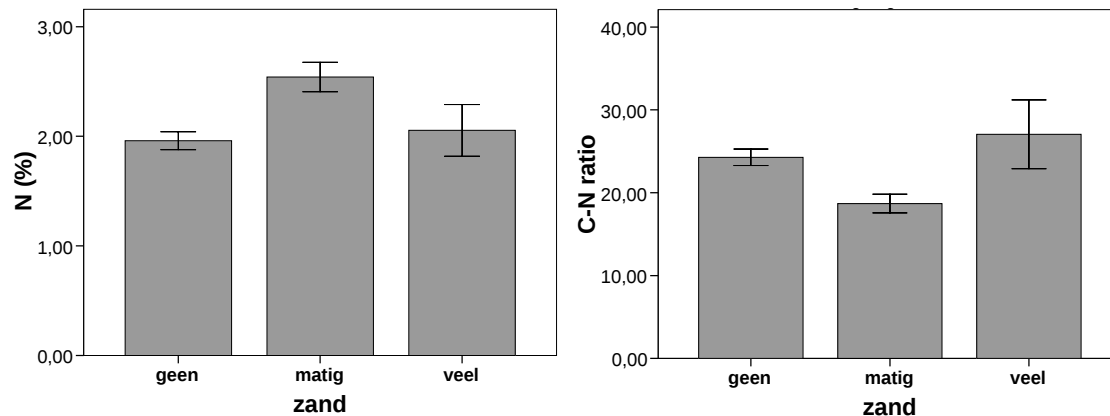
In tabel 6.1 is de bruto en netto overstuifing in de verschillende overstuifingszones (geen, matige en veel verstuifing) te zien. De bruto (cm^3 opgevangen in de knikkerbakken) en netto (gemeten vanaf grondniveau) verstuifing nemen met de gradiënt sterk toe.

Tabel 6.1: Bruto en netto verstuifing in de duingraslanden gemeten met knikkerbakken

	Bruto (cm^3/jaar)	Netto (cm/jaar)
Geen verstuifing	425.7	0.0
Matige verstuifing	24515.1	2.5
Veel verstuifing	43197.0	9.1

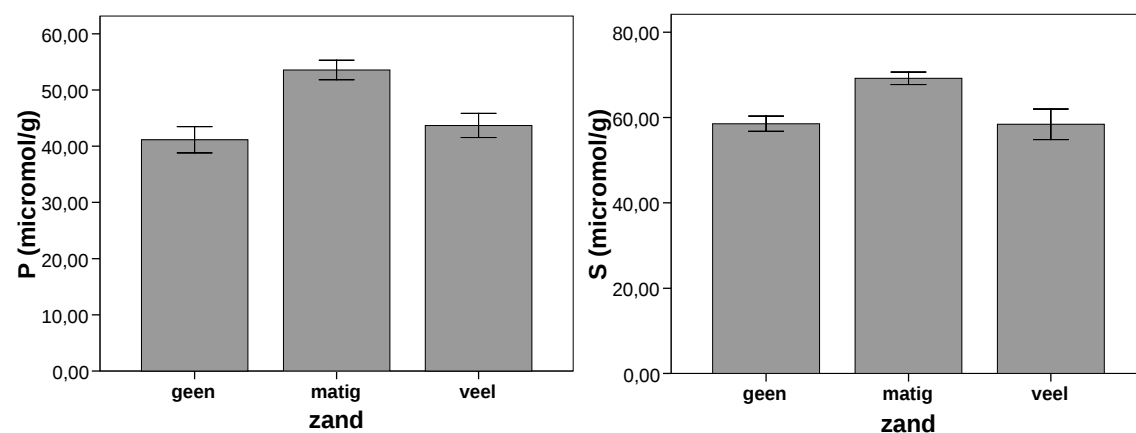
Vegetatieanalyse veld

Figuur 6.9 laat het gemiddelde stikstof percentage en de stikstof-koolstof ratio zien van de smalbladige grassen uit het veld over de jaren 2010 en 2011. De matig overstoven locaties lijken een hogere stikstof en een lagere stikstof-koolstof ratio te hebben. Tussen de locaties zonder en met veel overstuiving lijkt weinig verschil aanwezig.



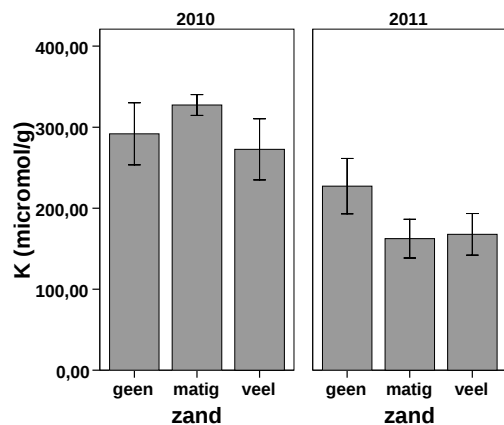
Figuur 6.9: Het gemiddelde stikstof (N) percentage en de stikstof-koolstof (C/N) ratio van de smalbladige grassen verzameld in het veld op een gradiënt van verstuiving (geen, matig en veel). De waarden zijn gemiddeld voor 2010 en 2011. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Fosfaat en zwavel lijken vergelijkbaar te reageren op de verstuivingsomstandigheden in het veld (Fig. 6.10). In de matig overstoven locaties wordt meer fosfaat en zwavel aangetroffen in de smalbladige grassen dan in de locaties zonder of met veel overstuiving.



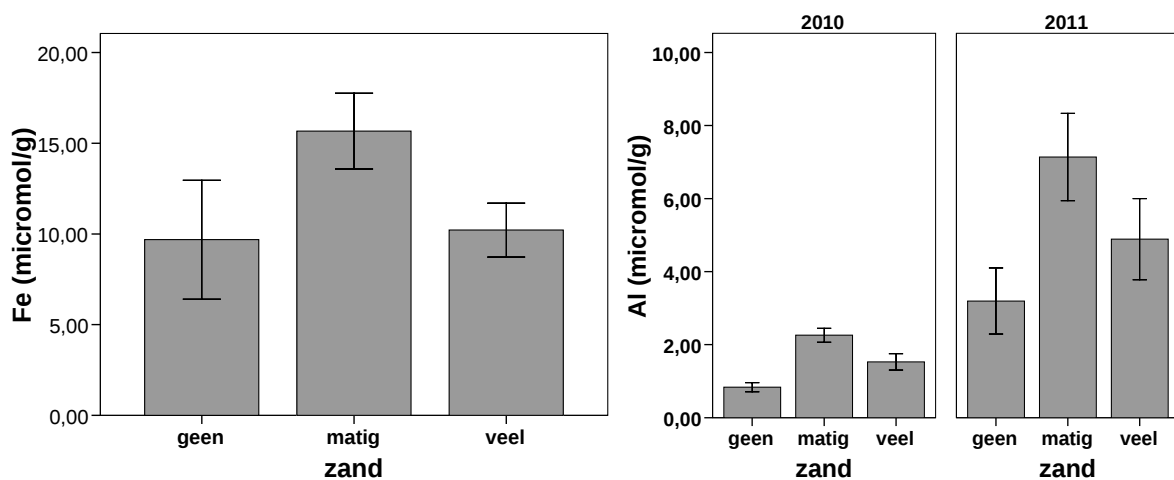
Figuur 6.10: De gemiddelde fosfaat- (P) en zwavelconcentratie (S) in de smalbladige grassen verzameld in het veld op een gradiënt van verstuiving (geen, matig en veel). De waarden zijn gemiddeld voor 2010 en 2011. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

De bemonsteringsperiode lijkt effect te hebben op de kaliumconcentratie in de planten (Fig. 6.11). In de monsters die meer in het groeiseizoen zijn genomen (eind juli 2010), zijn de concentraties kalium in de planten hoger dan aan het einde van het seizoen (2011 eind augustus).



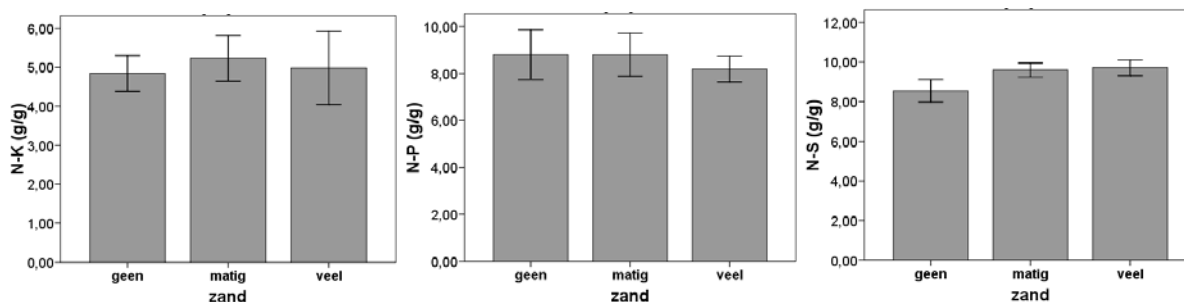
Figuur 6.11: De gemiddelde kaliumconcentratie (K) in de smalbladige grassen verzameld in het veld op een gradiënt van verstuiving (geen, matig en veel) in 2010 en 2011. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Ook de ijzer- en aluminiumconcentraties in de smalbladige grassen vertonen een vergelijkbare trend met de concentraties stikstof, fosfaat en zwavel (Fig. 6.12). De concentratie van ijzer is het hoogst in de matig overstoven locaties, tussen de niet overstoven en veel overstoven locaties wordt geen verschil gevonden. Ook bij de aluminiumconcentratie is deze het hoogst in de matig overstoven locaties, hierbij is er echter een verschil in de totale concentratie tussen 2010 en 2011. Aluminium lijkt later in het jaar (eind augustus 2011) op te hopen in de plant in vergelijking met de eerdere bemonsteringsperiode (eind juli 2010).



Figuur 6.12: De gemiddelde ijzer- (Fe) en aluminiumconcentratie (Al) in de smalbladige grassen verzameld in het veld op een gradiënt van verstuiving (geen, matig en veel). De ijzerconcentratie is gemiddeld voor 2010 en 2011, bij aluminium zijn de jaren 2010 en 2011 apart weergegeven. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Figuur 6.13 laat de verhouding zien tussen enerzijds stikstof en anderzijds kalium, fosfaat en zwavel. Er worden geen effecten van de mate van verstuiving gevonden op onderstaande verhoudingen.



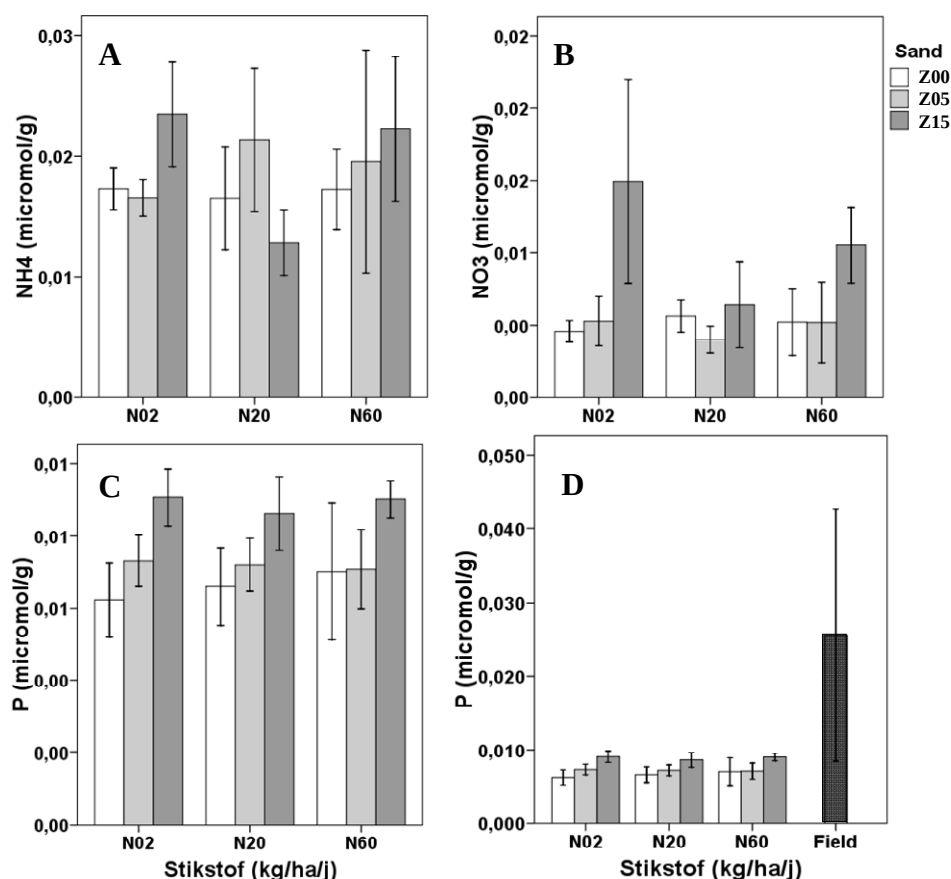
Figuur 6.13: De gemiddelde massaverhouding tussen stikstof en kalium (N/K), stikstof en fosfaat (N/P) en stikstof en zwavel (N/S) in de smalbladige grassen verzameld in het veld op een gradiënt van verstuiving (geen, matig en veel). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Vegetatieanalyse Labexperiment

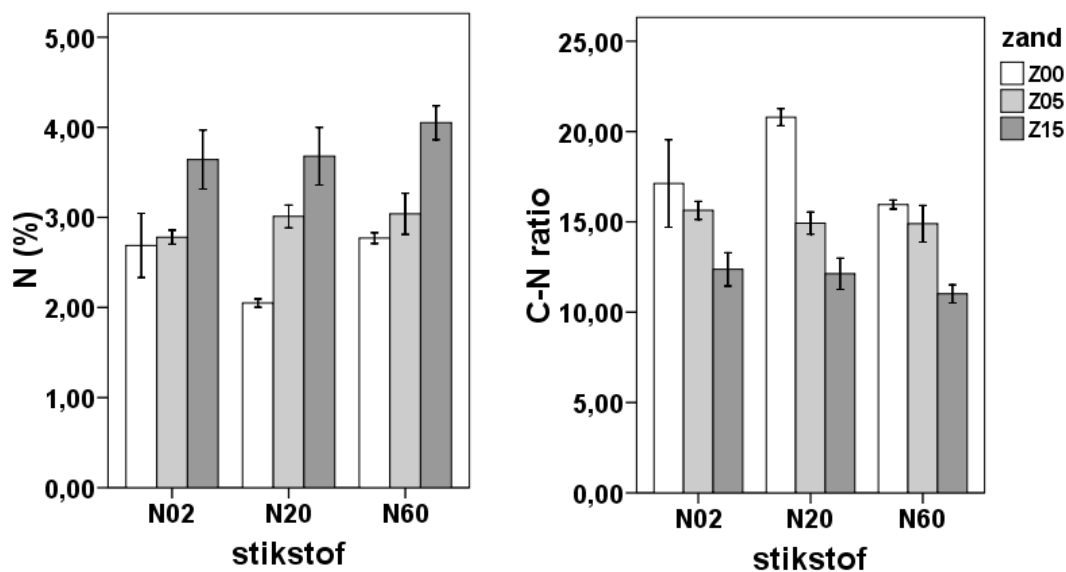
Figuur 6.14 laat een aantal bodemchemische waarden zien uit het labexperiment met *F. rubra*. Voor ammonium (A) lijken zowel de verschillende stikstofbehandelingen als het overstuiven met zand geen effect te hebben op de concentratie in de bodem. Voor nitraat (B) en fosfaat (C) lijkt hoge overstuiving met zand, onafhankelijk van de toegevoegde stikstof, de concentratie in de bodem te verhogen. Figuur D laat zien dat de concentratie fosfaat in het toegevoegde veldzand (donkergrijze balk) drie keer zo hoog is dan de concentratie gemeten aan het einde van het experiment.

Figuur 6.15 laat de stikstofconcentratie in *F. rubra* en de koolstof-stikstof ratio uit het labexperiment zien (september 2010). De hoeveelheid stikstof in de plant neemt toe met de hoeveelheid verstuiving, ook met toenemende hoeveelheid stikstof toevoeging (behalve bij Z00 d.w.z. 0 cm zand overstuiving) neemt de stikstofconcentratie in de plant toe. Het effect van de mate van overstuiving is echter vele malen groter dan de hoeveelheid toegevoegde stikstof voor de totale stikstof in de plant. Door de toename van stikstof neemt de C/N ratio met hoge mate van overstuiving af, ook bij toenemende stikstofconcentratie zie je een lichte daling van de C/N-ratio (behalve bij Z00).

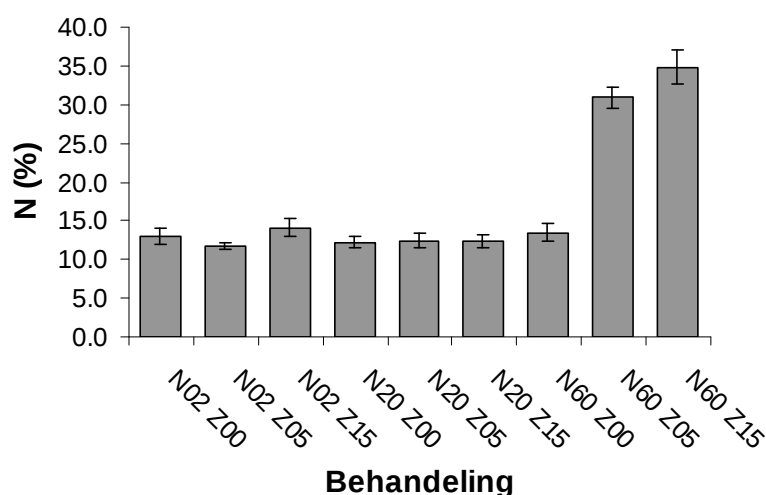
De stikstofconcentratie in de celwand blijkt alleen met een hoge mate van stikstof toevoeging in combinatie met matig of veel overstuiving toe te nemen van ongeveer 10 tot 30 % (Fig. 6.16).



Figuur 6.14: Bodemchemische waarden uit het labexperiment met *Festuca rubra*. De figuren zijn opgedeeld naar toegevoegde stikstofconcentratie (2, 20 en 60 kg N/ha/jaar) en mate van overstuiving per jaar (0 cm Z00, 5 cm Z05 en 15 cm Z15). In figuur A is de ammonium (NH₄ [micromol/ g]; zout extract) concentratie te zien, in B de nitraat (NO₃ [micromol/ g]; water extract) concentratie, in C de fosfaat concentratie (P [micromol/ g]; zout extract) en in D het verschil tussen het toegevoegde veldzand (field) en de uiteindelijke concentratie fosfaat (P [micromol/ g]; zout extract) na het experiment. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

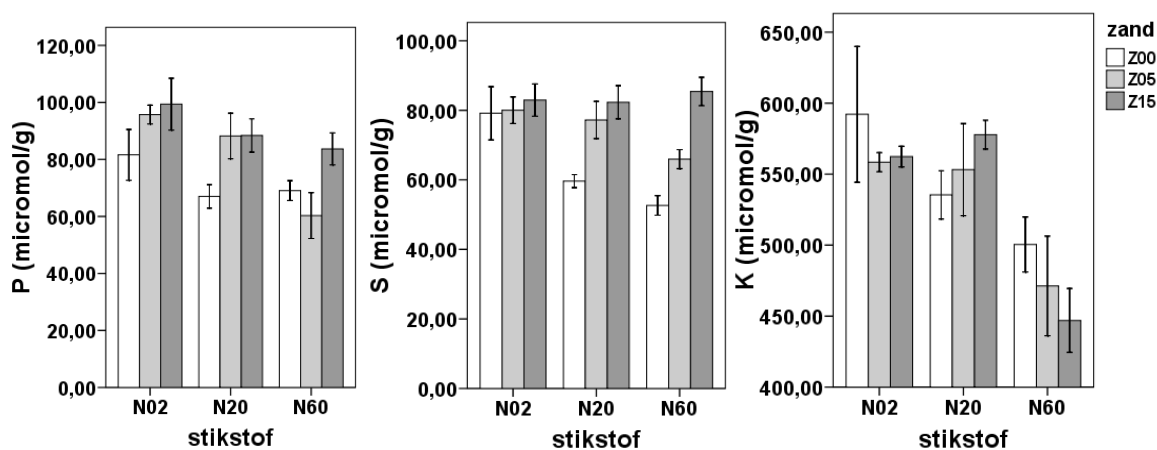


Figuur 6.15: Stikstofconcentratie (N %) en koolstof-stikstof (C/N) verhouding van *Festuca rubra* uit het kasexperiment. De figuren zijn opgedeeld naar toegevoegde stikstofconcentratie (2, 20 en 60 kg N/ha/jaar) en mate van overstuiving per jaar (0 cm Z00, 5 cm Z05 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.



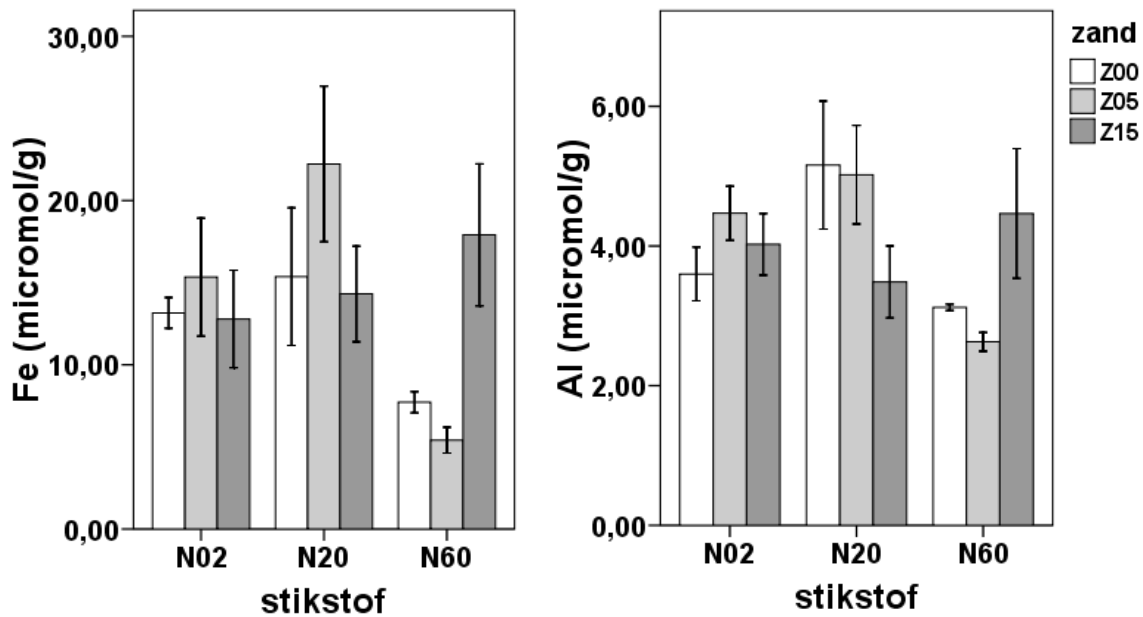
Figuur 6.16: Het percentage van de totale stikstof in de plant dat gebonden is aan de celwand bij *Festuca rubra*. Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2, 20 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00, 5 cm Z05 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Figuur 6.17 laat de fosfaat-, zwavel- en kaliumconcentraties in *F. rubra* zien uit het labexperiment (september 2010). Fosfaat en zwavel lijken gelijk te reageren, waarbij met matige (Z05) en hevige (Z15) overstuiving de concentraties vaak toenemen. Verder lijkt vaak met toevoeging van 20 of 60 kg N/ha/jaar de concentratie van fosfaat en zwavel af te nemen. Dit is ook het geval bij kalium waar met toenemende stikstoftoevoeging de concentratie verlaagd wordt. Bij kalium lijkt het toevoegen van zand echter geen eenduidige respons te geven.



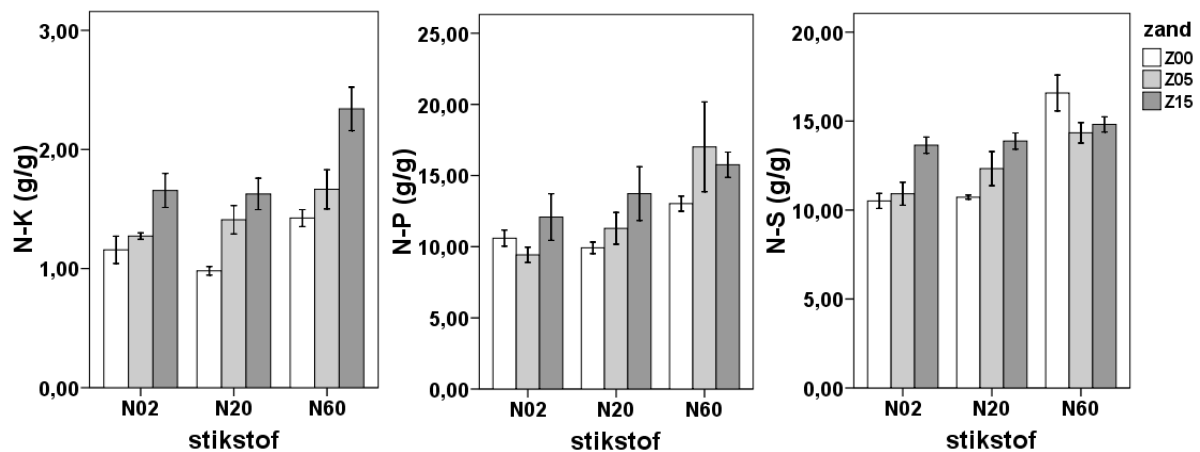
Figuur 6.17: De gemiddelde fosfaat- (P), zwavel- (S) en kaliumconcentratie (K) in *F. rubra* (september 2010). Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2, 20 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00, 5 cm Z05 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Er wordt geen duidelijke effect van overstuiving of stikstoftoevoeging waargenomen in de concentraties ijzer en aluminium in *F. rubra* (Fig. 6.18). De ijzer- en aluminiumconcentraties lijken echter wel bij toevoeging van veel stikstof (60 kg N/ha/jaar) sterk te dalen maar door toevoeging van veel zand (Z15) weer sterk te stijgen.



Figuur 6.18: De gemiddelde ijzer- (Fe [micromol/g]) en aluminiumconcentratie (Al [micromol/g]) in *F. rubra* (september 2010). Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2, 20 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00, 5 cm Z05 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

De verhoudingen tussen enerzijds stikstof en anderzijds kalium, fosfaat en zwavel (Fig. 6.19) lijken vrijwel geheel gestuurd te worden door de totale stikstofconcentratie in *F. rubra* (Fig 6.15). De verhoudingen in de planten nemen meestal toe met de hoeveelheid verstuiving, ook met toenemende hoeveelheid stikstof toevoeging nemen de verhoudingen in de plant toe. Het effect van de mate van overstuiving is echter vele malen groter dan de hoeveelheid toegevoegde stikstof voor deze verhoudingen in de plant.

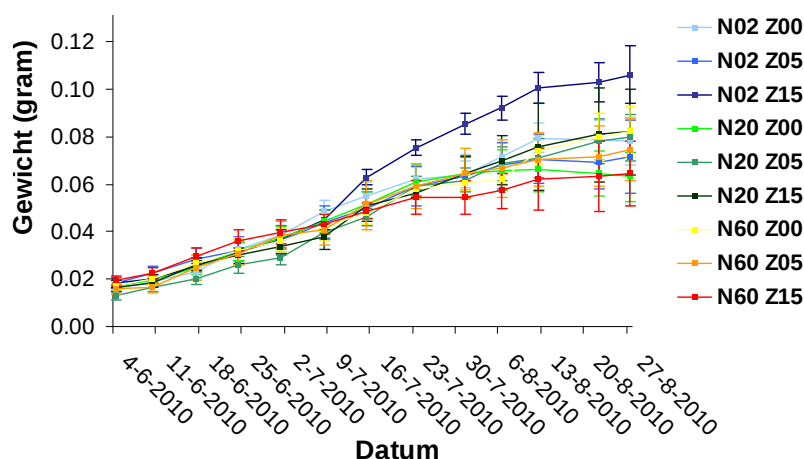


Figuur 6.19: De gemiddelde verhouding tussen stikstof en kalium (N/K), stikstof en fosfaat (N/P) en stikstof en zwavel (N/S) in *F. rubra* (september 2010). Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2, 20 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00, 5 cm Z05 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Voedselkwaliteit voor knosprietjes

Figuur 6.20 laat de gewichtstoename van de knosprietjes (*Myrmeleotettix maculatus*) gedurende het labexperiment uit 2010 zien. Over het algemeen is er veel overlap tussen de verschillende behandelingen. Alleen de N02 Z15 lijkt een iets hoger gewicht dan de andere behandelingen te hebben. Verder is opvallend dat de individuen uit de behandelingen met veel overstuiving (Z15) vaak zwaarder zijn binnen een stikstofbehandeling dan de behandelingen

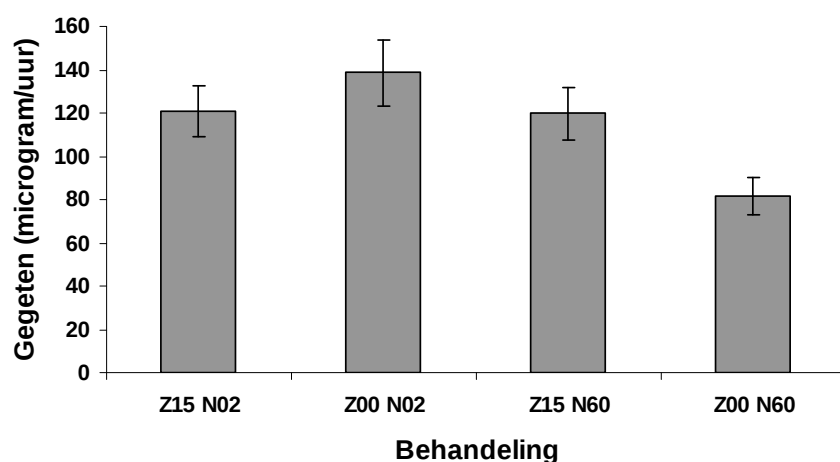
met weinig overstuiving. Bij de allerhoogste stikstofbehandeling (N60) is dit echter precies andersom.



Figuur 6.20: Gewicht van knosprietjes (*Myrmeleotettix maculatus*) gedurende het experiment waarbij ze *Festuca rubra* te eten kregen van verschillende stikstof- en zandbehandelingen. Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2, 20 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00, 5 cm Z05 en 15 cm Z15). De verschillen tussen en binnen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

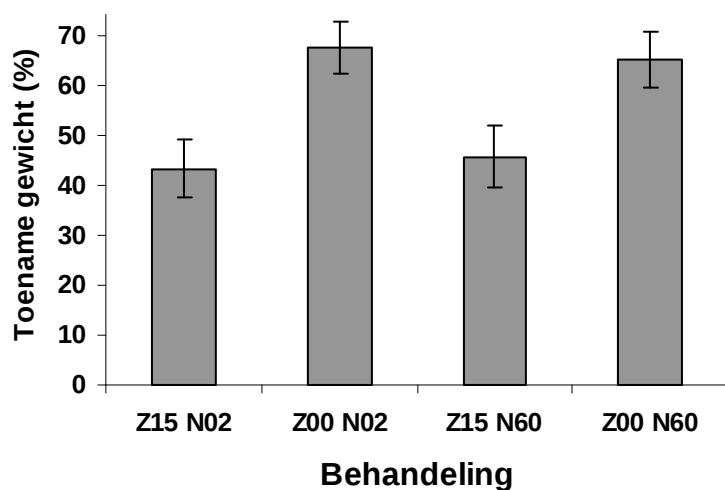
Compensatory feeding experiment knosprietjes

Figuur 6.21 laat de hoeveelheid gegeten gras (*F. rubra*) zien dat door de knosprietjes tijdens het compensatory feeding experiment is gegeten. Hierin zijn alleen de individuen gebruikt die het gehele experiment hebben overleefd (Z15N02 = 8; Z00N02 = 5; Z15N60 = 6; Z00N60 = 7). Om tot het gegeten drooggewicht *F. rubra* te komen is een omrekenfactor gebruikt. Deze is gebaseerd op een steekproef per behandeling van de planten. Bij deze omrekening kunnen door verschillen in vers-/drooggewicht van de aangeboden plantendelen afwijkingen ontstaan. Als hierdoor negatieve waarden zijn ontstaan (vaak hele kleine getallen), zijn deze naar positief omgezet. Dit is gedaan om voor het experiment omdat negatieve consumptie niet bestaat. Van de behandeling zonder overstuiving en met veel stikstof toevoeging (Z00N60) wordt ongeveer het minst gegeten, ongeveer 30 % minder dan van de andere behandelingen. De andere behandelingen (Z15N02, Z00N02 en Z15N60) lijken niet sterk van elkaar te verschillen in de mate van consumptie.



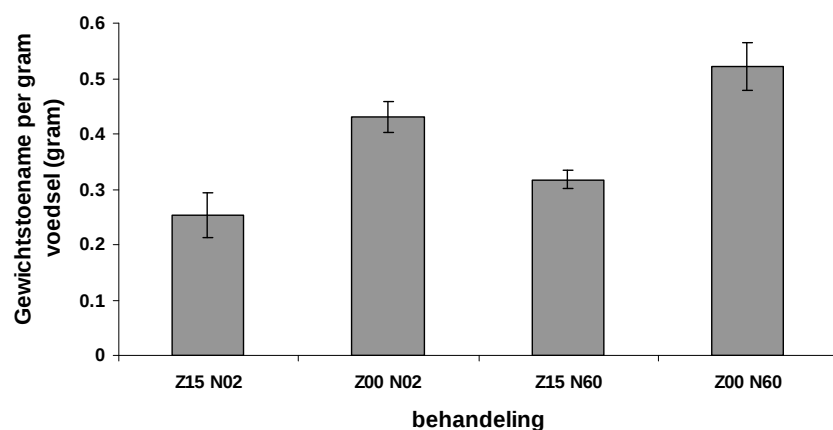
Figuur 6.21: Het gemiddeld gegeten drooggewicht grassen [microg/ uur] door de knosprietjes tijdens het compensatory feeding experiment. Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Onafhankelijk van de hoeveelheid toegevoegde stikstof nemen de knosprietjes die gegeten hebben van de niet overstoven planten met ongeveer 25 procent harder toe in gewicht (Fig. 6.22). Binnen de verstuiwingsbehandelingen worden geen verschillen gevonden.



Figuur 6.22: De gemiddelde gewichtstoename van de knosprietjes tijdens het compensatory feeding experiment. Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

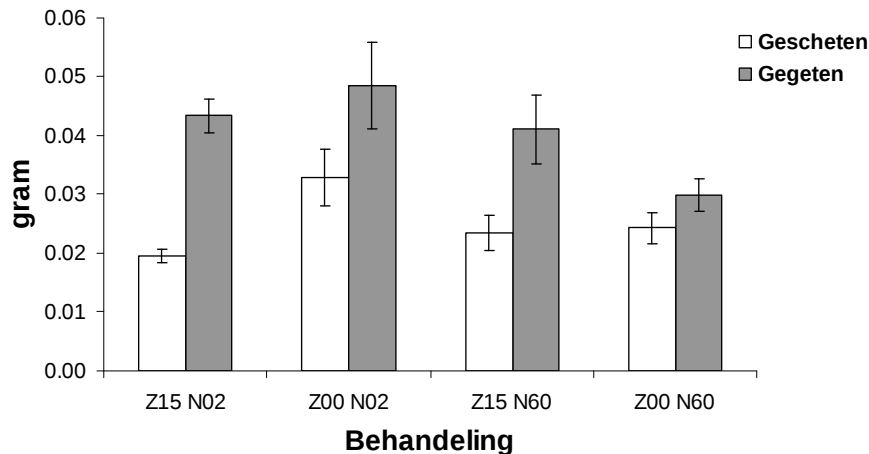
Door het geconsumeerde voedsel en de gewichtstoename aan elkaar te relateren kan berekend worden hoe efficiënt voedsel wordt omgezet in lichaamsgewicht (Fig. 6.23). Opvallend is dat de behandeling waar het minst van wordt gegeten (Z00N60) het meest efficiënt omgezet wordt in lichaamsgewicht. De behandeling zonder zand toevoeging en met weinig stikstof (Z00N02) heeft de op een na beste omzetting maar is toch zo'n 20 % lager dan Z00N60. Beide behandelingen met veel zandtoevoeging (Z15N02 en Z15N60) hebben een 40-50% lagere omzetting van voedsel naar lichaamsgewicht dan de Z00N60 behandeling.



Figuur 6.23: De gemiddelde gewichtstoename (versgewicht) per gram gegeten *F. rubra* (drooggewicht) van de knosprietjes tijdens het compensatory feeding experiment. Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Figuur 6.24 geeft het verschil tussen het totaal geconsumeerde gewicht aan voedsel en de ontlasting van de sprinkhanen. Logischerwijs is het verschil tussen consumptie en uitscheiding groter dan de toename aan lichaamsgewicht. De totale gemiddelde toename in lichaamsgewicht is bij de verschillende behandelingen als volgt: Z15N02 = 0.013 gram,

Z00N02 = 0.020 g, Z15N60 = 0.013 g en Z00N60 = 0.015 g. Opvallend is dat de twee behandelingen zonder toevoeging van zand een kleiner verschil tussen consumptie en uitscheiding hebben dan de totale gemiddelde gewichtstoename. Bij de behandeling Z00N60 is het verschil tussen gescheten en gegeten opvallend klein. Waarschijnlijk is de omrekenfactor, die gebruikt wordt om van vers- naar drooggewicht te komen, verantwoordelijk voor deze afwijkingen.

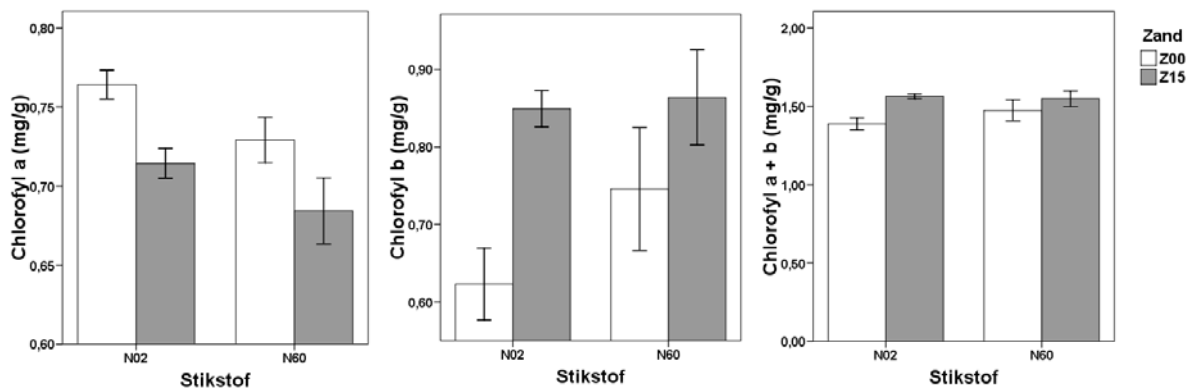


Figuur 6.24: De totale hoeveelheid gemiddelde consumptie (gegeten) en de totale gemiddelde hoeveelheid uitscheiding (gescheten) van de Knopsrietjes tijdens het compensatory feeding experiment. Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Plantkwaliteit F. rubra voor Knopsrietjes

Van de verschillende grassen uit de behandelingen (verzameld in mei 2011) is bepaald welke hoeveelheden nutriënten en mineralen aanwezig zijn in de planten (data niet weergegeven). De veel overstoven planten (onafhankelijk van stikstof toevoeging) hadden hogere concentraties van stikstof, kalium, fosfaat, zwavel en een lagere C/N ratio. Als gekeken wordt naar de verhoudingen van enerzijds stikstof en anderzijds kalium, fosfaat en zwavel blijken deze voor kalium bij veel verstuiwing iets ongunstiger (minder gram kalium per gram stikstof) te liggen, bij fosfaat juist iets gunstiger en bij zwavel is bij de lage stikstof toevoeging geen effect en bij de hoge een kleine positieve verschuiving. Vervolgens is aan de hand van de consumptie door Knopsrietjes (Fig. 6.21) bepaald hoeveel zij van de verschillende elementen binnen hebben gekregen. De behandelingen waarbij de sprinkhanen procentueel het meest in gewicht toenemen (Fig. 6.22) en waarbij de omzetting van voedsel naar lichaamsgewicht het meest efficiënt gebeurt (Fig. 6.23) nemen de sprinkhanen van vrijwel alle onderzochte elementen het minste op. Dit is zeker het geval voor de Z00N60 behandeling waarbij het minste materiaal geconsumeerd wordt.

Als aanvulling op de elementenanalyse is ook een suikerbepaling van de grassen uitgevoerd. Deze is helaas door technische redenen niet bruikbaar gebleken en dus ook niet meegenomen in deze analyse. Ook is de hoeveelheid chlorofyl bepaald (als maatgeving voor de hoeveelheid eiwitten in de plant) (Fig. 6.25). Duidelijk is te zien dat chlorofyl a en chlorofyl b tegenovergestelde trends laten zien. Waar chlorofyl a met meer overstuiving juist lager wordt, neemt chlorofyl b juist toe. Bij somming van beide typen chlorofyl lijkt meer chlorofyl aanwezig in de overstoven locaties.



Figuur 6.25: Chlorofyl a en b en de som van beide in *F. rubra* bij de verschillende behandelingen tijdens het compensatory feeding experiment. Monsters zijn opgedeeld naar een combinatie van de toegevoegde stikstof (2 en 60 kg N/ha/jaar) en toegevoegd zand (0 cm Z00 en 15 cm Z15). De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

6.4 Discussie/conclusie

Faunabemonstering veld

Uit de bovenstaande bemonsteringsdata blijken er grote verschillen te zijn in faunasamenstelling tussen de verschillende verstuiwingstypes maar ook voornamelijk tussen de vangmethodes (Fig. 6.4). Uit het overzicht van de verdeling van ordes bij verschillende verstuiwingstypes en vangmethodes is een keuze gemaakt voor de groepen die in voldoende aantallen voorkwamen. Van deze groepen is een vertaling gemaakt van orde naar familie- en soortsniveau, dit is noodzakelijk omdat binnen een orde verschillende levensstrategieën aanwezig kunnen zijn. De verschillende strategieën zullen dan ook waarschijnlijk anders reageren op een verandering in de omgeving, zoals veranderingen die optreden door overstuiving (verstoring, voedselkwaliteit etc.). Omdat van de groepen Coleoptera (kevers), Diptera (vliegen en muggen) en Heteroptera (wantsen) voldoende individuen aanwezig waren zijn deze groepen geselecteerd voor verdere uitwerking. Deze uitgewerkte groepen zijn afkomstig uit de bemonstering met plaggen en piramidevallen. Er is voor gekozen de bemonstering met sleepnetten niet te gebruiken omdat van de verzamelde individuen uit deze bemonstering minder zeker is dat ze ook daadwerkelijk hun levenscyclus op die plekken voltooien.

Het belang van verstuiwing voor faunadiversiteit

De uitwerking van de keverfamilies (Fig. 6.5) laat een aantal duidelijke verschillen zien tussen de verstuiwingstypes. In de veel overstoven delen blijken voornamelijk de bladsprietkevers (Scarabaeidae) in een groter aandeel aanwezig te zijn. Deze groep bestaat vaak uit iets grotere soorten die als larve ondergronds van wortels eten. Blijkbaar wordt hier door de overstuiving, op een vergelijkbare wijze als beschreven in het hoofdstuk overstuiving van witte duinen (pag. 34), de voedselbeschikbaarheid en microklimaat positief gestimuleerd. Bladsprietkevers worden vaak aangetroffen in het dieet van soorten als Grauwe Klauwieren (*Lanius collurio*) en Tapuiten (*Oenanthe oenanthe*), hiervoor zijn de zandige biotopen dus van groot belang (Van Duinen et al. 2004, Van Turnhout et al. 2006). De Tenebrionidae (zwartlijven) blijken voornamelijk voor te komen in de matig overstoven stukken. De groep wordt grotendeels vertegenwoordigd door de soorten *Crypticus quisquilius*, *Melanimon tibealis* en *Phylan gibbus*. Al deze soorten zijn typische duinsoorten die afhankelijk zijn van zandige warme plekken zoals ontstaan door lichte overstuiving. Het aandeel Elateridae (kniptorren) is verreweg het grootst in de niet overstoven duingraslanden. De meest voorkomende soort in deze groep is *Melanotus punctolineatus*, een soort bekend uit

duingraslanden alwaar deze een belangrijke prooi vormt voor de Tapuit (van Oosten et al. 2010). Bij de verdeling in families uit de piramidevallen wordt minder verschil aangetroffen. Bij een hogere mate van overstuiving blijken echter de aantallen sterk toe te nemen. Over de gehele gradiënt van verstuiwing worden geen verschillen aangetroffen in voedselgilden bij de kevers, vrijwel alle kevers leven als herbivoor.

Bij de Diptera (Fig. 6.6 & 6.7) wordt het belang van het uitwerken tot op familie- en soortniveau duidelijk. Op ordeniveau worden namelijk weinig verschillen aangetroffen (Fig. 6.4), op familieniveau zijn deze verschillen echter heel duidelijk. De families blijken zeer sterk te reageren op het verschil in verstuiwing (Fig. 6.6 & 6.7). De Tipulidae (langpootmuggen) komen voornamelijk voor in de monsterpunten met veel verstuiwing en niet op plekken zonder overstuiving. De Chironomidae (dansmuggen) reageren echter precies tegenovergesteld. Uit de verdere determinatie tot op soort blijkt binnen de familie van de Tipulidae de grootste aantallen individuen afkomstig te zijn van de soort *Nephrotoma submaculata*. Deze soort is karakteristiek voor duinen en komt als larve voor in de drogere zandige delen waar aan graswortels wordt gegeten. Mogelijk profiteren zij van de versere wortels die door de grassen aangemaakt worden als reactie op de overstuiving. De grootste aantallen bij de familie Chironomidae behoren tot de soort *Bryophaenocladus nidorum*. Deze dansmuggenlarven leven tussen mossen en eten daar van mos, detritus en schimmeldraden. De grote aantallen langpootmuggen op overstoven stukken heeft waarschijnlijk een grote doorwerking in het voedselweb. Uit voedselonderzoek van graspiepers (*Anthus pratensis*) in de Nederlandse duinen bleek namelijk dat volwassen langpootmuggen een kwart van het dieet uitmaken van de nestjongen (van der Beek, 2009). Waarschijnlijk is dit dus een onmisbare prooi voor het succesvol grootbrengen van hun jongen.

De verdeling van families bij de wantsen laat weinig verschillen zien. In aantallen blijken echter tot 5 maal meer individuen voor te komen in de overstoven stukken (Fig. 6.8). De grootste aantallen worden gevormd door de Berytidae (steltwantsen) en Tingidae (netwantsen) en daarbinnen de soorten *Gampsocoris punctipus* en *Dictyla echii*. Beide zijn typische duinsoorten. *G. punctipus* komt voor op *Ononis repens* (Kruipend stalkruid) en *D. echii* op *Echium vulgare* (Slangenkruid) en andere soorten *Boraginaceae* (ruwbladigenfamilie). Van deze plantensoorten worden veel individuen aangetroffen juist in de overstoven stukken en voornamelijk Kruipend stalkruid zorgt voor de vastlegging van de zandige delen later in het seizoen (Foto 6.1, persoonlijke waarneming).

De variatie in overstuiving van duingraslanden blijkt dus voor grotere variatie te zorgen in de soortsaamenstelling van diergroepen. Deze variatie in een terrein levert dus ook een grotere biodiversiteit en de overstuiving stimuleert karakteristieke duinfauna. Dit geeft een vergelijkbaar verband als al eerder voor de witte duinen (pag. 34) is aangetoond, waar overstuiving van Helm (*Ammophila arenaria*) de groei en ontwikkeling van de Kleine junikever (*Anomala dubia*) stimuleert waar vervolgens de Grauwe Klauwier (*Lanius collurio*) van kan profiteren. De hogere aantallen individuen in de overstoven stukken en de variatie in soorten tussen overstuivingstypes lijkt daarnaast ook soorten als Graspiepers en Tapuiten te kunnen stimuleren (Van der Beek, 2009). Hiermee lijkt verstuiwing, ook op kleinere schaal in duingraslanden, een onmisbare schakel in het functioneren van een gezond duinsysteem. Om de grijze duinen (prioritair Natura 2000 habitatype h2130*) in goede staat te houden, valt het herstellen van kleinschalige verstuiwing dus aan te bevelen. Hierdoor ontstaat een grotere terreinheterogeniteit die vervolgens stimulerend werkt voor flora- en faunadiversiteit.

Voedselkwaliteit

Omdat het duin een nutriëntenarm systeem is, is de verwachting dat de invloed van atmosferische stikstof depositie een groot effect kan hebben op de groeistrategie en de mineralensamenstelling van plantenweefsel. In principe zou een hogere stikstof concentratie

positief moeten werken op de plantkwaliteit voor herbivoren. Bij verhoging van het stikstofgehalte in de plant en gelijk blijvend koolstofgehaltes wordt de C/N-ratio verlaagd, een lagere C/N-ratio wordt gezien als een simpele maat voor een betere voedselkwaliteit (Chapman, 1998). Een hogere opname van stikstof hoeft echter niet altijd een verbetering van de voedselkwaliteit te betekenen (Nijssen et al, 2010). Het overschot aan opgenomen stikstof kan namelijk opgeslagen worden in een vorm die niet bruikbaar is of zelfs schadelijk is (non-protein nitrogen) voor de herbivoor die van de plant eet (Klein et al, 1980; Brannen 2010). Nijssen et al (2010) hebben aangetoond dat bij toenemende stikstofdeposities in stuifzanden de stikstofconcentratie in Buntgras (*Corynephorus canescens*) toeneemt. Bij deze toename van de totale stikstof in de plant neemt het aandeel aan bruikbare aminozuren echter niet toe. Het overschot aan stikstof (non-protein nitrogen) moet dus opgeslagen zijn in een vorm die niet bruikbaar is voor herbivoren. Dit bleek ook uit een slechtere groei van knopspruitjes (*Myrmeleotettix maculatus*) op Buntgras met hogere non-protein-nitrogen (NPN) concentraties. Hiernaast toonden Nijssen et al (2010) ook aan dat bij overstuiving van Buntgras de totale stikstof concentratie nog verder toenam maar tegelijk ook het aandeel bruikbare aminozuren. Hierdoor zou overstuiving een verkleinend effect kunnen hebben op de negatieve effecten van stikstofdepositie op de voedselkwaliteit voor herbivoren. De wijze waarop en op welke plek de overtollige stikstof in de plant wordt opgeslagen is verder nog onbekend. Een mogelijkheid is dat deze in de celwand wordt ingebouwd waar de stikstof niet bereikbaar is voor de herbivoor.

Naast het feit dat de vorm waarin stikstof in de plant is opgeslagen heel belangrijk is voor de voedselkwaliteit, is de verhouding tussen stikstof en andere elementen in de plant ook zeer belangrijk. Stikstof wordt vaak gezien als het belangrijkste element waarop insecten hun consumptie afstemmen: 'nitrogen limitation hypothesis' (White 1993; Berner et al. 2005). Doordat insecten voor 11 % en planten voor 1 - 4 % drooggewicht uit stikstof bestaan, moeten insecten grote hoeveelheden plant consumeren om aan hun hogere percentage stikstof te komen (Berner et al. 2005; Nijssen et al. 2010). Wanneer planten een lager stikstofgehalte hebben, kunnen insecten simpelweg meer eten (compensatory feeding). Als echter de verhouding tussen stikstof en andere, ook essentiële, elementen verandert kan het zo zijn dat er voldoende stikstof binnenkomt maar een tekort aan het andere element ontstaat.

Andere auteurs beweren juist dat niet alleen stikstof maar voornamelijk de verhouding tussen eiwitten en suikers bepalend is voor de consumptie van voedsel (Raubenheimer and Simpson 1993). Via smaakreceptoren meten insecten de concentraties van beide stoffen in het voedsel en kunnen vervolgens selectief dat voedsel kiezen wat aan hun behoeftes voldoet. Hiernaast kunnen zij actief variëren in hun verteringsenzymen in het darmstelsel waardoor efficiënt of minder efficiënt voedsel kan worden opgenomen, afhankelijk van aanbod in het voedsel. Ook bij deze hypothese kunnen echter tekorten ontstaan door disbalansen met andere elementen in het voedsel.

Voedselkwaliteit veld

Een matige overstuiving van de smalbladige grassen op de gradiënt van overstuiving in het veld lijkt stimulerend te werken in de opname van veel nutriënten. Zowel stikstof, fosfaat als zwavel zijn in hogere concentraties aanwezig in de matig overstoven planten (Fig. 6.9 & 6.10). Blijkbaar heeft de hoge mate van verstuiving, op de veel overstoven locaties, een remmende werking op de opname op (mogelijk te veel stress). De kaliumconcentratie (Fig. 6.11) lijkt in 2010 (eind juli) vergelijkbaar te reageren op overstuiving als de andere genoemde elementen. Later in het groeiseizoen (eind augustus 2011) lijkt de kaliumopname af te nemen en verdwijnt het patroon ook. Het effect van afnemende kaliumconcentraties bij oudere planten is bekend uit de literatuur (Finck, 2007). Over het algemeen lijkt de plantkwaliteit, afgemeten aan een selectie van elementen (N, P, K, S), en de verteerbaarheid

(lage C/N ratio Fig. 6.9) in de matig overstoven locaties beter te zijn. Tegelijk met de opname van deze elementen neemt ook de opname van ijzer en aluminium op eenzelfde wijze toe (Fig. 6.12). Hoewel aluminium toxisch kan zijn in te hoge concentraties is het waarschijnlijk dat dat hier niet zal optreden. Grassen zijn namelijk in staat om Fe in de bodem te cheleren met behulp van phytosideroforen die ze zelf uitscheiden en dan het chelaat opnemen (Romheld & Marschner, 1986). De grassen zijn vermoedelijk in staat Al-ionen en Fe-ionen van elkaar te onderscheiden door chelering met citraat, dat de ijzeropname bevordert en de aluminiumopname remt (Meda et al., 2007).

Als gekeken wordt naar de verhoudingen tussen stikstof enerzijds en kalium, fosfaat en zwavel anderzijds, lijken er weinig verschillen te ontstaan (Fig. 6.13). Bij het consumeren van de grassen zullen dus de elementen opgenomen worden in vergelijkbare verhoudingen. Om aan voldoende nutriënten te komen zal bij de behandelingen met lage concentraties waarschijnlijk meer geconsumeerd moeten worden (compensatory feeding). Dit kan negatieve gevolgen hebben in de vorm van extra energiegebruik voor spijsvertering en voedselvergarings. Het effect van een verhoogde predatiekans tijdens voedselvergarings kan een extra negatieve bijwerking zijn van de verlaagde nutriëntensamenstelling.

Voedselkwaliteit labexperiment

Tijdens het labexperiment is onder gecontroleerde omstandigheden gekeken naar de effecten van stikstoftoevoeging en zandoverstuiving van Rood Zwenkgras (*Festuca rubra*) en de doorwerking daarvan op de groei van Knosprietjes (*Myrmeleotettix maculatus*). Hierbij is ook een eerste aanzet gedaan om te kijken of de NPN (non protein nitrogen) opgeslagen wordt in de celwand. Tijdens het experiment lijkt de concentratie nitraat in de bodem (Fig. 6.14 B) en fosfaat (C) toe te nemen met overstuiving, onafhankelijk van toegevoegde stikstofconcentratie. Dit kan echter direct beïnvloed worden door de concentraties van de stoffen in het toegevoegde zand (D). Het toegevoegde veldzand blijkt bijvoorbeeld een veel hogere fosfaat concentratie te hebben dan de uiteindelijke meting van hetzelfde zand na de groei van *F. rubra* hierop. De doorwerking van de behandelingen op de voedselkwaliteit van de planten is echter vele malen belangrijker voor de herbivoren. Uit figuur 6.15 blijkt in de grassen een lichte toename van stikstof plaats te vinden bij een hogere mate van stikstoftoevoeging. De effecten van overstuiving met zand blijken echter een veel groter effect te hebben op de uiteindelijke concentratie stikstof in de plant. Hiermee wordt het effect van de toegevoegde stikstof geheel verwaarloosd. Zoals ook al door Nijssen et al (2010) aangetoond is, heeft dit direct effect op de C/N-ratio. Deze neemt af bij toenemende concentratie stikstof in de plant (Fig. 6.15), en de voedselkwaliteit neemt toe voor herbivoren. Door te kijken naar het aandeel stikstof in de celwand (Fig. 6.16) wordt een eerste poging gedaan te achterhalen waar het overschot aan stikstof opgeslagen wordt. Uit de resultaten blijkt alleen bij matige en veel overstuiving bij de hoogste stikstofconcentratie (60 kg N/ha/jaar) de stikstof in de celwand extreem toe te nemen (van 10 naar 30 %). Het is echter essentieel om te weten hoe de verhouding van het totaal aan stikstof in de plant en de stikstof in de celwand in verhouding staat tot bruikbare aminozuren zoals door Nijssen et al. (2010) is gedaan. Aangezien dit een zeer kostbare analyse is, is dit helaas niet mogelijk binnen het huidige project. Hierdoor zullen de verschillen in plantkwaliteit moeten blijken uit de prestatie van sprinkhanen gevoed met grassen uit de verschillende behandelingen. In tegenstelling tot de resultaten van Nijssen et al. (2010), waar de sprinkhanen 20% kleiner werden met hogere NPN concentraties, werd in het 2010 experiment geen duidelijk verschil gemeten (Fig. 6.20). Mogelijk is de opzet van het experiment of zijn de gemeten variabelen niet de juiste geweest om een verschil aan te tonen. Omdat de hoeveelheid toegevoegd voedsel niet gemeten is, zou het kunnen dat de sprinkhanen door meer te eten van een behandeling van slechtere kwaliteit (compensatory feeding) toch een vergelijkbare

gewichtstoename hebben weten te bereiken. Bovendien is niet de groei maar de reproductie een betere maat voor het presteren van een soort. Bij *Locusta migratoria migratorioides* is al aangetoond dat het aantal eipakketten dat ze leggen gecorreleerd is met de voedselkwantiteit die zij toegediend kregen (McCaffery, 1975). Waarschijnlijk is niet alleen de kwantiteit maar ook de kwaliteit uiterst belangrijk. Om de hoeveelheid en kwaliteit van het geconsumeerde voedsel te bepalen is in 2011 een compensatory feeding experiment uitgevoerd. Helaas is het niet gelukt de sprinkhanen tot voortplanting te laten komen, de gewichtstoename zal dus opnieuw worden genomen als maat voor het effect van de verschillende behandelingen op de sprinkhanen. Over het algemeen lijkt de plantkwaliteit met meer overstuiving hoger (meer van de elementen N, K, P en S per gram plant), toch is de procentuele toename in lichaamsgewicht van de sprinkhanen op de niet overstoven behandelingen het grootst. Door te kijken naar de hoeveelheid geconsumeerd voedsel kan berekend worden hoe efficiënt het voedsel wordt omgezet en hoeveel nutriënten en mineralen de sprinkhanen hebben binnengekregen. De hoeveelheid geconsumeerd voedsel blijkt niet te correleren met de procentuele gewichtstoename (Fig. 6.21 & 6.22). De behandeling waar het minst van is gegeten (Z00N60) blijkt samen met (Z00N02) verantwoordelijk voor de hoogste gewichtstoename van de sprinkhanen. Van de andere drie behandelingen wordt ongeveer evenveel gegeten maar de sprinkhanen gevoed met de overstoven behandelingen blijken toch beduidend minder te groeien (ongeveer 25 % minder). Hiernaast blijkt de behandeling die het meest efficiënt de geconsumeerde biomassa heeft omgezet naar lichaamsgewicht (Z00N60 Fig. 6.23) toch na berekening het minst van alle elementen binnen te krijgen. Hier zijn meerdere verklaringen voor mogelijk. Ten eerste bestaat de kans dat er fouten zijn gemaakt in de omrekenfactor om van droog naar versgewicht geconsumeerd voedsel te komen. Figuur 6.24 geeft hier aanwijzingen voor. Naar verwachting zou het verschil tussen geconsumeerd voedsel en uitgescheiden door sprinkhanen groter moeten zijn dan de gemiddelde gewichtstoename van de sprinkhanen. Bij de niet overstoven behandelingen is dit echter niet het geval en in het bijzonder bij de behandeling Z00N60 zeker niet. Door de kleinere groeivorm van deze *F. rubra* planten, omdat ze niet gedwongen zijn boven het zand uit te groeien, ontstaan ook grotere verschillen tussen versere en oudere delen in vochtgehalte. De overstoven planten zijn allemaal jonger verser en sappiger, af te lezen aan de lagere C/N ratio (Fig. 6.15). Er kan dus makkelijker een foutmarge ontstaan in de niet overstoven delen welke verantwoordelijk kan zijn voor een te lage inschatting van het geconsumeerde materiaal. Ten tweede kan de kwaliteit van de grassen bepaald worden door een factor die niet door ons (succesvol) is gemeten. Zoals Raubenheimer en Simpson (1992) al hebben aangetoond, kan de inname van voedsel door sprinkhanen beter afgemeten worden aan de verhouding tussen eiwitten en suikers. Helaas is de suikerbepaling door technische redenen niet gelukt en was een eiwit of aminozuurbepaling te duur. Als maat voor de hoeveelheid eiwitten is als goedkopere oplossing gekozen voor een chlorofylbepaling (Fig. 6.25), een eiwitcomplex dat veel in de planten aanwezig is en relatief eenvoudig en goedkoop te meten. Het is duidelijk dat er verschillen ontstaan in de concentratie chlorofyl a en b. Waar de concentratie chlorofyl a laag is in de overstoven locaties is chlorofyl b hoog. De verschillende typen chlorofyl zijn via een andere golflengte van het licht beide betrokken bij de fotosynthese van de plant en chlorofyl b kan zijn energie doorgeven aan chlorofyl a. Als maat voor de hoeveelheid eiwitten zijn de twee typen chlorofyl ook opgeteld. Hieruit blijkt overstuiving te zorgen voor een lichte toename van de chlorofylconcentratie. Dit laatste spreekt de resultaten van veel groei van Knosprietjes op niet overstoven planten opnieuw tegen. Ten derde zouden de veel overstoven planten hun overschot aan stikstof in kunnen zetten in stikstofgebaseerde antivraat stoffen om hun verse nieuwe bladeren te beschermen. Dit zou verklarend kunnen zijn voor de slechtere prestatie van de Knosprietjes op deze behandelingen.

Ondanks de vergelijkbare trends in effecten van overstuiving op de voedselkwaliteit onder veld- en labcondities, waarbij vaak met enige mate van verstuiving de concentraties van nutriënten in de plant toenemen, is de doorwerking van deze verschillen nog niet duidelijk. Waar in het veld een aantal groepen lijken te profiteren van de veranderingen die optreden bij lichte of hevige overstuiving, kunnen de veranderingen in nutriëntensamenstelling door overstuiving van grassen de verschillen in prestatie van knosprietjes onder labcondities nog niet verklaren. In de toekomst zal dus nog meer onderzoek noodzakelijk zijn om de sturende processen, verantwoordelijk voor verschillen in voedselkwaliteit, te achterhalen.

6.5 Samenvatting

In dit onderzoek is gekeken naar het belang van verstuiving vanuit stuifkuilen voor de faunadiversiteit en voedselkwaliteit in duingraslanden. Met behulp van verschillende veldbemonsteringen over een gradiënt van verstuiving in duingraslanden is gekeken naar verschuivingen in faunasamenstelling. Hieruit bleek de mate van overstuiving van het duingrasland (een gradiënt van 0 tot 15 cm overstuiving per jaar) zeer bepalend te zijn voor de faunasamenstelling. Bij de kevers komen de bladsprietkevers voornamelijk in de veel overstoven stukken voor, de zwartlijven voornamelijk in het matig overstoven stuk en de kniptorren in de niet overstoven duingraslanden. Zowel de bladsprietkever, een belangrijke prooi voor Grauwe klauwieren, als de kniptorren, een belangrijke prooi voor Tapuiten, leveren essentieel voedselaanbod voor deze vogels. Bij de muggen is er een strakke scheiding aanwezig tussen de langpootmuggen in veel overstoven stukken en de dansmuggen in de niet overstoven duingraslanden. Deze langpootmuggen vormen een belangrijk onderdeel van het dieet van Graspiepers. Zowel bij de kevers als bij de muggen komen voornamelijk de grote soorten die als karakteristiek en thermofiels omschreven worden in de matig of veel overstoven stukken voor. Bij de wantsen werd over de gehele gradiënt van overstuiving een vergelijkbare samenstelling gevonden. De aantallen wantsen in de overstoven stukken waren echter vele malen hoger dan in de niet overstoven stukken. Deze variatie in overstuiving van duingraslanden blijkt dus voor grotere variatie te zorgen in de soortensamenstelling van diergroepen. De variatie in het terrein levert dus ook een grotere biodiversiteit en de overstuiving stimuleert de aantallen en diversiteit van karakteristieke duinfauna. De hogere aantallen individuen in de overstoven stukken en de variatie in soorten tussen overstuivingstypes lijkt daarnaast ook soorten als Grauwe klauwieren, Graspiepers en Tapuiten te stimuleren. Hiermee lijkt verstuiving, ook op kleinere schaal in duingraslanden, een onmisbare schakel in het functioneren van een gezond duinsysteem.

Verder is het natuurlijk uitermate belangrijk om ook te begrijpen waarom soorten reageren op deze verstuiving. Een mogelijke oorzaak voor de gevonden verschillen zou kunnen voortkomen uit verschillen in plantkwaliteit ontstaan door verstuiving. Er is dan ook een labexperiment uitgevoerd waarbij onder gestandaardiseerde omstandigheden metingen hebben plaatsgevonden. Hierbij is gekeken naar het effect van verschillende mate van overstuiving in combinatie met stikstofdepositie op de kwaliteit van grassen en de doorwerking daarvan op sprinkhanen. Deze resultaten zijn vergeleken met de metingen aan plantkwaliteit in het veld. Ondanks de vergelijkbare trends in effecten van overstuiving op de voedselkwaliteit onder veld- en labcondities, waarbij vaak met enige mate van verstuiving de concentraties van nutriënten in de plant toenemen, is de doorwerking op herbivoren van deze verschillen nog niet duidelijk. Waar in het veld een aantal groepen lijken te profiteren van de veranderingen die optreden bij lichte of hevige overstuiving, kunnen de veranderingen in nutriëntensamenstelling door overstuiving van grassen de verschillen in prestatie van sprinkhanen onder labcondities nog niet verklaren. In de toekomst zal dus nog meer onderzoek noodzakelijk zijn om de sturende processen van verstuiving, verantwoordelijk voor verschillen in voedselkwaliteit, te achterhalen.

7. Beschikbaarheid van nutriënten door begrazing

7.1 Introductie

Het invoeren van begrazingsbeheer met grote grazers om de verruiging terug te dringen is een voor de hand liggende maatregel, die reeds op grote schaal wordt toegepast. De ingevoerde begrazing, ondanks verschillend van vorm, is vaak succesvol in het terugdringen van verruigde grasachtige vegetaties en het tot stilstand brengen van oprukkende struwelen. Het eveneens beoogde herstel van faunapopulaties heeft vaak wisselende successen (Van Turnhout et al., 2003). Bij loopkevers toonde Nijssen et al. (2001) aan dat het verwachte herstel achterwege bleef, voor vlinders blijken er echter soms successen te worden behaald (Wallis de Vries & Raemakers, 2001). Ook treedt soms juist verdere achteruitgang van faunagemeenschappen op na introductie van grootschalige begrazing, zoals aangetoond door tijdens dit onderzoek (OLD) bij grondnestelende fauna als gevolg van betreding (hoofdstuk 4). Tijdens het VK-deel is onderzoek uitgevoerd naar de effecten van begrazing op de samenstelling van de bodemfauna. Hier bleek dat in de begraasde terreinen van het Noord-Hollands duinreservaat (NHD) zowel meer soorten als aantallen van detritivore diersoorten (slakken, miljoenpoten en pissebedden) aanwezig zijn dan in onbegraasde terreinen. Ook de dichtheden aan predatoren, zoals loopkevers en spinners, zijn daar hoger in begraasde terreinen, wellicht vanwege het grote aanbod aan prooidieren. Een mogelijke verklaring voor deze verschillen, aangedragen in het VK onderzoek, is een vergroting van de beschikbaarheid van nutriënten in het systeem door begrazing. Het verwijderen van staande biomassa en strooisel kan mogelijk de mineralisatiesnelheid verhogen en samen met een directe input van meststoffen door de grazers ervoor zorgen dat de nutriënten beter beschikbaar zijn (de Molenaar 1996). Deze verhoogde beschikbaarheid van voedingsstoffen zou kunnen zorgen voor de waargenomen veranderingen in het voedselweb (Wouters et al. 2009).

De interacties tussen begrazing enerzijds en de faunagemeenschap van de duinen anderzijds zijn tot nu toe echter onvoldoende bekend om de effecten van begrazing op de fauna vooraf in te kunnen schatten, terwijl in steeds meer duingebieden begrazing als beheermaatregel wordt ingezet (Van den Burg, 2009). Het is niet bekend hoe het begrazingsbeheer zodanig aangepast kan worden, dat de positieve effecten van het terugdringen van verruiging blijven bestaan en tevens faunagemeenschappen zich kunnen herstellen. Om deze kennis te verkrijgen, zijn begrazing-effect studies noodzakelijk. In deze studies moeten niet alleen de uiteindelijke effecten op de fauna gemeten worden, maar ook de veranderingen in het ecosysteem gekwantificeerd worden die kunnen dienen als verklarende variabelen voor verschuivingen in de faunalevensgemeenschap. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld bodemsamenstelling en -compactie, vochthoudend vermogen van de bodem, mineralisatiesnelheid, vegetatiekwaliteit en -structuur, microklimaat en het bloemenaanbod.

In het huidige OLD onderzoek wordt dieper ingegaan op de verschillen in plant- en bodemkwaliteit die mogelijk ontstaan tussen begraasde en onbegraasde terreinen. Hierbij worden niet alleen de terreinen Meijendel, NHD en de Amsterdamse waterleidingduinen (AWD) gebruikt maar zal ook een koppeling gemaakt worden met het breed opgezette OBN begrazingsonderzoek (van Oosten et al. 2012). In dit laatst genoemde onderzoek wordt op 242 locaties langs de Nederlandse kust een vergelijking gemaakt tussen begraasde en aangrenzende onbegraasde terreinen. Er wordt op een gestandaardiseerde manier een grote dataset opgebouwd. Hierin worden verschillende covariabelen meegenomen, waarvan verwacht wordt dat ze de uitkomst van het begrazingsbeheer zouden kunnen sturen. Het onderzoek bestrijkt duingraslanden van de gehele Nederlandse kust, waardoor de extrapoleerbaarheid gemaximaliseerd wordt en incidentele effecten van begrazing – zowel positief als negatief – afgezet kunnen worden tegen de resultaten die in het algemeen behaald worden.

Hypothesen:

- Begrazing vergroot de beschikbaarheid van voedingsstoffen in het systeem. Hierdoor neemt de plantkwaliteit toe (lagere verhoudingen tussen stikstof en fosfaat, kalium, lagere C/N ratio, hogere (totale) concentraties van macronutriënten).
- Het organische stofgehalte van de bodem zorgt voor bindingsplaatsen voor nutriënten. Hoe hoger dit gehalte is des te groter het effect van begrazing op bodem- en plantkwaliteit.

Doelstelling:

- Inzicht krijgen in de effecten die begrazing heeft op plant- en bodemkwaliteit in duingraslanden.
- Doorvertaling van effecten op bodem- en plantkwaliteit naar hogere, trofische niveaus.
- Opgedane kennis inzetten bij het sturen van begrazingsbeheer in de onderzochte duingraslanden opdat de daarin thuishorende planten- en diersoorten nieuwe kansen krijgen.

7.2 Methodiek

Onderzoekslocaties

In september 2009 zijn in Meijndel, het Noord-Hollands duinreservaat en de Amsterdamse waterleidingduinen bodem- en plantmonsters verzameld. Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen duingraslanden die worden begraasd door wilde grazers (konijnen en soms damherten), door wilde grazers en vee (konijnen en soms damherten met runderen en/of paarden), gemaaid worden of zonder aanvullend beheer of wilde grazers (exclosure) zijn (tabel 7.1). Onderstaande gebieden zijn bemonsterd:

- Amsterdamse waterleidingduinen: het zuidelijke Zeeveld (konijnen- en damhertenbegrazing), het zuidelijk Zeeveld (exclosure tegen konijnen en damherten), het noordelijke Zeeveld (begrazing met runderen, damherten en konijnen)
- Noord-Hollands duinreservaat: de Rellen (begraasd met runderen en konijnen), de Rellen (exclosure zowel tegen runderen als konijnen), de Rellen (exclosure zowel tegen runderen als konijnen met maaibeheer), het Noorderduin (konijnen begrazing)
- Meijndel: Helmduinen (begraasd met runderen, paarden en konijnen), Helmduinen (exclosure zowel tegen runderen en paarden als tegen konijnen), Prinsenduinen (konijnenbegrazing)

Tabel 7.1: Overzicht van gebruikte namen in grafieken en type grazer die bij dit beheer in de verschillende gebieden hoort. In het Noord-Hollands duinreservaat wordt de begrazing met onvolwassen runderen al volgt uitgevoerd: sinds 1992 negen Hollandse bonte koeien op 70 ha van juni tot februari, later (200x) is overgegaan op Schotse Hooglanders (8 GVE/ha) waarbij enkele dieren in zomer blijven staan; in de Amsterdamse waterleidingduinen als volgt: vanaf 1988 runderen met een dichtheid van 0,18 GVE/ ha in een gebied van 130 ha; en in Meijndel met runderen en paarden als volgt: vanaf 1991 Noordse Fjordpaarden en Galloway runderen met een dichtheid van 0.08 GVE/ ha in een terrein van 125 ha.

	wild	wild + vee	maaien	exclosures
Amsterdamse waterleidingduinen	konijn damhert	konijn damhert rund	niet beschikbaar	begrazing door muis en ongewervelden
Noord-Hollands duinreservaat	konijn	konijn rund	maaien begrazing door muis en ongewervelden	begrazing door muis en ongewervelden
Meijndel	konijn	konijn rund paard	niet beschikbaar	begrazing door muis en ongewervelden

In juli 2010 zijn deze bemonsteringen herhaald in het kader van het OBN begrazingsonderzoek. Hierbij zijn de gebruikte monsterpunten van september 2009 zo nauwkeurig mogelijk opgenomen in het totaal van 242 monsterpunten uit dit onderzoek. De veranderingen in onderzoekslocaties die zijn opgetreden ten opzichte van 2009 zijn terug te vinden in bijlage 7.1. De totale lijst van gebruikte terreinen is terug te vinden in de eindrapportage OBN begrazingsonderzoek (van Oosten et al. 2012), een overzichtskaart is terug te vinden in de bijlage van dit rapport (bijlage 7.2).

Verzameling velddata en bewerking lab

In 2009 werden op elke monsterlocatie binnen een gebied van twee bij twee meter de biotische en abiotische omgevingsfactoren vastgelegd (volgens het veldformulier in bijlage 7.3; foto 7.1, rechts boven en links onder).

Door willekeurig een ring (diameter 28 cm; foto 7.1, rechts onder) binnen het te bemonsteren gebied te werpen werden de plekken voor het verzamelen van plantbiomassa en bodemmonster bepaald. Per behandeling werden drie monsterlocaties geselecteerd, totaal zijn dit 30 monsterpunten over alle behandelingen en gebieden. Binnen het oppervlak van de ring werd plantmateriaal verzameld, gescheiden in staande biomassa, mossen/korstmosses en strooisel. Alle plantdelen werden in papieren zakken bewaard en in het lab bij 70°C 48 uur gedroogd, daarna werd het drooggewicht gemeten. Chemische analyse van het plantmateriaal heeft in 2010 plaatsgevonden. Het plantmateriaal is gemalen met een kogelmolen (Kogeltrilmolen MM301, Retsch). Totaal N is gemeten met een “Elemental Analyzer” (EA 1110 Elemental Analyzer, Carlo Erba/ Thermo Fisher Scientific). Voor de bepaling van de concentraties van alle andere elementen in de plant (bv. P, S, K, Al etc.) is 200 mg van het gemalen materiaal in een Milestone magnetron gedestruëerd (type Ethos D, Milestone Inc., Sorisole, Italy) na toevoeging van 4 ml HNO₃ (65 %) en 1 ml H₂O₂ (30 %) (Kingston and Haswell, 1997). De concentraties van de elementen zijn na deze zure destructie met ICP (inductively-coupled plasma emission spectrophotometry: ICP-OES: IRIS Intrepid II XDL, Thermo Fisher Electric, Breda, The Netherlands) geanalyseerd. Voor de hieronder gepresenteerde figuren zijn de uitbijters (datapunten die ver van de overige data verwijderd zijn) uit de data verwijderd. Tussen de verschillende behandelingen is niet statistisch getoetst. Beneden het plantbiomassa monster werden vier bodemonsters (100 cm³) van de minerale top laag genomen (0-10 cm diepte) met behulp van een bodemsteker (foto 7.1, links boven). Drie van de vier monsters werden in een papieren zak verzameld. Deze werden later samen met de plantmonsters gedroogd en gebruikt voor het bepalen van wortelbiomassa en compactie van de bodem. Het vierde bodemmonster werd in een plastic zak verzameld en gekoeld uit het veld meegenomen. In het lab werd deze bodem tot aan het tijdstip van de chemische analyse in een vriezer bewaard. Uit een deel van het gedroogde en gezeefde (2 mm maaswijdte, wortelen en steentjes verwijderd) bodemmateriaal werd de totale hoeveelheid organische massa (LOI – loss on ignition, 550 °C voor 8 uur) bepaald. Het andere deel werd gemortierd in een kogelmolen (Kogeltrilmolen MM301, Retsch). De totale extraheerbare hoeveelheden van de verschillende elementen (bv. K, P, S, Al etc.) werden met behulp van een zure destructie bepaald. Hiervoor werd 200 mg van het gemalen materiaal in een Milestone magnetron gedestruëerd (type Ethos D, Milestone Inc., Sorisole, Italy) na toevoeging van 4 ml HNO₃ (65 %) en 1 ml H₂O₂ (30 %) (Kingston and Haswell, 1997). De concentraties van de elementen zijn na deze zure destructie met ICP (inductively-coupled plasma emission spectrophotometry: ICP-OES: IRIS Intrepid II XDL, Thermo Fisher Electric, Breda, The Netherlands) geanalyseerd. De concentraties van NO₃⁻ (water extract) en NH₄⁺ (0.2 M NaCl extract) van de verse bodemonsters werden gemeten met een Auto Analyzer 3 systeem (Bran+Luebbe, Norderstedt, Germany) met de oplossing ‘hydrazine sulphate’ (Technicon, 1969) en ‘salicylate’ (Grasshoff and Johannsen, 1977), respectievelijk.

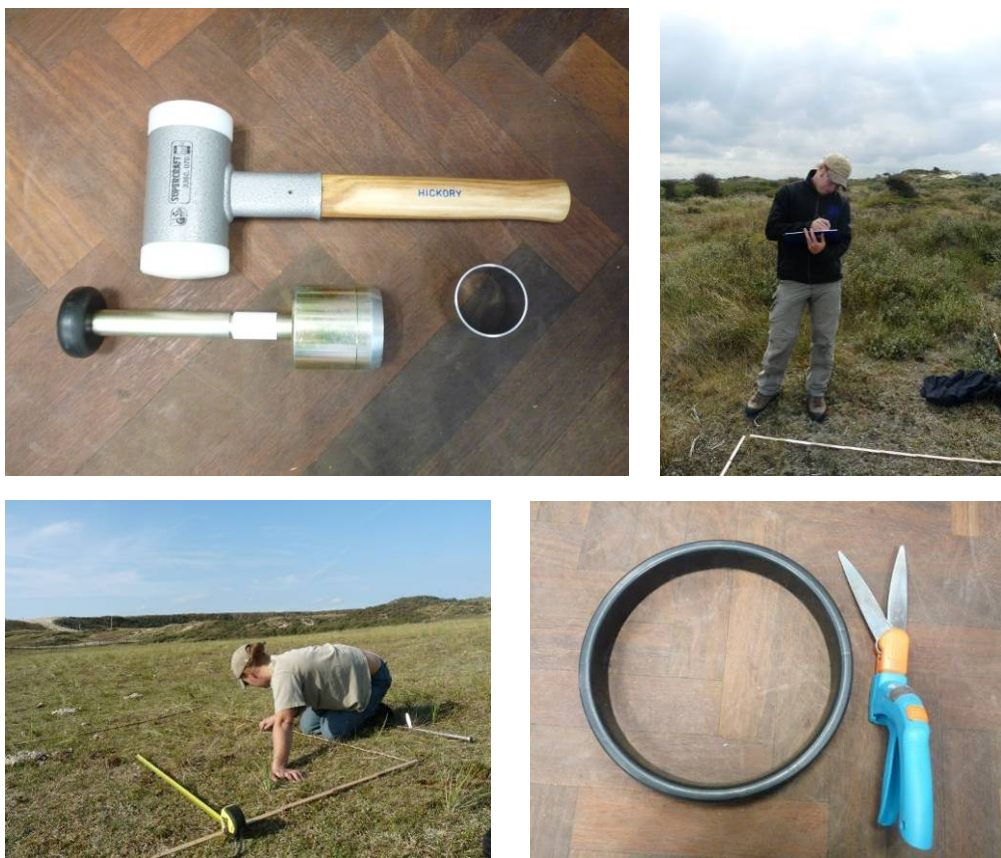


Foto 7.1: Bodemsteker, hamer en ring (links boven). Opname plantsamenstelling (rechts boven). Keuteltellingen binnen het proefvlak (links onder). Opnamering plantbiomassa (diameter 28 cm) en vegetatieknipper (rechts onder).

In 2010 hebben de 242 metingen plaatsgevonden binnen het OBN begrazingsonderzoek, hiervan zullen binnen het OLD 34 proefvlakken (zie bijlage 7.1) uitgebreider behandeld worden. Er zijn proefvlakken geselecteerd van 10 x 10 meter die een representatieve steekproef vormden van de omgeving. Binnen deze proefvlakken werden in een stuk van 2 x 2 meter dezelfde variabelen als in 2009 bepaald. Alle bodemmonsters en plantendelen zijn ditmaal in vocht doorlatende plastic zakken (“crisp bags”) bewaard en in het lab bij 70°C 48 uur gedroogd, waarna het drooggewicht werd gemeten. Chemische analyse van de bodem heeft in 2010 plaatsgevonden en van het plantmateriaal in 2011 op gelijke manier als in voor de veldbemonstering in 2009 (hierboven beschreven).

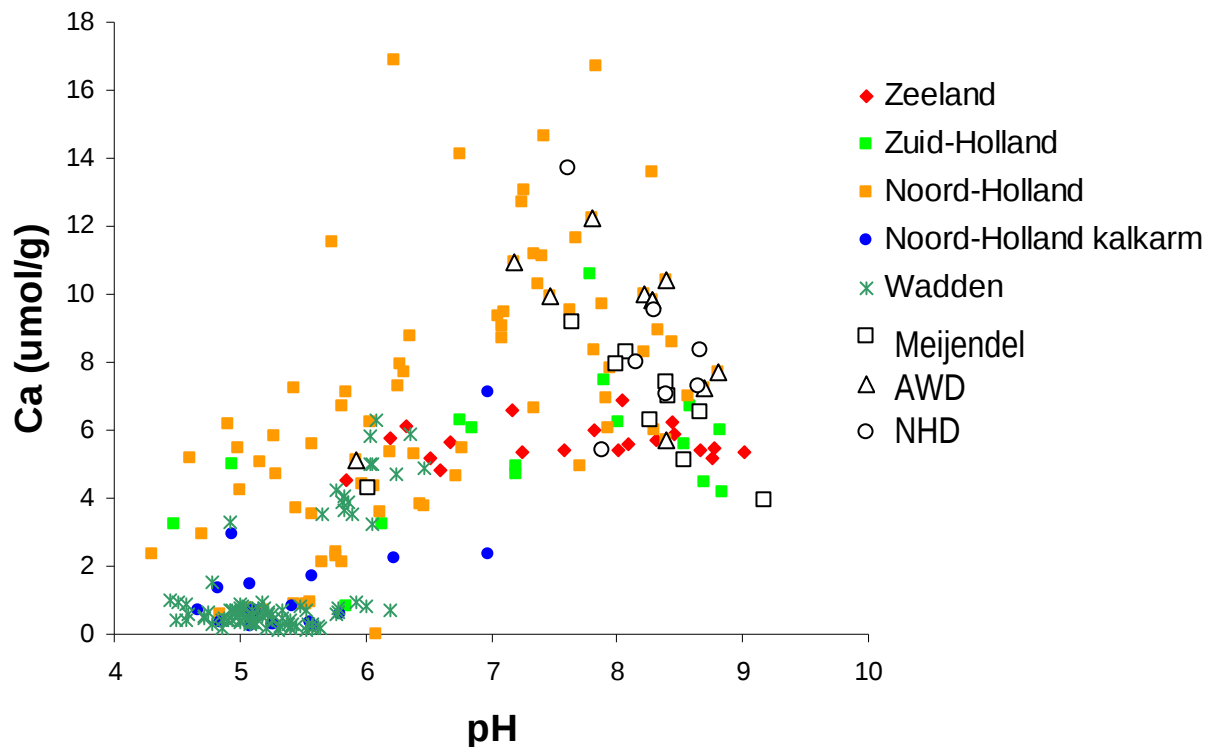
Naast abiotische en biotische variabelen aan bodem en vegetatie in het 2 x 2 meter proefvlak zijn binnen het 10 x 10 meter proefvlak ook (semi)kwantitatieve bemonsteringen uitgevoerd aan bodemfauna. Er zijn zowel bodemplaggen gestoken als miereninventarisaties gedaan. De bodemplaggen zijn op een vergelijkbare wijze behandeld als in de methode van het hoofdstuk verstuiwing van duingraslanden (pag. 45-46) beschreven is. Voor de mieren werd willekeurig binnen het 10 x 10 meter proefvlak tien maal een spade in de grond gestoken en genoteerd of er mieren werden aangetroffen.

7.3 Resultaten

Bodem

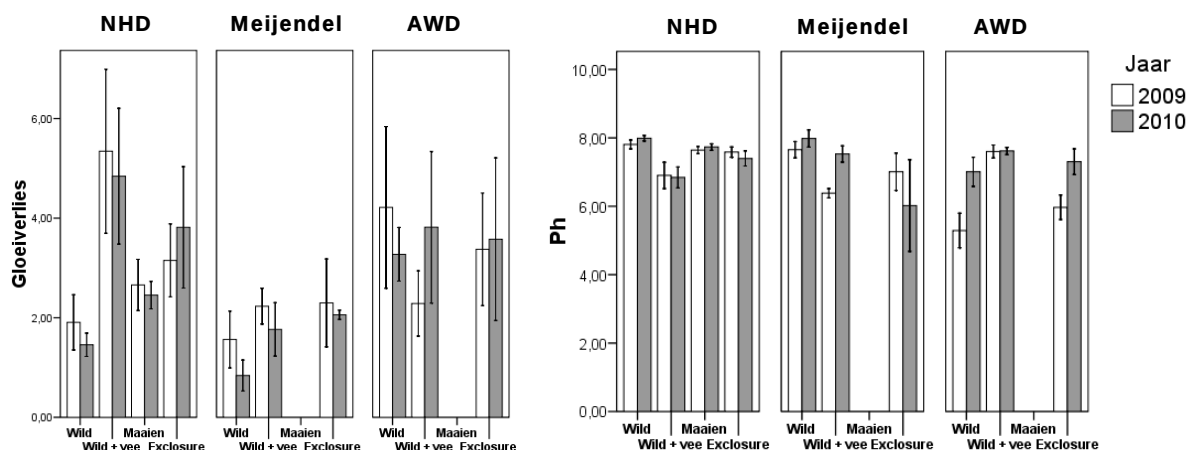
In figuur 7.1 staan alle 242 monsterpunten uit het OBN begrazingsonderzoek opgenomen. Hierin is het calciumgehalte in de bodem uitgezet tegen de pH en zijn de monsterpunten in

regio's ingedeeld. Duidelijk concentreert het cluster van monsterpunten uit het Waddengebied (groene kruisjes) zich bij relatief lage pH's en lage kalkgehalten. Ook het kalkarme deel van Noord-Holland (blauwe rondjes) heeft een relatief lage pH en kalkgehalte. Zeeland (rode ruit) heeft vaak een hogere pH en een geringe spreiding van het kalkgehalte. De regio's Zuid-Holland (groen vierkant) en Noord-Holland (oranje vierkant) hebben zowel in pH als in kalkgehalte een zeer grote spreiding. De monsterpunten uit het OLD onderzoek (Meijendel open vierkant; AWD open driehoek en NHD open rond) concentreren zich voornamelijk richting hoge pH's en hoge kalkgehalten.



Figuur 7.1: Calciumgehalte (umol/g drooggewicht bodem; NaCl extractie) uitgezet tegen de pH (water extract) van alle 242 monsterpunten uit het OBN begrazingsonderzoek. Monsterpunten zijn verdeeld in de regio's waar ze genomen zijn, hierbij zijn de punten uit het OLD onderzoek (zwart, open symbolen) apart aangegeven.

Figuur 7.2 laat het verschil zien in gloeiverlies en pH van de 34 monsterpunten uit het OLD tussen de verschillende gebieden en behandelingen. Gemiddeld lijkt het gloeiverlies (de hoeveelheid organische stofgehalte) in het NHD en de AWD tot 50% hoger dan in Meijendel. Voor de pH is het verschil tussen de gebieden niet groot, toch lijkt de pH in het NHD iets hoger (pH 7 – 8) dan in Meijendel (pH 6 - 8) en de AWD (pH 5.5 – 7.5) te zijn. Tussen de behandelingen en de jaren is in het NHD weinig verschil te zien. Zowel in Meijendel als in de AWD is er enige variatie tussen de jaren in bodem pH waar te nemen, maar geen sterke trend.



Figuur 7.2: Gloeiverlies (LOI %) en pH (zoutextract) van de bodem in de verschillende monsterpunten van het OLD onderzoek. Per gebied zijn de verschillende beheersmethodes en de jaren 2009 en 2010 gesplitst. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Uit de resultaten van de chemische bodemanalyse is een kleine selectie geanalyseerd op procentuele verschillen tussen de nulsituatie (exclosure) en het gevoerde beheer. Tabel 7.2 laat de verschillen in pH en ammonium-nitraat ratio zien. Uit de pH-analyse komt geen duidelijke trend naar voren per behandeling. De ammonium-nitraat ratio neemt bij bijna elke behandeling af. Als we afzonderlijk kijken naar ammonium en nitraat, dan neemt ammonium ten opzichte van de nulsituatie af en nitraat toe. Bijna elke behandeling, in vergelijking met de nulsituatie, heeft een verlaging van de ammonium-nitraat ratio met meer dan 25% tot gevolg.

Tabel 7.2: Selectie van chemische bodemeigenschappen (2009) in de verschillende gebieden en behandelingen. De behandelingen zijn: maaien, begrazen met wilde grazers en huisvee (wild+vee) en alleen wilde grazers (wild; zie tabel 7.1). De zuurgraad (pH) gemeten met zoutextractie en de ratio tussen ammonium (zoutextractie) en nitraat (waterextractie) zijn hier weergegeven. De tabel geeft de procentuele verschillen aan in vergelijking met de nul-meting (exclosure), uitgedrukt in plussen en minnen. Hierbij is een verschil tussen 0 en 5 procent aangegeven met een enkele plus (+) of min (-), een verschil tussen 5 en 25 procent met een dubbele plus (++) of min (--) en verschillen boven de 25 procent met drie plussen (+++) of minnen (---).

	pH (NaCl)	NH4 (NaCl) / NO3 (H2O)
maaien (NHD)	+	---
wild+vee (NHD)	--	---
wild+vee (Meijendel)	--	---
wild+vee (AWD)	++	---
wild (NHD)	+	+++
wild (Meijendel)	++	---
wild (AWD)	--	---

Tabel 7.3 laat de verschillen in strooisel, organische bodemlaag en dichtheid van de bodem zien. Alle behandelingen in alle gebieden hebben een verlaging van de dikte van de strooisellaag (Ol) met meer dan 25% tot gevolg. Met betrekking tot de dikte van de organische laag (Ah) lijken wilde grazers een verhoging van de Ah tot gevolg te hebben en begrazing met additioneel huisvee eerder een verlaging.

In het NHD heeft zowel maaien, begrazen met wild+vee (wilde grazers plus huisvee) als wildbegrazing een verlaging van de bodemcompactie met tussen de 5 en 25% tot gevolg. In Meijendel en de AWD vindt echter een verhoging van de bodemcompactie plaats als gevolg van begrazing (wild + vee en alleen wild). Kijkende naar het gloeiverlies (organische stofgehalte) van de bodem, lijkt er een trend van afname aanwezig te zijn met het inzetten van beheer (tabel 7.3).

Tabel 7.3: Selectie van chemische bodemeigenschappen (2009) in de verschillende gebieden en behandelingen. De behandelingen zijn: maaien, begrazen met wilde grazers en huisvee (wild+vee) en alleen wilde grazers (wild; zie tabel 7.1) De strooiseldikte (OI), organische laag (Ah), bodemcompactie uitgedrukt in gram per 100 CC volume en het gloeiverlies (organisch stofgehalte) in procenten zijn hier weergegeven. De tabel geeft de procentuele verschillen aan in vergelijking met de nul-meting (exclosure), uitgedrukt in plussen en minnen. Hierbij is een verschil tussen 0 en 5 procent aangegeven met een enkele plus (+) of min (-), een verschil tussen 5 en 25 procent met een dubbele plus (++) of min (--) en verschillen boven de 25 procent met drie plussen (+++) of minnen (---).

	OI	Ah	bodemcompactie	gloeiverlies (%)
maaïen (NHD)	---	+++	-	--
wild+vee (NHD)	---	++	-	+++
wild+vee (Meijendel)	---	-	++	-
wild+vee (AWD)	---	---	++	---
wild (NHD)	---	+++	-	---
wild (Meijendel)	---	+	++	---
wild (AWD)	---	++	+	++

Ook in het groot opgezette OBN begrazingsonderzoek heeft het begrazingsbeheer geen significant effect op de pH van de bodem (Tabel 7.4, Figuur in bijlage 7.4). De pH verschilt tussen duinzones, met een relatief hoge pH rond 7 in kalkrijke bodems van het Renodunaal district, en waarden rond de 4 in ontkalkte bodems van het Renodunaal en Wadden district. Ook is er een correlatie tussen de pH en het organische stofgehalte (LOI): bij lage pH worden hoge organische stofgehalten gevonden, bij een hoge pH worden lage organisch stofgehalten aangetroffen.

Het organische stofgehalte in de bodem is niet gecorreleerd met duinzone: in alle drie de zones komen zowel hoge als lage organische stofgehalten voor. Het organische stofgehalte wordt echter wel beïnvloed door begrazing. Voor de hoeveelheid organische stof zijn de waarden significant hoger in begraasde dan in onbegraasde gebieden. Deze hogere waarden bij begrazing kunnen het gevolg zijn van vertrapping van de vegetatie, waardoor een groter deel in de minerale bodem terecht komt, maar kunnen ook zijn veroorzaakt door bodemverdichting. De bulkdichtheid is evenzo significant hoger in begraasde dan in onbegraasde gebieden, vooral in locaties met hogere organische stofgehalten (LOI > 2.5 %). In onbegraasde gebieden is de bulkdichtheid bij hogere organische stofgehalten lager dan bij lage organische stofgehalten (LOI ≤ 2.5 %), als gevolg van de (veel) lagere dichtheid van organische stof dan van zand. In begraasde gebieden verdwijnt dit verschil echter voor een groot deel, omdat de bodem door vertrapping wordt verdicht. Binnen het OLD onderzoek is Meijendel een terrein met een lage LOI (d.w.z. LOI ≤ 2.5 %) en de AWD en het NHD liggen tegen de grens van de overgang naar een hoge LOI (d.w.z. LOI > 2.5 %).

Begrazing heeft binnen het OBN onderzoek geen bepalend effect op NH₄ of NO₃. Er wordt alleen door de begrazingsduur een heel kleine variatie (1 %) voor de hoeveelheid NO₃ in de bodem verklaard (bijlage 7.5).

Tabel 7.4: Het effect van duinzone, OM-gehalte en begrazing op pH, organische stofgehalte en bulkdichtheid van de bovenste 5 cm van de minerale bodem (drieweg-Anova). Significante effecten zijn weergegeven met de overschrijdingskans; ns = niet significant (p > 0.05). Alleen locaties waar minstens vier jaar begrazing plaatsvindt, en waar zowel begraasde als onbegraasde situaties aanwezig zijn, zijn in beschouwing genomen (n = 206).

	Duinzone	OM-gehalte (kg/m ²)	Begrazing
pH	0.0001	0.001	ns
LOI (%)	ns	0.0001	0.01
Bulkdichtheid	ns	0.0001	0.035

Biomassa en Vegetatiebedekking

Als we naar het verschil in de plantensamenstelling tussen de behandelingen en de nulsituatie kijken (Tabel 7.5), heeft behalve de AWD elke behandeling een vermindering van Helm en Duinriet (*Calamagrostis epigejos*) tot gevolg met meer dan 25%. Ondanks/dankzij alle begrazing (wild en wild+vee) neemt de bedekking van Zandzegge (*Carex arenaria*) vrijwel overal met meer dan 25% toe. Bij wildbegrazing neemt de bedekking van smalbladige grassen af en bij begrazing met additioneel huisvee bijna altijd toe. Elke behandeling heeft een verlaging van het oppervlakte dauwbraam (*Rubus caesius*) tot gevolg. Overal, behalve in de AWD, nemen kruiden toe in bedekking. Ook mossen nemen vrijwel overal met meer dan 25% toe. De korstmossen lijken het beter te doen in de Meijendel en de AWD dan in het NHD, waar ze overal afnemen.

Tabel 7.5: Plantopname in de verschillende gebieden en behandelingen. De behandelingen zijn: maaien, begrazen met wilde grazers en huisvee (wild+vee) en alleen wilde grazers (wild; zie tabel 7.1). De meest voorkomende plantensoorten en groepen zijn in de tabel weergegeven. De tabel geeft de procentuele verschillen in oppervlakteverdeling aan in vergelijking met de nul-meting (exclosure), uitgedrukt in plussen en minnen. Hierbij is geen verschil aangegeven met nul (0), een verschil tussen 0 en 5 procent met een enkele plus (+) of min (-), een verschil tussen 5 en 25 procent met een dubbele plus (++) of min (--) en verschillen boven de 25 procent met drie plussen (+++) of minnen (---).

	Helm	Duinriet	Zandzegge	Smalbladige grassen	Dauwbraam	Kruiden	Mossen	Korstmossen
maaien (NHD)	---	--	+++	+++	---	+++	+++	---
wild+vee (NHD)	---	---	+++	--	---	+++	++	---
wild+vee (Meijendel)	---	---	+++	+++	---	+++	+++	+++
wild+vee (AWD)	+++	---	+++	+++	0	--	+++	0
wild (NHD)	---	---	--	--	---	+++	-	---
wild (Meijendel)	---	---	+++	0	---	++	+++	+++
wild (AWD)	---	+++	+++	---	---	---	+++	++

Over het algemeen heeft begrazing (wild en wild+vee) een afname van de staande biomassa en strooisel tot gevolg (Tabel 7.6). Mossen lijken bij alle maatregelen toe te nemen. De wortelbiomassa neemt bij begrazing (wild en wild+vee) af, behalve in het NHD. Maaien lijkt wat betreft bovengrondse biomassa en strooisel een tegenovergesteld resultaat te geven ten opzichte van begrazing (wild en wild+vee). Bij maaien neemt de bovengrondse biomassa toe in plaats van af. De verhouding tussen de staande biomassa en wortelbiomassa laat geen algemene trend zien voor de verschillende behandelingen en gebieden.

Tabel 7.6: Plantgewichten (biomassa) in de verschillende gebieden en behandelingen. De behandelingen zijn: maaien, begrazen met wilde grazers en huisvee (wild+vee) en alleen wilde grazers (wild; zie tabel 7.1). De Tabel geeft de procentuele verschillen aan in vergelijking met de nul-meting (exclosure), uitgedrukt in plussen en minnen. Hierbij is een verschil tussen 0 en 5 procent aangegeven met een enkele plus (+) of min (-), een verschil tussen 5 en 25 procent met een dubbele plus (++) of min (--) en verschillen boven de 25 procent met drie plussen (+++) of minnen (---).

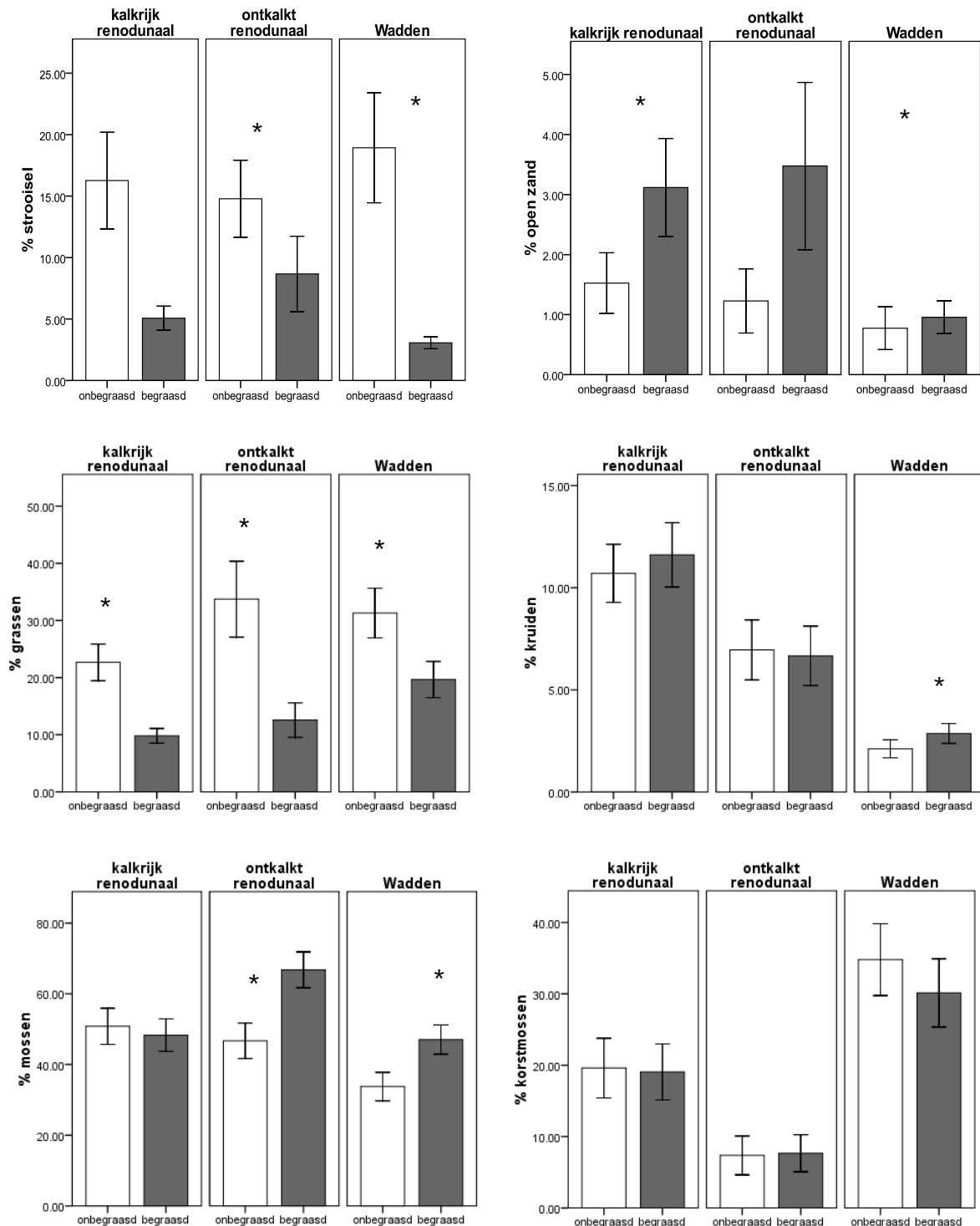
	staand mos	strooisel	wortel	spruit-wortel ratio
maaien (NHD)	+++	---	+++	--
wild+vee (NHD)	---	---	---	++
wild+vee (Meijendel)	---	+++	---	---
wild+vee (AWD)	--	++	---	---
wild (NHD)	++	+	---	++
wild (Meijendel)	---	+++	---	--
wild (AWD)	---	+++	---	---

In het OBN begrazingsonderzoek kwamen vergelijkbare resultaten naar voren. Wanneer alle 226 plots worden gesplitst naar onbegraasd of begraasd, neemt de biomassa van vaatplanten (staande biomassa) significant af door begrazing (Mann-Whitney U-toets, $p < 0.001$), maar de massa van korstmossen+mosses en wortels niet (Tabel 7.7).

Tabel 7.7: Effecten van begrazing op de biomassa van vaatplanten en korstmossen+mossen. Korstmossen en bladmosse zijn niet van elkaar gescheiden. Rk is *Renodunaal district met kalkrijke bodem*, Ro is *Renodunaal district met ontkalkte bodem* en W betekent Waddendistrict. (aantal plots per duinzone Rk n=84, Ro n=44, W n=88; Mann-Whitney U-toets). De richting van het effect staat weergegeven (o = onbegraasd, b = begraasd)

	biomassa vaatplanten	biomassa korstmossen + mossen
Rk	ns	ns
richting		
Ro	0.002	0.006
richting	o>b	o<b
W	0.001	ns
richting	o>b	

De aanwezigheid van vergrassende grassen (duinriet, helm, zandzegge), kruiden, bladmosse, korstmossen, strooisel en open zand is bepaald als percentage bedekking in het OBN begrazingsonderzoek (vergelijkbaar met de opzet in het OLD onderzoek). De bedekking met grassen neemt in de Renodunale duinen en het Waddendistrict af door begrazing (Fig. 7.3). Alleen op de Wadden neemt de bedekking met kruiden toe door begrazing, in de Renodunale duinen is er geen significant effect. Mossen nemen toe door begrazing in de kalkarmere duinen van het Renodunaal district en op de Wadden, maar begrazing heeft op de bedekking van korstmossen geen significant effect. De strooiselbedekking neemt door begrazing af in de ontkalkte duinen van het Renodunaal district en op de Wadden, maar in kalkrijke duinen is het effect er minder sterk aanwezig. De bedekking van open zand, onder andere van belang voor grondnestelende insecten, neemt toe door begrazing, behalve in de ontkalkte Renodunale duinen.

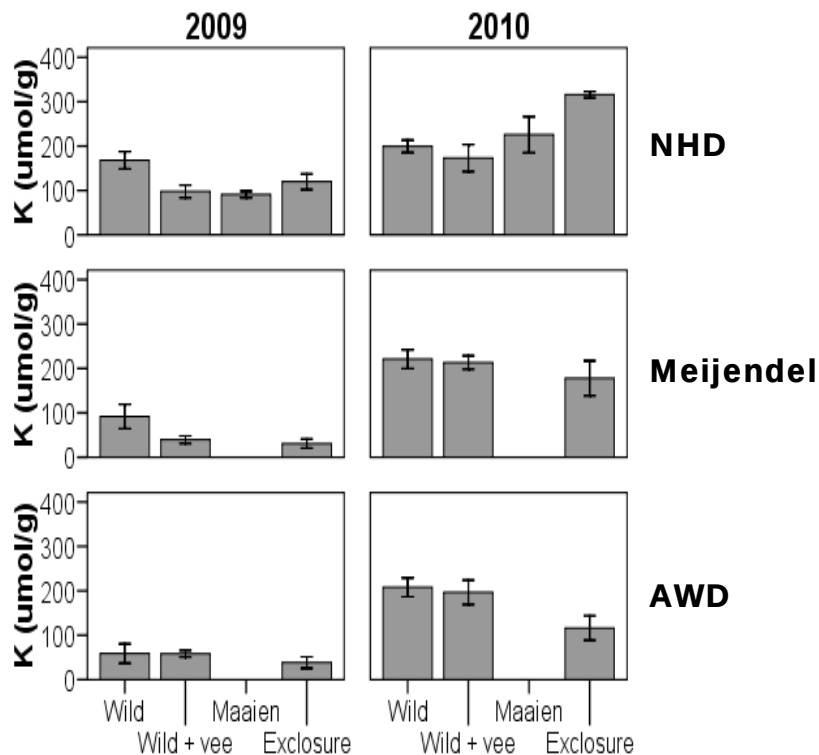


Figuur 7.3: Bedekking met grassen, kruiden, mossen en korstmossen [%; ± 1 SE], per duinzone en beheerstype. Een sterretje * indiceert een significant verschil binnen duinzone tussen onbegraasd en begraasd (Mann-Whitney U-toets, $p < 0.099$). Verschillen tussen duinzones zijn niet getest.

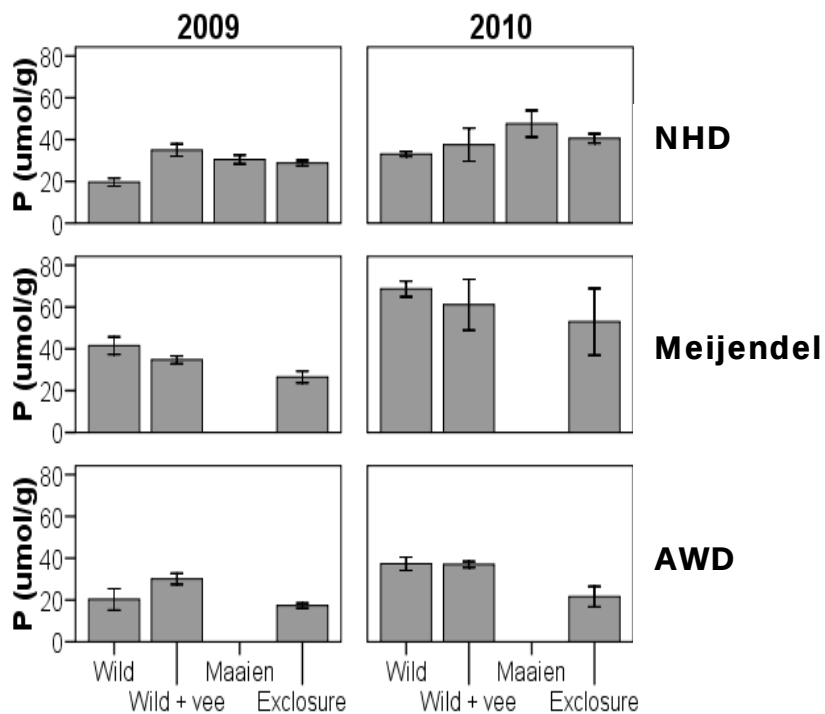
Plantkwaliteit

Van de verschillende vegetatiedelen (vaatplanten, mossen en strooisel) is in 2009 en 2010 gekeken naar de chemische samenstelling. In 2009 is dit gebeurd aan het einde van het groeiseizoen (eind september), in 2010 in het midden van het groeiseizoen (begin/midden juli). Dit tijdverschil is bij de vaatplanten duidelijk in de elementensamenstelling terug te zien (Fig. 7.4 tot 7.7). Tijdens het groeiseizoen in juli 2010 zijn de concentraties kalium, fosfor en

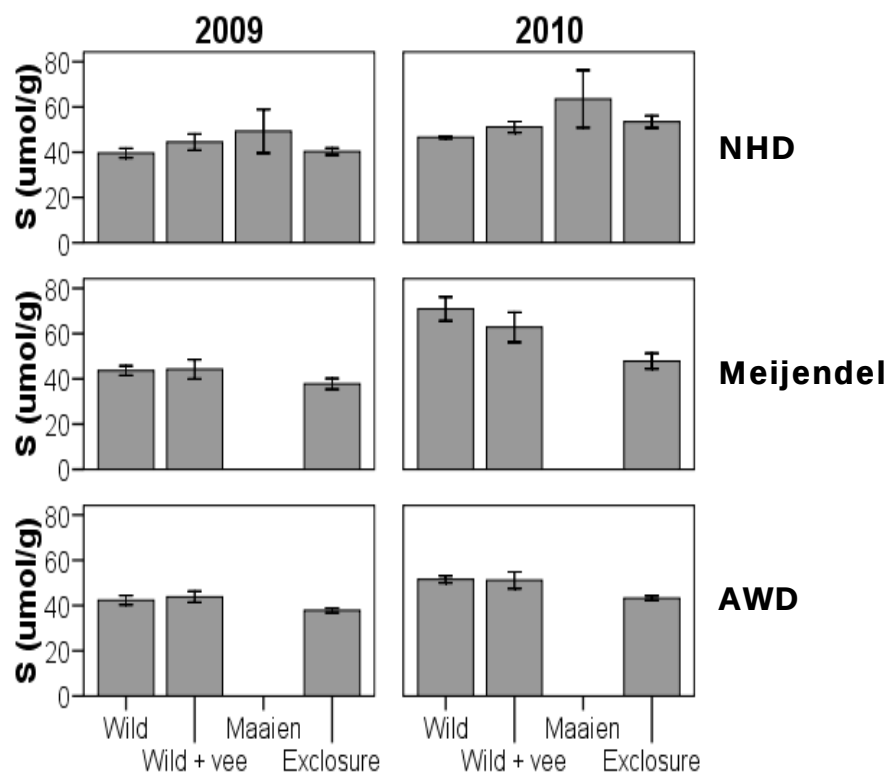
zwavel (deels) hoger dan aan het einde van het groeiseizoen 2009. Belangrijke elementen worden aan het einde van het groeiseizoen naar de wortels verplaatst als ze niet meer nodig zijn voor het groeiproces (Marschner 1995). Daarom zijn er tijdens de 2009 bemonstering minder elementen aanwezig in de bovengrondse biomassadelen. Andere, fysiologisch minder belangrijke elementen zoals aluminium (Marschner 1995) laten ook tijdens de groeiseizoen twee tot drie keer hogere waarden zien (figuur 7.7).



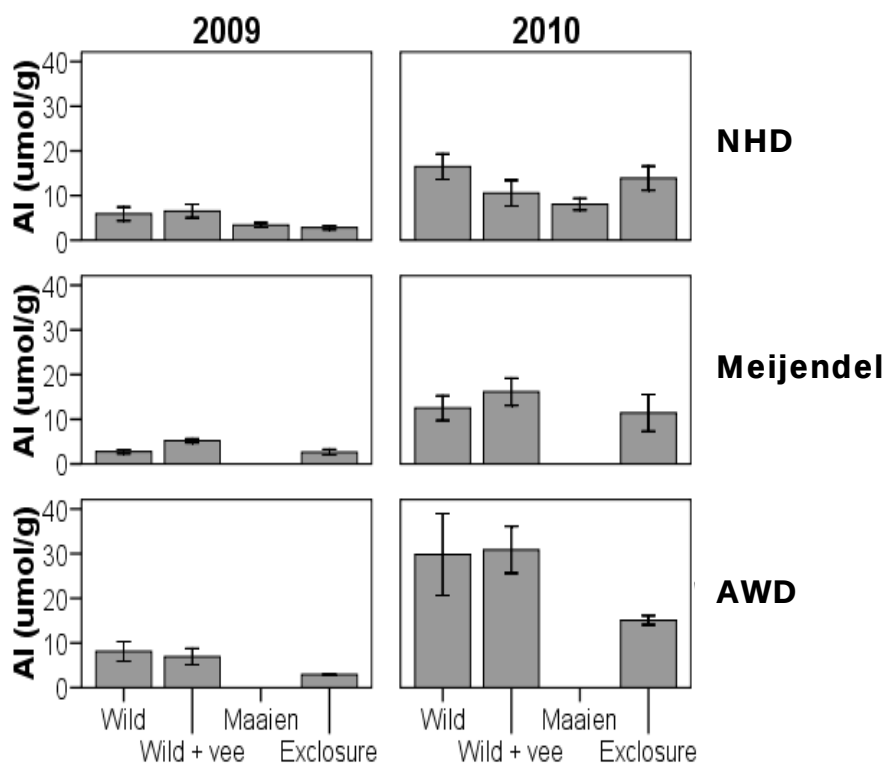
Figuur 7.4: Kaliumconcentratie [$\mu\text{mol/g}$] in vaatplanten tussen de verschillende beheersvormen (wild, wild+vee, maaien en exclosure - zie tabel 7.1 voor meer uitleg) in 2009 en 2010, apart voor de drie gebieden. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.



Figuur 7.5: Fosfaatconcentratie [$\mu\text{mol/g}$] in vaatplanten tussen de verschillende beheersvormen (wild, wild+vee, maaien en exclosure - zie tabel 7.1 voor meer uitleg) in 2009 en 2010, apart voor de drie gebieden. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.



Figuur 7.6: Zwavelconcentratie [$\mu\text{mol/g}$] in vaatplanten tussen de verschillende beheersvormen (wild, wild+vee, maaien en exclosure - zie tabel 7.1 voor meer uitleg) in 2009 en 2010, apart voor de drie gebieden. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

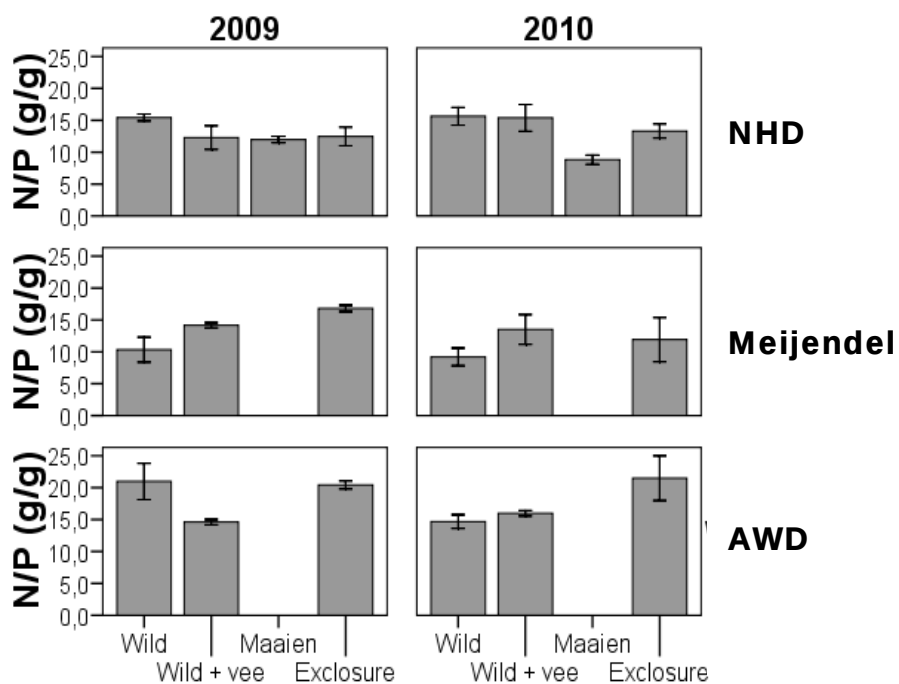


Figuur 7.7: Aluminiumconcentratie [micromol/ g] in vaatplanten tussen de verschillende beheersvormen (wild, wild+vee, maaien en exclosure - zie tabel 7.1 voor meer uitleg) in 2009 en 2010, apart voor de drie gebieden. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

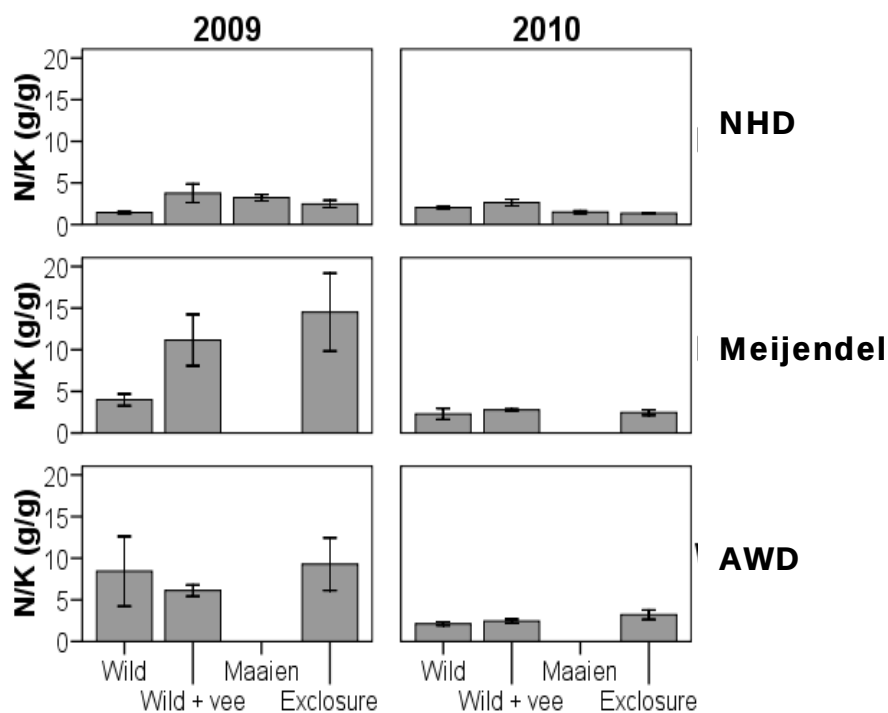
Tussen de drie gebieden valt op dat in het NHD de elementenconcentraties tijdens het groeiseizoen vaak hoger zijn, in het bijzonder bij kalium (Fig. 7.4). Hierdoor is de verhouding tussen stikstof en kalium ook erg laag in het NHD (2 tot 5 g/g) in vergelijking met de andere twee gebieden (meestal 5 tot 15 g/g; fig. 7.9).

Begrazing (door wilde grazers of met additioneel huisvee) lijkt vaak gekoppeld te zijn aan hogere elementenconcentraties in vergelijking met de controle, de exclosures (significante verschillen zijn niet getest, omdat de replicatie te laag is om zo'n kleine verschillen überhaupt aan te kunnen tonen). In het NHD is dit echter vaak niet het geval. De maatregel maaien zonder enige vorm van begrazing is alleen in het NHD bemonsterd. Er is geen duidelijke, in een richting wijzende, trend voor de concentraties van elementen te zien t.o.v. de andere maatregelen of de controle.

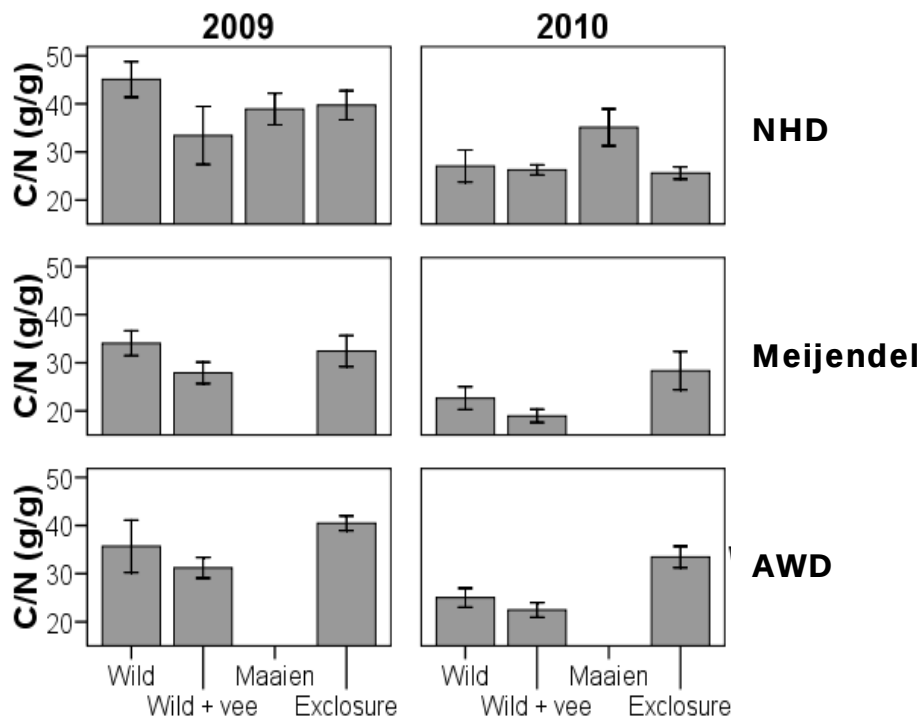
De verhoudingen tussen belangrijke macronutriënten, bv. N/P, N/K of C/N, zijn vaak lager in begraasde terreinen dan in de controle gebieden (Fig. 7.8 tot 7.10).



Figuur 7.8: Stikstof-fosfaat verhouding in vaatplanten tussen de verschillende beheersvormen (wild, wild+vee, maaien en exclosure - zie tabel 7.1 voor meer uitleg) in 2009 en 2010, apart voor de drie gebieden. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

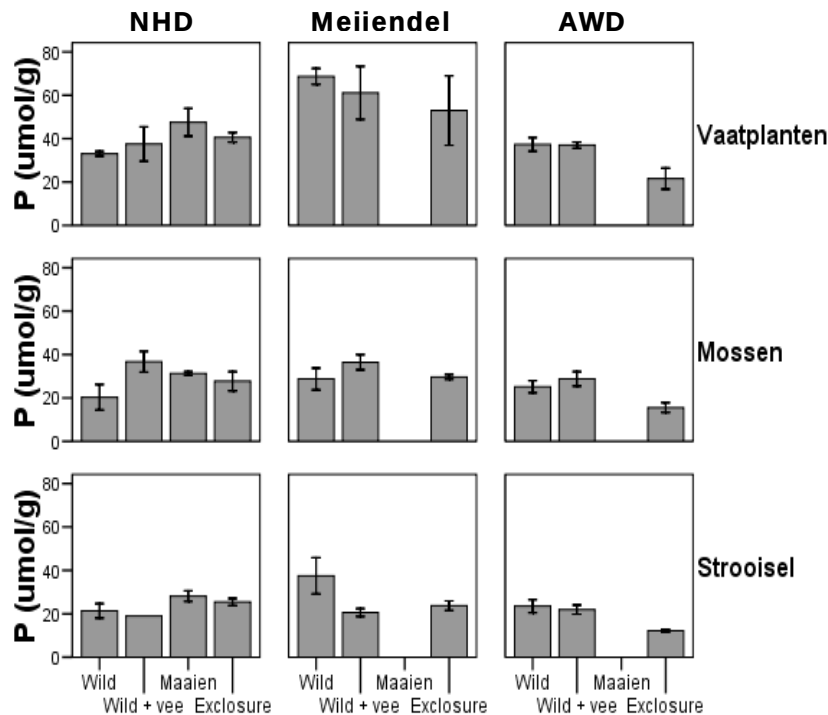


Figuur 7.9: Stikstof-kalium verhouding in vaatplanten tussen de verschillende beheersvormen (wild, wild+vee, maaien en exclosure - zie tabel 7.1 voor meer uitleg) in 2009 en 2010, apart voor de drie gebieden. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

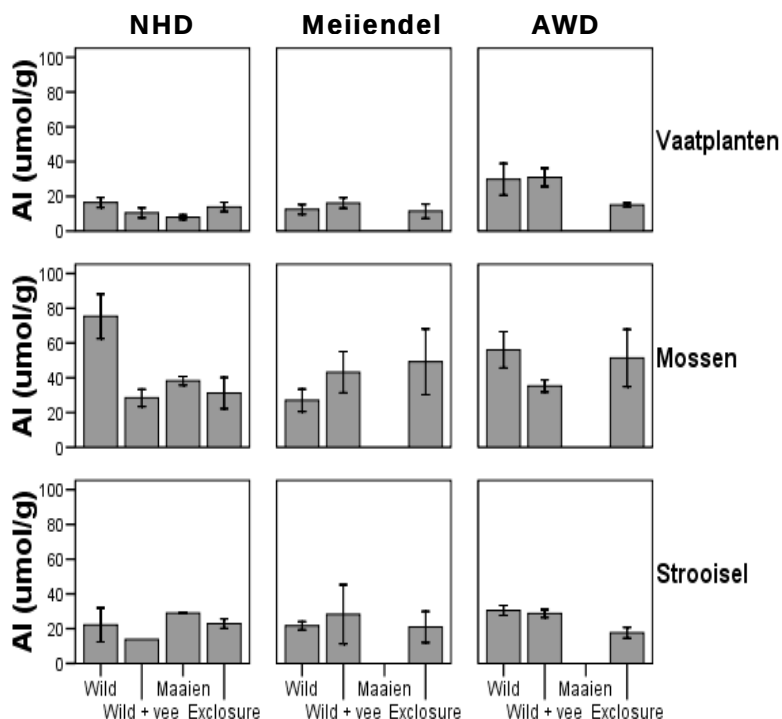


Figuur 7.10: Koolstof-stikstof verhouding [g/g] in vaatplanten tussen de verschillende beheersvormen (wild, wild+vee, maaien en exclosure - zie tabel 7.1 voor meer uitleg) in 2009 en 2010, apart voor de drie gebieden. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven 1 +/- SE weer.

Trends die voor vaatplanten te zien zijn, zijn vaak ook vertegenwoordigt in andere vegetatiedelen (mossen, strooisel). Zo is bijvoorbeeld de fosforconcentratie niet alleen in de vaatplanten hoger bij begrazing maar ook in de moslaag en de strooisellaag (Fig. 7.11). Opvallend is dat metalen zoals aluminium, die toxisch kunnen zijn voor planten, twee keer hogere concentraties in mossen hebben dan in vaatplanten of in het strooisel (Fig. 7.12).



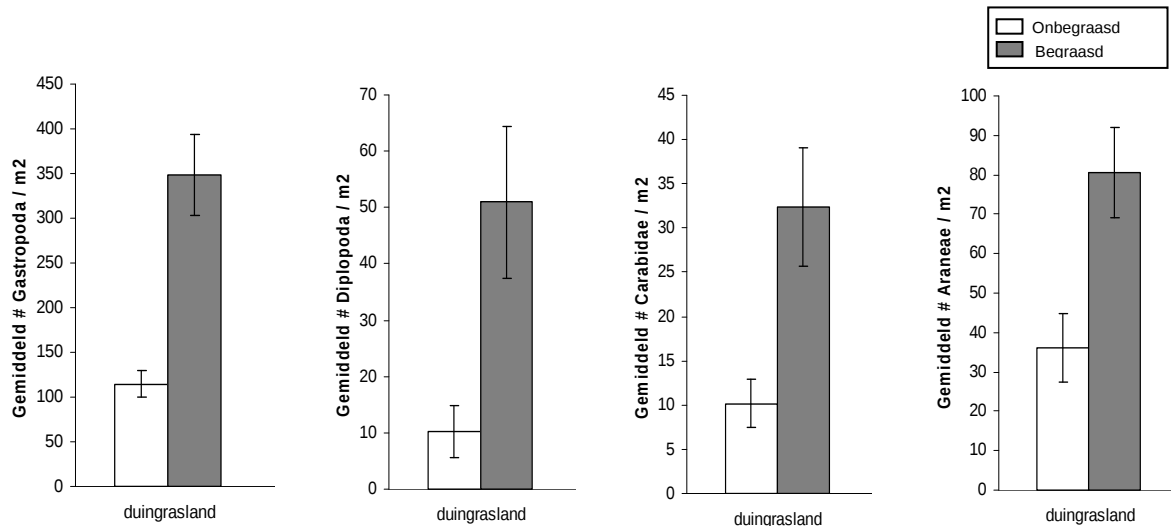
Figuur 7.11: Fosfaatconcentratie [$\mu\text{mol/g}$] in vaatplanten, mossen en strooisel tussen de verschillende beheersvormen (wild, wild+vee, maaien en exclosure - zie tabel 7.1 voor meer uitleg) in 2010, apart voor de drie gebieden. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven ± 1 SE weer.



Figuur 7.12: Aluminiumconcentratie [$\mu\text{mol/g}$] in vaatplanten, mossen en strooisel tussen de verschillende beheersvormen (wild, wild+vee, maaien en exclosure - zie tabel 7.1 voor meer uitleg) in 2010, apart voor de drie gebieden. De verschillen tussen de behandelingen zijn niet statistisch getoetst. De foutbalken geven ± 1 SE weer.

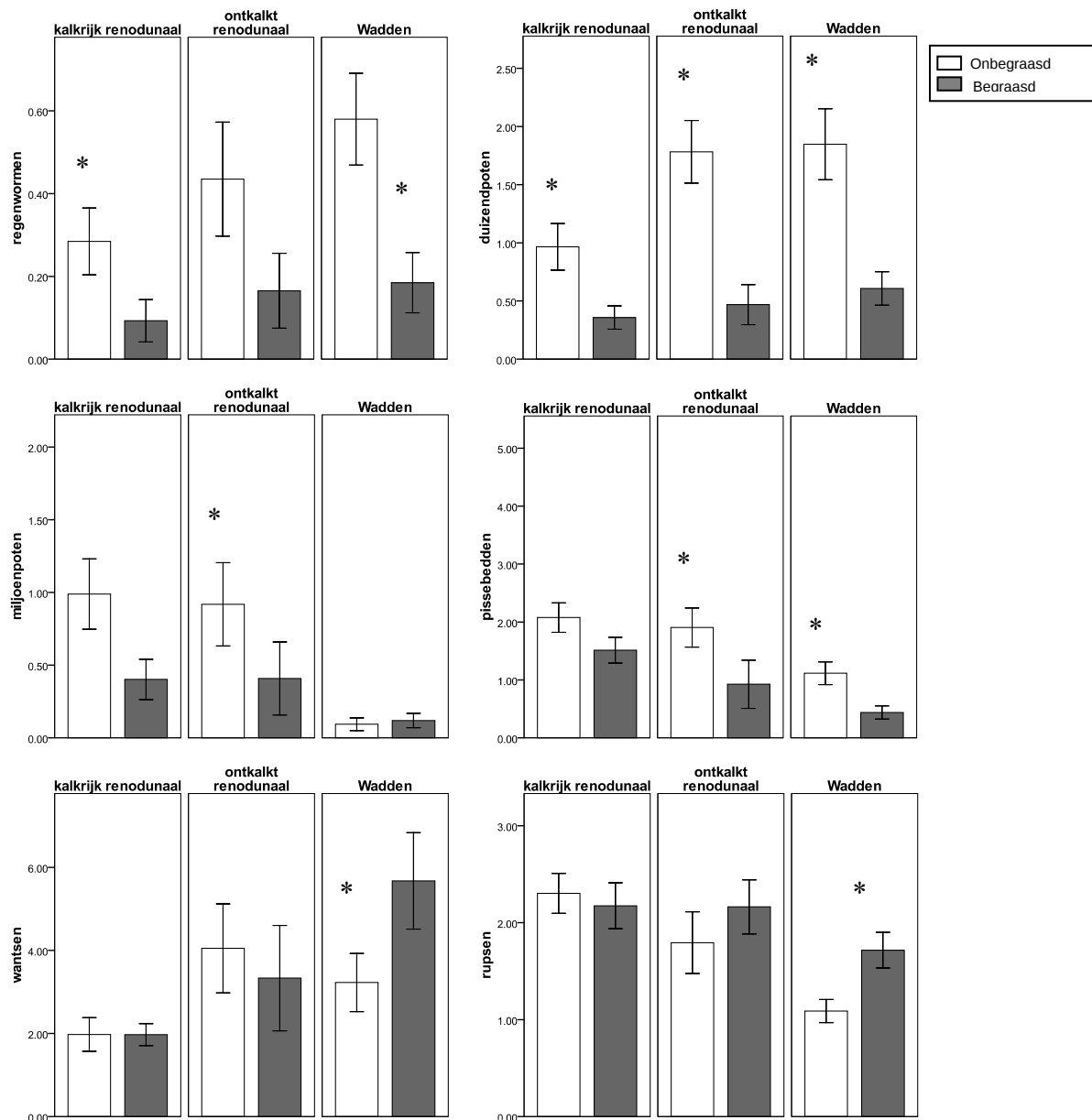
Bodemfauna

Voor de bodemfauna zijn binnen het VK (Wouters et al. 2009) bodemplaggen gestoken in de Noorderduin, onbegraasd terrein, en de Rellen, begraasd terrein (allebei in het NHD; verder uitleg van bemonsteringsmethode, frequentie en analyses zie Wouters et al. 2009, hoofdstuk 6). In de begraasde gebieden komen ca. twee tot vier keer grotere aantallen slakken (Gastropoda), miljoenpoten (Diplopoda), loopkevers (Carabidae), spinnen (Araneae), pissebedden (Isopoda) en kniptorren (Elateridae) per m² voor (Fig. 7.13 en Wouters et al. 2009, hoofdstuk 6).



Figuur 7.13: Gemiddelde aantallen per m² (+/- 1 SE) Gastropoda, Diplopoda, Carabidae en Araneae in plaggen van onbegraasde (Noorderduin, NHD) en begraasde (de Rellen, NHD) terreinen. Verdere uitleg over bemonsteringsmethode, analyses enz. zie VK (Wouters et al. 2009).

Binnen het OBN begrazingsonderzoek zijn de verhoudingen juist andersom. Er komen bijvoorbeeld twee tot drie keer grotere hoeveelheden pissebedden, miljoenpoten en regenwormen in de onbegraasde plots voor (Fig. 7.14 en bijlage 7.6). Mierendichtheden laten in geen enkel duinzone een relatie met begrazingsbeheer zien (zie bijlage 7.7).



Figuur 7.14: Gemiddelde aantallen per plag per duinzone voor de arthropoden klassen (wortel-getransformeerd, gemiddelde plus standaardfout). Verdere uitleg over bemonsteringsmethode, analyses enz. zie OBN begrazingsrapport (van Oosten et al. 2012).

7.4 Discussie/conclusie

Koppeling OLD en OBN begrazingsonderzoek

Zoals aangegeven in de eerste tussenrapportage OLD (Wouters & Remke, 2010) is het door de geringe dataset binnen OLD moeilijk algemene uitspraken te doen over de effecten van begrazing op duingraslanden. Juist om deze reden is er voor gekozen de koppeling te maken met het grotere OBN begrazingsonderzoek in de duinen van heel Nederland (van Oosten et al. 2012). Uit figuur 7.1 is af te lezen dat deze dataset, bestaande uit 242 datapunten, een grote verscheidenheid aan Nederlandse duingebieden beslaat. Hieruit blijkt ook meteen dat de monsterpunten uit het OLD onderzoek zich concentreren in een relatief klein gedeelte van de totale spreiding van monsterpunten. Dit betekent dat deze punten alleen, dus geen goede representatie geven van de Nederlandse duingraslanden. In de totale bemonstering van 242 punten zijn zowel de kalkarme als kalkrijke gebieden meegenomen maar ook de variatie

binnen deze gebieden (te zien aan de spreiding van punten in pH en calciumgehalte). Deze spreiding over de verschillende Nederlandse duingraslandtypen samen met de variatie aan begrazingstypen en -intensiteit geven een dataset die de mogelijkheid moet bieden om uitspraken te doen over algemeen geldende principes over duinbegrazing (van Oosten et al. 2012). De koppeling van de resultaten uit het OLD met die van het groter opgezette OBN begrazingsonderzoek laat het toe enkele trends uit het OLD onderzoek te bevestigen of juist te ontkrachten.

Effecten op bodem

Uit het OBN onderzoek blijkt dat de eigenschappen van de bodem zeer sterk bepaald worden door verschillen in duinzone (kalkgehalte en pH) en het organische stofgehalte, en (mede daardoor) weinig door begrazing worden beïnvloed. De duinzone heeft op bijna alle bodemeigenschappen een significant effect. Daarnaast is pH de belangrijkste verklarende factor voor veel gemeten variabelen. Begrazing leidt wel tot een toename van het oppervlakte kaal zand en veroorzaakt een hogere bodemdichtheid (vooral bij hoge organische stofgehalten). Bedekking van de strooisellaag neemt significant af door begrazing, terwijl het organische stofgehalte van de minerale bodem toeneemt. Dit blijkt ook uit de onderzoeksresultaten van het OLD (met uitzondering van het organische stofgehalte in de bodem). Een indirecte doorwerking van begrazing via een hoger organisch stofgehalte naar andere bodemvariabelen lijkt (binnen de duur van maximaal 30 jaar begrazing) niet op te treden. Wat betreft pH, basische kationen en micronutriënten is het effect van begrazing marginaal. De concentraties en verhoudingen van nutriënten als ammonium, nitraat en fosfaat in extracties van verse minerale bodem lijken vooralsnog niet beïnvloed te worden door begrazing. De trends in nutriëntenbeschikbaarheid uit het OLD onderzoek houden dus niet stand bij opschaling naar heel Nederland. Bij beide analyses betreft het echter een momentopname. Of begrazing leidt tot een hogere of lagere mineralisatiesnelheid in de bodem en daarmee tot een verandering van beschikbaarheid in de loop van de tijd moet nog worden uitgezocht.

Plantkwaliteit

Er lijkt echter wel een significante relatie te bestaan tussen de begrazingsdichtheid en de hoeveelheid kalium in de bodem, maar voor alle andere ionen is het effect van begrazing, begrazingsdichtheid of begrazingsduur zeer gering. Dit effect op kalium is ook waargenomen tijdens het OLD onderzoek. De hoeveelheid kalium in de vaatplanten is onder begrazing vaak hoger. De verhouding tussen stikstof en andere belangrijke macronutriënten zijn met begrazing vaak lager dan in het controlegebied. Ondanks dat er bij deze momentopname in de bodem geen grote effecten van begrazing optreden op de concentraties van de verschillende elementen, blijken er voor (vaat-)planten toch meer nutriënten beschikbaar te zijn. Dit levert waarschijnlijk een betere plantkwaliteit voor herbivore insecten op. De C/N-, N/P-ratios zijn lager bij begrazing (vooral als er met additioneel huisvee wordt begraasd). Maar ook aluminium wordt meer opgenomen in het plantenmateriaal en dat resulteert ook in een lagere N/Al-ratio, dus een hogere concentratie van een voor de meeste herbivoren giftige stof.

De hogere concentraties kalium en lagere N/K-verhouding in het NHD zijn mogelijk te wijten aan het gebruik van de gebieden in het verleden. Het zeedorpengebruik heeft hier gezorgd voor verrijking van de bodem en daarmee de grotere opbouw van organisch materiaal in de bovenste bodemlaag (Slings, 1994). Olson (1958) heeft al aangetoond dat met een verhoging van het organische stofgehalte in de bodem de beschikbare kalium toeneemt. Normaal gaat deze verhoging gelijk op met de ouderdom van een duinsysteem (Etherington, 1967). Ondanks een vergelijkbare ouderdom van de gebieden zien we toch een hogere kaliumconcentratie in de staande biomassa in het NHD ten opzichte van de AWD (welke ook

een hoog organisch stofgehalte heeft). Een mogelijke verklaring hiervoor is de geringere opbouw van organisch materiaal op grotere diepte in de AWD, af te lezen aan de geringere diepte van de Ah-horizont (ca. 6 cm AWD t.o.v. ca. 13.5 cm NHD; Wouters & Remke, 2010). Hierdoor is het vermogen om kalium te binden per oppervlakte vele malen groter in het NHD. Verder is met de verrijking van het zeedorpenlandschap met onder andere zeewier een directe bron van kalium toegevoegd. In de AWD heeft deze opbouw alleen natuurlijk kunnen plaatsvinden door de opbouw van biomassa, dit is uiteraard een veel trager proces. De begrazing in het NHD volgens “zeedorpenrecept” zorgt verder, in combinatie met het menselijke gebruik van de gebieden uit het verleden, voor een kruimelige en daardoor luchtrijke mullmoder humus (Slings, 1994). De afbraak en de inwerking van organisch materiaal in het minerale bodemdeel wordt hierdoor verhoogd.

Vegetatiesamenstelling

Door begrazing neemt de hoeveelheid bovengrondse biomassa van vaatplanten over het algemeen af. Dit blijkt uit het OLD en ook in het OBN onderzoek. Binnen het OBN onderzoek is dit vooral duidelijk in de kalkrijke duinen van het Renodunaal district en de kalkarme duinen op de Wadden. In ontkalkte delen van de Renodunale duinen lijkt er geen significant effect te zijn van begrazing op biomassa. De biomassa van mossen en korstmossen reageert niet op begrazing, behalve in ontkalkte delen van de Renodunale duinen bij een hoog organisch stofgehalte.

De bedekking van ‘vergrassende’ grassen neemt af in het Renodunaal duindistrict, maar niet/nauwelijks in het Waddendistrict. Dit blijkt in het OLD onderzoek alleen voor Helm en Duinriet het geval te zijn. Zandzegge neemt in de onderzochte gebieden van het OLD onderzoek overal flink toe t.o.v. de controle. Of dit een veldopnameverschil tussen het OLD en OBN onderzoek is of de kleinere hoeveelheid Zandzegge gemaskeerd wordt door grotere hoeveelheden Helm en Duinriet binnen het OBN onderzoek is niet duidelijk.

Binnen het OBN onderzoek verandert de bedekking van kruiden niet door begrazing, behalve op de Wadden waar ze toenemen bij lage organische stofgehalten. De positieve toename van kruiden binnen het OLD wordt dus niet gevalideerd door het OBN onderzoek. Mossen lijken in ontkalkte delen van het Renodunaal duindistrict en op de Wadden toe te nemen door begrazing, maar de bedekking met korstmossen vertoont (vrijwel) geen reactie op begrazing. Ook binnen het OLD onderzoek neemt de bedekking met mos sterk toe (25 %). De betreding door grazers beïnvloedt de bedekking van mossen niet negatief. Door het creëren van minder concurrentie met vaatplanten om licht en ruimte door begrazing worden mossen waarschijnlijk zelfs positief beïnvloed.

Voor de korstmossen binnen het OBN onderzoek moet worden opgemerkt, dat de soortendiversiteit, hoogte en biomassa van de korstmossen niet afzonderlijk zijn bepaald. Uit onderzoek in Deense en Zweedse duinen blijkt, dat biomassa en soortendiversiteit van korstmossen afnemen door begrazing (Remke, 2011).

Binnen het OBN onderzoek, neemt de strooiselbedekking overal af door begrazing en de oppervlakte open zand lijkt toe te nemen door begrazing. Strooiselinput wordt ook binnen OLD bij elke beheersvorm verlaagd door verwijdering van staande biomassa (maaien door de mens of eten door een grazer), wat resulteert in een afname aan biomassa die in de strooisellaag terecht kan komen.

Fauna

Binnen het OBN onderzoek lijkt bodemfauna in de eerste plaats beïnvloed te worden door begrazing, en dan pas door duinzone. Het organische stofgehalte speelt nauwelijks een rol (van Oosten et al. 2012). Taxa die positief lijken te reageren op begrazing zijn rupsen en adulte vliegen. Taxa die negatief lijken te worden beïnvloed zijn duizendpoten, miljoenpoten,

pissebedden, regenwormen. Regenwormen, miljoenpoten en pissebedden zijn detritivoren en gaan waarschijnlijk achteruit door een afnemende strooiselbedekking. Dit is in tegenspraak met resultaten uit het VK onderzoek en laat weer eens zien hoe belangrijk een goede steekproef is voor een solide conclusie.

7.5 Samenvatting

Het invoeren van begrazingsbeheer met grote grazers om de verruiging terug te dringen is een voor de hand liggende maatregel, die reeds op grote schaal wordt toegepast. De ingevoerde begrazing is vaak succesvol in het terugdringen en constant laag houden van verruigde grasachtige vegetaties en het tot stilstand brengen van oprukkende struwelen. Het eveneens beoogde herstel van faunapopulaties heeft vaak wisselende successen. Het is zaak de effecten van begrazing op bodem, plant en dier inzichtelijk te maken om op deze wijze het begrazingsbeheer beter te kunnen sturen. Binnen het OLD onderzoek is hierom gekeken naar de effecten van begrazing op bodem-, plantkwaliteit en faunasamenstelling in de Amsterdamse waterleidingduinen, Meijndel en het Noord-Hollands duinreservaat. Doordat de omvang van deze dataset gering is, is het binnen het OLD moeilijk algemene uitspraken te doen over de effecten van begrazing op duingraslanden. Om de effecten van begrazing te kunnen veralgemeniseren is daarom de koppeling gemaakt met een groter onderzoek (OBN begrazingsonderzoek), in dit onderzoek wordt langs de gehele Nederlandse kust (242 monsterlocaties) gekeken naar de effecten van begrazing op bodem, plant en dier.

Uit het OBN onderzoek blijkt, dat de eigenschappen van de bodem zeer sterk bepaald worden door verschillen in duinzone (kalkgehalte en pH) en het organische stofgehalte, en weinig door begrazingsbeheer worden beïnvloed. Wat betreft pH, basische kationen en micronutriënten is het effect van begrazing marginaal, wel lijkt begrazing te zorgen voor een hogere bodemdichtheid (vooral bij hoge organische stofgehalten). Ondanks dat er bij deze momentopname in de bodem geen grote effecten van begrazing optreden op de concentraties van de verschillende elementen, blijkt uit het OLD voor (vaat-)planten toch meer nutriënten beschikbaar te zijn. Bij beide analyses betreft het echter een momentopname. Of begrazing leidt tot een hogere of lagere mineralisatiesnelheid in de bodem en daarmee tot een verandering van beschikbaarheid in de loop van de tijd voor planten en dieren moet nog worden uitgezocht.

De bedekking door een strooisellaag neemt significant af door begrazing, terwijl het organische stofgehalte van de minerale bodem toeneemt. Het aandeel ‘vergrassende’ grassen neemt af in het Renodunaal duindistrict, maar niet/ nauwelijks in het Waddendistrict. Binnen het OBN onderzoek verandert de bedekking van kruiden en het aandeel bloeiende planten niet door begrazing, behalve op de Wadden waar ze toenemen bij lage organische stofgehalten.

Binnen het OBN onderzoek lijkt bodemfauna in de eerste plaats beïnvloed te worden door begrazing, en dan pas door duinzone. Taxa die positief lijken te reageren op begrazing zijn rupsen en adulte vliegen. Taxa die negatief lijken te worden beïnvloed zijn duizendpoten, miljoenpoten, pissebedden, regenwormen. Regenwormen, miljoenpoten en pissebedden zijn detritivoren en gaan waarschijnlijk achteruit door een afnemende strooiselbedekking. Dit is in tegenspraak met resultaten uit het VK (voorloper OLD) onderzoek en laat weer eens zien hoe belangrijk een goede steekproef is voor een solide conclusie. Tijdens dit onderzoek bleek namelijk dat in de begraasde terreinen van PWN zowel meer soorten als aantallen van detritivore diersoorten (slakken, miljoenpoten en pissebedden) aanwezig zijn dan in onbegraasde terreinen.

Het blijkt dus dat de algemene regels voortkomend uit het OBN begrazingsonderzoek afhankelijk van de Ausgangssituatie van een terrein kunnen verschillen. Het is dus zaak bij het inzetten van begrazing goed op de hoogte te zijn van de specifieke terreineigenschappen van een gebied.

8. Referentiegebied kalkrijke duinen

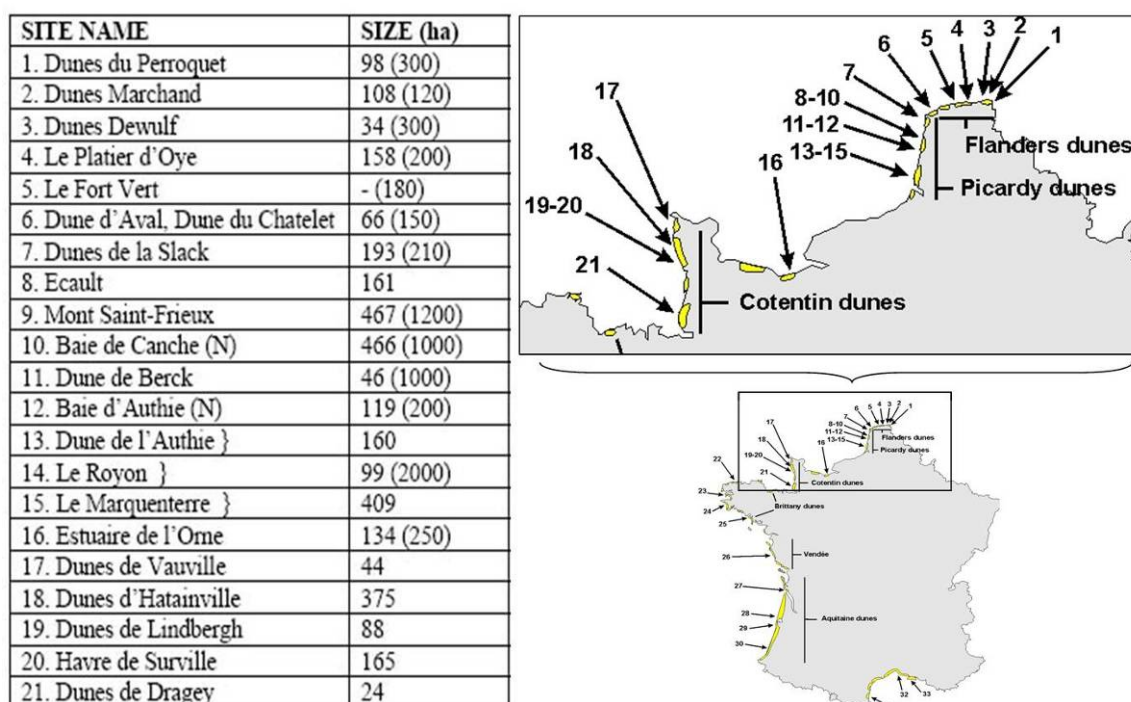
8.1 Introductie

Bij de interpretatie van de gegevens voortkomend uit het OLD onderzoek is het zeer belangrijk een referentiebeeld te hebben. Zonder een doel en referentie is het moeilijk te weten of de uitkomsten van beheer en herstel succesvol zijn. Voor de kalkarme duinen is zo'n referentie in het verleden al bezocht (Denemarken). Op deze plekken waren de effecten van atmosferische stikstofdepositie veel minder aanwezig en speelden natuurlijke processen zoals verstuiving nog een grote rol. Het onderzoek aan de Grauwe Klauwier (*Lanius collurio*) en de effecten die verstuiving kan hebben op zijn voedselaanbod is een goed voorbeeld van de noodzaak van een referentieonderzoek.

Voor de kalkrijke duinen is er tot op heden nog geen goede referentie vastgesteld. Mogelijk zijn de gebieden in Noord-Frankrijk geschikt. Zij dienen echter een vergelijkbaar kalkgehalte als onze kalkrijke duinen van het Renodunaal district te hebben en bij voorkeur een veel lagere atmosferische stikstof depositie. Bij voorkeur zijn de klimatologische omstandigheden ook vergelijkbaar. In 2010 is een verkennende studie langs de Noord-Franse kust gedaan. Hierbij zijn op een aantal locaties bodem- en plantmonsters verzameld en geanalyseerd om een eerste indruk te krijgen van de vergelijkbaarheid met ons Nederlandse duinsysteem. Hieronder staan korte omschrijvingen van de bezochte gebieden aangevuld met de resultaten van de bodem- en plantanalyses. De omschrijvingen zijn geïllustreerd met behulp van panorama foto's van de gebieden.

Franse duinterreinen

In figuur 8.1 is rechts onder een overzicht gegeven van alle duingebieden in Frankrijk. De uitsnede die hieruit is gemaakt (boven) geeft een overzicht van het gebied dat in het kader van het OLD in 2010 is bezocht. De namen en oppervlaktes van de gebieden uit de uitsnede zijn opgenomen in de tabel (links). Per gebied (waarvan hieronder een korte omschrijving staat) is aangegeven tussen welke nummers het zich bevindt op de kaart.



Figuur 8.1: Overzicht van de Franse duingebieden. In de uitsnede is het gebied te zien dat door ons in 2010 is bezocht, hiervan zijn in de tabel de namen en oppervlaktes opgenomen

Bezochte duinterreinen Cotentin duinen

Dunes D'Annoville (tussen 20 en 21)



Een foto van het duingebied bij Annoville vanaf de zeereep richting het oosten genomen. Doordat het een panoramafoto is waarbij van strand tot strand gefotografeerd is geeft dit een vertekend beeld.

Het duingebied bij Annoville is een relatief klein gebied van 200-300 m breed en heeft een lengte van hooguit één kleine kilometer. In het gebied is weinig verstuiving aanwezig, verder lijkt vrijwel het hele gebied sterk begraasd te zijn (zowel met konijnen als waarschijnlijk paarden). Er staan bijna geen struvelen en het hele gebied bestaat uit kort grasland zonder tussenliggende stuifkuilen. De bodem is relatief humusrijk (ook met regenwormen), de graslanden zijn rijk aan kruiden en insecten (bijzonderheid *Spiranthes spirales*). Er zijn 3-4m brede, primaire duinen aanwezig, de eerste duinreep is met 4-5 m niet echt hoog. De kust lijkt eerder een aangroei dan afslagkust te zijn.



Binnenduinen van Annoville, de foto is richting het westen genomen.

Dunes de Gouville (tussen 20 en 21)



Panoramafoto van de duinen bij Gouville, de foto is richting het zuiden genomen.

Dit duingebied is vergelijkbaar met Annoville, er is ook weinig dynamiek maar minder konijnenactiviteit. Het ligt dicht in de buurt van een dorp, wordt redelijk intensief begraasd en bestaat voornamelijk uit kort duingrasland. Het gebied lijkt iets hoger te zijn en ruiger van karakter. Tussen de eerste huizen en het duingebied liggen een aantal kleine weilanden met rasters, die op kleinschalig gebruik duiden. Veel plantsoorten wijzen hier op een hogere salt-spray invloed bijvoorbeeld de hoge dichtheid van *Armeria maritima*, *Eryngium maritimum* en *Elytrigia juncea*.

Dunes de Hatainville (18)



Een foto van het duingebied bij Hatainville vanaf de zeereep richting het oosten genomen. Doordat het een panoramafoto is waarbij van strand tot strand gefotografeerd is geeft dit een vertekend beeld.

Dit is een erg groot gebied (ca. 375 ha; 700-900 m breed en 3-4 km lang) met soms weiland en akker gebruik door boeren, maar ook met uitgebreide stuivende delen die minder intensief door mensen gebruikt worden. De akkers zijn nog in gebruik en er worden groenten zoals wortelen of prei op geteeld (Foto 8.1, eerste drie). Tegen de hogere duinen ontstaan terracettes door veebetreding (Foto 8.1, meest rechtse). De bezoekfrequentie van toeristen schijnt erg laag te zijn, we hebben op een hele zonnige dag bijna niemand gezien.

Ook dit gebied bestaat voor het grootste deel uit korte duingraslanden met iets meer mossen, in tegenstelling tot de duinen van Annoville en Gouville zijn hier veel meer stuivende delen aanwezig. Er zijn een aantal vochtige valleien aanwezig die geheel verstruweeld zijn. De hoogte van de duinen is hier ook vele malen hoger, zeker 6-8 m. Over het hele duingebied zijn veel schelpresten aanwezig. Er is veel dynamiek, slechts op 8-10 cm diepte worden relictten van humusrijke grondlagen gevonden. In de onderzochte duingraslanden ligt de vegetatiebedekking tussen 30-40 %, de rest is open zand.

Opvallend waren verder het grote aantal nestgaten van grondnestelende fauna tussen de helm in sterk overstoven delen.



Foto 8.1: Duinakkers (eerste 3 foto's) en gevormde terracettes (meest rechtse foto) in en om de duinen van Hatainville



Foto van een van de monsterlocaties waar bodem- en plantmateriaal verzameld is in de duinen bij Hatainville.

Dunes de Vauville (17)



Een foto van het duingebied bij Vauville vanaf de zeereep richting het oosten genomen.

Dit terrein loopt langzaam tegen een heuvel omhoog en ligt in een prachtige setting in combinatie met een riviersysteem en kleine dorpjes. Het duingebied is van vergelijkbare grootte als Hatainville. Het grootste verschil is dat het niet wordt begraasd met grote grazers, verder is er ook nauwelijks invloed van konijnen te zien. De vegetatiebedekking is hoger: ongeveer 30% vaatplanten, 10 % mossen en 60% korstmossen, maar de vegetatiehoogte is desondanks niet erg hoog (ca. 5-10 (15) cm). Er is een zeer grote aanwezigheid van duinroosje (*Rosa pimpinellifolia*) in het gebied. Opvallend waren de grote hoeveelheden aan blauwvleugelsprinkhanen (*Oedipoda caerulescens*), graafwespen (waaronder Harkwespen: *Bembix rostrata*), slakken (*Theba pisana*) en sint-jansvlinders (*Zygaena filipendulae*) in de duingraslanden.

Het zand is iets fijner dan in de anderen gebieden (meer fijne zand dan middel zand) en er bestaat een smalle organische bovenste grondlaag (ca. 4-5 cm). Het is een sterke afslagkust, op het strand liggen namelijk bunkers uit de tweede wereldoorlog die circa 10 m van de huidige eerste duinreep liggen. Deze duinreep is ongeveer 6-8 m hoog. In 70 jaar tijd is dus circa 10 m kust afgeslagen.

Bezochte duinterreinen Picardie duinen

Quand Plage (13-15)



Een foto van het duingebied bij Quand Plage vanaf de zeereep richting het oosten genomen. Doordat het een panoramafoto is waarbij van strand tot strand gefotografeerd is geeft dit een vertekend beeld.

Na de eerste, hoge duinreep met kerven (8-10 m) bestaat de vegetatie in de achterduin bijna alleen uit struweel met liguster (*Ligustrum vulgare*) en duindoorn (*Hippophae rhamnoides*). Duindoorn wordt hier voor het eerste waargenomen in grote aantallen sinds het begin van onze veldbezoeken in Frankrijk. Er zijn enkele stukken duingrasland tussen het struweel aanwezig, het is echter meer duinmosland dan grasland. De open plekken bestaan voor 80% uit het mos *Tortula ruralis* agg. en ongeveer voor 5% uit kaal zand. Er waren ook bijna geen dierengeluiden te horen. Het was (negatief) indrukwekkend. De enige dieren die we tegen kwamen in grotere hoeveelheden waren pissebedden en hier en daar wat mieren.

Fort Mahon (13-15)



Een foto van het duingebied bij Fort Mahon vanaf de zeereep richting het oosten genomen.

Dit gebied is vergelijkbaar met Quand Plage. Het is op dezelfde wijze begroeid door struweel en alle hoge duinen zijn aan de noord-oost kant helemaal dicht gegroeid. Alleen op de zuidhellingen zijn er enkel open plekken met zand aanwezig. Het wordt blijkbaar intensief door toeristen gebruikt, er was namelijk veel erosie door menselijke betreding te zien. De verstuing in de eerste duinreep was overal behoorlijk en er zijn enkele, kleine kerven aanwezig, deze lopen echter niet ver door in de duinen (vergelijkbaar met Quand Plage). In de zeereep foerageren veel beesten op de zeedistel (o.a. Harkwespen en heivlinders (*Hipparchia semele*)). Verder zijn overal vele soorten sprinkhanen, wespen en vlinders aanwezig. Op de wolfsmelk (*Euphorbia spec.*) zitten enkele wolfsmelkpijlstaarten (*Hyles euphorbiae*). Dit gebied is dus zeker niet zo stil en dood als Quand Plage.

Merlimont (11-12)



Een foto van het duingebied bij Merlimont vanaf de zeereep richting het oosten genomen.

Dit duingebied ligt tussen Brecht en Merlimont. Het is zoals Fort Mahon of Quand Plage niet begraasd door huisvee. Opnieuw is dit gebied ook weer gedomineerd door struweel. Er is slechts zo'n 20-30 % duingrasland aanwezig waarvan de bodem geen humusrijke laag bevat. In de open zandplekken is wel sterke watererosie te zien. Bovendien bestaan er enkele grote kerven, die ook enigszins verder het achterduin inlopen. De kust is een afslagkust. De bunkers liggen ca. 2-3 m van de huidige eerste duinreep.

Hardelot (8-10)



Een foto van het duingebied bij Hardelot vanaf de zeereep richting het oosten genomen.

In het zuidelijke deel van Hardelot treedt veel water uit het duin op het strand uit, het water lijkt ijzerrijk. Het is een terrein met een lange afslaghistorie. De tweede wereldoorlog bunkers liggen op 10-15 m afstand van de eerste duinreep, waar ze dus ooit op stonden. Verder zijn er op het strand oude, organische, ca. 15-20 cm dikke veenlagen te zien. De vegetatie in het duingebied bestaat voornamelijk uit struweel en ook helm.

In het noorden is het gebied erg groot en loopt tegen een helling ophoog. Het is een van de meest stuivende duingebieden van de hele excursie met mooie duingraslanden, stuifkuilen en grote variatie in vegetatie. De graslanden zijn echter nog niet ver ontwikkeld door de hoge mate van dynamiek. De breedte van het gebied vanaf het strand tot tegen de helling is circa 1 km en het is ongeveer 2-3 km breed. Het is een groeiend duingebied waar op dit moment een uitgebreide primaire duinreep aanwezig is. De primaire duinen zijn zo'n 2-3 m hoog en liggen achter een strand van circa. 75-100m breed. De onderzochte duingraslanden zijn gras- en kruidenrijk met weinig korstmossen en mossen. Begrazing vindt vooral door konijnen plaats, er zijn veel sporen te zien (geen grote grazers). De bodem bevat bijna geen organische stof in de bovenste laag, ook niet als relict.

Er is veel activiteit van sprinkhanen (blauwvleugelsprinkhanen, knopspruitjes: *Myrmeleotettix maculatus*, duinsabels: *Platycleis albopunctata* en *Chorthippus spec.*), wespen en bijen en ook zijn er veel slakken (*Theba pisana*) te vinden.



Foto van een van de monsterlocaties waar bodem- en plantmateriaal verzameld is in de duinen bij Hadelot.



Foto van een van de monsterlocaties waar bodem- en plantmateriaal verzameld is in de duinen bij Hadelot.

Dune de la Slack (7)



Een foto van het duingebied bij Hadelot vanaf de zeereep richting het oosten genomen.

Dit duingebied is erg toeristisch. Van alle kanten komen wandelaars het gebied binnen om te picknicken, rusten en spelen in het duin. In totaal is het gebied ongeveer 1,5x1 km groot (ca. 200 ha). Er is een afslagkust aanwezig met een smal strand, ca. 10-20 m breed (pebble beach). Er loopt een raster dwars door het terrein, maar verder zijn geen recente huisvee begrazing sporen te zien, behalve konijn. Het zand is erg ijzer- en kalkrijk.

8.2 Resultaten

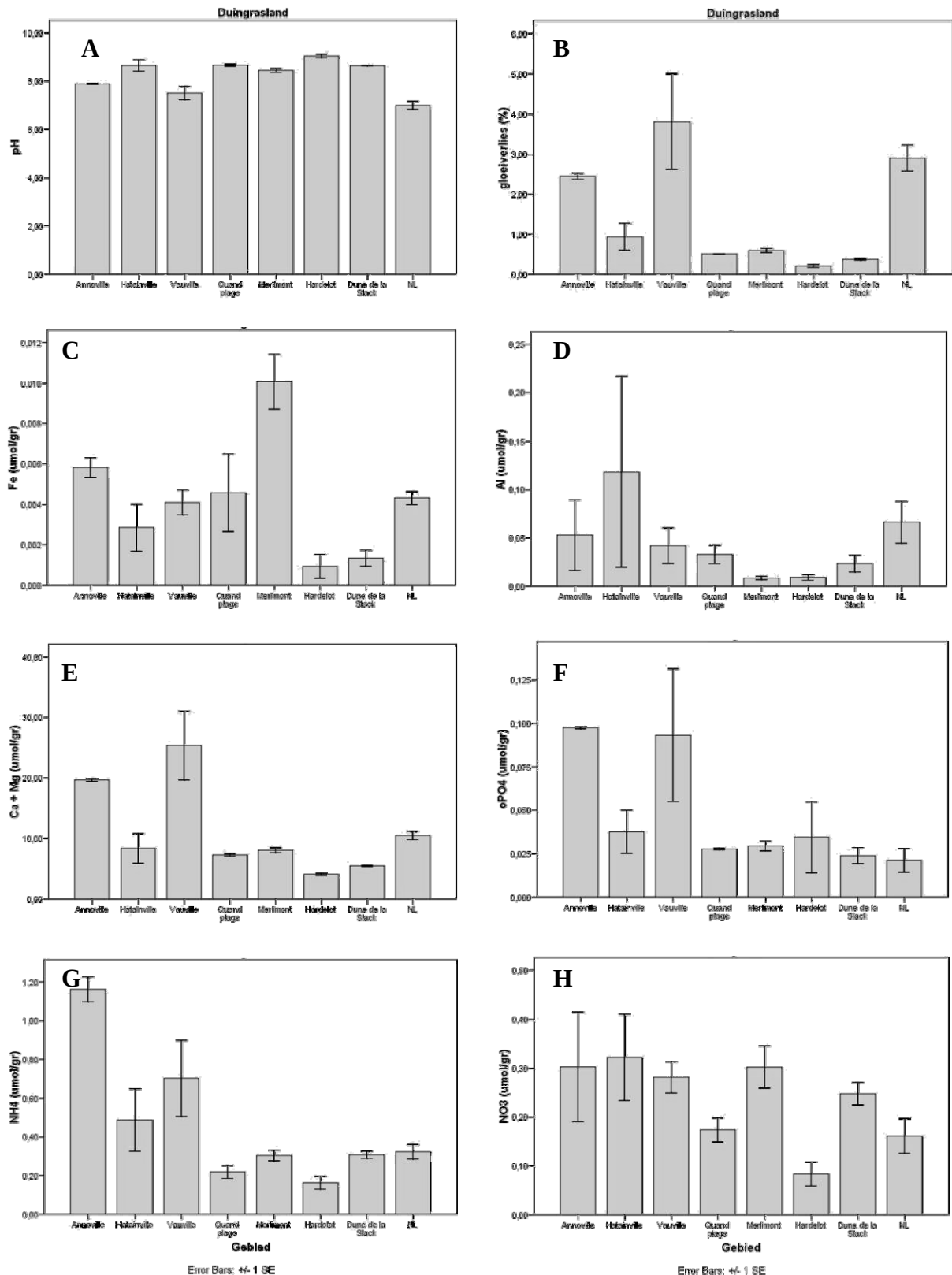
Chemische samenstelling bodem

In figuur 8.2 zijn een aantal bodemchemische waarden weergegeven van de verschillende bezochte Franse duinterreinen. Voor de Nederlandse gegevens is een gemiddelde waarde gebruikt van alle terreinen zoals die binnen het OLD onderzoek voor het hoofdstuk “beschikbaarheid van nutriënten door begrazing” zijn gebruikt (pag. 68).

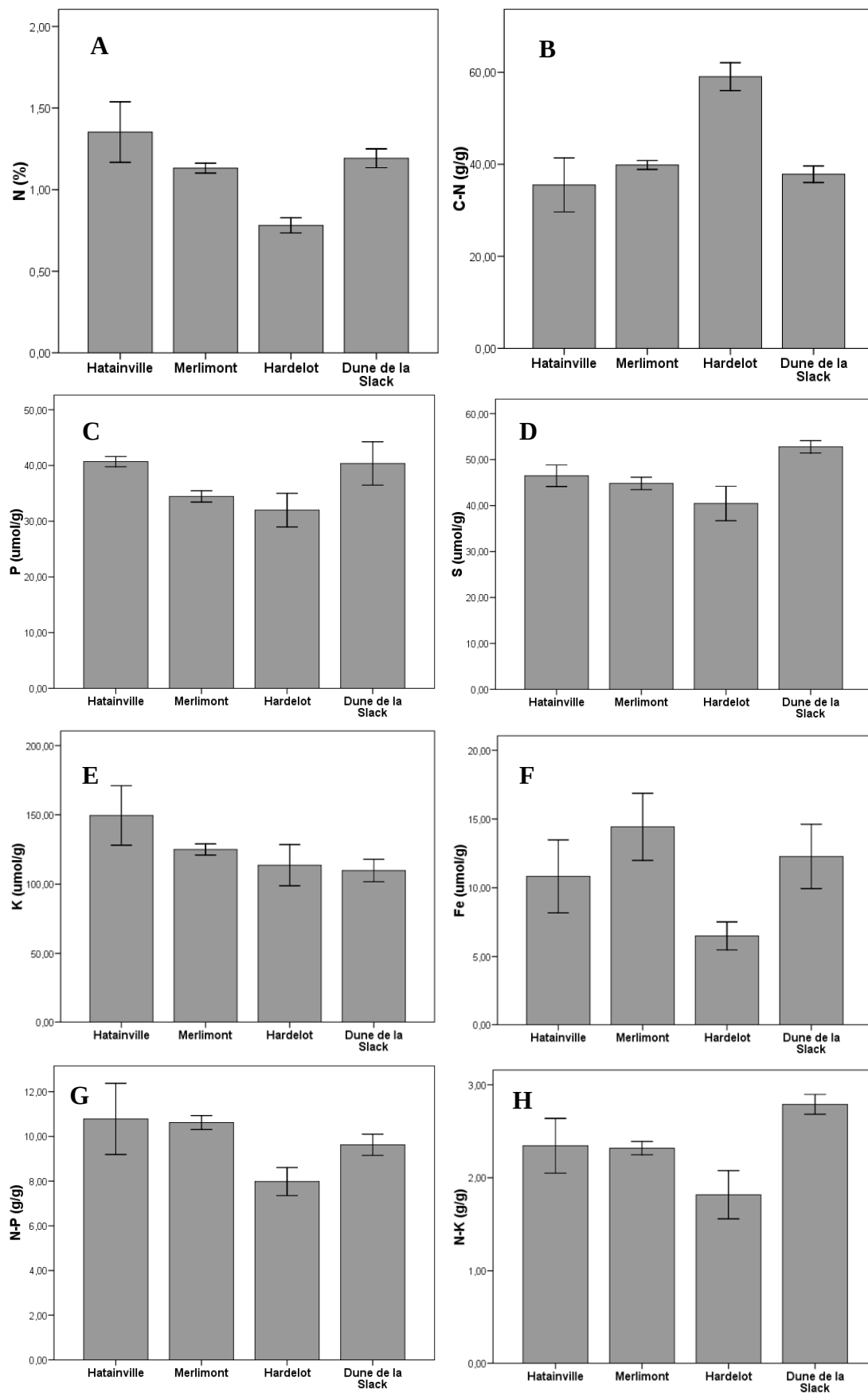
De pH (A) is in alle Franse gebieden een half tot anderhalf pH punt hoger dan in de Nederlandse terreinen. Binnen de Franse terreinen is er ook enige variatie, maar alle pH's zitten tussen de 7.5 en 9. De Nederlandse terreinen samen met Annoville en Vauville hebben een drie tot zeven maal hoger gloeiverlies dan de andere terreinen (B). Op deze plekken is dus meer humus in de bodem aanwezig. Veel Franse terreinen hebben een vergelijkbaar of maximaal een maal hoger ijzergehalte (zoutextract) als de Nederlandse terreinen (C). Hardelot en Dune de la Slack hebben echter een drie maal zo laag gehalte als de Nederlandse terreinen. Ook het aluminiumgehalte (zoutextract) is in veel Franse terreinen vergelijkbaar met Nederland (D). In de gebieden Merlimont, Hardelot en Dune de la Slack is dit gehalte echter drie tot vijf maal lager. De meeste Franse gebieden lijken een tussen nul en een maal lagere calcium en magnesium concentratie (zout extract) te hebben (E). En weer lijken bij Annoville en Vauville deze echter twee maal hoger te liggen. Ook bij orthofosfaat liggen de concentraties in Annoville en Vauville tot vier maal hoger dan de rest (F). De andere gebieden vertonen weinig verschillen. Bij ammonium lijkt deze trend zich voort te zetten, Annoville en Vauville hebben half tot 6 maal hogere concentraties (G). Hardelot lijkt lager te zijn dan de rest. Bij nitraat lijken de meeste Franse gebieden een half tot twee maal hogere concentratie te hebben, opnieuw ligt Hardelot lager.

Chemische samenstelling smalbladige grassen

De smalbladige grassen verzameld in Hardelot lijken een lager stikstofpercentage (0.75 % N) te bevatten dan de anderen referentiegebieden (1.2-1.3 % N; Fig. 8.3 A). Als een direct gevolg hiervan is bij vergelijkbare koolstofgehaltes de koolstof-stikstof ratio 1,5 keer zo hoog in Hardelot (Fig. 8.3 B). Ook bij fosfaat, zwavel en ijzer lijken de grassen uit Hardelot de laagste concentraties te bevatten (Fig. 8.3 C, D & F). Bij kalium lijkt minder verschil op te treden, Hatainville komt iets hoger uit (Fig. 8.3 E). Door de verschuivingen die hierboven beschreven zijn, zijn de verhoudingen tussen stikstof enerzijds en fosfaat en kalium anderzijds in Hardelot lager. Als deze waarden van Frankrijk (eind augustus begin september 2010) vergeleken worden met de smalbladige grassen verzameld (eind juli 2010 en eind augustus 2011) in Nederland (hoofdstuk “verstuiving duingraslanden” pag. 43), dan blijkt voornamelijk de concentratie stikstof in de planten in Frankrijk een half tot drie keer lager te zijn. Ook de andere waarden (fosfaat, zwavel, kalium en ijzer) zijn lager of aan de lage kant vergeleken met de Nederlandse concentraties in smalbladige grassen. Ondanks deze lagere waarden van de losse elementen lijken de verhoudingen tussen stikstof enerzijds en kalium en fosfaat anderzijds in Frankrijk te leiden tot een betere voedselkwaliteit. De stikstof-kalium verhouding is in Frankrijk een half tot drie keer lager en de stikstof-fosfaat verhouding ligt net onder die in Nederland.



Figuur 8.2: Een aantal bodemchemische eigenschappen van de bezochte Franse duingraslanden in vergelijking met een gemiddelde van de Nederlandse terreinen uit het OLD onderzoek. In figuur A is de pH (zout extract) weergegeven, in B het gloeiverlies, in C het ijzergehalte (zout extract), in D het aluminiumgehalte (zout extract), in E een optelling van het calcium- en magnesiumgehalte (zout extract), in F het ortho-fosfaatgehalte (zout extract), in G het ammoniumgehalte (zout extract) en in H het nitraatgehalte (water extract).



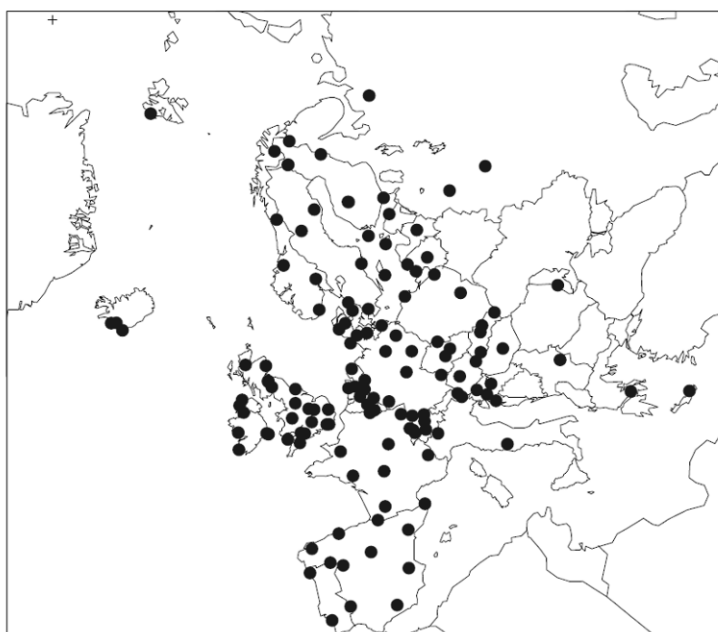
Figuur 8.3: Plantchemische data van smalbladige grassen uit enkele, bezochte Franse duingrasslanden. In figuur A is stikstofpercentage weergegeven [%], in B de stikstof/koolstof massaverhouding [g/g], in C het fosfaatgehalte [umol/g], in D het zwavelgehalte [umol/g], in E het kaliumgehalte [umol/g], in F het ijzergehalte [umol/g], in G stikstof/fosfaat massaverhouding [g/g] en in H de stikstof/kalium massaverhouding [g/g].

Depositiewaarden Nederland en Frankrijk

In tabel 8.1 zijn de gemodelleerde stikstof- en sulfaatdepositie waarden weer gegeven. Deze meetwaarden zijn geëxtrapoleerd vanuit de dichtstbijzijnde EMEP monitoringsstations (Fig. 8.4) en afkomstig van de website (http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/AN/). Van deze website kunnen kaarten gedownload worden die door ons gebruikt zijn om een idee van de depositiewaarden te krijgen (bijlage 8.1). De totale geoxideerde stikstofdepositie ligt in de Franse gebieden iets lager (2.1-4.2 kg/ha*j) dan in de Nederlandse terreinen (4.8-5.5 kg/ha*j). Verder lijken deze waarden in de Cotentin duinen (2.1-3.5 kg/ha*j) weer iets lager te liggen dan in de Picardie duinen (3.5-4.2 kg/ha*j). Er zijn Franse terreinen met zowel een hogere (Annoville & Gouville), lagere (Hatainville & Vauville) als vergelijkbare (de rest) totale gereduceerde stikstofdepositie als in Nederland. In de Cotentin duinen liggen de totale geoxideerde sulfaatdepositie waarden lager dan in Nederland. In de Picardie duinen is een grote overlap in totale geoxideerde sulfaatdepositie waarden in vergelijking met de Nederlandse waarden.

Tabel 8.1: Gemodelleerde 2008 waarden voor gereduceerde en geoxideerde stikstof- en geoxideerde sulfaatdepositie in de Nederlandse en Franse duinterreinen. Waarden zijn verkregen via de website: http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/AN/ en zijn omgerekend naar kilogram per hectare per jaar.

Land	Gebied	Totale ox. stikstof (kg/ha*j)	Totale red. stikstof (kg/ha*j)	Totale ox. sulfaat (kg/ha*j)
Nederland	Meijndel	4.8 tot 5.5	6 tot 8	> 10
Nederland	AWD	4.8 tot 5.5	8 tot 10	8 tot 9
Nederland	NHD	4.8 tot 5.5	8 tot 10	8 tot 9
Frankrijk	Annoville	2.8 tot 3.5	> 10	2 tot 5
Frankrijk	Gouville	2.8 tot 3.5	> 10	2 tot 5
Frankrijk	Hatainville	2.1 tot 2.8	5 tot 6	2 tot 5
Frankrijk	Vauville	2.1 tot 2.8	5 tot 6	2 tot 5
Frankrijk	Quand plage	3.5 tot 4.2	6 tot 7	5 tot 10
Frankrijk	Fort Mahon	3.5 tot 4.2	6 tot 7	5 tot 10
Frankrijk	Merlimont	3.5 tot 4.2	6 tot 7	5 tot 10
Frankrijk	Hardelot	3.5 tot 4.2	6 tot 7	5 tot 10
Frankrijk	Dune de la Slack	3.5 tot 4.2	6 tot 7	5 tot 10



Figuur 8.4: Locaties van EMEP monitoringsstations in 2008 verkregen van website: <http://www.emep.int/>.
Vergelijking weer Frankrijk en Nederland

In bijlage 8.2 staan de gemiddelde temperatuur, neerslag en het aantal zonneschijnuren van Nederland (Katwijk) en Frankrijk (Hardelot) met elkaar vergeleken. De temperatuur en het aantal zonneschijnuren lijken goed met elkaar vergelijkbaar. Per maand lijkt Nederland echter 10 tot 20 mm meer neerslag te hebben.

8.3 Discussie/conclusie

Referentiebeeld

Voor het bepalen van de juiste referentielocatie is het belangrijk een keuze te maken welk deel van het proces in het duin we willen gaan bestuderen. Uit onze beschrijvingen van de bezochte terreinen blijken een aantal mogelijkheden naar voren te komen. Begrazing door huisvee is er hier één van. Dit blijkt voornamelijk in de Cotentin duinen voor te komen maar bijna afwezig te zijn in de Picardie duinen. In Hatainville gaat deze duinbegrazing, die ook voor intensieve betreding zorgt (terrassettes), gepaard met een redelijk kleinschalig landbouwgebruik (vooral akkerbouw) in de duinen. Een vergelijking met het zeedorpenlandschap zou hier misschien ook tot de mogelijkheden behoren. Onze voorkeur gaat echter uit naar de vergelijking met een groter natuurlijk proces zoals verstuiving. Hiervoor blijken in de Picardie duinen veel meer mogelijkheden aanwezig te zijn. Helaas zijn veel gebieden echter na een vrij actieve zeereep voor de rest dichtgegroeid met struweel. Het noordelijke deel van Hardelot lijkt wel een geschikte locatie met veel verstuiving, van groot formaat, zonder heel veel toerisme en zonder veel struweel na de zeereep. Het onderzoek zou hier mooi kunnen aansluiten bij het verstuivingsonderzoek in de Nederlandse duingraslanden. Hierbij lijkt een vergelijking met plant- en bodemkwaliteit, aangevuld met een faunabemonstering met behulp van plaggen in het najaar een goede mogelijkheid.

Vergelijking plant, bodem en depositie

De gebieden in Frankrijk hebben net als in Nederland een hoge pH van boven de 7, ze zijn echter nog een half tot anderhalf pH punt hoger. Ze hebben ook allemaal een vrij hoge calcium en magnesium concentratie. De meeste Franse gebieden hebben een geringere humusopbouw in de bodem. Hardelot is echter het enige gebied dat wat betreft ammonium en nitraat concentraties onder de Nederlandse terreinen zit. De chemische samenstelling van de smalbladige grassen lijkt in Frankrijk van betere kwaliteit. Ondanks de lager concentraties per element lijkt de verhouding tussen stikstof enerzijds en kalium en fosfaat anderzijds in Frankrijk gunstiger. Bij gelijke inname van stikstof, waar bij insecten vaak consumptie aan wordt afgemeten (White 1993; Berner et al. 2005), krijgen de herbivoren in Frankrijk meer andere elementen binnen. Bij de vergelijking van stikstof en sulfaat deposities tussen Nederland en Frankrijk lijken de Franse gebieden vaak een iets lagere stikstofdepositie te hebben. De sulfaatdepositie is vergelijkbaar tussen de landen. In totaal lijken Hatainville en Vauville de laagste depositiewaarden (N en S) te hebben van alle bezochte Franse gebieden, dus qua depositie zijn zij de beste referentie optie. Deze waarden zijn echter allemaal met behulp van modellen berekend, weinig meetstations of meetstations op grote afstand kunnen de uitkomsten sterk beïnvloeden. Als gekeken wordt naar de verspreiding van meetstations over Frankrijk en Nederland, dan blijken de Franse duinterreinen zwaar onderbedeeld te zijn. Mogelijk kan dit dus grote invloed hebben op de gemodelleerde waarden en deze moeten dan ook met enige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Ondanks deze kanttekening blijken de lagere stikstofwaarden in de planten in Frankrijk overeen te komen met de voorspellingen uit de modellen. Dit geeft goede indicaties voor lagere stikstofwaarden in de Franse terreinen. Wat betreft klimatologische omstandigheden zijn de Nederlandse en Franse terreinen goed vergelijkbaar. In Nederland lijkt alleen per maand 10 tot 20 mm meer neerslag te vallen.

Mogelijkheden

Er zijn een aantal mogelijkheden voor verder onderzoek of aanvullende excursies in de bezochte Franse terreinen. Voor een referentie van een jong dynamisch duinsysteem met veel overstuiving en poiniersvegetaties lijkt Hardelot een geschikte kandidaat. Voor een vergelijking met het zeedorpengebruik in Nederland waarbij veel menselijke invloed in het duinsysteem aanwezig is (veeteelt en akkerbouw) lijkt Hatainville een goed referentiegebied. Als gekeken wordt naar de depositiewaarden zoals gemodelleerd vanuit de meetstations, dan lijken Hatainville en Vauville de terreinen met de laagste depositiewaarden. Zij zouden kunnen dienen als referentieterreinen met lage atmosferische vervuiling. Mogelijk zou de keuze van een geschikt referentiegebied ook gebaseerd kunnen worden op de aanwezigheid van geschikte referentiesoorten zoals de Grauwe klauwier, de Tapuit of het konijn. Van deze soorten is echter tot op heden geen goede inventarisatie aanwezig van de bovenbeschreven Franse terreinen.

8.4 Samenvatting

Bij de interpretatie van de gegevens voortkomend uit het OLD onderzoek is het zeer belangrijk een referentiebeeld te hebben. Zonder een doel en referentie is het moeilijk te weten of de uitkomsten van beheer en herstel succesvol zijn. Voor de fauna van kalkrijke duinen is er tot op heden nog geen goede referentie vastgesteld. Mogelijk zijn de gebieden in Noord-Frankrijk geschikt. In 2010 is daarom een verkennend veldbezoek gedaan aan twee Noord-Franse gebieden (Cotentin en Picardie). Hierbij zijn op een aantal locaties bodem- en plantmonsters verzameld en geanalyseerd om een eerste indruk te krijgen van de vergelijkbaarheid met ons Nederlandse duinsysteem.

Afhankelijk van de beheersmethode of het proces dat bestudeerd wordt lijken verschillende Franse terreinen geschikt. Gebruik van de duinen door de mens, door het inzetten van grazers of het aanleggen van akker, is een van onderzoeksmogelijkheden. Dit blijkt voornamelijk in de Cotentin duinen voor te komen maar bijna afwezig te zijn in de Picardie duinen. Vergelijking met een groter natuurlijk proces zoals verstuiving is echter ook mogelijk. Hiervoor blijken in de Picardie duinen veel meer mogelijkheden aanwezig te zijn. Helaas zijn veel gebieden echter na een vrij actieve zeereep voor de rest dichtgegroeid met struweel. Hardelot vormt hier een uitzondering op en kent ook verder van de zeereep een zeer dynamisch duinsysteem.

De onderzochte gebieden in Frankrijk hebben net als in Nederlands een hoge pH van boven de 7, ze zijn echter nog een half tot anderhalf pH punt hoger. De meeste Franse gebieden hebben een geringere humusopbouw in de bodem. Hardelot is echter het enige gebied dat wat betreft ammonium en nitraat concentraties onder de Nederlandse terreinen zit.

De chemische samenstelling van de smalbladige grassen lijkt in Frankrijk van betere kwaliteit. Ondanks de lager concentraties per element lijkt de verhouding tussen stikstof enerzijds en kalium en fosfaat anderzijds in Frankrijk gunstiger.

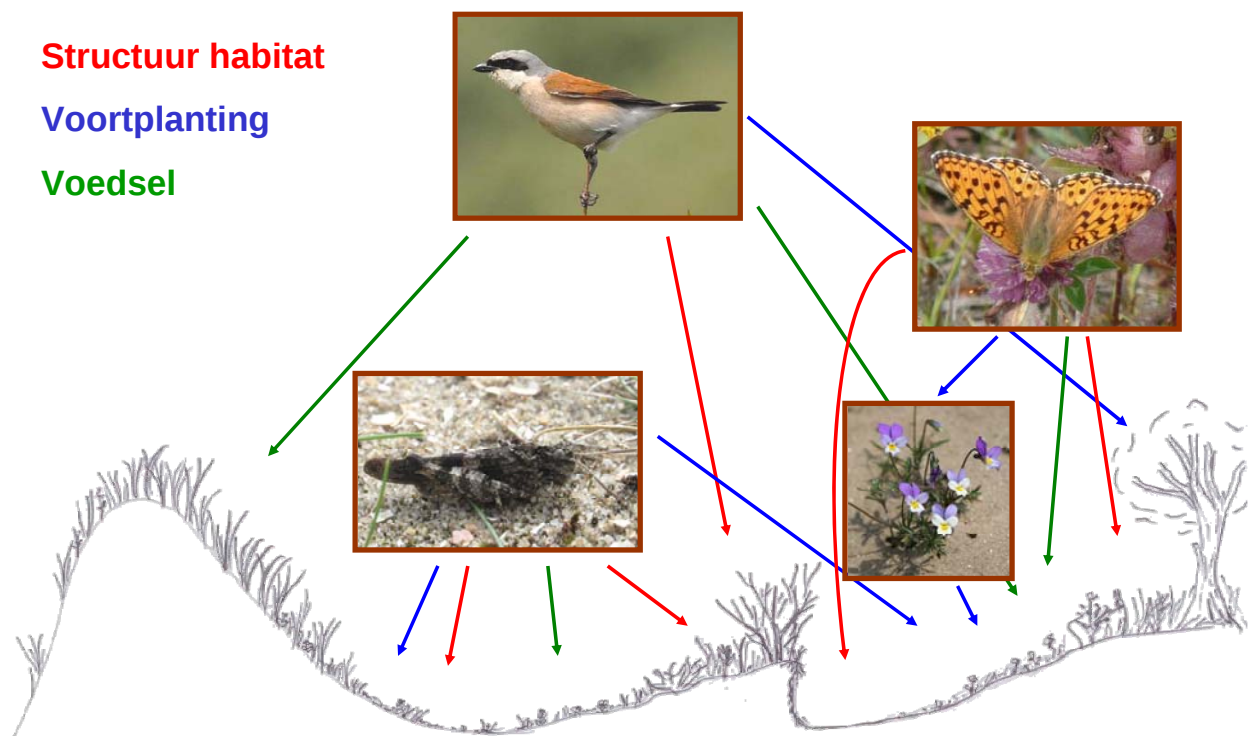
Bij de vergelijking van stikstof en sulfaat deposities tussen Nederland en Frankrijk lijken de Franse gebieden vaak een iets lagere stikstofdepositie te hebben. Deze waarden zijn echter allemaal met behulp van modellen berekend, weinig meetstations of meetstations op grote afstand kunnen de uitkomsten sterkt beïnvloeden. Ondanks deze kanttekening blijken de lagere stikstofwaarden in de planten in Frankrijk overeen te komen met de voorspellingen uit de modellen.

9. Synthese

9.1 De rol van “verstoring” in het duinsysteem

Het Nederlandse duinsysteem is een van oorsprong dynamisch systeem met grote afwisselingen in reliëf, geomorfologie, bodemcondities, vegetatie- en faunasamenstelling. Deze grote diversiteit aan flora en fauna werd mogelijk gemaakt door zowel een klein- als grootschalige afwisseling in habitattypen en de gradiënten daartussen. Een van de belangrijkste sturende processen bij het in stand houden van deze afwisselingen is altijd “verstoring” geweest. Deze “verstoring” heeft in het duinsysteem zowel een natuurlijke component als een door de mens gestuurde component. De belangrijkste natuurlijke componenten worden gevormd door de invloed van winddynamiek en watererosie. De wind heeft in het verleden samen met de zee gezorgd voor de vorming van het duinprofiel waardoor grote afwisseling is ontstaan tussen bodemtype, vochtgehalte, expositie en inclinatie. Naast de oorspronkelijke vorming van het duinlandschap zorgt de windwerking ook voor een dynamisch duin waarin zandverstuiving en saltspray een belangrijke rol spelen. Door deze dynamiek kunnen zowel oudere als jongere vegetatietypen in ruimte en tijd altijd aanwezig zijn. De tweede vorm van “verstoring” heeft in het verleden plaatsgevonden door het leven van mensen in, en van het duin. Het duinlandschap is door de tijd heen in meer of mindere mate gebruikt door de mens voor het houden van vee en konijnen, verbouwen van gewassen en het verzamelen van brandhout. De hierboven beschreven processen (zowel de natuurlijke als de menselijke) hebben het, in dit onderzoek bestudeerde, witte en grijze duinlandschap gevormd. Zoals omschreven in de inleiding (Hoofdstuk 2) is het duinlandschap de laatste decennia echter sterk veranderd. Deze veranderingen hebben gezorgd voor het verminderen en deels bijna verdwijnen van de dynamiek in het landschap. Deze verstarring is mede verantwoordelijk voor de sterke achteruitgang van de van oorsprong aanwezige flora- en faunadiversiteit. Om het systeem weer te herstellen wordt het als kansvol gezien vormen van “verstoring” opnieuw in het systeem te introduceren. Dit gebeurt door middel van het weer in verstuiving brengen van vastgelegde gebieden en het inzetten van grote grazers als koeien, paarden en schapen. Het Voorbereidingsplan Kustduinen en Onderzoeksprogramma Levende duinen (Hoofdstuk 2) zijn opgezet om de effecten van deze beheersmaatregelen op het duinsysteem en de achterliggende processen te ontrafelen. Deze kennis moet leiden tot een optimalisatie van de beheersmaatregelen zodat zij een beter en voorspelbaarder rendement opleveren.

Onderstaand zal globaal beschreven worden hoe de verschillende beheersmaatregelen worden toegepast in de Nederlandse duinen. Aan de hand van de resultaten uit de verschillende hoofdstukken van dit rapport zal beschreven worden wat de effecten zijn van verstuiving en begrazing op het witte en grijze duinlandschap, dit is vereenvoudigd weergegeven in twee schema's (Fig. 9.2 & 9.3). Deze schema's zijn niet bedoeld om een totaalbeeld van alle mogelijke interacties in het duinsysteem, en de effecten van verstuiving en begrazing daarop, weer te geven. Ze vormen slechts een lijdraad door de belangrijkste processen en de doorwerking daarvan op de ongewervelde fauna en de predatoren. Als basis van de schema's wordt de structuur van het habitat, de voortplantingsmogelijkheden en het voedsel (alle rood omlijnd) genomen. Deze drie factoren zijn, zoals geïllustreerd in figuur 9.1, zeer bepalend voor het voorkomen van fauna in het landschap. De fijnkorreligheid van het landschap (onderlinge afstand tussen habitattypen), waarbinnen de verschillende soorten hun levensbehoeftes moeten vervullen, is bepalend voor de diversiteit van soorten die voor kunnen komen. Per beheersmethode worden aan de hand van de nummers in de schema's de resultaten en hun interacties uit het onderzoek besproken.



Figuur 9.1: Illustratie van het belang van habitatdiversiteit voor het voorkomen van fauna. Als basis is een schets van een duinlandschap genomen met verschillende habitattypen (v.l.n.r.: dynamische helmduinen, schraal duingrasland, dichtere vegetatie met struweel, stuifkuil, bloemrijk duingrasland en een hoger struweel/bomen). Elk dier (v.l.n.r.: Blauwvleugelsprinkhaan *Oedipoda caerulescens*, Grauwe klauwier *Lanius collurio* en Duinparelmoervlinder *Argynnis niobe*) is voor andere functies van een bepaald habitatype afhankelijk, hierbij zijn de structuur van het habitat (rood), de voortplantingsmogelijkheid (blauw) en het voedselaanbod essentieel (groen). Voor flora zijn vaak alleen de abiotische omstandigheden van een locatie, hun standplaats, van belang, hier geïllustreerd met behulp van het Duinviooltje (*Viola curtisii*). Een dier heeft voor zijn verschillende levensbehoeften verschillende habitattypen nodig, deze moeten binnen de juiste actieradius aanwezig zijn. Het is hierbij dus noodzakelijk dat de verschillende habitattypen op geringe afstand van elkaar voorkomen. Hiernaast biedt een habitat met grote variatie tussen habitattypen de mogelijkheid voor het voorkomen van verschillende soorten.

9.2 Verstuiving

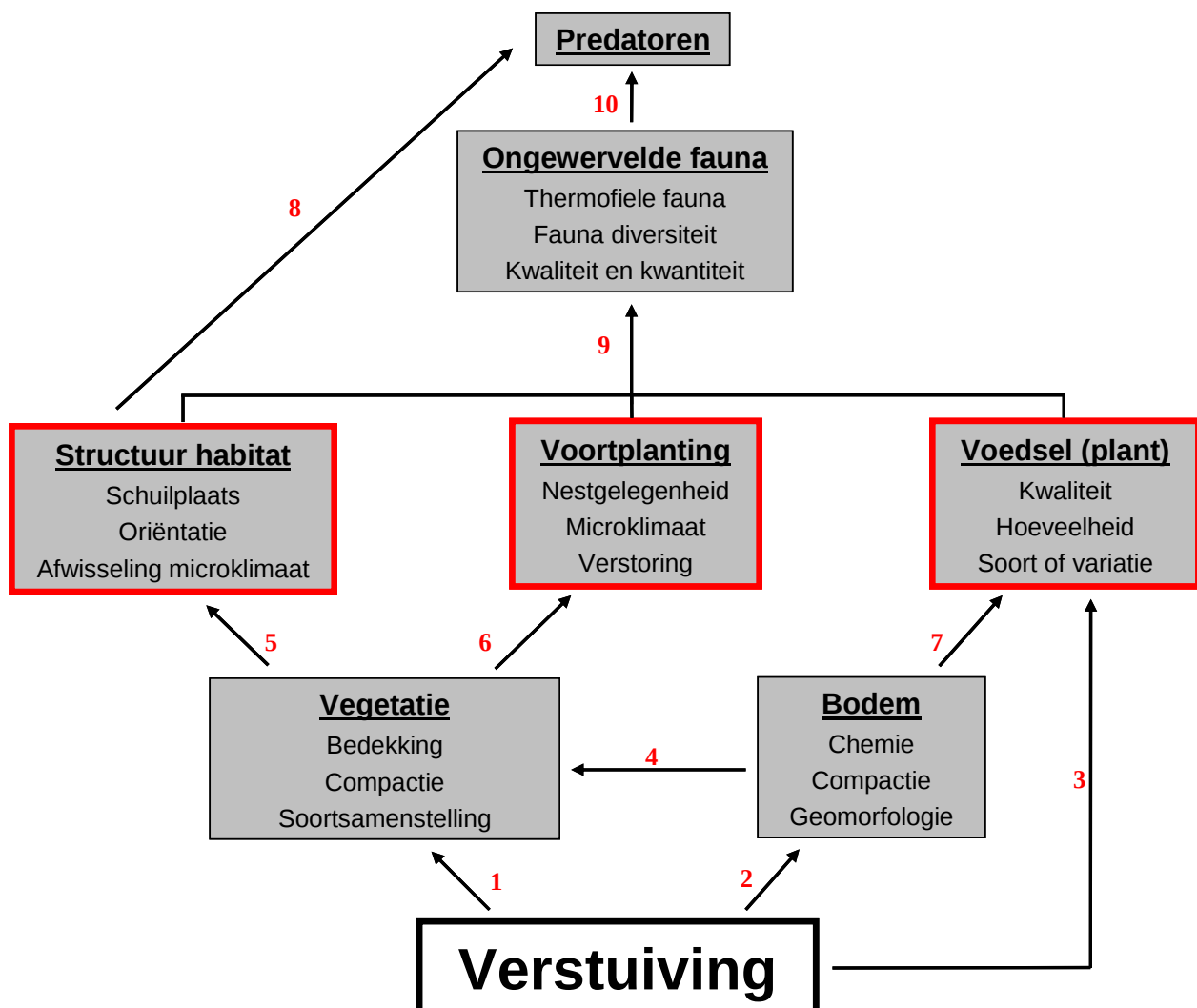
De laatste decennia wordt het herstellen van verstuiving in kustduinen gezien als een veelbelovende maatregel om de achteruitgang van het ecosysteem te stoppen (Lammerts *et al.*, 2009; Van den Burg *et al.*, in 2009). Het doel van de maatregel is om het actieve proces van verstuiving weer (duurzaam) op gang te brengen en het duinecosysteem daarmee op een zo natuurlijk mogelijke manier te laten functioneren. De concrete doelen worden zowel omschreven in termen van het herstellen van landschappelijke of aardkundige waarden als van het herstellen van een natuurlijke aansturing van ecologische processen.

Onder de landschappelijke en aardkundige waarden wordt verstaan het laten ontstaan van een dynamische zeereep, het reactiveren van 'lopende' paraboolduinen en stuifkuilen of het laten ontstaan van nieuwe duinvorming. Een natuurlijke zeereep is zeldzaam in Nederland, vooral als gevolg van strand- en zeereepbeheer. Uit het oogpunt van (soms vermeende) kustveiligheid wordt het zand vastgelegd om verstuiving te voorkomen en een vaste, onbeweeglijke kustlijn te creëren. Door dynamisch kustbeheer is het oppervlak natuurlijke zeerepen de laatste jaren geleidelijk uitgebreid. Dynamisch kustbeheer heeft niet overal het gewenste effect. Op plaatsten met beperkte dynamiek bij de duinvoet ontstaat een dynamische zeereep niet vanzelf (Van den Burg *et al.*, in 2009). Door middel van doelbewust beschadigen van de vastgelegde zeereep om dynamiek te bevorderen kan het habitatype ontstaan. De best

ontwikkelde witte duinen komen voor op enkele locaties in Noord-Holland, op sommige Waddeneilanden en in het zuidwesten van ons land (Van den Burg *et al.* 2009). Van nature actieve paraboolduinen zijn in Nederland niet meer aanwezig, maar recent ontstaan er weer nieuwe paraboolduinen door dynamisch zeereepbeheer aan de Noord-Hollandse kust. Losse stuifkuilen en stuifkuilcomplexen komen nog verspreid voor, maar zijn de laatste decennia zeer sterk in aantal achteruit gegaan.

De ecologische processen die door verstuiwingsdynamiek worden gestuurd, zijn weergegeven in figuur 9.2. De rode nummers in de tekst verwijzen naar de pijlen in dit schema. Verstuiwing heeft invloed op de successie van bodem (2) en vegetatie (1), het creëren van belangrijke (micro)habitats (5 & 6) voor specifieke plant en diersoorten (met name open zand) en het beïnvloeden van de opbouw van het voedselweb (9 & 10) d.m.v. de structuur van het habitat, de nestgelegenheid en het voedsel (rood omlijnd in schema). Door een hevige overstuiving in witte duinen (2) groeit op dit soort plekken voornamelijk Helm (*Ammophila arenaria* 1), deze helmplanten worden gedwongen telkens boven het zand uit te groeien (Hoofdstuk 5). Hierdoor maken de planten meer verse wortels aan met een betere voedselkwaliteit (3 & 7; hogere concentraties van macronutriënten en betere verteerbaarheid) voor worletekende bladsprietkevers, zoals *Anomala dubia* (9). Als de planten niet worden overstoven met zand (2) zullen de aanwezige wortels door de opbouw van pathogenenpopulaties in de bodem verhouten en niet langer voldoende voedingswaarde (7; lagere concentraties macronutriënten en slechtere verteerbaarheid) opleveren voor deze keverlarven (9). Hiernaast verdwijnt bij gebrek aan overstuiving (1) ook de nestgelegenheid (6) voor deze bladsprietkevers (9). Door het dichtgroeien van de vegetatie verdwijnt de toegankelijkheid van de bodem voor het afzetten van eieren door de adulte kevers en de juiste microklimaatomstandigheden voor het opgroeien van de larven. Verstuiwing is dus essentieel voor hoge aantallen *Anomala dubia*'s, welke vervolgens belangrijk zijn als voedsel voor vogels als bijvoorbeeld de Grauwe klauwier (10). Ook in duingraslanden wordt door het lokaal uitstuiwen en overstuiven van vegetaties de vegetatiesuccessie teruggezet (1). Hierdoor ontstaat er een gevarieerd patroon in zowel bodemopbouw (2) als vegetatietypen (1). De verstuiwingsgradiënt die wordt gecreëerd van sterke (10-15 cm per jaar) tot lichte (1-5 cm per jaar) overstuiving blijkt grote effecten te hebben op de faunadiversiteit (9 & 10; Hoofdstuk 6). De verstuiwing brengt variatie in de structuur van het habitat, voortplantingmogelijkheden en voedselaanbod (rood omlijnd in schema) waardoor verschillende soorten een plek krijgen. Bij de kevers, wantsen en vliegen/muggen blijkt een scala aan soorten gebonden te zijn aan de locaties met geringe of veel overstuiving. Aan de andere kant komen in de niet overstoven duingraslanden ook soorten voor die niet aangetroffen worden in de overstoven stukken. Juist deze afwisseling in soorten (zowel in tijd als ruimte) is belangrijk voor gewervelde predatoren (10). Door op elk tijdstip tijdens het opgroeien van de hun jongen voldoende voedsel ter beschikking te hebben is het voor deze soorten mogelijk zich succesvol voort te planten. Hiernaast biedt variatie in de structuur van het habitat ruimte voor predatoren met verschillende jachttechnieken (8). Daar waar een Tapuit (*Oenanthe oenanthe*) als grondjager bijvoorbeeld afhankelijk is van korte vegetatie voor jagen maakt de Grauwe klauwier als oogjager gebruik van uitzichtpunten (struikjes) in het (half-) open landschap. Zowel de overstoven helmvegetaties als de gradiënt in verstuiwing in duingraslanden leveren dus essentiële prooien (9) op voor deze gewervelde predatoren (10). Voor enkele karakteristieke duinvogels (Grauwe klauwier, Tapuit en Graspieper *Anthus pratensis*) is bekend dat de prooi-soorten, beschreven in hoofdstuk 5 en 6, essentieel zijn in hun dieet. Er zijn meerdere verklaringen mogelijk voor de verschuivingen in soortensamenstellingen tussen de wel en niet overstoven delen. Als eerste hebben de ijlere vegetaties (1) een warmer en droger, onder- en bovengronds, microklimaat (5 & 6; Hoofdstuk 3). Uit onderzoek bij sprinkhanen blijkt dit warmere en drogere microklimaat voor een snellere ontwikkeling (6) van eieren van karakteristieke duinsoorten (9) te zorgen (Hoofdstuk

3). Het is heel aannemelijk dat de eieren en larven van andere karakteristieke thermo- en xerofiele soorten ook profiteren van een warmer en droger microklimaat ontstaan door overstuiving. Als gekeken wordt naar de soorteigenschappen van de aangetroffen fauna in de overstoven locaties, dan worden die ook vaak als karakteristiek voor duinen en thermofiel omschreven (Hoofdstuk 6). Als tweede lijkt de overstuiving met duinzand een positief effect op de voedselkwaliteit te hebben (3 & 7; Hoofdstuk 5 & 6). Vaak zijn de concentraties van nutriënten en mineralen en de verteerbaarheid van de overstoven grassen hoger dan van niet overstoven grassen. Het ontrafelen van de achterliggende processen die verantwoordelijk zijn voor de manier waarop herbivoren presteren op deze grassen verdient in de toekomst echter nog meer aandacht (9; Hoofdstuk 6). Uit bovenbeschreven resultaten blijkt dat het “verstorende” effect van zandverstuiving, waardoor de vegetatiesamenstelling, -kwaliteit en microklimaatcondities veranderen, grote positieve effecten (habitat- en voedselkwaliteit) heeft op karakteristieke en thermofiele ongewervelde en gewervelde fauna van duinen. Hierdoor werkt verstuiving behalve als landschapsvormend proces ook als een ‘ecologische motor’ voor het kustduinsysteem.



Figuur 9.2: Schema waarin de effecten van verstuiving op het systeem beschreven worden. Verstuiving staat aan de basis van het systeem en heeft invloed op de vegetatie en bodem. Vervolgens zijn deze effecten bepalend voor de drie, rood omlijnde, kaders (structuur habitat, voortplanting en voedsel). Deze drie factoren zijn, zoals beschreven in figuur 9.1, bepalend voor het voorkomen van fauna. De aanwezigheid, kwaliteit en onderlinge afstand van deze drie factoren in het landschap bepalen dan ook het voorkomen van de ongewervelde fauna en de doorwerking op de predatoren.

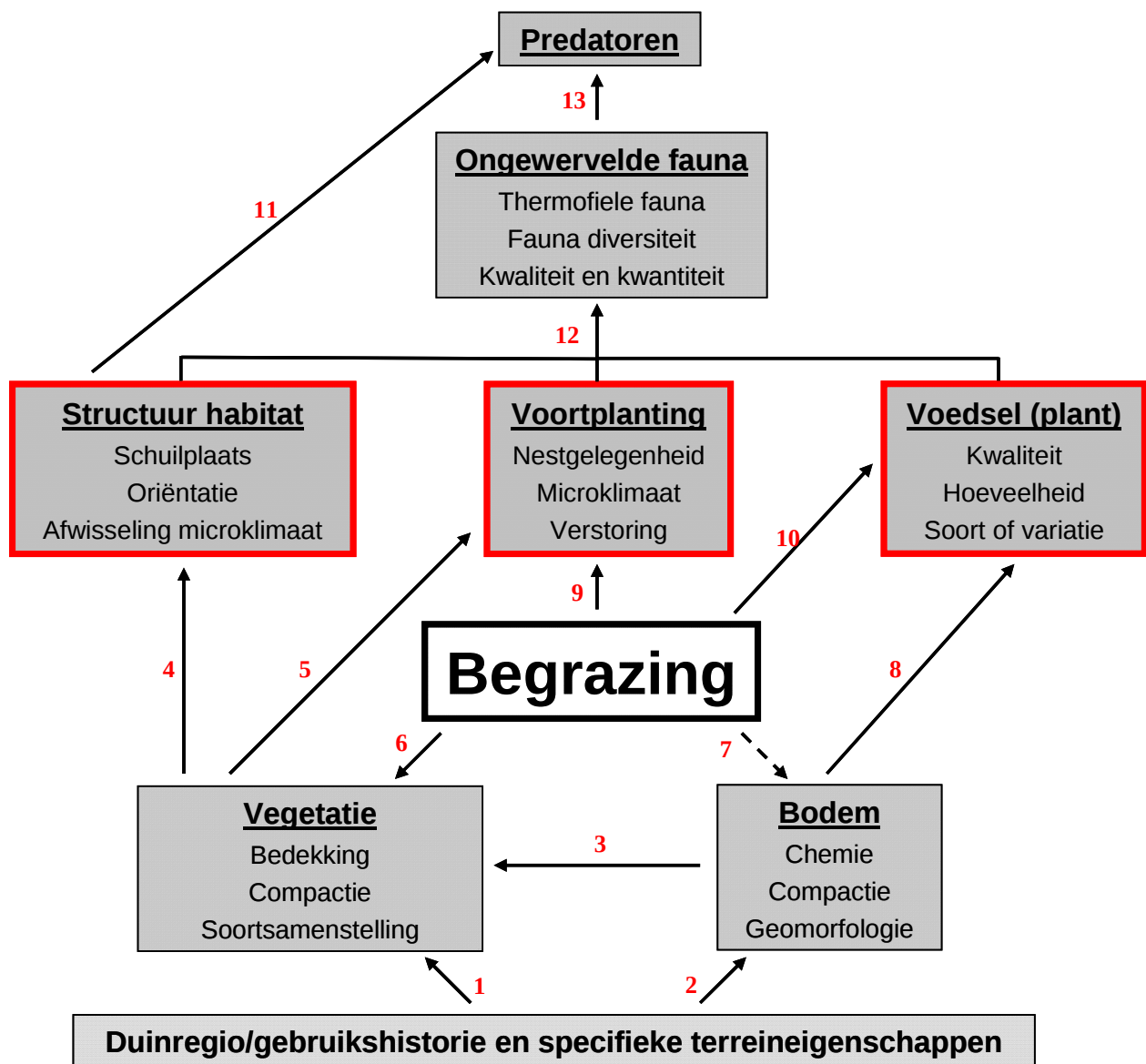
9.3 Begrazing

Begrazing is een van de meest uitgevoerde maatregelen in Nederlandse natuurterreinen, inclusief kustduinen (de Molenaar 1996, Van Wingerden *et al.* 1997, Wallis de Vries *et al.* 1998). Tenminste een derde deel van het totale oppervlak van de Nederlandse kustduinen wordt momenteel begraasd (van Oosten *et al.*, 2011). Voor het oppervlak aan (half)open duingrasland is dit getal veel hoger, waarschijnlijk meer dan 60%. Doel van het inzetten van begrazing als beheermaatregel is het tegengaan van vergrassing en verstruweling. Deze vergrassing en verstruweling zijn vooral het gevolg van de hoge stikstofdepositie, het vastleggingsbeheer door de mens en van het ineensstorten van de konijnenpopulatie als gevolg van myxomatose-uitbraken en meer recentelijk de ziekte VHS (Van Turnhout *et al.* 2003, Kooijman *et al.* 2005, Van den Burg *et al.* 2009). Dit heeft geleid tot het wegvallen van de natuurlijke hoge graasdruk op het systeem. De snelle verruiging direct na de eerste myxomatose uitbraak in 1954 illustreert de hoge mate van invloed die het konijn op het duinsysteem uitoefende (Ranwell, 1963). Als (neven)doelen van begrazing worden vaak een verhoging van de variatie in vegetatiestructuur en het creëren van open zandige plekken genoemd. Naast de inzet als herstelmaatregel wordt begrazing ook toegepast als een vorm van instandhoudingbeheer van gebieden met cultuurhistorische waarde, bijvoorbeeld voor de uitbreiding en instandhouding van het Zeedorpenlandschap, Middenduingraslanden en Vroongronden (Mienten). Impliciet wordt er bij begrazingsbeheer vanuit gegaan dat het creëren van soortenrijkere vegetatie met meer structuurvariatie en de daaraan gekoppelde afwisseling in microklimaat ook tot een hogere faunistische biodiversiteit leidt met een groot aandeel van karakteristieke (warmteminnende) diersoorten.

Opvallend genoeg varieert de waardering voor de effecten van begrazing van zeer positief tot zeer negatief (Van Turnhout *et al.* 2003). Ten eerste komt dit doordat er grote verschillen zijn in begrazingsvorm (soort grazer, graasdruk, periode en duur) en de Ausgangssituatie van het te begrazen terrein (grootte, nutriëntenbeschikbaarheid, variatie in het terrein en de aan- of afwezigheid van relictpopulaties). Ten tweede variëren zowel de doelen die de beheerder stelt, als het specifieke onderwerp waarvoor de effecten van begrazing worden vastgesteld (flora, fauna, ecosysteem, abiotische processen).

De ecologische processen die door begrazing worden beïnvloedt, zijn ook hier weergegeven in een schema (Fig. 9.3). De rode nummers in de tekst verwijzen naar de pijlen in dit schema. In het schema zijn opnieuw de structuur van het habitat, de voortplantingsmogelijkheden en het voedsel (rood omlijnd in schema) als basis genomen voor de doorwerking op fauna. Het schema laat, in vergelijking met het schema van verstuiwing (Fig 9.2), duidelijk zien dat begrazing niet aan de basis van het systeem staat. Het effect van begrazing op bodem, vegetatie en dieren is in vergelijking met het effect dat door de verschillen tussen abiotische factoren van de duinzones (Renodunaal/Wadden en kalkrijk/kalkarm) ontstaat vele malen kleiner en bijna te verwaarlozen (1 & 2; Hoofdstuk 7). Voor de meeste soorten en processen zijn de ligging van het gebied in de Nederlandse duinen, de gebruikshistorie en specifieke terreineigenschappen belangrijker dan het wel of niet begrazen van het gebied. Begrazing heeft natuurlijk wel invloed op het systeem maar een minder grote invloed dan verstuiwing omdat het niet bottom-up werkt. Met het inzetten van begrazingsbeheer neemt namelijk vrijwel altijd de bedekking met vergrassende grassen en strooisel af (6). Het effect op de bedekking van kruiden, mossen en open zand is echter wisselend tussen de verschillende duinregio's, maar voornamelijk neemt de bedekking toe. Begrazing op vlakke en lichtglooiende terreindelen lijkt over het algemeen weinig invloed op de chemische samenstelling van de bodem te hebben, behalve bij de hoeveelheid kalium (7). Deze neemt bij begrazing toe. Het organische stofgehalte van de bodem lijkt echter wel toe te nemen met begrazing (7). Bij een hoog organisch stofgehalte neemt de compactie van de bodem toe door begrazing. Ondanks deze kleine verschillen op bodemniveau lijkt begrazing wel invloed te

hebben op de voedselkwaliteit van de staande biomassa (8 & 10), deze neemt toe met begrazing. De concentraties van veel nutriënten en mineralen nemen toe en de verhoudingen tussen stikstof en andere macronutriënten lijken gunstiger (d.w.z. lager) met begrazing (zowel door wilde grazers als met additioneel huisvee). De hierboven beschreven effecten komen tot stand met begrazing door koeien en/of paarden. Het effect van begrazing kan erg verschillende resultaten opleveren afhankelijk van het type grazer, de dichtheid, tijd en lengte van inzet en het type terrein. Vooral paarden/ponies en schapen kunnen zorgen voor een golfbanisering van het landschap, er ontstaat dat een erg dichte uitgestoelte grasvegetaties (6; hoofdstuk 3). Dit nieuwe vegetatietype, een uitgestoelde, dicht en kort duingrasland, heeft grote gevolgen voor het onder- en bovengrondse microklimaat (4 & 5; hoofdstuk 3). In vergelijking met een vergraste vegetatie (de reden waarom grazers worden ingezet) levert de begrazing een temperatuurwinst op. Deze temperatuurwinst is echter nog niet te vergelijken met het microklimaat van een ijl duingrasland (hoofdstuk 3) dat, zoals hierboven beschreven, door verstuiwing maar ook door hoge konijnendichtheden kan ontstaan. Voor de ontwikkeling van eieren van sprinkhanen, met name voor thermofiele soorten, lijken deze ijle situaties essentieel te zijn voor hun ontwikkeling (12). Begrazing kan een vergraste situatie dus wel verbeteren voor de ontwikkeling van sprinkhaneneieren (5, 6 & 12) maar is nog niet vergelijkbaar met een ijl duingrasland. De eerder besproken bodemverdichting (7) of vegetatieverdichting (6) door begrazing kan verder mogelijk de eiafzet van ongewervelden in de bodem (zoals veel sprinkhanen doen) belemmeren doordat zij niet meer tot de bodem kunnen doordringen. Zoals hierboven al aangegeven, zijn de effecten van begrazing op het creëren van open zand wisselend tussen de duinregio's (6). Desalniettemin oefenen grote grazers invloed uit op grondnestelende fauna tijdens het nieuw creëren van zand (6) of het betreden (9) van reeds bestaand open zand (Hoofdstuk 4). Op open zandplekken waar regelmatig betreding (9) met grote grazers optreedt wordt een factor drie tot vier minder grondnestelende fauna aangetroffen dan op onbetreden plekken. Door deze plekken uit betreding te nemen (door het plaatsen van exclusures) blijkt langzaam herkolonisatie van grondnestelende fauna op te treden. Dit heeft echter wel tijd nodig, na drie jaar wordt pas significant meer fauna aangetroffen in de exclusures dan op de nog steeds betreden plekken. De herkolonisatie treedt vooral op bij soorten met een solitaire levensvorm die vaak minder dan één dag over het maken van hun nesten doen. Kolonievormende insecten met een grotere mate van broedzorg en dus een grotere tijdsinvestering in hun nakomelingen lijken tot op heden de exclusures nog niet te koloniseren. Grote grazers creëren verschillende typen nieuw open zand. Naast grote, open zandige kuilen zijn zandige terracettes hier een voorbeeld van. Deze ontstaan vooral op zuid-geëxponeerde, steile duinhellingen (6). Ten opzichte van niet betreden, met vegetatie begroeide hellingen wordt er op de terracettes meer insectenactiviteit waargenomen en worden meer nesten geteld (5 & 12). Hier lijkt de betreding met grazers, in tegenstelling tot de reeds aanwezige zandplekken, juist geschikt nieuw habitat te creëren voor grondnestelende fauna (12). Voor spinnen en mierenleeuwen lijken deze terracettes zelfs beter geschikt dan spontane, door windactiviteit ontstane, aanwezige steilwanden in stuifkuilen. Zoals hierboven beschreven kan begrazing dus invloed uitoefenen door het hele systeem heen. Het heeft zowel direct als indirect invloed op de bodem (7), de planten (6) en de dieren (12 & 13). De vorm waarin de begrazing wordt ingezet (zowel in soort, druk als de ruimte- en tijdschaal) is heel belangrijk voor de uitkomsten, dit dient bij ieder terrein apart afgewogen te worden door de beheerder.



Figuur 9.3: Schema waarin de effecten van begrazing op het systeem beschreven worden. Aan de basis van het systeem staat de duinregio/gebruikshistorie en specifieke terreineigenschappen. Zij zijn bepalend voor de aanwezige vegetatie en bodemcondities. Begrazing heeft invloed op de drie, rood omlijnde, kaders (structuur habitat, voortplanting en voedsel). Deze invloed is zowel indirect, van bovenaf, via de effecten op vegetatie en bodem, als direct op voortplanting en voedsel voor ongewervelden. De drie factoren (structuur habitat, voortplanting en voedsel) zijn, zoals beschreven in figuur 9.1, bepalend voor het voorkomen van fauna. De aanwezigheid, kwaliteit en onderlinge afstand van deze drie factoren in het landschap bepalen dan ook het voorkomen van de ongewervelde fauna en de doorwerking op de predatoren.

Omdat het inzetten van verstuing en begrazing, zoals hierboven beschreven, grote effecten op het duinsysteem kunnen hebben is het essentieel te begrijpen hoe deze processen werken. De resultaten uit het VK en OLD onderzoek bieden handvatten om het beheer te kunnen optimaliseren. De vertaaltap van de resultaten uit dit rapport richting het beheer kunt u vinden in hoofdstuk 10. Er blijven echter ook aspecten van de aantasting of het beheer van duinen die tot op heden niet of minder begrepen worden. Deze kennislacunes verdienen in toekomstig onderzoek de aandacht om op deze wijze nog beter grip te krijgen op de resultaten die het beheer kan hebben op het herstel van duinen. Deze kennislacunes staan beschreven in hoofdstuk 11.

10. Aanbevelingen voor beheer

In de onderstaande aanbevelingen ligt de focus op de belangrijkste maatregelen voor voornamelijk het beheer van droge duingraslanden en daarnaast in enige mate op dynamisch stuivende helmduinen. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de maatregelen begrazing en verstuiving of een combinatie tussen beide, deze maatregelen zijn een onderdeel van dit onderzoek geweest. Andere habitattypen van het kustlandschap en beheersmethoden, die geen deel hebben uitgemaakt van dit onderzoek, blijven hier buiten beschouwing.

Begrazing en verstuiving

- Zorg voor variatie bij het inzetten van begrazing (in ruimte, maar vooral in tijd; dichtheden en soort grazer) en overstuiving als beheer in duingraslanden (grijze duinen). Hierdoor kan een afwisseling in vegetatietypen, -structuur en open zand ontstaan. Dit leidt tot een grotere diversiteit in soorten en aantallen van ongewervelden. Juist de combinatie tussen veel, matige en geen overstuiving met zand (zoals beschreven in hoofdstuk 6) levert een diversiteit aan soorten in duingraslanden. Deze variatie aan soorten over de gradiënt van verstuiving maar ook voornamelijk de grotere soorten in de overstoven vegetaties levert voedselaanbod dat essentieel is voor predatoren (vooral grond- en oogjagers zoals bv. Grauwe klauwieren *Lanius collurio*, Tapuiten *Oenanthe oenanthe* en Graspiepers *Anthus pratensis*). Hiernaast kan door een langdurig en uniform begrazingsbeheer op vlakke en licht glooiende terreindelen een dichte, erg uitgestoelde, wortel- en vegetatielaag ontstaan. Deze vegetaties bieden ten opzichte van ijle vegetaties een ondergronds microklimaat dat negatief (koeler) is voor de ontwikkeling van thermofiele sprinkhaansoorten (hoofdstuk 3). De nieuw ontstane uitgestoelde situaties zijn qua ondergrondse temperatuur echter wel beter geschikt dan de voorheen vergraste plekken. Er moet gestreefd worden naar een fijnmazig mozaïekpatroon waarbij zowel plekken zonder begroeiing als verruigde plekken, en alles daartussen, op geringe afstand van elkaar voorkomen. Begrazing heeft ook grote invloed op grondnestelende fauna via het betreden of creëren van open zand (hoofdstuk 4). Hierbij is het gebruikte begrazingsregime zeer belangrijk voor de uiteindelijke effecten.
- Juist de combinatie van de maatregelen begrazing en het stimuleren of herstellen van verstuivingen valt aan te bevelen. Beide zijn van belang in het herstellen van onderdelen van het habitat voor fauna. Hiernaast kan begrazing faciliterend werken voor konijnen (Oloff en Boersma, 1998), welke vervolgens zelf positieve effecten kunnen hebben op habitatomstandigheden voor andere fauna. Het herstel van verstuivingen leidt bovendien tot een substantiële toename van kaal zand, waardoor de betredingsdruk op dat kale zand afneemt (verdunningseffect). Indien deze betredingsdruk voor langere tijd erg laag blijft, kan naar verwachten grondnestelende fauna hiervan profiteren.

Begrazing:

Bij het inzetten van grote grazers als beheersmaatregel dient onderscheid gemaakt te worden tussen een herstel- en een onderhoudsfase. Het verschil tussen beide fases wordt bepaald door de structuurdifferentiatie van de vegetatie die het doel van de beheersvisie is. In droge duingraslanden gaat het meestal om de verhouding tussen het oppervlakte onbegraasde,

lichtbegaasde (halfalang gras), begaasde (kort gras), zwaar begaasde (zeer kort gras en open zand), overbegaasde (zand) vegetatie en open zand. In de herstelfase is weinig structuurvariatie aanwezig en domineert lang of halfalang gras in het terrein. De onderhoudsfase wordt bereikt als een gewenste structuurvariatie is ontstaan en deze met behulp van begrazingsbeheer in stand wordt gehouden. Om tijdens de onderhoudsfase verstoring door grazers te voorkomen wordt door beheerders gestreefd naar een minimum van 10 % onbeïnvloed terrein. Een bovengrens zou 30 % kunnen zijn.

- Begrazingsbeheer (mits op de juiste manier toegepast) blijft een noodzakelijke maatregel. Grazers kunnen ingezet worden als herstelbeheer voor vergraste duingraslanden met weinig structuurvariatie en onderhoudsbeheer van kortere duingraslanden met meer structuurvariatie. Beide vormen van beheer moeten gericht zijn op het creëren van een totale structuurgradiënt in het landschap. Begrazing verlaagt de staande biomassa, creëert soms meer open zand en zorgt voor lagere verhoudingen tussen stikstof en andere macronutriënten in planten. Habitat- en voedselkwaliteit voor typische (thermofiele) ongewervelden van duingraslanden wordt zo verhoogd ten opzichte van een vergraste situatie (hoofdstuk 7).
- Het creëren van door grazers onverstoorde zandige plekken is essentieel voor het herstellen van populaties van ongewervelden. Deze onverstoorde plekken kunnen gecreëerd worden door het inzetten van roulatiebeheer of door het inzetten van begrazing (lage dichtheden) in een zeer groot terrein (> 500 ha). In beide gevallen wordt een situatie gecreëerd waarbij stukken terrein enige of langere tijd niet of nauwelijks beïnvloed zullen worden door de grazers. Bij langere tijd (meerdere jaren) van rust kunnen populaties zich herstellen en bij tijdelijke perioden van rust worden kwetsbare levensfasen (bv. ei- of larvale fase) van ongewervelden ontzien. Het uit begrazing nemen van verstoorde en daardoor al open, zandige plekken (voor periodes langer dan 3 jaar), door bv. het uitleggen van takken rond kwetsbare gebieden, biedt kansen tot herkolonisatie voor grondnestelende fauna. Hiernaast kunnen, met variatie in tijd en ruimte van begrazingsbeheer, kwetsbare (levenscycli van) soorten ontzien worden (bv. kolonievormende grondnestelende fauna; hoofdstuk 4).
- Voorkom het ontstaan van een verhoogde bodem- en vegetatiecompactie door langdurige uniforme begrazing. Tijdelijke uitrastering (bv. door het slim plaatsen van doornige takken zodat een ‘natuurlijke’ barrière ontstaat), een roulatiebeheer of het inzetten van begrazing in een zeer groot terrein is aan te bevelen bij het beschermen van specifieke diersoorten of –groepen die hier last van ondervinden (hoofdstuk 7). Het ontstaan van een dichte, gesloten vegetatie heeft negatieve gevolgen voor het ondergrondse microklimaat (lagere temperatuur) wat negatief is voor de ontwikkeling van de daar levende fauna (hoofdstuk 3). Een verhoogde bodem- en/of vegetatiedichtheid heeft daarnaast waarschijnlijk negatieve gevolgen voor in de bodem levende, gevoelige (levensstadia van) ongewervelden. Door de hoge weerstand van bodem en vegetatie zijn zij waarschijnlijk niet meer in staat hun eieren af te zetten in de bodem.
- Het creëren van open zand, door zware grazers, op steile zuid-geëxponeerde duinhellingen (terraces) speciaal voor warme en droge terreindelen valt aan te bevelen. Deze habitats bieden geschikt leefgebied voor thermofiele, grondnestelende fauna (hoofdstuk 4). De exacte dichtheden van grazers en terreineigenschappen waarbij dit fenomeen optreedt, zijn nog niet bekend en verdienen de aandacht.

- De historie van een duingebied kan alle, voor Nederland in het algemeen opgestelde regels teniet doen. Het is dus belangrijk een goed inzicht van de historie van ieder gebied te hebben om gefundeerde en juiste conclusies te kunnen trekken over het beheer (hoofdstuk 7). In het algemeen zorgt begrazing bijvoorbeeld voor een afname van een aantal groundbewonende ongewervelden, als echter alleen naar het gebied de Rellen (zeedorpenlandschap, NHD) gekeken wordt is deze trend tegenovergesteld. Het feit dat dit terrein in zeedorpengebruik is geweest (bv. meer nutriënten toegevoegd, lang en gevarieerd landschapsgebruik) in het verleden is waarschijnlijk verantwoordelijk voor deze tegenstelling in uitkomst.

Verstuiving:

- Stimuleer kleinschalige verstuiving in duingraslanden, door (re-)activatie van dichtgegroeide stuifkuilen of het creëren van nieuwe stuifkuilen. Op deze wijze worden gradiënten gecreëerd tussen open zand en gesloten duingrasland. De open zand plekken bieden geschikt leefgebied voor thermofiele, grondnestelende fauna (hoofdstuk 4 & 6) en de gradiënten zijn bijzonder belangrijk voor de diversiteit van ongewervelden en variatie in microklimaat (hoofdstuk 3 & 6). Dit is ook belangrijk voor de predatoren die van deze insecten leven (bv. karakteristieke duinvogels). Het kan een grote bijdrage leveren aan het herstel van duingraslanden met bijbehorende plant- en diersoorten.
- Afwisseling in verstuivingintensiteit in een terrein is belangrijk om een grote (in ruimte en tijd) variatie in bv. habitatkwaliteit voor ongewervelden of plantkwaliteit voor herbivoren te creëren. Hierbij lijkt juist een lichte overstuiving (tussen de 0 en 5 cm per jaar) in duingraslanden belangrijk te zijn voor een betere plantkwaliteit (lage verhoudingen tussen stikstof en andere macronutriënten) te zijn en daarmee verbeterde voedselkwaliteit voor herbivoren te bieden. Door variatie in omgevingsfactoren wordt de kans aanzienlijk vergroot dat de juiste omstandigheden en/of het juiste voedselaanbod voor de verschillende levensfases beschikbaar is (hoofdstuk 6).
- Het bevorderen van het aandeel actief stuivende witte duinen op grote schaal (> 0.5 ha) valt aan te bevelen. Hierdoor ontstaan jonge, vitale helmduinvegetaties met jonge, verse wortelgroei. Dit levert beter voedsel (hogere nutriëntenhoeveelheden en verteerbaarheid) voor wortel-etende bladsprietkeverlarven en vervolgens een hogere prooidichtheid voor predatoren van deze kevers (hoofdstuk 5).

11. Kennislacunes

Onderstaande kennislacunes zijn in samenwerking met de beheerders van Meijendel, het Noord-Hollands duinreservaat en de Amsterdamse waterleidingduinen opgesteld. Ze komen voort uit de resultaten van het huidige onderzoek (OLD), andere duinonderzoeken (bv. OBN begrazingsonderzoek) en vraagstukken die door de beheerders zijn aangedragen.

Bloemarmoede

Uit het **onderzoek naar beschikbaarheid van nutriënten door begrazing en het OBN begrazingsonderzoek** (Hoofdstuk 7) blijken er wisselende effecten te zijn van begrazing op de kruidenrijkdom. Soms neemt de bedekking van kruiden toe en soms neemt deze af of blijft gelijk. Er is echter nog onvoldoende bekend over het effect op bloeiende planten bij veranderende kruidendichtheid. Het toenemen van de kruiden hoeft namelijk niet automatisch te betekenen dat deze ook daadwerkelijk tot bloei komen. Bloeiende planten zijn heel belangrijk voor veel groepen ongewervelden als bijen, vlinders etc. Het is zaak te achterhalen hoe bloemaanbod gestimuleerd kan worden. Wat zijn de sturende processen die het bloemaanbod bepalen in de duinen?

Achteruitgang dag- en nachtvlinders

Dag- en nachtvlinders nemen sterk af in NL (Groenendijk en Ellis, 2011). Voor nachtvlinders is verder bepaald dat de achteruitgang in de duinen het sterkst is. Hiernaast vormen dag- en nachtvlinders en hun rupsen een belangrijk deel van de voedselketen, zij vormen belangrijke prooien voor bv. karakteristieke duinvogels. Zonder dit voedselaanbod kunnen ook deze soorten in de problemen komen. Het is dus zaak te achterhalen welke processen verantwoordelijk zijn voor de achteruitgang van de vlinders en of met beheer deze achteruitgang gekeerd kan worden.

Bodemverdichting

Het vergassen van duingraslanden heeft grote gevolgen voor het boven- en ondergrondse microklimaat en voor de toegankelijkheid van de bodem voor insecten (**microklimaat** hoofdstuk 3). Uit het **onderzoek naar beschikbaarheid van nutriënten door begrazing en het OBN begrazingsonderzoek** (Hoofdstuk 7) blijkt echter ook begrazing effect te hebben op de bodemgesteldheid. Door begrazing treedt soms namelijk bodemverdichting op, voornamelijk in bodems met een hoger humusgehalte. Hiernaast kan door begrazing ook de vegetatielaag juist verder verdichten (uitstoelen van grassen) waardoor de ondergrondse temperatuur afneemt (**microklimaat** hoofdstuk 3). Veel insectensoorten hebben hun ei en larvale stadium in de bodem en zijn dus afhankelijk van de daar heersende condities. Deze larven bieden vervolgens voedselaanbod voor gewervelde predatoren als bv. de Tapuit (*Oenanthe oenanthe*). Zowel de bereikbaarheid van de bodem voor insecten (die hun eieren daar moeten afzetten) als voor predatoren (die hun voedsel eruit moeten halen) wordt bij bodem- en vegetatieverdichting mogelijk belemmerd. Het is echter de vraag op welke schaal dit optreedt, wat het effect van hellingshoek en –expositie hierop is, en bij welke intensiteit en vorm van beheer dit probleem ontstaat? Vervolgens kan nagedacht worden of en op welke wijze dit probleem verholpen kan worden.

Effecten voedselkwaliteit op fauna

Waarschijnlijk zijn veranderingen in voedselkwaliteit, ontstaan door aantasting (stikstofdepositie en verlies aan verstuiving), een belangrijke verklarende factor voor de achteruitgang van fauna in de duinen. Het is dus zaak uit te vinden op welke wijze voedselkwaliteit verbeterd kan worden. Door de inzet van beheer, zowel met begrazing

(beschikbaarheid van nutriënten door begrazing hoofdstuk 7) als met verstuiwing (**witte duinen en duingraslanden** hoofdstuk 5 & 6), lijken er verschuivingen op te treden in voedselkwaliteit. Er worden namelijk veel verschillen gevonden in de samenstelling van nutriënten en mineralen in planten tussen beheerde en niet beheerde gebieden. Tot nu toe is er echter nog geen eenduidige verklaring gevonden voor de sturende processen achter deze verschuiving in voedselkwaliteit en de precieze effecten ervan op fauna.

Effect (historische) vervuiling op fauna

Uit ecologisch onderzoek naar de achteruitgang van de diversiteit van fauna in de Nederlandse duinen blijkt dat dioxines in zeer hoge concentraties voorkomen in eieren van insectenetende zangvogels (Van Oosten *et al.*, 2012). Dit is vastgesteld voor Tapuiten en graspiepers. Naast hoge dioxinegehalten zijn er ook embryonale afwijkingen vastgesteld die wijzen op dioxinevergiftiging. Eenmaal neergeslagen in de bodem binden dioxines sterk aan bodemdeeltjes en hopen daardoor op in de bovenste bodemlagen. Doordat dioxines zeer persistent zijn, kunnen de problemen veroorzaakt worden door een vervuiling die in het verleden is veroorzaakt. Het vermoeden is dat bodembewonende insecten veel dioxinen opnemen en vervolgens in hun vetweefsel ophopen. Zangvogels die van deze insecten eten, worden op deze manier via het voedsel besmet. Vervolgonderzoek moet uitwijzen hoe de stapeling van dioxinen in natuurgebieden verloopt, welke diersoorten een hoge blootstelling ondervinden en welke oplossingsrichtingen er zijn.

Mozaïek en gradiënten biotopen

Ruimtelijke heterogeniteit is mede bepalend voor de diversiteit aan fauna in een landschap (**verstuiwing duingraslanden** hoofdstuk 6). Elke soort blijkt echter anders te reageren op ruimtelijke variatie (in tijd en ruimte), hierdoor is het vaak lastig voor beheerders de juiste keuzes te maken. Het is dus belangrijk de juiste tools te ontwikkelen om vat te krijgen op deze ruimtelijke variatie in het landschap en de effecten daarvan op verschillende soorten. Het gebruik van remote sensing technieken in combinatie met kennis over de eisen die verschillende soorten (op verschillende schaal) aan het landschap stellen lijkt een veelbelovende oplossing te zijn (Wouters *et al.* 2012). Het is dus belangrijk uit te vinden welke afwisselingen, en op welke schaal deze afwisselingen belangrijk zijn in het landschap zodat meerdere soorten hiervan kunnen profiteren. Op deze wijze moeten vuistregels voor beheerders worden ontwikkeld waarmee zij het beheer kunnen sturen.

Onderbelichte biotopen

Het onderzoek in de Nederlandse vastelandsduinen is voornamelijk gericht op witte en grijze duinen. Deze habitattypen krijgen terecht veel aandacht omdat zij unieke plant- en diergemeenschappen vertegenwoordigen. Door deze grote aandacht voor grijze en witte duinen zijn andere habitattypen echter onderbelicht. Het is van belang uit te vinden wat de functie voor soorten is van deze onderbelichte biotopen (bv. duinbossen en –beken) en hoe het beheer hierop kan inspelen.

Effecten van konijnen

In sommige gebieden nemen de aantallen konijnen weer iets toe en komen hoge aantallen konijnen voor, in andere gebieden blijft dit herstel echter achterwege. Hoe de effecten van konijnen in verhouding staan tot het uitgevoerde begrazings- of verstuiwingsbeheer is vaak onduidelijk. Hoe konijnenactiviteit bijvoorbeeld inspeelt op het faciliteren van habitat voor grondnestelende fauna (**microklimaat, betreding** hoofdstuk 3 & 4) is niet bekend. Het is dus van belang te weten of bij herstellende konijnenpopulaties het huidige beheer overbodig wordt of nog steeds een gewenste aanvulling blijft.

12. Referenties

- Berner, D., Blanckenhorn, W. U. & Korner, C., 2005 Grasshoppers cope with low host plant quality by compensatory feeding and food selection: N limitation challenged. *Oikos*, 111, 525-533.
- Bonte, D., 2005. Anthropogenic induced changes in nesting densities of the dune-specialised digger wasp *Bembix rostrata* (Hymenoptera : Sphecidae). *European Journal of Entomology* 102 (4): 809-812
- Bonte D., Maes D, 2007. Trampling affects the distribution of specialised coastal dune arthropods. *Basic and Applied Ecology* 9: 726-734
- Brannen, C.H., 2010. Drought-related cattle feeding problems. University of Georgia
- Brussaard, L., 1983. Reproductive behaviour and development of the dung beetle *Typhaeus typhoeus* (Coleoptera: Geotrupidae). *Tijdschrift voor entomologie*, vol: 126, issue: 10, page: 203-231
- Chapmann, R.F., 1998. The insect: structure and function Cambridge University Press. 770 pp.
- De Molenaar, J.G., 1996. Gedomesticeerde grote grazers in natuurgebieden en bossen: een bureaustudie - De werking van begrazing. IBN-rapport 231, IBN-DLO, Wageningen.
- De Rooij-van der Goes, P.C.E.M., 1995. The role of plant parasitic nematodes and soil borne fungi in the decline of *Ammophila arenaria* (L) Link. *New Phytol* 129: 661–669
- Doing, H., 1988. Landschapsoecologie van de Nederlandse kust: een landschapskartering op vegetatiekundige grondslag. Stichting Duinbehoud, Leiden.
- Etherington, J.R., (1967). Studies of nutrient cycling and productivity in oligotrophic ecosystems I. Soil potassium and wind-blown sea-spray in a South-Wales dune grassland. *Journal of Ecology*, 55, 743-752.
- Finck, A., 2007. Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Berlin Stuttgart
- Grasshoff, K., Johannsen, H., 1977. A new sensitive method for the determination of ammonia in sea water. *Water research* 2: 516
- Groenendijk, D., Ellis, W.N., 2011. The state of the Dutch larger moth fauna. *Journal of Insect Conservation* 15: 95-101
- Ingrisch, S., Köhler, G., 1998. Die Heuschrecken Mitteleuropas. – Die Neue Brehm-Bücherei 629, Westarp Wissenschaften, Magdeburg, 1–450
- Kingston, H.M., Haswell, S.J., 1997. Microwave enhanced chemistry: fundamentals, sample preparation and applications. American chemical society, Washington DC, USD.

Klein, L.B., et al., 1980. The effect of phosphorus fertilization on the chemical quality of katahdin potatoes. *American Potato Journal* 57: 259-266

Kleukers, R.M.J.C., E.J. van Nieukerken, B. Odé, L.P.M. Willemse & W.K.R.E. van Wingerden 1997. De sprinkhanen en krekels van Nederland (Orthoptera). *Nederlandse Fauna* 1: 1-416

Kooijman, A.M., Besse, V. & Haak, R., 2005. Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in open droge duinen. Eindrapport fase 2. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede. Rapport DK nr. 2005/dk008-O.

Lammerts, E.J., Nijssen, M., Grootjans, A.P. Kooijman, A.M. & Oost, A.P., 2009. Het belang van ruimte- en tijdschalen voor ecologisch herstel van kustlandschap. *De Levende Natuur* 3: 158-163

McCaffery, A.R., 1975. Food quality and quantity in relation to egg production in *Locusta migratoria migratorioides*. *Journal of Insect Physiology* 21 (9): 1551-1558

Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. second edition. 889pp. London: Academic Press,

Meda, A.R., Scheuermann, E.B., Prechsl, U.E., Erenoglu, B., Schaaf, G., Hayen, H., Weber, G., von Wirén, N., 2007. Iron Acquisition by Phytosiderophores Contributes to Cadmium Tolerance. *Plant Physiology* 143: 1761-1773

Nijssen, M., Alders, K., Smissen, van der N., Esselink, H., 2001. Effects of grass encroachment and grazing management on carabid assemblages on dry dune grasslands. *Proc. Exper. Appl. Entomol.* 12; 113-120

Nijssen, M., et al., 2010. Onderzoek naar effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van stuifzanden. Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality, Ede Report.

Oloff, H., Boersma, S.F., 1998. Lange termijn veranderingen in de konijnenstand van Nederlandse duingebieden: *Oorzaken, en gevolgen voor de vegetatie*. Leerstoelgroep natuurbeheer en plantenecologie, Wageningen, 57 pp. + bijlage

Olson, J., 1958. Rates of succession and soil changes on southern Lake Michigan sand dunes. *Bot. Gaz.* 119, 125-70

Raubenheimer, D., Simpson, S. J., 1993. The geometry of compensatory feeding in locust. *Animal Behaviour* 45 (5): 953-964

Remke, E.S., Blindow, I., 2011 Site specific factors have an overriding impact on Baltic dune vegetation change under low to moderate N-deposition—a case study from Hiddensee island. *Journal of Coastal Conservation* 15: 87-97

Romheld, V., Marschner, H., 1986. Evidence for a Specific Uptake System for Iron Phytosiderophores in Roots of Grasses. *Plant Physiol.* 80: 175-180

Slings, Q.L., 1994. De kalkgraslanden van de duinen. De Levende Natuur 95: 120-130.

Stoutjesdijk, Ph., Barkman, J.J., 1987. Microclimate , vegetation and fauna. Opulus prss AB, Knivsta, Sweden.

Van den Burg, A. (ed.) et al, (2009). Preadvies Duin- en Kustlandschap. Rapport DK nr. 2009/dk113-O.

Van der Beek, M. 2009. A survey to the dietary requirements of Northern Wheatears (*Oenanthe oenanthe*) and Meadow Pipits (*Anthus pratensis*) rearing nestlings in Dutch coastal dunes. Bargerveen studentenverslag, Nijmegen 33pp + bijlage

Van der Putten, W., Dijk van, C. & Troelstra, S., 1988. Biotic soil factors affecting the growth and development of *Ammophila arenaria*. Oecologia (1988) 76: 313-320.

Van Duinen G.A., Beusink, P., Nijssen, M., & Esselink, H., 2004. Broed- en voedsel生态学 van de Grauwe Klauwier in intacte kustduinen - De Kleine Junikever als schakel in het voedselweb. Rapport Stichting Bargerveen, Nijmegen. 63 pag. + bijlagen.

Van Turnhout, C., Stuijzand, S., Nijssen, M., Esselink, H., 2003. Gevolgen van verzuring, vermeting en verdroging en de invloed van herstelbeheer op duinfauna; basisdocument. Rapport EC-LNV nr. 2003/153. Expertisecentrum LNV

Van Turnhout, C., Aben, J., Beusink, P., Geertsma, M., 2006. Broedsucces en voedsel生态学 van Tapuiten in de Nederlandse kustduinen. SOVON-Onderzoeksrapport 2006/14. SOVON Vogelonderzoek Nederland, Beek-Ubbergen en Stichting Bargerveen / Radboud Universiteit, Nijmegen

Van Oosten, H., van den Burg, A., Siepel, H., 2012. Onderzoek naar de teloorgang van de Tapuit zorgt voor verrassing. *Gifstoffen extra probleem voor natuurbeheer?* Vakblad voor natuur, bos en landschap mei 2012: 32-34

Van Oosten, H., Kooijman, A., van Turnhout, C., Dekker, J., van den Burg, A., Nijssen, M., 2012. Begrazingsbeheer in relatie tot herstel van faunagemeenschappen in droge duingraslanden. Eindrapport 1e fase 2010-2011. Rapport Stichting Bargerveen i.s.m. Universiteit van Amsterdam, Sovon Vogelonderzoek Nederland en Zoogdiervereniging. In opdracht van Directie Kennis van het Ministerie ELI

Van Oosten, H., Versluijs, H., R., Klaassen, O., van Turnhout, C., van den Burg, A.B., 2010. Knelpunten voor duinfauna. Relaties met aantasting en beheer van duingraslanden. Rapport DKI nr. 2010/dk129-O, Ede. 60 pag

Van Wingerden W.K.R.E., Musters J.C.M., Cannemeijer F., Bongers W., (1992). Simulation of hatching dates in three *Chorthippus* species (Orthoptera: Acrididae) in unfertilized and lightly fertilized grasslands. Proceedings Experimental & Applied Entomology 3: 86-93

Van Wingerden W.K.R.E., Musters J.C.M., Maaskamp F.I.M. (1991). The influence of temperature on the duration of egg development in West European grasshoppers (Orthoptera: Acrididae). Oecologia 87: 417-423

Van Wingerden, W.K.R.E., Bink, F.A., Jonkers, D.A., Niewold, F.J.J., Wijnhoven, A.L.J., 1997. Gedomesticeerde grote grazers in natuurterreinen en bossen: een bureaustudie. II. De effecten van begrazing. Rapport IBN-DLO no. 258, Wageningen, 128 pp

Vogels, J.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). Rapport Stichting Bargerveen, Nijmegen i.o.v. Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Nijmegen/Den Haag.

Wallis De Vries, M.F., Bakker, J. P., Wieren, van S. E., 1998. Grazing and conservation management. Conservation biology series vol. 11. Kluwer Academic publishers. Dordrecht.
Wallis de Vries, M.F., Raemakers, I., 2001. Does extensive grazing benefit butterflies in coastal dunes? Restoration ecology 9 (2): 179-188

Wallis de Vries, M. F., van Swaay, C. A. M., 2006. Global warming and excess nitrogen may induce butterfly decline by microclimatic cooling. Global Change Biology 12 (9): 1620-1626

White, T.C.R., 1993. The inadequate environment: nitrogen and the abundance of animals. Springer-Verlag, Berlin

Willis, A.J., 1989. Coastal sand dunes as biological system. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh 69B: 17-36.

Wouters B, Nijssen M, Vogels J, Verdonchot R, (2009). Eindrapport voorbereidingsplan kunstduinen. Rapport Stichting Bargerveen, Nijmegen. 147 pag. + bijlagen.

Wouters B, Remke E, 2010. Tussenrapportage 1 Onderzoeksprogramma Levende Duinen. Rapport Stichting Bargerveen, Nijmegen. 33 pag. + bijlagen.

Wouters, B., Nijssen, M., Geerling, G., van Kleef, H., Remke, E., Verberk, W., 2012. The effects of shifting vegetation mosaics on habitat suitability for coastal dune fauna-a case study on sand lizards (*Lacerta agilis*). Journal of Coastal Conservation 16 (1): 89-99

Lijst met gebruikte afkortingen en eenheden

Al _____ Aluminium

ATP _____ Adenosinetrifosfaat

AWD _____ Amsterdamse WaterleidingDuinen

bv. _____ bijvoorbeeld

C _____ Koolstof

ca. _____ circa

Ca _____ Calcium

cm _____ centimeter

cm³ _____ kubieke centimeter

COL _____ Coleoptera

DIP _____ Diptera

DNA _____ Desoxyribonucleïnezuur

et al. _____ en anderen

Fe _____ IJzer

g _____ gram

GAS _____ Gastropoda

GV _____ Geen verstuiving

GVE _____ Grootvee-eenheden

ha _____ hectare

HET _____ Heteroptera

HNO₃ _____ Salpeterzuur

H₂O₂ _____ Waterstofperoxide

H₂O _____ Water

HOM _____ Homoptera

j_____jaar
K_____Kalium
kg_____kilogram
km_____kilometer
LEP_____Lepidoptera
LOI_____Loss on ignition
M_____Molair
mg_____milligram
ml_____milliliter
MV_____Matige verstuiving
m_____meter
m²_____kubieke meter
mm_____millimeter
N_____Stikstof
NaCl_____zout
NH₄_____Ammonium
NHD_____Noord-Hollands Duinreservaat
NO₃_____Nitraat
NPN_____Non Protein Nitrogen
ns_____niet significant
O+BN_____Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit
OLD_____Onderzoeksprogramma Levende Duinen
OM_____Organische massa
ORT_____Ortoptera
P_____Fosfaat

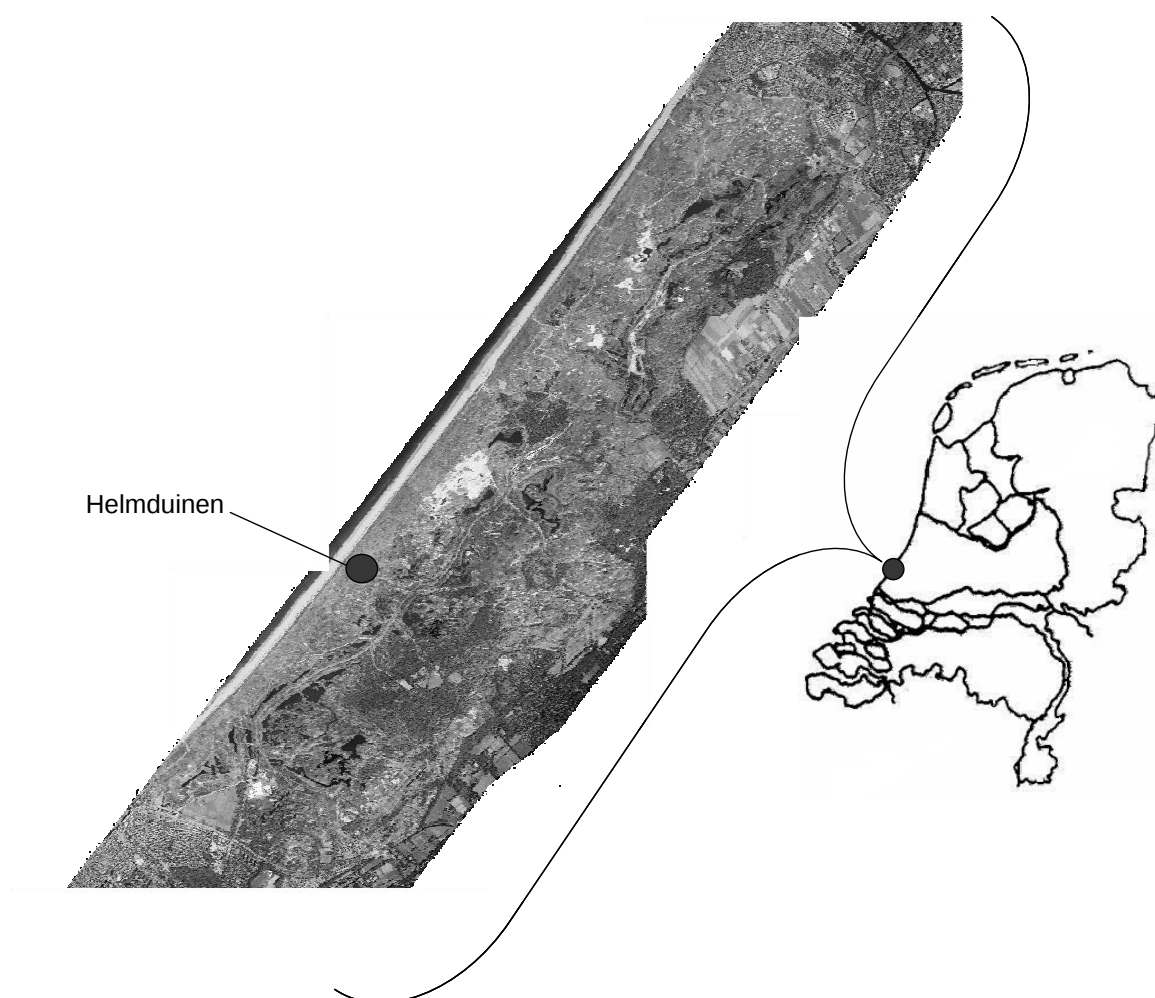
pH_____Potentia hydrogenii
Rk_____Renodunaal district kalkrijk
RNA_____Ribonucleïnezuur
Ro_____Renodunaal district ontkalkt
S_____Zwavel
SE_____Standard error
*spec.*_____species
VK_____Voorbereidingsplan Kustduinen
v.l.n.r._____van links naar rechts
VV_____Veel verstuiving
VWC_____Volumetric Water Content
W_____Waddendistrict
%_____procent
°C_____graden Celcius
μ_____micro
Ø_____doorsnede

Bijlage microklimaat van duingraslanden op vlakke en glooiende terreindelen

3.1

Overzicht van het onderzoeksgebied en de monsterlocaties (GPS punten) van de boven- en ondergrondse dataloggers.

Behandeling	GPS	Ondergronds	Bovengronds
Ijl 1	83099 462355	X	X
Ijl 2	83135 462549	X	X
Ijl 3	83134 462548	X	
Begraasd 1	83043 462305		X
Begraasd 2	83098 462566		X
Begraasd 3	83099 462565		
Vergrast 1	83042 462308		X
Vergrast 2	83084 462503		X
Vergrast 3	83083 462504		

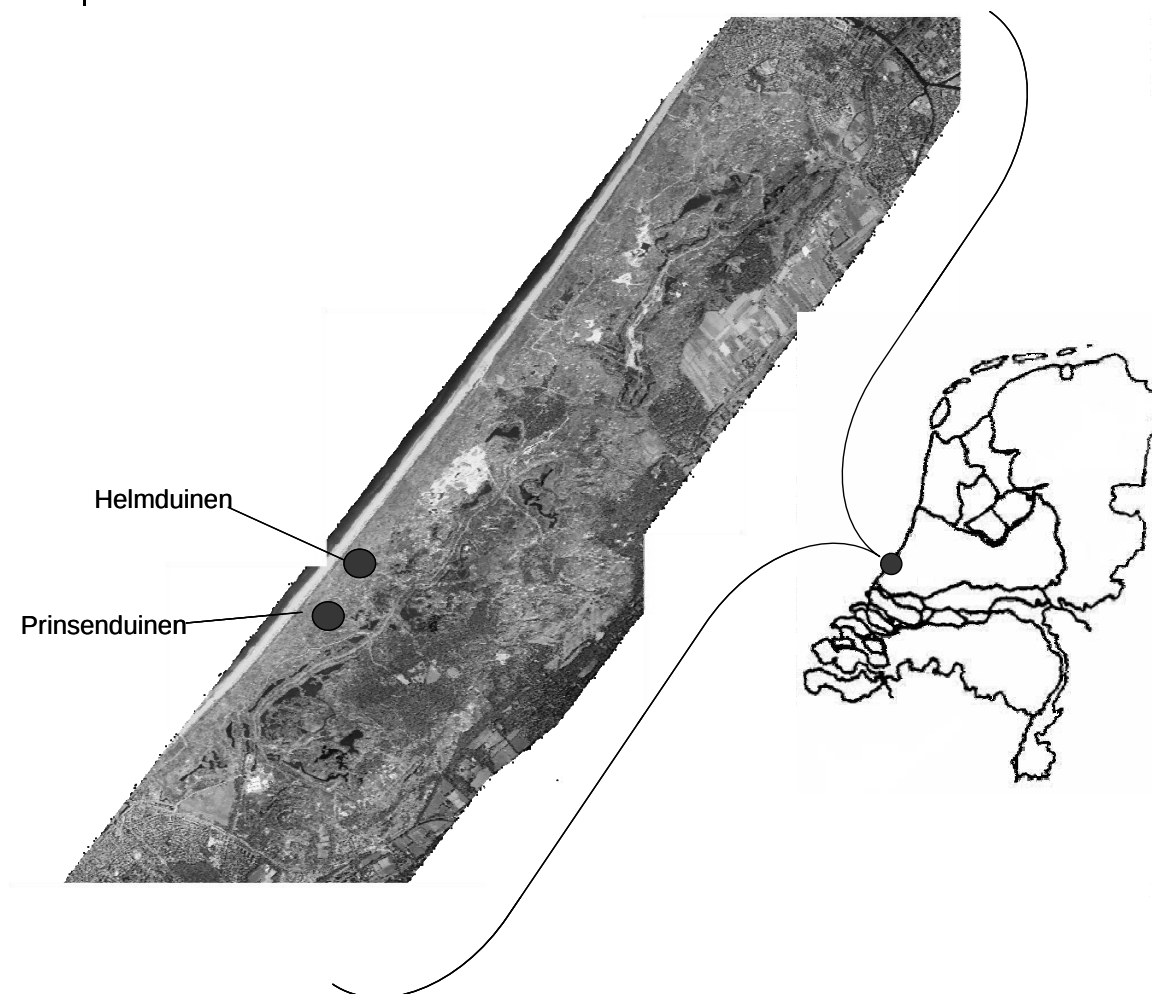


Bijlage betreding

4.1

Overzicht van de onderzoeksgebieden en de monsterlocaties (GPS punten) van het bestaande open zand onderzoek.

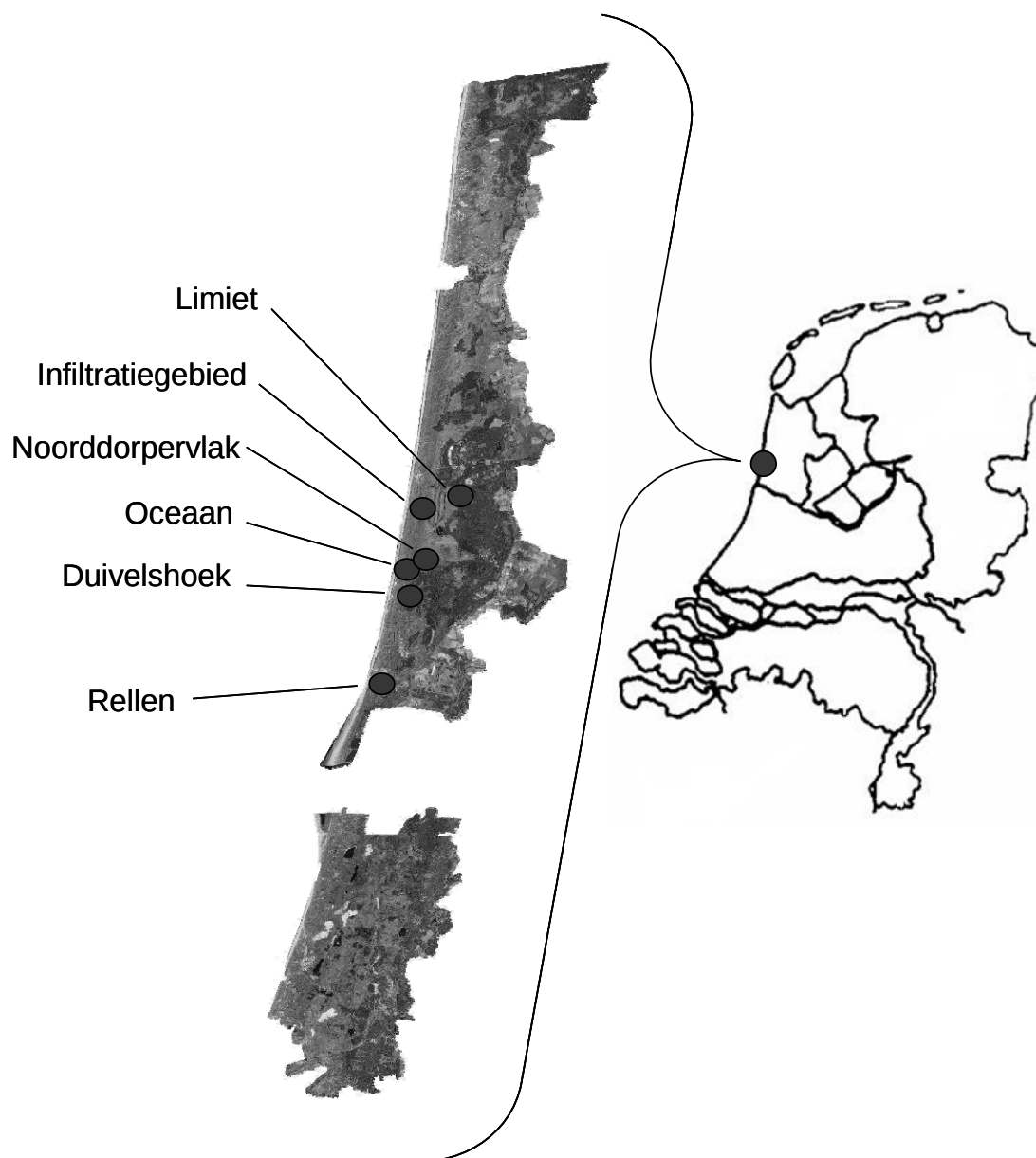
Behandeling	GPS
Begraasd 1	82585 461756
Begraasd 2	82608 461783
Begraasd 3	82628 461841
Begraasd 4	82641 461857
Begraasd 5	82704 461916
Exclosure 1	82585 461756
Exclosure 2	82608 461783
Exclosure 3	82628 461841
Exclosure 4	82641 461857
Exclosure 5	82704 461916
Onbegraasd 1	81973 461265
Onbegraasd 2	81950 461196
Onbegraasd 3	81975 461206
Onbegraasd 4	82138 461193
Onbegraasd 5	82136 461209



4.2

Overzicht van de onderzoeksgebieden en de monsterlocaties (GPS punten) van het nieuw gecreëerde open zand onderzoek.

Behandeling	GPS
Terracette 1	101359 501519
Terracette 2	101879 503567
Terracette 3	101690 504523
Terracette 4	102009 504794
Stuifkuil 1	101004 501483
Stuifkuil 2	103340 507286
Stuifkuil 3	101960 505293
Stuifkuil 4	101984 504875
Zonder betreding 1	102241 507068
Zonder betreding 2	101944 503794
Zonder betreding 3	101452 503725
Zonder betreding 4	102328 507035



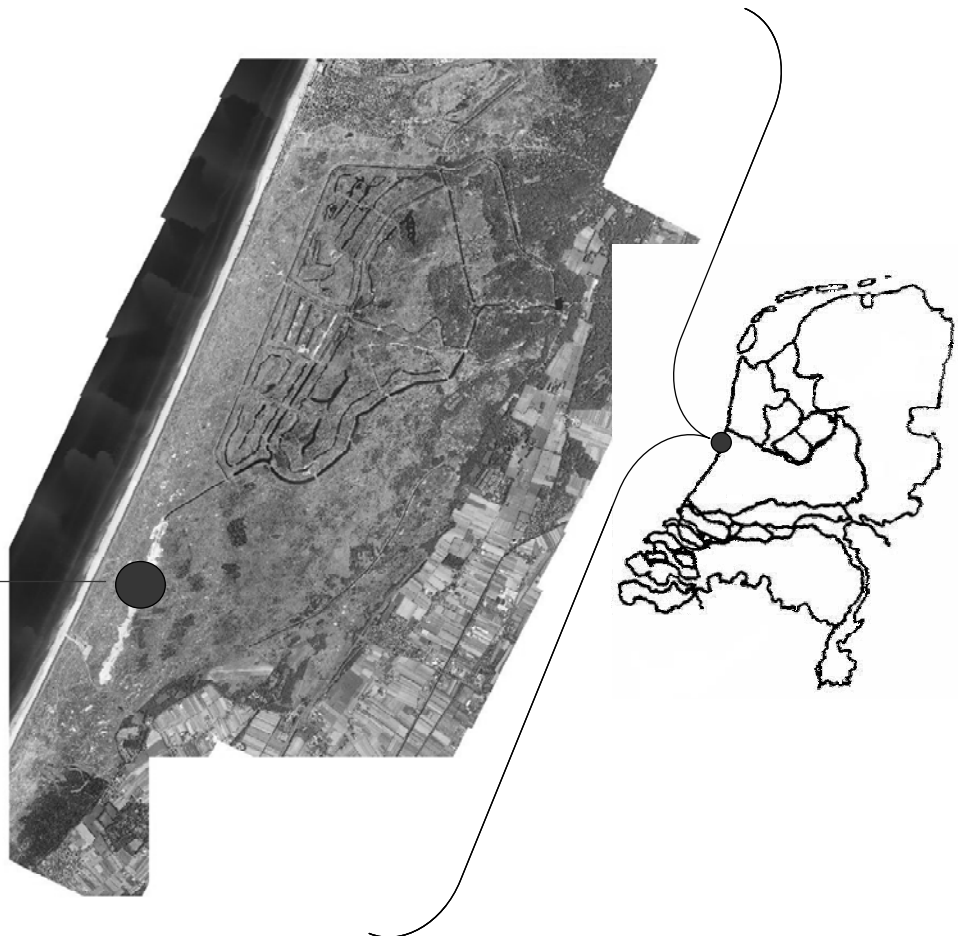
Bijlage verstuiving witte duinen

5.1

Overzicht van het onderzoeksgebied en de monsterlocaties (GPS punten).

Behandeling	GPS
Dynamisch	93898 480406
Matig dynamisch	93917 480391
Stabiel	93708 480366

Van Limburg Stirum



Bijlage verstuiving duingraslanden

6.1

GPS punten van de monsterlocaties in de Kop van het Grote Vlak (KvhGV) en het Mussenveld (M) over de gradiënt van verstuiving.

Behandeling	GPS
Veel verstuiving (KvhGV)	94804 480127
Veel verstuiving (KvhGV)	94766 480133
Veel verstuiving (KvhGV)	94754 480131
Matige verstuiving (KvhGV)	94798 480143
Matige verstuiving (KvhGV)	94769 480144
Matige verstuiving (KvhGV)	94798 480143
Geen verstuiving (KvhGV)	94788 480176
Geen verstuiving (KvhGV)	94815 480186
Geen verstuiving (KvhGV)	94811 480167
Veel verstuiving (M)	95660 484698
Veel verstuiving (M)	95650 484709
Veel verstuiving (M)	95604 484734
Matige verstuiving (M)	95671 484697
Matige verstuiving (M)	95655 484715
Matige verstuiving (M)	95616 484740
Geen verstuiving (M)	95700 484713
Geen verstuiving (M)	95658 484729
Geen verstuiving (M)	95645 484749

Veldformulier: Plaggen steken verstuiving duingraslanden

Locatiegegevens	
code	SK1gv1
datum	
onderzoekers	1
	2
	3
overzichtsfoto	
GPS	

Submonster	foto:
code	SK1gv1a
vegetatiebedekking	zand _____ mos _____ korstmos _____ gras _____ kruid _____ houtig _____
dikte strooisellaag	
dikte korst-/moslaag	/
vegetatiehoogte	
dikte Ah	
foto Ah	
konijnenkeutels	
Opmerkingen	

Submonster	foto:
code	SK1gv1b
vegetatiebedekking	zand _____ mos _____ korstmos _____ gras _____ kruid _____ houtig _____
dikte strooisellaag	
dikte korst-/moslaag	/
vegetatiehoogte	
dikte Ah	
foto Ah	
konijnenkeutels	
Opmerkingen	

Submonster	foto:
code	SK1gv1c
vegetatiebedekking	zand _____ mos _____ korstmos _____ gras _____ kruid _____ houtig _____
dikte strooisellaag	
dikte korst-/moslaag	/
vegetatiehoogte	
dikte Ah	
foto Ah	
konijnenkeutels	
Opmerkingen	

Submonster	foto:
code	SK1gv1d
vegetatiebedekking	zand _____ mos _____ korstmos _____ gras _____ kruid _____ houtig _____
dikte strooisellaag	
dikte korst-/moslaag	/
vegetatiehoogte	
dikte Ah	
foto Ah	
konijnenkeutels	
Opmerkingen	

Protocol voor het extraheren van celwanden uit vers plantemateriaal
 - inclusief trypsine behandeling –
 21 april 2011

uitgaande van 0,3 gram vers plantemateriaal (= 0,1 gram drooggewicht)

	Doel	actie	hoeveelheid	resultaat	Vol.
1					
2		Drogen in stoof 2 dagen			
3	Cellen openen opdat celinhoud kan worden weggewassen in volgende stappen.	Malen: 2 ml epje met twee kogels op kogelmolen 10 minuten. Testen onder microscoop of alle cellen open zijn.			
4		Ten minste 0,1 gram in ICP-buis			
5	Verwijderen celinhoud (membranen, organellen etc)	ontvetten met ethanol: ethanol (100%) erbij, mengen, centrifugeren, supernatans afgieten	5 maal		
6	idem	Idem met acetone	2 maal		
7	Acetone vervangen door water	Demiwater toevoegen, mengen, centrifugeren, afgieten.	4 maal		
	<i>Eenmalig</i> bepalen wat effect is van trypsine	Eénmalig: Monster opsplitsen in twee delen: Eén deel drogen voor C/N-analyse Eén deel verder behandelen met trypsine:	A: drogen, drooggewicht, droog opsplitsen B: natte pellet opsplitsen C: opsplitsen voor eerste stap	Droge pellet	0,1 gr
		Water vervangen door alc 100% -> drogen			
8	pH verlagen om resterende enzymen te denatureren.	Opl. H ₃ PO ₄ /NaOH met pH2,5 toevoegen	Volume: opl./natte pellet = 3/1	Pellet in water met	2 ml

9	pH weer verhogen t.b.v. trypsine (waarom niet met demiwater?)	100mM NaCl toevoegen, centrifugereren, afgieten.	5 maal	Pellet in 100 mM NaCl	0,5 ml
10	Creëren gunstig milieu voor trypsine	Opl. 100mM NaCl/5mM CaCl ₂ toevoegen in verhouding opl./pellet = 3/1. Na ₂ HPO ₄ tot pH 6,5 toevoegen. Monitoren met pH electrode.		Pellet in buffer-opl.	2 ml
11	Voorkomen bacterie- en schimmelmicrobi	Ten minste 0,05% (massa% drooggewicht) NaH ₃ toevoegen.	1 mg/0,3 mg vers	Pellet in buffer-opl. Met NaH ₃	2 ml
12	Eenvoudig afbreekbare eiwitten afbreken	0,5 gr/L trypsine preparaat toevoegen. Mengen	2 ml -> 1 mg	Pellet in buffer-opl. Met NaH ₃ en trypsine	2 ml
13	Idem	Incuberen 1 dag bij kamertemperatuur in schudwaterbad. 2010: 35 gr C.		idem	2 ml
14	Enzymen en afbraakproducten wegspoelen	Spoelen met 10 mM CaCl ₂ 4 maal		Pellet in 10 mM CaCl ₂	0,5 ml
15		Spoelen met demiwater 4 maal		Pellet in water	0,5 ml
16	bepaling drooggewicht en gereedmaken voor inwegen t.b.v. C/N-analyse A: ideaal B: bij indampen waterige massa ontstaan klonten. Daarom water vervangen door ethanol. Voor gelijkmatige verdamping ethanol/water moet concentratie ten minste 96% zijn.	Drogen: A: in vriesdroog machine B: 3 maal wassen met ethanol of isopropanol (ten minste 96%) en laten drogen. Eventueel beetje isobutanol of cyclohexaan toevoegen		Droge pellet	0,1 gr
17	Homogeniseren. Droge pellet heeft hard, donker korsje. Samenstelling onbekend.	Gehele pellet homogeniseren in kogelmolen of anders met de hand in mortier (let op: harde stukjes springen gemakkelijk weg.)			
	C/N analyse	Inwegen voor C/N			

Bijlage beschikbaarheid van nutriënten door begrazing

7.1

Beheerder	Terrein	Beheer	Code	X	Y	sep-09	jul-10
PWN	Rellen	maaïen	TORM1	100972	501476	x	x
PWN	Rellen	maaïen	TORM2	100953	501474	x	x
PWN	Rellen	maaïen	TORM3	100969	501463	x	x
PWN	Rellen	begrazen	TORB4	100971	501549	x	x
PWN	Rellen	begrazen	TORB5	100961	501550	x	x
PWN	Rellen	begrazen	TORB6	100979	501582	x	x
PWN	Rellen	exclosure	TORE7	100947	501563	x	x
PWN	Rellen	exclosure	TORE8	100929	501568	x	x
PWN	Rellen	exclosure	TORE9	100920	501561	x	x
PWN	Noorderduin	Konijnen	TONK10	101224	502625	x	x
PWN	Noorderduin	Konijnen	TONK11	101148	502619	x	x
PWN	Noorderduin	Konijnen	TONK12	101217	502693	x	x
Dunea	Helmduinen	exclosure	TOHE13	83190	462595	x	
Dunea	Helmduinen	Konijnen	TOHK154	82998	462781		x
Dunea	Helmduinen	exclosure	TOHE14	83090	462507	x	x
Dunea	Helmduinen	exclosure	TOHE15	83043	462312	x	x
Dunea	Helmduinen	begrazen	TOHB16	83186	462595	x	
Dunea	Helmduinen	begrazen	TOHB153	83022	462722		x
Dunea	Helmduinen	begrazen	TOHB17	83099	462503	x	x
Dunea	Helmduinen	begrazen	TOHB18	83043	462305	x	x
Dunea	Prinsenduinen	Konijnen	TOPK19	81748	461281	x	
Dunea	Helmduinen	Konijnen	TOHK155	82955	462699		x
Dunea	Prinsenduinen	Konijnen	TOPK20	81770	461332	x	
Dunea	Helmduinen	begrazen	TOHK156	82980	462689		x
Dunea	Prinsenduinen	Konijnen	TOPK21	81799	461367	x	
Dunea	Helmduinen	Konijnen	TOHK165	82661	462336		x
Dunea	Helmduinen	begrazen	TOHB166	82669	462304		x
Waternet	Zuiderlijk Zeeveld	exclosure	TOZZE22	94749	482337	x	x
Waternet	Zuiderlijk Zeeveld	exclosure	TOZZE23	94886	482582	x	x
Waternet	Zuiderlijk Zeeveld	exclosure	TOZZE24	94814	482951	x	x
Waternet	Zuiderlijk Zeeveld	Konijnen	TOZZK25	94755	482333	x	x
Waternet	Zuiderlijk Zeeveld	Konijnen	TOZZK26	94890	482575	x	x
Waternet	Zuiderlijk Zeeveld	Konijnen	TOZZK27	94794	482958	x	x
Waternet	Noorderlijk Zeeveld	begrazen	TONZB28	95569	484971	x	
Waternet	Noorderlijk Zeeveld	begrazen	TONZB29	95520	484986	x	
Waternet	Noorderlijk Zeeveld	begrazen	TONZB30	95557	484880	x	
Waternet	Noorderlijk Zeeveld	begrazen	TONZB8	95571	484931		x
Waternet	Noorderlijk Zeeveld	begrazen	TONZB82	95555	484860		x
Waternet	Noorderlijk Zeeveld	begrazen	TONZB83	95509	484940		x
Waternet	Mussenveld	Konijnen	TOMK7	95496	484755		x
Waternet	Mussenveld	Konijnen	TOMK81	95562	484806		x
Waternet	Mussenveld	Konijnen	TOMK84	95475	484816		x

7.2

Overzicht van de ligging van de 24 gebieden. ZeMe = Zeepeduinen – Meeuweduinen; MeijHelm = Meijendel, Helmduinen; MeijMeeuw = Meijendel, Meeuwenduinen; MeijBier = Meijendel Bierlap; AWDWest = AWD, Westhoek; AWDZeeZuid = AWD Zeeveld Zuid; AWDZeeNoord = AWD, Zeeveld Noord; AWDRolvers = AWD, Eiland van Rolvers; NHDRel = NHD, De Rellen; NHDDuvel = NHD, Duvelshoek; NHDDied = NHD, De Diederik; NHDBloed = NHD, Bloedweg bij Egmond aan Zee; NHDTuintjes = NHD, tuintjes bij Emond a.Z. / Wimmenummerduinen; ZwaanZuid = Zwanewater, zuidelijke locatie; ZwaanNoord = Zwanewater noordelijke locatie; TexGeul = Texel, De Geul; TexBol = Texel, Bollekamer; TexMuy = Texel, De Muy; VlieVeen = Vlieland, Vallei van het Veen; TerschLand = Terschelling, Landerummer Heide; TersOost = Terschelling, Oosterend; AmeRoepe = Ameland, Jan Roepeheide; AmeHage = Ameland, Hagedoornveld

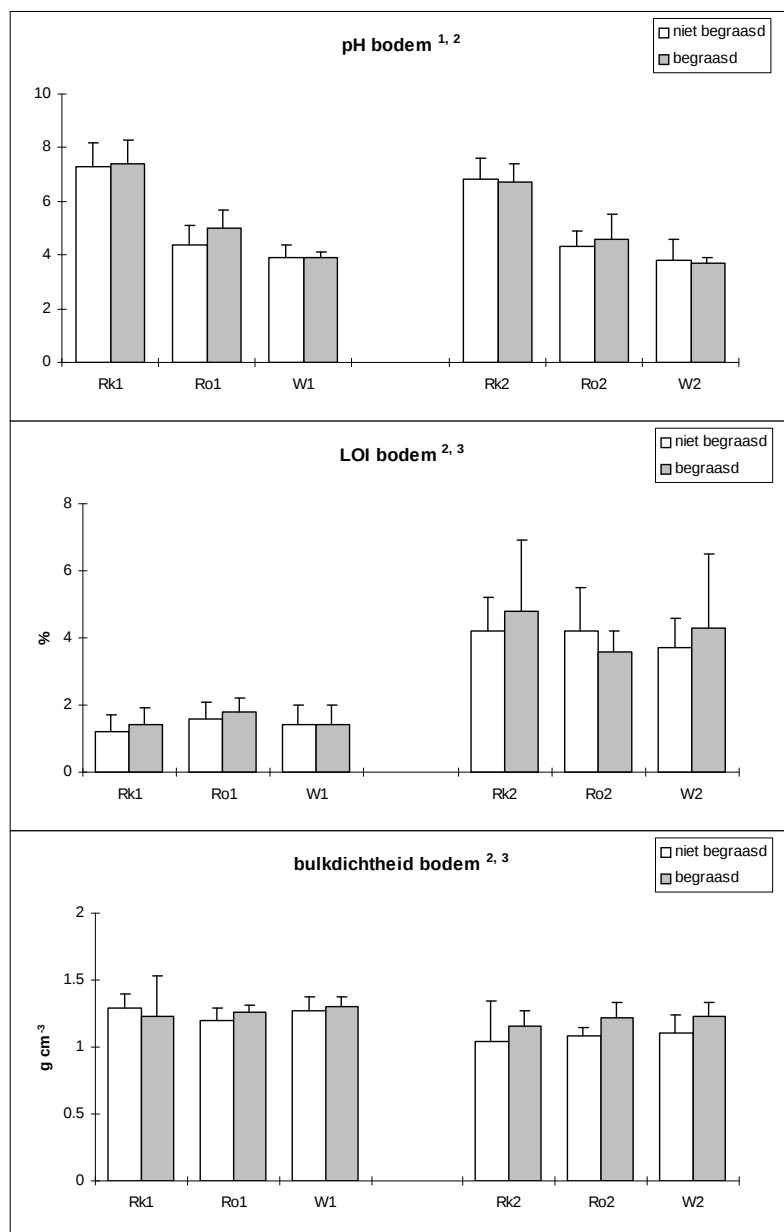


7.3

<u>Naam</u>	<u>Datum</u>	<u>GPS</u>				
<u>Code</u>	<u>Foto nr.</u>					
Vegetatie						
Soort	%	Opmerkingen				
Helm						
Diuinriet						
Zandzegge						
Smalbladige grassen						
Kruipwilg						
Duindoorn						
Liguster						
Ericaceeën		<u>Bloemaanbod</u>				
Dauwbraam						
overige houtige gewassen						
Kruiden						
Mossen						
Korstmossen		<u>Vegetatiehoogte</u>				
strooisel		vaat-planten	1	2	3	4
open zand						
.....						
.....		crypto-gamen	1	2	3	4
.....						
.....						
Bodem						
Humus-/bodemprofiel	cm	Opmerkingen				
Ol						
Of						
Oh						
Ah		Microreliëf:				
.....		Macroreliëf:				
.....						
Expositie Inclinatie		Begrazing				
		stront vee				
		konijnenkeutels				
		loop/betredingssporen				

7.4

Het effect van duinzone, OM-gehalte en begrazing op pH, organische stofgehalte en bulkdichtheid van de bovenste 5 cm van de minerale bodem. Alleen locaties waar begrazing plaatsvindt sinds vier jaar of langer, en waar zowel begraasde als onbegraasde situaties aanwezig zijn, zijn in beschouwing genomen (n = 206). Rk1 en Rk2 = Renodunaal district met kalkrijke bodem, met lage (Rk1) respectievelijk hoge (Rk2) organische stofgehalten; Ro1 en Ro2 = Renodunaal district, ontkalkte bodem met lage (Ro1) respectievelijk hoge (Ro2) organische stofgehalten; W1 en W2 = Wadden district met lage (W1) respectievelijk hoge (W2) organische stofgehalten. Weergegeven zijn gemiddelden en standaarddeviaties (n = 9-32). ¹ = significante verschillen tussen duinzones; ² = significante verschillen tussen OM-klassen; ³ = significante verschillen tussen begraasde en onbegraasde gebieden.

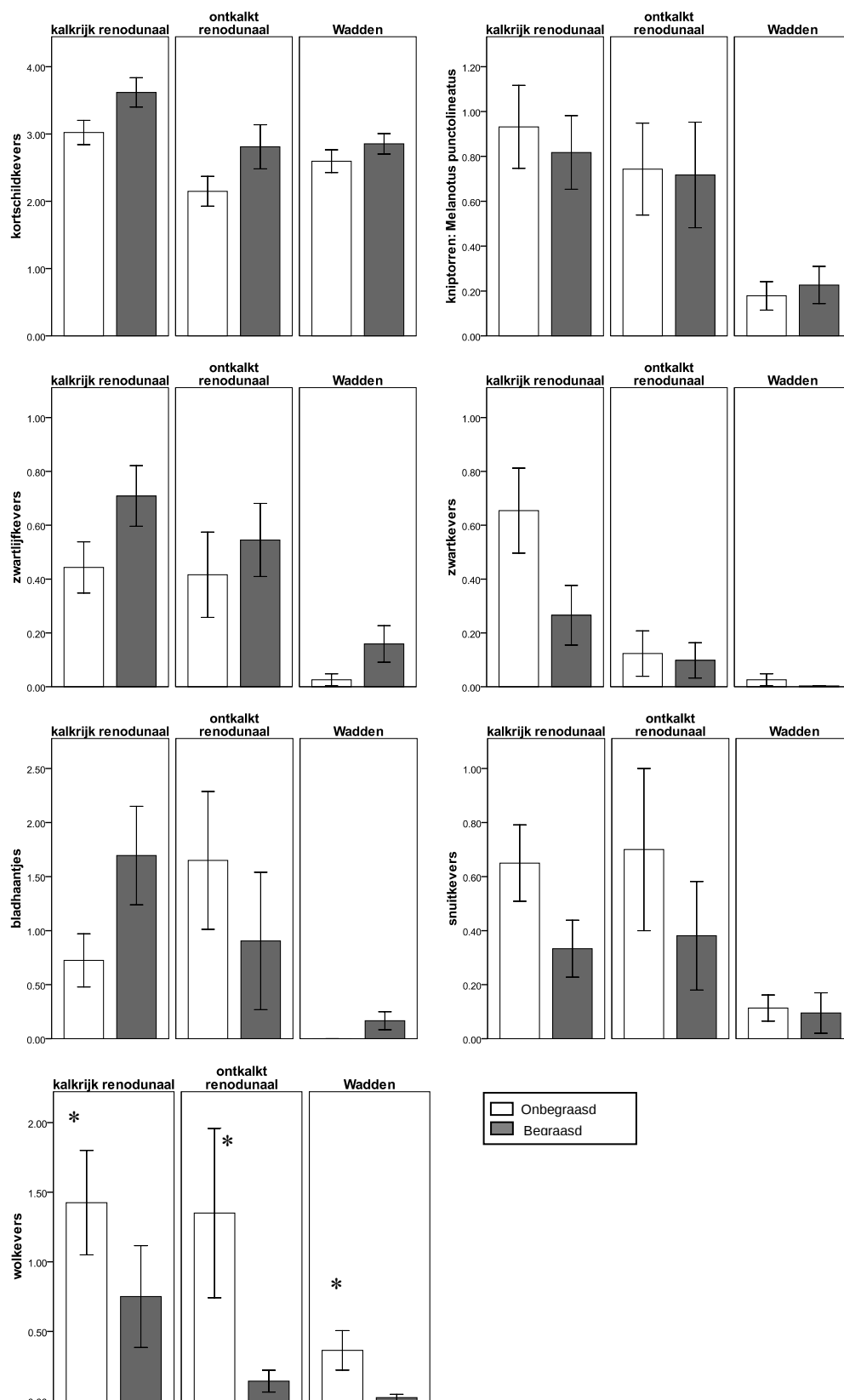


7.5

Mogelijke effecten van begrazingsdichtheid (GVE) en begrazingsduur (jaar) op nutriëntconcentraties, in relatie tot effecten van pH en LOI. Voor iedere factor is de bijdrage aan de verklaarde variantie (%) van een bepaalde bodemeigenschap weergegeven, berekend via Stepwise Multiple Regression. Alleen begraasde gebieden zijn in de analyse betrokken (n = 113). De analyses voor pH-LOI-begrazingsdichtheid en pH-LOI-begrazingsduur zijn apart uitgevoerd, maar omdat er vrijwel geen verschil in verklaarde variantie voor pH en LOI was, zijn de waarden gecombineerd in een tabel.

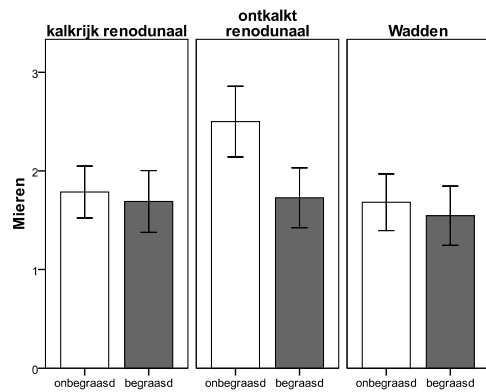
	pH	LOI	Begrazings- dichtheid	Begrazings- duur
NH ₄	2.0	3.9	-	-
NO ₃	14.7	2.7	-	1.3
Totaal anorganisch N	15.7	6.1	-	0.9
NO ₃ (% totaal anorganisch N)	13.5	-	-	-
NH ₄ (% totaal anorganisch N)	13.5	-	-	-
P	18.2	1.0	-	-
N:P ratio extract	0.6	6.9	-	-

7.6



Gemiddelde aantallen kevers per plag per duinzone (wortel-getransformeerd, gemiddelde plus standaardfout)

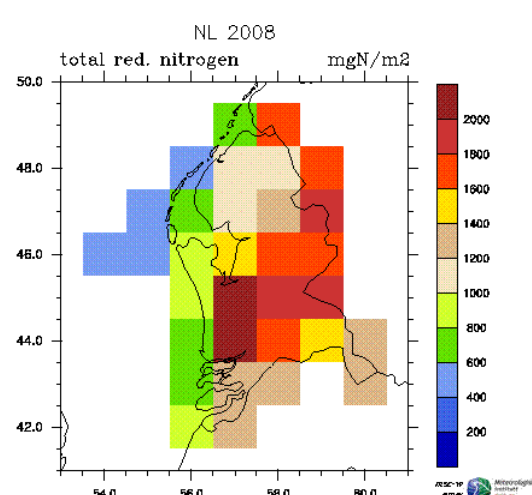
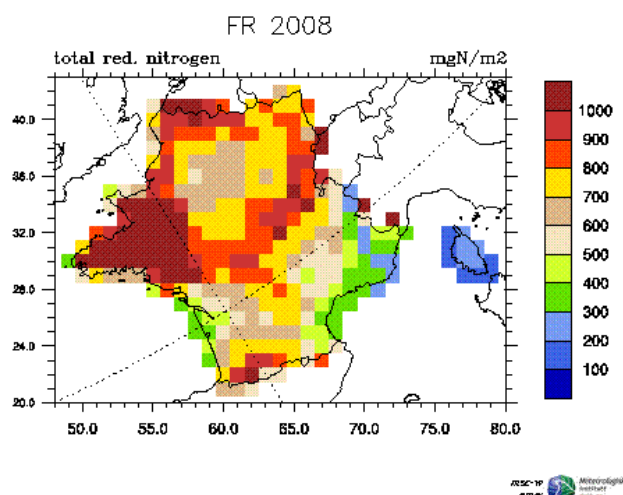
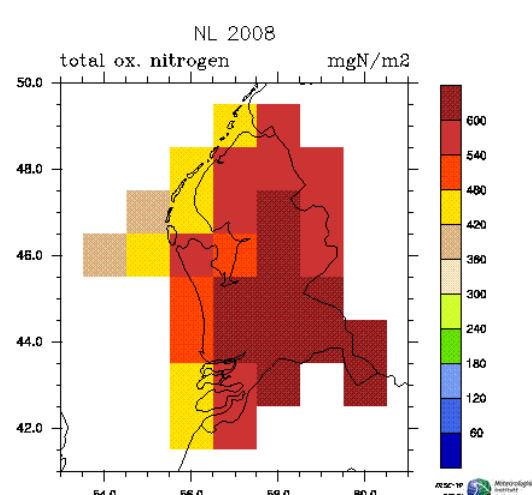
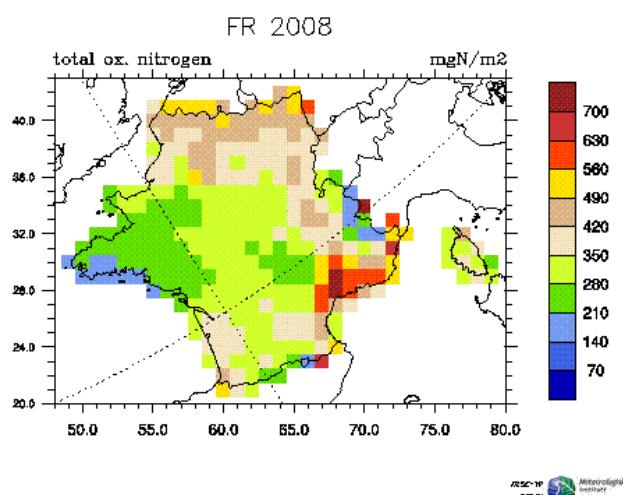
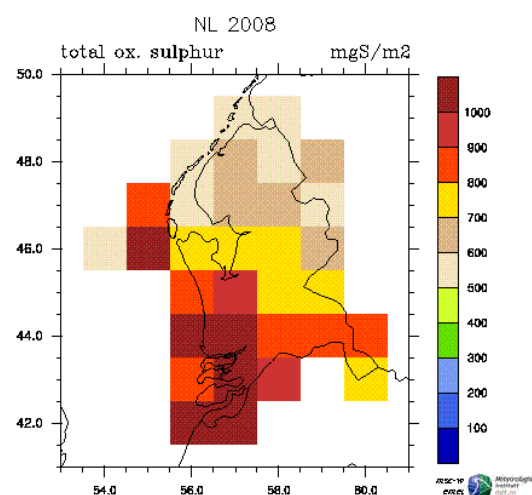
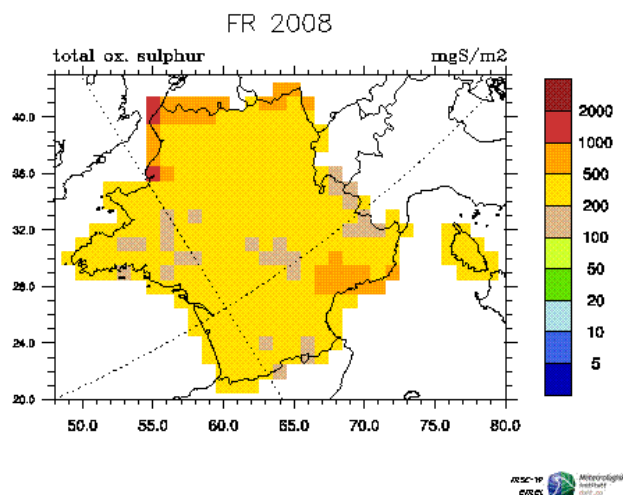
7.7



De frequentie waarmee mieren zijn aangetroffen per onderzoeksplot, op een schaal van 0 tot 10 (niet aangetroffen tot in alle happen grond aangetroffen; gemiddelde $\pm$ 1 SE). ER zijn geen significante verschillen aangetroffen.

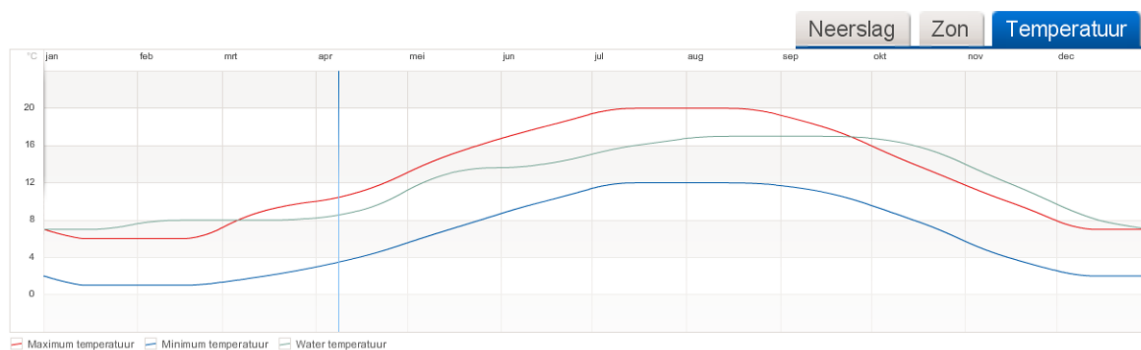
Bijlage Frankrijk

8.1

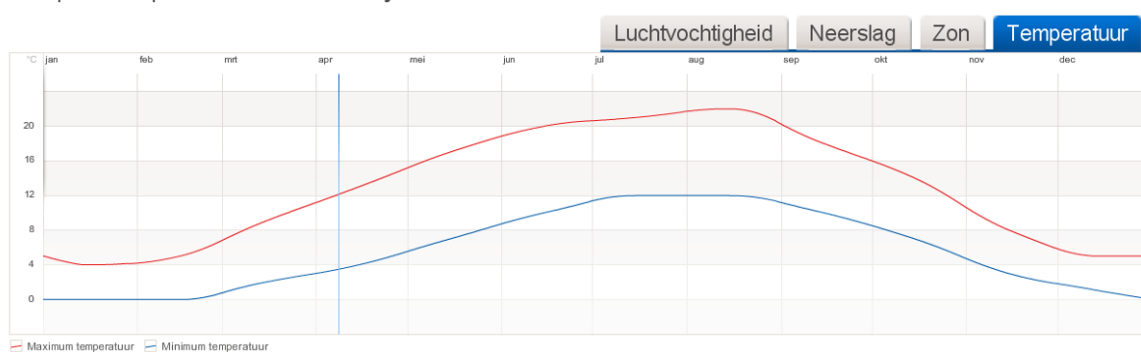


8.2

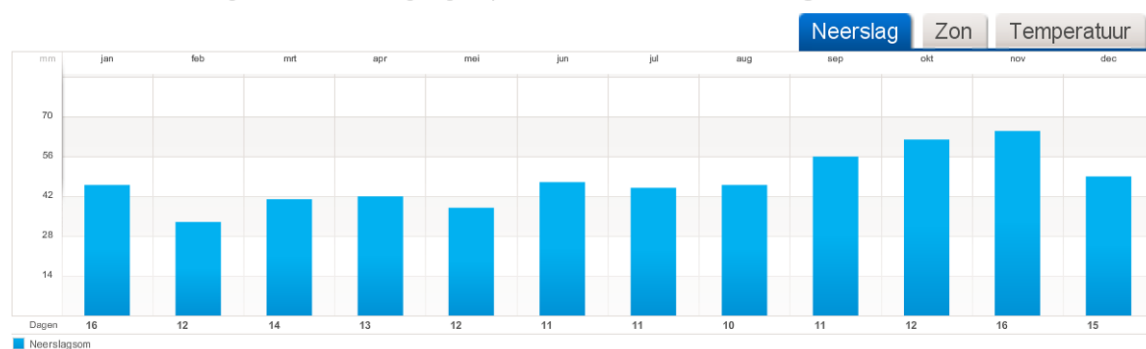
Temperatuur per maand voor **Hardelot-Plage**



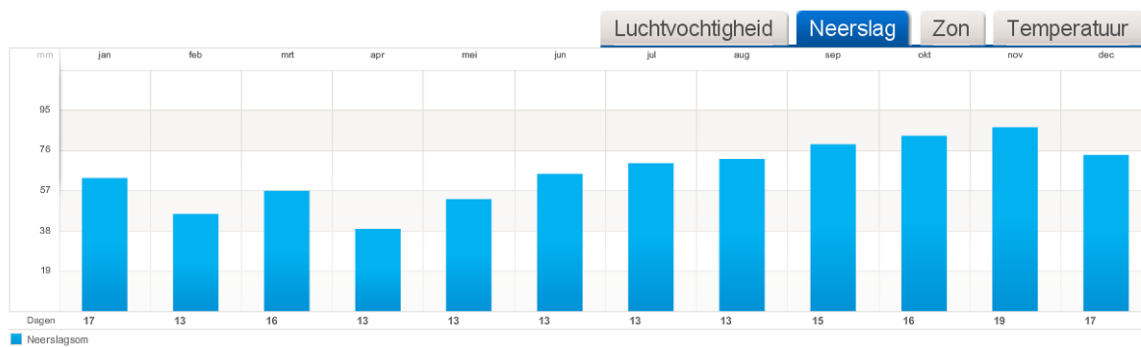
Temperatuur per maand voor **Katwijk**



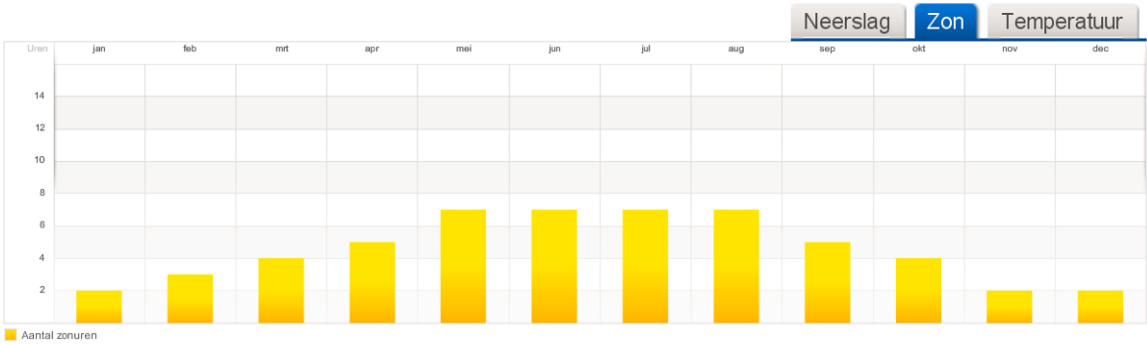
Gemiddelde neerslagsom en neerslagdagen per maand voor **Hardelot-Plage**



Gemiddelde neerslagsom en neerslagdagen per maand voor **Katwijk**



Zon per maand voor **Hardelot-Plage**



Zon per maand voor **Katwijk**

